

**Z BADAŃ KLIMATU MAZOWSZA
Z UWZGLĘDNIENIEM WIĘKSZYCH MIAST**

Z okazji JUBILEUSZU
– 60 lat –
Zakładu Klimatologii
Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych
Uniwersytetu Warszawskiego
(1951-2010)

**MARIA STOPA-BORYCZKA
JERZY BORYCZKA
JOLANTA WAWER
KATARZYNA GRABOWSKA
MAGDALENA DOBROWOLSKA
MICHAŁ OSOWIEC
ELŻBIETA BŁAŻEK
JAN SKRZYPCZUK
MAGDALENA GRZĘDA**

**XXVI-XXVII. FROM STUDIES ON THE CLIMATE
OF THE NAZOWSZE REGION
(INCLUDING MAJOR CITIES)**

atlas

**OF INTERDEPENDENCE
OF METEOROLOGICAL
AND GEOGRAPHICAL
PARAMETERS
IN POLAND**

Warszawa 2012

**MARIA STOPA-BORYCZKA
JERZY BORYCZKA
JOLANTA WAWER
KATARZYNA GRABOWSKA
MAGDALENA DOBROWOLSKA
MICHAŁ OSOWIEC
ELŻBIETA BŁAŻEK
JAN SKRZYPCZUK
MAGDALENA GRZĘDA**

**XXVI-XXVII. Z BADAŃ KLIMATU MAZOWSZA
(Z UWZGLĘDNIENIEM WIĘKSZYCH MIAST)**

atlas
**WSPÓLZALEŻNOŚCI
PARAMETRÓW
METEOROLOGICZNYCH
I GEOGRAFICZNYCH
W POLSCE**

Warszawa 2012

Komitet Redakcyjny

Krzysztof BŁAŻEJCZYK

Maria STOPA-BORYCZKA

Jerzy BORYCZKA

Jolanta WAWER

Władysław ŻAKOWSKI

Opracowanie edytorskie

Magdalena Dobrowolska

Recenzent

Bohdan Mucha

© Copyright by Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego 2012

ISBN 978-83-63245-12-2

Skład i łamanie

Magdalena Dobrowolska

Druk i oprawa: Zakład Graficzny UW

SPIS TREŚCI

I. WPROWADZENIE	7
II. NATURALNE I ANTROPOGENICZNE ZMIANY KLIMATU WARSZAWY W PUBLIKACJACH ZAKŁADU KLIMATOLOGII	9
III. WPŁYW CZYNNIKÓW GEOGRAFICZNYCH NA KLIMAT EUROPY	15
IV. CECHY TERMICZNE KLIMATU EUROPY	31
V. FALE CHŁODU I CIEPŁA W PRZEBIEGU ROCZNYM TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE (1951-2010)	43
VI. ZMIANY KLIMATU MAZOWSZA W ODNIESIENIU DO OBSZARU POLSKI W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO	54
6.1. Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Mazowsza	54
6.2. Cechy termiczne klimatu województwa mazowieckiego	82
6.3. Zachmurzenie w Polsce i jego związek z typami cyrkulacji atmosferycznej	109
6.4. Zależność zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki od typów cyrkulacji atmosferycznej w Środkowej Polsce	138
VII. WPŁYW UKSZTAŁTOWANIA I RZEŻBY TERENU NA ZRÓŻNICOWANIE KLIMATU MAZOWSZA WEDŁUG PODZIAŁU FIZYCZNOGEOGRAFICZNEGO J. KONDRACKIEGO	172
7.1. Klimat Niziny Środkowomazowieckiej	172
7.1.1. Zachmurzenie i wilgotność powietrza w województwie warszawskim w latach 1951-1960	172
7.1.2. Klimat stołecznego województwa warszawskiego	178
7.1.3. Charakterystyka klimatu Kotliny Warszawskiej	184
7.1.4. Zmiany roczne kierunku i prędkości wiatru w Kotlinie Warszawskiej	213
7.1.5. Klimat Kotliny Warszawskiej i terenów przyległych, położonych nad Bugiem i Narwią. Część III: Opady, szata i pokrywa śnieżna oraz wybrane zjawiska (1951-1960)	219
7.1.6. Przyczynek do poznania klimatu Doliny Środkowej Wisły w okolicy Wyszogrodu. Część pierwsza: Stosunki termiczne	230
7.1.7. Przyczynek do poznania klimatu Doliny Środkowej Wisły w okolicy Wyszogrodu, cz. II. Stosunki wilgotnościowe i anemometryczne	237
7.1.8. Przyczynek do poznania klimatu doliny środkowej Wisły w okolicy Wyszogrodu. Część III. Stosunki nefologiczne i opadowe	243
7.1.9. Wpływ warszawskiej skarpy wiślanej na warunki termiczno-wilgotnościowe	250
7.1.10. Charakterystyka klimatu Równiny Łowicko-Błońskiej w latach 1951-1965	261
7.2. Klimat Kotliny Płockiej	273
7.2.1. Klimat województwa płockiego	273
7.2.2. Zmiany czasowo-przestrzenne pola opadów atmosferycznych w województwie Płockim w latach 1951-1970	283
7.2.3. Ogólna charakterystyka klimatu Płocka	290
7.2.4. Związki korelacyjne parametrów meteorologicznych w Płocku (1951-1965)	306
7.2.5. Wpływ wiatru na temperaturę powietrza w Płocku	316
7.2.6. Cechy charakterystyczne klimatu lokalnego Płocka	319

7.2.7. Wstępna charakterystyka klimatu lokalnego Mazowieckich Zakładów Rafineryjnych i Petrochemicznych w Płocku	328
7.2.8. Charakterystyka warunków odczuwalnych Płocka w cieplej porze roku	338
7.2.9. Charakterystyka warunków odczuwalnych Płocka w półroczu chłodnym	347
7.2.10. Wpływ zabudowy na klimat lokalny Płocka	357
7.2.11. Zależność temperatury i wilgotności powietrza od rzeźby terenu na przykładzie okolic Płocka	366
7.2.12. Zależność temperatury i wilgotności powietrza od rodzaju upraw	373
7.2.13. Wpływ rzeźby i pokrycia terenu na warunki termiczne na przykładzie transektu położonego w okolicy Płocka	384
7.2.14. Bilans radiacyjny zlewni eksperymentalnej w Murzynowie	393
7.3. Klimat Niziny Północnomazowieckiej	398
7.3.1. Ogólna charakterystyka klimatu Mławy (1951-1965)	398
7.3.2. Opady atmosferyczne na Wzniesieniach Mławskich i Równinie Raciąskiej	409
7.3.3. Zróżnicowanie warunków termiczno-wilgotnościowych w Sierpcu	413
7.3.4. Zróżnicowanie warunków bioklimatycznych na terenie Sierpca w miesiącach letnich	421
7.3.5. Klimat województwa ostrołęckiego	429
7.3.6. Charakterystyka klimatu Ostrołęki	437
7.3.7. Zróżnicowanie warunków klimatycznych na terenie Makowa Mazowieckiego (na podstawie obserwacji z lipca 1972 r. i 1973 r.)	443
7.3.8. Zróżnicowanie warunków bioklimatycznych na terenie Makowa Mazowieckiego (na podstawie obserwacji z lipca 1972 i 1973 roku)	450
7.4. Klimat Niziny Południowopodlaskiej	459
7.4.1. Klimat województwa siedleckiego	459
7.4.2. Charakterystyka klimatu Wysoczyzny Siedleckiej	471
7.4.3. Charakterystyka klimatu Siedlec	479
7.4.4. Charakterystyka fizycznogeograficzna okolic Żelechowa, ze szczególnym uwzględnieniem topoklimatu	489
7.5. Klimat Wzniesień Południowomazowieckich	496
7.5.1. Klimat województwa Skierniewickiego	496
7.5.2. Zmiany roczne promieniowania słonecznego na Mazowszu	503
7.5.3. Ogólna charakterystyka klimatu Radomia	509
7.5.4. Wpływ warunków atmosferycznych na wypadki drogowe w Radomiu	518
7.5.5. Klimat lotniska Sadków w Radomiu	530
VIII. ZMIANY ROCZNE I WIELOLETNIE OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH WE WSCHODNIEJ CZĘŚCI NIZINY MAZOWIECKIEJ (NA PRZYKŁADZIE WARSZAWY-OKĘCIA I SIEDLEC)	540
IX. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA BADAŃ KLIMATU MAZOWSZA W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII	560
X. ZAKOŃCZENIE	569
XI. LITERATURA	585

I. WPROWADZENIE

Prezentowany Tom XXVI-XXVII *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. Z badan klimatu Mazowsza (z uwzględnieniem większych miast)* stanowi szóstą część studenckich badań klimatu w różnych skalach przestrzennych: Europa, Polska, Mazowsze, Kotlina Warszawska, Równina Warszawska, Warszawa.

Układ treści nawiązuje do wcześniejszych badań naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii (rozdz. II). Najpierw przedstawiono publikacje na ten temat, a potem prace archiwalne.

W rozdziale III przedstawiono artykuł pt. *Wpływ czynników geograficznych na klimat Europy z zastosowaniem wielomianów regresji 2 stopnia (1961-1990)*. Cechy termiczne klimatu Europy z zastosowaniem wielomianów 4 stopnia to rozdz. IV. W rozdziale V zajęto się falami chłodu i ciepła w przebiegu rocznym temperatury powietrza w 60-leciu (1951-2010) na przykładzie Warszawy - miasta nizinnego położonego na Nizinie Środkowomazowieckiej- Równinie Warszawskiej.

Oryginalną część pracy stanowią rozdziały VI pt. *Zmiany klimatu Mazowsza w odniesieniu do obszaru Polski w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego* i VII *Wpływ ukształtowania i rzeźby terenu na zróżnicowanie klimatu Mazowsza według podziału fizycznogeograficznego J. Kondrackiego*. Najwięcej prac magisterskich dotyczy klimatu Niziny Środkowomazowieckiej i Kotliny Płockiej, a najmniej – Wzniesień Południowomazowieckich. Artykułem na zamówienie jest rozdział VIII pt. *Zmiany roczne i wieloletnie opadów atmosferycznych we wschodniej części Niziny Mazowieckiej (na przykładzie Warszawy-Okęcia i Siedlec)* autorstwa U. Kossowskiej-Cezak i J. Skrzypczuka.

Do ważniejszych problemów rozwiązywanych w pracach magisterskich należą:

- Cechy klimatu Polski w odniesieniu do równoleżnika $\varphi = 52^{\circ}\text{N}$
- Zmiany klimatu Mazowsza w odniesieniu do obszaru Polski
- Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu zachmurzenia na Mazowszu
- Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu stanu aerosanitarnego Mazowsza
- Regionalne zróżnicowanie cech termicznych klimatu Mazowsza na przykładzie Nizin: Środkowomazowieckiej, Północnomazowieckiej i Południowopodlaskiej
- Mezoregionalne zróżnicowanie klimatu Mazowsza na przykładzie Kotliny Warszawskiej i Wysoczyzny Siedleckiej
- Antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy

W końcowych rozdziałach niektórych prac magisterskich zamieszczono też oceny klimatu badanych województw na potrzeby gospodarki człowieka np. rolnictwo, ogrodnictwo, turystyka i wypoczynek. Problemy te najlepiej przedstawia J. Wikieł-Wawer w pracy pt. *Klimat stołecznego województwa warszawskiego (1977)*.

Klimat badanego obszaru z punktu widzenia potrzeb rolnictwa, kształtuje się dla wielu upraw korzystnie, przede wszystkim dzięki wyższej temperaturze powietrza, małej liczbie przymrozków, dni mroźnych i bardzo mroźnych niż w województwach sąsiadujących od północy i wschodu. Niestety sumy opadu (zwłaszcza na północy i wschodzie Kotliny Warszawskiej) są niewystarczające do podtrzymywania wilgoci glebowej, jest tu bardzo sucho, co jest szczególnie niekorzystne dla owsa, jęczmienia, kukurydzy itp.

W badanym obszarze występują gleby niskiej jakości piaszczyste i piaszczysto-gliniaste i mimo że na przykład do uprawy buraka cukrowego i pszenicy, warunki klimatyczne są dogodne, to jednak gleby determinują uprawy na szerszą skalę.

Bardziej dogodny jest klimat dla upraw warzywniczych i sadowniczych (głównie na Równinie Warszawskiej i Łowicko-Błońskiej), gdzie drzewa owocowe najwcześniej zakwitają), a sprzyjają temu: dobre usłonecznienie, krótki okres z przymrozkami, najkrótszy okres zalegania pokrywy śnieżnej. Udział tych działów gospodarki rolnej w użytkowaniu rolniczym ziemi stale wzrasta i obecnie 9,9% wszystkich upraw stanowią warzywa, a 3,6% – sady. Ponadto rozwój gospodarki rolnej, uprawa inspektowa, szklarniowa wykluczają ujemne skutki klimatu województwa, jak niskie opady, czy też przymrozki.

Okolice Zalewu Zegrzyńskiego są z punktu klimatu terenami o najdogodniejszych warunkach dla rozwoju turystyki. Jest tu bowiem ciepło (powyżej 7,5°C), mało jest opadów i liczby dni z opadem, duże usłonecznienie, nieduże zachmurzenie, większe prędkości wiatru, co sprzyja żeglarsztwu.

Z kolei Puszcza Kampinowska jest „oazą” czystego, leśnego powietrza, bogatego w fitoncydy. Warunki termiczne są sprzyjające, lecz niestety „ściana” Puszczy odznacza się zwiększonymi opadami o dużym natężeniu (najwyższe maksima dobowe). Rejon ten poleca się szczególnie na wycieczki piesze i rowerowe szlakami turystycznymi.

Warszawa, jako stolica Polski i jako miasto z licznymi zabytkami, muzeami i innymi walorami kulturalnymi jest również dużym ośrodkiem turystycznym województwa. Niestety termiczne warunki klimatu stolicy są mniej sprzyjające dla turystów w okresie letnim, z racji wysokiej temperatury, większej ilości dni gorących i upalnych oraz parnych, oraz gorszych warunków aerosanitarnych.

Oceny klimatu na potrzeby budownictwa można znaleźć w pracy A. Ślęzak pt. *Zmiany roczne kierunku i prędkości wiatru w Kotlinie Warszawskiej* (1978), w której stwierdzono duży wpływ zabudowy miejskiej na kierunek i prędkość wiatru w ciągu całego roku. Natomiast w pracach M. Śmietanki pt. *Wpływ warunków atmosferycznych na wypadki drogowe w Radomiu* (1995) i P. Parzuchowskiego pt. *Klimat lotniska Sadków w Radomiu* (2008) oceniono klimat na potrzeby komunikacji drogowej i lotniczej. Określono w nich warunki pogodowe sprzyjające wypadkom drogowym oraz warunki utrudniające funkcjonowanie lotniska.

II. NATURALNE I ANTROPOGENICZNE ZMIANY KLIMATU WARSZAWY W PUBLIKACJACH ZAKŁADU KLIMATOLOGII

Pierwszą część syntezy studenckich badań w zakresie naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu miasta stanowi publikacja Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego pt. *Klimat Wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007*, wydana z okazji XII Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS i Centrum Nauki Kopernik, który odbył się 14 czerwca 2008 roku w Warszawie.

Głównym problemem badawczym jest deformacja pól zmiennych klimatologicznych i bioklimatologicznych przez miasto w różnych skalach przestrzennych i czasowych na przykładzie odpowiednio dobranych 37 prac magisterskich, z ogólnej liczby 150. Oryginalną część pracy stanowią rozwiązania następujących problemów:

- Cechy klimatu miasta nizinnego na przykładzie Warszawy
- Deformacja pól zmiennych meteorologicznych w Warszawie z wyodrębnieniem miejskiej wyspy ciepła
- Rola zieleni miejskiej w kształtowaniu warunków termicznych i wilgotnościowych w Warszawie
- Deformacja pola wiatru przez zabudowę w Warszawie
- Zmienność przestrzenna i czasowa warunków odczuwalnych w Warszawie
- Wpływ zabudowy na zróżnicowanie zachmurzenia w Warszawie
- Zmienność czasowa i przestrzenna opadów atmosferycznych w Warszawie i okolicach
- Cykliczność i tendencje zmian klimatu Warszawy
- Wahania roczne i tendencje zmian zjawisk atmosferycznych
- Stan aerosanitarny Warszawy.

Wymienione problemy należą do najczęściej podejmowanych tematów w pracach dyplomowych w latach 1952-2007. Scharakteryzowano je odpowiednimi pracami, przedstawiając najważniejsze wyniki badań studenckich, udokumentowane głównie wykresami, mapami i tabelami. W rezultacie powstała nowoczesna monografia klimatu Warszawy. Integralną całość stanowi pełny wykaz prac magisterskich (150) dotyczących naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu Warszawy. Wykaz prac licencjackich (33) uzupełnia informacje o zainteresowaniach studentów.

Tom XXII *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* z wyodrębnionym tytułem *Wpływ zabudowy i zieleni osiedlowej na zróżnicowanie klimatu lokalnego w Warszawie* stanowi drugą część syntezy badań studenckich w zakresie zmienności przestrzennej i czasowej klimatu lokalnego miasta, na przykładzie kolejnych 31 prac magisterskich, w tym 5 dotyczących osiedli, zamieszczono już we wcześniejszej publikacji. Celem pracy jest określenie zakresu zróżnicowania warunków meteorologicznych i biometeorologicznych w mieście w zależności od charakteru zabudowy i zieleni w osiedlach mieszkaniowych oraz ich lokalizacji w Warszawie, ze szczególnym uwzględnieniem pory dnia i roku.

Badania Zakładu Klimatologii pod kątem wpływu różnego typu zabudowy i zieleni na klimat lokalny w Warszawie przeprowadzono w latach 1959-2007. Obiektami szcze-

głównych zainteresowań stały się osiedla mieszkaniowe położone w różnych dzielnicach miasta, w przybliżeniu na profilu północ-południe: Białołęka Dworska, Chomiczówka, Sady Żoliborskie, Stawki, Szwoleżerów, Wyględów – Olimpijska, Służew nad Dolinką, Kabaty, Jelonki, Śródmieście. Sporo wyników badań dotyczy zabudowy zwartej w Śródmieściu, z małym udziałem zieleni ze szczególnym uwzględnieniem Śródmiejskiej Stacji Meteorologicznej *Warszawa-Uniwersytet*.

Uzyskane wyniki własnych dociekań odnoszono najczęściej do danych ze stacji synoptycznej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Warszawa-Okęcie, reprezentującej warunki pozamiejskie – od strony południowo-zachodniej. Zlokalizowana ona jest w strefie najmniejszego oddziaływania miasta na klimat przy przeważających wiatrach z sektora zachodniego. Już wcześniej udowodniono, że stacja ta jest dobrym punktem odniesienia w badaniach modelowych w środkowej Polsce, a nawet w Europie.

Przedstawiono najważniejsze wyniki badań prac magisterskich (udokumentowane licznymi tabelami i wykresami) oraz ich porównaniem z innymi osiedlami o podobnym lub odmiennym charakterze zabudowy. Wyniki badań odnoszono też do najbliższego otoczenia tj. do stacji zakładanych poza osiedlami.

Do ważniejszych zagadnień, które udało się scharakteryzować w pracach magisterskich na podstawie zróżnicowania klimatu lokalnego w Warszawie można zaliczyć:

- Wpływ oświetlenia (ekspozycji dosłonecznej i cienia) na zróżnicowanie warunków cieplnych w osiedlach
- Deformacja pola wiatru pod wpływem zabudowy
- Tempo nagrzewania i wychładzania osiedli o zabudowie wysokiej, blokowej (Służew, Stawki) oraz niskiej willowej z dużym udziałem zieleni (Olimpijska).
- Warunki odczucia termicznego (warunki biometeorologiczne) w osiedlach o różnej powierzchni zieleni (Sady Żoliborskie, Stawki, Służew)
- Przemieszczanie się wyspy ciepła pod wpływem wiatru
- Wpływ zabudowy na warunki odczucia ciepła w Warszawie
- Pionowa stratyfikacja atmosfery w Śródmieściu i na peryferiach

Tom XXIII *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* z wyodrębnionym tytułem *Klimat Warszawy i innych miast Polski, Studia porównawcze* stanowi trzecią część syntezy badań studenckich w zakresie naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu miast Polski.

Celem tego tomu jest określenie cykliczności i tendencji zmian klimatu miast Polski na przykładzie Warszawy – miasta nizinnego, położonego na Mazowszu w Kotlinie Warszawskiej ($\varphi=52,1^\circ$, $\lambda=21,0^\circ$, $H=106$ m n.p.m.) i Krakowa – miasta położonego w Kotlinie Podkarpackiej – Bramie Krakowskiej ($\varphi=50,1^\circ$, $\lambda=20,0^\circ$, $H=206$ m n.p.m.). Z tytułów publikacji i prac magisterskich wynika, że dotyczą one głównie naturalnych zmian klimatu, ze szczególnym uwzględnieniem cyklu rocznego. Do elementów uprzywilejowanych pod względem liczby opracowań należy z całą pewnością temperatura powietrza, traktowana, jako efekt intensywności obiegu ciepła w systemie Ziemia-atmosfera. Temperatura powietrza jest bowiem elementem najważniejszym, który determinuje stan pozostałych elementów klimatu. Badania przeprowadzono w różnych skalach przestrzennych i czasowych. Najwięcej prac dotyczy Mazowsza i całej Polski. Podstawą tych opracowań były głównie dane Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej z drugiej połowy XX wieku.

Jednym z istotnych celów pracy jest określenie zakresu deformacji pola temperatury powietrza w Polsce przez miasta. Problem ten rozwiązano przede wszystkim na przykładach Warszawy i Krakowa.

Warszawa na tle otoczenia wyróżnia się przede wszystkim wyższą temperaturą minimalną (w nocy jest znacznie cieplejsza); dłuższym okresem bezprzymrozkowym i wegetacyjnym, mniejszą wilgotnością względną i większym niedosytem wilgotności, większym zachmurzeniem nieba i mniejszą liczbą dni pogodnych, większymi sumami opadów atmosferycznych, mniejszą liczbą dni z mgłą (mniej inwersji termicznych) oraz znacznie mniejszą prędkością wiatru, mniejszą liczbą dni z wiatrem silnym, większą liczbą dni z wiatrem bardzo słabym i większym udziałem dni bezwietrznych (Stopa-Boryczka, Boryczka i inni, 1995).

Zasadniczym celem jest określenie tendencji, okresowości i prawdopodobieństwa niektórych zjawisk pogodowych w latach 1966-2000. Dominują nowe wyniki badań uzyskane na podstawie krótszych serii pomiarowych – z ostatniego trzydziestopięcioletnia 1966-2000. Dotyczą one liczby dni z burzą, maksymalnych dobowych sum opadów atmosferycznych, częstości dobowych sum opadów $\geq 10\text{mm}$ i liczby dni z pokrywą śnieżną.

Oryginalną część pracy stanowi rozdział pt. *Przeszłość i teraźniejszość klimatu miast Polski w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego*. Najważniejsze wyniki badań studenckich dotyczą następujących problemów:

- Długookresowe zmiany klimatu miast Polski
- Cyrkulacyjne uwarunkowania klimatu miast Polski
- Cechy solarne i termiczne klimatu miast Polski
- Cechy wilgotnościowe klimatu miast Polski
- Stan aerosanitarny miast w Polsce

Powyższe problemy badawcze stanowiły tematy 26 prac magisterskich. Najwięcej z nich (14) dotyczyło długookresowych zmian klimatu miast Polski i ich cyrkulacyjnych uwarunkowań.

Tom XXIV *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* z wyodrębnionym tytułem *Klimat Warszawy i miejscowości strefy podmiejskiej* stanowi czwartą część badań studenckich w zakresie naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu.

Celem pracy jest określenie cech specyficznych klimatu i bioklimatu miejscowości podwarszawskich, w zależności od ich lokalizacji względem Warszawy. Jest nim też próba określenia zasięgu oddziaływania miasta na tereny otaczające.

Problemy te rozwiązano na przykładzie 7 miejscowości z okolic Warszawy i dzielnicy peryferyjnej Okęcie. Przedstawiono najważniejsze wyniki badań eksperymentalnych, przeprowadzonych w 25 pracach magisterskich, wykonanych w Zakładzie Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego. Obiektami szczególnych zainteresowań były 2 uzdrowiska podwarszawskie: Konstancin i Otwock – położone w południowej strefie podmiejskiej.

Przy opracowaniu klimatu Warszawy i miejscowości strefy podmiejskiej wykorzystano materiały archiwalne: ze stacji meteorologicznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej na Okęciu i Bielanach, w Legionowie i Brwinowie, ze stacji Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk w Otwocku oraz materiały ze stacji Zakładu Ekologii PAN w Dziekanowie Leśnym z lat 1951-2000.

Punktem odniesienia wielokrotnie była też śródmiejska stacja meteorologiczna Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego.

Własne obserwacje klimatyczne i mikroklimatyczne, przeprowadzono w pięciu miejscowościach: Konstancin, Otwock, Dziekanów Leśny, Wesoła, Mory w różnych latach drugiej połowy XX. wieku. W opracowaniu podstawowych elementów klimatologicznych w miejscowościach uzdrowiskowych zwrócono szczególną uwagę na pogody niekorzystne dla kuracjuszy i ich powtarzalność: silne wiatry, mgły, odwilże zimą, okresy deszczowe latem, itp.

Na podstawie prac magisterskich udało się dokonać oceny klimatu na potrzeby różnych dziedzin gospodarki:

- Ocena klimatu na potrzeby lecznictwa w uzdrowiskach nizinnych (Konstancin, Otwock, Dziekanów Leśny)
- Ocena stanu atmosfery pod względem rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń (Legionowo, Warszawa)
- Ocena warunków termicznych i wilgotnościowych sezonu grzewczego (Mory)
- Ocena klimatu na potrzeby komunikacji lotniczej (Warszawa-Okęcie)
- Ocena klimatu na potrzeby rolnictwa (Warszawa-Okęcie)

Wpływ urbanizacji na warunki klimatyczne w Warszawie (Kicińska, Wawer, 2005) można uznać za syntezę dotychczasowych badań w zakresie wpływu aglomeracji miejskiej na zmiany czasowe i przestrzenne warunków solarnych, termicznych, wilgotnościowych, opadowych i cyrkulacji atmosferycznej. Klimat obszarów miejskich wyróżnia się w stosunku do otoczenia intensywną emisją różnych zanieczyszczeń (z zakładów przemysłowych, zwłaszcza energetycznych i środków transportu oraz urządzeń komunalnych). Duży wpływ na klimat ma zwartość zabudowy, zmiany w użytkowaniu naturalnych powierzchni (zmniejszenie powierzchni terenów zielonych, drenowanie terenu i budowa ciągów komunikacyjnych). Konsekwencją tych procesów są zakłócenia naturalnej równowagi radiacyjnej i termiczno-wilgotnościowej oraz osłabienie wymiany powietrza. Przejawia się to modyfikacją wartości wielu elementów klimatycznych. Bilans promieniowania i bilans cieplny ulegają w mieście istotnym modyfikacjom. Wynika to przede wszystkim ze zmian czasu insolacji (większe zasłonięcie horyzontu) oraz ze zmian stanu atmosfery (jej przeźroczystości) i zachmurzenia.

Tom XXV *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* z wyodrębnionym tytułem *Zmiany klimatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku* stanowi piątą część badań studenckich w zakresie czasowej i przestrzennej zmienności klimatu Europy ze szczególnym uwzględnieniem Polski – na przykładzie kolejnych 15 prac magisterskich.

Dotychczasowe wyniki badań w zakresie tych problemów można podzielić na pozycje opublikowane (uaktualnione) i archiwalne. Prace opublikowane przedstawiono w rozdziałach od II do VI i VIII, IX. Rozdział drugi *Modelowanie naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu w atlasie współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce (1974-2010)* zawiera najważniejsze wyniki badań w zakresie czasowych i przestrzennych zmian klimatu, przeprowadzonych przez Zakład Klimatologii w ciągu ostatnich 40 lat. Trzeci pt. „*Badanie cykliczności zmiennych przyrodniczych metodą J. Boryczki „sinusoid regresji”*” przedstawia opis metody wyznaczania okresów wraz z przykładami zastosowania

programu autora. Cztery pt. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Północnej Półkuli Ziemi (na podstawie wahań izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ i danych dendrologicznych)* przedstawia naturalne zmiany klimatu w różnych skalach czasowych wraz z prognozami na najbliższe stulecia na podstawie cyklicznych zmian zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ i sum promieniowania słonecznego. Piąty *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według ciągów dendrologicznych* – zawiera porównania cykli szerokości słońc rosnących w Europie z cyklami temperatury powietrza. Szósty: *Problemy badań współczesnych zmian klimatu* – obejmuje dociekania z zakresu naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu i ich przyczyn. Natomiast w rozdziałach ósmym i dziewiątym zamieszczono najważniejsze wyniki badań zmian klimatu Europy (i Polski) w XVII-XXI wieku. W rozdziale VIII *Ocieplenie klimatu miast Europy w XVII-XX wieku i ich przyczyny* przedstawiono zmiany wiekowe temperatury powietrza w strefie umiarkowanej na podstawie najdłuższych ciągów chronologicznych z 8 miejscowości zlokalizowanych w Europie Środkowej i Zachodniej. Porównano okresowe wahania temperatury powietrza w Polsce (Warszawa, Kraków) i Ukrainie (Lwów, Kijów). Rozdział IX *Zmiany klimatu Warszawy w XVIII-XXI wieku* dotyczy okresowości, tendencji i prognoz zmian klimatu Warszawy na przykładzie temperatury powietrza i opadów atmosferycznych. W rozdziale X *Zmiany warunków termicznych i opadowych w Warszawie określone na podstawie powojennej serii obserwacyjnej z Okęcia (1947-2009)* przedstawiono warunki termiczne (chłodne, normalne, ciepłe) i opadowe miesięcy (suche, normalne, mokre).

W Zakończeniu (rozd. XI) oceniono postęp badań w zakresie modelowania naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu Europy w pierwszej dekadzie XXI wieku, w odniesieniu do drugiej połowy XX wieku, prowadzonych w Zakładzie Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego. Wskazano na spodziewane konsekwencje globalnego ocieplenia – na zagrożenia życia na Ziemi. Zwrócono też uwagę na prognozowane duże ochłodzenie w połowie XXI wieku, wynikające z astronomicznych przyczyn okresowych zmian aktywności Słońca (koncentracji masy największych planet) i aktywności wulkanicznej. Na globalne ochłodzenie wskazują: zawartość izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniach lodowych, przyrosty roczne (słoje) drzew i wyniki pomiarów temperatury i opadów atmosferycznych.

Oryginalną część pracy stanowią wyniki badań przedstawionych w siódmym rozdziale pt. *Współczesne zmiany klimatu miast Europy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego*.

Najważniejsze wyniki badań studenckich dotyczą cykliczności, tendencji i prognoz klimatu na przykładzie niektórych miast reprezentujących Europę Zachodnią, Środkową i Wschodnią. Jest nim też zbadanie przyczyn ich zróżnicowania w zależności od położenia geograficznego i wysokości nad poziomem morza. Do istotnych problemów badanych przez studentów można zaliczyć:

- Wiekowe zmiany klimatu miast nizinnych Europy (Londyn, Warszawa, Moskwa)
- Wiekowe zmiany klimatu miast górskich Europy (Genewa, Zurych, Saentis, Sonnblick)
- Solarne i cyrkulacyjne uwarunkowania klimatu miast Europy (liczby Wolf'a, NAO, typy Wangenheima i Osuchowskiej-Klein)
- Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na zróżnicowanie cech termicznych klimatu miast Europy (Paryż, Marsylia, Wrocław, Kraków, Warszawa)

- Wpływ NAO na zróżnicowanie cech opadowych klimatu miast środkowej Europy (Wrocław, Warszawa)
- Badanie cykliczności i tendencji zmian temperatury powietrza w Europie na profilach : południkowym (Sztokholm, Warszawa, Ateny) i równoleżnikowym (Paryż, Warszawa, Moskwa)
- Badanie cykliczności i tendencji zmian temperatury powietrza w Europie (Sztokholm) na podstawie danych dendrologicznych (sosna – *Pinus sylvestris*)

Dotychczasowe wyniki badań studenckich przyczyniły się głównie do poznania cykliczności i tendencji zmian klimatu Polski (t. XXIII) i Europy (t. XXV) oraz prognozowanych zmian klimatu w XXI wieku. Ponadto badano wpływ miast na zróżnicowanie klimatu lokalnego na przykładzie Warszawy (t. XXII i t. XXIV) i innych miast Mazowsza (t. XXVI-XXVII).

Na uwagę zasługuje również dzieło piknikowe pt. *Klimat wielkiej Warszawy* w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007 (2008).

Opublikowanie kolejnych części tej 27-tomowej serii *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* było możliwe dzięki pomocy wielu życzliwych osób. Z okazji 60-lecia Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego (1951-2010) i 38-lecia tego wydawnictwa (1974-2010) pragniemy serdecznie podziękować tym wszystkim współpracownikom, którzy przyczynili się do zachowania ciągłości serii.

Na pierwszym miejscu należy wymienić prof. Jerzego Kondrackiego – autora przedmów do 9 tomów *Atlasu*, za sugestie uwzględnienia lokalnych czynników geograficznych w modelowaniu klimatu Polski oraz określenia udziału czynników astronomicznych w badaniach zmian klimatu Ziemi.

Serdecznie dziękujemy kolejnym władzom Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych UW – Dziekanom: Prof. dr hab. Andrzejowi Richlingowi, Prof. dr hab. Marii Skoczek i Prof. dr hab. Andrzejowi Lisowskiemu oraz obecnemu Kierownikowi Zakładu Klimatologii Prof. dr hab. Krzysztofowi Błażejczykowi za życzliwość i akceptację kierunków badań w kolejnych tomach *Atlasu*. Ponadto serdecznie dziękujemy Wydawnictwom Uniwersytetu Warszawskiego i Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych, a przede wszystkim Redaktorowi Władysławowi Żakowskiemu, za cenne rady i wskazówki podczas redagowania kolejnych części *Atlasu*.

Obliczenia do części wcześniejszych tomów *Atlasu* wraz z modyfikacją programów zostały wykonane w Centrum Informatycznym Uniwersytetu Warszawskiego.

Należy także podkreślić, że wydawane tomy zwłaszcza w poprzednim dziesięcioleciu były dofinansowane przeważnie przez Komitet Badań Naukowych.

Niektóre tomy *Atlasu* były wyróżnione nagrodami Rektora Uniwersytetu Warszawskiego, a dwa z nich nagrodami Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

III. WPŁYW CZYNNIKÓW GEOGRAFICZNYCH NA KLIMAT EUROPY

Maria Stopa-Boryczka, Jerzy Boryczka

The impact of geographical factors on the climate in Europe

Abstract. The main purpose of the study was to define the most important features of the climate of Europe, which derive from geographical position and altitude above sea level. To begin with, we discuss the thermal features of Europe's climate which result from the continent's location at moderate latitudes. The research was conducted on the basis of average monthly values of air temperature in 30-year periods, 1961-1990. The fields of real sunshine, air temperature, atmospheric precipitation, atmospheric pressure and wind velocity were described using empirical models – regression polynomials of the second degrees $y=f(\varphi)$, $y=f(\lambda)$, $y=f(H)$ for three coordinates: latitude φ , longitude λ and altitude above sea level H . They simulate both the zonal variability of air temperature $T(\varphi)$ and precipitations $P(\varphi)$ (which depends on the incoming solar radiation) and the impact of the Atlantic Ocean and the altitude $T(\lambda)$, $P(\lambda)$.

The equation of the regression hyperplane has been a good tool for the investigation of general features of Europe's climate: $y=a_0+a_1\varphi+a_2\lambda+a_3H$. Coefficients of partial a_1 , a_2 , a_3 – are components of gradients of meteorological variables; a_1 - meridional gradient, in $^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\varphi$, a_2 – latitudinal gradient, in $^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\lambda$, a_3 – hypsometric gradient, in $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Wprowadzenie

W pracy określono najważniejsze cechy klimatu Europy, wynikające z jej położenia w umiarkowanych szerokościach geograficznych – w sąsiedztwie Oceanu Atlantyckiego i strefowego ukształtowania jej powierzchni. Badania przeprowadzono na podstawie wyników pomiarów podstawowych elementów klimatycznych na stacjach europejskich w latach 1961-1990 (CLINO, 1991).

Metody badań modelowych zmienności przestrzennej klimatu zaproponowane przez Zakład Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego są sprawdzone na przykładach mniejszych i większych obszarów, położonych w różnych szerokościach geograficznych: Polska i Europa (Stopa-Boryczka, Boryczka i inni 1974, 1990, 1994, Śmiałkowski 1991, Bańska 1994), Kanada (Piotrowski 2001), Irak (Ahmed 1987), Wietnam (Van Than 1990).

Aproksymacji pól temperatury powietrza i innych zmiennych meteorologicznych dokonano tam za pomocą równań prostych, płaszczyzn i hiperpłaszczyzn regresji. Wyjątkowo na obszarze Polski i Europy zastosowano wielomiany regresji drugiego, trzeciego, czwartego i piątego stopnia względem trzech współrzędnych położenia: szerokości geograficznej φ , długości λ i wysokości nad poziomem morza H .

Dobrym narzędziem badań klimatu Europy okazały się modele statystyczne trójwymiarowe pól zmiennych klimatologicznych $y=f(\varphi, \lambda, H)$. Są nimi wielomiany regresji względem trzech współrzędnych kartezjańskich: szerokości φ i długości geograficznej λ oraz wysokość nad poziomem morza H , które spełniają podwójną rolę – jednocześnie czynników geograficznych. Wprowadzenie do wielomianów regresji wysokości bezwzględnej H (oprócz szerokości i długości geograficznej φ, λ) znacznie zwiększa dokładność modeli, ponieważ elementy klimatologiczne są z nią silnie skorelowane. Według

J. Kondrackiego (1994) jest to ważki wkład autorów w udoskonalenie modeli statystycznych, opisujących pola zmiennych meteorologicznych.

Wyniki dotychczasowych badań

Wielomiany regresji wyższych stopni względem trzech współrzędnych położenia $y=f(\varphi, \lambda, H)$ tj. szerokości φ i długości geograficznej λ – wyrażonych w setkach km oraz wysokości nad poziomem morza H umożliwiają określenie gradientu pola zgodnie z definicją matematyczną – np. pola temperatury powietrza $\text{grad } T=[\partial T/\partial\varphi, \partial T/\partial\lambda, \partial T/\partial H]$ o składowych horyzontalnych $\Gamma=[\partial T/\partial\varphi, \partial T/\partial\lambda]$ – wyrażonych w $^{\circ}\text{C}/100$ km. Pozwoliło to na oddzielenie poziomej zmienności temperatury powietrza w Europie (południkowej i równoleżnikowej) od pionowej (hipsometrycznej). W odróżnieniu od hiperpłaszczyzn regresji opisują one nie tylko główne cechy pola, lecz także zmienność regionalną i lokalną. Równania hiperpłaszczyzn regresji określają średnie gradienty: południkowe $\partial y/\partial\varphi=a_1$, równoleżnikowe $\partial y/\partial\lambda=a_2$ i hipsometryczne $\partial y/\partial H=a_3$ na badanych obszarach:

$$y=a_0+a_1\varphi+a_2\lambda+a_3H$$

Natomiast wielomiany regresji wyższych stopni (drugiego, trzeciego, czwartego) określają lokalne gradienty: południkowe, równoleżnikowe, hipsometryczne w każdym miejscu badanego obszaru.

Wylimitowanie wpływu wysokości nad poziomem morza np. na temperaturę powietrza umożliwiło wydzielenie stref oddziaływania Oceanu Atlantyckiego na klimat Europy (i Polski). Jedną z miar tego oddziaływania jest odchylenie gradientów horyzontalnych (przedstawionych na mapach w postaci wektorów Γ) od południków lokalnych (Stopa-Boryczka, Boryczka i inni 1994). Strefy wpływu Oceanu Atlantyckiego na pole temperatury powietrza w Europie wskazują izarytmy azymutów $a=\text{const}$ tj. kąta nachylenia gradientów horyzontalnych – wektorów Γ do południków miejscowych. W miesiącach zimowych strefa największego oddziaływania Oceanu Atlantyckiego na pole temperatury powietrza w Europie $a>60^{\circ}$ obejmuje Półwysep Skandynawski. Granicą strefy średniego oddziaływania Oceanu jest izarytma $a=30^{\circ}$ wyodrębniająca północno-zachodnią część Europy (poza górami i Półwyspem Iberyjskim).

Wcześniej E. Romer (1949) i inni oceniali wpływ Oceanu Atlantyckiego na klimat Polski na podstawie izoterm zredukowanych do poziomu morza przy założeniu stałego (w przestrzeni i czasie) spadku temperatury powietrza z wysokością równego $0,5^{\circ}\text{C}/100$ m. Natomiast w Atlasach cz. VI i cz. VIII przedstawiono izarytmy gradientów hipsometrycznych $\partial T/\partial H$ na obszarze Polski i w Europie zmieniających się w ciągu roku. W Polsce waha się on od $-0,4^{\circ}\text{C}/100$ m w styczniu do $-0,7^{\circ}\text{C}/100$ m w lipcu.

Istotne znaczenie praktyczne mają gradienty horyzontalne na poziomie rzeczywistym, wyznaczone na podstawie funkcji aproksymujących $T=f(\varphi, \lambda)$ – bez wysokości nad poziomem morza. Wektory Γ_0 wskazują kierunki wzrostu temperatury powietrza na obszarze Europy. Można je wykorzystać w prognozach geograficznego rozkładu temperatury powietrza w Europie.

Różnice między zmierzonymi wartościami temperatury powietrza i obliczonymi z wielomianów regresji czwartego stopnia (reszty $\varepsilon_i=T_i-f(\varphi_i, \lambda_i)$) potraktowano jako miary deformacji lokalnej pola przez czynniki naturalne (szczyty górskie, doliny, zbiorniki wod-

ne) i antropogeniczne (duże miasta). Ekstremalne wartości różnic ε_i ($\varepsilon_i < 0$ lub $\varepsilon_i > 0$) wskazują miejsca na obszarze Europy w których najsilniej oddziałują czynniki lokalne na pole temperatury powietrza. Są one największe (pod względem wartości bezwzględnej) w zimie. Wtedy przy małej insolacji (zanikającej strefowości) pole temperatury powietrza najbardziej zależy od wklęsłych i wypukłych form terenu, nachylenia zboczy. Wartości izarytm $\varepsilon_i = \text{const}$ w zimie zmieniają się od $\varepsilon_i = -2,5^\circ\text{C}$ w górach do $\varepsilon_i = 1,5^\circ\text{C}$ na nizinach północnej Europy. Pole temperatury powietrza jest deformowane jest również przez duże miasta ze względu na tzw. miejską wyspę ciepła. Wynika to głównie z dodatkowej akumulacji ciepła w dzień przez zabudowę (zwiększoną powierzchnię czynną). Duże miasta położone na nizinach cechują się na ogół dodatnimi resztami wielomianowymi ($\varepsilon_i > 0$).

Należy podkreślić, że wprowadzenie trójwymiarowych modeli (oprócz szerokości i długości geograficznej oraz wysokości n.p.m.) ma ogromne znaczenie metodyczne. Wielomiany regresji czwartego stopnia $T = f(\varphi, \lambda)$ względem tylko dwóch współrzędnych geograficznych φ, λ wyjaśniają zaledwie 50-60% wariancji temperatury powietrza w Europie. Natomiast wielomiany regresji czwartego stopnia względem trzech współrzędnych położenia $T = f(\varphi, \lambda, H)$ wyjaśniają prawie 98% wariancji temperatury powietrza. Tylko 2% zmienności temperatury powietrza na obszarze Europy jest nie określona za pomocą modeli.

Gradienty horyzontalne i hipsometryczne pól zmiennych klimatologicznych w Europie

Postępem badań w zakresie zmienności przestrzennej klimatu Europy stanowią równania hiperpłaszczyzn regresji oraz profile: południkowe $f(\varphi)$, równoleżnikowe $f(\lambda)$ i hipsometryczne $f(H)$, określone wielomianami regresji 2-go stopnia zmiennych: usłonecznienie rzeczywiste (U), temperatura powietrza (T), opad atmosferyczny (P), ciśnienie atmosferyczne (p) i prędkość wiatru (v). Aproksymują one średnie pola tych zmiennych meteorologicznych w latach 1961-1990 na obszarze o współrzędnych: $35,1^\circ \leq \varphi \leq 69,0^\circ$, $-18,8^\circ \leq \lambda \leq 59,8^\circ$, $0 \leq H \leq 37$ hm, zmierzonych w punktach o liczebności n : $U - 325$, $T - 350$, $P - 372$, $p - 306$, $v - 135$.

Przestrzenne zróżnicowanie klimatu Europy wynika głównie ze zmian szerokości geograficznej, odległości od Oceanu Atlantyckiego i wysokości nad poziomem morza (Stopa-Boryczka, Boryczka i inni 1990, 1994, Witwicki 1980, Word Survey of Climatology vol. 5, 1970 i vol. 6, 1977).

Strefowość elementów klimatologicznych jest zdeterminowana przez szerokość geograficzną (dopływ energii słonecznej do powierzchni Ziemi). Warunkuje ona intensywność pionowej i poziomej wymiany ciepła i pary wodnej, której efektem jest spadek temperatury i zawartości pary wodnej ze wzrostem szerokości geograficznej. Intensywność składowej pionowej wymiany ciepła i pary wodnej jest większa w porze letniej niż zimowej. Sprawia to, iż zależność elementów klimatologicznych od szerokości geograficznej jest większa w miesiącach półroczu letniego niż chłodnego. Kontrastowości strefowej klimatu w Europie sprzyja dodatkowo cyrkulacja południkowa. Masy powietrza napływające z wyższych szerokości geograficznych są zawsze chłodniejsze, a z niższych cieplejsze od podłoża. Prowadzi to do większych wartości gradientów temperatury powietrza w stosunku do przeciętnych w strefie umiarkowanej.

Przestrzenny rozkład poszczególnych elementów klimatologicznych (y) w Europie dobrze określają równania regresji liniowej $y = a_0 + a_1\varphi + a_2\lambda + a_3H$, gdzie: φ – szerokość geograficzna, λ – długość geograficzna, H – wysokość nad poziomem morza i współczynniki korelacji wielokrotnej R (tab. 1).

Tabela 1. Równania hiperpłaszczyzn regresji elementów meteorologicznych (y) względem szerokości geograficznej (φ), długości (λ) i wysokości nad poziomem morza H (hm) w Europie (1961-1990)

Table 1. The equation of the regression hyperplane of meteorological variables (y) related to geographical (φ) and longitude (λ) and elevation above sea level H (hm) in Europe (1961-1990)

	Zmienne	Równania	R
Zima	Usłonecznienie	$U = -12,2561\varphi - 0,1093\lambda + 2,2342H + 831,2$	0,874
	Temperatura	$T = -0,6685\varphi - 0,1852\lambda - 0,5189H + 38,00$	0,937
	Opady	$P = -2,2743\varphi - 2,4075\lambda + 3,0747H + 338,8$	0,445
	Ciśnienie	$p = -0,2864\varphi + 0,0718\lambda - 0,0299H + 1029,8$	0,695
	Prędkość wiatru	$v = 0,0508\varphi - 0,0443\lambda + 0,1749H + 1,890$	0,561
Lato	Usłonecznienie	$U = -12,2789\varphi + 3,4642\lambda - 7,4833H + 1329,9$	0,691
	Temperatura	$T = -0,5231\varphi + 0,0865\lambda - 0,4957H + 0,930$	0,930
	Opady	$P = 8,1871\varphi - 1,2191\lambda + 9,9203H - 234,8$	0,666
	Ciśnienie	$p = 0,0346\varphi - 0,1276\lambda - 0,4766H + 1015,3$	0,793
	Prędkość wiatru	$v = 0,0218\varphi - 0,0125\lambda + 0,1174H + 2,328$	0,417
Rok	Usłonecznienie	$U = -37,7621\varphi + 3,6835\lambda + 76,0562H + 3617,6$	0,448
	Temperatura	$T = -0,5941\varphi - 0,0421\lambda - 0,4998H + 40,5$	0,953
	Opady	$P = 7,2106\varphi + 7,6824\lambda + 24,0492H + 429,9$	0,503
	Ciśnienie	$p = -0,1381\varphi - 0,0061\lambda - 0,2653H + 1022,8$	0,453
	Prędkość wiatru	$v = 0,0436\varphi - 0,0282\lambda + 0,1460H + 1,772$	0,531

O dobrej aproksymacji pól zmiennych klimatologicznych w Europie świadczą duże wartości współczynnika korelacji wielokrotnej R . Najdokładniej są określone pola: usłonecznienia (zima – $R=0,87$, lato $R=0,69$, rok – $R=0,45$), temperatury powietrza (zima – $R=0,94$, lato – $R=0,93$, rok – $R=0,95$) i ciśnienia atmosferycznego (zima – $R=0,70$, lato – $R=0,79$, rok – $R=0,45$). Równania opisujące przestrzenny rozkład opadów atmosferycznych w Europie cechują się współczynnikami korelacji R : zima – $0,45$, lato – $0,67$, rok – $0,50$. Równania opisujące pole prędkości wiatru w Europie cechują się najmniejszymi współczynnikami korelacji R (zima – $0,56$, lato – $0,42$, rok – $0,53$)

Istnieje ogólna prawidłowość, że gradienty południkowe w Europie (spadki $-\partial y/\partial \varphi = -a_1$) usłonecznienia i temperatury powietrza są dodatnie w ciągu całego roku, a prędkości wiatru – ujemne. Natomiast gradienty (spadki) sum opadów i ciśnienia atmosferycznego zmieniają znak w ciągu roku z dodatniego zimą na ujemny latem. Usłonecznienie i temperatura powietrza maleje ku północy: w zimie o $12,3$ godz. $0,67^\circ\text{C}/1^\circ\varphi$, w lecie odpowiednio – o $12,3$ godz. i $0,52^\circ\text{C}/1^\circ\varphi$. Opady atmosferyczne maleją ku północy w zimie o $2,3$ mm/ $1^\circ\varphi$ a rosną w lecie o $8,2$ mm/ $1^\circ\varphi$. Ciśnienie atmosferyczne w Europie (zredukowane do poziomu morza) w zimie maleje ku północy o $0,3$ hPa/ $1^\circ\varphi$, a w lecie prawie nie zmienia się. Niezależnie od pory roku, średni gradient południkowy prędkości wiatru jest zbliżony do zera.

Oceanizm (kontynentalizm) klimatu Europy określa gradient równoleżnikowy (spadek $-\partial y/\partial \lambda = -a_2$). Długość geograficzna Europy określa odległość od Oceanu Atlantyckiego

i Azji, gdzie znajdują się główne ośrodki niskiego i wysokiego ciśnienia. Na klimat Europy największy wpływ mają: Niż Islandzki i Wyż Azorski utrzymujące się w ciągu całego roku oraz azjatycki ośrodek wysokiego ciśnienia (z centrum nad południową Syberią) występujący zimą. Te ośrodki aktywności atmosferycznej wywierają zasadniczy wpływ na zróżnicowanie klimatu wzdłuż równoleżników. Ruchom mas powietrza oceanicznego z zachodu na wschód i kontynentalnego ze wschodu na zachód poprzez obszar Europy wyjątkowo sprzyja pionowe ukształtowanie powierzchni. Wzniesienia znajdujące się na w północnej części Europy i wyżyny – w południowej stanowią zbyt małą przeszkodę dla równoleżnikowej cyrkulacji mas powietrza. Pasma górskie leżące na południu Europy są przeszkodą dla mas powietrza pochodzącego z niższych szerokości geograficznych. Nie stanowią one jednak przeszkody dla mas powietrza napływających z wyższych szerokości geograficznych nad obszar Europy. To specyficzne położenie Europy względem głównych, najaktywniejszych ośrodków niskiego i wysokiego ciśnienia na półkuli północnej jest przyczyną dużej zmienności układów barycznych i towarzyszących im mas powietrza. W rezultacie prowadzi do znacznej deformacji elementów klimatologicznych nad obszarem Europy.

Najistotniejszą cechą gradientów równoleżnikowych usłonecznienia i temperatury powietrza (spadków $-\partial y/\partial \lambda = -a_2$) w Europie jest zmiana znaku w ciągu roku z dodatniego zimą na ujemny latem. Świadczy to o przewadze cech oceanicznych na zachodzie, a kontynentalnych na wschodzie Europy. Tak więc usłonecznienie w zimie maleje ku wschodowi o 0,11 godz./ $1^\circ\lambda$, a w lecie wzrasta o 3,46 godz./ $1^\circ\lambda$. Temperatura powietrza zaś w miesiącach zimowych spada ku wschodowi o 0,19°C/ $1^\circ\lambda$, a w letnich wzrasta o 0,09°C/ $1^\circ\lambda$. Opady atmosferyczne w zimie bardziej maleją ku wschodowi ($a_2 = -2,4$ mm/ $1^\circ\lambda$) niż w lecie ($a_2 = -1,2$ mm/ $1^\circ\lambda$). Natomiast ciśnienie atmosferyczne (zredukowane do poziomu morza) w zimie wzrasta ze wzrostem długości geograficznej o 0,07 hPa/ $1^\circ\lambda$, a w lecie zmniejsza się o 0,13 hPa/ $1^\circ\lambda$. Prędkość wiatru zarówno w zimie jak też w lecie nieco maleje w kierunku wschodnim. Wpływ długości geograficznej na elementy klimatologiczne najbardziej uwidacznia się w zimie, zwłaszcza w przypadku temperatury powietrza. Jak wiadomo w okresie tym osiągają szczyt aktywności najbliższe układy baryczne (Niż Islandzki i Wyż Azjatycki), pod działaniem których znajduje się Europa.

Pola elementów klimatologicznych są najbardziej deformowane przez ukształtowanie powierzchni – zależą od wysokości nad poziomem morza. Miarą tej deformacji są **gradienty hipsometryczne** (spadki $-\partial y/\partial H = -a_3$). Ze wzrostem wysokości nad poziomem morza obserwuje się w ciągu całego roku spadek temperatury powietrza (zima – o 0,52°C/100 m, lato – o 0,50°C/100 m) i ciśnienia atmosferycznego (zima – o 0,03 hPa/100 m, lato – o 0,48 hPa/100 m). Natomiast sumy opadów atmosferycznych i prędkość wiatru w ciągu całego roku są większe na wyższych wysokościach (opady: zima – $a_3 = 3,07$ mm/100 m, lato – $a_3 = 9,92$ mm/100 m, prędkość wiatru: zima – $a_3 = 0,17$ ms⁻¹/100 m, lato – $a_3 = 0,12$ ms⁻¹/100 m). Gradient hipsometryczny usłonecznienia zmienia znak w ciągu roku z dodatniego zimą – $a_3 = 2,23$ godz./100 m na ujemny latem – $a_3 = -7,48$ godz./100 m. Wynika to z kompleksowego oddziaływania pasm górskich czy też ciągów wzniesień na otaczającą atmosferę poprzez zwiększoną powierzchnię czynną. Pionowa wymiana ciepła między powierzchnią Ziemi i atmosferą jest intensywniejsza na obszarach o urozmaiconej rzeźbie w porównaniu z obszarami nizinnymi. Oddziaływanie rzeźby terenu na stan atmosfery wytwarza specyficzny typ klimatu górskiego czy

też wyżynnego. W rezultacie w Europie obserwuje się znaczny spadek temperatury powietrza ze wzrostem wysokości nad poziomem morza – średnio o $0,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Należy zauważyć, iż gradient hipsometryczny temperatury powietrza (średni na obszarze Europy jest w lecie zbliżony do pionowego gradientu w swobodnej atmosferze – gradientu wilgotno-adiabatycznego ($\Gamma_w=0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$).

Z wyznaczonych równań wynika, że zmiany w kierunku pionowym są prawie tysiąc razy większe niż poziome – wzdłuż południków. Najlepiej uwidacznia się to w przypadku temperatury powietrza, która maleje ku północy Europy o $0,67^{\circ}\text{C}$ na 100 km – w miesiącach zimowych i o $0,52^{\circ}\text{C}$ – w letnich. Natomiast jej pionowy spadek wynosi odpowiednio $0,52, 0,50^{\circ}\text{C}$ na 100 m .

Profile południkowe, równoleżnikowe i hipsometryczne zmiennych klimatologicznych w Europie

Ogólne cechy pól zmiennych klimatologicznych w Europie opisują profile: południkowy $-y(\varphi)$, równoleżnikowy $-y(\lambda)$ i hipsometryczny $y(H)$, określone wielomianami regresji 2 stopnia względem szerokości geograficznej φ i długości λ , wyrażonych w $^{\circ}$ oraz wysokości nad poziomem morza $-H$ w hm:

profil południkowy $-y=a_0+a_1\varphi+a_2\varphi^2$

profil równoleżnikowy $-y=a_0+a_1\lambda+a_2\lambda^2$

profil hipsometryczny $-y=a_0+a_1H+a_2H^2$

Wielomiany regresji 2 stopnia i wykresy (parabole regresji) badanych zmiennych klimatologicznych: usłonecznienia, temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, ciśnienia atmosferycznego (na poziomie morza) i prędkości wiatru w porach roku (zima, lato) przedstawiono na rysunkach 1-5 i w tab. 2. Profile te opisują średnie pola zmiennych klimatologicznych w zimie i lecie. Oceną dokładności aproksymacji są współczynniki determinacji R^2 .

Tabela 2. Zakres zmian zmiennych klimatologicznych w Europie na profilach: południe-północ, zachód-wschód oraz pionowym

Table 2. Meridional, latitudinal and hypsometric changes of climatological variables in Europe (winter-summer)

			Usłonecznienie	Temperatura	Opady	Ciśnienie	Prędkość wiatru
Zima	φ	$35,1^{\circ}$	470,25	7,72	222,61	1019,03	3,45
		$69,0^{\circ}$	83,16	-12,26	124,25	1008,31	4,46
	λ	$-18,1^{\circ}$	378,90	8,93	316,28	1017,72	4,88
$69,8^{\circ}$		267,70	-9,22	120,85	1019,63	3,48	
H hm	0	212,60	0,35	197,50	1016,00	4,01	
	37,0	333,92	-17,60	830,35	995,76	17,18	
Lato	φ	$35,1^{\circ}$	1047,89	26,20	-11,74	1008,88	4,04
		$69,0^{\circ}$	779,58	12,40	121,62	1012,02	4,04
	λ	$-18,1^{\circ}$	710,90	16,58	111,07	1018,65	3,49
$59,8^{\circ}$		912,53	20,08	63,93	1007,67	3,41	
H hm	0	780,80	18,35	167,30	1013,00	3,25	
	37,0	346,53	-14,28	970,64	942,92	7,62	

Profile południkowe zmiennych klimatologicznych $y(\varphi)$ wskazują ich średnią zmienność wzdłuż południków z południa na północ w przedziale: $35,1^\circ \leq \varphi \leq 69,0^\circ$. Zmiany południkowe spełniają w ciągu całego roku w przybliżeniu zasadę strefowości klimatu Ziemi „spadek usłonecznienia i temperatury powietrza ze wzrostem szerokości geograficznej φ ”.

Wielomiany regresji 2 stopnia $y(\varphi)$:

Zima	Lato
$U=0,371\varphi^2-50,06\varphi+1771$	$U=0,732\varphi^2-84,13\varphi+3100$
$T=-0,0011\varphi^2-0,476\varphi+25,8$	$T=0,0100\varphi^2-1,436\varphi+64,31$

opisujące spadek usłonecznienia (U) i temperatury powietrza (T) w Europie ze wzrostem szerokości geograficznej cechują się dużymi współczynnikami korelacji wielokrotnej ($U - R=0,901$, $R=0,622$, $T - R=0,703$, $R=0,780$). Usłonecznienie (rys. 1) zmienia się: zimą od 470 godz. na południu Europy do 83 godz. na północy, a latem od 1048 godz. do 780 godz. Minimum usłonecznienia $U_{\min}=82,3$ godz. w zimie występuje na równoleżniku $\varphi_{\min}=67,5^\circ$, a $U_{\min}=682,7$ godz. w lecie – w szerokości $\varphi_{\min}=69,0^\circ$. Temperatura powietrza na obszarze Europy (rys. 2) maleje zimą od $7,7^\circ\text{C}$ do $-12,3^\circ\text{C}$, a latem od ponad $26,2^\circ\text{C}$ do $12,4^\circ\text{C}$. Minimum paraboli występuje poza badanym obszarem Europy, w lecie $T_{\min}=12,8^\circ\text{C}$ na równoleżniku $\varphi_{\min}=71,8^\circ$. Opady atmosferyczne w zimie maleją ku północy Europy od 222,6 do 124,3 mm. Maksimum paraboli $P_{\max}=236,5$ mm opisującej południkową zmienność sum letnich opadów przypada na równoleżnik $\varphi_{\max}=55,3^\circ$. Pole ciśnienia charakteryzuje się maksimumami: zima – $p_{\max}=1019,6$ hPa, $\varphi_{\max}=41,5^\circ$, lato $p_{\max}=1017,1$ hPa, $\varphi_{\max}=54,1^\circ$. Prędkość wiatru w zimie zmienia się ku północy od 3,5 do 4,6 m/s, z minimum $v_{\min}=3,1$ m/s w szerokości $\varphi_{\min}=41,5^\circ$.

Profile równoleżnikowe zmiennych klimatologicznych $y(\lambda)$ w Europie charakteryzują ich średnią zmienność z zachodu na wschód w przedziale $-18,8^\circ \leq \lambda \leq 59,8^\circ$. Wskazują one, że pola $y(\varphi, \lambda, H)$ w Europie są deformowane oddziaływaniem Oceanu Atlantyckiego – głównie w miesiącach zimowych.

Wielomiany regresji 2 stopnia $y(\lambda)$:

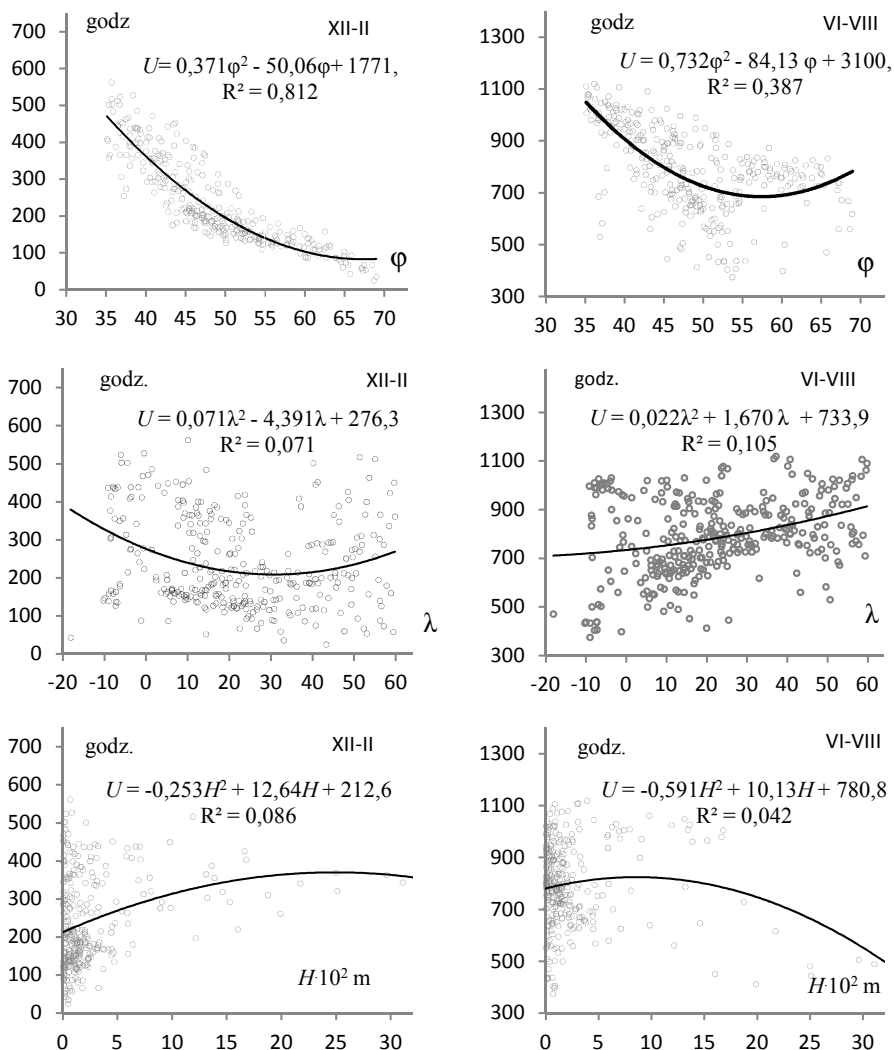
Zima	Lato
$U=0,071\lambda^2-4,391\lambda+276,3$	$U=0,022\lambda^2+1,670\lambda+733,9$
$T=0,000\lambda^2-0,233\lambda+4,715$	$T=0,000\lambda^2+0,045\lambda+17,39$

opisujące zmiany usłonecznienia (U) i temperatury powietrza (T) w Europie ze wzrostem długości geograficznej cechują się znacznie mniejszymi współczynnikami korelacji wielokrotnej ($U - R=0,266$, $R=0,324$, $T - R=0,531$, $R=0,290$).

Usłonecznienie w zimie maleje w kierunku wschodnim od 378 godz., a po osiągnięciu minimum 208 godz. na południku $\lambda=30,9^\circ$ – wzrasta. Temperatura powietrza prawie liniowo zmienia się z zachodu na wschód: w zimie spada od 8,9 do $-9,2^\circ\text{C}$, a w lecie wzrasta od 16,6 do $20,1^\circ\text{C}$. W zimie maleją w kierunku wschodnim sumy opadów atmosferycznych od 316,3 do 120,9 mm oraz prędkość wiatru od 4,9 do 3,5 m/s. Zimowe sumy opadów, określone wielomianem regresji 2 stopnia (o współczynniku korelacji $R=0,389$) maleją na wschód od 316,3 do 120,9 mm (rys. 3):

$$P=0,026\lambda^2-3,59\lambda+242,8$$

Profile hipsometryczne zmiennych klimatologicznych $y(H)$ w Europie charakteryzują ich średnią pionową zmienność w przedziale $0 \leq H \leq 37$ hm.



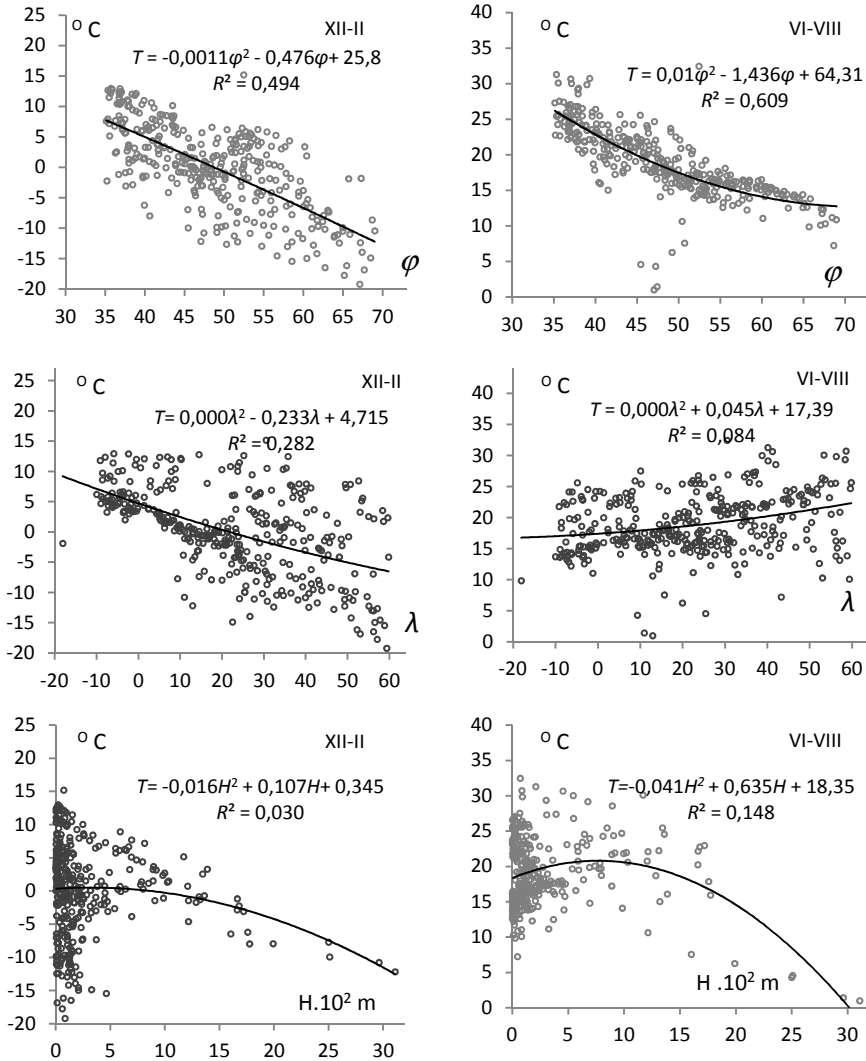
Rys. 1. Zależność usłonecznienia w Europie od: szerokości geograficznej ϕ° , długości λ° i wysokości nad poziomem morza H , XII-II – Zima, VI-VIII – Lato

Fig. 1. Dependence of real sunshine in Europe from latitude ϕ° , longitude λ° and altitude above sea level H , XII-II – Winter, VI-VIII – Summer

Wielomiany regresji 2 stopnia $y(H)$:

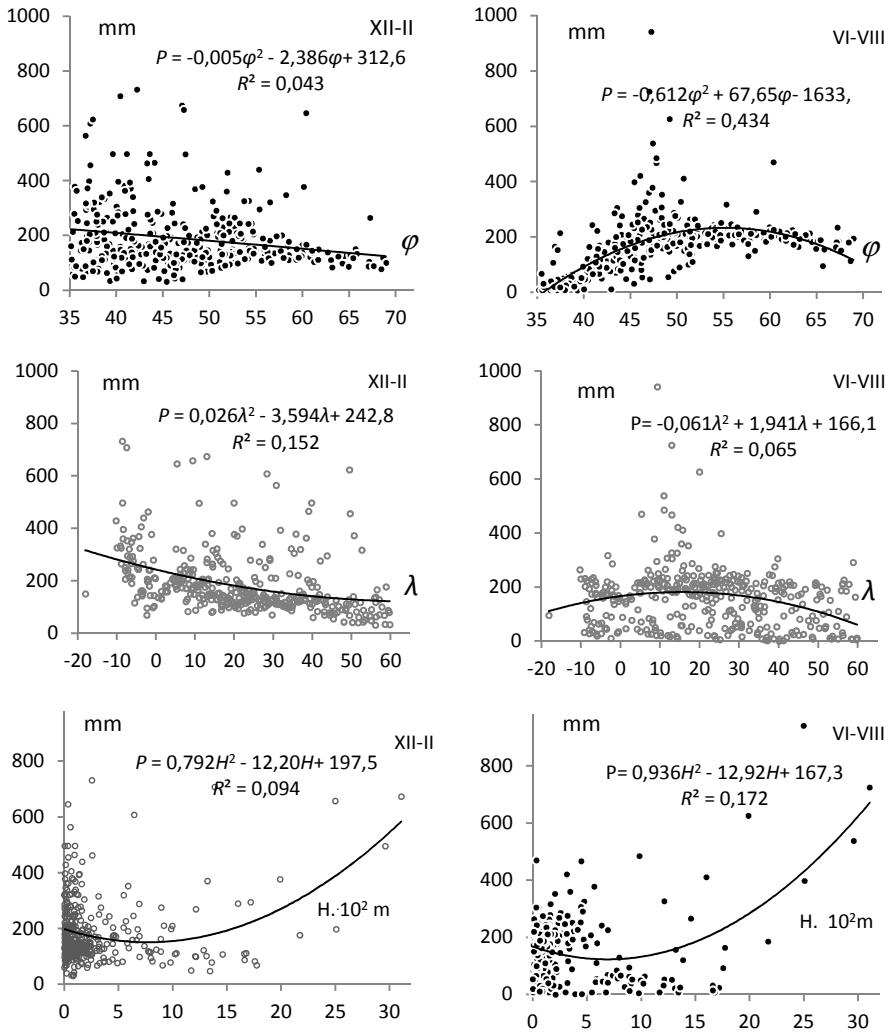
Zima	Lato
$U = -0,253H^2 + 12,64H + 212,6$	$U = -0,591H^2 + 10,13H + 780,8$
$T = -0,016H^2 + 0,107H + 0,345$	$T = -0,041H^2 + 0,635H + 18,35$

opisujące zależność usłonecznienia (U) i temperatury powietrza (T) w Europie od wysokości nad poziomem morza (hm) cechują się znacznie mniejszymi współczynnikami korelacji wielokrotnej ($U - R=0,293, R=0,205, T - R=0,173, R=0,385$). Usłonecznienie w zimie wzrasta od 212,6 do 333,9 godz. – z maksimum $U_{\max}=370,5$ godz. na wysokości $H_{\max}=2500$ m, a w lecie – maleje od 780,8 do 346,5 godz. – z maksimum $U_{\max}=824,2$ godz. na poziomie 857 m.



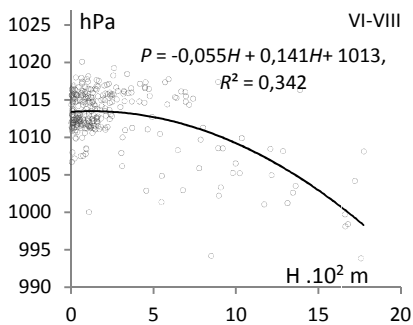
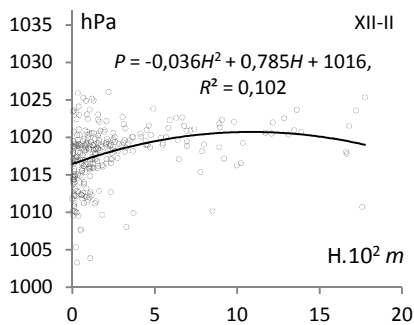
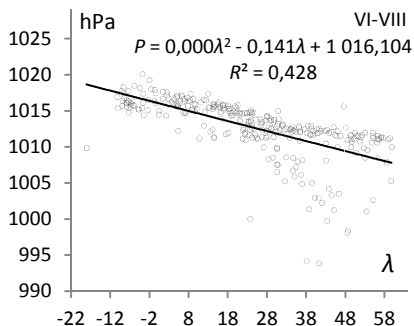
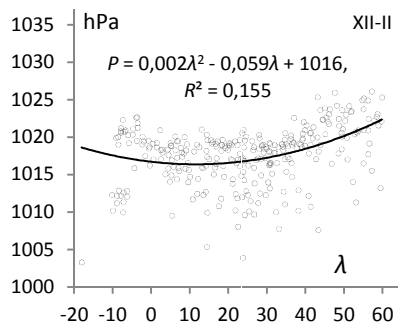
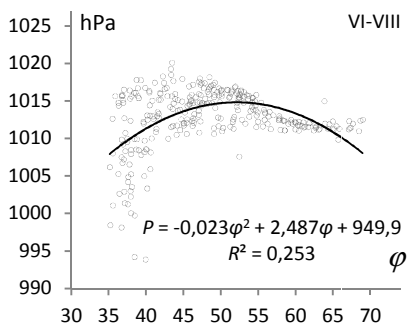
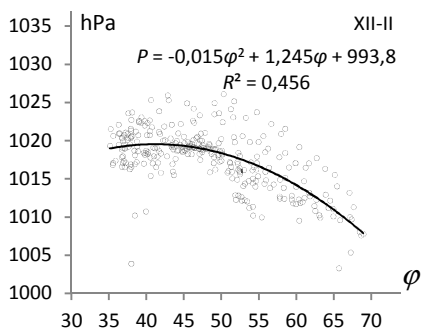
Rys. 2. Zależność temperatury powietrza w Europie od: szerokości geograficznej φ° , długości λ° i wysokości nad poziomem morza H , XII-II – Zima, VI-VIII – Lato

Fig. 2. Dependence of air temperature in Europe from latitude φ° , longitude λ° and altitude above sea level H , XII-II – Winter, VI-VIII – Summer

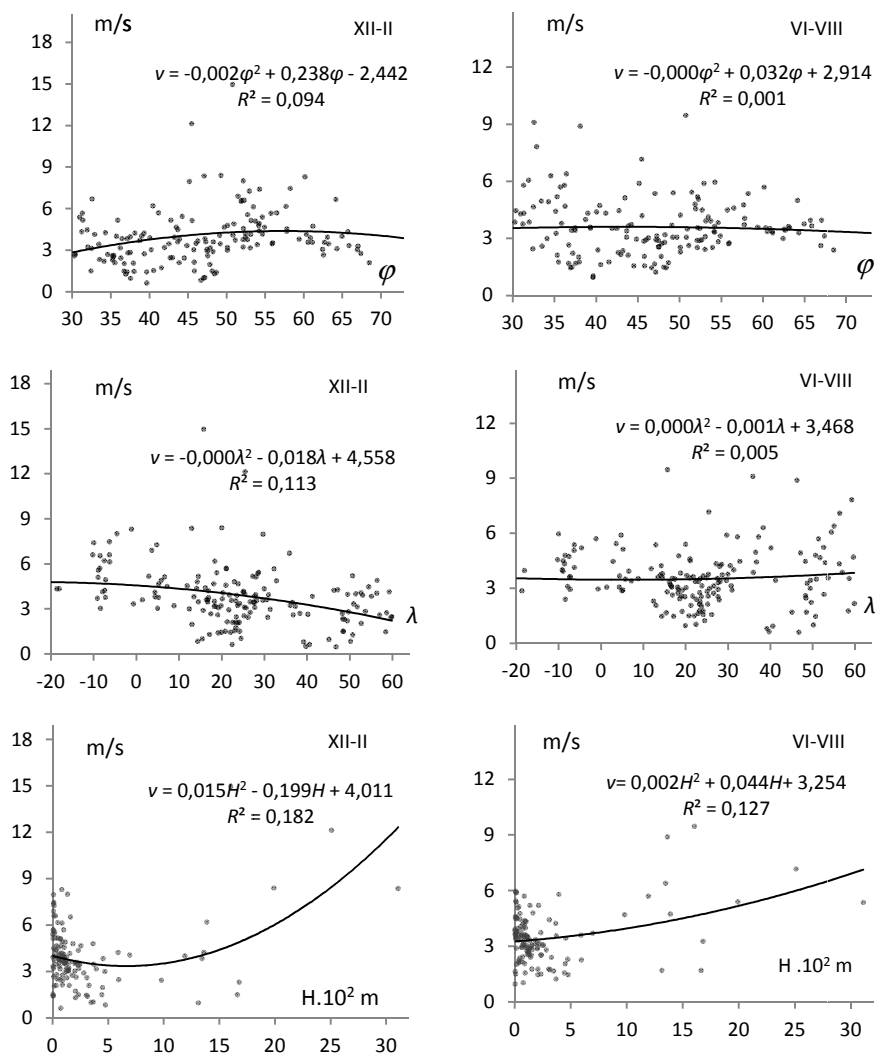


Rys. 3. Zależność opadów atmosferycznych w Europie od: szerokości geograficznej φ° , długości λ° i wysokości nad poziomem morza H , XII-II – Zima, VI-VIII – Lato

Fig. 3. Dependence of atmospheric precipitation in Europe from latitude φ° , longitude λ° and altitude above sea level H , XII-II – Winter, VI-VIII – Summer



Rys. 4. Zależność ciśnienia atmosferycznego w Europie od: szerokości geograficznej φ° , długości λ° i wysokości nad poziomem morza H , XII-II – Zima, VI-VIII – Lato
Fig. 4. Dependence of atmospheric pressure in Europe from latitude φ° , longitude λ° and altitude above sea level H , XII-II – Winter, VI-VIII – Summer



Rys. 5. Zależność prędkości wiatru w Europie od: szerokości geograficznej φ° , długości λ° i wysokości nad poziomem morza H XII-II – Zima, VI-VIII – Lato

Fig. 5. Dependence of wind velocity in Europe from latitude φ , longitude λ and altitude above sea level H , XII-II – Winter, VI-VIII – Summer

Temperatura powietrza w zasadzie maleje ze wzrostem wysokości nad poziomem morza: w zimie od $0,35^\circ\text{C}$ do $-17,0^\circ\text{C}$ – z maksimum $T_{\max} = 0,52^\circ\text{C}$ na poziomie $H_{\max} = 334$ m, a w lecie – maleje od $18,35$ do $-14,28^\circ\text{C}$, z niewielkim maksimum $T_{\max} = 20,8^\circ\text{C}$ na poziomie 774 m. Profile hipsometryczne zimowych i letnich sum opadów atmosferycznych są określone wielomianami regresji 2 stopnia (o współczynnikach korelacji $R = 0,306$, $R = 0,415$).

Zima	Lato
$P=0,792H^2 - 12,20H + 197,5$	$P=0,936H^2 - 12,92H + 167,3$

Opady atmosferyczne w Europie w zasadzie wzrastają ze wzrostem wysokości nad poziomem morza: w zimie od 197,5 do 830,4 mm – z $P_{\min}=150,5$ mm na wysokości, $H_{\min}=770$ m, a w lecie od 167,3 do 970,6 mm – z $P_{\min}=122,7$ mm na poziomie $H_{\min}=690$ m. Zależność prędkości wiatru od wysokości H wyrażają równania parabol regresji:

$$\text{zima } v=0,015H^2 - 0,199H + 4,011$$

$$\text{lato } v=0,002H^2 + 0,041H + 3,343$$

Prędkość wiatru w Europie ogólnie wzrasta ze wzrostem wysokości: w zimie od 4,0 do 17,2 m/s – z minimum $v_{\min}=3,35$ m/s na poziomie $H_{\min}=1090$ m, a w lecie od 3,25 do 7,62 m/s – z minimum $v_{\min}=3,98$ m/s na wysokości $H_{\min}=128$ m (rys. 5).

Cechy klimatu Polski w odniesieniu do równoleżnika $\varphi=52^\circ\text{N}$

Istotne znaczenie poznawcze ma porównanie średnich obszarowych wartości elementów klimatu w Polsce (środek: $\varphi_{\text{sr}}=52^\circ\text{N}$, $\lambda_{\text{sr}}=20^\circ\text{E}$, znajdującego się w pobliżu Warszawy) ze średnimi na równoleżniku tj. części lądowej, morskiej i euroazjatyckiej (tab. 3, wg Śmiałkowskiego 1991).

Tabela 3. Średnie wartości elementów klimatu na równoleżniku $\varphi=52^\circ\text{N}$ i wybranych jego częściach
Table 3. Average values of meteorological variables on longitudinal $\varphi=52^\circ\text{N}$

Elementy klimatu	miesiące	Polska $\lambda_{\text{sr}}=20^\circ\text{E}$	Eurazja	Łądy	Oceany	$\varphi=52^\circ\text{N}$
Usłonecznienie (godz.)	Styczeń	50	71	70	40	60
	Lipiec	230	260	255	48	168
	Rok	1900	1962	1875	1117	1622
Promieniowanie całkowite (kJ/cm ²)	Grudzień	6	7	7	5	7
	Czerwiec	62	59	59	34	51
	Rok	416	433	424	279	374
Temperatura powietrza (°C)	Styczeń	-3,0	-13,7	-15,2	2,1	-8,9
	Lipiec	19,0	17,1	16,6	11,5	14,7
Amplituda roczna (°C)	Rok	22,0	33,2	32,8	13,3	26,3
Wilgotność względna (%)	Styczeń	81	78	78	81	79
	Lipiec	73	66	66	88	74
Zachmurzenie (%)	Styczeń	75	60	57	66	60
	Lipiec	53	59	58	70	62
Opad atmosferyczny (mm)	Styczeń	25	33	25	27	26
	Lipiec	85	79	81	31	63
	Rok	500	516	546	1346	830
Ciśnienie atmosferyczne (hPa)	Styczeń	1014	1023	1020	1004	1015
	Lipiec	1013	1009	1010	1016	1012

Usłonecznienie rzeczywiste w styczniu w Polsce wynosi $U=50$ godzin. Jest ono bardziej zbliżone do średniego $U=40$ na oceanach niż lądach $U=70$ i mniejsze o 10 godzin od średniego na równoleżniku $\varphi=52^\circ\text{N}$. W lipcu suma godzin ze Słońcem w Polsce $U=230$ jest zbliżona do usłonecznienia na lądach i Eurazji – odpowiednio 255 i 260 niż na oceanach $U=48$ godzin i przewyższa znacznie średnią równoleżnika $U=186$ godzin). Sumy

roczne usłonecznienia rzeczywistego $U=1900$ godzin, które w Polsce są nieco większe niż na łądach $U=1875$ godzin i nieznacznie mniejsze niż w Eurazji – 1962 godzin.

Promieniowanie całkowite w grudniu $I_c=6$ kJ/cm² na obszarze Polski jest o 1 kJ/cm² mniejsze niż średnie na równoleżniku (łądy i Eurazja), a o 1 kJ/cm² większe niż na oceanach. W czerwcu suma promieniowania całkowitego wynosi w Polsce $I_c=62$ kJ/cm². Jest ono większe od średniego na oceanach $I_c=34$, na całym równoleżniku $I_c=51$ oraz łądach i Eurazji $I_c=59$ kJ/cm². Suma roczna promieniowania całkowitego w Polsce $I_c=416$ kJ/cm² jest większa od średniej na całym równoleżniku $I_c=374$ kJ/cm². Promieniowanie I_c jest zbliżone do średnich wartości w Eurazji $I_c=433$ i łądach $I_c=424$ kJ/cm².

Temperatura powietrza w styczniu w Polsce $T=-3,0^{\circ}\text{C}$ jest wyższa od średniej na równoleżniku $T=-8,9^{\circ}\text{C}$ i średniej na łądach i Eurazji – odpowiednio $T=-15,2$ i $T=-13,7^{\circ}\text{C}$, a niższa od średniej oceanów $T=2,1^{\circ}\text{C}$. Natomiast średnia lipca w Polsce $T=19^{\circ}\text{C}$ przewyższa średnie z obszarów oceanów $T=11,5$, całego równoleżnika $T=14,7$, łądów $T=16,6$ i Eurazji $T=17,1^{\circ}\text{C}$.

Amplituda roczna temperatury powietrza równa 22°C w Polsce jest mała w porównaniu z całym równoleżnikiem $26,3$ – łądami $32,8$ i Eurazją $33,2^{\circ}\text{C}$ a przewyższa średnią z oceanów $11,5^{\circ}\text{C}$.

Wilgotność względna powietrza $f=81\%$ w styczniu w Polsce jest większa od średniej z całego równoleżnika $f=79$ i z łądów i Eurazji $f=78\%$. W Polsce w lipcu wynosi ona $f=73\%$ i jest zbliżona do średniej z całego równoleżnika $f=74$, a jest większa niż na łądach i w Eurazji $f=66$ i nieco mniejsza od średniej z oceanów $f=88\%$.

Zachmurzenie w Polsce w styczniu $N=75\%$ jest duże w odniesieniu do oceanów $N=66$, całego równoleżnika $N=60$, Eurazji $N=60$ i łądów $N=57\%$. Natomiast zachmurzenie w lipcu $N=53\%$ jest wartością mniejszą od średniego z oceanów $N=70$, całego równoleżnika $N=62$, Eurazji $N=59$ i łądów $N=58\%$. Zachmurzenie na terytorium Polski wyróżnia się na tle równoleżnika $\varphi=52^{\circ}\text{N}$.

Suma opadów atmosferycznych w Polsce w styczniu wynosi $P=25$ mm i nie wyróżnia się, w odniesieniu do całego równoleżnika $P=26$, oceanów $P=27$, łądów $P=25$ oraz Eurazji $P=33$ mm. W lipcu sumy opadów atmosferycznych w Polsce są duże $P=85$ mm. Są one większe niż na oceanach $P=31$, na całym równoleżniku $P=63$, w Eurazji $P=79$ i na łądach $P=81$ mm. Sumy roczne opadów atmosferycznych w Polsce $P=500$ mm są niewielkie w porównaniu z oceanami $P=1346$, całym równoleżnikiem $P=830$ mm. Są one zbliżone do średniej na łądach $P=546$ i w Eurazji $P=516$ mm.

Ciśnienie atmosferyczne w Polsce o wartościach średnich: $p=1014$ hPa w styczniu i $p=1013$ hPa w lipcu jest zbliżone do średniego na całym równoleżniku (odpowiednio $p=1015$ i $p=1012$ hPa). W styczniu jest ono wyższe niż średnie nad oceanami $p=1004$ hPa, a niższe od średnich wartości na łądach $p=1020$ i w Eurazji $p=1023$. W lipcu zaś jest przeciwnie, ciśnienie atmosferyczne w Polsce jest niższe niż na oceanach $p=1016$, a wyższe niż na łądach $p=1010$ i w Eurazji $p=1009$ hPa)

Z porównań wynika, że średnie wartości elementów klimatu w Polsce w miesiącach zimowych są zbliżone do wartości mierzonych na stacjach położonych w pobliżu równoleżnika $\varphi=52^{\circ}\text{N}$ nad oceanami, a w letnich – nad łądami. Obszar Polski pod względem przebiegu rocznego sum opadów jest podobny do obszarów Azji. Natomiast temperatura powietrza w Polsce jest zimą znacznie niższa niż nad oceanami, a wyższa niż nad łada-

mi. Latem powietrze nad Polską jest cieplejsze niż nad obszarami – o klimacie morskim i chłodniejsze niż nad obszarami – o klimacie kontynentalnym. Są to cechy przejściowe klimatu Polski – od klimatu morskiego do kontynentalnego.

Podsumowanie

W pracy określono najważniejsze cechy klimatu Europy, wynikające z jej położenia w umiarkowanych szerokościach geograficznych – w sąsiedztwie Oceanu Atlantyckiego i strefowego ukształtowania jej powierzchni. Badania przeprowadzono na podstawie wyników pomiarów podstawowych elementów klimatycznych na stacjach europejskich w latach 1961-1990 (CLINO, 1991).

W tym celu pola zmiennych klimatologicznych (usłonecznienie, temperatura powietrza, opady, ciśnienie atmosferyczne i prędkość wiatru) opisano empirycznymi modelami – równaniami hiperpłaszczyzn regresji $y=f(\varphi, \lambda, H)$. Aproksymują one średnie pola tych zmiennych meteorologicznych w Europie w latach 1961-1990 tj. obszarze o współrzędnych: $35,1^\circ \leq \varphi \leq 69,0^\circ$, $-18,8^\circ \leq \lambda \leq 59,8^\circ$, $0 \leq H \leq 37$ hm. Symulują one zmienność strefową klimatu (uwarunkowaną dopływem promieniowania słonecznego), oddziaływanie Oceanu Atlantyckiego oraz wpływ wysokości nad poziomem morza.

Gradyenty południkowe ($-a_1$) wskazują o ile zmieniają się elementy klimatu wzdłuż południka, gdy przesuniemy się ku północy o $\Delta\varphi = 1^\circ$. Gradyenty równoleżnikowe ($-a_2$) wyrażają zmianę elementów klimatu ku wschodowi, gdy odległość (λ) od Oceanu Atlantyckiego wzrośnie o $\Delta\lambda = 1^\circ$. Natomiast gradyenty hipsometryczne ($-a_3$) są miarą zmian elementów klimatu ze wzrostem wysokości nad poziomem morza o $\Delta H = 100$ m.

Przykładowo podano średnie gradyenty temperatury powietrza na obszarze Europy (tab. 4)

Tabela 4. Gradyenty temperatury powietrza w Europie

Table 4. The gradients of air temperature in Europe

	a_1	a_2	a_3
Zima	-0,67	-0,18	-0,52
Lato	-0,52	0,09	-0,50
Rok	-0,53	-0,04	-0,50

Ogólne cechy pól zmiennych klimatologicznych w Europie opisują profile: południkowy – $y(\varphi)$, równoleżnikowy – $y(\lambda)$ i hipsometryczny $y(H)$, określone wielomianami regresji 2 stopnia względem szerokości geograficznej φ i długości λ , wyrażonych w „ $^\circ$ ” oraz wysokości nad poziomem morza – w hm. Profile południkowe temperatury powietrza $T(\varphi)$ spełniają w ciągu całego roku w przybliżeniu zasadę strefowości klimatu Ziemi tj. „spadek temperatury powietrza ze wzrostem szerokości geograficznej φ ”. Temperatura powietrza na obszarze Europy (rys. 2) maleje zimą od $7,7^\circ\text{C}$ do $-12,3^\circ\text{C}$, a latem od ponad $26,2^\circ\text{C}$ do $12,4^\circ\text{C}$. Minimum paraboli w lecie $T_{\min} = 12,8^\circ\text{C}$ występuje na równoleżniku $\varphi_{\min} = 71,8^\circ$. Profile równoleżnikowe $T(\lambda)$ wskazują, że pole temperatury powietrza w Europie jest deformowane oddziaływaniem Oceanu Atlantyckiego – głównie w miesiącach zimowych. Temperatura powietrza prawie liniowo zmienia się z zachodu na wschód: w zimie spada od $8,9$ do $-9,2^\circ\text{C}$, a w lecie wzrasta od $16,6$ do $20,1^\circ\text{C}$. Profile hipsometryczne temperatury powietrza $T(H)$ w Europie charakteryzują jej średnią piono-

wą zmienność. Temperatura powietrza w zasadzie maleje ze wzrostem wysokości nad poziomem morza: w zimie od 0,35°C do -17,0°C – z maksimum $T_{\max}=0,52^{\circ}\text{C}$ na poziomie $H_{\max}=334$ m, a w lecie – maleje od 18,35 do -14,28°C, z niewielkim maksimum $T_{\max}=20,8^{\circ}\text{C}$ na poziomie 774 m.

Literatura

- Ahmed B. J., 2001, *Wpływ czynników geograficznych na klimat Iraku*, Prace i Studia Geograficzne, t. 28
- Barańska A., 1994, *Klimat Polski na tle klimatu Europy* (praca magisterska w Zakładzie Klimatologii)
- Boryczka J. Stopa-Boryczka M., i in., 2005, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. XIX pt. *Cechy termiczne klimatu Europy*, Wyd. UW, Warszawa
- Chromow S. P., 1973, *Meteorologia i Klimatologia*, PWN, Warszawa
- Climatological Normals (CLINO) for Climate and Climate Ship Stations for the Period 1961-1990* (1991), WMO TP 117
- Lauterburg A., 1990, *Klimaschwankungen in Europa, Rauzeitliche Untersuchungen in der periode 1841-1960*, Bern
- Martyn D. 1987, *Klimaty kuli ziemskiej*, PWN, Warszawa
- Piotrowski A., 2001, *Zmiany roczne pola temperatury powietrza w Kanadzie* (praca magisterska w Zakładzie Klimatologii)
- Romer E., 1949, *Regiony klimatyczne Polski*, Prace Wrocł. Tow. Nauk, ser. B, nr 16
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J. i in., 1974, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. I, Wyd. UW, Warszawa
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J. i in., 1990, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. VI pt. *Wpływ Oceanu Atlantyckiego i ukształtowania powierzchni Ziemi na pole temperatury powietrza w Polsce*, Wyd. UW, Warszawa
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J. i in., 1994, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. VIII pt. *Cechy oceaniczne klimatu Europy*, Wyd. UW, Warszawa
- Śmiałkowski J., 1991, *Klimat Polski na tle klimatu strefy umiarkowanej Półkuli Północnej*, Warszawa (praca magisterska w Zakładzie Klimatologii)
- Van Than N., Stopa-Boryczka M., 1992, *Wpływ czynników geograficznych na klimat Wietnamu*, Miscellanea Geographica, t. 5
- Witwicki G. N., 1980, *Zonalność klimata Zemli*, Moskwa.
- World Survey of Climatology, vol. 5, 1970. *Climates of Northern and Western Europe*, Amsterdam-London, New York
- World Survey of Climatology, vol. 6, 1977. *Climates of Northern and Western Europe*, Amsterdam-London, New York
- *) Prace i Studia Geograficzne, 2009, T. 41, ss.191-208. (artykuł zmieniony)

IV. CECHY TERMICZNE KLIMATU EUROPY

Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA,
Elżbieta BŁAŻEK, Jan SKRZYPCZUK

Zasadnicze cechy pola temperatury powietrza w Europie opisują profile: południkowy – $T(\lambda)$, równoleżnikowy – $T(\varphi)$ i hipsometryczny – $T(H)$, określone wielomianami regresji 4 stopnia względem szerokości geograficznej φ , długości λ i wysokości nad poziomem morza H (rys. 1-4). Profile te charakteryzują obserwowane pole temperatury powietrza w wybranych miesiącach (styczeń, lipiec) i roku. Profil południkowy $T(\lambda)$ wskazuje zmienność temperatury (średnią wzdłuż równoleżników) tj. w kierunku południe-północ. Profil równoleżnikowy $T(\varphi)$ wyraża zmienność temperatury (średni wzdłuż południków miejscowych) tj. z zachodu na wschód. Natomiast profil hipsometryczny $T(H)$ charakteryzuje zależność temperatury powietrza od wysokości nad poziomem morza.

Profile temperatury powietrza w Europie

Spadek temperatury powietrza ze wzrostem szerokości geograficznej w Europie wynosi: styczeń od 20°C do -20°C, lipiec od 28 do 12°C, rok od 24 do -8°C.

Profile równoleżnikowe cechują trzy ekstrema, które najbardziej różnią się w lipcu. Jedno maksimum 17°C występuje na zachód od południka Greenwich ($\lambda = 10^\circ$), a znacznie wyższe (21°C) na wschód od Polski ($\lambda = 35^\circ$). Minimum zaś lokalne (zbliżone do maksimum) przypada w pobliżu południka $\lambda = 15^\circ$. Najwyższe wartości temperatury powietrza obserwuje się w styczniu w pobliżu południka $\lambda = 10^\circ$, a w lipcu $\lambda = 35^\circ$. Średnia roczna temperatura powietrza jest najwyższa na południku $\lambda = -10^\circ$ a najniższa wzdłuż południka $\lambda = 40^\circ$. Wynika to z ocieplającego wpływu Oceanu Atlantyckiego zimą, a ochładzającego latem.

W profilu pionowym $T(H)$ temperatura powietrza w obydwu miesiącach i roku maleje ze wzrostem wysokości bezwzględnej: w styczniu od 4°C na poziomie morza do -12°C na poziomie 3100 m, w lipcu od 19°C ($H=0$) do -2°C ($H=3600$ m), w roku odpowiednio od 11°C do -8°C.

Zależności temperatury powietrza od wysokości terenu opisywane wielomianami regresji 4 stopnia są zbliżone do liniowych (ich wykresy mało odbiegają od linii prostych).

Profile rocznej amplitudy temperatury powietrza: południkowy $A(\varphi)$, równoleżnikowy $A(\lambda)$ i hipsometryczny $A(H)$ – wykresy wielomianów regresji 4 stopnia opisują jej zmienność roczną w Europie.

W profilu południkowym, roczna amplituda temperatury powietrza wzrasta z południa na północ Europy od 7°C ($\varphi = 35^\circ$) do 35°C ($\varphi = 68^\circ$). Krzywa $A(\varphi)$ cechuje się punktem przegięcia na równoleżniku $\varphi = 52^\circ$ (Warszawa), w którym amplituda $A = 17,5^\circ\text{C}$. To znaczy, że roczna amplituda temperatury powietrza wzrasta ze wzrostem szerokości geograficznej szybciej na północy Europy niż na południu.

W profilu równoleżnikowym rocznej amplitudy temperatury powietrza $A(\lambda)$ zaznacza się jej wzrost dopiero od południka $\lambda = -10^\circ$. Zmienia się ona na obszarze Europy od około 10°C ($\lambda = -10^\circ$) do 32°C ($\lambda = 48^\circ$). Wykres $A(\lambda)$ między południkami $\lambda = -10^\circ$, $\lambda = 48^\circ$ jest prawie linią prostą. Dla południka $\lambda = 21^\circ$ (Warszawa) otrzymano roczną amplitudę $A = 22,5^\circ\text{C}$.

Do interesujących zaliczyć można profil hipsometryczny rocznej amplitudy temperatury powietrza $A(H)$ w Europie, ze względu na dwa maksima lokalne i jedno minimum. Maksimum absolutne amplitudy $A(H)$ wynoszące 21°C występuje na wysokości około 500 m n.p.m. Poniżej tego poziomu i powyżej amplitudy roczne temperatury powietrza są mniejsze – na poziomie morza $A=15^{\circ}\text{C}$. Minimum amplitudy rocznej równe $A=13^{\circ}\text{C}$ przypada na wysokości 2000 m n.p.m. Po czym roczna amplituda temperatury powietrza wzrasta, osiągając drugie niższe maksimum $A=16^{\circ}\text{C}$ na poziomie nieco powyżej 3000 m n.p.m. Dla poziomu $H=108$ m (Warszawa) otrzymuje się wartość amplitudy rocznej $A=17^{\circ}\text{C}$.

Równania wielomianów 4 stopnia regresji, opisujących profile: południkowe, równoleżnikowe i hipsometryczne temperatury powietrza (T) i rocznej amplitudy (A) w Europie zestawiono w tab. 1.

Tabela 1. Wielomiany 4 stopnia regresji temperatury powietrza (T) i rocznej amplitudy (A) względem szerokości geograficznej (φ), długości geograficznej (λ) i wysokości nad poziomem morza (H) w Europie

Table 1. Fourth order regression polynomials for air temperature (T) and annual amplitudes (A) with respect to latitude (φ), longitude (λ) and height above the sea level (H) in Europe

$T=f(\varphi)$		R
I	$T=152,4-0,0092\varphi-0,3076\varphi^2+0,0076\varphi^3-0,0000532\varphi^4$	0,565
VII	$T=72,56-0,0026\varphi-0,0886\varphi^2+0,0019\varphi^3-0,0000116\varphi^4$	0,631
I-XII	$T=72,56-0,0026\varphi-0,0886\varphi^2+0,0019\varphi^3-0,00003\varphi^4$	0,699
$T=f(\lambda)$		
I	$T=4,210-0,3696\lambda-0,0066\lambda^2+0,0006\lambda^3-0,000009\lambda^4$	0,676
VII	$T=17,89-0,0032\lambda-0,0010\lambda^2+0,0003\lambda^3-0,0000055\lambda^4$	0,211
I-XII	$T=10,88-0,1733\lambda-0,0038\lambda^2+0,0004\lambda^3-0,0000067\lambda^4$	0,377
$T=f(H)$		
I	$T=3,538-1,939H+0,2259H^2-0,0102H^3+0,00014H^4$	0,454
VII	$T=18,37+0,6447H-0,1396H^2-0,0056H^3-0,0000739H^4$	0,592
I-XII	$T=10,67-0,4418H+0,0152H^2-0,0012H^3+0,00002H^4$	0,542
Amplituda roczna		
$A=F(\varphi)$	$A=-75,29+0,006253\varphi+0,2099\varphi^2-0,005448\varphi^3+0,00003976\varphi^4$	.
$A=F(\lambda)$	$A=13,81+0,3592\lambda+0,005583\lambda^2-0,0002458\lambda^3+0,000002795\lambda^4$	.
$A=F(H)$	$A=15,01+2,507H-0,3565H^2+0,01541H^3-0,0002093H^4$	.

Profile gradientów temperatury powietrza w Europie

Dynamikę zmian temperatury powietrza w Europie wskazują profile gradientów: południkowych, równoleżnikowych i hipsometrycznych, obliczonych z profili: $T(\varphi)$, $T(\lambda)$, $T(H)$. Profile gradientów: południkowego, równoleżnikowego i hipsometrycznego temperatury powietrza w Europie ilustrują rysunki 5-8.

Profil gradientu południkowego charakteryzuje zmienność temperatury powietrza w Europie w kierunku południe, wyrażona na $1^{\circ}\varphi$. Najmniejsze spadki temperatury powietrza: styczeń – 1,4, lipiec – 0,2, rok – $0,4^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\varphi$ występują w pasie nizin mniej więcej między ($\varphi=52^{\circ}$ i $\varphi=56^{\circ}$). Natomiast największe spadki temperatury ku północy wy-

stępują zarówno na samej północy Europy: styczeń – -2,6, lipiec – -1,2, rok – -1,5°C/1°φ, jak te na południu: styczeń – 4,0, lipiec – 0,6, rok – 2,4°C/1°φ. Warszawa znajduje się w pasie tych najmniejszych spadków wynoszących: 0,8 w styczniu, 0,3 w lipcu i 0,5°C/1°φ w roku.

Gradienty równoleżnikowe określają zmienność temperatury powietrza w°C/1°λ. Krzywe równoleżnikowych gradientów temperatury powietrza cechują się dwoma ekstremami: minimum występującym w pobliżu południka Greenwich (λ=0°) i maksimum na wschód od Warszawy (λ=25°). Ekstrema te mało różnią się od siebie: styczeń – minimum -0,4, maksimum -0,2°C/1°λ, lipiec – minimum 0,0, maksimum 0,15°C/1°λ, rok – minimum -0,2°C/1°λ, maksimum 0°C/1°λ. Skrajne wartości gradientów równoleżnikowych na obszarze Europy wynoszą: styczeń od 0,6 do -0,3, lipiec od 0,5 do -0,2°C/1°λ, rok od 0,6 do -0,4°C/1°λ. Gradienty równoleżnikowe zmieniają znak w ciągu roku: w styczniu na krańcach zachodnich Europy, a w lipcu w pobliżu λ=0° i λ=35°. Dla południka lokalnego, na którym leży Warszawa (λ=21°) gradient przyjmuje wartości: styczeń – -0,3, lipiec – 0,1, rok = 0°C/1°λ.

Najważniejszą cechą profilu gradientu hipsometrycznego temperatury powietrza w Europie są dwa ekstrema. W styczniu: maksimum 0°C/100 m na wysokości ok. 900 m, i minimum -0,8°C na wysokości 2600 m n.p.m. Natomiast w lipcu jest odwrotnie: minimum -0,8°C/100 m na wysokości 1200 m, a maksimum -0,5°C/100 m na poziomie 2800 m n.p.m. Ponadto gradient hipsometryczny zmienia znak. W styczniu temperatura powietrza wzrasta ze wzrostem wysokości n.p.m. na wysokościach powyżej 3400 m, a w lipcu – poniżej 200 m.

Na uwagę zasługuje też profil gradientu hipsometrycznego średniej rocznej temperatury powietrza w Europie. Najpierw tj. do wysokości 600 m n.p.m. spadek temperatury powietrza maleje do 0,3°C/100 m, a potem szybko wzrasta do 0,7°C/100m na wysokości 2500 m n.p.m. Po osiągnięciu ekstremum, spadki temperatury powietrza szybko maleją do 0,3°C/100 m – na wysokości 3600 m n.p.m. Na wysokości położenia Warszawy (H=108 m), gradient hipsometryczny wynosi: styczeń - 1.6°C/100 m, lipiec 0.5°C/100 m, rok - 0.4°C/100 m n.p.m.

Profile gradientów rocznej amplitudy temperatury powietrza: południkowe, równoleżnikowe i hipsometryczne wyrażone odpowiednio w °C/1°φ, °C/1°λ, °C/100m otrzymane na podstawie wielomianów 4 stopnia $A(\varphi)$, $A(\lambda)$, $A(H)$ obrazują wykresy na rys. 8.

Gradient południkowy rocznej amplitudy temperatury powietrza w Europie ma minimum 0°C/1°φ, na równoleżniku φ=51,4°, przecinającym obszar Polski. Na północ i południe od tego równoleżnika, gradient południkowy rocznej amplitudy rośnie, osiągając 1,4°C/1°φ na szerokości geograficznej (φ=36°) i ponad 2°C/1°φ – w szerokościach najwyższych w Europie.

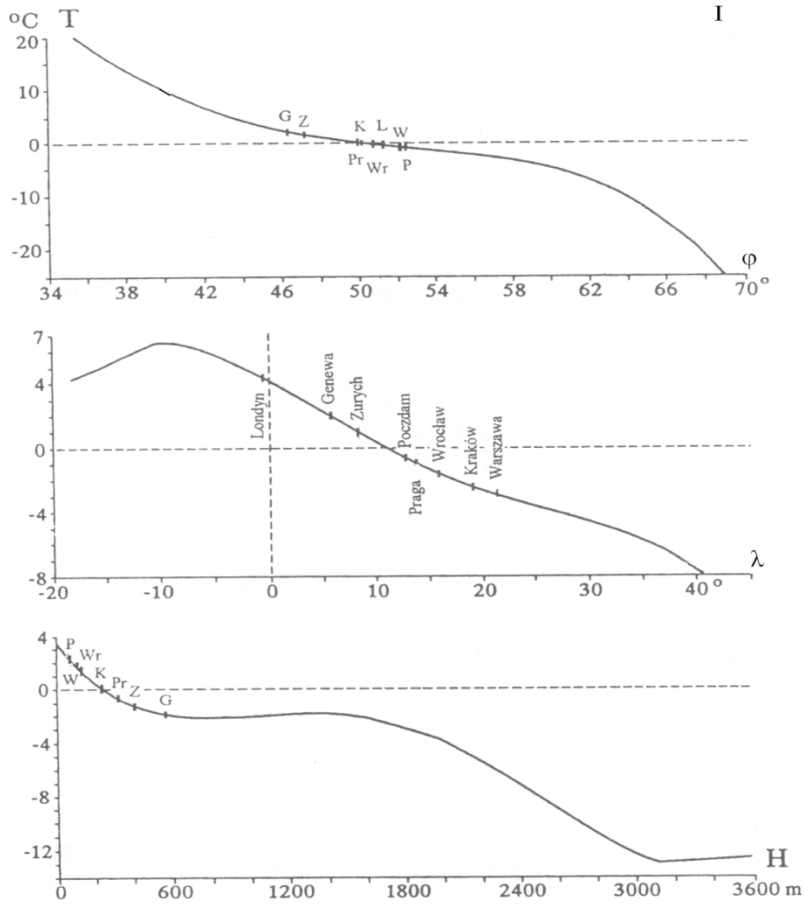
Gradient równoleżnikowy rocznej amplitudy temperatury powietrza w Europie ma maksimum 0,4°C/1°λ w pobliżu południka λ=10° i minimum (niewiele różniące się od tego maksimum) 0,3°C/1°λ przy długości geograficznej λ=34°. Gradient równoleżnikowy jest ujemny na zachód od południka λ=15°, a dodatni na wschód. Gradient zeroowy=0°C/1°λ przypada mniej więcej na południk λ=15°. W Warszawie równoleżnikowy przyrost rocznej amplitudy temperatury powietrza z zachodu na wschód wynosi: =0,3°C/1°λ.

Gradient hipsometryczny rocznej amplitudy temperatury powietrza w Europie ma dwa ekstrema: minimum ujemne $-0,9^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ na wysokości 1100 m n.p.m. i maksimum dodatnie $0,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ na poziomie 2600 m. Gradient hipsometryczny rocznej amplitudy temperatury powietrza w Europie zmienia znak na trzech poziomach: $H=500\text{ m}$ (z dodatniego na ujemny), $H=2000\text{ m}$ (z ujemnego na dodatni) i $H=3000\text{ m}$ (ponownie z dodatniego na ujemny). Na wysokości $H=108\text{ m}$ (poziom położenia Warszawy), gradient hipsometryczny jest dodatnim i średnio w granicach Europy wynosi $1,8^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

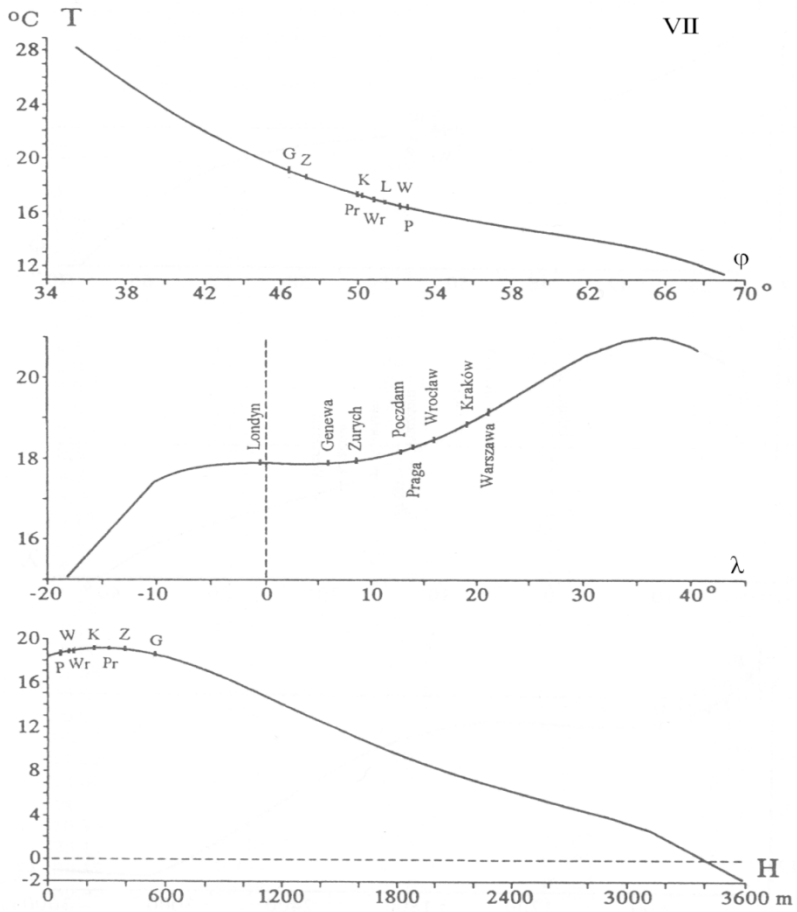
Modele graficzne (wykresy wielomianów 4-tego stopnia) symulujące zmiany przestrzenne w cyklu rocznym stanowią dobre narzędzie określania zasadniczych cech termicznych klimatu badanych miast Europy środkowej i zachodniej: Warszawa, Kraków, Wrocław, Praga, Poczdam, Zurych, Genewa, Londyn. Miejscowości te mało różnią się szerokością geograficzną ($46\text{-}53^{\circ}$). Tak więc rozbieżność między amplitudami wyznaczonych cykli nie jest uwarunkowana różnicą szerokości geograficznej. Leżą one między południkami $0\text{-}22^{\circ}$ w przedziale wysokości nad poziomem morza $0\text{-}600\text{ m}$. Przeważają stacje nizinne.

Aproksymacja pola temperatury powietrza w Europie – profile średniej temperatury powietrza i geograficznych gradientów – świadczą, że klimat miast jest głównie uwarunkowany położeniem geograficznym. Miasta położone w zachodniej Europie cechują się klimatem oceanicznym, a zlokalizowane we wschodniej części Europy – kontynentalnym. Analogiczna prawidłowość występuje w Polsce. Warszawa znajduje się w strefie oddziaływań mas powietrza polarnego morskigo i kontynentalnego. Profile temperatury powietrza: południkowy, równoleżnikowy, hipsometryczny wskazują, że strefowość klimatu Europy jest najbardziej deformowana przez góry (głównie Alpy) i Ocean Atlantycki. Znaczną deformację pola temperatury powietrza powodują duże miasta. W miastach rozbieżność między wartościami temperatury otrzymanymi z modeli statystycznych i zmierzonymi jest największa. W Warszawie, te różnice temperatury powietrza są rzędu 1°C .

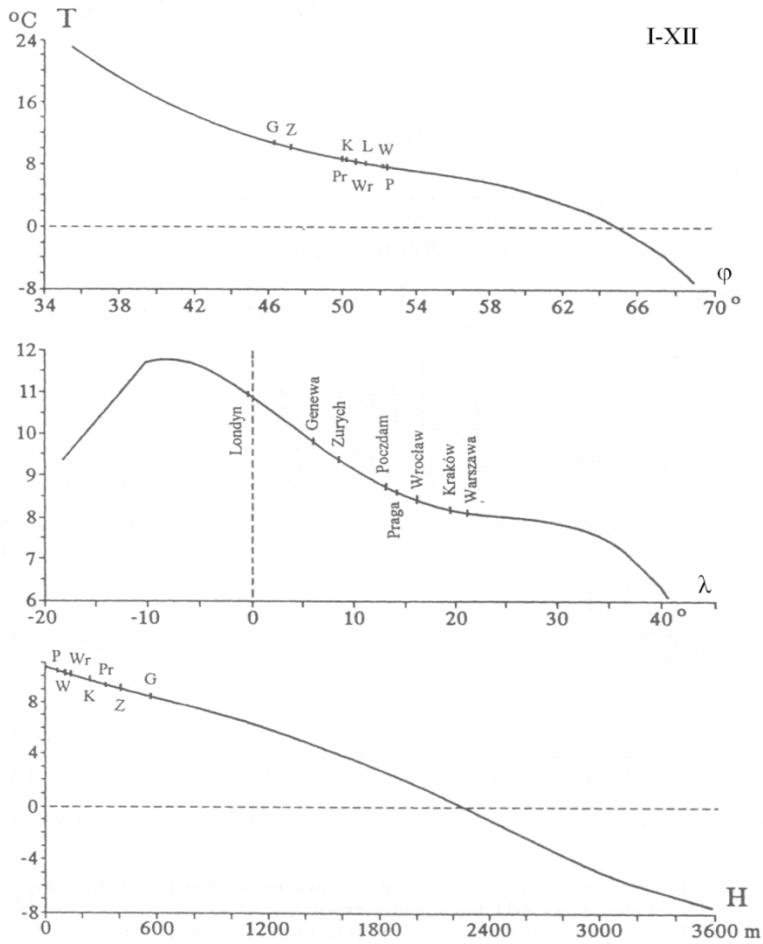
*Rozdział III.1. z *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XI pt. *Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie*, 1998 (zmieniony)



Rys. 1. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\varphi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – Styczeń
Fig. 1. Profiles of air temperature in Europe: latitudinal $T(\varphi)$, longitudinal $T(\lambda)$, and hypsometric $T(H)$ – January

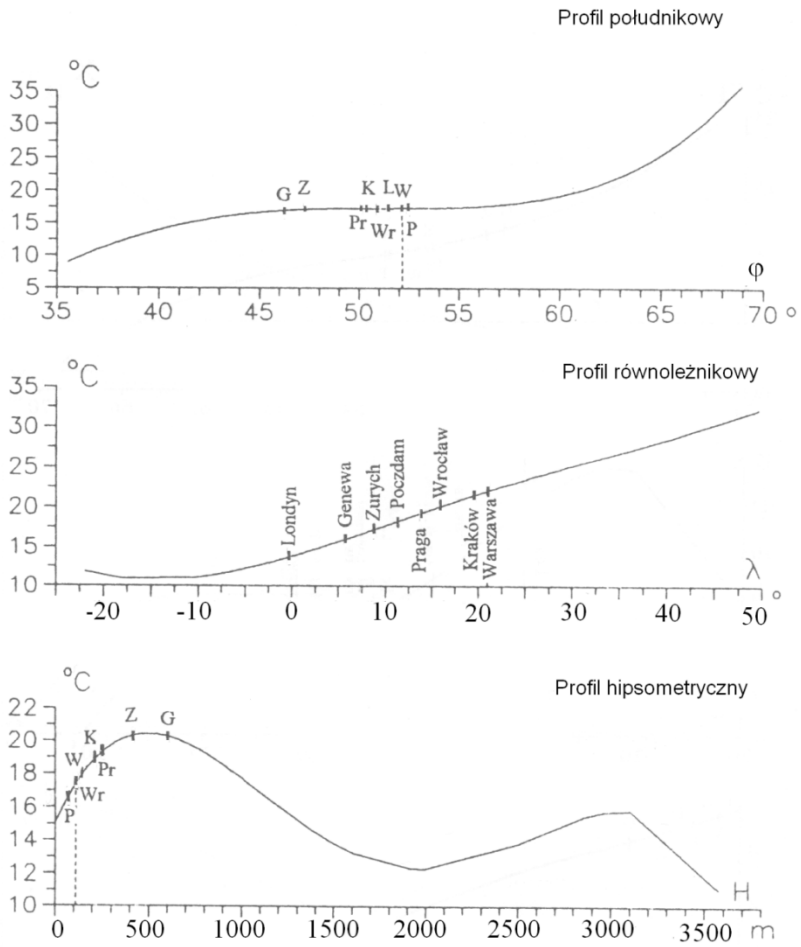


Rys. 2. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\varphi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – Lipiec
Fig. 2. Profiles of air temperature in Europe: latitudinal $T(\varphi)$, longitudinal $T(\lambda)$, and hypsometric $T(H)$ – July

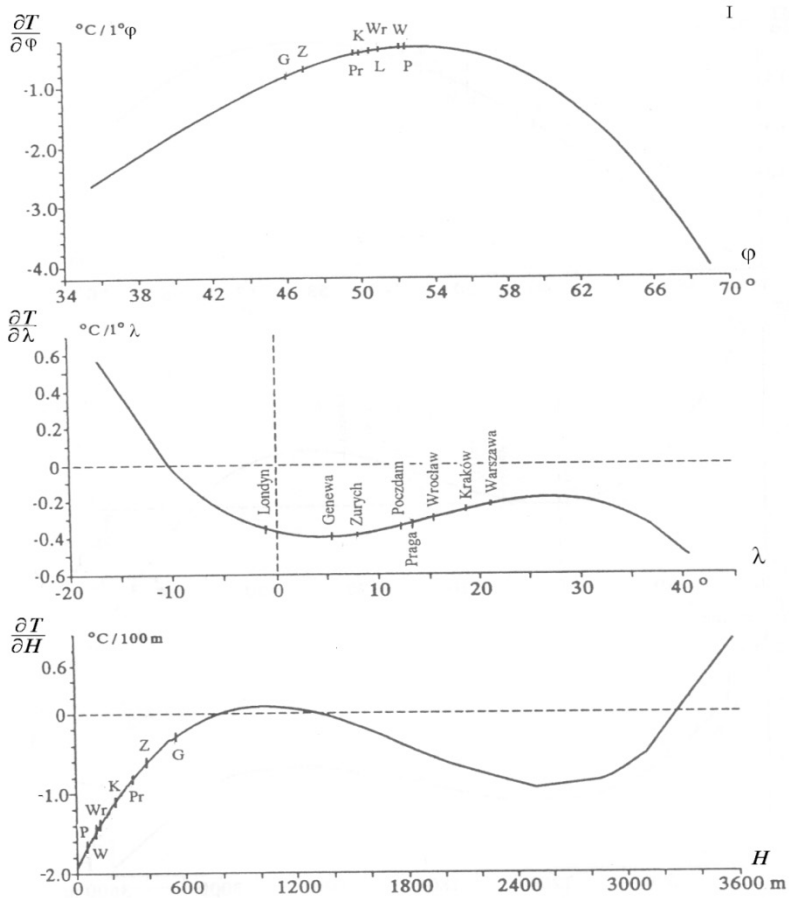


Rys. 3. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\varphi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – Rok

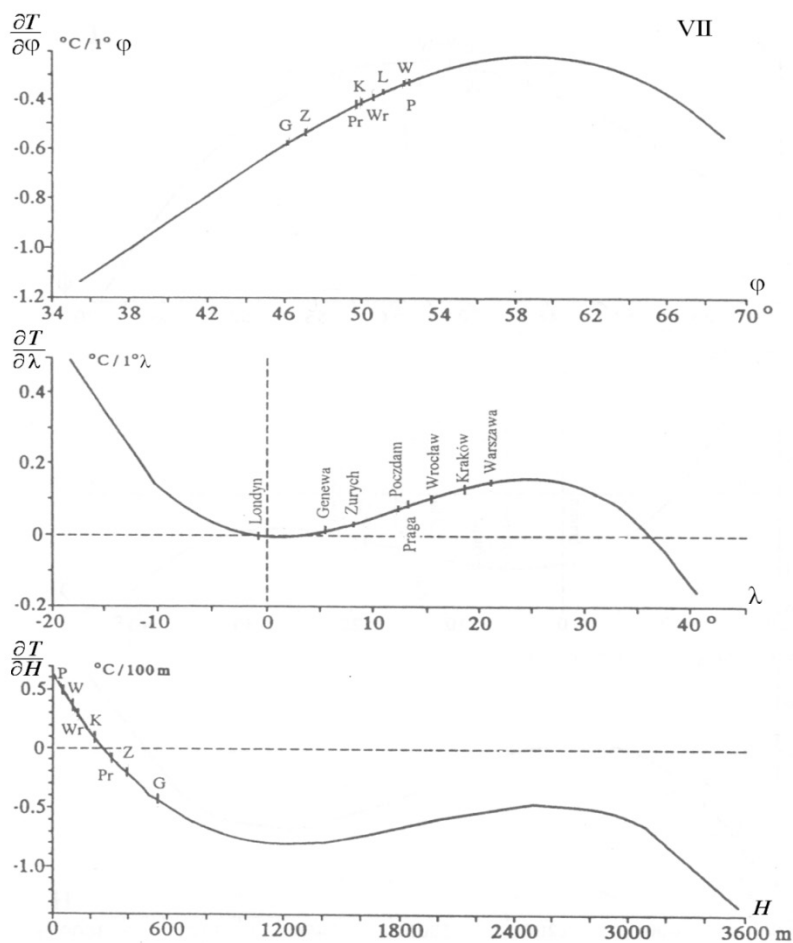
Fig. 3. Profiles of air temperature in Europe: latitudinal $T(\varphi)$, longitudinal $T(\lambda)$, and hypsometric $T(H)$ – Year



Rys. 4. Profile rocznej amplitudy temperatury powietrza w Europie: południkowy $A(\varphi)$, równoleżnikowy $A(\lambda)$, hipsometryczny $A(H)$
Fig. 4. Profiles of annual amplitudes air temperature in Europe: latitudinal $A(\varphi)$, longitudinal $A(\lambda)$, and hypsometric $A(H)$

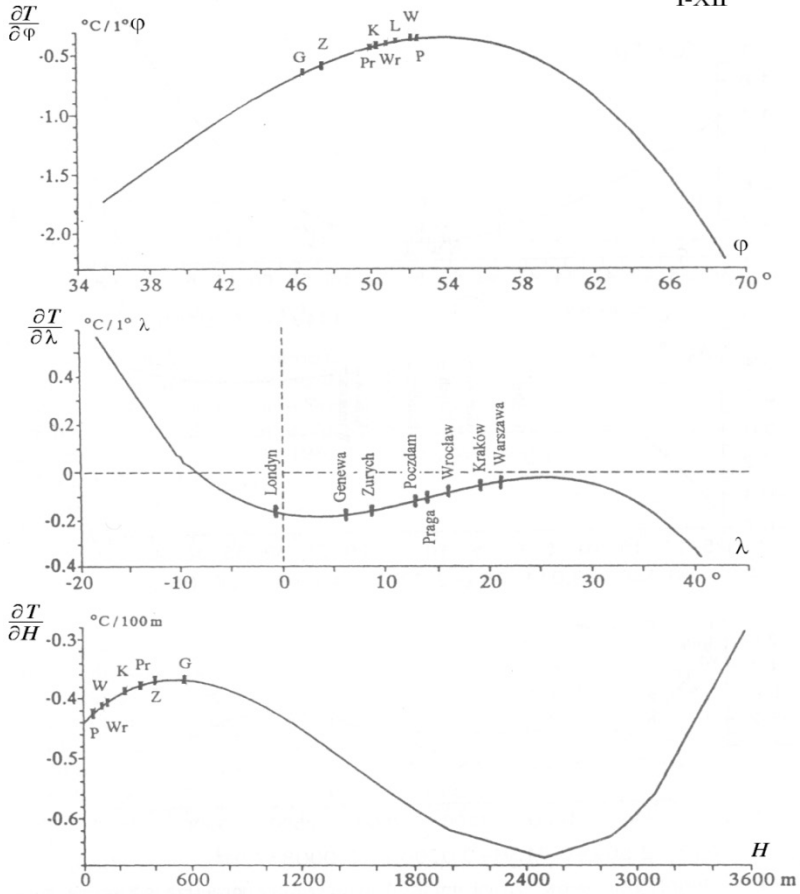


Rys. 5. Profile gradientów temperatury powietrza w Europie: południkowy ($\partial T/\partial \varphi$), równoleżnikowy ($\partial T/\partial \lambda$), hipsometryczny ($\partial T/\partial H$) – Styczeń
Fig. 5. Profiles of gradients of air temperature in Europe: latitudinal ($\partial T/\partial \varphi$), longitudinal ($\partial T/\partial \lambda$) and hypsometric ($\partial T/\partial H$) – January



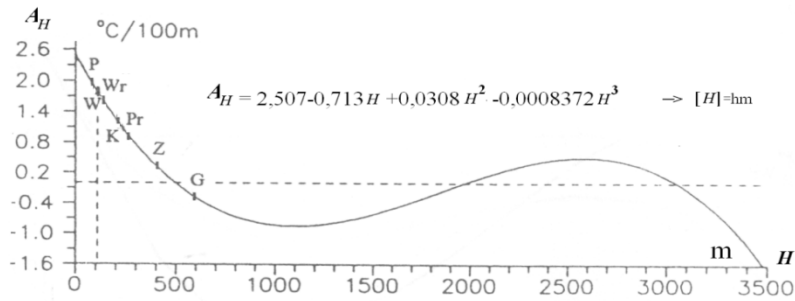
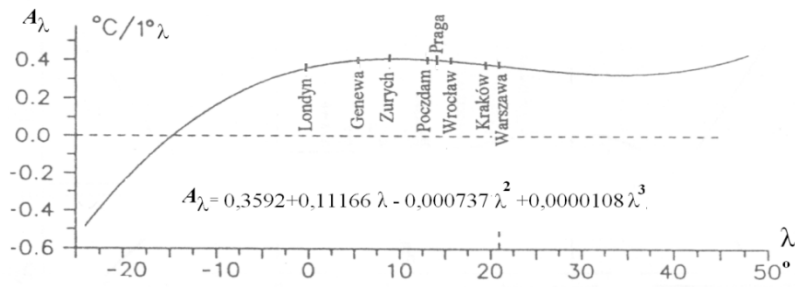
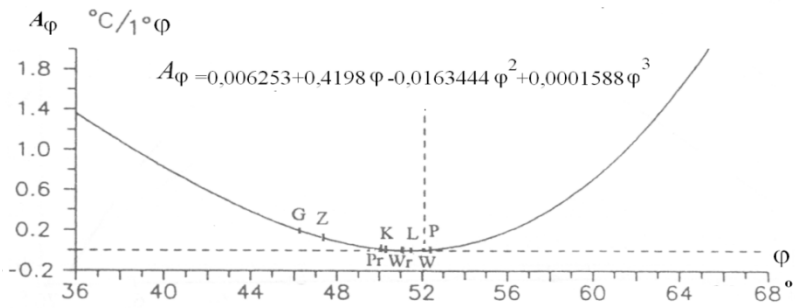
Rys. 6. Profile gradientów temperatury powietrza w Europie: południkowy ($\partial T/\partial \phi$), równoleżnikowy ($\partial T/\partial \lambda$), hipsometryczny ($\partial T/\partial H$) – Lipiec

Fig. 6. Profiles of gradients of air temperature in Europe: latitudinal ($\partial T/\partial \phi$), longitudinal ($\partial T/\partial \lambda$) and hypsometric ($\partial T/\partial H$) – July



Rys. 7. Profile gradientów temperatury powietrza w Europie: południkowy ($\partial T/\partial \varphi$), równoleżnikowy ($\partial T/\partial \lambda$), hipsometryczny ($\partial T/\partial H$) – Rok

Fig. 7. Profiles of gradients of air temperature in Europe: latitudinal ($\partial T/\partial \varphi$), longitudinal ($\partial T/\partial \lambda$) and hypsometric ($\partial T/\partial H$) – Year



Rys. 8. Profile gradientów rocznej amplitudy temperatury powietrza w Europie: południkowy A_{φ} , równoleńkowy A_{λ} , hipsometryczny A_H
Fig. 8. Profiles of gradients of annual amplitudes air temperature in Europe: latitudinal A_{φ} , longitudinal A_{λ} , and hypsometric A_H

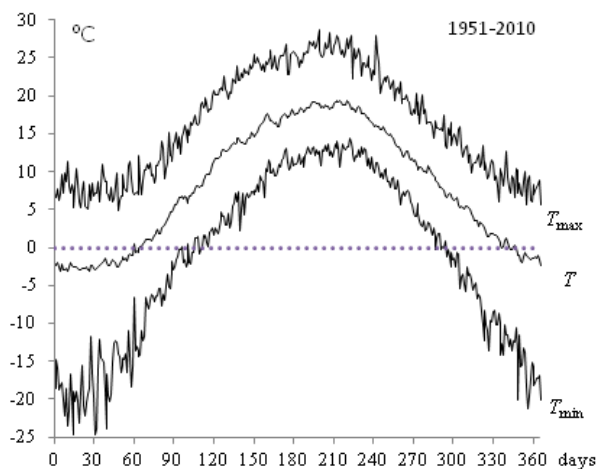
V. FALE CHŁODU I CIEPŁA W PRZEBIEGU ROCZNYM TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE (1951-2010)

Maria STOPA - BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA,
Urszula KOSSOWSKA - CEZAK, Jolanta WAWER

Wprowadzenie

Celem pracy jest określenie cykliczności w pojawiających się (co kilka lub kilkanaście dni) falach chłodu i ciepła w Warszawie (Okęcie, 1951-2010). Przebieg roczny temperatury powietrza w Warszawie charakteryzowany średnimi miesięcznymi wartościami nie przedstawia całej zmienności warunków pogodowych w ciągu roku. W celu dokładniejszego zbadania przebiegu rocznego przyjęto dobę (1h-24h) za jednostkę czasu (Kossowska-Cezak, Skrzypczuk 2006).

W przebiegu rocznym temperatury powietrza w Warszawie, tj. średnich codziennych (T) w latach 1951-2010 oraz najniższych (T_{\min}) i najwyższych (T_{\max}) w 60-leciu (rys. 1) występują znaczne wahania. Duże „ząbki” wyodrębnione w przebiegu średnich 60-letnich wartości świadczą o wahaniami okresowych. W przeciwnym przypadku, tj. nieregularnych wahań zostałyby one „zatarłe” przy uśrednieniu w długim przedziale czasu (1951-2010).

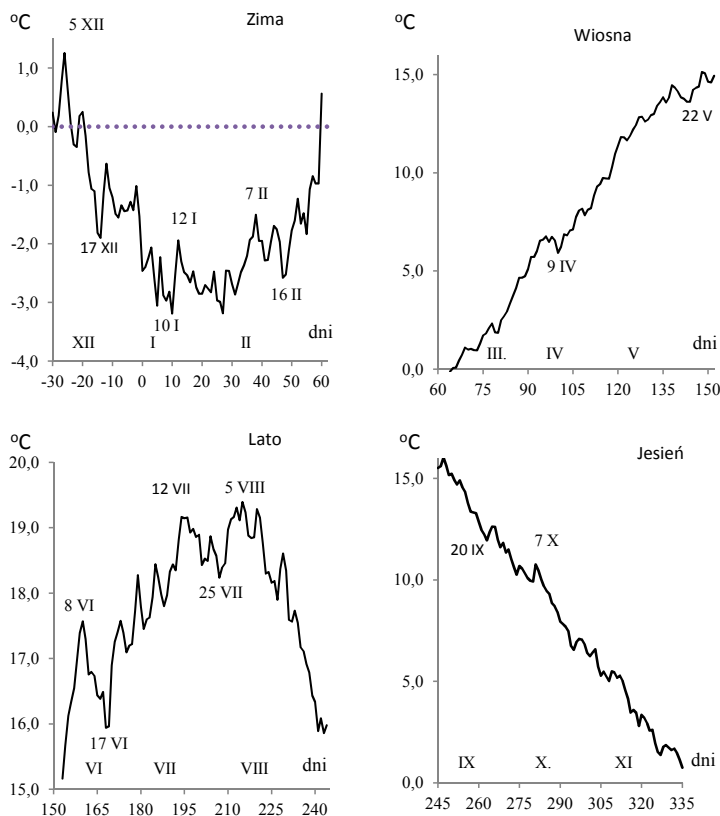


Rys. 1. Przebieg roczny temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010)
 T – średnia codzienna, T_{\min} – najniższa i T_{\max} – najwyższa w 60-leciu
Fig. 1. Annual air temperature cycle in Warsaw (1951-2010) T – daily average, T_{\min} – the lowest, and T_{\max} – the highest in the 60-year period

Czas niektórych spadków i wzrostów średniej dobowej (60-letniej) temperatury powietrza (ochłódzeń i ociepleń) w poszczególnych porach roku podano na rys. 2.

Na przykład w dniach 5-8 grudnia średnia 60-letnia temperatura spadła o $1,6^{\circ}\text{C}$ (od $1,3$ do $-0,3^{\circ}\text{C}$), a 10-12 stycznia – wzrosła o $1,3^{\circ}\text{C}$ (od $-3,2$ do $-1,9^{\circ}\text{C}$). W dniach 16-29 lutego następuje wzrost temperatury powietrza aż o $3,3^{\circ}\text{C}$ (od $-2,6$ do $0,6^{\circ}\text{C}$). Podobnie jest w lecie, w dniach 1-8 czerwca średnia 60-letnia wartość temperatury wzrasta o $2,4^{\circ}\text{C}$ (od

15,2 do 17,6°C). Nieco mniejsze wahania temperatury powietrza uwidaczniają się w porach przejściowych ze względu na dużą tendencję rosnącą 1,9°C/10d wiosną ($T=0,186t-11,98$, $R^2=0,992$) i malejącą -1,7°C/10d jesienią ($T=-0,166T+56,54$, $R^2=0,984$).



Rys. 2. Średnie 60-letnie wartości temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010) – zima, wiosna, lato, jesień

Fig. 2. Average daily 60-year temperature values in Warsaw (1951-2010) – Winter, Spring, Summer, Autumn

Cykle temperatury powietrza w Warszawie o długościach kilku i kilkunastu dni

Zmniejszenie jednostki czasu do doby umożliwia wyznaczenie okresów zmian temperatury o długościach kilku i kilkunastu dni.

Cykle o długościach kilku i kilkunastu dni (w przebiegu rocznym) oraz kilku i kilkunastu lat (w przebiegu wieloletnim) temperatury powietrza w Warszawie w latach 1951-2010) wyznaczono metodą „sinusoid regresji” (Boryczka, 2010):

$$y = a_0 + b \sin\left(\frac{2\pi}{\Theta}t + c\right)$$

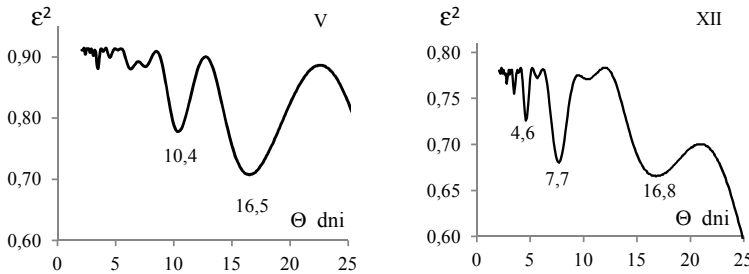
gdzie: Θ – okres, b – amplituda, c – faza, t – czas, z krokiem Θ co 0,1 doby i 0,1 roku.

Interferencję wykrytych cykli temperatury powietrza (wypadkową nakładania się k cykli) wyznaczono z wzoru:

$$y = f(t) = a_0 + at + \sum_{j=1}^k b_j \sin\left(\frac{2\pi}{\Theta_j} t + c_j\right)$$

gdzie: at – składnik liniowy.

Przykładowo przedstawiono widma zmian średnich codziennych wartości temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010) w maju i grudniu (rys. 3). Okresy 10,4 i 16,5 dni w maju oraz 4,6, 7,7 i 16,8 dni w grudniu – to główne minima wariacji resztkowej ε^2 .



Rys. 3. Widma zmian średnich codziennych wartości temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010) – maj, grudzień

Fig. 3. Spectrum of changes in average daily air temperature values in Warsaw (1951-2010) – May, December

Parametry wyznaczonych cykli w przebiegu rocznym temperatury powietrza: Θ , b , c we wszystkich miesiącach i porach roku zestawiono w tabelach 1 i 2.

Na uwagę zasługują cykle temperatury powietrza od 15,2 do 18,3 dni występujące we wszystkich miesiącach (tab. 3): w przybliżeniu 15 dni – w styczniu i listopadzie, 16 dni – w marcu, kwietniu, maju, sierpniu, wrześniu i październiku, ok. 17 dni – w czerwcu i grudniu, ok. 18 dni – w lutym i lipcu. Wahanía temperatury największe są w czerwcu – 1,1°C w cyklu 16,8 dni, dość duże są także w październiku (0,9°C, 15,2 dni), lipcu (0,8°C, 18,3 dni) i grudniu (0,7°C, 16,8 dni).

Te około półmiesięczne okresy są prawdopodobnie związane z przyplływami księżycowo-słonecznymi na Ziemi. Powstało też przysłowie „W czerwcu pełnia sprowadza burze, ostatnia kwadra zaś deszcze duże”. Podczas pełni i nowiu Księżyca przyplwy słoneczne i księżycowe sumują się. Czas, po którym powtarzają się te same długości ekliptyczne Księżyca i Słońca, wynosi średnio 29,53 (miesiąc synodyczny).

Przebieg roczny średnich codziennych 60-letnich wartości temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010) dobrze opisuje (współczynnik korelacji $R=0,997$, $n=366$) równanie sinusoidy o okresie $\Theta=365,25$ dni:

$$T = 7,676 + 0,002245 T + 10,76845 \sin(2\pi t / 365,25 - 1,8456)$$

o amplitudzie $2b=21,53^\circ\text{C}$.

Tabela 1. Okresy Θ (dni), amplitudy b ($^{\circ}\text{C}$), fazy c cykli średnich codziennych wartości temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010), R – współczynnik korelacji wielokrotnej, F_{obl} – statystyka Fishera-Snedecora ($F_{0,05}=3,35$, $F_{0,10}=2,52$) – miesiące

Table 1. Periods Θ (days), amplitudes b ($^{\circ}\text{C}$), phases c of cycles of average daily air temperature values in Warsaw (1951-2010), R – multiple correlation coefficient, F_{obl} – the Fisher-Snedecor distribution ($F_{0,05}=3,35$, $F_{0,10}=2,52$) – months

	Θ (dni)	b ($^{\circ}\text{C}$)	c	R	F_{obl}		Θ (dni)	b ($^{\circ}\text{C}$)	c	R	F_{obl}
I	5,4	0,202	-0,2661	0,403	2,71	VII	6,3	0,136	-2,1860	0,232	0,80
	9,9	0,181	-0,3840	0,361	2,09		8,3	0,149	-2,2650	0,300	1,38
	15,5	0,175	1,8131	0,295	1,34		18,3	0,403	2,9550	0,714	14,52
II	7,4	0,308	2,6971	0,468	3,64	VIII	7,9	0,198	1,6408	0,206	0,62
	10,5	0,071	-2,8780	0,255	0,91		10,3	0,093	-2,8663	0,212	0,66
	17,6	0,297	-1,3452	0,470	3,69		15,9	0,117	0,1305	0,453	3,62
III	7,8	0,136	0,8056	0,188	0,51	IX	6,0	0,245	-2,0286	0,206	0,62
	10,4	0,153	-2,8289	0,317	1,57		10,2	0,096	-0,0172	0,307	1,46
	16,4	0,232	-2,9287	0,478	4,13		15,7	0,299	-1,7595	0,389	2,50
IV	7,7	0,190	2,7024	0,252	0,95	X	8,0	0,134	2,0192	0,181	0,48
	10,7	0,233	-1,1793	0,246	0,90		10,7	0,167	-2,9162	0,204	0,61
	15,7	0,168	0,6207	0,325	1,65		16,0	0,462	-2,6124	0,272	1,12
V	6,3	0,126	1,5993	0,218	0,70	XI	7,7	0,022	2,0368	0,205	0,61
	10,4	0,290	-2,2842	0,397	2,63		10,2	0,416	-2,5540	0,179	0,46
	16,5	0,228	2,3874	0,485	4,30		15,2	0,165	-2,6389	0,356	2,03
VI	7,3	0,229	2,9757	0,384	2,42	XII	4,6	0,241	0,0433	0,235	0,82
	10,6	0,314	2,9427	0,485	4,30		7,7	0,404	-2,1011	0,339	1,82
	16,8	0,540	-1,3462	0,648	10,15		16,8	0,350	-1,4969	0,367	2,17

Tabela 2. Okresy Θ (dni), amplitudy b ($^{\circ}\text{C}$), fazy c cykli średnich codziennych wartości temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010), R – współczynnik korelacji wielokrotnej, F_{obl} – statystyka Fishera-Snedecora ($F_{0,05}=3,09$, $F_{0,10}=2,36$) – pory roku i rok

Table 2. Periods Θ (days), amplitudes b ($^{\circ}\text{C}$), phases c of cycles of average daily air temperature values in Warsaw (1951-2010), R – multiple correlation coefficient, F_{obl} – the Fisher-Snedecor distribution ($F_{0,05}=3,09$, $F_{0,10}=2,36$) – seasons and year

	Θ (dni)	b ($^{\circ}\text{C}$)	c	R	F_{obl}		Θ (dni)	b ($^{\circ}\text{C}$)	c	R	F_{obl}
Zima	7,9	0,287	-2,1124	0,208	1,97	Wiosna	13,2	0,064	0,3616		0,64
	16,6	0,143	-1,7657	0,165	1,22		18,6	0,062	-1,6743		1,02
	20,9	0,453	2,9338	0,378	7,25		23,3	0,306	2,1394		1,23
	28,3	0,224	1,1875	0,246	2,80		31,0	0,487	0,9624		2,08
	40,7	0,313	-0,8861	0,288	3,95		47,1	0,402	-2,8337		7,78
Lato	12,4	0,253	1,9860	0,207	1,95	Jesień	9,1	0,112	-0,0325		0,37
	14,4	0,202	0,4927	0,179	1,44		18,2	0,111	-2,2731		1,32
	17,5	0,425	0,1510	0,292	4,04		22,9	0,098	-1,6228		1,50
	27,5	0,344	0,6678	0,222	2,26		30,8	0,291	0,9806		4,40
	38,8	0,528	-2,5854	0,379	7,29			0,082	1,1252		8,22
Rok	34,9	0,725	-3,1213	0,064	0,18						
	66,6	1,158	3,1176	0,105	0,48						
	81,6	1,686	3,1360	0,151	1,01						
	105,0	1,880	2,9052	0,167	1,25						
		3,450	3,0666	0,310	4,64						

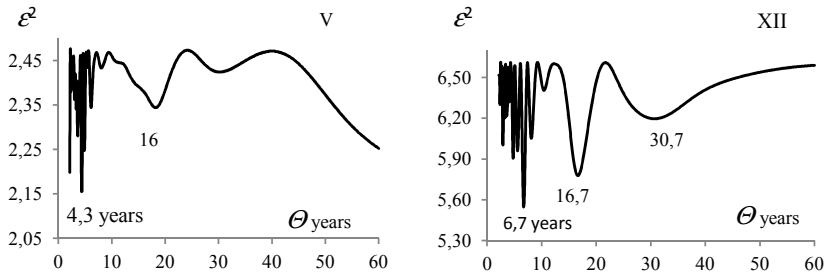
Tabela 3. Długość cyklu (θ), zakres wahań ($2b$) średniej dobowej temperatury powietrza oraz czas występowania t_{\min} (minimum) i t_{\max} (maksimum) sinusoidy regresji

Table 3. Range of air temperature fluctuation in 15.2- to 18.3-day cycles and the timing of maximum (t_{\max}) and minimum (t_{\min}) values

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
θ (dni)	15,5	17,6	16,4	15,7	16,5	16,8	18,3	15,9	15,7	16,0	15,2	16,8
$2b$ (°C)	0,35	0,59	0,46	0,34	0,46	1,08	0,81	0,23	0,60	0,92	0,33	0,70
t_{\min}	7,1	17,0	3,5	10,2	6,1	16,2	5,1	11,6	0,5	2,7	2,6	16,6
t_{\max}	14,9	8,2	11,7	2,4	14,4	7,8	14,3	3,6	8,4	10,7	10,2	8,2

Cykle wieloletnie fal chłodu i ciepła w Warszawie (1951-2010)

Średnia roczna temperatura powietrza w Warszawie ulega długookresowej cykliczności. Dlatego też cykle kilku i kilkunastu lat kształtują amplitudy cykli kilku i kilkunastu dni. Przykładowo przedstawiono widma średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w Warszawie w latach 1951-2010 – w maju i grudniu (rys. 4).



Rys. 4. Widma zmian średnich dobowych wartości temperatury powietrza w Warszawie w maju i grudniu (1951-2010)

Fig. 4. Spectra of average monthly air temperature values in Warsaw (1951-2010) – May, December

Parametry cykli temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010) zestawiono w tab. 4.

Tabela 4. Okresy θ (lata), amplitudy b (°C), fazy c cykli średnich miesięcznych i rocznych wartości temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010), R – współczynnik korelacji wielokrotnej, F_{obl} – statystyka Fishera-Snedecora ($F_{0,05}=3,16$, $F_{0,10}=2,39$) – pory roku i rok

Table 4. Periods θ (years), amplitudes b (°C), phases c of cycles of average monthly and yearly air temperature values in Warsaw (1951-2010), R – multiple correlation coefficient, F_{obl} – the Fisher-Snedecor distribution ($F_{0,05}=3.16$, $F_{0,10}=2.39$) – seasons and year

	θ (lata)	b (°C)	c	R	F_{obl}		θ (lata)	b (°C)	c	R	F_{obl}
Maj	4,3	0,8 00	-1,4951	0,359	4,21	Rok	5,9	0,324	0,7761	0,280	2,43
	6,1	0,533	1,1244	0,229	1,57		8,1	0,578	2,7540	0,483	8,66
	8,0	0,280	0,7592	0,128	0,47		9,9	0,236	0,6532	0,175	0,90
	18,2	0,440	1,1087	0,229	1,57		15,6	0,266	-1,5115	0,239	1,73
	30,2	0,107	1,3869	0,141	0,58						
Grudzień	2,9	1,078	-2,2656	0,300	2,83						
	6,7	1,348	-0,8855	0,401	5,45						
	8,1	0,843	-2,4279	0,291	2,63						
	16,7	1,101	0,9660	0,355	4,11						
	30,7	0,742	-2,0437	0,250	1,91						

Fale chłodu w maju a przysłowia o pogodzie

Najbardziej znana w opracowaniach jest majowa fala chłodu 12-14 maja – *Zimni ogrodnicy* (Pankracy, Serwacy, Bonifacy), czy też 15 maja – *Zimna Zośka*. Według dostępnych źródeł to ochłodzenie było znane już w XV wieku. Prawdopodobnie pochodzi ono z południowo-wschodniej Polski. Największe ochłodzenie w tym czasie występuje na południu Polski, najmniejsze natomiast w północno-wschodniej Polsce (Stopa-Boryczka i in. 2006). Stosunkowo małe spadki temperatury przynoszą masy powietrza polarne morskiego, a największe masy powietrza arktycznego (średnio 8°C). Adwekcja w ciepłej porze roku chłodnych mas powietrza polarne morskiego z Europy Zachodniej do południowej Polski przyczynia się do występowania znacznych ochłodzeń. Natomiast w Polsce północno-wschodniej cechującej się najniższą temperaturą (nie licząc gór), masy powietrza polanego morskiego i arktycznego nie powodują tak dużych spadków temperatury powietrza jak w południowej Polsce.

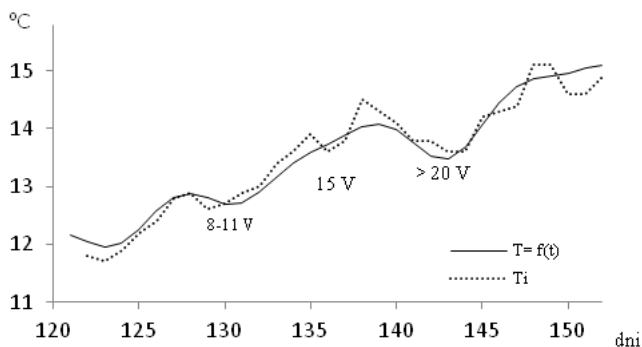
Średnie codzienne 60-letnie wartości temperatury w maju cechują się okresem 6,3, 10,4 i 16,5 dni (tab. 2). Najsilniejszy jest cykl 16,5-dniowy o amplitudzie $2b=0,46^{\circ}\text{C}$ (współczynnik korelacji $R=0,485$, $F_{\text{obl}}=4,30$, istotny na poziomie 0,05).

Interferencję majowych cykli 6,3, 10,4 i 16,5 dni określa wzór o współczynniku korelacji wielokrotnej $R=0,974$:

$$T = 12,089 + 0,09216T + 0,126 \sin(2\pi t/6,3 + 1,5993) + 0,290 \sin(2\pi t/10,4 - 2,2842) + 0,228 \sin(2\pi t/16,5 + 2,3874)$$

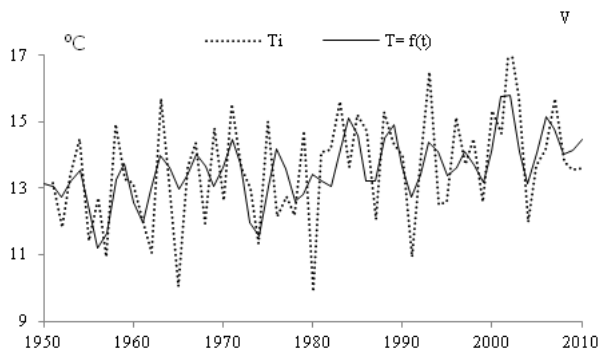
W długich cyklach: 4,3, 6,1, 8,0, 18,2, 30,2 lat temperatura powietrza zmienia się odpowiednio 1,6, 1,06, 0,88, 0,20°C. Największą amplitudę (1,6°C) ma cykl 4,3-letni ($R=0,359$, $F_{\text{obl}}=4,21$, istotny na poziomie 0,05).

Sprawcami majowych fal chłodu są te cykle: 16,5 dni oraz 4,3 lat o największym zakresie wahań 0,45°C i 1,6°C (rys. 5 i 6). Majowe ochłodzenia (minima temperatury powietrza) wynikają przede wszystkim z nakładania się cykli 16 dni i 4,3-lat.



Rys. 5. Przebieg średnich codziennych wartości temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010), T_i – wartości zmierzone, $T=f(t)$ – wartości obliczone (interferencja cykli 6,3, 10,6, 16,5 dni) – maj

Fig. 5. Cycle of average daily air temperature values in Warsaw (1951-2010), T_i – measured values, $T=f(t)$ – calculated values (interference of 6.3, 10.6, 16.5-day cycles) – May



Rys. 6. Przebieg średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010), T_i – wartości zmierzone, $T=f(t)$ – wartości obliczone (interferencja cykli: 4,3, 6,1, 8,0, 18,2, 30,2 lat, współczynnik korelacji $R=0,589$) – maj

Fig. 6. Cycle of average monthly air temperature values in Warsaw (1951-2010), T_i – measured values, $T=f(t)$ – calculated values (interference of 4.3, 6.1, 8.0, 18.2, 30.2-year cycles, correlation coefficient $R=0.589$) – May

Fale ciepła i chłodu w grudniu a przysłowia o pogodzie

Sprawdzalnością grudniowych fal ciepła i chłodu tzn. przysłowia *Święta Barbara po wodzie*, *Boże Narodzenie po lodzie*, zajmowało się wielu autorów (Gumiński 1948, Chrzanowski 1973). Przysłowie to w latach 1951-2000 sprawdziło się w 20 przypadkach (40%), a sprawdzalność przeciwnego *Barbara po lodzie*, *Boże Narodzenie po wodzie* jest o połowę mniejsza (Tońska 2006).

Nie można oczekiwać zgodności wahań temperatury powietrza na podstawie dwóch dat 4 XII i 25 XII. W latach 1951-2010 w pobliżu 4 grudnia przeważa temperatura dodatnia (rys. 7 i 8)

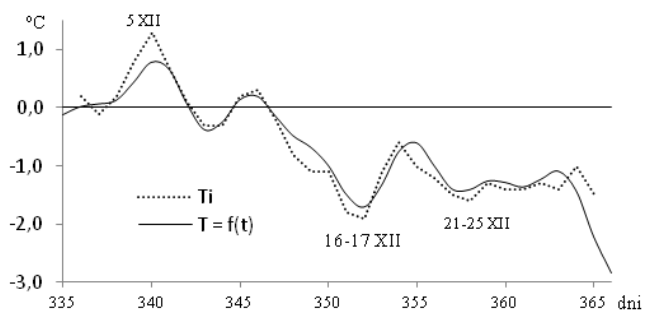
Średnie dobowe 60-letnie wartości temperatury powietrza w grudniu (1951- 2010) cechują się okresami 4,6, 7,7 i 16,8 dni (tab. 4) o zakresie wahań: 0,48, 0,80 i 0,70°C. Interferencję tych cykli określa równanie (o współczynniku korelacji wielokrotnej $R=0,954$):

$$T=0,575 -0,0831 T+0,241\sin(2\pi t/4,6+0,0433)+0,404\sin(2\pi t/7,7-2,1011) +0,350\sin(2\pi t/16,8-1,4969)$$

Natomiast w cyklach długich średniej miesięcznej temperatury powietrza: 2,9, 6,7, 8,1, 16,7, 30,7 lat, zakres wahań 2b wynosi odpowiednio o 2,1, 2,7, 1,6, 2,2, 1,5°C. W grudniu najsilniejsze są cykle 6,7 i 16,7 lat o istotnych współczynnikach korelacji 0,401 ($F_{obl}=5,45$) i 0,365 ($F_{obl}=4,11$)

Zmiany średnich dobowych 60-letnich wartości temperatury powietrza w grudniu (od 335 do 366) przedstawiają wykresy na rys. 7.

Grudniowe fale ciepła i chłodu (4 XII i 25 XII) są uwarunkowane cyklami codziennych wartości temperatury powietrza: 7,7 i 16,8 dni oraz cyklami średniej rocznej wartości temperatury 6,7 i 16,7 lat – o największych amplitudach 0,80 i 0,70°C oraz 2,7 i 2,2°C.

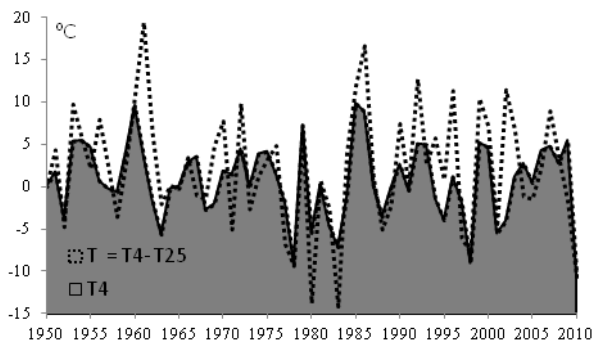


Rys. 7. Przebieg średniej dobowej temperatury powietrza w Warszawie w grudniu (1951-2010), T_i – wartości zmierzone, $T=f(t)$ – wartości obliczone (interferencja cykli 4,6, 7,7, 16,8 dni)

Fig. 7. Cycle of average daily air temperature values in Warsaw (1951-2010), T_i – measured values, $T=f(t)$ – calculated values (interference of 4.6, 7.7, 16.8-day cycles) – December

Maksimum wypadkowej $T=f(t)$ interferencji silnych cykli temperatury powietrza 4,6, 7,7 i 16,8 dni występuje 5 grudnia (Barbary), a minimum 16-17 i około 25 grudnia (Boże Narodzenie). W latach o średniej miesięcznej temperaturze powietrza znacznie niższej od zera ($T < 0^\circ\text{C}$) w dniu 4 grudnia jest ochłodzenie.

Porównano ocieplenia i ochłodzenia 4 XII (temperaturę T_4) z ochłodzeniami i ocieplieniami 25 XII ($-T_{25}$), zmieniając znak T_{25} na przeciwny (rys. 8). Wartości dodatnie temperatury powietrza ($T_4 > 0$ i $-T_{25} > 0$) świadczą o zgodności fal ciepła 4 grudnia z falami chłodu 25 grudnia. Zgodność dat wartości ujemnych ($T_4 < 0$ i $-T_{25} < 0$) – poniżej prostej $T=0$ świadczy o słuszności przysłowia przeciwnego Barbara 4 grudnia po lodzie, Boże Narodzenie 25 grudnia po wodzie.



Rys. 8. Przebieg temperatury powietrza w Warszawie 4 grudnia (Barbary, T_4) i 25 grudnia (Boże Narodzenie, $-T_{25}$) (1951-2010)

Fig. 8. Cycle of air temperature in Warsaw on the 4th of December (St. Barbara's feast day, T_4) and on the 25th of December (Christmas, $-T_{25}$) (1951-2010)

W okresie 1951-2010 wystąpiło 36 lat o temperaturze $T_4 \geq 0^\circ\text{C}$ (4 grudnia), w tym 22 lata o temperaturze $T_{25} < 0^\circ\text{C}$ (25 grudnia) (tab. 4). Stosunek liczby przypadków zgodnych z przysłowiem (sprawdzalność) Barbara (4 grudnia) po wodzie, Boże Narodzenie (25 grudnia) po lodzie do wszystkich (60 lat) wynosi 36,7% a do lat sprzyjających (36) – 61,1%.

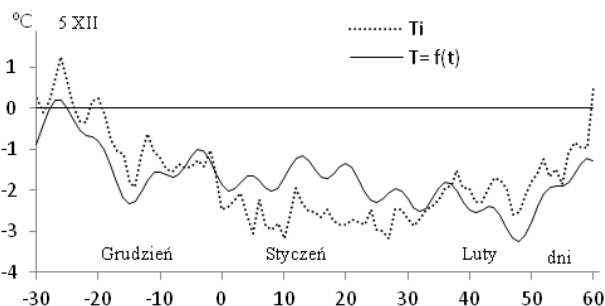
Na 24 lata o temperaturze $T_4 < 0^\circ\text{C}$ (4 grudnia) przypada 10 dni o $T_{25} > 0$ (25 grudnia). Sprawdzalność przysłowia (Barbara po wodzie i po lodzie) łącznie wynosi 53,3%.

Tabela 5. Wartość i temperatury powietrza 4 i 25 grudnia w Warszawie (1951-2010) spełniające warunki przysłowia „Barbara po wodzie”, „Boże Narodzenie po lodzie”
Table 5. Air temperature values on the 4th and 25th of December in Warsaw (1951-2010) that comply with the conditions of the saying „Saint Barbara on water”, „Christmas on ice”

„Barbara po wodzie”						„Barbara po lodzie”		
	$T_4 > 0$	$T_{25} < 0$		$T_4 > 0$	$T_{25} < 0$		$T_4 < 0$	$T_{25} > 0$
1985	9,9	-2,0	1966	2,9	-0,6	2010	-10,2	0,4
1960	9,6	-1,1	2008	2,8	-0,7	1978	-9,0	0,3
1986	8,9	-7,8	1990	2,7	-4,8	1983	-7,1	7,0
1954	5,5	-0,3	1970	1,9	-5,9	1980	-5,4	8,3
1953	5,4	-4,4	1951	1,8	-2,6	1952	-3,7	1,0
1999	5,2	-5,3	1976	1,5	-3,4	1988	-3,5	1,5
1992	5,1	-7,7	1996	1,2	-10,2	1977	-1,8	4,9
2007	4,8	-4,2	2003	1,2	-5,6	1997	-1,7	4,3
2000	4,7	-2,5	1956	0,7	-7,3	1958	-0,6	2,9
1972	4,5	-5,4	1981	0,3	-0,5	1989	-0,1	2,1
1961	3,7	-15,8	1987	0,2	-1,0			

Zmiany średnich dobowych 60-letnich wartości temperatury powietrza w zimie (od -30 do 60) opisuje równanie o współczynniku korelacji wielokrotnej $R = 0,678$ (rys. 9):

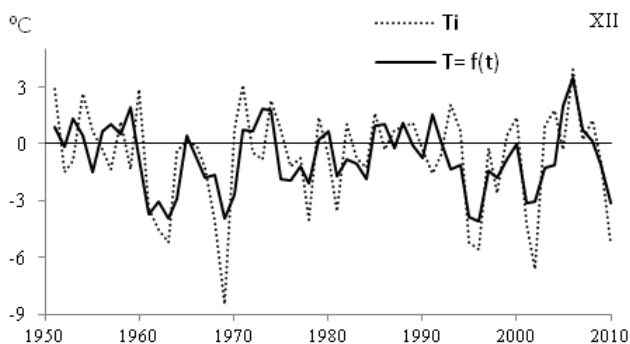
$$T = -1,5467 - 0,01662T + 0,2868\sin(2\pi t/7,9 - 2,1124) + 0,1427\sin(2\pi t/7,7 - 1,7657) + 0,4528\sin(2\pi t/20,9 + 2,9338) + 0,2244\sin(2\pi t/28,3 + 1,1875) + 0,3133\sin(2\pi t/40,7 - 0,8861)$$



Rys. 9. Przebieg średnich codziennych wartości temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010), T_i – wartości zmierzone, $T=f(t)$ – wartości obliczone (interferencja cykli: 7,9, 16,6, 20,9, 28,3 i 40,7 lat – zima

Fig. 9. Cycle of average daily air temperature values in Warsaw (1951-2010), T_i – measured values, $T=f(t)$ – calculated values (interference of 7.9, 16.6, 20.9, 28.3, 40.7-days cycles, correlation coefficient $R = 0.660$) – Winter

Interesujące są wieloletnie zmiany temperatury powietrza w latach 1951-2010 w grudniu (rys. 10)



Rys. 10. Przebieg średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010), T_i – wartości zmierzone, $T=f(t)$ – wartości obliczone (interferencja cykli: 2,9, 6,7, 8,1, 16,7, 30,7 lat, współczynnik korelacji wielokrotnej $R=0,589$) – grudzień

Fig. 10. Cycle of average monthly air temperature values in Warsaw (1951-2010), T_i – measured values, $T=f(t)$ – calculated values (interference of 2.9, 6.7, 8.1, 16.7, 30.7-year cycles, correlation coefficient $R=0,589$) – December

Z przeprowadzonych badań wynika, że fale chłodu i ciepła są wynikiem nakładania się istotnych cykli codziennych wartości temperatury o długościach kilku i kilkunastu dni oraz wieloletnich cykli (kilku i kilkunastu lat) średniej rocznej temperatury powietrza. Na uwagę zasługują cykle 15,2-18,3 dni temperatury powietrza w poszczególnych miesiącach: ok. 16 dni – w miesiącach: marzec, kwiecień, maj, sierpień, wrzesień, październik, ok. 15 dni – styczeń i listopad, ok. 17 dni – czerwiec i grudzień, ok. 18 dni – luty i lipiec. Grudniowe fale ciepła i chłodu 4 XII (św. Barbary) i 25 XII (Boże Narodzenie) są uwarunkowane cyklami codziennych wartości temperatury powietrza: 7,7 i 16,8 dni (o amplitudach 0,60 i 0,44°C) oraz cyklami średniej rocznej temperatury 6,7 i 16,7 lat (o amplitudach 2,7 i 2,2°C). Maksimum wypadkowej $T=f(t)$ interferencji silnych cykli codziennych średnich 60-letnich wartości temperatury powietrza 7,7 i 16,8 dni występuje 5 XII, a minimum po 16 XII i około 25 XII.

Interesująca byłaby też analiza cykliczności w przebiegu rocznym i wieloletnim typów cyrkulacji atmosferycznej oraz innych elementów klimatu.

Literatura

- Boryczka J., 2010, *Metoda J. Boryczki „sinusoid regresji” badań okresowości zmiennych przyrodniczych*. [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXV, *Zmiany klimatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku*, Wyd. UW, Warszawa
- Chrzanowski J., 1973, *Barbara po lodzie*. „Problemy”, 12
- Gumiński R., 1948, *Ludowe prognozyki pogody*. Gazeta obserwatora PIHM, 1, 9
- Kossowska-Cezak U., Skrzypczuk J., *Termiczne pory roku w Warszawie w latach 1951-2005*. [w:] *Prognozy pogody w przysłowiach i ich sprawdzalność w Polsce*. Materiały Zakładu Klimatologii WG i SR UW z X Pikniku Naukowego Radia BIS (3 VI 2006). Wyd. WGSR UW, Warszawa
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Tońska M., 2006, *Fale chłodu i ciepła w przebiegu rocznym temperatury powietrza w Polsce*. [w:] *Prognozy pogody w przysłowiach i ich sprawdzalność*

w Polsce. Materiały Zakładu Klimatologii WGSR UW z X Pikniku Naukowego Radia BIS (3 VI 2006). Wyd. WG i SR UW, Warszawa

Tońska M., 2006, *Wartość prognostyczna niektórych przysłów dotyczących pogody* Praca magisterska w Zakładzie Klimatologii WG i SR UW (opiekun naukowy: Jolanta Wawer)

Summary

Heat and cold waves in an annual cycle air temperatures in Warsaw (1951-2010)

Heat and cold waves in Warsaw (the Okęcie district) have been determined basing on daily average air temperature values in Warsaw (the Okęcie district), measured for 60 years between 1951 and 2010. Air temperature cycles, i.e. periods, amplitudes and phases have been determined by means of a sinusoidal regression method. Especially worth noting are 15 to 18-day long cycles of air temperature in given months (e.g. 16-day long cycles during 6 months: March, April, May, August, September, and October). Heat and cold waves result from interferences of cycles whose duration ranges from several to teen days of daily temperature values, and long-term cycles of average annual temperature.

VI. ZMIANY KLIMATU MAZOWSZA W ODNIESIENIU DO OBSZARU POLSKI W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO

6.1 Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Mazowsza

Autor : Magdalena NOWAKOWSKA

Opiekun naukowy : Maria STOPA-BORYCZKA

Cel pracy i zarys treści

Celem pracy jest określenie cech charakterystycznych i specyficznych klimatu Mazowsza na tle klimatu Polski. Zbadano przede wszystkim zmiany roczne podstawowych elementów klimatologicznych: ciśnienia atmosferycznego, prędkości wiatru, usłonecznienia, temperatury powietrza, wilgotności powietrza, zachmurzenia i opadu atmosferycznego. Antropogeniczne zmiany klimatu Mazowsza, tj. stan aerosanitarny Mazowsza scharakteryzowano korzystając z Raportu WIOŚ za rok 2000.

Omówiono też najbardziej charakterystyczną cechę klimatu miejskiego tzw. miejską wyspę ciepła, na przykładzie Warszawy.

Materiały źródłowe

Dane obejmujące okres 30-letni 1966-1995 pochodzą ze stacji synoptycznej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Warszawa-Okęcie. Dotyczą one: ciśnienia atmosferycznego, kierunku wiatru i prędkości, temperatury powietrza (i dni charakterystycznych), wilgotności powietrza, zachmurzenia (i dni charakterystycznych), dni z mgłą, sum opadów atmosferycznych (i dni charakterystycznych), dni z burzą oraz dni z pokrywą śnieżną. Do charakterystyki regionu Mazowsza użyto dodatkowo danych z okresu 1966-1995 dotyczących niektórych miast regionu (tab. 1), które pochodzą z publikacji Cz. Koźmińskiego i B. Michalskiej *Ćwiczenia z agrometeorologii* (1999).

Tabela. 1. Charakterystyka położenia stacji meteorologicznych znajdujących się na Mazowszu oraz leżących poza Mazowszem*, obrazujących jednak część regionu (φ – szerokość geograficzna, λ – długość geograficzna, H – wysokość n.p.m.)

Stacje	φ	λ	H n.p.m	Cechy terenu
Mława	53°07'	20°22'	141	równinny
Ostrołęka	53°05'	21°34'	95	dolina rzeczna
Płock	53°05'	21°34'	95	dolina rzeczna
Siedlce*	52°11'	22°16'	146	równinny
Skierniewice	51°58'	20°10'	128	równinny
Warszawa-Okęcie	52°09'	20°59'	106	równinny

Dane te dotyczą usłonecznienia, promieniowania, temperatury powietrza i opadów atmosferycznych. Wartości dotyczące wilgotności powietrza i zachmurzenia w wybranych miastach Mazowsza, pochodzą z okresu 1951-1965 z pozycji K. Chomicza *Materiały do poznania agroklimatu Polski* (1977). Do przedstawienia rozkładów przestrzennych kolejnych elementów klimatu wykorzystano mapy pochodzące z *Atlasu klimatu Polski* (2005).

W celu porównania wartości poszczególnych elementów klimatologicznych w Warszawie i w Polsce posłużono się danymi z okresu 1961-1990 pochodzącymi z CLINO. Wzięto pod uwagę wartości ciśnienia atmosferycznego, prędkości wiatru, sumy usłonecznienia, temperatury powietrza, ciśnienie pary wodnej oraz sumy opadów atmosferycznych. Dane te pochodzą z 16 stacji meteorologicznych w Polsce, z wyjątkiem sum usłonecznienia, które pochodzą tylko z 8 stacji meteorologicznych. Zaczepiono również dane dotyczące typów cyrkulacji według B. Osuchowskiej-Klein z okresu 1966-1990 z Katalogu typów cyrkulacji atmosferycznej (1978 i 1991). Wszelkie dane dotyczące zanieczyszczenia powietrza w województwie mazowieckim oraz w Polsce zaczepiono z raportu WIOŚ Stan Środowiska w województwie mazowieckim (2001).

Położenie geograficzne Mazowsza

Od północy Mazowsze otaczają obszary Pojezierza Mazurskiego, od wschodu Podlasia i Polesia, od południa Mazowsze graniczy z Wyżynami Polskimi, od zachodu z Nizinami Wielkopolskimi, a od południo-zachodu z Pojezierzem Chełmińsko-Dobrzyńskim. Region Mazowsza można także określić mianem nizin mazowiecko-podlaskich. Mazowsze położone jest w większości w obrębie obszaru fizycznogeograficznego Europy Zachodniej. Według podziału fizycznogeograficznego J. Kondrackiego (2001) leży w granicach prowincji Niż Środkowoeuropejski i dwóch podprowincji: Pojezierza Południowo-bałtyckie oraz Niziny Środkowopolskie.

Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu klimatu Polski ze szczególnym uwzględnieniem Mazowsza

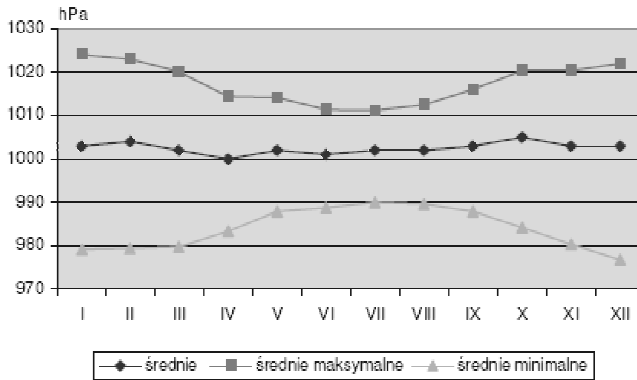
Zmiany roczne i zróżnicowanie przestrzenne ciśnienia atmosferycznego

Na klimat Europy, a więc i Polski dominujący wpływ mają dwa ośrodki baryczne: Niż Islandzki i Wyż Azorski. Zimą Niż Islandzki jest najbardziej rozbudowany, średnie ciśnienie wynosi poniżej 995 hPa, Wyż Azorski jest zdecydowanie mniej aktywny, w centrum wyżu ciśnienie wynosi średnio nieco powyżej 1020 hPa. W lecie Niż Islandzki słabnie, średnie ciśnienie w niżu wynosi 1010 hPa, natomiast rozbudowuje się Wyż Azorski, w którym średnie ciśnienie przekracza 1030 hPa (Paszyński, Niedźwiedź, 1991; Woś, 1999). W zimie klimat Polski kształtuje również Wyż Azjatycki, który tworzy się nad wychłodzoną środkową Syberią i Mongolią. Latem słabszy wpływ na pogodę w Polsce ma Niż Południowoazjatycki, z centrum nad Iranem i Pakistanem.

W przebiegu rocznym ciśnienia atmosferycznego w Polsce występują dwa maksima: pierwsze jesienią, drugie zimą. W Warszawie w 30-leciu 1966-1995 były to odpowiednio miesiące: październik (1005 hPa) i luty (1004 hPa). Wyróżniamy również dwa minima ciśnienia: wiosną i latem. W omawianym 30-leciu w Warszawie najniższe wartości ciśnienia wystąpiły w kwietniu (1000 hPa) i czerwcu (1001 hPa)(rys. 1).

Średnie maksymalne wartości ciśnienia atmosferycznego w Warszawie kształtują się od 1011 hPa w czerwcu i lipcu do 1024 w styczniu, natomiast w pojedynczych latach przekraczają 1030 hPa. Średnie minimalne ciśnienie atmosferyczne waha się od 977 hPa w grudniu do 990 hPa w lipcu i sierpniu, a absolutne minima mogą nie przekraczać 960 hPa (tab. 2). Przebieg roczny skrajnych wartości ciśnienia jest zatem odwrotny, oznacza to, że okres letni charakteryzuje się małymi wahaniami w ciągu mie-

siąca (średnio 21-23 hPa), natomiast zimą wahania są przeszło dwukrotnie większe (średnio 44-45 hPa).



Rys. 1. Przebieg roczny ciśnienia atmosferycznego (na poziomie rzeczywistym) na stacji Warszawa-Okęcie (1966-1995)

Tabela 2. Maksymalne (a) i minimalne (b) wartości ciśnienia atmosferycznego na stacji Warszawa-Okęcie w latach 1966-1995 oraz daty ich wystąpienia

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	R
a	1035	1032	1031	1022	1023	1017	1014	1019	1024	1029	1031	1033	1035
	2	14	12	9	15	1	1	4	27	18	18	20	2 I
	1993	1999	1972	1969	1992	1982	991	1981	1977	1993	1985	1972	1993
b	965	958	960	971	976	982	980	976	977	966	965	959	958
	15	26	1	19	13	1	19	9	24	22	28	2	26 II
	1981	1989	1990	1980	1995	1980	1970	1978	1984	1974	1983	1976	1989

Napływ mas powietrza nad Polskę

Rozkład ciśnienia atmosferycznego w ciągu roku nad obszarem Europy warunkuje napływ nad Polskę mas powietrza z różnych stref geograficznych, a więc o różnych cechach termiczno-wilgotnościowych. Poza tym masy powietrza różnią się ze względu na obszar formowania się (nad morzem bądź lądem). Wskutek przemieszczania się powietrza na duże odległości, staje się ono w znacznym stopniu przetransformowane (stare).

Nad obszar Polski: napływają masy powietrza zwrotnikowego (PZ), masy powietrza polarnego (PP) napływające z szerokości umiarkowanych – morskiego (PPm), morskiego starego (PPms), kontynentalnego (PPk) oraz masy powietrza arktycznego (PA).

Najczęściej nad Polskę zalegają masy powietrza polarno-morskiego, ponad 64%, które pochodzą z nad północnego Atlantyku i przynoszą zimą odwilże, zachmurzenie, opady śniegu, czasami deszczu, a latem ochłodzenie, zachmurzenie i opady. Maksimum występowania tego rodzaju mas powietrza przypada na lato (lipiec 80%), przy czym w większości wypadków jest to powietrze silnie przetransformowane, podczas wędrówki z zachodu stopniowo przejmuje cechy łądu (tab. 3).

Powietrze polarno morskie stare stanowi 48,4%, gdy powietrze polarno morskie świeże tylko 16,2%. Drugie pod względem częstości występowania są masy powietrza polarno kontynentalnego, około 29% w ciągu roku. Powietrze kontynentalne napływa ze wschodu, zazwyczaj podczas wyżu, zimą przynosi pogodę mroźną, bez opadów, latem słonecz-

ną i suchą. Najczęściej występuje w lutym (38,2%) i w październiku (35,8%). Najrzadziej zalegają nad Polską masy powietrza zwrotnikowego (2%) i arktycznego (ok. 4%). Masy te napływają przy występowaniu cyrkulacji południkowej. Powietrze arktyczne najczęściej występuje na wiosnę (maj 13,5%, kwiecień 7,4%). Ten rodzaj mas powietrza przynosi pogodę bardzo zmienną, znaczne ochłodzenia oraz groźne dla rolnictwa przygruntowe przymrozki. Wśród mas powietrza zwrotnikowego można wyróżnić: morskie napływające z Azorów i Morza Śródziemnego oraz kontynentalna z Afryki i Azji Mniejszej, które jest bardzo zapyłone. Najczęściej powietrze zwrotnikowe zalega w lutym (4,2%) i w listopadzie (4,3%). Związane są z nim gwałtowne ocieplenia zimą i silne upały latem.

Tabela 3. Średnia częstość (%) zalegania poszczególnych mas powietrza w rejonie Warszawy w latach 1946-1956 (Bołaszewska, Reutt, 1962)

Masa powietrza	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
P_z	1,9	4,2	0,3	1,3	1,0	0,3	1,0	0,3	2,7	3,3	4,3	2,9	2,0
P_{pm}	17,8	10,9	15,2	21,0	9,7	16,0	21,0	18,1	19,0	16,8	13,0	16,1	16,2
PP_{ms}	43,2	43,5	45,8	44,0	42,6	60,0	59,0	52,3	48,3	39,3	49,0	58,4	48,4
PP_k	33,9	38,2	33,9	26,3	33,2	23,4	18,4	29,3	29,7	35,8	28,7	21,0	29,3
P_A	3,2	3,2	4,8	7,4	13,5	0,3	0,6	·	0,3	4,8	5,0	1,6	3,7

Typy cyrkulacji atmosferycznej

B. Osuchowska-Klein utworzyła katalog typów cyrkulacji atmosferycznej w odniesieniu do wzorcowych układów barycznych nad Europą i północnym Atlantykiem, które warunkują kierunki napływu mas powietrza nad Polskę (Osuchowska-Klein, 1975). Osuchowska-Klein przyporządkowała sytuacje cyrkulacyjne do wybranych sytuacji wzorcowych zwanych typami cyrkulacji. Wyróżniono 13 typów. Przy tak niewielkiej liczbie typów wzorcowych zastosowano trzy stopnie podobieństwa danej sytuacji do typu wzorcowego: bardzo duże podobieństwo, duże podobieństwo, małe podobieństwo. Wystąpiły również sytuacje, które nie wykazywały podobieństwa do żadnego z typów wzorcowych, w takim przypadku sytuację uznano jako nieokreśloną (x).

Tabela 4. Typy cyrkulacji wg B. Osuchowskiej-Klein

Cyrkulacja	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	-
Cyklonalna	-	E_0		F	B	D	A	CB	-
Antycyklonalna	-	E	E_1		BE	D_2C	C_2D	E_2C	G

W Polsce najczęściej występuje 8 typów cyrkulacji:

- A – zachodnia cyrkulacja cyklonalna
- CB – północno-zachodnia cyrkulacja cyklonalna
- D – południowo-zachodnia cyrkulacja cyklonalna
- B – południowa cyrkulacja cyklonalna
- C_2D – zachodnia cyrkulacja antycyklonalna
- E_0 – północno-wschodnia cyrkulacja cyklonalna
- E – północno-wschodnia cyrkulacja antycyklonalna
- E_1 – południowo-wschodnia i wschodnia cyrkulacja antycyklonalna

Udział cyrkulacji cyklonalnych i antycyklonalnych w kształtowaniu klimatu Polski jest mniej więcej równy, 49,7% – typy cyklonalne i 48,3% – typy antycyklonalne, natomiast przeważają typy zachodnie (44,9%) nad wschodnimi (41,8% tab. 5).

Najczęściej w ciągu roku występuje typ E (ok. 17%), z maksimum w czerwcu i maju (odpowiednio 26,9% i 26,8%). Typ CB występuje przez 15,4% dni, cechuje się dość zróżnicowanym występowaniem w ciągu roku, przy czym największy udział ma w lipcu i listopadzie (20,6%, 20,4%).

Tabela 5. Średnia częstość (%) występowania poszczególnych typów cyrkulacji wg B. Osuchowskiej-Klein w latach 1966-1990

Typy		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Cyklonalne	E ₀	11,2	8,8	6,3	13,9	13,3	16,4	14,3	13,0	9,3	5,5	6,9	9,4	10,7
	F	0,9	7,8	5,2	10,7	10,6	4,3	1,7	2,2	1,5	3,5	3,2	2,1	4,5
	B	6,5	5,9	8,0	7,2	8,6	4,9	2,7	4,0	4,1	6,8	8,8	8,1	6,3
	D	9,3	11,0	8,4	4,9	4,6	3,2	2,7	4,3	7,6	9,5	10,1	10,1	7,2
	A	7,1	6,7	8,1	3,6	2,1	3,2	3,5	4,5	9,1	5,2	7,9	7,0	5,7
	CB	14,6	10,5	16,1	16,9	9,3	16,4	20,6	14,1	13,7	13,0	20,4	18,8	15,4
Antycyklonalne	E	10,1	13,0	14,2	18,0	26,8	26,9	23,2	25,7	16,0	12,8	9,9	9,2	17,1
	E ₁	17,0	17,1	14,2	5,7	5,7	3,3	3,5	7,5	7,1	11,9	9,6	11,0	9,5
	D ₂ C	4,3	3,1	3,6	2,0	2,6	3,2	2,2	4,5	3,6	6,5	5,3	4,0	3,7
	C ₂ D	8,0	4,8	6,3	7,1	6,2	9,6	17,8	11,2	11,2	9,2	6,7	9,9	9,0
	E ₂ C	2,2	5,0	2,8	4,3	4,5	3,1	3,1	3,5	8,9	3,5	4,1	3,2	4,0
	G	6,3	4,8	3,1	2,9	4,3	4,0	3,9	4,5	5,7	9,3	3,9	5,9	4,9
	BE	2,3	1,3	3,2	2,0	1,3	0,4	0,3	0,4	1,5	3,2	2,9	1,2	1,7
Inne	X	0,3	0,1	0,4	0,8	0,1	1,1	0,5	0,6	0,7	0,1	0,3	0,1	0,4
Σ cyklonal.		49,5	50,7	52,1	57,2	48,5	48,4	45,5	42,1	45,3	43,6	57,3	55,5	49,7
Σ antycykl.		47,9	47,9	44,3	40,0	50,1	50,1	53,7	56,9	52,5	53,0	39,5	43,2	48,3
Σ wsch.		39,2	46,7	39,9	48,3	56,4	50,9	42,7	48,4	33,9	33,7	29,6	31,6	41,8
Σ zach		45,4	41,1	45,4	38,8	29,3	38,7	49,9	42,1	54,1	46,8	54,5	53,0	44,9

Kolejnym typem często występującym w ciągu roku jest typ E₀ (10,7 %), z maksimum w czerwcu i lipcu (16,4%, 14,3%). Typ E₁ występuje przez 9,5% dni w ciągu roku, najczęściej występuje zimą (styczeń 17,0%, luty 17,1%) i w marcu (14,2%). Przez 9% dni w ciągu roku występuje typ C₂D, który charakteryzuje się maksimum występowania w lecie (lipiec 17,8%). Typ D występuje przez 7,2 % dni w ciągu roku, maksimum występowania ma zimą (luty 11%, listopad i grudzień 10,1%).

Dominujące kierunki wiatru

Wiatr, czyli poziomy ruch powietrza, charakteryzuje kierunek i prędkość. Rozkład ciśnienia atmosferycznego nad Europą warunkuje przewagę wiatrów z sektora zachodniego (NW, W, SW) na obszarze Polski. Sprzyja temu również równoleżnikowy układ krain geograficznych. Rozkład kierunków wiatru na Mazowszu nie odbiega od rozkładu w całej Polsce. Przeważają wiatry zachodnie (Warszawa 46,2%) nad wschodnimi (32,2%), a wiatry południowe (36,5%) są częściej notowane niż wiatry północne. W skali roku

w Warszawie największy udział mają wiatry z kierunku zachodniego (25,3%). Najrzadziej wieją wiatry z północy (7%) i z północo-wschodu (5,8 %).

Zimą obok dużego udziału wiatrów zachodnich (26,6%) wzrasta częstość wiatrów południowo-zachodnich (12,2%), na co wpływa rozbudowany Niż Islandzki. Obserwuje się również zwiększony udział wiatrów z sektora wschodniego (33,3%), co jest spowodowane oddziaływaniem potężnego, w okresie zimowym, Wyżu Azjatyckiego. Najmniej obserwuje się wiatrów z północy i północnego wschodu (4,2, 4,5%). Latem zdecydowanie dominują wiatry zachodnie, których udział wynosi 27,4%. Duży udział mają także wiatry północno-zachodnie (14,5%) oraz północne (10,2%). Przewaga sektora zachodniego związana jest z oddziaływaniem rozbudowanego Wyżu Azorskiego na zachodzie i silnego, termicznego Nizu Południowoazjatyckiego na wschodzie, przy słabym w porze letniej Nizu Islandzkim. Najmniejszą częstością cechują się wiatry północno-wschodnie (7,1%), południowo-zachodnie (8,3%) i południowe (9,1%).

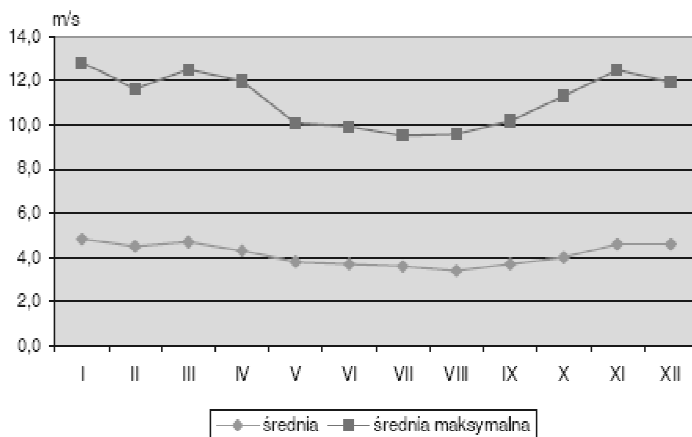
Prędkość wiatru

Prędkości wiatru w Polsce są największe w miesiącach zimowych, co związane jest ze zwiększonymi gradientami ciśnienia atmosferycznego nad Polską w tym okresie. Maksimum prędkości wiatru przypada na ogół w styczniu. W Warszawie w latach 1966-1995 średnia prędkość w styczniu wyniosła 4,8 m/s. Najniższe wartości przypadają z kolei na sierpień, w Warszawie średnia prędkość wynosiła 3,4 m/s (rys. 2).

Średnie maksymalne prędkości wiatru w Warszawie kształtują się od 9,5 w lipcu i 9,6 m/s w sierpniu do 12,5 w listopadzie i 12,8 m/s w styczniu.

Na Mazowszu, podobnie jak w Polsce nizinnej, dominują wiatry słabe i bardzo słabe. W Warszawie stanowią one, odpowiednio, niemal 50% i 21,9% (tab. 6). Rzadko notuje się na Mazowszu wiatry silne, około 35 dni w roku, a jeszcze rzadziej wiatry bardzo silne 2-5 dni w roku. Występowanie cisz wiąże się z warunkami lokalnymi, a więc waha się od 5 na terenach otwartych do 25% w obniżeniach, dolinach (Olszewski, 2003). W Warszawie wiatry silne stanowią 1,2% obserwacji, a bardzo silne są notowane sporadycznie. Cisze notuje się średnio 2,6% w roku, częstsze są latem, stanowią wtedy 3,6% obserwacji, co związane jest z osłabioną intensywnością ruchów powietrza w porze letniej.

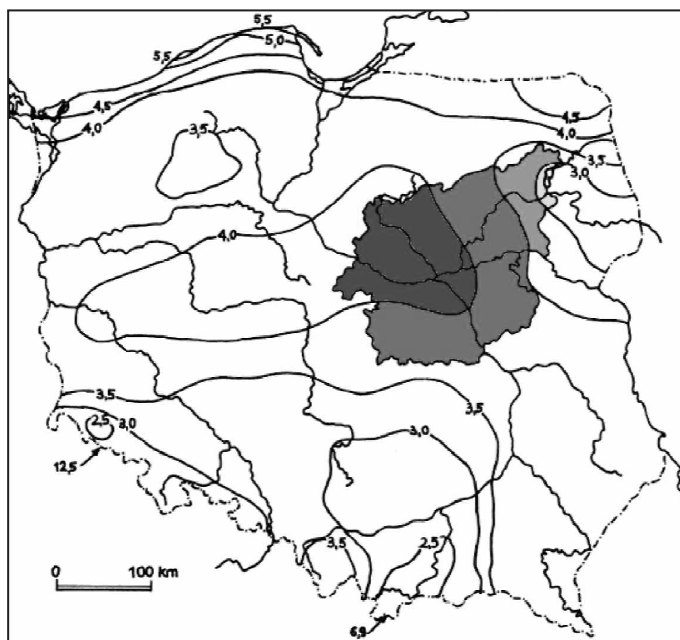
Rozkład przestrzenny prędkości wiatru charakteryzuje się największymi wartościami na szczytach górskich, średnia roczna prędkość wiatru na Śnieżce wynosi 12,5 m/s, a na Kasprowym Wierchu 6,9 m/s. Wysokimi prędkościami charakteryzuje się także wybrzeże Bałtyku, powyżej 4,5 m/s, Hel, Łeba powyżej 5,5 m/s. Na pozostałym obszarze Polski prędkość mieści się w przedziale 3,0-4,0 m/s, w kotlinach obniża się do 2,5 m/s, a w obniżeniach śródgórskich do 2,0 m/s. Średnia roczna prędkość wiatru na Mazowszu mieści się w granicach 2-5 m/s. Największe prędkości, powyżej 4 m/s występują w zachodniej części Mazowsza, a prędkości poniżej 3 m/s – w północno-wschodniej części regionu (rys. 3). W Warszawie średnia roczna prędkość wiatru wynosi 4,1 m/s i jest większa niż średnia w Polsce.



Rys. 2. Przebieg roczny prędkości wiatru na stacji Warszawa-Okęcie w latach 1966-1995

Tabela 6. Częstość wiatru w poszczególnych przedziałach prędkości (v) w roku na stacji Warszawa-Okęcie (1966-1995)

v (m/s)	0-2	2-5	5-7	7-10	11-15	>15	cisze
Częstość (%)	21,9	49,6	16,7	8,0	1,2	0,0	2,6



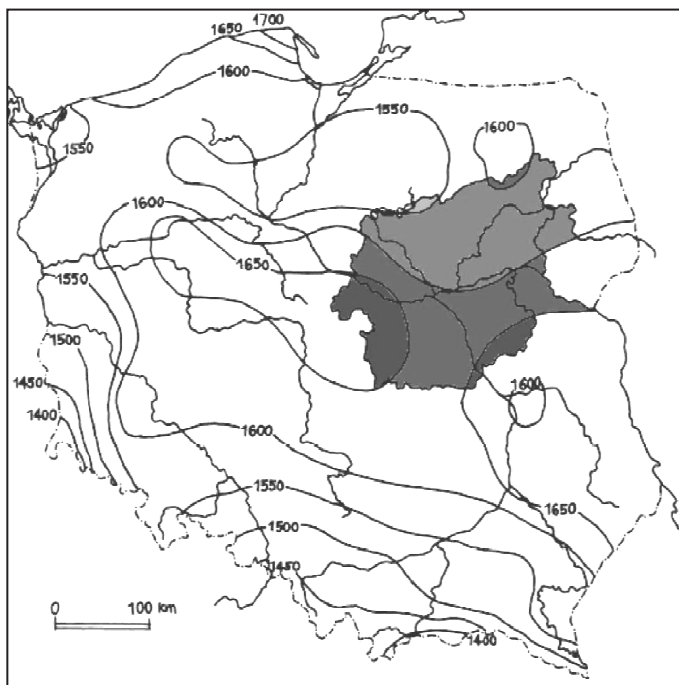
Rys. 3. Średnia roczna prędkość wiatru (m/s) w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem Mazowsza w latach 1971-2000 (Atlas klimatu Polski, 2005)

Zmiany roczne usłonecznienia i promieniowania w Polsce i na Mazowszu

Usłonecznienie rzeczywiste

Usłonecznienie zależy od szerokości geograficznej, a więc od długości dnia i pory roku oraz od zachmurzenia i stopnia zasłonięcia horyzontu. W Polsce usłonecznienie rzeczywiste jest niewielkie. Średnio na dobę przypada ok. 4 godz. ze słońcem. Nad Zatoką Gdańską i na Wyżynie Lubelskiej jest to 4,5 godz., natomiast na Śląsku, w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym jest to tylko 3,5 godz. (Paszyński, Niedźwiedź 1991).

W przebiegu rocznym najwyższe sumy usłonecznienia obserwuje się w czerwcu, ze względu na najdłuższy dzień w tym miesiącu, często jednak maksimum przypada na lipiec. Średnie dobowe sumy usłonecznienia największe są na północnych krańcach Polski, przekraczają 8 godz., na Helu jest to 8,3 godz. Natomiast w Warszawie jest to ok. 7,5 godz. Najniższe sumy usłonecznienia obserwuje się w grudniu, kiedy to dzień jest najkrótszy. Zimą długość dnia wzrasta z północy na południe, dlatego najniższe wartości występują na północy Polski – Hel, Suwałki ok. 0,8 godz. W Warszawie średnie dobowe sumy usłonecznienia również są nie duże, wynoszą ok. 0,9 godz. (tab. 7, rys. 4).



Rys. 4. Średnie roczne sumy usłonecznienia (godz.) w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem Mazowsza w latach 1971-2000 (Atlas klimatu Polski, 2005)

Promieniowanie całkowite

Promieniowanie bezpośrednie zależy od wysokości Słońca nad horyzontem, szerokości geograficznej, wyniesieniem danego miejsca nad poziom morza (im wyżej tym większa przezroczystość atmosfery). Udział promieniowania rozproszonego zwiększa się wraz

ze wzrostem zachmurzenia. Suma promieniowania bezpośredniego i rozproszonego stanowi promieniowanie całkowite.

W Polsce największe średnie wartości promieniowania całkowitego przypadają na czerwiec, najmniejsze zaś na grudzień, a więc na miesiące o najdłuższym i najkrótszym dniu. Maksimum promieniowania może występować również w lipcu. Na Mazowszu największe sumy w czerwcu wystąpiły w Mławie, Ostrołęce, Siedlcach I i Skierniewicach (odpowiednio 168,9, 174,5, 179,1 i 189,6 kWh/m²), a w lipcu maksimum promieniowania wystąpiło w Płocku (179,8 kWh/m²) i w Warszawie (169,8 kWh/m²). Najniższe sumy promieniowania na Mazowszu, kształtują się w granicach od 12,8 kWh/m² w Ostrołęce i Warszawie do 16,3 kWh/m² w Skierniewicach (tab. 7).

Tabela 7. Średnie wieloletnie sumy promieniowania całkowitego (kWh/m²) na wybranych stacjach Mazowsza w latach 1951-1970 (Rojek, 1997)

Stacje	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Mława	18,6	32,6	80,2	114,0	154,7	168,9	165,1	143,0	98,9	53,5	19,8	14,0
Ostrołęka	18,6	32,6	82,6	114,0	151,2	174,5	167,5	140,7	97,7	52,3	18,6	12,8
Płock	19,8	34,9	81,4	116,3	155,8	164,0	179,8	143,0	100,0	54,7	19,8	14,0
Siedlce	20,9	36,1	83,7	117,5	155,8	179,1	174,6	148,8	100,0	55,8	21,0	15,1
Skierniewice	20,9	37,2	83,7	123,3	162,8	189,6	173,3	147,7	103,5	59,3	23,3	16,3
Warszawa-Okęcie	18,6	34,9	82,6	117,5	151,2	166,3	169,8	145,4	103,5	57,0	20,9	12,8

Latem obserwuje się w Polsce spadek natężenia promieniowania z północy na południe. Największe sumy promieniowania notuje się na pobrzeżu Bałtyckim, szczególnie w jego wschodniej części, wartości sięgają 189,8 kWh/m² w Prabutach, w Elblągu 188,4 kWh/m², a na stacji Gdańsk-Wrzeszcz 188,3 kWh/m² oraz w północno-wschodniej Polsce, w Suwałkach osiągają 186,1 kWh/m². Wysokie wartości występują również w zachodniej części Mazowsza w Skierniewicach jest to 189,6 kWh/m² (Koźmiński, Michalska 1999). Najmniejsze wartości promieniowania w lecie występują w górach, nie przekraczają 160,0 kWh/m². W czerwcu w Raciborzu sumy promieniowania wynoszą 150,0 kWh/m², w Cieszynie 151,2 kWh/m², a w Jeleniej Górze i Rabce 157,0 kWh/m².

Zimą sytuacja jest odwrotna, największe wartości promieniowania całkowitego notuje się na południu Polski, i tak w Rabce jest to 23,3 kWh/m², w Iwoniczu 19,8 kWh/m² i 18,6 kWh/m² w Borusowej, Kłodzku, Przemyślu, Rzeszowie i Tarnowie. Z kolei najmniejsze sumy promieniowania występują na północy, północnym-wschodzie. W Białymstoku, Łęborku, Mikołajkach, Olsztynie, Resku i Suwałkach zanotowano 11,6 kWh/m², w miastach nadmorskich (Elbląg, Gdańsk, Kołobrzeg, Szczecin, Ustka) było to 12,8 kWh/m² (Koźmiński, Michalska 1999). Rozkład przestrzenny promieniowania całkowitego w Polsce, zarówno latem jak i zimą, zależy głównie od czynników astronomicznych.

Z ogólnego rozkładu sum promieniowania całkowitego wyróżniają się obszary silnie zurbanizowane (np.: Warszawa) czy tereny uprzemysłowione (np.: GOP). Obszary te cechuje osłabiony dopływ promieniowania słonecznego, co związane jest z dużym zanieczyszczeniem. Warszawa na przykład charakteryzuje się jednymi z niższych sum promieniowania w grudniu.

Bilans promieniowania

Bilans promieniowania to różnica między pochłoniętym promieniowaniem słonecznym a wypromieniowaniem efektywnym (promieniowanie w zakresie długofalowym). W Polsce bilans promieniowania jest dodatni w półroczu ciepłym (IV-IX), a ujemny w półroczu chłodnym (X-III). Świadczy to o przewadze strat ciepła wskutek wypromieniowania nad jego przychodem w postaci pochłoniętego promieniowania w ziemie (Paszyński, Niedźwiedź, 1991). Pionowy strumień ciepła (znak bilansu) ulega zmianie na przeciwny wiosną (z ujemnego na dodatni) i jesienią. Maksymalne wartości promieniowania występują w czerwcu, a minimalne w styczniu. Jedynie na wybrzeżu, w północnej części Wielkopolski i w Sudetach minimum występuje w grudniu. Zimą najwyższe wartości dobowe występują w pasie środkowym kraju, podczas gdy najniższe wartości obserwuje się na północy i południu. Latem najwyższe sumy dobowe występują na wybrzeżu, natomiast wyjątkowo niskie notuje się w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym. Średnie dobowe sumy bilansu promieniowania wyznaczone dla całego roku największe są nad morzem, a najmniejsze w górach.

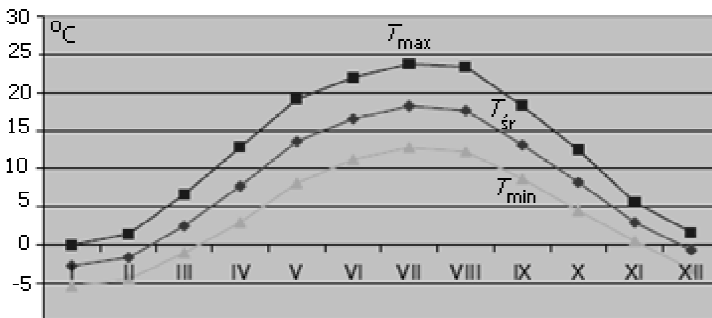
Na Mazowszu średnie roczne wartości salda promieniowania należą do jednych z najwyższych w kraju, dorównują wartościom z nad morza i tylko w północnej części regionu wartości te są niższe, a na północno-wschodnich krańcach Mazowsza wartości salda promieniowania są tak niskie jak w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym.

Na rozkład przestrzenny bilansu promieniowania od wiosny do jesieni wpływa głównie pochłonięte promieniowanie słoneczne, powierzchnia Ziemi jako cieplejsza oddaje ciepło do atmosfery, a strumień ciepła przewodzonego w podłożu skierowany jest w głąb Ziemi. Z kolei na rozkład przestrzenny salda promieniowania zimą większy wpływ ma wypromieniowanie, cieplejsza w tym okresie atmosfera oddaje ciepło wychłodzonej powierzchni Ziemi, natomiast strumień ciepła przewodzonego w podłożu jest skierowany ku górze.

Cechy termiczne klimatu Polski z wyodrębnieniem Mazowsza

Zmiany roczne temperatury powietrza

Najniższa średnia temperatura powietrza w Warszawie ($-2,7^{\circ}\text{C}$) przypada na styczeń, a najwyższa – na lipiec ($18,2^{\circ}\text{C}$). Jednak w niektórych latach najzimniejszym miesiącem jest luty lub grudzień. Spadek temperatury jesienią jest wolniejszy niż jej wzrost wiosną.



Rys. 5. Przebieg roczny temperatury powietrza na stacji Warszawa-Okęcie w latach 1966-1995

(T_{\max} – maksymalna, T_{sr} – średnia, T_{\min} – minimalna)

Podobny przebieg roczny mają średnia minimalna (T_{\min}) i średnia maksymalna (T_{\max}) temperatura powietrza, czyli minimum przypada na styczeń, a maksimum na lipiec. Najniższa średnia minimalna w Warszawie wynosi $-5,4^{\circ}\text{C}$ (styczeń), a najwyższa $12,8^{\circ}\text{C}$ (lipiec). Z kolei średnia maksymalna temperatura powietrza najniższa to $0,0^{\circ}\text{C}$ (styczeń), a najwyższa wynosi $23,7^{\circ}\text{C}$ (lipiec).

Na Mazowszu w styczniu średnia temperatura waha się od powyżej $-2,5^{\circ}\text{C}$ na zachodnich krańcach ($-2,4^{\circ}\text{C}$ w Płocku) do $-4,0^{\circ}\text{C}$ na krańcach północno-wschodnich (Wysoczyzna Kolońska). Najniższą średnią temperaturę notuje się w Mławie i Siedlcach $-3,4^{\circ}\text{C}$ (tab. 8).

Tabela 8. Średnie wieloletnie wartości temperatury powietrza ($^{\circ}\text{C}$) na wybranych stacjach Mazowsza w latach 1966-1995 (Kozłowski, Michalska, 1999)

Stacje	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	A
Mława	-3,4	-2,4	1,6	6,8	12,8	15,8	17,4	16,9	12,4	7,6	2,3	-1,3	7,2	20,8
Ostrołęka	-3,2	-2,2	1,9	7,3	13,4	16,3	17,9	17,2	12,7	7,8	2,6	-1,2	7,5	21,1
Płock	-2,4	-1,3	2,6	7,6	13,3	16,3	18,0	17,5	13,2	8,3	3,1	-0,5	8,0	20,4
Poświętne	-3,2	-2,2	2,5	7,2	13,5	16,3	17,7	17,2	12,9	7,9	3,2	-0,8	7,7	20,9
Siedlce	-3,4	-2,3	1,8	7,3	13,2	16,0	17,7	17,1	12,7	7,8	2,5	-1,2	7,4	21,1
Warszawa-Okęcie	-2,7	-1,5	2,6	7,7	13,6	16,5	18,2	17,6	13,1	8,2	3,0	-0,7	8,0	20,9

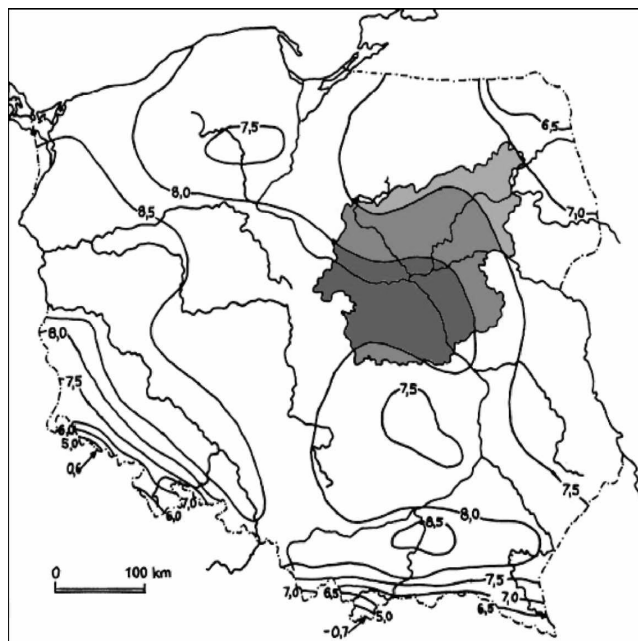
Rozkład przestrzenny średniej temperatury lipca w Polsce jest w porównaniu ze styczniem znacznie mniej zróżnicowany. Średnia temperatura lipca na Mazowszu jest nie znacznie zróżnicowana i kształtuje się od poniżej $17,5^{\circ}\text{C}$ na północy regionu ($17,4^{\circ}\text{C}$ w Mławie) do powyżej $18,0^{\circ}\text{C}$ w południowo-zachodniej ($18,0^{\circ}\text{C}$ w Płocku i $18,2^{\circ}\text{C}$ w Warszawie). Na Mazowszu średnia roczna temperatura powietrza zawiera się w granicach od poniżej $7,5^{\circ}\text{C}$ na północy i wschodzie (Mława $7,4^{\circ}\text{C}$, Siedlce $7,2^{\circ}\text{C}$) do ponad $8,0^{\circ}\text{C}$ w południowo-zachodniej części regionu (Płock, Warszawa $8,0^{\circ}\text{C}$).

Tendencje zmian temperatury powietrza (współczynniki regresji A , $^{\circ}\text{C}/10$ lat) w poszczególnych miesiącach i porach roku w Warszawie w latach 1966-1995 przedstawiono w tab. 9.

Tabela 9. Tendencje zmian temperatury powietrza (A) w poszczególnych miesiącach i porach roku w Warszawie w latach 1966-1995, R – współczynnik korelacji

Miesiąc	A ($^{\circ}\text{C}/10$ lat)	R	Pora roku	A ($^{\circ}\text{C}/10$ lat)	R
Marzec	0,29	0,12	Wiosna	0,23	0,19
Kwiecień	0,30	0,24			
Maj	0,10	0,05			
Czerwiec	-0,26	0,19	Lato	0,09	0,08
Lipiec	0,28	0,15			
Sierpień	0,24	0,16			
Wrzesień	-0,06	0,04	Jesień	-0,32	0,31
Październik	-0,14	0,09			
Listopad	-0,76	0,36			
Grudzień	0,39	0,14	Zima	0,80	0,33
Styczeń	1,66	0,41			
Luty	0,34	0,09			

Izotermie na obszarze Polski w zimie mają przebieg południkowy. Świadczy to o stopniowym obniżeniu się temperatury zimy z zachodu na wschód. W styczniu średnia temperatura w Polsce zmienia się, poza obszarem górskim, od $-0,5^{\circ}\text{C}$ nad dolną Odrą ($-0,2^{\circ}\text{C}$ w Świnoujściu) i w rejonie Ustki ($-0,4^{\circ}\text{C}$) do poniżej $-4,5^{\circ}\text{C}$ na Pojezierzu Suwalskim ($-4,8^{\circ}\text{C}$ w Suwałkach). W górach średnie temperatury stycznia są jeszcze niższe. Ocieplający wpływ Morza Bałtyckiego w porównaniu z oddziaływaniem Atlantyku jest stosunkowo nieznaczny i ograniczony do dość wąskiej strefy przybrzeżnej, co zaznacza się w przebiegu izoterm równoległym do wybrzeża.



Rys. 6. Średnia roczna temperatura powietrza ($^{\circ}\text{C}$) w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem Mazowsza w latach 1971-2000 (Atlas klimatu Polski, 2005)

Termiczne pory roku

Termiczne pory roku (początek, koniec, czas trwania, tab. 11) wyznacza się na podstawie średnich dat przejścia temperatury powietrza przez określone wartości „progowe”. W Polsce najczęściej wyróżnia się 4 termiczne pory roku:

- wiosna $5^{\circ}\text{C} < t < 15^{\circ}\text{C}$
- lato $t > 15^{\circ}\text{C}$
- jesień $5^{\circ}\text{C} < t < 15^{\circ}\text{C}$
- zima $t < 10^{\circ}\text{C}$

Lato termiczne wkracza do Polski zarówno od zachodu jak i wschodu. Najwcześniej, bo pod koniec maja, rozpoczyna się na obszarach wzdłuż środkowego odcinka biegu Wisły i Bugu. W wyższych partiach gór termiczne lato w ogóle nie występuje.

Zima termiczna wkracza do Polski od północo-wschodu i wschodu. Najwcześniej pojawia się w górach, na początku drugiej dekady października w Tatrach i pod koniec mie-

siąca w Karkonoszach (tab. 10). Poza obszarami górskimi zima najwcześniej wkracza na Pojezierze Suwalskie, pod koniec listopada i stopniowo obejmuje północno-wschodnią i wschodnią część Polski. W Warszawie zima zaczyna się 11 grudnia (tab.11).

Najpóźniej dociera do nizin nadmorskich, pod koniec grudnia, a nawet na początku stycznia, co spowodowane jest ocieplającym działaniem Bałtyku o tej porze roku.

Tabela 10. Średnie daty początku termicznych pór roku w latach 1951-1980 (Niedźwiedz, Limanówka, 1992)

Miejscowość	Wiosna	Lato	Jesień	Zima
Gdańsk	6 IV	10 VI	1 IX	23 XII
Jelenia Góra	6 IV	19 VI	17 VIII	9 XII
Kasprowy Wierch	10 VI	15 VII	15 VII	22 X
Kielce	4 IV	4 VI	27 VIII	6 XII
Koszalin	8 IV	15 VI	26 VIII	22 XII
Kraków	31 III	3 VI	30 VIII	9 XII
Lublin	2 IV	31 V	28 VIII	6 XII
Poznań	31 III	31 V	1 IX	14 XII
Przemyśl	30 III	31 V	1 IX	10 XII
Słubice	28 III	1 VI	31 VIII	27 XII
Suwałki	11 IV	8 VI	23 VIII	26 XI
Śnieżka	30 V	15 VII	15 VII	28 X
Świnoujście	5 IV	11 VI	2 IX	3 I
Terespol	3 IV	29 V	29 VIII	3 XII
Warszawa	1 IV	30 V	1 IX	9 XII
Wieluń	31 III	2 VI	31 VIII	11 XII
Wrocław	28 III	1 VI	1 IX	19 XII
Zakopane	18 IV	15 VII	15 VII	24 XI

Tabela 11. Daty początku i końca oraz czas trwania termicznych pór roku w Warszawie w latach 1966-1995 (T_{sr} , °C)

Pora roku	Średnie daty		Czas trwania (dni)
	Początek	Koniec	
Wiosna $5^{\circ} < T_{sr} < 15^{\circ}C$	29 III	27 IV	29
Lato $T_{sr} \geq 15^{\circ}C$	29 V	2 IX	96
Jesień $5^{\circ} < T_{sr} \leq 15^{\circ}C$	5 X	3 XI	29
Zima $T_{sr} < 0^{\circ}C$	11 XII	27 II	78

Na Mazowszu termiczne lato najwcześniej pojawia się w środkowej części Mazowsza, na obszarach położonych wzdłuż środkowego odcinka biegu Wisły i Bugu, pod koniec maja, w Warszawie lato zaczyna się 29 maja. Najpóźniej lato wkracza na obszary północnego Mazowsza, około 5 czerwca. W Warszawie lato trwa 94 dni, najdłużej w ca-

łym kraju. Jesień termiczna wkracza na Mazowsze od północo-wschodu. Na północno-wschodnich krańcach pojawia się 25 sierpnia i stopniowo obejmuje cały region. Zima najwcześniej, bo na przełomie listopada i grudnia, zaczyna się na krańcach północno-wschodnich Mazowsza, zaś najpóźniej w zachodniej części regionu po 10 grudnia. W Warszawie zima ma swój początek 9 grudnia (tab. 10).

Ważnym wskaźnikiem jest również okres wegetacyjny, który cechuje temperatura $\geq 5^{\circ}\text{C}$, a więc od początku termicznej wiosny do końca termicznej jesieni.

Termiczne dni charakterystyczne

Dni charakterystyczne określa się na podstawie częstości występowania temperatur minimalnych i maksymalnych. Wyróżnia się:

- dni bardzo mroźne – $t_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$
- dni mroźne – $t_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$
- dni przymrozkowe – $t_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ i $t_{\max} > 0^{\circ}\text{C}$
- dni gorące – $t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$
- dni upalne – $t_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$

Na Mazowszu częstość dni bardzo mroźnych, mroźnych i przymrozkowych wzrasta z zachodu (rejon Płocka, Skierniewic) na północo-wschód (Wysocyzna Kolneńska). W Warszawie średnio w roku jest 1,3 dni bardzo mroźnych, przy czym maksimum przypada na styczeń, a w grudniu i lutym dni te zdarzają się sporadycznie. Dni mroźnych w Warszawie obserwuje się średnio 38 w ciągu roku. Występują one od listopada do marca, a najwięcej jest ich w styczniu.

Liczba dni gorących i upalnych na przeważającym obszarze Mazowsza jest bardzo podobna, tylko na północnych krańcach regionu jest niższa. Dni upalnych w ciągu roku w Warszawie obserwuje się średnio 5. Występują one w czerwcu, lipcu i sierpniu, rzadko w maju. Liczba dni upalnych często też zależy od warunków podłoża.

Cechy wilgotnościowe klimatu Polski za szczególnym uwzględnieniem Mazowsza

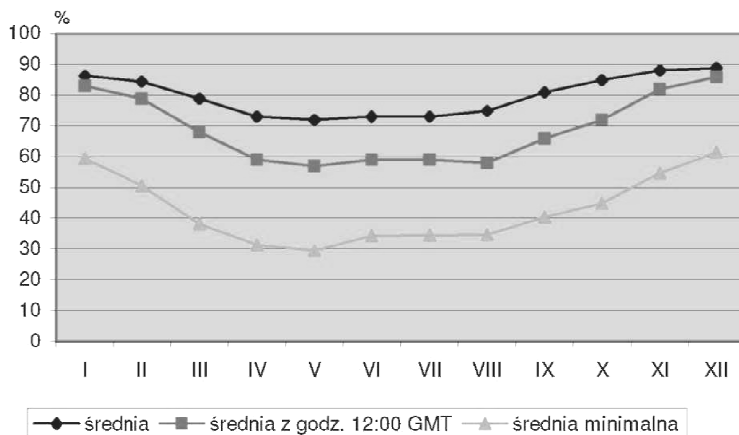
Zmiany roczne wilgotności powietrza

Przebieg roczny wilgotności względnej (stosunku aktualnego ciśnienia pary wodnej do maksymalnego w %) jest odwrotny do przebiegu temperatury. W Polsce wilgotność względna charakteryzuje się jednym minimum i jednym maksimum. Maksimum wilgotności w Warszawie wynosi 89%, najczęstsze było w grudniu (rys. 12).

Podobny przebieg roczny ma średnia wilgotność względna z godziny 12:00 GMT oraz średnia minimalna (rys. 7). W obu przypadkach minimum przypada na maj, a maksimum na grudzień.

Mazowsze, jak już wcześniej wspomniano, należy do obszarów o najniższej średniej wilgotności w kraju (tab. 8).

Na Mazowszu najniższą średnią roczną wilgotność względną notuje się, jak już wspomniano, na stacji Warszawa-Bielany, natomiast najwyższą w Siedlcach (81%). Na pozostałym obszarze regionu wartości mieszczą się w granicach 79-80%.



Rys. 7. Przebieg roczny wilgotności względnej powietrza na stacji Warszawa-Okęcie w latach 1966-1995

Tabela 12. Średnia wieloletnia wilgotność względna (%) 1951-1970 (Chomicz, 1977)

Miejscowość	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Mława	87	85	79	75	71	70	75	78	81	85	89	89	80
Ostrołęka	87	85	79	73	71	70	74	78	80	84	88	88	80
Płock	84	84	78	74	72	70	74	76	79	83	87	88	79
Poświętne	87	85	81	74	71	70	75	77	79	83	88	89	80
Siedlce	88	87	81	75	73	74	75	78	79	84	88	89	81
Skierniewice	86	85	81	74	71	71	73	75	78	83	88	88	79
Warszawa-Bielany	84	83	76	69	67	67	70	73	77	82	86	87	77
Warszawa Obserwatorium	87	86	80	74	72	72	74	77	80	85	89	89	80
Warszawa-Okęcie	86	85	78	73	70	70	72	75	78	82	89	88	79

Zmiany roczne zachmurzenia, liczby dni pogodnych i pochmurnych oraz liczby dni z mgłą

Występowanie chmur jest wynikiem kondensacji pary wodnej zawartej w powietrzu. Zachmurzenie ogólne jest stopniem pokrycia nieba przez wszystkie chmury widziane w danej chwili, wyrażony w częściach lub procentach powierzchni całego nieba (Paszyński, Niedźwiedź 1991, Woś 1999). Do największego rozwoju zachmurzenia dochodzi w strefach frontów meteorologicznych. W strefie frontu ciepłego dominują chmury warstwowe, a w strefie frontu chłodnego chmury kłębiaste. Poza strefami frontalnymi w Polsce najczęściej obserwuje się chmury kłębiasto-warstwowe (*Sc*), pierzaste (*Ci*), średnio-kłębiaste (*Ac*) i kłębiaste (*Cu*), a jesienią i zimą należy zaliczyć także warstwowe (*St*).

Przebieg roczny zachmurzenia w Polsce charakteryzuje się minimum przypadającym na przełomie lata i jesieni oraz nieco mniejszym na wiosnę i jednym maksimum na przełomie jesieni i zimy. W Warszawie minimum zachmurzenia przypada na sierpień i wynosi 51%. W latach 1966-1995 najmniejsze zachmurzenie występowało również często

w maju oraz w czerwcu, lipcu i wrześniu. Maksimum zachmurzenia w Warszawie obserwuje się w grudniu, jest to 78%.

Na Mazowszu wartości zachmurzenia we wrześniu kształtują się od 47-49% do 56% (tab. 13). Najmniejsze zachmurzenie występuje, jak wspomniano wcześniej, na stacjach: w Poświętnem, w Pułtusk, niskimi wartościami cechuje się także stacja Obserwatorium w Warszawie (50%), natomiast największe na stacjach w Płocku, Siedlcach i Warszawie-Bielanach.

Tabela 13. Średnia wieloletnia wielkość zachmurzenia (%) na wybranych stacjach Mazowsza w latach 1951-1970 (Chomicz, 1977)

Miejscowość	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Brwinów	74	72	62	60	63	59	59	58	53	62	80	79	65
Legionowo	76	75	63	61	63	59	61	59	54	64	81	80	66
Mława	77	74	62	62	62	60	63	62	54	65	84	79	67
Ostrołęka	76	74	60	60	62	57	59	58	53	64	83	80	66
Płock	77	74	63	63	63	60	62	60	₅₆	63	83	80	67
Poświętne	72	70	56	55	55	49	53	52	47	56	78	78	60
Pułtusk	76	73	60	56	57	52	55	56	49	61	81	79	63
Siedlce	78	76	64	64	64	59	62	59	56	64	84	82	68
Skiermiewice	75	74	62	59	63	57	61	59	54	63	81	81	66
Warszawa-Bielany	78	78	67	65	64	61	62	61	56	66	82	83	69
Warszawa Obserwatorium	74	72	60	56	59	52	56	52	50	60	80	81	63
Warszawa-Okęcie	76	74	64	62	63	58	60	58	54	62	81	81	66

Maksimum zachmurzenia na przeważającym obszarze kraju obserwuje się w listopadzie. Wielkość zachmurzenia kształtuje się od 70% na południu kraju do 85-86% na północy. Najniższe wartości występują w obszarach podgórskich i górskich.

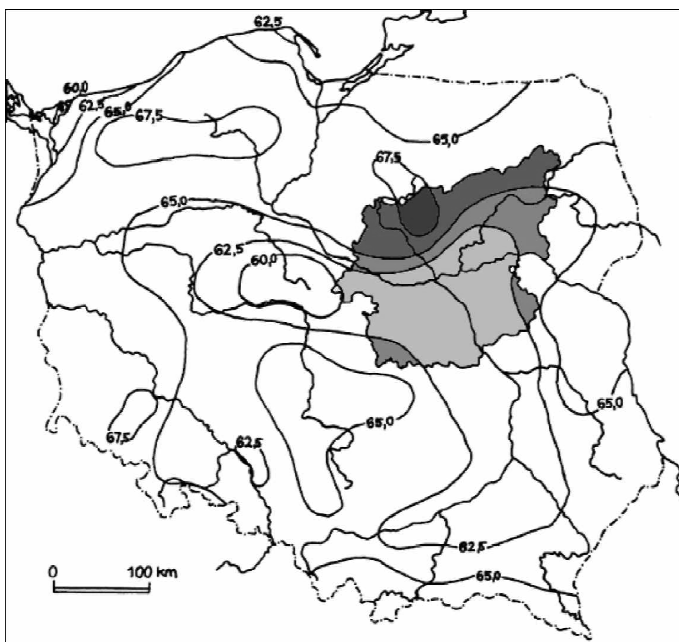
Średnie roczne zachmurzenie jest najmniejsze w centralnej części Polski, a największe w północnej części Wysoczyzny Ciechanowskiej i środkowa części Pojezierza Pomorskiego (rys. 8).

Innymi charakterystykami zachmurzenia jest liczba dni pogodnych ($N < 20$ %) oraz liczba dni pochmurnych (rys. 9 i 10).

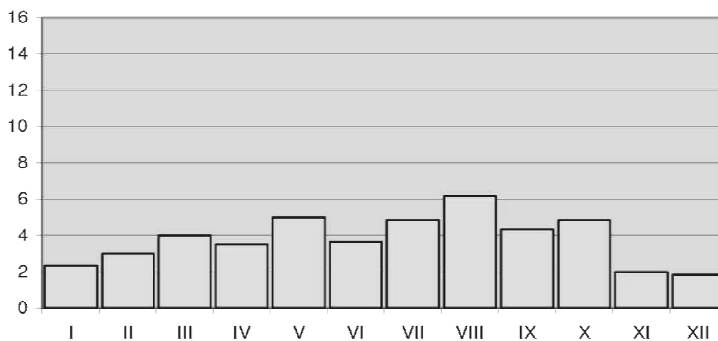
Na Mazowszu średnie roczne zachmurzenie najmniejsze występuje w południowej części regionu, poniżej 62%, im dalej na północ tym zachmurzenie jest większe, największe, jak już wspomniano cechuje północną część Wysoczyzny Ciechanowskiej, powyżej 67%.

Ważną charakterystyką dla wielu dziedzin gospodarki, zwłaszcza komunikacji, jest liczba dni z mgłą (rys. 11).

Na Mazowszu najmniej dni pogodnych jest na północno-wschodnich krańcach regionu, poniżej 35, na południu jest to niecałe 40 dni, zaś najwięcej tych dni notuje się w północnej części regionu (Woś, 1999). Dni pochmurnych najwięcej obserwuje się w grudniu, a także w listopadzie i styczniu. Ogólnie dni pochmurnych w ciągu roku notuje się trzy razy więcej niż pogodnych. Mazowsze, jak wspomniano, cechuje się stosunkowo niską frekwencją występowania mgieł. Na przeważającym obszarze regionu jest to 40-50 dni w ciągu roku, tylko w dolinie Bugu jest to poniżej 40 dni, zaś w północnej części Wysoczyzny Ciechanowskiej powyżej 60 dni.



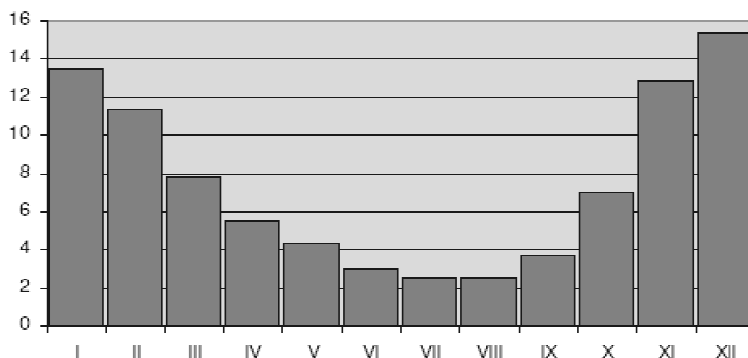
Rys. 8. Średnia roczna wielkość zachmurzenia (%) w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem Mazowsza w latach 1971-2000 (Atlas klimatu Polski, 2005)



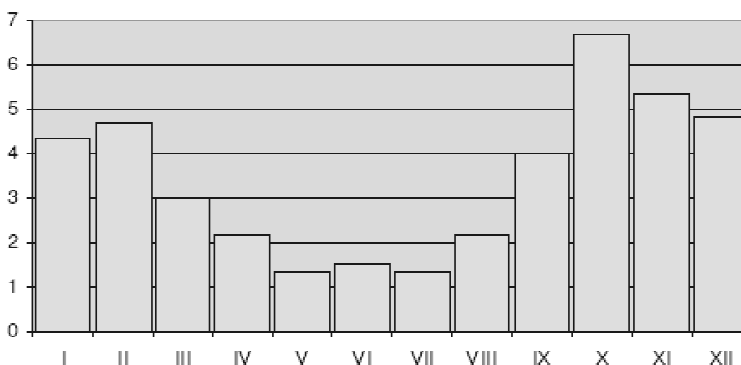
Rys. 9. Przebieg roczny dni pogodnych na stacji Warszawa-Okęcie w latach 1966-1995

Mgły w Polsce występują najczęściej w październiku, a najrzadziej w czerwcu.

Mgły nieco częściej występują we wklęsłych formach terenu (doliny, kotliny) m.in.: w Kotlinie Jeleniogórskiej i Kotlinie Kłodzkiej notuje się ich więcej. Powstawaniu mgieł sprzyja także duża ilość zanieczyszczeń, które stanowią jądra kondensacji, a więc obszary miejsko-przemysłowe cechuje częstsze występowanie mgieł.



Rys. 10. Przebieg roczny dni pochmurnych na stacji Warszawa-Okęcie w latach 1966-1995



Rys. 11. Przebieg roczny dni z mgłą na stacji Warszawa-Okęcie w latach 1966-1995

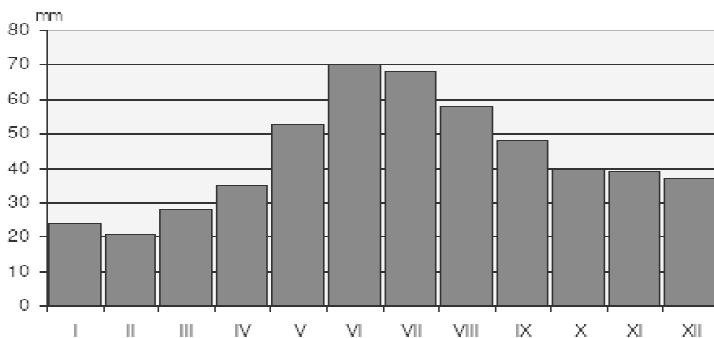
Zmiany roczne sum opadów, dni z opadem, burzą oraz z pokrywą śnieżną

Opady na terenie Polski głównie są związane z przemieszczaniem się frontów atmosferycznych, latem opady o największym natężeniu powstają w wyniku konwekcji. Przestrzenny rozkład opadów atmosferycznych zależy od orografii i ekspozycji w stosunku do przeważających wiatrów zachodnich.

W przebiegu rocznym opadów atmosferycznych w Polsce wyróżnia się jedno minimum i jedno maksimum. Minimum występuje zimą, w lutym, natomiast maksimum przypada na miesiące letnie, jest to czerwiec bądź lipiec (rys. 12).

Średnie opady atmosferyczne w Polsce są elementem najbardziej zróżnicowanym przestrzennie (tab. 14, rys. 13).

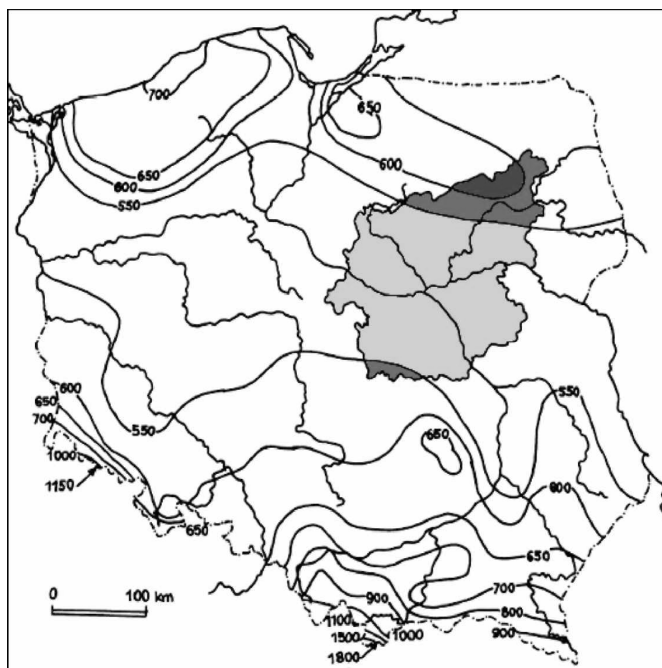
Mazowsze charakteryzuje się najmniejszymi sumami opadów w Polsce. W lutym we wschodniej części regionu spada 21 mm (w Siedlcach), przez 22 mm w środkowej i północnej (Warszawa, Mława) oraz 23 mm w zachodniej Płocku do 26 mm na północnym wschodzie (w Ostrołęce).



Rys. 12. Przebieg roczny sum opadów atmosferycznych na stacji Warszawa-Okęcie w latach 1966-1995

Tabela 14. Średnie wieloletnie sumy opadów atmosferycznych (mm) na wybranych stacjach Mazowszaw latach 1966-1995 (Kozmiński, Michalska, 1999)

Stacje	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Mława	30	22	31	36	44	73	71	63	57	41	42	41	551
Ostrołęka	33	26	32	40	56	74	66	68	56	43	44	42	580
Płock	30	23	34	33	48	70	74	62	49	37	41	39	540
Siedlce	27	21	27	37	53	76	63	62	55	41	37	37	536
Warszawa-Okęcie	24	22	28	36	53	72	68	58	50	40	39	37	527



Rys. 13. Średnie roczne sumy opadów atmosferycznych (mm) w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem Mazowsza w latach 1971-2000 (Atlas klimatu Polski, 2005)

Największe sumy opadów w trzydziestoleciu 1966-1995 przypadają na czerwiec. W czerwcu sumy opadów kształtują się w zakresie 70-76 mm. Najmniej opadów spada na zachodzie regionu (Płock 70 mm), w środkowej części jest to 72 mm (Warszawa), na północy 73-74 mm (odpowiednio w Mławie, Ostrołęce), Ostrołęce najwięcej opadów notuje się na wschodzie regionu 76 mm (w Siedlcach).

Średnie roczne sumy opadów atmosferycznych najmniejsze obserwuje się w pasie środkowym Polski. Natomiast na obszarach położonych na południe od pasa wyżyn sumy opadów rosną w miarę przemieszczania się na południe oraz wzniesienia nad poziomem morza. Największe średnie roczne sumy opadów notuje się w Karpatach i Sudetach. W Karkonoszach, na Śnieżce spada średnio 1372 mm, a w Tatrach, na Kasprowym Wierchu 1781 mm w roku.

Mazowsze, jak wspomniano wcześniej cechuje się jednymi z najmniejszych sum opadów atmosferycznych Polsce. Średnio w ciągu roku na Mazowszu spada od 520-600 mm opadów. Najniższe sumy notuje się właściwie na przeważającej części obszaru, nie przekraczają one 550 mm (rys. 13). W Warszawie spada 527 mm, jest najniższa suma, w Siedlcach spada 536 mm, a w Płocku 540 mm (tab. 14). Nieco wyższe sumy opadów są na krańcach południowych i w północnej części regionu (rys. 13), powyżej 550 mm, w Mławie jest to 551 mm, w Ostrołęce 580 mm. Najwyższe wartości obserwuje się na krańcach północno-wschodnich Mazowsza.

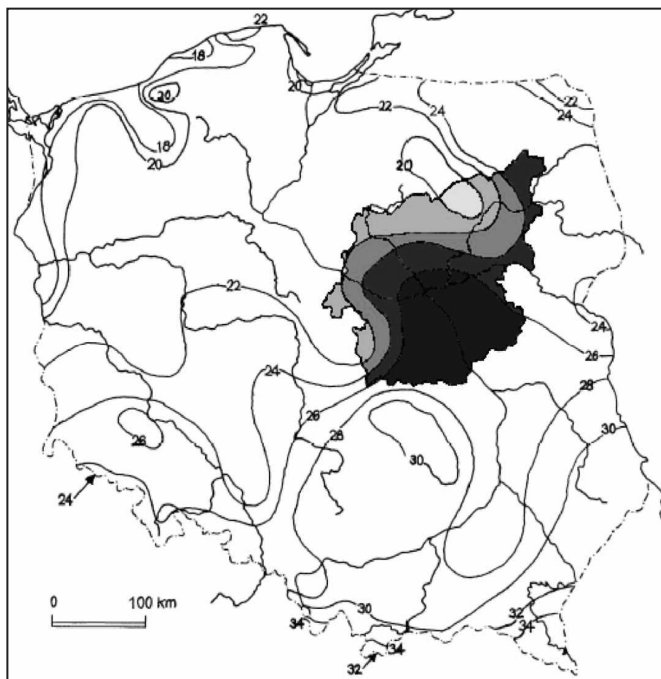
Na przeważającym obszarze Polski obserwuje się około 15 dni z opadem > 10 mm. Najmniej występuje tych dni na Nizinie Wielkopolskiej oraz Nizinie Mazowieckiej i Szczecińskiej (10-14). Częściej dni opadem występują na nizinach nadmorskich i na Pojezierzach, około 16 w roku. Natomiast znacznie więcej dni z opadem jest na południu kraju, na terenach podgórskich ich liczba dochodzi do 20, a w górach jest ich ponad 40 (Kasprowy Wierch 53, Śnieżka 40). Duża liczba dni z opadem > 10 mm występująca na południu kraju, wynika na ogół z spiętrzenia mas wilgotnego powietrza na dowietrznych stokach gór. Na nizinach i pojezierzach najwięcej dni z opadem w lecie, związane jest z występowaniem burz pochodzenia frontowego lub termicznego (Woś, 1999).

Burze w Polsce związane są głównie z porą letnią, kiedy możliwości rozwoju konwekcji są szczególnie dobre. Ze względu na genezę powstawania wyróżnia się burze frontowe i burze wewnątrzmasowe.

Burze frontowe rozwijają się na frontach atmosferycznych (chłodnych bądź zokludowanych), powstają, gdy ciepłe powietrze jest wypierane w górę przez napływające dołem powietrze chłodne. Z kolei burze wewnątrzmasowe tworzą się wewnątrz jednorodnej masy powietrza. Burze tego rodzaju mogą być uwarunkowane orografią bądź przyczynami termicznymi (silne nagrzanie się podłoża).

Burze są zjawiskiem typowo letnim. Najwięcej dni z burzą występuje w lipcu, często liczba ta stanowi 1/3 rocznej liczby dni z burzą. W Warszawie w 30-leciu 1966-1995 w lipcu wystąpiło średnio prawie 6 dni z burzą, podobnie było w czerwcu

Najmniej dni z burzą występuje zimą, na ogół burze nie występują od listopada do lutego, są to pojedyncze przypadki w ciągu całego 30-lecia. W listopadzie w ciągu 30 lat było 6 dni z burzą, w grudniu 2, w styczniu 3 i w lutym 2 dni. W ciągu roku w Warszawie występuje średnio 25 dni z burzą.

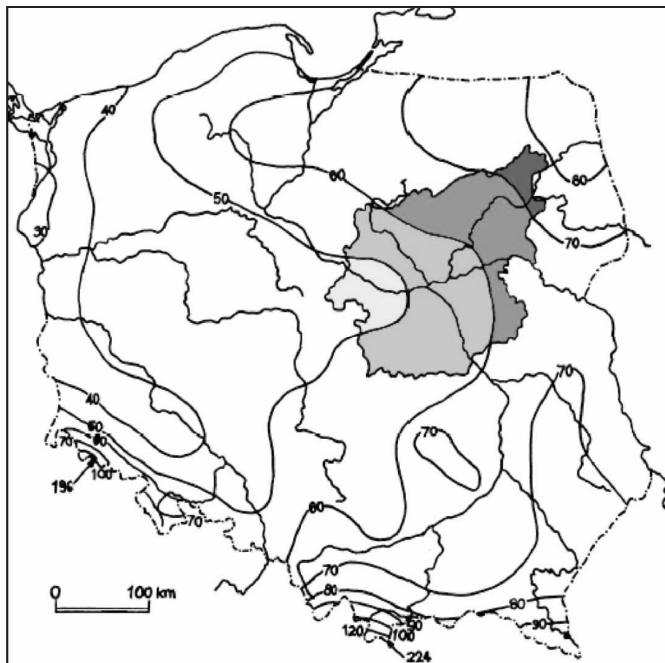


Rys. 14. Średnia roczna liczba dni z burzą w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem Mazowsza w latach 1971-2000 (Atlas klimatu Polski, 2005)

Niezbędnymi warunkami by utworzyła się pokrywa śnieżna są: opad śniegu i niska temperatura podłoża. Pokrywa śnieżna utrzymuje się w zależności od temperatury powietrza oraz od ekspozycji i pokrycia terenu. Okres od momentu pojawienia się pokrywy śnieżnej do momentu jej zaniku nie pokrywa się z rzeczywistą liczbą dni z pokrywą śnieżną, gdyż występują przerwy w jej trwałości.

Pokrywa śnieżna występuje w Polsce średnio od listopada do marca. W Warszawie w 30-leciu 1966-1995 pokrywa śnieżna występowała średnio od listopada do kwietnia. Na Mazowszu średnia roczna liczba dni z pokrywą śnieżną kształtuje się w granicach od 50 na zachodzie, do 70 na północno wschodnich krańcach regionu (rys. 15).

Pokrywa śnieżna najwcześniej tworzy się w górach i na obszarach podgórskich. W Tatrach pojawia się już w pierwszej połowie września, a w Karkonoszach pod koniec września.



Rys. 15. Średnia roczna liczba dni z pokrywą śnieżną w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem Mazowsza w latach 1971-2000 (Atlas klimatu Polski, 2005)

Antropogeniczne zmiany klimatu Mazowsza

Stan aerosanitarny Mazowsza

Działalność człowieka odgrywa znaczącą rolę w zmianach klimatu. Człowiek wprowadza do atmosfery różne substancje stałe, ciekłe lub gazowe. Promieniowanie pochłanianie jest przez atmosferę w sposób selektywny, tzn. różne gazy pochłaniają tylko poszczególne pasma widma. Ozon, na przykład, pochłania bardzo silnie promieniowanie ultrafioletowe, co ma ogromne znaczenie dla organizmów żywych na Ziemi, dla których promienie ultrafioletowe są szkodliwe. Dwutlenek węgla i inne gazy, zwane szklarniowymi, zatrzymują wypromieniowanie długofalowe Ziemi, tworząc tzw. naturalny efekt cieplarniany. Obserwuje się wzrost ilości tych gazów w atmosferze, co powoduje powiększenie efektu cieplarnianego, tym samym wzrost temperatury na Ziemi. Można wspomnieć także o smogu fotochemicznym, który powstaje przy dużym nasłonecznieniu i występowaniu zanieczyszczeń komunikacyjnych. Substancje te pod wpływem promieniowania słonecznego reagują między sobą, tworząc silnie utleniające związki (m.in. nitroolefiny), ozon, które podrażniają drogi oddechowe.

Istotna jest zawartość pary wodnej w powietrzu, tzn. jego wilgotność. Wartość 70% wilgotności względnej stanowi jakby wartość progową, powyżej której następuje przyspieszenie przemian zanieczyszczeń w substancje toksyczne np.: SO_2 w H_2SO_3 i dalej w H_2SO_4 . Zanieczyszczenia stanowią jądra kondensacji, zatem zwiększona ilość zanieczyszczeń w powietrzu sprawia, że tworzy się więcej chmur, co wpływa na wzrost opa-

dów. Opady atmosferyczne pełnią funkcję wymywającą. Opad oczyszcza atmosferę z zanieczyszczeń, niestety powoduje to zanieczyszczenie gleb i wód. Największe działanie oczyszczające ma mżawka i opad o charakterze ciągłym.

Zjawiskiem wiążącym się z opadami atmosferycznymi są kwaśne deszcze. Za kwaśne deszcze traktowany jest opad o pH poniżej 5,6. Główną przyczyną zakwaszenia opadów jest emisja związków siarki i azotu, które wchodzą w reakcje chemiczne z parą wodną i wodą zawartą w atmosferze. Kwaśne deszcze mają bardzo niekorzystny wpływ na środowisko, zakwaszają glebę, wodę, niszczą życie organiczne, budowle.

Szkodliwe jest także powstawanie mgły na obszarach o dużym zanieczyszczeniu powietrza. Przy jednoczesnym występowaniu inwersji temperatury, gdy pionowa wymiana zanieczyszczeń jest bardzo utrudniona, mieszanie się mgły z zanieczyszczeniami może powodować wzrost stężeń zanieczyszczeń. Szczególnie niebezpieczna jest sytuacja, gdy mgła utrzymuje się przez kilka dni, może wystąpić wtedy nadmierna liczba zachorowań, a także nagłe zgony. Ten specyficzny rodzaj mgły zwany jest smogiem siarkowym lub londyńskim.

Prędkość i kierunek wiatru ma bardzo duży wpływ na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń. Wzrost prędkości wiatru powoduje zmniejszenie stężeń zanieczyszczeń, jednak prowadzi także do rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń na większe odległości, chociaż ich stężenia szybko maleją. Przy ciszach i bardzo słabych wiatrach (poniżej 2 m/s) obserwuje się kumulację zanieczyszczeń.

Dla rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń ważne są kierunki wiatrów. Źródła emisji powinny się znajdować na kierunku, z którego wiatry wieją najrzadziej ku obszarom chronionym czy są najmniej szkodliwe (rzadko pojawiają się wiatry słabe).

Zanieczyszczenia powietrza wywołane działalnością człowieka to pyły, tlenki węgla, tlenki siarki i tlenki azotu (Stan środowiska w województwie mazowieckim, 2001). Zanieczyszczenia można jednak zaklasyfikować do trzech następujących grup:

1. zmiany składu chemicznego, tzn. wprowadzenie do powietrza nowych składników gazowych,
2. zanieczyszczenia mechaniczne (zapylenie),
3. zanieczyszczenia energetyczne (głównie termiczne).

Wzrost zawartości niektórych gazów, np.: tlenu, dwutlenku węgla, tlenków siarki i azotu, chloru, siarkowodoru czy ozonu w dolnej warstwie atmosfery nie tylko zagraża bezpośrednio człowiekowi i innym organizmom, ale także wpływa na zmiany bilansu cieplnego i wodnego powierzchni Ziemi, co może spowodować zmiany warunków pogodowych, a później i warunków klimatycznych. Zapylenie jest niebezpieczne zarówno dla człowieka, jak i dla roślin. Głównymi emitarami są: energetyka, przemysł cementowy, produkcja nawozów sztucznych oraz hutnictwo. Natomiast największy udział w emisji energii cieplnej do atmosfery ma energetyka, hutnictwo, gospodarka komunalna i transport. W wyniku emisji tego dodatkowego ciepła następuje zmiana struktury pionowych i poziomych prądów powietrznych oraz warunków termicznych danego obszaru (Olszewski, 1995).

Do oceny wielkości zanieczyszczeń występujących na terenie Mazowsza wykorzystano dane z raportu Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska Stan środowiska w województwie mazowieckim. Uwzględnione zostały dane dotyczące całego wojewódz-

stwa mazowieckiego, a więc nie tylko region Mazowsza. Wprowadzono do powietrza 131 tys. mg dwutlenku siarki, 40,7 tys. Mg innych związków gazowych. Dwutlenek siarki powstaje w wyniku spalania paliw oraz w wyniku prowadzonych procesów technologicznych. W 2000 roku dwutlenek siarki pochodzący ze spalania paliw stanowił 98,7% emisji, natomiast z procesów technologicznych wyemitowano tylko 1,3% całej emisji tego gazu. Tlenki azotu również powstają z dwóch źródeł: ze spalania paliw oraz z procesów technologicznych. W wyniku spalania paliw w 2000 roku powstało 97,3% ogólnej emisji tlenków azotu, a w wyniku procesów technologicznych 2,7%.

W 2000 roku zakłady położone na terenie całego kraju wprowadziły do atmosfery 2263,7 tys. mg zanieczyszczeń pyłowo-gazowych (bez CO₂), w tym 180,5 tys. mg pyłów oraz 2083,2 tys. mg gazów. Z województwa mazowieckiego wyemitowano łącznie 202,2 tys. mg zanieczyszczeń, w tym 13,9 tys. mg pyłów i 188,3 tys. mg gazów. Emisja zanieczyszczeń w województwie mazowieckim stanowi 8,9 % emisji krajowej, co sytuuje Mazowsze na 4 pozycji.

Wśród rodzajów pyłów największy udział w ogólnej emisji zanieczyszczeń pyłowych w 2000 roku mają pyły ze spalania paliw, które stanowią 93,3%. Emisja organicznych związków gazowych stanowiła w 2000 roku tylko 2,28% emisji wszystkich zanieczyszczeń gazowych (tab. 15). Największy udział w tej grupie związków gazowych miały węglowodory alifatyczne i ich pochodne (62,36%), węglowodory pierścieniowe, aromatyczne i ich pochodne (21,15%), alkohole alifatyczne i ich pochodne (7,73%) oraz amoniak (2,61%).

Tabela 15. Emisja zanieczyszczeń (w tys. mg) w Polsce w 2000 roku

Województwo	Pyłowe	Gazowe	Ogółem
Dolnośląskie	20,6	111,4	132,0
Kujawsko-pomorskie	14,2	75,2	89,4
Lubelskie	8,0	40,9	48,9
Lubuskie	4,8	23,0	27,8
Łódzkie	12,1	328,0	340,1
Małopolskie	16,7	201,5	218,2
Mazowieckie	13,9	188,3	202,2
Opolskie	7,7	57,5	65,2
Podkarpackie	4,3	28,1	32,4
Podlaskie	2,0	14,1	16,1
Pomorskie	5,4	48,3	53,7
Śląskie	38,5	610,5	649,0
Świętokrzyskie	8,8	85,5	94,3
Warmińsko-mazurskie	2,5	15,3	17,8
Wielkopolskie	13,2	176,1	189,3
Zachodnio-pomorskie	7,7	79,6	87,3
POLSKA	180,4	2083,3	2263,7

Rozkład przestrzenny zanieczyszczeń wprowadzanych do atmosfery na terenie województwa mazowieckiego jest bardzo zróżnicowany. Najwięcej zanieczyszczeń emituje powiat kozienicki – ponad 70 tys. mg w ciągu roku, w tym 95,4% to zanieczyszczenia gazowe, a 4,6% zanieczyszczenia pyłowe. Głównym źródłem zanieczyszczeń w tym powiecie jest elektrownia „Kozienice” S.A. w Świerżach Górnych. Powiat kozienicki nie leży w granicach Mazowsza, omawianego w niniejszej pracy. Drugim powiatem o dużej emisji zanieczyszczeń jest powiat warszawski Warszawa z okolicami wprowadza do atmosfery 49,1 tys. mg w ciągu roku, zanieczyszczenia gazowe stanowią 95,2%, pyłowe 4,8%. W Warszawie zlokalizowanych jest wiele dużych zakładów przemysłowych, które są głównymi źródłami zanieczyszczeń:

- Elektrociepłownia Warszawskie S.A.: Żerań, Siekierki, Kawęczyn, Wola
- Huta Lucchini-Warszawa Sp. z o.o.
- Tarchomińskie Zakłady Farmaceutyczne „Polfa” S.A.
- „Ursus-Media”
- „Daewoo-FSO Motor” S.A. Zakład Żerań

Kolejnymi powiatami o dużej emisji zanieczyszczeń są powiaty grodzkie: ostrołęcki i plocki. Emitują one odpowiednio 28,8 tys. mg (92,8% stanowią gazy, 7,2% pyły) i 26,8 tys. mg (97% to gazy, a 3% pyły). Głównymi źródłami zanieczyszczeń powietrza w tych dwóch powiatach są:

- Zespół Elektrowni Ostrołęka S.A.
- Polski Koncern Naftowy „Orlen” S.A. w Płocku
- Przedsiębiorstwo Eksploatacji Rurociągów Naftowych „Przyjaźń” S.A. w Płocku
- Zakłady Celulozowo-Papiernicze Intercel w Ostrołęce

Pozostałe powiaty emitują znacznie mniejsze ilości zanieczyszczeń: radomski powiat grodzki 24,5 tys. mg (aż 25,8% stanowią pyły), ostrowski 3,1 tys. mg, siedlecki powiat grodzki 32,7 tys. mg (również aż 26,6% stanowią pyły), ciechanowski 2,2 tys. mg (także aż 28,8% to pyły). Do głównych źródeł zanieczyszczenia powietrza na terenie pozostałych powiatów województwa mazowieckiego należy zaliczyć:

- Grodzkie Zakłady Farmaceutyczne „Polfa” S.A.
- „Thomson Polkolor” Sp. z o.o. w Piasecznie
- Zakład Stolarki Budowlanej „Wołomin” S.A.
- Wyszowska Fabryka Mebli „Faka” Sp. z o.o.
- Elektrociepłownia „Radom” S.A.
- Zakład Produkcji Dziańin „Dziancolor” w Siedlcach
- Chodakowskie Zakłady Włókien Chemicznych „Chemitex” w Sochaczewie
- Cukrownie: Ciechanów, Głinojeck, Krasiniec, Mała Wieś, Sokołów, Guzów
- Browary: Wyszaków, Łomża, Warka i Sierpc
- Huty Szkła: Wyszaków i Czechy

W województwie mazowieckim zatrzymywana jest znaczna ilość zanieczyszczeń pyłowych. W 2000 roku urządzenia zwane odpylaczami zatrzymały 98,9% pyłów, podobnie jak ogółem w Polsce (99,0%). Znacznie gorsza jest sytuacja w przypadku ilości zneutralizowanych zanieczyszczeń gazowych, gdzie wartość ta w 2000 roku wyniosła 4,5%, przy średniej krajowej 39,7%. Świadczy to o tym, że w województwie mazowieckim zainstalowane są przede wszystkim urządzenia odpylające, a bardzo mało jest urządzeń do

wychwytywania zanieczyszczeń gazowych (Stan środowiska w województwie mazowieckim, 2001; Lenart, 2003). W przeciwieństwie do urządzeń zatrzymujących zanieczyszczenia pyłowe, które zlokalizowane są w prawie każdym powiecie, urządzenia do neutralizacji zanieczyszczeń gazowych występują tylko w 14 powiatach województwa mazowieckiego. Wśród tych 14 powiatów 8 leży w granicach Mazowsza: grodziski (48,7% zneutralizowanych gazów), gostyniński (25,7%), warszawski (11,1%), piaseczyński (10,5%), płocki grodzki (6,7%, ale największe ilości gazów w tys. mg), płoński (6,2%), a zupełnie niewielkie ilości neutralizuje się w powiatach: wołomińskim (1,4%) i ostrołęckim grodzkim (0,5%).

Należy pamiętać, że jakość powietrza w jednym regionie silnie zależy od zanieczyszczenia w innych obszarach. Zanieczyszczenia w określonych warunkach meteorologicznych, chodzi tu głównie o kierunki wiatru, mogą być transportowane na dalekie odległości, wpływając w ten sposób na jakość powietrza na tych terenach. W województwie mazowieckim, w wyniku przewagi wiatrów z kierunków zachodnich, następuje przenoszenie zanieczyszczeń głównie z województwa łódzkiego. Z kolei nasze województwo jest „eksporterem” zanieczyszczeń na teren województwa lubelskiego i podlaskiego.

Stężenie zanieczyszczeń w powietrzu (imisja) zależy od wielkości emisji zanieczyszczeń oraz warunków ich wprowadzania i rozprzestrzeniania się. Dopuszczalne stężenia według norm obowiązujących w Polsce dla głównych rodzajów zanieczyszczeń przedstawia tab. 16.

Tabela 16. Dopuszczalne wartości stężeń wybranych zanieczyszczeń powietrza według norm obowiązujących w Polsce w roku 2000

Substancja	Dopuszczalne stężenia zanieczyszczeń (g/m ³)					
	Obszary nie objęte ochroną			Obszary chronione (parki narodowe)		
	30 min.	Śr. dobowe	Śr. roczne	30 min	Śr. dobowe	Śr. roczne
Pył zawieszony	350	150	75			
Dwutlenek siarki	500	150	40	150	75	15
Dwutlenek azotu	500	150	40	90	50	20
Tlenek węgla	20000	5000	2000			
Ozon	110 (średnia z 8 godz.:10:00-18:00)			150	65	-

Według danych z lat 1993-1998 od roku 1996 w Warszawie utrzymuje się malejąca tendencja stężeń SO₂, NO₂ i pyłu. Spadek ten związany jest z obniżeniem się emisji głównych zanieczyszczeń powietrza oraz z sytuacją meteorologiczną w latach 1996-1998. Od 1996 roku obserwowano wzrost temperatury, który sprawia, że spada w tym okresie zużycie paliw spalanych w celach grzewczych, oraz wzrost opadów atmosferycznych, sprzyjających zwiększonemu wymywaniu zanieczyszczeń z atmosfery (Stan środowiska w województwie mazowieckim, 2001; Lenart, 2003).

W okresie zimowym, zwłaszcza w miesiącach, kiedy temperatura jest najniższa, ma miejsce wyraźny wzrost stężeń dwutlenku siarki i pyłu zawieszonego. Z kolei stężenia NO₂ w sezonie zimowym wzrastają tylko o 40% w porównaniu z porą ciepłą. Tłumaczy się to tym, iż źródłem dwutlenku azotu jest nie tylko spalanie paliw w celach grzewczych, ale także bardzo potężne na obszarach miejskich źródła mobilne. Stężenia pyłu są trzy-

krotnie większe w sezonie zimowym, co wiąże się z sezonem grzewczym, a więc spalaniem paliw.

Średnioroczne wartości stężeń nie przekraczają zwykle poziomu 10 ng/m^3 (25% normy). Jednak zakres wartości w 2000 roku wynosił od niecałych 2 ng/m^3 do $13\text{-}17 \text{ ng/m}^3$. Z kolei zakres stężeń średniorocznych dwutlenku azotu w 2000 roku był szeroki i wynosił od $4,5 \text{ ng/m}^3$ do $48,1 \text{ ng/m}^3$ (Stan środowiska w województwie mazowieckim, 2001). Lokalnie w dużych miastach zaobserwowano nawet przekroczenie normy dopuszczalnej. Średnioroczne stężenie pyłu zawieszonego nie przekracza zazwyczaj 32 ng/m^3 (43% normy). Wyższe wartości stężeń koncentrują się na obszarach, gdzie zlokalizowane są ciepłownie, kotłownie zakładowe i osiedlowe opalane węglem kamiennym oraz w rejonach starych, pozbawionych sieci ciepłej części miast.

Podsumowanie

Jako cel pracy postawiono określenie cech charakterystycznych klimatu Mazowsza, wyodrębnionych na tle klimatu Polski. Pozwoliło to na określenie kilku osobliwych cech klimatu Mazowsza.

- Mazowsze na tle Polski wyróżnia się przede wszystkim uprzywilejowaniem solarno-termicznym. Średnie roczne sumy usłonecznienia przekraczają 1600 godzin, a w zachodniej części regionu nawet 1650 godzin, podczas gdy przeciętnie w Polsce roczne sumy usłonecznienia wynoszą 1539 godz., w Warszawie są wyższe i wynoszą 1589 godz. O uprzywilejowaniu termicznym Mazowsza świadczy wyższa temperatura powietrza, szczególnie latem różnica między średnią temperaturą powietrza w Warszawie i w Polsce jest większa – o około $0,7\text{-}0,8^\circ\text{C}$. Średnia roczna temperatura powietrza na Mazowszu maleje w kierunku północno-wschodnim, na zachodzie wynosi ponad $8,0^\circ\text{C}$, a w północno-wschodniej części regionu spada do niecałych $7,0^\circ\text{C}$.
- Mazowsze jest regionem o najmniejszej wilgotności względnej powietrza. Wilgotność względna średnio w roku, w Warszawie wynosi 80%, a najmniejsza wilgotność względna w najsuchszym miesiącu – maju 72%.
- Zachmurzenie w południowej części Mazowsza średnio w roku wynosi poniżej 62%, jednak im dalej na północ tym zachmurzenie jest większe. Największym zachmurzeniem, powyżej 67%, cechuje się północna część Wysoczyzny Ciechanowskiej.
- Mazowsze charakteryzuje się jednymi z najniższych sum opadów atmosferycznych w Polsce. Średnie sumy wynoszą niewiele ponad 500 mm rocznie; w Warszawie – 515 mm, a przeciętne w Polsce sumy opadów osiągają 589 mm.
- Cyrkulacja atmosferyczna na Mazowszu ma podobnie charakter zbliżony do ogólnej cyrkulacji w Polsce. Przeważają wiatry z sektora zachodniego; w Warszawie sektor zachodni stanowi 46,2%, a sektor wschodni 32,2%. Natomiast wartości prędkości wiatru na Mazowszu są nieco większe, niż przeciętnie w Polsce, zwłaszcza w zachodniej części regionu. W Warszawie średnia roczna prędkość wiatru wynosi $4,1 \text{ m/s}$, a przeciętnie w Polsce – $3,5 \text{ m/s}$.
- W pracy określono również tendencje zmian temperatury powietrza na Mazowszu w 30-leciu 1966-1995. Dla większości miesięcy tendencje zmian temperatury powietrza okazały się rosnące, tylko w czerwcu, październiku i listopadzie tendencje są malejące. Porównując tendencje zmian temperatury we wspomnianym 30-leciu z tenden-

cjami w 210-lecie 1779-1990, okazuje się, że tempo wzrostu temperatury powietrza w ostatnich 30 latach jest większe niż przez ostatnie 2 stulecia.

- Działalność człowieka prowadzi w dużym stopniu do zmian klimatu. Efektem jest zanieczyszczenie powietrza oraz powstanie specyficznego klimatu miasta.
- Zanieczyszczenie powietrza powoduje zmniejszenie dopływu zarówno bezpośredniego promieniowania słonecznego, jak też długofalowego promieniowania Ziemi. Wpływa na wzrost temperatury powietrza, zwiększa wilgotność powietrza, zachmurzenie oraz wpływa na wzrost sum opadów.
- Warunki meteorologiczne wpływają na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń: duże usłonecznienie przyczynia się do powstania smogu fotochemicznego, wilgotność powietrza powyżej 70% przyspiesza przemianę zanieczyszczeń w substancje toksyczne, opad atmosferyczny oczyszcza powietrze z zanieczyszczeń, niestety powoduje to zanieczyszczenie gleb i wód, mieszanie się mgły z zanieczyszczeniami może powodować wzrost stężeń zanieczyszczeń, zwłaszcza, gdy mgła utrzymuje się przez kilka dni, tworzy się wtedy tzw. smog siarkowy.
- Pod względem zanieczyszczenia atmosfery województwo mazowieckie plasuje się na 4 pozycji w Polsce, jednak najwięcej zanieczyszczeń emituje aglomeracja warszawska, pozostała część Mazowsza nie należy do obszarów silnie zanieczyszczonych; wśród zanieczyszczeń przeważają zanieczyszczenia gazowe (93,13%) nad pyłowymi (6,87%).

6.2. Cechy termiczne klimatu województwa mazowieckiego

Autor: Anna D Z I O B A N

Opiekun naukowy: Jolanta W A W E R

Cel pracy i zarys treści

Celem pracy jest określenie cech klimatu województwa mazowieckiego na tle klimatu Polski. Szczegółowo scharakteryzowano cechy termiczne opisywanego terenu, uwzględniając między innymi średnią dobową temperaturę powietrza, maksymalną i minimalną temperaturę oraz termiczne pory roku. Ponadto zbadano: zachmurzenie (wielkość, dni pogodne), opady atmosferyczne (sumy, dni z pokrywą śnieżną, burze) oraz prędkość i kierunek wiatru.

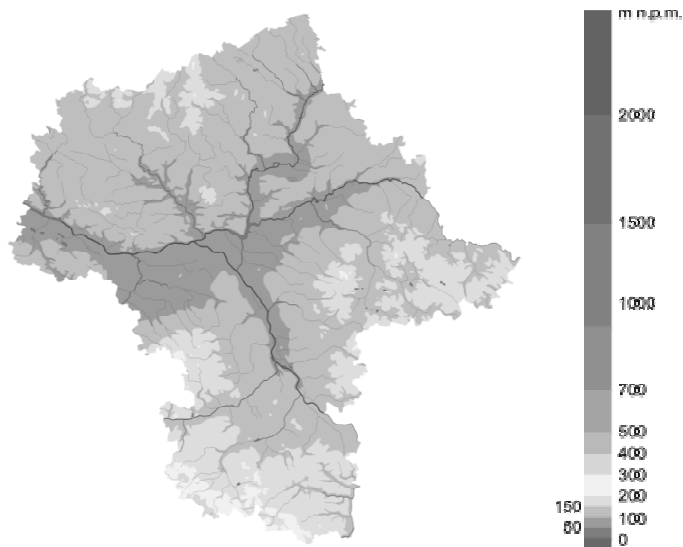
Województwo mazowieckie jest często określane jako Mazowsze, jednak nie jest nim w całości. Mazowsze jest krainą historyczną położoną w środkowym biegu Wisły oraz dorzeczu jej dopływów w centralnej oraz północno – wschodniej Polsce. Stanowi w większości część województwa mazowieckiego, ale należy jeszcze do niego fragment ziem województwa łódzkiego oraz podlaskiego (rys. 1). Natomiast województwo mazowieckie wykracza swym zasięgiem daleko na południe w stosunku do historycznego Mazowsza (Richling red., 2003). Południowa część tej nowej jednostki administracyjnej to ziemia radomska, która jest częścią Małopolski, zaś wschodni fragment jest częścią regionu Podlaskiego (Bałazy, Darmo, Illg, 2000).



Rys. 1. Położenie województwa mazowieckiego w stosunku do granic regionów
http://pl.wikipedia.org/wiki/Grafika:Mazowsze_makroregiony.png

W niniejszej pracy opisywany obszar odniesiono do powierzchni współczesnego województwa mazowieckiego, czyli terenu znajdującego się w środkowo – wschodniej części kraju. Województwo mazowieckie pod względem obszaru jest największym województwem w Polsce – jego powierzchnia wynosi 35 597 km², co stanowi około 11,4% powierzchni państwa (Dziemianowicz i in., 1999). Od północy graniczy z województwem warmińsko – mazurskim, od wschodu z województwem podlaskim i lubelskim, od południa ze świętokrzyskim, a od zachodu z łódzkim i kujawsko – pomorskim.

Położenie geograficzne województwa mazowieckiego w siatce południków i równoleżników wykazuje, że rozciągłość równoleżnikowa (3°52') jest większa niż południkowa (2°25'). Najważniejszą cechą ukształtowania powierzchni terenu województwa mazowieckiego (rys. 2) jest przeważająca część rozległych równin i obszarów falistych. Tereny pagórkowate są rzadkością i występują głównie w południowej części opisywanego obszaru, a całe województwo ma charakter nizinny. Wysokości bezwzględne z reguły nie przekraczają 200 m n.p.m. Tylko południowy skraj województwa należący do Wyżyn Polskich charakteryzuje się większymi wysokościami. Tam znajduje się najwyższy punkt ziem mazowieckich: Przysucha osiągająca 347 m n.p.m. Miejscem położonym najniżej jest punkt na terenie Kotliny Warszawskiej w okolicy Zakroczymia o wysokości 68 m n.p.m. (Skiba, 1999). Dość znaczną część regionu zajmuje rozległa niecka Kotliny Warszawskiej, którą szerokim pierścieniem otaczają wysoczyzny.



Rys. 2. Mapa fizyczna województwa mazowieckiego.
http://pl.wikipedia.org/wiki/Grafika:Mazowieckie_mapa_fizyczna.png

Materiały źródłowe i metody opracowania

Na podstawie wyników wieloletnich pomiarów prowadzonych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej określono cechy termiczne klimatu województwa mazowieckiego na tle klimatu Polski. Zebrane dane meteorologiczne również pozwoliły opi-

sać czasową i przestrzenną zmienność pozostałych elementów klimatu województwa (uśłonecznienie i promieniowanie, zachmurzenie, opady atmosferyczne, dni z pokrywą śnieżną, dni z burzą, prędkość i kierunek wiatru. W opracowaniu wykorzystano dane z trzydziestoletniego okresu pomiarowego, obejmującego lata 1966-1995 z sześciu stacji położonych w granicach województwa mazowieckiego (w przypadku braku danych – z jednej stacji sąsiadującej z badanym terenem (tab. 1).

Tabela 1. Charakterystyka położenia stacji meteorologicznych w województwie mazowieckim, z których pochodzą dane wykorzystane w opracowaniu

Stacja	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna	Wysokość w m n.p.m	Cechy terenu
Mława	53°07'	20°22'	141	równinny
Ostrołęka	53°05'	21°34'	95	dolina rzeczna
Płock	52°32'	19°40'	63	szeroka dolina rzeczna
Puławy*	51°25'	21°58'	142	zbczce doliny rzecznej
Radom	51°25'	21°07'	178	pagórkowaty
Siedlce	52°11'	22°16'	146	równinny
Warszawa	52°09'	20°59'	106	równinny

* woj. lubelskie. Źródło: Koźmiński, Michalska, 2003

Cyrkulacja atmosferyczna

Polska charakteryzuje się dużą zmiennością warunków pogodowych związanych z aktywnym przemieszczaniem się powietrza z zachodu i względnie szybkim przepływem układów barycznych. Nad Polską ścierają się również wilgotne masy powietrza znad Oceanu Atlantyckiego z zachodu z suchym powietrzem kontynentalnym ze wschodu. Przebieg cyrkulacji atmosferycznej warunkuje zróżnicowanie ciśnienia. Charakterystyczne układy wyżów i niżów przemieszczają się nad obszarem naszego kraju z różną częstością i zależnie od kierunku ich przesuwania się, dzieli się je na określone typy (Paszyński, Niedźwiedz, 1999). Na klimat Polski jak i całej Europy zasadniczy wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego, są to: Niż Islandzki i Wyż Azorski. Zimą decydujący wpływ na pogodę w Polsce ma Niż Islandzki, który w lecie słabnie, a uaktywnia się Wyż Azorski (Stopa-Boryczka, Boryczka, 2005).

Według klasyfikacji B. Osuchowskiej-Klein (1975) nad obszarem Polski występuje 13 typów cyrkulacji atmosferycznej i każdy z nich cechuje swoisty przebieg i różna częstość. Najczęściej jednak w Polsce obserwuje się 8 typów cyrkulacji i są to typy cyrkulacji wschodniej (E), zachodniej (W), cyklonalnej (C₁) oraz antycyklonalnej (C_A), które obejmują:

- północno-wschodnią cyrkulację antycyklonalną (E), związaną z wyżem nad Półwyspem Skandynawskim, który powoduje napływ mroźnych mas powietrznych z nad Arktyki lub suchego powietrza kontynentalnego, które z kolei przy bezchmurnej pogodzie ulega silnemu wychłodzeniu na skutek wypromieniowania ciepła z podłoża. Ten typ cyrkulacji występuje przez około 14% dni w roku, z bardzo wyraźnym maksimum częstości w maju (23%), najrzadziej zaś pojawia się w listopadzie i grudniu.
- północno-zachodnią cyrkulację cyklonalną (CB), związaną z niżem nad Morzem Bałtyckim. Występuje również przez około 14% dni w roku i charakteryzuje się dość zróżnicowaną częstością występowania w poszczególnych miesiącach, jednak nieco częściej pojawia się w lecie (około 16%).

- wschodnią i południowo-wschodnią cyrkulację antycyklonalną (E_1), zdarzającą się najczęściej w półroczu od października do marca. Typ ten związany jest z wyżem nad Morzem Kaspijskim i obejmuje około 11% dni w roku. Nad Polskę napływa wtedy ze wschodu i południowego wschodu stosunkowo suche powietrze polarne kontynentalne. Taka sytuacja synoptyczna powoduje w lecie upały, a w zimie mrozy.
- zachodnią cyrkulację antycyklonalną (C_2D), związaną z Wyżem Azorskim. Występuje podczas blisko 11% dni w roku, z wyraźnym maksimum częstości w lecie (średnio 16%), najrzadziej zaś obserwowany jest w okresie zimowym. W takim układzie barycznym nad Polskę napływa powietrze z zachodu.
- północno-wschodnią i wschodnią cyrkulację cyklonalną (E_0), która związana jest z niżem nad obszarem Białorusi i występuje przez około 10% dni w roku – najczęściej od kwietnia do sierpnia. Wtedy to do Polski napływają masy powietrza ze wschodu i północnego wschodu.
- południowo-zachodnią cyrkulację cyklonalną (D), z maksimum częstości występowania w zimie (szczególnie w grudniu). Związana jest ona z niżem nad Wielką Brytanią i pojawia się średnio przez 9% dni w roku. W tej sytuacji synoptycznej nad obszar Polski napływa powietrze z południowego zachodu.
- zachodnią cyrkulację cyklonalną (A), związaną z niżem rozciągającym się od Islandii po Skandynawię. Typ ten występuje podczas około 8% dni w ciągu roku, częściej w okresie zimowym. Przy takim układzie barycznym nad Polskę napływa z zachodu powietrze polarne morskie, powodujące w zimie odwilże z opadami deszczu.
- południową cyrkulację cyklonalną (B), związaną z rozległym niżem nad Morzem Północnym. Obejmuje średnio 5% dni w roku i najczęściej pojawia się w zimie. Do Polski napływa powietrze z południa, a także południowego zachodu. Układ ten, sprzyja w zimie roztopom, a w cieplejszych porach roku występowaniu burz. Powietrze pokonując łańcuchy Karpat i Sudetów, po zawiętrznej stronie tych gór splywa w postaci suchego i ciepłego wiatru fenowego. Taka sytuacja cyklonalna przyczynia się do wystąpienia wiatru halnego w Karpatach (Niedźwiedź, 1994; Paszyński, Niedźwiedź, 1999; Stopa-Boryczka, Boryczka, 2005; Ciłko, 2005; Kossowska-Cezak, 2007).

Wyżej wymienione typy cyrkulacji atmosferycznej łącznie występują przez ponad 80% dni w roku, w tym najczęściej zdarzają się typy: E, CB, E_1 i C_2D . Pozostałe 5 typów wyróżnionych w klasyfikacji B. Osuchowskiej-Klein występuje dość rzadko, średnio obejmują po 1-4% dni w roku.

Kierunek i prędkość wiatru

W Polsce fizjografia terenu w stosunkowo niewielkim stopniu reguluje kierunek wiatru. Najczęściej zjawisko to ma miejsce na obszarach górskich i generalnie można przyjąć, że kierunki wiatru w naszym kraju odpowiadają kierunkom przepływu mas powietrza (Woś, 1999). Tak samo, można przyjąć, że kierunki wiatru w województwie mazowieckim w głównej mierze nawiązują do kierunków napływu mas powietrza, ponieważ w przypadku omawianego obszaru, rzeźba terenu stosunkowo w niewielkim stopniu zmienia kierunek wiatru regionalnego. W Polsce kierunki wiatru powiązane są z ogólną cyrkulacją atmosferyczną występującą w średnich szerokościach geograficznych (30-60°). Przeważającymi wiatrami są więc wiatry z sektora zachodniego: północno-zachodnie

(NW), zachodnie (W) i południowo-zachodnie (SW). Ich udział wynosi około 40-55%. Wiatry z sektora wschodniego występują na obszarze Polski z częstością 15-30%. Rzadziej pojawiają się wiatry południowe, a najmniejszy udział mają wiatry z sektora północnego (Stopa-Boryczka, Boryczka 2005). Średnie roczne częstości występowania poszczególnych kierunków wiatru w województwie mazowieckim wykazują, że na całym jego obszarze najczęściej obserwowane są wiatry z sektora zachodniego, głównie z kierunku zachodniego oraz południowo-zachodniego (na północnym skraju województwa).

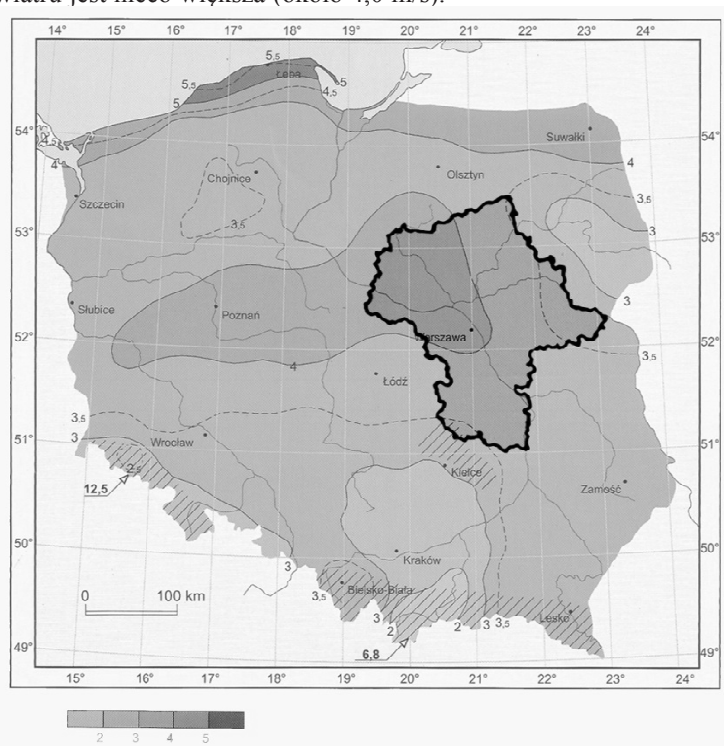
Wiatr jest to poziomy ruch powietrza wywołany różnicą ciśnienia atmosferycznego w jego rozkładzie poziomym. Wraz ze wzrostem wysokości nad powierzchnią gruntu, wzrasta prędkość wiatru. Obserwowany wzrost jest zależny od charakteru podłoża a także od stanu równowagi termodynamicznej atmosfery. Na kierunek i prędkość wiatru duży wpływ ma rzeźba terenu, zarówno w postaci naturalnej jak i sztucznej, która może w znacznym stopniu modyfikować przepływ powietrza w przyziemnej warstwie troposfery (Farat red., 2004; Stopa-Boryczka, Boryczka, 2005). Jednak gdy orografia terenu nie stanowi wyraźnego czynnika zakłócającego, kierunki wiatru obserwowane w przyziemnej warstwie atmosfery są uzależnione od kierunku przemieszczania się mas powietrza. Pozioma różnica ciśnienia warunkuje prędkość wiatru. W Polsce pole wiatru jest deformowane przez jeziora, Morze Bałtyckie oraz rzeźbę terenu (góry). Wiatrem lokalnym, charakterystycznym dla wybrzeża Morza Bałtyckiego jest bryza. Wiatr ten jest spowodowany różnicą temperatury między powierzchnią lądową a powierzchnią wodną. W ciągu dnia ląd szybciej się nagrzewa niż woda, a nocą szybciej się ochładza. W dzień bryza wieje od morza do lądu i jest to tzw. bryza morska, a w nocy od lądu do morza (bryza lądowa). Zmiany dobowe kierunku bryzy notowane są zazwyczaj podczas małych prędkości wiatru i cisz. Bryza występuje także w okolicy jezior, jednak jej zasięg jest znacznie mniejszy.

W przypadku województwa mazowieckiego, a ściślej rzecz biorąc w Warszawie, obserwuje się bryzę miejską. Zjawisko to, jest charakterystyczne dla dużych miast. Wywołują je dobowe wahania różnicy temperatury powietrza między miastem a jego peryferiami. W ciągu dnia miasto nagrzewa się wolniej od jego okolic, a w nocy wolniej oddaje ciepło. Wieczorem i w godzinach nocnych obserwuje się napływ do Warszawy chłodnego powietrza z terenów ją otaczających. Lokalne wiatry występują również w górach, są to wiatry górskie i dolinne oraz wiatry fenowe (w Tatrach - halne)(Stopa-Boryczka, Boryczka, 2005).

Prędkość wiatru w Polsce waha się od 0 do ponad 30 metrów na sekundę. Cisze (0 m/s) najrzadziej występują na szczytach gór i na wybrzeżu. Najmniejsze prędkości wiatru notowane są w kotlinach śródgórskich, gdzie roczna prędkość wiatru nie przekracza 2,0 m/s oraz na obszarze nizin w południowo-zachodniej Polsce (około 3,0 m/s). Dużymi prędkościami wiatru charakteryzuje się wybrzeże Bałtyku, gdzie średnie prędkości mieszczą się w przedziale 4,5-5,5 m/s, a także niziny w środkowej części Polski, o średniej rocznej powyżej 4,0 m/s oraz pasma górskie, gdzie prędkość wiatru wynosi 6,8 m/s (Kasproy Wierch) a nawet 12,5 m/s (Śnieżka).

Średnie prędkości wiatru w województwie mazowieckim a także i w całej Polsce przedstawia rys. 3. Są to średnie 10-minutowe obserwowane na wysokości 10 m nad poziomem gruntu w terenie otwartym i klasie szorstkości terenu 0-1, czyli zmierzone w terenie płaskim i otwartym z nielicznymi, niskimi przeszkodami (Lorenc (red.), 2005). Zróżnicowanie przestrzenne prędkości wiatru w województwie mazowieckim jest stosunko-

wo niewielkie. Na większości obszaru jego średnia roczna prędkość wynosi około 3,0-3,5 m/s. Tylko w okolicy Warszawy i w północno – zachodniej części badanego terenu prędkość wiatru jest nieco większa (około 4,0 m/s).



Rys. 3. Średnie 10-minutowe prędkości wiatru w Polsce (m/s) ze szczególnym uwzględnieniem województwa mazowieckiego w latach 1971-2000, (opracowanie własne na podstawie Atlasu klimatu Polski, Lorenc (red), 2005)

Średnia prędkość wiatru na obrzeżach Warszawy wynosi od około 3 m/s w miesiącach letnich do około 5 m/s zimą. Wewnątrz zabudowy miejskiej prędkość jest silnie modyfikowana przez budynki i ciągi komunikacyjne a także wysoką zielen. Największa średnia prędkość wiatru przypada w styczniu (4,8 m/s) i marcu (4,7 m/s), zaś najmniejsze prędkości wiatru są obserwowane w miesiącach letnich, szczególnie w sierpniu (3,4 m/s) oraz lipcu (3,6 m/s).

Niezależnie od przebiegu rocznego, prędkość wiatru wykazuje wahania w ciągu doby. W dzień zazwyczaj występuje wzrost prędkości wiatru, natomiast w godzinach nocnych obserwuje się jej spadek. Rytm ten ulega zakłóceniu, gdy następuje szybkie przemieszczanie się za zachodu na wschód układów niżowych, a z nimi frontów atmosferycznych. Wówczas prędkości wiatru nie wykazują regularności w przebiegu w ciągu doby, ponieważ są spowodowane w znacznym stopniu czynnikami cyrkulacyjnymi (Woś, 1999).

Cechy solarne województwa mazowieckiego

Promieniowanie słoneczne

Promieniowanie słoneczne docierające do atmosfery ulega osłabieniu, na skutek pochłaniania, rozpraszania i odbijania. Do powierzchni Ziemi dociera jako promieniowanie bezpośrednie, czyli biegnące wprost od nieosłoniętej tarczy słonecznej oraz promieniowanie rozproszone, docierające od całego sklepienia niebieskiego. Suma promieniowania bezpośredniego i rozproszonego daje promieniowanie słoneczne całkowite, które dochodzi do podłoża. Największe natężenie osiąga zazwyczaj w południe słoneczne, czyli przy najwyższej wysokości Słońca.

Średnia roczna suma całkowitego promieniowania słonecznego wynosi 3538 MJ/m² (Warszawa). Najniższe sumy miesięczne występują w grudniu – około 45,1 MJ/m², najwyższe zaś w lipcu – średnio 571,3 MJ/m² (Lorenc, Mazur, 2003). W całej Polsce maksima i minima miesięczne przypadają na miesiące o największej i najmniejszej długości dnia, czyli na czerwiec (lipiec) i grudzień. W przestrzennym rozkładzie całkowitego promieniowania słonecznego na terenie Polski istotną rolę odgrywa wysokość Słońca nad horyzontem, która jest większa na południu kraju niż na północy. W przejściowych porach roku, czyli wiosną i jesienią, główną rolę odgrywa zachmurzenie. W półroczu chłodnym (od października do lutego) natężenie promieniowania całkowitego zmniejsza się z południa na północ. Promieniowanie słoneczne jest największe na południowych krańcach Polski, w Karpatach, a najmniejsze – na najbardziej na północ wysuniętych obszarach Polski, we wschodniej części wybrzeża. W półroczu ciepłym (od marca do września) sytuacja jest odwrotna. Najwyższe sumy promieniowania występują na północy, na Pobrzeżu Bałtyckim (szczególnie na Pobrzeżu Słowińskim i Wybrzeżu Gdańskim), a najmniejsze – w Tatrach. (Paszyński, Niedźwiedz 1991; Otałęga (red.), 1997; Stopa-Boryczka, Boryczka, 2005).

Najniższe dobowe sumy promieniowania całkowitego latem są w górach. W Tatrach spadają one poniżej 17 MJ/m², gdy na wybrzeżu oraz pojezierzach przekraczają 20 MJ/m². Niskie wartości promieniowania całkowitego obserwuje się również na Górnym Śląsku (17,5 MJ/m²) oraz w aglomeracjach wielkomiejskich i przemysłowych (Warszawa, Łódź, Kraków). Jest to spowodowane dużym zanieczyszczeniem atmosfery, zmniejszającym dopływ promieniowania słonecznego. Uprzywilejowanie wschodniej części Polski jest szczególnie wyraźne w drugiej połowie lata i wczesną jesienią, kiedy średnie wartości całkowitego promieniowania wzrastają z zachodu na wschód. W okolicach Chełma w sierpniu notuje się średnio na dobę 16,5 MJ/m², gdy na zachodzie Polski wartości te osiągają niecałe 15 MJ/m². (Paszyński, Niedźwiedz 1991; Stopa-Boryczka, Boryczka, 2005).

Średnie wieloletnie sumy promieniowania całkowitego w poszczególnych miesiącach na wybranych stacjach województwa mazowieckiego (Lorenc, Mazur, 2003) przedstawia tabela 2. W miesiącach zimowych otrzymywane promieniowanie słoneczne stanowi tylko 6,3 % sumy rocznej, w letnich natomiast sięga 45,7%. W województwie mazowieckim największe natężenie promieniowania przypada na czerwiec i lipiec. W tych miesiącach najwyższe sumy odnotowano w Siedlcach – w czerwcu: 644 MJ/m² i w Płocku – w lipcu: 647 MJ/m², najniższe zaś w Mławie (lipiec: 594 MJ/m²) i na stacji Warszawa-Okęcie (czerwiec: 598 MJ/m²). Najniższe wartości średnich sum promieniowania przypadają na listopad, grudzień i styczeń, przy czym w grudniu wartości te są szczególnie niskie: 46 MJ/m² (Ostrołęka i Warszawa-Okęcie).

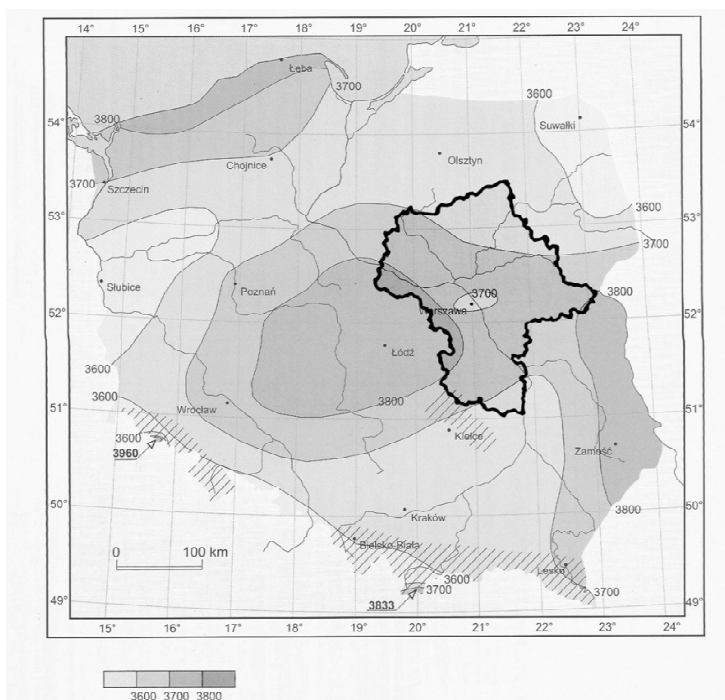
Tabela 2. Średnie wieloletnie sumy promieniowania całkowitego (MJ/m²) z okresu 1951-1970. Źródło: Koźmiński, Michalska, 2003

Stacje	Mława	Ostrołęka	Płock	Radom	Siedlce	W. Ok.
I	66,9	66,9	71,2	79,5	75,2	66,9
II	117,3	117,3	126,0	129,9	129,9	125,6
III	288,7	297,3	293,0	293,0	301,3	297,3
IV	410,4	410,4	419,0	435,6	423,0	423,0
V	556,9	544,3	561,0	548,2	560,8	544,3
VI	608,0	628,2	590,0	632,1	644,7	598,6
VII	594,3	603,0	647,0	603,0	628,2	611,2
VIII	514,8	506,5	515,0	523,4	535,6	523,4
VII	594,3	603,0	647,0	603,0	628,2	611,2
IX	356,0	351,7	360,0	356,0	360,0	372,6
X	192,6	188,2	197,0	213,4	200,8	205,2
X	192,6	188,2	197,0	213,4	200,8	205,2
XI	71,2	66,9	71,2	83,8	75,6	75,2
XII	50,4	46,0	50,4	58,6	54,3	46,0

Roczne sumy promieniowania całkowitego na obszarze Polski w trzydziestolecu 1971-2000 wahają się od 3500 MJ/m² w górach (Karpaty Zachodnie i Sudety), Pojezierzu Suwalskim i Pojezierzu Lubelskim do 3800 MJ/m² na Pobrzeżu Słowińskim, Polesiu Lubelskim oraz w środkowej części kraju. Na przeważającym obszarze województwa mazowieckiego średnie roczne wartości promieniowania całkowitego osiągają wartość 3700 MJ/m². Warszawa i jej okolice tworzą charakterystyczną wyspę, gdzie średnie roczne sumy promieniowania spadają do 3600 MJ/m². W północnej części województwa oraz na południowych krańcach natężenie promieniowania również jest niższe. Jedynie na zachodzie (okolice Płocka, Mszczonowa i Mogielnicy) średnie roczne promieniowanie całkowite wzrasta do 3800 MJ/m² (rys. 4).

Bilans promieniowania

Istotne znaczenie ma bilans promieniowania powierzchni, tj. różnica pomiędzy ilością promieniowania słonecznego pochłoniętego przez powierzchnię Ziemi a promieniowaniem efektywnym. Bilans promieniowania składa się z promieniowania krótkofalowego, którego źródłem jest Słońce oraz długofalowego, którego z kolei źródłem jest powierzchnia Ziemi i atmosfera. W Polsce, w półroczu ciepłym saldo promieniowania jest dodatnie, a w półroczu chłodnym – ujemne. Maksymalne wartości występują w czerwcu, minimalne natomiast występują zazwyczaj w styczniu, chociaż na wybrzeżu, w północnej Wielkopolsce i w Sudetach minimalne wartości notowane są w grudniu. Zimą najwyższe dobowe wartości (ponad -2,3 MJ/m²) cechują środkową część Polski, czyli pas ciągnący się od wschodu do zachodu, najniższe zaś występują na północy i na południu kraju. W lecie saldo promieniowania osiąga najwyższe sumy dobowe na wybrzeżu, przekraczające 12 MJ/m² (Gdynia). Średnie wartości dobowe bilansu promieniowania obliczone dla całego roku mieszczą się w przedziale od 3,2 MJ/m² w górach (Karpaty) do 4,0 MJ/m² na wybrzeżu. W województwie mazowieckim średnie wartości salda promieniowania wynoszą około 3,75 MJ/m² i tylko w okolicy Puław osiągają wartość 4,0 MJ/m² (Paszyński, Niedźwiedz 1991; Stopa-Boryczka, Boryczka, 2005; Czerny (red.), 2006).



Rys. 4. Średnie roczne sumy promieniowania całkowitego (MJ/m^2) w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem województwa mazowieckiego w latach 1971-2000, (opracowanie własne na podstawie Atlasu klimatu Polski, Lorenc (red), 2005).

Cechy termiczne województwa mazowieckiego

Cechy termiczne klimatu danego obszaru mają odzwierciedlenie w podstawowych charakterystykach cieplnych tego miejsca. Należą do nich: średnia temperatura powietrza, temperatura maksymalna i minimalna, oraz liczba dni z przymrozkami, liczba dni mroźnych, bardzo mroźnych, dni gorących i upalnych, początek i czas trwania termicznych pór roku, długość okresu wegetacyjnego.

Średnia roczna temperatura powietrza

Przebieg roczny średniej temperatury powietrza w województwie mazowieckim jest zbliżony na całym obszarze badanego terenu (tab. 3). W tabeli podano dane liczbowe z trzydziestolecia 1966-1995, ze stacji meteorologicznych znajdujących się w granicach badanego obszaru. Warto zwrócić uwagę, iż wschodnie, środkowe i południowe tereny województwa są nieco cieplejsze od pozostałych. W Płocku, Warszawie i Radomiu średnia temperatura powietrza przyjmuje wartość 8°C , na północy zaś i wschodzie jest niższa (Mława $7,2^\circ\text{C}$, Siedlce $7,4^\circ\text{C}$).

W Warszawie prawie we wszystkich miesiącach są wyższe wartości temperatury powietrza. Tylko w okresie jesienno – zimowym temperatura powietrza jest nieznacznie niższa niż w Płocku i Radomiu. Na przykład średnia temperatura w styczniu w Warszawie wynosi $-2,7^\circ\text{C}$, w Płocku i Radomiu odpowiednio $-2,4^\circ\text{C}$ i $-2,1^\circ\text{C}$.

Tabela 3. Średnie wieloletnie wartości temperatury powietrza (°C) z okresu 1966-1995.
Źródło: Koźmiński, Michalska, 2003

Stacje	Mława	Ostrołęka	Płock	Radom	Siedlce	Warszawa
I	-3,4	-3,2	-2,4	-2,1	-3,4	-2,7
II	-2,4	-2,2	-1,3	-1,2	-2,3	-1,5
III	1,6	1,9	2,6	2,8	1,8	2,6
IV	6,8	7,3	7,6	7,7	7,3	7,7
V	12,8	13,4	13,3	13,4	13,2	13,6
VI	15,8	16,3	16,3	16,3	16	16,5
VII	17,4	17,9	18	18,2	17,7	18,2
VIII	16,9	17,2	17,5	17,6	17,1	17,6
IX	12,4	12,7	13,2	13,1	12,7	13,1
X	7,6	7,8	8,3	8,2	7,8	8,2
XI	2,3	2,6	3,1	2,8	2,5	3
XII	-1,3	-1,2	-0,5	-0,6	-1,2	-0,7
I-XII	7,2	7,5	8	8	7,4	8

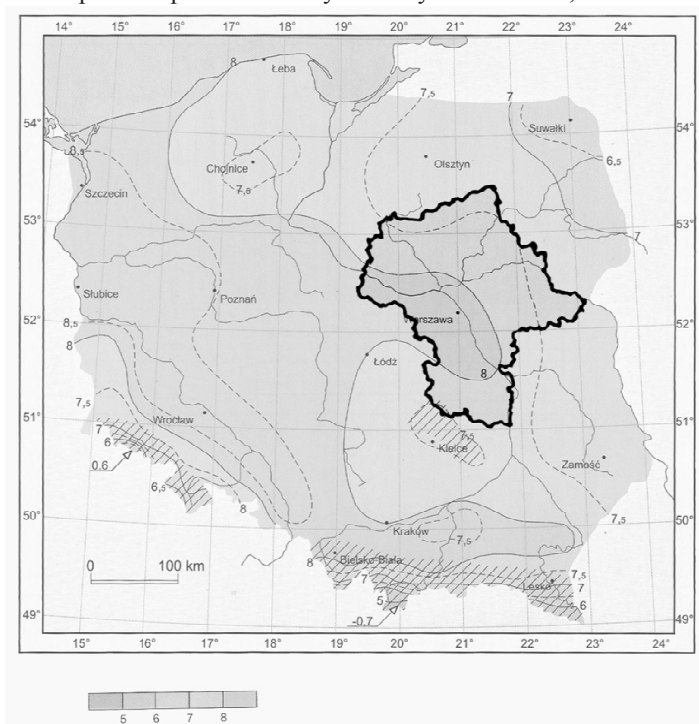
W zimie następuje spadek temperatury powietrza w województwie mazowieckim w kierunku wschodnim, a izotermy przyjmują kierunek zbliżony do południkowego. W styczniu najzimniej jest w okolicach Mławy i Siedlec, gdzie średnia temperatura powietrza tego miesiąca wynosi $-3,4^{\circ}\text{C}$. Biorąc pod uwagę okres letni, to centralna część województwa jest terenem ewidentnie cieplejszym. W Warszawie (i w Radomiu) średnia temperatura lipca równa jest $18,2^{\circ}\text{C}$, podczas gdy w tym samym trzydziestoleciu w Mławie średnia temperatura tego miesiąca wynosi $17,4^{\circ}\text{C}$, w Ostrołęce $17,9^{\circ}\text{C}$, w Siedlcach $17,7^{\circ}\text{C}$ a w Płocku $18,0^{\circ}\text{C}$. W czerwcu zaś, już tylko Warszawa charakteryzuje się najwyższą średnią temperaturą powietrza, której wartość wynosi $16,5^{\circ}\text{C}$, podczas gdy w Mławie średnia temperatura czerwca jest równa $15,6^{\circ}\text{C}$, w Siedlcach – 16°C , a na pozostałym obszarze $16,3^{\circ}\text{C}$ (Koźmiński, Michalska, 2003).

Województwo mazowieckie jest w zasadzie fizycznogeograficznie jednorodnym regionem, charakteryzującym się niewielkimi wysokościami względnymi, gdzie dominują równiny, dlatego też zmienność przestrzenna temperatury powietrza jest niewielka i różnice z reguły nie przekraczają jednego stopnia Celsjusza.

W trzydziestoleciu 1971-2000 średnia roczna temperatura powietrza w Polsce waha się od $5-6^{\circ}\text{C}$ na południu, $6,5^{\circ}\text{C}$ w północno – wschodnich regionach do $7-8^{\circ}\text{C}$ w pozostałej części kraju. W województwie mazowieckim średnia roczna temperatura powietrza waha się od około $7,2^{\circ}\text{C}$ do około 8°C . Najwyższą średnią temperaturą powietrza odznaczają się tereny położone w zachodniej i środkowej części województwa (Płock, Radom, Warszawa – po 8°C), a najniższą średnią temperaturą – tereny w części północnej i zachodniej (Mława – $7,2^{\circ}\text{C}$, Siedlce – $7,4^{\circ}\text{C}$). Układ izoterm, ogólnie rzecz biorąc, wskazuje na spadek średniej rocznej temperatury powietrza w kierunku północno-wschodnim i jej wzrost w kierunku południowo-zachodnim (Koźmiński, Michalska, 2003; Lorenc (red), 2005).

Z okresu wieloletniego (tab.3) wnioskuje się, że najniższe wartości temperatury w województwie mazowieckim występują w styczniu. Niemniej jednak w niektórych latach najzimniejszym miesiącem był luty, a czasem także i grudzień. W województwie mazowieckim rozkład przestrzenny izoterm najzimniejszego miesiąca, jakim z reguły jest styczeń, ma charak-

ter zbliżony do rozkładu przestrzennego temperatury powietrza na obszarze Polski. Izotermy mają przebieg południkowy, świadczy to o stopniowym spadku temperatury w styczniu z zachodu na wschód. Mapa izoterm stycznia w 30-leciu 1971-2000 obrazuje średnie wartości temperatury powietrza w tym miesiącu zmieniające się, z pominięciem obszaru górskiego, w granicach od 0, -0,5°C na Pobrzeżu Słowińskim i w zachodniej części kraju do poniżej -4,0°C na Pojezierzu Suwalskim. W górach średnia wieloletnia temperatura tego miesiąca jest znacznie niższa, w Karkonoszach wynosi -6,1°C (Śnieżka), a w Tatrach -7,5°C (Kasprowy Wierch). Taki układ izoterm jest skutkiem ścierania się nad naszym krajem wpływów oceanicznych i kontynentalnych. Ocieplający wpływ Bałtyku jest ograniczony do dość wąskiej strefy przybrzeżnej, co widać w równoległym do wybrzeża przebiegu izoterm (Paszyński, Niedźwiedz 1991; Lorenc, 2005). W województwie mazowieckim średnia temperatura w styczniu wynosi od -2,0°C na krańcach zachodnich (Płock -2,4°C) do -4,0°C przy wschodniej granicy województwa. Jednak w przeważającej części badanego obszaru średnia wieloletnia temperatura powietrza w styczniu wynosi około -3,0°C.



Rys. 5. Średnia roczna temperatura powietrza (°C) w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem województwa mazowieckiego w latach 1971-2000, (opracowanie własne na podstawie Atlasu klimatu Polski, Lorenc (red), 2005).

Maksymalna i minimalna temperatura powietrza

Skrajne temperatury powietrza są jedną z istotnych charakterystyk klimatu danego obszaru. Najwyższe maksima temperatury powietrza latem związane są z układami wyżowymi, podczas których zdarza się, że niekiedy napływa gorące powietrze pochodzenia zwrot-

nikowego z południa i z południowego zachodu, albo powietrze pochodzenia kontynentalnego ze wschodu i południowego wschodu (Paszyński, Niedźwiedź, 1999). Najwyższą maksymalną temperaturę powietrza zanotowano do tej pory w Prószkowie koło Opola, jej wartość wyniosła 40,2°C (29 lipca 1921 roku). Maksymalne wartości temperatury powietrza przekraczające 32°C najczęściej zdarzają się w środkowej części Polski Zachodniej – nawet co drugi rok. Natomiast w górach, na wybrzeżu i w okolicy Suwałk maksymalna temperatura z taką częstością nie przekracza 30°C (Limanówka, Niedźwiedź, Ustrnul, 1993).

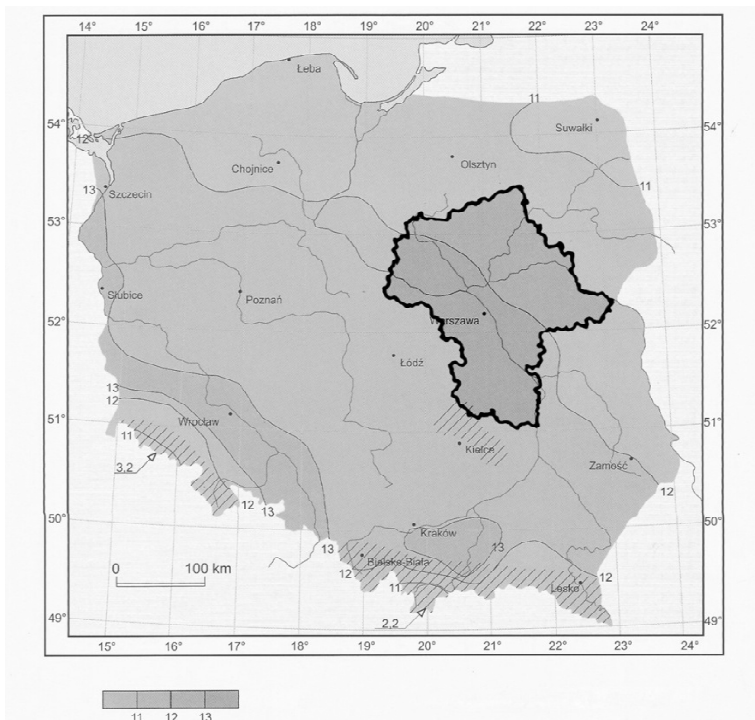
W trzydziestoleciu 1951-1996 skrajną maksymalną temperaturę powietrza zanotowano 30 lipca 1994 roku w Słubicach i wyniosła ona 39,5°C w Warszawie tego dnia również wystąpiło maksimum miesięczne, jednak miało wartość niższą o niecałe 40 (35,9°C). W tym samym roku w Warszawie wystąpiło jeszcze jedno maksimum miesięczne, w sierpniu (1 sierpnia) i wyniosło 36,4°C. Najniższa maksymalna temperatura powietrza w latach 1951-1996 wystąpiła w Jeleniej Górze – 17 stycznia 1993 roku odnotowano 17°C. W Warszawie najniższą maksymalną temperaturę powietrza również zaznaczono w 1993 roku, miała wartość 13,8°C (12 stycznia)(Woś, 1999).

Średnia roczna maksymalna temperatura powietrza w Polsce w latach 1971-2000 waha się od poniżej 11°C na północnym wschodzie (Pojezierze Suwalskie) i południu (w górach) do około 13°C na Nizinie Śląskiej i zachodnich krańcach Polski (rys. 6). Na przeważającym jednak obszarze średnia roczna maksymalna temperatura powietrza wynosi 11-12°C. W województwie mazowieckim południowo – zachodnia i południowa jego część przyjmuje wartość rocznej maksymalnej temperatury powietrza równą 12°C. Północne i północno – wschodnie regiony województwa mają roczne maksimum o stopień niższe, mianowicie 11°C (Lorenc (red.), 2005).

Skrajne wartości temperatury powietrza pojawiają się przy układach wyżowych. Najmroźniejsze okresy występują przy napływie powietrza kontynentalnego ze wschodu i północnego wschodu, przy adwekcji chłodnego powietrza arktycznego, szczególnie podczas bezchmurnego nieba w nocy. Najniższa temperatura minimalna w Polsce została odnotowana 11 stycznia 1940 roku w Siedlcach, osiągnęła -41,0°C (Stopa-Boryczka, Boryczka, 2005). Minimalne wartości temperatury powietrza częściej notowane są we wschodniej połowie Polski. Raz na dziesięć lat obserwowana jest tam temperatura niższa od -26°C. W kotlinach śródgórskich, w okolicy Siedlec i Białowieży, występują spadki temperatury nawet poniżej -30°C (Limanówka, Niedźwiedź, Ustrnul, 1993). W trzydziestoleciu 1951-1996 skrajną minimalną temperaturę powietrza odnotowano 19 stycznia 1963 roku w Płocku z wartością -35,6°C. W Warszawie w tym okresie minimum miesięczne również wystąpiło w styczniu (8 stycznia 1987 roku) i wyniosło -30,7°C. Najwyższa minimalna temperatura powietrza w latach 1951-1996 wystąpiła w lipcu w Zakopanem (5 lipca 1962 roku), której wartość wyniosła 0,7°C. W Warszawie najwyższą minimalną temperaturę powietrza również zaznaczono w lipcu (6 lipca 1994 roku) i miała wartość 4,6°C. Absolutne dobowe minima od lat 80-tych mają wartości wyższe niż sprzed 1980 roku, dlatego nie umieszczono ich w tabeli. Natomiast absolutne dobowe maksima po latach 80-tych zdarzały się w Polsce, nawet pięć razy (Woś, 1999).

Średnia roczna minimalna temperatura powietrza w Polsce w latach 1971-2000 waha się od 3°C na wschodzie, południowym wschodzie Polski oraz od wschodniej części Pojezierza Pomorskiego po Pojezierze Mazurskie do około 5°C na wybrzeżu (rys. 7). W gó-

rach średnia minimalna temperatura jest niższa i raczej nie przekracza 2°C. Na przeważającym jednak obszarze średnie roczne minimum temperatury powietrza wynosi około 4°C, czyli podobnie jak w całym województwie mazowieckim. Na jego północnych, wschodnich i południowych krańcach wartość rocznej minimalnej temperatury powietrza jest niższa i nie przekracza 4°C. W zachodniej i środkowej części województwa średnie roczne minimum jest o około stopień wyższe jednak nie dochodzi do 5°C (Lorenc (red.), 2005).

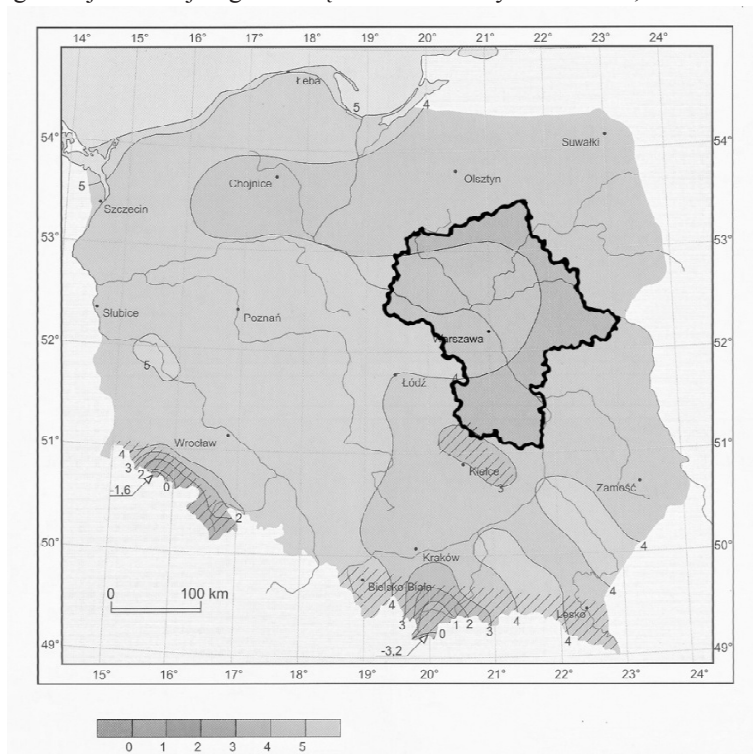


Rys. 6. Średnia roczna maksymalna temperatura powietrza w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem województwa mazowieckiego w latach 1971-2000, (opracowanie własne na podstawie Atlasu klimatu Polski, Lorenc (red), 2005)

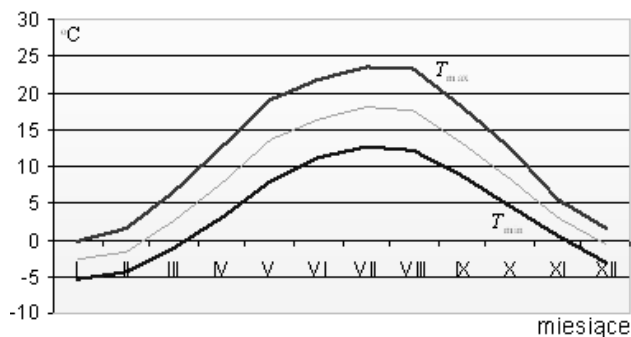
Przebieg roczny maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza w Warszawie w latach 1966-1995 przedstawia rys. 8.

Podobnie jak w rocznym przebiegu średniej temperatury powietrza, najwyższe wartości średniej maksymalnej temperatury powietrza, przypadają w lipcu (23,7°C), a najniższe w styczniu – 0,0°C. W badanym okresie średnia roczna maksymalna temperatura powietrza w Warszawie miała wartość równą 12,2°C, podczas gdy średnia roczna temperatura powietrza wyniosła 8,0°C. Średnia roczna minimalna temperatura powietrza w tym okresie miała wartość 3,9°C, przy czym najniższa wartość przypadła typowo na styczeń (-5,3°C), a najwyższa średnia minimalna temperatura powietrza wystąpiła w lipcu (12°C). Największa różnica między maksymalną a minimalną temperaturą powietrza cechuje sierpień, wynosi ona 11,1°C. Ogólnie rzecz biorąc, miesiące letnie charakteryzują się większą amplitudą maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza niż miesiące zimowe.

Najmniejsza różnica występuje w grudniu i wynosi $4,8^{\circ}\text{C}$. Roczna amplituda maksymalnej i minimalnej temperatury, czyli różnica pomiędzy średnią miesięczną maksymalną a średnią miesięczną minimalną temperaturą powietrza wynosi 29°C . Biorąc pod uwagę amplitudę roczną temperatury powietrza, będącą różnicą między średnią temperaturą najcieplejszego i najchłodniejszego miesiąca w roku to wynosi ona $20,8^{\circ}\text{C}$.



Rys. 7. Średnia roczna minimalna temperatura powietrza w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem województwa mazowieckiego w latach 1971-2000, (opracowanie własne na podstawie Atlasu klimatu Polski, Lorenc (red), 2005)



Rys. 8. Średnia, maksymalna (T_{\max}) i minimalna (T_{\min}) temperatura powietrza w Warszawie w latach 1966-1995

Termiczne dni charakterystyczne

Częstość pojawiania się termicznych dni charakterystycznych ma istotne znaczenie w różnych dziedzinach życia gospodarczego i społecznego (rolnictwo, budownictwo, komunikacja, lecznictwo, turystyka, wypoczynek). Częstość występowania tych dni w województwie mazowieckim przede wszystkim daje pełniejszy obraz panujących warunków termicznych w badanym terenie. Dni charakterystyczne określa się na podstawie występowania wartości temperatury powietrza skrajnie wysokich lub niskich (Paszyński, Niedźwiedź, 1999; Lorenc (red.), 2005):

Dni	
przymrozkowe	$T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}, T_{\max} > 0^{\circ}\text{C},$
mroźne	$T_{\max} < 0^{\circ}\text{C},$
bardzo mroźne	$T_{\max} < -10^{\circ}\text{C},$
gorące	$T_{\max} > 25^{\circ}\text{C},$
upalne	$T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}.$

Dni mroźne, czyli takie dni, kiedy przez całą dobę utrzymuje się ujemna temperatura powietrza (temperatura maksymalna jest niższa od 0°C), występują w naszym kraju z bardzo zróżnicowaną częstością. Mogą występować od listopada do marca, jednak najczęściej notowanych jest w styczniu. Średnia liczba dni mroźnych w Polsce wzrasta z zachodu na wschód. W zachodniej Polsce i na wybrzeżu nie przekracza 30 dni, natomiast w północno – wschodniej części kraju dochodzi do ponad 50. Całkiem sporo mroźnych dni obserwuje się na pojezierzach. W górach częstość występowania tych dni wzrasta wraz z wysokością nad poziomem morza, dochodząc do 146 na Kasprowym Wierchu. W województwie mazowieckim notuje się około 40 dni mroźnych, przy czym w północnych i wschodnich rejonach województwa liczba ta może wzrosnąć do 50. W Warszawie w ciągu roku notuje się średnio 38 dni mroźnych, a najczęściej takich dni obserwuje się w styczniu (14) i lutym (10)(Paszyński, Niedźwiedź, 1999; Lorenc (red.), 2005).

Dni bardzo mroźne rejestruje się znacznie rzadziej. Są to dni, których temperatura maksymalna przyjmuje wartość poniżej -10°C i na Pobrzeżu Słowińskim praktycznie nie występują. W Zachodniej Polsce pojawiają się z częstością średnio jednego dnia w roku, a w północno-wschodniej części kraju mogą przekroczyć liczbę 4 dni. W górach dni bardzo mroźnych jest znacznie więcej, w Tatrach średnio 17 w ciągu roku. Dni bardzo mroźne obserwowane są w Polsce tylko w styczniu i lutym, w północno – wschodniej części kraju zdarzają się również w grudniu. W województwie mazowieckim notuje się średnio dwa dni mroźne w roku (Paszyński, Niedźwiedź, 1999; Lorenc (red.), 2005).

Termiczne pory roku i okres wegetacyjny

Z przebiegiem rocznym średniej dobowej temperatury powietrza związane jest występowanie termicznych pór roku i okresu wegetacyjnego.

Termiczne pory roku wyznacza się na podstawie przejścia średniej dobowej temperatury powietrza przez odpowiednie progi termiczne: 0, 5, 10 i 15°C (Paszyński, Niedźwiedź, 1999; Stopa-Boryczka, Boryczka, 2005).

Mając na względzie średnie daty przejścia temperatury powietrza przez wyznaczone wartości progowe, w Polsce wyróżnia się sześć termicznych pór roku: przedwiośnie, wiosnę, lato, jesień, przedzimie i zimą, oraz niekiedy jeszcze dwie dodatkowe termiczne pory roku, mianowicie przedlecie i polecie:

Pora roku	°C	°C
przedwiośnie	$0 \leq T < 5$	
wiosna	$5 \leq T < 10$	
przedlecie	$10 \leq T < 15$	
lato	$T \geq 15$	
polecie	$10 \leq T < 15$	
jesień	$5 \leq T < 10$	
przedzimą	$0 \leq T < 5$	
zima	$T < 0$	

Tabela 4. Średnie daty początku i czas trwania termicznych pór roku w województwie mazowieckim w latach 1966-1995

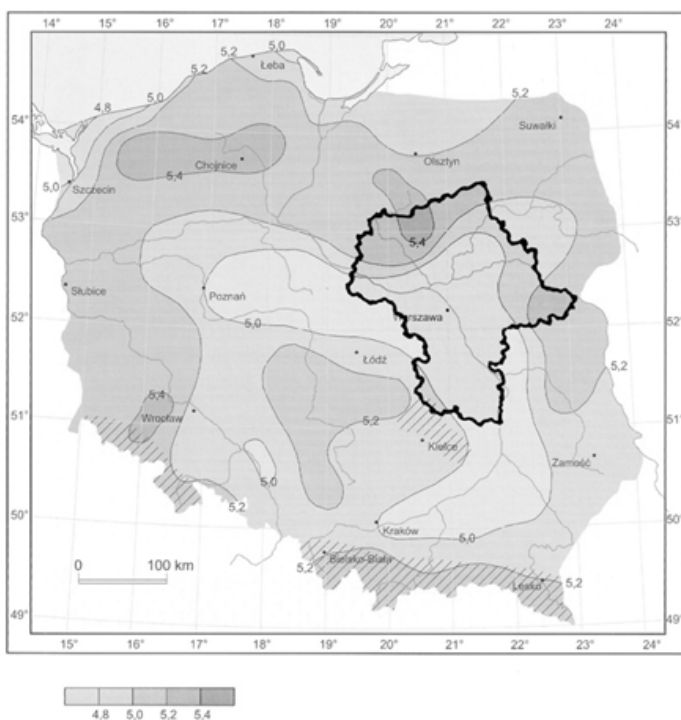
		Mława	Ostrolęka	Płock	Radom	Siedlce	Warszawa
Przedwiośnie	rozp.	3III	1III	23 II	22 II	2 III	24 II
$0^{\circ}\text{C} \leq T < 5^{\circ}\text{C}$	czas	36	34	36	36	34	35
Wiosna	rozp.	5 IV	3IV	31 III	30III	3 IV	31 III
$0^{\circ}\text{C} \leq T < 5^{\circ}\text{C}$	czas.	69	63	64	64	66	62
Lato	rozp.	8 VI	2VI	3 VI	2VI	5 VI	30 V
$0^{\circ}\text{C} \leq T < 5^{\circ}\text{C}$	czas	82	90	92	93	87	96
Jesień	rozp.	29 VIII	31VIII	3 IX	3 IX	31 VIII	3 IX
$5^{\circ}\text{C} \leq T < 15^{\circ}\text{C}$	czas	63	63	63	61	62	62
Przedzimą	rozp.	31X	2XI	5 XI	3XI	1XI	4XI
$0^{\circ}\text{C} \leq T < 5^{\circ}\text{C}$	czas	34	34	36	37	34	35
Zima	rozp.	4 XII	6XII	11 XII	10 XII	5 XII	9 XII
$0^{\circ}\text{C} \leq T < 5^{\circ}\text{C}$	czas	89	85	74	74	87	77

Tabela 5. Daty początku, końca i czas trwania okresu wegetacyjnego w województwie mazowieckim w latach 1966-1995

Stacja	Okres wegetacyjny $t \geq 5^{\circ}\text{C}$		
	Data początku	Data końca	Czas trwania
Mława	5 IV	31X	209
Ostrolęka	3IV	2 XI	213
Płock	31 III	5XI	219
Radom	30 III	3XI	218
Siedlce	3 IV	1 XI	212
Warszawa	31 III	4 XI	218

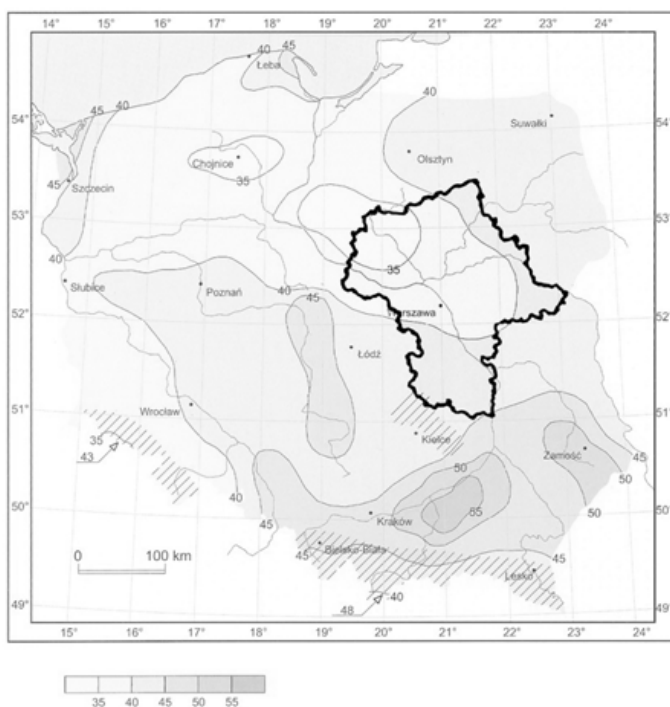
Zachmurzenie

Zachmurzenie jest w znacznym stopniu związane z ogólną cyrkulacją atmosfery, którą warunkuje częstość występowania nad danym terenem różnych układów barycznych. Te z kolei są związane ze strefami frontów meteorologicznych, w których to właśnie dochodzi do rozwoju chmur. Przemieszczanie się nad Polską niżowych układów barycznych sprawia, że nasz kraj charakteryzuje się dość dużym zachmurzeniem. Średnie roczne zachmurzenie mieści się w granicach 65-70% pokrycia nieba przez chmury (Paszyński, Niedźwiedz, 1991; Stopa-Boryczka, Boryczka, 2005). Część zachodnia, północna i północno-wschodnia Polski oraz wysokie partie gór należą do najbardziej pochmurnych regionów Polski. Tam średnie roczne pokrycie nieba chmurami wynosi 5,2-5,4 oktantów. Najbardziej „pogodną” częścią kraju jest środkowa i południowo-wschodnia Polska, gdzie średnie roczne zachmurzenie z reguły nie przekracza 5,0 oktantów.



Rys. 9. Średnie roczne zachmurzenie w skali 0-8 pokrycia nieba chmurami w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem województwa mazowieckiego w latach 1971-2000, (opracowanie własne na podstawie Atlasu klimatu Polski, Lorenc (red), 2005)

Województwo mazowieckie w porównaniu z całym krajem (rys. 9), cechuje mniejsze zachmurzenie, które wynosi około 5,0-5,2. Najmniejsze zachmurzenie (5,0) występuje w południowej, zachodniej i środkowej części badanego obszaru. Największe, natomiast w północnej strefie (Wysoczyzna Płońska i Ciechanowska), gdzie osiąga wartość do 5,4 oktanty (Lorenc red., 2005). Zwiększone zachmurzenie w tej części województwa być może ma związek z Wysoczyzną Ciechanowską wymuszającą pionowe ruchy powietrza, które transportują parę wodną ku górze. Nieco większe zachmurzenie występuje także na wschód od Wysoczyzny Siedleckiej. Zmiany roczne wielkości pokrycia nieba chmurami związane są w głównej mierze z sezonowymi zmianami cyrkulacji atmosferycznej. Zwiększonym zachmurzeniem charakteryzuje się cyrkulacja cyklonalna, która przypada w Polsce na okres jesienno – zimowy. Dlatego też, również na obszarze województwa mazowieckiego, największe pokrycie nieba chmurami przypada od listopada do lutego (Paszyński, Niedźwiedź, 1991; Olszewski, 2003). Najmniejszym zachmurzeniem w Warszawie w 30-leciu 1966-1995 odznacza się sierpień (4,1), co jest rezultatem częstego występowania w tym miesiącu wyżowych układów barycznych. Równie małe zachmurzenie występuje w maju (4,4) i lipcu (4,3). Najwyższe zaś, tak jak w przypadku całego kraju, w miesiącach jesienno – zimowych, czyli listopadzie (6,0) i grudniu (6,2), w styczniu obniżyło się nieznacznie do 5,9 oktantów a w lutym wyniosło 5,7 oktanty.



Rys. 10. Liczba dni pogodnych (zachmurzenie ≤ 2) w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem województwa mazowieckiego w latach 1971-2000, (opracowanie własne na podstawie Atlasu klimatu Polski, Lorenc (red), 2005)

Opady atmosferyczne

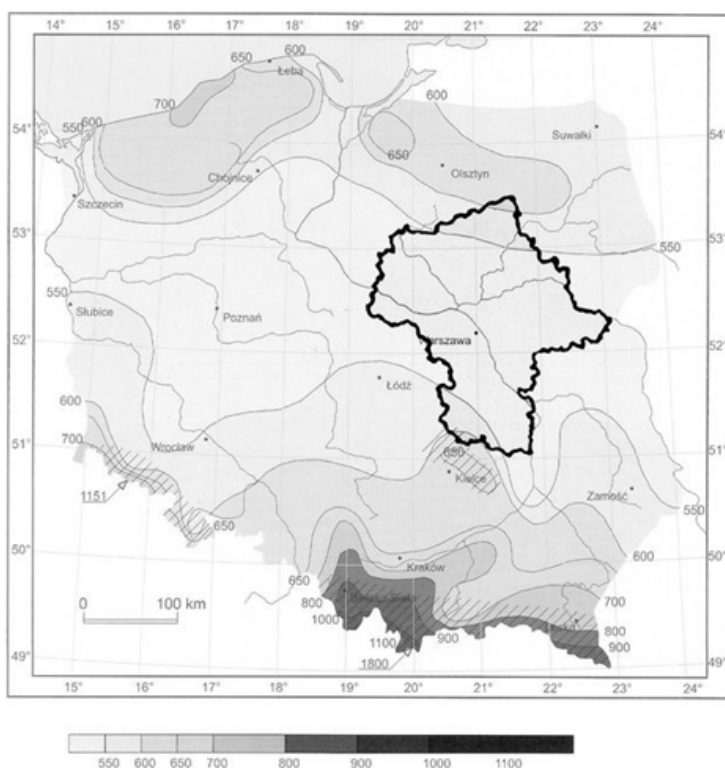
Opady atmosferyczne powstają w wyniku złożonych procesów fizycznych zachodzących w chmurach. W ich efekcie pojedyncze produkty kondensacji pary wodnej (kropelki wody oraz kryształki lodu) osiągają na tyle duże rozmiary i masę, że pod wpływem siły ciężkości pokonują opór powietrza i wypadają z chmur. Do opadów atmosferycznych zalicza się: mżawkę, deszcz, śnieg z deszczem, krupy śnieżne i grad. Wielkość opadu, jaka w określonym czasie dociera do powierzchni Ziemi, wyraża się grubością warstwy wody podaną w milimetrach, jaka powstałaby na powierzchni poziomej, gdyby woda nie uległa parowaniu, nie spływała i nie wsiąkała w grunt. Deszcz, czyli opad złożony z kropeł wody o średnicy równej i większej od 0,5 milimetra, jest najczęściej pojawiającym się tworem opadowym w klimacie Polski (Szwejkowski, 2004; Farat (red.), 2004; Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski, 2006). Wielkość opadów oraz częstość ich występowania zależy od czynników, na które między innymi składają się: szerokość geograficzna, odległość od mórz i oceanów, wysokość nad poziomem morza, rzeźba terenu oraz przeważający kierunek mas powietrza (Paszyński, Niedźwiedź, 1999; Trzeciak, 2004). Wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza zwiększa się ilość opadów (inwersja opadowa). Jednak wzrost wielkości opadów wraz ze wzrostem wyniesienia terenu ma swoją granicę, powyżej której proces ten przebiega coraz wolniej. W Tatrach granica ta znajduje się na wysokości 1800-2000 metrów nad poziomem morza. Jak już wspomniano, istot-

nym elementem wpływającym na rozmieszczenie ilości opadów na danym terenie jest przeważający kierunek wiatru. Masy powietrza napotykając na swojej drodze przeszkodę w postaci obszaru wyżej położonego, wznoszą się do góry, gdzie ulegają ochłodzeniu i skropleniu. Skutkiem czego jest powstanie obfitych opadów po stronie dowietrznej (Choiński, Koniecki, 1996). Wraz ze wzrastającą szerokością geograficzną i w miarę oddalania się od zbiorników wodnych, maleje zawartość pary wodnej w powietrzu, od której również zależy wielkość opadów na danym terenie (Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski, 2006). Opady atmosferyczne w Polsce odznaczają się dużym zróżnicowaniem przestrzennym i czasowym. Sumy miesięczne opadów wahają się od 32 do 104 mm, średnia suma roczna wynosi około 630 mm. Cechą charakterystyczną przestrzennego rozkładu opadów atmosferycznych w Polsce jest jego strefowość (Stopa-Boryczka, Boryczka, 2005). Najniższe opady obserwowane są w pasie nizin, gdzie wynoszą około 600 milimetrów, a szczególnie niskie sumy opadów występują w środkowej części Polski, między Poznaniem, Warszawą a Bydgoszczą. Ich średnie roczne sumy wynoszą około 550 milimetrów. Pojezierze Pomorskie i Mazurskie otrzymuje więcej opadów, około 650 mm rocznie. Jednak sumy opadów w tym rejonie nie przekraczają 700 mm. Natomiast największe opady występują w górach, gdzie ich roczne sumy przekraczają 800 mm i rosną wraz z wysokością nad poziomem morza (Otałęga Z. (red.), 1997; Głębocki, Parysek, Rogacki, 2000). W partiach szczytowych Karkonoszy osiągają 1151 mm, a w Tatrach dochodzą do 1800 mm. W województwie mazowieckim sumy roczne opadów atmosferycznych nie są tak bardzo zróżnicowane. Prawie na całym obszarze województwa średnie roczne sumy opadów mają wartość około 550 mm i tylko na północnym i południowo-zachodnim krańcu województwa sumy te są wyższe (około 600 mm). Tak więc województwo mazowieckie charakteryzuje się jednymi z najniższych wartości sum opadów w Polsce. W rozkładzie rocznym przeważają opady w cieplej porze roku. Miesięczne sumy opadu w porze letniej w województwie mazowieckim (tab. 6), jak i w całej Polsce, są znacznie większe niż w porze zimowej. Związane jest to z występowaniem intensywnych opadów pochodzenia burzowego (Stopa-Boryczka, Boryczka, 2005).

Tabela 6. Średnie wieloletnie sumy opadów atmosferycznych (mm) z okresu 1966-1995

Stacje	Mława	Ostrołęka	Płock	Puławy*	Siedlce	Warszawa
I	30	33	30	32	27	24
II	22	26	23	28	21	22
III	31	32	34	30	27	28
IV	36	40	33	45	37	36
V	44	56	48	54	53	53
VI	73	74	70	72	76	72
VII	71	66	74	74	63	68
VIII	63	68	62	66	62	58
IX	57	56	49	63	55	50
X	41	43	37	44	41	40
XI	42	44	41	38	37	39
XII	41	42	39	42	37	37
I-XII	551	580	540	588	536	527

Najwyższe miesięczne opady przypadają najczęściej w lipcu (a także czasami w czerwcu i w sierpniu), kiedy to suma opadów atmosferycznych przeciętnie blisko trzykrotnie przewyższa sumę opadów w lutym (Otałęga Z. (red.), 1997; Olszewski, 2003). Najuboższy w opady atmosferyczne jest przełom zimy i wiosny. W tym okresie nawet w wysokich partiach gór, miesięczne sumy opadów nieznacznie przekraczają 100 mm, na nizinach natomiast wahają się od 20 do 30 mm (Stopa-Boryczka, Boryczka, 2005). W Warszawie średnie roczne sumy opadów atmosferycznych wahają się od około 500 do 625 mm. Duży wpływ na dość wysokie sumy opadów w mieście ma zanieczyszczenie powietrza, przez które zwiększa się ilość jąder kondensacji. Niemalży wpływ ma również zwiększona szorstkość podłoża i powstawanie prądów konwekcyjnych, do czego przyczynia się nagrzane powietrze nad miastem (Głowacka, 1999). Najwyższe roczne sumy opadów atmosferycznych w Warszawie obserwowane są dzielnicach położonych od strony zawietrznej i dowietrznej w stosunku do zachodniego, a więc przeważającego kierunku napływu wilgotnych mas powietrza.

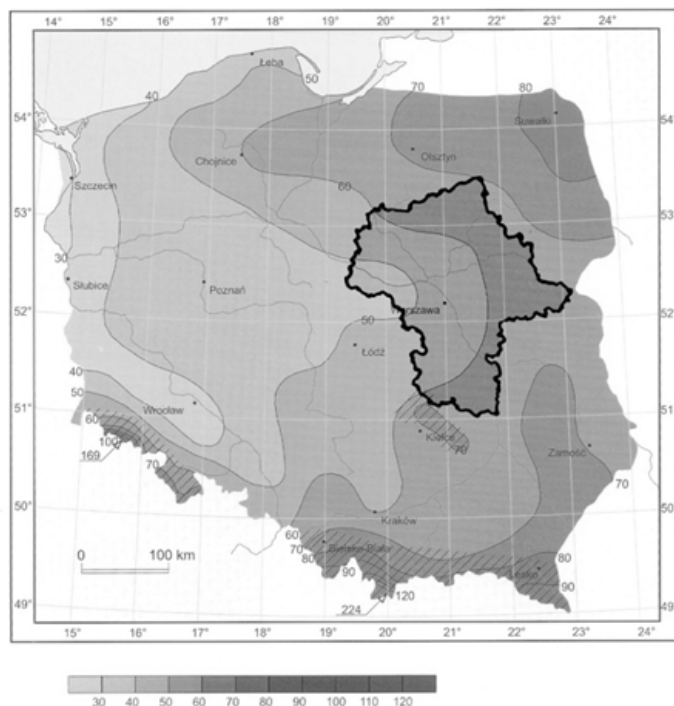


Rys. 11. Średnia roczna suma opadów (mm) w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem województwa mazowieckiego w latach 1971-2000, (opracowanie własne na podstawie Atlasu klimatu Polski, Lorenc (red), 2005)

Pokrywa śnieżna

Opady atmosferyczne w postaci stałej, przede wszystkim śniegu mają swoiste znaczenie. Tworzą one pokrywę pełniącą istotną funkcję w kształtowaniu stosunków termicz-

nych m.in. w przygruntowej warstwie powietrza. Aby powstała pokrywa śnieżna niezbędny jest opad śniegu i utrzymywanie się niskiej temperatury powietrza i podłoża. W Polsce opady śniegu obserwuje się najczęściej w grudniu i styczniu, jednak pierwszy śnieg przeważnie pojawia się w listopadzie a ostatni w kwietniu. Pokrywa śnieżna najwcześniej tworzy się w górach i na terenach podgórskich. W Tatrach pojawienie się śniegu można zaobserwować już w połowie września, a pod koniec tego miesiąca również w Karkonoszach. W niżej położonych partiach Karpat i Sudetów obserwuje się ją w październiku i w listopadzie. Poza regionami górskimi pokrywa śnieżna pojawia się w listopadzie a nawet w połowie grudnia (wybrzeże Zatoki Gdańskiej)(Paszyński, Niedźwiedz, 1999; Woś, 1999; Lorenc (red), 2005).



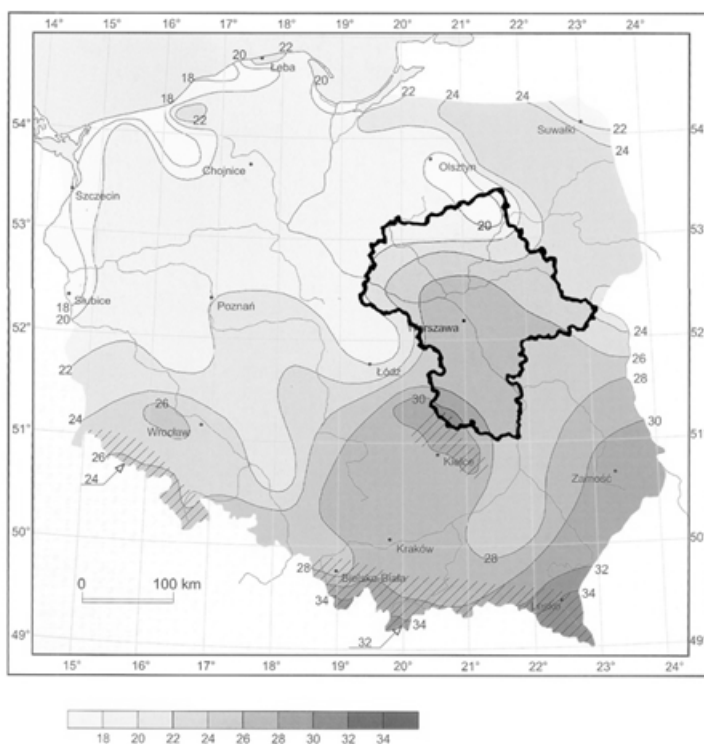
Rys. 12. Średnia liczba dni w sezonie z pokrywą śnieżną w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem województwa mazowieckiego w okresie 1970/1971-1999/2000, (opracowanie własne na podstawie Atlasu klimatu Polski, Lorenc (red), 2005)

Utrzymywanie się pokrywy śnieżnej zależy m.in. od temperatury powietrza oraz podłoża, ekspozycji i pokrycia terenu. Średnia roczna liczba dni z pokrywą śnieżną w Polsce jest dość zróżnicowana (rys. 12). Najwięcej takich dni występuje w górach (Śnieżka – 169 dni, Kasprowy Wierch – 224), gdzie liczba dni z pokrywą śnieżną wzrasta wraz z wysokością nad poziomem morza. Na pozostałym obszarze naszego kraju liczba dni waha się od 30-40 w rejonie dolnego biegu Odry do 80 na północno – wschodnim skraju Polski. Liczba dni z pokrywą śnieżną wzrasta z zachodu na wschód. Pokrywa śnieżna leżąca mniej niż 50 dni w roku cechuje tereny Wielkopolski oraz Pojezierza Słowińskiego. W zachodniej części Pojezierza Mazurskiego, na Nizanie Mazowieckiej oraz Wyżynie Małopolskiej

takich dni jest średnio 50-70 w roku (Paszyński, Niedźwiedź, 1999; Woś, 1999; Lorenc (red), 2005). W województwie mazowieckim najniższa liczba dni z pokrywą śnieżną charakteryzuje zachodni kraniec badanego obszaru. Tam liczba tych dni nie przekracza 50 w roku. Przesuwając się w kierunku wschodnim liczba ta rośnie do 60 w centralnej, północno-zachodniej i południowo-zachodniej części województwa, aż do 80 na północnych, wschodnich i południowo-wschodnich terenach województwa mazowieckiego.

Burze

Burze, z którymi związane są najintensywniejsze opady, mogą występować w ciągu całego roku, jednak najczęściej pojawiają się porą wiosenną i letnią. Najmniejsza liczba dni z burzą występuje na wybrzeżu Bałtyku i w północno-zachodniej Polsce – średnio 18-22 dni w roku, na Pojezierzu Wielkopolskim i Mazurskim – waha się od 20 do 24, a na Nizinie Wielkopolskiej i Mazowieckiej – dochodzi do 26. W południowo-wschodniej Polsce liczba dni z burzą wynosi średnio do 30 w roku, a na południu przekracza 32 (Otałęga (red.), 1997; Paszyński, Niedźwiedź, 1999). Najwięcej burz notowanych jest na obszarach górskich i w dużych miastach. Związane jest to ze zwiększoną jonizacją powietrza w tych miejscach. W województwie mazowieckim (rys. 13) najmniejsza średnia liczba dni z burzą przypada na tereny północne, gdzie nie przekracza 22 dni rocznie.



Rys. 13. Średnia roczna liczba dni z burzą w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem województwa mazowieckiego w latach 1971-2000, (opracowanie własne na podstawie Atlasu klimatu Polski, Lorenc (red), 2005)

Przesuwając się w kierunku południowym liczba ta się zwiększa, osiągając wartość 28 na krańcach południowozachodnich. Niemniej jednak na przeważającym terenie województwa średnia liczba dni z burzą wynosi od 24 do 26 dni (Lorenc (red), 2005). W Warszawie najwięcej dni z burzą przypada na półrocze ciepłe, szczególnie od maja do sierpnia, kiedy to obserwuje się średnio po 5-6 takich dni w miesiącu. Od listopada zaś do lutego, dni burzowe z reguły nie występują.

Podsumowanie

Do charakterystyki klimatycznej badanego obszaru wykorzystano dane z okresu 1966-1995 i 1971-2000.

Województwo mazowieckie cechuje uprzywilejowanie solarno – termiczne. Średnia roczna suma usłonecznienia wynosi około 1600 godzin, podczas gdy średnia w Polsce wynosi około 1550 godzin. Średnie roczne sumy promieniowania całkowitego w województwie mazowieckim też są wyższe niż w całej Polsce, średnio przyjmują wartość 3700 MJ/m², chociaż Warszawa i jej okolice tworzą jakby wyspę, gdzie średnie roczne sumy promieniowania spadają do 3600 MJ/m². Biorąc pod uwagę cały obszar Polski, to średnia wartość sum promieniowania wynosi 3600 MJ/m². Średnia roczna temperatura powietrza w Polsce wynosi 7,2°C, w województwie mazowieckim jest o około pół stopnia wyższa (7,7°C). Zarówno w województwie mazowieckim, jak i w całej Polsce układ izoterm wskazuje spadek średniej rocznej wartości temperatury powietrza w kierunku północno – wschodnim, a wzrost w kierunku południowo – zachodnim. W całej Polsce najwyższe wartości temperatury powietrza notuje się w miesiącach letnich, najniższe zaś – w zimowych. Średnia temperatura lipca obliczona dla całego obszaru Polski wynosi 17,3°C, a w samym województwie mazowieckim przyjmuje wartość 17,9°C. Średnia temperatura najzimniejszego miesiąca roku (styczeń lub luty) wynosi -3,4°C, przy czym w województwie mazowieckim: -2,9°C.

Polska jest krajem o stosunkowo dużym zachmurzeniu. Badany region w porównaniu z całym krajem, charakteryzuje niższa średnia wartość zachmurzenia, która wynosi 5,0-5,2 oktanty. Średnie roczne zachmurzenie w Polsce waha się od 5,2 do 5,4 oktantów. W całym kraju roczna liczba dni pogodnych jest mniejsza niż roczna liczba dni pochmurnych. Tych pierwszych jest około 39 w roku (w województwie mazowieckim – 40), a tych drugich – aż 145 (około 160 w województwie mazowieckim). Obszar województwa mazowieckiego charakteryzuje się mniejszą (o około 10 dni) liczbą dni z mgłą niż cała Polska. Województwo mazowieckie jest obszarem upośledzonym opadowo. Badany obszar charakteryzują jedne z najniższych wartości sum opadów. Podczas gdy średnia roczna suma opadów w Polsce wynosi 630 mm, w województwie mazowieckim z reguły nie przekracza 550 mm. Liczba dni z pokrywą śnieżną w Polsce waha się od 30 na zachodzie do 80 na wschodzie kraju. W województwie mazowieckim wynosi około 60 dni w roku. Średnia roczna liczba dni z burzą w województwie mazowieckim w porównaniu z całym krajem jest dość wysoka i wynosi około 24 (w Polsce waha się od 18 dni na zachodzie do 32 dni na południu).

Zróznicowanie przestrzenne średniej prędkości wiatru w Polsce jest niewielkie i wynosi około 3-4 m/s. W województwie mazowieckim wartość ta przyjmuje 3,5 m/s. Na całym obszarze Polski największa średnia prędkość wiatru przypada w styczniu, a najmniejsza w miesiącach letnich (szczególnie w sierpniu i lipcu). Kierunki wiatru w wojewódz-

twie mazowieckim generalnie nawiązują do ogólnej cyrkulacji powietrza, a więc tak jak i w całej Polsce, przeważają wiatry z sektora zachodniego.

Ważną charakterystyką warunków termicznych danego terenu jest występowanie termicznych pór roku. Przedwiośnie w województwie mazowieckim wkracza od południa i zachodu i średnio trwa 35 dni. W Polsce czas trwania przedwiośnia waha się od 30 (na wschodzie) do 60 dni (na północnym-zachodzie kraju). Termiczna wiosna pojawia się w województwie mazowieckim pod koniec marca i czas jej trwania nie przekracza 30 dni. Przedlecie pojawia się mniej więcej miesiąc później i trwa około 35 dni, czyli tak jak w przeważającej części kraju. Lato wkracza do Polski na przełomie maja i czerwca i cechuje je najdłuższy czas trwania (w Warszawie trwa 96 dni). Polecie ma swój początek pod koniec sierpnia i trwa na terenie województwa mazowieckiego a także i na całym obszarze Polski około 35 dni. Termiczna jesień wkracza do Polski od północnego wschodu i trwa średnio 30 dni, w województwie mazowieckim pojawia się na przełomie września i października. Przedzimie do 10 listopada panuje już w całym kraju i trwa około 35 dni, jednak przesuując się kierunku zachodnim, czas trwania tej termicznej pory roku wydłuża się nawet do 60 dni. Zima najwcześniej rozpoczyna się na północnym wschodzie Polski (pod koniec listopada), a najpóźniej na wybrzeżu (w styczniu). W województwie mazowieckim pojawia się w pierwszych dniach grudnia i trwa około 80 dni. W całej Polsce czas trwania tej termicznej pory roku jest dość zróżnicowany. Najdłużej, nawet ponad 100 dni trwa w górach, najkrócej zaś na wybrzeżu i zachodzie (około 30 dni).

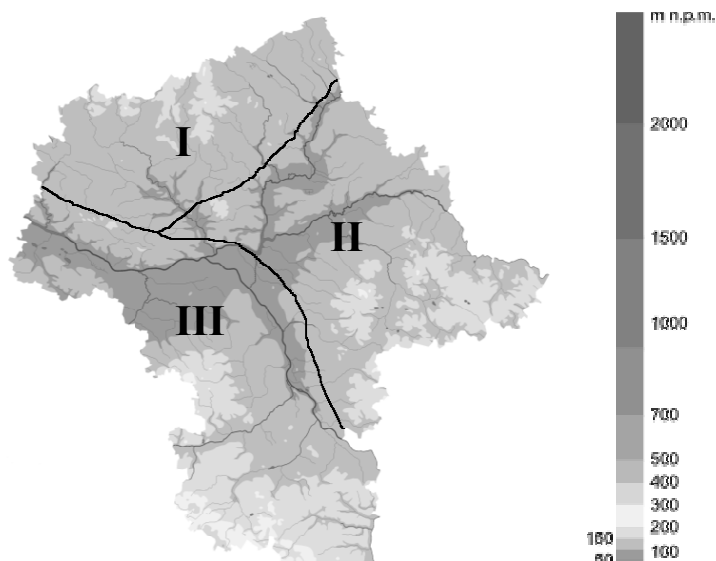
Średnia roczna maksymalna temperatura powietrza w województwie mazowieckim ma wartość zbliżoną do wartości maksymalnej temperatury w całej Polsce i wynosi 11-12°C. Średnia wartość minimalnej temperatura powietrza też dla całego obszaru Polski jest podobna i wynosi około 4°C.

W gospodarce i życiu społecznym istotne znaczenie ma częstość występowania charakterystycznych dni pod względem termicznym. Liczba dni przymrozkowych wzrasta w Polsce z zachodu na wschód i w województwie mazowieckim wynosi około 110 (najwięcej w grudniu, styczniu i lutym). Dni mroźne mogą występować od listopada do marca z największą częstością występowania w styczniu. W województwie mazowieckim obserwuje się średnio 40 takich dni w roku. Dni bardzo mroźne rejestruje się znacznie rzadziej. W ciągu całego roku, pojawiają się średnio dwa razy. Dni gorące w Polsce notuje się od maja do września a ich liczba dla całego obszaru Polski wynosi około 35 dni. W Warszawie średnia liczba dni gorących wynosi 38. Dni upalne w Polsce zdarzają się mniej więcej od 2 do 7 razy w roku, w Warszawie ich liczba nie przekracza 5 dni.

Ze względu na dość dużą powierzchnię województwa, region ten cechuje się zróżnicowaniem termicznym, nie tylko w stosunku do całej Polski, ale również w swoich administracyjnych granicach. Dlatego postanowiono podzielić go na trzy zgeneralizowane części charakteryzujące się odmiennymi cechami termicznymi (rys. 14). Wyróżniono region północny (I), wschodni (II) i południowo-zachodni (III).

Region północny, który reprezentują dane ze stacji meteorologicznej w Mławie, charakteryzuje się najbardziej odmiennymi warunkami termicznymi w stosunku do pozostałego obszaru województwa mazowieckiego. Notowane są tam najniższe roczne sumy usłonecznienia, spadające poniżej 1550 godzin i tylko w jego południowej części liczba ta dochodzi do 1600. Średnie roczne sumy promieniowania całkowitego na tym wydzielonym obszarze

przyjmują wartości również nieco niższe niż w pozostałych dwóch regionach i wynoszą średnio 3700 MJ/m². Średnia wartość temperatury powietrza jest tam najniższa, w Mławie równa się 7,2°C, a biorąc pod uwagę cały region północny to wynosi 7,5°C. Średnia temperatura powietrza najchłodniejszego miesiąca roku przyjmuje wartość -3,4°C, najcieplejszego zaś 17,4°C, a więc średnia temperatura lipca jest najniższą w całym województwie.



Rys. 14. Regiony termiczne województwa mazowieckiego. Regiony: I – północny, II – wschodni, III – południowo – zachodni

Okres wegetacyjny w regionie północnym rozpoczyna się później (5 kwietnia), a kończy wcześniej (31 października) niż w pozostałych regionach a więc trwa tam najkrócej – 209 dni. Również termiczne lato na tym obszarze trwa krócej – około 82 dni, podczas gdy w regionie południowo – zachodnim jest o około 11 dni dłuższe, natomiast czas trwania termicznej zimy jest tam najdłuższy, średnio utrzymuje się 89 dni. Liczba dni przymrozkowych może wynieść tam nawet 120, a mroźnych 50 w ciągu roku. Liczba dni gorących i upalnych jest podobna w całym województwie mazowieckim i wynosi odpowiednio ponad 30 i 4 dni.

Region wschodni charakteryzują dane meteorologiczne z dwóch stacji: Ostrołęka i Siedlce. Mimo iż ostrołęcka stacja meteorologiczna położona jest w dolinie rzecznej a siedlecka na terenie równinym, to warunki termiczne cechujące te obydwie stacje są bardzo podobne. Średnie sumy usłonecznienia wynoszą około 1600 godzin w roku, natomiast średnie roczne sumy promieniowania całkowitego – około 3600 MJ/m². Średnia roczna temperatura powietrza wynosi tam 7,5°C, przy czym średnia temperatura stycznia przyjmuje wartość -1,2°C, a lipca 17,8°C. Okres wegetacyjny w regionie wschodnim trwa 212-213 dni i zaczyna się już 3 kwietnia a kończy 1-go bądź 2-go listopada. Termiczne lato trwa tam około 88 dni a termiczna zima – 86 dni. Region ten charakteryzuje się najkrótszym czasem trwania przedwiośnia, średnio 34 dni, podczas gdy na pozostałym obszarze województwa mazowieckiego ta termiczna pora roku jest o dwa dni dłuższa. Za-

uważalną cechą tego regionu jest większa liczba dni z przymrozkiem i liczba dni mroźnych, które podobnie jak w regionie północnym odpowiednio wynoszą około 120 i 50 w ciągu roku. Liczba dni gorących jest taka jak w całym województwie, natomiast liczba dni upalnych jest nieco niższa i nie przekracza 4 dni w ciągu całego roku.

Region południowo-zachodni jest trzecim regionem wydzielonym przez autora. Ten obszar reprezentują dane ze stacji meteorologicznych w Płocku, Warszawie i Radomiu. Mimo, że tak jak i w przypadku regionu wschodniego, stacje meteorologiczne położone są na terenie o różnych cechach ukształtowania powierzchni, to jednak zmierzone wartości termiczne wykazują podobieństwo na tyle duże, że postanowiono zamknąć je w jednym wydzielonym obszarze. Średnie roczne sumy usłonecznienia wynoszą w nim 1625 godzin, tym samym są najwyższe w całym województwie. Średnie roczne sumy promieniowania całkowitego także przyjmują najwyższe wartości równe 3750 MJ/m^2 , przy czym w Płocku przekraczają nawet 3800 MJ/m^2 . Średnia roczna temperatura powietrza w tym regionie jest najwyższa w województwie i wynosi 8°C . Średnia temperatura najchłodniejszego miesiąca jest również najwyższa i przyjmuje wartość $-2,4^\circ\text{C}$, najcieplejszego zaś $18,1^\circ\text{C}$. Czas trwania okresu wegetacyjnego jest najdłuższy w całym województwie mazowieckim i wynosi około 218 dni. Swój początek ma już pod koniec marca, natomiast kończy się zazwyczaj 4 listopada. Termiczne lato trwa tam najdłużej – około 94 dni, a termiczna zima utrzymuje się najkrócej – średnio przez 75 dni. Liczba dni przymrozkowych i mroźnych jest tam niższa niż w pozostałych regionach. Dni z przymrozkiem nie przekraczają 110 a mroźne – 40 w ciągu roku. Liczba dni gorących i upalnych z reguły nie różni się od wartości cechującej całe województwo mazowieckie, a więc wynosi odpowiednio ponad 30 i 4 rocznie.

Reasumując, województwo mazowieckie nie jest jednolitym obszarem pod względem termicznym. Wydzielone obszary pokazują, iż można wyodrębnić w nim regiony, które charakteryzują się odrębnymi cechami termicznymi. I tak region północny jest najchłodniejszą częścią województwa. Wszystkie zmierzone w nim wartości opisujące pole temperatury powietrza są niższe niż w pozostałych dwóch regionach. Region wschodni jest obszarem pośrednim, tzn. liczby charakteryzujące warunki termiczne przyjmują z reguły wartości średnie. Region południowo – zachodni, jest natomiast wyraźnie obszarem najcieplejszym i cechują go najwyższe wartości z całego województwa mazowieckiego.

Istotne znaczenie przy określaniu pola temperatury badanego obszaru mają duże aglomeracje miejskie. W tym przypadku była to Warszawa charakteryzująca się specyficznymi cechami termicznymi, typowymi dla klimatu lokalnego dużego miasta. Deformacja naturalnych warunków termicznych w aglomeracji Warszawy jest spowodowana antropogenicznymi przekształceniami środowiska geograficznego i uwidacznia się podwyższeniem temperatury powietrza w stosunku do obszarów pozamiejskich. Takie zjawisko określane jest „miejską wyspą ciepła” i mimo że jest zjawiskiem częstym, jednak nie występuje codziennie i nie ma jednakowej intensywności. Największe kontrasty termiczne obserwowane są wieczorem i w nocy a najmniejsze około południa. Małe zachmurzenie oraz małe prędkości wiatru sprzyjają większej intensywności wyspy ciepła. Sytuacja odwrotna prowadzi zaś do zaniku tego zjawiska. Warszawa jako największe i najludniejsze miasto w Polsce cechuje się najwyższymi różnicami temperatury powietrza między miastem i jego peryferiami, a postępująca urbanizacja powoduje jeszcze większy wzrost różnic

temperatury powietrza między śródmieściem a otoczeniem miasta. Prowadzone badania nad tym zjawiskiem pozwalają na określenie negatywnych ale również pozytywnych skutków miejskiej wyspy ciepła.

6.3. Zachmurzenie w Polsce i jego związek z typami cyrkulacji atmosferycznej

Autor: Magdalena PAWLAK

Opiekun naukowy: Elwira ŻMUDZKA

Cel pracy i zarys treści

Celem pracy jest zbadanie wpływu cyrkulacji atmosferycznej na zachmurzenie w Polsce. Posłużono się typami cyrkulacji według Osuchowskiej-Klein. Określono zmiany dobowe i roczne wielkości zachmurzenia w poszczególnych typach cyrkulacji oraz prawdopodobieństwo występowania dni pogodnych i pochmurnych w różnych typach. W celu wykrycia warunków cyrkulacyjnych w istotny sposób wpływających na zachmurzenie w kraju, wyznaczono także związki korelacyjne wielkości zachmurzenia z częstością poszczególnych typów.

Materiały źródłowe i metody badań

W pracy wykorzystano codzienne dane terminowe z godziny 00⁰⁰, 6⁰⁰, 12⁰⁰ i 18⁰⁰ UTC dotyczące wielkości zachmurzenia z 30-lecia 1966-1995. Pochodzą one z trzech stacji synoptycznych IMGW: z Helu, Warszawy i Kielce, położonych na profilu południkowym Polski (tab. 1). Poszczególne stacje reprezentują odpowiednio pas nadmorski (Hel), pas nizin (Warszawa) i pas wyżyn (Kielce). Stacja nadmorska w Helu jest położona na Pobrzeżu Gdańskim. Jest ona zlokalizowana na cyplu Mierzei Helskiej na terenie Nadmorskiego Parku Krajobrazowego na wysokości 1 m n.p.m. Stacja Warszawa-Okęcie jest usytuowana na Nizinie Środkowomazowieckiej. Znajduje się ona na południowy-zachód od centrum miasta, na terenie Portu Lotniczego Warszawa-Okęcie. Natomiast stacja meteorologiczna Kielce-Suków jest położona na południu kraju – na Wyżynie Kieleckiej. Uwzględnione w opracowaniu stacje są stacjami periferyjnymi.

W opracowaniu badano różne charakterystyki zachmurzenia. Należy zaznaczyć, że wielkość zachmurzenia wyrażono w procentach z dokładnością do 0,1.

Przebieg dobowy wielkości zachmurzenia (wyrażony w procentach z dokładnością do 0,1) opisany średnimi terminowymi analizowano w porach roku i w roku. Średnie sezonowe wartości terminowe wyliczono jako średnie arytmetyczne ze wszystkich dni danej pory roku z 30 lat (1966-1995).

Tabela 1. Stacje meteorologiczne uwzględnione w pracy

Stacja	Szerokość geograficzna (φ)	Długość geograficzna (λ)	Wysokość (m n.p.m)	Region
Hel	54°36'N	18°49'E	1	Pobrzeże Gdańskie
Warszawa-Okęcie	52°10'N	20°58'E	106	Nizina Środkowomazowiecka
Kielce-Suków	50°49'N	20°42'E	260	Wyżyna Kielecka

Przebieg roczny wielkości zachmurzenia w Polsce scharakteryzowano średnimi miesięcznymi wielkościami zachmurzenia z lat 1966-1995. Ponadto przebieg roczny opisano średnimi dobowymi wielkościami zachmurzenia, co pozwoliło ujawnić występowanie

kilkudniowych okresów zwiększonego bądź zmniejszonego zachmurzenia. Zwrócono też uwagę na daty wystąpienia największego i najmniejszego średniego dobowego zachmurzenia w każdym miesiącu.

W pracy badano również przebieg roczny liczby dni pogodnych i pochmurnych. W przypadku dni pogodnych za kryterium ich wydzielenia przyjęto $E(N_{06}+N_{12}+N_{18}) < 20\%$, a w przypadku dni pochmurnych $> 80\%$.

Do wyznaczenia tendencji zmian wielkości zachmurzenia oraz liczby dni pogodnych i pochmurnych w latach 1966-1995 wykorzystano równanie prostej regresji:

$$y = ax + b$$

gdzie: a – współczynnik trendu liniowego (%/rok), x – czas, b – wyraz wolny.

Istotność statystyczną trendów zweryfikowano na poziomie $\alpha = 0,05$ i $\alpha = 0,10$, stosując test t -Studenta:

$$t_{obl} = (n-2)^{0,5} |r| (1-r^2)^{-0,5}$$

gdzie: r – współczynnik korelacji, r^2 – współczynnik determinacji, n – liczba lat ($n=30$). Tendencje są istotne statystycznie, gdy: $t_{obl} > t_{kr}$ ($t_{kr} = 2,0423$ – na poziomie $0,05$ i $t_{kr} = 1,6973$ – na poziomie $0,10$).

W opracowaniu do opisu cyrkulacji atmosferycznej wykorzystano Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej opracowany przez Osuchowską-Klein (1978, 1991). W charakterystyce warunków cyrkulacyjnych nad Polską w latach 1966-1995 uwzględniono częstość występowania poszczególnych typów cyrkulacji w porach roku i w roku. Częstość ta stanowi stosunek liczby dni z określonym typem cyrkulacji do ogólnej liczby dni w danej porze roku. Analizie poddano także przebieg roczny częstości poszczególnych typów cyrkulacji.

W celu określenia zależności zmian dobowych zachmurzenia w Polsce od cyrkulacji atmosferycznej, obliczono średnie terminowe wielkości zachmurzenia (z godz. 00⁰⁰, 6⁰⁰, 12⁰⁰ i 18⁰⁰ UTC) w dniach z poszczególnymi typami cyrkulacji. Analizę przeprowadzono w porach roku i w roku. Badano również zakres zmian między największą i najmniejszą terminową wielkością zachmurzenia w poszczególnych typach cyrkulacji oraz odchylenia średnich terminowych wielkości zachmurzenia w różnych typach od średnich w wieloleciu.

W pracy zbadano także prawdopodobieństwo wystąpienia dni pogodnych i pochmurnych w Polsce w różnych typach cyrkulacji, jako stosunek liczby dni pogodnych/pochmurnych w danym typie do ogólnej liczby dni pogodnych/pochmurnych w poszczególnych miesiącach, porach roku i roku. Dodatkowo prześledzono jakie typy cyrkulacji towarzyszyły najdłuższym ciągom dni pogodnych i pochmurnych.

Związek wielkości zachmurzenia w Polsce z częstością typów cyrkulacji w poszczególnych porach roku i w roku oceniono także za pomocą współczynnika korelacji. Istotność statystyczną otrzymanych współczynników zweryfikowano na poziomie $\alpha = 0,05$ za pomocą testu t -Studenta.

Należy podkreślić, że w pracy przedstawiano wyniki badań z trzech stacji (Helu, Warszawy i Kielc), co pozwoliło na wskazanie różnic regionalnych w rozkładzie zachmurzenia i jego uwarunkowań cyrkulacyjnych.

Duże znaczenie dla warunków klimatycznych Polski ma ukształtowanie powierzchni. Zdecydowana przewaga nizin i strefowy układ głównych krain geograficznych sprzyja równoleżnikowej wymianie mas powietrza, natomiast obecność łańcuchów górskich na południu, o orientacji wschód-zachód, blokuje cyrkulację o składowej południkowej. Ponadto wartości poszczególnych elementów klimatu zmieniają się wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza. Ważnym czynnikiem geograficznym modyfikującym warunki klimatyczne w skali lokalnej jest rodzaj podłoża i pokrycie terenu, o różnym albedo – właściwościach cieplnych i zdolności parowania.

Cyrkulacja atmosferyczna

Głównymi ośrodkami barycznymi kształtującymi pogodę i klimat w całej Europie, a więc również w Polsce, są całoroczny Niż Islandzki, o największej aktywności w okresie zimowym i całoroczny Wyż Azorski, szczególnie rozbudowany w okresie letnim.

Zmiany w rozkładzie ciśnienia atmosferycznego w ciągu roku nad Europą i północnym Atlantykiem sprawiają, że nad obszar Polski napływają masy powietrzne różnego pochodzenia geograficznego, a tym samym, o odmiennych właściwościach fizycznych. Są to głównie masy powietrza polarnego, arktycznego i zwrotnikowego.

Nad obszar Polski najczęściej napływają masy powietrza polarnego morskiego (65% dni w roku)(tab. 2). W przebiegu rocznym maksimum częstości występowania tej masy powietrznej przypada na lato. Powietrze polarne morskie napływa z południowego Atlantyku, wobec czego cechuje się dużą wilgotnością. W zimie przynosi ono okresowe ocieplenie i odwilże, a także duże zachmurzenie wraz z opadami śniegu lub deszczu. Latem napływ tego powietrza powoduje ochłodzenie oraz wzrost zachmurzenia i opady deszczu, niekiedy o charakterze burzowym (Woś, 1999).

Tabela 2. Średnia częstość (%) dni z poszczególnymi masami powietrznymi w Warszawie w latach 1946-1956 (opracowanie własne na podstawie Bołaszewska, Reutt, 1962)

Masy powietrzne	Wiosna	Lato	Jesień	Zima	Rok
Arktyczne PA	8,6	0,3	3,4	3,3	3,7
Polarne kontynentalne PPK	31,1	23,7	31,4	27,9	29,3
Polarne morskie PPM	59,4	75,5	61,8	65,8	65,0
Zwrotnikowe PZ	0,9	0,5	3,4	3,0	2,0

Powietrze polarne kontynentalne dociera nad obszar Polski znacznie rzadziej niż powietrze polarne morskie – około 29% dni w roku. Masy tego powietrza napływają z terenów umiarkowanych szerokości geograficznych Azji i Europy Wschodniej, zwykle z rozbudowanych nad tymi obszarami układów wyżowych. W związku z tym, powietrze to odznacza się stosunkowo małą wilgotnością. Zimą przynosi pogodę suchą i mroźną z bezchmurnym niebem lub z niewielkim tylko zachmurzeniem. Natomiast latem powoduje pogodę suchą, słoneczną i gorącą, sprzyjającą silnemu rozwojowi konwekcji i w efekcie występowaniu burz termicznych (Woś, 1999).

Stosunkowo rzadko napływa do Polski suche i bardzo mroźne powietrze arktyczne z północy (ok. 4%). Najczęściej dociera ono do Polski wiosną (8,6%), powodując niebezpieczne dla roślinności spadki temperatury powietrza przy bezchmurnym niebie („zimni ogrodnicy”, „zimna Zośka”). Niekiedy masy powietrza arktycznego napływają z poł-

nocnego Atlantyku. Wówczas są one ogrzane w dolnych warstwach i wzbogacone w parę wodną, w związku z czym przynoszą wiosną krótkotrwałe opady śniegu (Martyn, 1995).

Najrzadziej napływają nad obszar Polski masy powietrza zwrotnikowego – zaledwie 2% dni w roku. Powietrze zwrotnikowe docierające z okolic Azorów lub znad Morza Śródziemnego zawiera dużo pary wodnej, napływające znad północnej Afryki i Półwyspu Arabskiego jest natomiast suche i bardzo gorące. Z adwekcją tej masy powietrznej wiążą się gwałtowne ocieplenia zimą i silne upały latem (Woś, 1999).

Przemieszczające się nad obszarem Polski różne masy powietrzne są oddzielone od siebie wąskimi strefami przejściowymi, zwanymi powierzchniami frontowymi. Fronty ciepłe, łącznie z frontami zokludowanymi o charakterze ciepłym, najczęściej występują w chłodnej połowie roku. Natomiast fronty chłodne wraz z frontami zokludowanymi o charakterze chłodnym, odznaczają się większą częstością w ciepłej połowie roku (tab. 3). Należy zaznaczyć, że prawie 50% frontów atmosferycznych przemieszcza się nad obszarem Polski z zachodu na wschód, a 25% z północo-zachodu na południo-wschód (Parczewski, 1965).

Tabela 3. Średnia liczba dni z poszczególnymi rodzajami frontów atmosferycznych w Polsce w latach 1948-1957 (opracowanie własne na podstawie Parczewski, 1965)

Rodzaj frontu	Wiosna	Lato	Jesień	Zima	Rok
Ciepły	14,7	10,8	17,4	22,2	65,1
Chłodny	31,6	29,6	34,1	30,4	125,7
Zokludowany o charakterze ciepłym	5,7	1,6	4,9	8,4	20,6
Zokludowany o charakterze chłodnym	11,8	19,3	7,7	10,1	48,9
Zokludowany niemianowany	6,6	6,8	5,4	5,2	24,0
Stacjonarny	3,6	5,6	3,4	3,2	15,8

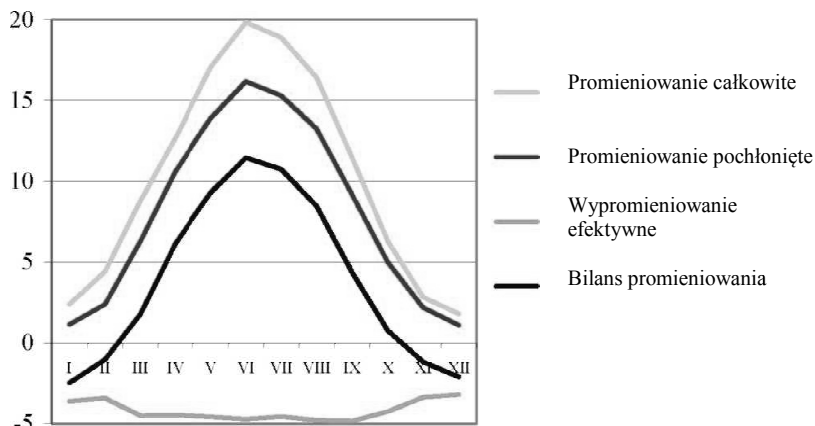
Promieniowanie słoneczne

Promieniowanie słoneczne (całkowite) docierające do powierzchni Ziemi składa się z promieniowania bezpośredniego, dopływającego wprost od tarczy słonecznej oraz z promieniowania rozproszonego w atmosferze. W ciągu roku najmniejsze średnie dobowe sumy całkowitego promieniowania słonecznego występują w grudniu, największe zaś – w czerwcu. Należy podkreślić, że minima i maksima przebiegu rocznego całkowitego promieniowania słonecznego występują w miesiącach o najmniejszej i największej długości dnia. Jednocześnie są to miesiące występowania przesilenia zimowego i letniego, charakteryzujących się odpowiednio najmniejszą i największą wysokością Słońca nad horyzontem (Stopa-Boryczka, Boryczka, 2005).

Rozkład przestrzenny promieniowania całkowitego w Polsce w zimie i w lecie zależy przede wszystkim od kąta padania promieni słonecznych i długości dnia. W porach przejściowych, tj. wiosną i jesienią, główną rolę odgrywa natomiast zachmurzenie (rys. 1).

W miesiącach zimowych sumy promieniowania całkowitego zmniejszają się z południa na północ kraju. Obszary nadmorskie otrzymują mniej energii promienistej niż południowe krańce Polski, zarówno z powodu mniejszego kąta padania promieni słonecz-

nych, jak i krótszego o 1,1 godziny dnia. Latem, kiedy dzień jest dłuższy na północy, sytuacja wygląda inaczej. Największe dobowe sumy promieniowania całkowitego w tej części roku są na północy Polski. Obszarem o osłabionym dopływie energii promienistej latem jest Górny Śląsk. Jest to spowodowane silnym zanieczyszczeniem powietrza w rejonie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Zanieczyszczenia ograniczają bowiem dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego. Zjawisko to jest obserwowane także w innych aglomeracjach przemysłowych i miejskich, np. w Warszawie czy Łodzi (Paszyński, Niedźwiedź, 1999).



Rys. 1. Przebieg roczny składników bilansu promieniowania ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dzień}^{-1}$) w Warszawie w latach 1956-1975 (opracowanie własne na podstawie Miara i in., 1987)

Roczne sumy promieniowania całkowitego na obszarze Polski przyjmują wartości od $3600 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ na południu, zachodzie i północy kraju do $3700\text{-}3800 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ w środkowej i wschodniej części Polski (Paszyński, Niedźwiedź, 1999).

Udział promieniowania bezpośredniego w rocznych sumach promieniowania całkowitego wynosi około 50%. Latem promieniowanie bezpośrednie stanowi około 55% całkowitego promieniowania słonecznego, a na wybrzeżu nawet 60%. Zimą jest odwrotnie – na północy Polski promieniowanie bezpośrednie stanowi tylko około 30% promieniowania całkowitego, a w południowo-wschodniej części kraju niewiele ponad 40%. Promieniowanie pochłonięte przez powierzchnię czynną jest stroną przychodową bilansu promieniowania. Stronę rozchodową stanowi zaś wypromieniowanie efektywne, które jest różnicą między promieniowaniem długofalowym Ziemi a promieniowaniem zwrotnym atmosfery.

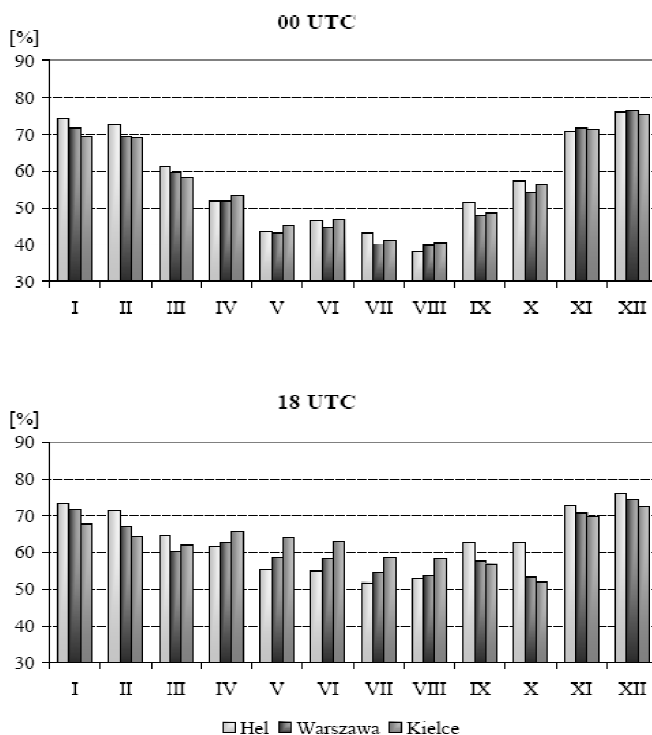
Bilans promieniowania, stanowiący różnicę między pochłoniętym promieniowaniem słonecznym a wypromieniowaniem efektywnym, jest w Polsce dodatni od marca do października, a ujemny od listopada do lutego. Największe wartości bilansu promieniowania występują w czerwcu, najmniejsze zaś – w styczniu lub grudniu. Można stwierdzić, że od wiosny do jesieni przestrzenny rozkład bilansu promieniowania zależy głównie od pochłoniętego promieniowania słonecznego, w zimie natomiast większą rolę odgrywa wypromieniowanie efektywne (Paszyński, Niedźwiedź, 1999).

Wielkość zachmurzenia w Polsce w latach 1966-1995

Przebieg dobowy i roczny wielkości zachmurzenia

Analizę przebiegu dobowego wielkości zachmurzenia w Polsce przeprowadzono na podstawie danych z 4 terminów obserwacyjnych: 00⁰⁰, 6⁰⁰, 12⁰⁰ i 18⁰⁰ UTC ze stacji synoptycznych w Helu, Warszawie i Kielcach z lat 1966-1995 (rys. 2-3).

Największym zachmurzeniem w ciągu doby charakteryzują się godziny okołopołudniowe (12⁰⁰ UTC)(Warszawa – 68,5%, Kielce – 72,3%), z wyjątkiem stacji w Helu, gdzie dobowe maksimum wielkości zachmurzenia występuje w godzinach porannych (6⁰⁰ UTC) (65,9%) . Natomiast najmniejszym zachmurzeniem na wszystkich badanych stacjach odznaczają się godziny nocne (00⁰⁰ UTC). Średnia roczna wielkość zachmurzenia w tym terminie obserwacyjnym wynosi od 55,8% w Warszawie do 57,2% w Helu.

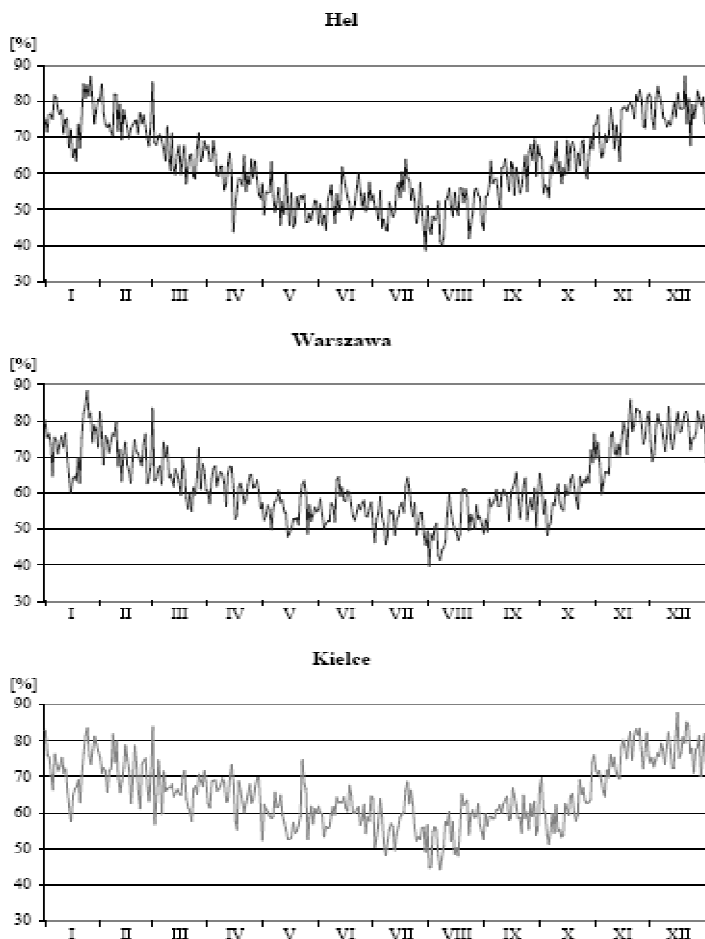


Rys. 2. Przebieg roczny wielkości zachmurzenia (%) w Polsce w godzinach okołopołudniowych (12⁰⁰ UTC) i porannych (6⁰⁰ UTC) w latach 1966-1995

W ciepłej połowie roku (wiosna-lato) największe zachmurzenie, tak jak średnio w roku, występuje w godzinach okołopołudniowych (12⁰⁰ UTC) . Jest to związane z silnym nagrzewaniem się powierzchni ziemi w tej części dnia i powstawaniem prądów wstępujących powietrza, które sprzyjają intensywnemu rozwojowi chmur kłębiastych.

W chłodnej połowie roku w całej Polsce maksimum wielkości zachmurzenia przesuwa się na godziny poranne (6⁰⁰ UTC), co wiąże się z tym, że w okresie jesienno-zimo-

wym nad ranem występują sprzyjające warunki do powstawania mgieł i chmur warstwowych, pokrywających znaczną część nieba. W przebiegu rocznym wielkości zachmurzenia o godzinie 6⁰⁰ wyraźnie zaznacza się maksimum w zimie i minimum w okresie późnowiosennym i letnim .



Rys. 3. Przebieg roczny średnich dobowych wielkości zachmurzenia (%) w Polsce w latach 1966-1995

Najmniejsze zachmurzenie w ciągu doby od wiosny do jesieni występuje w godzinach nocnych (00⁰⁰ UTC), a zimą – w godzinach wieczornych (18⁰⁰ UTC) . Różnice w występowaniu dobowego minimum wielkości zachmurzenia są związane z odmiennymi warunkami do tworzenia i zanikania chmur w poszczególnych porach roku. Od wiosny do jesieni w ciągu dnia powstają prądy konwekcyjne, powodujące rozwój chmur kłębiastych. Rozpad i zanikanie tych chmur następuje dosyć wolno, dlatego minimum wielkości zachmurzenia zaznacza się dopiero w godzinach nocnych. Zimą natomiast powstające nad ranem chmury warstwowe w ciągu dnia stopniowo zanikają. Ponadto nie rozwijają się

prądy konwekcyjne, odpowiedzialne za powstawanie chmur kłębiastych, w związku z czym najmniejsze dobowe zachmurzenie występuje już w godzinach wieczornych.

Okres najmniejszego zachmurzenia w ciągu roku trwa w Polsce od ostatnich dni kwietnia do pierwszej dekady września, przy czym najbardziej pogodny jest koniec lipca i początek sierpnia.

Analizując przebiegi roczne średnich miesięcznych wielkości zachmurzenia w Polsce w poszczególnych latach badanego 30-lecia (1966-1995) można stwierdzić, że największe zachmurzenie w ciągu roku występowało od września do kwietnia. Najczęściej jednak przypadało ono na listopad, grudzień lub styczeń (tab. 4).

Tabela 4. Największe N_{\max} i najmniejsze N_{\min} średnie dobowe wielkości zachmurzenia (%) w poszczególnych miesiącach w Polsce w latach 1966-1995

M-ce	Hel		Warszawa		Kielce	
	N_{\max} data	N_{\min} data	N_{\max} data	N_{\min} data	N_{\max} data	N_{\min} data
I	86,8 26	63,3 18	88,3 24	60,1 15	83,5 24	57,6 15
II	85,3 29	67,6 27	83,5 29	62,6 26	83,9 29	61,1 22
III	73,0 8	57 19	74,1 6	55,0 22	74,6 3	56,9 1
IV	69,1 3	43,8 14	67,5 4	52,8 15	73,2 13	52,4 10
V	63,2 5	45,0 17	63,3 23	47,9 14	74,7 22	52,6 15 i 25
VI	61,8 13	44,4 4	64 11	50,4 3	67,6 17	53,4 3
VII	63,9 18	38,6 29	64,3 19	39,8 31	68,6 19	44,8 i
VIII	55,9 17	40,1 7	61,4 19	41,6 6	65,1 18	44,4 6
IX	69,4 27	50,2 8	65,6 17	49,3 1	67,0 30	54,0 28
X	73,9 31	53,2 5	76,4 30	48,2 4	75,9 30	51,3 5
XI	83,0 24	63,2 13	85,8 19	59,8 3	83,3 24	64,5 5
XII	86,9 19	67,7 22	83,9 10	67,8 21	87,8 15	70,1 28

Przebieg roczny liczby dni pogodnych i pochmurnych

W ciągu roku najmniej dni pogodnych (poniżej 35) występuje we wschodniej części Pojezierza Pomorskiego oraz na Pojezierzu Chełmińsko-Dobrzyńskim, a najwięcej (ponad 55) w południowo-wschodniej części Polski. Średnia roczna liczba dni pochmurnych wykazuje większe zróżnicowanie na obszarze kraju, wahając się od poniżej 140 dni

w środkowej Polsce i w okolicach Kotliny Sandomierskiej do ponad 180 dni na Pojezierzu Pomorskim i Pobrzeżu Słowińskim oraz na Przedgórzu Sudeckim.

W latach 1966-1995 średnia roczna liczba dni pogodnych była podobna na obszarze całego kraju i wyniosła 34,5 w Helu, 30,5 w Warszawie i 32,7 w Kielcach (tab. 5).

Tabela 5. Średnia częstość (%) dni pogodnych w Polsce w latach 1966-1995

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Hel	5,9	6,5	8,8	10,7	17,6	15,1	14,2	12,2	5,9	8,7	3,3	4,0
Warszawa	7,3	9,3	9,8	8,0	9,1	7,0	8,4	11,0	8,7	12,2	4,4	4,9
Kielce	8,7	9,6	10,2	7,9	7,8	6,7	8,5	11,7	10,2	13,2	6,1	6,7

Należy także dodać, że pod względem średniej rocznej liczby dni pogodnych i pochmurnych najkorzystniej wypada Hel, który spośród badanych stacji wyróżnia się największą liczbą dni pogodnych i najmniejszą liczbą dni pochmurnych. Najbardziej pochmurną pogodą odznaczają się natomiast Kielce, które mimo iż nie cechują się najmniejszą średnią roczną liczbą dni pogodnych, to wyróżniają się bardzo dużą przewagą dni pochmurnych w stosunku do pozostałych stacji.

Bardzo ciekawym zagadnieniem, mającym aspekt praktyczny, jest występowanie ciągów dni pogodnych (tab. 6).

Wśród dni pogodnych zdarzały się także dni bezchmurne. W całym okresie badań wystąpiło tylko 298 takich dni w Helu, 210 w Warszawie i 295 w Kielcach. Średnia roczna liczba dni bezchmurnych wahała się zatem od 7,0 w Warszawie do 9,8 w Kielcach i 9,9 w Helu. Maksymalne roczne częstości występowania dni bezchmurnych, podobnie jak w przypadku dni pogodnych, przypadły w Helu na maj, a na pozostałych stacjach na październik (tab. 7). Jednak nawet w tych miesiącach dni bezchmurne średnio nie zdarzały się częściej niż 2 razy.

Tabela 6. Liczba przypadków okresów pogodnych w Polsce w poszczególnych miesiącach, w roku oraz w wieloletniu 1966-1995

Hel														
Okres (dni)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII	1966-1995
1	24	36	36	52	49	53	49	49	23	28	23	19	428	428
2	8	8	8	13	24	20	18	12	7	14	2	5	129	128
3	2	1	2	1	14	5	5	3	1	2	1	1	41	41
4	1	-	1	1	1	4	6	3	2	2	-	-	22	22
5	1	-	1	1	3	1	-	-	1	1	-	1	12	11
6	-	-	1	1	1	-	-	2	-	1	-	-	6	6
7	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	2	3
8	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	1
9	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
Warszawa														
Okres (dni)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII	1966-1995
1	23	29	40	31	33	34	35	41	30	35	24	23	362	362
2	9	14	10	12	15	7	8	14	14	8	5	6	120	120
3	2	4	3	3	2	1	6	8	4	11	2	2	47	46
4	4	-	2	2	1	3	1	1	2	3	-	-	21	21
5	1	2	1	-	1	-	1	1	-	1	-	1	12	11
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	2	2
7	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1
9	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kielce														
Okres (dni)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII	1966-1995
1	30	31	32	33	39	24	35	52	47	43	30	33	415	415
2	6	12	12	8	9	7	11	14	11	9	6	5	112	111
3	2	4	1	3	1	3	6	7	5	9	-	2	44	44
4	4	2	7	-	2	2	1	2	2	4	2	2	29	29
5	1	-	-	-	1	1	-	-	-	1	1	1	7	6
6	2	1	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	6	6
7	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2
8	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2	2
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 7. Średnia liczba dni bezchmurnych i ich częstość (%) w Polsce (1966-1995)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Hel													
Liczba	0,7	0,5	1,3	0,9	1,8	0,6	1,1	0,7	0,4	1,1	0,3	0,5	9,9
Częstość	2,4	1,8	4,3	2,9	5,8	2,0	3,4	2,3	1,4	3,4	1,0	1,7	2,7
Warszawa													
Liczba	1,1	1,0	0,7	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	1,4	0,5	0,7	7,0
Częstość	3,4	3,4	2,2	1,0	0,6	0,8	0,8	0,9	1,7	4,4	1,6	2,4	1,9
Kielce													
Liczba	1,6	1,1	1,4	0,5	0,3	0,2	0,2	0,5	0,7	1,8	0,5	0,8	9,8
Częstość	5,1	4,0	4,4	1,7	1,1	0,8	0,8	1,7	2,4	5,9	1,8	2,7	2,7

Tendencje zmian wielkości zachmurzenia oraz liczby dni pogodnych

W celu określenia wieloletnich zmian zachmurzenia w Polsce w 30-leciu 1966-1995 wyznaczono tendencje zmian wielkości zachmurzenia oraz liczby dni pogodnych i pochmurnych w poszczególnych porach roku i w roku. Posłużono się równaniem prostej regresji. Istotność statystyczną otrzymanych tendencji oceniono na poziomach 0,05 i 0,10 za pomocą testu *t*-Studenta.

Badania wykazały, że w latach 1966-1995 na obszarze kraju wystąpiły różnokierunkowe tendencje zmian wielkości zachmurzenia. W Helu i Warszawie średnia roczna wielkość zachmurzenia uległa zmniejszeniu – odpowiednio o około -2,4% i -1,2% na 10 lat. W Helu i Warszawie we wszystkich porach roku wystąpiły ujemne tendencje zmian wielkości zachmurzenia – najsłabsze latem, a największe zimą. Na szczególną uwagę zasługują malejące tendencje zmian wielkości zachmurzenia w Helu zimą i wiosną, które wyniosły odpowiednio -3,9% i -3,7% na 10 lat i są istotne statystycznie na poziomie 0,05. Na stacji warszawskiej istotny (na poziomie 0,10) trend malejący wystąpił jedynie wiosną. W Kielcach w przeważającej części roku stwierdzono wzrost wielkości zachmurzenia – największy latem (średnio o 1,4% na 10lat)(tab. 8). Jedynie zimą zaznaczyła się słaba tendencja ujemna. Jednak wszystkie wyznaczone tendencje zmian zachmurzenia w Kielcach nie spełniają warunku istotności statystycznej na przyjętych poziomach.

Tabela 8. Współczynniki trendu liniowego *a* (%/rok) i współczynniki determinacji *R*² zmian średniej sezonowej i rocznej wielkości zachmurzenia w Polsce w latach 1966-1995

Pora roku	Hel		Warszawa		Kielce	
	<i>a</i>	<i>R</i> ²	<i>a</i>	<i>R</i> ²	<i>a</i>	<i>R</i> ²
Zima (XII-II)	-0,39	0,37	-0,16	0,09	-0,05	0,00
Wiosna (III-V)	-0,37	0,20	-0,16	0,10	0,05	0,01
Lato (VI-VIII)	-0,00	0,00	-0,07	0,01	0,14	0,04
Jesień (IX-XI)	-0,19	0,08	-0,08	0,03	0,12	0,04
Rok (I-XII)	-0,24	0,23	-0,12	0,12	0,07	0,03

Dodatni trend liczby dni pogodnych wystąpił również w poszczególnych porach roku, z najwyższą wartością współczynnika trendu liniowego jesienią (1,4 dnia na 10 lat – istotność statystyczna na poziomie 0,10). Tylko wiosną nastąpiło niewielkie zmniejszenie licz-

by dni pogodnych (poniżej -0,1 dnia na 10 lat)(tab. 9). Należy podkreślić, że prawie wszystkie wyznaczone tendencje zmian liczby dni pogodnych w Polsce nie spełniają warunku istotności statystycznej na założonych poziomach, oprócz wspomnianej dodatniej tendencji zmian jesienią w Warszawie.

Tabela 9. Współczynniki trendu liniowego a (%/rok) i współczynniki determinacji R^2 zmian średniej sezonowej i rocznej liczby dni pogodnych w Polsce w latach 1966-1995

Pora roku	Hel		Warszawa		Kielce	
	a	R^2	a	R^2	a	R^2
Zima (XII-II)	0,06	0,04	0,02	0,00	0,03	0,00
Wiosna (III-V)	0,09	0,03	-0,01	0,00	-0,07	0,02
Lato (VI-VIII)	-0,20	0,07	0,01	0,00	-0,10	0,06
Jesień (IX-XI)	0,03	0,00	0,14	0,12	-0,03	0,01
Rok (I-XII)	-0,02	0,00	0,17	0,03	-0,17	0,03

Tendencje zmian wielkości zachmurzenia (%) i średniej rocznej liczby dni pogodnych określają równania prostych regresji (tab. 10).

Tabela 10. Równania prostych regresji i współczynniki determinacji R^2 średniej rocznej wielkości zachmurzenia (%) i liczby dni pogodnych w Polsce w latach 1966-1995

Stacje	Zachmurzenie (N)		Dni pogodne	
	$y=ax+b$	R^2	$y=ax+b$	R^2
Hel	$y=-0,24x+66,65$	0,23	$y=-0,02x+34,81$	0,00
Warszawa	$y=-0,12x+64,96$	0,12	$y=0,17x+27,91$	0,03
Kielce	$y=0,07x+64,14$	0,03	$y=-0,17x+35,$	0,03

Zależność zachmurzenia w Polsce od cyrkulacji atmosferycznej (1966-1995)

Typy cyrkulacji atmosferycznej wg Osuchowskiej-Klein

W pracy do określenia warunków cyrkulacyjnych nad Polską w latach 1966-1995 wykorzystano Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej opracowany przez Osuchowską-Klein (1978, 1991). Klasyfikacja Osuchowskiej-Klein polega na wizualnej, jakościowej ocenie podobieństwa danej sytuacji synoptycznej do jednego z wzorcowych typów cyrkulacji atmosferycznej. Sytuacje niewykazujące podobieństwa do żadnego typu oznaczono symbolem X.

Głównym kryterium przy definiowaniu typu cyrkulacji jest określony rozkład ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza, będący efektem położenia głównych ośrodków barycznych nad Europą i północnym Atlantykiem. Rozmieszczenie tych układów ciśnienia warunkuje kierunek napływu mas powietrznych nad Polskę w cyrkulacji cyklonalnej lub antycyklonalnej. Dodatkowym warunkiem, jaki powinien spełniać typ cyrkulacji jest jego powtarzalność na tyle duża, żeby można było uznać, że dany typ stanowi istotną cechę cyrkulacji (Osuchowska-Klein, 1978, 1991).

Osuchowska-Klein wyróżniła 13 typów cyrkulacji atmosferycznej. Każdy typ jest opisany przez kierunek adwekcji mas powietrznych nad Polskę oraz układ ciśnienia (cyklonalny lub antycyklonalny)(tab.11, rys. 4).

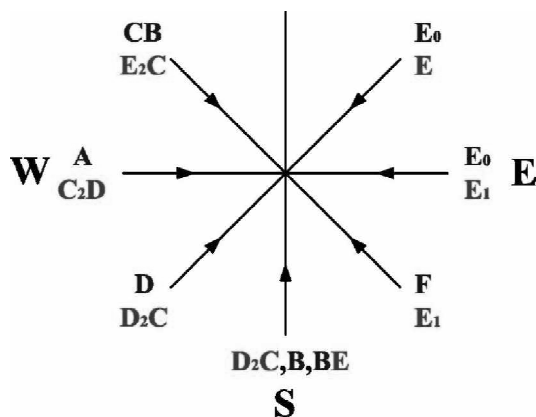
Tabela 11. Typy cyrkulacji atmosferycznej wg Osuchowskiej-Klein

Typ	Cyklonalne	Typ	Anty cyklonalne
E ₀	północno-wschodnia i wschodnia (NE/Ec)	E	północno-wschodnia (NEa)
F	południowo-wschodnia (SEc)	E ₁	południowo-wschodnia i wschodnia (SE/Ea)
B	południowa (Sc)	D ₂ C	południowo-zachodnia i połud. (SW/Sa)
D	południowa (Sc)	C ₂ D	zachodnia (Wa)
A	zachodnia (Wc)	E ₂ C	północno-zachodnia (NWA)
CB	północno-zachodnia (NWc)	G	centralna (Ca)
	Typy inne		
BE	południowa cyrkulacja pośrednia między cyklonalną i antycyklonalną (Sca)	X	sytuacje nieokreślone

Dla uproszczenia oznaczeń zastosowanych w klasyfikacji Osuchowskiej-Klein, w dalszej części pracy przy symbolach typów cyrkulacji będą podawane powszechnie używane oznaczenia literowe kierunku adwekcji, z indeksem „c” przy układach cyklonalnych oraz „a” przy układach antycyklonalnych.

Tabela 12. Średnia sezonowa i roczna częstość (%) typów cyrkulacji atmosferycznej według Osuchowskiej-Klein w Polsce w latach 1966-1995

Typy cyrkulacji		Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Rok
Cyklonalne	E ₀ , NE/Ec	8,5	10,7	13,4	6,8	9,9
	F, SEc	3,4	8,1	2,6	3,2	4,3
	B, Sc	5,8	7,1	3,4	6,0	5,6
	D, SWc	8,8	5,3	3,4	8,9	6,6
	A, Wc	9,6	6,2	5,8	7,9	7,3
	CB, NWc	14,4	13,7	16,2	15,1	14,8
	Razem	50,4	51,1	44,8	47,9	48,5
Antycyklonalne	E, NEa	9,8	18,2	22,8	11,1	15,5
	E ₁ , SE/Ea	13,4	8,3	3,9	9,5	8,7
	D ₂ C, SW/Sa	4,1	2,4	2,9	4,9	3,6
	C ₂ D, Wa	8,8	7,0	13,0	9,2	9,5
	E ₂ C, NWA	3,6	3,9	4,1	5,8	4,3
	G, Ca	6,6	3,6	5,0	6,5	5,4
	Razem	46,3	43,4	51,8	47,0	47,1
Inne	BE, Sca	1,8	2,5	0,7	3,2	2,0
	X	1,6	3,1	2,8	1,8	2,3



Rys. 4. Kierunki napływu mas powietrza nad Polskę przy poszczególnych typach cyrkulacji atmosferycznej (klasyfikacja Osuchowskiej-Klein)

Zmiany dobowe wielkości zachmurzenia w różnych typach cyrkulacji

W pracy analizę zmian dobowych wielkości zachmurzenia w Polsce w poszczególnych typach cyrkulacji (według Osuchowskiej-Klein) przeprowadzono w porach roku i roku.

W ciągu całego roku największe zachmurzenie przy większości typów cyrkulacji występuje w godzinach okołopołudniowych (12⁰⁰ UTC). Jedyne przy cyrkulacji E₁ (SE/Ea) i D₂C (SW/Sa) w Warszawie i Kielcach, a także przy E₀ (NE/Ec) w Warszawie maksimum zachmurzenia w ciągu doby przypada na godziny poranne (6⁰⁰ UTC). W obszarach nadmorskich (Hel) największym dobowym zachmurzeniem o godzinie 6⁰⁰ wyróżniają się natomiast typy cyrkulacji: E₀ (NE/Ec), F (SEc), B (Sc), E (NEa) i E₁ (SE/Ea). Jednak różnice w wielkości zachmurzenia między tymi dwoma terminami obserwacyjnymi w całym kraju są niewielkie (poniżej 5%). Najmniejsze dobowe zachmurzenie w ciągu roku we wszystkich typach cyrkulacji występuje w całej Polsce w godzinach nocnych (00⁰⁰ UTC).

Warto podkreślić, że największym dobowym maksimum wielkości zachmurzenia w ciągu roku charakteryzuje się cyrkulacja cyklonalna z napływem powietrza z północno-wschodu i wschodu (E₀) (od 77,6% w Helu o godz. 6⁰⁰ do 84% w Kielcach o godz. 12⁰⁰) oraz z zachodu (A) (od 77,6% w Helu o godz. 12⁰⁰ do 82,2% w Kielcach o godz. 12⁰⁰), a najmniejszym – w Warszawie i Kielcach cyrkulacja antycyklonalna E₁ (SE/Ea) i G (Ca), w Helu zaś E (NEa) i G (Ca) (tab. 13). Najmniejsze dobowe minimum zachmurzenia w ciągu roku (około 40-45%) na poszczególnych stacjach jest związane z tymi samymi typami, co najmniejsze dobowe maksimum. Ponadto bardzo mała średnia terminowa wielkość zachmurzenia o godzinie 00⁰⁰ występuje w Kielcach przy typie BE (Sca) – 37,8%. Z kolei największe dobowe minimum wielkości zachmurzenia – powyżej 70% – na wszystkich badanych stacjach przypada na cyrkulację E₀ (NE/Ec).

W związku ze zróżnicowanym przebiegiem dobowym zachmurzenia w ciągu roku przy różnych sytuacjach synoptycznych zakres zmian między największą i najmniejszą wielkością zachmurzenia w badanych terminach obserwacyjnych jest różny przy poszcze-

gólnych typach cyrkulacji. Najmniejszy zakres zmian występuje przy typie E₀ (NE/Ec) – od 5,2% na północy kraju (Hel) do 11,5% w południowej jego części (Kielce). Jest to związane z tym, że cyrkulacja ta powoduje duże zachmurzenie w ciągu całej doby. Ponadto w Warszawie stosunkowo mały zakres zmian średnich terminowych wielkości zachmurzenia towarzyszy typom antycyklonalnym z napływem mas powietrznych z sektora E-SE-S-SW (E₁ i D₂C) – odpowiednio 7,7% i 9,3%. Największe zmiany wielkości zachmurzenia w ciągu doby zaznaczają się w całej Polsce przy typach BE (Sca)(od 12,3% w Helu do 23,9% w Kielcach) i C₂D (Wa)(od 12,1% w Helu do 18,4% w Kielcach), a na południu kraju także przy typach F (SEc) i B (Sc). Spośród 3 uwzględnionych w pracy stacji najmniejszy zakres zmian średnich terminowych wielkości zachmurzenia przy większości typów występuje na stacji nadmorskiej.

Tabela 13. Najmniejsze i największe maksima oraz minima dobowe wielkości zachmurzenia (%) w Polsce w typach cyrkulacji atmosferycznej (wg Osuchowskiej-Klein) w latach 1966-1995

Stacja	Maksimum		Minimum	
	najmniejsze	największe	najmniejsze	największe
Hel	52,8 E (NE _a ,6 ⁰⁰)	77,6 E ₀ (NE/E _c)(6 ⁰⁰)	44 G (C _a ,00 ⁰⁰)	72,4 E ₀ (NE/E _c ,00 ⁰⁰)
	53,1 G (C _a ,12 ⁰⁰)	77,6 A (W _c ,12 ⁰⁰)	44,1 E (NE _a ,00 ⁰⁰)	66 CB (NW _c ,00 ⁰⁰)
Warszawa	53,6 E ₁ (SE/E _a ,6 ⁰⁰)	80,4 E ₀ (NE/E _c ,6 ⁰⁰)	41,1 G (C _a ,00 ⁰⁰)	71 E ₀ (NE/E _c ,00 ⁰⁰)
	54,9 G (C _a ,12 ⁰⁰)	78,9 A (W _c ,12 ⁰⁰)	45,9 E ₁ (SE/E _a ,00 ⁰⁰)	65,1 A (W _c ,00 ⁰⁰)
Kielce	53 G (C _a ,12 ⁰⁰)	84 E ₀ (NE/E _c ,12 ⁰⁰)	37,8 BE (S _{ca} ,00 ⁰⁰)	72,5 E ₀ (NE/E _c ,00 ⁰⁰)
	56,8 E ₁ (SE/E _a ,6 ⁰⁰)	82,2 A (W _c ,12 ⁰⁰)	39,7 G (C _a ,00 ⁰⁰)	66,8 A (W _c ,00 ⁰⁰)

Badając przebieg dobowy wielkości zachmurzenia w poszczególnych typach cyrkulacji w ujęciu sezonowym można stwierdzić, że w ciepłej połowie roku (wiosna-lato) podczas większości typów cyrkulacji największe zachmurzenie w ciągu doby, podobnie jak średnio w roku, występuje w godzinach okołopołudniowych (12⁰⁰ UTC). Tylko na północy kraju (Hel) sytuacja wygląda nieco inaczej, gdyż dobowe maksimum wielkości zachmurzenia w poszczególnych typach przypada tam na różne terminy obserwacyjne (6⁰⁰, 12⁰⁰ lub 18⁰⁰). Spośród wszystkich typów cyrkulacji największe pokrycie nieba przez chmury (około 70-85%) o godzinie 12⁰⁰ wiosną jest związane z typami: A (Wc), E₀ (NE/Ec) i CB (NWc), a latem – z typami: B (Sc), E₀ (NE/Ec) i CB (NWc). Najmniejsze zachmurzenie w ciągu doby w Polsce w tej części roku występuje natomiast przy wszystkich typach cyrkulacji w godzinach nocnych (00⁰⁰ UTC). Należy podkreślić, że najpogodniejsze noce (wielkość zachmurzenia na ogół poniżej 30%) wiosną występują przy centrum wyżu nad Polską (G) i przy adwekcji z południo-zachodu i południa w sytuacji antycyklonalnej (D₂C), latem zaś – w szczególności przy cyrkulacji BE (Sca)(od 3,3% w Kielcach do 13,2% w Helu), a także przy typach E₁ (SE/Ea), G (Ca) i D₂C (SW/Sa).

W półroczu chłodnym (jesień-zima) dobowe maksimum wielkości zachmurzenia podczas większości typów cyrkulacji występuje nad ranem (6⁰⁰ UTC). Przy niektórych typach cyrkulacji przesuwają się one na godziny okołopołudniowe (12⁰⁰ UTC), jednak nie można jednoznacznie określić, jakie sytuacje synoptyczne wpływają na taki rozkład wielkości zachmurzenia w ciągu doby, gdyż na poszczególnych stacjach wygląda to inaczej. Warto zauważyć, że największe pokrycie nieba przez chmury – powyżej 80% – w godzi-

nach porannych (6^{00}) przynosi napływ mas powietrznych z sektora NE-E-SE w sytuacji cyklonalnej (F i E_0). Zimą przy typie F (SEc) wielkość zachmurzenia nad ranem przekracza 90% na wszystkich badanych stacjach. Najmniejsze zachmurzenie w ciągu doby jesienią przy większości typów występuje w godzinach nocnych (00^{00} UTC). W tej części doby najpogodniejsze niebo (wielkość zachmurzenia około 30-50%) w Warszawie i Kielcach jest związane z cyrkulacją BE (Sca), G (Ca) i E_1 (SE/Ea), a w Helu – z E_1 (SE/Ea), G (Ca) i E_2C (Nwa). W okresie zimowym dobowe minimum zachmurzenia przypada na ogół na godziny wieczorne (18^{00} UTC). Jednak przy niektórych typach cyrkulacji, jak D (SWc) i C_2D (Wa) w całej Polsce najpogodniejsze niebo występuje dopiero nocą. Najmniejsza wielkość zachmurzenia (w granicach 50-65%) zimą o godzinie 18^{00} w środkowej i południowej części Polski występuje przy cyrkulacji G (Ca), E_1 (SE/Ea) i D_2C (SW/Sa), a na północy kraju – przy G (Ca), E_2C (Nwa) i D_2C (SW/Sa).

Analizując przebiegi dobowe odchyień średnich terminowych wielkości zachmurzenia w Polsce w poszczególnych typach cyrkulacji atmosferycznej od średnich w 30-leciu 1966-1995 w ujęciu sezonowym można stwierdzić, że typy cyklonalne, z wyjątkiem typu D (SWc) w Warszawie i Kielcach, na ogół w ciągu całej doby powodują wzrost wielkości zachmurzenia. Należy jednak zaznaczyć, że typ E_0 (NE/Ec) charakteryzuje się największymi odchyleniami średnich terminowych wielkości zachmurzenia (nawet o ponad 20-25% od średnich z wielolecia) w godzinach nocnych (00^{00}) i porannych (6^{00}) latem, a w obszarach nadmorskich także wiosną. Napływowi powietrza z północo-zachodu (CB) w całej Polsce towarzyszy najsilniejsze zwiększenie wielkości zachmurzenia (o około 10%) latem we wszystkich terminach obserwacyjnych, zwłaszcza w terminie południowym (12^{00}) w Helu (prawie o 20%), oraz wiosną w godzinach nocnych (00^{00}), porannych (6^{00}) i okołopołudniowych (12^{00}). Cyrkulacja B (Sc) najsilniej wpływa na wzrost pokrycia nieba przez chmury we wszystkich terminach obserwacyjnych latem, a w szczególności w godzinach wieczornych (18^{00}) i porannych (6^{00}) (o około 16-22%). Typy cyrkulacji A (Wc) i D (SWc) cechują się największymi odchyleniami średnich terminowych wielkości zachmurzenia wiosną, przy czym typ A zwłaszcza w godzinach nocnych (00^{00}) (w Warszawie i Kielcach) i okołopołudniowych (12^{00}) (w Helu), a typ D (w Helu) w godzinach wieczornych (18^{00}). W tych terminach obserwacyjnych przy obu typach zaznacza się wzrost zachmurzenia o około 15%. Jedynie cyrkulacja F (SEc) powoduje najsilniejszy wzrost średnich terminowych wielkości zachmurzenia w półroczu chłodnym, zwłaszcza w godzinach wieczornych (18^{00}) (o ok. 15-20%) i nocnych (00^{00}) (o 10-20%).

Z kolei typy antycyklonalne, takie jak C_2D (Wa), E_2C (Nwa) w Warszawie i Kielcach oraz E (NEa) w Kielcach, a także cyrkulacja południowa pośrednia między cyklonalną i antycyklonalną (BE), cechują się zarówno dodatnimi, jak i ujemnymi odchyleniami średnich terminowych wielkości zachmurzenia w ciągu roku. Warto zwrócić uwagę zwłaszcza na typ BE (Sca), który w całym kraju powoduje duże zmniejszenie wielkości zachmurzenia w ciągu doby w miesiącach letnich, zwłaszcza w terminie nocnym (00^{00}) (od -29,4% w Helu do -39,5% w Kielcach) i porannym (6^{00}) (od -27,2% w Helu do -38,6% w Warszawie). Cyrkulacja ta wyróżnia się także stosunkowo dużymi ujemnymi odchyleniami średnich terminowych wielkości zachmurzenia w Warszawie i Kielcach w okresie jesiennym.

Pozostałe typy antycyklonalne – E_1 (SE/Ea), D_2C (SW/Sa), G (Ca), E (NEa) w Helu i Warszawie, E_2C (Nwa) w Helu oraz cyrkulacja cyklonalna D (SWc) w Warszawie i Kiel-

cach – w ciągu całego roku wpływają na ogół na zmniejszenie średnich terminowych wielkości zachmurzenia. Przy napływie powietrza z południo-wschodu i wschodu (E_1) w sytuacji wyżowej największe ujemne odchylenia wielkości zachmurzenia występują w Warszawie i Kielcach w godzinach nocnych (00^{00}), porannych (6^{00}) i okołopołudniowych (12^{00}) latem (od -20 do -30%), a w Helu w tych samych godzinach wiosną. Jednak w przypadku stacji nadmorskiej są one zdecydowanie mniejsze (około -15%). Cyrkulacji D_2C (SW/Sa) towarzyszy największe zmniejszenie wielkości zachmurzenia (w granicach -15- -30%) nad Warszawą i Kielcami latem we wszystkich terminach obserwacyjnych, wiosną w godzinach okołopołudniowych (12^{00}), wieczornych (18^{00}) i nocnych (00^{00}), a także jesienią o godzinie 12^{00} . W Helu przy tej sytuacji synoptycznej zmniejszenie zachmurzenia jest dużo mniejsze. Najbardziej zaznacza się wiosną w terminie porannym (6^{00}) (-15,3%). Korzystniejsze warunki nefologiczne w ciągu doby w Helu w półroczu ciepłym są związane z cyrkulacją E (NEa), która w tej części roku powoduje zmniejszenie średnich terminowych wielkości zachmurzenia średnio o 15% (maksymalnie o -18,2% w godzinach okołopołudniowych latem). Z kolei typ cyrkulacji E_2C (Nwa) w Helu powoduje około 10% zmniejszenie pokrycia nieba przez chmury we wszystkich terminach obserwacyjnych zimą i wiosną. Przy centrum wyżu nad Polską (G) w całym kraju największe ujemne odchylenia średnich terminowych wielkości zachmurzenia występują w okresie wiosenno-letnim -w Warszawie i Kielcach zwłaszcza w godzinach porannych (6^{00}) latem (odpowiednio -26,5% i -28,1%), a w Helu w godzinach porannych (6^{00}) i nocnych (00^{00}) wiosną (ok. -24%). Cyrkulacji cyklonalnej D (Swc) w Warszawie i Kielcach w ciągu całego roku towarzyszy na ogół niewielkie zmniejszenie średnich terminowych wielkości zachmurzenia – w granicach kilku %.

Zmiany roczne wielkości zachmurzenia w różnych typach cyrkulacji

Przebieg roczny wielkości zachmurzenia w Polsce w poszczególnych typach cyrkulacji jest dość zróżnicowany. W wielu typach cyrkulacji, zwłaszcza antycyklonalnych, przebieg ten jest złożony – występuje więcej niż jedno minimum i maksimum. Główne maksima roczne wielkości zachmurzenia na wszystkich badanych stacjach przypadają w miesiącach od listopada do lutego, przy czym najczęściej występują w styczniu lub grudniu. W styczniu największe średnie miesięczne zachmurzenie występuje w Helu w 5 spośród 13 typów cyrkulacji, w Warszawie w 6, a w Kielcach w 3. W grudniu zaś maksimum roczne wielkości zachmurzenia zaznacza się w Helu w 3 typach, w Warszawie w 4, a w Kielcach aż w 7 typach cyrkulacji. Należy podkreślić, że w Kielcach w sytuacjach nieokreślonych (X) największa średnia miesięczna wielkość zachmurzenia przypada na październik, co nie zdarzyło się w żadnym typie cyrkulacji.

Stwierdzono, że występowanie maksimum wielkości zachmurzenia w poszczególnych miesiącach (od listopada do lutego) w różnych regionach kraju zależy niekiedy od odmiennych sytuacji synoptycznych. Warto jednak zwrócić uwagę na te typy cyrkulacji atmosferycznej, które w danych miesiącach sprzyjają występowaniu maksimum rocznych zachmurzenia w całej Polsce lub na co najmniej 2 spośród 3 uwzględnionych w pracy stacjach. Na przykład występowaniu maksimum w przebiegu rocznym wielkości zachmurzenia w listopadzie w całej Polsce sprzyja typ cyrkulacji E_1 (SE/Ea) oraz (z wyjątkiem

obszarów nadmorskich) typ E_0 (NE/Ec). Maksimum roczne w grudniu występuje przy typie A (Wc) w północnej i środkowej Polsce, przy typie D_2C (SW/Sa) na północy i południu oraz przy typach D (SWc), CB (NWc) i C_2D (Wa) w środkowej i południowej części kraju. Występowaniu maksimum wielkości zachmurzenia w styczniu w całej Polsce sprzyjają typy F (SEc), E (NEa), a także (oprócz Kielc) typy E_2C (Nwa) i B (Sc). W lutym natomiast maksimum w przebiegu rocznym wielkości zachmurzenia w Helu i Warszawie przypada przy cyrkulacji G (Ca)(tab.14).

Główne minima wielkości zachmurzenia w ciągu roku w całej Polsce występują między majem a sierpniem. W obszarach nadmorskich (Hel) w 5 spośród 13 analizowanych przebiegów rocznych wielkości zachmurzenia w typach cyrkulacji atmosferycznej minimum zachmurzenia zaznacza się w sierpniu, w 4 w czerwcu, a w 2 w maju oraz lipcu.

Tabela 14. Maksyma wielkości zachmurzenia w typach cyrkulacji

Maksimum wielkości zachmurzenia			
miesiąc	typy cyrkulacji		
	Hel	Warszawa	Kielce
XI	E_1 (SE/Ea), X	E_0 (NE/Ec), E_1 (SE/Ea), X	E_0 (NE/Ec), E_1 (SE/Ea)
XII	A (Wc), D_2C (SW/Sa), BE (Sca)	D (SWc), A (Wc), CB (NWc), C_2D (Wa)	B (Sc), D (SWc), CB (NWc), D_2C (SW/Sa), C_2D (Wa), E_2C (Nwa), G (Ca)
I	F (SEc), B (Sc), CB (NWc), E (NEa), E_2C (Nwa)	F (SEc), B (Sc), E (NEa), D_2C (SW/Sa), E_2C (Nwa), BE (Sca)	F (SEc), A (Wc), E (NEa)
II	E_0 (NE/Ec), D (SWc), C_2D (Wa), G (Ca)	G (Ca)	BE (Sca)

W nizinnej części Polski, reprezentowanej przez Warszawę, w 6 typach cyrkulacji minimum wielkości zachmurzenia przypada na lipiec, w 3 na maj i sierpień, a w 1 na czerwiec. W Kielcach natomiast w 4 typach cyrkulacji minimum zachmurzenia występuje w lipcu i w sierpniu, w 3 w czerwcu i w 2 w maju. Warto zauważyć, że przy sytuacjach nieokreślonych (X) minimum w przebiegu rocznym zachmurzenia w całym kraju przypada na lipiec.

Podobnie jak w przypadku maksimów, występowaniu minimów rocznych zachmurzenia w określonych miesiącach (maj-sierpień) sprzyjają w poszczególnych częściach kraju różne typy cyrkulacji atmosferycznej. Jednak skupiając się tylko na tych typach, przy których w danym miesiącu minimum roczne zachmurzenia zaznacza się na co najmniej 2 spośród 3 badanych stacji, można stwierdzić, że występowaniu minimum zachmurzenia w ciągu roku w maju w przeważającej części Polski (oprócz Helu) sprzyja typ E_0 (NE/Ec) i B (Sc), w czerwcu w całym kraju – typ F (SEc) oraz (z wyjątkiem Warszawy) typ BE (Sca), w lipcu na większości obszaru Polski oprócz jej północnej części – typy: CB (NWc), D_2C (SW/Sa) i C_2D (Wa), a w północnej i środkowej Polsce typ E (NEa), w sierpniu zaś w całym kraju – typ A (Wc), ponadto w Warszawie i Kielcach – typ E_1 (SE/Ea), a w Helu i Kielcach także typ G (Ca)(tab.15).

W latach 1966-1995 największa średnia miesięczna wielkość zachmurzenia – powyżej 80% – na wszystkich badanych stacjach wystąpiła przy cyrkulacji F (SEc) w styczniu

oraz E_0 (NE/Ec) w lutym w Helu i w listopadzie na pozostałych stacjach (tab. 16). Najmniejszymi maksimumami zachmurzenia wyróżniają się typy: G (Ca) i E_1 (SE/Ea).

Tabela 15. Minima wielkości zachmurzenia w typach cyrkulacji

Minimum wielkości zachmurzenia			
miesiąc	typy cyrkulacji		
	Hel	Warszawa	Kielce
V	E_1 (SE/Ea), D_2C (SW/Sa)	E_0 (NE/Ec), B (Sc), E_2C (NWA)	E_0 (NE/Ec), B (Sc)
VI	F (SEc), B (Sc), E_2C (NWA), BE (Sca)	F (SEc)	F (SEc), D (SWc), BE (Sca)
VII	E_0 (NE/Ec), E (NEa), X	D (SWc), CB (NWc), E (NEa), D_2C (SW/Sa), C_2D (Wa), G (Ca), X	CB (NWc), D_2C (SW/Sa), C_2D (Wa), E_2C (NWA), X
VIII	D (SWc), A (Wc), CB (NWc), C_2D (Wa), G (Ca)	A (Wc), Ej (SE/Ea), BE (Sca)	A (Wc), E (NEa), Ej (SE/Ea), G (Ca)

Najmniejsze minima wielkości zachmurzenia, wynoszące od 19,6% w Helu (czerwiec) do 23,4% w Warszawie (sierpień) i 24,6% w Kielcach (czerwiec), są związane z typem cyrkulacji BE (Sca). Bardzo małe średnie miesięczne wielkości zachmurzenia (poniżej 30%) zaznaczają się także przy cyrkulacji G (Ca) w sierpniu (Hel i Kielce) oraz w lipcu (Warszawa). Największe minima zachmurzenia, sięgające 60-70%, wystąpiły w typach CB (NWc) i E_0 (NE/Ec). Minima roczne wielkości zachmurzenia w tych typach były zatem bardzo zbliżone, a w niektórych przypadkach nawet większe od maksimumów rocznych w typach G (Ca) i E_1 (SE/Ea). Różnica między największą a najmniejszą średnią miesięczną wielkością zachmurzenia we wszystkich typach cyrkulacji wynosi w Helu 76,8%, w Warszawie 69,9%, a w Kielcach 70%.

W badanym okresie (1966-1995) największa amplituda roczna wielkości zachmurzenia w Polsce występuje przy cyrkulacji BE (Sca), osiągając od 49,5% w Kielcach i 53,2% w Warszawie do 59,4% w Helu. Dużą amplitudą roczną charakteryzują się również typy antycyklonalne z napływem powietrza z wycinka E-S-SW (E_1 , D_2C) i typ G (Ca), a także cyrkulacja cyklonalna F (SEc). We wszystkich tych typach amplituda wynosi ok. 35-45%. Najmniejsza różnica między maksymalną a minimalną średnią miesięczną wielkością zachmurzenia w ciągu roku – w granicach kilkunastu % – występuje głównie przy typach cyklonalnych z adwekcją z sektora NW-NE-E (E_0 , CB) oraz z południa (B). Warto zaznaczyć, że również Kirschenstein (1997), badając wpływ cyrkulacji na wielkość zachmurzenia w Koszalinie (1976-1990) wykazała, że typy cyrkulacji antycyklonalnej cechują się większą amplitudą roczną wielkości zachmurzenia w stosunku do typów cyklonalnych, z wyjątkiem typu F (SEc), w którym amplituda ta osiąga wartość powyżej 30%. Hel.

Największa średnia dobowa wielkość zachmurzenia w ciągu roku na wszystkich badanych stacjach występuje przy typie cyrkulacji E_0 (NE/Ec) – od 74% w Helu i 75,9% w Warszawie do 78,3% w Kielcach. Typ ten, zaliczany do najczęściej występujących w Polsce, charakteryzuje się największą frekwencją w cieplej połowie roku, zwłaszcza latem – 13,4%. Jest on jednym z najzimniejszych i najbardziej obfitych w opady atmosferyczne typów cyrkulacji (Lityńska i in., 1958). Duże zachmurzenie średnie dobowe towarzyszy także typom: B (Sc)(od 73% w Kielcach do 73,3% w Helu), A (Wc)(od 72,1%

w Warszawie do 74,4% w Kielcach), CB (NWc)(od 69,8% w Helu do 74,3% w Kielcach) oraz F (SEc)(od 71,3% w Warszawie do 74% w Kielcach). Należy podkreślić, że typ cyrkulacji północno-zachodniej cyklonalnej (CB) jest drugim co do częstości występowania typem w Polsce (14,8%). W obszarach nadmorskich (Hel) względnie duże zachmurzenie występuje również przy cyrkulacji D (SWc) – 70,6%. Spośród typów antycyklonalnych największym zachmurzeniem – powyżej 60% – na wszystkich stacjach odznacza się cyrkulacja zachodnia C₂D.

Tabela 16. Największe i najmniejsze maksima oraz minima w przebiegu rocznym wielkości zachmurzenia (%) w Polsce w typach cyrkulacji atmosferycznej (wg Osuchowskiej-Klein) w latach 1966-1995

Stacja	Maksimum		Minimum	
	najmniejsze	największe	najmniejsze	największe
Hel	72,2 G (Ca)(II)	96,4 F (SEC)(I)	19,6 BE (Sca)(VI)	64,3 CB (NWc)(VIII)
	72,7 E ₁ (SE/Ea)(XI)	86,5 E ₀ (NE/EC)(II)	29,0 G (Ca)(VIII)	63,3 E ₀ (NE/EC)(VII)
Warszawa	69,8 G (Ca)(II)	93,3 F (SEC)(I)	23,4 BE (Sca)(VIII)	69,9 E ₀ (NE/EC)(V)
	72,5 E ₁ (SE/Ea)(XI)	84,9 E ₀ (NE/EC)(XI)	27,9 G (Ca)(VII)	64,7 CB (NWc)(VII)
Kielce	65,7 G (Ca)(XII)	94,6 F (SEc)(I)	24,6 BE (Sca)(VI)	71,9 E ₀ (NE/EC)(V)
	71,2 E ₁ (SE/Ea)(XI)	88,4 E ₀ (NE/EC)(XI)	29,9 G (Ca)(VIII)	65,3 CB (NWc)(VII)

W miesiącach od listopada do lutego (oprócz stycznia) największe zachmurzenie w Polsce – powyżej 80% – jest związane z napływem powietrza z sektora NE-E-SE w cyrkulacji cyklonalnej (F, E₀). W styczniu największe pokrycie nieba przez chmury (powyżej 90%) zaznacza się przy cyrkulacji F (SEc). Jednak w miesiącu tym typ F występuje niezwykle rzadko – 0,8%. Innymi typami cyrkulacji sprzyjającymi dużemu zachmurzeniu w styczniu są typy: B (Sc) w północnej i środkowej części kraju oraz A (Wc) w Warszawie i Kielcach. Należy zaznaczyć, że w tej części roku cyrkulacja zachodnia cyklonalna (A) cechuje się względnie dużą częstością występowania – 9,8%. W marcu w poszczególnych regionach kraju największe średnie dobowe zachmurzenie (powyżej 70%) zaznacza się przy różnych typach cyrkulacji. Stwierdzono, że na wszystkich stacjach pochmurna pogoda występuje przy typach: E₀ (NE/EC), B (Sc) i A (Wc). Poza tymi typami duże zachmurzenie w obszarach nadmorskich jest związane z cyrkulacją F (SEc), w środkowej części kraju – z BE (Sca), a na południu – z CB (NWc). W kwietniu i maju w całej Polsce największe zachmurzenie występuje podczas typów cyklonalnych z napływem powietrza z kierunków W-NW-NE-E-SE (E₀, A, CB, F). Spośród wymienionych typów największą częstością w tych miesiącach odznaczają się CB (NWc) i E₀ (NE/EC)(w kwietniu odpowiednio 16,4% i 13,7%). Ponadto w kwietniu w Helu duże zachmurzenie (około 70%) przynosi typ B (Sc) i D (SWc). Latem największe średnie dobowe zachmurzenie – powyżej 60% – jest związane z typami: B (Sc), E₀ (NE/EC) i CB (NWc). We wrześniu i październiku najbardziej pochmurna pogoda, podobnie jak latem, występuje przy typach E₀ (NE/EC), CB (NWc) i B (Sc). Jednak poza tymi typami duże zachmurzenie przynosi również cyrkulacja południowo-wschodnia cyklonalna (F) oraz zachodnia cyklonalna (A).

Najmniejszym średnim dobowym zachmurzeniem w ciągu roku wyróżniają się typy cyrkulacji antycyklonalnej, takie jak: G (Ca)(od 46,5% w Kielcach do 49,8% w Helu) i E₁ (SE/Ea)(od 51% w Warszawie do 56,3% w Helu). Na stacjach reprezentujących ni-

zinną i wyżynną część Polski (Warszawa i Kielce) względnie małe zachmurzenie jest związane także z cyrkulacją D₂C (SW/Sa)(odpowiednio 51,7% i 49,9%), a na stacji nadmorskiej – z E (NEa)(48,2%) oraz E₂C (NWA)(55,4%). Na podkreślenie zasługuje fakt, że cyrkulacja północno-wschodnia antycyklonalna (E), sprzyjająca małemu zachmurzeniu nad Bałtykiem, jest najczęściej występującą cyrkulacją w Polsce (15,5%).

W grudniu i styczniu najmniejsza średnia dobowa wielkość zachmurzenia występuje głównie przy centrum wyżu nad Polską (G) oraz przy adwekcji powietrza z południowo-wschodu i wschodu w sytuacji antycyklonalnej (E₁). Na przykład w styczniu średnie dobowe zachmurzenie przy cyrkulacji G (Ca) wynosi od 42,3% w Kielcach do 51,3% w Warszawie. Ponadto w grudniu w północnej Polsce (Hel) stosunkowo małe zachmurzenie (64%) jest związane z typem cyrkulacji E₂C (NWA). W lutym najmniejsze zachmurzenie nad obszarem kraju powoduje napływ powietrza z wycinka E-SE-S-SW w sytuacji antycyklonalnej (D₂C, E₁). Ciekawe jest to, że typ E₁ (SE/Ea), przynoszący w miesiącach zimowych pogodę z małym zachmurzeniem, jest jednym z najczęściej występujących typów w tej części roku (częstość od 10,5% w grudniu do 15,2% w lutym). W marcu najmniejsze średnie dobowe zachmurzenie w Polsce występuje podczas cyrkulacji G (Ca) i D₂C (SW/Sa), w kwietniu zaś w Warszawie i Kielcach przy typie E₁ (SE/Ea), D₂C (SW/Sa) i G (Ca), a w Helu przy typie G (Ca), E₂C (NWA) i E (NEa). W maju w całej Polsce najpogodniej jest przy adwekcji z południowo-wschodu i wschodu w sytuacji antycyklonalnej (E₁) oraz z południa w sytuacji pośredniej między cyklonalną i antycyklonalną (BE). W Helu przy tych typach cyrkulacji średnia dobowa wielkość zachmurzenia wynosi niecałe 30%. W miesiącach letnich najmniejsze zachmurzenie – w granicach 20-40% – w całej Polsce występuje przy typie BE (Sca) i G (Ca). Jednak typy te charakteryzują się małą frekwencją w tej porze roku. Jesienią (oprócz października) najmniejsze średnie dobowe zachmurzenie także jest związane na ogół z cyrkulacją BE (Sca) i G (Ca), przy czym w listopadzie pogodne niebo w południowej i środkowej Polsce występuje również przy typie D₂C (SW/Sa), a w Helu przy E₂C (NWA), we wrześniu natomiast w całym kraju przy typie E₁ (SE/Ea). W październiku najpogodniej jest przy typach cyrkulacji: E₁ (SE/Ea) i BE (Sca) – średnia dobowa wielkość zachmurzenia wynosi około 40-55%.

Uogólniając można stwierdzić, że największe zachmurzenie w ciągu całego roku towarzyszy typom cyklonalnym, najmniejsze zaś – antycyklonalnym. Świadczą o tym również badania innych autorów (Żmudzka, 2007; Dubicka, 1994; Kirschenstein, 1997; Baranowski, 2001; Matuszko, 2002), którzy do oceny wpływu cyrkulacji na wielkość zachmurzenia wykorzystali różne klasyfikacje typów cyrkulacji.

Ciekawych wniosków dostarcza analiza przebiegów rocznych odchyleń średnich miesięcznych wielkości zachmurzenia w Polsce w poszczególnych typach cyrkulacji od średnich w wieloleciu 1966-1995. Na jej podstawie można wyróżnić 3 grupy typów, mających odmienny wpływ na wielkość zachmurzenia w Polsce w ciągu roku. Pierwszą grupę stanowią typy: E₀ (NE/Ec), F (SEc), B (Sc), A (Wc) i CB (NWC), które na ogół w ciągu całego roku powodują wzrost wielkości zachmurzenia na obszarze kraju. Warto zaznaczyć, że przy typach E₀ i CB największe dodatnie odchylenia średnich miesięcznych wielkości zachmurzenia występują latem i jesienią (oprócz listopada), a w obszarach nadmorskich również wiosną. Na przykład, w październiku wielkość zachmurzenia przy typie E₀ na wszystkich badanych stacjach jest większa od średniej wieloletniej o ponad 20%. Przy

cyrkulacji B względnie duże zachmurzenie występuje latem (największa różnica przypada na sierpień – od 19,7% w Kielcach do 23,3% w Warszawie), a przy typie A – wiosną. Typ F natomiast powoduje najsilniejszy wzrost wielkości zachmurzenia zimą, szczególnie w styczniu – o około 20% od średniej wieloletniej. Do tej grupy można także zaliczyć typ D (SWc), który powoduje wzrost wielkości zachmurzenia w ciągu całego roku w północnej części Polski. Przy tym typie wzrost wielkości zachmurzenia w regionie reprezentowanym przez stację w Helu jest szczególnie duży w cieplej połowie roku.

Do drugiej grupy można zaliczyć typy: C₂D (Wa) i E₂C (NWA), cechujące się zmiennym co do kierunku wpływem na wielkość zachmurzenia w Polsce. Należy jednak podkreślić, że odchylenia średnich miesięcznych wielkości zachmurzenia w tych typach cyrkulacji od średnich w wieloleciu nie przekraczają 13%. Ponadto te typy cyrkulacji modyfikują w ten sposób wielkość zachmurzenia na ogół nie na całym obszarze Polski. Do omawianej grupy można zaliczyć także typ cyrkulacji BE (Sca), który także wywiera różny wpływ na wielkość zachmurzenia w ciągu roku, ale w odróżnieniu od pozostałych typów z tej grupy, powoduje bardzo duże zmniejszenie zachmurzenia w czerwcu (w całej Polsce o ponad 30% od średniej wieloletniej).

Z typami cyrkulacji z grupy trzeciej – E₁ (SE/Ea), D₂C (SW/Sa), G (Ca) oraz E (NEa) – w przeważającej części roku jest związane mniejsze niż przeciętnie zachmurzenie na obszarze Polski. Do tej grupy można zaliczyć także typy E₂C (NWA) oraz D (SWc). Z pierwszym z nich jest związane względnie mniejsze zachmurzenie w części północnej kraju, a z drugim w środkowej i południowej. Największe ujemne odchylenia średniej miesięcznej wielkości zachmurzenia od średniej w badanym wieloleciu występują podczas sytuacji centralnej antycyklonalnej (G) w marcu – od -25,3% w Helu do -29,6% w Warszawie i -32,6% w Kielcach.

Związki korelacyjne wielkości zachmurzenia z częstością typów cyrkulacji

W celu określenia warunków cyrkulacyjnych, które w znaczący sposób wpływały na zachmurzenie w Polsce w badanym okresie (1966-1995) obliczono współczynniki korelacji wielkości zachmurzenia z częstością typów cyrkulacji. Istotność statystyczną otrzymanych współczynników oceniono na poziomie $\alpha=0,05$ testem *t*-Studenta.

Stwierdzono, że w ciągu całego roku wielkość zachmurzenia w Polsce jest na ogół dodatnio skorelowana z częstością cyklonalnych typów cyrkulacji, co oznacza, że wzrost częstości tych typów powoduje zwiększenie pokrycia nieba przez chmury. Jedynie cyrkulacja cyklonalna z adwekcją z zachodu (A) w niektórych porach roku wyróżnia się ujemnymi wartościami współczynników korelacji na badanych stacjach. W całej Polsce typ ten powoduje zmniejszenie wielkości zachmurzenia w miesiącach letnich, przy czym tylko w Warszawie korelacja jest istotna statystycznie na poziomie $\alpha=0,05$.

Na szczególną uwagę zasługują te typy cyklonalne, które wykazują istotny wpływ na wielkość zachmurzenia. Do nich zalicza się cyrkulacja północno-wschodnia i wschodnia (E₀), która na wszystkich badanych stacjach powoduje znaczący wzrost wielkości zachmurzenia latem (tab. 17). W tej części roku współczynniki korelacji wielkości zachmurzenia z tym typem wynoszą od 0,48 w Kielcach do 0,56 w Warszawie i Helu. Cyrkulacja ta powoduje także istotny wzrost wielkości zachmurzenia wiosną i w całym roku

w Helu oraz jesienią i w roku w Warszawie. Również napływ powietrza z południa (B) przyczynia się do istotnego wzrostu wielkości zachmurzenia zimą w całej Polsce, latem w środkowej i południowej części kraju oraz wiosną i w roku nad Bałtykiem. Szczególnie silny związek zachmurzenia z tym typem cyrkulacji zaznacza się zimą w Helu (częstość dni z tym typem objaśnia 44% zmienności wielkości zachmurzenia). Istotna statystycznie korelacja dodatnia łączy także wielkość zachmurzenia w Polsce z częstością cyrkulacji północno-zachodniej (CB) latem. Najsilniejszy wpływ na wielkość zachmurzenia cyrkulacja ta wywiera w obszarach nadmorskich (Hel), gdzie wartość współczynnika korelacji przekracza 0,70. Należy podkreślić, że właśnie z północo-zachodu nad obszar Polski przemieszcza się ok. 25% frontów atmosferycznych (Parczewski, 1965).

W przeważającej części roku występuje ujemna zależność zachmurzenia w Polsce od częstości antycyklonalnych typów cyrkulacji. W przypadku niektórych typów, tj. C₂D (Wa), D₂C (SW/Sa) i E₁ (SE/Ea) współczynnik korelacji w ciągu roku zmienia znak. Na przykład typ C₂D (Wa) przez większą część roku wpływa na zmniejszenie zachmurzenia, tylko wiosną powoduje jego wzrost. Z kolei typy D₂C (SW/Sa) i E₁ (SE/Ea) na ogół wpływają na zmniejszenie pokrycia nieba przez chmury w ciągu całego roku oprócz lata. Jednak te dodatnie korelacje na żadnej stacji nie są istotne statystycznie na przyjętym poziomie. Znaczące zmniejszenie wielkości zachmurzenia towarzyszy natomiast napływowi mas powietrznych z północo-wschodu (E) latem w Helu i Kielcach, a także adwekcji z południo-zachodu i południa (D₂C) zimą w Helu (tab. 17). Należy zaznaczyć, że typ D₂C (SW/Sa) zimą na stacji nadmorskiej wywiera najsilniejszy wpływ na zachmurzenie spośród wszystkich typów antycyklonalnych (wartość współczynnika korelacji wynosi -0,54). Istotna statystycznie ujemna zależność łączy także zachmurzenie z częstością typu cyrkulacji C₂D (Wa) zimą i w roku w Helu oraz w roku w Warszawie, a także z typem E₂C (Nwa) latem w Warszawie. Warto zwrócić uwagę na cyrkulację centralną antycyklonalną (G), która w ciągu całego roku powoduje zmniejszenie stopnia pokrycia nieba przez chmury na wszystkich badanych stacjach. Jednak współczynniki korelacji wielkości zachmurzenia z tym typem są istotne statystycznie tylko latem i w roku w Warszawie oraz w roku w Helu.

Cyrkulacja południowa pośrednia między cyklonalną i antycyklonalną (BE) w ciągu całego roku, oprócz lata, wywiera pozytywny wpływ na wielkość zachmurzenia w Polsce. Jednak związek zachmurzenia z tym typem nie jest istotny statystycznie na poziomie 0,05.

Otrzymane zależności potwierdzają wyniki badań Żmudzkiej (2007), która analizując związki zachmurzenia z częstością makrotypów cyrkulacji według Lityńskiego (dane z lat 1951-2000) wykazała, że układy cyklonalne powodują wzrost wielkości zachmurzenia w Polsce, a antycyklonalne – zmniejszenie.

Podsumowując, należy podkreślić, że związek zachmurzenia w Polsce z wieloma typami cyrkulacji, zwłaszcza cyklonalnych, jest najsilniejszy latem.

Tabela 17. Współczynniki korelacji średniej wielkości zachmurzenia w Polsce z częstością typów cyrkulacji (wg Osuchowskiej-Klein) w porach roku (1966-1995)

	Typy cyklonalne						Typy antycyklonalne						Inne	
	E ₀ NE/Ec	F SEc	B Sc	D SWc	A Wc	CB NWc	E NEa	E ₁ SE/Ea	D ₂ C SW/Sa	C ₂ D Wa	E ₂ C Nwa	G Ca	BE Sca	X
Hel														
Z	0,32	0,13	0,66	0,12	-0,31	0,11	0,20	0,11	-0,54	-0,39	-0,27	-0,35	0,35	-0,15
W	0,37	0,07	0,38	0,09	-0,11	0,08	-0,22	-0,09	-0,08	0,17	-0,32	-0,32	0,04	-0,12
L	0,56	0,17	0,29	0,33	-0,32	0,71	-0,40	0,19	0,28	-0,25	-0,36	-0,35	-0,19	-0,37
J	0,29	0,16	0,13	0,18	0,06	0,04	-0,22	-0,18	-0,09	-0,15	-0,21	-0,23	0,13	0,16
R	0,42	0,20	0,40	0,17	-0,27	0,31	0,12	0,18	-0,28	-0,43	-0,25	-0,49	0,08	-0,22
Warszawa														
Z	0,17	0,15	0,50	0,02	-0,10	0,24	0,04	-0,33	-0,16	-0,05	0,01	-0,28	0,32	-0,01
W	0,34	0,03	0,18	0,00	0,02	0,00	-0,21	-0,16	0,00	0,21	-0,25	-0,13	0,04	-0,03
L	0,56	0,12	0,48	0,32	-0,42	0,56	-0,20	0,10	0,23	-0,24	-0,50	-0,40	-0,31	-0,40
J	0,41	0,23	0,01	-0,14	0,12	0,12	0,08	-0,22	-0,07	-0,35	-0,15	-0,22	0,07	0,02
R	0,47	0,07	0,27	0,32	-0,25	0,19	0,18	0,09	-0,03	-0,42	-0,27	-0,37	-0,11	-0,25
Kielce														
Z	0,06	0,33	0,44	-0,01	0,13	0,19	-0,09	-0,35	-0,04	-0,09	0,00	-0,34	0,33	0,11
W	0,25	-0,09	0,11	0,06	-0,06	0,06	-0,26	-0,10	-0,09	0,26	-0,20	-0,05	0,20	0,05
L	0,48	0,08	0,41	0,34	-0,14	0,48	-0,41	-0,04	0,25	-0,18	-0,35	-0,21	-0,14	-0,17
J	0,35	0,25	-0,20	-0,25	0,22	0,10	-0,14	-0,19	0,00	-0,34	0,08	-0,22	0,21	0,29
R	0,28	-0,03	-0,08	0,25	0,09	0,12	-0,29	-0,16	0,17	-0,30	0,01	-0,07	0,21	0,10

Podsumowanie

Celem pracy było zbadanie zmienności zachmurzenia w Polsce i określenie wpływu poszczególnych typów cyrkulacji atmosferycznej na kształtowanie się tego elementu klimatu. Materiał źródłowy do badań stanowiły codzienne dane terminowe z 30-lecia 1966-1995 z trzech stacji synoptycznych: Helu, Warszawy i Kielc, reprezentujących odpowiednio pas nadmorski, nizin i wyżyn. Określono przebieg dobowy i roczny, a także wieloletnie tendencje zmian wybranych charakterystyk zachmurzenia. Do analizy zależności zachmurzenia w Polsce od cyrkulacji atmosferycznej wykorzystano klasyfikację typów cyrkulacji według Osuchowskiej-Klein (1978, 1991).

Na podstawie przeprowadzonych badań dotyczących zmienności zachmurzenia w Polsce stwierdzono:

W ujęciu rocznym największe zachmurzenie w ciągu doby występuje w godzinach okołopołudniowych (12⁰⁰ UTC)(Warszawa – 68,5%, Kielce – 72,3%). Jedynie w obszarach nadmorskich (Hel) dobowe maksimum wielkości zachmurzenia przypada na godziny poranne (6⁰⁰ UTC)(65,9%). Najmniejszym zachmurzeniem w ciągu doby w całej Polsce wyróżniają się natomiast godziny nocne (00⁰⁰ UTC)(od 55,8% w Warszawie do 57,2% w Helu).

W cieplej połowie roku największe zachmurzenie w ciągu doby, tak jak średnio w roku, zaznacza się w godzinach okołopołudniowych, co jest związane z nasilającymi się w południe (na sutek nagrzania powierzchni ziemi) prądami wstępującymi powietrza,

które powodują intensywny rozwój chmur kłębiastych. Na stacji nadmorskiej wiosną duże zachmurzenie występuje także w godzinach porannych. Należy zaznaczyć, że właśnie w Helu w południowym terminie obserwacyjnym w ciepłej połowie roku występuje znacznie mniejsze zachmurzenie niż na pozostałych stacjach (w czerwcu nawet o 17,5% w porównaniu z Kielcami). Prawdopodobnie wynika to ze słabszej konwekcji nad chłodną, w stosunku do powierzchni lądowej, wodą w Bałtyku. W chłodnej połowie roku maksimum dobowe wielkości zachmurzenia w całym kraju przesuwa się na godziny poranne (6⁰⁰ UTC), w związku z występowaniem nad ranem w tej części roku sprzyjających warunków do rozwoju mgieł i chmur warstwowych. Natomiast najmniejszy stopień pokrycia nieba przez chmury w ciągu doby od wiosny do jesieni występuje w godzinach nocnych (00⁰⁰ UTC), a zimą – w godzinach wieczornych (18⁰⁰ UTC).

Na podstawie analizy zmian dobowych wielkości zachmurzenia w poszczególnych miesiącach wyróżniono 2 główne typy przebiegu dobowego zachmurzenia w Polsce:

Typ I „zimowy”, charakterystyczny dla miesięcy od października do lutego, odznacza się występowaniem największego dobowego zachmurzenia w godzinach porannych, a najmniejszego w godzinach wieczornych.

Typ II „letni”, obejmujący okres od kwietnia do września, cechuje się występowaniem dobowego maksimum wielkości zachmurzenia w godzinach okołopołudniowych i minimum w godzinach nocnych. Jedynie marzec posiada cechy obu typów – maksimum zachmurzenia w tym miesiącu przypada na godziny poranne, a minimum na godziny nocne. Wrzesień pod względem zmian dobowych zachmurzenia „ciąży” do sezonu letniego.

Najmniejszy zakres zmian między terminowymi wielkościami zachmurzenia w ciągu doby występuje zimą, zwłaszcza w grudniu (3-9%), największy zaś – latem (17-28%). W ciągu całego roku najmniejsze różnice wielkości zachmurzenia w ciągu doby zaznaczają się w obszarach nadmorskich (Hel), co jest związane z łagodzącym wpływem Bałtyku, a największe – na południu kraju (Kielce).

W przebiegu rocznym maksimum zachmurzenia występuje w grudniu, przekraczając 77% na wszystkich badanych stacjach. Występowanie największego zachmurzenia zimą jest związane ze zwiększoną aktywnością niżów, którym towarzyszą charakterystyczne strefy zachmurzenia. Najmniejszym średnim miesięcznym zachmurzeniem wyróżnia się natomiast sierpień (od 49,9% w Helu i 51,5% w Warszawie do 55,5% w Kielcach). Drugorzędne minimum wielkości zachmurzenia występuje w maju. Miesiąc ten jest szczególnie pogodny na wybrzeżu (Hel), gdzie średnia wielkość zachmurzenia wynosi wówczas tylko 51,3%.

Ważną cechą przebiegu rocznego zachmurzenia w Polsce jest nagły wzrost wielkości zachmurzenia w listopadzie oraz stopniowy spadek w miesiącach wiosennych i letnich. Porównując otrzymane wyniki ze średnimi miesięcznymi wielkościami zachmurzenia (uśrednionymi obszarowo z 48 polskich stacji) z 50-lecia 1951-2000 (Żmudzka, 2004b, 2007) stwierdzono, że ogólne prawidłowości w przebiegu rocznym wielkości zachmurzenia w ostatnich dziesięcioleciach XX wieku nie uległy zmianie w stosunku do zmian rocznych w całym półwieczu.

W badanym okresie średnie roczne zachmurzenie wynosi 62,9% w Helu, 63,1% w Warszawie i 65,1% w Kielcach. Należy dodać, że średnia roczna wielkość zachmurzenia w Polsce (obliczona z 48 stacji) z lat 1951-2000 wynosi 66% (Żmudzka, 2007).

Na podstawie analizy przebiegu rocznego opisanego średnimi dobowymi wielkościami zachmurzenia stwierdzono, że największe zachmurzenie w całej Polsce występuje od połowy listopada do końca grudnia (średnio ok. 78%). Między 13/14 a 20 stycznia na badanych stacjach stwierdzono wyraźne zmniejszenie wielkości zachmurzenia. Okres najmniejszego zachmurzenia w ciągu roku trwa od ostatnich dni kwietnia do pierwszej dekady września. Najbardziej pogodny w Polsce jest jednak koniec lipca i początek sierpnia, kiedy wielkość zachmurzenia wynosi około 40%.

Badanie przebiegu rocznego średnich miesięcznych wielkości zachmurzenia w Polsce w kolejnych latach 30-lecia 1966-1995 wykazało, że maksimum zachmurzenia w ciągu roku może występować od września do kwietnia (najczęściej w listopadzie, grudniu lub styczniu), minimum zaś – od maja do października.

Średnia roczna liczba dni pogodnych jest podobna na wszystkich stacjach i wynosi 34,5 w Helu, 30,5 w Warszawie i 32,7 w Kielcach. Różnice przestrzenne zaznaczają się natomiast w przebiegu rocznym liczby tych dni. Na północy kraju (Hel) najwięcej dni pogodnych występuje w maju (średnio 5,5), a w pozostałej części Polski – w październiku (średnio 3,8 w Warszawie i 4,1 w Kielcach). Minimum roczne liczby tych dni w całym kraju przypada na listopad. W miesiącu tym dni pogodne zdarzają się średnio 1-2 razy.

W wieloleciu 1966-1995 najdłuższe okresy pogodne na badanych stacjach trwały 8-10 dni. W całym kraju wystąpiły one między 11 a 20 marca 1972 roku.

Dni bezchmurne, stanowiące część dni pogodnych, najczęściej zdarzają się w Helu w maju, a na pozostałych stacjach w październiku. Jednak nawet w tych miesiącach ich średnia liczba nie przekracza 2. Z kolei największa liczba dni z całkowitym zachmurzeniem przypada na miesiące zimowe (średnio 8,2 w Helu w styczniu oraz 8,2 w Warszawie i 10,3 w Kielcach w grudniu).

W 30-leciu 1966-1995 na obszarze Polski wystąpiły różnokierunkowe tendencje zmian wielkości zachmurzenia. Średnia roczna wielkość zachmurzenia uległa istotnemu zmniejszeniu w Helu i Warszawie – odpowiednio o -2,4% i -1,2% na 10 lat. Na obu stacjach we wszystkich porach roku stwierdzono malejące tendencje zmian wielkości zachmurzenia -największe zimą (w Helu nawet -3,9% na 10 lat), a najsłabsze latem. Natomiast w Kielcach nastąpił nieistotny wzrost średniej rocznej wielkości zachmurzenia o około 0,7% na 10 lat. Dodatkowo trendy zmian wielkości zachmurzenia na tej stacji wystąpiły w przeważającej części roku, oprócz zimy.

Ujemna tendencja zmian średniej rocznej liczby dni pogodnych wystąpiła w Kielcach (-1,7 dnia na 10 lat). Natomiast w Warszawie stwierdzono wzrost średniej rocznej liczby tych dni (o 1,7 dnia na 10 lat).

Na podstawie przeprowadzonych badań związku wielkości zachmurzenia z cyrkulacją atmosferyczną sformułowano następujące wnioski:

W ciągu całego roku przy większości typów cyrkulacji największe dobowe zachmurzenie występuje w godzinach okołopołudniowych. Jedynie przy typie E_1 (SE/Ea) i D_2C (SW/Sa) w Warszawie i Kielcach, przy E_0 (NE/Ec) w Warszawie, a także przy E_0 (NE/Ec), F (SEc), B (Sc), E (NEa) i E_1 (SE/Ea) w Helu największe zachmurzenie w ciągu doby występuje w godzinach porannych. Natomiast dobowe minimum wielkości zachmurzenia niezależnie od typu cyrkulacji przypada w całym kraju na godziny nocne.

Największe terminowe zachmurzenie w ciągu roku jest związane z cyrkulacją E_0 (NE/Ec)(od 77,6% w Helu o godz. 6⁰⁰ do 84% w Kielcach o godz. 12⁰⁰) i z cyrkulacją A (Wc)(od 77,6% w Helu o godz. 12⁰⁰ do 82,2% w Kielcach o godz. 12⁰⁰). Najmniejsza terminowa wielkość zachmurzenia w ciągu roku (około 40-45%) występuje w Warszawie i Kielcach przy typach: E_1 (SE/Ea) i G (Ca), a w Helu przy: E (NEa) i G (Ca). Ponadto w Kielcach bardzo małe zachmurzenie w godzinach nocnych (00⁰⁰ UTC) zaznacza się przy cyrkulacji BE (Sca) – 37,8%.

Najmniejszy zakres zmian między średnimi terminowymi wielkościami zachmurzenia występuje podczas typu E_0 (NE/Ec) – od 5,2% w Helu do 11,5% w Kielcach, a w Warszawie także podczas typów: E_1 (SE/Ea) i D_2C (SW/Sa) – odpowiednio 7,7% i 9,3%. Natomiast największe różnice wielkości zachmurzenia w ciągu doby występują na wszystkich stacjach podczas typów: BE (Sca)(od 12,3% w Helu do 23,9% w Kielcach) i C_2D (Wa)(od 12,1% w Helu do 18,4% w Kielcach), a na południu kraju także przy cyrkulacji F (SEc) i B (Sc).

W półroczu ciepłym przy większości typów cyrkulacji dobowe maksimum wielkości zachmurzeniem, tak jak średnio w roku, przypada na godziny okołopołudniowe (12⁰⁰ UTC). Jedynie w obszarach nadmorskich (Hel) zaznacza się ono w różnych terminach obserwacyjnych (6⁰⁰, 12⁰⁰ lub 18⁰⁰). Największe zachmurzenie (około 70-85%) o godzinie 12⁰⁰ wiosną występuje przy typach: A (Wc), E_0 (NE/Ec) i CB (NWc), a latem – przy: B (Sc), E_0 (NE/Ec) i CB (NWc). W tej części roku najmniejszym zachmurzeniem w ciągu doby podczas wszystkich typów cyrkulacji cechują się godziny nocne (00⁰⁰ UTC). Przy czym najpogodniejsze noce (wielkość zachmurzenia poniżej 30%) wiosną występują przy typie G (Ca) i D_2C (SW/Sa), latem zaś – głównie przy BE (Sca)(od 3,3% w Kielcach do 13,2% w Helu) oraz przy cyrkulacji E_1 (SE/Ea), G (Ca) i D_2C (SW/Sa).

W okresie jesienno-zimowym największym zachmurzeniem w ciągu doby przy większości typów cyrkulacji wyróżniają się godziny poranne (6⁰⁰ UTC). Największe pokrycie nieba przez chmury – powyżej 80% – przynoszą wówczas typy cyklonalne: F (SEc) i E_0 (NE/Ec). Jesienią najmniejsze zachmurzenie w ciągu doby przy większości typów zaznacza się w godzinach nocnych (00⁰⁰ UTC). W tej porze roku najpogodniejsze noce (wielkość zachmurzenia około 30-50%) w Warszawie i Kielcach towarzyszą cyrkulacji: BE (Sca), G (Ca) i E_1 (SE/Ea), a w Helu – E_1 (SE/Ea), G (Ca) i E_2C (Nwa). W miesiącach zimowych najmniejsze dobowe zachmurzenie przypada na ogół na godziny wieczorne (18⁰⁰ UTC), przy czym najmniejsze pokrycie nieba przez chmury (około 50-65%) w Warszawie i Kielcach występuje wówczas przy typie G (Ca), E_1 (SE/Ea) i D_2C (SW/Sa), a w Helu – przy G (Ca), E_2C (Nwa) i D_2C (SW/Sa).

Przebieg roczny zachmurzenia w Polsce w poszczególnych typach cyrkulacji jest zróżnicowany. Główne maksima wielkości zachmurzenia występują między listopadem a lutym (najczęściej w styczniu lub grudniu), minima zaś – między majem a sierpniem. Największe średnie miesięczne zachmurzenie (powyżej 80%) w całym kraju zaznacza się przy typie F (SEc) w styczniu oraz przy E_0 (NE/Ec) w lutym w Helu i w listopadzie na pozostałych stacjach. Najmniejsze minima roczne wielkości zachmurzenia – poniżej 30% -występują przy cyrkulacji: BE (Sca) w czerwcu (Hel i Kielce) i sierpniu (Warszawie) oraz przy G (Ca) w sierpniu (Hel i Kielce) i lipcu (Warszawa).

Największa średnia dobowa wielkość zachmurzenia w ciągu roku w całej Polsce występuje w dniach z typem cyrkulacji E_0 (NE/Ec)(od 74% w Helu i 75,9% w Warszawie

do 78,3% w Kielcach), który jest jednym z najczęściej występujących typów cyrkulacji w kraju, zwłaszcza w ciepłej połowie roku. Najmniejsze średnie dobowe zachmurzenie w ciągu roku zaznacza się natomiast przy typach: G (Ca) (od 46,5% w Kielcach do 49,8% w Helu) i E₁ (SE/Ea) (od 51% w Warszawie do 56,3% w Helu). Uogólniając można stwierdzić, że największe zachmurzenie w ciągu całego roku jest związane z typami cyklonalnymi, najmniejsze zaś – z antycyklonalnymi.

Analizując przebiegi roczne odchyień średnich miesięcznych wielkości zachmurzenia w Polsce w poszczególnych typach cyrkulacji od średnich w wieloleciu 1966-1995 wyróżniono 3 grupy typów.

Do pierwszej grupy zaliczono typy: E₀ (NE/Ec), F (SEc), B (Sc), A (Wc) oraz CB (NWc), które na ogół w ciągu całego roku na obszarze Polski powodują wzrost wielkości zachmurzenia. Przy czym typy E₀ i CB powodują najsilniejszy wzrost zachmurzenia latem i jesienią (oprócz listopada), a na wybrzeżu również wiosną, typ B – latem (w sierpniu nawet o 20%), typ A – wiosną, a typ F – zimą. Do tej grupy zaliczono także typ D (SWc), któremu towarzyszy stosunkowo duże zachmurzenie, szczególnie w ciepłej części roku, w Helu.

Drugą grupę stanowią typy cyrkulacji: BE (Sca), C₂D (Wa) i E₂C (Nwa), które w niewielkim stopniu modyfikują wielkość zachmurzenia w Polsce. Jedynie cyrkulacja BE (Sca) latem i jesienią powoduje bardzo duże zmniejszenie zachmurzenia (w czerwcu nawet o ponad 30% od średniej wieloletniej). W typach tych w części roku dochodzi do wzrostu, a w części do zmniejszenia wielkości zachmurzenia.

Trzecia grupa obejmuje typy: E₁ (SE/Ea), D₂C (SW/Sa), G (Ca) i E (NEa), które na ogół w całej Polsce w przeważającej części roku warunkują mniejsze niż przeciętnie zachmurzenie. Największe ujemne odchylenie średniej miesięcznej wielkości zachmurzenia zaznacza się przy cyrkulacji centralnej antycyklonalnej (G) w marcu (od -25,3% w Helu do -32,6% w Kielcach). Do tej grupy zaliczono również typy D (SWc) i E₂C (Nwa). Pierwszy z nich powoduje zmniejszenie wielkości zachmurzenia w ciągu całego roku w środkowej i południowej części Polski, a drugi – w jej północnej części. W badanym okresie około 80% dni pogodnych w Polsce wystąpiło przy antycyklonalnych typach cyrkulacji, a 13-16% – przy typach cyklonalnych. Dni pochmurne najczęściej (ok. 60%) pojawiały się przy cyrkulacji cyklonalnej. Około 36-38% tych dni towarzyszyło natomiast typom antycyklonalnym.

Na podstawie analizy prawdopodobieństwa liczby dni pogodnych i pochmurnych w różnych typach cyrkulacji stwierdzono, że w ciepłej połowie roku dni pogodne w Polsce najczęściej (powyżej 25%) występują przy cyrkulacji antycyklonalnej E (NEa). Na wybrzeżu (Hel) prawie połowa dni pogodnych latem (46,5%) jest związana z tym typem cyrkulacji. Wiosną względnie duża część dni pogodnych (ok. 20%) występuje także podczas typu E₁ (SE/Ea). W półroczu chłodnym dni pogodne z największą częstością, wynoszącą zimą nawet 40%, występują przy cyrkulacji E₁ (SE/Ea). Stosunkowo często (ok. 10-20%) pojawiają się one także przy typie G (Ca) oraz E (NEa).

Dni pochmurne w okresie wiosenno-letnim najczęściej występują przy typach: E₀ (NE/Ec), CB (NWc) i E (NEa). Jednak latem prawdopodobieństwo wystąpienia tych dni przy typach E₀ i CB wynosi ponad 20%, a wiosną – około 15%. W chłodnej połowie roku najwięcej dni pochmurnych – około 15% – jest związanych z typem cyrkulacji CB (NWc).

Najdłuższemu ciągowi dni pogodnych na badanych stacjach (między 11 a 20 marca 1972 roku) towarzyszyły typy cyrkulacji G (Ca), E (NEa) i E₁ (SE/Ea). W najdłuższym ciągu dni pochmurnych w Helu (1-24 stycznia 1966 roku) najczęściej występowały typy cyrkulacji E (NEa) i E₁ (SE/Ea) oraz A (Wc) i E₀ (NE/Ec).

Badanie związków korelacyjnych wielkości zachmurzenia z częstością poszczególnych typów cyrkulacji wykazało, że w ciągu całego roku zachmurzenie w Polsce jest na ogół dodatnio skorelowane z częstością cyklonalnych typów cyrkulacji, ujemnie zaś z częstością typów antycyklonalnych. Znaczący wpływ na wzrost wielkości zachmurzenia w całej Polsce wywiera latem cyrkulacja cyklonalna z napływem mas powietrznych z kierunku NW-NE-E (CB i E₀), a zimą – z południa (B). Najsilniejsze związki wielkości zachmurzenia z częstością danego typu cyrkulacji występują w obszarach nadmorskich (Hel) – przy typie CB (NWc) latem współczynnik korelacji wynosi 0,71, a przy typie B (Sc) zimą 0,66. W przypadku typów antycyklonalnych korelacja nie jest istotna na obszarze całej Polski, a jedynie na poszczególnych stacjach. Wśród tych typów najsilniejszy wpływ na wielkość zachmurzenia ma typ cyrkulacji D₂C (SW/Sa) zimą w Helu ($r=-0,54$) oraz E₂C (NWA) latem w Warszawie ($r=-0,50$).

Podsumowując, można stwierdzić, że poszczególne typy cyrkulacji atmosferycznej mają różny wpływ na wielkość zachmurzenia w Polsce. Dla lepszego zobrazowania zróżnicowania przestrzennego wielkości zachmurzenia na obszarze kraju przy różnych sytuacjach synoptycznych należałoby rozszerzyć materiał źródłowy o większą liczbę stacji. Nie mniej jednak otrzymane wyniki dotyczące zmian czasowych wielkości zachmurzenia w Polsce w zależności od typów cyrkulacji mają istotne znaczenie poznawcze.

6.4. Zależność zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki od typów cyrkulacji atmosferycznej w Środkowej Polsce

Autor: Kamila PYŁKA

Opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA

Czystość powietrza jest jednym z podstawowych elementów decydujących o jakości środowiska. Problem zanieczyszczenia atmosfery jest dziś bardzo aktualny i ma odzwierciedlenie w licznych publikacjach naukowych. Aby móc chronić środowisko i zapobiegać jego degradacji przeprowadza się wiele badań mechanizmu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń oraz ich wpływu na zdrowie ludzi oraz środowisko.

Wśród emitowanych zanieczyszczeń do najpowszechniej występujących należą związki siarki, głównie dwutlenek siarki. Oddziałują one toksycznie na organizmy żywe, upośledzają funkcjonowanie ekosystemów oraz niszcząco wpływają na zabudowę i infrastrukturę techniczną.

Polskę charakteryzuje dość duże zanieczyszczenie powietrza związkami siarki. Wynika to ze stosunkowo dużej emisji własnej oraz napływu zanieczyszczeń z innych krajów. Powstałe dotychczas w Polsce prace poruszające temat zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki dotyczyły głównie południowych regionów kraju, ze szczególnym wyróżnieniem terenów Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Środkowej części kraju, w której zanieczyszczenie powietrza nie jest tak duże, poświęcono znacznie mniej miejsca.

Środkowa Polska nie jest terenem o dużej emisji dwutlenku siarki (z wyjątkiem większych miast), toteż za ważną przyczynę zanieczyszczenia powietrza tym gazem przypuszczalnie można tu uznać działalność źródeł emisji położonych poza granicami tego obszaru. Z tych względów celem niniejszej pracy jest określenie wpływu cyrkulacji atmosferycznej na stężenie dwutlenku siarki na obszarze środkowej Polski.

Poznanie tych zależności może pomóc w przewidywaniu okresów o zwiększonym stężeniu związków siarki.

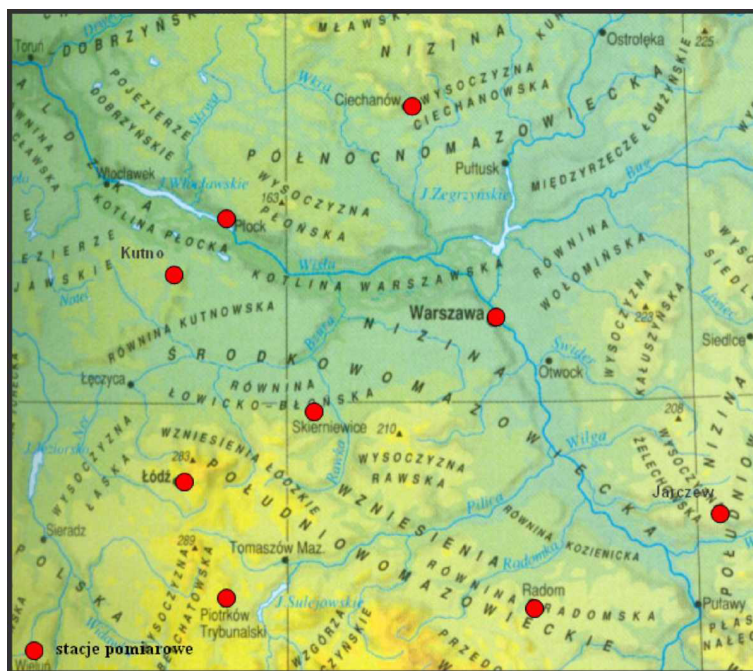
Geograficzna charakterystyka obszaru badań

Według regionalizacji fizycznogeograficznej J. Kondrackiego (2000), obszar środkowej Polski należy do prowincji Nizy Środkowoeuropejskiego, podprowincji Nizin Środkowopolskich. Teren ten rozciąga się między Pojezierzem Mazurskim od północy a Wyżyną Krakowsko-Częstochowską i Wyżyną Małopolską od południa, natomiast od zachodu graniczy z Niziną Wielkopolską, a od wschodu z Niziną Podlaską.

W krajobrazie podprowincji dominują krajobrazy starogłacjalne – przeważają bezjeziorne równiny denudacyjne o małych nachyleniach (poniżej 2°). Wysokości bezwzględne rzadko przekraczają 200 m n.p.m. – jedynie południowe krańce obszaru wznoszą się nieco wyżej. W krajobrazie wyróżnia się dolina Wisły i doliny jej dopływów. Nizinny charakter terenu stwarza dogodne warunki do przewietrzania, co ułatwia przepływ i wynoszenie zanieczyszczeń. Dodatkowo odprowadzaniu zanieczyszczeń sprzyjają doliny rzeczne, co jest szczególnie korzystne na terenach miejskich (głównie w Warszawie i Płocku)(Biernacki, 1999).

Szata roślinna obszaru środkowej Polski została w znacznym stopniu przekształcona przez człowieka. Stopień zalesienia jest tu mały, szczególnie na południowych i południo-

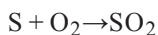
wo-wschodnich krańcach obszaru. Największe kompleksy leśne stanowią Puszcze: Kampinoska, Kurpiowska oraz Kozienicka. Te większe obszary leśne korzystnie wpływają na zmniejszenie stopnia zanieczyszczenia powietrza.



Rys. 1. Ukształtowanie terenu środkowej Polski oraz rozmieszczenie stacji pomiarowych stężenia dwutlenku siarki

Charakterystyka dwutlenku siarki

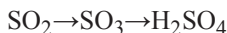
Dwutlenek siarki (SO₂) jest jednym z najgroźniejszych i najpowszechniej występujących zanieczyszczeń gazowych. Dwutlenek siarki to bezbarwny, toksyczny gaz o ostrym, duszącym zapachu. Niewielkie ilości związków siarki są pochodzenia naturalnego. Ich źródłem są między innymi wybuchy wulkanów, pożary lasów, gnicie materii organicznej, ponadto mogą one występować w postaci aerozoli morskich. Duże stężenie SO₂ w atmosferze jest skutkiem działalności gospodarczej człowieka, w tym głównie przemysłu paliwowo-energetycznego. Dwutlenek siarki powstaje w wyniku spalania naturalnych nośników energii zawierających siarkę (węgla, ropy naftowej), między innymi w elektrocieplowniach i elektrowniach ciepłych. Spalanie zachodzi według reakcji:



Podczas spalania 1 tony węgla kamiennego zanieczyszczonego związkami siarki wprowadza się do atmosfery około 30 kg związków siarki, głównie w postaci SO₂. Związki siarki (w tym SO₂) obecne są w powietrzu zwykle przez około 4 dni (Hryniewicz, 1970). W tym czasie mogą być przenoszone wraz z masami powietrza daleko od źródła emisji.

Rozprzestrzenianie się szkodliwego gazu stanowi poważne zagrożenie dla człowieka i środowiska przyrodniczego. U człowieka gaz ten jest bardzo szybko wchłaniany przez układ oddechowy, powodując uszkodzenie dróg oddechowych, kurczenie się oskrzeli, co utrudnia oddychanie i jest szczególnie niebezpieczne dla osób cierpiących na choroby układu oddechowego. W przypadku roślin przy długotrwałej ekspozycji na duże stężenie – ok. $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – zostaje zahamowany proces fotosyntezy. Prowadzi to do odbarwienia liści (chlorozy) i w konsekwencji obumarcia (nekrozy) (Czerwiński, 1977).

W powietrzu dwutlenek siarki ulega reakcjom chemicznym, takim jak kataliczne lub fotochemiczne utlenianie. W wyniku tego przechodzi w trójtlenek siarki (SO_3), który następnie reaguje z wodą tworząc kwas siarkowy.



Kwas siarkowy (wraz z podobnie powstającym kwasem azotowym) tworzy kwaśny roztwór, który w postaci deszczu opada na ziemię. Kwaśne mogą być także inne rodzaje opadów, mgły i osady atmosferyczne. Kwaśne opady, osady i mgły powodują zakwaszenie wód powierzchniowych, gleb, oraz uszkadzają nadziemne części roślin (głównie liście). Ich skutkiem stała się największa w Europie klęska obumierania lasów górskich w drugiej połowie XX w., zwłaszcza w Karkonoszach i Górach Izerskich (Wieloński, 2000). Ponadto kwaśne opady bezpowrotnie niszczą obiekty budowlane, m.in. zabytkowe budowle, w szczególności wykonane z wapienia lub piaskowca.

W Polsce obowiązuje zachowanie trzech dopuszczalnych wielkości stężenia zanieczyszczeń powietrza (DS):

- D_a – dopuszczalne stężenie średnie roczne,
- D_{24} – dopuszczalne stężenie średnie dobowe (24-godzinne),
- D_{30} – dopuszczalne stężenie chwilowe (30-minutowe).

Dopuszczalne wartości stężenia zanieczyszczeń wyznaczono odrębnie w odniesieniu do różnych obszarów, w tym objętych ochroną przyrodniczą (parki narodowe), uzdrowiskową oraz zabytkową (obszary, na których znajdują się obiekty wpisane na *Światową listę dziedzictwa kulturowego i przyrodniczego* (tab. 1).

Tabela 1. Dopuszczalne wartości zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Źródło: Raport Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Warszawie, 2001

Rodzaj obszaru	Stężenie		
	30 min	24 h	średnie roczne
Obszary nie objęte żadną formą ochrony	500	150	40
Obszary parków narodowych	150	75	15
Obszary ochrony uzdrowiskowej	350	125	30
Pomniki historii wpisane na Listę dziedzictwa kulturowego i przyrodniczego	-	-	35 30 (od 2005)

Materiały źródłowe i metody ich opracowania

Dane wykorzystane w niniejszej pracy obejmują codzienne średnie dobowe wartości stężenia dwutlenku siarki z lat 1993-1999 z 9 stacji pomiarowych podstawowej sieci monitoringu zanieczyszczeń powietrza. Punkty pomiarowe położone są na obszarze środko-

wej Polski. Z wyjątkiem stacji Jarczew, znajdującej się poza miastem, stacje badawcze usytuowane są na terenach miejskich. Wszystkie punkty leżą na obszarach chronionych (tab. 2). W większości podlegają one Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej (WSSE) lub Wojewódzkiemu Inspektoratowi Ochrony Środowiska (WIOŚ), jedna stacja należy do Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW).

Tabela 2. Położenie i charakterystyka stacji pomiarowych (φ – szerokość geograficzna, λ – długość, h – wysokość n.p.m.)

Stacja	φ	λ	h (m n.p.m.)	Instytucja	
Ciechanów	51°53'N	20°37'E	115	WIOŚ	miejski, chroniony
Jarczew	51°49'N	21°59'E	180	IMGW	pozamiejski, chroniony
Kutno	52°14'N	19°22'E	112	WIOŚ	miejski, chroniony
Łódź	51°46'N	19°28'E	208	WSSE	miejski, chroniony
Piotrków Tryb.	51°24'N	19°40'E	201	WIOŚ	miejski, chroniony
Płock	52°33'N	19°44'E	98	WSSE	miejski, chroniony
Radom	51°25'N	21°10'E	145	WSSE	miejski, chroniony
Skiermiewice	52°41'N	20°09'E	124	WSSE	miejski, chroniony
Warszawa	52°14'N	20°58'E	110	WIOŚ	miejski, chroniony

Średnie dobowe stężenie SO_2 to wynik pomiaru trwającego 24 godziny; początek i koniec doby pomiarowej przypada na godzinę 8⁰⁰-8¹⁵. Zawartość dwutlenku siarki określano korzystając z metody p-rozanilinowej. Jest to metoda pozwalająca na bardzo dokładne oznaczenie nawet niewielkiej zawartości SO_2 w powietrzu (nawet do 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), a jej wyniki uznawane są za najbardziej wiarygodne. W metodzie tej wykorzystuje się reakcję formaldehydu i chlorowodoru p-rozaniliny z dwuchlorosiarczynortęcianem sodowym. W wyniku reakcji powstaje kwas o charakterystycznym zabarwieniu, którego intensywność zależy od zawartości dwutlenku siarki w badanej próbce.

O przyjęciu okresu 1993-1999 zadecydowała dostępność danych. Zebrane serie pomiarowe stężenia dwutlenku siarki są prawie kompletne. Pomiarzy stężenia dwutlenku siarki prowadzone były systematycznie, jedynie czasem występowały kilkudniowe przerwy w pomiarach. Liczba dni z obserwacjami wynosi najczęściej ok. 2400 (tab. 3). Większymi brakami odznaczają się tylko serie danych z Radomia i Skiermiewic.

W pracy przeanalizowano rozkład przestrzenny stężenia dwutlenku siarki na obszarze środkowej Polski oraz sezonowe zmiany stężenia tego zanieczyszczenia, a także jego zmienność z roku na rok. Wyznaczono średnie dobowe wartości stężenia dwutlenku siarki na każdym z 9 punktów pomiarowych zarówno w półroczach, jak i w kolejnych latach. Ponieważ średnia nie jest charakterystyką pozwalającą wyczerpująco opisać zanieczyszczenie powietrza dwutlenkiem siarki, określono także częstość występowania poszczególnych wartości stężenia SO_2 w rozpatrywanych punktach pomiarowych oraz wyznaczono percentyl 0,95. Te same charakterystyki wykorzystano w celu określenia wpływu poszczególnych kierunków adwekcji mas powietrza, układów barycznych i typów cyrkulacji atmosferycznej na stężenie SO_2 . Ponadto zestawiono najwyższe zanotowane wartości stężenia dwutlenku siarki w badanym wieloleciu przy poszczególnych sytuacjach pogodowych oraz wskazano sytuacje, przy których przekraczane są wartości stężenia SO_2 , dopuszczalne według norm prawnych (od 1998 wynosi 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabela 3. Liczba dni z pomiarami stężenia dwutlenku siarki na poszczególnych stacjach

Stacja	Lata							
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	1993-1999
Ciechanów	346	91	353	342	335	342	337	2146
Jarczew	-	358	332	362	362	362	355	1769
Kutno	301	354	362	359	352	352	278	2358
Łódź	321	355	359	363	364	363	358	2483
Piotrków Tryb.	352	345	297	337	344	348	231	2254
Płock	205	359	356	363	361	364	360	2368
Radom	85	236	236	237	240	355	365	1754
Skierniewice	97	83	340	365	343	344	322	1894
Warszawa	312	345	291	298	322	320	361	2249

W pracy przeanalizowano rozkład przestrzenny stężenia dwutlenku siarki na obszarze środkowej Polski oraz sezonowe zmiany stężenia tego zanieczyszczenia, a także jego zmienność z roku na rok. Wyznaczono średnie dobowe wartości stężenia dwutlenku siarki na każdym z 9 punktów pomiarowych zarówno w półroczach, jak i w kolejnych latach. Ponieważ średnia nie jest charakterystyką pozwalającą wyczerpująco opisać zanieczyszczenie powietrza dwutlenkiem siarki, określono także częstość występowania poszczególnych wartości stężenia SO_2 w rozpatrywanych punktach pomiarowych oraz wyznaczono percentyl 0,95. Te same charakterystyki wykorzystano w celu określenia wpływu poszczególnych kierunków adwekcji mas powietrza, układów barycznych i typów cyrkulacji atmosferycznej na stężenie SO_2 . Ponadto zestawiono najwyższe zanotowane wartości stężenia dwutlenku siarki w badanym wieloleciu przy poszczególnych sytuacjach pogodowych oraz wskazano sytuacje, przy których przekraczane są wartości stężenia SO_2 , dopuszczalne według norm prawnych (od 1998 wynosi $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Posłużono się kalendarzem typów cyrkulacji atmosferycznej, opracowanym przez J. Pawłowską, A. Jankowską i T. Pindor (2000) według klasyfikacji J. Lityńskiego (1969). Klasyfikacja ta opiera się na podziale trójklasowym, równoprawdopodobnym trzech parametrów: Wp (wskaźnik cyrkulacji strefowej), Ws (wskaźnik cyrkulacji południkowej), Cp (wskaźnik ciśnienia w Polsce). Symbol typu cyrkulacji powstaje z zestawienia symboli trzech wymienionych wskaźników w odpowiedniej kolejności (Wp, Ws, Cp). Dwa pierwsze określają kierunek napływu mas powietrza nad Polskę, trzeci zaś wskazuje charakter ciśnienia (np. Nwc – oznacza cyrkulację północno-zachodnią cyklonalną). Grupa typów cyrkulacji zerowej (0) charakteryzuje się brakiem wyraźnego kierunku adwekcji mas powietrza nad obszar Polski. Ostatecznie w klasyfikacji wyróżnia się 27 typów cyrkulacji.

W okresie 1993-1999 typy cyrkulacji atmosferycznej występowały z różną częstością. Liczba dni z niektórymi sytuacjami była mniejsza niż 100. Spowodowało to konieczność zrezygnowania z pełnej klasyfikacji. W celu uzyskania wyników wiarygodnych statystycznie zredukowano podstawowe 27 typów do 13 grup łączących typy pokrewne w pary. Pozwoliło to uzyskać:

- 4 grupy sytuacji antycyklonalnych: Ea-SEa, Sa-SWa, Wa-NWa, Na-NEa,
- 4 grupy sytuacji cyklonalnych: Ec-SEc, Sc-SWc, Wc-NWc, Nc-NEc,

4 grupy sytuacji zerowych: E0-SE0, S0-SW0, W0-NW0, N0-NE0, grupę sytuacji z brakiem wyraźnego kierunku adwekcji – centrum cyklonu, centrum antycyklonu lub siodło baryczne.

Zróźnicowanie przestrzenne oraz zmiany czasowe stężenia dwutlenku siarki w środkowej Polsce

Źródła emisji dwutlenku siarki wpływające na zanieczyszczenie powietrza w środkowej Polsce

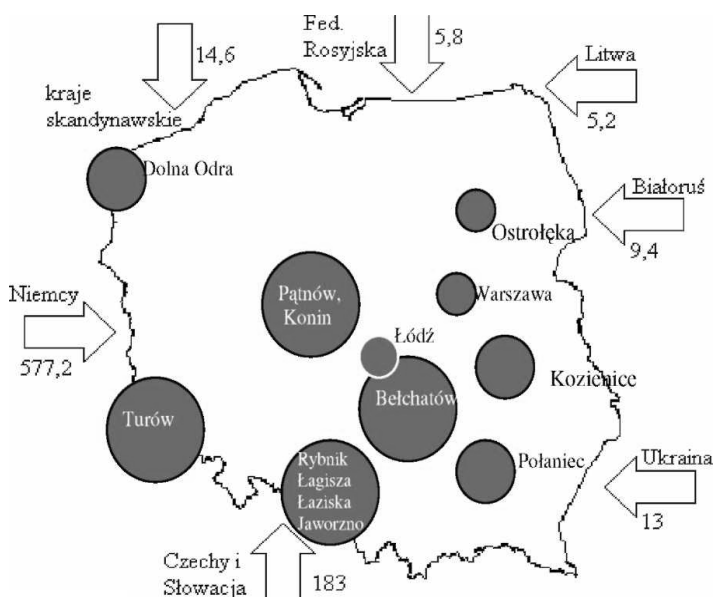
Bezpośredni wpływ na warunki aerosanitarne ma przede wszystkim wielkość emisji oraz przestrzenny rozkład jej źródeł. Oprócz tego ważną rolę odgrywają warunki meteorologiczne.

- W środkowej Polsce na jakość powietrza wpływają zarówno źródła emisji położone na tym obszarze, jak i leżące w innych regionach kraju, a nawet poza jego granicami. Na terenie badań zlokalizowane są liczne zakłady przemysłowe. Do największych z nich, a jednocześnie do głównych źródeł zanieczyszczenia powietrza w tym rejonie można zaliczyć:
 - Elektrownię Bełchatów,
 - Zespół Elektrociepłowni w Łodzi,
 - Elektrownię Kozienice,
 - Elektrociepłownie Warszawskie (Żerań, Wola, Kawęczyn, Siekierki),
 - Przedsiębiorstwo Eksploatacji Rurociągów Naftowych „Przyjaźń” SA w Płocku,
 - PKN „Orlen” SA w Płocku,
 - Elektrociepłownię Radom S.A.
- Emisja dwutlenku siarki z tych zakładów w znaczący sposób rzutuje na zanieczyszczenie powietrza w rozpatrywanym okresie.

Oprócz bezpośredniego wpływu źródeł emisji znajdujących się na badanym terenie bardzo istotne znaczenie mają źródła zanieczyszczeń zlokalizowane w innych regionach kraju. Najwięcej zakładów przemysłowych zlokalizowanych jest na południu Polski. Na szczególną uwagę zasługuje Górnośląski Okręg Przemysłowy, bowiem wyróżnia go największa emisja zanieczyszczeń w kraju. Zlokalizowanych jest tu 9 dużych elektrowni oraz 7 elektrociepłowni, a w bliskim sąsiedztwie znajduje się Kraków z Hutą im. Sendzimira SA (jednym z największych w Polsce zakładów przemysłu ciężkiego) oraz Elektrociepłownią Kraków SA. Znaczny wpływ mają również elektrownie położone na zachód od obszaru badań: Pątnów oraz Konin.

Prócz stosunkowo znacznej emisji własnej istotny problem na terenie Polski stanowi także napływ zanieczyszczeń transgranicznych, głównie z uprzemysłowionych regionów Czech oraz Niemiec, ale również z Ukrainy i Białorusi. Także te zanieczyszczenia mogą wpływać na warunki aerosanitarne w środkowej Polsce (rys. 2-3).

Z wyciągniętych uprzednio wniosków wynika, że na warunki aerosanitarne Polsce wpływa wiele dużych źródeł emisji. Powoduje to, iż obszar naszego kraju charakteryzuje się dość dużym zanieczyszczeniem powietrza SO_2 . Jednakże jakość powietrza nie jest jednakowa w całej Polsce, a zróźnicowanie warunków aerosanitarnych w poszczególnych regionach kraju jest bardzo duże.

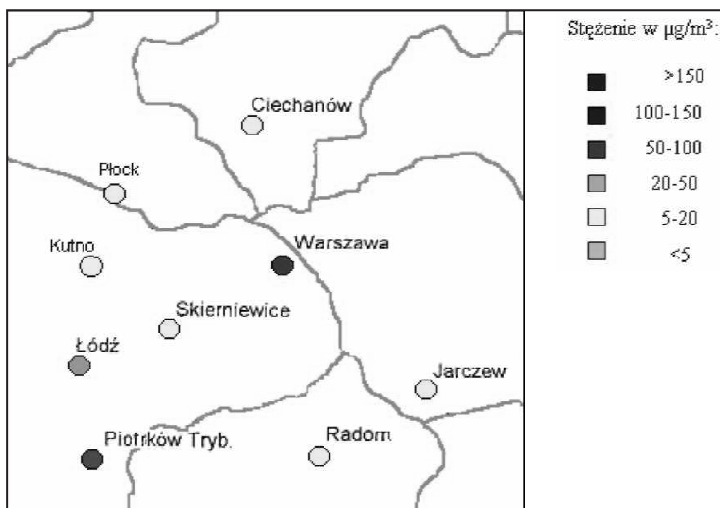


Rys. 2. Zanieczyszczenie powietrza w środkowej Polsce dwutlenkiem siarki (tys. ton) w porównaniu z innymi regionami kraju

Na tle pozostałych regionów kraju obszar środkowej Polski pod względem zanieczyszczenia powietrza nie przedstawia się źle. Różnica jest szczególnie duża w porównaniu z silnie uprzemysłowionymi terenami południowej Polski (głównie GOP), gdzie średnie roczne wartości stężenia SO_2 są bardzo duże i osiągają nawet $74,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w Bytomiu, $51,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w Zabrze czy $43,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w Gliwicach. Nawet na stacji z tego regionu, na której zanieczyszczenie powietrza jest najmniejsze – w Katowicach – średnie roczne stężenie dwutlenku siarki wynosi $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i jest znacznie większe od stężenia w najbardziej zanieczyszczonych miastach środkowej części kraju (Warszawie, Piotrkowie Trybunalskim czy Łodzi). Różnice podkreśla dodatkowa charakterystyka – częstość poszczególnych wartości stężenia SO_2 . Na terenie GOP w ciągu roku wartości stężenia dwutlenku siarki i rzekraczające $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ występują znacznie częściej niż wartości poniżej $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Z kolei na badanym obszarze w ciągu roku średnie dobowe stężenie dwutlenku siarki mniejsze niż $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na większości stacji występuje w około 50% przypadków, jedynie w Warszawie wynosi mniej niż 20%. Ponadto na terenach GOP częste jest występowanie stężenia SO_2 powyżej $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, co na obszarze środkowej Polski jest rzadkością i zdarza się jedynie w półroczu chłodnym.

Odmierna sytuacja aerosanitarna charakteryzuje północne regiony kraju, które charakteryzują się najmniejszą emisją i niewielkim stopniem zanieczyszczenia powietrza. Na większości stacji tego obszaru średnie roczne stężenie SO_2 nie przekracza zwykle $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a na niektórych punktach badawczych jest niższe niż $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Suwałki, Słupsk, Diabla Góra). W porównaniu z miastami wybrzeża (Słupsk $8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Łeba $7,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oraz ze stacjami na Pojezierzu Mazurskim (Diabla Góra $7,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Suwałki $5,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) stan aero-

sanitarny środkowej Polski przedstawia się nieco gorzej, szczególnie w większych miastach, takich jak Warszawa (19,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) czy Piotrków Trybunalski (26,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Mniejsze stężenie SO_2 cechuje w północnej Polsce nawet duże miasta (Szczecin 12,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Koszalin 15,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Jedynie średnie stężenie SO_2 w Gdańsku (19,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) jest większe, podobne do średniego stężenia SO_2 w Warszawie.



Rys. 3. Średnie stężenie dwutlenku siarki w środkowej Polsce w latach 1993-1999

Zmiany czasowe stężenia dwutlenku siarki w środkowej Polsce w latach 1993-1999

Cykl roczny stężenia zanieczyszczeń powietrza zależy od występujących w ciągu roku zmian emisji oraz zmian warunków meteorologicznych. Stężenie dwutlenku siarki w powietrzu wykazuje wyraźne zmiany roczne. Największa koncentracja SO_2 występuje w półroczu chłodnym (głównie zimą – w okresie grzewczym). Kilkakrotnie niższe są średnie wartości stężenia w ciepłej połowie roku.

Prawidłowość ta wynika przede wszystkim ze zwiększonej emisji SO_2 w półroczu chłodnym, która spowodowana jest wzrostem zużycia energii. Związane jest to z uaktywnieniem dodatkowych źródeł energii, takich jak małe elektrociepłownie, lokalne systemy grzewcze czy paleniska domowe. W chłodnej połowie roku do zwiększonego stężenia SO_2 przyczyniają się także warunki meteorologiczne. Okres ten charakteryzuje się częstym występowaniem stałej równowagi termiczno-dynamicznej. Ma to niekorzystny wpływ na mieszanie się powietrza i wynoszenie zanieczyszczeń. Efektem utrudnionej wymiany pionowej powietrza jest silny wzrost koncentracji dwutlenku siarki w dolnej warstwie atmosfery (Parczewski, 1969). W półroczu ciepłym stężenie SO_2 zwykle znacznie maleje. Ma to związek z polepszeniem się warunków transformacji zanieczyszczeń (w tym zwiększoną intensywnością procesów fotochemicznych), prowadzących do przemiany SO_2 w siarczany. Sprzyja temu większe niż w półroczu chłodnym osłonecznienie (Dowgiałło, 1993). Korzystne jest również częstsze niż w półroczu chłodnym występowanie równowagi chwiejnej, dzięki której nie dochodzi do długotrwałej koncentracji zanieczysz-

czeń. Dodatkowym czynnikiem sprzyjającym zmniejszaniu się stężenia zanieczyszczeń w cieplej połowie roku jest ok. dwukrotnie większa grubość warstwy mieszania, co powoduje intensywniejsze rozcieńczanie dwutlenku siarki. Ponadto wzmocniona konwekcja oraz zwiększona ilość opadów sprzyjają oczyszczaniu atmosfery. Efektywność wymywania SO_2 przez opady zależy od ich rodzaju i natężenia, najkorzystniejsze są długotrwałe, obfite opady deszczu lub mżawki.

Znaczny wpływ na sezonowe zmniejszenie stężenia zanieczyszczeń ma szata roślinna, absorbująca m.in. dwutlenek siarki – jej najbujniejszy rozwój przypada właśnie na półrocze ciepłe.

W związku z działaniem powyższych czynników zaznacza się wyraźna sezonowość stężenia dwutlenku siarki w powietrzu. Według badań przeprowadzonych przez R. Hryniewicz (1970) średnie stężenie SO_2 w styczniu może być nawet siedmiokrotnie większe niż średnie stężenie tego gazu w lipcu.

Opisywane prawidłowości znajdują odzwierciedlenie na obszarze środkowej Polski. Analizując stężenie dwutlenku siarki na badanym terenie w latach 1993-1999 zauważa się, że koncentracja SO_2 charakteryzuje się wyraźnym rytmem rocznym. Sezonowy wzrost stężenia dwutlenku siarki obserwuje się w półroczu chłodnym (tab. 4, rys. 4).

Tabela 4. Sezonowe zmiany stężenia dwutlenku siarki ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) w środkowej Polsce w latach 1993-1999

Miejsce pomiarów	Rok	Półrocze ciepłe (IV-IX)	Półrocze chłodne (X-III)	Wiosna (III-V)	Lato (VI-VIII)	Jesień (IX-XI)	Zima (XII-II)
Ciechanów	6,4	1,3	11,0	5,4	0,8	5,1	14,0
Kutno	9,6	6,3	12,9	10,2	6,6	5,2	18,7
Łódź	14,6	6,2	23,3	13,4	4,4	12,3	29,6
Piotrków Tryb..	26,6	8,6	44,5	24,4	7,6	11,8	64,8
Płock	9,6	4,1	15,2	8,7	3,1	7,5	19,5
Radom	9,6	6,4	11,8	10,4	6,6	8,0	13,5
Skierniewice	7,6	2,2	13,5	6,1	1,5	5,1	18,4
Warszawa	19,7	10,5	28,3	18,3	9,3	22,4	28,6
Jarczew	7,2	3,6	10,8	5,8	2,9	6,6	13,5

W półroczu chłodnym, kiedy uaktywniane są różne systemy grzewcze, średnie dobowe wartości stężenia dwutlenku siarki są znacznie wyższe, a przestrzenne zróżnicowanie zanieczyszczenia powietrza jest wyraźnie zaznaczone. Średnie wartości stężenia w półroczu chłodnym są na rozpatrywanych stacjach zazwyczaj 3-4 razy większe niż w półroczu ciepłym, różnice między półroczami mogą sięgać nawet do $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Piotrków Trybunalski). Ponadto właśnie na chłodną połowę roku przypadają największe z zanotowanych wartości stężenia SO_2 na każdej ze stacji. W tym okresie zaznaczają się również przypadki występowania stężenia przekraczającego dopuszczalną normami prawnymi wartość ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Uwidacznia się to przede wszystkim w Warszawie, gdzie średnie dobowe stężenie powyżej $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wystąpiło w 1,3% przypadków. Na pozostałych stacjach częstość występowania takich wartości nie przekroczyła 0,3%. Jedynie w Ciecha-

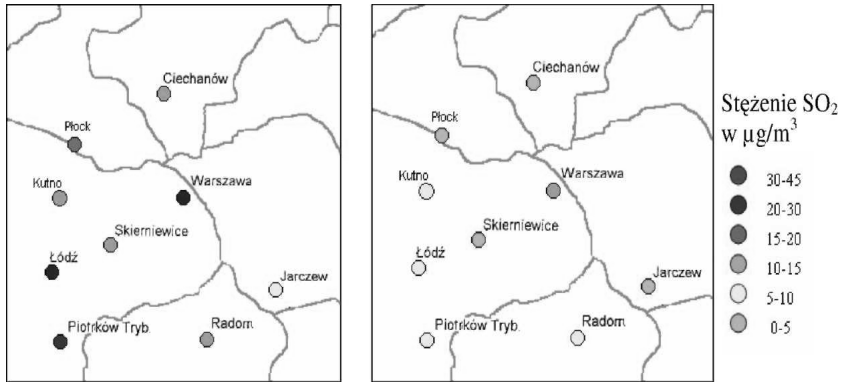
nowie, Radomiu oraz Jarczewie stężenie SO_2 nie przekroczyło $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Półrocze chłodne charakteryzuje również rzadkie występowanie wartości stężenia SO_2 poniżej $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Szczególnie jest to znamienne dla aglomeracji miejskich Warszawy (5,6%) i Łodzi (9,2%). W mniejszych miastach: Ciechanowie, Piotrkowie Trybunalskim, Płocku, a także w Jarczewie tak małe wartości średniego dobowego stężenia SO_2 występują częściej i stanowią ponad 20% obserwacji, natomiast w Kutnie i Radomiu nawet 40%.

Półrocze ciepłe charakteryzuje się znacznie mniejszymi wartościami stężenia dwutlenku siarki. Okres ten, ze względu na zmniejszoną emisję zanieczyszczeń i korzystniejsze warunki meteorologiczne, sprzyja występowaniu małych wartości stężenia SO_2 . W ciepłej połowie roku zróżnicowanie średniego stężenia dwutlenku siarki na terenie środkowej Polski zaznacza się słabiej. Na wszystkich punktach pomiarowych jest ono niższe od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a na niektórych nawet mniejsze niż $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ciechanów, Jarczew, Płock, Skierniewice). Ponadto półrocze ciepłe charakteryzuje się mniejszym niż półrocze chłodne zakresem zmian średniego dobowego stężenia dwutlenku siarki (tab. 4). W półroczu ciepłym dominują małe wartości stężenia SO_2 , większe występują rzadko i nie przekraczają wartości dopuszczalnej według norm prawnych ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Częstość występowania stężenia SO_2 poniżej $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na rozpatrywanych stacjach wynosi ponad 50%, natomiast w Ciechanowie i Skierniewicach przekracza nawet 90%. Jedynie w Warszawie, gdzie emisja dwutlenku siarki jest znaczna, tak małe wartości stężenia są rzadsze – stanowią 32%. Z kolei większe wartości stężenia dwutlenku siarki, przekraczające $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, na większości stacji w tym półroczu nie wystąpiły w ogóle. Średnie wartości stężenia SO_2 wynoszące $50\text{-}100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zmierzono tylko w Kutnie, Piotrkowie Trybunalskim, Płocku oraz Warszawie. Zadawalający jest również fakt, iż na żadnej z omawianych stacji (z wyjątkiem Piotrkowa) nie wystąpiło stężenie przekraczające $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a największe zanotowane wartości wyniosły $89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w Warszawie i $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w Piotrkowie Trybunalskim.

Najmniejszą koncentracją SO_2 odznacza się pora letnia, kiedy średnie stężenie tego zanieczyszczenia w środkowej części Polski na żadnej stacji pomiarowej nie przekracza $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Najwyraźniejszym kontrastem w stosunku do lata wyróżnia się pora zimowa, kiedy koncentracja SO_2 może być nawet 8-krotnie większa niż latem (np. w Piotrkowie Trybunalskim). Średnie stężenie w miesiącach wiosennych i jesiennych przyjmuje zbliżone wartości.

W opisywanym okresie największymi wartościami stężenia SO_2 charakteryzował się rok 1993. Średnie roczne stężenie wynosiło wówczas od $3,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w Radomiu do $59,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w Piotrkowie Trybunalskim. Kolejne lata cechował stopniowy spadek średniego stężenia SO_2 i w latach 1998-1999 średnia roczna wartość na obszarze środkowej Polski nie przekroczyła $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tab. 5). Zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki zaznacza się w tym okresie na terenie całej Polski i jest związane z ograniczeniem emisji zarówno w kraju, jak i w państwach sąsiadujących (Kicińska, 1999).



Rys. 4. Średnie stężenie dwutlenku siarki w środkowej Polsce w latach 1993-1999 (półrocza: chłodne (1) i ciepłe (2))

Tabela 5. Średnie stężenie SO₂ w kolejnych latach okresu 1993-1999 na obszarze środkowej Polski

Miejsce pomiarów	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Ciechanów	7,8	12,6	8,0	9,2	5,2	3,6	2,6
Kutno	9,4	3,8	11,5	15,1	13,7	8,5	4,1
Łódź	17,7	11,8	21,5	18,1	13,7	11,8	7,8
Piotrków Tryb.	59,5	14,3	28,7	30,2	23,7	9,4	16,0
Płock	20,5	8,7	10,5	10,5	7,9	5,2	8,8
Radom	3,9	5,0	18,3	20,1	11,1	5,3	3,4
Skierniewice	10,8	6,6	10,4	10,9	7,3	4,4	4,0
Warszawa	24,4	17,2	23,3	19,8	18,0	16,2	19,8
Jarczew	-	8,0	8,2	8,6	6,9	6,1	5,7

W celu potwierdzenia powyższych wniosków obliczono również percentyl 0,95 stężenia dwutlenku siarki w odniesieniu do roku oraz półroczy (tab. 6). Funkcja ta pozwala oddzielić 5% obserwacji o największych w danym zbiorze wartościach.

Tabela 6. Percentyl 0,95 stężenia dwutlenku siarki w środkowej Polsce w latach 1993-1999 (rok i półrocza)

Miejsce pomiarów	Rok	Półrocze ciepłe	Półrocze chłodne
Ciechanów	27	5	34
Kutno	35	25	44
Łódź	46	18	56
Piotrków Tryb.	124	30	184
Płock	35	17	42
Radom	27	22	32
Skierniewice	28	7	38
Warszawa	57	26	74
Jarczew	20	9	26

W latach 1993-1999 największe wartości percentyla 0,95 charakteryzują stacje położone na terenie aglomeracji miejskich lub w pobliżu większych ośrodków przemysłowych. W Piotrkowie Trybunalskim 5% przypadków stężenia przekracza $124 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a w Warszawie $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Z kolei w Jarczewie, Ciechanowie, Radomiu i Skierniewicach – miejscowościach o mniejszym uprzemysłowieniu, a tym samym i mniejszej emisji zanieczyszczeń powietrza wartości percentyla 0,95 nie przekraczają $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

W półroczu chłodnym powyższa prawidłowość jest jeszcze bardziej widoczna ze względu na wzmożoną emisję i większe wartości stężenia. Największą wartością percentyla 0,95 wyróżnia się stężenie SO_2 w Piotrkowie Trybunalskim ($184 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oraz w Warszawie ($74 \mu\text{g}/\text{m}^3$), natomiast najniższym stężeniem odznaczał się Jarczew (percentyl 0,95 wyniósł tu $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$), oddalony od większych ośrodków przemysłowych. Niskimi wartościami omawianej charakterystyki cechowały się także Ciechanów, Radom oraz Skierniewice, miasta o niewielkiej emisji własnej (wartość percentyla 0,95 wynosiła w nich ok. $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

W półroczu ciepłym przestrzenne zróżnicowanie wartości percentyla 0,95 stężenia SO_2 jest znacznie słabiej widoczne ze względu na dużo mniejsze wartości stężenia dwutlenku siarki na wszystkich stacjach. W tym okresie najlepsza sytuacja aerosanitarna występuje nadal w Ciechanowie, Skierniewicach i Jarczewie, gdzie 5% przypadków stężenia o najwyższych wartościach nie przekracza $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Natomiast najwyższe wartości percentyla 0,95, zawarte w granicach $25\text{-}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, charakteryzują Piotrków Trybunalski, Warszawę oraz Kutno.

Wpływ kierunku napływu mas powietrza na koncentrację dwutlenku siarki w środkowej Polsce

Zanieczyszczenie powietrza oraz jego przestrzenny rozkład w bardzo istotny sposób uwarunkowane są kierunkiem adwekcji mas powietrza. Według R. Hryniewicz (1970) dwutlenek siarki może przebywać w atmosferze ok. 4 dni. Jest to czas wystarczająco długi by to zanieczyszczenie mogło zostać przetransportowane wraz z masami powietrza nad inne obszary, nawet te znacznie oddalone od źródeł emisji. Z kolei masy napływające z mniej zanieczyszczonych obszarów mogą rozcieńczać bardziej zanieczyszczone powietrze, a tym samym wpływać na redukcję stężenia szkodliwych substancji na terenach wyróżniających się dużą emisją. Dlatego też określenie kierunków adwekcji mas powietrza, przy których możemy spodziewać się znacznej koncentracji zanieczyszczeń jest bardzo istotne dla celów monitoringowych.

Wpływ kierunku adwekcji mas powietrza na koncentrację SO_2 w środkowej Polsce przedstawiono na podstawie charakterystyk wyznaczonych w zbiorach wartości stężenia SO_2 z dni z poszczególnymi kierunkami adwekcji mas powietrza. Wykorzystano średnie wartości stężenia SO_2 , posłużono się częstością występowania określonych wartości stężenia SO_2 , ponadto użyto wartości percentyla 0,95.

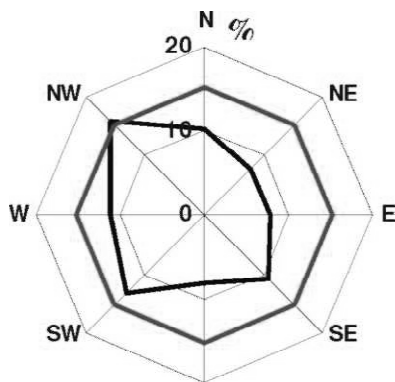
Udział poszczególnych kierunków napływu mas powietrza w kształtowaniu pogody w środkowej Polsce w latach 1993-1999

W okresie 1993-1999 w środkowej Polsce najczęstsza była adwekcja mas powietrza z sektora zachodniego – wystąpiła w ok. 40% dni. Najczęściej powietrze napływało z północo-zachodu (16,0% dni)(rys. 5). Najrzadziej masy powietrza napływały z sektora wschodniego – udział takich dni wyniósł 26,1% w roku, w tym najrzadziej pojawiała się

adwekcja z kierunku północno-wschodniego (7,5%) . Podobną częstością występowania charakteryzował się napływ mas powietrza z sektora południowego (32,1) i z sektora północnego (33,8). Dni bez wyraźnego kierunku adwekcji mas powietrza lub z ciszą stanowiły 15,0%.

W półroczu chłodnym najczęściej napływało powietrze z sektora zachodniego – 48% dni, w tym najczęściej występowała adwekcja z kierunku południowo-zachodniego (17,0). Najmniejszą częstością występowania charakteryzował się napływ mas powietrza z sektora wschodniego – 20,5% (najrzadziej z kierunku północno-wschodniego – 3,9%). Udział sytuacji bezadwekcyjnych wyniósł 13,2%.

Półrocze ciepłe w badanym okresie charakteryzowało się wyraźną przewagą adwekcji z sektora północnego (38% dni), z największym udziałem napływu mas powietrza kierunku z północno-zachodniego (15). Zbliżoną częstością występowania charakteryzowała się adwekcja z sektora wschodniego (31,7) oraz z sektora zachodniego (32,7). Najmniejszą częstością występowania w półroczu ciepłym wyróżnił się napływ mas powietrza z sektora południowego (27,0%), w tym najrzadziej następowała adwekcja z kierunku południowego (8,6%).



Rys. 5. Udział adwekcji mas powietrza z poszczególnych kierunków w środkowej Polsce w latach 1993-1999 – w odniesieniu do wszystkich cisz

Średnia koncentracja dwutlenku siarki w dniach z poszczególnymi kierunkami adwekcji mas powietrza

Otrzymane w niniejszej pracy wyniki badań dowodzą, że średnio w roku na większości punktów badawczych względnie duże stężenie SO_2 panowało w dniach z napływem mas powietrza z południa i południowo-zachodu. W niektórych punktach większe od przeciętnego stężenie SO_2 występowało także podczas adwekcji z zachodu (Jarczew, Łódź) oraz wschodu (Kutno). Taka sytuacja jest wynikiem lokalizacji dużych ośrodków przemysłowych na południu, południowo-zachodzie i zachodzie Polski. Przy wymienionych kierunkach napływu mas powietrza emitowane w tych ośrodkach zanieczyszczenia wpływają na wzrost stężenia związków siarki na badanym obszarze. Najbardziej niekorzystnym kierunkiem adwekcji w znacznej części środkowej Polski jest kierunek południowo-zachodni (tab. 7). Przy napływie mas powietrza z tego kierunku średnie stężenie na większości punktów pomiarowych jest największe i przekracza średnią roczną wartość o 2-4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Łódź 19,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Warszawa 23,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Tylko w Kutnie w tych warunkach

sytuacja aerosanitarna nie pogarsza się. Na negatywne oddziaływanie adwekcji mas powietrza z tego kierunku wpływają większe zakłady przemysłowe zlokalizowane w południowej (np. GOP) i południowo-zachodniej (np. Turów) części kraju oraz położone w bliskim sąsiedztwie, takie jak elektrownia Bełchatów. Udział adwekcji z omawianego sektora wynosi 13,1% dni w roku, a więc w znaczący sposób wpływa ona na warunki aerosanitarnie na tym obszarze.

Zdecydowanie mniejsze stężenie dwutlenku siarki występuje przy adwekcji z kierunków północnych, a w szczególności z północo-zachodu i północo-wschodu. W dniach z adwekcją z tych kierunków średnie stężenie SO₂ w żadnym z omawianych punktów nie przekroczyło wartości średniej w roku na danej stacji, a na stacjach w Ciechanowie, Piotrkowie Trybunalskim i Skierniewicach było nawet dwukrotnie mniejsze. Poprawa stanu aerosanitarnego na wszystkich stacjach w takiej sytuacji jest wynikiem napływu mas powietrza ze słabiej uprzemysłowionych terenów wybrzeża i pojezierzy. W roku łączny udział napływu mas powietrza z sektora północnego jest dość znaczny i wynosi 21,5%, co sprzyja poprawie jakości powietrza na badanym terenie.

Tabela 7. Średnie stężenie SO₂ µg/m³ w środkowej Polsce przy poszczególnych kierunkach adwekcji mas powietrza i ciszach w latach 1993-1999 (0 – cisza)

Miejsce	Ciechanów	Kutno	Łódź	Piotrków T.	Płock	Radom	Skierniewice	Warszawa	Jarczew
Średnia	6,4	9,6	14,6	26,6	9,6	9,6	7,6	19,7	7,2
N	4,7	11,1	8,5	16,8	9,2	9,9	6,8	13,5	6,4
NE	3,1	7,6	12,5	11,7	6,1	7,9	3,4	14,6	3,8
E	6,8	10,7	13,5	19,3	9,5	10,7	7,3	18,3	5,1
SE	6,9	8,7	14,4	10,7	10,6	10,5	8,5	23,1	6,9
S	7,8	8,4	14,6	16,4	11,5	7,4	8,1	37,6	8,6
SW	8,6	9,1	19,2	28,3	11,1	11,2	9,6	23,3	9,5
W	6,5	9,3	17,5	13,8	10,6	8,2	8,7	17,9	9,7
NW	4,3	9,0	12,9	11,9	7,8	9,2	5,8	14,2	6,6
0	7,9	11,8	15,2	9,9	10,2	10,1	9,1	19,2	7,1

Niekorzystny wpływ mas powietrza napływających z kierunków południowych zaznacza się w środkowej Polsce w ciągu całego roku (rys. 6-7). W półroczach chłodnym i ciepłym wpływ adwekcji z innych kierunków ulega pewnym zmianom. Jest to spowodowane różnicą wielkości emisji w obydwu półroczach oraz okresową zmiennością warunków pogodowych. W półroczu chłodnym najbardziej niekorzystne sytuacje powstają przy napływie mas powietrza ze wschodu i południo-wschodu (tab. 8). Wówczas wzrost stężenia SO₂ zauważalny jest w Ciechanowie, Kutnie, Radomiu oraz Skierniewicach. Przyczyną wzrostu stężenia dwutlenku siarki przy adwekcji z wymienionych kierunków może być napływ powietrza polarnego kontynentalnego, które zimą często przynosi silne mrozy. Skutkiem znacznego spadku temperatury jest podwyższona aktywność systemów grzewczych, w tym małych palenisk domowych oraz większych kotłowni i ciepłowni, co powoduje wzmogłą emisję dwutlenku siarki. Wzrost stężenia dwutlenku siarki może być spowodowany także lokalnym oddziaływaniem elektrowni ciepłej w Kozienicach lub – w zachodniej części omawianego obszaru – wpływem aglomeracji warszaw-

skiej. Należy również brać pod uwagę napływ zanieczyszczeń z przemysłowych ośrodków Ukrainy lub Białorusi.

Najkorzystniejsza sytuacja aerosanitarna w półroczu chłodnym występuje przy napływie mas powietrza z północo-zachodu, północo-wschodu oraz południo-zachodu i zachodu. Wówczas na wszystkich punktach pomiarowych koncentracja SO₂ nie przekracza przeciętnej w tym półroczu na danej stacji. Korzystna jest również adwekcja z północy – przeciętne stężenie większe od średniego występuje w takich dniach tylko w Kutnie (taka sytuacja może być wynikiem oddziaływania lokalnych zakładów przemysłowych w Płocku lub Włocławku).

Tabela 8. Średnie stężenie SO₂ (µg/m³) w środkowej Polsce przy poszczególnych kierunkach adwekcji mas powietrza i ciszach w półroczu chłodnym

Miejsce	Ciechanów	Kutno	Łódź	Piotrków T	Płock	Radom	Skierniewice	Warszawa	Jarczew
Średnia	11,0	12,9	23,3	44,5	15,2	11,8	13,5	28,3	10,8
N	9,3	15,9	23,8	44,6	14,4	12,5	13,0	17,8	9,1
NE	8,2	12,1	15,6	44,5	10,2	5,0	8,3	20,5	7,3
E	14,6	15,2	18,6	49,5	16,6	13,4	16,0	30,5	9,1
SE	12,4	12,2	11,2	38,5	17,6	14,3	15,4	31,1	10,9
S	12,6	11,1	14,9	36,0	18,0	9,5	13,9	56,8	11,9
SW	11,9	10,4	22,7	37,0	14,9	12,8	13,6	30,7	11,9
W	9,2	11,3	21,2	38,5	14,5	9,8	12,7	22,7	12,4
NW	7,2	10,5	11,3	43,3	11,4	11,0	9,6	18,7	9,1
0	15,2	19,7	19,9	68,3	18,8	13,8	18,7	29,2	11,6

Półroczcie ciepłe odznacza się mniejszymi wartościami stężenia dwutlenku siarki – kilkakrotnie mniejszymi niż w półroczu chłodnym.

Względnie duża koncentracja SO₂ w ciepłej połowie roku występuje głównie przy adwekcji mas powietrza ze wschodu (tab. 9). Wówczas w miastach położonych w zachodniej części badanego obszaru (Skierniewice, Kutno, Płock) odczuwalny jest negatywny wpływ zakładów przemysłowych usytuowanych na terenie Warszawy – stężenie SO₂ jest wówczas zwykle większe niż przeciętne w tym półroczu na danej stacji. Natomiast w Ciechanowie podwyższona koncentracja SO₂ może być wynikiem napływu zanieczyszczeń z elektrowni w Ostrołęce. Za niekorzystny można też uznać napływ mas powietrza z kierunku południowo-zachodniego, przy którym odczuwalny jest wpływ elektrowni Bełchatów i zakładów GOP na punkty pomiarowe w Łodzi, Skierniewicach oraz Radomiu. Mimo, że energetyka zawodowa działa przez cały rok, to niekorzystny wpływ jest znacznie słabszy w ciepłej połowie roku, ze względu na ograniczenie produkcji energii niezbędnej w systemach grzewczych, ponadto w tym okresie intensywniejsze niż w półroczu chłodnym jest tempo przemian dwutlenku siarki oraz jego usuwanie z atmosfery.

Najlepszy stan aerosanitarny na wszystkich stacjach, podobnie jak i w chłodnej połowie roku, występuje przy napływie mas powietrza z zachodu. Podczas adwekcji z tego kierunku przeciętne stężenie na żadnym z punktów pomiarowych nie przekracza średniego stężenia SO₂ w tym półroczu na danej stacji.

Tabela 9. Średnie stężenie SO₂ (µg/m³) przy poszczególnych kierunkach adwekcji mas powietrza w półroczu ciepłym

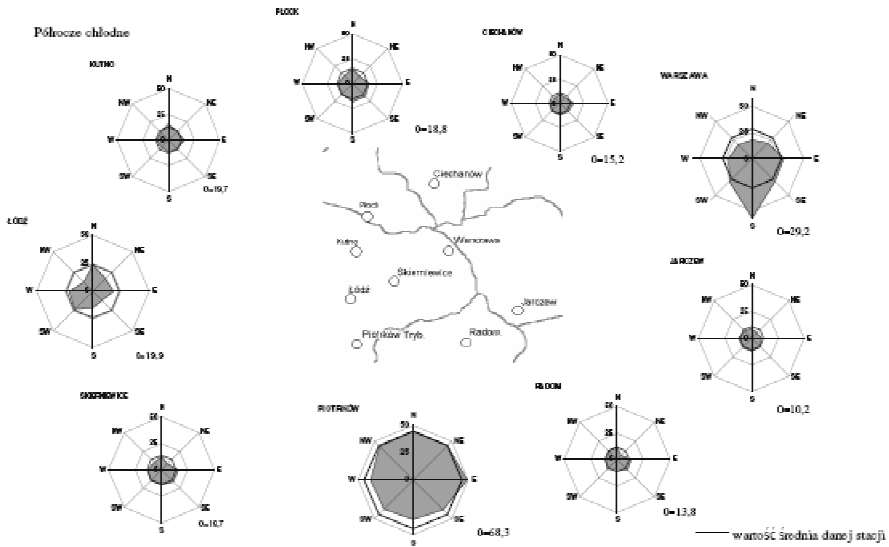
Miejsce	Ciechanów	Kutno	Łódź	Piotrków T	Płock	Radom	Skierniewice	Warszawa	Jarczew
Średnia	1,3	6,3	6,2	8,6	4,1	6,4	2,2	10,5	3,6
N	0,9	8,1	5,6	6,6	5,2	7,5	2,1	10,0	4,0
NE	1,1	6,3	5,2	11,3	4,7	9,0	1,8	12,0	2,4
E	1,6	8,4	5,8	7,2	5,4	9,1	2,5	10,4	2,6
SE	1,3	5,3	6,0	9,7	3,9	6,8	2,2	12,1	3,1
S	1,4	5,4	6,1	11,3	3,7	5,1	1,8	12,4	4
SW	2,4	5,9	9,4	8,7	3,8	8,1	2,6	9,5	5,1
W	1,2	6,4	5,9	8,6	3,6	5,4	1,8	9,4	4,5
NW	1,0	7,5	6,2	7,9	3,6	7,1	2,1	8,9	3,7
0	1,4	6,5	6,3	7,6	3,6	7,4	2,3	10,8	3,7

Ponieważ średnia nie jest charakterystyką wyczerpująco informującą o występujących w danym miejscu wartościach stężenia dwutlenku siarki, dodatkowo posłużono się częstością poszczególnych wartości stężenia SO₂.

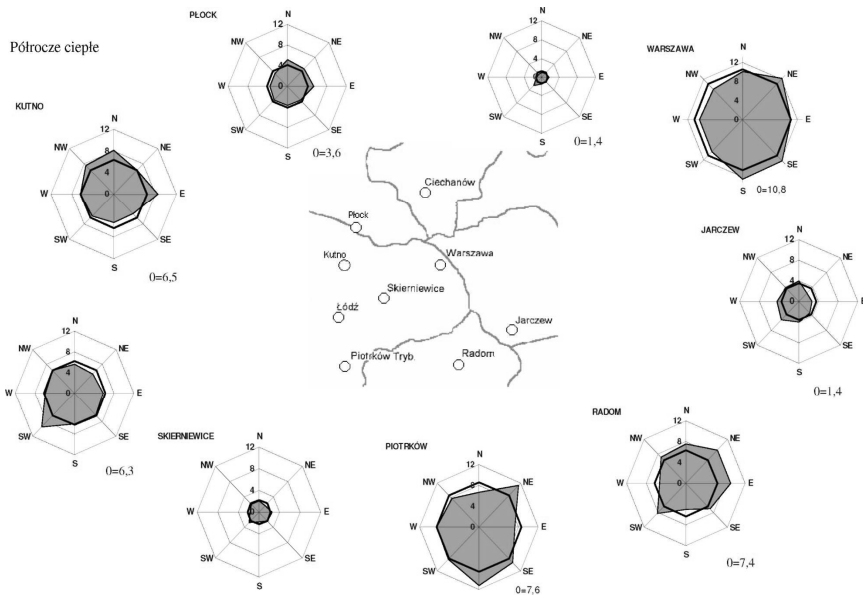
Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że w okresie 1993-1999 przy napływie mas powietrza z sektora południowego (szczególnie przy adwekcji z południo-zachodu) na większości punktów pomiarowych ponad 40% pomiarów wykazuje dość duże stężenie, przekraczające 20 µg/m³. Jedyne w Ciechanowie, Kutnie i Skierniewicach ok. 50% zmierzonych w takiej sytuacji wartości stężenia dwutlenku siarki jest mniejsze niż 5 µg/m³. Ponadto na punktach pomiarowych w Kutnie, Łodzi, Piotrkowie Trybunalskim oraz w Warszawie przy tych kierunkach napływu mas powietrza zdarzały się dni ze stężeniem przekraczającym 150 µg/m³.

Najlepsze warunki aerosanitarnie występują przy adwekcji z północy i północowo-wschodu. W takiej sytuacji małe (tzn. do 5 µg/m³) wartości stężenia dwutlenku siarki pojawiają się częściej na wszystkich stacjach – ich częstość przekracza 50%. Najlepsza sytuacja aerosanitarna cechuje Skierniewice, Ciechanów i Jarczew – tu udział wartości nieprzekraczających 5 µg/m³ wynosi nawet 80%. Rzadziej przy tej sytuacji występuje natomiast stężenie SO₂ przekraczające 20 µg/m³. Częstsze (46,5%) jest ono jedynie w Warszawie – mieście o znaczniejszym zanieczyszczeniu powietrza.

W półroczu chłodnym, niezależnie od kierunku adwekcji mas powietrza, częściej pojawiają się większe wartości stężenia. Pogorszenie jakości powietrza widoczne jest szczególnie przy napływie mas powietrza z południa, południo-zachodu, południo-wschodu i wschodu. Przy adwekcji z tych kierunków znacznie częściej pojawiają się duże wartości stężenia dwutlenku siarki, przekraczające 20 µg/m³ i 50 µg/m³, stosunkowo często występuje również stężenie większe niż 100 µg/m³. Przy napływie powietrza z południo-zachodu i południa na punktach badawczych w Piotrkowie Trybunalskim i Warszawie stężenie dwutlenku siarki w ok. 3% przypadków osiąga wartości przekraczające 150 µg/m³. Z kolei najrzadziej przekroczenie dopuszczalnych norm w tych miastach następowało przy adwekcji z północo-wschodu i południo-wschodu (średnio w 0,9% pomiarów).



Rys. 6. Średnie stężenie SO_2 w poszczególnych punktach pomiarowych przy różnych kierunkach napływu mas powietrza w półroczu chłodnym



Rys. 7. Średnie stężenie SO_2 w poszczególnych punktach pomiarowych przy różnych kierunkach napływu mas powietrza w półroczu ciepłym

W cieplej połowie roku sytuacja ulega poprawie na wszystkich stacjach. Najczęściej występuje stężenie SO_2 równe $0-5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, bardzo rzadko natomiast występuje stężenie

przekraczające $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Jedynie w Warszawie sytuacja jest mniej korzystna, bowiem niezależnie od kierunku napływu mas powietrza ok. 50% pomiarów wykazuje stężenie SO_2 równe $5\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W półroczu ciepłym na żadnej ze stacji nie zostało przekroczone dopuszczalne stężenie SO_2 ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$), rzadko również przekraczana była wartość $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – najczęściej zdarzało się to przy napływie mas powietrza z północo-wschodu.

Największe wartości stężenia dwutlenku siarki w dniach z poszczególnymi kierunkami adwekcji mas powietrza

W celu określenia największych wartości stężenia dwutlenku siarki przy różnych kierunkach adwekcji mas powietrza obliczono percentyl 0,95 w poszczególnych zbiorach danych stężenia SO_2 .

Uzyskane wartości percentyla 0,95 wykazują znaczne zróżnicowanie na analizowanych stacjach oraz przy adwekcji mas powietrza z poszczególnych kierunków. Najwyższą wartością percentyla 0,95 odznacza się Piotrków Trybunalski, gdzie 5% zmierzonych wartości stężenia SO_2 przekracza $124 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W pozostałych punktach pomiarowych wartości percentyla 0,95 wahają się od $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w Jarczewie do $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w Warszawie.

W zbiorach dni z napływem mas powietrza z poszczególnych kierunków na rozpatrywanych stacjach badawczych różnice wartości percentyla 0,95 mogą sięgać od kilku do kilkudziesięciu $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Największe zróżnicowanie charakteryzuje miasta o stosunkowo dużym zanieczyszczeniu powietrza, np. Piotrków Trybunalski czy Warszawę, natomiast na stacjach o dobrych warunkach aerosanitarnych (Ciechanów, Jarczew) wartości percentyla 0,95 są wyrównane (tab. 10).

W półroczu chłodnym największe wartości percentyla 0,95 stężenia dwutlenku siarki na większości stacji wyróżniają dni z adwekcją mas powietrza ze wschodu. Znaczące pogorszenie jakości powietrza przy adwekcji z tego kierunku występuje w Łodzi, gdzie 5% wartości stężenia SO_2 przekracza $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabela 10. Percentyl 0,95 stężenia dwutlenku siarki ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) przy poszczególnych kierunkach napływu mas powietrza w latach 1993-1999

Miejsce	Wartość ogólna	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	0
Ciechanów	27,0	20,6	9,0	28,7	27,0	29,1	30,0	27,9	18,3	31,0
Kutno	35,0	38,2	26,0	37,0	28,5	27,0	30,6	34,6	21,3	47,2
Łódź	46,0	41,8	26,0	50,0	43,8	42,1	52,1	50,0	43,0	49,9
Piotrków Tryb.	124,0	96,2	58,8	86,2	98,5	80,3	101,9	145,5	115,5	195,0
Płock	35,9	31,1	23,0	37,2	36,0	38,7	35,0	40,0	29,2	37,5
Radom	27,0	29,0	19,0	31,0	32,0	27,0	30,4	23,0	25,9	27,5
Skiermiewice	28,0	28,3	11,0	31,3	29,0	27,2	29,0	23,1	23,6	32,2
Warszawa	57,0	31,7	42,4	63,9	62,6	145,0	57,8	47,0	35,0	52,0
Jarczew	20,0	15,4	12,0	18,9	19,0	20,0	21,3	25,8	16,2	22,1

Niekorzystny okazał się także napływ mas powietrza z kierunku południowego – w takich dniach najwyższe wartości stężenia dwutlenku siarki w Warszawie przekroczyły $180,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast w Jarczewie $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ponadto w Warszawie podczas adwekcji z tego kierunku stężenie SO_2 uzyskało największą wartość w tym półroczu – $278 \mu\text{g}/\text{m}^3$

(tab. 11). Nienajlepsze warunki aerosanitarne wystąpiły przy napływie mas powietrza z północy na stacjach w Radomiu i Skierniewicach – wartość percentyla 0,95 wyniosła tu odpowiednio 39,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz 46,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dodatkowo niekorzystny wpływ adwekcji z tego kierunku potwierdza fakt, że w takich dniach stężenie SO_2 osiągnęło największą wartość w Radomiu (89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), a w Piotrkowie Trybunalskim sięgało aż 812 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Z kolei w Piotrkowie percentyl 0,95 osiągnął największą wartość (242,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) przy adwekcji z północo-wschodu.

Zdecydowanie najkorzystniejszy okazał się napływ mas powietrza z kierunku północno-wschodniego. W dniach z adwekcją z tego kierunku wartości percentyla 0,95 na stacjach w Jarczewie, Skierniewicach i Radomiu są najniższe i nie przekraczają 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a w Ciechanowie, Łodzi i Płocku są mniejsze niż 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jedyne w Piotrkowie Trybunalskim, jak wspomniano powyżej, kierunek północno-wschodni zaznaczył się jako wybitnie niekorzystny. Lepsza jakość powietrza na tej stacji występowała, przy adwekcji z południa (percentyl 0,95 = 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). W Warszawie korzystny okazał się kierunek północny, a w Kutnie południowo-wschodni – w takich dniach w obydwu miastach za duże wartości stężenia SO_2 należy uznać te, które przekraczają 33,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabela 11. Percentyl 0,95 stężenia dwutlenku siarki ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) przy poszczególnych kierunkach napływu mas powietrza w półroczu chłodnym w latach 1993-1999

Miejsce	Wartość ogólna	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	0
Ciechanów	34,0	32,7	21,6	40,5	36,8	34,9	34,0	30,0	25,2	39,8
Kutno	44,0	46,5	32,9	52,0	29,9	33,7	36,0	36,0	35,7	62,2
Łódź	56,1	58,5	28,2	60,2	52,4	48,0	56,9	53,0	55,6	62,8
Piotrków Tryb.	184,0	171,9	242,4	179,0	130,2	123,1	129,6	157,8	231,4	151,9
Płock	42,0	31,0	24,8	51,8	42,0	46,0	40,0	43,7	37,0	48,2
Radom	32,0	39,4	19,1	33,5	34,0	29,6	32,0	24,0	33,1	39,6
Skierniewice	38,0	46,4	14,8	44,0	34,4	37,0	32,0	31,1	30,0	51,5
Warszawa	74,7	33,0	53,7	77,8	73,1	180,5	75,4	50,5	44,0	66,0
Jarczew	26,0	26,4	16,6	24,0	25,3	28,0	25,3	27,8	22,0	29,6

W półroczu ciepłym wartości stężenia dwutlenku siarki są znacznie niższe niż w półroczu chłodnym, a 5% największych wartości stężenia dwutlenku siarki na poszczególnych stacjach nie przekracza 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (tab. 12). Największą wartość percentyla 0,95, podobnie jak w półroczu chłodnym, stwierdzono w zbiorach dni z adwekcją ze wschodu – w Kutnie, Płocku oraz Radomiu wyniosła ona ok. 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Niekorzystna okazała się również adwekcja z południo-zachodu, pogorszająca jakość powietrza na trzech stacjach: w Ciechanowie (percentyl = 8,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Łodzi (24,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) w Piotrkowie Trybunalskim (43,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Na pozostałych stacjach, podobnie jak w półroczu chłodnym największa wartość percentyla 0,95 wystąpiła przy napływie mas powietrza z południa (w Warszawie percentyl 0,95 = 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), oraz z zachodu (w Jarczewie percentyl 0,95 = 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Wyraźny spadek zanieczyszczenia powietrza SO_2 zaznacza się przy adwekcji z północy. Jest on wyraźny w Ciechanowie (percentyl 0,95 = 3,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), w Jarczewie (6,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) oraz Piotrkowie Trybunalskim (17,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Najniższe wartości percentyla 0,95 na pozo-

stałych stacjach występują: w Radomiu przy napływie mas powietrza z zachodu ($13,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), w Płocku przy napływie mas powietrza z południa ($9,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$). O zakresie wahań stężenia SO_2 w półroczach chłodnym i ciepłym informuje tab. 13.

Tabela 12. Percentyl 0,95 stężenia SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) przy poszczególnych kierunkach napływu mas powietrza w półroczu ciepłym w latach 1993-1999

Miejsce	Wartość ogólna	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	0
Ciechanów	5,0	3,0	4,7	6,0	5,0	6,0	8,4	4,1	4,0	5,9
Kutno	25,0	28,6	23,9	30,9	18,5	20,6	24,4	23,0	18,4	23,0
Łódź	18,0	16,5	14,0	15,9	18,1	16,6	24,0	18,1	17,0	16,0
Piotrków Tryb.	30,0	17,0	40,4	19,6	38,8	31,8	43,0	27,4	26,0	22,0
Płock	17,8	20,4	20,2	31,1	15,1	9,0	10,0	11,0	11,6	14,5
Radom	22,0	26,2	21,8	27,5	22,0	15,0	20,5	13,8	20,0	22,0
Skiermiewice	7,0	6,0	5,9	10,3	7,0	6,0	8,0	5,0	6,9	6,0
Warszawa	26,0	29,5	23,6	25,0	30,6	35,0	18,9	27,0	21,8	24,6
Jarczew	9,0	10,4	6,1	7,0	7,4	7,6	10,0	11,0	9,0	10,0

Tabela 13. Największe wartości stężenia SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) w półroczu chłodnym i półroczu ciepłym przy adwekcji mas powietrza z poszczególnych kierunków

Półrocze chłodne	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	0
Ciechanów	47	79	63	72	58	44	72	56	76
Kutno	65	39	75	47	58	63	89	112	114
Łódź	103	55	82	117	67	91	127	102	100
Piotrków Tryb.	812	497	416	475	291	554	701	265	393
Płock	62	36	83	91	55	100	59	67	121
Radom	89	15	42	39	52	38	62	48	69
Skiermiewice	67	59	51	117	58	91	52	71	119
Warszawa	125	121	119	278	183	95	107	222	93
Jarczew	38	23	35	40	38	45	38	41	41

Półrocze ciepłe	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	0
Ciechanów	7	8	11	22	13	7	9	19	7
Kutno	49	61	37	30	55	37	38	39	42
Łódź	26	36	39	18	37	31	38	48	45
Piotrków Tryb.	48	160	57	55	78	60	61	62	92
Płock	69	62	56	34	45	56	43	21	48
Radom	34	32	49	34	30	55	25	27	27
Skiermiewice	19	12	16	8	23	6	11	17	17
Warszawa	39	89	47	89	44	35	55	29	44
Jarczew	19	15	12	10	9	17	13	13	22

Średnia koncentracja dwutlenku siarki w dniach z poszczególnymi rodzajami układów barycznych

Przeprowadzona w niniejszej pracy analiza dowiodła, że rodzaj układu barycznego ma istotny wpływ na stężenie dwutlenku siarki. Wyraźnie niekorzystny wpływ na stężenie dwutlenku siarki wywierają antycyklonalne układy baryczne, natomiast przy sytuacjach cyklonalnych koncentracja dwutlenku siarki jest mniejsza (tab. 14).

Tabela 14. Średnie wartości stężenia SO₂ (µg/m³) przy określonych układach barycznych w latach 1993-1999 (a – antycyklonalne, c – cyklonalne, 0 – pozosłe)

Miejsce	Rok				Półroczcie chłodne (X-III)				Półroczcie ciepłe (IV-IX)			
	Śr.	a	c	0	Śr.	a	c	0	Śr.	a	c	0
Ciechanów	6,4	7,3	4,2	6,9	11,0	7,2	13,5	11,9	1,3	1,2	1,2	1,6
Kutno	9,6	11,2	7,3	10,1	12,9	14,6	15,3	8,5	6,3	7,5	6,3	6,6
Łódź	14,6	16,0	12,3	15,3	23,3	25,8	18,2	25,2	6,2	5,5	6,7	6,7
Piotrków Tryb.	26,6	35,1	16,4	26,8	44,5	58,3	25,4	46,5	8,6	8,6	7,6	9,5
Płock	9,6	7,4	10,8	10,5	15,2	17,2	11,0	17,1	4,1	4,1	3,7	4,6
Radom	9,6	10,0	9,2	9,5	11,8	13,4	10,0	11,7	6,4	6,6	8,3	7,5
Skieniewice	7,6	8,4	6,1	9,3	13,5	14,9	15,3	10,3	2,2	2,2	2,0	2,3
Warszawa	19,7	20,6	17,6	20,9	28,3	30,7	24,0	30,1	10,5	9,4	10,7	11,4
Jarczew	7,2	6,3	7,6	8,0	10,8	9,7	10,5	12,5	3,6	2,7	4,6	3,7

Wybitnie niekorzystny wpływ układów wyżowych na zanieczyszczenie powietrza dwutlenkiem siarki zaznacza się w półroczu chłodnym. W tym okresie negatywny wpływ układu antycyklonalnego wiąże się przede wszystkim ze spadkiem temperatury, z częstym występowaniem sytuacji inwersyjnych oraz cisz. Niska temperatura przyczynia się do wzmożonej aktywności lokalnych kotłowni, ciepłowni oraz palenisk domowych, a co za tym idzie do wzrostu emisji SO₂, która przy utrudnionej wymianie powietrza powoduje wzrost koncentracji związków siarki. Ponadto układ antycyklonalny charakteryzuje się prądami zstępującymi, powodującymi osiadanie powietrza oraz zanieczyszczeń przemieszczonych wraz z nim ze źródeł emisji położonych daleko od granic analizowanego obszaru.

Natomiast najkorzystniejsze warunki, sprzyjające wynoszeniu zanieczyszczeń wykształcają się podczas panowania układów cyklonalnych, bowiem wiatr o znacznej prędkości, intensywne ruchy turbulencyjne oraz występowanie prądów wstępujących zmniejszają koncentrację szkodliwych związków przy gruncie. Także opady, które często występują przy tym rodzaju układu barycznego sprzyjają oczyszczaniu atmosfery.

Z przeprowadzonych w niniejszej pracy analiz wynika, że przy sytuacjach wyżowych w półroczu chłodnym na większości punktów badawczych średnie stężenie dwutlenku siarki było większe od średniego stężenia w tym półroczu na danej stacji o 2-3 µg/m³ (Radom – 13,4 µg/m³, Płock – 17,2 µg/m³). W Piotrkowie Trybunalskim ta różnica sięgała aż 14 µg/m³ (średnie stężenie SO₂ przy panowaniu układów antycyklonalnych wyniosło tu 58,3 µg/m³). Jedynie Ciechanów i Jarczew, miejsca o najmniejszej emisji SO₂, odznaczyły się w takich dniach niewielkim, mniejszym od średniego, zanieczyszczeniem powietrza. Ponadto warto zwrócić uwagę na fakt, że na połowie punktów badawczych stę-

żenie dwutlenku siarki osiągało najwyższe wartości zanotowane w badanym okresie właśnie przy sytuacjach wyżowych (np. w Łodzi – 127 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Piotrkowie Trybunalskim – 812 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Skierniewicach – 119 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Na większości stacji badawczych wyraźnie zaznacza się korzystny wpływ układów cyklonalnych w półroczu chłodnym. Jedynie w Ciechanowie, Kutnie i Skierniewicach sytuacja aerosanitarna w takich dniach była niekorzystna, bowiem przeciętne wartości dwutlenku siarki były większe, tzn. przekraczały średnią na danej stacji o ok. 2-3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Półroczne ciepłe charakteryzuje się mniejszymi wartościami stężenia na wszystkich stacjach, a sytuacja aerosanitarna jest dobra na większości stacji, niezależnie od utrzymującego się układu barycznego. Wynika to z faktu, że ze względu na odmienne warunki pogodowe negatywny wpływ antycyklonalnych układów barycznych jest łagodniejszy. W półroczu ciepłym, podobnie jak i w chłodnym, układ ten charakteryzuje się niewielkim zachmurzeniem, co umożliwia szybsze nagrzewanie się powierzchni i wzrost konwekcji, a to powoduje krótszy czas utrzymywania się warstwy inwersyjnej. Są to warunki sprzyjające wytworzeniu się równowagi chwiejnej, ułatwiającej wynoszenie zanieczyszczeń z przygruntowej warstwy atmosfery. Dlatego też w tym okresie między układem cyklonalnym a antycyklonalnym brak wyraźnego kontrastu w średnich wartościach stężenia SO_2 .

Aby lepiej poznać warunki aerosanitarnie panujące na terenie środkowej Polski obliczono częstość występowania poszczególnych wartości stężenia dwutlenku siarki przy poszczególnych rodzajach układu barycznego.

Analiza rozkładu częstości dowodzi, iż w analizowanym wieloleciu wyraźnie zarysowuje się niekorzystny wpływ sytuacji antycyklonalnych na stężenie dwutlenku siarki. Podczas utrzymywania się tego rodzaju układu barycznego na wszystkich stacjach wzrasta udział większych wartości stężenia, tzn. przekraczających 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ich częstość niejednokrotnie przekracza 15% (Kutno), a nawet 24% (Warszawa). Na większości punktów badawczych w takich dniach rzadziej występuje natomiast małe stężenie SO_2 , nieprzekraczające 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jedynie w Ciechanowie i Skierniewicach układ wyżowy zaznacza się jako korzystniejszy – częstość występowania stężenia mniejszego 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ przekracza wówczas 60% pomiarów. Ponadto częściej niż przy układach cyklonalnych występuje stężenie większe niż 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, w szczególności w Kutnie, Łodzi, Piotrkowie Trybunalskim oraz w Warszawie. Ponadto warto również zauważyć, iż na pozostałych stacjach sytuacja aerosanitarna jest dobra i rzadko przekraczane jest stężenie 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Z kolei wcześniej dowiedzione korzystne oddziaływanie cyklonalnych układów barycznych przejawia się w zwiększonym udziale mniejszych wartości stężenia SO_2 , poniżej 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ich częstość w ciągu roku w Warszawie, Płocku oraz Łodzi przekracza 55%, zaś w Ciechanowie i Jarczewie, ze względu na niewielką emisję SO_2 , nawet 70%. Jednakże utrzymujące się układy niżowe nie poprawiają jakości powietrza na wszystkich stacjach. Wyraźnie jako niekorzystne zaznaczają się w Kutnie i Skierniewicach. W dniach z układami cyklonalnymi udział stężenia do 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w Skierniewicach nie przekracza 40%, a w Kutnie osiąga zaledwie 17,5%. Większa, bo przekraczające 47%, jest wówczas frekwencja stężenia przekraczającego 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Analiza obydwu półroczy wykazała różnice w oddziaływaniu układów barycznych na stężenie SO_2 na terenie środkowej Polski.

W półroczu chłodnym różnica w średnim stężeniu dwutlenku siarki podczas panowania poszczególnych układów barycznych zaznacza się bardzo wyraźnie. Podobnie jak wcześniejsza analiza wartości średnich, także ta część opracowania wskazuje, że zdecydowanie niekorzystny jest układ antycyklonalny. Powoduje on pogorszenie jakości powietrza na niemal wszystkich stacjach – w czasie jego występowania najczęściej pojawia się stężenie SO_2 przekraczające $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – sytuacje takie stanowią 30-50% obserwacji. Ponadto częściej występują wartości stężenia SO_2 przekraczające $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dotyczy to szczególnie Piotrkowa Trybunalskiego (6,5% obserwacji) i Warszawy (1,4%). Rzadszym występowaniem charakteryzują się mniejsze wartości stężenia (poniżej $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) – w półroczu chłodnym rzadko ich częstość przekracza 30%, a w Łodzi i Warszawie osiąga ona zaledwie 6,5%.

Z kolei utrzymywanie się cyklonalnych układów barycznych w półroczu chłodnym wybitnie sprzyja wynoszeniu zanieczyszczeń. Dlatego też częstość występowania małych wartości stężenia, nieprzekraczających $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, wynosi od 37% w Radomiu do 79% w Jarczewie. Częstość tak małych wartości stężenia nie spada zwykle poniżej 30%, wyjątek stanowią jedynie Warszawa (5,5%) i Łódź (13,8%). Ponadto rzadko występuje stężenie powyżej $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lub $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Takie wartości pojawiają się podczas panowania zarówno układu antycyklonalnego, jak i cyklonalnego w Kutnie, Piotrkowie Trybunalskim oraz Warszawie.

W półroczu ciepłym niezależnie od utrzymującego się układu barycznego dominują małe (do $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wartości stężenia SO_2 . Sprzyjają temu lepsze warunki pogodowe. Udział małych wartości na większości stacji nie spada poniżej 50%, a w Ciechanowie, Jarczewie czy Skierniewicach – miastach o niewielkim zanieczyszczeniu powietrza – przekracza nawet 90%. Wyjątek stanowi Warszawa (30%). Pozytywny jest również fakt, że w tym okresie większe wartości, przekraczające $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, wystąpiły jedynie Piotrkowie Trybunalskim, Płocku i Warszawie.

Wpływ układów barycznych na koncentrację dwutlenku siarki w środkowej Polsce

W literaturze naukowej dowiedziono, iż układy baryczne w istotny sposób wpływają na koncentrację zanieczyszczeń. Każdy z układów barycznych charakteryzuje się swoistymi warunkami solarnymi, wiatrowymi oraz opadowymi, co odgrywa ogromną rolę w kształtowaniu warunków aerosanitarnych.

Powszechnie za niekorzystne uważa się występowanie układów antycyklonalnych w półroczu chłodnym, bowiem sprzyjają one tworzeniu się termicznych warstw hamujących, czego konsekwencją jest zwiększona koncentracja zanieczyszczeń w przygruntowej warstwie atmosfery. Z kolei w półroczu ciepłym utrzymujące się układy wysokiego ciśnienia sprzyjają turbulencyjnej wymianie powietrza w następstwie szybkiego nagrzewania się powierzchni gruntu w ciągu dnia, dlatego też nie dochodzi wtedy zwykle do nadmiernej koncentracji zanieczyszczeń.

Dobre warunki do wymiany powietrza przez cały rok stwarzają układy cyklonalne, bowiem poprzez występowanie prądów wstępujących korzystnie wpływają na wynoszenie zanieczyszczeń z przygruntowej warstwy atmosfery.

Aby przedstawić wpływ rodzaju układu barycznego na koncentrację dwutlenku siarki w środkowej Polsce w latach 1993-1999 obliczono średnie wartości stężenia SO_2 pod-

czas panowania poszczególnych rodzajów układu barycznego, posłużono się również częstością różnych wartości stężenia SO_2 oraz funkcją percentyla 0,95. Przedstawionych charakterystyk statystycznych użyto w odniesieniu do całego okresu badawczego oraz półroczy.

Udział układów barycznych w kształtowaniu pogody w środkowej Polsce w latach 1993-1999

W analizowanym siedmioletnim okresie nad obszarem Polski zaznaczała się przewaga częstości antycyklonalnych układów barycznych. Ich udział w ciągu roku wyniósł 36,8%, zaś udział układów cyklonalnych 32,2%. Przewaga układów antycyklonalnych była wyraźniejsza w półroczu chłodnym – ich udział wyniósł wówczas 38,1%. Największe wartości stężenia dwutlenku siarki w dniach z poszczególnymi rodzajami układu barycznego

W celu określenia najwyższych wartości stężenia dwutlenku siarki występujących przy poszczególnych rodzajach układu barycznego posłużono się funkcją percentyla 0,95. Ponadto, aby lepiej podkreślić wpływ poszczególnych układów barycznych, przeanalizowano największe zmierzone wartości stężenia SO_2 (tab. 15). W półroczu chłodnym na wszystkich analizowanych stacjach podczas panowania sytuacji antycyklonalnych największe wartości stężenia dwutlenku siarki są znaczne. Najbardziej niekorzystny wpływ układów wyżowych zaznacza się w Piotrkowie Trybunalskim, gdzie 5% wartości stężenia SO_2 przekracza $249 \mu\text{g}/\text{m}^3$, podczas gdy w układach cyklonalnych wartość percentyla 0,95 wynosi tylko $92,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Również dużymi wartościami rozpatrywanej charakterystyki na tle pozostałych miast odznacza się Warszawa. Percentyl 0,95 wynosi tu $77,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ przy sytuacjach antycyklonalnych i $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ przy sytuacjach cyklonalnych. W Kutnie i Łodzi podczas panowania sytuacji antycyklonalnych 5% przypadków stężenia SO_2 przekracza $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, podczas gdy przy sytuacjach cyklonalnych wartość percentyla 0,95 jest znacznie mniejsza (Kutno – $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Łódź – $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Najniższe wartości percentyla 0,95 podczas panowania sytuacji cyklonalnych odnoszą się do Ciechanowa ($19 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i Jarczewa ($20,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) – miejsc o stosunkowo małym zanieczyszczeniu powietrza.

Rozpatrując największe zanotowane wartości stężenia dwutlenku siarki w analizowanym okresie obserwacyjnym zauważono, że największymi wartościami wyróżniał się Piotrków Trybunalski. Największe, niezwykle duże stężenie SO_2 , zostało zmierzone podczas panowania sytuacji wyżowej w półroczu chłodnym i wyniosło $812 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Największe stężenie SO_2 w Piotrkowie podczas panowania sytuacji niżowej wynosiło $214 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Duże wartości stężenia SO_2 odnotowano również w Warszawie: $273 \mu\text{g}/\text{m}^3$ podczas panowania układów antycyklonalnych oraz $237 \mu\text{g}/\text{m}^3$ przy układach cyklonalnych. Na pozostałych punktach pomiarowych największe wartości zostały zmierzone także podczas panowania układów wysokiego ciśnienia, co po raz kolejny dowodzi ich niekorzystnego wpływu na jakość powietrza. Jednak w żadnym z tych przypadków dopuszczalne stężenie nie zostało przekroczone.

W półroczu ciepłym zróżnicowanie wartości percentyla 0,95 nie zaznacza się tak wyraźnie, bowiem stężenie dwutlenku siarki w powietrzu jest znacznie mniejsze i mniej zróżnicowane. Niekorzystny wpływ układów cyklonalnych zaznaczył się stacjach w Łodzi (wartość percentyla 0,95 wyniosła $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Piotrkowie Trybunalskim ($24 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Radomiu ($19 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i Jarczewie ($7 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Na wymienionych stacjach różnice w wartości percentyla 0,95 w odniesieniu do dni z sytuacjami cyklonalnymi i antycyklonalnymi wyniosły ok.

4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jedynie w Kutnie wyraźnie niekorzystny okazał się układ antycyklonalny – 5% przypadków stężenia SO_2 przekroczyło tu 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, podczas gdy przy układach niżowych wartość percentyla była o 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mniejsza. Na pozostałych stacjach różnica między układem cyklonalnym i antycyklonalnym nie zaznaczyła się lub była bardzo niewielka.

Tabela 15. Percentyl 0,95 stężenia SO_2 w ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) przy poszczególnych układach barycznych w latach 1993-1999 (a – antycyklonalne, c – cyklonalne, 0 – pozostałe)

Miejsce	Rok			Półrocze chłodne			Półrocze ciepłe		
	a	c	0	a	c	0	a	c	0
Ciechanów	32	17	28	39	19	36	5	5	6
Kutno	38	24	37	53	29	45	30	20	24
Łódź	52	37	50	58	46	57	16	18	18
Piotrków Tryb.	169	73	123	249	92	190	24	27	123
Płock	38	24	28	45	28	44	16	14	20
Radom	32	26	26	41	27	29	19	23	24
Skierniewice	30	21	29	43	28	40	6	7	6
Warszawa	66	43	58	77	53	89	25	25	29
Jarczew	18	18	26	28	20	32	7	11	9

Z analizy najwyższych zanotowanych wartości stężenia dwutlenku siarki wynika, iż w półroczu ciepłym podczas panowania układu antycyklonalnego względnie duże wartości zmierzono jedynie w Ciechanowie (13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Piotrkowie Trybunalskim (160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Płocku (62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) oraz Skierniewicach (23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Dopuszczalna wartość została przekroczona jedynie w Piotrkowie Trybunalskim. Z kolei w Kutnie (61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Łodzi (48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) oraz Jarczewie (22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) największe wartości zostały zmierzone podczas panowania układów cyklonalnych. Na pozostałych dwóch stacjach nie było różnicy między największymi wartościami SO_2 zmierzonymi w czasie panowania układów niskiego i wysokiego ciśnienia. Dlatego też w półroczu ciepłym nie można jednoznacznie wyodrębnić układu barycznego, który można uznać jako wybitnie niekorzystny.

Wpływ typu cyrkulacji atmosferycznej na stężenie dwutlenku siarki w środkowej Polsce

Na podstawie dotychczas przeprowadzonej w niniejszej pracy analizy można stwierdzić, że na warunki aerosanitarne w środkowej Polsce, silny wpływ wywiera zarówno kierunek adwekcji mas powietrza, jak i rodzaj układu barycznego. Dlatego warto ocenić w jakim stopniu jakość powietrza na tym obszarze zależy od typu cyrkulacji atmosferycznej, określanego przez połączenie wyżej wymienionych elementów.

W celu określenia wpływu cyrkulacji atmosferycznej na stężenie dwutlenku siarki na terenie środkowej Polski obliczono średnie wartości stężenia dwutlenku siarki podczas panowania poszczególnych typów cyrkulacji atmosferycznej. Ponadto określono częstości poszczególnych wartości stężenia SO_2 , a także użyto funkcji percentyla 0,95, aby wyodrębnić grupę dni o dużych wartościach stężenia dwutlenku siarki. Obliczeń dokonano w odniesieniu do całego okresu badawczego oraz do półroczy (tab. 16).

Tabela 16. Największe wartości stężenia SO₂ (µg/m³) występujące podczas utrzymywania się poszczególnych układów barycznych na terenie środkowej Polski w latach 1993-1999 (a – antycyklonalne, c – cyklonalne, 0 – pozostałe)

Miejsce	Półrocze chłodne			Półrocze ciepłe		
	a	c	0	a	c	0
Ciechanów	72	51	79	13	10	22
Kutno	114	105	73	42	61	55
Łódź	127	102	103	38	48	45
Piotrków Tryb.	812	214	554	160	59	92
Płock	100	121	74	62	56	69
Radom	69	36	89	34	34	49
Skierniewice	119	71	117	23	19	16
Warszawa	273	237	278	89	89	72
Jarczew	45	40	45	17	22	19

Udział poszczególnych typów cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu pogody w środkowej Polsce w latach 1993-1999

Typy cyrkulacji atmosferycznej według klasyfikacji J. Lityńskiego występują w środkowej Polsce z różną częstością. Niektóre z nich pojawiają się rzadko. W latach 1993-1999 liczba dni z niektórymi typami cyrkulacji była mniejsza niż 100. Z tego powodu postanowiono połączyć sytuacje pokrewne w grupy. Łączono typy o takim samym rodzaju układu barycznego i podobnym kierunku adwekcji. Umożliwiło to uzyskanie 13 grup typów cyrkulacji (tab. 17).

W badanym siedmioletnim okresie największym udziałem wyróżniał się typ Wc-NWc (9,9% dni). Często również pojawiał się typ Ea-SEa (8,6%) oraz Sc-SWc (8,6%). Najrzadziej pojawiał się typ Ec-SEc (4,3%), bardzo małą częstością występowania charakteryzowało się także centrum cyklonu 0a (6,5%).

W półroczu chłodnym największą frekwencją charakteryzował się typ Wc-NWc (12,1%) oraz Sc-SWc (11,2%), najrzadziej zaś pojawiał się typ Ec-SEc (2,6%). Z kolei półrocze ciepłe charakteryzował największy udział typu W0-NW0 (11,5%) oraz typu Na-NEa (9,2%). Natomiast najrzadziej nad środkową Polską pojawiała się cyrkulacja Sa-SWa oraz centrum cyklonu 0a (1,8%).

Średnia koncentracja dwutlenku siarki w dniach z poszczególnymi typami cyrkulacji atmosferycznej

Z przeprowadzonych w niniejszej pracy badań wynika, że w latach 1993-1999 największe wartości stężenia dwutlenku siarki w środkowej Polsce występują przy sytuacjach antycyklonalnych.

Poza tym szczególnie duże zanieczyszczenie powietrza SO₂ zauważono podczas adwekcji mas powietrza z południo-wschodu lub południo-zachodu. Dlatego też średnie stężenie przekraczające przeciętne na danej stacji wystąpiło na wszystkich punktach pomiarowych podczas panowania typów cyrkulacji Ea-SEa oraz Sa-SWa. Niekorzystny wpływ Sa-SWa szczególnie uwidacznia się w Ciechanowie, gdzie średnie stężenie wyniosło 9,5 µg/m³, Skierniewicach (9,6 µg/m³), Warszawie (30,2 µg/m³), Płocku (13,3 µg/m³) oraz Łodzi (19,1 µg/m³). Średnie stężenie SO₂ w dniach z tymi typami cyrkulacji na każdej z wymienionych stacji było większe od przeciętnego w danym punkcie o 3 µg/m³ (Cie-

chanów) do $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Warszawa). Natomiast warunki aerosanitarne na wszystkich stacjach w znacznym stopniu poprawia adwekcja mas powietrza z północo-wschodu i północo-zachodu, niezależnie od występującego układu barycznego. W dniach z typami Na-NEa, Wa-NWa, Nc-NWc, Wc-NWc średnie stężenie dwutlenku siarki na każdej ze stacji było niższe od przeciętnego o ok. $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabela 17. Udział (w %) typów cyrkulacji w kształtowaniu pogody w środkowej Polsce w latach 1993-1999

	Rok	Półrocze chłodne	Półrocze ciepłe
Ea – SEa	8,6	9,1	7,8
Sa – SWa	7,1	9,4	4,7
Wa – Nwa	7,7	8,0	7,4
Na – NEa	7,0	4,7	9,2
Ec – SEc	4,3	2,6	5,7
Sc – SWc	8,6	11,2	6,4
Wc – NWc	9,9	12,1	8,5
Nc – NEc	6,3	4,8	7,3
E ₀ – SE ₀	6,0	4,8	7,0
S ₀ – SW ₀	5,2	5,8	5,0
W ₀ – NW ₀	9,1	7,1	11,5
N ₀ – NE ₀	4,8	3,2	6,4
0a-0c-0 ₀	15,1	17,3	12,8

W półroczach wpływ wywierany przez poszczególne sytuacje ulegał pewnym zmianom. W półroczu chłodnym najbardziej niekorzystnym typem cyrkulacji atmosferycznej okazał się Ea-SEa. Wyż nad wschodnią częścią Europy powoduje napływ suchego i zimnego powietrza, dlatego też podczas występowania tego rodzaju sytuacji stężenie dwutlenku siarki wzrasta na większości stacji średnio o $2-4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W czasie adwekcji z tego samego sektora, lecz przy sytuacji cyklonalnej jakość powietrza jest znacznie lepsza. Wynika to z faktu, iż pogoda w dniach z układem cyklonalnym sprzyja opadom i wymywaniu zanieczyszczeń oraz nie powoduje tak znacznego spadku temperatury jak pogoda w dniach z układem antycyklonalnym.

Wiąże się to bezpośrednio ze spadkiem aktywności ciepłowni, elektrociepłowni oraz lokalnych systemów grzewczych.

Pogorszenie stanu aerosanitarne następowało również przy typie Sa-SWa. Adwekcja z południa i południo-zachodu – terenów gdzie mieszczą się większe ośrodki przemysłowe – powodowała wzrost średniego stężenia dwutlenku siarki w Łodzi, Płocku, Warszawie oraz Ciechanowie. Średnie stężenie przy tym typie wyniosło w Łodzi $25,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Płocku $18,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Warszawie $34,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz Ciechanowie $14,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i było większe od przeciętnego w tych miejscach o ok. $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ponadto na prawie wszystkich punktach pomiarowych wzrost stężenia dwutlenku siarki następował przy typie Wa-NWa. Ten niekorzystny wpływ nie zaznaczył się jedynie na punktach badawczych w Skierniewicach oraz Warszawie (w Warszawie doskonałą ochro-

nę przed napływem zanieczyszczonego powietrza z zachodu stanowi duży kompleks leśny Puszczy Kampinoskiej).

Wyraźna poprawa stanu aerosanitarnego następowała w dniach z panowaniem układów cyklonalnych przy adwekcji z zachodu i północo-zachodu (Wc-NWc). Wówczas średnie stężenie było mniejsze na wszystkich stacjach, w Piotrkowie Trybunalskim nawet o $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dobrą jakością powietrza charakteryzowały się także dni z adwekcją mas powietrza z północy i północo-wschodu, niezależnie od sytuacji barycznej panującej w tym okresie.

Z kolei w półroczu ciepłym o koncentracji zanieczyszczeń decyduje głównie adwekcja mas powietrza, bowiem z wpływu układu barycznego jest w tym okresie nieznaczny. Wzrost stężenia dwutlenku siarki na większości stacji następuje w dniach z typem cyrkulacji Sc-SWc, co zapewne wynika z wpływu zakładów przemysłowych położonych w południowej części kraju. Dodatkowo jako niekorzystny zaznaczył się typ Ec-SEc, powodując zwiększoną koncentrację SO_2 w Łodzi, Warszawie, Radomiu i Jarczewie. Za przyczynę tego stanu można uznać napływ zanieczyszczeń emitowanych przez elektrownię w Kozienicach.

Analiza częstości średnich dobowych wartości SO_2 dowodzi, że na wszystkich stacjach niezależnie od kierunku napływu mas powietrza niekorzystna sytuacja aerosanitarna występuje podczas panowania sytuacji antycyklonalnych. Typy antycyklonalne cechuje rzadsze występowanie mniejszych wartości stężenia dwutlenku siarki, tzn. nieprzekraczających $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Frekwencja małych wartości przy typach Ea-SEa, Sa-SWa, Wa-NWa, Na-NEa na większości stacji nie przekracza 50%, a w Łodzi, Piotrkowie Trybunalskim oraz Warszawie nie przekracza nawet 40%. Częstsze są natomiast większe wartości, przekraczające $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a nawet $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – ich udział na wszystkich stacjach przekracza 50%. Przy typie Sa-SWa pojawia się nawet stężenie SO_2 większe niż $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na stacjach w Łodzi (0,6%), Piotrkowie Trybunalskim (3,5%), Skierniewicach (0,7%) i Warszawie (1,9%). Mniejszy udział dużych wartości stężenia SO_2 podczas panowania sytuacji antycyklonalnych zauważalny jest przy typie cyrkulacji Na-NEa – częściej wówczas występują małe wartości stężenia (do $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), głównie na stacjach w Ciechanowie (78%), Płocku (64%), Skierniewicach (80%). Z kolei sytuacje cyklonalne ogólną powodują poprawę warunków aerosanitarnych. Przyczyniają się do tego głównie typy cyrkulacji Ec-SEc, Wc-NWc oraz Nc-NEc.

W półroczu chłodnym na wszystkich stacjach zmniejsza się udział małego stężenia dwutlenku siarki, natomiast częściej pojawia się stężenie o większych wartościach. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż niemal wszystkie antycyklonalne typy cyrkulacji atmosferycznej powodują wzrost stężenia dwutlenku siarki.

Za typ szczególnie niekorzystny można uznać Ea-SEa. Dni, w których wystąpił ten typ charakteryzują się dużym udziałem wartości stężenia SO_2 przekraczających $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na większości stacji udział ten wynosi ok. 50%, a w Łodzi i Piotrkowie Trybunalskim oraz Warszawie nawet ponad 80%. Dodatkowo na stan aerosanitarny niekorzystnie wpływa typ Ea-SEa – w czasie jego panowania widoczny jest większy udział dużych wartości stężenia SO_2 . Podobna sytuacja występowała przy panowaniu układów zerowych. Z kolei typy cyklonalne wpływają na poprawę jakości powietrza na wszystkich punktach badawczych, z wyjątkiem Jarczewa. Szczególnie dobra sytuacja aerosanitarna występuje przy typie Wc-NWc. Panowanie tego typu cyrkulacji powoduje, że wzrasta udział warto-

ści stężenia dwutlenku siarki nieprzekraczających $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W Ciechanowie, Kutnie i Radomiu ich udział przekracza nawet 50%. Ponadto należy podkreślić, że przy typach cyklonalnych stężenie dwutlenku siarki przekracza $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ jedynie w niektórych dniach w Kutnie, Łodzi, Piotrkowie Trybunalskim oraz Płocku, a przekroczenie dopuszczalnej normy prawnej $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nastąpiło tylko na stacji w Piotrkowie Trybunalskim.

Półrocze ciepłe powoduje poprawę stanu aerosanitarnego na wszystkich stacjach. Przejawia się to w zwiększonym udziale małych wartości stężenia dwutlenku siarki, które stanowią ponad 50%, a w Ciechanowie, Radomiu, Skierniewicach oraz Jarczewie nawet 70%. Tylko w Piotrkowie Trybunalskim, Płocku, Radomiu i Warszawie stężenie przekraczało czasami $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, najczęściej przy typie Sa-SEa. Generalnie podczas panowania wszystkich sytuacji synoptycznych na wszystkich stacjach panują dobre warunki aerosanitarnie, jednakże jako bardziej niekorzystny wskazać można typ o charakterze zerowym z adwekcją z południa i południo-zachodu (S0-SW0). Przy tym typie cyrkulacji wzrastał udział większych (przekraczających $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, rzadziej $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wartości stężenia dwutlenku siarki w Kutnie, Łodzi, Piotrkowie Trybunalskim, Radomiu oraz Warszawie.

W celu wskazania typów cyrkulacji atmosferycznej niekorzystnie wpływających na stan aerosanitarny w środkowej Polsce obliczono percentyl 0,95 w zbiorach stężenia SO_2 w dniach z poszczególnymi typami cyrkulacji atmosferycznej. Ponadto wyróżniono typy cyrkulacji, przy których stężenie dwutlenku siarki było największe oraz przekroczyło dopuszczalne normy prawne. Średnie wartości stężenia SO_2 przy różnych typach cyrkulacji podano w tab. 18.

Analiza największych zanotowanych wartości wykazała, iż do przekroczenia dopuszczalnych norm prawnych ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) w półroczu chłodnym dochodziło jedynie w Piotrkowie Trybunalskim przy prawie wszystkich typach cyrkulacji oraz Warszawie przy adwekcji z południa i południo-zachodu (niezależnie od panującego układu barycznego), a także przy adwekcji ze wschodu i południo-wschodu (przy układach antycyklonalnych i zerowych).

Zbiór wartości stężenia SO_2 z półrocza ciepłego charakteryzuje się znacznie mniejszymi wartościami percentyla 0,95 niż z półrocza chłodnego. Największe wartości występowały przy sytuacjach adwekcyjnych o charakterze zerowym. Za szczególnie niekorzystny należy uznać typ S0-SW0. Podczas panowania takiej sytuacji wartości percentyla 0,95 są względnie duże w Ciechanowie ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Łodzi ($23 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Piotrkowie Trybunalskim ($49 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oraz Płocku ($49 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Jako drugi niekorzystny zaznacza się również układ zerowy, ale z adwekcją ze wschodu i południo-wschodu. Jego wpływ uwidocznił się w Radomiu (percentyl 0,95 $\rightarrow 30,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Skierniewicach ($10,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Warszawie ($36,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i Jarczewie ($12,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Natomiast najlepsze warunki aerosanitarnie zaznaczają się, w przeciwieństwie do półrocza chłodnego podczas panowania sytuacji antycyklonalnej przy adwekcji z zachodu i północo-zachodu. W Ciechanowie Piotrkowie Trybunalskim, Płocku Skierniewicach oraz Jarczewie jako najkorzystniejszy zaznacza się typ cyrkulacji Wa-NWa – wartości percentyla 0,95 SO_2 w tych dniach wyniosły odpowiednio $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $3,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W półroczu ciepłym do przekroczenia dopuszczalnych norm prawnych doszło jedynie w Piotrkowie Trybunalskim przy typie cyrkulacji Na-NEa. Największe stężenie SO_2 przy różnych typach cyrkulacji podano w tab. 19.

Tabela 18. Średnie wartości stężenia SO₂ (µg/m³) w dniach z poszczególnymi typami cyrkulacji atmosferycznej w latach 1993-1999 (rok i półroczu)

Rok	Ciechanów	Kutno	Łódź	Piotrków Tryb.	Płock	Radom	Skierniewice	Warszawa	Jarczew
Ea-SEa	9,1	10,6	15,9	32,2	12,5	10,9	9,8	23,5	8,0
Sa-SWa	9,5	10,4	19,1	26,9	13,3	9,7	9,6	30,2	6,6
Wa-NWa	7,2	12,6	17,6	42,0	10,7	10,6	7,5	16,6	7,3
Na-NEa	3,8	9,0	9,4	24,0	6,1	8,2	4,8	13,0	5,9
Ec-SEc	3,5	7,2	8,8	13,8	12,0	10,7	4,6	17,3	6,2
Sc-SWc	6,9	6,4	16,2	25,2	11,9	10,5	8,6	24,7	9,6
Wc-NWc	2,9	6,3	11,0	12,5	9,8	7,9	4,9	14,1	7,2
Nc-NEc	3,1	9,7	12,1	14,9	9,8	7,9	4,9	14,1	6,5
E ₀ -SE ₀	5,9	9,8	14,4	19,2	9,7	10,1	8,0	20,6	7,7
S ₀ -SW ₀	8,9	10,9	17,0	27,7	12,5	8,7	9,0	33,6	8,1
W ₀ -NW ₀	6,2	9,2	16,5	30,1	10,4	8,1	9,3	17,1	8,8
N ₀ -NE ₀	5,4	10,2	13,2	32,5	10,1	9,8	5,2	17,3	5,2

Półroczne chłodne	Ciechanów	Kutno	Łódź	Piotrków Tryb.	Płock	Radom	Skierniewice	Warszawa	Jarczew
Ea-SEa	14,8	13,5	25,1	49,0	18,6	15,6	9,8	34,9	11,4
Sa-SWa	14,4	13,5	26,1	38,3	19,1	11,8	9,6	41,3	8,2
Wa-NWa	12,5	15,5	27,5	71,9	17,2	13,2	7,5	23,5	11,2
Na-NEa	8,9	13,4	20,0	52,0	10,8	11,6	4,8	17,7	10,2
Ec-SEc	8,8	11,5	13,9	33,3	10,1	15,1	4,6	28,3	10,1
Sc-SWc	9,5	7,1	21,3	33,6	12,1	12,1	8,6	32,4	12,4
Wc-NWc	4,4	6,2	14,7	16,4	8,4	7,9	4,9	17,0	10,1
Nc-NEc	5,9	13,9	21,4	26,0	11,7	8,5	5,7	17,3	11,6
E ₀ -SE ₀	9,4	13,5	26,1	33,2	18,1	10,5	8,0	29,7	12,3
S ₀ -SW ₀	13,4	13,3	23,6	41,0	18,6	10,8	9,0	51,9	11,8
W ₀ -NW ₀	80,4	12,4	24,0	44,1	14,2	11,5	9,3	22,3	11,2
N ₀ -NE ₀	13,4	17,4	26,3	60,5	18,3	10,0	5,2	22,4	9,5

Półroczne ciepłe	Ciechanów	Kutno	Łódź	Piotrków Tryb.	Płock	Radom	Skierniewice	Warszawa	Jarczew
Ea-SEa	1,4	7,3	4,7	9,8	5,4	5,8	2,8	10,6	3,2
Sa-SWa	1,2	5,5	6,7	7,3	3,4	6,8	2,2	8,8	3,1
Wa-NWa	1,0	10	6,9	6,6	3,1	8,5	1,3	8,8	2,9
Na-NEa	0,9	7,2	4,0	9,6	3,9	6,2	1,5	10,9	3,6
Ec-SEc	1,0	5,3	6,9	6,3	3,9	9,6	2,3	11,9	4,4
Sc-SWc	1,7	5,2	8,2	9,6	3,3	9,4	2,8	12,5	3,9
Wc-NWc	1,2	6,3	6,0	7,5	3,1	7,8	2,4	9,8	3,5
Nc-NEc	1,1	7,4	6,0	8,3	5,5	10,6	2,4	9,9	3,6
E ₀ -SE ₀	1,8	7,6	6,5	9,1	4,3	11,5	2,7	13,0	4,6
S ₀ -SW ₀	3,0	8,4	9,0	12,7	4,8	6,8	2,0	12,8	2,8
W ₀ -NW ₀	1,0	4,9	5,3	10,2	4,6	3,3	2,3	8,2	4,0
N ₀ -NE ₀	1,1	7,0	6,7	9,0	5,9	9,9	2,0	11,9	3,6

Tabela 19. Największe wartości stężenia SO₂ (µg/m³) przy poszczególnych typach cyrkulacji atmosferycznej na terenie środkowej Polski (1993-1999, półroczna)

Półrocze chłodne	Ciechanów	Kutno	Łódź	Piotrków Tryb.	Płock	Radom	Skierniewice	Warszawa	Jarczew
Ea-SEa	63	75	73	416	83	52	58	158	41
Sa-SWa	72	112	117	475	91	48	117	237	33
Wa-NWa	72	89	127	701	100	62	60	107	27
Na-NEa	46	60	57	812	32	48	59	125	35
Ec-SEc	43	55	37	90	33	34	32	95	24
Sc-SWc	51	34	102	166	53	36	71	222	45
Wc-NWc	24	52	65	184	58	28	38	50	34
Nc-NEc	33	64	79	214	52	28	67	60	38
E ₀ -SE ₀	53	58	82	327	74	42	53	183	38
S ₀ -SW ₀	47	51	66	167	69	36	43	278	34
W ₀ -NW ₀	44	63	91	554	63	38	91	95	35
N ₀ -NE ₀	79	65	103	497	62	89	47	121	21

Półrocze chłodne	Ciechanów	Kutno	Łódź	Piotrków Tryb.	Płock	Radom	Skierniewice	Warszawa	Jarczew
Ea-SEa	13	49	22	78	56	30	23	47	11
Sa-SWa	7	26	33	34	15	27	11	39	19
Wa-NWa	9	38	38	19	16	25	6	55	12
Na-NEa	8	61	25	160	62	23	6	89	12
Ec-SEc	6	31	37	38	45	20	9	43	20
Sc-SWc	10	24	48	55	14	34	17	89	13
Wc-NWc	7	25	30	59	56	25	12	38	13
Nc-NEc	7	33	36	54	37	29	19	39	16
E ₀ -SE ₀	11	55	39	68	40	49	16	46	22
S ₀ -SW ₀	22	39	39	62	34	18	8	72	8
W ₀ -NW ₀	6	27	21	61	43	14	8	35	11
N ₀ -NE ₀	8	49	35	68	69	32	12	44	15

Podsumowanie

Celem niniejszej pracy było określenie wpływu cyrkulacji atmosferycznej na stężenie dwutlenku siarki na terenie środkowej Polski w latach 1993-1999. Poznanie tej zależności jest niezwykle ważne dla celów monitoringowych, bowiem może pomóc w przewidywaniu sytuacji sprzyjających zwiększonej koncentracji dwutlenku siarki.

W pracy zostały wykorzystane codzienne średnie dobowe wartości dwutlenku siarki z 9 punktów pomiarowych z lat 1993-1999. Ponadto posłużono się kalendarzem typów cyrkulacji atmosferycznej według J. Lityńskiego.

Region środkowej Polski nie odznacza się dużą emisją dwutlenku siarki (wyjątek stanowią większe miasta, np. Warszawa lub Łódź), toteż o okresowo zwiększonym stężeniu tego gazu decyduje tu głównie napływ zanieczyszczeń z terenów o dużej emisji.

Analizę rozpoczęto od oceny zmian przestrzennych oraz czasowych stężenia SO₂. Z tej części pracy wynika, iż zanieczyszczenie powietrza określone przez średnie roczne stężenie dwutlenku siarki w latach 1993-1999 charakteryzuje duże zróżnicowanie przestrzenne. Największym średnim stężeniem SO₂ wyróżnia się w środkowej Polsce południowo-zachodnia oraz środkowa część regionu (Piotrków Trybunalski – 26,6 µg/m³, Warszawa – 19,7 µg/m³). Taka sytuacja wynika ze stosunkowo dużej emisji SO₂ w większych miastach, takich jak Warszawa lub Łódź oraz bliskiego sąsiedztwa elektrowni w Bełchatowie. Z kolei najlepszą jakością powietrza odznaczają się południowo-wschodnie (Radom, Jarczew) oraz północne krańce (Ciechanów, Płock) badanego terenu. Średnie stężenie SO₂ na wskazanych stacjach nie przekracza 10 µg/m³.

Ocena przestrzennego rozkładu stężenia dwutlenku siarki na terenie środkowej Polski pozwoliła porównać ten obszar z innymi regionami kraju. W zestawieniu z mocno zanieczyszczoną południową częścią kraju, gdzie średnie roczne stężenie SO₂ nie spada poniżej 43,0 µg/m³ (Katowice), jakość powietrza środkowej Polski przedstawia się dobrze. Gorzej analizowany region wypada w porównaniu z północnymi terenami Polski cechującymi się najmniejszą emisją oraz niewielkim stopniem zanieczyszczenia powietrza. Jedynie w Gdańsku średnie stężenie SO₂ (19,9 µg/m³) jest podobne jak w Warszawie.

Następnie stwierdzono, że stężenie dwutlenku siarki odznacza się wyraźnym rytmem rocznym, będącym wynikiem występujących w ciągu roku zmian emisji, a także zmian warunków pogodowych. Cykl roczny charakteryzuje się dużymi wartościami stężenia w miesiącach zimowych i kilkakrotnie mniejszymi (ok. 3 razy) w letnich. W półroczu chłodnym średnie dobowe wartości stężenia SO₂ osiągają nawet 44,5 µg/m³ (Piotrków Trybunalski), częściej pojawiają się większe wartości stężenia SO₂, przekraczające 20 µg/m³ oraz 50 µg/m³, a nawet dopuszczalną normę 150 µg/m³ (w Warszawa 1,3% dni). Jedynie w Ciechanowie, Radomiu i Jarczewie stężenie SO₂ nie przekroczyło 100 µg/m³. W półroczu ciepłym na większości stacji stężenie nie przekracza 10 µg/m³ oraz wzrasta udział mniejszych jego wartości (poniżej 5 µg/m³). Dodatkowo półroczu chłodne charakteryzują większe niż półroczu ciepłe wartości percentyla 0,95 przekraczające nawet 184 µg/m³ (w Piotrkowie Trybunalskim). W cieplej połowie roku percentyl 0,95 stężenia SO₂ na większości stacji nie przekracza 10 µg/m³ (wyjątek stanowią Piotrków Trybunalski (30 µg/m³) oraz Warszawa (26 µg/m³).

Wstępem do określenia wpływu cyrkulacji atmosferycznej na stężenie dwutlenku siarki było rozpatrzenie wpływu kierunku adwekcji mas powietrza oraz układu barycznego. Dzięki analizie wartości średnich stężenia SO₂, częstości występowania określonych wartości oraz percentyla 0,95 możliwe było wskazanie zróżnicowania warunków aerosanitarnych w zależności od rozpatrywanych warunków.

Kierunek adwekcji mas powietrza w bardzo istotny sposób wpływa na rozkład przestrzenny zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki. Średni czas przebywania SO₂ w atmosferze wynosi ok. 4 dni. Jest to czas wystarczający, aby zanieczyszczenia mogły być przetransportowane wraz z masami powietrza nad inne obszary. Dlatego też istotne jest, przy jakich kierunkach napływu mas powietrza należy się spodziewać okresów o podwyższonym stężeniu dwutlenku siarki. Na badanym obszarze wartości większe od przeciętnego o 2-4 µg/m³ pojawiały się najczęściej przy napływie mas powietrza z kierunku południowo-zachodniego (np. w Łodzi 19,2 µg/m³, w Warszawie 23,3 µg/m³). Negatyw-

ny wpływ adwekcji z tego kierunku jest wynikiem oddziaływania zakładów przemysłowych zlokalizowanych na południu (GOP) i południo-zachodzie kraju. Ten niekorzystny kierunek adwekcji pojawia się stosunkowo często (13,1% dni w roku). Znacznie lepsze warunki aerosanitarne panują podczas adwekcji z sektora północnego, a w szczególności z północo-zachodu i północo-wschodu. Podczas napływu mas powietrza z tych kierunków na żadnym z punktów pomiarowych przeciętne stężenie nie przekroczyło wartości średniej. Jest to efekt napływu mas powietrza z nieuprzemysłowionych terenów wybrzeży i pojezierza. Łączny udział tych kierunków jest znaczny i wynosi w ciągu roku 21,5%.

W półroczu chłodnym wpływ kierunku adwekcji jest znacznie wyraźniejszy. Główną tego przyczyną jest wzmóŜona emisja SO_2 . Najbardziej niekorzystne sytuacje powstają przy adwekcji powietrza z południa i południo-wschodu. Wzrost stężenia SO_2 następuje wówczas na większości stacji. Adwekcja mroźnego powietrza polarnego kontynentalnego ze wschodu powoduje wzmóŜoną intensywność systemów grzewczych, a co za tym idzie większą emisję SO_2 . Podczas adwekcji z południo-wschodu częściej występują wartości stężenia SO_2 przekraczające $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a niejednokrotnie i $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Warszawa i Piotrków Trybunalski – ok. 3% pomiarów). Niekorzystny wpływ omawianych warunków podkreślają również bardzo duże wartości percentyla 0,95 stężenia SO_2 – w Łodzi ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Warszawie ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$), a także w Jarczewie ($28 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Poprawę jakości powietrza na wszystkich stacjach powoduje napływ mas powietrza z północo-zachodu oraz północo-wschodu. Wówczas przeciętne stężenie SO_2 na analizowanych punktach pomiarowych nie przekracza średniej w danym okresie na danej stacji.

W półroczu ciepłym względnie duża koncentracja SO_2 występuje podczas napływu mas powietrza ze wschodu oraz południo-zachodu. Natomiast najlepszy stan aerosanitarny występuje podczas napływu mas powietrza z zachodu. W dniach z adwekcja z tego kierunku stężenie na wszystkich stacjach jest mniejsze od przeciętnego. Najczęściej pojawiają się wartości nieprzekraczające $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Obok kierunku napływu mas powietrza ważną rolę w kształtowaniu warunków cyrkulacyjnych odgrywa rodzaj układu barycznego. W półroczu chłodnym na większości punktów pomiarowych jako najczęściej niekorzystne zaznaczały się układy antycyklonalne. Wynika to z faktu, że układy te stwarzają warunki sprzyjające tworzeniu się termicznych warstw hamujących, co powoduje zwiększenie stężenia dwutlenku siarki w przygruntowej warstwie atmosfery. Z kolei warunki sprzyjające wymianie powietrza i wynoszeniu zanieczyszczeń, a tym samym mniejszym wartościom stężenia stwarzały układy cyklonalne. Dlatego też w dniach z panującymi układami niskiego ciśnienia, stężenie na większości stacji było mniejsze od przeciętnego. Różnicę w oddziaływaniu poszczególnych układów barycznych dobrze uwidacznia analiza częstości. W półroczu chłodnym układy antycyklonalne powodowały pogorszenie jakości powietrza na wszystkich stacjach. Najczęściej pojawiało się wówczas stężenie przekraczające $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – ok. 30-50% obserwacji. Częściej również pojawia się stężenie przekraczające $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (głównie w Warszawie oraz Piotrkowie Trybunalskim). Przy układach cyklonalnych, częstsze są natomiast mniejsze wartości stężenia nieprzekraczające $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Częstość ich występowania waha się od 37% w Radomiu do 79% w Jarczewie. Ponadto wartości percentyla 0,95 podczas utrzymujących się układów antycyklonalnych są większe o ok. $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ niż podczas panowania układów cyklonalnych.

W półroczu ciepłym sytuacja aerosanitarna jest dobra na większości stacji niezależnie od utrzymującego się układu barycznego. Sprzyjają temu korzystniejsze warunki pogodowe, które łagodzą niekorzystny wpływ układów antycyklonalnych. Dlatego też w tym okresie najczęściej pojawiają się małe wartości stężenia (do $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) – ich udział nie spada poniżej 50%, a w Ciechanowie, Skierniewicach oraz Jarczewie przekracza nawet 90%.

Ocena wpływu typów cyrkulacji atmosferycznej na stężenie dwutlenku siarki w potwierdziła wcześniejsze wyniki uzyskane na podstawie analizy wpływu kierunków adwekcji mas powietrza oraz układów barycznych. Szczególnie duża koncentracja dwutlenku siarki występowała podczas sytuacji antycyklonalnych z adwekcji z południo-wschodu lub południo-zachodu (Ea-SEa oraz Sa-SWa). Niekorzystny wpływ tych typów cyrkulacji zaznacza się na wielu punktach badawczych a średnie stężenie było wówczas większe od przeciętnego o ok. $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ciechanów $9,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) do $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Warszawa $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Natomiast najlepsze warunki aerosanitarnie panowały podczas utrzymujących się typów cyrkulacji z adwekcją z sektora północnego (Na-NEa, Wa-NWa, Nc-NWc, Wc-NWc). Wówczas średnie stężenie na wszystkich punktach pomiarowych było mniejsze w porównaniu do wartości przeciętnej o ok. $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

W półroczu chłodnym najbardziej niekorzystne okazały się typy Ea-SEa oraz Sa-SWa – na większości punktów pomiarowych średnie stężenie dwutlenku siarki było wówczas większe o ok. $2-4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ od przeciętnego. Ponadto w dniach, kiedy utrzymywały się wymienione typy cyrkulacji, częstość występowania większych (przekraczających $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wartości stężenia SO_2 na większości stacji przekraczała 50%, a w Łodzi i Piotrkowie Trybunalskim nawet 0%.

Wyraźna poprawa stanu aerosanitarnego następowała w dniach z panującym układem cyklonalnym podczas adwekcji z zachodu i północo-zachodu (Wc-NWc), wzrastał wówczas udział mniejszych (do $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wartości stężenia SO_2 – nawet do 50% (Ciechanów, Kutno oraz Radom).

W półroczu ciepłym o większej koncentracji dwutlenku siarki decyduje głównie adwekcja mas powietrza, ponieważ wpływ układu barycznego jest wówczas nieznaczny. Za niekorzystny typ cyrkulacji, przy którym następuje zwiększenie koncentracji SO_2 , można uznać Sc-SWc. Jego wpływ zaznacza się w Łodzi, Warszawie, Radomiu oraz Skierniewicach. Generalnie w półroczu ciepłym, niezależnie od utrzymującego się typu cyrkulacji, na wszystkich stacjach zaznacza się większy udział małych, nieprzekraczających $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wartości SO_2 .

Przedstawiona analiza dowodzi, że cyrkulacja atmosferyczna w znacznym stopniu determinuje stężenie dwutlenku siarki na obszarze środkowej Polski. Dlatego też wnioski zawarte w pracy mogą być przydatne dla celów monitoringowych i lepszej ochrony środowiska przyrodniczego.

VII. WPŁYW UKSZTAŁTOWANIA I RZEŻBY TERENU NA ZRÓŻNICOWANIE KLIMATU MAZOWSZA WEDŁUG PODZIAŁU FIZYCZNO-GEOGRAFICZNEGO J. KONDRACKIEGO

7.1. Klimat Niziny Środkowomazowieckiej

7.1.1. Zachmurzenie i wilgotność powietrza w województwie warszawskim w latach 1951-1960

Autor: Maria K R U K

Opiekunowie naukowci: Wincenty O K O Ł O W I C Z, Zofia K A C Z O R O W S K A,
Maria S T O P A

Wstęp

Praca stanowi część opracowania dotyczącego klimatu województwa warszawskiego, tj. zachmurzenie i wilgotność powietrza, wykonanego w Katedrze Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego i ma na celu przedstawienie kształtowania się stopnia zachmurzenia i liczby dni pogodnych i pochmurnych oraz analizę 2 wskaźników wilgotności powietrza: wilgotności względnej i niedosytu wilgotności na podstawie danych z 10 lat – 1951-1960.

Materiały wypisano z roczników meteorologicznych dla lat 1954-1960, natomiast dla lat 1951-1953 dane zostały zaczerpnięte z wykazów klimatologicznych przechowywanych w archiwum P.I.H.M.

Krótką charakterystyka środowiska geograficznego

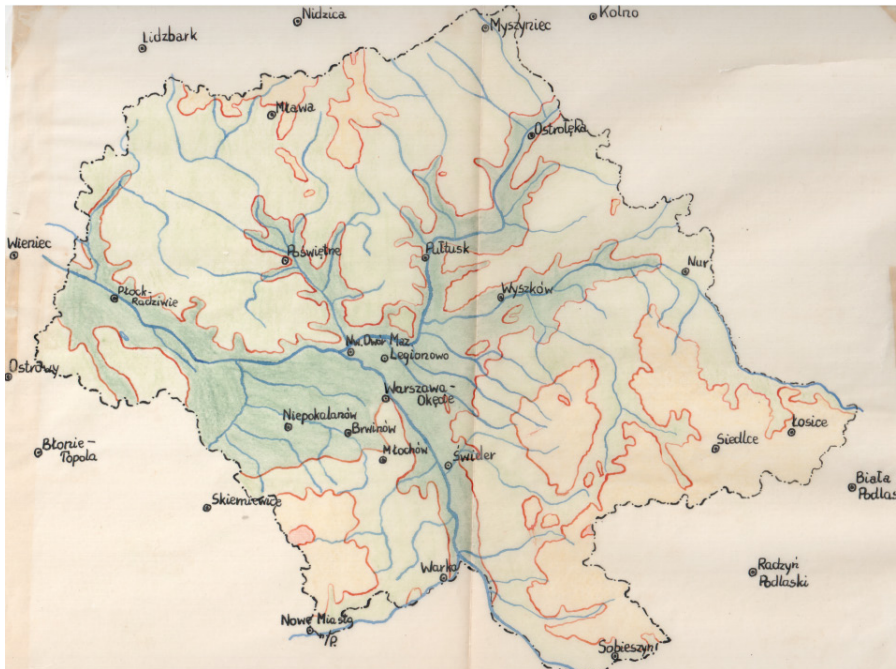
Przez środek ziem polskich, z zachodu na wschód, ciągnie się pas nizin zwany Krajiną Wielkich Dolin. Województwo warszawskie wg klasyfikacji J. Kondrackiego (14,15) leży w prowincji Nizy Środkowoeuropejskiego (A), podprowincji Równin Środkowopolskich (III) obejmuje makroregiony: Nizinę Północnomazowiecką (15) i Nizinę Południowomazowiecką (16). Makroregiony dzielą się z kolei na piętnaście mezoregionów (rys.1).

Ukształtowanie powierzchni Krainy Wielkich Dolin jest przede wszystkim dziełem lodowca i jego wód roztopowych. Potężne doliny, niewspółmiernie szerokie w stosunku do dzisiejszych rzek, przecinają całą krainę ze wschodu na zachód. Na obszarze Niziny Mazowieckiej są to: pradolina warszawsko-berlińska oraz pradoliny Bugu i Narwi. Doliny te powstały w okresie postoju lodowca, gdy topniejące jego wody tworzyły wielkie rzeki, które mając zatamowany odpływ w kierunku Bałtyku, płynęły jako Prawisła na zachód, aż do Morza Północnego. Po ustąpieniu lodowca wody Wisły przedarły się do Bałtyku, a dna dolin wyłoniły się z wód jako rozległe płaskie obniżenia. Rzeźba Krainy Wielkich Dolin zawdzięcza wiele cech swojego charakteru działalności wód płynących. Stronne lub płaskie brzegi, głęboko wcięte doliny, szerokie tarasy rzeczne, pokryte szeregami wydm, to najczęściej spotykany krajobraz tej krainy. Ponad dolinami wznoszą się równiny moreny dennej.

Największą część, bo przeszło 1/3 obszaru województwa warszawskiego, zajmuje Kotlina Warszawska, dzieląca Nizinę Mazowiecką na kilka krain. Kotlina Warszawska jest

wielką równiną denudacyjną, wkraczająca szeregiem głębokich zatok w głąb schodzących się tutaj biegów pradolin.

Charakterystyczną cechą krajobrazu Kotliny są wydmy piaszczyste, zarówno na prawym, jak i na lewym brzegu Wisły i Narwi. Najlepiej zachowały się one na terenie Puszczy Kampinoskiej. Wydmy rozwinęły się na akumulacyjnym tarasie pradolin i najczęściej mają kształt rozległych parabol. Skierowane są one na wschód, ramionami na zachód, powstały pod wpływem wiatrów zachodnich.



Rys. 1. Województwo warszawskie (wg podziału administracyjnego z 1950 r.)

Kotlinę Warszawską otaczają równiny morenowe, rozcięte dolinami rzek na poszczególne wysoczyzny. Na południe od Kotliny Warszawskiej leży pagórkowata, pocięta dolinami wysoczyzna Rawska, wzniesiona na kształt garbu, w okolicy Grójca urozmaicona pagórkami moren czołowych i ozów, znacznie zniszczonych przez procesy denudacyjne. Wzniesienia w środku garbu między Mszczonowem a Białą Rawską (leżąca już na terenie województwa łódzkiego), dochodzą do 210 m n.p.m, a na zachodzie pod Łodzią osiągnęły wysokości 283 m n.p.m.

W krajobrazie zaznaczają się ozy i dość głęboko wcięte doliny; szczególnie wyróżnia się wysoka krawędź wysoczyzny nad Pilicą. Pomiędzy Skrwą na zachodzie, Wkrą na północy i wschodzie oraz Wisłą na południu wznosi się Wysoczyzna Płocka – obszar moreny dennej, równinny, ku wschodowi falisty, urozmaicony ozami oraz szeregiem pagórków moren czołowych, osiągających wysokości do 163 m n.p.m.

Na północ od moren czołowych leży szeroka, pokryta wydmami i zabagniona dolina Raciążnicy. W krajobrazie wysoczyzny wyróżnia się głęboko wcięta dolina rzeki Skrwy

oraz wysoka na 40-60 metrów krawędź nad Wisłą. Na zachód od Wysoczyzny Płockiej, pomiędzy Wkrą na zachodzie i północy, Orzycem na wschodzie i Narwią na południu leży Wysoczyzna Ciechanowska. Jest to obszar moreny dennej urozmaicony wzniesieniami moren czołowych. Najwyższe wzniesienia w okolicy Chorzel osiągnęły wysokość 235 m n.p.m. Powierzchnia wysoczyzny jest falista, miejscami pagórkowata, poprzecinana dolinami rzecznyymi. Na wyróżnienie zasługuje wysoka krawędź nad Narwią. Krajobrazy morenowe urywają się nagle wzdłuż Orzyca, dalej na wschód rozciąga się Równina Kurpiowska (w podziale S. Pietkiewicza nazywa się Kotliną Kurpiowską), ograniczona od południo-wschodu Narwią, a od wschodu Pisą. Równina Kurpiowska jest wielkim sandrem nad przedpołu moren czołowych Pojezierza Mazurskiego. Pokryta piaskami, spod których z rzadka sterczą niewielkie kępy starszych utworów morenowych. Sandr porośnięty jest borem, zwanym Puszcą Kurpiowską.

Na działach wodnych, rozdzielających płaskie i zabagnione doliny prawobrzeżnych dopływów Narwi (Pisy, Szkwy, Rozogi, Omulwi, Orzyca) rozłożyły się wydmy piaszczyste. Między dolinami Narwi i Bugu leży Międzyrzecze Łomżyńskie, obszar denudowanej równiny moreny dennej z potężnym pasem wzniesień moreny czołowej Czerwonego Boru (225 m n.p.m.) i pagórkami morenowymi pod Wysokiem Mazowieckiem (167 m n.p.m. – już na obszarze województwa białostockiego). Część Międzyrzecza, leżąca w obrębie województwa warszawskiego, jest niższa i bardziej płaska. Wyróżniają się tylko wyraźne krawędzie nad dolinami Bugu i Narwi. Dolina Narwi pokryta jest wydmami. Na wschód od Kotliny Warszawskiej wznosi się wysoczyzna Siedlecka, zajmująca obszar pomiędzy pradolinami Wisły, Bugu, Wieprza i Krzyny. Jest to szeroki garb morenowy z pojedynczymi pagórkami moren czołowych, sięgającymi pod Kałuszyńcem wysokość 223 m n.p.m.

Powierzchnia Wysoczyzny jest falista i pagórkowata, poprzecinana dolinkami mniejszych rzek – dopływów Bugu. W krajobrazie wyróżnia się głęboko wcięta przełomowo dolina Bugu oraz dolina dolnego Wieprza i licznymi zakolami.

Cechy charakterystyczne klimatu województwa warszawskiego

Merecki zalicza województwo do dzielnicy środkowego biegu Wisły, a północne jego krańce do dzielnicy Pojezierza.

Według podziału klimatycznego Gumińskiego, region województwa warszawskiego leży w obrębie dwóch dzielnic rolniczo-klimatycznych: Środkowej i Podlaskiej. Zachodnia część województwa należy do dzielnicy Środkowej, którą charakteryzuje najmniejszy w Polsce opad roczny (poniżej 550 mm), liczba dni mroźnych w roku wynosi tu od 30 do 50; dni z przymrozkiem od 100 do 110. Opady gradowe występują stosunkowo rzadko, częstość silnych wiatrów zmniejsza się od zachodu ku wschodowi. Okres wegetacji trwa 200-220 dni.

Część wschodnia województwa należy do Dzielnicy Podlaskiej i jest znacznie chłodniejsza. Liczba dni mroźnych wynosi 50-60. Więcej jest również dni z przymrozkiem (110-138), a czas trwania pokrywy śnieżnej wynosi przeciętnie 80-87 dni. Opad w tej dzielnicy jest większy niż w Środkowej (około 550-650 mm rocznie). Możliwość opadów gradowych jest również większa niż w zachodniej części województwa, natomiast silne wiatry są zjawiskiem rzadszym. Okres wegetacyjny jest krótszy, trwa 200-210 dni.

Według podziału E. Romera całe województwo warszawskie leży w strefie klimatów Krainy Wielkich Dolin. W. Okołowicz wyróżnia na obszarze województwa warszawskiego dwa regiony: Środkowo-Polski (w części północnej najmniejszy opad w Polsce) i Mazowiecko-Podlaski (o wczesnym lecie i trwałej szacie śnieżnej na wschodzie).

Zachmurzenie

Na podstawie analizy stopnia zachmurzenia, liczby dni pogodnych (tab. 1 i 2) w dziesięcioleciu 1951-1960 można wyróżnić na terenie województwa warszawskiego następujące regiony charakteryzujące się:

- najmniejszym zachmurzeniem:
 - Część północno-wschodnia – okolice Myszynca (56%), Poświętnego (60%), Pułtuska (62%)
 - Część środkowa – okolice Niepokalanowa (60%), nowego Dworu Mazowieckiego (64%)
 - Część południowa – Warka (62%), Nowe Miasto nad Pilicą (61%)
- największym zachmurzeniem:
 - Część południowo-wschodnia – Siedlce (69%), Świder (67%), Wyszaków (68%), Młochów (67%)
 - Część północno-zachodnia – Płock-Radziejewie (67%), Mława (67%)

Analiza średnich wartości zachmurzenia dla poszczególnych lat wykazała że:

- najpogodniejszy był rok 1953 z minimum zachmurzenia w kwietniu oraz rok 1951
- najpochmurniejszy zaś – rok 1958 z maksimum w listopadzie oraz rok 1960
- Najniższy średni stopień zachmurzenia dla całego terenu przypada na wrzesień (53% średnia dziesięcioletnia), najwyższy na grudzień (80%)
- Stacją o największym zachmurzeniu były Siedlce (69% średnia roczna), o najmniejszym Myszyniec (56% średnia roczna).

Tabela 1. Średnie miesięczne i roczne zachmurzenie w niektórych miejscowościach województwa warszawskiego

Stacje	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Mława	80	73	61	63	62	61	64	58	55	64	83	81	67
Młochów	80	72	54	65	63	60	64	56	55	65	80	82	67
Myszyniec	75	64	47	50	44	44	48	43	46	57	78	79	56
Niepokalanów	73	68	56	56	54	51	54	49	49	57	75	76	60
Ostrowy	76	68	56	59	54	55	55	51	50	55	73	75	60
Płock-Radz.	80	72	60	63	62	60	63	57	57	62	82	81	67
Poświętne	76	68	54	55	53	50	54	50	48	57	76	79	60
Siedlce	81	74	62	64	63	60	63	58	8	65	84	84	69
Świder	79	68	63	67	62	62	63	58	53	66	80	82	67
Wyszaków	78	72	54	62	58	57	6	56	55	65	80	80	68

Tabela 2. Stacje o największej i najmniejszej liczbie dni pogodnych w latach 1951-1960

Stacje	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Myszyniec	2	3	9	7	9	9	7	8	8	6	3	2	73
O największej													
Nowe Miasto	3	4	7	5	4	6	5	7	9	6	3	3	56
Ostrowy	2	3	7	5	4	5	5	4	6	5	3	2	54
Poświętne	2	3	7	5	6	6	5	5	6	5	2	2	54
Puławy	2	3	7	5	6	6	5	7	6	6	2	2	56
O najmniejszej													
Biała Podlaska	1	2	4	3	2	2	2	3	3	3	1	.	26
Legionowo	1	2	5	3	2	2	2	2	4	3	1	.	26
Nidzica	1	2	5	3	1	1	2	2	3	2	1	.	25
Siedlce	1	2	5	3	2	3	3	2	4	3	1	.	30
Warszawa-Ok	1	3	4	3	2	2	2	2	4	3	1	.	29

Wilgotność powietrza

Wilgotność powietrza charakteryzuje się różnymi parametrami.

Wilgotność bezwzględna, tj. ilość gramów pary wodnej znajdującej się w danej chwili w 1 m³ powietrza. Inną wielkością jest ciśnienie pary wodnej, tj. ciśnienie cząstkowe w całkowitym ciśnieniu atmosferycznym, które wyrażamy w hPa (lub mm) równoważnego jej słupka rtęci. Ciśnienie pary wodnej (*e*) obliczamy na podstawie pomiaru psychrometrem Augusta lub psychrometrem aspiracyjnym Assmana. W literaturze klimatologicznej prężność z czasem została wyeliminowana jako wartość nie dająca właściwej oceny wilgotności, gdy najwyższe jej wartości występują w okresie letnim, mimo, że lato jest porą najsuchszą. Często określamy też stan wilgotnościowy powietrza za pomocą wilgotności względnej. Jest to stosunek ciśnienia pary wodnej zawartej w powietrzu aktualnie (*e*) do ciśnienia pary wodnej nasycającej powietrze w danej temperaturze (*E*):

$$f = (e/E)100\%$$

Następną charakterystyką wilgotności powietrza wyrażoną w gramach pary wodnej zawartej w 1 kg powietrza wilgotnego jest wilgotność właściwa

Większą lub mniejszą suchość powietrza określa różnica między ciśnieniem pary wodnej nasyconej w danej temperaturze (*E*), a ciśnieniem pary wodnej zawartej w danej chwili w atmosferze (*e*) tj. niedosyt wilgotności powietrza:

$$\Delta = E - e$$

- Średnie dobowe wartości wilgotności względnej i niedosytu wilgotności powietrza za okres 1951-1960 wykazują, że najwilgotniejszymi regionami województwa warszawskiego we wszystkich miesiącach i roku jest Wysoczyzna Siedlecka, Wysoczyzna Rawska oraz część północna województwa, a najsuchszą Wysoczyzna Płocka oraz cała dolina Wisły i Narwi (tab. 3 i 4).
- Miesiącem najwilgotniejszym jest grudzień (nieznacznie niższe niedosyty w styczniu), natomiast najsuchszym, jeśli chodzi o wilgotność względną, jest maj, natomiast z pozycji niedosytu wilgotności powietrza – czerwiec, lipiec.

- Wilgotność względna wykazuje mniejsze zróżnicowanie aniżeli niedosyt na terenie województwa warszawskiego, co zaznacza się nie tylko w średnich dobowych ale i średnich terminowych.

Tabela 3. Średnie miesięczne (dobowe) wartości wilgotności względnej powietrza w województwie warszawskim w latach 1951-1960

Stacje	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Mława	87	85	79	75	69	70	76	77	80	84	88	90	80
Młochów	87	87	82	74	69	72	76	75	77	80	88	89	80
Myszyniec	88	86	78	76	69	71	74	77	80	85	89	91	80
Niepokalanów	85	84	78	74	70	72	76	76	79	82	86	87	79
Płock-Radz.	85	83	77	73	70	69	73	76	78	83	96	88	78
Poświętne	87	85	80	74	70	71	76	76	78	83	88	90	80
Siedlce	88	87	81	75	72	74	77	79	82	85	89	90	82
Świder	83	82	76	73	67	68	74	74	78	82	86	86	75
Wyszków	89	88	81	77	73	74	77	79	82	85	91	91	82

Tabela 4. Średnie miesięczne (dobowe) wartości niedosytu wilgotności powietrza w województwie warszawskim w latach 1951-1960

Stacje	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Mława	0,6	0,6	1,3	3,1	5,4	6,8	6,1	5,6	3,9	2,0	0,9	0,6	3,1
Młochów	0,7	0,8	1,5	3,3	5,3	6,1	6,1	5,9	4,3	2,6	1,0	0,7	3,2
Myszyniec	0,6	0,6	1,5	2,9	5,5	6,5	6,1	5,7	3,6	1,9	0,8	0,5	3,0
Niepokalanów	0,8	0,9	1,7	3,3	5,3	6,4	6,2	6,0	4,1	2,5	1,1	0,8	3,3

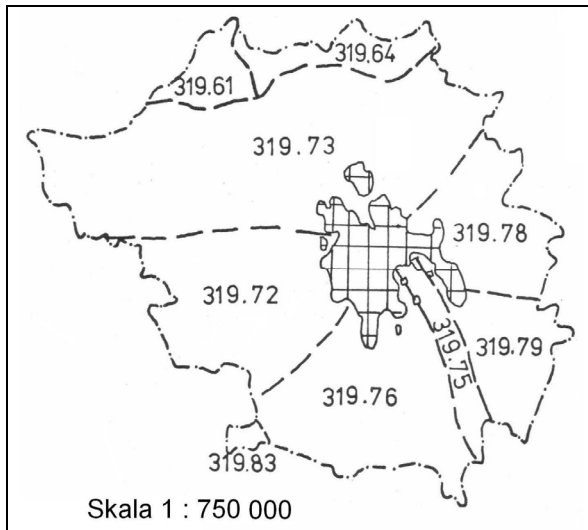
- Najsuchszą stacją w średnich rocznych jest Świder ($f=75\%$, $\Delta=3,6$ hPa).
- Najwyższą średnią wartość wilgotności względnej zanotowano na stacji Wyszków ($f=91\%$, $\Delta=0,5$ hPa w listopadzie i grudniu), a najniższą w Świdrze ($f=67\%$ – maj) i w Warszawie ($f=68\%$ – maj), co związane jest z wysuszającym wpływem miasta.
- Analiza wilgotności i niedosytu wilgotności powietrza w poszczególnych latach wykazała, że najbardziej wilgotne były lata 1957, 1958, 1960, natomiast najbardziej suche lata 1951, 1953, 1959, pozostałe 1952, 1954, 1955, 1956 – przyjmowały wartości bliskie przeciętnej.

7.1.2. Klimat stołecznego województwa warszawskiego

Autor: Jolanta WIKIEŁ - WAWER

Opiekunowie naukowci: Maria STOPA - BORYCZKA,
Jerzy BORYCZKA

Niniejsza praca dotyczy charakterystyki klimatu stołecznego województwa warszawskiego (wg podziału administracyjnego z 1975r., rys.1). Omówiono w niej podstawowe elementy i parametry meteorologiczne, jak: promieniowanie, usłonecznienie, temperaturę powietrza, wilgotność, zachmurzenie, opad, zjawiska, wiatr i fazy fenologiczne wybranych roślin.



319.61	Wysoczyzna Płońska	319.78	Równina Wołomińska
319.64	Wysoczyzna Ciechanowska	319.79	Równina Garwolińska
319.72	Równina Łowicko-Błońska	319.75	Dolina Środkowej Wisły
319.73	Kotlina Warszawska	319.83	Wysoczyzna Rawska
319.76	Równina Warszawska		

Rys. 1. Regionalizacja fizycznogeograficzna

Okresem standardowym jest 15-lecie 1951-1965, w przypadku promieniowania 20-lecie 1951-1970, a fenologii 10-lecie 1951-1960. Wykorzystano wyniki obserwacji z 9 stacji meteorologicznych IMGW (Brwinów, Legionowo, Nowy Dwór Mazowiecki, Reguły, Świder, Warszawa Bielany, Warszawa Obserwatorium Astronomiczne, Warszawa Okęcie, Wieliszew). Do charakterystyki opadów oprócz stacji meteorologicznych uwzględniono 10 posterunków opadowych (z 14-15-letnim okresem obserwacyjnym) i 27 posterunków z okresem co najmniej 10-letnim.

Wartości temperatury powietrza: średniej dobowej ($T_{\text{śr}}$), maksymalnej (T_{max}), minimalnej (T_{min}) i dobowej amplitudy (A) w 9 miejscowościach w latach 1951-1965) zestawiono w tabelach 1-4.

Tabela 1. Średnie dobowe wartości temperatury powietrza (T , °C) w miesiącach i roku (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	R.
Brwinów	-2,8	-3,3	0,5	7,7	12,5	17,1	18,1	17,3	13,4	8,4	3,2	-0,5	7,6
Legionowo	-3,1	-3,7	0,2	7,7	12,9	17,6	18,7	17,7	13,5	8,3	3,0	-0,7	7,7
N. Dwór*	-2,8	-3,4	0,4	7,9	13,0	17,6	18,7	17,7	13,4	8,0	3,2	-0,5	7,8
Reguły	-3,0	-3,5	0,2	7,4	12,4	16,9	18,0	17,1	13,0	8,0	3,0	-0,8	7,4
Świder	-3,1	-3,4	0,2	7,4	12,7	17,2	18,3	17,1	12,1	8,3	3,2	-1,1	7,4
W. Bielany	-2,8	-3,2	0,6	8,0	13,1	17,8	18,9	17,9	13,8	8,6	3,3	-0,5	8,0
W. Obs.	-2,7	-3,1	0,5	8,1	13,2	17,6	18,8	17,9	13,8	8,6	3,5	-0,3	8,0
W. Okęcie	-3,0	-3,5	0,2	7,7	12,7	17,2	18,4	17,4	13,3	8,2	3,1	-0,6	7,6
Wieliszew	-2,9	-3,3	0,2	6,7	12,8	17,3	18,3	17,5	13,8	8,6	3,2	-0,7	7,6

Tabela 2. Średnie wartości temperatury maksymalnej (T_{\max} , °C) w miesiącach i roku (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	R.
Brwinów	-0,3	-0,1	4,5	12,8	17,9	22,5	23,5	23,0	19,1	13,8	5,8	1,8	12,0
Legionowo	-0,6	-0,6	4,2	12,7	17,9	22,8	23,9	23,1	19,2	12,9	5,4	1,5	11,9
N. Dwór*	-0,5	-0,7	4,2	13,0	18,0	22,8	23,7	23,2	19,3	13,0	5,4	1,5	11,9
Reguły	-0,4	-0,3	4,3	12,0	17,8	23,4	23,5	22,8	19,0	13,0	5,6	1,3	11,8
Świder	-0,4	-0,1	4,8	12,9	13,5	23,2	24,2	23,1	19,4	13,5	5,8	1,3	12,2
W. Bielany	-0,5	-0,4	4,2	12,5	17,9	22,7	23,6	22,7	18,8	12,4	5,2	1,5	11,7
W. Obs.	-0,2	0,0	4,6	13,0	18,4	23,2	24,0	23,4	19,3	13,1	5,8	1,8	12,2
W. Okęcie	-0,5	-0,4	4,1	12,4	17,7	22,4	23,6	22,9	18,9	12,9	5,7	1,5	11,8
Wieliszew	-0,7	-0,8	4,7	12,8	18,2	18,2	22,8	22,4	19,2	13,1	5,9	1,3	11,4

Tabela 3. Średnie wartości temperatury minimalnej (T_{\min} , °C) w miesiącach i roku (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	R
Brwinów	-5,6	-6,7	-3,1	3,0	7,1	11,4	12,8	12,4	8,8	4,4	0,8	-2,8	3,5
Legionowo	-5,9	-7,1	-3,5	2,8	7,3	11,6	13,2	12,6	8,8	4,2	0,4	-3,1	3,4
N. Dwór*	-5,7	-6,9	-3,2	3,4	7,8	12,0	13,4	12,8	8,8	4,1	0,7	-2,7	3,7
Reguły	-5,5	-7,0	-3,2	3,0	7,3	11,5	13,0	12,3	8,5	4,1	0,5	-3,2	3,4
Świder	-6,3	-7,4	-4,1	2,2	6,7	10,7	12,6	11,9	8,0	3,9	0,5	-3,9	2,9
W. Bielany	-5,3	-6,3	-2,9	3,6	8,1	12,5	13,3	13,3	9,5	5,0	1,0	-2,6	4,1
W. Obs.	-5,3	-6,1	-2,9	3,5	8,2	12,6	14,1	13,4	9,6	4,9	1,0	-2,6	4,2
W. Okęcie	-5,9	-6,8	-3,3	2,8	7,3	11,5	12,9	12,3	8,5	4,0	0,5	-3,1	3,4
Wieliszew	-6,7	-6,3	-3,5	3,2	7,0	11,4	12,3	21,1	8,3	3,9	1,0	-4,4	3,9

Stołeczne województwo warszawskie należy do obszarów uprzywilejowanych pod względem warunków termicznych w porównaniu do województw sąsiednich. Średnie miesięczne wartości temperatury (od poniżej $-3,0^{\circ}\text{C}$ w lutym do powyżej $18,0^{\circ}\text{C}$ w lipcu) i roczne (ok. 8°C) są tu z reguły wyższe niż w województwach położonych na północ i wschód, a nie odbiegają wartościami od województw południowych i zachodnich. Potwierdzają to również wartości temperatury maksymalnej, minimalnej, dobowe amplitudy, jak i inne charakterystyki termiczne. Na uwagę zasługuje stosunkowo długi okres wegetacyjny, sięgający 216 dni, mała liczba dni mroźnych ok. 40 i bardzo mroźnych

ok. 18-21 dni, oraz długi okres bezprzymrozkowy 150-190 dni (2 m nad poziomem gruntu), a także duża liczba dni gorących ok. 40, stosunkowo długie lato, powyżej 90-100 dni i krótka zima poniżej 90 dni.

Tabela 4. Średnie wartości dobowej amplitudy temperatury powietrza (A , °C) w miesiącach i roku (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	R
Brwinów	5,3	6,6	7,6	9,8	10,8	11,1	10,7	10,6	10,3	9,4	5,0	4,6	8,5
Legionowo	5,3	6,5	7,7	9,9	10,6	11,2	10,7	10,5	10,4	8,7	4,9	4,6	8,4
N. Dwór	5,2	6,2	7,4	9,6	10,2	10,8	10,3	10,4	10,5	8,9	4,7	4,2	8,2
Reguły	5,1	6,7	7,5	9,0	10,5	11,9	10,5	10,5	10,4	8,9	5,1	4,5	8,4
Świder	5,9	7,6	8,9	10,7	11,8	12,5	11,6	11,2	11,4	9,6	5,3	5,2	9,3
W. Bielany	4,8	6,9	7,1	8,9	8,8	10,2	10,3	9,4	10,3	7,4	4,2	4,1	7,7
W. Obs.	5,1	6,1	7,5	9,5	10,2	10,6	9,9	10,0	9,7	8,2	4,8	4,4	8,0
W. Okęcie	5,4	6,4	7,4	9,8	10,4	10,9	10,7	10,6	10,4	8,9	5,2	3,6	8,3

Stosunki wilgotnościowe na badanym obszarze wykazują niewielkie zróżnicowanie. Na przykład różnice ciśnienia pary wodnej (tab. 5) w miesiącach zimowych są rzędu dziesiątych części hPa, a w lecie sięgają ok. 2 hPa. Wartości wilgotności względnej i niedosytu wilgotności powietrza nie odbiegają od zaobserwowanych w całej Kramie Wielkich Dolin i kształtują się odpowiednio od 76 do 81% i 3,1 do 3,7 hPa.

Tabela 5. Średnie wartości ciśnienia pary wodnej (e , hPa) w miesiącach i roku (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	R
Brwinów	4,4	4,4	5,2	8,0	10,8	14,5	15,7	15,2	12,4	9,3	7,0	5,4	9,4
Legionowo	4,5	4,4	5,0	10,0	13,4	14,9	14,6	12,1	9,1	6,9	5,4	.	.
N. Dwór	4,7	4,7	5,2	7,8	10,7	14,2	16,5	15,7	12,2	9,2	6,9	5,3	9,3
Reguły	4,4	4,5	4,8	7,5	10,3	13,5	15,3	14,7	11,9	9,2	6,9	5,1	9,0
Świder	4,5	4,4	5,0	7,5	10,2	13,5	15,2	15,0	12,2	8,6	6,9	5,4	9,0
W. Bielany	4,7	4,6	5,3	8,1	10,9	14,6	16,2	15,6	12,7	9,7	7,2	5,7	9,6
W. Obs.	4,5	4,4	5,1	7,7	10,4	13,7	15,2	14,9	12,0	9,1	6,9	5,4	9,1
W. Okęcie	4,4	4,4	5,2	8,0	10,8	14,5	15,7	15,2	12,4	9,3	7,0	5,4	9,4

Również pod względem zachmurzenia województwo warszawskie nie wyróżnia się od terenów ją otaczających, głównie w średnich rocznych ok. 6,5 (65%).

Tabela 6. Liczba dni z burzą miesiącach i roku (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	R
Brwinów	.	0,1	0,1	1,3	2,9	4,3	3,7	3,5	1,1	.	.	0,2	17,2
G. Kalwaria	.	0,1	0,2	0,8	3,2	3,9	3,8	3,0	1,2	0,1	.	.	16,3
Legionowo	.	.	0,1	1,4	3,5	5,1	5,0	3,9	1,7	0,1	.	.	20,8
N. Dwór	.	.	.	1,0	2,6	4,3	3,0	3,5	1,4	.	.	.	15,8
Reguły	1,5	1,3	0,3	1,1	2,7	3,7	3,9	2,2	1,3	0,1	0,1	.	18,2
Świder	0,1	0,1	0,3	1,5	4,0	6,1	6,8	4,1	2,1	0,2	0,1	0,2	23,6
W. Bielany	0,1	0,1	0,1	1,4	4,0	5,5	5,3	4,3	2,1	0,3	0,2	0,1	23,5
W. Obs.	0,1	.	0,1	1,4	3,1	4,2	4,5	3,2	1,3	.	0,1	0,1	18,1
W. Okęcie	.	0,1	0,3	1,7	4,5	6,4	6,7	5,3	2,1	0,2	0,1	.	27,4

Jako pogodniejsze w roku okazują się Równina Łowicko-Błońska i Wysoczyzna Płońska, co potwierdza zwiększona liczba dni pogodnych, powyżej 40, a mniejsza liczba dni pochmurnych, poniżej 140.

Kotlina Warszawska, stanowiąca znaczną część stołecznego województwa, należy do obszaru deficytowego w wodę opadową w Polsce, wyróżnia się bowiem najniższą roczną sumą opadu, poniżej 500 mm (tab. 7). Najmniejsze roczne sumy opadu, poniżej 450 mm otrzymują okolice Legionowa. Tu też obserwuje się najmniejszą liczbę dni z opadem, poniżej 95. Równiny wschodnie: Wołomińska i Garwolińska mają już znacznie wyższe sumy opadu atmosferycznego, bo powyżej 550 mm.

Tabela 7. Miesięczne i roczne sumy opadów atmosferycznych (mm) (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	R.
Brwinów	23	30	22	33	57	68	80	56	45	28	37	36	315
G. Kalwaria	26	29	23	30	56	66	67	59	42	29	40	35	503
Legionowo	19	23	20	29	44	62	72	51	39	24	34	30	447
Łubiec	25	32	25	31	53	64	92	56	44	34	42	40	539
Milanówek	31	36	28	35	60	73	79	59	51	29	44	43	568
N. Dwór	32	36	24	30	48	60	81	55	41	24	40	41	512
Piaseczno	30	36	29	32	55	55	59	61	44	27	37	44	509
Piasków	25	30	25	31	56	67	78	61	45	28	40	38	524
Serock	28	31	23	35	45	64	79	58	42	28	39	39	511
Reguły	30	34	25	51	55	68	75	63	49	30	44	43	547
W. Bielany	26	29	22	33	55	68	80	57	44	26	39	36	515
W. Gołędz	29	36	25	32	54	64	83	58	45	28	42	38	524
W. Miedzeszyn	30	34	25	36	57	69	68	62	50	34	41	35	541
W. Obser.	38	38	28	36	56	72	83	61	44	28	45	42	566
W. Okęcie	21	25	21	31	54	62	72	55	41	28	38	32	489
Zaborów	26	31	25	31	56	56	56	78	54	43	27	41	524
Zakreczyn	31	34	24	31	47	61	75	58	38	25	40	43	507

Południowo-wschodnia część badanego obszaru wyróżnia się ponadto największą liczbą dni z burzami (tab. 6), powyżej 25 w roku (Dolina Środkowej Wisły, Równina Garwolińska i część Równiny Warszawskiej).

Pokrywa śnieżna występuje w stołecznym województwie później niż w województwach wschodnich, natomiast wcześniej niż w województwach z zachodu i południa, powyżej 60 dni w roku.

Podobnie jak w całej Polsce, tak i województwie warszawskim przeważają wiatry z sektora zachodniego (głównie kierunku zachodniego) z częstościami powyżej 20% w lecie i zimie. Najmniejsza frekwencja przypada na kierunek południowy (ok. 5%) i północny (ok. 5%).

Prędkość wiatru zależna jest od lokalizacji stacji (tab. 8 i 9). Największe prędkości notowane są na Równinie Warszawskiej (Warszawa Okęcie, powyżej 4,0 m/s), a najmniejsze w Kotlinie Warszawskiej (Nowy dwór Mazowiecki poniżej 2,0 m/s).

W obrębie stołecznego województwa w poszczególnych mezoregionach występują znaczne odchylenia wartości rozpatrywanych elementów meteorologicznych (promienio-

wanie, temperatura i wilgotność powietrza, zachmurzenie, opad i wiatr) od przeciętnych dla całego obszaru, co jest wynikiem wpływu warunków lokalnych.

Tabela 8. Średnia prędkość wiatru (v , m/s) w różnych kierunkach (1951-1965)

Miejscowość	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Brwinów	2,9	2,7	3,5	3,5	3,4	4,5	4,1	3,7
Legionowo	3,0	3,5	3,6	3,6	3,4	3,3	4,6	3,8
Reguły	2,5	2,2	2,5	2,5	2,8	2,6	3,2	2,8
Świder	2,1	2,2	2,3	2,4	2,4	2,8	3,0	2,6
W. Bielany	2,9	3,3	4,1	4,1	3,1	3,3	3,6	3,4
W. Okęcie	4,2	4,2	3,9	4,2	3,5	4,5	5,1	4,7

Tabela 9. Średnie miesięczne prędkości wiatru (v , m/s) w Legionowie w różnych kierunkach wiatru (1951-1965)

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
I	3,1	4,1	3,8	3,0	3,9	4,8	2,4	4,8
II	3,6	4,0	4,2	4,0	3,8	4,8	5,8	5,0
III	4,2	4,4	4,4	4,1	3,5	5,0	5,6	4,6
IV	3,8	3,8	3,9	3,8	3,6	4,0	4,7	4,1
V	3,4	3,6	3,5	3,6	3,3	4,1	4,4	4,4
VI	2,7	3,1	3,1	3,0	3,3	3,8	4,2	3,4
VII	2,6	3,1	2,8	2,6	3,2	3,7	4,2	3,3
VIII	2,3	3,0	2,7	2,7	3,2	3,8	4,2	3,4
IX	2,7	2,8	2,9	3,0	3,2	3,9	4,4	3,5
X	3,0	3,3	3,1	3,2	3,0	3,7	4,6	3,3
XI	3,5	3,6	4,0	3,9	3,6	4,6	5,5	3,6
XII	3,2	4,0	4,5	3,2	3,4	4,7	5,1	4,8

Najbardziej niekorzystny klimat mają równiny wschodnie: Wołomińska i Garwolińska, ze względu na niższe wartości temperatury, większe dobowe amplitudy temperatury, najkrótsze lato i najdłuższą zimę, najkrótszy okres wegetacyjny, dłuższy okres przymrozkowy, większy niedosyt wilgotności powietrza, wyższe sumy opadu i niższe prędkości wiatru.

Znacznie korzystniejsze warunki klimatyczne panują w Kotlinie Warszawskiej, zwłaszcza w jej centralnej części, głównie pod względem termicznym.

We wschodniej części Kotliny Warszawskiej panują warunki zbliżone do obserwowanych na Równi Warszawskiej. Jest tu stosunkowo ciepło, występują duże amplitudy temperatury powietrza, najwyższa wilgotność względna, znaczne zachmurzenie, mniej dni pogodnych, dużo pochmurnych, częste mgły, mniejsza liczba burz, większe sumy opadu niż w pozostałej części Kotliny Warszawskiej i większa liczba dni z opadem.

W mezoregionie Równiny Warszawskiej wyróżnia się północna jego część, gdzie jest najcieplej (ok. 8,0°C) i bardzo sucho (roczne sumy opadu poniżej 500 mm), a także najwyższa w całym województwie prędkość wiatru (ok. 5,0 m/s).

Na kształtowanie się elementów meteorologicznych w Kotlinie Warszawskiej wpływa dodatkowo kompleks leśny Puszczy Kampinoskiej i tereny podmokłe, szczególnie zaś aglomeracja miejska Warszawy.

Miasto stwarza własny klimat lokalny i nie pozostaje bez wpływu na tereny otaczające. Warszawa oddziałuje na klimat poprzez zabudowę (powierzchnie asfaltowe, brukowe, murów domów), wytwarzanie dużych ilości zanieczyszczeń nie tylko przemysłowych, ale i komunikacyjnych, co znacznie zmniejsza dostawę promieniowania słonecznego i chroni przed nadmiernym wypromieniowaniem ciepła. To właśnie jest przyczyną powstawania nad miastem „miejskiej wyspy ciepła”, a w konsekwencji wyższej temperatury minimalnej. Ponadto okresy wegetacyjny i bezprzymrozkowy są najdłuższe.

W wyniku różnic w oświetleniu i nagrzaniu odmiennych, zróżnicowanych powierzchni, wzmagają się turbulencja i prądy pionowe, które przyczyniają się do powstawania chmur, wzrostu zachmurzenia nad miastem i wzrostu sum opadu, a także liczby dni z opadem o dużym natężeniu, powyżej 10,0 mm. Zabudowa miejska stanowi ponadto przeszkodę dla wiatru, odkształcając kierunek i zmieniając prędkość wiatru.

Klimat stołecznego województwa warszawskiego z punktu widzenia potrzeb rolnictwa, kształtuje się dla wielu upraw korzystnie, przede wszystkim dzięki wyższej temperaturze powietrza, małej liczbie przymrozków, dni mroźnych i bardzo mroźnych niż w województwach sąsiadujących od północy i wschodu. Niestety sumy opadu (zwłaszcza na północy i wschodzie Kotliny Warszawskiej) są niewystarczające do podtrzymywania wilgoci glebowej, jest tu bardzo sucho, co jest szczególnie niekorzystne dla owsa, jęczmienia, kukurydzy itp.

W badanym obszarze występują gleby niskiej jakości piaszczyste i piaszczysto-gliniaste i mimo że na przykład do uprawy buraka cukrowego i pszenicy, warunki klimatyczne są dogodne, to jednak gleby takie determinują takie uprawy na szerszą skalę.

Bardziej dogodny jest klimat dla upraw warzywniczych i sadowniczych (głównie na Równinie Warszawskiej i Łowicko-Błońskiej, gdzie drzewa owocowe najwcześniej zakwitają), a sprzyjają temu: dobre usłonecznienie, krótki okres przymrozkowy, najkrótszy okres zalegania pokrywy śnieżnej. Udział tych działów gospodarki rolnej w użytkowaniu rolniczym ziemi stale wzrasta i obecnie 9,9% wszystkich upraw stanowią warzywa, a 3,6% – sady. Ponadto rozwój gospodarki rolnej, tj. uprawa inspektowa, szklarniowa wykluczają ujemne skutki klimatu województwa, jak niskie opady, czy też przymrozki.

Okolice Zalewu Żegrzyńskiego są z punktu klimatu terenami o najdogodniejszych warunkach dla rozwoju turystyki. Jest tu bowiem ciepło (powyżej 7,5°C), mało jest opadów i liczby dni z opadem, duże usłonecznienie, nieduże zachmurzenie, większe prędkości wiatru, co sprzyja żeglarsztwu.

Z kolei Puszcza Kampinoska jest „oazą” czystego, leśnego powietrza, bogatego w fitoncydy. Warunki termiczne są sprzyjające, lecz niestety „ściana” Puszczy odznacza się zwiększonymi opadami o dużym natężeniu (najwyższe maksima dobowe). Rejon ten poleca się szczególnie na wycieczki piesze i rowerowe szlakami turystycznymi.

Warszawa, jako stolica Polski i jako miasto z licznymi zabytkami, muzeami i innymi walorami kulturalnymi jest również dużym ośrodkiem turystycznym województwa. Niestety termiczne warunki klimatu stolicy są mniej sprzyjające dla turystów w okresie letnim, z racji wysokiej temperatury, większej ilości dni gorących i upalnych oraz parnych, oraz gorszych warunków aerosanitarnych.

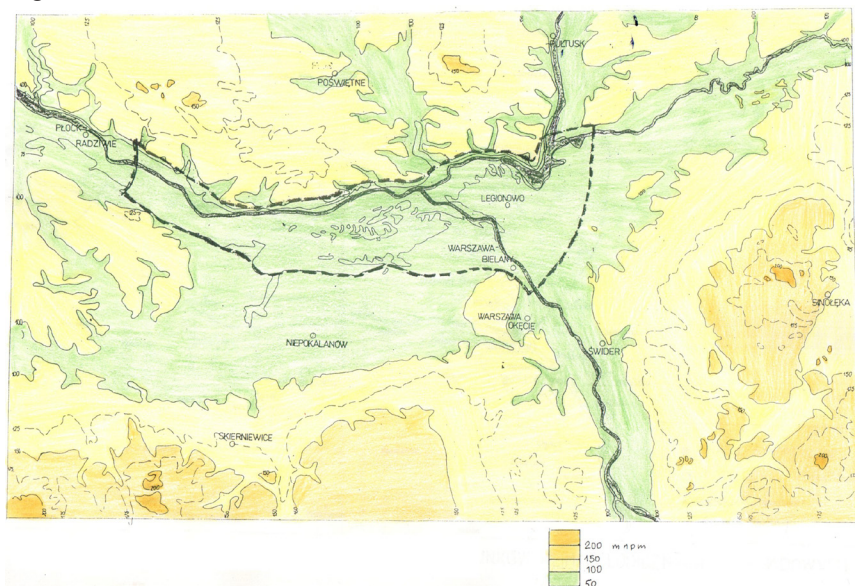
7.1.3. Charakterystyka klimatu Kotliny Warszawskiej

Autor: Anna SZTABOWSKA

Opiekun naukowy: Danuta MARTYN

Wprowadzenie

Zakład Klimatologii Instytutu Geografii Uniwersytetu Warszawskiego, w ramach prac magisterskich, prowadzi badania (różnej szczegółowości) klimatu Warszawy oraz jej okolic (rys. 1). Wśród tych ostatnich można wyróżnić prace dotyczące klimatu Wesołej k. Warszawy, klimatu lokalnego Legionowa, wpływu skarpy wiślanej na stosunki termiczno-wilgotnościowe.



Rys. 1. Mapa hipsometryczna

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie cech charakterystycznych klimatu Kotliny Warszawskiej na tle otaczających obszarów. Omówiono w niej podstawowe elementy klimatu: promieniowanie, usłonecznienie, temperaturę powietrza, wilgotność, zachmurzenie, opad, wiatr na podstawie danych z dziesięciolecia 1971-1980.

Klimat należy do najważniejszych elementów środowiska geograficznego i wpływa w dość istotny sposób na rozwój życia gospodarczego. Warunki klimatyczne obszaru całej Polski są w dostateczny sposób opracowane, natomiast w dalszym ciągu odczuwa się brak szczegółowych opracowań regionalnych. Opracowania tego rodzaju przydatne są w wielu gałęziach gospodarki narodowej: w rolnictwie, budownictwie, transporcie, komunikacji i lecznictwie.

Materiały dotyczące Kotliny Warszawskiej znajdują się w różnego rodzaju publikacjach, pracach magisterskich i atlasach. Na wstępie tego podrozdziału należy wspomnieć o ogólnych opracowaniach klimatu dotyczących całej Polski, gdyż bez ich znajomości

analiza mniejszej jednostki terytorialnej, jaką jest Kotlina Warszawska, byłaby trudna. Do podstawowych prac zaliczamy tu: *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. IV pt. *Klimat północno-wschodniej Polski* (red. M. Stopa-Boryczka), Warszawa 1986, *Narodowy atlas Polski*, IG PAN „Ossolineum”, 1973-1978, Warszawa.

Materiały źródłowe

Materiałem wyjściowym, wykorzystanym w tej pracy są wyniki obserwacji z 10-ciu stacji meteorologicznych i posterunków klimatologicznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej z okresu 1971-1980. Współrzędne geograficzne (szerokość geograficzna φ i długość geograficzna λ oraz wysokość nad poziomem morza H) a także wartości poszczególnych elementów meteorologicznych zaczerpnięto z opublikowanych roczników meteorologicznych (1971-1980) i bezpośrednio z archiwum IMiGW dla następujących stacji i posterunków (rys. 2, tab. 1): Pułtusk, Poświętne, Płock-Radziwie, Niepokalanów, Sinołęka, Warszawa-Okęcie, Warszawa-Bielany Świder, Skierniewice, Legionowo (uszeregowane z północy na południe, a 2 stacje leżące w Kotlinie – na końcu). Dwie, spośród dziesięciu, są, stacjami synoptycznymi – Warszawa-Okęcie i Płock-Radziwie.



Rys. 2. Rozmieszczenie stacji meteorologicznych i posterunków opadowych

Do charakterystyki stosunków opadowych, prócz stacji meteorologicznych i posterunków klimatologicznych, uwzględniono 46 posterunków opadowych z 10-letnim okresem obserwacyjnym. Dane uzyskano z roczników opadowych IMiGW.

Tabela 1. Położenie geograficzne stacji meteorologicznych: φ – szerokość geograficzna, λ – długość, H – wysokość n.p.m. (m)

	φ	λ	H
Pułtusk	52°44'	21°06'	95
Poświętne	52°38'	20°23'	101
Płock-Radziwie	52°32'	19°40'	63
Niepokalanów	52°12'	20°25'	90
Sinołęka	52°13'	21°55'	160
Warszawa-Okęcie	52°10'	20°58'	109
Warszawa-Bielany	52°24'	20°58'	93
Świdar	52°07'	21°15'	94
Skiermiewice	51°58'	20°10'	128
Legionowo	52°24'	20°58'	93

Zmiany roczne i zróżnicowanie przestrzenne całkowitego promieniowania słonecznego i usłonecznienia rzeczywistego

Zróżnicowanie przestrzenne promieniowania słonecznego

Podstawowe znaczenie w kształtowaniu cieplnego stanu atmosfery (głównie w jej dolnych warstwach) ma wymiana energii zachodzącej na powierzchni granicznej między atmosferą, a podłożem. Źródłem tej energii jest krótkofalowe promieniowanie słoneczne, wymiana ciepła z podłożem drogą przewodzenia. Promieniowanie słoneczne dociera do powierzchni Ziemi w sposób bezpośredni lub pośredni – jako rozproszone. Promieniowanie bezpośrednie – jest to promieniowanie, które otrzymuje Ziemia bezpośrednio od Słońca. Jego natężenie wzrasta wraz ze wzrostem wysokości Słońca nad horyzontem, wraz ze zmniejszającą się szerokością geograficzną (największe na zwrotnikach – suche i czyste powietrze) i wyniesieniem danego punktu nad poziomem morza (im wyżej tym większa przejrzystość atmosfery).

Promieniowanie rozproszone – jego udział zwiększa się wraz ze wzrostem zachmurzenia (w dni bezchmurne odgrywa ono niewielką rolę, natomiast przy całkowitym zachmurzeniu energia słoneczna dociera do powierzchni Ziemi wyłącznie w tej postaci). Promieniowanie całkowite jest to suma promieniowania bezpośredniego i rozproszonego. W dobowym przebiegu natężenie promieniowania całkowitego maksimum osiąga w godzinach około południowych, a w rocznym – latem. Do charakterystyk promieniowania zaliczamy również promieniowanie odbite, promieniowanie powierzchni Ziemi, zwrotne promieniowanie atmosfery oraz promieniowanie efektywne (określa rzeczywistą, utratę ciepła przez powierzchni Ziemi, w wyniku wymiany radiacyjnej).

W Polsce systematyczne pomiary promieniowania słonecznego prowadzone są w nielicznych punktach pomiarowych, z tego względu w niniejszej pracy do opisu wykorzystano mapy „Promieniowanie całkowite” (1951-1970) J. Podogrodzkiego zamieszczone w Narodowym Atlasie Polski (1973-1978).

Na badanym obszarze dzienne wartości promieniowania całkowitego zmieniają się w granicach od 9,5 MJ/m² (227 cal/cm²), w Warszawie do 10,5 MJ/m² (250 cal/cm²) i więcej w Skiermiewicach. W Kotlinie Warszawskiej wynosi ono 10,0-10,3 MJ/m² (240-245 cal/cm²).

W porze zimowej rozkład sum promieniowania całkowitego nie wykazuje przestrzennego zróżnicowania. W okresie tym promieniowanie całkowite przyjmuje najniższe sumy dzienne w roku, zwłaszcza w grudniu $1,7 \text{ MJ/rn}^2$ (40 cal/cm^2), w lutym osiągają one $4,4 \text{ MJ/rn}^2$ (105 cal/cm^2). Jest to spowodowane znacznym osłabieniem promieniowania bezpośredniego wynikającym z małego kąta padania promieni słonecznych, małej przezroczystości atmosfery, dużego zachmurzenia oraz krótkich dni. Wiosną, zróżnicowanie przestrzenne sum promieniowania całkowitego jest największe. W tym okresie zaznacza się zmniejszenie promieniowania całkowitego w centrum Kotliny Warszawskiej, tzn. w rejonie Warszawy, a także wzdłuż linii średnicowej biegnącej z południo-zachodu na północo-wschód (Grodzisk Mazowiecki-Wołomin), w pobliżu której leżą przemysłowe miasta. Zanieczyszczenie atmosfery w miastach i ośrodkach przemysłowych jest przyczyną jej zmętnienia, powodującego znaczne osłabienie dopływu promieniowania bezpośredniego, a w konsekwencji promieniowania całkowitego, czego przykładem jest Warszawa. Różnice sum promieniowania między kolejnymi miesiącami wiosny są dość istotne i wahają się od ok. $8,4 \text{ MJ/rn}^2$ (200 cal/cm^2) w marcu do 17 MJ/rn^2 (410 cal/cm^2) w maju.

Latem wartości promieniowania całkowitego przybierają największe wartości w roku, od ponad $20,9 \text{ MJ/rn}^2$ (500 cal/cm^2) dziennie w czerwcu (maksimum roczne) do $15,7 \text{ MJ/rn}^2$ (375 cal/cm^2) dziennie w sierpniu. Najniższe promieniowanie całkowite występuje wówczas, podobnie jak wiosną – w rejonie Warszawy. W okresie jesieni rozkład promieniowania całkowitego jest już bardziej wyrównany. Najniższe wartości występują w okolicy Warszawy i wynoszą, od $1,9 \text{ MJ/rn}^2$ (46 cal/cm^2) dziennie w listopadzie, do $10,6 \text{ MJ/rn}^2$ (254 cal/cm^2) we wrześniu. W rozkładzie przestrzennym średnich dziennych sum rocznych promieniowania całkowitego zróżnicowanie jest nieduże. Najniższe średnie wartości występują w rejonie Warszawy poniżej $3,8 \text{ MJ/rn}^2$ (235 cal/cm^2) dziennie oraz wzdłuż linii średnicowej na trasie Grodzisk Maz.-Wołomin do $10,0 \text{ MJ/rn}^2$ (240 cal/cm^2) dziennie. Od centrum Kotliny Warszawskiej wartości promieniowania całkowitego nieznacznie wznoszą się w kierunku wschodnim, do $10,3 \text{ MJ/rn}^2$ (245 cal/cm^2) dziennie i więcej na Równinie Garwolińskiej i w Dolinie Wisły.

Usłonecznienie rzeczywiste

Usłonecznienie należy do ważnych elementów klimatu, gdyż wpływa w istotny sposób na dopływ energii słonecznej do powierzchni badanego obszaru. Parametr ten charakteryzują trzy wskaźniki: usłonecznienie rzeczywiste, możliwe i względne. Usłonecznienie rzeczywiste to czas, w którym bezpośrednio promieniowanie słoneczne dopływa do powierzchni Ziemi; nazywane jest też liczbą godzin (h) ze Słońcem. Usłonecznienie możliwe wyznacza się z astronomicznej długości dnia. Usłonecznienie względne oznacza stosunek usłonecznienia rzeczywistego do możliwego. Usłonecznienie zależy od szerokości geograficznej, a więc od długości dnia (pory roku) oraz od zachmurzenia i zakrycia horyzontu.

W niniejszej pracy wzięto pod uwagę jedynie usłonecznienie rzeczywiste, jako najbardziej obiektywne na niewielkim obszarze. Materiałem wyjściowym były dane meteorologiczne z lat 1971-1980 zebrane z pięciu stacji: Poświętne, Legionowo, Sinołęka, Świder, Skierniewice, z których następnie obliczono średnie dziesięcioletnie wartości. Średnie roczne dzienne usłonecznienie na badanym obszarze zmienia się od 3,4 h w Legionowie do 4,4 h w Skierniewicach (tab. 2).

Tabela 2. Sumy dzienne usłonecznienia rzeczywistego (h): U_s – średnie, U_1 – najwyższe średnie miesięczne, U_2 – najniższe średnie miesięczne, 1971-1980

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Poświętne	U_s	1,4	1,7	3,3	4,8	7,1	7,4	6,8	6,7	4,3	2,6	1,2	1,2	4,0
	U_1	2,2	3,4	5,0	5,8	9,7	9,1	10,2	10,6	5,8	5,9	1,7	3,1	6,0
	U_2	0,7	0,7	1,5	3,2	5,2	5,1	3,1	4,6	2,6	0,8	0,4	0,6	2,4
Legionowo	U_s	1,1	1,7	3,2	3,9	5,7	6,0	5,6	5,8	3,8	2,5	1,1	0,8	3,4
	U_1	2,1	2,9	5,1	4,8	9,5	8,1	8,5	8,4	6,2	6,1	1,8	1,2	5,3
	U_2	0,8	0,6	1,8	2,5	3,9	3,8	2,5	4,4	2,4	1,0	0,6	0,3	2,0
Sinołęka	U_s	1,7	2,4	3,7	4,9	7,1	7,8	7,3	7,4	4,6	2,7	1,4	1,1	4,3
	U_1	2,3	4,3	5,4	5,8	10,1	9,9	10,1	10,3	7,2	5,9	1,8	1,7	6,2
	U_2	0,6	0,9	2,1	3,6	5,9	5,9	3,9	5,6	2,6	1,5	0,8	0,3	2,8
Świder	U_s	1,5	2,1	3,8	4,5	6,1	6,4	6,0	6,4	4,3	2,6	1,3	0,9	3,8
	U_1	2,1	3,6	5,6	5,8	8,8	7,6	8,7	9,1	4,9	5,4	2,0	2,3	5,6
	U_2	0,6	0,8	2,1	3,3	5,1	5,0	3,1	4,7	2,4	1,4	0,8	0,4	2,5
Skierniewice	U_s	1,6	2,3	3,8	5,1	6,8	7,9	7,2	7,3	4,7	3,0	1,6	1,2	4,4
	U_1	2,2	3,8	5,8	6,4	8,4	10,2	10,3	10,8	7,1	5,8	2,3	2,6	6,3
	U_2	0,6	0,7	2,6	4,1	3,5	5,9	3,2	4,7	2,8	1,8	0,9	0,7	2,6
Średnia	U_s	1,5	2,0	3,6	4,6	6,6	7,1	6,6	6,7	4,3	2,7	1,3	1,0	4,0
	U_1	2,2	3,6	5,4	5,7	9,3	9,0	9,6	9,8	6,2	5,6	1,9	2,2	5,9
	U_2	0,7	0,7	2,0	3,3	4,7	5,1	3,2	4,8	2,6	1,3	0,7	0,5	2,5

W sezonowym rozkładzie największe wartości usłonecznienia przypadają, na okres od maja do sierpnia, co jest związane z najdłuższym dniem oraz mniejszym zachmurzeniem. Średnie dzienne wartości wahają się wówczas od 5,7 h w maju w Legionowie, do 7,9 h w czerwcu w Skierniewicach. Wiosna jest bardziej słoneczna (o 1,9-2,2 h) niż jesień.

Najmniejsze w roku usłonecznienie rzeczywiste przypada na grudzień: od 0,8 h w Legionowie do 1,2 h w Skierniewicach, gdy dni są najkrótsze, a niebo przesłania gruba warstwa chmur. W styczniu wraz z wydłużającym się dniem i malejącym zachmurzeniem, usłonecznienie rośnie osiągając w lutym 2,4 h w Sinołęce i 2,3 h w Skierniewicach. Na badanym terenie obserwuje się wówczas zmniejszanie usłonecznienia w kierunku północno-wschodnim. Wiosną zaznacza się jego wzrost, w porównaniu z okresem zimowym, a także z miesiąca na miesiąc tej pory roku. W marcu średnie dzienne usłonecznienie dochodzi do 3,8 h. Od marca do kwietnia wzrost usłonecznienia jest niewielki na wszystkich stacjach, przy czym zaznaczają się już znaczne różnice przestrzenne. W stacjach położonych w dolinie Wisły na wydmach (Legionowo, Świder) usłonecznienie jest mniejsze niż w pozostałych stacjach. Największy w roku wzrost usłonecznienia rzeczywistego z miesiąca na miesiąc – o ok. 2,0 h dziennie – zaznacza się między kwietniem a majem. Dzienna liczba godzin słonecznych w maju zawiera się w granicach od 5,7 h w Legionowie do 7,1 h w Poświętnem i Sinołęce. Od maja do czerwca wzrost usłonecznienia jest niewielki. W czerwcu, najbardziej usłonecznionym miesiącem w roku, dzienna liczba godzin słonecznych zmienia się od 6,0 h w Legionowie do 7,8 h w Sinołęce i 7,9 h w Skierniewicach. Letni wzrost godzin słonecznych wiąże się z najdłuższym dniem w roku i konwekcyjnym charakterem zachmurzenia. W pozostałych miesiącach letnich obserwuje się

nieznaczne obniżenie usłonecznienia z miesiąca na miesiąc. Jesienią usłonecznienie rzeczywiste znacznie zmniejsza się w porównaniu z porą letnią oraz występują duże zmiany ich wartości z miesiąca na miesiąc, zwłaszcza między sierpniem a wrześniem, kiedy spada przeciętnie o 2,0-2,5 h. Między pozostałymi miesiącami jesiennymi średnie sumy dzienne usłonecznienia obniżają się o 1,0-1,7 h.

Przy omawianiu tego elementu klimatu należy również zwrócić uwagę na przestrzenny rozkład usłonecznienia rzeczywistego. Różnice szerokości geograficznej między stacjami na analizowanym obszarze są bardzo małe. M. Kuczmański (1988) zwraca uwagę, że w Polsce: "Wraz ze wzrostem szerokości geograficznej następuje wzrost usłonecznienia w lecie, w półroczu ciepłym i roku. W zimie i półroczu chłodnym przy wzroście szerokości geograficznej zmniejsza się usłonecznienie, albowiem wówczas południowa część kraju ma dłuższy dzień". W obecnym opracowaniu uzyskane wyniki częściowo tylko potwierdzają powyższą regułę, zaznaczają się one w wartościach średnich rocznych (tab. 2).

Na badanym terenie najmniejsze wartości roczne mają stacje położone na wydmach w dolinie Wisły: Legionowo (3,4 h) i Świder (3,8 h). Jest to spowodowane dużym zapyleniem atmosfery przez okoliczne ośrodki i miasta przemysłowe, a także zwiększoną liczbą dni z mgłą. Trzecią stacją o małym usłonecznieniu jest, położona na północy badanego obszaru, stacja Poświętne (4,0 h). Najpogodniejszym miejscem opisywanego obszaru jest rejon południowo-zachodni, ze średnią roczną sumą dzienną 4,4 h (Skierniewice). Na uwagę zasługuje również rozkład ekstremalnych sum dziennych usłonecznienia. Najmniejsze zakresy wartości ekstremalnych usłonecznienia występują w listopadzie i grudniu: w Legionowie w grudniu od 0,3 do 1,2 h, nieco większe w styczniu i lutym.

Największe różnice od średnich sum dziennych wartości usłonecznienia występują w miesiącach letnich np. na stacji Poświętne w lipcu maksimum usłonecznienia wynosiło 10,2 h a minimum 3,1 h, przy średniej sumie dziennej 6,8 h. W latach 1971-1980 nasłoneczniony był rok 1973. Największą liczbę godzin zanotowano wówczas w Skierniewicach: 1754 h (średnia dzienna 4,8 h), podczas gdy przeciętna z całego okresu wynosi 1601 h. Najmniej słoneczny okazał się rok 1980 z najmniejszym usłonecznieniem w Legionowie 1089,5 h (średnia dzienna 3,0 h) – średnia dziesięcioletnia 1257 h. W badanym dziesięcioleciu największe maksimum usłonecznienia wystąpiło w Skierniewicach w sierpniu 1973 roku i wyniosło 10,8 h. Natomiast najmniejszą wartość usłonecznienia notowano w Legionowie w grudniu 1973 rok – 0,3 h.

Reasumując, należy zwrócić uwagę na niekorzystne usłonecznienie w zimie – ok. 1,5 h, porze o najkrótszym dniu i największym zachmurzeniu (74%). Najmniejsze usłonecznienie wykazuje grudzień: ok. 1,0 h. Największe usłonecznienie przypada na lato – 6,7 h, a w nim na czerwiec – 7,1 h – miesiąc o najdłuższym dniu i niewielkim zachmurzeniu (58%). Wiosną, której usłonecznienie średnie dzienne wynosi 5,0 h jest znacznie słoneczniejsza niż jesień, kiedy sumy dzienne usłonecznienia są, mniejsze o 2,8 h. Największe w ciągu roku wartości usłonecznienia występują w Sinołęce i Skierniewicach. Najmniejsze wartości roczne, a także dzienne, występują, w Legionowie.

Kotlina Warszawska wyróżnia się mniejszym czasem usłonecznienia niż jej otoczenie. Należy to interpretować przede wszystkim znacznym zanieczyszczeniem powietrza przez przemysł i komunikację, a także przez zwiększoną, liczbę dni z mgłą, co jest konsekwencją, kotlinnego położenia.

Zmiany roczne i zróżnicowanie przestrzenne temperatury powietrza

Temperatura powietrza jest jednym z podstawowych elementów klimatu. Należy do najlepiej opracowanych w literaturze klimatologicznej charakterystyk zarówno pod względem rozkładu przestrzennego jak i przebiegu w ciągu roku. Opisuje ją największa liczba wskaźników, są to: wartości średnie dobowe, miesięczne i roczne, obliczone na ich podstawie średnie wieloletnie oraz średnie miesięczne temperatury maksymalne i temperatury minimalne, a także obliczone na ich podstawie średnie wieloletnie.

Oprócz podstawowych wskaźników temperatury wykorzystywane są pochodne od wartości średnich. Należą do nich, w ujęciu statystycznym najprostsze miary dyspersji (zakres wahań temperatury):

- amplituda dobowa – różnica między temperaturą maksymalną i minimalną w ciągu pojedynczej doby lub z uśrednionych ich wartości,
- amplituda roczna – różnica między średnią temperaturą w miesiącu najchłodniejszym i najcieplejszym,
- amplituda ekstremalna – różnica między najwyższą średnią miesięczną temperaturą maksymalną i najniższą średnią miesięczną temperaturą minimalną,
- amplituda absolutna – różnica między absolutnymi wartościami temperatury, tzn. absolutnym maksimum i absolutnym minimum.

Na podstawie wartości średnich (średnich miesięcznych temperatur) oblicza się także czas trwania termicznych pór roku i okres wegetacyjny.

Na podstawie częstości występowania temperatur maksymalnych i minimalnych w określonych przedziałach oblicza się liczbę dni charakterystycznych:

- dni upalne (bardzo gorące) – $t_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$
- dni gorące – $t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$
- dni przymrozkowe – $t_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ i $t_{\max} > 0^{\circ}\text{C}$
- dni mroźne – $t_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$
- dni bardzo mroźne – $t_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$, wg niektórych autorów – $t_{\max} < -10^{\circ}\text{C}$

Wymienione wskaźniki temperatury posłużyły do scharakteryzowania warunków termicznych Kotliny Warszawskiej i jej otoczenia. Materiałem wyjściowym są dane z dziesięciolecia 1971-1980 z dwóch posterunków meteorologicznych położonych na terenie Kotliny Warszawskiej: Legionowa i Warszawy-Bielany oraz z ośmiu położonych na otaczających ją wysoczyznach i równinach: Pułusk, Poświętne, Płock-Radziwie, Niepokalanów, Warszawa-Okęcie, Świder, Skierniewice, Sinolęka.

Średnia miesięczna temperatura powietrza, amplituda roczna, termiczne pory roku i okres wegetacyjny

Średnia miesięczna temperatura powietrza

Roczny przebieg średniej miesięcznej temperatury powietrza na omawianym terenie charakteryzuje się jednym minimum i jednym maksimum, jak ma to miejsce w klimacie umiarkowanym przejściowym.

Najniższą średnią miesięczną temperaturą odznacza się styczeń (tab. 3, od $-2,6$ do $-4,0^{\circ}\text{C}$). Najwyższe temperatury występują wówczas w samej Kotlinie i jej najbliższej okolicy (Warszawa-Bielany $-2,6^{\circ}\text{C}$, Płock $-2,5^{\circ}\text{C}$). Podobne wartości temperatury występują na południe od Kotliny Warszawskiej – Skierniewice, Niepokalanów $-2,7^{\circ}\text{C}$. Najchłodniej jest na terenach najwyżej położonych (ponad 150 m n.p.m.) i najbardziej wy-

suniętych na wschód (Sinołęka $-4,0^{\circ}\text{C}$). Pas Kotliny Warszawskiej równoległy do biegu Wisły to najcieplejszy obszar omawianego terenu, wyznacza go izoterma -3°C . Jedyne w północno-wschodniej jej części – reprezentowanej przez stację Legionowo – temperatura jest niższa i wynosi $-3,1^{\circ}\text{C}$.

Tabela 3. Średnia miesięczna temperatura powietrza ($^{\circ}\text{C}$), 1971-1980

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	R	A
Pułtusk	-3,4	-1,9	1,8	6,6	12,8	16,2	17,3	17,0	12,2	6,9	3,0	-0,4	7,3	20,7
Poświętne	-3,1	-1,6	2,1	6,7	12,9	16,3	17,5	17,0	12,4	7,2	3,2	-0,1	7,6	20,6
Płock-Radz.	-2,5	-1,0	2,8	7,2	13,2	16,7	17,8	17,5	12,8	7,6	3,6	0,3	8,0	20,3
Nieporęt.	-2,7	-1,2	2,6	7,0	12,9	16,4	17,5	17,1	12,6	7,4	3,5	0,2	7,8	20,2
Sinołęka	-4,0	-2,2	1,6	6,4	12,5	16,1	17,2	16,6	12,0	6,8	2,7	-0,7	7,1	21,2
Wa-Okęcie.	-3,1	-1,4	2,5	7,0	13,0	16,5	17,6	17,2	12,6	7,4	3,3	0,0	7,7	20,7
Świdar	-3,2	-1,5	2,3	6,9	13,1	16,7	17,8	17,1	12,2	7,1	3,1	0,0	7,6	21,0
Skiermiewice	-2,7	-1,1	2,6	6,9	12,8	16,1	17,3	17,0	12,6	7,5	3,5	0,3	7,7	20,0
Wa-Bielany	-2,6	-1,0	2,9	7,5	13,6	7,0	8,2	7,8	13,1	1,8	3,6	0,4	8,2	20,8
Legionowo	-3,1	-1,4	2,4	7,0	13,2	6,7	7,9	7,3	12,6	7,3	3,3	0,0	7,8	21,0
Średnia	-3,0	-1,4	2,4	6,9	13,0	16,5	17,6	17,2	12,5	7,3	3,3	0,0	7,7	20,7

Ujemne średnie temperatury powietrza charakteryzują miesiące zimowe: styczeń i luty, natomiast w grudniu wynoszą około $0,0^{\circ}\text{C}$; jedynie na północy i wschodzie omawianego obszaru są ujemne: Poświętne $-0,1^{\circ}\text{C}$, Pułtusk $-0,4^{\circ}\text{C}$, Sinołęka $-0,7^{\circ}\text{C}$. W okresie wiosennym uwidacznia się gwałtowny wzrost temperatury. W kwietniu jest ona wyższa już o około $5,0^{\circ}\text{C}$ niż marcu i waha się od $6,4^{\circ}\text{C}$ (Sinołęka) do $7,5^{\circ}\text{C}$ (Warszawa-Bielany). Najchłodniejsze są tereny położone najwyżej nad poziomem morza. Najwyższą średnią miesięczną temperaturą charakteryzuje się lipiec (ok. $17,6^{\circ}\text{C}$). W rozkładzie temperatury wyróżnia się najcieplejsze (z temperaturą 18°C) centrum Kotliny Warszawskiej, ciągnące się wzdłuż Wisły od stacji Warszawa-Bielany ($18,2^{\circ}\text{C}$) do ujścia Bugu. Na pozostałym obszarze średnia temperatura waha się od $17,5^{\circ}\text{C}$ do $18,0^{\circ}\text{C}$. Do najchłodniejszych (poniżej $17,5^{\circ}\text{C}$) należą tereny o większych wysokościach nad poziomem morza – Skiermiewice $17,3^{\circ}\text{C}$, Pułtusk $17,3^{\circ}\text{C}$, Sinołęka $17,2^{\circ}\text{C}$. Temperatura powietrza w pozostałych miesiącach letnich jest niższa o około 1°C od temperatury w lipcu. Spadek temperatury w okresie jesieni jest o $0,3-0,7^{\circ}\text{C}$ powolniejszy niż jej wzrost wiosną. Zmienia się ona od ok. $13,0^{\circ}\text{C}$ we wrześniu (najwyższa): Warszawa-Bielany $13,1^{\circ}\text{C}$ do ok. $3,5^{\circ}\text{C}$ w listopadzie – (najniższa) w Sinołęce $2,7^{\circ}\text{C}$. W październiku temperatura waha się od $7,0^{\circ}\text{C}$ do $7,5^{\circ}\text{C}$. Najwyższą temperaturą w Kotlinie Warszawskiej odznacza się Warszawa-Bielany $7,8^{\circ}\text{C}$, Płock $7,6^{\circ}\text{C}$. Otaczające Kotlinę Warszawską wysoczyzny są chłodniejsze ($7,0-7,5^{\circ}\text{C}$). Najchłodniejsza jest wschodnia część terenu z temperaturą poniżej $7,0^{\circ}\text{C}$: Pułtusk $6,9^{\circ}\text{C}$, Sinołęka $6,8^{\circ}\text{C}$.

Średnia roczna temperatura powietrza omawianego obszaru wynosi ok. $7,8^{\circ}\text{C}$. Największą wartością charakteryzuje się Warszawa-Bielany $8,2^{\circ}\text{C}$, najmniejszą zaś wschodnia część omawianego terenu (Sinołęka $7,1^{\circ}\text{C}$).

Reasumując należy zwrócić uwagę na uprzywilejowanie termiczne samej Kotliny Warszawskiej, o czym świadczy roczny przebieg i rozkład temperatury średniej miesięcznej

w Legionowie i Warszawie-Bielanach. Fakt ten potwierdzają również odchylenia temperatury średniej miesięcznej tych stacji w odniesieniu do wartości średniej obliczonej z danych ze wszystkich omawianych stacji. Średnia miesięczna temperatura powietrza w Legionowie niewiele (od $-0,1$ do $0,3^{\circ}\text{C}$) różni się od średniej z całego omawianego terenu. Ujemne różnice występują w miesiącach zimowych (grudzień $0,0^{\circ}\text{C}$, luty $-0,1^{\circ}\text{C}$), co świadczy o chłodniejszym klimacie okolicy Legionowa. W pozostałych miesiącach średnia temperatura jest taka sama lub nieco wyższa. Największą różnicą $0,3^{\circ}\text{C}$ odznacza się lipiec. Natomiast średnie miesięczne temperatury ze stacji Warszawa-Bielany są zdecydowanie wyższe w porównaniu z otoczeniem: od $0,3^{\circ}\text{C}$ (listopad) do $0,6^{\circ}\text{C}$ (kwiecień-maj, lipiec-wrzesień), należy tłumaczyć miejskim charakterem tej stacji.

Średnia amplituda roczna temperatury powietrza

Zakres wahań średniej temperatury powietrza (tab. 3) w ciągu roku wynosi $20,7^{\circ}\text{C}$, najwyższą wartość osiąga w Sinołęczu ($21,2^{\circ}\text{C}$), Legionowie i Świdrze ($21,0^{\circ}\text{C}$), najniższą w Skierniewicach ($20,0^{\circ}\text{C}$). Na taką wartość rocznej amplitudy wpływa przede wszystkim niska temperatura stycznia od $-2,5^{\circ}\text{C}$ do $-4,0^{\circ}\text{C}$. W rozkładzie przestrzennym średnia roczna amplituda temperatury powietrza zachowuje ogólną prawidłowość, charakterystyczną dla obszaru całej Polski, a mianowicie wzrostu z zachodu ku wschodowi. Świadczy to o wzroście kontynentalizmu termicznego w kierunku wschodnim.

Termiczne pory roku i okres wegetacyjny

Ważną cechą charakteryzującą warunki termiczne jest czas trwania i terminy występowania pór roku. Termiczne pory roku wyznaczamy na podstawie przejścia średnich miesięcznych temperatur przez odpowiednio dobrane wartości, tzw. progi termiczne.

W Polsce wyróżniamy 6 pór roku:

Przedwiośnie	$0 < t \leq 5^{\circ}\text{C}$
Wiosna	$5 < t \leq 15^{\circ}\text{C}$
Lato	$t > 15^{\circ}\text{C}$
Jesień	$5^{\circ}\text{C} < t \leq 15^{\circ}\text{C}$
Przedzimie	$0 < t \leq 5^{\circ}\text{C}$
zima	$t \leq 0^{\circ}\text{C}$

Przedwiośnie na omawianym terenie rozpoczyna się na przełomie lutego i marca (tab. 4). Najwcześniej pojawia się na stacji Warszawa-Bielany – 24 lutego oraz w Skierniewicach i Niepokalanowie – 25 lutego, najpóźniej za w Płocku-Radziwiu i Sinołęczu – 5 marca. Trwa 32 do 36 dni, jedynie w Płocku trwa krócej (26 dni). Natomiast na stacjach Kotliny Warszawskiej trwa 33-34 dni.

Wiosna pojawia się w pierwszych dniach kwietnia, jedynie w Płocku i w Warszawie-Bielanach rozpoczyna się nieco wcześniej (odpowiednio 31 i 30 marca). Czas trwania tej pory roku jest dość wyrównany: 59-64 dni, przy czym najkrócej trwa w Kotlinie Warszawskiej.

Lato wkracza do Kotliny Warszawskiej już pod koniec maja (Warszawa-Bielany – 28 maja, Płock, Legionowo – 31 maja) a na pozostałym obszarze na początku czerwca. Najpóźniej pojawia się na wschodzie – Sinołęka (6 czerwca). Czas trwania lata jest dość zróżnicowany: najkrócej na wschodzie (Sinołęka – 81 dni), najdłużej w centrum Kotliny Warszawskiej (Warszawa-Bielany – 98 dni, Legionowo – 92 dni) i Płocku (93 dni). Różnica

w skrajnych przypadkach wynosi ponad dwa tygodnie (17 dni) i jest duża jak na tak mały obszar.

Tabela 4. Termiczne pory roku (P – początek i L.d. – liczba dni), 1971-1980

	Przedw.		Wiosna		Lato		Jesień		Przedz.		Zima		Okres
	P	L.d	P	L.d	P	L.d	P	L.d	P	L.d	P	L.d	
Pułtusk	3 III	33	5 VI	60	4VI	85	28VIII	65	1 XI	40	11 XII	82	210
Poświętne	1 III	34	4IV	60	3VI	87	29 VIII	64	1 XI	44	15 XII	76	211
Płock – Radz.	5 III	26	31 IV	61	31 V	93	1 IX	66	6 XI	43	19 XII	76	220
Niepokalanów	25 II	35	1 IV	63	3 VI	88	30 VIII	65	3 XI	45	18 XII	69	216
Sinołęka	8 III	32	6 IV	61	6. VI	81	26 VIII.	64	29 X	42	10 XII	85	206
Warszawa-Ok.	27 II	34	2 IV	61	2 VI	89	30 VIII	65	3 XI	42	15 XII	74	215
Świder	28 II	34	3 IV	59	1 VI	89	29 VIII	64	1 X	44	15 XII	75	212
Skierniewice	25 II	36	2 IV	64	5 VI	86	30 VIII	66	4 XI	41	19 XII	68	216
Warszawa-B.	24 II	34	30 III	59	28V	98	3 IX	63	5 XI	45	20 XII	66	220
Legionowo*	28 II	33	2 IV	59	31 V	92	31 VIII	63	2 XI	43	15 XII	75	214
Średnia		33		61		89		65		43		75	214

Jesień rozpoczyna się w ostatnich dniach sierpnia (najwcześniej w Sinołęce – 26 sierpnia), a w Płocku i na Bielanych na początku września (odpowiednio 1 i 3 września). Przy dużej rozpiętości początku jesieni (aż 9 dni), czas jej trwania jest dość wyrównany: 63-66 dni. Najkrócej ta pora roku trwa w Kotlinie Warszawskiej, a najdłużej w Skierniewicach i Płocku.

Przedzime na omawianym terenie pierwsze pojawia się w Sinołęce (25 października, a ostatnie w Płocku-Radziwiu (6 listopada). Ta przejściowa pora roku najkrótsza jest w Pułtusku (40 dni), zaś w Niepokalanowie i na Bielanych rozciąga się na 45 dni.

Zima pojawia się najpierw, tj. 10-11 grudnia, na wschodzie (Sinołęka) i północ-wschodzie (Pułtusk) omawianego obszaru, a pod koniec drugiej dekady grudnia w Płocku, Niepokalanowie i Bielanych. Czas trwania tej pory roku jest najbardziej zróżnicowany, od 66 dni (Warszawa-Bielany) do 85 dni (Sinołęka). Równie duże zróżnicowanie (dochodzące do 9 dni) zaznacza się w obrębie Kotliny Warszawskiej.

Podsumowując, należy jeszcze raz podkreślić duże różnice w czasie trwania dwóch głównych pór roku – lata i zimy. Różnice te wynoszą ponad dwa tygodnie (odpowiednio 17 i 19 dni) i występują między stacjami Kotliny Warszawskiej – Warszawą-Bielany (stacja uprzywilejowana termicznie ze względu na swój miejski charakter) i Sinołęką (stacja wysunięta najbardziej na wschód na omawianym terenie). Najmniejsze różnice występują jesienią (3 dni).

Kotlina Warszawska charakteryzuje się wczesnym pojawieniem się przedwiośnia, wiosny i lata oraz późnym nadejściem jesieni, przedzimia i zimy. Szczególnie jest to widoczne na stacji Warszawa-Bielany. W Kotlinie krócej trwają: wiosna (średnio o 2 dni), jesień (o 1 dzień) oraz zima (tylko w przypadku Bielany o 9 dni), natomiast najdłużej trwa lato (o 3 dni dłużej w Legionowie i 9 dni na Bielanych). Taki układ termicznych pór roku w Kotlinie Warszawskiej jest konsekwencją ocieplającego wpływu miasta i rzeki oraz kotlinnego położenia tych terenów.

Do charakterystyk klimatologicznych opartych na wartościach progowych należy również okres wegetacyjny, o którym należy wspomnieć dla pełniejszej charakterystyki klimatu Kotliny Warszawskiej i jej otoczenia. Okres wegetacyjny to okres, w którym średnia miesięczna temperatura powietrza jest wyższa lub równa 5,0°C. Na omawianym obszarze różnice w czasie trwania okresu wegetacyjnego są bardzo duże – 14 dni, natomiast w obrębie Kotliny Warszawskiej – dochodzi do 6 dni (tab. 3). Najkrócej okres wegetacyjny trwa na wschodzie terenu – 206 dni (Sinołęka), najdłużej w centralnej części Kotliny Warszawskiej i na zachodzie terenu – 220 dni (Płock, Warszawa-Bielany).

Ekstremalna temperatura powietrza

Średnia maksymalna temperatura powietrza

Roczny przebieg maksymalnej temperatury powietrza charakteryzuje się, podobnie jak opisane uprzednio średnie – jednym maksimum i jednym minimum. Najniższa średnia temperatura maksymalna występuje w styczniu (tab. 5).

Podobnie jak w przebiegu temperatury średniej najwyższa temperatura maksymalna w styczniu występuje na stacjach położonych wzdłuż Wisły (Świdar – 0,0°C, Warszawa-Bielany – -0,2°C, Płock – -0,1°C). Niższa o 1°C temperatura maksymalna występuje na wschodzie (Sinołęka – -1,2°C). Tereny północno-wschodnie Kotliny Warszawskiej mają nieco niższą temperaturę powietrza niż część ciągnąca się wzdłuż Wisły. W okresie wiosennym następuje duży wzrost temperatury. W kwietniu średnia maksymalna temperatura waha się od 11,1°C (Pułtusk) do 12,6°C (Świdar). Najwyższe średnie maksymalne temperatury występują w Dolinie Środkowej Wisły (Świdar – 12,6°C, Okęcie – 12,1°C) oraz centralnej i północno-wschodniej części Kotliny Warszawskiej (Warszawa-Bielany – 12,2°C, Legionowo – 12,1°C). Na pozostałym obszarze temperatura maksymalna przyjmuje wartości niższe od 12°C. Najniższe temperatury maksymalne w kwietniu występują w północno – wschodniej części terenu (Pułtusk 11,1°C). Miesiącem, w którym notuje się najwyższą średnią maksymalną temperaturę, powietrza jest lipiec. Podobnie jak w omówionych wyżej miesiącach, Świdar wyróżnia się najwyższą wartością omawianego wskaźnika: 23,7°C. W godzinach popołudniowych Kotlina Warszawska jest chłodniejsza o 0,5°C. Niższe temperatury maksymalne, nawet o 1,0°C, występują na terenach wyniesionych, czyli na wysoczyznach i równinach (Sinołęka, Pułtusk: 22,7°C). Okres jesienno charakteryzuje się spadkiem temperatury maksymalnej. Wartości tego wskaźnika wahają się od 18,1°C (Świdar) we wrześniu do 5,2°C (Sinołęka) w listopadzie, październiku (powyżej 11,5°C) są Kotlina Warszawska, oprócz jej północno-wschodniej części (Legionowo – 11,4°C). Najniższą, temperaturą maksymalną odznacza się wschodnia część analizowanego terenu – Sinołęka – 10,8°C. Średnia roczna maksymalna temperatura powietrza omawianego obszaru waha się od 11,3°C (Sinołęka) do 12,4°C (Świdar).

Podsumowując należy zwrócić uwagę na uprzywilejowanie termiczne Kotliny Warszawskiej, o czym świadczy fakt, że średnia maksymalna temperatura w obu stacjach Kotliny jest wyższa od średniej wartości tego wskaźnika obliczonego z danych z całego obszaru. Jedynie w styczniu w Legionowie jest o 0,1°C niższa niż średnia. Natomiast największa różnica jest w czerwcu i wynosi 0,3°C i jest również większa od temperatury w Warszawie-Bielanach. Fakt ten należy tłumaczyć wpływem warunków podłoża. W czerwcu występuje największe usłonecznienie i promieniowanie, w związku z tym obszary położone na łatwo nagrzewającym się podłożu (Legionowo – wydmy, piaski), są

cieplejsze. Średnia maksymalna temperatura powietrza w Warszawie-Bielanach jest wyższa niż wartość średnia z całego omawianego obszaru od 0,2°C (czerwiec-październik) do 0,5°C (marzec).

Tabela 5. Średnia miesięczna temperatura maksymalna (°C), 1971-1980

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	R
Pułtusk	-1,0	0,9	5,8	11,1	18,7	21,6	22,7	22,7	17,5	11,0	5,3	1,7	11,5
Poświętne	-0,6	1,2	6,4	11,6	18,3	21,4	22,6	22,7	17,6	11,1	5,5	2,2	11,6
Płock-Radz.	-0,1	1,9	6,8	11,9	18,8	22,1	23,1	23,2	18,0	11,6	6,0	2,6	12,2
Nieporęt	-0,1	1,8	7,0	11,9	18,4	21,8	23,1	23,0	17,9	11,6	6,0	2,7	12,1
Sinołęka	-1,2	0,7	5,9	11,5	18,0	21,4	22,7	22,2	17,1	10,8	5,2	1,8	11,3
Wa-Okęcie	-0,5	1,6	6,9	12,1	18,4	21,9	22,9	22,8	17,7	11,4	5,7	2,3	11,9
Świdar	0,0	1,9	7,3	12,6	19,1	22,7	23,7	23,3	18,1	11,6	5,8	2,4	12,4
Skiermiewice	-0,1	1,9	6,9	11,7	18,0	21,3	22,5	22,6	17,7	11,5	5,9	2,6	11,9
Wa-Bielany	-0,2	1,9	7,2	12,2	18,8	22,0	23,2	23,1	18,0	11,6	6,0	2,6	12,2
Legionowo	-0,5	1,6	6,9	12,1	18,7	22,1	23,2	23,0	17,9	11,4	5,7	2,4	12,0
Średnia	-0,4	1,5	6,7	11,9	18,5	21,8	23,0	22,9	17,8	11,4	5,7	2,3	11,9

Średnia minimalna temperatura powietrza

Podstawowe cechy przebiegu rocznego średniej temperatury minimalnej są wspólne z dotychczas przedstawionymi. Najniższa średnia wieloletnia minimalna temperatura (tab. 6) wynosi na omawianym obszarze od -6,4°C (Sinołęka) do -5,7°C na obszarze Kotliny Warszawskiej (Legionowo). Wyraźnie od pozostałych stacji odbiega temperatura minimalna na Bielanach i w Płocku-Radziwiu (-5,0°C). Potwierdza to poznana prawidłowość, że duże miasta, zwłaszcza w nocy, stanowią „wyspy ciepła”.

Najniższymi temperaturami minimalnymi w styczniu wyróżnia się zdecydowanie północna i wschodnia część omawianego obszaru, w tym również północno-wschodnia część Kotliny Warszawskiej (Legionowo). Temperatury minimalne niższe od 0°C występują w czterech miesiącach w roku od grudnia: (ok. -2,5°C) do marca (ok. -1,0°C).

W kwietniu temperatury minimalne są już dodatnie i wahają się ok. 2,5°C. Rozkład temperatury minimalnej w kwietniu nie odbiega od omówionych wyżej rozkładów temperatury powietrza. Najcieplejszymi nocami odznacza się Kotlina Warszawska i południowe wysoczyzny, gdzie temperatura waha się od 2,8°C w Niepokalanowie do 2,6°C w Legionowie. Cechą charakterystyczną tego rozkładu jest najwyższa temperatura minimalna na Bielanach (3,4°C) (wyspa ciepła). Najniższą temperaturą w kwietniu charakteryzuje się Świdar (1,9°C). W kolejnych miesiącach następuje stopniowy wzrost minimalnej temperatury powietrza aż do lipca, kiedy to są notowane najwyższe temperatury minimalne w ciągu roku. W lipcu średnia temperatura minimalna osiąga wartość 12-13°C. Temperatura minimalna na Bielanach (13,5°C) jest wyższa o 0,6°C od temperatury minimalnej w Legionowie (12,9°C) i aż o 1,4°C od temperatury w Świdrze i Pułtusk (12,1°C).

Średnia minimalna temperatura powietrza w okresie jesiennym jest nieco wyższa niż w sezonie wiosennym (podobnie jak temperatura średnia miesięczna i maksymalna). W październiku w porze najniższych temperatur w ciągu doby najcieplej jest w Kotlinie Warszawskiej oraz na otaczających ją od południa i północy wysoczyznach (4,1-4,4°C).

Podobnie jak w innych miesiącach, od pozostałych stacji odbiega temperatura minimalna na Bielanych (4,8°C)(wyspa ciepła). Chłodniej jest wówczas we wschodniej części analizowanego terenu: od 3,6 C (Świder) do 3,8°C (Pułtusk).

Tabela 6. Średnia miesięczna temperatura minimalna (°C), 1971-1980

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	R
Pułtusk	-6,0	-4,4	-1,5	2,4	7,2	10,6	12,1	11,7	8,0	3,8	0,9	-2,6	3,5
Poświętne	-5,7	-4,0	-1,1	2,4	7,2	10,6	12,2	11,9	8,2	4,2	1,1	-2,3	3,7
Płock-Radz.	-5,0	-3,3	0,7	2,7	7,8	11,2	12,8	12,3	8,4	4,2	1,5	-2,0	4,2
Nieporęt	-5,3	-3,6	-0,7	2,8	7,7	11,1	12,4	12,4	8,8	4,4	1,3	-2,1	4,1
Sinołęka	-6,4	-4,8	-1,8	2,2	7,1	10,7	12,6	11,8	8,0	3,7	0,5	0,0	3,4
Wa-Okęcie	5,8	-4,2	-1,2	2,4	7,7	11,1	12,6	12,1	8,1	3,9	0,9	-2,4	3,8
Świder	-6,0	-4,3	-1,5	1,9	7,0	10,5	12,1	11,6	10,2	3,6	0,6	-2,8	3,4
Skiernewice	-5,4	-3,6	-0,8	2,6	7,6	11,0	12,6	12,2	8,7	4,3	1,3	-2,0	4,0
Wa-Bielany	-5,0	-3,4	-0,4	3,4	8,5	12,0	13,5	13,1	9,2	4,8	1,5	-1,8	4,6
Legionowo	-5,7	-4,0	-1,1	2,6	7,7	11,3	12,9	12,3	8,4	4,1	1,0	-2,4	3,9
Średnia	-5,6	-4,0	-1,1	2,5	7,6	11,0	12,6	12,1	8,6	4,1	1,1	-2,3	3,9

Średnia roczna temperatura minimalna powietrza w badanym obszarze wynosi 3,0-4,5°C, z najniższą w Świdrze i Sinołęce (3,4°C) i najwyższą w Warszawie-Bielanach (4,6°C). Średnia minimalna temperatura w stacjach Kotliny Warszawskiej jest wyższa niż obliczona z wartości pochodzących ze wszystkich stacji omawianego obszaru. Przy czym średnia minimalna temperatura w Legionowie różni się niewiele od średniej z całego obszaru, największe różnice występują w okresie letnim (lipiec-wrzesień: 0,3°C), w okresach przejściowych – wiosna, jesień – są zbliżone do średniej, natomiast w styczniu i grudniu różnice są ujemne i wynoszą -0,1°C. Natomiast średnie minimalne temperatury powietrza w Warszawie-Bielanach różnią się zdecydowanie od średniej ogólnej. Różnica ta wynosi od 0,4°C w listopadzie do 1,0°C w czerwcu i sierpniu. Taki rozkład temperatury minimalnej – opisującej nocne warunki termiczne – na stacji Warszawa-Bielany należy tłumaczyć charakterem podłoża przestrzeni miejskiej, a także zanieczyszczeniami powietrza miejskiego (mniejsze promieniowanie efektywne).

Dobowa amplituda temperatury powietrza

Średnie dobowe amplitudy temperatury powietrza są najmniejsze w okresie zimy (tab. 7), zwłaszcza w grudniu (ok. 5,0°C), kiedy wartościami najmniejszymi wyróżnia się Pułtusk (4,3°C) i Warszawa-Bielany (4,4°C). W Legionowie, Sinołęce i Niepokalanowie jest wówczas 4,8°C, a w Świdrze 5,2°C. W styczniu i lutym średnia dobowa amplituda powietrza waha się ok. 5,0-6,0°C. Na wiosnę zaznacza się wzrost amplitudy dobowej. W tym okresie jest ona większa niż jesienią, gdyż nocne minima wiosenne temperatury powietrza z powodu jeszcze chłodnego gruntu są niższe od jesiennych.

Dobowe amplitudy na wiosnę przyjmują wartości od 8°C w marcu do 11°C w maju. Największe amplitudy w tym okresie występują w Świdrze (od 8,8°C do 12,1°C), a najmniejsze na stacji Warszawa-Bielany (od 7,6 do 10,3°C). Okresem, w którym notuje się najwyższą średnią dobową amplitudę temperatury powietrza jest lato. W lipcu wskaźnik ten osiąga wartość ok. 10,5°C. Podobnie jak w omówionych wyżej miesiącach, Świder

wyróżnia się najwyższą wartością omawianego wskaźnika 11,6°C. W Kotlinie Warszawskiej dobowe wahania temperatury są przeciętnie prawie o 2,0°C mniejsze (Warszawa-Bielany 9,7°C, Legionowo 10,3°C).

Najmniejsze średnie dobowe amplitudy temperatury w roku występują w centralnej części Kotliny o najwyższej temperaturze minimalnej (Warszawa-Bielany 7,6°C), a największe w Dolinie Środkowej Wisły (Warszawa-Okęcie 8,2, Świder 8,8°C).

Tabela 7. Średnia miesięczna amplituda temperatury (°C), 1971-1980

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	R	A
Pułtusk	5,0	5,3	7,3	8,7	11,5	11,0	10,6	11,0	9,5	7,2	6,2	4,3	7,7	28,7
Poświętne	5,1	5,2	7,5	9,2	11,0	10,7	10,4	10,8	9,4	6,9	4,4	4,5	7,9	28,4
Płock-Radz.	4,9	5,2	7,5	9,2	11,0	10,9	10,3	10,9	9,6	7,4	4,5	4,6	8,0	28,2
Nieporęt	5,2	5,4	7,7	9,1	10,7	10,7	10,7	10,6	9,1	7,2	4,7	4,8	8,0	28,4
Sinołęka	5,2	5,5	7,7	9,3	10,9	10,7	10,1	10,4	9,1	7,1	4,7	4,8	8,0	29,1
Wa-Okęcie	5,3	5,8	8,1	9,7	10,7	10,8	10,3	10,7	9,6	7,5	4,8	4,7	8,2	28,7
Świder	6,0	6,2	8,8	10,0	12,2	12,2	11,6	11,7	7,9	8,0	5,2	5,2	8,8	29,7
Skierniewice	5,3	5,5	7,7	9,1	10,4	10,3	9,9	10,4	9,0	7,2	4,6	4,6	7,8	28,0
Wa-Bielany	4,8	5,3	7,6	8,8	10,3	10,0	9,7	10,0	8,8	6,8	4,5	4,4	7,6	28,2
Legionowo	5,2	5,6	8,0	9,5	11,0	10,8	10,3	10,7	9,5	7,3	4,6	4,8	8,1	28,9
Średnia	5,2	5,5	7,8	9,3	11,0	10,8	10,4	10,7	9,2	7,3	4,8	4,7	8,0	28,6

Dni bardzo mroźne, mroźne i przymrozkowe

Na omawianym terenie dni, w których temperatura minimalna spada poniżej -10°C, przypadają na okres od listopada do marca (tab. 8). W listopadzie są to przypadki sporadyczne, przy czym najwięcej tych dni jest w Sinołęce (8 dni w ciągu 10 lat), najmniej w Warszawie-Bielanach i Płocku (1 dzień).

Średnia liczba dni bardzo mroźnych (tab. 8) wzrasta od listopada do stycznia, kiedy to osiąga maksimum – ok. 8 dni (Sinołęka, Warszawa-Okęcie). Najmniej dni bardzo mroźnych w styczniu mają stacje Płock i Warszawa-Bielany (ok. 6 dni). W ostatnim miesiącu omawianego okresu (marzec) notuje się około 1-2 takich dni. Przeciętnie w roku liczba dni bardzo mroźnych waha się od 13 w Warszawie-Bielanach i Płocku, 17 w Legionowie, Poświętnem i Warszawie-Okęciu, do 20 w Sinołęce.

Dni mroźne (z temperaturą maksymalną <0°C) na omawianym terenie (tab. 9) występują przeciętnie od 43 razy w roku w Sinołęce, do 37 razy w roku w Poświętnem, Płocku, Okęciu, do 34 w Skierniewicach i 33 razy w roku w Warszawie-Bielanach. Na terenie Kotliny Warszawskiej i okolicy dni takie występują w okresie całej pory chłodnej. W centralnej i północno-wschodniej części Kotliny oraz na wschodzie i północy badanego terenu w Legionowie, Bielanych, Sinołęce, Płocku, Pułtusku zdarzają się raz na 10 lat w październiku.

Największą liczbą dni mroźnych wyróżnia się styczeń, w którym przeciętnie notuje się ich od 13 (Skierniewice, Płock, Niepokalanów, Warszawa-Bielany) do 17 (Sinołęka).

Dni mroźne obserwuje się na omawianym terenie do marca. Średnio przez 3-4 dni w marcu temperatura maksymalna jest niższa od 0°C. Miesiąc ten, jak wynika to z badanego dziesięciolecia, jest stosunkowo chłodny, chłodniejszy niż październik.

Tabela 8. Średnia liczba dni bardzo mroźnych ($t_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$), 1971-1980

	XI	XII	I	II	III	Rok
Pułtusk	0,3	3,4	7,6	5,0	1,8	18,1
Poświętne	0,2	3,3	7,8	4,2	1,7	16,9
Płock-Radziwie	0,1	2,3	5,7	3,4	2,1	13,5
Niepokalanów	0,3	2,4	7,1	3,6	1,2	14,5
Sinołęka	0,8	4,6	8,4	5,0	1,7	20,5
Warszawa-Okęcie	0,4	3,3	8,1	4,2	1,3	17,3
Świder	0,5	4,2	7,9	4,3	1,5	18,4
Skiermiewice	0,3	2,8	6,7	4,5	1,2	15,5
Warszawa-Bielany	0,1	2,8	6,2	3,0	0,9	13,0
Legionowo	0,2	3,9	7,9	3,8	1,4	17,2

Tabela 9. Średnia liczba dni mroźnych ($t_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$), 1971-1980

	X	XI	XII	I	II	III	Rok
Pułtusk	0,1	2,7	8,3	15,5	10,2	3,6	40,5
Poświętne		2,5	7,0	14,7	9,3	3,4	36,9
Płock-Radziwie	0,1	3,0	6,9	13,2	8,1	2,6	37,1
Niepokalanów		2,4	7,1	13,5	8,5	3,4	33,3
Sinołęka	0,1	3,0	8,5	16,9	10,6	4,1	43,2
Warszawa-Okęcie		3,0	6,9	14,7	9,3	3,1	37,1
Świder		2,4	7,3	14,1	8,1	2,9	34,7
Skiermiewice		2,8	6,6	13,1	8,4	3,1	34,0
Warszawa-Bielany	0,1	2,3	6,4	13,5	8,4	3,1	33,4
Legionowo	0,1	2,7	7,8	14,7	9,6	3,6	39,5

Należy zwrócić uwagę, że dniem przymrozkowym jest taki, w którym temperatura minimalna spada poniżej 0°C , lecz maksymalna jest dodatnia. Dni przymrozkowe na omawianym terenie (tab. 10) pojawiają się sporadycznie już we wrześniu. Najwięcej takich dni w tym miesiącu notuje się w Świdrze (12 dni w ciągu 10 lat) i Sinołęce (10), a najmniej w Płocku, na Okęciu i Bielanych (1).

Tabela 10. Średnia liczba dni przymrozkowych ($t_{\min} < 0^{\circ}$, $t_{\max} > 0^{\circ}\text{C}$), 1971-1980

	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	Rok
Pułtusk	0,6	5,6	7,6	10,1	9,8	12,8	13,9	5,9	1,5	67,7
Poświętne	0,5	5,4	7,6	10,2	9,6	12,8	13,0	6,3	1,2	66,6
Płock-Radziwie	0,1	5,3	8,1	11,2	10,7	13,1	14,5	5,6	0,6	69,3
Niepokalanów	0,2	5,2	4,8	10,0	10,7	12,5	11,7	6,2	1,0	64,8
Sinołęka	1,0	6,3	8,5	10,9	9,3	13,0	14,9	6,5	1,1	84,7
Warszawa-Okęcie	0,1	5,3	8,1	11,3	10,7	13,1	14,5	5,6	0,6	69,4
Świder	1,2	6,5	9,3	11,3	11,6	13,9	15,6	8,1	2,4	80,0
Skiermiewice	0,3	4,7	7,2	9,8	11,4	12,4	12,5	5,5	0,5	64,3
Warszawa-Bielany	0,1	4,1	6,8	10,2	11,1	12,5	12,0	3,6	0,5	61,3
Legionowo	0,6	5,2	7,5	10,1	10,2	12,4	13,6	5,9	1,0	65,5

Dużą liczbą dni z temperaturą minimalną poniżej 0°C i maksymalną powyżej 0°C cechuje się też okres zimy – ponad 11 dni w miesiącu, natomiast maksymalna liczba tych

dni przypada na przedwiośnie (luty-marzec) od 12 do 15 dni w miesiącu. Dni przymrozkowe na badanym terenie pojawiają się do maja. Częstość ich w tym okresie jest dość znaczna. W badanym okresie 1971-1980 w maju wystąpiły one od 5 razy (Skierniewice, Warszawa-Bielany) do 24 razy (Świder). Miesiąc ten jak wynika to z badanego dziesięciolecia jest stosunkowo chłodny.

Liczba dni przymrozkowych w roku waha się od 61 (Warszawa-Bielany) do 65-66 na północy i zachodzie omawianego obszaru i 85 na wschodzie (Sinołęka).

Dni gorące i upalne

Dni z temperaturą maksymalną powyżej 25°C pojawiają się na terenie Kotliny Warszawskiej i jej okolicy (tab. 11) już w kwietniu, 1 dzień w ciągu 10 lat.

Występują one w ciągu szczi miesiący w roku, głównie w sezonie letnim, kiedy rejestruje się je średnio podczas ok. 9 dni (w lipcu ok. 10). Dni gorące występują od 41 razy w roku w Świdrze, 37 w Legionowie i Warszawie-Bielanach do 30 w Sinołęce i Poświętnem.

Dni upalne ($t_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$) występują na omawianym terenie (tab. 12) w ciągu pięciu miesięcy w roku – od maja do września. W maju w badanych dziesięciu latach, jeden taki dzień wystąpił na wysoczyznach, 4 dni w Kotlinie Warszawskiej i 5 dni w Świdrze. Najczęściej dni gorące rejestrowano w lipcu: po 1-2. We wrześniu w okresie badanych dziesięciu lat zaobserwowano tylko jeden dzień upalny na dwóch stacjach położonych na zachodzie omawianego obszaru – Skierniewice i Niepokalanów. Przeciętnie w roku notuje się po 3 dni upalne na wysoczyznach, ok. 5 dni w Kotlinie Warszawskiej i ok. 7 dni upalnych w Świdrze.

Z analizy warunków termicznych wynika szczególnie uprzywilejowanie termiczne Warszawy oraz najbliższego jej otoczenia, a także Kotliny Warszawskiej.

Tabela 11. Średnia liczba dni gorących ($t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$), 1971-1980

	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Rok
Pułtusk	0,1	3,7	7,9	9,5	9,9	2,4	33,5
Poświętne		2,9	6,1	10,2	9,2	2,2	30,6
Płock-Radziwie	0,1	3,9	8,3	10,1	9,9	2,5	34,6
Niepokalanów	0,1	3,4	7,9	10,4	10,3	3,0	35,1
Sinołęka	0,1	3,4	7,6	8,5	8,5	1,9	30,0
Warszawa-Okęcie	0,1	3,7	8,2	9,6	9,8	2,4	33,6
Świder	0,1	4,9	10,5	11,2	11,0	3,3	41,0
Skierniewice	0,1	3,0	6,7	8,9	10,0	2,7	31,4
Warszawa-Bielany	0,1	4,2	9,4	10,4	10,6	3,2	37,0
Legionowo	0,1	4,1	6,2	10,3	10,3	3,1	36,6
Średnia	0,1	3,7	8,1	9,9	10,0	2,7	34,0

W lecie silniej uwidacznia się wpływ warunków podłoża. Dlatego w tym okresie różnicowanie przestrzenne temperatury jest znacznie wyraźniejsze. Jako cieplejsze wyróżniają się obszary o łatwiej nagrzewającym się podłożu (Legionowo, Świder – wydmy, piaski) i przede wszystkim – tereny miejskie. Okazuje się, że środkowa część Kotliny Warszawskiej, reprezentowana przez stację Warszawa-Bielany, jest obszarem stale cie-

plejszym niż okolice. Najsłabiej zaznacza się to w ciągu dnia, reprezentowanego tu przez temperaturę maksymalną, najsilniej zaś w nocy, w porze wschodu słońca, co ujawniają temperatury minimalne. Konsekwencją wyższych temperatur minimalnych przy maksymalnych nieznacznie różniących się od występujących w pozostałej części Kotliny Warszawskiej jest wyraźne zmniejszenie dobowych amplitud na stacji miejskiej – Bielanach. Powyższe wnioski znajdują także potwierdzenie w przestrzennym rozkładzie i częstości występowania dni charakterystycznych, a także termicznych pór roku (wcześniej pojawia się przedwiosnie, wiosna i lato oraz następuje wydłużenie lata i opóźnienie przyjscia jesieni). Jest to konsekwencją ocieplającego wpływu miasta i rzeki oraz kotlinnego położenia tych terenów. Natomiast klimat zachodniej części Kotliny Warszawskiej jest w znacznym stopniu modyfikowany przez duży kompleks leśny – Puszcę Kampinoską. Przyczynia się ona do zmniejszenia dobowej amplitudy: niższe temperatury maksymalne dzienne i wyższe minimalne nocne. Natomiast najniższymi temperaturami odznaczają się wysoczyzny na północy i wschodnie równiny.

Tabela 12. Średnia liczba dni upalnych ($t_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$), 1971-1980

	V	VI	VII	VIII	IX	Rok
Pułtusk	0,2	0,5	1,7	1,5		3,9
Poświętne	0,1	0,4	1,3	1,3		3,1
Płock-Radziwie	0,3	1,2	1,8	1,6		4,9
Niepokalanów	0,1	0,7	1,7	1,5	0,1	4,1
Sinołęka	0,1	0,5	1,0	1,1		2,7
Warszawa-Okęcie	0,2	1,0	1,7	1,3		4,2
Świder	0,5	1,7	2,4	2,0		6,6
Skierniewice	0,1	0,5	1,0	1,3	0,1	3,0
Warszawa-Bielany	0,4	1,3	1,8	1,6		5,1
Legionowo	0,4	0,9	2,1	1,8		5,2
Średnia	0,2	0,9	1,7	1,5	0,0	4,3

Zmiany roczne i zróżnicowanie przestrzenne wilgotności powietrza Ciśnienie pary wodnej, wilgotność względna i niedosyt wilgotności

Roczny przebieg ciśnienia pary wodnej ma ścisły związek z przebiegiem temperatury powietrza. I tak, w porze zimowej ciśnienie pary wodnej przyjmuje najniższe wartości w roku (tab. 13), wahają się one od 5,7 hPa w grudniu, do 4,6 hPa w styczniu. Od grudnia ciśnienie pary wodnej maleje, osiągając w styczniu minimum roczne. W styczniu rozkład przestrzenny tego wskaźnika jest monotony. Średnie miesięczne ciśnienie pary wodnej zmienia się nieznacznie, od 4,4 hPa w Sinołęce, do 4,9 hPa w Płocku.

Wiosną ciśnienie pary wodnej przyjmuje wartości od 5,9 hPa w marcu do 10,7 hPa w maju. Przeciętny wzrost tego wskaźnika z miesiąca na miesiąc wynosi ok. 2,5 hPa. W kwietniu wartości wzrastają średnio o 1,5 hPa w porównaniu z marcem. Z rozkładu przestrzennego ciśnienia pary wodnej w kwietniu (tab. 13) wynika, że najniższe wartości, poniżej 7,0 hPa, występują w stacji Warszawa-Bielany oraz na południu, w Skierniewicach. Centralna i wschodnia części Kotliny Warszawskiej oraz tereny położone na północ i południe od niej zawierają więcej pary wodnej. Ciśnienie pary wodnej przyjmuje

wartości od 7,0 do 7,4 hPa, natomiast najwyższe wartości – powyżej 7,5 hPa mają : Wysoczyzna Siedlecka, Dolina Dolnej Narwi oraz tereny wzdłuż Wisły na zachód od Kotliny Warszawskiej. W maju wzrost ciśnienia pary wodnej dochodzi do 3,7 hPa w porównaniu z miesiącem poprzednim.

Maksimum roczne ciśnienia pary wodnej przypada na lipiec, gdy zmienia się od 14,7 hPa (Skierniewice) do 16,4 hPa (Pułtusk). Najmniejsze wartości notowane są w centralnej części Kotliny Warszawskiej oraz na Wysoczyźnie Rawskiej (14,7-14,8 hPa), co jest konsekwencją mniejszej zawartości pary wodnej w powietrzu w tym rejonie i wyższej temperatury powietrza. Stosunkowo niewysokie ciśnienie pary wodnej (od 15,0 do 15,5 hPa) występuje w zachodniej i wschodniej części Kotliny Warszawskiej, a także na Wysoczyźnie Ciechanowskiej, Równinie Błońskiej i dalej w kierunku zachodnim. Najwyższym ciśnieniem pary wodnej, powyżej 16,0 hPa w tym miesiącu odznacza się wilgotniejsza Dolina Narwi.

Od lipca występuje stopniowy spadek ciśnienia pary wodnej. Jesienią następuje dalszy spadek ciśnienia pary wodnej, przeciętnie o 2,0 hPa miesięcznie. Wartości tego wskaźnika zmieniają się od 12,0 hPa we wrześniu do 7,0 hPa w listopadzie. W październiku na całym badanym obszarze wartości tego elementu klimatu są wyrównane. Wyróżnia się najniższymi wartościami wschodnia część Kotliny Warszawskiej, a także Wysoczyzny: Rawska i Siedlecka – poniżej 9,0 hPa (Skierniewice 8,7 hPa, Legionowo 8,8 hPa, Sinołęka 8,5 hPa).

Średnie roczne ciśnienie pary wodnej badanego obszaru wynosi 9,3 hPa. Największe wartości występują w Pułtusk (9,8 hPa) i Płocku-Radziwiu (9,6 hPa), najmniejsze zaś są na Wysoczyźnie Rawskiej (Skierniewice 9,0 hPa) i w centralnej części Kotliny Warszawskiej (Warszawa-Bielany 9,0 hPa).

W ciągu dziesięciolecia 1971-1980 najniższe ciśnienie pary wodnej notowano w roku 1976 – ok. 8,6 hPa (Skierniewice), najwyższe zaś w roku 1975 – 9,8 hPa (Sinołęka) i 10,3 hPa (Pułtusk).

Reasumując należy zwrócić uwagę na fakt, że Kotlina Warszawska charakteryzuje się niższym ciśnieniem pary wodnej na tle wszystkich omawianych stacji. Świadczy o tym przebieg i rozkład ciśnienia pary wodnej w stacjach: Legionowo i Warszawa-Bielany, potwierdzają to także odchylenia wartości z tych stacji na tle badanego obszaru. Miesiące jesienne i zimowe (październik-luty) charakteryzują się niewielkimi różnicami ciśnienia pary wodnej pomiędzy stacjami Kotliny Warszawskiej a średnią wartością ze wszystkich omawianych stacji (od 0,0 do 0,2 hPa). Największe różnice występują w miesiącach letnich od 0,4 hPa (sierpień) do 0,6 hPa (czerwiec). Różnice między wartościami ciśnienia w Legionowie i Bielanach są niewielkie.

Przedstawiona charakterystyka rocznego przebiegu i zróżnicowania przestrzennego wybranych elementów wilgotności powietrza prowadzi do następującego stwierdzenia: Zmiany roczne wilgotności powietrza uwarunkowane są głównie zmianami temperatury powietrza. Maksimum ciśnienia pary wodnej (tab. 13) i niedosytu wilgotności powietrza (tab. 14) występuje w lipcu i czerwcu, a minimum w styczniu. Zaś wilgotność względna (tab. 15) najwyższa jest w grudniu, a najniższa w maju, co jest konsekwencją położenia Polski w klimacie umiarkowanym. Dla obszaru Polski charakterystyczna jest mniejsza zawartość pary wodnej w atmosferze w okresie wiosennym niż w jesiennym, gdyż zapas

wody pozostały z okresu zimowego jest niewielki, a parowanie z powodu powolnego ogrzewania się wód powierzchniowych wiosną jest nieduże. Jesienią natomiast po letnich opadach wilgotne i ciepłe nadal podłoże silniej paruje i w ten sposób dostarcza więcej wilgoci do atmosfery. Najniższą wilgotność powietrza w roku (jest tu najbardziej sucho) ma Kotlina Warszawska. Jest to obszar o najmniejszej wilgotności względnej i najmniejszym ciśnieniu pary wodnej oraz największym niedosycie wilgotności. Najslabiej zaznacza się to zimą a najwyraźniej latem i wiosną.

Klimat zachodniej części Kotliny Warszawskiej natomiast jest w znacznym stopniu modyfikowany przez duży kompleks leśny – Puszcę Kampinoską. Przyczynia się ona poprzez transpirację roślin, parowanie z podłoża a także na skutek osłabionego ruchu powietrza do podwyższenia wilgotności względnej powietrza, zmniejszenia niedosytu wilgotności powietrza i intensywności parowania (szczególnie latem).

Tabela 13. Średnie ciśnienie pary wodnej (hPa), 1971-1980

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Pułtusk	4,6	5,0	5,9	7,8	11,5	15,0	16,4	16,0	12,7	9,3	7,3	5,8	9,8
Poświętne	4,6	5,0	5,8	7,2	10,4	13,5	15,1	14,8	11,8	9,0	7,0	5,7	9,2
Płock-R.	4,9	5,2	6,2	7,8	11,3	14,1	15,4	15,5	12,3	9,2	7,2	5,8	9,6
Niepokalanów	4,6	5,0	6,0	7,4	10,6	13,9	15,3	15,0	12,0	9,2	7,0	5,7	9,3
Sinołęka	4,4	4,8	5,7	7,6	10,7	14,3	15,7	15,2	12,2	8,9	6,8	5,4	9,3
Warszawa-Ok.	4,5	5,0	5,9	7,3	10,5	13,4	15,0	14,8	11,9	9,0	7,0	5,7	9,2
Świder	4,5	5,0	5,9	7,5	10,7	13,7	15,4	15,2	12,2	9,0	7,0	5,7	9,3
Skierniewice	4,6	5,0	5,8	7,0	10,3	13,2	14,7	14,7	11,7	8,7	6,8	5,6	9,0
Warszawa-B.	4,6	4,9	5,7	7,0	10,2	13,2	14,8	14,6	11,9	9,0	6,9	5,7	9,0
Legionowo	4,6	5,0	5,8	7,2	10,5	13,2	14,8	14,6	11,7	8,8	7,0	5,7	9,1
Średnia	4,6	5,0	5,9	7,4	10,7	13,8	15,3	15,0	12,0	9,0	7,0	5,7	4,6

Tabela 14. Średni niedosyt wilgotności (hPa), 1971-1980

	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	Rok
Pułtusk	0,6	0,8	2,1	3,4	6,2	6,7	6,4	5,9	3,6	1,6
Poświętne	0,7	0,9	2,0	3,6	6,6	7,3	7,0	6,8	4,0	1,9
Płock-Radz.	0,8	1,0	2,3	3,7	6,7	7,8	7,2	7,0	4,1	2,1
Niepokalanów	0,8	1,0	2,2	3,6	6,3	7,1	7,2	6,7	4,0	2,1
Sinołęka	0,6	0,8	2,0	3,6	5,9	6,3	6,0	5,8	3,2	1,8
Warszawa-Ok.	0,7	0,9	2,1	3,6	6,8	8,1	7,6	6,6	4,2	2,4
Świder	0,8	1,0	2,2	3,7	7,0	8,2	7,7	6,8	3,8	2,0
Skierniewice	0,8	1,0	2,3	3,9	6,5	7,5	7,3	6,8	4,3	2,3
Warszawa-B.	0,9	1,1	2,6	4,3	7,3	8,3	8,2	7,6	4,5	2,4
Legionowo	0,7	0,9	2,3	3,8	6,8	8,2	8,0	7,3	4,3	2,2
Średnia	0,7	0,9	2,2	3,7	6,6	7,6	7,3	6,7	4,0	2,1

Tabela 15. Średnia wilgotność względna (%), 1971-1980

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Pułtusk	90	89	83	78	75	80	81	82	87	89	91	93	85
Poświętne	87	86	79	74	69	73	76	77	82	86	87	89	80
Płock-R.	88	86	81	77	74	75	76	79	83	86	88	89	82
Niepokalanów	86	85	78	74	71	74	76	77	81	85	86	88	80
Sinołęka	87	87	79	77	73	78	80	80	85	87	88	90	83
Warszawa-Ok.	86	85	78	73	70	72	76	77	81	85	86	88	80
Świder	86	85	79	75	71	73	76	78	84	86	88	90	81
Skierniewice	84	84	77	71	69	71	74	76	80	83	83	85	78
Warszawa-B.*	84	83	75	69	67	70	72	74	79	83	84	86	77
Legionowo*	86	86	78	72	70	70	73	75	80	84	86	88	79
Średnia	86	86	79	74	71	74	76	78	82	85	87	80	80

Zmiany roczne i zróżnicowanie przestrzenne zachmurzenia

Typ zachmurzenia wiąże się ściśle z ogólną cyrkulacją atmosferyczną, układami barycznymi, warunkami termicznymi podłoża oraz z wilgotnością powietrza.

Pogoda wyżowa przynosi stabilną pogodę i zachmurzenie typu konwekcyjnego i konwekcyjne-warstwowego (głównie w porze letniej), zaś pogody niżowe i frontalne sprzyjają wzrostowi liczby dni pochmurnych, zachmurzenie jest typu warstwowego (przede wszystkim w porze zimowej).

Średnie zachmurzenie w omawianym obszarze wynosi 63%, a w Kotlinie Warszawskiej 66%, średnie roczne zachmurzenie Polski wynosi 66% (Warakomski 1963). Można więc stwierdzić, że wielkość zachmurzenia w badanym obszarze nie odbiega od przeciętnej krajowej. Średnie zachmurzenie największe jest w listopadzie i grudniu, najmniejsze zaś w sierpniu i maju. W rocznym przebiegu można wyróżnić dwa okresy:

- zimowy – od października do lutego – ze średnim zachmurzeniem większym od średniego rocznego. W tym okresie przeważa zachmurzenie typu warstwowego,
- letni – od marca do września z zachmurzeniem mniejszym od średniego rocznego. W tym okresie jest znaczny udział zachmurzenia konwekcyjnego.

Zaznacza się również wpływ zabudowy miasta Warszawy na zachmurzenie, szczególnie w porze letniej, gdy wzmaga się turbulencja i konwekcja nad silnie nagrzaną powierzchnią ulic, placów, domów. Następuje wtedy silniejszy rozwój zachmurzenia, szczególnie chmur konwekcyjnych. W porze zimowej wpływ miasta jest już mniejszy, ale nadal jest nieco większe zachmurzenie. W mieście ponadto jest mniej dni pogodnych i więcej dni pochmurnych.

Analiza średnich wartości zachmurzenia z poszczególnych lat dziesięciolecia 1971-1980 wykazała, że najpogodniejszy był rok 1972 i 1979, najbardziej pochmurny zaś 1980, 1978 oraz 1977.

W poszczególnych miesiącach, jak i w roku, obszarem z największym średnim zachmurzeniem (tab. 16), zmniejszoną liczbą dni pogodnych (tab. 17) i większą dni pochmurnych (tab. 18) jest centralna i wschodnia część Kotliny Warszawskiej oraz Wysoczyzna Siedlecka. Najpogodniejszym zaś obszar zachodniej części Kotliny Warszawskiej i zachodnia część analizowanego terenu.

Tabela 16. Średnie wartości zachmurzenia (%), 1971-1980

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Pułtusk	70	73	58	62	55	56	60	55	59	66	78	78	64
Poświętne	69	69	58	60	52	52	55	50	55	62	75	74	61
Płock-R.	61	60	54	56	50	52	54	48	52	57	70	66	57
Niepokalanów	74	72	62	60	53	54	56	50	58	64	75	74	63
Sinołęka	75	74	64	68	62	62	66	59	62	70	80	80	68
Warszawa-Ok.	63	64	56	56	51	54	52	48	52	58	67	66	57
Świder	73	74	63	66	62	60	62	56	62	70	78	79	67
Skierniewice	74	70	62	61	57	57	62	56	60	66	76	74	64
Warszawa-B.	73	74	64	66	60	61	62	56	62	68	78	78	67
Legionowo	71	74	63	66	59	60	61	56	60	66	79	79	66
Średnia	70	70	60	62	56	57	59	53	58	65	76	75	63

Tabela 17. Średnia liczba dni pogodnych, 1971-1980

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Pułtusk	4,5	3,4	6,8	4,8	5,2	4,7	4,3	6,4	4,9	5,0	1,8	2,3	54,1
Poświętne	4,1	4,2	6,8	5,8	6,8	6,9	5,5	7,3	5,8	5,3	2,4	2,9	63,8
Płock-R.	3,3	3,0	4,2	4,1	3,9	3,5	4,6	5,1	3,8	4,0	1,4	2,6	42,9
Niepokalanów	2,7	3,8	5,4	4,1	5,7	4,8	4,9	6,0	4,4	4,6	1,8	2,7	51,9
Sinołęka	3,3	2,8	5,4	3,1	3,0	3,0	2,8	4,7	3,7	3,6	1,5	2,1	39,0
Warszawa-Ok.	3,6	3,1	3,9	3,1	3,2	3,2	3,7	5,8	3,9	3,6	1,5	2,0	40,6
Świder	3,2	2,4	5,5	3,4	4,6	4,5	4,0	6,1	4,5	3,8	1,4	2,2	45,6
Skierniewice	3,2	3,0	4,6	4,1	4,1	4,0	2,6	4,9	4,6	3,6	1,4	3,2	43,3
Warszawa-B.*	3,4	2,8	4,1	3,5	3,7	3,0	3,1	5,2	3,6	3,8	1,2	2,3	39,7
Legionowo*	3,9	2,3	5,0	2,9	3,0	3,1	2,7	4,2	4,2	4,1	1,2	2,0	38,6
Średnia	3,5	3,1	5,2	3,9	4,3	4,1	3,8	5,6	4,3	4,1	1,6	2,4	45,9

Tabela 18. Średnia liczba dni pochmurnych, 1971-1980

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Pułtusk	18,0	16,7	11,7	10,8	7,8	7,2	9,9	9,2	10,1	14,7	19,4	19,9	155,4
Poświętne	16,2	14,4	11,2	10,7	7,5	7,1	8,5	7,1	8,3	12,9	16,7	18,4	139,0
Płock-R.	16,5	15,8	12,4	10,2	8,9	7,8	9,0	7,3	8,5	12,8	16,8	18,6	145,2
Niepokalanów	17,0	15,6	12,2	8,7	7,1	6,6	7,1	6,0	7,6	12,4	15,5	17,9	134,7
Sinołęka	18,7	16,8	13,6	12,0	9,8	9,4	11,9	10,2	10,1	14,7	18,2	20,3	165,7
Warszawa-Ok.	17,6	15,8	11,9	10,4	8,9	7,9	8,8	7,3	8,3	13,1	16,9	18,6	145,5
Świder	17,8	16,0	13,1	12,5	11,2	9,5	10,2	9,5	10,7	15,0	17,1	20,2	162,8
Skierniewice	17,2	15,2	11,6	10,2	8,5	7,5	8,3	7,8	9,9	12,6	15,9	17,9	142,6
Warszawa-B.	16,9	16,4	12,6	12,1	9,1	9,0	9,3	7,6	9,6	14,1	17,6	19,2	153,5
Legionowo	17,7	16,4	13,4	11,8	8,6	8,8	8,4	7,1	8,8	14,2	18,5	19,5	153,2
Średnia	17,4	15,9	12,4	10,9	8,7	8,1	9,1	7,9	9,2	13,7	17,3	19,1	149,6

Zmiany roczne i zróżnicowanie przestrzenne opadów atmosferycznych

Roczna suma opadów na obszarze Kotliny Warszawskiej nie przekracza 700 mm. W rozkładzie przestrzennym opadów uwidacznia się większa ich obfitość w zachodniej jej części (Wólka Przybojewska 698 mm, Famułki Brochowskie 608 mm), prawdopodobnie ze względu na specyficzne położenie obu posterunków opadowych (Wólka Przybojewska na skarpie, Famułki – przy zachodniej ścianie Puszczy Kampinoskiej, która powoduje zatrzymywanie dużej ilości opadów niesionych przez wiatry sektora zachodniego. Na obszarze tym obserwuje się również większą liczbę dni z opadem, prawie we wszystkich miesiącach w roku. Stacje Serock, Słupno, Warszawa-Bielany cechują się najniższą roczną sumą opadów (550-560 mm), a także małą częstością dni z opadem (tab. 19).

W rocznym przebiegu najmniejszymi sumami opadów atmosferycznych wyróżnia się zima, zwłaszcza luty, największymi natomiast lato głównie lipiec. Liczba dni z opadem $\geq 0,1$ mm, $\geq 1,0$ mm, $\geq 10,0$ mm ma podobny przebieg roczny. Maksimum występuje w lipcu, zaś minimum w lutym (tab. 20).

W zimie najczęstszą postacią opadów jest śnieg lub deszcze ze śniegiem. Pokrywa śnieżna najdłużej utrzymuje się w styczniu (ok. 21 dni w Kotlinie i 25 dni poza nią Świdry), może występować już w październiku i jeszcze w kwietniu (tab. 21). Największą liczbę dni z pokrywą śnieżną notuje się na Bielanych (56 dni), a poza Kotliną (w Świdrze 64). Średni okres, w którym występuje pokrywa śnieżna najdłuższy jest w Sinołęce (133 dni), a w obrębie Kotliny Warszawskiej w Legionowie (125 dni).

Zjawisko burzy charakterystyczne jest dla cieplej połowy roku. Najczęściej burze występują w okresie od maja do sierpnia. Zwiększoną częstością dni z burzą w roku wyróżnia się Iłów (27 dni) położony na zachodzie Kotliny Warszawskiej (tab. 22).

Tabela 19. Średnie sumy miesięczne i roczne opadów (mm), 1971-1980

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Pułtusk	24	20	24	35	50	66	81	71	50	57	43	32	553
Poświętne	24	19	24	32	43	72	68	61	51	46	35	34	509
Płock-R.	30	21	29	32	54	75	77	75	46	53	40	39	571
Niepokalanów	29	25	27	38	48	72	87	76	55	54	40	36	587
Sinołęka	25	21	26	40	50	78	80	84	54	65	39	35	597
Wa-Okęcie	23	22	24	34	44	68	82	70	51	53	34	31	536
Świder	37	28	30	46	47	81	80	78	55	61	43	42	628
Skiernewice	27	25	24	35	53	74	88	80	55	53	36	31	598
Wa-Bielany	29	24	26	37	45	74	73	74	52	53	40	35	562
Legionowo	31	26	27	39	44	74	82	76	51	56	37	37	581
Lelice	23	19	28	37	51	74	84	66	56	57	41	35	574
Łubienica	28	23	27	38	50	85	86	88	58	61	42	38	624
Cieksyn	24	21	23	32	43	67	80	62	48	47	36	33	516
Wróblewo	26	23	26	34	55	79	77	71	55	50	40	37	575
Zaborów	28	24	26	35	48	66	75	79	53	51	40	37	581
Zielonki	35	28	29	42	50	75	82	73	61	54	45	41	814
Sulejówek	36	31	31	42	42	85	74	81	56	62	46	45	630
Wa-Koło	32	26	27	38	45	70	86	75	52	57	40	38	585
Wa-Jelonki	40	30	32	40	44	74	87	72	58	57	45	45	627
Sochaczew	30	24	28	36	55	69	84	75	58	49	38	40	588
Wa-Kawęczyn	37	30	30	38	44	100	78	86	60	60	43	42	648
Wa-Oberw	32	27	30	36	51	70	78	73	54	57	42	42	592
Wa-Kabaty	38	29	30	43	52	70	86	76	61	58	46	43	629
Wa-Kuligów	29	26	24	37	41	64	69	77	52	51	38	32	541
Góraszka	33	28	32	46	44	82	81	82	55	61	45	44	633
Fiatów	38	29	30	39	44	75	80	75	60	55	43	43	606
Sucha Nowa	26	23	23	30	48	70	77	80	54	51	38	34	554
Strugi	31	28	26	37	52	73	82	73	55	50	41	41	589
Aleksandrów	26	22	22	35	47	74	74	73	45	49	32	28	527
Orzeszyn	32	27	27	80	10	74	91	82	49	56	40	36	604
Łowicz	26	25	24	38	47	82	76	75	51	52	38	37	570
Nieborów	25	23	22	31	49	80	81	74	51	49	33	32	551
Książenice	27	28	27	40	50	84	87	84	54	57	44	38	619
Chylce	35	30	28	40	53	90	94	74	55	55	42	38	634
Płaszczno	37	30	28	44	50	72	88	82	50	58	42	41	623
Drozdy	39	32	31	40	46	70	78	81	50	55	45	45	612
Mszczonów	31	27	27	38	46	75	80	75	51	52	41	40	583
Kośmin	22	22	22	40	44	72	74	82	51	54	36	30	548
Średnia	31	25	28	38	48	75	80	76	53	54	40	38	586

Tabela 20. Średnia liczba dni opadem > 10,0 mm, 1971-1980

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Pułtusk	0,3	0,2	0,1	0,8	1,7	2,0	2,6	2,9	1,4	1,3	0,3	0,2	13,8
Poświętne	0,1	0,1	0,2	0,7	1,5	2,2	2,2	2,2	1,6	1,1	0,4	0,2	12,5
Płock-Radziwie	0,3	0,1	0,3	0,6	1,6	2,8	2,4	2,7	1,2	1,3	0,6	0,2	14,1
Niepokalanów	0,3	0,2	0,2	0,6	1,6	2,2	2,8	2,1	1,0	1,8	0,5	0,4	13,7
Sinołęka	0,2	0,2	0,2	0,8	1,2	2,9	2,7	2,4	1,2	1,6	0,6	0,3	14,3
Warszawa-Okęcie	0,3	0,3	0,2	0,9	1,1	2,2	2,8	1,9	1,4	1,5	0,4	0,2	13,1
Świder	0,6	0,3	0,2	1,2	1,4	2,7	2,5	2,4	1,5	1,6	0,7	0,5	15,6
Skierniewice	0,5	0,2	0,1	0,9	1,7	1,8	2,7	2,5	1,5	1,6	0,5	0,1	14,1
Warszawa-Bielany.	0,5	0,3	0,1	0,7	1,2	2,6	2,2	2,2	1,2	1,5	0,5	0,2	13,2
Legionowo	0,5	0,4	0,2	0,5	1,0	2,3	2,5	2,1	1,4	1,5	0,5	0,7	13,6
Posterunki opadowe													
Cieksyn	0,2	0,1	0,1	0,5	1,3	2,2	2,9	1,8	1,5	1,1	0,5	0,4	12,6
Nowy Dwór Maz.	0,4	0,3	0,2	0,5	1,1	2,0	2,6	2,1	1,2	1,4	0,4	0,5	12,7
Ilów	0,3	0,4	0,2	0,9	1,6	2,3	2,5	2,9	1,6	1,6	0,7	0,6	15,6
Warszawa-Obser.	0,5	0,3	0,2	0,8	1,3	2,6	2,7	2,4	1,2	1,4	0,5	0,5	14,4
Średnia	0,4	0,2	0,2	0,7	1,4	2,3	2,6	2,3	1,4	1,5	0,5	0,4	13,8

Tabela 21. Średnia liczba dni pokrywą śnieżną, 1971-1980

	X	XI	XII	I	II	III	IV	Rok
Pułtusk		2,8	9,6	20	14,4	6,3	0,2	53,3
Poświętne		2,7	9,9	18,4	12,1	6	0,2	49,3
Płock-Radziwie		2,5	10,1	20,6	13,4	6,6	0,2	53,4
Niepokalanów	0,1	2,3	7,5	18,3	12,1	5,6	0,2	47,1
Sinołęka	0,2	3,7	10,8	22	15,6	8,1	0,3	60,7
Warszawa-Okęcie	0,1	1,6	10	20,4	14,8	6,3	0,5	54,7
Świder	0,3	3	12,1	25,1	15,6	7,5	0,6	64,2
Warszawa-Bielany	0,1	2,5	10,3	20,7	15	6,6	0,6	55,8
Legionowo	0,2	2,8	10,1	19,6	14,6	6,4	0,4	54,1
Posterunki opadowe								
Cieksyn		1,7	9,8	16,5	14,8	6,4	0,1	51,3
Nowy Dwór Maz.		2,2	9,6	19,5	11,3	6,1	0,1	48,8
Ilów		2,2	8	18,7	12,6	4,9	0,1	46,5
Warszawa-Obser.		2,1	10	19,7	14,5	7,3	0,4	54
Średnia	0,1	2,3	9,1	18,7	12,9	6,0	0,3	49,5

Tabela 22. Średnia liczba dni burzą, 1971-1980

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Pułtusk	0,1	.	0,2	1,0	3,6	5,9	4,8	3,2	0,4	0,4	0,1	.	19,7
Poświętne	0,2	.	0,2	1,0	3,7	5,3	5,4	4,4	1,4	0,5	0,1	0,1	21,3
Płock-Radziwie.	.	.	.	0,4	4,2	4,5	5,8	4,6	1,2	0,2	.	.	20,9
Niepokalanów	.	.	0,3	0,7	3,9	4,9	5,4	4,9	1,1	0,4	0,2	.	21,8
Sinołęka	.	.	.	0,6	1,4	2,9	1,9	0,9	0,3	0,1	.	.	8,1
Warszawa-Okęcie	0,1	0,1	0,5	0,9	3,7	6,4	6,6	5,6	0,8	0,3	0,2	.	25,2
Świder	0,1	.	0,3	1,1	4,6	6,9	6,7	5,1	1,4	0,3	0,2	.	26,7
Skierniewice	.	.	0,2	0,6	3,5	3,4	3,8	3,0	0,4	0,4	.	0,1	15,4
Warszawa-Bielany	0,3	0,1	0,5	0,9	3,4	5,5	5,1	4,4	0,8	0,2	0,2	0,1	21,5
Legionowo	0,2	.	0,3	0,9	3,3	4,2	3,0	3,3	1,2	0,3	0,1	.	16,8
Posterunki opadowe													
Ciekszyn	0,1	.	0,4	1,0	3,6	5,3	4,8	3,1	0,7	0,2	0,1	.	19,3
Nowy Dwór Maz.	0,1	.	0,4	0,6	2,9	4,4	4,0	3,4	0,7	0,3	0,1	.	16,9
Ĺów	.	.	0,5	0,9	5,4	6,4	6,8	5,3	1,2	0,4	0,1	0,2	27,2
Warszawa-Obser.	0,1	0,2	0,4	0,5	3,0	4,8	4,2	3,2	0,5	.	0,1	.	17,0
Średnia	0,1	0,0	0,3	0,8	3,6	5,1	4,9	3,9	0,9	0,3	0,1	0,0	19,8

Zmiany roczne i różnicowanie przestrzenne kierunku i prędkości wiatru

Rozkład ciśnienia atmosferycznego na kontynencie europejskim w ciągu roku sprawia, że w porze zimowej dominuje wpływ Nizu Islandzkiego i Wyżu Wschodnioazjatyckiego (o czym świadczą przeważające wiatry z zachodu, południo-wschodu i wschodu), zaś latem głównie zaznacza się wpływ Wyżu Azorskiego. W wyniku czego w naszym kraju przeważają wiatry z sektora zachodniego.

W poszczególnych porach roku częstość kierunków wiatru kształtują się różnie. W zimie największy udział mają kierunki: zachodni (ok. 20%), południowo-wschodni (kilkanaście %), wiosną: wschodnie, zachodnie i z sektora północnego, latem na kierunki: zachodni (ponad 25%, północno-zachodni i południowo-zachodni, jesienią zaś na: zachodnie, południowo-zachodnie i południowo-wschodnie.

Zmienność przeważających kierunków wiatru w przebiegu rocznym na poszczególnych stacjach jest niewielka. Najczęściej występują wiatry z sektora zachodniego.

Spośród omówionych charakterystyk wiatru jedynie prędkość wiatru ma wyraźny przebieg roczny, największą notuje się w listopadzie, grudniu i marcu, zaś porą roku o największych średnich prędkościach wiatru jest zima i początek wiosny. Najmniejszymi prędkościami odznacza się sezon letni z minimum w sierpniu. W Kotlinie Warszawskiej występuje dość wyraźne różnicowanie prędkości wiatru. Na ten fakt wpływa lokalizacja stacji. Na stacji miejskiej występują, mniejsze prędkości wiatru (średnia roczna 2,7 m/s), natomiast w Legionowie, stacji leżącej w terenie otwartym są one znacznie większe (średnia roczna 3,9 m/s).

Roczny przebieg liczby dni z wiatrem silnym i bardzo silnym należy również podzielić na dwa okresy. Rzadziej wiatry silne notuje się od maja do października, a w pozostałych miesiącach jest ich nieco więcej. Wiatry bardzo silne występują sporadycznie, częstsze są od października do kwietnia. Prawie wcale nie występują one w lecie.

W rocznym przebiegu częstości cisz można wyróżnić okres zimy, w którym udział cisz w ogólnej liczbie obserwacji jest najmniejszy, oraz okres letni z najczęstszymi ciszami. Pomijając warunki lokalne, można to powiązać ze wzmoczoną (zima) i osłabioną (lato) intensywnością ruchów powietrza.

Tabela 23. Średnia prędkość wiatru (m/s), 1971-1980

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Pułtusk	3,6	3,5	3,7	3,8	3,2	2,7	2,7	2,6	2,8	3,4	4,2	3,7	3,3
Poświętne	4,2	4,0	4,5	4,7	4,4	4,0	4,0	3,6	4,1	4,5	5,2	5,0	4,3
Płock-Radz.	3,4	3,2	3,5	3,3	2,6	2,5	2,6	2,1	2,2	2,9	3,5	3,5	2,9
Niepokalanów	3,9	3,5	4,0	3,9	3,2	2,9	2,9	2,5	2,9	3,5	4,4	4,5	3,5
Sinołęka	3,0	2,9	3,1	3,0	2,7	2,4	2,4	2,2	2,3	2,8	3,3	3,3	2,8
Warszawa-Ok.	4,5	4,4	4,7	4,5	4,0	3,8	3,8	3,4	3,6	4,2	4,9	4,9	4,2
Świder	1,6	1,6	1,8	1,8	1,7	1,6	1,4	1,4	1,4	1,6	1,8	1,6	1,6
Skiermiewice	3,2	3,1	3,5	3,2	2,6	2,4	2,4	2,1	2,4	2,9	3,5	3,5	2,9
Warszawa-B.	3,1	3,0	3,3	3,1	2,6	2,4	2,3	1,9	2,2	2,7	3,2	3,1	2,7
Legionowo	4,2	3,9	4,5	4,3	3,6	3,5	3,5	3,2	3,5	3,9	4,6	4,5	3,9
Średnia.	3,5	3,3	3,7	3,6	3,1	2,8	2,8	2,5	2,7	3,2	3,9	3,8	3,2

Tabela 24. Średnia liczba dni z wiatrem silnym (≥ 10 m/s), 1971-1980

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Pułtusk	1,3	1,5	1,6	0,9	0,3	0,1	0,1	0,2	0,3	1,7	1,8	1,1	10,9
Poświętne	1,6	1,4	1,5	1,3	0,8	0,4	0,5	0,7	0,9	1,9	2,8	2,9	16,7
Płock-Radz.	1,9	2,9	3,9	4,1	1,1	1,6	1,8	1,5	1,6	3,0	3,8	4,3	31,5
Niepokalanów	.	0,4	0,1	.	.	.	.	.	.	0,1	0,2	0,2	1,0
Sinołęka	0,2	0,6	.	0,1	.	.	.	0,2	.	0,3	0,4	0,4	2,2
Warszawa-Ok.	2,7	2,4	4,1	3,0	2,0	1,5	1,0	1,4	0,7	2,8	3,9	4,3	29,8
Świder	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,0
Skiermiewice	0,2	0,4	0,2	0,2	.	.	.	.	.	0,2	0,3	0,6	2,1
Warszawa-B.	.	.	.	0,1	.	.	.	.	.	.	0,1	.	0,2
Legionowo	0,5	0,4	0,4	0,4	.	.	.	0,1	.	0,2	0,7	0,7	3,4
Średnia.	0,8	1,0	1,2	1,0	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	1,0	1,4	1,5	9,8

Tabela 25. Średnia liczba dni z wiatrem bardzo silnym (> 15 m/s), 1971-1980

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Pułtusk	0,1	0,3	0,4	0,1	.	.	.	.	0,1	0,3	0,6	0,3	2,2
Poświętne	0,6	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	.	0,3	0,2	0,6	0,9	0,9	4,6
Płock-Radz.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Niepokalanów	.	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,2
Sinołęka	0,1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,1
Warszawa-Ok.	0,4	.	0,1	0,1	.	.	0,1	.	.	0,1	0,4	0,1	1,3
Świder	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Skiermiewice	.	0,1	.	.	.	.	.	.	.	0,1	.	.	0,2
Warszawa-B.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Legionowo	0,1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,1
Średnia.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,9

Zakończenie

Na podstawie przedstawionych we wcześniejszej części pracy, szczegółowych analiz poszczególnych elementów klimatu można wyodrębnić kilka charakterystycznych cech klimatu Kotliny Warszawskiej:

Zmniejszone usłonecznienie. Sumy dzienne usłonecznienia rzeczywistego w sąsiednich obszarach są większe od 0,1 do nawet 1,9 h. Tak mały czas usłonecznienia spowodowany jest większym zachmurzeniem, częstszym występowaniem mgieł i dużym zanieczyszczeniem powietrza.

Uprzywilejowanie termiczne. Średnie miesięczne wartości temperatury (od $-2,6$ – $-3,1^{\circ}\text{C}$ w styczniu do $17,9$ – $18,2^{\circ}\text{C}$ w lipcu) i roczne (około 8°C), są z reguły wyższe niż w otaczających obszarach. Północno wschodnia część Kotliny Warszawskiej charakteryzuje się nieznacznie niższą (o $0,3$ – $0,5^{\circ}\text{C}$) temperaturą powietrza. Potwierdzają to również temperatura minimalna i maksymalna, jak i inne charakterystyki termiczne. Kotlina Warszawska w porównaniu z sąsiednimi obszarami charakteryzuje się większą (o 4) liczbą dni gorących – około 37, upalnych (o 1 dzień) – około 5,1 i mniejszą (o 4–8) liczbą dni przymrozkowych – 61–65.

Dłuższy okres wegetacji – sięgający nawet do 220 dni. Charakterystyczne jest wcześniejsze (średnio o 2–3 dni) rozpoczęcie przedwiośnia, wiosny i lata oraz opóźnione (średnio o 2–3 dni) nadejście jesieni, przedzimy i zimy. Stosunkowo długie jest lato, które trwa 92–98 dni, podczas gdy w otaczających obszarach 85–89 dni. Czas trwania zimy (66–75 dni) jest krótszy (o 2–10 dni) niż w sąsiednich krainach (68–85 dni).

Większa suchość. Mniejsza wilgotność względna i większy niedosyt wilgotności powietrza świadczą o bardziej suchym klimacie Kotliny Warszawskiej. Wilgotność względna w Kotlinie Warszawskiej wynosi 77–79% i jest niższa o około 2–4% w porównaniu z otoczeniem. Podobnie kształtuje się ciśnienie pary wodnej, które przyjmuje wartości około 9 hPa w Kotlinie i jest niższe o 0,2–0,5 hPa. Różnice te najbardziej zaznaczają się latem i wiosną, zimą natomiast zróżnicowanie jest niewielkie. Wartości niedosytu wilgotności powietrza są wyższe od występujących w całym omawianym obszarze i kształtują się od 3,9 do 4,1 hPa.

Większe zachmurzenie. Na terenie Kotliny Warszawskiej jest wyższe o 3% niż na przyległych terenach i wynosi 66%. Potwierdza to również zwiększona (o 3) liczba dni pochmurnych, około 153 w roku i mniejsza (o 6–7 dni) liczba dni pogodnych, poniżej 40 dni.

Mniejsze sumy opadów we wschodniej i środkowej części Kotliny Warszawskiej, a większe w części zachodniej. Wschodnia i środkowa Kotlina Warszawska charakteryzuje się sumami opadów poniżej 600 mm (580–560 mm), zachodnia natomiast około 700 mm. W tej części także obserwuje się większą liczbę dni z opadem. We wschodniej i środkowej części Kotliny sumy opadów nieznacznie są mniejsze od średniej z otoczenia, z wyjątkiem miesięcy letnio-jesiennych (maj–październik), kiedy to średnia miesięczna suma opadów jest mniejsza o 2–8 mm. Występuje tu także najmniejsza liczba dni z opadem. Zachodnia część Kotliny Warszawskiej wyróżnia się ponadto największą liczbą dni z burzami, około 27 dni w roku (Iłów), natomiast w części wschodniej jest tych dni najmniej (około 17).

Pokrywa śnieżna występuje w zachodniej i środkowej części Kotliny Warszawskiej krócej (o 4–7 dni) niż w sąsiednich regionach wschodnich (średnio 46–49 dni w roku), natomiast we wschodniej części różnica ta powoli zanika (średnio 54–56 dni w roku).

Podobnie jak na omawianym całym obszarze tak i w Kotlinie Warszawskiej przeważają wiatry z sektora zachodniego (głównie kierunek zachodni i południowo-zachodni) z częstościami powyżej 20% w okresie lata. Najmniejsza frekwencja przypada na kierunek północny (około 5% i południowy (8%). Prędkość wiatru uzależniona jest ściśle od lokalizacji stacji. W części wschodniej Kotliny Warszawskiej prędkości wiatru są przeciętnie o 0,7 m/s wyższe od średniej z całego obszaru, natomiast w części środkowej są mniejsze średnio o 0,5 m/s.

Korzystne warunki klimatyczne panują zwłaszcza w środkowej części Kotliny Warszawskiej, głównie pod względem termicznym. Jest tu stosunkowo cieplej, występują duże amplitudy temperatury powietrza, najniższa wilgotność względna, znaczne zachmurzenie, mniej dni pogodnych, dużo pochmurnych, mniejsza liczba burz (we wschodniej części), większy opad i większa liczba dni z opadem (w części zachodniej). Na kształtowanie się klimatu Kotliny Warszawskiej wpływa dodatkowo kompleks leśny Puszczy Kampinoskiej i tereny podmokłe (w północnej części Kotliny), szczególnie zaś aglomeracja miejska Warszawy.

Miasto stwarza własny klimat lokalny i nie pozostaje bez wpływu na tereny otaczające. Warszawa oddziałuje na klimat przez zabudowę (powierzchnie asfaltowe, mury), wytwarzanie ogromnych ilości zanieczyszczeń przemysłowych i komunikacyjnych, co przyczynia się do znacznego zmniejszenia promieniowania słonecznego i chroni przed nadmiernym wypromieniowaniem. To właśnie jest przyczyną powstania nad miastem „wyspy ciepła”, a w konsekwencji wyższych temperatur, zwłaszcza minimalnych. Ponadto okres wegetacyjny i bezprzymrozkowy jest tu najdłuższy.

W wyniku różnic w oświetleniu i nagrzaniu różnych powierzchni, wzmagają się turbulencja i prądy konwekcyjne, które przyczyniają się do powstawania chmur, wzrostu zachmurzenia nad miastem i wzrostu sum opadu. Zabudowa miasta stanowi ponadto przeszkodę dla wiatrów, zmniejszając ich prędkość i odkształcając kierunek.

W celu zorientowania się w zmianach poszczególnych elementów klimatu Kotliny Warszawskiej porównano uzyskane wyniki z danymi z poprzedniego okresu. Ponieważ najbardziej kompleksowo opracowane są dane dotyczące klimatu analizowanego obszaru w *Atlasie współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, część IV *Klimat północno-wschodniej Polski*, dlatego też do porównania przyjęto okres piętnastoletni 1951-1965.

Rozkład przestrzenny temperatury powietrza (średniej, maksymalnej i minimalnej) jest zbliżony w obu porównywanych okresach. Wartości charakterystyk temperatury w styczniu oraz średnia miesięczna temperatura kwietnia są takie same. W pozostałych miesiącach wartość temperatury jest o 0,5°C niższa w latach siedemdziesiątych niż w latach 1951-1965. Jedynie temperatura maksymalna w październiku wykazuje większy spadek – około 1,5°C.

Zmiany ciśnienia pary wodnej między porównywanymi okresami nie były większe od 0,2 hPa – większe zmiany wystąpiły w skrajnych częściach Kotliny Warszawskiej. Wilgotność względna w latach 70-tych była większa średnio o 2% (najwięcej w październiku nawet do 4% i prawie bez zmian w kwietniu). Niedosyt wilgotności tylko w lipcu zwiększył się o 2 hPa.

Zachmurzenie w latach 1971-80 w styczniu i kwietniu wzrosło o około 5-10%. W pozostałych miesiącach wykazywało niewielkie zmiany. Zwiększyła się także liczba dni pochmurnych przeciętnie o 1-2 dni miesięcznie, a nawet do 4 dni w październiku.

Większe były również sumy roczne opadów o około 100 mm (wzrost o ponad 15%). Największy przyrost opadów zanotowano w październiku, o 15-20 mm (ok. 7%). Rozkład przestrzenny opadów jest bardzo nieregularny, ze względu na różnice w sumach opadów na poszczególnych stacjach i posterunkach. Liczba dni z opadem $\geq 0,1$ mm była większa w latach 70-tych do 10-20 dni rocznie, największy miesięczny przyrost zanotowano w październiku o 4-5 dni. W pozostałych miesiącach 1-2 dni. Zanotowano także większą częstość dni z burzami, szczególnie w zachodniej części Kotliny Warszawskiej (do 5 dni rocznie).

Średnia liczba dni z pokrywą śnieżną jest natomiast mniejsza w latach siedemdziesiątych o około 2 dni. Średnia prędkość wiatru jest podobna w porównywanych okresach, jedynie w kwietniu i październiku jest nieco większa (o 1 m/s) w latach 70-tych.

Reasumując klimat Kotliny Warszawskiej w latach 1971-1980 wyróżnia się na tle otaczających regionów zmniejszonym usłonecznieniem, wyższą temperaturą, większą suchością powietrza, większym zachmurzeniem oraz mniejszymi opadami.

W porównaniu z okresem piętnastoletnim 1951-1965 wynika, że w analizowanym okresie było chłodniej, zwiększyła się wilgotność względna, zachmurzenie, a przede wszystkim zwiększyły się znacznie sumy opadów.

7.1.4. Zmiany roczne kierunku i prędkości wiatru w Kotlinie Warszawskiej

Autor: Aleksandra ŚLĘZAK

Opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Danuta MARTYN

W ciągu całego roku na badanym fragmencie Kotliny Warszawskiej zdecydowanie przeważają wiatry zachodnie i południowo-zachodnie. Wiatry zachodnie dominują w lecie i jesienią (do 25%), południowo-zachodnie w zimie (do 23%). Wiatry wschodnie i południowo-wschodnie zwiększają swój udział na wiosnę (do 20%). Na Bielanych, szczególnie w porze letniej charakterystyczny jest duży odsetek wiatrów północno-zachodnich (ok. 16%). Cisz najwięcej notuje się jesienią (do 42%) oraz w lecie (tab. 1-8 i rys. 1-2)

Średnie roczne prędkości wiatrów kształtują się w granicach 2-3,5 m/s, najniższe są w północnej części obszaru na płaskiej nizinie w widłach Wisły i Narwi, najwyższe na terenie wydumowym na wschód od Wisły. W ciągu roku najwyższe średnie prędkości wiatru występują w marcu i listopadzie (powyżej 4 m/s).

Tabela 1. Częstość kierunków wiatru w latach 1951-1970 – Warszawa-Bielany

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
I	4,8	7,2	7,8	12,1	9,6	22,0	18,2	9,0	9,3
II	5,4	6,7	13,1	14,0	7,1	16,6	18,3	8,7	9,8
III	5,3	9,3	14,2	13,0	6,2	15,8	18,6	8,1	9,5
IV	7,6	8,8	9,9	12,6	8,2	11,5	15,2	11,4	14,8
V	8,8	9,2	11,2	9,2	3,3	11,7	17,2	13,7	15,7
VI	7,1	8,4	8,5	9,2	5,1	9,2	18,0	16,5	18,0
VII	6,4	5,5	5,3	5,9	5,6	15,4	24,7	13,1	18,1
VIII	4,3	6,4	6,5	9,3	5,6	15,7	22,2	11,2	18,8
IX	3,1	3,2	7,7	10,2	7,1	18,7	23,9	9,4	16,7
X	2,7	3,5	7,5	12,7	9,4	20,5	19,7	8,0	16,0
XI	2,5	5,7	11,1	19,2	8,6	17,0	18,7	6,0	11,2
XII	3,6	6,0	6,7	11,9	11,9	20,8	20,9	7,1	11,1

Biorąc pod uwagę pory roku, największe prędkości wiatrów notowane są w zimie (od 1,6 do 4,2 m/s), maleją od kwietnia (1,7 do 3,4 m/s w kwietniu i maju) osiągając najmniejsze wartości latem (1,3 do 3,2 m/s) i ponownie wzrastają (od 1,4 do 4 m/s).

Najwyższe średnie prędkości miesięczne stwierdzono w zimie i wczesną wiosną przy wiatrach z sektora zachodniego w Legionowie (do 6 m/s) i Nowym Dworze Mazowieckim oraz przy wiatrach wschodnich i południowo-wschodnich na Bielanych (4,5 m/s). W lecie z najmniejszymi prędkościami wieją wiatry północne (2,1-2,8 m/s) i południowe (1,6-3,2 m/s), a w północnej części badanego obszaru południowo-wschodnie (1,4 m/s).

Najwięcej wiatrów (ok. 50%) wszystkich kierunków wieje z prędkością od 3 do 5 m/s. Wiatry o prędkościach większych od 10 m/s występują z kierunków przeważających w danej porze roku (zachodnich i południowo-wschodnich), mając udział w ogólnej sumie przypadków – 0,2%, a w częstości danego kierunku 1-1,8%. W zimie udział wiatrów

o największych prędkościach wzrasta do 2% z kierunków przeważających, na wiosnę notuje się wzrost częstości wiatrów wschodnich o prędkości 8-10 m/s, latem dominują wiatry umiarkowane (3-5 m/s) z sektora zachodniego, a jesienią wzrasta udział silnych wiatrów ($v > 10$ m/s) południowo-wschodnich oraz z pozostałego sektora wschodniego o prędkości większej od 5 m/s.

Tabela 2. Częstość kierunków wiatru (%) w latach 1951-1970 – Legionowo

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
I	4,8	9,0	11,2	9,0	9,5	22,9	19,4	7,4	6,8
II	5,9	11,0	15,2	9,2	8,5	15,0	20,6	7,5	7,1
III	5,6	12,8	19,7	9,9	6,8	15,5	18,1	7,1	4,5
IV	10,0	13,6	15,0	9,9	8,7	12,6	14,1	8,9	7,2
V	11,3	14,4	14,4	6,4	5,8	11,4	16,8	11,8	7,7
VI	12,3	13,6	12,8	7,4	6,0	10,8	17,4	11,5	8,2
VII	9,2	9,4	9,5	5,9	6,3	17,3	22,8	12,4	7,2
VIII	7,2	10,5	11,9	6,8	6,9	16,6	21,4	10,3	8,4
IX	5,2	6,2	11,8	9,4	7,9	21,5	22,0	8,9	7,1
X	3,4	6,1	14,4	9,3	10,8	18,5	20,6	6,8	10,1
XI	3,2	8,4	16,9	14,4	9,3	16,5	18,1	5,0	8,2
XII	3,2	8,4	16,9	14,4	9,3	16,5	18,1	5,0	8,2

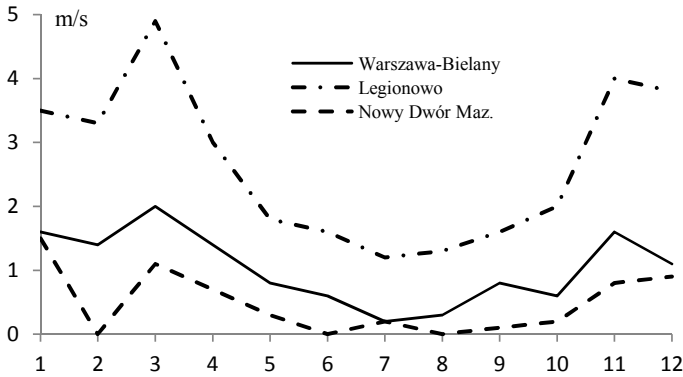
Tabela 3. Częstość kierunków wiatru (%) w latach 1951-1970 – Nowy Dwór

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
I	5,8	4,8	7,1	9,7	9,0	16,1	12,7	9,7	25,1
II	5,7	4,9	10,5	11,8	7,8	108	137	10,0	24,8
III	6,2	6,3	13,4	9,5	6,0	12,8	12,0	8,8	25,0
IV	11,1	7,1	8,5	10,3	8,3	9,3	8,5	9,4	27,5
V	11,4	7,6	8,9	8,1	6,2	7,4	10,0	11,8	28,6
VI	8,9	6,9	8,6	7,3	5,8	6,1	12,6	12,4	31,4
VII	7,2	3,6	4,8	4,6	6,0	11,6	14,7	12,9	34,6
VIII	6,2	3,7	4,9	6,1	6,5	12,2	13,9	10,2	36,3
IX	6,3	2,0	5,3	5,4	5,6	13,9	14,8	9,0	37,7
X	3,9	2,2	5,8	7,1	7,6	13,4	11,6	6,9	41,5
XI	3,9	4,0	10,7	14,9	7,3	14,1	11,5	4,9	28,7
XII	4,5	5,1	8,2	7,4	9,4	17,6	13,1	7,0	27,7

Najwięcej dni z wiatrem silnym ($v \geq$ niż 10 m/s) jest w okolicach Legionowa, od 1 do 5 – w miesiącach pór przejściowych; najmniej jest ich w lecie, od 1,6 do 0,0 w północnej części obszaru. Wiatry bardzo silne ($v > 15$ m/s) występują sporadycznie w okresie całego roku (0,5-0,0 w m-cu); występują raz na kilka lat.

Częstość cisz jest bardzo zróżnicowana: od 30% rocznie w północnej części obszaru do 8% na wietrznym obszarze wydmowym. Najmniejszą częstość cisz notuje się na prze-

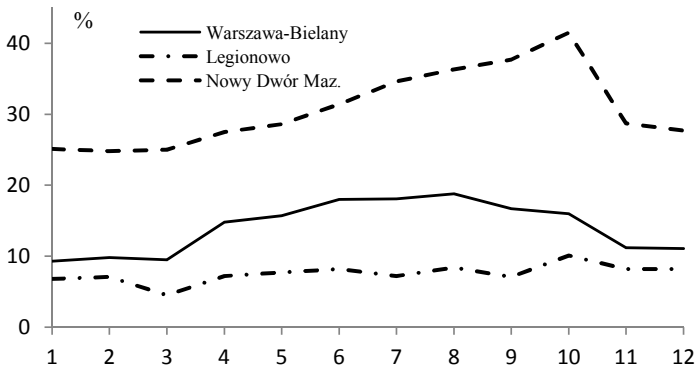
łomie zimy i wiosny (luty, marzec) – 4,5 % w Legionowie, najwięcej przypadków bezwietrznych stwierdza się jesienią (od 10 do 42%) w Nowym Dworze, w październiku).



Rys. 1. Przebieg roczny liczby dni z wiatrem silnym ($v \geq 10$ m/s) w latach 1951-1970

Stwierdzono wyraźny wpływ zabudowy miejskiej na kierunek wiatru w ciągu całego roku w postaci zmniejszenia częstości kierunków wiatru wiejących od zabudowy (do 3-4% w roku) przy jednoczesnym zwiększeniu frekwencji wiatrów z obszaru otwartego.

Modyfikacje kierunku wiatru w terenie zabudowanym najsilniejsze są w lecie (nominalne różnice do 6%), gdy mechaniczne oddziaływanie zabudowy wzmocnione jest stwierdzoną cyrkulacją typu bryzowego.



Rys. 2. Przebieg roczny częstości cisz w latach 1951-1970

Środowisko miejskie wpływa wyciszająco na prędkość wiatru. W ciągu całego roku stwierdzono ogólny spadek średniej prędkości wiatru po zabudowie obszarów otaczających stację na Bielanych, przeważnie z kierunków od zabudowy. Maksymalne modyfikacje obserwuje się w zimie w postaci wzrostu prędkości wiatru z przestrzeni otwartej najczęściej o 1,8 m/s oraz spadku prędkości wiatru z terenu zabudowanego o 1,7 m/s. Większe zmiany prędkości wiatru następują w porze chłodnej, a mniejsze w cieplej, w wyniku czego przebieg roczny prędkości wiatru poszczególnych kierunków zaciera się na obszarze miasta.

Na obszarze zabudowanym ponadto stwierdzono szczególne zmniejszenie częstości wiatrów silnych ($v > 10$ m/s) w zimie.

Tabela 4. Średnie prędkości wiatru w różnych kierunkach w latach 1951-1970 – Warszawie-Bielany

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
I	2,9	3,7	3,4	4,2	3,2	3,7	4,1	3,4
II	3,8	3,6	4,3	4,2	3,2	3,3	3,9	3,6
III	3,3	3,8	4,5	4,2	3,0	3,5	4,0	4,3
IV	2,8	3,5	4,1	4,2	3,6	3,1	3,5	3,7
V	3,2	3,2	4,0	4,1	3,0	3,2	3,5	3,3
VI	2,7	3,1	3,9	3,7	3,2	3,1	3,4	3,2
VII	2,7	2,9	3,4	3,4	2,9	3,0	3,3	3,5
VIII	2,4	2,8	3,3	3,4	3,0	3,1	3,4	2,9
IX	2,8	3,0	3,6	3,4	2,7	3,3	3,7	3,2
X	2,7	3,0	3,9	3,7	2,7	2,9	3,7	3,2
XI	2,9	3,8	4,0	4,7	3,1	3,5	4,2	3,6
XII	2,9	3,3	4,4	4,0	3,1	3,4	3,8	3,6

Tabela 5. Średnie prędkości wiatru w różnych kierunkach w latach 1951-1970 – Legionowo

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
I	3,5	4,2	3,6	3,0	3,8	4,8	2,8	4,6
II	3,5	4,0	4,2	4,1	3,8	4,6	5,8	4,8
III	4,2	4,3	4,4	4,0	3,8	5,2	5,7	4,6
IV	3,8	3,8	3,8	3,7	3,7	4,2	4,8	4,1
V	3,3	3,6	3,5	3,8	3,3	4,0	4,3	3,5
VI	2,8	3,1	3,1	3,0	3,2	3,7	4,2	3,5
VII	2,8	3,1	3,1	3,2	3,0	3,7	4,0	3,3
VIII	2,4	3,1	2,9	2,6	3,2	3,8	4,2	3,3
IX	2,7	2,9	2,9	2,9	3,2	3,9	4,4	3,5
X	2,8	3,4	3,1	3,1	3,2	3,9	4,7	3,4
XI	3,6	3,7	4,0	3,8	3,7	4,8	5,7	3,8
XII	3,1	3,8	4,1	3,2	3,5	4,6	5,0	4,6

Na wiosnę wiatry silne wieją tylko z otwartej przestrzeni i przy obniżonej wówczas frekwencji wiatrów najsłabszych z terenów miejskich. Latem ze względu na rozwój cyrkulacji lokalnych głównie wzrasta frekwencja wiatrów umiarkowanych (3-5 m/s) oraz najsłabszych (1-2 m/s) z terenów otaczających miasto, przy całkowitym zaniku wiatrów najsilniejszych ($v > 10$ m/s).

Największe zmiany w liczbie dni z wiatrem silnym i bardzo silnym w związku z rozbudową miasta obserwuje się w zimie (do 2,3 średniej liczby dni), czyli w okresach z wia-

trami o dużych prędkościach i znacznej ich częstotliwości, co wskazuje na szczególną modyfikację największych prędkości wiatrów przez zabudowę miejską tym bardziej, że najmniejsze zmiany stwierdzamy w porze aktywności wiatrów z otwartej przestrzeni.

Tabela 6. Średnie prędkości wiatru w różnych kierunkach w latach 1951-1970 – Nowy Dwór

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
I	3,0	2,9	1,9	2,1	2,1	2,4	3,2	4,4
II	3,2	2,6	2,0	2,0	2,1	2,3	3,3	4,2
III	4,6	2,6	2,4	2,1	2,2	2,4	2,2	3,8
IV	3,0	2,1	1,8	2,3	2,4	2,5	2,7	3,2
V	2,7	2,3	2,1	2,2	1,8	2,2	2,5	3,1
VI	2,5	2,2	1,9	2,0	1,8	1,9	2,3	2,6
VII	2,6	1,9	1,7	1,9	1,6	1,8	2,3	2,8
VIII	2,2	1,7	2,0	1,8	1,8	1,8	2,1	2,6
IX	2,3	1,8	1,8	2,1	1,8	2,1	2,5	2,6
X	2,1	1,9	1,6	1,4	1,9	2,4	3,1	2,9
XI	3,3	2,2	1,9	2,1	1,8	2,6	3,2	3,9
XII	3,4	2,2	1,9	1,5	1,8	2,1	2,6	3,1

Tabela 7. Liczba dni z wiatrem silnym ($v \geq 10$ m/s) w latach 1951-1970

$v \geq 10$ m/s	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Warszawa-B.	1,6	1,4	2,0	1,4	0,8	0,6	0,2	0,3	0,8	0,6	1,6	1,1	12,4
Legionowo	3,5	3,3	4,9	3,0	1,8	1,6	1,2	1,3	1,6	2,0	4,0	3,8	32,0
Nowy Dwór Maz.	1,5	0,0	1,1	0,7	0,3	•	0,2	•	0,1	0,2	0,8	0,9	6,7

Tabela 8. Liczba dni z wiatrem bardzo silnym ($v \geq 15$ m/s) w latach 1951-1970

$v \geq 15$ m/s	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Warszawa-B.	0,6	0,4	0,6	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,4	0,2	0,6	0,2	3,4
Legionowo	0,5	0,6	0,4	0,5	0,2	0,3	0,1	0,3	0,3	0,2	0,6	0,6	4,6
Nowy Dwór Maz.	0,7	0,4	0,4	0,2	•	•	0,1	•	0,1	0,1	0,2	0,1	2,1

Zabudowa miejska wyraźnie zwiększa częstość cisz, maksymalnie w porze ciepłej (nominalnie do 6%, a względnie znacznie więcej). O tej porze roku zaznacza się silny wpływ zabudowy miejskiej na najmniejsze prędkości wiatrów.

Na obszarze zabudowanym jest mniej wiatrów najsłabszych (1-2 m/s) i najsilniejszych ($v > 10$ m/s), natomiast więcej wiatrów umiarkowanych (3-5 m/s), w stosunku do przestrzeni otwartej, kosztem tych najsilniejszych.

Niniejsze opracowanie jest wystarczające dla charakteryzowania warunków anemologicznych dowolnie wybranych fragmentów północnej części Kotliny Warszawskiej i może być wykorzystane m.in. dla potrzeb planowania urbanistycznego w związku z rozbudową mieszkaniowych dzielnic Warszawy w kierunku północnym (pasmo legionowskie). Dla przykładu sporządzono taką charakterystykę dla Białołęki Dworskiej (leżącej na północny-wschód od Warszawy) w związku z projektowanym tam osiedlem wraz z próbą prognozy zmian kierunku i prędkości wiatru po jego wybudowaniu.

Z uwagi na podobne warunki naturalne środowiska geograficznego w Białoleśce Dworskiej i Legionowie, a także ze względu na położenie tej miejscowości na obrzeżu aglomeracji miejskiej podobnie do Bielana należy spodziewać się tam następujących warunków anemologicznych:

- Przewagi wiatrów sektora zachodniego; do 20% rocznie wiatrów zachodnich i 15% południowo-zachodnich, znacznej frekwencji wiatrów północno-zachodnich, znacznej frekwencji wiatrów północno-zachodnich w wyniku sterowania doliną Wisły.
- W zimie szczególnie znaczenia wiatrów południowo-zachodnich (ponad 20%), w lecie zachodnich (ok. 25% lub więcej ze względu na silniejsze cyrkulacje lokalne).
- Najmniej wiatrów północnych i południowych w ciągu całego roku.
- Największej liczby cisz w lecie i jesienią (do 20%) najmniejszej w zimie (8-10%).
- Średnich rocznych prędkości wiatrów w granicach 3,2-3,5 m/s. W poszczególnych miesiącach od 3 do 4 m/s, najwyższych w marcu i listopadzie 4-4,2 m/s.
- W ciągu roku większych prędkości wiatrów w porze chłodnej (listopad –marzec) – 3,5-4 m/s, mniejszych w ciepłej (kwiecień–październik) – około 3 m/s.
- Najwyższych średnich rocznych prędkości wiatrów sektora zachodniego do około 4 m/s i więcej w obrębie wyniesień wydmowych. Najmniejszych prędkości należy spodziewać się przy wiatrach północnych.
- Najwyższych średnich prędkości wiatru przede wszystkim przy kierunkach sektora zachodniego w zimie oraz w marcu i listopadzie (4-5,5 m/s), najmniejszych przy kierunkach północnych (ok. 2,5 m/s) i południowych (ok. 3,2 m/s) – latem.
- Największej frekwencji prędkości 3-5 m/s przy wiatrach ze wszystkich kierunków, dominujących latem, głównie z sektora zachodniego. Wiatrów o prędkościach większych od 10 m/s z kierunków: zachodniego i południowo-zachodniego podczas 1-2% pomiarów, głównie w zimie.
- Dni z wiatrem silnym od 1 do 3 w miesiącach pory chłodnej, w ciepłej średnio około jednego, a znacznie mniej dni z wiatrem bardzo silnym.
- Częstości cisz największej latem (około 15-20%) i jesienią, mniejszej zimą 5-7% i wiosną (7-10%).

W oparciu o wnioski wysnute na podstawie analizy zmian kierunku i prędkości wiatru na stacji Warszawa-Bielany w wyniku rozbudowy otoczenia stacji można prognozować w Białoleśce Dworskiej następujące zmiany po wybudowaniu osiedla:

- Zmniejszenie częstości kierunków wiatru sektora południowego, w ciągu całego roku.
- Zwiększenie frekwencji wiatrów północnych, południowo-wschodnich i wschodnich, szczególnie latem na skutek oddziaływania Lasów Legionowskich i innych terenów otaczających.
- Zmniejszenie średnich wszystkich kierunków wiatru, zwłaszcza południowych i zachodnich, szczególnie w porze chłodnej.
- Znaczny spadek częstości wiatrów najsłabszych i silnych ($v \geq 10$ m/s) oraz niemal zaniku bardzo silnych ($v > 15$ m/s), a natomiast wzrostu ich kosztem wiatrów umiarkowanych (3-5 m/s).

7.1.5. Klimat Kotliny Warszawskiej i terenów przyległych, położonych nad Bugiem i Narwią. Część III: Opady, szata i pokrywa śnieżna oraz wybrane zjawiska (1951-1960)

Autor: Elżbieta TCHÓRZEWSKA

Opiekunowie naukowci: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA

Cel i zakres pracy

W związku z coraz to różnorodniejszym wykorzystaniem środowiska geograficznego przez gospodarkę narodową wylania się potrzeba dokładniejszego poznania geograficznych cech poszczególnych regionów kraju.

Praca niniejsza jest jedną z cyklu opracowań podjętych przez Katedrę Klimatologii UW w ramach prac magisterskich, dotyczących warunków klimatycznych w dolinie Wisły oraz Bugu i Narwi. Poznanie specyficznych cech przebiegu poszczególnych elementów klimatu, w obrębie dużych dolin rzecznych wydaje się szczególnie aktualne, ze względu na rozwój prac zmierzających do uregulowania stosunków wodnych na tych terenach. Przy wyborze obszaru, którego część zachodnią i środkową stanowi kotlina Warszawska, wschodnią zaś tereny nad dolnym Bugiem i Narwią, nie kierowano się granicami regionów fizjograficznych ani też administracyjnych. Dobrano zespół stacji, które możliwe najdokładniej pozwoliłyby uchwycić różnice między warunkami klimatycznymi doliny środkowej Wisły, dolnego Bugu i Narwi, a przebiegiem elementów klimatu na przyległych wysoczyznach.

Praca niniejsza stanowi jedną z części ogólnego opracowania klimatu Kotliny Warszawskiej oraz terenów nad dolnym Bugiem i Narwią. Obejmuje zagadnienia dotyczące opadów, szaty i pokrywy śnieżnej oraz burz i mgieł na wyżej wymienionym terenie.

Za podstawę opracowania przyjęto okres dziesięcioletni od roku 1951 do 1960.

Ocena materiału obserwacyjnego i rozmieszczenie stacji

Materiał statystyczny został zebrany w PIHM na podstawie miesięcznych wykazów spostrzeżeń meteorologicznych dla 14 stacji, w tym 4 synoptycznych (tab. 1).

Dolinę Narwi reprezentują stacje Ostrołęka i Pułtusk, dolinę Bugu – Wyszków, Wieliszew, Nowy Dwór. Stacja Warszawa-Bielany leży bardzo blisko Warszawy, ale nie można zaliczyć jej do stacji typowo dolinnych. Mława i Siedlce są stacjami położonymi z dala od dolin rzecznych, na stosunkowo wysokich odosobnionych wzniesieniach, a więc w zupełnie odmiennych warunkach geograficznych niż stacje dolinne. Rozmieszczenie stacji na tle rzeźby terenu przedstawia mapa hipsometryczna. Oceniając rozmieszczenie stacji na opracowywanym terenie należy stwierdzić, że w części wschodniej i południowej ilość ich była niedostateczna, co sprawiło duże trudności podczas opracowywania, a szczególnie przy kreśleniu izol linii.

Tabela 1. Wykaz stacji z uwzględnieniem współrzędnych geograficznych (szerokości φ i długości λ oraz wysokości n.p.m. H (m))

Stacja	φ (N)	λ (E)	H (m)
Brwinów	52°08	20°42	96
Legionowo	52°24	20°58	93
Mława	53°07	20°22	142
Niepokalanów	52°12	20°25	91
Nowy Dwór Maz.	52°26	20°43	70
Nur	52°40	22°19	108
Ostrołęka	53°05	21°34	97
Poświętne	52°38	20°23	100
Przasnysz	53°01	20°53	120
Pułtusk	52°43	21°06	80
Siedlce	52°11	22°16	147
Warszawa Bielany	52°17	20°58	101
Wieliszew	52°08	20°58	78
Wyszaków	52°35	21°27	96

Najważniejsze wyniki badań dotyczące opadów i zjawisk atmosferycznych

Sumy opadowe wykazały wyraźną zależność od wysokości terenu n.p.m. największe sumy opadu zanotowano na stacjach położonych na wzniesieniach, najmniejsze w środkowej, najniższej części terenu. Pas niskich opadów w części środkowej wywołany jest „cieniem opadowym” wzniesień zachodnich. Stosunki opadowe wykazują, że zaznacza się pewien wzrost kontynentalizmu na omawianym obszarze przy przesuwaniu się w kierunku południowo-wschodnim (tab. 2 i 3).

Tabela 2. Miesięczne średnie sumy opadów w mm (1951-1960)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Brwinów	26,7	31,6	21,4	33,6	38,8	60,4	91,7	48,4	44,1	30,2	28,9	41,4
Legionowo	21,7	23,8	17,2	29,8	31,4	58,1	80,8	40,8	40,9	30,1	26,2	37,0
Mława	42,2	36,1	22,2	34,1	34,6	60,6	100,8	62,9	43,7	29,6	32,3	52,3
Niepokalanów	33,6	36,3	26,8	32,4	37,2	55,2	93,7	48,3	45,2	22,8	31,6	47,2
N. Dwór Maz..	36,6	37,6	24,4	30,9	31,3	56,3	96,0	48,3	41,7	25,7	32,1	46,6
Nór	33,7	39,2	26,0	24,7	39,9	70,2	87,6	64,5	44,9	45,3	34,0	47,1
Ostrołęka	33,0	32,5	21,6	40,2	35,5	60,4	80,7	66,3	46,5	37,4	32,5	46,9
Poświętne	24,9	34,5	20,6	31,8	33,5	57,1	101,3	42,7	40,7	28,8	28,6	42,1
Przasnysz	29,5	25,8	17,3	27,7	31,9	58,4	75,1	51,9	37,8	27,7	27,4	37,3
Pułtusk	33,8	30,0	21,3	27,7	35,8	61,9	91,9	43,0	40,6	28,2	27,5	44,5
Siedlce	23,6	30,5	25,1	28,0	43,0	77,8	91,0	66,8	46,1	34,0	30,2	38,1
W-wa-Bielany	30,0	31,1	20,5	32,6	34,9	64,7	86,3	45,7	41,1	28,2	29,7	42,0
Wyszaków	34,1	33,2	22,3	32,0	33,4	73,5	89,0	51,4	43,2	37,7	29,1	45,7

Tabela 3. Średnie roczne sumy opadów (mm), liczba dni z opadem deszczu (>0,1 mm) i opadem śniegu (>0,1 mm)(1951-1960)

	Rok	Deszcz	Śnieg
Brwinów	497,4	110	35
Legionowo	437,7	104	36
Mława	551,4	110	51
Niepokalanów	510,2	120	47
N. Dwór Maz.	506,7	113	40
Nór	557,1	107	44
Ostrołęka	533,7	115	51
Poświętne	486,5	108	38
Przasnysz	447,8	99	35
Pułtusk	486,3	101	39
Siedlce	535,1	114	47
W-wa-Bielany	486,7	112	48
Wyszków	524,3	91	38

Wahania opadów z roku na rok w omawianym dziesięcioleciu były dość znaczne. Najsuchszy był rok 1951 i 1953, najbardziej wilgotne lata: 1952 i 1960.

Analiza średnich sum miesięcznych opadu wykazuje, że główne jego maksimum występuje w lipcu, oraz drugorzędne – na początku zimy – w grudniu. Minimum przypada na wczesną wiosnę – marzec i drugie słabsze na jesień – październik i listopad.

Udział opadów w postaci stałej w opadzie ogólnym waha się w granicach od 33% do 45% opadu całkowitego z okresu od października do maja. Przy przesuwaniu się ku północy terenu zaznacza się wyraźny wzrost udziału opadów w postaci stałej (tab. 3). Średni okres potencjalny opadów śnieżnych najdłuższy jest w części północno-wschodniej, najkrótszy w części środkowej, a szczególnie w dolinach rzek. W datach średnich pojawienia się i zaniku pierwszej szaty śnieżnej występują dosyć duże różnice. Długość okresu potencjalnego szaty śnieżnej waha się w szerokich granicach od 95 dni w Brwinowie do 131 w Ostrołęce.

Wyraźny wzrost liczby dni z pokrywą śnieżną następuje przy przesuwaniu się z południa na północ i zachodu na wschód (tab. 4). Maksimum dni z pokrywą śnieżną przypada na styczeń i luty. Miesiącem o największym „uśnieżeniu” (również największa miąższość pokrywy śnieżnej) jest luty. Średnia wysokość pokrywy śnieżnej największa jest na stacjach północno-wschodniej części terenu, najmniejsza na południo-zachodzie i w dolinie Bugu. Największą średnią wysokość osiągnęła pokrywa śnieżna w okresie zimy 1951/1952, najmniejszą w zimie roku 1960/1961. Najlepsze warunki do tworzenia i konserwacji pokrywy śnieżnej mają północne i północno-wschodnie rejony terenu.

Najmniej dni burzowych i burz notuje się na stacjach położonych w dolinie Bugu.

Stacje w dolinach rzek wykazują również małą różnicę między liczbą burz a liczbą dni burzowych, która wzrasta w miarę odsuwania się od dolin (tab. 5 i 6).

Tabela 4. Liczba dni z pokrywą śnieżną (1951-1960)

1950+...	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Śr.
Brwinów	54	92	69	48	65	30	74	45	50	18	54,5
Legionowo	34	85	68	85	69	24	90	39	67	43	58,3
Mława	61	109	67	99	104	61	104	73	103	15	82,4
Niepokalanów	31	59	74	61	64	30	67	42	62	15	49,6
N. Dwór Maz.	45	89	74	89	76	32	87	27	46	30	58,9
Nór	57	88	74	88	67	38	95	39	98	40	70,4
Ostrołęka	62	100	74	89	100	68	106	67	98	33	79,7
Poświętne	45	94	72	73	68	37	77	40	65	18	58,9
Przasnysz	50	105	73	74	90	39	101	60	85	9	69,3
Pułtusk	47	99	70	74	90	39	101	60	85	28	69,3
Siedlce	62	100	74	89	100	48	106	59	67	31	73,8
W-wa-Bielany	60	98	69	87	85	38	90	40	56	31	65,4
Wyszaków	-	-	-	-	70	32	82	52	63	26	54,1

Tabela 5. Średnia liczba dni z burzą w miesiącach (1951-1960)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Brwinów	-	-	0,2	1,6	3,6	4,6	3,8	4,2	1,0	-	-	0,1
Legionowo	-	-	0,2	1,6	3,3	6,7	7,2	4,3	1,8	0,1	-	-
Mława	-	-	0,1	1,9	3,4	6,0	7,9	3,6	1,7	-	-	0,1
Niepokalanów	0,1	-	0,2	1,5	4,4	7,8	2,0	6,0	2,2	-	-	0,1
N. Dwór Maz.	-	-	0,1	1,0	1,5	2,6	2,4	2,5	0,7	-	-	0,2
Nór	-	0,1	0,1	1,0	2,3	4,2	5,7	2,4	1,2	-	-	-
Ostrołęka	-	-	-	1,9	3,1	5,6	8,7	4,2	1,3	0,4	-	-
Poświętne	-	-	0,1	1,4	4,0	5,6	8,9	5,7	2,4	0,1	-	-
Pułtusk	-	-	0,1	0,9	3,3	4,4	6,1	3,7	2,4	-	-	-
Siedlce	-	-	0,2	1,2	4,3	6,5	8,1	6,0	2,7	0,1	-	-
W-wa-Bielany	0,2	-	0,1	1,5	3,0	5,7	6,3	5,3	1,4	0,1	-	0,4
Wyszaków	0,1	-	0,1	0,8	2,3	4,0	3,9	2,0	0,8	0,2	-	-

Tabela 6. Średnia liczba dni z burzą w porach roku (1951-1960)

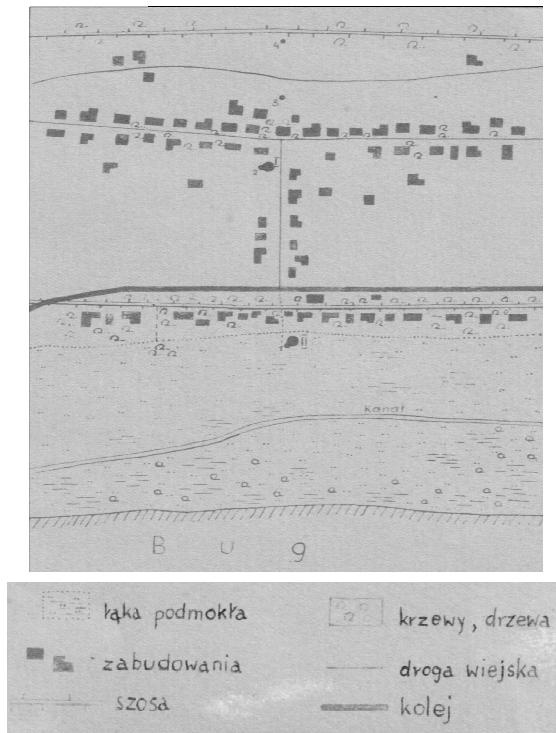
	Wiosna	Lato	Jesień	Zima	Rok
Brwinów	5,4	12,6	1,0	0,1	19
Legionowo	5,1	18,2	1,9	-	25
Mława	5,4	17,5	1,7	0,1	25
Niepokalanów	6,1	25,8	2,2	0,2	34
N. Dwór Maz.	2,6	7,5	0,7	0,2	11
Nór	3,4	12,3	1,2	0,1	17
Ostrołęka	5,0	19,5	1,7	-	25
Poświętne	5,5	20,2	2,5	-	28
Pułtusk	4,3	14,2	2,4	-	21
Siedlce	5,7	19,6	2,8	-	29
W-wa-Bielany	4,6	17,3	1,6	0,6	24
Wyszaków	3,2	9,9	1,0	0,1	14

Maksimum roczne liczby dni burzowych i liczby burz występuje w lipcu. Długość okresu potencjalnego burz maleje w miarę przesuwania się z południa na północ. W dolinie Bugu okres potencjalny występowania burz jest nieco krótszy.

Wyniki badań mikroklimatycznych w dolinie Bugu (1962)

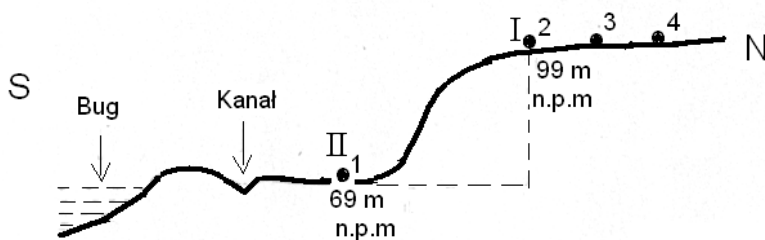
Celem badań przeprowadzonych w miejscowości Modlin było poznanie klimatu lokalnego doliny Bugu, oraz porównanie mikroklimatów wysoczyzny i dna doliny.

W miejscu, gdzie wyznaczony został profil badań, dolina Bugu ma szczególny układ. Taras zalewowy tworzy płaską, podmokłą równinę, nad którą wznosi się wysoką stromą skarpą. Punkty obserwacyjne zostały wyznaczone: na wysokim tarasie (który w dalszym ciągu opracowania będzie nazywany punktem na wysoczyźnie) i na tarasie zalewowym – na dnie doliny (rys. 1 i 2).



Rys. 1. Plan terenu badań

- Punkt nr I znajdował się na podłożu piaszczystym, porośniętym niską suchą trawą. Otaczający teren był płaski, zakłócenia w przebiegu elementów klimatycznych mogły wprowadzić jedynie zabudowania i drzewa rozmieszczone tak, jak wykazuje plan. Najbliższe budynki znajdowały się w odległości 10-15 m w kierunku N i NW od stanowiska. Z pozostałych stron promień wolnej przestrzeni wynosi 30-40 m.
- Punkt nr II – podłoże stanowiła podmokła łąka okresowo zalewana wodą. Miejsce obserwacji oddzielone jest od samego koryta rzeki szerokim pasem (ok. 0,5 km) łąki z wysokimi krzewami liściastymi i kanałami o szerokości 2-3 m wypełniony wodą.



Rys. 2. Przekrój doliny Bugu

Od strony północnej w odległości 15-20 m od stanowiska obserwacyjnego rozciąga się w kierunku E-W zwarty pas zabudowań i drzew, który stanowi jakby linię graniczną między dnem doliny i stromym eksponowanym ku południowi zboczem skarpy. Obserwacji dokonywano w roku 1962, w następujących seriach:

27 IV-3 V

16 VII-31 VII

15 VIII-30 VIII

3 XI-5 XI

Największą wartość przedstawiają dwutygodniowe serie obserwacji w lipcu i sierpniu ze względu na to, że są stosunkowo długie. Pomiary obejmowały temperaturę minimalną i maksymalną (w klatce na wysokości 1 m), pomiary psychrometryczne (Assmana) na wysokości 1,5 m i 0,5 m nad powierzchnią gruntu, prędkość wiatru (mierzona anemometrem ręcznym), wysokość opadu oraz obserwacje kierunku wiatru, wielkości i rodzaju zachmurzenia, mgieł, rosy. Obserwacji dokonywano tymi samymi przyrządami w obu punktach (nie dotyczy min i max temperatury oraz opadu) metodą marszową. Pomiary w lipcu prowadzone były w godzinach od 4 do 22; co godzinę na dnie doliny, co pół godziny w punkcie nr I (podstawowym). Podczas pozostałych serii obserwacje wykonywano co godzinę na stanowisku nr I, w punkcie nr II trzy razy dziennie w terminach klimatologicznych.

Charakterystyka warunków termicznych i wilgotnościowych

Zestawienie temperatur średnich minimalnych i średnich maksymalnych z okresów: od 16 VII do 31 VII i od 15 VIII do 30 VIII wykazuje, że na wysoczyźnie występują znacznie wyższe maksima niż w dolinie. Natomiast temperatury średnie minimalne są niższe w dolinie niż na wysoczyźnie.

Tabela 7. Średnia maksymalna i minimalna temperatura powietrza na wysoczyźnie i na dnie doliny Bugu

Okres	Wysoczyzna		Dno doliny	
	Max	Min	Max	Min
16 VII-31 VII	24,9	12,7	23,8	11,5
15 VIII-30 VIII	22,1	11,6	20,5	10,8

W ciągu dnia wyżej położona piaszczysta równina wysoczyzny nagrzewa się intensywniej, w dolinie zaś nagrzewanie podmokłego podłoża w pobliżu zbiornika wodnego

jest słabsze, a więc temperatury maksymalne nie osiągają tak wysokich wartości. W nocy, szczególnie zaś w noc bezchmurne lub o zachmurzeniu niewielkim, następuje intensywne ochładzanie przygruntowych warstw powietrza na skutek wypromieniowania, powstaje inwersja, przy czym stałość równowagi powietrza tłumi wszelkiego rodzaju przemieszczanie się w kierunku pionowym poza spływem w dół chłodnego – ciężkiego powietrza. Spływające z terenów wyższych powietrze zbiera się w obniżeniach tworząc zimne zaostoiska.

Tego rodzaju procesy spowodowały prawdopodobnie, że minima na dnie doliny są znacznie niższe.

Tabela 8. Temperatury średnie w wydzielonych pentadach

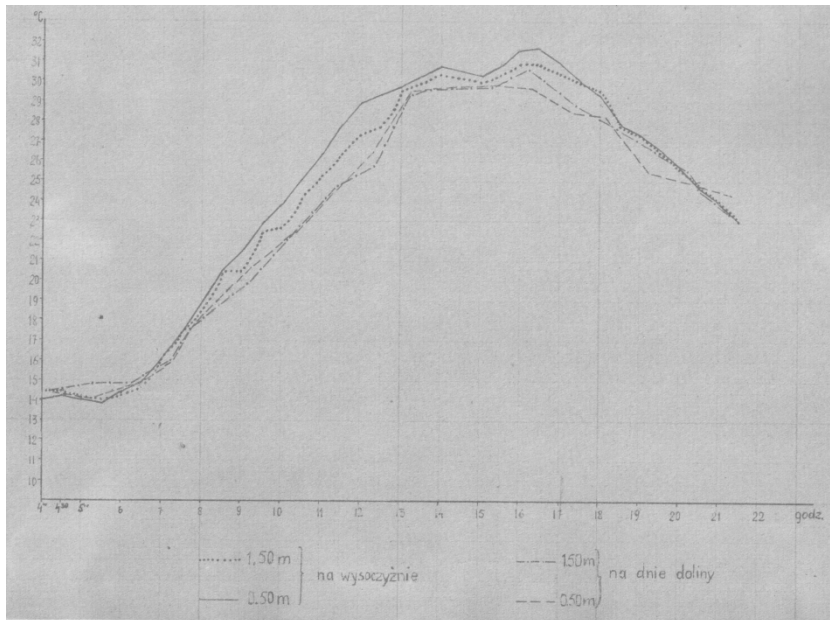
Godz	Wysoczyzna						Dno doliny					
	7 ^h 34 ^m		13 ^h 34 ^m		21 ^h 34 ^m		7 ^h 34 ^m		13 ^h 34 ^m		21 ^h 34 ^m	
Wysokość (m)	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5
28 IV-3 V	2,8	2,4	7,3	7,9	3,6	3,4	3,4	3,0	7,2	8,2	3,7	3,1
16 VII-21 VII	15,7	15,6	21,3	22,9	16,8	16,5	16,0	15,9	22,7	22,7	16,8	16,4
21 VIII-26 VII	17,4	17,8	23,7	24,1	18,4	17,8	18,2	18,3	23,9	24,0	18,3	18,0
26 VII-31 VII	17,0	17,2	22,9	22,9	16,1	15,8	17,6	17,3	23,0	22,5	16,1	16,1
16 VIII-21 VIII	16,3	16,3	20,3	20,6	15,9	15,8	16,3	16,4	19,9	20,1	16,2	16,0
21 VIII-26 VIII	14,3	14,4	17,3	17,3	14,2	14,2	14,8	15,0	17,3	16,8	14,6	14,3

Aby uchwycić osobliwości w dziennym przebiegu temperatury na obu punktach, obliczono temperatury średnie dla wydzielonych sześciu pentad. Porównanie uzyskanych wyników i wyciągnięcie wniosków utrudnia fakt, że pomiary nie są jednoczesne na obu stanowiskach. W punkcie nr I pomiarów dokonano o godz. 7^h34^m, 13^h34^m, 21^h34^m, a na stanowisku nr II o godz. 7^h45^m, 13^h45^m, 21^h45^m.

Analizując przedstawione liczby, spostrzegamy, że temperatury z godz. 7^h45^m na dnie doliny są wyższe niż na wysoczyźnie o godz. 7^h34^m. Być może, ma tu znaczenie dziesięciominutowa różnica czasu, jaka dzieli obserwacje. W godzinach południowych natomiast wyraźnie wyższe są temperatury na poziomie 0,5 m w punkcie nr I w porównaniu z temperaturami na tym samym poziomie na dnie doliny. Zjawisko to należy prawdopodobnie tłumaczyć szybszym i bardziej intensywnym nagrzewaniem się przygruntowej warstwy powietrza nad piaszczystym, suchym gruntem.

W godzinach wieczornych układ temperatur jest odwrotny. Wyższe temperatury na poziomie 0,5 m notowano w dolinie, niższe na wysoczyźnie. Być może powodem takiego rozkładu temperatur jest rozpoczynające się już w godzinach wieczornych wypromieniowanie z przygruntowych warstw powietrza szczególnie silne na wysoczyźnie o podłożu piaszczystym.

W celu prześledzenia przebiegu temperatury i wilgotności w ciągu dnia na obu stanowiskach wybrano z całego okresu obserwacji dwa dni z charakterystycznymi ale krańcowo różnymi typami pogody: dzień 26 VII 1962 i 19 VII 1962, a przykładowo podano tylko dobę 26 lipca 1962 r. (rys. 3).



Rys. 3. Przebieg temperatury powietrza w dniu 26 VII 1962 r.

Dzień 26 VII 1962 był dniem o najmniejszym średnim zachmurzeniu, a więc o intensywnej insolacji słonecznej. Tego dnia również zanotowano najwyższą temperaturę maksymalną: punkt I – $31,2^{\circ}$ i punkt II – $30,8^{\circ}$.

Wiatr na obu stanowiskach był z kierunków południowych o niewielkiej prędkości – średnio w ciągu dnia $1,1$ m/s (zmiany temperatury w tym dniu ilustrują wykresy na rys. 3, a wilgotności rys. 4).

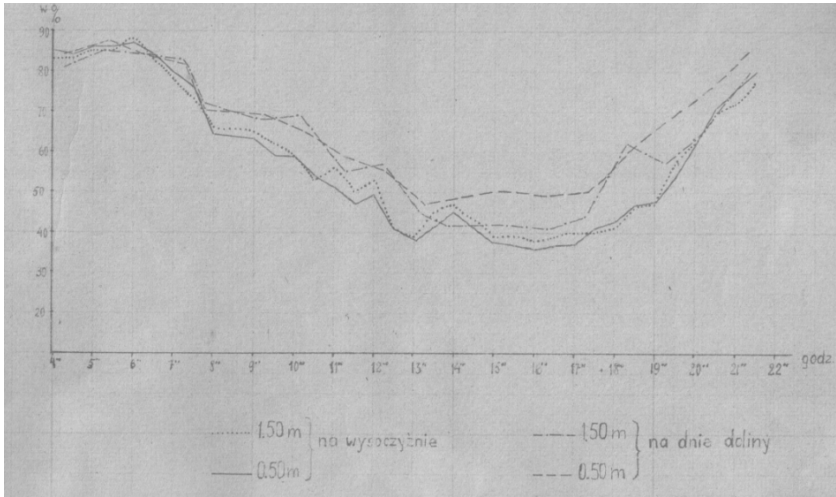
W godzinach rannych od $4^{\text{h}}00^{\text{m}}$ do $6^{\text{h}}30^{\text{m}}$ najwyższą temperaturę notowano na poziomie $1,5$ m w punkcie nr 2, najniższą na skarpie na wysokości $0,5$ m – prawdopodobnie wskutek silnego wypromieniowania nocnego.

Począwszy od godziny $7^{\text{h}}00^{\text{m}}$ aż do $17^{\text{h}}30^{\text{m}}$ najwyższe temperatury obserwuje się na wysoczyźnie na poziomie $0,5$ m. w dolinie na obu poziomach jest znacznie chłodniej. Uchwycone w czasie pomiarów maksimum temperatury występuje o godzinie $16^{\text{h}}30^{\text{m}}$ i na poziomie $0,5$ m na wysoczyźnie – wynosi $31,7^{\circ}$. W późnych godzinach popołudniowych następuje wyrównanie temperatur obu poziomów na stanowisku nr I.

W godzinach wieczornych począwszy od godziny $20^{\text{h}}30^{\text{m}}$ najwyższe temperatury występują na poziomie $0,5$ m w dolinie.

Bieg dzienny wilgotności względnej jest odwrotny niż temperatury; maksimum występuje rano i wieczorem, minimum w godzinach popołudniowych. Najwyższe wartości wilgotności utrzymuje się prawie w ciągu całego dnia w dolinie na poziomie $0,5$ m, najniższe na poziomie $0,5$ m na skarpie.

Rano do godz. $7:30$ w obu punktach wartości wilgotności są prawie równe. Różnice zaczynają się zaznaczać dopiero o godz. 8 i są najwyraźniejsze ok. godz. 16 .



Rys. 4. Przebieg wilgotności względnej powietrza w dniu 26 VII 1962 r.

Wieczorem podczas ostatnich obserwacji największą wilgotność notowano przy gruncie na obu stanowiskach, mniejszą na wysokości 1,5 m. W dniu 19 VII 1962 panował odmienny typ pogody. Średnie dzienne zachmurzenie wynosiło 9. W godzinach między 15^h0^m-15^h20^m i 16^h20^m-16^h35^m wystąpiły przelotne opady deszczu. Kilka minut insolacji słonecznej zanotowano tylko między godziną 13 a 14 i wówczas wystąpiło dzienne maksimum temperatury – 25,0° na wysokości 1,50 na dnie doliny i 24,8 na poziomie 0,5 m na wysoczyźnie. Wiatr z kierunku NW, NE i N charakteryzował się dosyć dużą prędkością, średnio 1,8 m/s. A w godzinach popołudniowych w dolinie osiągał nawet prędkość 5 m/s.

Jak wykazuje wykres, najwyższe temperatury notowano w dolinie, na wysokości 0,5 m. Na skarpie temperatura jest znacznie niższa, a uzyskuje tylko wartości równe o godz. 14 (w czasie insolacji słonecznej) i zbliżone w godzinach wieczornych.

Przebieg wilgotności względnej jest odwrotny. Najwyższe wartości zaobserwowano na skarpie, najniższe w dolinie.

Przy porównaniu wykresów temperatury i wilgotności względnej z obu wyróżnionych dni (26 VII i 19 VII) zaznacza się wyraźna różnica w przebiegu obu elementów. W dzień o intensywnej insolacji słonecznej piaszczysta wysoczyzna wyróżnia się jako obszar bardziej aktywny termicznie, a wilgotność względna jest większa nad podmokłym dnem doliny. W dzień pochmurny, przy większych prędkościach wiatru wartości temperatury i wilgotności układają się odwrotnie: cieplejsza jest dolina, wyższa wilgotność względna na wysoczyźnie. Ponadto różnice między obu punktami i poziomami są mniej wyraźne. Linia ilustrująca zmiany wartości temperatury i wilgotności względnej ma przebieg bardziej zaburzony, bez wyraźnych tendencji. Oprócz dużego zachmurzenia na taki przebieg obu elementów miał niewątpliwie wpływ dosyć silny wiatr. „Spowodował on znacznie wymieszanie poszczególnych warstw powietrza, na skutek czego zatraciły one swoje cechy charakterystyczne i osobliwości mikroklimatyczne”.

Wiatr

Na rozkład prędkości wiatru w przekroju poprzecznym doliny wywiera wpływ kierunek biegu zboczy i ich względna wysokość w stosunku do płaskiego dna doliny oraz częstość występowania wiatru z różnych kierunków. Na badanym terenie większą prędkość wiatru notowano na dnie doliny.

Analizując rozkład prędkości średniej dla poszczególnych kierunków wiatru stwierdzamy, że występują różnice prędkości między wysoczyzną i doliną przy wiatrach z kierunku W i z kierunków północnych.

Zabudowania, drzewa lub inne przeszkody, które mogłyby wpływać na zmniejszenie prędkości wiatru z kierunku NW, N, NE znajdują się mniej więcej w takiej samej odległości w punkcie nr I jak i nr II.

Wiatr z kierunków północnych jest dla stanowiska położonego na dnie doliny niejako wiatrem „spadającym” ze skarpy. Być może, dosyć duża różnica poziomów (ok. 30 m) wpływa na zwiększenie prędkości wiatru. Słuszność powyższego rozumowania potwierdzają spostrzeżenia wizualne. Podczas pomiarów w dolinie wiatr z kierunku północnego i północno-wschodniego nawet w ciągu kilku minut nie miał jakiegś wyrównanej prędkości, ale okresy zupełnej lub prawie zupełnej ciszy przerywały silne podmuchy wiatru o dużej prędkości, co w rezultacie dawało prędkość średnią dosyć znaczną. Natomiast na wysoczyźnie tego rodzaju zjawiska nie zaobserwowano.

Do opracowania rozkładu prędkości z poszczególnych kierunków wzięto dwie serie obserwacji: 16 VII-31 VIII i 15 VIII-30 VIII. Łącznie uwzględniono 90 obserwacji. W liczbie tej 21 przypadków stanowią w obu punktach cisze. Na wysoczyźnie zaobserwowano więcej przypadków wiatru z kierunku południowo-zachodniego i północno-wschodnich. Zbyt mała liczba obserwacji i punktów obserwacyjnych nie pozwala wyciągnąć wniosków dotyczących „sterowania” wiatrów przez dolinę ani też wyróżnia jakichś wyraźnych tendencji zmiany kierunków.

Opady

Deszczomierze ustawiono w czterech punktach: 1. na dnie doliny, 2 – na wysoczyźnie koło stanowiska nr I i dwa następne w odległości kilkuset metrów od siebie w kierunku północnym, a więc w głębi wysoczyzny, coraz dalej od doliny Bugu (schemat).

W okresie 16 VII-31 VII zanotowano tylko cztery dni z opadem deszczu, przy czym sumy opadu były bardzo niewielkie. W miesiącu sierpniu od 15 do 30 opady były częstsze i bardziej obfite. 16 VIII wystąpił opad burzowy dając największą sumę z całego okresu obserwacji 35,5 mm w punkcie 4.

Tabela 9. Sumy opadów na wysoczyźnie i na dnie doliny Bugu (w punktach pomiarowych : 1, 2, 3 i 4)

Okres	Sumy opadów (mm)			
	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Punkt 4
16 VII-31 VII	6,4	7,0	8,2	9,1
15 VIII-30 VIII	61,8	57,4	57,7	74,2

Powyższe zestawienie oparte jest na zbyt małej liczbie pomiarów, aby można było wyciągnąć jakieś katagoryczne wnioski. Wydaje się jednak, że opady w dolinie Bugu są nieco mniejsze niż na wysoczyźnie.

Znacznie więcej przypadków mgieł zanotowano na dnie doliny niż na wysoczyźnie. Szczególnie często podczas rannych i wieczornych obserwacji występowała w dolinie mgła przyziemna w warstwie do 1 metra nad powierzchnią gruntu, natomiast na wysoczyźnie nie zaobserwowano ani razu tego rodzaju mgły. Bardzo częstym zjawiskiem w dolinie była również rosa. Na dnie doliny w godzinach rannych zanikała średnio o 2 godziny później niż na wysoczyźnie.

7.1.6. Przyczynę do poznania klimatu Doliny Środkowej Wisły w okolicy Wyszogrodu. Część pierwsza: Stosunki termiczne

Autor: Barbara WALCZAK

Opiekunowie naukowcy: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA,
Maria STOPA-BORYCZKA

Cel pracy

Praca stanowi część opracowania dotyczącego klimatu lokalnego doliny środkowej Wisły w okolicach Wyszogrodu, wykonywanego w Zakładzie Klimatologii IG UW.

Głównym celem pracy jest przedstawienie stosunków termicznych, ich zróżnicowania w zależności od sytuacji synoptycznej, pory dnia, wysokości n.p.g. i charakteru podłoża oraz zróżnicowania lokalnego temperatury wzdłuż wybranego profilu.

W opracowaniu tym w głównej mierze oparto się na wynikach badań prowadzonych w ramach praktyk w lipcu, sierpniu 1967 i w lipcu 1968 r. w okolicy Wyszogrodu, we wsi Kromnów i Zdziarka. W obu miejscowościach znajdowały się po dwa stanowiska obserwacyjne: punkt główny – baza i punkt pomocniczy – podpunkt.

Obserwacje prowadzone były codziennie w dziewięciu terminach: 6.39, 9.00, 11.00, 12.39, 14.00, 15.00, 16.00, 19.00, 20.39, a w tzw. dniach alertowych – co godzinę (były to dni: 5, 10, 20, 25 każdego miesiąca).

Materiałem wyjściowym opracowania są wartości temperatury uzyskane z odczytów termometru suchego psychrometru Assmana i Augusta oraz z termometrów ekstremalnych (maksymalnego i minimalnego). Przyrządami tymi dokonywano pomiaru na trzech wysokościach nad poziomem gruntu 0,25; 1,5; 2,0 m na bazach oraz 0,25 i 1,5 m na podpunktach. Psychrometr Augusta umieszczony był w dużej klatce na wysokości 2,0 m (tylko na punktach głównych).

W pracy wykorzystano również obok własnych, obserwacje prowadzone w tym samym okresie na stacji synoptycznej w Płocku –Radziwie i na posterunkach meteorologicznych: Nowy Dwór Mazowiecki, Niepokalanów, Poświętne należących do sieci PIHM.

W pracy stosowano głównie jedną z charakterystyk statystycznych: wartości średnie (terminowe, dobowe, miesięczne) oraz ekstremalne. Wyniki zestawiono i porównano w czasie i w przestrzeni. Ponadto wiązano przebiegi temperatury z sytuacją synoptyczną.

Ocena warunków środowiska geograficznego ze szczególnym uwzględnieniem klimatu

Obszar objęty badaniem klimatu lokalnego w niniejszym opracowaniu położony jest dokładnie w centrum Niziny Mazowieckiej.

Z punktu widzenia ukształtowania powierzchni, Mazowsze stanowi jakby wielką wklęsłą misę odwodnioną na zachód poprzez przełom płocki, a na swych peryferiach przejmującą wody spływające z całego południa i wschodu naszego kraju.

Ten ogólny zarys ukształtowania Mazowsza ma swoje uzasadnienie w budowie geologicznej głębszego podłoża, gdyż krzyżują się tu ze sobą osie dwóch głównych obniżzeń tektonicznych środkowej Europy. Jest to tzw. Niecka mazowiecka, ważna jako zbiornik wód artezyjskich gromadzących się głównie w piaskach oligoceńskich.

W dorzeczu środkowej Wisły rozpościerają się rozległe równiny, wytworzone w warunkach peryglacialnych na podłożu powierzchni zasypania z czasu zlodowacenia środkowopolskiego.

W granicach Krainy Mazowieckiej można wyróżnić następujące jednostki regionalne: Kotlina Warszawska, Wysoczyzna Rawska, Wysoczyzna Płocka, Wysoczyzna Ciechanowska, Równina Kurpiowska, Międzyrzecze Łomżyńskie, Wysoczyzna Siedlecka.

Opracowywany teren należy częściowo do Kotliny Warszawskiej i Wysoczyzny Płockiej.

Opis punktów obserwacyjnych

Kromnów – wieś położona na lewym brzegu Wisły. Pomiary mikroklimatyczne prowadzone były tu latem 1967 i 1968 roku w dwóch punktach. Punkt I znajdował się w odległości 500 m od starorzecza wiślanego, otoczonego bujną krzewiastą roślinnością, w odległości około 1 km od właściwego koryta Wisły. Ponadto punkt I oddzielony był od starorzecza wysokim wałem przeciwpowodziowym. Klatki z aparaturą ustawione były na dziedzińcu szkolnym porośniętym trawą, a w najbliższym otoczeniu znajdowały się drzewa.

Punkt II w lipcu i w sierpniu 1967 był umieszczony na skraju Puszczy Kampinoskiej, na terenie Nadleśnictwa Kromnów (w odległości 2 km od punktu I). W lipcu 1968 r. punkt ten został przeniesiony bliżej szkoły (około 1,5 km) i ustawiony na łące, 200 m od kanału melioracyjnego.

Zdziarka – wieś położona na prawym, wysokim brzegu Wisły. Punkt I usytuowany był na boisku szkolnym porośniętym trawą, otoczonym drzewami owocowymi. Stanowisko to znajdowało się w odległości 1 km od koryta rzeki. Punkt II położony był na zboczu o ekspozycji południowej w odległości 100 m od Wisły, na wysokości około 10 m nad poziomem rzeki. To stanowisko było założone na suchym, piaszczystym gruncie.

Modzerowo – wieś położona w dolinie Wisły na jej lewym brzegu (9 km na południo-wschód od Włocławka). Punkt I został zainstalowany na podwórku szkolnym, w odległości 1700 m od koryta rzeki, na podłożu piaszczystym porośniętym trawą. W najbliższym otoczeniu rosły drzewa. Punkt pomocniczy usytuowany był w odległości 800 m od Wisły i około 15 m od kanału melioracyjnego. Podłoże było żwirowo-piaszczyste, porośnięte rzadką trawą.

Płock-Radziwie – stacja synoptyczna, zlokalizowana na lewym brzegu Wisły, na płaskim zalewowym tarasie. Ogródek meteorologiczny znajduje się w pobliżu zabudowań Zakładów Drzewnych i stacji kolejowej.

Poświętne – posterunek meteorologiczny umieszczony na równinnym terenie wśród pól uprawnych należących do Rolniczych Zakładów Doświadczalnych.

Niepokalanów – ogródek posterunku meteorologicznego znajduje się na łące. Na północ od niego w odległości 900 m zaczyna się las sosnowy.

Nowy Dwór Mazowiecki – posterunek meteorologiczny położony jest na peryferiach miasta. Koryto rzeki (Bug-Narwi), odległe jest o 200 m. Z trzech stron świata z wyjątkiem północnego wycinka horyzontu ogródek otoczony jest zabudową niskich parterowych domów.

Wyniki badań

Szczegółowa analiza temperatury powietrza w lipcu i sierpniu 1967 i w lipcu 1968 r. na obszarze doliny środkowej Wisły (okolice Wyszogrodu) wykazała zróżnicowanie i zależność badanego elementu od sytuacji synoptycznej, wysokości nad poziomem gruntu, pory dnia i charakteru podłoża.

Sytuacja synoptyczna w każdym z rozpatrywanych miesięcy kształtuje się odmiennie. W lipcu 1968 r. dni z pogodą wyżową stanowiły 35,5% podczas gdy w lipcu 1967 aż 67,7%. Zdecydowanie większy procent stanowią w lipcu 1968 dni z pogodą niżową, bo aż 45,1%, podczas gdy w lipcu roku ubiegłego tylko 19,3%. Podobnie kształtowały się proporcje dni z sytuacją nieokreśloną tzn. lipiec 1968 – 19,4%, lipiec 1967 – 13,0%. Sierpień 1967 r. wyróżnił się najmniejszą częstością występowania tego typu sytuacji (9,1%). W lipcu 1968 r. zanotowano więcej przypadków wystąpienia masy PPM (87,1%) w porównaniu z lipcem 1967 (67,7%) oraz sierpniem 1967 (77,3%). Masy PPM występowały najczęściej w lipcu 1967 (32,3%) i stanowiły 12,9% w lipcu 1968 r. Powyższy układ sytuacji makrosynoptycznej zdecydował o tym, że lipiec 1968 był miesiącem chłodniejszym i bardziej wilgotnym niż lipiec 1967 r.

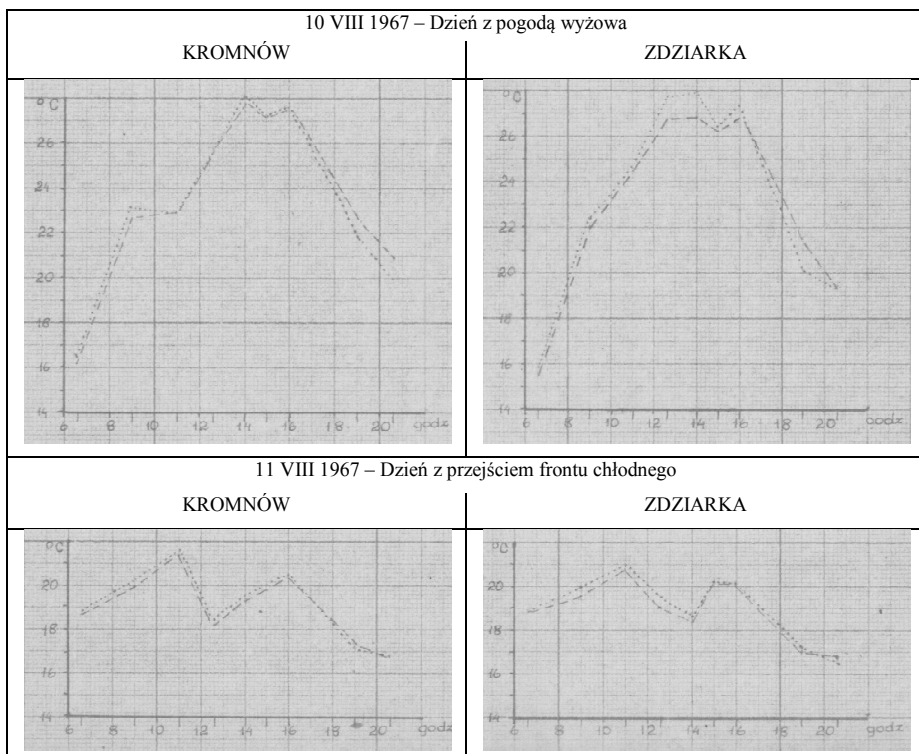
Przebieg temperatury średniej dobowej z dnia na dzień, w badanych miesiącach wykazuje wyraźną korelację z sytuacją pogodową. Najwyższe temperatury we wszystkich miesiącach występowały z reguły w ostatnich dniach utrzymywania się pogody wyżowej, a ich zróżnicowanie pod względem wartości wynika często z typu masy napływającej i długości okresu pogodowego. Najniższe wartości natomiast notowano na drugi dzień po przejściu frontu chłodnego.

Temperatura powietrza wykazuje wyraźny przebieg dobowy. Maksimum jej niezależne od sytuacji pogodowej występowało w terminach około południowych (13^h-14^h) natomiast minimum w godzinach wczesnorannych (3^h-4^h) (rys. 1-2).

Należy zwrócić uwagę, że na każdej stacji wzrost temperatury z godziny na godzinę przed południem był większy, aniżeli jej spadek popołudniowy. Na podstawie analizy temperatury na różnych poziomach obserwacyjnych (0,25; 1,5; 2,0; m n.p.g.), uwidoczniła się wyraźna stratyfikacja pionowa (tab.1-4).

W terminach dziennych zaznaczył się insolacyjny typ stratyfikacji, tzn. że najwyższe wartości temperatury obserwowano przy powierzchni gruntu, a w miarę wzrostu wysokości obniżały się, nie licząc kilku przypadków odwrócenia stratyfikacji. Dla terminów wieczornych i nocnych charakterystyczny był radiacyjny typ stratyfikacji termicznej, tzn. że ze wzrostem wysokości temperatura wzrastała – a więc występowała wyraźna inwersja temperatury. Maksymalna różnica między poziomami 0,25 i 1,5 m wyniosła 1,5° i miała miejsce w Modzerowie w sierpniu 1967 r.

Chcąc scharakteryzować wpływ podłoża na ukształtowanie się temperatury powietrza, należy wziąć pod uwagę wysokość względną, rzeźbę terenu, jego rodzaj i pokrycie. Do najcieplejszych miejscowości na badanym obszarze, na podstawie średnich dziennych oraz średnich i absolutnych wartości ekstremalnych należą: Nowy Dwór Mazowiecki i Płock-Radziwie, położone na płaskim tarasie zalewowym doliny Wisły. Absolutne maksimum z trzech opracowanych miesięcy wystąpiło na wymienionych stacjach 6 lipca 1968 r., a wyniosło 33,0°C. Natomiast najchłodniejsze były stacje zlokalizowane na wysoczyznach (Poświętne i Zdziarka).



Rys. 1. Przebieg dzienny temperatury powietrza w Kromnowie i Zdziarce w dniach 10 VIII (pogoda wyżowa) i 11 VIII 1967 r (po przejściu frontu chłodnego), na poziomach: 0,25 m i - - - 1,5 m

Tabela 1. Przebieg średni dzienny temperatury powietrza w lipcu 1967, sierpniu 1967 i lipcu 1968 w Zdziarce na wysokościach 0,5 i 1,5 m n.p.g

Zdziarka	Lipiec 1967		Sierpień 1967		Lipiec 1968	
	0,25 m	1,5 m	0,25 m	1,5 m	0,25 m	1,5 m
6 ^h 39 ^m	17,9	17,6	15,5	15,1	15,7	15,5
9 ^h	19,2	18,8	19,6	19,2	18,8	18,6
11 ^h	21,0	20,5	21,1	20,8	20,7	20,3
12 ^h 39 ^m	23,8	23,3	22,2	21,6	20,3	20,6
14 ^h	24,1	23,8	21,3	21,0	21,7	21,5
15 ^h	23,3	23,1	21,5	21,3	21,0	21,4
16 ^h	22,4	22,4	21,6	20,6	21,6	21,4
19 ^h	19,7	20,1	16,6	17,4	17,9	18,2
20 ^h 39 ^m	17,3	17,7	14,7	15,4	15,3	15,5

Przy uwzględnieniu 3 terminów obserwacyjnych na stacjach objętych badaniami notowano najniższe wartości w I terminie obserwacyjnym, za wyjątkiem Płocka-Radziwie, w którym występowały w III terminie.

Tabela 2. Przebieg średni dzienny temperatury powietrza w: lipcu 1967, sierpniu 1967 i lipcu 1968 w Kromnowie na wysokościach 0,5 i 1,5 m n.p.g

Kromnow	Lipiec 1967		Sierpień 1967		Lipiec 1968	
	0,25 m	1,5 m	0,25 m	1,5 m	0,25 m	1,5 m
6 ^h 39 ^m	17,9	17,6	15,3	15,1	16,8	16,6
9 ^h	20,8	20,5	20,9	19,4	20,2	19,6
11 ^h	21,0	20,6	21,7	21,3	22,4	21,5
12 ^h 39 ^m	23,6	23,0	22,1	21,3	22,4	21,6
14 ^h	23,8	23,5	22,6	22,0	24,0	23,1
15 ^h	22,2	22,6	21,7	21,8	22,8	22,1
16 ^h	22,5	22,1	21,6	21,4	23,0	22,6
19 ^h	20,1	20,7	17,2	17,5	19,3	19,5
20 ^h 39 ^m	17,6	17,8	16,5	16,7	15,9	16,1

Tabela 3. Przebieg średni dzienny temperatury powietrza w lipcu 1967 i sierpniu 1967 w Modzerowie na wysokościach 0,5 i 1,5 m n.p.g.

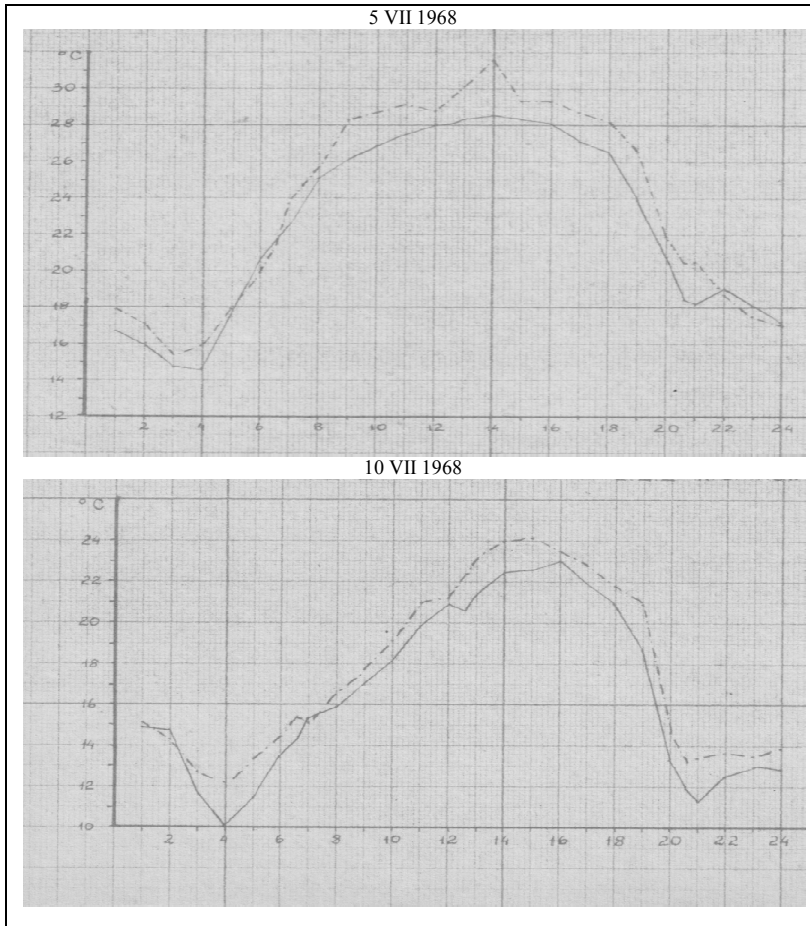
Modzerowo	Lipiec 1967		Sierpień 1967	
	0,25 m	1,5 m	0,25 m	1,5 m
6 ^h 39 ^m	18,0	17,8	15,6	15,4
9 ^h	21,8	21,4	20,0	19,8
11 ^h	23,8	23,4	22,6	21,1
12 ^h 39 ^m	25,1	24,3	22,7	21,6
14 ^h	25,1	24,5	23,1	22,9
15 ^h	25,3	24,8	23,0	21,3
16 ^h	24,8	24,5	22,2	21,9
19 ^h	20,9	20,8	18,1	18,2
20 ^h 39 ^m	17,6	17,8	16,5	16,7

Prawdopodobieństwo wystąpienia temperatur ekstremalnych wykazuje zróżnicowanie na poszczególnych poziomach. Na badanym terenie w lipcu najczęściej należy się spodziewać temperatur maksymalnych z przedziałów 22,1-30,0° na poziomie 0,25 m n.p.g. i temperatur 22,1-28,0° na poziomie 1,5 m n.p.g. gdy tymczasem temperatur minimalnych z przedziałów 8,1-14,0° na obu poziomach. Zakres zmienności temperatur maksymalnych w lipcu waha się od 16,0° do 36,0° (20,0°), w minimalnych zaś od 4,0° do 18,0° (14,0°).

Przy temperaturach maksymalnych zmienność z dnia na dzień oscyluje od 9,9 do 8,0°, z tym że najczęściej notowano ją w przedziale 0,1-2,0°, w każdym razie większe jest prawdopodobieństwo wzrostów niż spadków. Z kolei zakres wahań temperatur minimalnych z dnia na dzień został określony od 9,9 do 12,0°. Za przedział o największej częstotliwości zmian należy uznać 1,9-0,0° (nie na wszystkich stanowiskach) zatem najczęściej należy liczyć się w tym miesiącu z lekkim spadkiem temperatur minimalnych (nie dotyczy to stanowiska w Kromnowie I).

Tabela 4. Absolutne maksima (Max) i daty ich wystąpienia

Miejscowości	Lipiec 1967		Sierpień 1967		Lipiec 1968	
	Max	Data	Max	Data	Max	Data
Nowy Dwór Maz.	30,6	19	29,4	3	33,0	6
Kromnów	30,1	13, 14	28,1	10	32,9	6
Płock-Radziwie	31,1	14	28,6	10	33,0	6
Niepokalanów	31,0	14	28,1	2, 10	32,1	6
Zdziarka	31,6	3	27,4	10	31,2	6
Poświętne	29,7	14	28,2	3	32,1	6



Rys. 2. Przebieg dobowy temperatury powietrza w dniach 5 i 10 lipca 1968 r. na poziomie 1,5 m;
— Zdziarka, - - - Kromnów

Powyższe wyniki odnoszą się do konkretnych miesięcy (lipiec, sierpień 1967 i lipiec 1968). W innych latach i przy innych sytuacjach pogodowych uzyskane wyniki mogą odbiegać od przedstawionych w niniejszej pracy.

7.1.7. Przyczynek do poznania klimatu Doliny Środkowej Wisły w okolicy Wyszogrodu, cz. II. Stosunki wilgotnościowe i anemometryczne

Autor :Barbara WIERZCHOWSKA

Opiekunowie naukowci: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA,
Maria STOPA - BORYCZKA

Cel pracy

Niniejsza praca stanowi część opracowania dotyczącego klimatu lokalnego Doliny Środkowej Wisły w okolicy Wyszogrodu, wykonywanego w Zakładzie Klimatologii Instytutu Geograficznego Uniwersytetu Warszawskiego. Głównym celem pracy jest przedstawienie stosunków wilgotnościowych i anemometrycznych na wspomnianym terenie w miejscach letnich, oraz wykazanie ich zróżnicowania w zależności od sytuacji synoptycznej, pory dnia, wysokości nad poziomem gruntu i charakteru podłoża (rys. 1).

W opracowaniu tym, oparto się przede wszystkim na wynikach badań Zakładu Klimatologii IG UW, prowadzonych tylko w ramach praktyk studenckich w lipcu i sierpniu 1967 r. oraz w lipcu 1968 r. w okolicy Wyszogrodu, we wsi Kromnów i Zdziarka. Obserwacje prowadzone były każdego dnia w 9-ciu terminach obserwacyjnych (6^h36^m, 9^h, 12^h36^m, 14^h, 15^h, 16^h, 19^h i 20^h36^m) a w dniach tzw. alertowych co godzinę. Alerty ustalone były z góry na 5, 10, 20 i 25 dzień każdego miesiąca. W pracy tej wykorzystano pomiary wilgotności powietrza wykonywane psychrometrem Assmana na poziomach: 0,25 m, 1,5 i 2,0 m oraz psychrometrem Augusta (2,0 m w dużej klatce meteorologicznej). Prędkość wiatru mierzono za pomocą ręcznego anemometru Robinsona na poziomie około 2 m. Kierunek wiatru wyznaczano z dokładnością do 16 kierunków za pomocą połowej róży wiatrów. Wobec posługiwania się w pracy 8-kierunkową różą wiatrów zaszła więc konieczność redukcji kierunków pośrednich. Zastosowano znaną metodę zaliczenia kierunków pośrednich do głównych znajdujących się na prawo, i tak np. NNE zaliczono do NE, a ENE do E, WNW do NW itp.

Oprócz własnych badań Zakładu Klimatologii IG UW, w pracy wykorzystano również obserwacje prowadzone na stacji synoptycznej w Płocku-Radziwie i posterunkach meteorologicznych: Nowy Dwór Mazowiecki, Niepokalanów i Poświętne, należących do sieci Państwowego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego. Stacje PIHM: Niepokalanów, Płock-Radziwie i Nowy Dwór oraz stanowiska obserwacyjne w Kromnowie i w Zdziarce leżą w Nizinie Środkowomazowieckiej – w Kotlinie Warszawskiej.

Wyniki badań

Szczegółowa analiza stosunków wilgotnościowych w środkowej części Doliny Wisły (okolice Wyszogrodu) w miesiącach letnich 1967 i 1968 r., wykazała ich zależność od sytuacji synoptycznej, pory dnia, wysokości nad powierzchnią gruntu oraz od lokalizacji danej stacji (tab. 1-3, rys. 2-3).

Sytuacja synoptyczna w badanych miesiącach kształtowała się odmiennie, zwłaszcza między lipcem i sierpniem 1967 r. a lipcem 1968 r. Ten ostatni miesiąc różnił się od miesięcy letnich 1967 r. większą częstością występowania masy polarno-morskiej (27 razy

w lipcu 1968 r., 21 razy w lipcu 1967 r., 19 razy w sierpniu 1967 r. na 26 dni obserwacji), oraz dłuższymi cyklami pogodowymi.



Rys. 1. Mapa hipsometryczna Doliny Środkowej Wisły (1: 250 000)

Natomiast dla lata 1967 r. charakterystyczne były niedługie ale cyklicznie powtarzające okresy z pogodą wyżową, bowiem w lipcu było 21 takich dni, w sierpniu 13, podczas gdy w lipcu 1968 r. tylko 11 dni. Przebiegi poszczególnych charakterystyk wilgotności (Δ , f , e) z dnia na dzień, wykazują wyraźną zależność od sytuacji pogodowej, a zwłaszcza od rodzaju masy powietrznej.

We wszystkich miesiącach wilgotność powietrza osiągała najniższe wartości w ostatnich dniach utrzymywania się pogody wyżowej a zwłaszcza przy wystąpieniu mas PPK. Z kolei najwyższe wartości wilgotności powietrza przyjmowała po przejściu frontu chłodnego lub przy pogodzie niżowej, co szczególnie jaskrawo uwidaczniało się przy niedosyćce wilgotności powietrza i wilgotności względnej.

Niezależnie od sytuacji synoptycznej wilgotność powietrza była z reguły najniższa w godzinach około południowych zaś najwyższa w godzinach wieczornych i wczesnorannych.

Maksimum niedosyćki wilgotności powietrza a minimum wilgotności względnej obserwowano najczęściej w terminach 14^h-16^h, gdy tymczasem minimum Δ a maksimum f tuż przed wschodem słońca. Przebieg dobowy ciśnienia pary wodnej charakteryzował się dwoma kulminacjami: pierwsza między 7^h a 8^h, druga między 19^h a 20^h, oraz dwoma minimumami: w 14^h-16^h i przed wschodem Słońca.

Wahania dobowe i dzienne poszczególnych parametrów wilgotności były szczególnie wyraźne w czasie trwania pogody wyżowej, np. 5 sierpnia 1968 r. amplituda dobową niedosyćki wilgotności powietrza wynosiła 34,0 hPa, wilgotności względnej – 59%, a ciśnienia pary wodnej – 4,4 hPa.

Tabela 1. Przebieg dobowy ciśnienia pary wodnej w Kromnowie i Zdziarce w dniach 10 lipca 1967 i 10 lipca 1968 r. na poziomach: 0,25 m, 1,5 m i 2,0 m

h	10 lipiec 1967						10 lipiec 1968					
	Kromnów			Zdziarka			Kromnów			Zdziarka		
	0,25	1,5	2,0	0,25	1,5	2,0	0,25	1,5	2,0	0,25	1,5	2,0
1	17,3	17,6	17,8	15,8	16,2	17,0	15,4	15,4	15,7	15,6	15,6	15,6
2	17,9	18,0	17,8	15,7	16,3	17,3	15,2	15,5	15,4	13,8	12,8	12,4
3	17,3	17,5	17,5	15,4	16,4	17,0	11,5	11,8	11,7	11,6	11,6	11,4
4	17,1	17,1	17,1	15,2	17,0	17,6	11,5	11,5	11,6	10,5	11,0	11,0
5	17,2	17,2	17,1	16,4	17,8	17,8	12,2	12,2	11,7	12,0	11,6	11,8
6	18,0	18,0	17,8	17,8	18,1	18,1	12,7	12,6	12,8	11,8	12,0	12,7
7	19,0	18,2	18,2	19,0	18,1	18,1	11,3	11,1	11,0	11,3	11,7	11,0
8	18,6	18,3	18,6	20,3	19,2	18,8	11,1	10,6	10,8	11,0	10,0	9,8
9	18,4	17,4	17,4	18,4	17,4	17,4	11,7	11,4	10,8	11,2	9,9	9,8
10	18,3	17,4	16,9	18,4	17,6	17,0	11,6	11,3	10,7	10,6	10,0	11,4
11	18,0	17,1	16,4	17,8	16,9	16,6	11,4	10,3	10,3	11,2	11,0	10,4
12	17,1	17,0	17,2	18,2	15,6	16,0	10,5	10,5	10,0	10,1	9,6	9,8
13	18,4	17,6	17,4	18,3	18,0	18,0	9,6	10,0	10,0	9,3	8,4	9,1
14	18,2	18,2	18,5	18,3	18,0	18,0	9,6	9,6	9,6	8,9	7,9	8,0
15	17,7	16,4	17,0	18,2	17,1	17,1	9,6	10,2	10,0	9,2	7,9	8,1
16	17,7	16,5	16,8	17,9	17,5	17,3	9,0	8,2	8,2	9,5	8,9	8,2
17	17,4	17,0	17,0	17,4	16,9	16,4	8,7	8,7	9,0	9,4	8,9	8,3
18	17,3	17,4	17,2	18,0	17,0	16,8	8,8	9,4	9,4	8,7	8,3	8,0
19	17,1	16,8	16,6	17,2	17,1	17,1	11,0	10,2	10,0	10,1	9,4	9,0
20	16,5	16,4	16,2	16,4	16,0	16,0	12,0	11,8	11,6	11,8	11,0	10,7
21	16,2	16,2	16,2	16,7	16,5	16,2	11,4	11,8	11,0	11,0	10,6	11,7
22	15,6	15,5	15,5	16,9	15,9	16,8	13,0	12,2	11,9	12,0	11,2	11,0
23	15,5	15,5	15,5	15,8	15,8	15,8	12,2	11,6	11,3	12,9	12,2	12,3
24	15,2	15,3	15,6	15,0	15,0	15,8	11,4	11,0	10,6	10,8	10,8	10,6

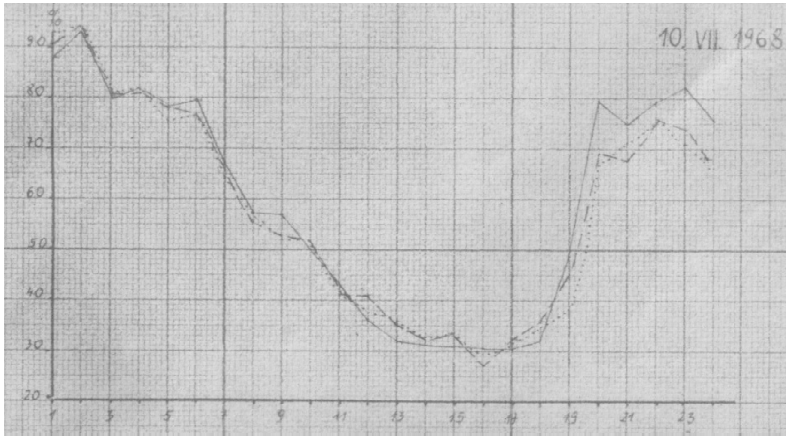
Natomiast przy pogodzie niżowej, zwłaszcza na początku danego cyklu z masami PPM, wahania dobowe były małe np. 20 lipca 1968 r. amplituda dobową Δ wynosiła 4,6 hPa, $f = 27\%$, $e = 3,4$ hPa. Bieg dobowy wilgotności powietrza może być w dużym stopniu zakłócony warunkami pogody zwłaszcza przejściem frontu atmosferycznego.

Wilgotność powietrza wykazuje wyraźną stratyfikację pionową, z reguły najwyższa jest na poziomie 0,25 m nad powierzchnią gruntu, natomiast w miarę wzrostu wilgotność maleje i na wysokości 2,0 m osiąga najniższe wartości.

Niekiedy prawidłowość ta ulega odwróceniu, zwłaszcza w godzinach około południowych, kiedy to prądy konwekcyjne odprowadzają parę wodną z niższych do wyższych warstw atmosfery. Zjawisko to (odwrócenie stratyfikacji) może również występować w godzinach wczesnorannych i wówczas związane jest z występowaniem rosy.

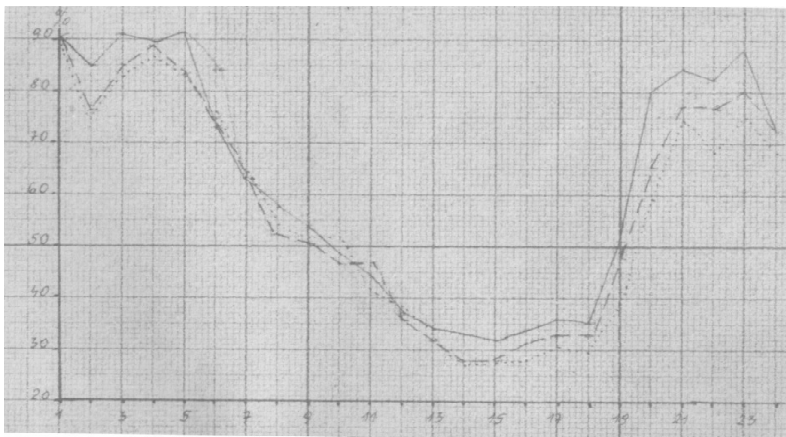
Wielkość różnic w wilgotności powietrza pomiędzy poziomami zależy od sytuacji synoptycznej. Są one największe przy pogodzie wyżowej a najmniejsze w czasie szybkich zmian pogody.

Kromnów



Rys. 2. Przebieg dobowy wilgotności względnej powietrza w Kromnowie (10 VII 1968)
— 0,25 m, - - - 1,5 m, ···· 2,0 m

Zdziarka



Rys. 3. Przebieg dobowy wilgotności względnej powietrza w Zdziarce (10 VII 1967)
— 0,25 m, - - - 1,5 m, ···· 2,0 m

Rozpatrując zagadnienie wpływu lokalizacji stacji na kształtowanie się wilgotności powietrza, wzięto pod uwagę przede wszystkim rodzaj gruntu i wysokość względną.

Do najsuchszych miejscowości należą Poświętne i Niepokalanów położone na wysokości na podłożu suchym. Natomiast znacznie wilgotniejsze są miejscowości w dolinie Wisły. Kromnów – położony we wklęsłej formie terenu, w odległości około 1 km od właściwego koryta Wisły, odsłonięty od S – lasem a od N wałem i zadrzewionym starorzeczem – wyróżnia się ogólnie biorąc niższą wilgotnością powietrza aniżeli Zdziarka, gdzie główne stanowisko usytuowane jest na otwartym terenie wysokiego tarasu w odległości 1 km od Wisły.

Należy przy tym pamiętać, że zróżnicowanie to zmienia się w zależności od pory dnia. Wczesnym rankiem oba stanowiska w Kromnowie mają wyższą wilgotność powietrza aniżeli Zdziarka.

W południe, szczególnie II stanowisko w Kromnowie wyróżnia się najniższą wilgotnością powietrza, co po południu charakterystyczne jest również dla punktu pomocniczego w Zdziarce (położonego na zboczu). Wieczorem i nocą ponownie Kromnów jest nieco wilgotniejszy niż główny punkt w Zdziarce.

Tabela 2. Przebieg dobowy ciśnienia pary wodnej (e) i niedosytu wilgotności (Δ) w dniu 25 lipca 1968 r. na poziomach: 0,25 m, 1,5 m i 2,0 m

h	Ciśnienie pary wodnej						Niedosyt wilgotności					
	Kromnów			Zdziarka			Kromnów			Zdziarka		
	0,25	1,5	2,0	0,25	1,5	2,0	0,25	1,5	2,0	0,25	1,5	2,0
1	13,3	11,0	10,7	11,0	10,8	10,8	0,9	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3
2	9,8	10,4	10,4	10,8	10,8	10,2	1,2	1,6	1,6	1,4	0,8	0,8
3	7,8	10,3	9,8	10,6	10,2	10,2	2,2	1,1	1,1	0,4	0,4	0,4
4	10,0	10,4	10,8	8,4	9,6	9,6	1,6	1,3	1,0	0,2	0,2	0,2
5	10,8	10,3	10,4	11,0	11,4	11,0	0,5	1,4	1,2	0,2	0,4	0,6
6	11,8	12,6	11,6	12,0	12,4	12,2	1,8	1,4	2,6	1,6	1,8	1,2
7	13,0	13,0	12,8	12,8	12,4	12,4	4,4	3,0	4,6	3,0	3,6	3,0
8	12,6	12,4	12,1	12,8	12,0	11,8	6,0	5,0	6,0	4,6	5,0	5,8
9	11,8	11,8	11,5	13,4	11,8	11,6	9,2	8,4	8,2	6,6	7,8	8,4
10	11,8	11,0	11,0	12,4	12,0	12,8	14,0	13,0	11,0	9,8	10,4	10,4
11	11,5	10,6	10,4	12,3	11,4	10,6	17,6	16,0	15,0	9,8	10,4	10,4
12	13,2	12,8	11,1	12,4	11,4	11,4	13,4	12,0	11,3	10,6	10,4	10,5
13	11,0	11,0	10,5	12,6	11,7	12,2	14,8	14,6	14,8	12,6	12,6	11,4
14	11,6	11,6	11,4	11,8	11,4	11,4	14,0	14,0	14,2	12,0	11,6	11,4
15	12,2	12,0	11,6	12,6	13,0	13,5	13,4	13,0	13,8	11,4	11,2	10,4
16	12,7	12,4	12,4	14,6	13,0	13,5	9,2	8,0	9,2	6,4	6,4	8,8
17	13,0	13,0	13,2	14,0	13,8	13,6	7,0	7,0	6,0	6,2	6,2	6,8
18	13,2	13,4	13,4	14,0	13,4	13,4	5,8	5,4	5,6	5,2	5,2	5,8
19	13,6	13,6	12,8	15,6	14,6	14,6	5,8	5,8	6,6	1,6	3,8	3,6
20	13,8	13,8	13,8	14,8	14,6	14,2	6,2	4,6	4,6	2,0	2,2	2,7
21	15,0	14,2	14,6	14,7	14,7	14,4	2,4	3,2	2,4	1,6	2,2	2,2
22	14,8	14,0	14,0	15,0	14,5	14,2	2,0	3,2	2,2	2,0	2,0	2,6
23	14,7	14,0	13,9	15,0	14,8	15,4	2,2	2,4	2,3	1,6	1,5	2,0
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Różnice lokalne dotyczące wilgotności powietrza zwiększają się w czasie długotrwałego cyklu pogodowego (zwłaszcza z pogodą wyżową) a zmniejszają lub zanikają zupełnie w czasie szybkich zmian sytuacji synoptycznej.

Rozkład kierunku i prędkości wiatru w środkowej części doliny Wisły i na terenach sąsiednich wykazał ścisłą korelację z ogólną sytuacją baryczną panującą w Europie a tak-

że z rzeźbą terenu (tab. 3).

Tabela 3. Przebieg dzienny średnich prędkości wiatru w lipcu 1967 r. (m/s)

	Kromnów		Zdziarka	
	p. I	p. II	p. I	p. II
6 ^h 36 ^m	0,9	0,7	1,0	0,8
9	1,4	1,0	1,3	1,2
11	1,5	1,2	1,2	1,1
12 ^h 36 ^m	1,6	1,2	1,2	1,2
14	1,5	1,0	1,3	1,0
15	1,5	0,9	1,0	0,9
16	1,0	0,9	1,0	0,8
19	0,3	0,0	0,3	0,2
20 ^h 36 ^m	0,3	0,0	0,3	0,3

Częste i silne wiatry z sektora północnego w lipcu 1968 r. były wynikiem pewnej potwarzalności ośrodków antycyklonalnych nad północną Europą, podczas gdy środkowa i wschodnia Europa pozostawała pod wpływem ośrodków niżowych. O przeważającej równoleżnikowej cyrkulacji powietrza w lipcu i sierpniu 1967 r. zdecydowały częste układy niżowe nad północno-zachodnią Europą i związane z nimi przejścia frontów atmosferycznych jak również częste układy niżowe w lipcu z centrum nad wschodnią Europą. Ogólna sytuacja synoptyczna wywarła wpływ i na rytm dobowy kierunku i prędkości wiatru. W dniach ze wzmożoną konwekcją a więc i wymianą turbulencyjną powietrza, prędkość wiatru wzrastała od wschodu słońca do godzin południowych a towarzyszył jej skręt wiatru w prawo. Wieczorem, zwłaszcza po zachodzie słońca, prędkość wiatru malała a kierunek odchyłał się w lewo.

Stacje na wysoczyźnie (Poświętne, Niepokalanów) wyróżniają się dużo większymi prędkościami wiatru w porównaniu z dolinnymi (Płock- Radziwie, Nowy Dwór).

Kierunek doliny Wisły powoduje zgodność kierunków NW i NE w Kromnowie i w Zdziarce. Z tymi też kierunkami związane są większe prędkości osiągnięte przez wiatr w Kromnowie.

Sterujący wpływ doliny widać również na przykładzie wiatrów W i SW, skręcających na kierunek zgodny z doliną i przybierających na sile na obu stanowiskach w Kromnowie. Wiatry S i N osiągały małe prędkości lub często były „wyciszane” w Kromnowie, co znajduje wytłumaczenie w osłonięciu tej miejscowości od wspomnianych stron świata. Słabe wiatry E i SE częściej ulegały w Kromnowie „wyciszeniu” aniżeli skrętowi na kierunek zgodny z kształtem doliny.

7.1.8. Przyczynek do poznania klimatu doliny środkowej Wisły w okolicy Wyszogrodu. Część III. Stosunki nefologiczne i opadowe

Autor: Jolanta RÓŻYCKA

Opiekunowie naukowci: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA,
Maria STOPA-BORYCZKA

W związku z zamierzeniem budowy stopnia spiętrzającego wodę na Wiśle w Wyszogrodzie, konieczne jest wykonanie szeregu opracowań klimatycznych dotyczących doliny Wisły, aby później można było wykazać zmiany w klimacie lokalnym spowodowane zwiększeniem powierzchni wody. Niniejsza praca jest ostatnią częścią opracowania dotyczącego warunków klimatycznych w dolinie środkowej Wisły, w okolicy Wyszogrodu, wykonywanego w ramach prac magisterskich w Zakładzie Klimatologii Instytutu Geografii Uniwersytetu Warszawskiego (rys. 1).



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów obserwacyjnych

Opracowanie to obejmuje następujące elementy klimatu: temperaturę powietrza, wilgotność powietrza i wiatry, zachmurzenie i opady.

Cel i metoda opracowania

Głównym celem pracy jest przedstawienie stosunków nefologicznych i opadowych w okolicy Wyszogrodu w okresie letnim. W opracowaniu tym oparto się na materiałach obserwacyjnych z praktyk studenckich prowadzonych przez Zakład Klimatologii IG UW w lipcu i sierpniu 1967 r. we wsiach: Kromnów, Zdziarka i Modzerowo oraz w lipcu 1968 r. we wsiach: Kromnów i Zdziarka. Obserwacje zachmurzenia odbywały się 9 razy w ciągu dnia (6.30, 9.00, 11.00, 12.30, 14.00, 15.00, 16.00, 19.00, 20.30), a w 4 dniach miesiąca (5, 10, 20, 25) tzw. alertowych – co godzinę w ciągu całej doby oraz w terminach klimatologicznych. Obserwacje te przeprowadzono metodą „na oko” według przyjętej skali od 0 do 10 stopni, obarczone są więc błędem własnym poszczególnych obserwatorów.

Pomiary wielkości opadów dokonywano dwa razy w ciągu doby o 7.00 i 19.00. Sumę opadów z godziny rannej zaliczono do sumy za dobę minioną, a wieczorną – do doby trwa-

jącej. Pomiar opadów przez cały okres badań robione były na wszystkich stanowiskach za pomocą deszczomierzy Okołowicza, a w lipcu 1968 r. na punktach głównych dodatkowo za pomocą deszczomierzy Hellmanna. Prócz materiałów zebranych przez Zakład Klimatologii IG UW wykorzystano wyniki obserwacji z sieci PIHM, a więc ze stacji synoptycznej w Płocku-Radziwie i posterunków meteorologicznych w: Niepokalanowie, Nowym Dworze Mazowieckim i Poświętnem, dla wyżej wymienionych miesięcy letnich.

Zdziarka – wieś położona na prawym brzegu Wisły około 3 km (kierunek E) od Czerwińska. Stanowisko główne zlokalizowano na boisku szkolnym porośniętym trawą i otoczonym drzewami owocowymi

Kromnów – wieś położona na lewym brzegu Wisły (kierunek SW od Zdziarki). Stanowisko główne, podobnie jak w Zdziarce, znajdowało się na boisku szkolnym, porośniętym trawą i otoczonym drzewami. W odległości 500 m od boiska było starorzecze Wisły, oddzielone od właściwego koryta Wisły (1 km) wałem przeciwpowodziowym.

Modzerowo – położone w dolinie Wisły na jej lewym brzegu, 9 km na południow-schód od Włocławka. Stanowisko I zostało założone na piaszczystym podwórku szkolnym, porośniętym trawą i otoczonym drzewami, w odległości 1,7 km od koryta rzeki.

Płock-Radziwie – stacja synoptyczna PIHM jest zlokalizowana na lewym brzegu Wisły, na płaskim, zalewowym tarasie. Dopiero w odległości 2,5 km na zachód teren zaczyna się podnosić. Ogródek meteorologiczny usytuowany jest w pobliżu zabudowań Zakładów Drzewnych i stacji kolejowej.

Poświętne – posterunek meteorologiczny jest usytuowany na płaskim terenie, wśród pól uprawnych należących do Rolniczych Zakładów Doświadczalnych. Niepokalanów – posterunek meteorologiczny PIHM. Najbliższy teren zabudowany jest luźno stojącymi parterowymi domami i zadrzewiony młodymi drzewami owocowymi. Ogródek meteorologiczny znajduje się na łące. Na północ od niego w odległości 900 m zaczyna się las sosnowy.

Nowy Dwór Mazowiecki – posterunek meteorologiczny PIHM położony jest na peryferiach miasta. Koryto rzeki Narwi odległe jest o 200 m. Z trzech stron świata, oprócz strony północnej, ogródek meteorologiczny otoczony jest zabudową niskich parterowych domków.

W pracy omówiono dobowy i dzienny przebieg zachmurzenia, biorąc pod uwagę stopień pokrycia nieba, częstość występowania zachmurzenia w przedziałach ustalonych przez W. Okołowicza, częstość występowania podstawowych pięter chmur w każdym terminie obserwacyjnym oraz powiązano typy zachmurzenia z sytuacją baryczną.

Przeprowadzona analiza stosunków opadowych dotyczyła sum miesięcznych, liczby dni z opadem i przebiegu dziennego opadów w wybranych dniach.

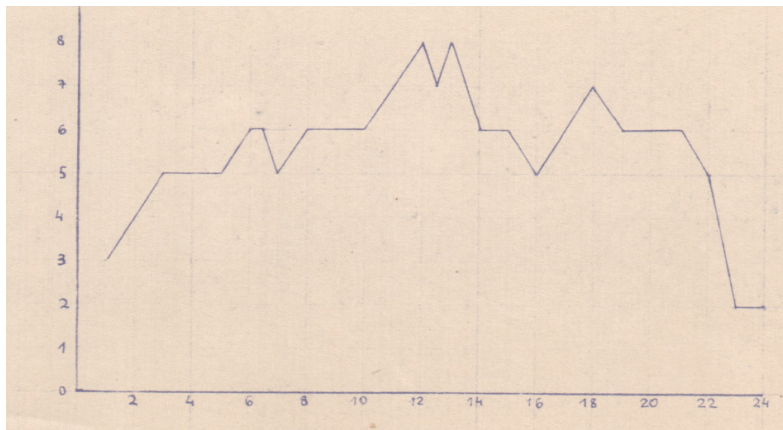
Należy dodać, że przy tych charakterystykach zwrócono przede wszystkim uwagę na zmiany na profilu Zdziarka-Kromnów, traktując dodatkowo wyniki obserwacji z Modzerowa.

Zachmurzenie w miesiącach letnich

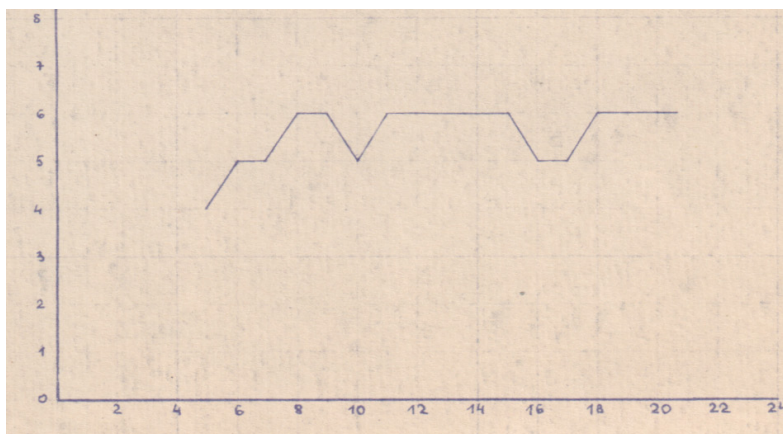
Szczegółowa analiza stosunków nefologicznych w dolinie środkowej Wisły (okolice Wyszogrodu) przeprowadzona na przykładzie miesięcy letnich: lipca i sierpnia 1967 r. oraz lipca 1968 r. wykazała, że przebieg dobowy zachmurzenia zależy w dużym stopniu od typu zachmurzenia.

W lipcu 1967 r. wyraźnie zaznaczył się typ konwekcyjny, bowiem na wszystkich posterunkach górowały maksima południowe i minima około północy. W lipcu 1968 r. na ekstremalne wielkości zachmurzenia wpłynęły przede wszystkim chmury warstwowe, dlatego maksima występowały przed północą, a minima nad ranem.

Przebieg dzienny zachmurzenia charakterystyczny był w obydwu badanych miesiącach dla zachmurzenia typu konwekcyjnego. Wyrazem tego jest wzrost zachmurzenia od rannej obserwacji aż do osiągnięcia maksimum o 12^h30^m, po czym zaznaczył się jego spadek i zanik po zachodzie Słońca (rys. 2-3, tab. 1-3).



Rys. 2. Przebieg dobowy zachmurzenia w Zdziarce (Lipiec 1967)



Rys. 3. Przebieg dobowy zachmurzenia w Kromnowie (Lipiec 1967)

Tabela 1. Przebieg dzienny zachmurzenia w lipcu 1967 r.

	6 ^h 30 ^m	9 ^h	11 ^h	12 ^h 30 ^m	14 ^h	15 ^h	16 ^h	19 ^h	20 ^h 30 ^m
Zdziarka	5,0	4,8	5,6	6,6	6,5	5,8	5,2	5,5	5,5
Kromnow	4,4	4,6	5,0	6,2	5,8	5,4	5,2	5,1	6,0
Modzerowo	4,8	5,9	6,2	6,3	6,4	6,0	6,2	5,5	5,2

Tabela 2. Przebieg dzienny zachmurzenia w sierpniu 1967 r.

	6 ^h 30 ^m	9 ^h	11 ^h	12 ^h 30 ^m	14 ^h	15 ^h	16 ^h	19 ^h	20 ^h 30 ^m
Zdziarka	5,9	5,0	6,7	6,7	6,1	6,4	6,5	5,8	4,3
Kromnów	5,6	5,0	6,1	7,0	6,7	6,2	6,1	5,4	4,6
Modzerowo	6,3	5,2	5,8	6,1	6,3	6,2	6,5	6,2	5,1

Tabela 3. Przebieg dzienny zachmurzenia w lipcu 1968 r.

	6 ^h 30 ^m	9 ^h	11 ^h	12 ^h 30 ^m	14 ^h	15 ^h	16 ^h	19 ^h	20 ^h 30 ^m
Zdziarka	5,7	6,2	6,4	7,0	6,4	6,6	6,2	5,6	5,4
Kromnów	5,8	5,9	6,7	6,9	6,7	6,3	5,7	7,1	5,4

- Częstość występowania zachmurzenia w dwustopniowych przedziałach pozwoliła na uchwycenie rzeczywistych zmian stopnia pokrycia nieba w określonych porach dnia:
 - niebo bezchmurne i lekko zachmurzone obserwowano przede wszystkim rano i wieczorem, a bardzo rzadko lub nigdy w terminach południowych
 - niebo dość zachmurzone występowało najczęściej przed i po południu
 - niebo umiarkowane i silnie zachmurzone charakteryzowało godziny około południowe (11^h-16^h)
 - z żadną porą dnia nie było związane tylko niebo całkowicie zachmurzone, ze względu na mało zróżnicowany bieg
 - dodatkową charakterystyką zachmurzenia w ciągu dnia jest częstość występowania podstawowych pięter chmur
 - chmury wysokie miały przebieg dzienny wyrównany z lekko zaznaczającymi się minimami rano i wieczorem
 - chmury niskie przeważnie związane były z godzinami około południowymi
- Na podstawie analizowanej zależności między wielkością zachmurzenia a podstawowymi piętrami chmur stwierdzono że:
 - chmury wysokie w najmniejszym stopniu przyczyniają się do zachmurzenia nieba
 - chmury średnie wywołują zachmurzenie silne
 - chmury niskie powodują zachmurzenie silne albo całkowite
- W rozpatrywanym okresie najczęściej obserwowanymi chmurami były *Cu* i *Ac*, a w poszczególnych piętrach wyróżniały się:
 - w piętrze wysokim *Ci* (niekiedy *Cs*)
 - w piętrze średnim *Ac*, *As*
 - w piętrze niskim *Cu*
- W ciągu badanych miesięcy:
 - najwięcej było dni z zachmurzeniem typu konwekcyjnego i konwekcyjno-warstwowego w czasie panowania pogody wyżowej
 - stosunkowo dużo było dni pochmurnych przy pogodzie niżowej, nieokreślonej lub frontalnej
 - bardzo mało dni było z innymi typami zachmurzenia
- Średnie miesięczne wartości zachmurzenia wykazują również dosyć duże zróżnicowanie w zależności od lokalizacji danego posterunku; największym zachmurzeniem w badanym okresie wyróżniły się:

- w I terminie: Zdziarka i Płock-Radziwie
- w II terminie: Zdziarka, Kromnów i Płock-Radziwie
- w III terminie: Kromnów i Nowy Dwór Mazowiecki
- Średnie największe zachmurzenie obserwowano w Zdziarce, Kromnowie, a niższe kolejno w Płocku-Radziwie, Nowym Dworze Mazowieckim, Poświętnem i Niepokalanowie. Z kolei najniższe zachmurzenie notowano zawsze (z wyjątkiem II terminu w Nowym Dworze Mazowieckim) na posterunkach w Niepokalanowie i Poświętnem.
- Zróżnicowanie w zależności od położenia danego posterunku wykazują również poszczególne piętra chmur. W Płocku-Radziwie, Niepokalanowie i Poświętnem najczęściej występowały chmury niskie, a rzadko średnie, wysokie, natomiast w Zdziarce i Kromnowie bardzo dużą frekwencją wyróżniały się chmury niskie i średnie.

Opady atmosferyczne w miesiącach letnich

Charakterystyka sum opadów

Z wieloletnich badań opadów w Polsce wynika, że lipiec spośród innych miesięcy charakteryzuje się największą sumą opadów. Wpływa na to duża liczba układów cyklonalnych napływających nad nasz kraj z bogatymi w wilgoć masami Ppm, PPms i dużym udziałem deszczy w lokalnych typu konwekcyjnego. Trzeba podkreślić, że o maksimum opadów decyduje nie ich częstość, która jest największa w półroczu zimowym, ale charakter opadów letnich, bowiem w tym okresie odznaczają się one dużym natężeniem i wydajnością.

Dla orientacji – w kształtowaniu się opadów w lipcu i sierpniu w szerzej pojętym sąsiedztwie posterunków Zakładu Klimatologii podano dziesięcioletnie (1951-1960.) wartości opadu dla trzech posterunków meteorologicznych: Niepokalanów, Nowy Dwór Mazowiecki, Poświętne i stacja synoptyczna Płock-Radziwie (tab.4-8).

Tabela 4. Średnie miesięczne i roczne sumy opadów (mm) w 10-leciu 1951-1960 (deszczomierz Hellmanna)

	Lipiec	Sierpień	Rok
Niepokalanów	93,7	48,3	510,2
Nowy Dwór Maz.	96,0	48,3	506,7
Poświętne	101,3	42,7	486,5
Płock-Radziwie	123,3	60,3	535,3

Tabela 5. Sumy miesięczne opadów (mm) na wybranych stacjach PIHM (deszczomierz Hellmanna)

	Lipiec 1967	Sierpień 1967	Lipiec 1968
Niepokalanów	83,5	94,7	58,4
Nowy Dwór Maz.	41,8	95,1	53,3
Poświętne	51,0	55,2	47,6
Płock-Radziwie	50,3	54,1	75,6

Tabela 6. Sumy miesięczne opadów (mm) na posterunkach meteorologicznych Zakładu Klimatologii IG UW w lipcu 1967 r. (deszczomierze typu Okołowicza)

Posterunki	Lipiec 1967						
	1	2	3	4	5	6	7
Zdziarka	57,9	-	-	58,5	-	50,2	-
Kromnów	80,5	68,6	62,2	72,1	71,8	-	77,3
Modzerowo	77,3	94,4	70,2	59,6	57,4	65,9	-

Tabela 7. Sumy miesięczne opadów (mm) na posterunkach meteorologicznych Zakładu Klimatologii IG UW w sierpniu 1967 r. (deszczomierze typu Okołowicza)

Posterunki	Lipiec 1967						
	1	2	3	4	5	6	7
Zdziarka	71,4	-	-	65,6	67,7	77,6	-
Kromnów	78,5	-	66,3	70,7	70,0	-	73,2
Modzerowo	73,3	85,2	65,6	62,2	62,2	68,9	-

Tabela 8. Sumy miesięczne opadów (mm) na posterunkach meteorologicznych Zakładu Klimatologii IG UW w lipcu 1968 r. (deszczomierze typu Okołowicza)

Posterunki	Lipiec 1967						
	1	2	3	4	5	6	7
Zdziarka	34,2	34,2	32,5	31,3	35,3	-	-
Kromnów	31,0	30,1	30,5	31,1	30,2	29,8	-

- Na podstawie przeprowadzonej analizy stosunków opadowych w dolinie środkowej Wisły (okolice Wyszogrodu) stwierdzono że:
 - sumy opadu w Kromnowie i w Zdziarce były wyższe w 1967 r. niż w 1968 r. z tym, że w 1967 r. opad w Kromnowie przewyższał opad w Zdziarce, natomiast w 1968 r. oba posterunki meteorologiczne miały sumy zbliżone
 - porównanie sum (deszczomierze Hellmanna) z punktów obserwacyjnych Zakładu Klimatologii UW z danych PIHM wykazało, że uniwersyteckie punkty miały zdecydowanie niższy opad
- W badanych miesiącach letnich przeważał opad związany z układami niżowymi, a w tym zwłaszcza pochodzenia frontalnego
 - najwyższe sumy osiągał opad związany z frontem chłodnym
 - opady drobne typu mżawki występowały przy frontach ciepłych i zokludowanych
- Wysokość opadu zależy od fragmentu strefy frontalnej, z którego opad pochodzi
 - opad przed nadejściem frontu należą do średnio obfitych; mają charakter raczej opadów ciągłych
 - najintensywniejsze opady występują w strefie frontalnej
- Warunki lokalne wpływają na rozkład sum opadu tylko w przypadku, gdy jest on o dużym natężeniu i w miarę długotrwały: przy słabych opadach zależności tej nie dało się stwierdzić
- Wpływ doliny Wisły i „ściany” Puszczy Kampinoskiej zaznaczył się tylko przy silnych opadach
- Stosunki opadowe charakteryzuje się także za pomocą liczby dni z opadem, która wykazała dość duże zróżnicowanie w dwóch okresach badawczych – najwięcej ich było w lipcu 1968 r., a najmniej w lipcu 1967 r.

- Analiza liczb dni z opadem o różnej wysokości pozwoliła stwierdzić że:
 - ze wzrostem wysokości opadu liczba dni z opadem maleje, zwłaszcza wobec przejścia od węższych do szerszych przedziałów
 - najmniejsze różnice w liczbach dni z opadem mają miejsce przy przejściu od przedziału $\geq 0,1$ do $\geq 1,0$ mm
 - gwałtowny spadek częstości liczby dni z opadem rozpoczyna się przy przejściu od przedziału $\geq 1,0$ do $\geq 5,0$ mm i jeszcze bardziej widoczny jest przy następnych wyższych przedziałach
- Przebieg dobowy scharakteryzowany za pomocą stosunku dziennej do nocnej miesięcznej sumy opadów wykazuje większe zróżnicowanie
- W 1967 r. opad nocny w Zdziarce przewyższał opad dzienny, natomiast w Kromnowie miało to miejsce tylko w sierpniu
- W 1968 r. oba posterunki meteorologiczne miały opad dzienny znacznie wyższy od nocnego.

7.1.9. Wpływ warszawskiej skarpy wiślanej na warunki termiczno-wilgotnościowe

Autor: Beata WOLSZCZAK

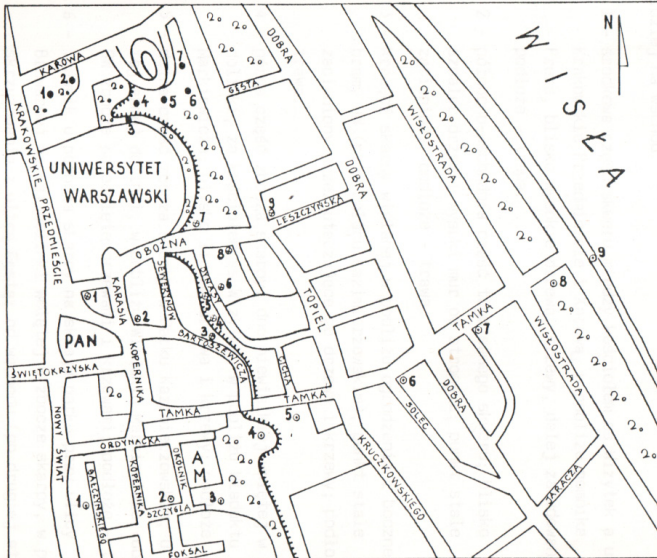
Opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK

Wprowadzenie

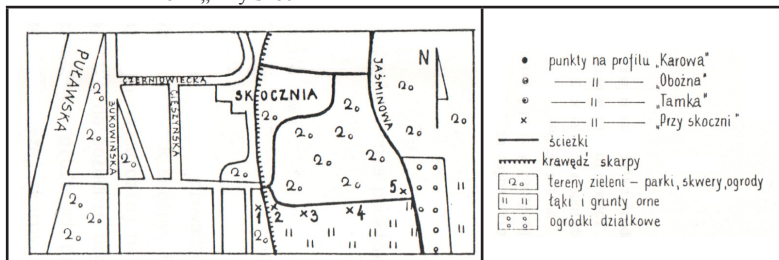
Praca dotyczy nie rozpoznanych do tej pory warunków klimatycznych skarpy wiślanej na terenie Warszawy. Wszystkie dotychczasowe opracowania klimatu Warszawy wykonane na podstawie obserwacji terenowych prowadzonych przez studentów oraz obserwacji na stacjach meteorologicznych nie ujawniły warunków klimatycznych występujących na skarpie wiślanej, ponieważ nie została ona objęta pomiarami.

Celem pracy jest stwierdzenie, w jaki sposób forma ukształtowania terenu, jaka jest skarpa wpływa na podstawowe elementy meteorologiczne (rys. 1, tab. 1).

Profil: „Karowa”, „Oboźna”, „Tamka”



Profil „Przy skoczni”



Rys. 1. Plan lokalizacji punktów pomiarowych na profilach: „Karowa”, „Oboźna”, „Tamka” i „Przy skoczni”

Opracowanie opiera się na wynikach obserwacji terenowych. Praca składa się z 5 rozdziałów. Zasadniczą część pracy obejmuje 3 z nich – rozdziały: II, III i IV. W rozdziale II zostanie omówione zróżnicowanie warunków termicznych na badanym terenie. W dwóch następnych przedstawiona będzie charakterystyka warunków wilgotnościowych oraz wiatru na skarpie i terenach przyległych.

Położenie i opis punktów pomiarowych – Profil „Karowa”

Profile na których prowadzono obserwacje obejmowały tylko środkowy najwyższy odcinek skarpy. Teren badań obejmuje wysunięty najbardziej na północ profil „Karowa” i położony najbardziej na południe profil „Przy skoczni”. Przykładowo scharakteryzowano profil Karowa” – zaczynając od punktów położonych powyżej skarpy (jednocześnie wysuniętych najbardziej na zachód), a kończąc na zlokalizowanych poniżej skarpy (wysuniętych najbardziej na wschód).

Punkt 1 – środkowa część skweru między kościołem ss Wizytek a ulicami Krakowskie Przedmieście i Karową, w pobliżu pomnika Prusa, blisko wysokie drzewa, krzewy, dalej zabudowania; podłoże – trawa.

Punkt 2 – północno-wschodnia część tego samego skweru; blisko szpaler drzew i wysoki mur od strony E; punkt stale zacieniony; podłoże – trawa.

Punkt 3 – krawędź skarpy wiślanej w pobliżu ogrodzenia i bocznej bramy UW (przy Pałacu Kazimierzowskim); punkt stale zacieniony przez otaczające go drzewa i krzewy; podłoże – trawa.

Punkt 4 – górna część zbocza skarpy, dno niewielkiej wciętej w zbocze dolinki, za kościołem ss Wizytek, w pobliżu Wiaduktu Markiewicza; blisko liczne drzewa i krzewy; podłoże – trawa.

Punkt 5 – dolna część zbocza skarpy w Parku Kazimierzowskim, u wylotu tej samej dolinki, w pobliżu Wiaduktu Markiewicza; od strony SW zbocze porośnięte drzewami i krzewami; podłoże – trawa.

Punkt 6 – trawnik u podnóża skarpy na skraju parku przy ulicy Browarnej na osi dolinki wciętej w zbocze skarpy, w pobliżu skrzyżowania z ulicą Gęstą; od wschodu (po drugiej stronie ulicy Browarnej) drzewa i niewysoki budynek, z pozostałych stron rozległy teren zieleni, punkt nie sąsiaduje bezpośrednio z drzewami ani krzewami, miejsce nieosłonięte; podłoże – trawa

Punkt 7 – ten sam trawnik u podnóża skarpy w tym miejscu wysuniętym ku wschodowi, na skraju parku przy ulicy Browarnej, w pobliżu ulicy Karowej; od wschodu (po drugiej stronie ulicy) park, od zachodu skarpa porośnięta drzewami; podłoże – trawa.

Materiały źródłowe

Materiały źródłowe stanowiące podstawę pracy pochodzą z okresowych pomiarów prowadzonych w ramach specjalizacyjnych praktyk studenckich na WGiSR UW. Pomiarzy były wykonane psychrometrem Assmanna – temperatura i wilgotność powietrza oraz anemometrem Robinsona (w latach wcześniejszych – 1977-1979) i katatermometrem (w latach późniejszych – 1983-1989) – prędkość wiatru. Obserwowano też kierunek wiatru, wielkość zachmurzenia, stan gruntu i zjawiska atmosferyczne. W pracy zostaną wykorzystane wyniki pomiarów określające stan i przebieg temperatury powietrza, ciśnienia

pary wodnej, wilgotności względnej i prędkości wiatru. Pomiary wykonywane były na poziomie 0,5 m (we wcześniejszych latach), 0,25 m (w późniejszych latach) i 1,5 m (we wszystkich seriach) nad podłożem. Aby uniknąć zróżnicowania wynikającego z prowadzenia obserwacji na różnej wysokości nad powierzchnią podłoża, praca będzie się opierać na wynikach pomiarów wykonywanych tylko na poziomie 1,5 m.

Tabela 1. Zestawienie serii pomiarowych na skarpie wiślanej (poziom – 1,5 m, pomiary co 0,5^h)

Serie	Rok	Nazwa	L. pkt.	Daty pomiarów	L.dni	Terminy	Podłoże
I	1977	Tamka	9	11-12.06	2	6 ^h -22 ^h	gł.beton
II	1978	Tamka	9	13-14.06	2	6 ^h -22 ^h	gł. beton
III	1979	Tamka	9	15-16, 18-19.06	4	6 ^h -22 ^h	gł. beton
IV	1983	Karowa	5	13-15.07	3	6 ^h -22 ^h	trawa
V	1984	Karowa	7	28-30.05	3	6 ^h -22 ^h	trawa
VI	1985	Karowa	7	10-13.06	4	6 ^h -22 ^h	trawa
VII	1986	Karowa	6	16-19.06	4	7 ^h -21 ^h	trawa
VIII	1988	Oboźna	9	07.-09.06	3	7 ^h -21 ^h	beton
IX	1989	Oboźna	8	30.05-01.06	3	7 ^h -21 ^h	beton
X	1989	Przy skoczni	5	19-21.05	3	6 ^h -6 ^h	trawa
XI	1989	Przy skoczni	5	10-12.06	3	6 ^h -6 ^h	trawa

W analizie przebiegu czasowego i rozkładu przestrzennego wymienionych elementów meteorologicznych pomocne będą wyniki wspomnianych obserwacji wizualnych.

Wyniki pomiarów pochodzą z 11 kilkunastodniowych serii przeprowadzonych w ciągu 9 lat: 1977-1979, 1983-1986, 1988-1989. Na każdą serię składało się od 2 do 4 dni obserwacji. Daty pomiarów były różne, ale prawie wszystkie mieściły się w okresie drugiej połowy maja i czerwca, tylko jedna seria – IV przypadła na lipiec. Różne były również godziny wykonywania pomiarów w poszczególnych latach. Początkowo (lata 1977-1985) pomiary odbywały się w godzinach od 6 do 22, w późniejszych latach (1986-1989) od 7 do 21. W 2 seriach pomiarowych z roku 1989 pomiary prowadzono przez całą dobę, od godziny 6.00 do 6.00 dnia następnego. We wszystkich latach pomiary wykonywano co pół godziny. Punkty pomiarowe zlokalizowane były na 4 profilach poprzecznych biegnących przez skarpe w różnych jej miejscach. Nazwa każdego profilu pochodzi od ciągu ulicznego, z którym była związana większość punktów: „Tamka”, „Karowa”, „Oboźna”. Wyjątek stanowi profil najbardziej południowy nie nawiązujący do żadnej z ulic, na wysokości skoczni narciarskiej w pobliżu ulicy, dlatego nazwany „Przy skoczni”. Każdy profil obejmował inną liczbę punktów pomiarowych, która zmieniała się również w zależności od roku. Minimalna liczba punktów pomiarowych wynosiła 5 (profil „Karowa”, data 1983 i 1986) maksymalna 9 (wszystkie serie z profilu „Tamka” i „Oboźna”). Bez względu na liczbę punktów każdy profil obejmował punkty: zlokalizowane powyżej skarpy, podskarpowe oraz położone na skarpie.

Profile zróżnicowane były nie tylko ze względu na liczbę stanowisk pomiarowych, ale również ze względu na rodzaj podłoża, nad którym były wykonywane pomiary. I tak na profilach „Karowa” i „przy skoczni” pomiary odbywały się tylko nad trawą, na profilu „Oboźna” – nad płytami chodnikowymi, a na profilu „Tamka” podłoże było zróżnicowa-

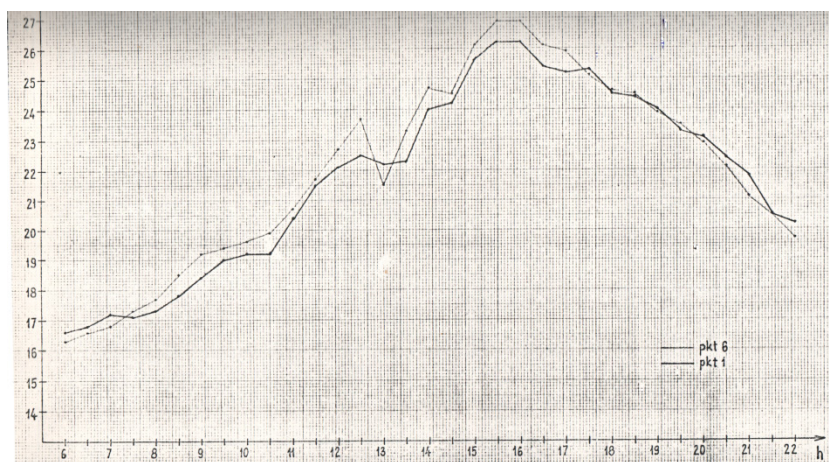
ne, lecz większość stanowisk znajdowała się nad płytami chodnikowymi (beton). Kolejny czynnik, który wpłynął na zróżnicowanie wyników pomiarów, to typ pogody. W poszczególnych seriach pomiarowych pogoda była niejednolita. Serie: I, IV, VI (lata: 1977, 1983, 1986) przypadły na pogodę upalną, słoneczną, natomiast serie: II i VI (lata: 1978, 1985) objęły dni z pogodą zimną, pochmurną, a w pozostałych latach w czasie pomiarów panowała pogoda zmienna.

Wszystkie wymienione zróżnicowania dotyczące terminów obserwacji, długości serii, rodzaju podłoża, nad którym wykonywano pomiary, a także otoczenia stanowisk pomiarowych, typu pogody stanowiły znaczne utrudnienie w interpretacji wyników i zapewne wpłynęły na dokładność i stopień uogólnia wyciąganych wniosków.

Warunki termiczne

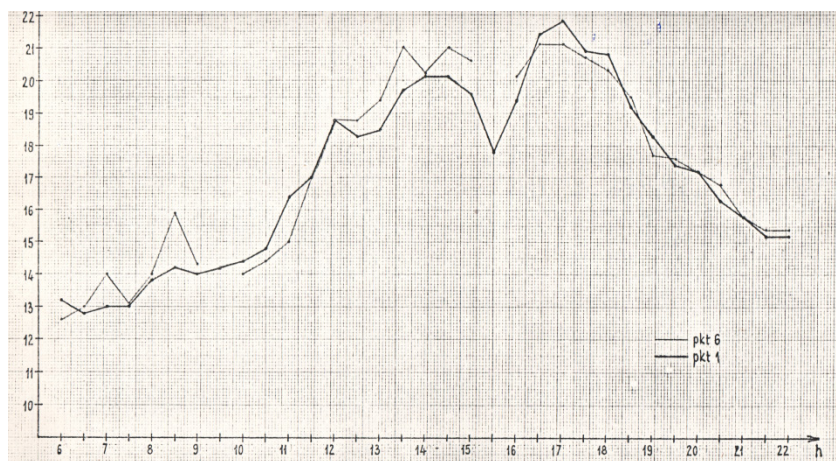
Wyniki pomiarów prowadzonych na 4 poprzecznych profilach biegnących przez skarpe wiślaną wykazały dość wyraźnie zależność temperatury powietrza na wysokości 1,5 m nad gruntem od rzeźby terenu (rys. 2-3).

Nie na wszystkich profilach zależność ta ujawniła się w jednakowy i równie zdecydowany sposób. Wiąże się to z lokalizacją i otoczeniem punktów, które składały się na poszczególne profile. Inaczej kształtuje się zróżnicowanie temperatury wzdłuż skarpy w terenach zieleni, inaczej wśród zwartej zabudowy.



Rys. 2. Przebieg dobowy temperatury powietrza na profilu „Karowa” – 13VII-15 VII 1983

Zróżnicowanie temperatury związane z formą ukształtowania powierzchni najwyraźniej ujawniło się na profilach „Przy skoczni” i „Karowa”. Spowodowane jest to najkoncepcyjniejszym zestawieniem czynników, które wpływały na przebieg i zróżnicowanie temperatury w poszczególnych punktach. Obserwacje prowadzone na profilu „Przy skoczni” dają pełniejszy obraz zależności temperatury od rzeźby terenu. Tylko na tym profilu pomiary wykonywano przez całą dobę, a w godzinach nocnych, sprzyjających warunkach pogodowych, następuje spływ wychłodzonego powietrza po skarpie, który w przypadku pomiarów prowadzonych tylko w ciągu dnia jest możliwy do zaobserwowania w bardzo niewielkim stopniu – jedynie w początkowym jego okresie (wieczorem).



Rys. 3. Przebieg dobowy temperatury powietrza na profilu „Karowa” – 28 V-30 V 1984 r.

Profil „Przy skoczni” zlokalizowany był w terenie z dużą ilością zieleni (podłoże-trawa), blisko drzewa, krzewy, grunty orne, wszystkie stanowiska pomiarowe były położone wzdłuż jednej linii, jednocześnie był to profil najdłuższy, a skarpa w tym miejscu była łagodniejsza niż na pozostałych profilach. Ponadto obie serie pomiarów prowadzone na profilu „Przy skoczni” obejmowały dni z typową pogodą wyżową – bardzo ciepłą i słoneczną, w nocy z dużym spadkiem temperatury, a w ciągu dnia znacznym jej wzrostem. Przy takim typie pogody najwyraźniej widoczna jest zależność temperatury od ukształtowania terenu. Również na profilu „Karowa”, gdzie występowały warunki podobne jak na profilu „Przy skoczni” (podłoże-trawa, sąsiedztwo drzew i krzewów, większość punktów poza zabudową) można w dość jednoznaczny sposób określić zróżnicowanie temperatury związane z ukształtowaniem terenu. Serie pomiarowe na profilu „Karowa” w poszczególnych latach obejmowały dni z różnym typem pogody. Dzięki temu obok zależności typowych dla pogody ciepłej i słonecznej, które najlepiej wykazano na profilu „Przy skoczni” (silne nagrzanie skarpy zbocza i jej podnóża przed południem związane z ENE ekspozycją, spływ wychłodzonego powietrza nocą) można było zaobserwować zależności związane z innym rodzajem pogody (dużo mniejsze zróżnicowanie temperatury między poszczególnymi punktami, niewiele zmieniające się w czasie – przy pogodzie chłodnej i pochmurnej). Zupełnie inne wyniki dały pomiary prowadzone na profilach wśród zwartej zabudowy, tzn. na profilach „Oboźna” i „Tamka”. Lokalizacja poszczególnych punktów na obu profilach była bardzo zróżnicowana zwłaszcza na tym drugim – punkty położone były: wśród zabudowy, na skrzyżowaniach ulic i podwórzach, na terenach zieleni mniej lub bardziej osłoniętych. Poza tym w przypadku profilu „Tamka” niejedolite było również podłoże, nad którym wykonywano pomiary (na profilu „Oboźna” wszystkie punkty zlokalizowane były nad płytami chodnikowymi). To ogromne zróżnicowanie warunków otoczenia, w jakich prowadzono pomiary spowodowało, że wszystkie serie pomiarów wykonywanych na tych profilach wykazały zróżnicowanie temperatury związane z lokalizacją stanowisk obserwacyjnych w konkretnym otoczeniu, jak i formą ukształtowania powierzchni. O tym w jakim stopniu wyniki prowadzonych pomiarów są typowe dla danych

warunków i w jakim stopniu uzyskane wnioski można uznać za ogólne prawidłowości, decyduje także długość serii. Pod tym względem najmniej reprezentatywne dla badanego zagadnienia są obserwacje z profilu „Tamka”, gdzie z 3 serii pomiary prowadzono dwukrotnie tylko przez dwa dni. Najbardziej reprezentatywny był profil „Karowa”.

Pomimo wielu czynników różnicujących otrzymane w czasie obserwacji wyniki, należy wymienić kilka zależności występujących we wszystkich seriach. Bez względu na typ pogody najniższe zróżnicowanie temperatury wzdłuż profilu występuje w godzinach rannych (5.30-7.30) i w godzinach wieczornych (około 19.00) – różnice wówczas rzadko przekraczają $0,5^{\circ}\text{C}$. Wraz ze wzrostem temperatury w ciągu dnia wzrasta zróżnicowanie między poszczególnymi częściami profilu – w przypadku pogody cieplej i słonecznej jest ono większe niż przy pogodzie chłodnej i pochmurnej. W związku z ENE ekspozycją skarpy w godzinach przedpołudniowych na skarpie, zwłaszcza w jej środkowej i dolnej części, a także u podnóża jest cieplej niż powyżej skarpy i na jej krawędzi.

W godzinach około południowych w związku z zacienieniem większości wcześniej dobrze nasłonecznionych punktów zróżnicowanie temperatury zmienia się – maleje, a nawet czasem przyjmuje odwrotny charakter niż we wcześniejszych godzinach. Często jednak wyższa temperatura na i pod skarpią utrzymuje się do godzin popołudniowych (do osiągnięcia maksimum dobowego), a nawet wieczornych. W godzinach wieczornych temperatura wzdłuż całego profilu staje się podobna, wyraźnie zaczyna zaznaczać się powolniejszy spadek temperatury powyżej skarpy niż w pozostałej części profilu. W czasie pogody cieplej i słonecznej w następnych godzinach ponownie zwiększa się zróżnicowanie termiczne, związane ze spływem wychłodzonego powietrza po skarpie. Najchłodniej jest wówczas u podnóża skarpy i w jej dolnej części, a najcieplej powyżej skarpy i na jej krawędzi.

Zróżnicowanie temperatury rośnie do północy, a następnie do wschodu Słońca stopniowo maleje. W czasie pogody zimnej i pochmurnej nie obserwuje się takiego zróżnicowania temperatury na skarpie – nie występuje silne wychłodzenie i spływ zimnego powietrza po skarpie w nocy, a w dzień (przed południem) zostaje zatarty wpływ ENE ekspozycji skarpy na intensywne nagrzewanie powietrza nad jej zboczem i u podnóża, zwłaszcza kiedy wzrasta prędkość wiatru. W ciągu całego okresu pomiarów podczas pogody pochmurnej i chłodnej zróżnicowanie temperatury między punktami jest znacznie mniejsze niż podczas pogody cieplej i słonecznej.

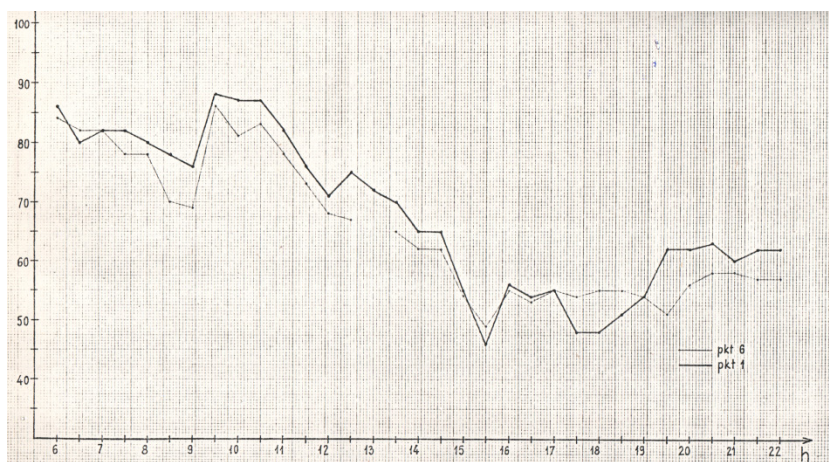
Wilgotność powietrza

Ponieważ wilgotność względna zależy jednocześnie od temperatury powietrza i ciśnienia pary wodnej, jej związek z rzeźbą terenu jest pośredni, co wykazały pomiary przeprowadzone na 4 profilach w poprzek skarpy. Wyniki pomiarów wykazały, że o wartości wilgotności względnej w większym stopniu decyduje charakter otoczenia niż lokalizacja w stosunku do formy terenu, szczególnie w terenach zabudowanych.

W poszczególnych częściach skarpy znajdują się zarówno tereny zabudowane, jak i tereny zieleni. Powyżej skarpy wśród zieleni rano i w godzinach około południowych wilgotność względna należy do największych (rys. 4).

Jest to związane ze stosunkowo niską temperaturą, ponieważ w tym czasie są to tereny mniej eksponowane do słońca niż skarpa i jej podnóża, a dzięki obecności roślinności

zawartość pary wodnej w powietrzu jest znaczna – ciśnienie pary wodnej jest duże. W godzinach późno popołudniowych i wieczornych wzrasta temperatura i obniża się wilgotność względna powyżej skarpy w stosunku do pozostałych terenów, jeżeli tylko miejsce nie jest zacienione od strony zachodniej. Wówczas gdy teren jest osłonięty od zachodu, a więc zacieniony w tej porze dnia, aż do godzin wieczornych temperatura jest najniższa, a wilgotność względna i ciśnienie pary wodnej największe. Natomiast wśród zabudowy, bez względu na to czy miejsce jest otwarte (np. plac) czy otoczone budynkami (np. podwórko), wilgotność względna stale jest niska na skutek stosunkowo małej zawartości pary wodnej – tzn. niskiego ciśnienia pary wodnej. Mniejszy wpływ na wilgotność względną ma wówczas temperatura powietrza. Pomimo lokalizacji powyżej skarpy w terenach zabudowy – na placach i szerokich ulicach już w godzinach rannych i około południowych temperatura może być wysoka, co dodatkowo wpływa na niską wartość wilgotności względnej.



Rys. 4. Przebieg dobowy wilgotności względnej powietrza na profilu „Karowa” – 13 -15 VII 1983

Inaczej kształtują się stosunki termiczno-wilgotnościowe na skarpie. Już od wczesnych godzin rannych ze względu na wschodnią ekspozycję, zbocze skarpy jest bardziej nasłonecznione, w wyniku czego temperatura przyjmuje najwyższe wartości. W związku z tym zarówno w terenach zabudowanych, jak i wśród zieleni wilgotność względna jest najmniejsza. Po południu nasłonecznienie skarpy zmniejsza się, jednocześnie obniża się temperatura w stosunku do terenów sąsiednich, a stopniowo wzrasta ciśnienie pary wodnej i wilgotność względna. Wieczorem na skarpie, od dłuższego czasu zacienionej przez strome zbocze oraz zabudowę i roślinność, temperatura jest najniższa, a wilgotność względna najwyższa, szczególnie zaś w terenie zieleni, kiedy większej wilgotności względnej sprzyja duże ciśnienie pary wodnej.

W terenach podskarpowych temperatura i wilgotność powietrza przyjmują wartości najczęściej pośrednie w stosunku do skarpy i terenów powyżej. Zwykle przed południem w miejscach otwartych, takich jak skwery bądź szerokie ulice bliskie zieleni, wilgotność względna jest stosunkowo duża, większa niż na lepiej nasłonecznionej skarpie, gdzie tem-

peratura jest wyższa. Od godzin około południowych do wieczora otwarte tereny podskarpowe, nie osłonięte od zachodu przez zbocze skarpy, pozostają długo pod wpływem bezpośredniego promieniowania słonecznego. W związku z tym temperatura powietrza jest tu wysoka – często wyższa niż powyżej skarpy, a jednocześnie ciśnienie pary wodnej niskie. Wyjątek stanowi taras zalewowy, gdzie stale występuje wysokie ciśnienie pary wodnej, a tym samym również duża wilgotność względna. Wyniki pomiarów wykazują, że tereny podskarpowe nie odznaczają się w okresie letnim ogólnie podwyższoną wilgotnością.

Wpływ Wisły na wzrost wilgotności zaznacza się tylko w najbliższym jej sąsiedztwie, na wspomnianym już tarasie zalewowym, co można stwierdzić na podstawie danych z jednego profilu, schodzącego aż do Wisły. Przy sprzyjających warunkach – bezchmurna pogoda, mała prędkość wiatru – wieczorem i w nocy następuje silne wychłodzenie i spływ zimnego powietrza po skarpie. Wówczas to najniższa temperatura, a tym samym najwyższa wilgotność względna występuje u podnóża skarpy.

Kierunek i prędkość wiatru

Pomimo, że każdy profil zlokalizowany był w innych warunkach, można określić pewne prawidłowości dotyczące wpływu skarpy na kierunek i prędkość wiatru występujące na całym badanym terenie. Na każdym profilu większej prędkości wiatru towarzyszyło jej zróżnicowanie wzdłuż profilu, natomiast mniej zróżnicowany był wówczas kierunek w poszczególnych punktach. Najmniejsze różnice prędkości między punktami występowały od wieczora do rana. Otoczenie stanowisk pomiarowych wpływało na prędkość i kierunek wiatru. Bez względu na lokalizację względem skarpy. W miejscach sąsiadujących z zabudowanymi ciągami ulicznymi przeważa wiatr z kierunków zgodnych z przebiegiem ulic – np. przy ulicy Bartoszewicza o przebiegu ESE-WNW – wiatr głównie z sektora E i W. Zabudowania, drzewa i krzewy powodują zmniejszenie prędkości wiatru oraz przewagę wiatru od strony najmniej osłoniętej. Większość serii pomiarowych charakteryzowała się małymi prędkościami wiatru – około 1-2 m/s. Ogólnie w terenach zieleni występował wiatr o większej prędkości niż wśród zabudowy. W terenach zabudowanych w związku z różnym układem ulic i placów większe było także zróżnicowanie kierunku wiatru. Natomiast z przeważającym w danej serii kierunkiem wiatru były związane relacje między prędkością wiatru powyżej skarpy, na skarpie i u podnóża. Często zmiana kierunku wiatru powodowała odwrócenie tej relacji, co widoczne jest tak w terenach zieleni – np. profil „Karowa” (przeważa wiatr NE – prędkość jego powyżej skarpy jest najmniejsza, przeważa wiatr SW – prędkość jego powyżej skarpy jest największa) jak i wśród zabudowy – np. profil „Tamka” (przeważa wiatr NE – prędkość jego powyżej skarpy jest najmniejsza, przeważa wiatr W lub SW – prędkość jego powyżej skarpy jest największa).

Ze względu na kierunki występujące w czasie pomiarów, wiatry można podzielić na wiatry do skarpy, od skarpy i równoległe do niej. W większości serii przeważał wiatr z sektora N, głównie NE i NW, a więc wiatr w przybliżeniu prostopadły lub równoległy do skarpy. Wówczas powyżej skarpy prędkość wiatru była mniejsza niż na skarpie i jej podnóża. Mała prędkość wiatru powyżej skarpy była związana z wyhamowaniem wiatru przez zabudowę, która osłaniała miejsca pomiarów od strony N. Ponadto kiedy przeważał wiatr NE, a miejsce pomiarów powyżej skarpy było osłonięte od strony SW, a jedno-

częście zmniejszenie jego prędkości. Jedyne na profilu „Przy skoczni” teren powyżej skarpy był otwarty w kierunku N-S i dlatego prędkość wiatru była większa niż na skarpie i u podnóża - miejscach bardziej osłoniętych od strony przeważającego kierunku wiatru. Zwykle w terenie podskarpowym w miejscach mało osłoniętych, usytuowanych w pobliżu ciągów ulicznych równoległych do zbocza skarpy o przebudowie NNW-SSE prędkość wiatru była największa, większa niż na bardziej osłoniętym przez roślinność lub zabudowę zboczu skarpy. W terenie podskarpowym przeważał nie tylko wiatr NE lub NW, ale także SE. Podobnie jak od ściany kamienic, również od zbocza skarpy osłaniającej miejsce od SW następuje odbicie wiatru NE i w związku z tym zmienia jego kierunek na SW, a jednocześnie zmniejszenie jego prędkości.

W dwóch seriach pomiarowych przeważał wiatr W i SW – wiatr od skarpy. Wówczas powyżej skarpy prędkość wiatru była większa niż na skarpie i poniżej. Było to spowodowane wyhamowaniem wiatru przez zabudowę miejską zanim dotarł on do skarpy i mało osłoniętego terenu podskarpowego. Poza tym strome zbocze o przebiegu NNW-SSE dodatkowo osłaniało miejsca położone na skarpie i u jej podnóża, dlatego prędkość wiatru była tam najmniejsza. Otwarte tereny poniżej skarpy charakteryzowały się natomiast większą prędkością wiatru, często zbliżoną do występującej powyżej skarpy. Po przekroczeniu skarpy W i SW kierunek wiatru ulegał zmianie i dlatego poniżej skarpy przeważał nie tylko wiatr SW, ale również SE oraz NE i NW – wiatry zgodne z kierunkiem ciągów ulicznych biegnących wzdłuż skarpy. Bez względu na przeważający kierunek wiatru skarpa charakteryzuje się mniejszą prędkością wiatru niż tereny położone poniżej. Zbocze skarpy osłania teren przed wiatrem W i SW, odbija wiatr NE zmieniając jego kierunek na SW i jednocześnie zmieniając jego prędkość, a poza tym w terenach podskarpowych przewaga wiatru N i S może świadczyć o tym, że wiatr przyjmuje kierunek równoległy do skarpy.

Wbrew oczekiwaniu kierunek wiatru w mniejszym stopniu niż temperatura i wilgotność powietrza odzwierciedla występowanie spływu wychłodzonego powietrza po skarpie wieczorem i nocą. O występowaniu tego zjawiska w czasie bezchmurnej pogody z wiatrem o małej prędkości świadczy pojawiających się częściej niż w innych terminach pomiarowych wiatr W i SW na zboczu skarpy oraz jednocześnie ciszy lub również wiatru W i SW u podnóża, a powyżej skarpy wiatr z kierunku przeważającego w ciągu całego dnia.

Zakończenie i wnioski

Pomiary terenowe prowadzone w środkowej części skarpy wiślanej w Warszawie pozwoliły na określenie warunków klimatycznych występujących w tej części miasta. Uzyskane wyniki świadczą o spodziewanym jednoczesnym oddziaływaniu na elementy klimatyczne tego terenu kilku czynników - rzeźby, zabudowy, zieleni, co potwierdza oraz uzupełnia znajomość zależności przedstawionych wcześniej w literaturze.

Biorąc pod uwagę ukształtowanie powierzchni, w objętym badaniami obszarze wydzielono trzy części: tereny powyżej skarpy, skarpe i tereny podskarpowe. Wyniki pomiarów wykazują istotne zróżnicowanie warunków klimatycznych wyróżnionych terenów. Relacje między podstawowymi elementami klimatycznymi różnych części badanego terenu są zmienne w ciągu dnia (doby), co przede wszystkim jest związane z ekspozycją skarpy (ENE lub E), a tym samym z odmiennym nasłonecznieniem wyróżnionych terenów.

Powyżej skarpy rano i w godzinach przedpołudniowych temperatura przyjmuje najniższe wartości, a tym samym wilgotność względna najczęściej jest tam największa. Po południu wraz ze wzrostem nasłonecznienia terenów powyżej skarpy wzrasta tam także temperatura powietrza, a jednocześnie obniża się wilgotność względna. Taki stan utrzymuje się do godzin wieczornych. Te prawidłowości może zaburzyć wiatr, którego prędkość wykazuje zróżnicowanie w zależności od dominującego kierunku: kiedy przeważa wiatr z sektora N, tzn. do skarpy, wiatr powyżej skarpy osiąga mniejszą prędkość, a podczas przewagi wiatru SW lub W – większą niż na skarpie. Tereny stanowiące zbocze skarpy w godzinach rannych i około południowych, w związku z osłonecznioną ekspozycją, charakteryzują się najwyższą temperaturą i najniższą wilgotnością względną. W godzinach popołudniowych zmniejsza się nasłonecznienie zbocza skarpy, stopniowo teren ten zaczyna być zacieniony, w związku z czym temperatura obniża się szybciej niż powyżej skarpy i szybciej wzrasta wilgotność względna. W godzinach wieczornych i nocnych, przy sprzyjających warunkach pogodowych (pogoda radiacyjna), następuje silne wychłodzenie powietrza i jego grawitacyjny spływ po zboczu skarpy, co przejawia się w większym spadku temperatury i wzroście wilgotności na skarpie w stosunku do terenów powyżej skarpy.

Zbocze skarpy przyczynia się do zmiany prędkości, a także kierunku wiatru. Kiedy przeważa wiatr z sektora N, a więc w przybliżeniu równoległy (N i NW) lub prostopadły (NE) do zbocza. Jego prędkość na skarpie jest większa niż w terenie nadskarpowym. Wówczas może nastąpić odbicie wiatru NE od zbocza i zmiana jego kierunku na SW. Kiedy przeważa wiatr W lub SW, a więc znad skarpy, prędkość wiatru jest tu mniejsza niż powyżej skarpy, a kierunek nie ulega większym zmianom.

Tereny podskarpowe charakteryzują się często warunkami pośrednimi między występującymi na skarpie i powyżej skarpy w godzinach rannych i przedpołudniowych są one dobrze (choć słabiej niż skarpa) nasłonecznione, dlatego występuje tu stosunkowo wysoka temperatura i mała wilgotność względna. Także w godzinach popołudniowych (z wyjątkiem terenu bezpośrednio u podnóża skarpy) pozostaje tu dość długo, silniejsze nasłonecznienie, utrzymuje się wysoka temperatura i niska wilgotność względna – aż do wieczora; warunki występujące w tych godzinach w terenie podskarpowym są podobne jak powyżej skarpy. Dopiero w godzinach wieczornych i nocnych, kiedy zaznacza się spływ wychłodzonego powietrza po skarpie, poniżej skarpy temperatura może przyjmować wartości najniższe, a wilgotność względna najwyższe.

W terenie podskarpowym przeważają wiatry zgodne z przebiegiem zbocza skarpy tzn. z sektora N i S, a ich prędkość jest zazwyczaj stosunkowo duża. Wymienione prawidłowości są w ogromnym stopniu zmieniane przez zróżnicowane pokrycie terenu, przede wszystkim zaś przez zabudowę i roślinność. Bez względu na lokalizację względem formy terenu zawsze wśród zabudowy wilgotność względna jest mniejsza niż wśród zieleń. Otwarte place, szerokie ulice powodują, że w godzinach przedpołudniowych w takich miejscach powyżej skarpy temperatura może być najwyższa. Natomiast wszystkie budynki, wąskie uliczki wśród zwartej zabudowy powodują, że tak powyżej skarpy, jak i w terenie podskarpowym popołudniu temperatura może być mniejsza niż na skarpie. Otoczenie wpływa też na kierunek i prędkość wiatru. Osłonięcie przez budynki czy wysoką roślinność powoduje wyhamowanie wiatru. Długie zabudowane ciągi uliczne, szpalery drzew wiążą się z przewagą wiatru z kierunku zgodnego z przebiegiem tych ulic.

Czynnikiem modyfikującym warunki termiczno-wilgotnościowe jest bliskość wody. Jednak w przypadku przeprowadzonych badań wpływ Wisły na temperaturę i wilgotność w zasadzie nie mógł być stwierdzony, ponieważ profile kończyły się w terenie podskarpowym, nieobejmującym tarasu zalewowego Wisły. Jedyne profil „Tamka” prowadził aż do tarasu zalewowego. Wyniki ze stanowiska pomiarowego zlokalizowanego na tym tarasie wykazują wpływ wody na wzrost wilgotności względnej tylko w niewielkim stopniu – jedynie w bezpośredniej bliskości rzeki.

Badania obejmujące środkową część skarpy wiślanej na terenie Warszawy prowadzone były tylko w miesiącach letnich, dlatego uzyskane wyniki zapewne nie odzwierciedlają całokształtu warunków występujących na skarpie wiślanej i w terenach sąsiednich. Biorąc jednak pod uwagę fakt, że w największym stopniu zależność warunków termiczno-wilgotnościowych od rzeźby terenu ujawnia się w czasie pogody cieplej i słonecznej ze słabym wiatrem, stwierdzone prawidłowości można uznać za charakterystyczne dla skarpy wiślanej na odcinku od Cytadeli i do Dolinki Służewieckiej, gdzie ma ona jednokową – ENE lub E ekspozycję.

7.1.10. Charakterystyka klimatu Równiny Łowicko-Błońskiej w latach 1951-1965

Autor : Beata NIEDŹWIEDŹ - GOSTOMSKA
Opiekun naukowy: Danuta MARTYN

Wstęp

Praca niniejsza dotyczy obszaru Równiny Łowicko-Błońskiej. Podjęta została, jako jedna z prac magisterskich wykonanych w Zakładzie Klimatologii Instytutu Nauk Fizyczno-geograficznych Uniwersytetu Warszawskiego omawiająca warunki klimatyczne w północno-wschodniej części Polski.

Celem pracy jest charakterystyka klimatu Równiny Łowicko-Błońskiej. Opracowanie oparto na danych z okresu piętnastolecia 1951-1965. Materiały pochodzą z siedmiu stacji meteorologicznych: Błonie-Topola, Brwinów, Łowicz, Młochów, Niepokalanów, Reguły, Skierniewice oraz posterunków opadowych: Strugi, Sucha Nowa; wszystkie stacje znajdują się na obszarze Równiny Łowicko-Błońskiej (rys. 1).



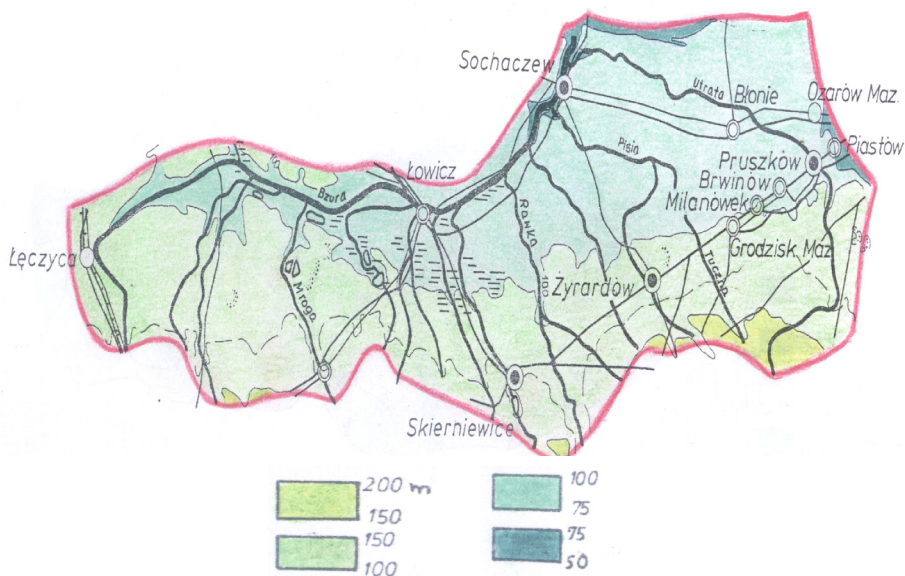
Rys. 1. Rozmieszczenie stacji meteorologicznych na Równinie Łowicko-Błońskiej

Charakterystyka fizycznogeograficzna Równiny Łowicko-Błońskiej

Równina Łowicko-Błońska według podziału fizycznogeograficznego dokonanego przez J. Kondrackiego (1988) należy do prowincji Nizy Środkowoeuropejskiego i podprowincji Nizin Środkowopolskich. W obrębie tej podprowincji znajduje się makroregion Nizina Środkowomazowiecka, w której jednym z mezoregionów jest omawiana Równina Łowicko-Błońska (rys. 2).

Równina Łowicko-Błońska od zachodu graniczy z Równiną Kutnowską, od północy z Kotliną Warszawską, a od wschodu z Równiną Warszawską.

W opracowaniu uwzględniono następujące elementy klimatu: usłonecznienie, promieniowanie, temperaturę i wilgotność powietrza, zachmurzenie, opady, kierunek i prędkość wiatru, zjawiska atmosferyczne, które zostały zestawiono w tabelach i zilustrowane wykresami oraz mapami.



Rys. 2. Mapa hipsometryczna Równiny Łowicko-Błońskiej

Zmiany roczne promieniowania całkowitego

W miesiącach zimowych dzienne sumy promieniowania całkowitego na Równinie Łowicko-Błońskiej mieszczą się w granicach od $1,67 \text{ MJ/m}^2$ (40 cal/cm^2) w grudniu do $4,61 \text{ MJ/m}^2$ (110 cal/cm^2) w lutym. Są to najniższe sumy dzienne promieniowania całkowitego w roku. W tej porze roku nie wykazują zróżnicowania przestrzennego. Takie wartości sum dziennych promieniowania całkowitego spowodowane są małym kątem padania promieni słonecznych, krótkim dniem (możliwy czas dopływu promieniowania słonecznego wynosi około 8 godzin) oraz dużym zachmurzeniem.

Wiosną wartości dziennych sum promieniowania całkowitego wykazują wyraźny wzrost od około $8,8 \text{ MJ/m}^2$ (210 cal/cm^2) w marcu do około $17,16 \text{ MJ/m}^2$ (410 cal/cm^2) w maju. W kwietniu układ izolinii przyjmuje bieg południkowy lub równoleżnikowy, wyraźnie wskazując na przestrzenne zróżnicowanie dziennych sum promieniowania; północno-zachodnie i północno-wschodnie obszary Równiny mają mniejsze dzienne sumy promieniowania całkowitego: około $12,98 \text{ MJ/m}^2$ (310 cal/cm^2), obszary południowe natomiast – powyżej $13,39 \text{ MJ/m}^2$ (320 cal/cm^2). To zróżnicowanie spowodowane jest niewielkim wzrostem wysokości nad poziomem morza. W maju izolinie przyjmują ponownie bieg zbliżony do południkowego.

Latem wartości sum dziennych promieniowania całkowitego mają najwyższe wartości w roku i wykazują wyraźne przestrzenne zróżnicowanie na badanym obszarze. Wartości te kształtują się od około $21,35 \text{ MJ/m}^2$ (510 cal/cm^2) w czerwcu do około $15,7 \text{ MJ/m}^2$ (375 cal/cm^2) w sierpniu. W czerwcu najwyższe wartości występują w pogodniejszej południowo-wschodniej części Równiny, około $21,35 \text{ MJ/m}^2$ (510 cal/cm^2), natomiast na pozostałym obszarze spadają do około $20,1 \text{ MJ/m}^2$ (480 cal/cm^2).

Zmiany roczne temperatury powietrza

Średnia temperatura, temperatury ekstremalne (maksymalna i minimalna), amplituda dobowa

Porę zimową charakteryzuje ujemna średnia temperatura powietrza (tab. 1). Najniższa średnia miesięczna temperatura w badanym wieloleciu występuje w lutym. Najwyższą średnią miesięczną temperaturą powietrza odznacza się wówczas Łowicz $-2,4^{\circ}\text{C}$, co zapewne związane jest z obecnością zbiornika wodnego – rzeki Bzury, która w okresie chłodnym oddaje atmosferze zgromadzone ciepło. Pozostałe obszary Równiny Łowicko-Błońskiej są chłodniejsze, przy czym zaznacza się wyraźny spadek temperatury powietrza ku wschodowi, co wiąże się ze zwiększającym się wpływem mas powietrza kontynentalnego.

Wiosną obserwuje się wyraźny wzrost temperatury powietrza. Średnie wartości we wszystkich miesiącach są już dodatnie, z tym, że w marcu osiągają nieco ponad $0,0^{\circ}\text{C}$ (Łowicz, Niepokalanów $0,8^{\circ}\text{C}$), w kwietniu przekraczają $7,3^{\circ}\text{C}$ (Łowicz $8,3^{\circ}\text{C}$; Brwinów $7,7^{\circ}\text{C}$; Niepokalanów $12,6^{\circ}\text{C}$). W maju następuje dalszy wzrost temperatury, ponad $12,0^{\circ}\text{C}$ (Łowicz $12,5^{\circ}\text{C}$; Niepokalanów $12,6^{\circ}\text{C}$). Wiosną cieplejszym obszarem Równiny Łowicko-Błońskiej jest jej południowo-wschodnia część, którą reprezentuje Brwinów. W porze letniej następuje dalszy wzrost temperatury powietrza, w czerwcu o około 5°C w porównaniu z majem. Najwyższa średnia miesięczna temperatura powietrza w ciągu roku występuje w lipcu. Najwyższymi wartościami wyróżnia się Łowicz: $18,6^{\circ}\text{C}$. Na tak wysoką temperaturę wpływa zapewne południowa ekspozycja stoku doliny, w pobliżu którego umieszczony jest posterunek meteorologiczny. W pozostałych punktach pomiarowych wartości nieznacznie różnią się od siebie – o $0,2^{\circ}\text{C}$. Wyraźnie cieplejsza jest południowo-wschodnia i wschodnia część Równiny (Skierniewice 18°C ; Brwinów $18,1^{\circ}\text{C}$). W sierpniu średnia miesięczna temperatura jest niższa o około $0,3^{\circ}\text{C}$ niż w lipcu i wykazuje podobne zróżnicowanie przestrzenne.

Tabela 1. Średnia temperatura powietrza ($^{\circ}\text{C}$). 1951-1965

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Błonie-Topola	-2,8	-3,3	0,6	7,4	12,3	16,9	17,9	17,2	13,2	8,1	3,2	-0,5	7,6
Brwinów	-2,8	-3,3	0,5	7,7	12,5	17,1	18,1	17,3	13,4	8,4	3,2	-0,5	7,6
Łowicz	-2,3	-2,4	0,8	8,3	12,8	17,3	18,6	17,9	13,9	8,4	3,7	-0,4	8,1
Młochów	-3,1	-3,5	0,2	7,3	12,2	16,7	17,9	17,1	13,5	8,1	3,2	-0,7	7,4
Niepokalanów	-2,8	-3,3	0,8	7,6	12,6	17,0	18,1	17,2	13,2	8,2	3,2	-0,4	7,6
Reguły	-3,0	-3,5	0,2	7,4	12,4	16,9	18,0	17,1	13,0	8,0	3,0	-0,8	7,4
Skierniewice	-2,9	-3,3	0,5	7,5	12,5	16,9	18,0	17,4	13,4	8,3	3,2	-0,4	7,6
Średnia	-2,8	-3,2	0,5	7,6	12,5	16,9	18,1	17,3	13,4	8,2	3,2	-0,5	7,6

Jesienią następuje spadek średniej miesięcznej temperatury powietrza, we wrześniu o około $4,1^{\circ}\text{C}$ w porównaniu z sierpniem. We wrześniu wynosi ona średnio $13,4^{\circ}\text{C}$ (Łowicz $13,9^{\circ}\text{C}$; Młochów $13,5^{\circ}\text{C}$), w październiku $8,2^{\circ}\text{C}$ (Łowicz, Brwinów $8,4^{\circ}\text{C}$), a w listopadzie $3,2^{\circ}\text{C}$ (Łowicz $3,7^{\circ}\text{C}$). Najcieplejszym obszarem Równiny, podobnie jak w lecie, jest jej część południowo-wschodnia.

Średnia roczna temperatura powietrza wynosi około $7,6^{\circ}\text{C}$. Najwyższą wartością charakteryzuje się Łowicz $8,5^{\circ}\text{C}$, a najniższą Reguły $7,4^{\circ}\text{C}$. Wykres ilustrujący specyfikę części wschodniej i zachodniej Równiny wskazuje na nieco cieplejszą ogólnie część wschodnią i chłodniejszą część zachodnią Równiny.

Analizując warunki termiczne widzimy, że uprzywilejowanym termicznie obszarem Równiny Łowicko-Błońskiej jest jej część północna (Łowicz, Niepokalanów). Obszar ten odznacza się najwyższą średnią temperaturą powietrza, wysoką temperaturą maksymalną, wyższą temperaturą minimalną (tab. 2-4).

Tabela 2. Średnia maksymalna temperatura powietrza (°C). 1951-1965

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Błonie-Topola	-0,2	0,0	4,5	12,6	17,7	22,5	23,6	23,2	19,4	13,4	6,0	1,8	12,0
Brwinów	-0,3	-0,1	4,5	12,8	17,9	22,5	23,5	23,0	19,1	13,2	5,8	1,8	12,0
Łowicz	0,2	1,1	4,7	13,0	18,0	23,2	24,0	23,9	19,6	13,4	6,1	2,4	12,5
Młochów	-0,5	-0,3	4,0	12,6	17,7	22,3	23,3	22,8	19,0	13,1	5,7	1,7	11,8
Niepokalanów	0,0	0,1	3,9	12,9	18,0	22,7	23,7	23,2	19,4	13,5	5,9	2,0	12,2
Reguły	-0,4	-0,3	4,3	12,6	17,8	22,5	23,5	22,9	19,0	13,0	5,6	1,3	11,8
Skiermiewice	-0,3	-0,2	4,3	12,5	17,5	22,1	23,3	22,9	18,9	13,1	5,5	1,6	11,8
Średnia	-0,2	0,0	4,3	12,7	17,8	22,5	23,6	23,1	19,3	13,2	5,8	1,8	12,0

Tabela 3 Średnia minimalna temperatura powietrza (°C). 1951-1965

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Błonie-Topola	-5,7	-6,9	-3,0	2,6	6,6	10,7	12,3	11,8	8,2	3,8	0,5	-2,9	3,2
Brwinów	-5,6	-6,7	-3,1	3,0	7,1	11,4	12,8	12,4	8,8	4,4	0,8	-2,8	3,5
Łowicz	-5,7	-6,9	-2,5	2,9	7,2	11,0	11,9	12,5	9,0	4,2	1,3	-2,2	3,5
Młochów	-5,8	-6,8	-3,4	2,8	7,2	11,4	13,1	12,7	9,1	4,6	0,6	-3,0	3,7
Niepokalanów	-5,8	-6,9	-3,1	2,7	6,9	11,1	12,5	11,9	8,3	3,9	0,6	-3,0	3,2
Reguły	-5,5	-7,0	-3,2	3,0	7,3	11,5	13,0	12,3	8,6	4,1	0,5	-3,2	3,4
Skiermiewice	-5,8	-6,8	-3,0	2,9	7,2	11,2	12,8	12,4	8,9	4,2	0,6	-2,9	3,5
Średnia	-5,7	-6,9	-3,0	2,8	7,1	11,2	12,6	12,3	8,7	4,2	0,7	-2,9	3,4

Tabela 4. Średnia dobową amplitudą temperatury powietrza (°C). 1951-1965

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Błonie-Topola	5,5	6,9	7,5	10,0	11,1	11,8	11,3	11,4	11,2	9,6	5,5	4,7	8,8
Brwinów	5,3	6,6	7,6	9,8	10,8	11,1	10,7	10,6	10,3	8,8	5,0	4,6	8,5
Łowicz	5,5	6,6	7,2	10,1	10,8	12,2	12,1	11,4	10,6	9,2	4,8	4,6	8,8
Młochów	5,3	6,5	7,6	9,8	10,5	10,9	10,2	10,1	9,9	8,5	5,1	4,7	8,1
Niepokalanów	5,8	7,0	7,0	10,7	11,1	11,6	11,7	11,3	11,1	9,6	5,3	5,0	9,0
Reguły	5,1	6,7	7,5	9,6	10,5	11,0	10,5	10,6	10,4	8,9	5,1	4,5	8,4
Skiermiewice	5,5	6,6	7,3	9,6	10,3	10,9	10,5	10,5	10,0	8,9	4,9	4,5	8,3
Średnia	5,4	6,7	7,4	9,8	10,7	11,3	10,9	10,8	10,5	9,1	5,1	4,6	8,6

Omówione wyżej zróżnicowanie przestrzenne temperatury powietrza wykazało jej zależność od położenia, obecności zbiorników, ekspozycji zboczny.

Amplituda roczna, termiczne pory roku

Średnia amplituda roczna temperatury powietrza jest to różnica między średnią temperaturą w miesiącu najcieplejszym i najchłodniejszym. Średnia amplituda roczna temperatury powietrza (tab. 5) na Równinie wynosi 21,3°C. Nieco większymi rocznymi wahaniami w ciągu roku wyróżniają się Reguły 21,5°C, Niepokalanów, Brwinów, Młochów po 21,4°C, gdzie w lutym jest najchłodniej. Mniejszymi wahaniami odznacza się Łowicz 21,0°C, gdzie w ciągu całego roku jest najcieplej. W rozkładzie przestrzennym zaznacza

się wzrost średniej amplitudy rocznej z zachodu na wschód wraz z narastającym kontynentalizmem klimatu.

Tabela 5. Średnia amplituda roczna, absolutny zakres wahań temperatury powietrza (°C). 1951-1965

Stacje	Amplituda roczna	Amplituda ekstremalna
Błonie-Topola	21,2	31,5
Brwinów	21,4	30,2
Łowicz	21,0	30,9
Młochów	21,4	30,1
Niepokalanów	21,4	30,6
Reguły	21,5	30,5
Skierniewice	21,3	30,1
Średnia	21,3	30,6

Termiczne pory roku i okres wegetacyjny

Aby pełniej zobrazować stosunki termiczne wyznaczono termiczne pory roku, czyli okresy o pewnych wartościach średniej dobowej temperatury. W Polsce meteorologiczna pory roku określone są datami przejścia średniej dobowej temperatury przez progi: 0, 5, 15°C:

Przedwiośnie	$0 < t \leq 5^{\circ}\text{C}$
Wiosna	$5 < t \leq 15^{\circ}\text{C}$
Lato	$t > 15^{\circ}\text{C}$
Jesień	$5^{\circ}\text{C} < t \leq 15^{\circ}\text{C}$
Przedzimy	$0 < t \leq 5^{\circ}\text{C}$
Zima	$t \leq 0^{\circ}\text{C}$

Przedwiośnie na terenie Równiny Łowicko-Błońskiej wkracza na początku drugiej dekady marca od zachodu i południo-zachodu (Łowicz 11 marca; Błonie-Topola, Skierniewice, Niepokalanów 13 marca). Na stacjach położonych we wschodniej części Równiny jego pojawienie jest nieco opóźnione (Młochów, Reguły 16 marca; Brwinów 14 marca). Przedwiośnie kończy się w pierwszych dniach kwietnia, najpóźniej w Regułach, Brwinowie, Młochowie – 4 kwietnia. Trwa ono od 20 dni w Młochowie i Regułach do 22 dni na pozostałych stacjach. Wiosna najwcześniej pojawia się w Łowiczu (2 kwietnia) w trzy dni później na wschodzie Równiny, trwa od 53 dni (Reguły) do 61 dni (Młochów, Brwinów).

Powyższe wnioski znajdują swe potwierdzenie także w rozkładzie i częstości dni charakterystycznych oraz termicznych porach roku (wcześniej pojawia się tu przedwiośnie, wiosna i lato; później jesień i przedzimy). Fakty te zostały uwarunkowane ocieplającym wpływem zbiornika wodnego (Bzury) w chłodnej połowie roku, ekspozycją, warunkami lokalnymi. Natomiast najniższą temperaturą odznacza się południowa i wschodnia część Równiny (Skierniewice, Reguły, Młochów, Brwinów). Uwarunkowane zostało to położeniem na wschodzie – wpływ kontynentalizmu oraz wzrostem wysokości nad poziomem morza części południowej.

Dłuższy okres wegetacyjny, średnio o 5 dni (sięga nawet 218 dni) w porównaniu z obszarem sąsiednim, w Polsce okres wegetacyjny trwa od 195 do 220 dni. Obszar Równiny Łowicko-Błońskiej charakteryzuje się wcześniejszym o 6 dni rozpoczęciem przedwio-

śnia, wiosny o 5 dni, późniejszym o 3 dni rozpoczęciem lata, jesieni o 4 dni, przedzimia o 4 dni i zimy o 6 dni niż w sąsiednich krainach.

Dni bardzo mroźne, mroźne, przymrozkowe oraz gorące

W porównaniu z całym krajem, gdzie średnia temperatura miesięczna w najchłodniejszym miesiącu waha się od 1,0°C do poniżej -8,0°C, a w miesiącu najcieplejszym od 9°C do 19°C zaliczamy Równinę Łowicko-Błońską do obszarów cieplejszych. Fakt ten potwierdzają: wyższa temperatura maksymalna, mniejsza o około 4 dni liczba dni bardzo mroźnych, o 2 dni przymrozkowych oraz o 3 dni mroźnych (tab. 6-9).

Tabela 6. Średnia liczba dni bardzo mroźnych ($t_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$), 1951-1965

	XI	XII	I	II	III	IV	Rok
Błonie-Topola	0,5	3,1	6,7	8,4	2,1	0,1	20,9
Brwinów	0,5	2,9	6,8	8,1	3,1	•	21,4
Łowicz	0,6	2,8	5,1	5,1	1,9	•	15,5
Młochów	0,3	3,1	6,7	8,7	3,4	•	22,2
Niepokalanów	0,5	3,3	5,9	8,3	2,9	•	20,9
Skierniewice	0,6	3,3	6,6	8,4	2,9	•	21,8
Średnia	0,5	3,1	6,3	7,8	2,7	0,0	20,4

Tabela 7. Średnia liczba dni mroźnych ($t_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$), 1951-1965

	X	XI	XII	I	II	III	IV	Rok
Błonie-Topola	0,1	1,7	7,7	12,4	13,0	5,7	•	40,6
Brwinów	0,1	2,3	8,0	13,1	13,9	6,3	•	43,7
Łowicz	•	1,3	8,7	9,4	9,2	4,3	•	32,9
Młochów	0,1	2,6	8,5	14,0	15,0	7,4	0,1	47,7
Niepokalanów	0,1	2,1	9,3	12,5	13,3	6,1	•	43,4
Skierniewice	0,1	2,5	8,3	12,9	13,7	6,8	0,1	44,4
Średnia	0,1	2,1	8,4	12,4	13,0	6,1	0,0	42,1

Tabela 8. Średnia liczba dni przymrozkowych ($t_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$), 1951-1965

	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	Rok
Błonie-Topola	0,5	5,6	12,2	20,9	25,7	24,2	23,1	7,8	1,0	•	120,9
Brwinów	0,1	3,9	11,3	20,9	25,3	23,5	22,7	6,5	1,1	0,1	115,5
Łowicz	0,8 [*]	5,0	9,5	21,2	23,9	23,1	21,0	5,4	1,2	•	111,5
Młochów	•	3,6	11,8	21,5	25,9	23,6	22,9	6,9	0,8	•	117,0
Niepokalanów	•	5,2	12,1	20,7	25,4	23,5	22,9	7,1	1,1	•	118,0
Skierniewice	•	4,3	12,3	20,8	26,0	23,9	22,4	6,7	0,7	•	117,1
Średnia	0,2	4,6	11,5	21,1	25,4	23,6	22,5	6,7	0,9	0,0	116,7

Tabela 9. Średnia liczba dni gorących ($t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$), 1951-1965

	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Rok
Błonie-Topola	0,5	2,0	9,1	12,0	10,0	3,7	0,1	37,4
Brwinów	0,7	2,5	7,9	9,6	8,6	3,4	0,1	32,8
Łowicz	0,7	1,6	7,7	10,8	8,3	3,1	•	32,2
Młochów	0,7	2,5	7,8	10,3	8,4	3,0	•	32,7
Niepokalanów	0,7	2,3	8,7	11,3	10,4	3,5	0,1	37,0
Skierniewice	0,5	1,8	7,7	10,5	9,1	3,3	•	32,9
Średnia	0,6	2,1	8,2	10,8	9,1	3,3	0,1	34,2

Zmiany roczne wilgotności powietrza

Roczny przebieg i zróżnicowanie przestrzenne wybranych wskaźników wilgotności powietrza wykazuje ścisłą zależność od zmian temperatury powietrza (tab. 10-12). Maksimum ciśnienia pary wodnej i niedosytu wilgotności przypada na lipiec, a minimum na grudzień i styczeń. Wilgotność względna najwyższa jest w grudniu, a najniższa w maju, co uwarunkowane jest położeniem naszego kraju, kiedy częściej napływają suche masy powietrza arktycznego. Większą wilgotność powietrza obserwuje się jesienią niż wiosną, kiedy to zostaje dostarczona większa ilość wilgoci do atmosfery z ciepłego i wilgotnego, silniej parującego podłoża po letnich, dość wysokich opadach.

Wilgotniejszymi obszarami Równiny Łowicko-Błońskiej są północno-zachodnie i wschodnie regiony badanego terenu. Suchszymi zaś południowa i północno-wschodnia część Równiny Łowicko-Błońskiej.

Tabela 10. Średnie ciśnienie pary wodnej (hPa), 1951-1965

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Błonie-Topola	4,8	4,5	5,5	8,2	10,8	14,0	15,7	15,0	12,4	9,4	7,1	5,6	9,4
Brwinów	4,5	4,4	5,2	8,0	10,8	14,5	15,7	15,5	12,4	9,3	7,0	5,4	9,4
Łowicz	5,3	5,1	5,6	8,5	11,2	14,7	16,0	16,4	11,5	9,5	6,5	6,0	9,7
Młochów	5,0	5,1	5,1	7,4	10,1	14,2	16,5	15,2	12,1	8,9	6,4	5,9	9,4
Niepokalanów	4,6	4,6	5,2	7,8	10,6	14,3	15,9	15,0	12,3	9,1	6,9	5,4	9,3
Reguły	4,6	4,6	5,5	8,3	11,3	14,7	16,1	14,4	12,4	9,5	7,3	5,6	9,5
Skierniewice	4,7	4,5	5,4	7,8	10,4	13,9	15,2	14,8	12,1	9,3	7,1	5,5	9,2
Średnia	4,8	4,7	5,4	8,0	10,7	14,3	15,9	15,2	12,2	9,3	6,9	5,6	9,4

Tabela 11. Średnia wilgotność względna powietrza (%), 1951-1965

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Błonie-Topola	87	88	85	77	73	74	76	78	81	84	90	90	82
Brwinów	85	85	79	74	73	74	75	76	79	83	88	87	80
Łowicz	88	88	83	84	76	72	75	75	75	80	88	93	81
Młochów	88	88	80	73	68	71	77	74	77	81	87	89	80
Niepokalanów	84	84	79	74	72	72	70	77	79	81	87	86	79
Reguły	89	89	85	77	73	73	76	78	80	85	91	92	83
Skierniewice	86	85	81	74	71	71	73	74	78	82	88	88	79
Średnia	87	87	82	76	72	72	74	76	78	82	88	89	81

Tabela 12. Średni niedosyt wilgotności powietrza (hPa), 1951-1965

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Błonie-Topola	0,6	0,7	1,2	2,8	4,5	5,9	6,0	5,3	3,8	2,1	0,9	0,6	2,8
Brwinów	0,8	0,8	1,6	3,4	4,8	6,0	6,2	5,7	4,0	2,3	1,0	0,8	3,1
Łowicz	0,8	0,9	1,4	2,8	4,9	6,3	6,1	5,4	4,2	2,6	0,9	0,7	3,1
Młochów	0,7	0,9	1,5	1,9	5,5	6,0	5,9	6,1	4,4	2,5	1,1	0,7	3,1
Niepokalanów	0,8	0,9	1,7	3,6	4,9	6,3	6,3	5,7	4,1	2,5	1,2	0,8	3,3
Reguły	0,6	0,5	1,0	3,1	4,0	5,8	6,1	5,0	3,6	2,0	0,8	0,5	2,7
Skierniewice	0,8	0,8	1,4	3,4	6,1	6,5	6,7	6,2	4,3	2,4	1,0	0,7	3,3
Średnia	0,7	0,8	1,4	3,2	4,9	6,1	6,2	5,6	4,1	2,3	0,9	0,7	3,0

Zmiany roczne zachmurzenia, dni pogodne i pochmurne

Pod względem zachmurzenia analizowany obszar nie wyróżnia się na tle otaczających go (tab. 13-15).

Tabela 13. Średnie wartości zachmurzenia w (%), 1951-1965

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Błonie-Topola	73	70	59	57	58	53	56	54	50	60	78	78	63
Brwinów	74	72	62	63	62	59	59	58	53	65	80	79	65
Łowicz	77	73	6E	63	60	54	57	59	53	63	79	78	65
Młochów	77	76	64	64	65	60	64	61	56	68	84	86	69
Niepokalanów	70	69	57	55	55	49	52	51	47	56	76	75	59
Reguły	79	78	65	58	61	56	58	56	52	61	80	79	65
Skierniewice	75	74	62	59	63	57	61	59	61	63	81	81	66
Średnia	75	73	62	60	60	55	58	57	53	62	80	79	64

Tabela 14. Średnia liczba dni pogodnych, 1951-1965

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Błonie-Topola	2,7	3,1	5,8	5,3	3,5	4,3	4,1	3,7	6,3	4,3	1,3	1,7	46,5
Brwinów	2,7	2,7	5,1	4,5	3,3	4,0	4,1	3,3	5,9	4,0	1,5	1,5	41,4
Łowicz	0,6	1,3	3,0	2,3	2,2	2,3	3,0	2,4	4,6	1,3	0,3	0,8	24,1
Młochów	1,5	2,0	4,2	3,5	2,5	3,5	3,5	2,9	4,6	2,6	1,3	1,8	33,1
Niepokalanów	2,7	2,9	6,2	4,7	4,3	4,5	4,3	4,2	6,7	5,3	2,3	1,7	49,9
Reguły	1,6	1,1	5,2	4,2	2,1	3,7	3,1	2,6	5,6	3,8	1,3	1,0	35,9
Skierniewice	1,9	2,3	4,9	3,9	2,9	3,7	3,7	3,2	5,6	3,5	1,3	1,4	38,5
Średnia	2,0	2,2	4,9	4,1	3,0	3,7	3,7	3,2	5,6	3,5	1,3	1,4	38,5

Tabela 15. Średnia liczba dni pochmurnych, 1951-1965

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Błonie-Topola	14,5	11,8	10,4	8,7	7,8	5,8	6,8	5,7	5,6	10,0	17,8	18,6	123,5
Brwinów	16,5	14,4	12,3	9,9	10,6	7,9	9,5	6,9	6,7	10,4	18,5	18,7	142,3
Łowicz	16,3	14,7	14,3	12,3	11,0	8,8	7,2	8,4	7,3	10,7	18,5	18,6	147,5
Młochów	16,9	15,7	12,4	11,2	10,8	8,7	10,9	7,9	7,1	12,5	19,6	20,1	153,8
Niepokalanów	14,2	12,5	9,4	7,5	6,5	4,3	5,5	4,6	4,2	7,2	16,9	15,8	108,5
Reguły	17,1	15,2	12,1	8,8	9,8	7,1	8,1	7,0	7,7	10,5	19,2	18,7	141,3
Średnia	15,9	14,1	11,8	9,7	9,4	7,0	8,0	6,8	6,4	10,2	18,4	18,4	136,2

Zmiany roczne opadów atmosferycznych

Sumy opadów, dni z burzą, dni z pokrywą śnieżną

Średnia suma roczna opadów na obszarze Równiny Łowicko-Błońskiej waha się od 485 mm do 550 mm (tab. 16). Najwyższe średnie sumy miesięczne opadów notowane są latem, najczęściej deszczu spada w lipcu. Najniższe zaś w porze zimowej, w styczniu.

W rozkładzie przestrzennym opadów większa ich obfitość zaznacza się w północno-wschodniej i wschodniej części Równiny. Niższymi sumami cechuje się środkowa część badanego terenu. Opady $\geq 0,1$ mm na analizowanym terenie notuje się podczas 130 (Łowicz) – 162 (Niepokalanów) dni w roku. Najwięcej takich dni obserwuje się zimą, a najmniej latem. Liczba dni z opadem $\geq 1,0$ mm waha się od 87 (Młochów) do 101 (Reguły)

dni w roku, najwięcej występuje ich w północno-wschodniej części i na krańcach wschodnich Równiny. Dni z opadem $\geq 10,0$ mm obserwuje się podczas 10 (Błonie-Topola) – 13 (Łowicz) dni w roku, przy czym najwięcej występuje ich w środkowej i wschodniej części (tab. 17).

Tabela 16. Średnia suma opadów (mm). 1951-1965

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Błonie-Topola	26	25	26	34	49	53	84	66	45	25	38	37	508
Brwinów	23	30	22	33	57	68	80	56	45	28	37	36	515
Łowicz	25	32	26	29	48	59	76	59	46	25	39	33	497
Młochów	24	27	22	31	49	62	81	58	46	28	39	34	501
Niepokalanów	29	34	28	32	53	60	83	53	46	26	39	40	523
Reguły	30	34	25	31	55	68	75	63	49	30	44	43	547
Skierniewice	18	24	21	32	53	61	88	53	45	24	36	31	486
Średnia	25	29	24	32	52	62	81	58	46	27	39	36	511

Tabela 17. Średnia liczba dni z opadem $\geq 10,0$ mm. 1951-1965

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Błonie-Topola	0,1	0,2	0,4	0,5	1,1	1,3	2,2	1,8	1,1	0,3	0,7	0,5	10,2
Brwinów	0,1	0,3	0,4	0,5	1,2	1,9	2,3	1,4	1,1	0,5	0,5	0,5	10,7
Łowicz	0,1	0,4	0,5	0,5	1,3	2,2	2,2	2,8	1,5	0,5	0,8	0,4	13,2
Młochów	•	0,2	0,1	0,5	1,5	2,3	2,6	1,7	1,4	0,5	0,6	0,8	12,2
Niepokalanów	•	0,3	0,3	0,5	1,4	1,3	2,7	1,3	1,5	0,5	0,6	0,4	10,8
Reguły	0,1	0,3	0,5	0,4	1,3	1,9	2,3	1,8	1,5	0,5	0,7	0,9	12,2
Skierniewice	•	0,1	0,2	0,6	1,3	2,0	2,8	1,5	1,2	0,5	0,8	0,3	11,3
Średnia	0,1	0,2	0,3	0,5	1,3	1,8	2,4	1,8	1,3	0,5	0,8	0,5	11,5

Tabela 18. Średnia liczba dni z burzą. 1951-1965

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Łowicz	•	0,1	•	1,7	3,2	4,1	3,0	2,2	1,2	•	0,1	•	15,6
Niepokalanów	0,1	•	0,1	1,2	4,1	5,4	7,0	4,3	2,1	•	•	0,1	24,4
Skierniewice	•	•	0,1	1,1	3,4	3,9	5,5	3,2	1,3	•	•	•	18,5

Tabela 19. Średnia liczba dni z pokrywą śnieżną. 1951-1965

	XI	XII	I	II	III	IV	V	Rok
Błonie-Topola	1,0	8,0	16,0	17,3	6,9	•	•	49,3
Brwinów	2,1	11,1	16,9	17,3	10,7	0,5	•	58,6
Młochów	2,8	11,7	18,4	18,7	9,0	0,6	0,1	61,3
Niepokalanów	2,3	8,6	16,6	17,7	10,7	0,9	0,1	56,9
Reguły	2,4	12,1	20,1	19,8	11,7	0,7	•	66,8
Skierniewice	2,3	8,6	16,6	17,7	10,7	0,9	0,1	56,9
Średnia	2,2	10,0	17,4	18,1	10,0	0,6	0,1	58,3

Pokrywa śnieżna charakterystyczna jest dla pory zimowej, kiedy to najczęściej występują opady w postaci śniegu lub śniegu z deszczem. Najdłużej na badanym obszarze utrzymuje się ona w lutym, miesiącu, który był najchłodniejszy w badanym piętnastoleciu. Najwcześniej może już występować w listopadzie, a zanikać w maju. Najwcześniej pojawia

się (1 grudnia) i najpóźniej zanika (30 marca) w południowej części Równiny Łowicko-Błońskiej. Najpóźniej pojawia się (16 grudnia) i najwcześniej zanika (10 marca) na zachodzie Równiny. Największą liczbą dni z pokrywą śnieżną charakteryzuje się wschodnia część Równiny – większy wpływ kontynentalizmu.

Burze najczęściej występują w porze letniej. Najbardziej burzowym rejonem jest północno-wschodnia część Równiny (Niepokalanów 24 dni).

Zmiany roczne kierunku i prędkości wiatru

Na obszarze Równiny Łowicko-Błońskiej przeważają wiatry zachodnie oraz wiatry północno- i południowo-zachodnie, które charakteryzują się największymi prędkościami. Największą częstością wiatrów zachodnich w ciągu całego roku wyróżnia się południowa i północno-wschodnia część Równiny, tutaj także występują największe prędkości wiatru.

Wiatry silne (≥ 10 m/s) na Równinie Łowicko-Błońskiej notuje się podczas 10-27 dni w roku, a bardzo silne (> 15 m/s) – 1-4 dni w roku. Najczęściej wiatry silne wieją w porze zimowej, zwłaszcza we wschodniej i zachodniej części Równiny, natomiast wiatry bardzo silne w północno-wschodniej części.

Tabela 20. Średnia liczba dni z wiatrem silnym ($v \geq 10$ m/s). 1951-1965

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Błonie-Topola	3,3	3,0	3,3	2,1	1,2	1,0	0,7	1,3	1,5	1,8	3,0	3,7	25,9
Brwinów	3,9	2,9	2,9	1,8	1,5	0,4	0,3	0,8	1,3	1,0	3,1	3,1	23,0
Łowicz	1,3	2,1	1,2	0,6	0,8	0,5	0,2	0,2	0,8	0,5	1,0	1,2	10,4
Młochów	4,2	3,0	3,9	2,1	1,8	0,7	0,7	1,1	1,5	1,9	2,2	3,6	26,7
Niepokalanów	2,6	2,2	2,8	1,5	0,7	0,7	0,5	0,3	1,2	0,8	1,9	1,8	17,0
Skjerniewice	3,7	2,4	3,4	1,7	1,4	0,3	0,5	0,7	0,7	1,5	2,6	2,3	20,5
Średnia	3,2	2,6	2,9	1,6	1,2	0,6	0,5	0,7	1,2	1,2	2,3	2,6	20,6

Tabela 21. Średnia liczba dni z bardzo wiatrem silnym ($v > 15$ m/s). 1951-1965

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Błonie-Topola	0,5	0,7	0,5	0,1	0,3	0,2	•	0,1	0,2	0,1	0,5	0,7	3,9
Brwinów	0,6	0,7	0,3	0,4	0,3	•	•	•	•	•	0,5	0,1	2,9
Łowicz	0,3	0,9	0,7	0,3	0,1	0,2	0,1	•	0,2	0,2	0,4	0,5	3,9
Młochów	0,9	0,6	0,8	0,4	•	•	0,1	0,1	0,3	0,2	0,3	0,6	4,0
Niepokalanów	0,5	0,2	0,1	0,1	•	0,2	•	•	•	•	0,1	•	1,2
Reguły	0,2	•	•	0,1	•	•	•	•	•	•	•	0,1	0,4
Skjerniewice	0,4	0,5	0,5	0,1	0,1	•	•	0,1	•	0,2	0,2	0,1	2,2
Średnia	0,5	0,5	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,3	2,6

Tabela 22. Średnia częstość cisz (w %), 1951-1965

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Błonie-Topola	7,1	10,7	12,3	12,3	12,0	10,8	11,5	17,6	16,7	17,0	11,0	8,7	12,3
Brwinów	7,7	9,8	7,9	11,2	12,1	11,6	15,1	14,0	13,4	13,5	11,2	9,8	13,1
Łowicz	12,3	11,8	11,6	14,2	15,3	13,8	15,6	20,5	15,5	18,6	12,2	14,0	14,6
Młochów	8,8	13,7	9,6	14,5	14,9	11,1	10,3	14,0	11,3	10,5	11,3	7,4	11,5
Niepokalanów	1,2	1,8	1,7	7,6	7,4	6,1	8,5	14,4	13,0	11,3	4,2	1,8	6,6
Reguły	10,1	11,4	21,2	15,0	12,0	15,3	16,1	12,7	16,8	17,0	13,4	7,0	13,5
Skjerniewice	4,3	5,0	5,7	5,7	7,0	7,8	8,1	8,7	7,6	7,5	4,4	4,4	6,4

Najwięcej cisz obserwuje się w północnej i wschodniej części Równiny Łowicko-Błońskiej. Notuje się je podczas 6-15% pomiarów w roku. Duże nasilenie cisz występuje w porze letniej.

Zakończenie

Przeprowadzona analiza przestrzennego zróżnicowania poszczególnych elementów klimatu pozwala stwierdzić, że obszar Równiny Łowicko-Błońskiej cechuje przejściowość klimatu między morskim a kontynentalnym, a także wyodrębnić pewne cechy charakterystyczne tego terenu na tle obszarów sąsiednich i całego kraju.

- Większa liczba godzin słonecznych.
- Sumy dzienne usłonecznienia rzeczywistego na sąsiednich obszarach są mniejsze o 0,2-0,6 h w porównaniu z całym krajem, gdzie średnie roczne wartości wahają się od 4,6 do 3,4 h. Obszar Równiny należy do terenów uprzywilejowanych (Chomicz i Kuczmarzka 1971).
- Średnia miesięczna temperatura w lutym jest o 0,2-0,8°C wyższa w porównaniu z obszarami sąsiadującymi od północy, wschodu i południa, a około 0,7°C niższa od obszarów sąsiadujących od zachodu. W lipcu średnia miesięczna temperatura jest również wyższa o 0,5°C. Średnia roczna temperatura powietrza wynosi na obszarze Równiny Łowicko-Błońskiej 7,6°C, jest ona o 0,4°C niższa niż średnia roczna temperatura rejonu Warszawy, ale o 0,5°C wyższa w stosunku do obszarów sąsiednich.
- Równinę Łowicko-Błońską charakteryzują: wyższa wilgotność względna (średnio o 3%), wynosi ona średnio 81% i jest nieco wyższa od średniej wilgotności powietrza w Polsce (80%), mniejszym niedosytem wilgotności powietrza o 0,5 hPa niż w obszarach sąsiednich. Ciśnienie pary wodnej przyjmuje wartości średnio 9,4 hPa i jest wyższe o 0,4 hPa niż w sąsiednich krainach. Równina Łowicko-Błońska jest więc obszarem wilgotniejszym w stosunku do obszarów sąsiednich.
- Średnie zachmurzenie roczne analizowanego terenu wynosi 64%, jedynie w części północno-wschodniej jest ono niższe o 4% i odznacza się większą liczbą dni pogodnych
- Obszar Równiny Łowicko-Błońskiej charakteryzuje się niską sumą opadów – średnio 510 mm w roku. Nieco więcej opadów otrzymuje północno-wschodnia część Równiny – 523 mm; ta ilość opadów jest niższa w porównaniu z terenami sąsiednimi i średnimi krajowymi, ponieważ region ten położony jest w „cieniu opadowym”. Wyróżnia się nieco większą liczbą dni z opadami i mniejszą liczbą dni z burzą z wyjątkiem części północno-wschodniej. Pokrywa śnieżna najwcześniej pojawia się w południowej i północno-wschodniej części Równiny, o około 4 dni wcześniej niż w sąsiednich regionach, najwcześniej zanika na zachodzie, o około 10 dni. Zalega średnio 49-60 dni w roku, o około 10 dni krócej niż na terenach sąsiednich. Okres zalegania pokrywy śnieżnej wydłuża się z zachodu na wschód. W skali kraju pokrywa śnieżna utrzymuje się 40-100 dni i więcej w górach.
- Podobnie jak na obszarach sąsiednich i w całym kraju dominują (ponad 20%) wiatry zachodnie. Najmniejszą frekwencją wyróżniają się wiatry północno-wschodnie i północne. Średnia prędkość wiatrów jest niewielka, około 3,2 m/s, niczym nie wyróżniają się w stosunku do terenów sąsiednich i wartości z całego kraju (w Polsce przeważają wiatry słabe do 5 m/s).

Takie zróżnicowanie przestrzenne poszczególnych elementów klimatu wskazuje na wyraźny wpływ warunków lokalnych; różnice wynikają z położenia i usytuowania stacji, ukształtowania terenu, obecności zbiorników wodnych, większych kompleksów leśnych, przede wszystkim wpływu określonych mas powietrza na obszar Równiny Łowicko-Błońskiej.

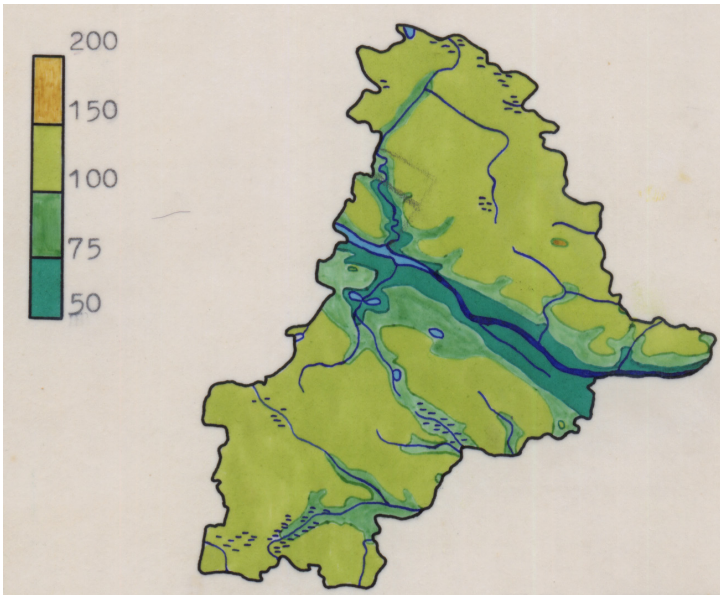
7.2. Klimat Kotliny Płockiej

7.2.1. Klimat województwa płockiego

Autor: Małgorzata D A S Z K I E W I C Z

Opiekun naukowy: Maria S T O P A - B O R Y C Z K A, Witold L E N A R T

Celem niniejszej pracy jest charakterystyka zróżnicowania przestrzennego klimatu województwa płockiego (rys. 1). Uwzględniono w niej ważniejsze elementy meteorologiczne starając się jednocześnie zwrócić uwagę na te, które wyróżniają badany obszar w skali całej Polski, jak i w porównaniu z sąsiednimi województwami (wg podziału administracyjnego z 1975 roku). Opracowanie to składa się z kilku rozdziałów, z których pierwszy jest wstępem zawierającym przegląd literatury, charakterystykę fizycznogeograficzną, klimat województwa w świetle dotychczasowych badań, materiały źródłowe i metody opracowań. W dalszych rozdziałach omówiono rozkład przestrzenny elementów meteorologicznych w kolejności nawiązującej do trzech głównych procesów klimatotwórczych: obiegu ciepła, obiegu wilgoci i cyrkulacji atmosferycznej. Przedostatni rozdział dotyczy faz fenologicznych niektórych roślin. Na zakończenie dokonano podsumowania, podejmując próbę regionalizacji klimatycznej.



Rys. 1. Mapa hipsometryczna województwa Płockiego (skala 1: 125 000)



- Mezoregiony:
- 1 Kotlina Płocka
 - 2 Wysoczyzna Dobrzyńska
 - 3 Równina Urszulewska
 - 4 Pojezierze Kujawskie
 - 5 Kotliria Kolska
 - 6 Wysoczyzna Kłodawska
 - 7 Wysoczyzna Płocka
 - 8 Równina Raciąska
 - 9 Równina Kutnowsica
 - 10 Równina Łowicko- Błońska
 - 11 Kotlina Warszawska

Rys. 2. Jednostki fizycznogeograficzne wg J. Kondrackiego i J. Ostrowskiego

Materiały źródłowe oraz metodyka ich opracowania

W niniejszym opracowaniu za okres podstawowy przyjęto piętnastolecie 1951-1965. W okresie tym na terenie województwa płockiego działała jedna stacja meteorologiczna w Płocku-Radziwiu ($\varphi = 52^{\circ}32'N$; $\lambda = 19^{\circ}40'E$; $h = 63,0$ m n.p.m.) oraz dwa posterunki meteorologiczne Błonie-Topola ($\varphi = 52^{\circ}05'N$, $\lambda = 19^{\circ}11'E$, $h = 109,0$ m n.p.m.) i Ostrowy ($\varphi = 52^{\circ}10'N$, $\lambda = 19^{\circ}10'E$, $h = 120,0$ m n.p.m.). Z posterunku w Ostrowach brak danych dotyczących ciśnienia pary wodnej, wilgotności względnej, niedosytu wilgotności oraz kierunku i prędkości wiatru.

Dane meteorologiczne zaczerpnięto z lat 1954-1965 z Roczników Meteorologicznych, a za lata 1951-1953 z materiałów Archiwum Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie.

Przy opracowaniu opadów atmosferycznych uwzględniono dane z 12 posterunków opadowych o szerokości geograficznej (φ), długości (λ) i wysokości n.p.m. (h)

	φ (N)	λ (E)	h (m)		φ (N)	λ (E)	h (m)
Gąbin	52°24'	19°44'	102	Łąck	52°28'	19°37'	85
Gostyń	52°25'	19°28'	90	Łęki Kościelne	52°10'	19°30'	96
Grodkowo	52°26'	20°12'	100	Opatowice	52°37'	19°58'	143
Ilów	52°20'	20°02'	81	Sierpc	52°52'	19°40'	120
Lelice	52°44'	19°46'	128	Strzelce	52°19'	19°24'	130
Łanięta	52°22'	19°17'	125	Wólka Przybojewska	52°25'	20°28'	102

Dane dotyczące opadów zaczerpnięto z roczników wydawanych przez IM i GW „Opady atmosferyczne” 1954-1965 oraz z zestawień opadowych znajdujących się w Archiwum tego Instytutu.

Opracowanie materiałów polegało na obliczeniu średnich arytmetycznych z 15 lat i zestawieniu otrzymanych wyników w postaci tabel. Wszystkie omawiane elementy meteorologiczne przedstawiono na mapkach posługując się metodą izarytm. W rozdziale dotyczącym wiatru obliczono procentowy udział wszystkich kierunków oraz średnią ważoną prędkość wiatru. Większość mapek wykonano na podstawie danych z lat 1951-1965. Promieniowanie całkowite opracowano na podstawie danych z lat 1951-1970 (wykorzystano mapy A. Podogrodzkiego zamieszczone w Atlasie Narodowym Polski) mapki dotyczące faz fenologicznych wybranych roślin w oparciu o lata 1951-1960 a grubość pokrywy śnieżnej w roku w oparciu o dane z lat 1950/51-1959/60 z uwzględnieniem miesięcy od listopada do kwietnia.

Na podstawie przeprowadzonej analizy elementów klimatologicznych województwa płockiego można stwierdzić, że na jego terenie występują na ogół takie same warunki klimatyczne jak w środkowej, nizinnej części Polski. W związku z powyższym klimat województwa płockiego jest klimatem przejściowym kształtującym się pod wpływem morskich mas powietrza z zachodu i północno-zachodu ścierających się z kontynentalnymi masami ze wschodu. Klimat przejściowy odznacza się dużą zmiennością pogody, a ta z kolei niestabilnością zarówno dla krótszych jak i dłuższych odcinków czasu oraz istnieniem 6 pór roku. Dlatego charakterystyka klimatu Polski, a co za tym idzie również województwa płockiego powinna opierać się nie tylko na wartościach średnich, ale również powinna uwzględniać parametry charakteryzujące jego zmienność (wartości skrajne, częstość występowania określonych wartości oraz zjawisk o różnym stopniu natężenia) – co starano się w niniejszej pracy uczynić

W poszczególnych rozdziałach tego opracowania starano się zwrócić uwagę, że ogólny obraz klimatu województwa ulega modyfikacjom, w niektórych regionach pod wpływem warunków lokalnych. Poniższy krótki rys klimatyczny województwa jest jednocześnie próbą podsumowania przeprowadzonej analizy klimatu.

Warunki termiczne i wilgotnościowe

Na obszarze województwa płockiego warunki klimatyczne kształtują się między innymi pod wpływem promieniowania i usłonecznienia. Wartość promieniowania całkowitego w ciągu roku maleje z południowego- wschodu na północny- zachód nie wykazując dużego zróżnicowania, zarówno w obrębie województwa, jak i w stosunku do sąsiednich regionów. Liczba godzin ze słońcem zmniejsza się ze wschodu na zachód województwa, wartości usłonecznienia w zachodniej części województwa są takie same jak w przylegającej do niej wschodniej części województwa włocławskiego (poniżej 4,4 godziny).

Średnia dobowa temperatura powietrza w województwie płockim waha się w ciągu całego roku w granicach ok. $-3,0^{\circ}\text{C}$ w styczniu i lutym, a ok. $18,5^{\circ}\text{C}$ w lipcu. Średnio w roku wynosi ok. $7,5^{\circ}\text{C}$, podobnie jak w sąsiednim województwie włocławskim. Wartości temperatury maleją z południowego- zachodu na północny- wschód (tab. 1-10).

Wilgotność względna powietrza w województwie płockim waha się w granicach między ok. 72% w maju i czerwcu do ok. 90% w grudniu. Średnio w roku wynosi 80%. Rów-

niez i w tym przypadku teren tego województwa nie wyróżnia się na tle Polski niżowej. Jeżeli chodzi o opady to teren województwa płockiego zalicza się do tych obszarów Polski, gdzie ich sumy są najmniejsze, jest to wyraźnie deficytowy obszar, tak samo, jak sąsiadujące z nim województwo włocławskie.

Tabela 1. Średnia dobowa temperatura powietrza (°C)

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Płock	-3,2	-2,9	0,8	7,8	12,9	17,6	18,6	17,6	13,5	8,4	3,4	-0,3	7,8
Błonie-Topola	-2,8	-3,3	0,6	7,4	12,3	16,9	17,9	17,2	13,2	8,1	3,2	-0,5	7,5
Ostrowy	-2,9	-3,4	0,6	7,5	12,3	16,9	18,0	17,0	13,3	8,3	3,3	-0,5	7,5

Tabela 2. Średnia minimalna temperatura powietrza (°C)

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Płock	-5,4	-6,2	-2,8	3,0	7,3	11,7	13,1	12,5	8,8	4,3	0,9	-2,6	3,7
Błonie-Topola	-5,8	-6,9	-3,0	2,6	6,6	11,7	12,3	12,5	8,2	3,8	0,5	-2,9	3,2
Ostrowy	-5,7	-6,8	-2,8	2,8	6,9	11,7	11,9	12,5	8,7	4,2	1,1	-2,8	3,4

Tabela 3. Średnia maksymalna temperatura powietrza (°C)

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Płock	0,0	-0,1	5,0	12,8	18,1	23,0	23,9	23,4	19,6	13,2	5,7	1,8	12,2
Błonie-Topola	-0,2	0,0	4,8	12,8	17,8	22,5	23,7	23,2	19,4	13,2	6,2	1,6	12,1
Ostrowy	-0,5	-0,5	4,2	12,1	17,6	22,2	23,4	22,5	18,6	10,8	5,5	1,5	11,5

Tabela 4. Dobowa amplituda temperatury powietrza (°C)

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Płock	5,4	6,1	7,8	9,8	10,8	11,3	10,8	10,9	10,8	8,9	4,8	4,4	8,5
Błonie-Topola	5,6	6,9	7,8	10,2	11,2	11,8	11,4	11,3	11,2	9,4	5,7	4,5	8,9
Ostrowy	5,2	6,3	7,0	9,3	10,7	11,0	11,5	10,3	9,9	6,6	4,4	4,3	8,1

Tabela 5. Termiczne pory roku (a – początek; b – koniec; c – czas trwania)

Stacja	Zima			Przedwiośnie			Wiosna			Lato			Jesień			Przedzimie		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Płock	13 XII	10 III	88	11 III	2 IV	23	3 IV	28 V	56	29 V	2 IX	97	3 IX	3 XI	62	4 XI	12 XII	39
Błonie-Topola	11 XII	11 III	91	12 III	3 IV	23	4 IV	2 VI	60	3 VI	31 VIII	90	1 IX	2 XI	63	3 XI	10 XII	38
Ostrowy	11 XII	13 III	93	14 III	4 IV	22	5 IV	2 VI	59	3 VI	30 VIII	89	31 VIII	3 XI	65	4 XI	10 XII	37

Tabela 6. Liczba dni bardzo mroźnych

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Płock	6,3	7,4	2,3								0,6	2,7	19,3
Błonie-Topola	6,7	8,4	2,1	0,1							0,5	3,1	20,9
Ostrowy	6,4	8,5	2,0								0,2	3,8	20,9

Tabela 7. Liczba dni mroźnych

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Płock	12,4	13,4	5,5							0,1	2,0	8,0	41,4
Błonie-Topola	12,4	13,0	5,7							0,1	1,7	8,2	40,1
Ostrowy	13,6	14,1	6,4							0,1	2,1	8,6	44,9

Tabela 8. Liczba dni przymrozkowych

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Płock	24,9	22,9	22,4	6,8	0,8					4,3	10,3	20,1	112,5
Błonie-Topola	25,7	24,2	23,2	7,8	1,0				0,5	5,6	12,2	20,9	121,1
Ostrowy	25,8	23,8	22,8	6,7	0,9					3,2	12,4	21,9	117,5

Tabela 9. Przymrozki (a – pierwszy przymrozek jesienny, b – ostatni przymrozek wiosenny, c – długość okresu bezprzymrozkowego)

Stacja	a	b	c
Płock	17.X	1 V	167,7
Błonie-Topola	9 X	2 V	159,0
Ostrowy	19 X	30 IV	172,0

Tabela 10. Liczba dni gorących

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Płock				0,7	2,8	9,7	12,3	10,3	3,5	0,1			39,4
Błonie-Topola				0,5	1,9	9,1	12,0	10,0	3,7	0,1			37,3
Ostrowy				0,4	2,1	7,9	11,0	8,0	3,0				32,4

Zachmurzenie

W województwie płockim średnie roczna wielkość zachmurzenia wynosi w roku 65%. Taka sama wartość zachmurzenia występuje w przyległych województwach (tab. 11-14).

Tabela 11. Średnie dobowe zachmurzenie

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Płock	7,7	7,4	6,3	6,3	6,3	6,0	6,2	6,0	5,6	6,3	8,2	8,0	6,7
Błonie-Topola	7,3	7,0	5,9	5,7	5,8	5,3	5,6	5,4	5,0	6,0	7,9	7,8	6,2
Ostrowy	7,3	7,2	6,0	5,9	5,6	5,4	5,6	5,5	5,2	5,8	7,6	7,6	6,2

Tabela 12. Średnia liczba dni pochmurnych

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Płock	17,5	14,9	12,3	10,3	10,0	7,5	8,9	7,7	7,5	10,8	19,9	19,1	146,4
Błonie-Topola	14,5	11,8	10,4	8,7	7,9	5,9	6,8	6,1	5,6	10,0	17,8	18,6	124,1
Ostrowy	15,1	14,0	11,5	8,0	6,1	6,0	6,5	6,0	5,1	9,0	17,2	17,5	122,0

Tabela 13. Średnia liczba dni pogodnych

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Płock	2,0	1,9	4,6	4,5	2,6	2,8	3,3	2,5	5,4	3,4	1,2	1,7	35,9
Błonie-Topola	2,7	3,1	5,8	5,3	3,5	4,3	4,1	3,7	6,7	4,3	1,3	1,7	46,5
Ostrowy	2,0	1,8	5,0	4,0	3,3	3,4	3,7	3,2	5,1	4,7	2,6	1,5	40,3

Tabela 14. Średnia liczba dni z mgłą

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Płock	3,8	4,0	2,1	1,4	1,6	0,8	0,9	1,1	3,9	7,8	6,1	5,7	39,2
Błonie-Topola	3,1	4,5	2,0	1,1	1,0	0,4	0,6	1,0	3,2	7,2	5,8	4,9	34,8
Ostrowy	3,2	2,8	2,1	1,4	0,6	0,8	0,6	0,5	1,6	4,9	4,0	3,9	26,4

Opady atmosferyczne

Wahania wysokości opadów w poszczególnych latach są znaczne. Przy okazji opadów należy wspomnieć o gradach. Obszar Pojezierza Chełmińskiego-Dobrzyńskiego, czyli skrajnie północny fragment województwa należy do jednego z najczęściej nawiedzanych przez burze gradowe, które stanowią ogromne niebezpieczeństwo zwłaszcza dla rolnictwa. Obszar województwa białostockiego należy do tych terenów Polski, gdzie roczne sumy opadów są najniższe, tj. poniżej 560 mm (tylko w niektórych mezoregionach spada rocznie 500-550 mm opadów). Należy to tłumaczyć tym, że w terenie nizinym nie ma warunków do powstawania opadów typu orograficznego. W ciągu roku największa miesięczna suma opadów występuje w lipcu, wtedy również liczby dni z opadami $\geq 0,1$ mm i ≥ 10 mm są największe (tab. 15-19).

Tabela 15. Średnia liczba dni z opadem $\geq 10,0$ mm

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Płock	0,2	0,2	0,4	0,3	1,0	1,2	2,9	1,7	1,1	0,3	0,5	0,6	10,4
Błonie-Topola	0,1	0,2	0,4	0,5	1,1	1,3	2,2	1,8	1,1	0,3	0,7	0,5	10,2
Ostrowy	•	•	0,2	0,3	0,7	1,5	1,8	1,5	1,0	0,3	0,6	0,4	8,3

Tabela 16. Średnie sumy opadów (mm)

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Gąbin	32	33	29	31	50	58	97	56	47	23	43	43	542
Gostyń	31	31	25	28	48	61	92	61	44	25	40	41	527
Grodkowo	22	25	20	32	57	60	87	50	41	24	38	38	494
Hów	26	30	24	33	49	50	88	58	39	23	37	41	498
Lelice	25	25	24	29	52	54	77	49	41	22	37	37	472
Łanięta	30	34	24	31	49	52	78	61	39	21	42	43	504
Łąck	30	33	27	35	50	52	82	53	50	28	38	44	522
Łęki Kościelne	22	25	22	28	44	51	73	56	47	21	36	32	457
Opatowice	32	33	26	36	55	59	99	53	46	30	48	50	567
Ostrowy	19	20	19	23	45	46	71	53	43	22	35	34	430
Płock	27	30	25	29	51	52	93	58	47	26	40	40	518
Sierpc	31	32	22	30	44	57	81	60	48	25	42	39	511
Strzelce	35	34	28	31	50	52	92	62	48	25	44	47	548
Błonie-Topola	26	25	26	34	49	53	84	66	45	25	38	37	508
Wólka Przybojewska	22	29	19	29	48	52	85	48	44	23	41	38	478

Tabela 17. Maksymalny opad dobowy (mm)

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Gąbin	34,2	13,0	32,8	26,3	62,3	29,1	64,4	34,6	55,4	37,4	25,9	24,7	5 VII 1954 64,4
Gostyń	20,0	15,2	13,4	25,8	69,1	48,2	63,5	43,5	53,5	37,8	20,6	26,7	14 V 1962 69,1
Grodkowo	13,3	16,7	21,1	31,1	111,0	51,7	96,2	34,4	25,8	15,5	18,4	25,2	14 V 1962 111,0
Hów	17,5	14,6	15,0	21,4	25,2	41,1	44,6	53,8	30,4	25,7	17,6	22,5	7 VIII 1958 53,8
Lelice	15,7	15,3	23,2	17,8	52,9	45,7	39,9	52,2	51,9	23,5	26,5	30,2	14 V 1962 52,9
Lanięta	19,1	15,4	12,3	25,0	59,5	36,0	44,4	56,4	34,6	19,3	29,6	25,9	14 V 1962 59,5
Łąck	25,0	15,3	20,0	23,4	48,3	35,1	54,5	47,1	58,2	31,0	21,6	26,4	4 IX 1965 58,2
Łęki Kościelne	10,7	12,0	15,3	19,1	60,3	37,4	40,7	42,3	56,6	29,9	31,6	19,0	14 V 1962 60,3
Opatowice	11,5	15,1	14,1	22,9	62,1	48,3	52,1	26,1	42,3	50,7	31,6	26,4	14 V 1962 62,1
Ostrowy	8,9	9,8	18,5	23,6	72,3	32,6	47,0	47,6	45,8	26,5	29,1	18,0	14 V 1962 72,3
Płock	13,3	12,4	13,9	17,4	22,7	29,0	61,5	29,1	53,6	32,4	16,1	23,5	8 VII 1955 61,5
Sierpc	13,4	20,3	17,9	11,5	43,3	32,1	57,4	54,2	40,4	30,3	18,9	21,2	23 VII 1960 57,4
Strzelce	14,2	12,8	18,8	27,2	70,2	32,8	56,6	56,4	46,1	42,0	31,6	42,0	14 V 1962 70,2
Błonie-Topola	11,4	13,7	19,3	24,8	59,6	36,8	54,1	55,6	37,7	29,3	26,4	21,0	14 V 1962 59,6
Wólka Przybojewska	12,3	15,3	16,1	29,6	58,7	35,0	38,3	35,5	35,2	30,0	20,1	17,2	14 V 1962 58,7

Tabela 18. Średnia liczba dni z burzą

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Płock				1,1	3,5	4,8	4,8	4,0	1,4	0,6	0,4	0,3	20,9
Błonie-Topola		0,1	0,1	1,3	3,4	4,9	5,5	3,5	1,1	0,1			20,0
Ostrowy			0,2	0,8	2,8	3,6	3,1	3,4	1,4	0,1	0,1		15,5

Tabela 19. Średnia liczba dni z pokrywą śnieżną

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Płock	17,5	17,9	8,8	0,7	•	•	•	•	•	•	2,3	12,9	60,1
Błonie-Topola	16,0	17,3	6,9	•	•	•	•	•	•	•	1,1	8,1	49,4
Ostrowy	16,6	19,2	6,0	0,4	•	•	•	•	•	•	1,8	8,6	52,6

Wiatr

Wiatr na obszarze województwa charakteryzuje się średnią prędkością niewiele wyższą od 3,0 m/s. Zarówno częstotliwości kierunków jak i prędkości wg kierunków i średnie prędkości w poszczególnych miesiącach są zbliżone do wartości notowanych w województwach sąsiednich (tab. 20-26).

Tabela 20. Częstość kierunków wiatru – Płock (w %)

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
I	2,5	4,8	8,6	13,5	7,8	20,1	26,2	5,0	11,5
II	4,8	5,7	10,3	14,4	5,5	13,6	25,1	7,9	12,7
III	5,9	8,9	17,2	16,3	4,6	8,7	19,2	7,2	11,9
IV	8,4	5,7	11,0	16,4	6,8	9,9	16,7	11,8	12,0
V	8,2	7,6	10,4	8,7	5,5	11,2	21,9	14,3	12,2
VI	5,4	5,7	7,5	11,0	8,9	11,7	23,5	14,5	11,8
VII	5,4	4,2	4,9	6,9	7,7	16,2	29,3	11,3	14,2
VIII	2,8	2,7	5,0	10,4	7,6	16,4	29,7	6,2	19,1
IX	2,1	1,8	7,8	11,6	6,3	17,7	25,9	7,7	19,1
X	1,6	2,2	11,1	15,3	8,5	16,0	21,9	5,4	18,1
XI	3,5	3,4	12,0	21,1	7,2	16,6	18,7	4,2	13,2
XII	2,2	3,6	8,5	17,2	8,6	18,7	24,2	4,6	12,3
Rok	4,4	4,7	9,5	13,6	7,1	14,7	23,5	8,3	14,1

Tabela 21. Częstość kierunków wiatru – Błonie-Topola (%)

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
I	4,3	8,4	8,7	5,3	9,2	26,2	21,2	9,6	7,1
II	6,8	10,3	12,6	5,1	5,9	16,5	20,8	11,2	10,7
III	7,7	12,7	18,6	7,1	5,4	10,6	14,5	11,0	12,3
IV	11,2	10,2	11,8	7,7	6,6	12,6	13,1	14,5	12,3
V	12,5	13,3	11,6	3,9	3,4	12,1	15,9	15,1	12,0
VI	10,4	9,4	11,3	4,7	5,7	12,0	18,6	17,0	10,8
VII	8,6	7,6	5,6	3,1	4,7	19,6	23,0	16,3	11,5
VIII	5,3	5,8	7,0	3,8	4,3	20,5	20,3	13,4	17,6
IX	4,8	5,6	8,8	5,1	6,1	19,7	21,2	11,9	16,7
X	3,0	6,6	13,1	7,0	6,5	22,3	16,4	8,1	17,0
XI	4,6	6,7	16,9	9,1	7,6	21,9	15,4	6,8	11,0
XII	4,2	6,4	9,1	7,7	10,5	27,5	17,9	7,9	8,7
Rok	6,9	8,6	11,3	5,8	6,3	18,5	18,4	11,9	12,3

Tabela 22. Płock – średnia prędkość wiatru według kierunków (m/s)

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
I	3,2	3,8	4,0	3,3	3,4	5,3	5,0	4,3
II	3,3	3,4	4,3	3,3	3,1	4,5	5,3	4,0
III	4,0	3,8	4,2	3,9	2,9	5,2	5,2	4,9
IV	3,9	3,6	3,8	3,9	3,0	3,5	3,8	3,9
V	4,1	3,4	3,5	3,6	2,7	3,5	4,0	3,9
VI	3,5	3,4	3,6	3,3	2,7	3,5	3,6	3,7
VII	3,1	2,8	2,7	2,9	2,8	3,6	4,0	3,3
VIII	2,6	3,1	3,0	3,1	2,5	3,5	4,0	3,1
IX	3,2	3,1	3,3	3,2	3,0	4,3	4,2	4,0
X	2,4	3,5	3,7	3,3	2,6	4,1	4,6	3,2
XI	3,4	3,5	4,2	3,8	2,4	4,5	5,0	4,3
XII	3,4	3,6	4,5	3,4	3,2	4,2	5,0	3,9
Rok	3,3	3,4	3,7	3,4	2,9	4,1	4,5	3,9

Tabela 23. Błonie-Topola – średnia prędkość wiatru według kierunków (m/s)

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
I	3,3	3,0	3,6	3,6	3,8	4,5	5,5	4,3
II	3,7	3,5	3,2	3,5	3,2	4,4	4,4	5,7
III	4,3	3,9	4,2	3,8	4,0	4,8	5,4	5,5
IV	4,2	3,5	3,3	3,5	3,6	3,9	4,4	4,2
V	3,7	3,0	3,2	3,1	3,1	3,4	4,4	4,2
VI	3,1	2,8	2,9	2,7	3,0	3,2	3,3	3,1
VII	2,8	2,7	2,5	2,4	2,5	3,6	3,6	3,4
VIII	2,8	2,6	2,8	2,8	2,9	3,6	4,2	3,4
IX	2,9	2,8	2,8	3,0	3,0	3,9	4,4	3,7
X	2,2	2,6	3,0	2,8	2,8	3,8	4,2	3,6
XI	3,2	3,1	2,9	3,1	2,6	4,1	4,6	4,4
XII	3,1	3,3	3,6	3,0	3,9	4,3	5,1	4,4
Rok	3,3	3,1	3,2	3,1	3,2	4,0	4,5	4,2

Tabela 24. Prędkość wiatru (m/s)

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Płock	4,0	3,7	3,8	3,3	3,2	3,1	3,0	2,8	3,1	3,0	3,6	3,7	3,4
Błonie-Topola	4,1	3,9	4,0	3,4	3,2	2,8	2,8	2,8	3,0	2,8	3,5	3,7	3,3

Tabela 25. Średnia liczba dni z wiatrem silnym ≥ 10 m/s

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Płock	3,8	2,9	3,6	1,9	1,8	1,1	0,9	1,1	2,2	1,9	2,7	3,8	27,7
Błonie-Topola	3,5	3,1	3,7	2,1	1,1	1,0	0,8	1,3	1,6	1,5	3,1	3,5	26,3

Tabela 26. Średnia liczba dni z wiatrem bardzo silnym ≥ 15 m/s

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Płock	1,3	0,8	0,3	0,1	0,4	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,5	0,4	4,7
Błonie-Topola	0,5	0,7	0,4	0,2	0,3	0,2	•	0,1	0,2	0,1	0,5	0,7	3,9

Z analizy przebiegu rocznego poszczególnych elementów klimatycznych wynika, że na terenie województwa płockiego można wyróżnić pod względem klimatycznym następujące regiony:

- Równina Urszulewska wraz z Równiną Raciąską
- Okolice Płocka
- Kotlina Kolska

Regiony te wyróżniają się przede wszystkim odrębnymi warunkami termicznymi. Związane jest to z typowym dla wszystkich wartości wskaźników temperatury zmniejszaniem się ich z południowo-zachodu na północny-wschód. Najwyższe wartości notuje się w Kotlinie Kolskiej, najniższe na Równinie Urszulewskiej i Raciąskiej. Stosunkowo wysokie w porównaniu z obszarami sąsiednimi są również te wartości w okolicach Płocka, jest to związane z wpływem aglomeracji miejskiej na warunki klimatyczne. Temperatura w miastach jest zawsze wyższa niż poza nimi. Różnice w średnich wartościach

temperatury powietrza dochodzą do 1°C, a największe są w miesiącach letnich i w porze nocnej (kilkustopniowe).

Analiza warunków klimatycznych województwa pod kątem ich przydatności dla rolnictwa wykazała, że w przypadku sum opadów ich wartości są szczególnie niekorzystne. W okresie wegetacyjnym obserwuje się przewagę miesięcy posusznych, tj. takich, w których średnia suma opadu jest mniejsza od 60 mm. Wystarczającą ilość opadu notuje się na terenie całego województwa właściwie tylko w lipcu i częściowo w sierpniu.

Najbardziej niekorzystnym w województwie terenem pod względem rolniczo-klimatycznym jest Równina Urszulewska i Raciąska.

Przy opracowaniu klimatu pod kątem rolnictwa celowe byłoby również opracowanie przymrozków przygruntowych oraz temperatury gruntu. Dodatką stroną niniejszego opracowania jest przedstawienie wszystkich wskaźników na poziomie rzeczywistym.

7.2.2. Zmiany czasowo-przestrzenne pola opadów atmosferycznych w województwie Płockim w latach 1951-1970

Autor : Marianna KUBICKA

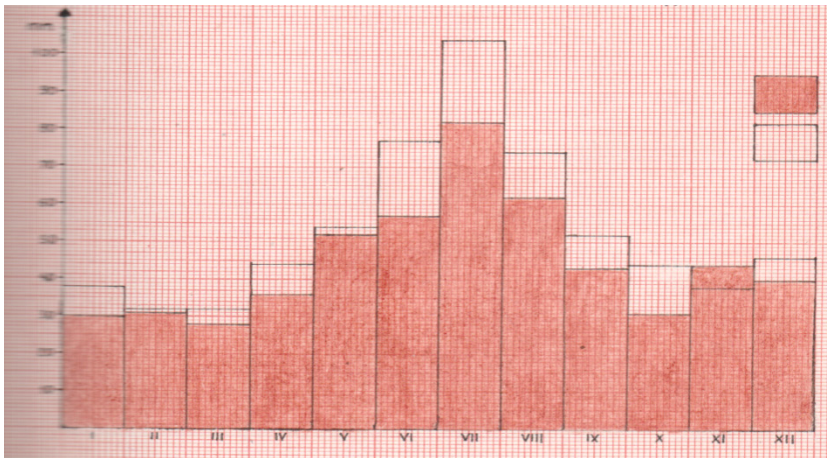
Opiekun naukowy: Maria STOPA - BORYCZKA

Celem pracy jest przedstawienie zmian czasowo-przestrzennych pola opadów atmosferycznych w województwie płockim w latach 1951-1970.

Praca składa się z pięciu części. W pierwszej, wstępnej, zawarto przegląd literatury dotyczącej stosunków opadowych, charakterystykę fizycznogeograficzną województwa płockiego i opis klimatu oraz omówiono materiały źródłowe i metody ich opracowania. Drugą część poświęcono rozkładowi przestrzennemu sum opadu na badanym terenie. W części trzeciej przedstawiono zróżnicowanie przestrzenne liczby dni z opadem w różnych przedziałach wysokości: $\geq 0,1$ mm, $\geq 1,0$ mm i $\geq 10,0$ mm.

Część czwarta zawiera charakterystykę sezonowych zjawisk atmosferycznych, tj. pokrywy śnieżnej, burzy i gradu. Piątą część stanowi podsumowanie dotyczące kształtowania się opadów w województwie płockim. Całość rozpatrywanego zagadnienia opracowano na podstawie danych z lat 1951-1970, zebranych z materiałów IMGW (wykazy miesięczne, roczniki).

Do opracowania wybrano 32 stacje. Są to: jedna stacja meteorologiczna Płock-Radziwie, dwa posterunki meteorologiczne – Ostrowy i Błonie-Topola, dwadzieścia dziewięć stacji opadowych. Województwo płockie otrzymuje średnio 536 mm opadu rocznie, co jest sumą mniejszą od średniej krajowej o 99 mm (rys. 1, tab. 1).



Rys. 1. Przebieg roczny sum opadów w województwie płockim (szary kolor) w odniesieniu do obszaru Polski (wg. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, 1976)

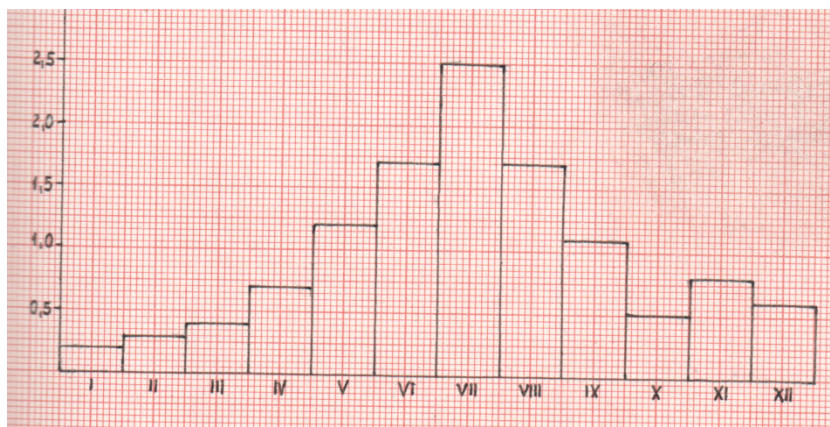
Przebieg roczny miesięcznych sum opadów w województwie płockim wykazuje, że najwyższe sumy notowane są w miesiącach letnich, przede wszystkim w lipcu (82 mm).

Wysokie opady letnie spowodowane są ich natężeniem a nie częstotliwością. W miesiącach letnich, a zwłaszcza w lipcu obserwuje się najwięcej dni z opadem intensywnym, tj. 10,0 mm (średnio w województwie 2,5). Spowodowane jest to tym, że w lecie na opady

cyklonalne nakładają się opady konwekcyjne wywołane prądami wstępującymi nad silnie nagrzanym lądem. Intensywnym opadom letnim sprzyja duża zawartość pary wodnej w powietrzu. W okresie tym notuje się także największe maksima dobowe opadu. Maksimum absolutne dobowych sum opadu – 174,5 mm zanotowano w sierpniu 1964 r. Zimą zawartość pary wodnej w powietrzu jest niewielka. Opady charakteryzują się dużą częstotliwością, lecz niskim stopniem natężenia (najmniej dni z opadem $\geq 10,0$ mm w województwie notuje się w styczniu), stąd sumy opadów są niewielkie (w styczniu 30 mm).

Tabela 1. Średnie sumy opadów w miesiącach i roku (1951-1965)

Stacje	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Baruchowo	31	30	26	37	53	55	75	55	41	31	43	39	516
Biezuń	25	25	26	35	52	42	80	72	47	27	39	42	516
Błonie -Topola	26	26	26	36	51	57	80	65	40	29	40	36	512
Bodzanów	35	36	33	42	59	58	93	56	48	36	52	47	595
Chodecz	27	24	29	36	51	60	88	60	43	33	40	38	530
Dębice	25	27	24	29	49	56	74	66	38	30	38	33	489
Duninów	25	27	29	36	49	50	84	55	40	31	41	37	504
Gąbin	36	34	33	36	54	60	92	59	46	30	47	43	570
Gieczno	25	27	26	39	55	62	83	84	50	30	43	36	560
Gostynin	32	31	27	32	50	60	92	64	45	30	42	39	543
Grodkowo	25	29	25	35	56	60	84	52	40	30	46	38	520
Ilów	29	31	29	36	51	50	85	56	38	29	43	41	518
Kłodawa	32	35	31	36	51	57	84	58	41	34	42	41	543
Krzeczanowo	32	32	34	39	48	56	75	54	40	27	43	42	522
Lelice	25	24	25	37	56	56	75	59	39	29	42	38	505
Łañęta	32	36	26	36	50	54	76	63	37	28	43	41	522
Łąck	32	34	32	39	54	58	85	59	48	32	43	44	560
Łęki Kościelne	24	27	25	33	49	59	70	67	45	30	42	32	504
Mochowo	37	38	28	39	56	63	89	69	52	30	52	36	589
Opatówiec	34	33	30	41	56	62	92	63	44	37	52	50	593
Ostrowy	24	24	26	31	50	52	77	60	41	29	39	34	487
Płock-Radziwie	31	31	29	36	56	58	90	62	43	30	44	41	549
Raciąż	33	34	27	57	49	51	79	56	45	29	42	41	533
Sierpc	36	33	27	38	50	57	78	67	45	30	45	39	545
Skrwilno	35	28	23	35	53	53	72	62	53	33	50	39	536
Strzelce	35	35	30	35	53	55	86	65	44	32	46	46	563
Świnice	23	23	21	33	45	57	81	63	35	28	33	53	475
Walewice	35	43	30	41	56	67	93	68	44	32	45	49	603
Wólka Przybojewska	30	31	26	37	51	56	82	51	41	31	49	40	525
Wróblewo	31	30	24	38	51	51	85	61	43	32	41	38	526
Zakroczym	35	35	28	37	50	59	75	59	56	32	46	44	536
Żychlin	29	31	33	38	50	69	81	60	44	29	45	40	549
Województwo	30	31	28	36	52	57	82	62	43	31	44	40	536
Polska	38	32	32	44	54	77	104	74	52	44	38	46	635



Rys. 2. Przebieg roczny liczby dni z opadem $\geq 10,0$ mm w województwie płockim (1951-1965)

Częstość dni z opadem w ciągu roku największa jest w miesiącach późnojesiennych i zimowych (w grudniu 13,7, w lipcu 11,9), co związane jest z częstym przechodzeniem frontów atmosferycznych i niżów barycznych przez obszar Polski.

Wysokie sumy opadów letnich w stosunku do zimowych świadczą o cechach kontynentalnych klimatu województwa płockiego. Najmniejsze sumy opadów i najmniej dni z opadem występuje w marcu (28 mm; 10,8 dni z opadem $\geq 0,1$ mm) i październiku (31 mm; 9,6 dni z opadem $\geq 0,1$ mm).

Próbą oceny ilościowej wpływu podstawowych czynników geograficznych na opady atmosferyczne na obszarze województwa płockiego są empiryczne wzory. W tym celu założono liniową zależność sum opadów (y) od szerokości geograficznej φ , długości geograficznej λ i wysokości nad poziomem morza H i wyznaczono równania hiperpłaszczyzn regresji oraz współczynniki korelacji wielokrotnej (R) w poszczególnych miesiącach i roku. Jako zmienne niezależne przyjęto współrzędne geograficzne (φ , λ , H), za zmienne zależne – sumy opadów atmosferycznych (y). W obliczeniach posługiwano się zawsze 32 wielowymiarowymi punktami empirycznymi (dysponowano danymi z 32 stacji meteorologicznych) oraz metodą najmniejszych kwadratów. Równania hiperpłaszczyzn regresji przyjmują ogólną postać:

$$y = ax_1 + bx_2 + cx_3 + d$$

gdzie: x_1, x_2, x_3 – to współrzędne geograficzne φ, λ, H, y – to suma opadów atmosferycznych, a, b, c – to współczynniki regresji wielokrotnej.

Współczynniki przy współrzędnych geograficznych wskazują o ile wzrasta, bądź zmniejsza się suma opadów atmosferycznych na jednostkę zmiany wartości φ, λ, H w kolejnych miesiącach i roku. Współczynniki te są geograficznymi gradientami sum opadów.

Równania hiperpłaszczyzn regresji można zastosować do uzupełniania brakujących danych opadów atmosferycznych, jeżeli granica błędu między wartościami zmierzonymi a wyznaczonymi z równań nie jest duża. Odczytując z mapy współrzędne geograficzne punktu ($\varphi_i, \lambda_j, H_i$) można na podstawie równań wyznaczyć nieznaną wartość parametru y . Łączny wpływ szerokości i długości geograficznej oraz wysokości n.p.m. na wysokość opadu wy-

raza współczynnik korelacji wielokrotnej (R). Współczynnik ten może przyjmować wartości w przedziale od $R=0$ do $R=+1$. Jeżeli współczynnik korelacji R osiąga wartość 0, wtedy mówimy o braku związku między zmiennymi. Zależność jest większa, jeżeli współczynnik korelacji R przyjmuje wartości bliższe 1. Dodatnie współczynniki regresji wielokrotnej a , b , c świadczą o wzroście sum opadów y wraz ze wzrostem wartości współrzędnych φ , λ , H . Wartości zaś ujemne wskazują na spadek sum opadów. Równania hiperpłaszczyzn regresji i współczynniki korelacji wielokrotnej R dla poszczególnych miesięcy i roku zamieszczono w tab. 2.

Tabela 2. Równania hiperpłaszczyzn regresji sum opadów atmosferycznych (y) względem φ , λ , H , R – współczynnik korelacji wielokrotnej

	$y=a\varphi+b\lambda+cH+d$	R
I	$y=7,55\varphi+1,65\lambda+2,06H-400,00$	0,55
II	$y=2,00\varphi+2,76\lambda-0,80H-27,20$	0,33
III	$y=0,55\varphi+1,04\lambda-1,54H-19,86$	0,20
IV	$y=1,43\varphi+2,61\lambda+1,44H-91,53$	0,49
V	$y=2,20\varphi-0,52\lambda+1,22H-54,14$	0,15
VI	$y=-1,84\varphi-0,57\lambda+0,79H+163,90$	0,12
VII	$y=-3,44\varphi+1,96\lambda-6,60H+231,40$	0,26
VIII	$y=-7,73\varphi-2,85\lambda+9,98H+512,00$	0,52
IX	$y=4,92\varphi-0,44\lambda+1,08H-207,70$	0,29
X	$y=1,47\varphi+0,13\lambda+1,24H-50,31$	0,21
XI	$y=5,33\varphi+3,64\lambda+2,09H-309,40$	0,60
XII	$y=-0,64\varphi+4,50\lambda+3,22H-18,31$	0,46
Rok	$y=10,52\varphi+16,63\lambda+14,53H-58,00$	0,29

Analiza rozkładu przestrzennego sum opadów i liczby dni z opadem w województwie płockim pozwoliła wydzielić pewne obszary, wyróżniające się na tle województwa.

Najwyższe sumy opadów (rocznie ponad 575 mm) i najwięcej dni z opadem umiarkowanym i intensywnym (ponad 100 dni z opadem $\geq 1,0$ mm; ponad 12 dni z opadem $\geq 10,0$ mm) występuje w trzech rejonach:

- w środkowej, najwyższej części Wysoczyzny Płockiej i jej zachodnich zboczach; decydujące znaczenie ma tu ekspozycja zboczy na deszczonośne wiatry i znaczne wyniesienie terenu,
- na Pojezierzu Dobrzyńskim, które przyczynia się do wzrostu wilgotności powietrza, a co za tym idzie - częstości i wysokości opadów,
- w okolicy stacji Strzelce; przyczyną może być tu ukształtowanie powierzchni i specyficzne położenie stacji na peryferyjnym wyniesieniu wschodnich partii Wysoczyzny Kłódzkiej.

Bardzo wysokie sumy opadów obserwuje się także na południowo-wschodnim skrawku województwa (ponad 575 mm rocznie). Notuje się tu również dużą liczbę dni z opadem intensywnym (ponad 13 dni w roku) a stosunkowo mało z opadem drobnym (poniżej 130 dni w roku) i umiarkowanym (poniżej 95 dni w roku), co może być efektem położenia tego obszaru na przedpolu rozciągającej się na południu, poza granicami województwa, znacznie wyniesionej nad poziom morza Wysoczyzny Łódzkiej.

Wysokie sumy opadów występują w rejonie Płocka (ponad 525 mm rocznie) oraz Gąbina i Łącka (ponad 550 mm rocznie). Często występują tu także opady o średniej intensywności (ponad 100 dni w roku). O ile w Płocku przyczyną może być zwiększona liczba jąder kondensacji w związku z funkcjonującą Petrochemią, to w rejonie Gąbina i Łącka decydujące znaczenie może mieć położenie tych stacji na Pojezierzu Gostynińskim, na przedpolu dużego kompleksu leśnego.

Najniższe sumy opadów (poniżej 525 mm rocznie) i najmniej dni z opadem (poniżej 140 dni w roku) występuje:

- na Wysoczyźnie Kłódzkiej; w granicach województwa płockiego leżą jej wschodnie, zawiętrzone części, a więc uboższe w opady niż zbocza dowietrzne,
- w rejonie Duninowa nad zbiornikiem włocławskim, położonym w najniższej części doliny Wisły i całego województwa,
- w okolicach stacji Lelice (w północnej części Wysoczyzny Płockiej) i Grodkowo (na południowo-wschodnich zboczach Wysoczyzny Płockiej).

Badania jakościowe poparte zostały oceną ilościową analizowanego zjawiska. Dodatnia wartość współczynnika korelacji wielokrotnej – dla roku 0,29 – świadczy o wprost proporcjonalnym wpływie trzech podstawowych czynników geograficznych, tj. φ , λ , H na sumę opadów atmosferycznych. Wpływ ten największy jest w miesiącach późnojesiennych i zimowych oraz w sierpniu i kwietniu, o czym świadczą stosunkowo wysokie wartości współczynnika korelacji (największa wartość $R = 0,60$ wystąpiła w listopadzie).

Wpływ czynników lokalnych, nie uwzględnionych w równaniach hiperpłaszczyzn najbardziej zaznaczył się:

- w środkowej części Wysoczyzny Płockiej,
- na Pojezierzu Dobrzyńskim (wskaźnik „jeziorności” pominięty został w zastosowanych tu wzorach empirycznych),
- na południowo-wschodnim skrawku województwa położonym na przedpolu Wysoczyzny Łódzkiej.

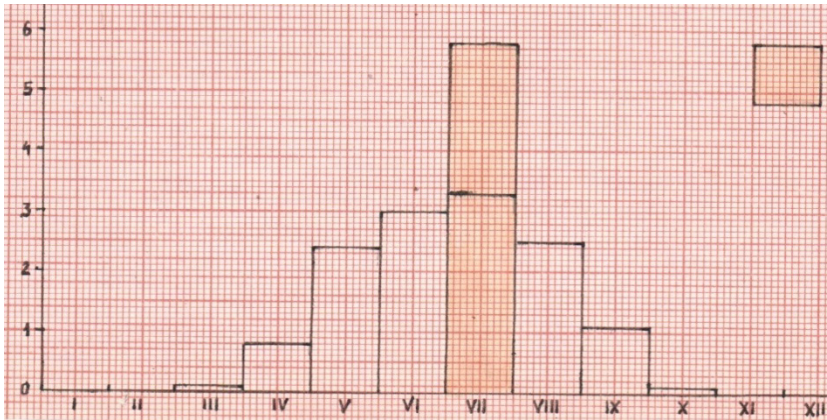
Na wymienionych obszarach wartości zmierzonych sum opadów są dużo większe od teoretycznych (co najmniej o 45 mm).

Dużo mniejsze sumy opadów niż teoretyczne notuje się w okolicach stacji Lelice (w Lelicach – 39 mm) i Grodkowo (Grodkowie – 24 mm), odznaczających się specyficznym położeniem na Wysoczyźnie Płockiej.

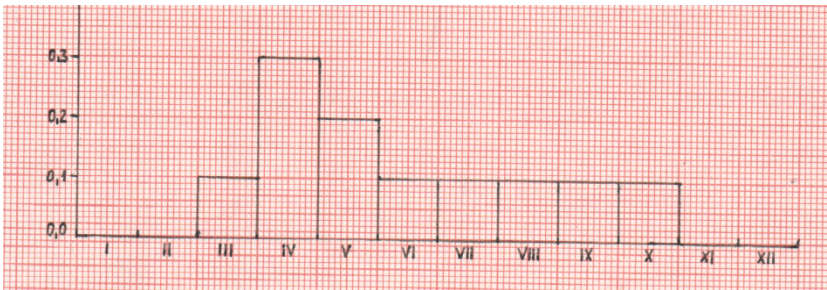
Minimalne różnice między wartościami zmierzonymi i teoretycznymi (sum opadów) wystąpiły w dolinie Wisły, z wyjątkiem stacji Płock i Duninów. O wielkości opadów w dolinie decydują więc przede wszystkim trzy czynniki geograficzne: φ , λ , H , uwzględnione w równaniach hiperpłaszczyzn regresji.

Z opadami ściśle wiążą się zjawiska atmosferyczne, takie jak: burze, grad, pokrywa śnieżna (rys. 3 i 4).

W województwie płockim burze zdarzają się rzadziej niż średnio w Polsce, wartości średnie roczne liczby dni z burzą wynoszą 13 w województwie i 20 w Polsce. Najwięcej dni z burzą występuje w miesiącach maj – sierpień, co jest związane z silnie rozwijającą się w tym czasie konwekcją i rozwojem chmur *Cb*.



Rys. 3. Przebieg roczny liczby dni z burzą w województwie płockim (1951-1965)



Rys. 4. Przebieg roczny liczby dni z gradem w województwie płockim (1951-1965)

W województwie płockim burze zdarzają się rzadziej niż średnio w Polsce, wartości średnie roczne liczby dni z burzą wynoszą 13 w województwie i 20 w Polsce. Najwięcej dni z burzą występuje w miesiącach maj – sierpień, co jest związane z silnie rozwijającą się w tym czasie konwekcją i rozwojem chmur *Cb*.

Burze najczęściej pojawiają się w środkowej, najwyższej części Wysoczyzny Płockiej oraz w rejonie Płocka i Iłowa, w dolinie Wisły (ponad 20 dni z burzą w roku). Najmniej burz obserwuje się na Równinie Urszulewskiej, w rejonie Duninowa nad zbiornikiem włocławskim i Grodkowa w południowo-wschodniej części Wysoczyzny Płockiej (poniżej 10 dni z burzą w roku).

Średnia roczna liczba dni z gradem w województwie płockim wynosi 1 dzień. Zjawisko gradu występuje najczęściej w miesiącach wiosennych: kwiecień – maj, w związku z rozwojem intensywnych prądów wstępujących. Obszary najczęściej nawiedzane przez gradobicie to środkowa część Wysoczyzny Płockiej i strefa podnóża w jej zachodniej części w rejonie Bodzanowa (w Bodzanowie średnio 2 dni z gradem w roku) oraz okolice Gostynina na przedpolu dużego kompleksu leśnego (w Gostyninie średnio 2,5 dnia z gradem w roku).

Pokrywa śnieżna zalega w województwie płockim średnio 56 dni w roku, tj. 11 dni krócej niż przeciętnie w Polsce. Najdłużej utrzymuje się ona w środkowej, najwyższej

części Wysoczyzny Płockiej, na Równinie Urszulewskiej (najdalej na południe wysunięty fragment województwa) oraz w Płocku i jego otoczeniu. Najkrócej, tj. poniżej 50 dni pokrywa śnieżna zalega w dolinie Wisły, na Równinie Raciąskiej i na południowo-wschodnim skrawku województwa.

Analiza stosunków opadowych i towarzyszących im zjawisk atmosferycznych w województwie płockim pozwoliła wyróżnić sześć rejonów charakteryzujących się swoistymi cechami. Są to:

- Środkowa, najwyższa część Wysoczyzny Płockiej – w ciągu roku występują tu najwyższe sumy opadów (ponad 575 mm), najwięcej dni z opadem o dużym natężeniu (ponad 14), najwięcej dni z burzą (ponad 20) i z gradem (1-2 dni), a także najdłużej zalega pokrywa śnieżna (ponad 70 dni).
- Pojezierze Dobrzyńskie – charakteryzuje się wysokimi rocznymi sumami (ponad 575 mm) i wysoką częstością opadów atmosferycznych (ponad 140 dni) oraz ich dużym natężeniem (ponad 15 dni z opadem $\geq 10,0$ mm).
- Płock i jego otoczenie – notuje się tu większe roczne sumy opadów niż w całej dolinie Wisły (ponad 525 mm), większą liczbę dni z opadem umiarkowanym (ponad 100 dni w roku), z burzą (ponad 20 dni w roku), a także z pokrywą śnieżną (ponad 60 dni).
- Południowo-wschodni skrawek województwa – występują tu wysokie roczne sumy opadów (ponad 575 mm), bardzo często zdarzają się dni z opadem intensywnym (ponad 13 w roku), natomiast pokrywa śnieżna zalega stosunkowo krótko (poniżej 50 dni).
- Rejon Duninowa nad zbiornikiem włocławskim – charakteryzuje się bardzo niskimi sumami opadów (poniżej 525 mm rocznie), niewielką liczbą dni z opadem (poniżej 130 dni w roku), z burzą (poniżej 10 rocznie) i pokrywą śnieżną (poniżej 50 dni).
- Wysoczyzna Kłódawska – odznacza się niewielkimi sumami (poniżej 500 mm rocznie) i częstością opadów (poniżej 140 dni z opadem $\geq 0,1$ mm w roku).

7.2.3. Ogólna charakterystyka klimatu Płocka

Autor: Ryszard WÓJCIKOWSKI

Opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA,

Urszula KOSSOWSKA

Wprowadzenie

Celem pracy jest przedstawienie ogólnej charakterystyki klimatu Płocka. Praca ma charakter kompleksowy, uwzględnia wszystkie ważniejsze elementy meteorologiczne. Monografia klimatu Płocka może być więc przydatna jako podstawa do bardziej szczegółowych badań. Podstawową część poprzedzono informacjami dotyczącymi położenia fizyczno-geograficznego i klimatycznego Płocka, oraz informacjami dotyczącymi literatury, materiałów źródłowych i metod ich opracowania.

Przyjęta kolejność opracowania nawiązuje do trzech głównych procesów klimatotwórczych zachodzących w przyrodzie, tzn. do obiegu ciepła, wody i do ogólnej cyrkulacji powietrza.

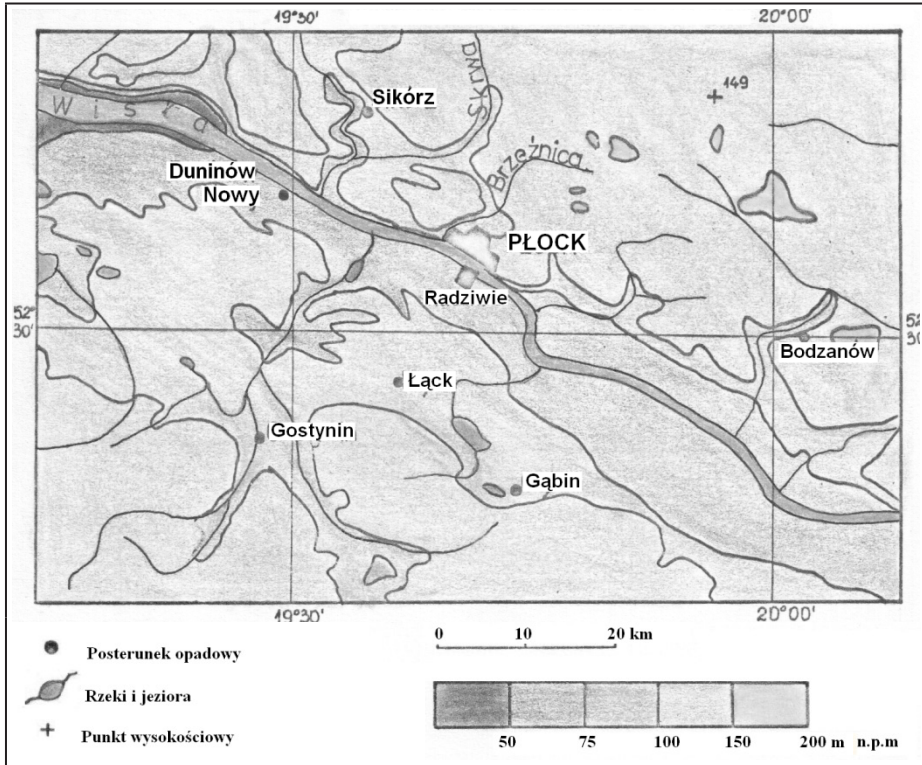
Materiały źródłowe

W pracy przyjęto 15-lecie 1951-1965 jako okres podstawowy. Praca opiera się na danych ze stacji PIHM w Płocku-Radziwie ($\varphi = 52^{\circ}32'N$, $\lambda = 19^{\circ}10'E$). Jak było wspomniane w poprzednich podrozdziałach, Płock – Radziwie położone jest na obszarze dna doliny Wisły, na jednym z jej tarasów nadzalewowych. Natomiast Płock „właściwy” zlokalizowany jest na terenie wyższym od dna doliny o około 40 m, na wysokiej skarpie Wiślanej. Tak więc materiały ze stacji Płock-Radziwie nie są reprezentatywne dla miasta Płocka, a w związku z tym niniejszą pracę omawiającą klimat Płocka należy traktować jako pewne przybliżenie właściwego zagadnienia.

Stacja meteorologiczna w Płocku-Radziwie położona jest w odległości 1,1 km od Wisły na wysokości 61,8 m n.p.m. Wiatromierz Wilda znajduje się na wysokości 14 m nad gruntem. Jak wynika ze szkicu sytuacyjnego, położenie stacji odpowiada ogólnie przyjętym założeniom i można ją traktować jako reprezentatywną dla obszaru dna kotliny rzecznej. Pewien wpływ na pomiar prędkości i częstości wiatrów NE może mieć jedynie wysokie (20 m) drzewo, rosnące w tym kierunku w odległości około 60-70 m od wiatromierza, które zasłania wspomniany wyżej kierunek. Obserwacje klimatyczne prowadzono na stacji w trzech terminach o godzinie 7, 13, 21 średniego miejscowego czasu słonecznego, a więc w Płocku było to o godzinie 6.41, 12.41, 20.41 czasu urzędowego.

Dane ze stacji Płock-Radziwie zebrano z roczników meteorologicznych za lata 1954-1965 oraz z materiałów Archiwum Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie za lata 1951-1953. Przy opracowaniu opadu wykorzystano dane z posterunków opadowych (rys. 1 i tab. 1).

Ponieważ posterunek w Sikorzu rozpoczął pracę w 1961 r., sprowadzono dane z okresu 1961-1965 do okresu 15-to letniego przyjętego w całym opracowaniu. Dane dotyczące opadów na wymienionych 7 posterunkach zaczerpnięto z zestawień opadowych znajdujących się w Archiwum IMGW.



Rys. 1. Lokalizacja stacji meteorologicznej w Płocku i posterunków opadowych

Tabela 1. Położenie uwzględnionych posterunków opadowych: φ – szerokość geograficzna (N), λ – długość (E), H – wysokość n.p.m

Miejscowość	φ	λ	H (m)
Bodzanów	52°30'	20°02'	102
Duninów Nowy	52°35'	19°29'	55
Gąbin	52°24'	19°44'	102
Gostynin	52°25'	19°28'	90
Łąck	52°28'	19°57'	85
Płock-Radziwice	52°32'	19°40'	62
Sikórz	52°38'	19°35'	100

Klimat Płocka scharakteryzowano przede wszystkim wartościami miesięcznymi (dla terminów i doby). Ponadto opracowano liczby dni charakterystycznych: dla temperatury, opadu, zachmurzenia i wiatru, oraz częstości występowania różnych wartości temperatury, wilgotności względnej, zachmurzenia i opadu. Dodatkowo rozpatrzono czas trwania pór roku, okresu bezprzymrozkowego i zaleganie pokrywy śnieżnej.

Promieniowanie

Promieniowanie całkowite przedstawione w tej pracy zostało obliczone (tab. 2) jako funkcja czasu usłonecznienia według empirycznego wzoru zmodyfikowanego przez Black'a:

$$Q = Q_A(a + bnN^{-1})$$

gdzie: Q – promieniowanie całkowite w cal $\text{cm}^{-2}\text{dzień}^{-1}$, Q_A – promieniowania słonecznego, które dochodziłoby do powierzchni Ziemi przy braku atmosfery (na górnej granicy atmosfery) w tym samym czasie; a , b – współczynniki regresji wyznaczone przez J. Podogrockiego dla każdego miesiąca dla obszaru Polski; n – rzeczywista liczba godzin usłonecznienia, N – astronomiczna długość dnia

Tabela 2. Średnie sumy dobowe promieniowania całkowitego (1951-1965) w cal $\text{cm}^{-2}\text{dzień}^{-1}$

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
60,2	116,4	229,0	319,8	392,0	456,8	419,9	361,5	277,5	156,8	62,1	47,8	241,6

Promieniowanie całkowite wyliczone dla Płocka z teoretycznego wzoru nie odbiega od średniego promieniowania z pomiarów w Polsce Środkowej, które zawiera się w granicach od 220 do 240 cal $\text{cm}^{-2}\text{dzień}^{-1}$. Roczny przebieg sum dziennych promieniowania całkowitego jest bardzo regularny i prawie symetryczny. Minimalne dzienne sumy promieniowania całkowitego przypadają na grudzień – 47,8 cal $\text{cm}^{-2}\text{dzień}^{-1}$, maksymalne na czerwiec – średnio 456,8 cal $\text{cm}^{-2}\text{dzień}^{-1}$, a średnia roczna suma dzienna wynosi 241,6 cal $\text{cm}^{-2}\text{dzień}^{-1}$.

Usłonecznienie

Usłonecznienie zaliczane jest do ważniejszych parametrów meteorologicznych, gdyż wpływa w sposób decydujący na dopływ energii słonecznej do powierzchni Ziemi. Na usłonecznienie, czyli insolację wpływa:

- Długość dnia – czyli szerokość geograficzna i pora roku
- Przezroczystość atmosfery
- Zachmurzenie
- Natężenie promieniowania
- Rzeźba terenu i zakrycie horyzontu

Wspólną cechą wszystkich tych czynników (oprócz ostatniego) jest ich duża zmienność, wskutek czego i usłonecznienie jest parametrem o dużej zmienności.

- Usłonecznienie charakteryzowane jest przez 3 wskaźniki:
- Usłonecznienie możliwe
- Usłonecznienie rzeczywiste
- Usłonecznienie względne

W pracy omówiono usłonecznienie rzeczywiste i względne. Usłonecznienie względne obliczono na podstawie empirycznie sprawdzonego wzoru, wprowadzonego przez Brooks'a, a stosowanego przez Mosby, Gorceżyńskiego i Stenza:

$$S = 100 - n(1 + cn)$$

gdzie: S – średnie usłonecznienie względne (%), n – średnie zachmurzenie nieba (%), c – współczynnik (dla Polski wg W. Zinkiewicza, $c = 0,000252$).

Usłonecznienie rzeczywiste obliczono na podstawie usłonecznienia możliwego i względnego. Usłonecznienie rzeczywiste jest to czas dopływu energii bezpośredniego promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi określony w godzinach na dobę (tab. 3).

Tabela 3. Średnie usłonecznienie rzeczywiste w godzinach (1951-1965)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
1,9	2,6	4,5	5,2	5,9	6,8	6,3	6,0	5,6	4,0	1,6	1,6	4,0

W przebiegu rocznym najmniejszym średnim usłonecznieniem rzeczywistym wynoszącym tylko 1,6 godziny na dobę charakteryzuje się listopad i grudzień, największym czerwiec – 6,8 godziny ze słońcem na dobę. Przebieg taki determinowany jest przede wszystkim astronomiczną długością dnia. Wpływ zachmurzenia uwidacznia się wyraźnie w listopadzie i grudniu, które to mają równe usłonecznienie rzeczywiste, chociaż listopad ma o 1 godzinę dłuższe usłonecznienie możliwe. Nasuwa to przypuszczenie, że miesiąc ten jest miesiącem najbardziej chmurnym, co potwierdza dalsza analiza tego elementu. Wynikiem wpływu zachmurzenia, średnie roczne usłonecznienie rzeczywiste wynosi 4 godziny na dobę.

Usłonecznienie względne oznacza stosunek usłonecznienia rzeczywistego do możliwego, wyrażony w procentach. Usłonecznienie względne najlepiej obrazuje wpływ zachmurzenia na czas usłonecznienia. Trzeba jednak pamiętać, że w pracy tej usłonecznienie względne obliczono wychodząc ze średniej wielkości zachmurzenia (tab. 4).

Tabela 4. Średnie usłonecznienie względne w% (1951-1965)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
23,4	26,4	37,5	37,5	37,5	41,5	38,5	40,5	44,5	37,5	18,3	20,3	33,3

Tabela 5. Średnie usłonecznienie możliwe w godzinach (1951-1965)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
8,3	9,9	11,9	13,9	15,8	16,4	16,3	14,7	12,7	10,7	8,8	7,8	12,0

Usłonecznienie możliwe obliczono z momentów wschodu i zachodu górnej krawędzi Słońca dla szerokości geograficznej $52^{\circ}30'$ i długości geograficznej 21° , przyjmując te dane za wystarczające przybliżenie dla Płocka-Radziwia $\varphi=52^{\circ}32'N$, $\lambda=19^{\circ}40'E$ (tab. 5). Analiza rocznego przebiegu usłonecznienia względnego w Płocku wykazuje, że najniższe wartości przyjmuje ono w listopadzie 18,3%, a najwyższe wartości przybiera na początku jesieni we wrześniu 44,5% – główne maksimum i w lecie – w czerwcu 41,5% – maksimum wtórne.

Porównując te dane ze średnimi wielkościami zachmurzenia zauważa się, iż stanowią one dla siebie przebiegi odwrócone. Tak więc decydujący wpływ na wielkości usłonecznienia względnego ma wielkość zachmurzenia.

Promieniowanie i usłonecznienie jest ze sobą ściśle powiązane. Ogólnie można stwierdzić, że tam, gdzie usłonecznienie jest największe, również i promieniowanie osiąga duże wartości i odwrotnie. Na wielkość obu tych elementów wpływa długość dnia jak i stan zachmurzenia. Wraz z dłuższym dniem wzrastają sumy dzienne promieniowania i usłonecznienie rzeczywiste, aby osiągnąć swoje maksima w czerwcu. Do września oba elementy mają przebieg stosunkowo wyrównany, a następnie rozpoczyna się spadek obu wartości do minimum w grudniu.

Wpływ zachmurzenia na czas usłonecznienia zaznacza się szczególnie od czerwca do listopada, kiedy to usłonecznienie rzeczywiste jest o 2,5 w czerwcu do 5 razy w listopadzie mniejsze od usłonecznienia możliwego, a średnie roczne jest trzykrotnie mniejsze. W okresie zimowym w związku z dużym zachmurzeniem znacznie wzrasta udział promieniowania całkowitego.

Coraz większy wpływ na wielkość promieniowania jak i czas insolacji ma przezroczystość atmosfery. Wpływają na nią, oprócz naturalnego zmętnienia atmosfery, zanieczyszczenia spowodowane działalnością człowieka. Brak bliższych danych uniemożliwia liczbowe zobrazowanie tej sytuacji, jednakże z pewnością można stwierdzić, iż po oddaniu do użytku Mazowieckich Zakładów Rafineryjno-Petrochemicznych w 1964 r. przezroczystość atmosfery uległa znacznemu obniżeniu, co w efekcie powoduje spadek usłonecznienia rzeczywistego.

Według Kratzera zanieczyszczenie powietrza może spowodować zmniejszenie usłonecznienia rzeczywistego aż o 200-230 godzin w ciągu roku.

Średnie sumy promieniowania całkowitego jak i czas insolacji w Płocku nie odbiegają od średnich wartości dla Polski Środkowej co związane jest z położeniem geograficznym Płocka w tym regionie.

Temperatura powietrza

Z analizy przedstawionych charakterystyk (tab. 6-13 i rys. 2) wynika, że najcieplejszym miesiącem dla Płocka i okolic jest – podobnie jak w całym kraju – lipiec, ze średnią temperaturą 18,6°C, a najchłodniejszy luty ze średnią -2,9°C. Miesiące te są również miesiącami, w których występują najwyższe i najniższe średnie temperatury maksymalne i minimalne.

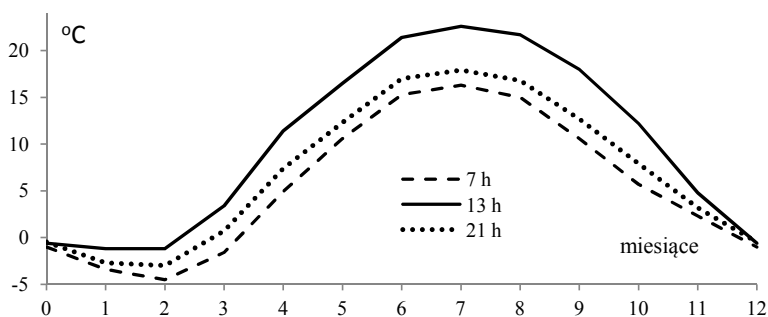
W lipcu notowane są także najwyższe temperatury maksymalne, natomiast najniższe minimalne przypadają nie na luty, lecz na styczeń.

Najczęściej występującymi temperaturami średnimi, maksymalnymi i minimalnymi są temperatury od 0,1°C do 2,0°C.

Roczna amplituda absolutna wynosząca 71,9°C świadczy o bardzo dużej zmienności temperatury powietrza w czasie. W około 116 dniach roku temperatura minimalna spada poniżej 0,0°C, a w 20 dniach poniżej -10,0°C, aż w 70 dniach roku średnia temperatura powietrza jest niższa od 0,0°C, natomiast w 295 dniach wyższa od 0°C. W rezultacie, średnia temperatura powietrza wynosi w Płocku 7,9°C.

Od kwietnia do października można spodziewać się w Płocku 40 dni z temperaturą maksymalną >25°C, od października do marca 42 dni z temperaturą maksymalną <0°C i od listopada do marca 20 dni bardzo mroźnych czyli z temperaturą minimalną <-10°C. Okres przymrozkowi trwa średnio 198 dni od połowy października do początku maja.

Płock charakteryzuje się znacznie korzystniejszymi warunkami termicznymi od panujących przeciętnie w Polsce. W najcieplejszym miesiącu – lipcu – średnia temperatura powietrza jest wyższa o 1,1°C niż średnia w Polsce, w najchłodniejszym – lutym – o 0,3°C, a średnia roczna o 1°C. Podobnie wyższe są temperatury maksymalne (średnio o 0,8°C) i minimalne (średnio o 0,6°C). Mimo wyższych temperatur panujących w Płocku, średnia amplituda dobową temperatury powietrza jest tylko o 0,1°C mniejsza od średniej dla Płocka, lecz w okresie zimowym są one mniejsze aż o 0,9°C (grudzień) co świadczy o znacznie łagodniejszych warunkach termicznych.



Rys. 2. Przebieg roczny temperatury powietrza w Płocku (1951-1965)

W porównaniu z Polską region płocki charakteryzuje się większą – o 12 – liczbą dni ze średnią temperaturą powyżej 0°C i o 9 dni ze średnią temperaturą powyżej 10°C . Ponadto Płock ma większą liczbę dni gorących – o 13 dni i o 6 dni mniej z temperaturą minimalną poniżej 0°C . Nieco większa liczba dni mroźnych – o 4 dni – nie ma wpływu na ogólne warunki termiczne. Tak więc region płocki jest obszarem znacznie cieplejszym od średnich warunków termicznych Polski, co wynika bezpośrednio z ilości otrzymywanej przez ten obszar energii cieplej jak i warunków lokalnych.

Tabela 6. Średnia temperatura powietrza w Płocku ($^{\circ}\text{C}$) w latach 1951-1965

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
7 ^h	-3,4	-4,5	-1,6	4,9	10,6	15,3	16,3	15,0	10,6	5,7	2,3	-1,0	5,9
13 ^h	-1,2	-1,2	3,4	11,4	16,5	21,4	22,6	21,7	18,0	12,2	4,8	-0,6	10,8
21 ^h	-2,7	-3,0	0,7	7,4	12,3	17,0	17,9	16,8	12,7	7,9	3,2	-0,5	7,5
Śr	-2,5	-2,9	0,8	7,8	12,9	17,7	18,6	17,6	13,3	8,4	3,4	-0,3	7,9

Tabela 7. Średnia maksymalna temperatura powietrza w $^{\circ}\text{C}$ (1951-1965)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
0,0	-0,1	5,0	12,9	18,1	23,0	23,9	23,4	19,6	13,6	5,7	1,8	12,2

Tabela 8. Średnia temperatura minimalna przy gruncie i na poziomie 2 m w $^{\circ}\text{C}$ (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Przy gruncie	-5,9	-7,8	-3,1	1,5	5,4	9,9	11,1	9,8	6,7	2,4	-0,1	-3,4	2,2
Poziom 2 m	-5,4	-6,2	-2,8	3,0	7,3	11,7	13,1	12,5	8,8	4,4	0,9	-2,6	3,7

Tabela 9. Średnia dobową amplitudą temperatury powietrza w $^{\circ}\text{C}$ (1951-1965)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
5,4	6,1	7,8	9,9	10,8	11,3	10,8	10,9	10,8	9,2	4,8	4,4	8,5

Tabela 10. Termiczne pory roku i czas ich trwania

Pora roku	Średnia data		Czas trwania
	Początek	Koniec	Dni
Zima	12 XII	11 III	90
Przedwiośnie	12 III	2 IV	22
Wiosna	3 IV	28 V	56
Lato	29 V	2 IX	97
Jesień	3 IX	4 XI	63
Przedzimie	5 XI	11 XII	37

Tabela 11. Średnia liczba dni charakterystycznych (1951-1965)

°C	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
$T_{\max} > 25$				0,8	2,8	9,8	12,9	10,2	3,5	0,1			40,1
$T_{\min} < 0$	25,4	23,5	23,0	6,6	1,0				0,1	4,6	11,0	20,8	116,1
$T_{\max} < 0$	12,7	13,2	5,6							0,1	2,3	7,9	41,7
$T_{\min} < -10$	6,6	7,2	2,6								0,6	3,4	20,4

Tabela 12. Średnie daty wystąpienia pierwszego i ostatniego przymrozku oraz długość okresów przymrozkowego i bezprzymrozkowego (1951-1965)

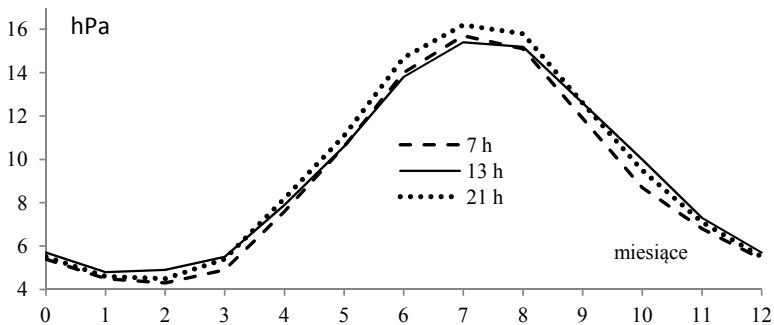
	Data			Przymrozkowe		Bezprzymrozkowe	
	Pierwszy	Ostatni	Średnia	potencjalny	średni	potencjalny	średni
Początek	26.IX.1959	14.XI.1961	17.X	248	198	210	167
Koniec	12.IV.1961	31.V.1951	2.V				

Tabela 13. Ekstrema absolutne temperatury powietrza i amplitudy (°C)

	Max	Data	Min	Data	Amplituda
I	11,2	23.01.1959	-35,3	19.01.1963	46,5
II	12,5	28.02.1959	-27,3	27.02.1963	39,8
III	19,9	23.03.1959	-23,4	1.03.1963	43,3
IV	28,5	23.04.1962	-5,8	3.04.1963	34,3
V	32,1	28.05.1958	-4,3	10.05.1953	36,4
VI	33,6	28.08.1963	2,0	7.06.1958	31,6
VII	36,6	11.07.1959	5,0	1.07.1956	31,6
VIII	35,0	7.08.1952	4,1	24.08.1964	30,9
IX	31,6	7.09.1951	-1,1	26.09.1959	32,7
X	25,3	2.10.1956	-7,5	31.10.1956	32,8
XI	15,1	2.11.1960	-20,2	24.11.1965	35,3
XII	15,4	5.12.1961	-22,1	27.12.1961	37,5
Rok	36,6	11.07.1959	-35,3	19.01.1963	71,9

Wilgotność powietrza

Wartości parametrów: ciśnienie pary wodnej, wilgotność względna i niedosyt wilgotności (rys. 3 i tab. 14-17) charakteryzują dobrze przeciętny stan wilgotności powietrza w Płocku. Roczne przebiegi są zależne od temperatury. I tak np. wzrost ciśnienia pary wodnej od października do marca między godzinami rannymi i południowymi jest skutkiem wzrostu w tym czasie temperatury powietrza, co powoduje wzrost parowania. Letnie minima ciśnienia pary wodnej w godzinach południowych to także skutek wzrostu temperatury powietrza, która sprzyja powstaniu prądów konwekcyjnych wynoszących parę wodną z powierzchni ziemi do wyższych warstw atmosfery. Jesienne wartości ciśnienia pary wodnej są prawie dwukrotnie większe niż wiosenne. Wiąże się to z większym parowaniem nagranych latem powierzchni wód i łąd w połączeniu z utrzymującą się jeszcze intensywną ewapotranspiracją. Wreszcie opady okresu letniego są przecież najintensywniejsze i wpływają na podtrzymanie zwiększonej wilgotności gleby i powietrza w miesiącach jesiennych.



Rys. 3. Przebieg roczny ciśnienia pary wodnej w Płocku (1951-1965)

Są to cechy nie tylko przebiegu ciśnienia pary wodnej, ale także przebiegu wilgotności względnej i niedosytu wilgotności powietrza. Pewnym odstępstwem od tej prawidłowości jest grudniowe maksimum wilgotności względnej powietrza oraz znaczna częstość występowania dużych wilgotności (80-95%) w tym okresie, mimo że grudzień nie jest miesiącem o najniższej temperaturze (jest nim luty). Przypadek ten świadczy o tym, że w omawianym miesiącu – a także podobnie w styczniu i lutym – jest duża zawartość pary wodnej w powietrzu. Być może pochodzi ona z parowania ciepłych zbiorników wodnych (Wisła) lub jest rezultatem zwiększonego zachmurzenia w obrębie Kotliny Płockiej. Jednakże główna przyczyna tego zjawiska jest związana z napływem wilgotnych mas powietrza z Oceanu Atlantyckiego. Wilgotne powietrze polarno-morskie podnosi wilgotność powietrza w okresie jesienno-zimowym i jest ono głównym źródłem wilgoci w okresie wczesno-wiosennym.

Trzeba zauważyć, że praca ta opiera się na danych za okres 1951-1965. W wyniku badań przeprowadzonych w rejonie Włocławka i Płocka po spiętrzeniu wód Wisły w zbiorniku włocławskim stwierdzono, że wilgotność powietrza w tym rejonie uległa znacznemu zwiększeniu – wilgotność względna wzrosła o około 10%, a niedosyt wilgotności zmniejszył się średnio o 2 hPa w stosunku do stanu z okresu poprzedzającego wybudowanie zapory. Jednakże przebiegi roczne zachowały ten sam charakter.

Średnie wartości parametrów wilgotności powietrza dla Płocka i Polski są zbliżone. Ciśnienie pary wodnej jest prawie takie same w ciągu całego roku zarówno w Płocku jak i w Polsce. Jedyne mniejsza średnia wilgotność względna – szczególnie latem oraz większy o 0,3 hPa niedosyt wilgotności powietrza – a w czerwcu aż o 1,4 hPa świadczy o tym, że Płock mimo swego położenia nad Wisłą i w obrębie kotliny rzecznej, jest obszarem suchszym od średnich terenów Polski co związane jest z wyższymi temperaturami jakie panują na obszarze Płocka.

Tabela 14. Średnie ciśnienie pary wodnej w hPa (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
7 ^h	4,5	4,3	4,9	7,6	10,6	14,0	15,7	15,1	11,9	8,7	6,8	5,4	9,1
13 ^h	4,8	4,9	5,5	7,9	10,6	13,8	15,4	15,2	12,6	10,0	7,3	5,7	9,5
21 ^h	4,6	4,5	5,4	8,2	11,1	14,7	16,2	15,8	12,6	9,5	7,1	5,5	9,6
średnia	4,6	4,5	5,3	7,9	10,8	14,2	15,8	15,4	12,4	9,4	7,1	5,5	9,4

Tabela 15. Średnia liczba dni parnych

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
				0,6	5,6	8,7	6,6	1,9				23,4

Tabela 16. Średnia wilgotność względna powietrza w % (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
7 ^h	87	87	86	85	81	80	84	88	91	93	91	89	87
13 ^h	82	79	68	59	57	55	58	60	61	70	82	85	68
21 ^h	85	85	81	78	77	75	78	82	84	87	89	89	82
średnia	85	84	78	74	72	70	73	77	79	83	87	88	79

Tabela 17. Średni niedosyt wilgotności powietrza w hPa (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
7 ^h	0,6	0,6	0,8	1,4	2,6	3,6	3,1	2,2	1,3	0,7	0,7	0,6	1,5
13 ^h	1,1	1,2	2,8	6,5	9,1	12,5	12,3	11,6	8,9	4,6	1,6	1,0	6,1
21 ^h	0,7	0,7	1,3	2,5	3,7	5,1	4,9	3,9	2,6	1,5	0,9	0,7	2,4
średnia	0,8	0,8	1,6	3,5	5,1	7,1	6,8	5,9	4,3	2,3	1,1	0,8	3,3

Zachmurzenie

Z danych (tab. 18-20) wynika, że największe zachmurzenie występuje od listopada do lutego – średnio od 82 do 74%, a najmniejsze od czerwca do września – od 56 do 62% pokrycia nieba. Maksimum zachmurzenia przypada na listopad. W miesiącu tym największa jest także liczba dni pochmurnych – około 20 i najmniejsza liczba dni pogodnych – około 1 dnia. Potwierdza to maksymalna częstość występowania w listopadzie wielkości zachmurzenia – 90-100% (około 18 dni) i najmniejsze prawdopodobieństwo zachmurzenia – poniżej 30%. Podobna zgodność zaznacza się także w grudniu oraz wrześniu. Wrzesień jest miesiącem o najmniejszym zachmurzeniu i o największej liczbie dni pogodnych (poniżej 6 dni) oraz najmniejszej liczbie dni pochmurnych (około 7 dni).

Tak więc jesień jest okresem o bardzo dużej zmienności zachmurzenia. I tak, we wrześniu notuje się zachmurzenie małe i dużą liczbę dni pogodnych, a w listopadzie największe zachmurzenie z maksymalną liczbą dni pochmurnych.

W odróżnieniu od jesieni, miesiące wiosenne wykazują dużą monotonię – średnie zachmurzenie wynosi 63%, jednakową liczbę dni pogodnych (poniżej 4 dni w miesiącu) i pochmurnych (10-12 dni w miesiącu). Podobną monotonię wykazują miesiące letnie i zimowe. Większe zmiany zachmurzenia można zaobserwować jedynie na przełomie kolejnych pór roku. W rezultacie średnie roczne zachmurzenie dla obszaru Płocka wynosi 67%, przy czym w godzinach porannych około 69%, południowych 72% i wieczornych 59% pokrycia nieba. Średnio w ciągu 39 dni w roku w Płocku występuje mgła.

Średnie zachmurzenie w Płocku (67%) jest bliskie średniemu w Polsce (66%), a większe różnice występują w odniesieniu do okresu z największym zachmurzeniem, które jest w Płocku o 3% większe niż średnio w Polsce i maksimum to występuje o 1 miesiąc wcześniej niż średnio w kraju. W związku z tym w Płocku jest mniej dni pogodnych (o 3 dni) niż średnio w kraju, zwłaszcza w okresie zimowym, przy prawie takiej samej liczbie dni pochmurnych. Wyraźną osobliwością Płocka jest znacznie mniejsza – bo, aż o 13 dni – liczba dni z mgłą – zwłaszcza latem, co może być związane z lokalnie ocieplającym wpływem Wisły.

Tabela 18. Średnia wielkość zachmurzenia w% (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
7 ^h	80	80	68	65	62	56	61	60	61	70	85	82	69
13 ^h	79	75	68	70	71	65	69	69	65	69	85	84	72
21 ^h	71	67	54	54	56	57	57	52	41	49	77	74	59
średnia	77	74	63	63	63	59	62	60	56	63	82	80	67

Tabela 19. Średnia liczba dni pogodnych i pochmurnych (1951-1965)

Dni	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Pog.	2,0	1,9	4,6	4,5	2,6	2,8	3,2	2,5	5,4	3,4	1,2	1,7	35,8
Poch.	17,6	14,9	12,3	10,3	10,0	7,5	8,8	7,7	7,5	10,8	19,9	19,1	146,4

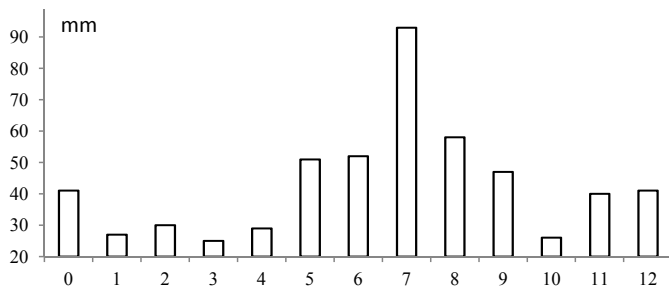
Tabela 20. Średnia liczba dni z mgłą (1951-1965)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
3,8	4,0	2,1	1,4	1,6	0,8	0,9	1,1	3,9	7,8	6,1	5,7	39,2

Opady atmosferyczne

Z przedstawionych danych liczbowych (tab. 21-28, rys. 4) wynika, że największe sumy opadów występują w lecie, najmniejsze na przełomie zimy i wiosny. Opady jesienne są nieco większe od wiosennych. Największa suma miesięczna przypada na lipiec – 93 mm, najniższa na marzec – 25 mm i październik – 26 mm. Wystąpienie minimów w marcu i październiku związane jest ze stosunkowo słabą aktywnością frontów atmosferycznych w tym czasie. Wysokie sumy miesięczne okresu letniego spowodowane są występowaniem opadów silnych i bardzo silnych, co potwierdza analiza częstości dobowych sum opadów.

Najczęściej opady występują od grudnia do lutego (14-15 dni w miesiącu), jednakże z uwagi na to, że z reguły są to opady słabe i bardzo słabe, sumy miesięczne są niewysokie (30-40 mm). Najmniej dni z opadem notuje się od czerwca do października (10-12 dni w miesiącu). Jednocześnie w okresie tym występuje największa liczba dni z opadem umiarkowanym, umiarkowanie silnym i silnym, co w konsekwencji doprowadza do wysokich sum miesięcznych. Tak więc o wysokości opadu w danym miesiącu decyduje nie ogólna częstość opadu, lecz liczba dni z opadem powyżej 1,0 mm w ciągu doby.



Rys. 4. Przebieg roczny średnich sum opadów atmosferycznych w Płocku (1951-1965)

Średnio w ciągu 22 dni od października do kwietnia zdarza się opad śnieżny. Pokrywa śnieżna zalega średnio w ciągu 60 dni, a średnia grubość w czasie jej zalegania wynosi 4,5 cm. Również w ciągu 22 dni od kwietnia do grudnia można spodziewać się w Płocku burzy.

W ciągu 152 dni, Płock otrzymuje średnio 519 mm opadu, podczas gdy średnio w Polsce w ciągu 160 dni spada 634 mm opadu. Tak więc Płock otrzymuje znacznie mniej opadu, mimo tylko nieznacznie mniejszej liczby dni z opadem. Na taki stan rzeczy wpływa przede wszystkim położenie geograficzne Płocka. Jak już wspomniano, stacja Płock-Radziwie zlokalizowana jest na dnie Kotliny Płockiej. Powoduje to zmniejszenie opadu o około 10 mm rocznie w stosunku do brzegowych partii Kotliny i o około 70 mm w stosunku do otaczającej wysoko wyniesionej (150 m n.p.m.) Wysoczyzny Płońskiej. Niskie opady spowodowane są także tym, że Kotlina Płocka leży w zasięgu cienia opadowego garbu Pojezierza Pomorskiego. Fakt znacznie niższych opadów w Płocku w porównaniu z Polską przy jednocześnie podobnej liczbie dni z opadem może świadczyć o zmniejszeniu opadów konwekcyjnych nad szeroką doliną rzeczną.

Tabela 21. Średnie sumy opadów w mm (1951-1965)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
27	30	25	29	51	52	93	58	47	26	40	41	519

Tabela 22. Średnie sumy opadów na wybranych stacjach w mm (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Bodzanów	39	36	29	39	57	59	97	56	51	32	48	49	592
Sikórz*	34	36	25	30	50	49	95	64	46	26	39	39	533
Duninów Nowy	25	28	25	27	49	52	77	54	44	26	36	36	479
Płock-Radziwie	27	30	25	29	51	52	93	58	47	26	40	41	519
Łąck	30	33	25	34	52	53	88	57	46	23	38	43	522
Gostynin	31	31	25	28	48	61	92	61	44	25	40	41	527
Gąbin	32	34	29	31	50	58	87	56	47	24	43	43	534

* dane z okresu 1961-1965 sprowadzono do okresu 1951-1965 na podstawie stacji Płock-Radziwie

Tabela 23. Maksymalne sumy dobowe opadów (mm) i daty (1900+) w latach (1951-1965)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
13,3	12,4	13,9	17,4	83,8	29,0	61,5	29,1	20,6	32,4	16,1	23,5	83,8
19	29	23	28	14	8	8	7	18	6	11	15	-
52	56	51	65	62	61	55	58	62	56	61	52	62

Tabela 24. Średnia liczba dni z opadem charakterystycznym (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
≥0,1	14,3	14,8	11,0	10,9	13,1	10,3	14,4	12,6	10,8	10,2	14,6	15,2	152,2
≥1,0	7,5	8,4	6,0	7,9	9,4	7,8	10,6	9,7	8,0	6,5	9,0	9,4	100,2
≥10,0	0,2	0,2	0,3	0,3	0,9	1,1	3,2	1,6	1,0	0,4	0,6	0,7	10,5

Tabela 25. Średnia liczba dni z opadem deszczu i śniegu (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Deszcz	8,3	9,0	7,7	10,8	13,1	10,3	14,4	12,6	10,8	9,5	12,5	11,5	130,5
Śnieg	6,0	5,8	3,3	0,1						0,7	2,1	3,7	21,7
Opad	14,3	14,8	11,0	10,9	13,1	10,3	14,4	12,6	10,8	10,2	14,6	15,2	152,2

Tabela 26. Daty ustalania się i zaniku pokrywy śnieżnej oraz okres jej zalegania

	Data			Okres z pokrywą śn.	
	najwcześniejsza	najpóźniejsza	średnia	potencjalna	średnia
Ustalenie	9 XI 1952	14 I 1952	4 XII	143	110
Zanik	23 II 1959	25 IV 1955	23 III		

Tabela 27. Średnia liczba dni z pokrywą śnieżną i grubość pokrywy śnieżnej w cm (1951-1965)

Pokrywa śnieżna	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
L. dni	17,5	17,9	8,8	0,7							2,3	12,9	60,1
Grubość (cm)	6	7	5	1							4	4	4,5

Tabela 28. Średnia liczba dni z burzą oraz gradem i deszczem lodowym (1951-1965)

Liczba dni	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Burze*				1,2	3,6	5,0	4,9	4,2	1,5	0,6	0,4	0,3	21,7
Grad i deszcz lodowy	0,1	0,1	0,2	0,7	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	2,7

*Średnia z 14 lat (bez 1956 r.)

Kierunek i prędkość wiatru

Z obliczeń (tab. 29-32) wynika, że w ciągu całego roku w Płocku i okolicy dominują wiatry W oraz SW, które osiągają także największe prędkości. Najczęściej obserwuje się wiatry słabe i bardzo słabe, przy czym w okresie zimowym następuje spadek częstości ich występowania, przy wyraźnym zwiększonym udziale wiatrów silnych i bardzo silnych.

W okresie wiosennym (marzec-maj) obserwuje się zwiększenie udziału wiatrów N i NE oraz E, co związane jest z częstymi w tym okresie wyżami nad obszarem Europy Wschodniej. Najbardziej w tym okresie pojawiają się wiatry N mimo zwiększonej częstości i wiatry S, przy czym wyraźnie zaznacza się przewaga kierunku N nad S. Natomiast w październiku i listopadzie wzrasta udział wiatrów E i SE.

Na uwagę zasługuje stosunkowo duży udział pogody bezwietrznej – średnio w 14,2% roku, przy czym w poszczególnych miesiącach waha się on od 11,6% obserwacji w styczniu do 19,4% (sierpień, wrzesień). Na podstawie ukształtowania powierzchni terenu, a zwłaszcza przebiegu Kotliny Płockiej, można wysunąć przypuszczenie, iż udział wiatrów SE i NW oraz ich prędkości mogą być tu zwiększone. Brak materiału porównawczego z innych stacji uniemożliwia rozpatrzenie w jakim stopniu położenie stacji w dolinie rzecznej ma wpływ na rozkład częstości kierunków wiatru.

Tabela 29. Częstość (%) występowania kierunków wiatru w terminach 7^h, 13^h, 21^h (1951-1965)

	h	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
N	7	2,1	4,6	5,8	7,2	6,0	3,6	3,2	1,8	1,1	1,2	4,1	1,9	3,6
	13	3,0	5,9	7,1	8,7	8,7	5,7	6,6	3,4	4,1	1,4	3,4	2,8	5,1
	21	2,5	3,9	5,3	9,3	9,9	6,7	6,3	3,1	1,2	1,5	3,6	2,2	4,6
	śr.	2,5	4,8	6,1	8,4	8,2	5,3	5,4	2,8	2,1	1,4	3,7	2,3	4,4
NE	7	4,8	5,2	9,5	4,8	6,4	5,1	4,2	2,5	2,0	1,9	3,9	3,8	4,5
	13	4,5	4,8	9,5	7,1	8,1	6,3	3,8	2,8	2,1	2,2	3,6	3,8	4,9
	21	4,9	5,6	7,7	5,3	8,4	5,7	4,5	2,4	1,4	2,5	2,8	3,6	4,6
	śr.	4,7	5,2	8,9	5,7	7,6	5,7	4,2	2,6	1,8	2,2	3,4	3,7	4,7
E	7	8,6	11,0	17,0	11,0	12,0	7,6	6,0	5,5	9,6	11,0	12,0	7,6	9,8
	13	8,3	11,0	17,0	11,0	11,0	8,2	4,5	5,3	6,2	11,0	11,0	8,0	9,3
	21	9,0	11,0	19,0	11,0	8,1	6,9	4,2	4,4	7,8	12,0	13,0	10,0	9,7
	śr.	8,6	11,0	18,0	11,0	10,0	7,6	4,9	5,1	7,9	11,0	12,0	8,6	9,6
SE	7	14,0	13,0	16,0	19,0	10,0	14,0	8,4	12,0	13,0	17,0	20,0	18,0	15,0
	13	13,0	15,0	17,0	16,0	10,0	11,0	6,1	11,0	13,0	15,0	23,0	17,0	14,0
	21	13,0	15,0	14,0	14,0	5,6	8,0	6,1	8,0	8,8	14,0	21,0	17,0	12,0
	śr.	14,0	14,0	16,0	16,0	8,7	11,0	6,9	10,0	12,0	15,0	21,0	18,0	14,0
S	7	8,5	5,5	3,5	5,6	5,7	9,1	7,4	8,7	6,3	7,7	6,8	6,9	6,8
	13	8,2	8,3	5,9	11,0	7,4	11,0	11,0	9,6	8,4	12,0	8,2	12,0	9,3
	21	7,1	2,8	3,0	3,9	3,3	7,0	5,3	4,8	4,1	5,6	6,7	7,4	5,1
	śr.	7,9	5,5	4,1	6,8	5,5	8,9	7,7	7,7	6,3	8,5	7,2	8,6	7,1
SW	7	20,0	14,0	8,0	10,0	12,0	14,0	17,0	16,0	15,0	15,0	16,0	18,0	15,0
	13	23,0	14,0	10,0	12,0	13,0	12,0	20,0	20,0	24,0	21,0	21,0	20,0	18,0
	21	18,0	13,0	7,6	7,3	10,0	9,2	12,0	13,0	14,0	12,0	13,0	18,0	12,0
	śr.	20,0	14,0	8,5	9,9	12,0	12,0	16,0	16,0	18,0	16,0	17,0	19,0	15,0
W	7	25,0	23,0	21,0	18,0	24,0	25,0	33,0	30,0	27,0	20,0	18,0	24,0	24,0
	13	28,0	27,0	21,0	18,0	22,0	26,0	32,0	37,0	29,0	26,0	20,0	25,0	26,0
	21	25,0	25,0	16,0	14,0	19,0	20,0	23,0	23,0	21,0	20,0	19,0	22,0	21,0
	śr.	26,0	25,0	19,0	17,0	22,0	24,0	29,0	30,0	26,0	22,0	19,0	24,0	24,0
NW	7	4,1	5,9	4,9	9,8	13,0	12,0	9,2	4,9	6,1	3,1	4,3	4,5	6,8
	13	6,0	9,8	8,6	15,0	20,0	19,0	15,0	9,3	10,0	8,2	5,1	5,6	11,0
	21	4,8	8,0	8,2	10,0	11,0	12,0	9,6	4,3	6,9	4,8	3,2	4,0	7,2
	śr.	5,0	7,9	7,2	12,0	14,0	14,0	11,0	6,2	7,7	5,4	4,2	4,7	8,3
C	7	13,0	17,0	14,0	15,0	10,0	9,6	13,0	19,0	21,0	24,0	16,0	15,0	16,0
	13	6,8	4,3	3,0	0,3	1,0	1,3	1,5	1,7	2,4	2,8	5,1	6,4	3,0
	21	15,0	17,0	19,0	25,0	25,0	25,0	29,0	37,0	35,0	28,0	18,0	16,0	24,0
	śr.	12,0	13,0	12,0	13,0	12,0	12,0	15,0	19,0	19,0	18,0	13,0	13,0	14,0

Tabela 30. Średnia prędkość wiatru w m/s (1951-1965)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
4,0	3,7	3,8	3,3	3,2	3,1	2,9	2,7	3,1	3,0	3,6	3,7	3,3

Trzeba także pamiętać, że obecna sytuacja anemometryczna uległa pewnym zmianom w wyniku spiętrzenia wód Wisły we Włocławku w 1970 r.

Jak wynika z obserwacji wzrosła częstość wiatru powyżej 4 m/s. Wzrost ten dotyczy zwłaszcza obszarów położonych bezpośrednio w sąsiedztwie zbiornika wodnego, a więc również i Płocka. Zaobserwowano także spadek liczby cisz i wiatrów słabych oraz bardzo słabych.

Częstość kierunków i średnia prędkość wiatru w Płocku są takie same jak przeciętne w Polsce, przy jednocześnie zwiększonej liczbie dni z pogodą bezwietrzną – o około 6 dni i mniejszej, o 12, liczbie dni z wiatrem silnym, co szczególnie wyraźnie zaznacza się w porze zimowej.

Tabela 31. Średnie roczne częstości wiatrów o różnej prędkości z kierunków w % (1951-1965)

m/s	7 ^h									
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Σ	C
1-2	1,4	1,9	3,5	6,6	4,4	6,4	9,0	2,8	36,0	15,7
3-5	1,4	1,9	4,6	6,6	2,0	5,2	9,6	3,0	34,3	
6-7	0,4	0,6	1,0	0,8	0,2	1,6	2,7	0,6	7,9	
8-10	0,1	0,1	0,5	0,3	0,2	1,0	2,0	0,4	4,6	
11-15	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2	0,7	0,1	1,2	
≥ 16						0,1	0,2	0,0	0,3	
13 ^h										
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Σ	C
1-2	1,5	1,4	2,0	3,6	3,6	3,5	5,1	2,7	23,4	3,0
3-5	2,5	2,8	5,0	7,5	4,5	8,2	10,6	5,8	46,9	
6-7	0,6	0,5	1,5	1,9	0,8	3,1	5,1	1,4	14,9	
8-10	0,3	0,2	0,7	0,9	0,3	2,2	3,9	0,9	9,4	
11-15	0,1		0,1	0,1	0,0	0,4	1,0	0,1	1,8	
≥ 16			0,0		0,0	0,2	0,3	0,0	0,5	
21 ^h										
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Σ	C
1-2	1,8	1,8	3,6	5,2	3,3	5,4	8,5	3,2	32,8	24,1
3-5	2,2	2,2	4,2	5,0	1,5	4,3	7,0	2,9	29,3	
6-7	0,6	0,4	1,2	1,1	0,2	1,2	2,1	0,6	7,4	
8-10	0,1	0,1	0,5	0,3	0,2	1,0	1,9	0,4	4,5	
11-15	0,1		0,1	0,1	0,0	0,2	0,4	0,1	1,0	
≥ 16				0,0		0,1	0,3	0,0	0,4	

Tabela 32. Średnia liczba dni z wiatrem silnym i bardzo silnym (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
> 10 m/s	3,8	2,9	3,6	1,9	1,8	1,1	0,9	1,1	2,2	1,9	2,7	3,8	27,7
≥ 16 m/s	1,3	0,7	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,7	0,3	4,6

Zakończenie

Klimat Płocka i regionu płockiego można zaliczyć do względnie ciepłych, zwłaszcza latem. Średnia temperatura powietrza jest o 1°C wyższa od średniej dla całego kraju i wynosi 7,9°C. Region płocki położony jest w znacznej odległości od pływów Oceanu Atlantyckiego i Morza Bałtyckiego, w związku z czym nad obszarem tym dominują masy powietrza polarnomorskiego starego lub kontynentalnego. Wpływ tych mas na warunki termiczne zależy od pory roku, a szczególnie uwidacznia się w porze zimowej i letniej. Potwierdzeniem tego stanu rzeczy jest różnica między średnią temperaturą maksymalną najcieplejszego miesiąca, a średnią minimalną najchłodniejszego, która wynosi 30,1°C. Absolutny zakres wahań temperatury osiąga w Płocku 71,9°C.

Dla lepszego zobrazowania korzystnych warunków termicznych regionu Płockiego uwzględniono szereg innych wskaźników. I tak np. okres przymrozkowy na poziomie 2 m nad gruntem trwa od połowy października do pierwszych dni maja (okres bezprzymrozkowy trwa średnio 167 dni). Dni mroźne występują od października do marca, średnio w 42 dniach tego okresu. Dni bardzo mroźne zdarzają się średnio w 20 dniach od listopada do marca. Dni gorących można spodziewać się w Płocku w 40 dniach. Występują one od kwietnia do października, lecz największa ich częstość przypada na miesiące letnie a zwłaszcza na lipiec i sierpień.

Pod względem wilgotności powietrza region płocki nie różni się od pozostałych obszarów Polski. Średnia roczna wilgotność względna wynosi 79%. W przebiegu rocznym tego elementu zaznacza się jednak pewna osobliwość. Minimum roczne wilgotności przypada na czerwiec (70%), podczas gdy na pozostałym obszarze kraju w maju. Podobna sytuacja występuje odnośnie niedosytu wilgotności, której maksimum 7,1 hPa występuje w Płocku w czerwcu, podczas gdy średnio w Polsce ma ono miejsce w sierpniu, a wtórne w czerwcu, i jest ono znacznie niższe. Wskazuje to, że Płock jest obszarem suchszym od przeciętnego obszaru Polski, co wynika bezpośrednio z wyższych temperatur panujących w Płocku. Może to również świadczyć o większym kontynentalizmie klimatu tego terenu. Podobne uwagi odnoszą się także do zachmurzenia. Średnie roczne zachmurzenie wynosi 67%, minimalne 56% we wrześniu, a maksimum przypada na listopad 82% (w Polsce na grudzień).

Opad atmosferyczny jest elementem bardzo zmiennym tak w czasie jak i w przestrzeni. Można to zaobserwować już na tak małym obszarze jak Płock i region płocki. W ciągu 1552 dni z opadem było 519 mm opadów w Płocku i od 480 do 535 mm w regionie płockim. W przebiegu rocznym wyróżnia się lato, a zwłaszcza lipiec z najwyższymi sumami (Płock 93 mm). Najmniej obfite opady przypadają w Płocku na marzec 25 mm i październik 26 mm.

Ujemne temperatury w okresie zimowym powodują zaleganie pokrywy śnieżnej, która może utrzymywać się w Płocku od początku grudnia do trzeciej dekady marca, a przeciętnie trwa w tym okresie 60 dni. Dni z burzą jest średnio 22.

Częstość występowania poszczególnych kierunków wiatru na terenie Płocka zgodna jest z cechą całej strefy szerokości umiarkowanej, w której to strefie przeważają wiatry zachodnie (38,2% W i SW). Kierunki wschodnie i południowe dominują w marcu i listopadzie co związane jest z przewagą pogód wyzowych w Polsce w tym czasie, a będących rezultatem aktywności wyżu azjatyckiego. Najrzadziej obserwowane są wiatry południo-

we, szczególnie w porze letniej. Cisze notuje się podczas 14% obserwacji. Wiatry wiejące nad Płockiem charakteryzują się niedużymi prędkościami – średnio 3,3 m/s. W przebiegu rocznym dominują wiatry słabe i bardzo słabe, a w okresie zimowym zaznacza się wzrost udziału wiatrów silnych i bardzo silnych, które zdarzają się w ciągu roku odpowiednio w 28 dniach i 5 dniach. Największe prędkości osiągają wiatry najczęstsze, a więc wiatry W, a następnie SW.

7.2.4. Związki korelacyjne parametrów meteorologicznych w Płocku (1951-1965)

Autor: Helena SIEREDZIŃSKA

Opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA

Cel pracy

Głównym celem pracy jest określenie zależności temperatury powietrza od innych elementów meteorologicznych na terenie Płocka.

Najpierw scharakteryzowano zmiany roczne poszczególnych elementów meteorologicznych. Istotne są zależności temperatury powietrza: średniej (T), maksymalnej (T_{\max}) i minimalnej (T_{\min}) od innych zmiennych, określone równaniami prostych regresji. Ponadto zbadano zależność T , T_{\max} , T_{\min} od prędkości wiatru (v), wilgotności względnej (f) i opadów atmosferycznych (O) z zastosowaniem równań regresji wielokrotnej. W obydwu przypadkach zależność określono w sposób ilościowy, wyznaczając równania prostych i hiperpłaszczyzn regresji oraz współczynniki korelacji.

Opracowanie ma znaczenie poznawcze, jak i praktyczne zwłaszcza przy prognozowaniu parametrów meteorologicznych, determinujących charakter zjawiska. Może być wykorzystywana w takich dziedzinach życia gospodarczego jak rolnictwo, budownictwo i komunikacja. Dla zbadania cech termicznych klimatu Płocka wzięto pod uwagę wyniki obserwacji ze stacji Płock-Radziwie za okres 1951-1965. Przy czym materiały z pierwszych trzech lat (1951-1953) pochodzą z Archiwum Państwowego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego, pozostałe dwa wzięto z Roczników Meteorologicznych (1954-1965) opublikowanych przez PIHM.

W pracy badano takie parametry meteorologiczne jak: temperatura średnia, minimalna, maksymalna, maksimum absolutne temperatury, minimum absolutne temperatury, ciśnienie atmosferyczne, prędkość wiatru, wilgotność względna, niedosyt wilgotności, zachmurzenie, suma opadów i opad maksymalny. Ich średnie wartości i odchylenia standardowe w latach 1951-1965 zestawiono w tabelach 1 i 2.

Tabela 1. Średnie wartości parametrów meteorologicznych w Płocku w latach 1951-1965 w półroczach: chłodnym: (X-III), ciepłym (IV-IX) i roku (I-XII)

Parametry meteorologiczne	X-III	IV-IX	Rok
Ciśnienie atmosferyczne (hPa)	1013,5	1013,5	1013,5
Średnia temperatura (°C)	0,9	14,9	7,9
Max. temperatura (°C)	4,02	20,1	12,2
Min. temperatura (°C)	-2,3	9,8	3,7
Max. absol. temp. (°C)	11,2	28,5	36,6
Min. absol. temp. (°C)	-10,8	3,3	-35,3
Średnia wilgotność względna (%)	83,9	74,0	79,0
Niedosyt wilgotności (hPa)	1,2	5,4	3,3
Zachmurzenie	7,3	6,0	6,7
Suma opadów (mm)	30,3	55,1	517,1
Maksymalny opad (mm)	8,4	17,4	83,8
Prędkość wiatru (m/s)	3,6	3,0	3,3

Tabela 2. Odchylenia standardowe parametrów meteorologicznych w Płocku (1951-1965)

Parametry	Półroczna	
	X-III	IV-IX
Ciśnienie atmosferyczne (hPa)	4,1	3,7
Średnia temperatura (°C)	3,28	3,21
Max. temperatura (°C)	2,01	4,39
Min. temperatura (°C)	4,78	2,92
Max. absol. temp (°C)	5,45	3,90
Min. absol. temp. (°C)	8,34	4,09
Średnia wilgotność względna (%)	3,48	5,39
Niedosyt wilgotności (hPa)	0,65	1,81
Zachmurzenie	1,22	1,52
Suma opadu (mm)	36,87	35,67
Maksymalny opad (mm)	5,12	12,52
Prędkość wiatru (m/s)	0,77	0,58

Zmiany roczne temperatury powietrza

Ze względu na położenie Słońca nad horyzontem i czas trwania usłonecznienia, najwyższe temperatury powietrza obserwuje się w miesiącach letnich, a najniższe w miesiącach zimowych (tab.3 i 4). Najcieplejszym miesiącem w Płocku podobnie jak i w całej Polsce jest lipiec (18,6°C), najchłodniejszym zaś luty -2,9°C. Miesiące te są również miesiącami, w których występują najwyższe i najniższe średnie temperatury maksymalne lipiec 23,0°C i minimalne luty -6,2°C.

W lipcu notowane są również najwyższe absolutne temperatury maksymalne – maksimum absolutne zanotowano 11 lipca 1959 r. i wyniosło ono 36,6°C, a najniższe minimum przypadają jednak nie na luty, lecz styczeń – minimum absolutne wynosi -35,3°C (19 styczeń 1963 r). Tak więc absolutna amplituda wynosi 71,9°C. Na terenie Płocka najczęściej występują temperatury średnie od 0,1°C do 2,0°C, stanowią one około 10% notowanych wartości w roku. W dniach 116 temperatura minimalna spada <0,0°C, w 20 dniach <-10°C i aż w 70 dniach średnia temperatura jest niższa od 0°C.

Pierwszy przymrozek notowany jest 17 X., a ostatni 2 V, okres bezprzymrozkowy wynosi średnio 167 dni, a potencjalny 210 dni. Przeciętną datę początku i końca termicznej pory roku obliczono wg wzorów zaproponowanych przez Gumińskiego.

Tabela 3. Liczba dni charakterystycznych

°C	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
$T_{max} > 25$				0,8	2,8	9,8	12,9	10,2	3,5	0,1			40,1
$T_{min} < 0$	25,4	23,5	23,0	6,6	1,0				0,1	4,6	11,0	20,8	116,1
$T_{max} > 0$	12,7	13,2	5,6							0,1	2,3	7,9	41,7
$T_{min} < -10$	6,6	7,2	2,6								0,6	3,4	20,4

Tabela 4. Termiczne pory roku i czas trwania

Pora roku	data		Dni
	początku	końca	
Przedwiośnie	12III	2 IV	22
Wiosna	3IV	28 V	56
Lato	29V	2 IX	97
Jesień	3IX	4 XI	63
Przedzimie	5XI	11 XII	37
Zima	12XIII	11 III	90
		Σ	365

Należy zauważyć (tab. 4), że termiczne lato trwa 97 dni, a zima – 90 dni.

Zmiany roczne wilgotności powietrza

Roczne przebiegi parametrów charakteryzujących wilgotność powietrza są bardzo uzależnione od temperatury powietrza i dla przykładu wzrost niedosytu wilgotności od marca do października jest skutkiem temperatury, której wzrost powoduje wzrost parowania. Jesienne wartości niedosytu wilgotności są większe od wiosennych prawie dwukrotnie. Jest to też wynikiem większego parowania nagranych latem powierzchni wód i łądów oraz najintensywniejszych w tym okresie opadów atmosferycznych. Średni niedosyt wilgotności dla Płocka wynosi 3,3 hPa, przy czym waha się on od 7,1 hPa w czerwcu do 0,8 hPa, w grudniu.

Roczny przebieg wilgotności względnej jest odwrotny od przebiegu niedosytu wilgotności, czy też temperatury. Najwyższe wartości przypadają na miesiące zimowe, a najniższe na letnie. Średnia wilgotność względna wynosi 79%, a zakres jej wahań kształtuje się od 88% w grudniu do 70% w czerwcu. Wysokie wartości wilgotności powietrza w Płocku są spowodowane przez dominujący napływ wilgotnych mas powietrza z nad Atlantyku. Podnosi ono wilgotność w okresie jesienno-zimowym, w okresie wczesno-wiosennych jest głównym źródłem wilgoci.

Zmiany roczne zachmurzenia

Największe zachmurzenie występuje od listopada do lutego z maksimum w listopadzie – 82%. W miesiącu tym jest także największa liczba dni pochmurnych około 20 i najmniejsza liczba dni pogodnych około 1 dnia. W ciągu 18 dni listopada zachmurzenie wynosi 90-100%, a najmniejsze prawdopodobieństwo zachmurzenia jest 30%.

Najmniejsze zachmurzenie występuje w okresie od czerwca do września z minimum we wrześniu – 56%. W miesiącu tym jest największa liczba dni pogodnych około 6 i najmniejsza dni pochmurnych 7 dni. Średnie zachmurzenie dla Płocka wynosi 67%.

Jesień jest najbardziej zróżnicowana pod względem zachmurzenia, bowiem we wrześniu notowane jest roczne minimum zachmurzenia, a w listopadzie maksimum.

Wiosną element ten nie wykazuje większych różnic z miesiąca na miesiąc.

Zmiany roczne opadów atmosferycznych

Największe opady występują w lecie z maksimum w lipcu 93 mm, najniższe zaś na przełomie zimy i wiosny z minimum w marcu 25 mm (w październiku 26 mm, styczniu

27 mm). Występowanie minimów w marcu i październiku związane jest ze stosunkowo małą aktywnością frontów atmosferycznych, a maksymalne opady w lecie związane są z opadami frontalnymi powiększonymi przez opady konwekcyjne.

Średni roczny opad dla Płocka wynosi 519 mm. Najczęściej opad występuje w grudniu do lutego (14-15 dni w miesiącu), ale jest to opad słaby i bardzo słaby, rzędu 30-40 mm. Najmniej dni z opadem obserwuje się od czerwca do października (12-10 dni), z tym że są to opady silne i największe.

Zmiany roczne kierunku i prędkości wiatru

Średnia prędkość wiatru dla Płocka wynosi 3,3 m/s. Maksymalne prędkości wiatru są w styczniu 4 m/s, a minimalne w sierpniu 2,7 m/s. W ciągu całego roku w Płocku dominują wiatry W i SW (38% wszystkich obserwowanych wiatrów), które osiągają także największe prędkości tzn. > 16 m/s (oprócz sierpnia). Najczęściej są spotykane wiatry słabe 3-5 m/s (37%) i bardzo słabe 1-2 m/s (31%), przy czym w okresie zimowym częstość ich występowania zmniejsza się przy wyraźnie zwiększonym udziale wiatrów silnych i bardzo silnych. Najrzadziej występują wiatry N, NE 14,4% i 4,6%. W okresie od marca do maja zwiększa się udział wiatrów N i NE oraz E, co związane jest z występowaniem w tym okresie wyżów nad obszarem Europy Wschodniej. Najrzadziej pojawiają się wiatry N i S, przy czym przewaga jest wiatrów N nad S. w październiku i listopadzie wzrasta udział wiatrów E i SE. Przebieg Kotliny Płockiej zwiększa przypuszczalnie udział wiatrów SE i NW oraz być może, że i zwiększa ich prędkość. Średnio w roku notuje się 28 dni z wiatrem silnym oraz 5 dni z wiatrem bardzo silnym.

Porównanie dystrybuant: empirycznej i normalnej

Mając rozkłady gęstości prawdopodobieństwa $f(z)$, wyznaczono dystrybuanty empiryczne poszczególnych elementów ze wzoru:

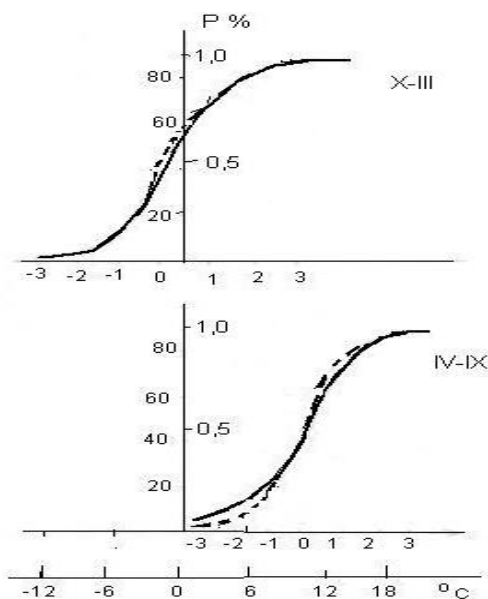
$$P(z \leq z_k) = \sum_{j=1}^k f(z_j)$$

Wyniki obliczeń przedstawiono na wykresach (rys. 1). Każdy parametr meteorologiczny charakteryzują dwie krzywe rozkładu dystrybuanty w półroczu chłodnym i ciepłym, wykreślone w tej samej skali. Linie te różnią się zarówno położeniem, jak i kształtem, wszystkie jednak mają punkty przegięcia w pobliżu z_{sr} .

Ponadto porównano dystrybuanty empiryczne z teoretycznymi dla rozkładu normalnego, korzystając odpowiednich tablic statystycznych.

$$P(z \leq z_0) = \int_{-\infty}^{z_0} f(z) dz$$

Porównania dokonano dla elementów meteorologicznych, wyodrębniając półroczna chłodne i ciepłe. Linia ciągła to dystrybuanty empiryczne, linia przerywana to dystrybuanty rozkładu normalnego.



Rys. 1. Empiryczny i normalny rozkład prawdopodobieństwa temperatury minimalnej T_{\min}

Skala dolna odpowiada zmiennej standaryzowanej

$$z' = (z - z_{\text{sr}})s^{-1},$$

gdzie: z_{sr} – średnia arytmetyczna, s – odchylenie standardowe

Prawie wszystkie wykresy dystrybuanty empirycznej $P(z)$ mieszczą się w przedziale $-3 < z' < 3$, co jest cechą charakterystyczną rozkładu normalnego.

Najlepsza zgodność między rozkładami empirycznymi i normalnymi zaznacza się w przypadku temperatury powietrza (w półroczu chłodnym), zwłaszcza temperatury minimalnej (rys. 1). Rozkłady temperatury minimalnej, maksimum absolutnego temperatury i minimum absolutnego temperatury w Płocku w półroczu chłodnym można uważać za normalne. Dotyczy to również półroczu ciepłego, z tym że w porównaniu z chłodnym rozbieżność między rozkładami jest większa. Podobnie jest w przypadku średniej wilgotności względnej i niedosytu wilgotności.

Świadczy to, że w okresie 15-letnim, zróżnicowanie wartości tych parametrów meteorologicznych jest dość przypadkowe, a same elementy można uważać za zmienne losowo.

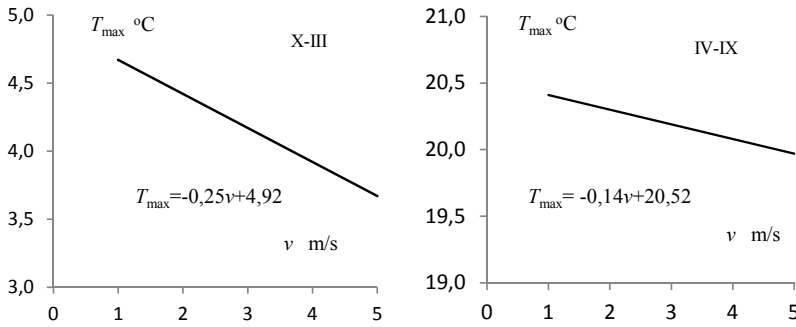
Współzależność parametrów meteorologicznych

Wyznaczono równania prostych regresji temperatury powietrza (y): średniej (T), maksymalnej (T_{\max}), minimalnej (T_{\min}) względem innych zmiennych (x):

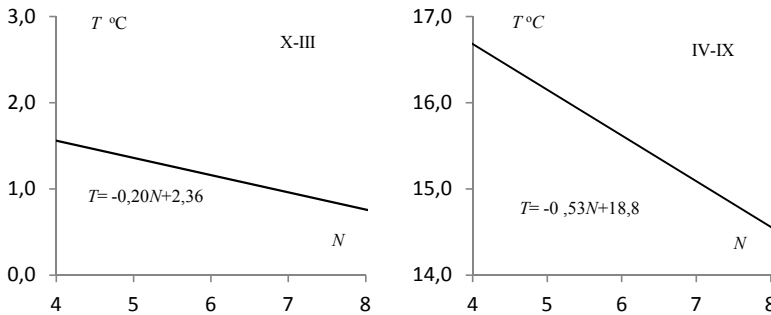
$$y = ax + a_0, \quad a = S_{xy}/S_x^2, \quad a_0 = y_{\text{sr}} - ax_{\text{sr}}$$

gdzie: S_{xy} – kowariancja zmiennych x, y ; S_x^2 – wariancja x (rys. 2 i 3)

Współczynnik korelacji r między zmiennymi x, y obliczano z wzoru $r = S_{xy}/S_x S_y$.



Rys. 2. Proste regresji temperatury maksymalnej T_{\max} względem prędkości wiatru v w półroczach chłodnym (X-III) i ciepłym (IV-IX)



Rys. 3. Proste regresji średniej temperatury powietrza T względem zachmurzenia N w półroczach chłodnym (X-III) i ciepłym (IV-IX)

Temperatura powietrza i ciśnienie atmosferyczne

Ciśnienie i temperatura to podstawowe wielkości fizyczne charakteryzujące stan atmosfery. Parametry te są w ścisłym związku ze sobą. Świadczą o tym chociażby wartości współczynników regresji i korelacji. Związek między temperaturą powietrza y (T , T_{\max} , T_{\min}) i ciśnieniem atmosferycznego (p) dla półroczy wyrażają równania prostych regresji:

Zależność temperatury powietrza (y) tj. T , T_{\max} , T_{\min} od ciśnienia atmosferycznego (p) w półroczach wyrażają współczynniki regresji (a , °C/hPa) i korelacji (r):

y	Półrocze chłodne		Półrocze ciepłe	
	a	r	a	r
T	0,02	0,59	0,03	0,68
T_{\max}	0,01	0,31	0,04	0,53
T_{\min}	0,01	0,62	0,02	0,41

Wyższe wartości współczynników regresji i korelacji w cieplej porze roku związane są zapewne z przeważającymi w tej porze roku układami wyżowymi nad niżowymi. W zimie sytuacja jest odwrotna. Znaki dodatnie współczynników regresji i korelacji wskazują, że niezależnie od pory roku przyrostowi ciśnienia o 1 hPa odpowiada wzrost średniej dobowej temperatury T o 0,02°C w porze chłodnej i o 0,03°C w półroczu ciepłym, T_{\max} odpowiednio od 0,01°C do 0,04°C, T_{\min} od 0,01°C do 0,02°C.

Na duży stopień zależności temperatury powietrza od ciśnienia atmosferycznego w Płocku, wskazuje też fakt, że średnie ciśnienie atmosferyczne dla obydwu półroczy za badane piętnastolecie (1951-1965) nie wykazuje różnic (1013,5 hPa).

Temperatura powietrza i prędkość wiatru

Wiatr jest wynikiem różnicy ciśnienia atmosferycznego wywołanego równomiernym rozkładem temperatury w atmosferze. Z ruchem powietrza związany jest napływ mas powietrza z innych obszarów źródłowych, który pociąga za sobą zmiany temperatury powietrza. Zwykle większym prędkościom wiatru towarzyszy intensywniejszy odpływ ciepła od powierzchni Ziemi do góry. Poziomy gradient temperatury powietrza warunkuje przy tym wielkość ruchów wirowych w niżu i wyżu.

W Płocku występują małe zmiany średniej prędkości wiatru od 3,0 m/s w ciepłym półroczu do 3,6 m/s w chłodnym półroczu. Na prędkość wiatru wpływa też temperatura, wzrost jej w ciągu dnia w porze letniej powoduje wzrost prędkości wiatru (wzmoczony ruch turbulencyjny powietrza).

Duży też wpływ na prędkość wiatru ma wysokość nad poziom morza. Wraz ze wzrostem wysokości temperatura powietrza maleje, a prędkość wiatru wzrasta. Te stwierdzenia w pewnym stopniu wyjaśniają dlaczego, że wzrostem prędkości wiatru następuje spadek temperatury.

Zależność temperatury powietrza (y) tj. T , T_{\max} , T_{\min} od prędkości wiatru (v) w półroczach wyrażają współczynniki regresji (a , $^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}$) i korelacji (r), a w przypadku T_{\max} – proste regresji na rys. 2:

y	Półrocze chłodne		Półrocze ciepłe	
	a	r	a	r
T	-0,01	-0,07	-0,01	-0,64
T_{\max}	-0,25	-0,67	-0,14	-0,32
T_{\min}	0,01	0,03	0,01	-0,69

Przyrostom prędkości wiatru o 1 m/s odpowiada spadek temperatury T o $0,01^{\circ}\text{C}$, T_{\max} o $0,03^{\circ}\text{C}$, T_{\min} o $-0,01^{\circ}\text{C}$ w porze chłodnej i odpowiednio w półroczu ciepłym T , T_{\max} , T_{\min} o około $0,01^{\circ}\text{C}$. Najwyższe wartości czynników regresji i korelacji przypadają na zmienne T_{\max} i v , a najniższe na T_{\min} i v . wynika zatem stad wnioszek, że najwyższy wpływ prędkości wiatru na temperaturę występuje w godzinach popołudniowych, a najmniejszy w nocy.

Temperatura powietrza i jego wilgotność

Przebieg dobowy i roczny wilgotności względnej powietrza zależy od dobowego i rocznego przebiegu aktualnego ciśnienia pary wodnej e , a także od przebiegu ciśnienia pary wodnej nasyconej (E).

Ciśnienie pary wodnej nasyconej zależy od rocznego i dobowego przebiegu temperatury. Przebieg dobowej i rocznej wilgotności względnej jest odwrotny od przebiegu temperatury powietrza. Dobowe minimum wilgotności względnej przypada na maksimum temperatury (południe), a maksimum z minimum temperatury. Jeżeli chodzi o roczne minimum wilgotności względnej dla Płocka to przypada ono na początek lata.

Mimo, że zawartość pary wodnej w powietrzu jest niewielka, to ma ona wpływ na procesy fizyczne zachodzące w atmosferze. W sposób bezpośredni lub pośredni wpływa na wymianę ciepła między powierzchnią Ziemi i atmosferą. A zatem wywiera też wpływ na temperaturę. Zależność temperatury powietrza (y) tj. T , T_{\max} , T_{\min} od wilgotności względnej (f) w półroczach wyrażają współczynniki regresji (a , °C/%) i korelacji (r):

y	Półrocze chłodne		Półrocze ciepłe	
	a	r	a	r
T	-0,19	0,26	-2,30	-0,67
T_{\max}	-0,96	-0,96	-0,60	-0,48
T_{\min}	-0,40	0,61	-3,25	-0,50

Przyrostowi f o 1% towarzyszy spadek temperatury T o 0,19°C w porze chłodnej do 2,3°C w porze ciepłej, T_{\max} odpowiednio o 0,96°C do 0,6°C, T_{\min} o -0,4°C w porze chłodnej do 3,25°C w porze ciepłej. Współczynniki korelacji też przyjmują najwyższe wartości w porze ciepłej.

W półroczu ciepłym współczynniki regresji i korelacji przyjmują najwyższe wartości przy minimum temperatury, najwyższe zaś przy T_{\max} i T_{\min} .

Odwrotnie wręcz przedstawia się sytuacja w związkach temperatury powietrza z niedosytem wilgotności. Rozkład bowiem niedosytu wilgotności powietrza w okresie dnia i roku w dużym stopniu przypomina rozkład temperatury powietrza. Zależność temperatury powietrza (y) tj. T , T_{\max} , T_{\min} od niedosytu wilgotności (Δ) w półroczach wyrażają współczynniki regresji (a , °C/hPa) i korelacji (r):

y	Półrocze chłodne		Półrocze ciepłe	
	a	r	a	r
T	0,10	0,73	0,56	0,84
T_{\max}	-0,30	0,78	0,28	0,68
T_{\min}	0,08	0,56	0,27	0,44

Wzrostowi suchości powietrza Δ o 1 hPa odpowiada mniejszy wzrost temperatury w chłodnej porze roku – T_{\min} od 0,08°C, T_{\max} o 0,3°C, zaś w porze ciepłej T o 0,6°C, a T_{\min} i T_{\max} o 0,3°C. wynika też z danych, że w półroczu ciepłym zależność między niedosytem wilgotności i temperaturą jest większa.

Niewielkie spadki lub przyrosty temperatury na jednostkę wilgotności względnej i niedosytu wilgotności odpowiadających dużemu uwilgotnieniu powietrza wynikają też prawdopodobnie z niewielkiego zróżnicowania tych parametrów w ciągu roku.

Temperatura powietrza i opady atmosferyczne

W porze letniej większa suma opadu i nieco mniejszej liczbie dni z opadem świadczy o przewadze w tej porze roku opadów konwekcyjnych – o dużym natężeniu.

W chłodnej zaś porze roku natężenie opadów jest niewielkie wskutek małej zawartości pary wodnej w powietrzu. Niezależnie jednak od pory roku opad powoduje spadek temperatury powietrza w przygruntowej warstwie. Zależność temperatury powietrza (y) tj. T , T_{\max} , T_{\min} od opadów atmosferycznych (O) w półroczach wyrażają współczynniki regresji (a) i korelacji (r):

y	Półrocze chłodne		Półrocze ciepłe	
	a [°C/mm]	r	a [°C/mm]	r
T	-0,77	-0,10	-3,03	-0,27
T_{\max}	-0,09	-0,19	-3,41	-0,01
T_{\min}	-1,04	-0,13	-3,84	-0,32

Przyrostowi sum opadu o 1 mm odpowiada spadek temperatury T od 0,77°C w porze chłodnej do 3,03°C w porze letniej, T_{\max} odpowiednio od 0,09°C do 3,4°C i T_{\min} od 1,04°C do 3,8°C. Z równań wynika, że latem spadki temperatury są znacznie większe niż zimą. Jest to związane z wyraźniejszym przebiegiem dobowym opadów w porze letniej niż w zimowej. W okresie lata bowiem główne maksimum opadu występuje w godzinach popołudniowych, czyli w pobliżu maksimum temperatury.

Temperatura powietrza i zachmurzenie

W tym przypadku ograniczono się tylko do stopnia zachmurzenia. Jak wiadomo w ciągu dnia chmury odbijają bezpośrednie promieniowanie słoneczne, zmniejszając tym samym dopływ jego do powierzchni Ziemi. Poza tym ze wzrostem zachmurzenia wzrasta rozproszenie promieniowania słonecznego i zmniejsza się promieniowanie efektywne. To z kolei wpływa bezpośrednio na temperaturę w warstwie przygruntowej.

Zależność temperatury powietrza (y) tj. T , T_{\max} , T_{\min} od zachmurzenia (N) w półroczach wyrażają współczynniki regresji (a , °C/1) i korelacji (r) (rys. 3):

y	Półrocze chłodne		Półrocze ciepłe	
	a	r	a	r
T	-0,20	-0,42	-0,53	-0,20
T_{\max}	0,23	-0,23	-0,50	-0,76
T_{\min}	-0,26	-0,50	-0,01	-0,05

Zmianie zachmurzenia o 1 odpowiada spadek temperatury T od 0,2°C w chłodnej porze roku do 0,5°C w cieplej, T_{\max} odpowiednio od 0,2°C do 0,5°C i T_{\min} od 0,3°C do 0,01°C. Z tych danych wynika, że od zmiany zachmurzenia najbardziej zależy temperatura maksymalna powietrza, a mniej minimalna.

Regresja wielokrotna parametrów meteorologicznych

Wpływ poszczególnych parametrów meteorologicznych na temperaturę powietrza badano zaczynając od wyznaczenia równań hiperpłaszczyzn regresji (tab. 5):

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k$$

gdzie: a_1, a_2, \dots, a_k – to współczynniki regresji wielokrotnej y względem x_1, x_2, \dots, x_k .

Głównym celem tego podrozdziału jest ustalenie związków korelacyjnych między temperaturą powietrza, a wybranymi parametrami meteorologicznymi w Płocku. Określono korelację wielokrotną temperatury powietrza względem prędkości wiatru, wilgotności względnej i sum opadu (współczynniki korelacji cząstkowej).

Najpierw zbadano, jak łącznie oddziałują te parametry meteorologiczne na temperaturę powietrza, a następnie zbadano wpływ każdego z nich. Wzięto nadal T , T_{\max} , T_{\min} , oraz półrocze chłodne i ciepłe.

Tabela 5. Równania hiperpłaszczyzn regresji temperatury powietrza względem prędkości wiatru (v), wilgotności względnej (f) i sum opadów atmosferycznych (O)

Półrocze chłodne	Półrocze ciepłe
$T = -0,501v - 0,236f + 0,024O + 21,733$	$T = -4,491v - 0,842f + 0,014O + 90,139$
$T_{\max} = -1,830v - 0,295f + 0,001O + 14,058$	$T_{\max} = -2,871v - 0,367f + 0,002O + 1,727$
$T_{\min} = 0,675v - 1,080f + 0,045O + 87,25$	$T_{\min} = -4,886v - 0,900f + 0,021O + 43,25$

Przyrost temperatury na jednostkę prędkości wiatru jest zdecydowanie ujemny w ciepłym półroczu, a także w chłodnym. Główną przyczyną tego tkwi nie tylko w wypadkowej wymiany poziomej i pionowej mas powietrza, ale także w kierunku napływu powietrza. Wiatry zachodnie, które na naszym terenie przeważają powodują, że w różnych porach roku oddziałują one inaczej na kształtowanie się temperatury powietrza, w lecie ochładzająco, a w zimie ocieplająco.

Zawartość pary wodnej w powietrzu chroni powierzchnię ziemi w ciągu dnia przed nadmiernym jej nagraniem w lecie oraz przed wypromieniowaniem z ziemi. Takie warunki sprzyjają wzrostowi temperatury powietrza.

Przy badaniu sum opadu zauważamy, że powodują one spadek temperatury powietrza. W większości przypadków współczynnik ma znak ujemny, chociaż przyrostowi opadu towarzyszy niewielki zbliżony do zera wzrost temperatury rzędu 0,04-0,00°C.

Tłumaczyć to można chyba wzrostem zachmurzenia, które osłabia dopływ promieni słonecznych w ciągu dnia.

Zakończenie

Charakterystyka statystyczna wybranych parametrów meteorologicznych (temperatura powietrza – T , T_{\max} , T_{\min} , ciśnienia atmosferycznego p , prędkości wiatru v , wilgotności f , zachmurzenia N , opadu O) umożliwiła odpowiedni wybór metod statystycznych dotyczących zarówno korelacji, jak i regresji.

Jednym z wyników jest stwierdzenie normalnego lub zbliżonego do normalnego rozkładu gęstości prawdopodobieństwa, badanych zmiennych meteorologicznych.

Na szczególną uwagę w pracy zasługują otrzymane równania prostych regresji – pokazujących zależności temperatury powietrza od wybranych parametrów meteorologicznych oraz hiperpłaszczyzn regresji T , T_{\max} , T_{\min} z innymi parametrami meteorologicznymi skorelowanych bądź ze sobą, bądź z temperaturą powietrza. Na podstawie otrzymanych w pracy wyników stwierdzono, że największy stopień skorelowania temperatury powietrza z innymi parametrami meteorologicznymi jest w półroczu chłodnym. Wtedy oddziaływanie termiczno-wilgotnościowe podłoża jest najmniejsze, a warunki meteorologiczne zależą od układów barycznych.

Wynika zatem wniosek, że temperatura jest w dużym stopniu powiązana z tymi elementami, a zwłaszcza z ciśnieniem, które jest warunkiem wymiany ciepła i obiegu wody w przyrodzie, a zatem wpływa na przebieg innych elementów meteorologicznych.

Związek temperatury z ciśnieniem uwidacznia się też w wartościach współczynników regresji wielokrotnej.

Wyznaczone równania regresji mają bardzo duże znaczenie praktyczne. Dzięki nim bowiem można uzupełnić i prognozować brakujące parametry meteorologiczne.

7.2.5. Wpływ wiatru na temperaturę powietrza w Płocku

Autor: Leszek ŁAPA

Opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Witold LENART

Niniejsza praca stanowi część klimatologicznych opracowań dotyczących kompleksowej analizy województwa płockiego. Składa się ona z dwóch części. Celem części pierwszej jest porównanie warunków anemometrycznych oraz kształtowanie się temperatury powietrza w zależności od kierunku wiatru na dwóch stacjach w Płocku (Płock Radziwie i Płock Trzepowo) w okresie od lutego do grudnia 1978r. Celem części drugiej jest określenie związków temperatury powietrza z kierunkiem wiatru, w 5-leciu 1974-1978 oraz porównanie tych wyników z podobnymi danymi z 5-lecia 1956-1960 (opracowane przez M. Kołpak-Nowacką).

Szczegółowa analiza warunków wiatrowych i zależności temperatury powietrza od kierunku wiatru w Trzepowie i Radziwiu wskazuje, że: stosując przyjętą w pracy metodę można określić wpływ rzeźby terenu na modyfikacje kierunku wiatru (tab. 1-4).

Na stacji w Radziwiu zaobserwowano zmianę kierunku wiatru spowodowaną rzeźbą terenu (ukierunkowaniem doliny Wisły oraz zabudową).

Kierunki wiatru, które uległy w wyraźny sposób odchyleniu, to wiatry południowo-zachodnie na wiatry o kierunku zachodnim, południowo-wschodnie na wschodnie i w sposób mniej wyraźny północno-zachodnie na zachodnie i północno-wschodnie na wschodnie. Skręt wiatrów południowo-zachodnich, południowo-wschodnich i północno-zachodnich spowodowany był sterowaniem strumienia powietrza doliną Wisły. Wiatry północno-wschodnie odchylają się w wyniku sterującego wpływu zabudowy aglomeracji Płocka.

Stacja Płock-Radziwie przy wszystkich kierunkach wiatru była cieplejsza od stacji na wysoczyźnie w Trzepowie.

Największe ocieplenie przyniosły wiatry północne, północno-wschodnie i wschodnie szczególnie w terminie wieczornym przy wiatrach: północno-wschodnim i wschodnim, co spowodowane jest zwiększoną ilością cisz w Radziwiu oraz w porze cieplej ocieplającym wpływem aglomeracji miejskiej i ocieplającym sypływem powietrza ze skarpy.

We wszystkich terminach i przy wszystkich kierunkach wiatru na stacji na wysoczyźnie w Trzepowie, prędkości wiatru były większe niż w Radziwiu. Największe wyhamowanie prędkości wiatru występuje w Radziwiu przy kierunkach wiatru z sektora wschodniego i wiatrów zachodnich. Spowodowane to jest hamującym wpływem zabudowy i konfiguracji doliny Wisły (wiatry południowo-wschodnie).

Z punktu widzenia czystości powietrza miasta Płocka, zauważa się na obszarze Płocka prawobrzeżnego, zwiększony udział wiatrów północno-zachodnich niosących do aglomeracji Płocka dużo większe zanieczyszczenia spowodowane działalnością MZRIp niż Płocka Radziwia, gdzie warunki lokalne ekranizują napływ z kierunków północno-zachodnich.

Zastosowana metoda w przyszłych badaniach może być użyta dla dwóch blisko siebie położonych stacji na obszarze o urozmaiconej rzeźbie terenu.

Analiza porównawcza 5-lecia 1974-1978 z 5-leciem 1956-1960 zależności temperatury powietrza od kierunku wiatru na stacji Płock Radziwie wykazała duże podobieństwo w badanych okresach.

Najwyższe wartości temperatury powietrza w ciągu roku notowano przy wiatrach z kierunku południowego, co związane jest z tym, że kierunkom tym towarzyszył napływ mas ciepłego powietrza z niższych szerokości. Najniższe wartości temperatury powietrza zanotowano przy wiatrach z kierunku północnego, co związane jest z napływem mas powietrza arktycznego i polarnego morskiego z wyższych szerokości.

Wiatry z sektora zachodniego oddziałują dwójako: w cieplej porze roku obniżają temperaturę, natomiast w chłodnej porze roku podwyższają. Ta zależność w 5-leciu 1974-1978 nie była tak jednoznaczna, ponieważ wiatry północno-zachodnie przynosiły powietrze o temperaturze niższej zimą niż przeciętnie.

Wiatry z sektora wschodniego przeważnie wpływają odwrotnie na kształtowanie stonków termicznych w Polsce w porównaniu z sektorem zachodnim. W zimie przynoszą ochłodzenie a latem ocieplenie. Z tej zależności wyłączają się w 5-leciu 1974-1978 wiatry południowo-wschodnie, które w lutym przynosiły znaczne ocieplenie, natomiast w 5-leciu 1956-1960 wiatry z tego kierunku przynosiły ochłodzenie. Wynika to z faktu, że wiatry z tego kierunku w większości przypadków w okresie 1974-1978 towarzyszyły masom powietrza polarnego morskiego starego, silnie przetransformowanego i w kilku wypadkach zwrotnikowego kontynentalnego znad obszaru południowej części Morza Czarnego i przynosiły wartości temperatury wyższe od średniej.

Najniższa roczna amplituda występuje przy wiatrach zachodnich, co łączy się z faktem towarzyszenia tych kierunków masom powietrza znad obszaru Atlantyku, przynoszącym pogodę pochmurną i deszczową, ale dającą w zimie ocieplenie a latem ochłodzenie.

Najwyższa amplituda występuje przy wiatrach wschodnich. Wiatry z tego kierunku towarzyszą masom powietrza znad obszaru lądowego, silnie nagrzewającym się latem i mocno wychłodzonym zimą. Masom tym towarzyszy pogoda słoneczna o wysokich amplitudach dobowych.

Tabela 1. Temperatura powietrza przy różnych kierunkach wiatru w terminach obserwacyjnych: 7^h, 13^h, 19^h – Płock-Trzepowo, Płock-Radziwie (1978)

	Płock-Trzepowo						Płock-Radziwie					
	7 ^h		13 ^h		19 ^h		7 ^h		13 ^h		19 ^h	
	<i>n</i>	°C	<i>n</i>	°C	<i>n</i>	°C	<i>n</i>	°C	<i>n</i>	°C	<i>n</i>	°C
N	19	1,2	29	12,3	24	5,5	32	5,2	35	10,2	35	10,1
NE	22	8,5	26	9,5	22	10,5	18	10,2	17	15,0	26	7,8
E	36	3,8	38	4,1	47	5,8	53	4,2	63	9,1	44	6,4
SE	58	4,1	38	9,7	47	8,6	22	5,0	25	9,9	23	8,1
S	28	8,0	29	12,6	29	9,5	26	9,2	23	15,3	1	11,3
SW	27	6,9	82	11,2	40	7,9	30	8,7	39	11,7	48	9,3
W	84	8,2	82	10,6	53	10,1	87	7,7	79	11,0	70	10,2
NW	49	8,5	59	12,0	58	9,8	51	4,3	46	9,4	37	6,3
C	11	0,1	334	9,3	14	10,0	15	13,3	7	15,5	23	8,6
Sr	334	6,3	334	10,3	334	8,6	334	6,8	334	10,9	334	9,1

Tabela 2. Temperatura powietrza przy różnych kierunkach wiatru w cieplej porze roku (IV-IX) – Płock-Trzepowo, Płock-Radziwie (1978)

	Płock-Trzepowo						Płock-Radziwie					
	7 ^h		13 ^h		19 ^h		7 ^h		13 ^h		19 ^h	
	<i>n</i>	°C	<i>n</i>	°C	<i>n</i>	°C	<i>n</i>	°C	<i>n</i>	°C	<i>n</i>	°C
N	6	7,2	19	16,5	10	11,0	18	10,8	20	16,9	23	14,6
NE	14	12,6	10	18,2	11	15,1	11	15,0	10	19,7	8	18,5
E	13	12,2	10	19,8	18	17,5	17	13,8	24	21,2	17	16,4
SE	18	14,3	13	22,5	18	16,0	5	11,6	5	18,5	5	16,5
S	13	14,5	13	20,7	12	17,8	12	14,0	14	18,6	11	17,1
SW	12	13,1	13	16,4	17	13,0	13	13,2	15	18,9	17	15,6
W	44	12,2	37	15,2	27	14,4	43	12,4	39	15,7	45	13,9
NW	30	11,9	36	16,0	31	15,1	23	10,4	22	17,3	13	15,7
C	3	11,0	2	19,1	3	17,5	11	16,0	4	19,7	14	20,5
Sr	153	12,5	153	17,3	153	15,3	153	12,6	153	18,0	153	15,9

Tabela 3. Temperatura powietrza w Płocku-Radziwie przy różnych kierunkach wiatru w porach chłodnej (X-III) i cieplej (IV-IX) (1974-1978)

	Pora chłodna						Pora ciepła					
	7 ^h		13 ^h		19 ^h		7 ^h		13 ^h		19 ^h	
	<i>n</i>	°C	<i>n</i>	°C	<i>n</i>	°C	<i>n</i>	°C	<i>n</i>	°C	<i>n</i>	°C
N	25	-4,8	27	-0,2	37	-0,3	100	10,3	132	16,4	124	14,6
NE	19	-0,4	24	2,4	24	0,4	57	10,7	79	15,7	79	14,3
E	93	-2,9	102	1,0	96	0,2	109	12,0	133	18,1	100	15,5
SE	162	-0,3	132	3,1	150	1,7	141	10,2	102	17,8	100	13,7
S	43	0,5	62	4,7	52	4,3	55	11,6	89	18,6	59	14,8
SW	87	2,8	10,1	4,8	10,7	3,3	57	11,0	82	17,6	66	13,3
W	192	1,4	193	4,1	157	3,2	235	11,1	249	16,0	225	14,0
NW	64	-1,1	83	1,0	55	-0,1	146	10,3	159	16,0	130	14,5
C	81	-0,7	31	3,4	777	0,9	176	11,5	47	19,3	188	16,1
Sr	766	-0,1	766	3,0	766	1,7	1076	11,0	1076	16,9	1076	14,6

Tabela 4. Prędkość wiatru przy różnych kierunkach wiatru w terminach obserwacyjnych: 7^h, 13^h, 19^h – Płock-Trzepowo, Płock-Radziwie (1978)

	Płock-Trzepowo						Płock-Radziwie					
	7 ^h		13 ^h		19 ^h		7 ^h		13 ^h		19 ^h	
	<i>n</i>	m/s	<i>n</i>	m/s	<i>n</i>	m/s	<i>n</i>	m/s	<i>n</i>	°C	<i>n</i>	m/s
N	19	3,5	29	4,4	24	3,5	32	2,8	35	3,2	35	2,6
NE	22	3,6	26	4,4	22	2,9	18	2,1	17	2,5	26	1,9
E	36	4,6	38	5,1	47	3,6	53	2,5	63	3,1	44	2,3
SE	58	4,1	38	5,0	47	3,6	22	2,2	25	2,8	23	1,8
S	28	2,2	29	3,9	26	2,4	26	2,2	22	2,7	28	1,9
SW	27	3,4	28	4,7	49	3,8	30	2,3	39	3,2	48	1,8
W	84	5,6	82	6,9	5,1	5,7	87	2,7	79	3,7	70	2,2
NW	48	4,8	59	5,4	58	4,2	50	2,3	46	2,5	37	2,0
C	11	-	4	-	14	-	15	-	7	-	23	-

7.2.6. Cechy charakterystyczne klimatu lokalnego Płocka

Autor pracy: Stefan NOWICKI

Opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA

Cel i zakres pracy

Próba określenia jak rozwijający się Płock wraz ze zmieniającymi się warunkami środowiska w jego bezpośrednim otoczeniu wpływają na charakter zmian elementów klimatu lokalnego jest celem niniejszej pracy. Podstawą do analiz jest zestawienie wyników obserwacji wybranych elementów meteorologicznych ze stacji Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Płock-Radziwie i stacji Poświętne (1956-1986). Dane ze stacji Poświętne uznano za reprezentatywne dla warunków naturalnych, wysoczyzny.

Do porównań zostały wybrane następujące charakterystyki: średnie roczne wartości temperatury maksymalnej (T_{\max}) i minimalnej (T_{\min}), średnia temperatura minimalna chłodnego półrocza $T_{\min}(X-III)$, średnia roczna amplituda dobową, liczba dni z $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$, liczba dni z $T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$, liczba dni z $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$, – zachmurzenie średnie roczne (N), chłodnego półrocza – $N(X-III)$, ciepłego półrocza – $N(IV-IX)$, roczna suma opadów atmosferycznych (Σ), liczba dni z opadem $\geq 0,1$ mm, liczba dni z opadem $\geq 0,1$ mm, liczba dni z opadem $\geq 1,0$ mm, liczba dni z opadem $\geq 10,0$ mm

Istotną rolę w kształtowaniu warunków klimatycznych Płocka odegrały bez wątpienia nie najszcześniejsza dla miasta lokalizacja Mazowieckich Zakładów Rafineryjnych i Petrochemicznych oraz napełnienie Zbiornika Włocławskiego. Zamiarem opracowania jest również próba odpowiedzi na pytanie w jakim stopniu mogły te procesy powodujące zmiany w środowisku naturalnym przyczynić się do deformacji klimatu lokalnego.

Miarami oddziaływania w/w czynników mogą okazać się przebiegi różnic między elementami meteorologicznymi obserwowanymi na obu stacjach.

Ponadto ważne z punktu widzenia pewnych osobliwości klimatycznych może być zapoznanie się z zachodzącymi zjawiskami zaburzeń cyrkulacji atmosferycznej w okolicy Płocka szczególnie istotnymi z punktu widzenia aerosanitarnych warunków miasta, oraz analiza, warunków odczuwalnych.

Materiały źródłowe

Wyniki obserwacji wybranych elementów meteorologicznych stacji Płock-Radziwie w latach 1956-1978 przyjęto jako materiał podstawowy w niniejszym opracowaniu. Zdecydowało o tym kilka przyczyn.

Jak zaznaczono we wstępie celem pracy jest określenie wpływu zespołu miejskiego Płocka na lokalne warunki klimatyczne. Interesujące z punktu widzenia opracowania są nie tylko charakter, ale również ocena ilościowa zmian obserwowanych elementów.

Początek lat sześćdziesiątych obecnego stulecia to dynamiczny wzrost miasta. Założono, że proces ten powodował deformację warunków klimatycznych lokalnych (założenie wynikające z ogólnych, znanych prawidłowości wpływu miasta na klimat). Mając to na uwadze należało dla potrzeb opracowania uwzględnić okres obserwacyjny poprzedzający gwałtowny „skok urbanizacyjno-industrializacyjny”, aby uzyskać możliwość oceny zakłóceń.

Spodziewano się również otrzymać potwierdzenie oddziaływania Zbiornika Włocławskiego (spiętrzenie wód do obecnego poziomu nastąpiło w 1971 r.) na temperaturę powietrza, być może na zachmurzenie i opad. Niezbędne, więc było do analizy reprezentatywnej serii obserwacyjnej z późniejszego okresu – po spiętrzeniu wody.

Przyjęto również założenie, iż oddziaływanie Mazowieckich Zakładów Rafineryjnych i Petrochemicznych (pełną zdolność produkcyjną osiągnięto w końcu lat sześćdziesiątych) na klimat lokalny może znaleźć potwierdzenie w zmianach wielkości wybranych elementów meteorologicznych. Koniecznym więc stało się uwzględnienie w materiale podstawowym wyników obserwacji z okresu, w którym wpływ ten mógł się zaznaczyć silniej (wynoszenie dużych ilości zanieczyszczeń, zakłócenia w obiegu wody, ciepła, cyrkulacji powietrza).

Rok 1978 był ostatnim działalności stacji Płock-Radziwie i jest to ostatni wykorzystany jako materiał źródłowy rok obserwacyjny tej stacji. Ten fakt jest jednym z uwarunkowań długości serii obserwacyjnej wykorzystanej do analiz.

Mimo, iż wyniki obserwacji na stacji Płock-Radziwie (położonej na obszarze doliny Wisły, na jednym z jej tarasów nadzalewowych) tylko z pewnym przybliżeniem określić jako reprezentatywne dla prawobrzeżnej części miasta zdecydowano się wykorzystać, je z powodu braku lepiej obrazującej warunki klimatyczne Płocka tak długiej serii obserwacyjnej.

Wartości elementów meteorologicznych (analogicznych jak wybrane ze stacji Płock-Radziwie) rejestrowanych na stacji Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Poświętne ($\varphi = 52^{\circ}38'N$, $\lambda = 20^{\circ}23'S$, $H = 100$ m n.p.m) z lat 1956-1986 zostały uznane dla potrzeb opracowania jako dane reprezentujące warunki klimatyczne, naturalne i stanowiły bazę badań porównawczych.

Prawdopodobne wartości: temperatury średniej dobowej, zachmurzenia, sum opadów, liczby dni z opadem charakterystycznym, które mogłyby być rejestrowane na stacji Płock-Radziwie w latach 1979-1986 obliczono na podstawie analizy korelacji ciągów obserwacyjnych obu stacji.

Mimo odmienności lokalizacji w/w stacji (zmiany różnic wartości mogą, być skutkiem tylko różnej lokalizacji) spodziewano się uzyskać potwierdzenie sformułowanych wcześniej założeń.

Regresja elementów meteorologicznych w Płocku względem stacji w Poświętnem

Najbardziej prawdopodobne wartości elementów meteorologicznych uzyskano za pomocą analizy korelacji. Przystępując do określenia statystycznej zależności zajęto się oceną czy obserwowane różnice wartości elementów meteorologicznych dla obu stacji zdarzają się często i są istotne, czy też prawdopodobieństwo przypadkowego pojawienia się tych różnic jest tak małe, że można je uznać za nieistotne, współzależności dwóch zmiennych a i b (a_1, a_2, \dots, a_n – wyniki pomiarów na stacji Płock-Radziwie; b_1, b_2, \dots, b_n – dane ze stacji Poświętne) jest współczynnik korelacji określony wzorem:

$$r = (S_a S_b)^{-1} n^{-1} \sum_{i=1}^n (a_i - a_{sr})(b_i - b_{sr})$$

gdzie: n – liczba wyników pomiarów, a_{sr} , b_{sr} – średnie arytmetyczne zmiennych a i b , S_a , S_b – odchylenia standardowe zmiennych a i b

$$S_a = (n^{-1} \sum_{i=1}^n (a_i - a_{sr})^2)^{0,5}, \quad S_b = (n^{-1} \sum_{i=1}^n (b_i - b_{sr})^2)^{0,5}$$

Wartości współczynnika korelacji r zmieniają się w przedziale od -1 do 1; wartości $r = -1$ lub $r = 1$ wskazują, że zależność między zmiennymi a i b jest liniowa, a punkty (a_i, b_i) leżą na prostej regresji. Wartość $r = 0$ wskazuje brak korelacji między zmiennymi a i b ; można twierdzić na tej podstawie o całkowitej niezależności zmiennych.

Interpretując r należy sprawdzić jego statystyczną istotność za pomocą testu istotności (t Studenta) i ocenić prawdopodobieństwo przypadkowego otrzymania takiej wartości. Obliczona, nawet duża wartość r nie daje jednak żadnej informacji o przyczynach zależności. Na zmiany w każdym z dwóch zbiorów mogą wpływać różne czynniki. Współczynnik korelacji wskazuje jedynie zależność statystyczną między obserwowanymi wielkościami; wyjaśnień trzeba szukać na innej drodze.

Aby można było korzystać przy obliczaniu r z własności krzywej rozkładu normalnego, należało sprawdzić czy rozkład elementów ciągach obserwacyjnych można uznać za rozkład normalny. Sporządzone zostały histogramy częstości wyników obserwacji elementów meteorologicznych i po określeniu wartości średniej, mediany, wartości modalnej (których położenie względem siebie pozwala na określenie skośności) zastosowano przekształcenia zbiorów danych.

Stosowano przekształcenia: w przypadku skośności dodatniej

$$x_i = \ln a_i, y_i = \ln b_i, \text{ a ujemnej } -x_i = a_i^2, y_i = b_i^2$$

gdzie: x_i i y_i – elementy przekształconych ciągów obserwacyjnych stacji Płock-Radziwie i stacji Poświętne.

Obliczono – współczynniki korelacji oraz przeprowadzony został test istotności, który pozwolił na sprawdzenie, czy przypadkowe otrzymanie takiej wartości r na podstawie próby losowej jest prawdopodobne, czy też nie. Dokonano tego w oparciu o test t Studenta na poziomie istotności 0,05, korzystając ze wskaźnika

$$t = r(n-2)^{0,5}(1-r^2)^{-0,5}$$

gdzie: n – liczba par badanych danych

Obliczenie wartości jakiej można spodziewać się jednego ciągu danych gdy w drugim pojawia się dana wartość dokonano przez wyznaczenie równania prostej regresji:

$$x - x_{sr} = r S_x S_y^{-1} (y - y_{sr})$$

gdzie: x_{sr} , y_{sr} – średnie arytmetyczne przekształconych zbiorów danych stacji Płock-Radziwie i stacji Poświętne, S_x , S_y – odchylenia standardowe.

Na podstawie równań prostych regresji obliczone zostały najbardziej prawdopodobne wartości x_i na stacji Płock-Radziwie w latach. 1979-1986, a dla lat 1957 i 1958, T_{max} oraz liczba dni z $T_{max} > 25^\circ\text{C}$ (tab.1).

Uzyskanie najbardziej prawdopodobnych rzeczywistych wartości nastąpiło po przekształceniu wyników obliczonych na podstawie prostych regresji. Równania linii regresji zmodyfikowanych zbiorów oraz wzory na, obliczenie najbardziej prawdopodobnych wartości rzeczywistych umieszczone są w tabeli 2.

Pożądanę jest, wyznaczenie błędu standardowego aby można było oszacować z pewną dokładnością przedział, do którego będą należały najbardziej prawdopodobne rzeczywiste wartości. Błąd standardowy (σ) obliczono ze wzoru

$$\sigma = n^{0,5}(n-2)^{-0,5}S_x(1-r^2)^{0,5}$$

Można założyć z prawdopodobieństwem 95%, że rzeczywiste wartości będą się różniły od wartości obliczonych z równań regresji linii regresji o 2σ a prawdopodobieństwo wartości różniących się o więcej niż 2σ wynosi 5% (rys. 1).

Drogą odpowiednich, obliczeń można otrzymać granice przedziału ufności dla wartości oszacowanych z równań linii regresji. Granice przedziału ufności wyznaczone dla przekształconych wyników obserwacji stacji Poświętne (y_i) mają wartości $x_i - 2\sigma$ i $x_i + 2\sigma$.

Tabela 1. Równania linii regresji zmiennych przekształconych (x, y) i pierwotnych (a, b), a – wartość obliczana na st. Płock-Radziwie; b – wartość elementu meteorolog. na st. Poświętne

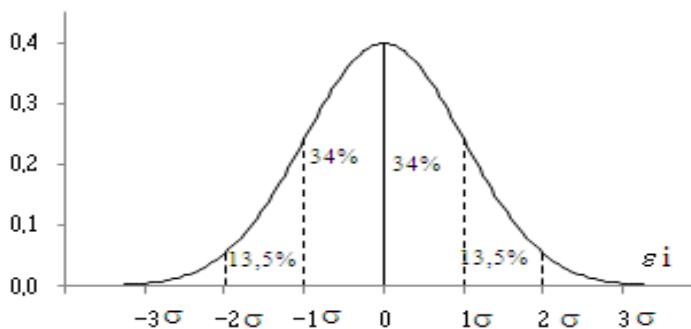
Zmienne	Równania prostych regresji	Wzór na obliczenie prawdopodobnej wartości
T_{\max}	$x = 0,9873y + 17,4774$	$a = (0,9878b^2 + 17,4774)^{0,5}$
T_{\min}	$x = 1,0291y + 4,8695$	$a = (1,0291b^2 + 4,8695)^{0,5}$
$T_{\min(X-III)}$	$x = 0,6226y - 0,5463$	$a = (0,6226b^2 - 0,5463)^{0,5}$
amplituda dobowa	$x = 0,7628y + 1,2543$	$a = \exp(0,7628\ln(b) + 1,2543)$
L. dni z $T_{\max} < 0^\circ\text{C}$	$x = 1,0147y - 0,1566$	$a = \exp(1,0147\ln(b) - 0,1566)$
L. dni z $T_{\max} < -10^\circ\text{C}$	$x = 0,8970y + 0,0347$	$a = \exp(0,8970\ln(b) + 0,0347)$
L. dni z $T_{\max} > 25^\circ\text{C}$	$x = 0,8861y + 0,6108$	$a = \exp(0,8861\ln(b) + 0,6108)$
N	$x = 1,4816y - 0,8836$	$a = \exp(1,4816\ln(b) - 0,8836)$
$N_{(IV-IX)}$	$x = 1,0916y - 0,1321$	$a = \exp(1,0916\ln(b) - 0,1321)$
$N_{(X-III)}$	nieistotna korelacja	brak obliczeń
R suma opadów (mm)	$x = 0,9329y + 0,4962$	$a = \exp(0,9329\ln(b) + 0,4962)$
L. d. $P \geq 0,1\text{mm}$	$x = 42599,3218y - 187071,403$	$a = (42599,3218\ln(b) - 187071,403)^{0,5}$
L. d. $P \geq 1,0\text{mm}$	$x = 21351,0795y - 86556,7301$	$a = (21351,0795\ln(b) - 86556,7301)^{0,5}$
L. dni $P \geq 10,0\text{mm}$	$x = 0,7555y + 0,6283$	$a = \exp(0,7555\ln(b) + 0,6283)$

Wyznaczono rozkłady częstości wybranych do porównań zbiorów elementów meteorologicznych ze stacji Płock-Radziwie i stacji Poświętne w latach 1956-1978. Dla ciągów obserwacyjnych średniej rocznej temperatury maksymalnej (T_{\max}), średniej rocznej amplituda dobowej ilość par elementów $n=21$; liczby dni z temperaturą maksymalną, większą niż 25°C (L. dni z $T_{\max} > 25^\circ\text{C}$) $n=22$; dla pozostałych zaś $n=23$ (powodem różnicy jest brak danych z 1957 i 1958 r.). Oprócz histogramów podano wartości średnie i odchylenia dobowe przekształconych wielkości, współczynniki korelacji (r), liczby t testu Studenta, oraz wartości błędu standardowego (σ). Dla każdej obliczonej liczby t zestawiono graniczną (t_{gr}) przy poziomie istotności 0,05. W przypadku średniego zachmurzenia chłodnej pory roku $N(X-III)$ korelacja jest nieistotna ($r=0,367$ a $t < t_{gr}$).

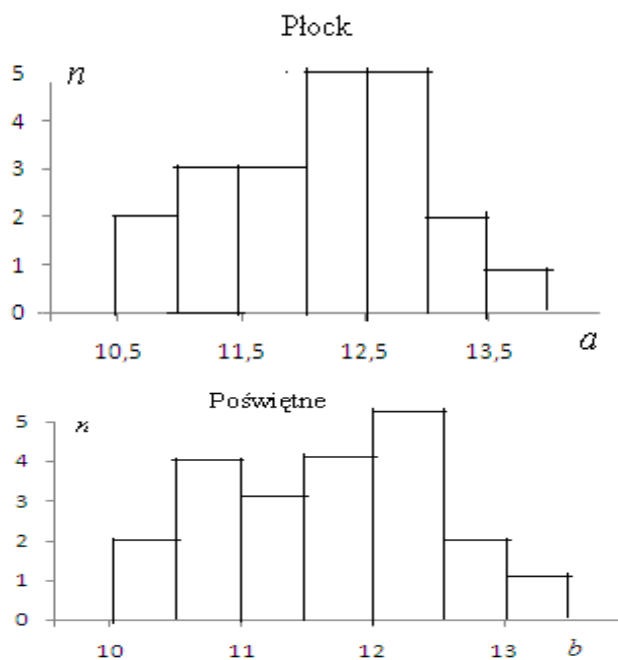
Rozkład częstości reszt $\varepsilon_i = x_i - x_{i\text{ob}}$ jest zbliżony do rozkładu normalnego (rys. 1). Przykładowo przedstawiono histogramy średniej rocznej temperatury maksymalnej T_{\max} na stacjach: Płock (a) i Poświętne (b) w latach 1956-1978 (rys. 2). Cechują się one parametrami: $x = a^2$, $y = b^2$, $\bar{x} = 151,267$, $S_x = 19,27$, $\bar{y} = 135,442$, $S_y = 191,31$, $\sigma = 3,96$, $t_{gr} = 2,08$, $r = 0,981$.

Tabela 2. Zmierzone wartości na stacji Poświętne w latach 1956-1978 i zmierzone w latach 1956-1978 oraz obliczone na stacji Plock, wg równań regresji z lat 1979-1986

Rok	T_{max}		T_{min}		$T_{min X-III}$		$T_{max} < 0^{\circ}C$		$T_{max} < -10^{\circ}C$		$T_{max} > 25^{\circ}C$	
	Pł.	Poś.	Pł.	Poś.	Pł.	Poś.	Pł.	Poś.	Pł.	Poś.	Pł.	Poś.
1956	10,8	10,0	2,5	2,0	-3,8	-4,4	129	135	31	34	28	18
1957	12,8	12,2	4,5	3,9	-0,1	-0,5	93	103	7	11	34	27
1958	11,9	11,2	4,1	3,5	-1,0	-1,7	111	123	13	17	31	22
1959	13,5	12,9	4,2	3,2	-1,3	-1,8	111	120	9	12	53	46
1060	12,1	11,6	4,6	3,8	-0,3	-1,3	88	101	12	15	26	20
1561	12,9	12,3	4,6	4,0	-0,3	-1,0	81	95	20	21	31	25
1962	11,3	10,5	3,8	2,8	-1,7	-2,8	108	124	15	21	27	20
1963	11,8	11,0	2,5	1,6	-5,5	-6,6	126	132	54	62	52	41
1964	12,1	11,3	3,4	2,6	-2,7	-3,5	121	141	23	29	51	46
1965	11,0	10,4	2,8	1,9	-3,0	-4,0	122	136	26	32	51	21
1966	12,8	12,0	4,6	3,4	-0,6	-1,4	100	113	12	18	50	37
1967	13,5	12,7	5,3	4,4	0,0	-0,9	80	91	12	15	41	25
1068	12,7	12,2	4,3	3,3	-1,3	-2,2	108	118	16	19	49	44
1969	11,6	10,9	2,9	1,5	-3,8	-5,7	131	142	37	51	54	36
1970	11,2	10,7	3,4	2,4	-2,5	-3,8	112	123	26	37	32	22
1971	12,8	12,2	4,5	3,8	-0,6	-1,3	84	97	19	24	51	42
1972	12,0	11,7	4,6	4,0	-1,4	-2,0	90	103	17	20	39	34
1973	12,5	11,9	4,3	3,8	-0,7	-1,0	113	105	3	8	43	34
1974	12,8	12,2	4,8	4,4	0,8	0,6	73	83	1	1	19	19
1975	13,7	13,2	5,5	4,9	0,7	0,3	72	79	2	1	57	53
1976	12,5	11,4	3,1	2,5	-2,2	-2,7	118	119	21	29	32	27
1977	12,4	11,8	4,7	4,6	0,4	0,2	98	94	4	7	29	25
1078	11,5	10,7	3,6	3,3	-1,0	-1,5	98	101	13	20	25	18
1079	11,9	11,2	3,8	3,1	-2,5	-3,3	114	124	22	30	41	33
1980	11,0	10,2	3,9	3,2	-1,7	-2,4	118	128	16	21	13	9
1981	12,3	11,6	4,6	4,0	-0,9	-1,5	110	120	11	14	31	24
1982	13,2	12,6	4,6	4,0	-0,4	-0,8	92	101	9	11	45	37
1983	13,9	13,3	5,1	4,5	-0,4	-0,8	94	103	11	14	65	56
1984	12,2	11,5	4,8	4,2	-0,4	-0,8	109	119	6	7	31	24
1985	11,2	10,5	3,4	2,6	-3,2	-4,2	103	112	28	40	27	21
1986	12,3	11,6	3,8	3,0	-2,1	-2,8	92	101	23	32	41	33
56/78	12,3	11,6	4,0	3,3	-1,4	-2,1	103	112	17	22	39	31
56/86	12,3	11,6	4,1	3,4	-1,4	-2,1	103	112	17	22	38	31



Rys. 1. Rozkład częstości reszt $\epsilon_i = x_i - x_{iobj}$



Rys. 2. Rozkład częstości średniej rocznej temperatury maksymalnej T_{max} na stacjach: Płock i Poświętne w latach 1956-1978

Tendencje wieloletnich zmian elementów klimatu w Płocku względem otoczenia

Średnia roczna temperatura maksymalna (T_{max})

W całym badanym okresie obserwacyjnym notowano wyższą temperaturę T_{max} w Płocku niż Poświętnem. Najmniejsze i największe wartości średniej rocznej temperatury maksymalnej przypadają na te same lata na obu stacjach (najmniejsze: 10,8°C w Płocku i 10,0°C w Poświętnem w 1956 r., największe 13,9°C w Płocku i 13,3°C w Poświętnem w 1983 r.). Z pewnym uogólnieniem można uznać przebiegi średnich rocznych war-

tości temperatury maksymalnej za zbliżone do sinusoidalnego. Współczynnik korelacji ($r=0,98$) oraz przeprowadzony test istotności ($t=12,83$) są potwierdzeniem wysokiej zależności statystycznej ciągów obserwacyjnych.

Rozkład obliczonych różnic (między badanymi stacjami) w czasie wykazuje pewną cykliczność. W rozpatrywanym 31-leciu, w przebiegu różnic zaznaczają się maksima – w połowie lata sześćdziesiątych oraz w drugiej połowie lat siedemdziesiątych (w 1976 r. osiąga ono wartość $1,1^{\circ}\text{C}$ przy $T_{\max} = 12,5^{\circ}\text{C}$ w Płocku i $T_{\max} = 11,4^{\circ}\text{C}$ w Poświętnem). Najmniejsze zróżnicowanie średniej rocznej temperatury maksymalnej $0,3^{\circ}\text{C}$ wystąpiło w 1972 r. (odpowiednio $12,0^{\circ}\text{C}$ w Płocku i $11,7^{\circ}\text{C}$ w Poświętnem)

Liczba dni upalnych ($T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$)

Jednakowa liczba dni z temperaturą maksymalną wyższą od 25°C w obu ciągach obserwacyjnych wystąpiła w 1974 r. (19 dni). We wszystkich pozostałych latach badanego okresu więcej dni upalnych zanotowano w Płocku.

Na wykresie przebiegu różnic liczby dni z temperaturą maksymalną wyższą od 25°C z roku na rok na obu stacjach wyraźnie zaznacza się maksimum w 1969 r. – 18 dni (54 dni upalne w Płocku i 34 dni upalne w Poświętnem). Widoczny jest związek między wzrostem w przebiegach liczby dni gorących ze zwiększającym się zróżnicowaniem częstości ich występowania na obu stacjach.

Średnia roczna temperatura minimalna (T_{\min})

Wartości T_{\min} w Płocku zawierają się w przedziale $2,5\text{--}5,5^{\circ}\text{C}$, w Poświętnem zaś w przedziale $1,5\text{--}4,9^{\circ}\text{C}$. Obliczone dla wielolecia 1956–1986 r. średnie wynoszą $4,1^{\circ}\text{C}$ w Płocku i $5,4^{\circ}\text{C}$ w Poświętnem.

Prześledzenie różnic wartości T_{\min} między wymienionymi stacjami pozwala na wyznaczenie trzech następujących po sobie okresów pierwszy do roku 1969 charakteryzuje się wzrostem, drugi do roku 1977 spadkiem, ostatni ponownie wzrostem różnic. We wszystkich latach badanego okresu średnie roczne temperatury minimalne w Płocku są wyższe niż w Poświętnem. W 1969 r. zaznacza się największa wynosząca $1,4^{\circ}\text{C}$ ($T_{\min} = 2,9^{\circ}\text{C}$ w Płocku i $1,3^{\circ}\text{C}$ w Poświętnem), w 1977 r. zaś najmniejsza $0,10^{\circ}\text{C}$ ($T_{\min} = 4,7^{\circ}\text{C}$ w Płocku i $4,6^{\circ}\text{C}$ w Poświętnem). Maksimum wystąpiło w roku o stosunkowo małej średniej rocznej temperaturze minimalnej na obu stacjach. Ogólnie spadek wielkości różnic występuje w okresie gdy rosną wartości T_{\min} , wzrost natomiast zaznacza się wraz z tendencją malejącą średnich rocznych temperatur minimalnych. Widoczny jest większy niż w przypadku T_{\min} zakres wahań różnic z roku na rok między stacjami w badanym wieloleciu.

Zakładając że w okresie tym w Poświętnem zmiany elementów meteorologicznych w czasie są skutkiem ogólnych tendencji wahań klimatu, można by przebieg zmian różnic interpretować jako efekt wpływu czynników lokalnych na pola zmiennych meteorologicznych w Płocku.

Liczba dni mroźnych ($T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$)

W badanym wieloleciu tylko w jednym roku obserwowano większą liczbę dni mroźnych w Płocku (1975 r.), również jeden raz jednakową ich ilość na obu stacjach (1974 r.). Należy zauważyć, że miało to miejsce w latach kiedy notowano najmniejszą liczbę dni z temperaturą niższą niż -10°C w całym okresie w Płocku i Poświętnem. Wyraźnie rysujące się maksimum różnic wystąpiło w 1969 r. – 14 dni (najdłuższe okresy mroźne w obu ciągach obserwacyjnych: 37 dni w Płocku i 51 dni w Poświętnem). Nieco mniejsza prze-

waga dni mroźnych w Płocku w porównaniu z Poświętnem zaznaczyła się w 1970 roku – 11 dni (26 dni mroźnych w Płocku i 37 dni w Poświętnem).

Przebieg różnic liczby dni z $T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$ z roku na rok na obu stacjach wykazuje zmienną tendencję. W latach o dłuższym okresie mroźnym rośnie przewaga liczby dni z temperaturą, minimalną niższą niż -10°C w Poświętnem w stosunku do Płocka.

Liczba dni z opadem $\geq 10,0$ mm

Na rok 1970 przypada największa częstość sum opadu dobowego o wysokości powyżej 10,0 mm na obu stacjach (23 dni w Płocku i 22 dni w Poświętnem). Najniższe wartości liczby dni z opadem $\geq 10,0$ mm w dwóch ciągach obserwacyjnych wystąpiły w różnych latach: w 1963 r. w Płocku (5 dni) i w 1959 r. Poświętnem (6 dni).

Więcej o sześć dni z sumą dobową opadów $\geq 10,0$ mm zanotowano w Płocku niż w Poświętnem w 1978 r. (17 dni w Płocku i 11 dni w Poświętnem). Jest to najwyższa wartość różnicy jaka wystąpiła w badanym wieloleciu. Przebieg wykresu przedstawiającego zróżnicowanie liczby dni z opadem powyżej 10,0 mm z roku na rok na obu stacjach wykazuje tendencje zmienną.

Zakończenie

Najistotniejsze cechy klimatu lokalnego Płocka opisują różnice przeciętnego stanu atmosfery między miastem i otoczeniem. Przeprowadzone w rozdziale III porównania wartości wybranych elementów meteorologicznych na stacjach Płock i Poświętne (z wielolecia 1956-1986) wskazują, że na ich przebieg w Płocku wpływają, obok ogólnych tendencji zmian klimatu, także czynniki lokalne. Stopień ich oddziaływania znajduje potwierdzenie, między innymi, w rozkładach różnic temperatur ekstremalnych z roku na rok, a zwłaszcza temperatury minimalnej.

W latach 1956-1969 notowano wyższe średnio o $0,9^{\circ}\text{C}$ T_{\min} w Płocku niż w Poświętnem. Niewątpliwą przyczyną tych stosunkowo dużych różnic średnich rocznych temperatury minimalnej z roku na rok jest odmienna lokalizacja stacji, a także wpływ rozwijającego się ośrodka miejskiego. Od 1970-1977 r. zmniejsza się zdecydowanie przewaga wartości T_{\min} (od $1,0^{\circ}\text{C}$ do $0,1^{\circ}\text{C}$) w Płocku. W końcu rozpatrywanego wielolecia rozbieżność z roku na rok zbliża się do poziomu z drugiej połowy lat pięćdziesiątych. Jeszcze wyraźniej istnienie czynnika zakłócającego naturalne warunki klimatyczne Płocka w okresie 1970-1977r. podkreśla rozkład temperatury minimalnej chłodnego półrocza.

Najbardziej znaczącym źródłem zaburzeń w przebiegu T_{\min} i $T_{\min}(\text{X-III})$ z roku na rok (w Płocku) wydaje się wpływ Zbiornika Włocławskiego. W mniejszym stopniu zaznacza się on w modyfikacji temperatury maksymalnej.

Na podstawie rozkładu wartości T_{\max} i T_{\min} z roku na rok w Płocku można określić ten wpływ jako ochładzający dla otoczenia. Zmniejszanie się różnic średnich rocznych amplitud dobowych temperatury z roku na rok między stacjami w latach 1970-1972, a od 1973 r. (z małymi wyjątkami) do końca wielolecia, występowanie większych amplitud w Płocku wynika prawdopodobnie wskutek oddziaływania głównie zbiornika wodnego.

Ogólnie rosnąca rozbieżność w długości trwania okresu przymrozkowego z roku na rok między Płockiem a Poświętnem w latach 1956-1964, jak i utrzymująca się nieco na niższym poziomie w okresie 1965-1972 r., może mieć związek ze zmieniającym się „nałożeniem” wpływu miasta na temperaturę powietrza. W 1973 r. obserwowano o 8 dni wię-

cej z temperaturą minimalną mniejszą od 0°C w Płocku, a od 1974 do 1977 r. zmniejsza się różnica liczby dni z przymrozkiem między rozpatrywanymi stacjami. W kolejnych latach rośnie do poziomu z początku badanego wielolecia.

Powyższe wyniki oraz analiza danych okresów mroźnych nie potwierdzają tezy o łagodzącym wpływie zbiornika wodnego na klimat lokalny (np. J. Lewińska – 1974 r. – uważa, że oddziaływanie zbiornika wodnego na wydłużenie okresu przymrozkowego jest tylko epizodyczne, zależy głównie od natężenia adwekcji chłodu, zacierającej wpływy lokalne. Może być znaczący w tych sytuacjach pogodowych, gdy natężenie adwekcji chłodu lub wypromieniowania podłoża lądowego jest mniejsze od oddziaływania zbiornika.

Przebiegi różnic liczby dni upalnych z roku na rok między stacjami wykazują zaś, że w okresie 1970-1977 zaznacza się obecność czynnika lokalnego powodującego spadek częstości występowania dni z temperaturą wyższą od 25°C w Płocku w porównaniu z Poświętnem.

W przedziale czasowym 1966-1977 r., w odróżnieniu od wcześniejszego i późniejszego w rozpatrywanym 31-leciu, następuje zmniejszenie się stopnia zachmurzenia w Płocku. Na podstawie ogólnych znanych zależności wpływu miasta i zbiorników wodnych na zachmurzenie oczekiwano odwrotnej tendencji, bowiem, między innymi, rozszerzenie lustra wody powiększa i tak wyraźną (ostra skarpa wiślana) strefę podcinania prądów konwekcyjnych (wzdłuż wysokiego brzegu). Ta zaś z reguły charakteryzuje się zwiększonym stopniem zachmurzenia.

Niższe wartości w Płocku można by wytłumaczyć posługując się rezultatami badań W. Lenarta (1977 r.), z których wynika, że przeszkoda jaką stwarza dolina Wisły (z rozszerzoną powierzchnią wody) dla normalnego ruchu i rozwoju chmur Cu powoduje różnicowanie się zachmurzenia typu konwekcyjnego po obu stronach rzeki (na lewym niższym jest ono mniejsze niż na bardziej aktywnym konwekcyjnie wyższym prawym brzegu).

Zaznaczający się od połowy lat sześćdziesiątych wzrost różnic sum opadów z roku na rok między badanymi stacjami odpowiada, między innymi, ogólnym tendencjom wpływu rozwijającego się dynamicznie zespołu miejskiego. Zbieżny jest również w czasie ze zwiększającą się produkcyjną działalnością zlokalizowanych w pobliżu miasta Mazowieckich Zakładów Rafineryjnych i Petrochemicznych, która to działalność powoduje nasilenie wpływu na otoczenie w postaci zakłóceń cyrkulacji powietrza, obiegu ciepła, wynoszenia nieraz na znaczne wysokości dużej ilości zanieczyszczeń. Rosnącą przewagą rocznych sum opadów w Płocku w porównaniu z Poświętnem w latach 1972-1975 można przypisać także oddziaływaniu Zbiornika Włocławskiego.

Zmiany wysokości dobowych sum opadów z roku na rok w Płocku należy oceniać w aspekcie wpływu w/w czynników na klimat lokalny. Szczególnie wyraźna jest w okresie 1968-1973 zmiana struktury opadów z roku na rok. Wzrosła wówczas znacznie częstość występowania dobowych sum opadów z przedziału wysokości 0,1-0,9 mm w porównaniu z Poświętnem.

Uzyskane wyniki badań stanowią tło do szczegółowych opracowań klimatu lokalnego Płocka.

7.2.7. Wstępna charakterystyka klimatu lokalnego Mazowieckich Zakładów Rafineryjnych i Petrochemicznych w Płocku

Autor: Marek KROŚKIEWICZ

Opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Witold LENART

Wprowadzenie

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie cech charakterystycznych i osobliwych klimatu lokalnego otoczenia Mazowieckich Zakładów Rafineryjnych i Petrochemicznych w Płocku.

Praca jest częścią większego opracowania, podjętego przez Instytut Nauk Fizycznogeograficznych i Instytut Nauk Ekonomicznogeograficznych Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych, wykonywanego między innymi w ramach prac magisterskich dotyczących analizy ogólnogeograficznej województwa płockiego. Praca niniejsza nawiązuje do opracowań zmian dobowych temperatury i wilgotności powietrza wykonanych na podstawie materiałów ze stacji w Murzynie, obejmujących taki sam okres obserwacji (rok 1978).

Praca zawiera osiem rozdziałów z których sześć stanowi główną jej część zawierającą omówienie najważniejszych elementów meteorologicznych, poprzedzoną informacjami dotyczącymi literatury, położenia fizycznogeograficznego i klimatycznego Płocka, oraz materiałów źródłowych. Kolejność omawiania poszczególnych elementów klimatu nawiązuje do trzech głównych procesów klimatotwórczych zachodzących w przyrodzie, a mianowicie: obiegu ciepła, obiegu wody i cyrkulacji atmosferycznej. Dla wyróżnienia specyficznych cech klimatu lokalnego MZRiP, wyniki obserwacji ze stacji na terenie zakładu porównywano z obserwacjami w Trzepowie i Murzynie.

Materiały źródłowe

Niniejsza praca, będąca wstępną charakterystyką klimatu MZRiP, oparta została na materiałach z 1978 r. Wykorzystano w niej dane z dzienników klimatologicznych stacji w MZRiP oraz w Murzynie, a także z wykazów miesięcznych stacji w Trzepowie. Pomiaru, na stacji w MZRiP, prowadzono były w czterech terminach (godz. 1⁰⁰, 7⁰⁰, 13⁰⁰, 19⁰⁰) a z tych też terminów liczone były wartości średnie dobowe. Istniejące braki uzupełniono metodą stałości różnic porównując materiały ze stacji Płock-Trzepowo. Usłonecznienie rzeczywiste obliczono na podstawie pasków heliogramu (na stacji używano heliografu systemu Campbell-Stokes).

Dla temperatury i wilgotności względnej przedstawiono wybrano przebiegi dobowe uzyskane z pasków samopisów (tempogramy i heliogramy). Pomiaru kierunku i prędkości wiatru dokonywano w MZRiP za pomocą anemorumbometru ze stacji meteorologicznej M-49. Po dokonaniu zestawienia kierunku wiatrów wyniki okazały się błędne (wadliwe działanie urządzenia lub niewłaściwy odczyt), przez co w pracy niniejszej scharakteryzowane zostały jedynie prędkości wiatrów. Dla pełniejszego zilustrowania warunków klimatycznych Petrochemii, a szczególnie dla pokazania różnic między zakładem przemysłowym a otoczeniem, porównano wyniki obserwacji ze stacji w MZRiP, Trzepowie i Murzynie. Ogródek meteorologiczny w Petrochemii umiejscowiony jest w południo-

wej części kombinatu, w dosyć bliskiej odległości od oczyszczalni ścieków (odprowadzanych do pobliskiej Brzeźnicy), a więc w miejscu, gdzie oddziaływanie podłoża, pokrytego asfaltem, betonem, metalowymi konstrukcjami, nie jest tak bezpośrednie jak w centralnej części MZRiP. Sam zakład zajmuje powierzchnię ok. 700 ha, położony jest na wysokości 100-106 m n.p.m. Strefa ochronna między Petrochemią a Płockiem rozciąga się na odległość 800 m. Stacje w Trzepowie i szczególnie w Murzynowie reprezentują, dzięki swojemu usytuowaniu, warunki klimatyczne obszarów pozbawionych większych skupisk zabudowy miejskiej i przemysłowej, a więc warunki naturalne.

Przebieg roczny usłonecznienia

Rok 1978 można zaliczyć do lat pochmurnych, miał małą liczbę dni słonecznych i bezdeszczowych. Usłonecznienie rzeczywiste tego roku przyjmuje wartości dużo niższe niż średnie z lat 1951-65 (tab.1-3). Średnie roczne usłonecznienie rzeczywiste dla MZRiP wynosi 3,0 godz/na dobę, w roku 1978 średnie z wielolecia dla stacji Płock-Radziwie wynosiło 4,0 godz/dobę. Oczywiście wyniki z obu tych stacji nie mogą być w pełni porównywalne przede wszystkim ze względu na różne położenie i różnice w otoczeniu stacji. Porównując wyniki MZRiP i Murzynowa można stwierdzić, że Petrochemia nie ma wpływu na zmniejszenie wielkości usłonecznienia. Analizując dane widzimy, że wartości dla tej stacji są nawet wyższe; w przebiegu rocznym największe różnice między rokiem 1978 a „wieloleciem” charakterystyczne są dla miesięcy zimowych i początkowych miesięcy wiosny – do 2 godzin. W półroczu letnim różnice te są mniejsze i wahają się w granicach 1 godziny.

Przy porównaniu z „wieloleciem” bardzo znaczne różnice występują również w usłonecznieniu względnym. Szczególnie miesiące zimowe roku 1973 okazały się bardzo pochmurne. W 1978 roku w styczniu usłonecznienie względne w MZRiP wynosiło 9,4% gdy średnia z lat 1951-65 wynosi 23,4%, również w pozostałych miesiącach zimowych utrzymują się znaczne różnice dochodzące do 10-15%.

Tabela 1. Średnie miesięczne usłonecznienie możliwe i rzeczywiste dla MZRiP i Murzynowa (1978 r.) w godzinach na dobę (- brak danych)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Możliwe (w godz.)	8,4	9,9	11,9	14,0	15,7	16,7	16,3	14,7	12,7	11,0	8,9	7,8	120
MZRiP	0,8	1,2	2,3	4,6	6,0	5,2	5,1	4,4	2,2	2,2	0,8	1,0	3,0
Murzynowo	-	-	2,4	4,0	5,1	4,3	4,7	4,8	2,1	2,1	0,7	1,2	•

Tabela 2. Roczne i miesięczne sumy usłonecznienia w godzinach (1978 r.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
MZRiP	24,4	34,1	69,9	137,0	184,9	157,3	158,9	136,7	66,1	67,7	23,4	30,8	1091,2
Murzynowo	-	-	74,7	120,5	158,9	129,6	145,5	129,0	62,4	66,8	20,9	38,3	

Tabela 3. Przebieg roczny usłonecznienia względnego (1978 r.) (- brak danych)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
MZRiP	9,4	12,3	19,0	32,7	38,0	31,4	31,5	30,1	17,4	19,9	8,8	12,7
Murzynowo	-	-	20,3	28,9	32,6	25,9	28,9	32,8	16,4	19,4	7,9	15,8

Temperatura powietrza

Rok 1978 okazał się rokiem chłodniejszym niż zazwyczaj (tab. 4-7). Średnia roczna temperatura powietrza była niższa o 0,9°C od średniej temperatury rocznej z wielolecia 1951-1965 (w porównywanych stacjach Płock-Radziwie, Płock Trzepowo). W półroczu letnim notowano temperatury dużo niższe np. średnia temperatura czerwca była niższa od średniej temperatury czerwca i wielolecia o 2,6°C, sierpnia o 1,6°C, lipca o 1,2°C. Również w miesiącach zimowych zanotowano niższe temperatury; w lutym o 1,2°C, w grudniu o 3,9°C. Natomiast nieco wyższe niż zazwyczaj okazały się temperatury marca (o 2,4°C) i listopada (o 1,9°C).

W MZRiP najwyższe temperatury tego roku zanotowano w czerwcu i sierpniu (średnia temperatura maksymalna tych miesięcy odpowiada 21,1°C i 21,0°C) choć najcieplejszym miesiącom okazał się lipiec (średnia miesięczna 17,1°C), najniższe w lutym i grudniu (średnie temperatury minimalne tych miesięcy wyniosły -5,8°C i -5,6°C), a najchłodniejszym miesiącem roku był, grdzień (średnia miesięczna -4,2°C).

Porównanie wyników obserwacji w MZRiP oraz w Trzepowie i Murzynowie pozwala stwierdzić, że na terenie kombinatu notowane są w okresie całego roku, temperatury znacznie wyższe. Najwyraźniej widoczne kontrasty terminu występują w miesiącach zimowych i letnich oraz, w przebiegu dobowym, w godzinach wieczornych. W Petrochemii zauważalna jest tendencja do szybszego ogrzewania się powietrza po okresach ochłodzeń oraz do długiego utrzymywania się temperatur wysokich. W miesiącach deszczowych, chłodnych, z dużym zachmurzeniem różnice między MZRiP a otoczeniem bardzo znacznie zmniejszają się.

Tabela 4. Temperatury średnie miesięczne terminowe i dobowe dla stacji w MZRiP, Trzepowie i Murzynowie w °C (1978 r.)

Termin	Stacje	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
I	MZRiP	-1,1	-4,0	2,2	5,1	11,4	15,0	15,6	15,0	11,1	8,4	4,9	-4,6	6,6
	Trzepowo	-1,7	-4,7	0,8	4,1	10,2	13,8	14,7	14,0	9,5	7,4	4,2	-4,7	5,6
	Murzynowo	-1,7	-5,0	1,0	4,1	10,4	14,1	14,8	14,4	9,7	7,0	4,4	-4,8	5,7
II	MZRiP	0,6	-0,6	6,1	10,0	16,5	20,1	20,0	20,3	13,7	11,4	7,2	-2,1	10,3
	Trzepowo	0,2	-2,2	5,2	9,4	15,7	18,0	19,2	19,4	13,0	11,1	6,4	-3,7	9,4
	Murzynowo	0,0	-1,0	5,5	9,5	15,9	13,9	19,5	19,7	13,0	11,0	6,6	-3,7	9,5
III	MZRiP	0,0	-2,3	4,8	8,6	14,0	13,4	18,5	18,1	12,2	9,9	6,4	-2,6	8,8
	Trzepowo	-0,5	-4,1	4,0	7,1	13,1	17,3	15,8	17,1	11,6	8,3	5,5	-4,4	7,6
	Murzynowo	-0,9	-3,1	3,1	5,9	11,2	14,6	17,4	17,1	11,6	6,9	5,1	-3,3	7,5
Śr	MZRiP	-0,3	-2,3	4,0	7,2	13,0	16,5	17,1	15,9	12,0	9,6	0,0	-5,3	8,0
	Trzepowo	-0,8	-4,1	2,9	0,2	11,8	15,1	17,4	10,0	11,0	6,5	5,2	-4,2	7,0
	Murzynowo	-0,9	-3,3	3,2	6,4	12,2	15,6	15,9	16,3	11,2	8,8	5,3	-4,2	6,4

Tabela 5. Przebieg roczny średniej temperatury ekstremalnej oraz najwyższych i najniższych absolutnych ekstremów temperatury dla stacji w MZRiP, Trzepowie i Murzynowie w °C (1978 r.)

Termin	Stacje	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Max	MZRiP	1,5	0,3	6,9	11,2	17,6	21,2	20,8	21,0	14,9	12,4	8,1	-0,4	11,3
	Trzepowo	1,3	-1,0	6,7	11,0	16,9	20,3	20,9	21,0	14,5	11,9	7,6	-1,2	10,8
	Murzynowo	0,5	-0,6	7,0	10,9	16,9	20,7	20,9	20,9	13,9	11,7	7,5	-0,6	10,8
Min	MZRiP	-2,0	-5,8	1,9	3,2	8,6	11,4	13,2	13,2	9,4	6,8	3,6	-5,6	4,8
	Trzepowo	-2,7	-7,1	0,2	2,2	6,8	9,2	11,1	11,7	8,2	5,9	3,3	-6,5	3,5
	Murzynowo	-3,1	-8,0	-1,0	1,6	6,2	9,2	11,6	11,5	7,7	5,6	2,9	-7,8	3,0
Max Absol.	MZRiP	5,6	9,6	22,0	18,8	28,0	28,7	28,8	28,9	21,4	19,8	12,4	5,7	19,9
	Trzepowo	5,2	6,7	20,8	18,1	25,4	27,5	28,5	28,6	19,7	18,9	11,2	4,8	18,0
	Murzynowo	5,4	6,7	20,8	18,0	25,0	27,5	28,0	28,3	21,1	19,4	11,4	4,8	18,0
Min Absol.	MZRiP	-10,2	-18,4	-4,4	-2,0	1,6	5,1	8,6	7,8	5,1	1,3	-1,0	-20,5	-2,3
	Trzepowo	-10,2	-22,9	-8,2	-2,9	-0,2	3,7	6,4	6,9	2,2	-0,7	-1,0	-20,9	-4,0
	Murzynowo	-10,2	-18,9	-6,2	-1,9	0,3	2,3	7,7	7,9	4,4	0,7	-1,3	20,8	-3,0

Dni charakterystyczne

Tabela 6. Dni charakterystyczne w MZRiP (1978 r.)

Dni	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Przymrozkowe	17	13	5	3							1	9	48
Mroźne	4	12	2									15	33
B. mroźne	2	5										8	15
Gorące					2	3	6	7					18
Upalne													0

Tabela 7. Dni charakterystyczne w MZRiP, Trzepowie i Murzynowie

	Przymrozkowe	Mroźne	B. mroźne	Gorąco	Upalne
MZRiP	48	35	15	18	0
Trzepowo	60	42	15	17	0
Murzynowo	54	45	17	17	0

Wilgotność powietrza

Przebiegi roczne parametrów wilgotności są bardzo związane z przebiegiem rocznym temperatury (tab. 8-10). Maksymalna wartość wilgotności względnej występuje w styczniu, a więc w okrasie najniższych temperatur, minimalna występuje w maju i czerwcu, czyli w miesiącach o najwyższej temperaturze. Odwrotny przebieg ma ciśnienie pary wodnej, którego minimalna wartość przypada na okres zimowy (luty) maksymalna na okres letni (lipiec, sierpień). Podobny jest przebieg niedosytu wilgotności powietrza, przy czym maksimum wypada wcześniej bo już na czerwiec. Miesiące jesienne są na ogół wilgotniejsze niż miesiące wiosenne, co można wytłumaczyć napływem wilgotniejszych mas powietrza w tym okresie (polarno-morskie powietrze z nad Oceanu Atlantyckiego) oraz zwiększonym parowaniem wody pozostałej w glebie i roślinach po wilgotnym, bogatym w opady, okresie letnim.

Rok 1978 okazał się rokiem bardzo zbliżonym do przeciętnego. Średnie ciśnienie pary wodnej było niższe o około 0,2 hPa (porównując stacje Płock-Radziwie i Płock-Trzepowo) od średniej wieloletniej. Również niewielkie różnice zanotowano w wilgotności względnej i niedosycie ciśnienia pary wodnej (f okazała się wyższa o 5%, niższe o 0,6 hPa). Jak więc widać dużo wyższe opady tego roku (rodział o opadach) nie wpłynęły na zwiększenie wilgotności powietrza czego przyczyną mogła być niższa niż zazwyczaj temperatura powietrza.

Analiza przebiegów rocznych i dobowych wilgotności powietrza dla MZRiP i Trzepowa wykazała dosyć istotne różnice między stacjami. Wpływ kombinatu na wilgotność powietrza przejawiał się najwyraźniej w miesiącach wiosennych i letnich (w przebiegu dobowym w godzinach nocnych oraz w południe). W MZRiP obliczono dla 1978 r. najniższą prężność pary wodnej (MZRiP 7,5 hPa, Trzepowo 9,2 hPa, Murzynowo 8,9 hPa) oraz najniższą wilgotność względną (MZRiP o 5% Trzepowo 84%, Murzynowo 82%) natomiast niedosyt wilgotności powietrza okazał się najwyższy (średnia roczna w MZRiP 4,9 hPa, w Trzepowie 2,7 hPa, w Murzynowie 3,4 hPa).

Tabela 8. Przebieg roczny ciśnienia pary wodnej na stacjach w MZRiP, Trzepowie i Murzynowie wyrażony w hektopaskalach (1978 r.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
MZRiP	5,2	4,4	5,8	5,9	8,2	9,8	11,7	12,0	9,2	8,2	5,1	3,3	7,5
Trzepowo	4,9	4,1	6,5	6,9	10,0	11,9	14,9	14,4	11,5	10,3	7,9	3,8	8,9
Murzynowo	5,1	4,1	6,6	7,4	10,7	12,7	14,6	14,8	11,7	10,5	8,1	4,4	9,2

Tabela 9. Przebieg roczny wilgotności względnej (f) na stacjach w MZRiP, Trzepowie i Murzynowie, oraz przebieg roczny wilgotności względnej z II terminu pomiarowego (13⁰⁰)(1978 r.)

Termin	Stacje	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Średnia z 4. terminów	MZRiP	85	82	71	56	52	52	59	63	65	67	63	61	65
	Trzepowo	86	86	85	76	74	75	81	82	88	92	90	89	84
	Murzynowo	87	82	83	72	70	81	80	80	87	90	89	86	82
Godz. 13 ⁰⁰	MZRiP	84	69	69	46	43	39	48	51	58	62	62	59	58
	Trzepowo	81	83	78	62	60	59	66	55	78	86	87	85	74
	Murzynowo	81	79	72	58	55	50	67	63	76	82	84	84	71

Tabela 10. Przebieg roczny niedosytu wilgotności powietrza w MZRiP, Trzepowie i Murzynowie wyrażony w hektopaskalach (13⁰⁰)(1978 r.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
MZRiP	1,0	0,9	2,8	4,7	8,3	10,3	8,7	8,1	5,0	4,0	3,5	1,9	4,9
Trzepowo	0,8	0,7	1,6	3,0	5,1	5,8	5,4	5,0	2,0	1,1	1,0	0,4	2,7
Murzynowo	0,9	1,0	2,3	3,5	5,1	8,6	5,7	5,7	3,2	2,1	1,2	0,6	3,4

Zachmurzenie

Rok 1978 był rokiem o zachmurzeniu nieco wyższym niż w okresie 1951-65; średnia w Trzepowie wynosiła 7,4 gdy średnie wieloletnie 6,7. (tab. 11-16). W MZRiP najwyższe wartości zachmurzenia notowano w miesiącach jesiennych; listopad 8,2 oraz zimowych: luty – 8,0, grudzień – 8,0, najmniejsze w okresie letnim: czerwiec – 5,5, oraz wiosennym – 5,6. Podczas 112 dni zanotowano zachmurzenie $N=10$, co stanowi 70% wszyst-

kich dni bezchmurnych wystąpiło najmniej – bo tylko 11. Całkowite zachmurzenie nieba notowane było głównie w miesiącach zimowych oraz w ostatnich miesiącach jesieni. Najwięcej dni bezchmurnych wystąpiło w maju, pozostałe rozłożyły się równomiernie przez pozostałe miesiące roku.

W porównaniu z Trzepowem i Murzynowem średnie zachmurzenie w MZRiP w 1978 r. było najniższe 6,9. Szczególnie duże różnice wystąpiły w miesiącach wiosennych, częściowo letnich. W październiku i grudniu wartości zachmurzenia były najwyższe w MZRiP. Na stacji w Petrochemii zanotowano również największą ilość dni pogodnych – 26, gdy w Trzepowie – 15 i Murzynowie – 13, oraz najmniejsza ilość dni pochmurnych – w MZRiP – 158 dni, w Trzepowie – 181, w Murzynowie – 164 dni.

W MZRiP zanotowano również mniejszą niż w Murzynowie ilość dni z mgłą – 36, gdy w Murzynowie o 10 więcej.

Tabela 11. Przebieg roczny zachmurzenia na stacjach w MZRiP, Trzepowie i Murzynowie wyrażony w skali od 0 do 10 N (1978 r.)

Miesiące Stacje	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
MZRiP	6,7	8,0	7,0	5,6	5,6	5,5	5,9	6,4	8,0	7,8	8,2	8,0	6,9
Trzepowo	7,8	8,2	7,9	6,7	6,3	6,9	6,6	7,3	8,5	7,5	7,8	7,6	7,4
Murzynowo	8,1	8,2	7,9	6,6	5,7	6,1	6,4	6,9	7,9	7,2	8,2	7,0	7,2

Tabela 12. Rozkład liczebności stopnia zachmurzenia w MZRiP (1978 r.)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Liczba dni	11	12	15	25	17	39	31	27	36	39	112

Tabela 13. Występowanie dni z zachmurzeniem $N=10$ i $N=0$ w MZRiP (1978 r.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
$N=10$	8	12	8	4	5	3	2	5	9	17	19	20	112
$N=0$	2	0	1	0	3	0	1	0	0	2	0	2	11

Tabela 14. Liczba dni pogodnych w MZRiP, Trzepowie, Murzynowie (1978 r.)

$N \geq 2$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
MZRiP	3	0	3	3	4	3	4	1	0	3	0	2	26
Trzepowo	2	0	0	2	1	1	1	0	0	3	2	3	15
Murzynowo	1	0	0	1	1	1	1	0	0	4	0	4	13

Tabela 15. Liczba dni pochmurnych w MZRiP, Trzepowie, Murzynowie (1978 r.)

$N \leq 8$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
MZRiP	13	16	16	17	8	6	7	10	15	20	19	21	158
Trzepowo	18	17	18	9	11	10	13	12	18	19	17	19	181
Murzynowo	19	16	18	11	8	6	8	9	17	17	19	16	164

Tabela 16. Liczba dni z mgłą w MZRiP i Murzynowie (1978 r.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
MZRiP	3	6	2	2	0	0	1	1	0	8	11	2	36
Murzynowo	4	5	10	3	1	0	1	0	0	10	9	3	46

Opady atmosferyczne

Analizowany w niniejszym rozdziale rok okazał się bardziej wilgotny, obfitujący w opady atmosferyczne (tab. 17-25). Średnia roczna suma opadów w latach 1951-65 wyniosła 519 mm (Płock-Radziwie), tymczasem w omawianym roku sumy opadów dla stacji MZRiP, Trzepowo i Murzynowo – są wyższe od 25 do 75 mm. W przebiegu rocznym maksymalne sumy opadów przypadają na sierpień i wynoszą 116,9 mm. W okresie badań wieloletnich najwyższe notowane sumy miesięczne wynosiły 95,3 mm (lipiec). Przy dużo wyższych sumach rocznych i miesięcznych, odnotowano w omawianym okresie dużo niższe maksymalne sumy dobowe. Średnio w wieloleciu najwyższe dobowe sumy opadów notuje się w maju i wynoszą 83,8 mm średnio, gdy w 1978 zanotowano maksymalną dobową sumę opadów w sierpniu, która wyniosła zaledwie 45,0 mm. W wieloleciu najczęściej notuje się opady bardzo słabe, wystąpiły 52,0 razy, słabe – 69,6 razy. Natomiast; w omawianym roku najczęściej wystąpiły opady słabe – 75 dni. Mniejszy udział mają opady, bardzo słabe i śladowe. Częściej notowano opad umiarkowany i umiarkowany silny. Ogólnie: średnio notuje się około 152 dni z opadami, natomiast w roku 1978 zanotowano ich tylko 147 ($\geq 0,1$ mm). Rok 1978 był również obfitszy w opady śniegu. Zanotowano 34 dni z opadem śniegu, gdy średnio notuje się ich 22. Dni burzowych było natomiast mniej – tylko 17 (średnio 21,7 dni w roku), ponieważ opad atmosferyczny w dużej mierze uzależniony jest od rzeźby terenu, oraz charakteru podłoża celowym będzie porównanie przebiegu i wysokości opadów na stacjach MZRiP, Trzepowie i Murzynowie.

Znaczne różnice w liczbie dni z opadem notowano między wymienionymi stacjami. W miesiącach wiosennych i jesiennych oraz zimowych opady na tych trzech stacjach były raczej wyrównane, chociaż najmniejsze sumy opadów zanotowano w MZRiP. Natomiast w lipcu, sierpniu i wrześniu najwyższe sumy zanotowano w MZRiP (różnice dochodzą do 30 mm) (tab. 24).

W MZRiP zanotowano najmniejsze zachmurzenie, najmniejszą liczbę dni z opadem, natomiast sumy opadów były najwyższe. Można to przypisać intensywności opadów występujących w pobliżu zakładu przemysłowego, gdzie powstają warunki do tworzenia się chmur typu konwekcyjnego (wpływ podłoża Petrochemii Płockiej).

Bardzo ciekawe obserwacje dotyczą dni z opadem śniegu. MZRiP ma ich tylko 32, gdy w Trzepowie zanotowano 46 dni, a w Murzynowie – 55 dni.

Tabela 17. Roczne i miesięczne sumy opadów w MZRiP (mm)(1978 r.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Suma	19,0	8,3	30,7	23,5	27,8	55,5	90,u	116,9	88,3	49,9	25,4	58,4	594,1
%	3,2	1,4	5,2	3,9	4,7	9,3	15,2	19,7	14,9	8,4	4,3	9,8	100,0

Tabela 18. Średnia intensywność opadów w MZRiP (mm)(1978 r.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
mm	1,4	1,0	2,4	2,6	2,8	4,6	6,4	8,4	4,9	3,8	3,6	3,9	4,0

Tabela 19. Maksymalne sumy dobowe opadów w MZRiP (1978 r.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
mm	4,1	3,4	8,1	4,6	10,0	11,5	16,0	45,0	13,0	17,6	6,7	12,1
Data wystąpienia	29.01	18.02	18.03	20.04	8.05	24.06	5.07	12.08	9.09	9.10	28.11	28.12

Tabela 20. Liczba dni z burzą w MZRiP (1978 r.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
mm	0	0	1	0	3	4	6	0	1	1	1	9	17

Tabela 21. Współczynnik nieregularności opadów dla miesięcy i dla roku w MZRiP (1978 r.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Współ. nieregularności	20,5	34,0	16,2	46,0	50,0	57,5	80,0	450,0	29,8	44,0	33,5	40,3	14,1

Tabela 22. Liczba dni z opadem charakterystycznym w MZRiP (1978 r.)

Liczba dni opadem	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
≥0,1 mm	14	8	13	9	10	12	14	14	18	13	7	15	147
≥1,0 mm	10	4	9	7	6	11	11	12	17	11	4	11	113
≥10,0 mm	0	0	0	0	1	2	4	2	2	1	0	2	14

Tabela 23. Liczba dni z opadem według wybranych przedziałów w MZRiP (1978 r.)

Opad (mm)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Śladowy 0,0 mm	0	13	0	0	0	5	4	0	0	0	6	4	32
B. słaby 0,1-0,9 mm	4	4	4	2	4	1	5	2	1	2	3	4	34
Słaby 1,0-4,9 mm	10	4	7	7	4	7	4	5	9	8	3	7	75
Umiarkowany 5,0-9,9 mm	0	0	2	0	1	2	3	5	0	2	1	2	24
Umiark.silny 10,0-19,9 mm	0	0	0	0	1	2	4	0	2	1		2	12
Silny 20,0-29,9 mm	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		0	1
B. silny ≥30,0 mm	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		0	1
Dni bez opadu	17	7	18	21	21	13	13	17	12	18	17	12	186

Tabela 24. Roczne i miesięczne sumy opadów w MZRiP, Trzepowie i Murzynowie, ilość dni z opadem (1978 r.)

Termin	Stacje	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Suma opadów w mm	MZRiP	19	8,3	30,7	23,5	27,8	55,5	90,4	116,9	88,3	49,9	25,4	58,4	584,1
	Trzepowo	41,6	6,4	32,3	23,8	31,0	59,1	78,1	101,6	82,8	53,7	24,5	46,8	581,7
	Murzynowo	29,9	11,3	27,7	34,5	23,9	51,5	62,2	85,8	82,1	63,6	22,8	49,3	544,6
Liczba dni z opadem	MZRiP	14	21	13	9	10	17	18	14	18	13	13	19	179
	Trzepowo	20	22	21	12	16	17	18	20	26	26	16	21	235
	Murzynowo	15	16	18	17	12	13	16	18	20	17	11	13	186

Tabela 25. Liczba dni z opadem śnieżnym (1978 r.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Dni ze śniegiem	7	14	4	0	0	0	0	0	0	0	2	7	34

Prędkość wiatru

Ciekawą wydaje się również analiza kierunku przeważających wiatrów w powiązaniu z panującymi wtedy stanami atmosfery oraz prawdopodobieństwem opadu, która pozwoliłaby na określenie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń oraz określenie miejsc szczególnie zagrożonych wpływem Petrochemii (tab. 26-27).

Tabela 26. Średnia prędkość wiatru w miesiącach i w roku w m/s w MZRiP, Trzepowie, Murzynowie (1978 r.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
MZRiP	3,6	3,2	3,6	3,5	3,3	2,6	2,4	2,7	3,2	2,8	3,2	2,5	3,0
Trzepowo	3,7	4,0	4,6	4,7	4,4	3,5	3,7	3,9	5,3	4,6	5,1	4,6	4,3
Murzynowo	5,0	3,4	4,0	3,8	3,9	3,4	2,9	3,5	3,8	-	-	-	-

Tabela 27. Częstość występowania prędkości wiatru według przedziałów w MZRiP (1978 r.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	%*
0-2 bardzo słabe	33	34	38	39	42	57	68	67	48	59	48	59	592	40,6
2-5 słabe	63	49	61	60	61	48	44	46	54	52	50	53	641	44,0
5-10 umiarkowane	21	21	22	19	13	5	6	8	13	8	17	4	157	10,8
10-15 silne									1		1	1	3	0,2
>15 bardzo silne													0	0,0

(* procenty obliczone z wyłączeniem cisz)

Podsumowanie

Jak pokazały wyniki niniejszej pracy olbrzymi zakład przemysłowy wywiera znaczny wpływ na modyfikację klimatu lokalnego co szczególnie wyraźniej uwidacznia się w warunkach termicznych. Na terenie MZRiP temperatura powietrza osiąga najwyższe wartości temperatury a średnia roczna wynosi 8,0°C i jest wyższa o 1,0°C od średniej rocznej temperatury w Trzepowie, czyli stacji będącej pod niewielkim wpływem zabudowy miejskiej, oraz o 1,6°C od stacji w Murzynowie pozbawionej wpływu miasta i przemysłu. Również wyższe okazały się wartości średniej temperatury maksymalnej, która w MZRiP osiąga wartości 11,5°C czyli o 0,5°C więcej niż w Trzepowie i Murzynowie oraz średniej temperatury minimalnej wynoszącej w Petrochemii 4,8°C czyli więcej o 1,3°C niż w Trzepowie i 1,3°C niż w Murzynowie.

Bardzo istotne różnice zaznaczają się również w przebiegu i wartościach wilgotności powietrza. Na terenie MZRiP w ciągu całego roku notowane są najniższe wartości wilgotności względnej, prężności pary wodnej, a najwyższe niedosytu wilgotności powietrza. Średnia wilgotność względna wyniosła w 1978 r. w MZRiP, 65% czyli mniej o około 15% niż na pozostałych stacjach. Wartość prężności pary wodnej wyniosła w Petrochemii 7,5 hPa średnio w roku, czyli mniej o około 1,5 hPa niż w Trzepowie i Murzynowie. Różnice niedosytu wilgotności powietrza wahały się w granicach 1,5-2,2 hPa. Wpływ MZRiP uwidacznia się również w przebiegu rocznym i wartościach zachmurzenia, które wyniosło w 1978 r. średnio, 69% czyli mniej o 5% niż w Trzepowie i 3% w Murzynowie. Roczna suma opadów wynosząca 594,1 mm okazała się w Petrochemii najwyższa.

Wpływ kombinatu przemysłowego na warunki klimatyczne spowodowany jest głównie zmianami właściwości podłoża, a więc zmianą jego albedo, właściwości termicznych, szorstkości, a również występowaniem szeregu urządzeń będących sztucznymi źródłami, emisji energii cieplnej (np. elektrociepłownia, piece spalające gaz itp.) oraz pary wodnej (np. instalacja Claus'a). Ubocznym skutkiem produkcji przemysłowej jest również olbrzymia ilość emitowanych do atmosfery zanieczyszczeń, a w przypadku MZRiP szczególnie zanieczyszczeń gazowych (głównie dwutlenek siarki i węglowodory). Przy przerobieniu 10 mln ton ropy naftowej wydzieliła cię 160 do 200 tysięcy ton siarki (ogólnie emisja gazów do atmosfery wynosi około 63 tys. ton rocznie – 1974 r.).

Według opracowania T. Skawiny zanieczyszczenie atmosfery Płocka przez gazy emitowane głównie przez MZRiP dorównuje zanieczyszczeniu w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym. Emisja szkodliwych gazów wpływa bardzo niekorzystnie na rozwój życia biologicznego powodując u ludzi ostre, przewlekłe zatrucia, organiczne uszkodzenia mózgu, długotrwałe i bardzo uporczywe bóle głowy, ciągłe zmęczenie, znużenie, nadmierne

podniecenie psychiczne i zdenerwowanie. W rejonie znajdującym się pod wpływem zakładów emitujących gazy (szczególnie związki siarki) notuje się zwiększoną zachorowalność na gruźlicę oraz szczególnie u dzieci, na krzywicę, anemię, schorzenia dróg oddechowych, notuje się zwiększone zahamowania rozwoju umysłowego. Bardzo wyraźny jest również wpływ zanieczyszczeń gazowych na roślinność, który uwidacznia się w zanikaniu i degeneracji sadów owocowych, usychaniu drzew, czy braku owocowania.

Niniejsza praca będąca wstępną charakterystyką klimatu MZRiP może stanowić punkt wyjścia dla przeprowadzenia dalszych, bardziej szczegółowych badań. Wyniki tej pracy powinny znaleźć potwierdzenie przy analizowaniu dłuższych ciągów obserwacyjnych (rozszerzonych o pomiary promieniowania słonecznego, albedo, temperatur na różnych wysokościach itp.). Należałoby również przeprowadzić badania stwierdzające reprezentatywność punktu pomiarowego w Petrochemii dla całych zakładów. Prawdopodobnie w różnych miejscach rozległego kombinatu warunki termiczne i wilgotnościowe będą się znacznie różniły. Z badań bioklimatycznych najbardziej konieczną wydaje się analiza wpływu specyficznych warunków klimatycznych MZRiP na samopoczucie i zdrowie pracowników, chronienie miejsc i stanowisk pracy o szczególnej uciążliwości dla zdrowia, oraz określenie kierunku i intensywności ruchu powietrza w dolnych, przyziemnych warstwach atmosfery w zależności od kierunku wiatrów powodujących rozprzestrzenianie zanieczyszczeń gazowych po najbliższej okolicy.

7.2.8. Charakterystyka warunków odczuwalnych Płocka w ciepłej porze roku

Autor: Anna O S E T

Opiekunowie naukowci: Maria S T O P A - B O R Y C Z K A,
Maria K O P A C Z - L E M B O W I C Z

Wstęp

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie warunków odczuwanych przez organizm ludzki w Płocku, podczas ciepłej pory roku, za okres 15-letni 1951-1965. Warunki bioklimatyczne Płocka w półroczu letnim scharakteryzowano częstością warunków odczucia ciepła, wyznaczonych za pomocą temperatury efektywnej i ekwiwalentnej, a także określono zmienność warunków odczuwalnych. Poza tym wyróżniono warunki klimatyczne szczególnie uciążliwe dla organizmu ludzkiego oraz zjawiska pośrednio wpływające na termiczne warunki odczuwalne. Zasadniczą część pracy poprzedzają informacje dotyczące literatury tematu, położenia fizycznogeograficznego Płocka, metod badawczych zastosowanych w niniejszym opracowaniu, jak i wykorzystanych materiałów źródłowych.

Warunki bioklimatyczne Płocka w chłodnej porze roku, przedstawione zostały w oddzielnej pracy magisterskiej.

Położenie fizycznogeograficzne Płocka

Płock położony jest w centrum Polski. Położenie to dokładnie określają jego współrzędne geograficzne tj. $\varphi = 52^{\circ}32'$ szer. geogr. N oraz $\lambda = 19^{\circ}40'$ dług. geogr. E. Miasto zajmuje powierzchnię 51,9 km². Należy jednak zaznaczyć, że jego większa część położona jest na prawym, wysokim brzegu Wisły, którego wysokość średnia wynosi 105 m n.p.m. Pozostała część miasta leży na niskim, bo położonym w dolinie, lewym brzegu. Wysokość tego brzegu wynosi ok. 60 m n.p.m.

Właśnie na tym niżej położonym obszarze znajduje się stacja meteorologiczna Płock-Radziwie, skąd pochodzą dane wykorzystane w niniejszej pracy.

Opierając się na regionalizacji fizycznogeograficznej Polski J. Kondrackiego zauważamy, że Płock położony jest na obszarze dwóch mezoregionów tj. Pojezierza Dobrzyńskiego (główna część miasta) i Kotliny Płockiej.

O rzeźbie obszaru, na którym zostało zlokalizowane miasto zadecydowała działalność lodowca w okresie zlodowacenia bałtyckiego. Główna część miasta położona jest na lodowcowej morenie dennej. Dzielnica Radziwie natomiast znajduje się na dnie doliny rzecznej, na jednym z tarasów nadzalewowych.

Według najnowszej regionalizacji klimatycznej Polski dokonanej przez W. Okołowicza, a opartej na średnich temperaturach najcieplejszego i najchłodniejszego miesiąca (lipca i stycznia), średnich sum opadu i czasie trwania termicznych pór roku, Płock leży na granicy dwóch krain należących do dwu różnych subregionów. Są nimi: subregion Nadwiślańsko-Żuławski i subregion Środkowopolski.

Materiał źródłowy i metoda opracowania

W pracy wykorzystano dane pochodzące ze stacji Płock-Radziwie, z 15-lecia 1951-1965, a zgromadzone w materiałach Archiwum Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie. Stacja Płock-Radziwie położona jest na obszarze tarasu nadzalewowego doliny Wisły na wysokości 60 m n.p.m. Jak już wcześniej wspomniano, główna część miasta leży na skarpie Wiślanej wzniesionej o 40 m wyżej niż dolina. Poza tym stacja Radziwie otoczona jest terenami porośniętymi zielenią i o niskiej zabudowie, natomiast większa część miasta charakteryzuje się zabudową wysoką i mniejszą powierzchnią zieleni. To charakterystyczne umiejscowienie stacji może mieć pewien wpływ na to, że otrzymane wyniki pomiarowe są w większym stopniu reprezentatywne dla dzielnicy Radziwie niż dla innych dzielnic Płocka, które znajdują się na obszarze skarpy.

Należy także zaznaczyć, że pomiary prędkości wiatru dokonywane były na wysokości ok. 14 m nad gruntem, natomiast dla wykorzystania danych w celu wyznaczenia temperatury efektywnej, wartości prędkości wiatru sprowadzono rachunkowo do wysokości 2 m nad gruntem. Posunięcie to spowodowało, że również w innych analizach wykorzystano te przeliczone dane, w celu uzyskania porównywalnych wyników.

Bioklimat Płocka został scharakteryzowany głównie wartościami przedstawiającymi częstość występowania poszczególnych warunków odczuwalnych (temperatura efektywna, temperatura ekwiwalentna, zmienność warunków odczuwalnych i inne). Dane te zostały uzupełnione średnimi miesięcznymi dla półrocza letniego.

Część wyników przedstawiono w podziale na trzy terminy klimatologiczne tj. poranny – godz. 7, południowy – godz. 13, wieczorny – godz. 21. Ponadto wyszczególniono dni uciążliwe dla organizmu ludzkiego tj. dni parne, dni upalne, dni z ciszą atmosferyczną, a także dni z silnymi wiatrami. Wyszczególniono także długotrwałość występowania tych zjawisk.

Charakteryzując bioklimat Płocka podjęto próbę oceny klimatu odczuwalnego, uwzględniając temperaturę, wilgotność powietrza oraz prędkość wiatru. Oceny tej dokonano za pomocą takich wskaźników jak: temperatura efektywna, temperatura ekwiwalentna i zmienność temperatury powietrza czyli tzw. bodźcowość. Dzięki dwóm pierwszym wskaźnikom można wyznaczyć warunki komfortu i dyskomfortu, a dzięki trzeciemu określić częstość występowania uciążliwych dla organizmu ludzkiego zmian, termicznych warunków odczuwalnych.

Najstarszym i najczęściej stosowanym w badaniach biometeorologicznych jest temperatura efektywna, określona w latach 30-tych naszego stulecia, przez badaczy amerykańskich. Temperatura efektywna (T_{ef}) opisuje łączny wpływ temperatury, wilgotności i prędkości wiatru na kształtowanie się odczuwalności cieplnej człowieka przebywającego w cieniu (nie uwzględnia promieniowania słonecznego).

W celu obliczenia wartości temperatury efektywnej korzystano z wzorów empirycznych Missenarda:

$$T_{ef} = T - 0,4(T - 10)(1 - 0,01f)$$

dla prędkości wiatru $v = 0$ m/s i dla prędkości wiatru $v > 0$

$$T_{ef} = 37 - (37 - T)((0,68 - 0,0014f + (1,76 + 1,4v^{0,75})^{-1}) - 0,29T(1 - 0,01f))$$

gdzie: T – temperatura powietrza ($^{\circ}\text{C}$), f – wilgotność względna powietrza (%), v – prędkość wiatru (m/s).

Na podstawie wymienionych wzorów obliczono temperatury efektywne dla stacji Płock-Radziwie za lata 1951-1965 dla półrocza letniego.

Uzyskane wartości zostały zaszerogowane w przedziałach odczuć termicznych podanych przez M. Baranowską. Dla obszarów o średniej wieloletniej temperaturze powietrza od 7 do 8°C, którymi to charakteryzuje się Płock wyszczególniono w wymienionej pracy przedziały odczucia termicznego, które zilustrowane są w tab. 1-2.

Tabela 1. Przedziały odczucia termicznego wg. temperatury efektywnej

	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Gorąco		>16,0	>18,0	>18,0	>18,0	>17,0
Ciepło	15,0	16,0	18,0	18,0	18,0	17,0
	8,1	11,1	13,1	14,1	14,1	13,1
Komfort	8,0	11,0	13,0	14J	14,0	13,0
	2,1	6,1	9,1	11,1	11,1	9,1
Chłodno	2,0	6,0	9,0	11,0	11,0	9,0
	-1,9	2,1	6,1	7,1	7,1	4,1
Zimno	≤-2,0	≤2,0	≤6,0	≤7,0	≤7,0	≤4,0

Tabela 2. Częstość warunków odczucia termicznego wg temperatury efektywnej w trzech terminach klimatologicznych (1951-1965)

	Warunki	Gorąco	Ciepło	Komfortowo	Chłodno	Zimno
IV	1	-	7,1	22,0	23,8	17,1
	2	-	28,2	29,5	20,1	21,9
	3	-	18,0	31,3	18,6	29,1
V	1	1,1	10,8	32,0	26,6	29,7
	2	14,9	27,7	26,7	17,4	13,3
	3	5,8	23,0	33,5	22,4	15,3
VI	1	2,0	25,6	34,7	19,6	18,2
	2	30,4	37,3	18,2	8,5	5,6
	3	9,1	12,0	21,4	15,3	9,1
VII	1	3,4	27,5	25,2	28,0	15,9
	2	34,4	27,3	17,2	15,7	5,4
	3	19,1	34,2	19,8	19,6	7,1
VIII	1	1,9	19,2	26,9	32,0	20,0
	2	33,3	29,5	18,7	14,2	1,3
	3	12,4	36,0	24,3	18,7	8,6
IX	1	-	6,2	15,3	37,6	10,9
	2	16,9	19,5	28,5	25,3	9,8
	3	1,2	11,7	29,1	31,8	20,2
IV-IX		10,4	22,2	25,0	24,8	17,6

Wartości przekraczające w miesiącu kwietniu 13° zakwalifikowano w niniejszej pracy do warunków odczuwanych jako „ciepło”. Postąpiono tak wychodząc z założenia, że w miesiącu kwietniu warunki odczuwane jako „gorąco” można zmienić na warunki „ciepła” poprzez dobór odpowiedniej odzieży, tym bardziej, że wartości temperatury efektyw-

nej przekraczające 13,0° w kwietniu stanowią niedużą liczbę przypadków i występują głównie w drugiej połowie miesiąca.

Drugim wykorzystanym wskaźnikiem jest temperatura ekwiwalentna. Temperatura ekwiwalentna wyraża temperaturę, która zostałaby osiągnięta gdyby zawarta w jednostce objętości para wodna uległa kondensacji, a ciepło wyzwolone w tym procesie zostało zużyte do ogrzania powietrza. Wzór na jej obliczanie opracował Prött, a po uproszczeniu przyjmuje on postać:

$$T_e = t + 2e$$

gdzie: t – temperatura powietrza w °C, e – ciśnienie pary wodnej w mm Hg.

Temperaturę ekwiwalentną podobnie jak efektywną przedstawiono w odpowiednich przedziałach warunków odczuwalnych. Również przy tym wskaźniku oparto się na pracy M. Baranowskiej

Dla obszaru o średniej wieloletniej temperaturze powietrza 7-8°C wydzielone wg temperatury ekwiwalentnej przedziały zamieszczone w tab. 3-5.

Tabela 3. Przedziały odczucia termicznego wg temperatury ekwiwalentnej

	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Gorąco		>40,0	>44,0	>47,0	>47,0	>45,0
Ciepło	35,0	45,0	44,0	47,0	47,0	40,0
	27,1	34,1	38,1	42,1	41,1	39,0
Komfort	27,0	34,0	38,0	42,0	41,0	39,0
	21,1	27,1	34,1	36,1	36,1	33,1
Chłodno	21,0	27,0	34,0	36,0	36,0	33,0
	16,1	22,1	28,1	31,1	31,1	28,1
Zimno	≤16,0	≤22,0	≤28,0	≤31,0	≤31,0	≤28,0

Ponieważ wartości temperatury ekwiwalentnej przekraczające 35,0° w kwietniu występowały rzadko, więc zakwalifikowano je do warunków odczuwanych jako „ciepło”.

W pracy obok warunków komfortu i dyskomfortu termicznego, wyszczególniono także inne warunki, określane jako uciążliwe dla organizmu ludzkiego. Uciążliwa dla organizmu ludzkiego jest między innymi pogoda parna tzn. gdy wartość ciśnienia pary wodnej przekracza 18,8 hPa. Ujemny wpływ na samopoczucie człowieka ma także długotrwałe występowanie stanu parności, temperatury powietrza >30,0°C oraz silnych wiatrów tj. ≥8m/s a także cisz atmosferycznych. Do oceny warunków termicznych środowiska atmosferycznego wykorzystano również między dobą zmienność temperatury efektywnej. W tym celu obliczono zmienność temperatury efektywnej pomiędzy południowymi terminami obserwacyjnymi w kolejnych dniach.

Natomiast częstość występowania tych zmian przedstawiono w przedziałach warunków odczuwalnych wyznaczonych przez wskaźnik temperatury efektywnej. Interpretacja wartości poszczególnych przedziałów przedstawia się następująco:

brak zmienności lub zmiana o jeden, przedział warunków odczuwalnych – bodźce nieodczuwalne, zmiana o dwa przedziały warunków odczuwalnych – bodźce umiarkowane, zmiana o trzy przedziały warunków odczuwalnych – bodźce silne, zmiana o cztery przedziały warunków odczuwalnych – bodźce bardzo silne.

Tabela 4. Częstość warunków odczucia termicznego wg temperatury ekwiwalentnej (%) w trzech terminach klimatologicznych (1, 2, 3)(1951-1965)

	Warunki	Gorąco	Ciepło	Komfortowo	Chłodno	zimno
IV	1	-	10,7	13,3	24,4	51,6
	2	-	29,6	21,6	25,3	23,5
	3	-	19,1	19,1	22,9	38,9
V	1	3,4	11,6	31,0	27,3	26,7
	2	19,6	18,5	30,2	21,1	10,5
	3	9,7	15,8	29,5	25,2	19,8
VI	1	16,9	25,0	19,6	24,9	13,6
	2	37,8	26,9	17,3	12,7	5,3
	3	25,3	29,1	18,2	16,9	10,5
VII	1	15,5	19,8	33,5	21,1	10,1
	2	34,9	24,3	25,8	11,8	3,2
	3	25,9	20,9	29,5	15,5	8,2
VIII	1	9,3	21,3	25,6	31,1	12,9
	2	35,5	26,2	26,6	10,0	1,7
	3	20,0	24,7	25,5	22,1	7,7
IX	1	1,1	11,1	17,2	17,3	53,3
	2	16,2	18,0	28,4	24,0	12,7
	3	8,2	11,1	20,0	20,9	39,8
IV-IX		15,4	20,3	24,0	20,8	19,5

Tabela 5. Zmienność z dnia na dzień warunków odczuwalnych (%) w terminie południowym w Płocku (1951-1965)

Warunki odczuwalne	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Bodźce nieodczuwalne	87,0	84,3	88,3	86,1	84,3	88,1
Bodźce umiarkowane	12,2	13,3	8,9	10,1	10,8	11,1
Bodźce silnie odczuwalne	0,8	2,4	2,4	3,6	4,7	0,8
Bodźce bardzo silnie odczuwalne	-	-	0,4	0,2	0,2	-

Ponadto w pracy zestawiono wartości innych zmiennych meteorologicznych w Płocku (półrocze letnie, 1951-1965): częstość dni parnych, temperatura powietrza, liczba dni gorących ($t_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) i upalnych ($t_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$), częstość prędkości wiatru (%) w przedziałach – cisze = 0, ≤ 1 , 2-4, 5-7, ≥ 8 m/s, liczba dni z mgłą, liczba dni pogodnych i pochmurnych i liczba dni z opadem i średnia suma opadu (tab. 6-16).

Tabela 6. Częstość stanów parności powietrza ($e \geq 18,8$ hPa) w trzech terminach klimatologicznych (1, 2, 3)(1951-1965)

L.Pi	IV			V			VI			VII			VIII			IX		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Średnia	-	0,2	-	0,1	0,4	0,3	1,9	3,3	3,8	4,7	5,9	6,5	2,5	4,1	4,9	0,2	0,9	1,3
Max	-	3	-	2	3	4	7	11	13	16	11	18	6	9	12	1	6	7

Tabela 7. Długość stanów parności powietrza ($e \geq 18,8$ hPa) w Płocku za lata 1951-1965

Liczba terminów	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Suma
1	3	5	25	40	34	17	124
2			19	21	27	11	78
3			6	7	6		19
4			2	10	2		14
5			3	4	7		14
6			1	3			4
7			3	2			6
8				2	1		3
9				1			1
10							
11				1			1
12					1		1
29				1			1

Tabela 8. Temperatura powietrza ($^{\circ}\text{C}$) w Płocku w półroczu letnim (1951-1965)

T	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Średnia	7,8	12,9	17,7	18,6	17,6	13,5
Maks. absolutna	28,5 1962	32,1 1958	33,6 1963	36,6 1959	35,0 1952	31,6 1951
Minim. absolutna	-5,8 1963	-4,3 1953	2,0 1958	5,0 1958	4,1 1964	-1,1 1958

Tabela 9. Liczba dni gorących ($t_{\text{max}} \geq 25^{\circ}\text{C}$) i upalnych ($t_{\text{max}} \geq 30^{\circ}\text{C}$) w Płocku w latach 1951-1965

	Dni gorące		Dni upalne	
	15-lecie	Śr. mies.	15-lecie	Śr. mies.
Kwiecień	12	0,8		
Maj	42	2,8	2	0,1
Czerwiec	147	9,8	24	1,6
Lipiec	193	12,9	46	3,1
Sierpień	153	10,2	26	1,7
Wrzesień	53	3,5	7	0,5
P. letnie	600	40,0	105	7,0

Tabela 10. Częstość prędkości wiatru (%) w przedziałach w trzech terminach w Płocku w półroczu letnim w latach 1951-1965 0 – cisze, ≤ 1 – b. słaby, 2-4 – słaby, 5-7 – umiarkowany, ≥ 8 – silny

m/s		0	≤ 1	2-4	5-7	≥ 8	m/s		0	≤ 1	2-4	5-7	≥ 8
IV	1	12,9	34,1	45,2	7,4	0,4	VII	1	11,4	39,8	42,5	6,3	
	2	0,3	23,3	56,3	18,0	2,1		2	1,1	19,8	61,3	17,0	0,8
	3	28,9	15,8	48,7	5,3	1,3		3	28,4	30,2	40,6	3,6	
V	1	9,6	34,4	47,8	7,3	0,9	VIII	1	17,0	40,7	46,4	5,9	
	2	0,4	117,3	62,2	18,6	1,5		2	3,0	19,8	61,6	14,2	1,3
	3	25,2	24,8	40,5	8,9	0,9		3	37,4	20,9	35,5	5,9	0,3
VI	1	12,5	36,2	46,0	5,8		IX	1	24,9	22,7	43,5	7,4	1,5
	2	0,0	19,6	62,9	16,7	0,8		2	8,5	9,2	61,6	18,0	2,7
	3	25,6	30,2	40,6	3,6			3	36,7	5,6	46,6	7,4	1,7

Tabela 11. Długotrwałość cisz atmosferycznych w Płocku w półroczu letnim w latach 1951-1965

L. terminów	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Suma
1	106	110	106	125	154	110	701
2	34	23	23	25	46	50	201
3		1	1	2	2	2	8
4		1		3	1	2	7
5		1			2	3	6

Tabela 12. Długotrwałość prędkości wiatru $v \geq 8$ m/s w Płocku w półroczu letnim w latach 1951-1965

L. terminów	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Suma
1	7	7	3	3	4	7	31
2		2				6	8
3		1					1
4	1						1

Tabela 13. Liczba dni z mgłą w Płocku w półroczu letnim w latach 1951-1965

	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Średnia	1,4	1,6	0,8	0,9	1,1	3,9
Max	4	7	3	4	3	11

Tabela 14. Długotrwałość prędkości wiatru ≥ 8 m/s w Płocku w półroczu letnim w latach 1951-1965

	IV	V	VI	VII	VIII	IX
I termin	65	62	56	61	60	61
II termin	70	71	65	69	69	65
III termin	54	56	57	57	52	41
Średnia	63	63	59	62	60	56

Tabela 15. Średnia liczba dni pogodnych i pochmurnych w Płocku w latach 1951-1965

	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Dni pogodne $\leq 20\%$	4,5	2,6	2,8	3,2	2,5	5,4
Dni pochmurne $\geq 80\%$	10,3	10,0	7,5	8,8	7,7	7,6

Tabela 16. Liczba dni z opadem i średnia suma opadu (mm) w Płocku w półroczu letnim w latach 1951-1965

mm	IV	V	VI	VII	VIII	IX
$\geq 0,1$	10,9	13,1	10,3	14,4	12,6	10,8
$\geq 1,0$	7,9	9,4	7,8	10,6	9,7	8,0
$\geq 10,0$	0,3	0,9	1,1	3,2	1,6	1,0
Suma	29,3	50,8	52,2	92,3	81,6	52,3

Podsumowanie

Aby charakterystyka bioklimatu jakiegoś obszaru była pełna, niezbędna jest ocena zróżnicowania bioklimatycznego. Ocena taka ma duże znaczenie w przypadku Płocka, gdyż jak wiadomo, miasto to położone jest na dwóch, tuk bardzo różnych pod względem warunków naturalnych, brzegach Wisły. Poza tym analiza warunków odczuwalnych była dokonana jedynie dla dzielnicy Radziwie, na terenie której znajduje się stacja meteorologiczna. Należałoby więc zastanowić się, jak częstość występowania warunków odczuwalnych kształtuje się na obszarze całego miasta. Wiadomym jest, że warunki termiczne uzależnione są w znacznym stopniu od lokalnych właściwości środowiska, tzn. od podłoża, rzeźby terenu, ekspozycji zboczy, poziomu wód gruntowych i rodzaju szaty roślinnej.

Obszar doliny Wisły charakteryzuje się wysokim poziomem wód gruntowych i występowaniem wody na powierzchni. Jest to zatem teren podmokły. Można więc go nazwać obszarem niekorzystnym, bowiem sprzyja on wzrostowi wilgotności powietrza, a zatem występują możliwości większej częstości występowania pogody parnej.

Częstsze niż na obszarach wyżej położonych może być też tam występowanie warunków odczuwanych jako „chłodno” i „zimno”, a także wzrasta, uciążliwość dni parnych i gorących.

Na zróżnicowanie warunków termicznych Płocka powinien wpływać także fakt, że na obszarach dolinnych, dzienny przebieg temperatury jest mniej wyrównany niż na obszarze równinnym wzniesionym wyżej. Poza tym na obszarze skarpy swobodniej mogą zachodzić ruchy powietrza. Tak więc pod względem występowania wiatrów bardziej negatywnie ocenić można dzielnicę Radziwie, którą to charakteryzuje duża liczba cisz.

Teren skarpy wiślanej w Płocku charakteryzuje się gęstszą zabudową niż dolina. Wiadomym natomiast jest, że wpływ zabudowy na warunki termiczne, zaznacza się podwyższeniem temperatury powietrza, zmniejszeniem wilgotności i osłabieniem prędkości wiatru. Jest to istotne zwłaszcza w półroczu letnim, kiedy wysokie temperatury często powodują występowanie uciążliwych upałów, odczuwalnych zwłaszcza w godzinach popołudniowych.

Reasumując, można jednak stwierdzić, że na pewno istnieją różnice w występowaniu warunków odczuwalnych pomiędzy obszarem położonym w dolinie a wzniesionym wyżej o 45 m obszarem skarpy. Jednak nie są one aż tak duże, aby diametralnie zmieniały cechy bioklimatu opracowane na podstawie danych ze stacji Płock-Radziwie. Opracowane wyniki mogą, więc dotyczyć całego obszaru miasta Płocka.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że Płock mało wyróżnia się pod względem bioklimatycznym spośród obszarów sąsiednich. Klimat Płocka charakteryzuje się tym, że można go zaliczyć do stosunkowo ciepłych, a zwłaszcza w półroczu letnim, gdyż ma on podobnie jak i inne miejscowości Nizy Polskiego stosunkowo wysoką temperaturę powietrza, tj. 7,9°C. Inną charakterystyczną cechą jest fakt, iż obszar ten otrzymuje stosunkowo małą ilość opadu atmosferycznego. W przypadku ilości opadu, Płock otrzymuje go o wiele mniej niż inne obszary nizinne, gdyż o 115 mm mniej w ciągu półroczu letniego. Korzystną cechą jest fakt, że na terenie Płocka najczęstsze są wiatry słabe o prędkości 2-4 m/s.

Najważniejsze jednak dla organizmu ludzkiego jest zespolone oddziaływanie temperatury powietrza, wilgotności i wiatru. To kompleksowe oddziaływanie ilustruje tempe-

ratura efektywna. Istotne jest także, w jaki sposób kształtują się zmiany warunków odczuwalnych.

Ogólnie najkorzystniejszym miesiącem pod względem warunków termicznych w półroczu letnim na terenie Płocka jest maj (oparto się tu na wskaźniku temperatury efektywnej, ze względu na jego wyjątkową przydatność do oceny odczucia termicznego). W miesiącu tym bardzo często występują warunki odczuwane, jako komfort termiczny, stanowiąc 30%. Poza tym w maju bardzo rzadko mają miejsce dni gorące i upalne (średnio 2,8 dni gorących i 0,4 dni upalnych), które są wybitnie niekorzystne dla organizmu ludzkiego.

Bardzo rzadko, notuje się także na terenie Płocka w tym miesiącu występowanie pogody parnej. W tym to okresie, ciśnienie pary wodnej jedynie w sporadycznych przypadkach przekracza 18,8 hPa. I tak np. w analizowanym 15-leciu przypadki takie zanotowano jedynie 12-krotnie. Jeśli chodzi o wiatry to, dominującymi w maju są wiatry słabe tzn., o prędkości 2-4 m/s, czyli wiatry najkorzystniejsze dla organizmu ludzkiego.

Z przeprowadzonej analizy wynika także, że najmniej korzystnym miesiącem pod względem występowania warunków odczuwalnych jest lipiec.

Wówczas to, warunki odczuwane, jako komfort termiczny stanowią jedynie ok. 20%. Dominuje zaś odczucie „ciepła” (średnio ok. 30%), także „gorąca” (w godzinach południowych nawet o k. 34%).

W miesiącu tym także, często notowane są dni gorące (ok. 13) i upalne (ok. 10).

Częste są również w lipcu stany parności. W latach 1951-1965 zanotowano je 45 razy. Zjawisko to w tym miesiącu charakteryzuje się także, znaczną długotrwałością. Lipiec jest również miesiącem cechującym się opadami dość dużymi (92,3 mm), często są to opady przekraczające 10,0 mm.

Biorąc pod uwagę zmienność warunków odczuwalnych zauważamy, że najmniej korzystnym miesiącem pod tym względem jest lipiec. Notuje się wówczas częste i duże międzydobowe zmiany w występowaniu warunków odczuwalnych. Przedstawiona powyżej analiza klimatu odczuwalnego na obszarze Płocka w okresie półrocza letniego, nie jest wyczerpująca. Uwypukla ona jednak jego najogólniejsze cechy.

Nie jest ona natomiast porównywalna ze wszystkimi pracami dotyczącymi innych terenów Niżu Polskiego, gdyż oparta jest o wskaźniki obliczone w IMiGW, a opisane w pracy M. Baranowskiej, które to stosowane są od połowy lat 70-tych.

Należy jednak mieć nadzieję, że w najbliższych latach doczekamy się jednolitych i porównywalnych opracowań, bioklimatycznych dotyczących całego obszaru Polski, a bazujących na wyżej wspomnianych opracowaniach M. Baranowskiej.

Taki stan rzeczy umożliwiłby rozpowszechnienie i właściwe wykorzystanie badań bioklimatologicznych we współczesnej gospodarce narodowej.

7.2.9. Charakterystyka warunków odczuwalnych Płocka w półroczu chłodnym

Autor: Barbara BELI

Opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA,
Maria KOPACZ-LEMBOWICZ

Wstęp

Niniejsza praca jest kontynuacją badań bioklimatu miast prowadzonych w Zakładzie klimatologii Instytutu Nauk Fizycznogeograficznych Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych. Stanowi ona część opracowania dotyczącego kompleksowej analizy parametrów geograficznych województwa płockiego prowadzonej w ramach prac magisterskich.

Celem pracy jest ogólna charakterystyka bioklimatyczna Płocka za okres wieloletni, jako ośrodka miejskiego. Za kryterium oceny bioklimatycznej przyjęto temperaturę efektywną według Missenarda oraz wskaźniki surowości klimatu Bodmana.

Podstawowe zagadnienia poprzedzono informacjami dotyczącymi położenia fizyczno-geograficznego Płocka oraz informacjami o materiałach źródłowych, metodach opracowania i literaturze dotyczącej omawianego zagadnienia.

Analizę warunków odczuwalnych przeprowadzono według temperatury efektywnej w trzech terminach klimatologicznych o godzinie 7, 13 i 21. Do oceny warunków bioklimatycznych za pomocą tego wskaźnika zastosowano skalę M. Baranowskiej.

Scharakteryzowano strukturę warunków odczuwalnych oraz oceny warunków bioklimatycznych najcieplejszego i najchłodniejszego półrocza w badanym 15-leciu 1951-1965. Omówiono również warunki odczuwalne według wskaźnika surowości klimatu Bodmana. Analizę przeprowadzono tylko dla terminu południowego. Ponadto scharakteryzowano kontrastowe zmiany odczuć termicznych w trzech terminach klimatologicznych oraz oceniono warunki uciążliwe dla organizmu człowieka. W zakończeniu podjęto próbę oceny warunków bioklimatycznych Płocka.

Materiały źródłowe i metoda ich opracowania

Przy opracowaniu tego tematu przyjęto jako okres podstawowy 15-lecie 1951-1965. Praca opiera się na danych ze stacji Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Płocku-Radziwiu (o szerokości geograficznej północnej $52^{\circ}32'$ i długości geograficznej wschodniej $19^{\circ}10'$).

Obserwacje klimatyczne prowadzone na stacji w trzech terminach o godzinie 7, 13 i 21 średniego miejscowego czasu słonecznego. Materiałem wyjściowym do opracowania były codzienne wyniki pomiarów temperatury i wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru z trzech terminów obserwacyjnych z półrocza chłodnego. Obejmuje ono miesiące od października do marca. Materiał statystyczny jest jednorodny dla całego okresu.

Pomiar prędkości wiatru wykonywany był na stacji w Płocku-Radziwiu na wysokości 10 m, a ponieważ obserwacje pozostałych uwzględnionych w niniejszej pracy elementów meteorologicznych prowadzone były na wysokości 2 m, dlatego wartość prędkości wiatru została sprowadzona również do wysokości 2 m. Przy obliczaniu wskaźników bio-

klimatycznych zastosowano skalę Koresteliewa. Dane ze stacji w Płocku-Radziwiu zebrano w całości z materiałów archiwalnych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie.

Do oceny warunków odczuwalnych w Płocku w oparciu o dane wyjściowe zastosowano wskaźniki i kryteria, które określają: warunki odczucia ciepła i bodźcowość.

Charakterystykę warunków odczucia ciepła przeprowadzono na podstawie dwóch kompleksowych wskaźników bioklimatycznych, tj. temperatury efektywnej i wskaźnika surowości klimatu Bodmana. Wybór temperatury efektywnej jako podstawowego wskaźnika przy ocenie klimatu odczuwalnego podyktowany był tym, że jest to wskaźnik określający odczuwalność ciepłą organizmu człowieka pod wpływem łącznego działania temperatury i wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru. Ponadto temperatura efektywna jest jednym z najpowszechniej stosowanych wskaźników przy ocenie bioklimatycznej środowiska atmosferycznego z tego względu, że wskazuje bardzo duży związek z wieloma czynnościami fizjologicznymi (częstość tętna, temperatura ciała i skóry).

Temperatura efektywna została wyznaczona przez naukowców amerykańskich C. P. Yaglou i F.C. Haughtona w latach 30-ych naszego stulecia na podstawie subiektywnego odczucia ciepła wielu tysięcy ludzi badanych w komorach klimatyzacyjnych, które wyposażone były w specjalne urządzenia do regulacji temperatury, wilgotności i ruchu powietrza. Niezależnie od wyników badań przeprowadzonych w Stanach Zjednoczonych Missenard wyznaczył empirycznie wzór do obliczania temperatury efektywnej:

$$T_{EF} = 37 - (37 - T)((0,68 - 0,0014f + (1,76 + 1,4v^{0,75})^{-1})^{-1} - 0,29T(1 - 0,01f))$$

gdzie: T – temperatura powietrza ($^{\circ}\text{C}$), f – wilgotność względna (%), v – prędkość wiatru zredukowana do wysokości 2 m (m/s)

Następnie skonstruowano skalę odczuwalności cieplej oraz wyznaczono granicę komfortu termicznego. Wyznaczenie warunków komfortu, pod którym należy rozumieć optymalne dla organizmu człowieka warunki termiczne, wilgotnościowe i wietrzne zapewniające równowagę bilansu cieplnego ustroju, jest jednym z najistotniejszych przy temperaturze efektywnej.

W Polsce wskaźnik temperatury efektywnej wprowadzili do literatury: W. Gądzikiewicz, T. B. Nowakowski, a ostatnio zagadnieniem tym zajęła się M. Baranowska.

Skonstruowała ona nową, polską skalę odczuć termicznych dla poszczególnych miesięcy. Skala ta obejmuje pięć stopni odczucia termicznego: gorąco, ciepło, komfort, chłód i zimno (tab.1).

W charakterystyce warunków odczuwalnych zastosowano też wskaźnik surowości klimatu Bodmana. Wskaźnik ten powstał na początku XX w. podczas wyprawy na Antarktydę, kiedy Bodman skonstruował przyrząd będący pierwszym analogiem organizmu stacjonarnego. Na podstawie badań wyznaczył on wzór matematyczny do obliczania tego wskaźnika:

$$S = (1 - 0,04T)(1 + 0,272v)$$

gdzie: T – temperatura powietrza ($^{\circ}\text{C}$), v – prędkość wiatru (m/s)

Warunki odczuwalne w Płocku w chłodnej porze roku (październik-marzec) w okresie 15-lecia 1951-1965 charakteryzują tabele 1-12 i rys. 1-2.

Warunki odczuwalne opracowano o następujące wskaźniki bioklimatyczne: temperaturę efektywną, wskaźniki mroźności klimatu Bodmana oraz bodźcowości klimatu. Przeprowadzona analiza danych umożliwi wybór optymalnego sezonu dla organizmu wrażliwego na bodźce meteorologiczne. Układ pogód w opracowywanym 15-leciu pozwolił ponadto na podanie pewnych cech bioklimatu Płocka, na wskazanie bodźców środowiska atmosferycznego działających na ustrój człowieka, a zmieniających swoje nasilenie wraz ze zmianami warunków pogodowych.

Warunki odczuwalne na podstawie temperatury efektywnej (wg wzoru Missenarda i skali Baranowskiej)

Na podstawie danych z trzech terminów klimatologicznych o godzinie 7, 13 i 21 możemy prześledzić częstość występowania poszczególnych stanów odczucia termicznego według temperatury efektywnej.

Duże podobieństwo wykazują krzywe częstości poszczególnych odczuć termicznych wykreślone na podstawie danych dla terminów: porannego i wieczornego. O godzinie 7 i 21 największą częstość osiągają stany odczucia chłodu i zimna. Udział ich zmienia się w poszczególnych miesiącach. Warunki przechłodzenia najczęściej występują w lutym i marcu. O godzinie 7⁰⁰ wyniosły odpowiednio 61,3% i 66%, a o godzinie 21⁰⁰ – 52,6% oraz 48,8%. W pozostałych miesiącach częstość ich jest niższa, np. w styczniu o godzinie 7⁰⁰ wynosiła 41,1%, a o godzinie 21⁰⁰ – 32,5%. Jednak mimo spadku częstości zimna, chłód utrzymuje się nadal na bardzo wysokim poziomie. Struktura stanów odczucia termicznego jest więc w tych terminach bardzo niekorzystna. Takie warunki powodują bowiem zachowanie równowagi cieplej ustroju, zmuszają organizm do zwiększonego wytwarzania ciepła.

Bardzo duży udział warunków przechłodzenia w terminie porannym i wieczornym spowodowany jest niskimi wartościami mierzonymi wówczas elementów meteorologicznych. Niskie temperatury powietrza w porannym terminie obserwacyjnym, wywołane nocnym wypromieniowaniem Ziemi, przy jednoczesnym braku dopływu promieniowania słonecznego, bardzo niekorzystne wpływają na kształtowanie się warunków odczuwalnych. W godzinach wieczornych natomiast utrata promieniowania przeważa nadal nad jego dopływem powodując spadek temperatury powietrza, który mimo spadku prędkości wiatru wpływa na wzrost udziału chłodu i zimna.

Tak kształtują się warunki termiczne w pierwszym i trzecim terminie klimatologicznym wpływają na częstszy odbiór wrażeń termicznych grożących przechłodzeniem i jednocześnie ograniczają udział warunków przegrzania, które w tych terminach reprezentowane są tylko przez stan odczucia ciepła. O godzinie 7 i 21 w całym 15-leciu nie zanotowano ani jednego przypadku wystąpienia stanu odczucia gorąca. Warunki przegrzania największą częstość osiągają w grudniu wahając się od 10,8% o godzinie 7⁰⁰ do 14,9% dni o godzinie 21⁰⁰. W pozostałych miesiącach udział ich jest mniejszy. Komfort, czyli najbardziej optymalne dla organizmu człowieka warunki termiczne zapewniające utrzymywanie się odpowiedniego bilansu cieplnego ustroju, najczęściej występuje w listopadzie, styczniu i październiku. Ich częstość o godzinie 7⁰⁰ wynosiła odpowiednio: 25,1%, 24,7% oraz 14,3% dni, a o godzinie 21⁰⁰ – 28,5%, 28,8% i 22,6%.

Znacznie korzystniej kształtuje się struktura warunków odczuwalnych w południowym terminie obserwacyjnym, który jest bardziej „komfortowy” w porównaniu z pozo-

stałymi terminami klimatycznymi. Większy dopływ promieniowania słonecznego wpływa na wzrost temperatury powietrza powodując poprawę struktury stanów odczucia termicznego. Komfort termiczny według danych z drugiego terminu klimatologicznego osiąga znacznie większe wartości niż o godzinie 7⁰⁰ i 21⁰⁰. Najczęściej notowany jest w październiku (32,0%), listopadzie (33,3%), najrzadziej w marcu (19,3%). W poszczególnych miesiącach półrocza chłodnego we wszystkich terminach klimatologicznych zdecydowanie dominują warunki przechłodzenia.

Stany odczucia chłodu i zimna przeważają nad warunkami optymalnymi i warunkami przegrzania. Najczęściej warunki przechłodzenia notowane są w drugiej połowie analizowanego sezonu, tj. w lutym (69,6%) i marcu (69,9%).

Jest to najbardziej niekorzystny dla człowieka okres. Organizm żywy jest zmuszony wówczas do nadrabiania strat w gospodarce cieplnej ustroju powstałych w wyniku obniżonej temperatury powietrza. W styczniu dużej częstości warunków przechłodzenia (61,8%) towarzyszy stosunkowo duży udział warunków optymalnych (27,7%). W pozostałych miesiącach warunki komfortowe osiągają największe częstości przy dużej jednak częstości stanów odczucia chłodu i zimna, np. w październiku warunki komfortowe występowały przez 32,0%, a warunki przechłodzenia przez 48,8% dni. Najbardziej optymalnym dla gospodarki cieplnej organizmu człowieka jest więc pierwszy okres półrocza chłodnego.

W październiku, listopadzie i grudniu struktura warunków odczuwalnych jest najbardziej korzystna w porównaniu z pozostałymi miesiącami badanego półrocza.

Warunki odczuwalne na podstawie wskaźnika mroźności (wg wzoru Bodmana)

Drugim wskaźnikiem bioklimatycznym wykorzystywanym w niniejszej pracy do oceny warunków odczuwalnych w Plocku jest wskaźnik mroźności klimatu Bodmana. Według tego wskaźnika struktura poszczególnych stanów odczucia termicznego w kolejnych miesiącach układa się w sposób nieco odmienny. Jako najbardziej optymalny wyróżnia się początkowy okres analizowanego półrocza chłodnego. W październiku i listopadzie dominują warunki komfortowe występujące przez większą część każdego z miesięcy (w październiku 93,8% dni, w listopadzie 70,2% dni). Warunki przechłodzenia natomiast reprezentowane przez stan odczucia chłodu i zimna, charakteryzują się bardzo małą częstością nad warunkami optymalnymi dla organizmu człowieka. Ta część półrocza chłodnego odznacza się niekorzystną strukturą stanów odczucia termicznego. Warunki dyskomfortu termicznego najczęściej występują w styczniu i lutym (ok. 60%).

Zakończenie

Analiza częstości warunków odczuwalnych według temperatury efektywnej i wskaźnika mroźności klimatu Bodmana daje w efekcie nieco odmienny obraz struktury klimatu odczuwalnego, co jest zrozumiałe z tego względu, że temperatura efektywna jest wskaźnikiem kompleksowym ujmującym trzy elementy meteorologiczne: temperaturę powietrza, wilgotność i prędkość wiatru, które wpływają na odczuwalność ciepłą człowieka. Natomiast wskaźnik mroźności klimatu Bodmana uwzględnia tylko dwa elementy – temperaturę powietrza i prędkość wiatru, które odgrywają decydującą rolę w kształtowaniu

warunków odczuwalnych zimą, nie dając jednak pełnego ich obrazu. Druga różnica wynika z różnych skal obu wskaźników. Skala temperatury efektywnej obejmuje pięć klas odczucia (gorąco, ciepło, komfort, chłód i zimno), zaś skala wskaźnika mroźności klimatu Bodmana jest trzystopniowa (komfort, chłód i zimno). Poza tym poszczególne stopnie odczucia w skali wskaźnika mroźności klimatu Bodmana mają takie same wartości graniczne we wszystkich miesiącach chłodnej pory roku nie uwzględniając różnic w warunkach termicznych w kolejnych miesiącach i stopnia adaptacji organizmu ludzkiego do warunków chłodu.

Temperatura efektywna jest wskaźnikiem dającym obraz warunków odczuwalnych bliższy rzeczywistości. Uwzględnia bowiem fizjologiczne reakcje organizmu człowieka na zmiany temperatury powietrza i prędkości wiatru, co znajduje swój wyraz w różnych wartościach granicznych dla poszczególnych stanów odczucia ciepła w każdym miesiącu. W związku z tym nie są porównywalne, dla przykładu, warunki komfortu, które mimo analogicznych nazw według obu wskaźników oznaczają różne stany odczucia ciepła. Gdyby jednak potraktować łącznie stan odczucia ciepła i komfortu według temperatury efektywnej jako odpowiednik stanu odczucia komfortu według wskaźnika mroźności klimatu Bodmana, wtedy jest pewna możliwość ich porównania.

Zestawienie częstości warunków odczuwalnych według obu wskaźników wykazuje, że w okresie od grudnia do lutego zaznacza się zbieżność pomiędzy otrzymanymi wynikami. W tych bowiem miesiącach według temperatury efektywnej i wskaźnika mroźności klimatu Bodmana przeważają zdecydowanie warunki dyskomfortu termicznego występujące średnio przez około 60% dni. W pozostałych miesiącach zaznacza się już wyraźna zbieżność wyników. Według temperatury efektywnej w październiku, listopadzie i w marcu, czyli w miesiącach przejściowych między chłodną i ciepłą porą roku, przeważają warunki dyskomfortu termicznego, bądź pozostają one w równowadze z warunkami optymalnymi. Natomiast według wskaźnika mroźności klimatu Bodmana w wyżej wymienionych miesiącach dominują warunki komfortowe. Dowodzi to, że bardziej słuszne jest stosowanie wskaźnika mroźności klimatu Bodmana do charakterystyki warunków odczuwalnych w miesiącach zimowych (grudniu, styczniu i lutym). Przyjęcie bowiem takich samych wartości granicznych dla poszczególnych stanów odczucia dla całej chłodnej pory roku, daje w efekcie obraz warunków odczuwalnych odbiegający znacznie od rzeczywistości w miesiącach skrajnych rozpatrywanego okresu.

Chłodną porą roku w Płocku cechuje na ogół stałość następujących po sobie wrażeń termicznych. Bodźcowość klimatu związana jest z przemieszczaniem się nad danym obszarem frontów atmosferycznych i kontrastowych mas powietrza, największa jest w grudniu (ok.18%) i styczniu (ok.15%). W grudniu częstość kontrastowych zmian warunków odczuwalnych jest największa tak pod względem następowania po sobie wrażeń termicznych różniących się o dwa, jak i o trzy stopnie odczucia. Brak natomiast w całym 15-leciu następowania po sobie odczuć różniących się o cztery stopnie odczucia. Najmniejsza częstość kontrastowych zmian odczuć termicznych wystąpiła w październiku i listopadzie (średnio około 7-8%). Stany odczucia termicznego w tych miesiącach układają się w sposób najbardziej optymalny dla organizmu człowieka.

Jak wynika z przedstawionej charakterystyki, w Płocku najkorzystniejsze warunki odczucia termicznego występują w początkowym okresie badanego półrocza (październik,

listopad). W pozostałych miesiącach warunki odczuwalne kształtują się niekorzystnie dla organizmu żywego. Przeważają warunki dyskomfortu termicznego reprezentowane przez stany odczucia chłodu i zimna. Na miesiące te przypada poza tym największa częstość uciążliwych warunków termicznych. Przypadki występowania temperatury powietrza poniżej -10°C oraz prędkości wiatru powyżej 8 m/s najczęściej występują w styczniu i lutym oraz w grudniu, np. w lutym częstość dni z temperaturą powietrza poniżej -10°C wynosiła 12,4% dni, a wiatru powyżej 8 m/s 2,4% dni. Miesiące te charakteryzują się również największą długotrwałością uciążliwych warunków termicznych.

Przedstawiona wyżej ocena warunków odczuwalnych w chłodnym półroczu opiera się na danych ze stacji Płock-Radziwie, które jak już wspomniano we wstępie, nie jest stacją reprezentatywną dla całego miasta Płocka, lecz dla jego części położonej w dolinie Wisły. W przypadku pozostałej, głównej części miasta, które jak wiadomo położone jest o około 45 m wyżej niż Radziwie, należy się liczyć z pewnymi odchyleniami w stosunku do uzyskanych wyników. Mianowicie różnica wysokości między Radziwem a Płockiem „właściwym” ma zapewne wpływ na modyfikację warunków termicznych, wilgotnościowych i wiatrowych. W Płocku „właściwym” ze względu na jego stosunkowo gęstą zabudowę miejską i mniejszy udział zieleni w porównaniu do Radziwia, a także ze względu na bliskie sąsiedztwo Mazowieckich Zakładów Przemysłu Rafineryjnego stanowiących sztuczne źródło ciepła, można się spodziewać nieco wyższych temperatur powietrza niż w dolinie Wisły. Radziwie natomiast położone jest w obniżeniu, na obszarze doliny rzecznej, narażone jest na możliwość występowania zastoisk chłodnego powietrza, co z punktu widzenia warunków odczuwalnych jest zjawiskiem bardzo niekorzystnym. Pewnych różnic między Radziwem a pozostałą częścią miasta należy spodziewać się także w wilgotności powietrza. Gęstsza zabudowa przy mniejszym udziale zieleni w Płocku „właściwym” zmniejsza wilgotność powietrza w porównaniu z Radziwem. Ponadto różnica prędkości wiatru wynikająca z różnych wysokości i charakteru zabudowy terenu może też mieć istotny wpływ na zróżnicowanie warunków odczuwalnych w Płocku. W Płocku „właściwym” na skutek jego wyższego o około 45 m położenia w stosunku do Radziwia mogą wystąpić nieco większe wartości prędkości wiatru. Jednocześnie stwierdzono, że w dolinie rzecznej istnieje możliwość częstszego występowania cisz i wiatrów silnych.

Według istniejących opracowań klimat Płocka zaliczany jest do klimatu nizinnego. Z punktu widzenia klimatologii lekarskiej, klimat nizinny określany jest jako stosunkowo słabo bodźcowy w porównaniu z klimatem górskim, czy klimatem morskim ze względu na wartości charakteryzujących go parametrów meteorologicznych, a także dlatego, że jest klimatem, w którym żyje i do którego zaadoptowana jest większą część mieszkańców naszego kraju. Klimat nizinny, którego podstawą klasyfikacji jest wzniesienie terenu do 300 m n.p.m., jest typowy dla przeważającego obszaru Polski (90% powierzchni kraju).

Niniejsze opracowanie którego celem jest charakterystyka warunków odczuwalnych Płocka nie jest reprezentatywne dla całego miasta. Różnica wysokości między Radziwem a samym Płockiem niewątpliwie wpływa w dużym stopniu na zróżnicowanie warunków odczuwalnych. Opracowanie warunków bioklimatycznych dla całego miasta możliwe jest jedynie w przypadku dysponowania serią pomiarów wykonywanych w głównej części miasta, położonej wyżej, o gęstszej zabudowie i mniejszym udziale zieleni. Ponadto bli-

skie sąsiedztwo Mazowieckich Zakładów Przemysłu Rafineryjnego z pewnością bardziej modyfikuje warunki odczuwalne na wysoczyźnie aniżeli w dolinie (emisja ciepła i zanieczyszczeń). Dlatego prace tę należy traktować jako ogólną charakterystykę warunków odczuwalnych Płocka w półroczu chłodnym.

Tabela 1. Temperatura efektywna w przedziałach odczucia termicznego dla obszaru Polski o średniej wieloletniej temperaturze powietrza 7-8°C

		X	XI	XII	I	II	III
1	Gorąco	.	.	.	≤15,0	.	.
2	Ciepło	>-3,0	>0,0	>3,0	15,0-10,1	>4,0	>-2,0
3	Komfort	-3,0--8,9	0,0--6,9	3,0--1,9	10,0-5,1	4,0--1,9	2,0--5,9
4	Chłód	-9,0--13,9	-7,0--10,9	-2,0--6,9	5,0-0,9	-2,0--7,9	-6,0--10,9
5	Zimno	≤-14,0	≤-11,0	≤-7,0	≤-1,0	≤-8,0	≤-11,0

Tabela 2. Średnia temperatura efektywna w terminach klimatologicznych

	X	XI	XII	I	II	III
7 ⁰⁰	-0,03	-5,8	-9,9	-12,7	-13,1	-9,8
13 ⁰⁰	3,2	-3,3	-8,4	-10,6	-10,3	-5,4
21 ⁰⁰	2,6	-4,3	-8,9	-11,2	-11,7	-6,7

Tabela 3. Częstość (%) stanów odczucia termicznego według temperatury efektywnej w skali M. Baranowskiej

	7 ⁰⁰							21 ⁰⁰							
	X	XI	XII	I	II	III		X	XI	XII	I	II	III		
Gorąco	0,0	.	10,8	.	.	.	Gorąco	0,0	.	.	.	.	.
Ciepło	2,0	4,9	10,3	7,1	1,4	1,5	Ciepło	6,7	8,2	14,9	9,0	7,1	8,0		
Komfort	14,3	23,1	33,1	24,7	19,1	11,0	Komfort	22,6	28,5	31,4	28,6	19,8	15,9		
Chłód	39,0	37,3	37,8	27,1	18,2	21,5	Chłód	49,4	38,0	33,3	29,7	20,5	27,3		
Zimno	44,7	32,7	10,8	86,0	41,1	61,3	Zimno	21,3	25,3	14,9	32,5	52,6	48,8		
		13 ⁰⁰													
		X	XI	XII	I	II	III								
Gorąco		2,4								
Ciepło		16,8	9,3	13,8	10,5	5,2	10,8								
Komfort		32,0	33,3	21,5	27,7	25,2	19,3								
Chłód		36,0	35,8	36,0	33,6	21,0	24,7								
Zimno		12,0	21,6	30,7	28,2	48,6	45,2								

Tabela 4. Częstość (%) stanów odczucia termicznego w terminach klimatologicznych

	Gorąco	Ciepło	Komfort	Chłód	Zimno
7 ⁰⁰	-	4,7	18,7	29,5	47,1
13 ⁰⁰	0,4	11,2	26,5	31,1	30,8
21 ⁰⁰	-	- 9,0	22,7	32,9	35,4

Tabela 5. Średnia temperatura powietrza

	X	XI	XII	I	II	III	X-III
7 ⁰⁰	5,7	2,3	-1,0	-3,4	-4,5	-1,6	-0,4
13 ⁰⁰	12,2	4,8	-0,6	-1,2	-1,2	3,4	2,9
21 ⁰⁰	7,9	3,2	-0,5	-2,7	.3,0	0,7	0,9
Średnia	8,4	3,4	-0,3	-2,5	-2,9	0,8	1,1

Tabela 6. Przebieg temperatury powietrza w półroczu najcieplejszym 1956/1957

	X	XI	XII	I	II	III
7 ⁰⁰	6,1	-1,6	-1,1	-1,8	1,8	0,3
13 ⁰⁰	11,1	18	1,2	0,2	4,8	6,2
21 ⁰⁰	7,6	.0,3	.0,2	.1,0	2,9	2,8
Średnia	8,3	.0,1	.0,03	-0,7	3,2	3,1

Tabela 7. Średnia prędkość wiatru w półroczu najcieplejszym 1956/1957

	X	XI	XII	I	II	III
7 ⁰⁰	3,3	3,6	5,1	4,0	2,8	3,2
13 ⁰⁰	4,8	4,2	5,1	4,3	3,5	5,0
21 ⁰⁰	4,5	3,1	3,9	3,4	2,4	3,6
Średnia	4,2	3,6	4,7	3,9	2,9	3,9

Tabela 8. Częstość (%) stanów odczucia termicznego według temperatury efektywnej w skali M. Baranowskiej w półroczu najcieplejszym (X-III) 1956/1957

	7 ⁰⁰							21 ⁰⁰					
	X	XI	XII	I	II	III		X	XI	XII	I	II	III
Gorąco	0,0	.	.	.	.	.	Gorąco	.	.	.	.	.	.
Ciepło	3,2	.	12,9	12,9	14,3	3,2	Ciepło	12,9	.	22,6	16,1	28,6	16,1
Komfort	19,4	6,7	19,4	35,5	39,3	16,2	Komfort	9,7	16,7	29,0	35,5	53,6	19,4
Chłód	32,2	63,3	29,0	22,6	42,8	29,0	Chłód	38,7	53,3	9,7	35,5	17,8	32,3
Zimno	45,2	50,0	38,7	29,0	3,65	51,6	Zimno	38,7	30,0	38,7	12,9	.	32,2
	13 ⁰⁰												
	X	XI	XII	I	II	III		X	XI	XII	I	II	III
Gorąco	6,5	.	.	.	.	.		
Ciepło	.	.	19,4	19,3	14,3	25,8							
Komfort	35,5	23,3	29,0	22,6	64,3	29,0							
Chłód	38,7	46,7	19,4	35,5	21,4	16,2							
Zimno	19,3	30,0	32,2	22,6	.	29,0							

Tabela 9. Średnia prędkość wiatru (m/s) w półroczu najchłodniejszym 1962/1963

	X	XI	XII	I	II	III
7 ⁰⁰	6,0	3,5	-4,7	14,2	9,7	3,9
13 ⁰⁰	12,6	5,1	3,4	10,0	5,4	1,3
21 ⁰⁰	7,8	4,1	4,1	12,6	7,4	1,0
Średnia	8,8	4,2	4,0	12,3	7,5	1,1

Tabela 10. Przebieg temperatury powietrza w półroczu najchłodniejszym 1962/1963

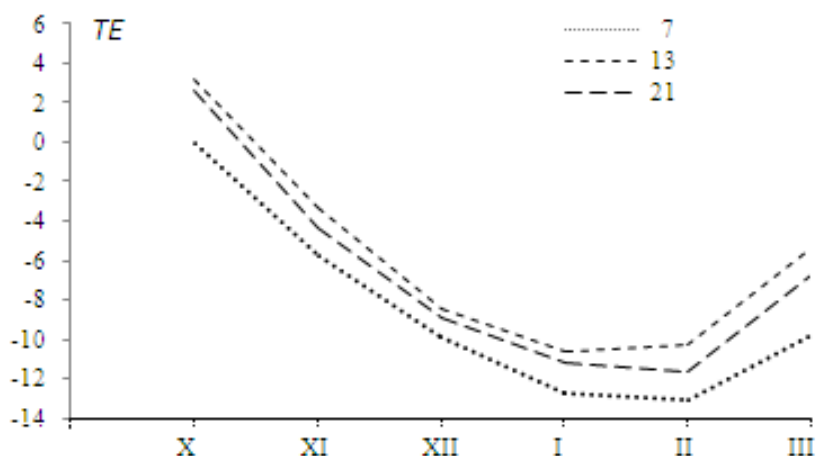
	X	XI	XII	I	II	III
7 ⁰⁰	1,7	2,9	2,8	2,5	2,7	3,1
13 ⁰⁰	3,0	3,3	2,9	2,6	2,9	4,2
21 ⁰⁰	1,7	3,0	2,7	1,9	2,6	3,1
Średnia	2,1	3,1	2,8	3,3	2,7	3,5

Tabela 11. Częstość (%) stanów odczucia termicznego według temperatury efektywnej w skali M. Baranowskiej w półroczu najchłodniejszym 1962/1963

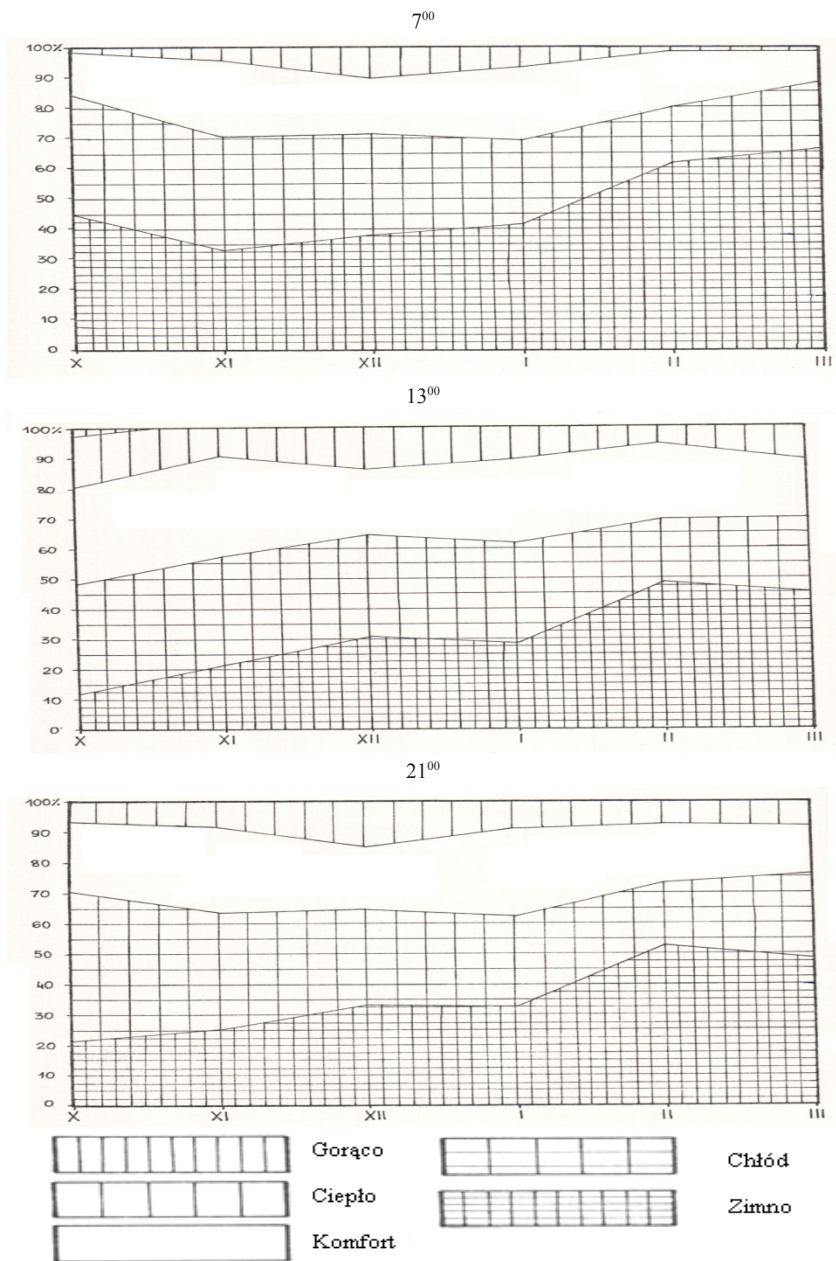
	7 ⁰⁰							21 ⁰⁰					
	X	XI	XII	I	II	III		X	XI	XII	I	II	III
Gorąco	.	.	.	.	.	.	Gorąco	.	.	.	.	.	.
Ciepło	.	3,3	.	.	.	.	Ciepło	3,2	13,3	3,2	.	.	.
Komfort	9,7	30,0	19,4	.	3,6	3,2	Komfort	32,3	30,0	12,9	.	7,1	9,7
Chłód	61,3	46,7	25,8	16,1	14,3	19,4	Chłód	54,8	33,3	35,5	19,4	25,0	25,8
Zimno	29,0	20,0	54,8	83,9	82,2	77,1	Zimno	9,7	23,4	48,4	80,6	67,9	64,5
	13 ⁰⁰												
	X	XI	XII	I	II	III		X	XI	XII	I	II	III
Gorąco	3,2	.	.	.	.	.		
Ciepło	25,8	6,7	.	.	.	.			
Komfort	19,4	43,3	22,6	3,2	17,8	9,7							
Chłód	51,6	33,3	25,8	29,1	143	48,4							
Zimno	-	16,7	51,6	67,7	67,9	41,9							

Tabela 12. Częstość (%) stanów odczucia termicznego według wskaźnika Bodmana surowości klimatu

	7 ⁰⁰							21 ⁰⁰					
	X	XI	XII	I	II	III		X	XI	XII	I	II	III
Komfort	90,2	63,7	47,1	34,2	36,3	48,0	Komfort	93,4	72,9	53,8	41,1	40,5	60,0
Chłód	9,4	27,2	42,6	30,3	47,6	41,7	Chłód	6,0	23,5	39,1	49,9	47,0	32,9
Zimno	0,4	4,1	10,3	15,5	16,1	10,3	Zimno	-0,6	3,6	7,1	9,0	12,5	7,1
	13 ⁰⁰												
	X	XI	XII	I	II	III		X	XI	XII	I	II	III
Komfort	93,6	70,2	69,9	36,0	38,0	51,4							
Chłód	5,9	37,3	43,0	52,7	50,2	42,6							
Zimno	0,4	2,3	7,1	11,3	11,8	6,0							



Rys. 1. Przebieg średniej temperatury efektywnej



Rys. 2. Skumulowany udział (%) stanów odczucia termicznego według temperatury efektywnej w godzinach: 7⁰⁰, 13⁰⁰ i 21⁰⁰

7.2.10. Wpływ zabudowy na klimat lokalny Płocka

Autor: Elżbieta BŁAŻEK

Opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA

Wstęp

Celem pracy jest określenie wpływu, jaki wywiera zabudowa miejska na kształtowanie się klimatu lokalnego Płocka, w zależności od jej układu przestrzennego i zwartości oraz wysokości. Na początku omówiono stan badań klimatu miast i przedstawiono charakterystykę fizycznogeograficzną Płocka ze szczególnym uwzględnieniem klimatu, lokalizację punktów pomiarowych, materiały źródłowe, metody ich opracowania i sytuację synoptyczną w badanych okresach obserwacyjnych.

Następnie scharakteryzowano deformację pól wybranych zmiennych meteorologicznych pod wpływem różnych typów zabudowy na terenie miasta i wskazano warunki pogodowe, w których wpływ zabudowy na klimat zaznacza się najsilniej.

Ponadto określono stratyfikację pionową temperatury i wilgotności powietrza w zależności od typu zabudowy. W podsumowaniu podano najważniejsze wyniki badań uzyskane w pracy, a w zakończeniu próby oceny ilościowej stwierdzono, jaki układ urbanistyczny wywiera najbardziej korzystny wpływ na klimat lokalny miasta.

Charakterystyka fizycznogeograficzna Płocka

Płock położony jest między 52°31' i 52°36' szerokości geograficznej północnej oraz między 19°37' i 19°45' długości geograficznej wschodniej. Rozciągłość z północy na południe wynosi ponad 10 km, zaś z zachodu na wschód – ponad 7 km. Miasto zajmuje obszar 66 km². Płock zlokalizowany jest nad Wisłą, która dzieli go na dwie części: prawobrzeżną, stanowiącą główną, północną część miasta oraz lewobrzeżną, w której znajduje się niewielka dzielnica Radziwie o powierzchni około 9 km². Średnia wysokość części lewobrzeżnej wynosi 60 m n.p.m. Część prawobrzeżna natomiast usytuowana jest na wznoszącej się 30-50 m ponad dolinę Wisły skarpie, a jej średnia wysokość osiąga 105 m n.p.m.

Według regionalizacji fizycznogeograficznej Polski, opracowanej przez Kondrackiego (1978), obszar Płocka położony jest w prowincji Nizy Środkowoeuropejskiego, podprowincji Pojezierza Dobrzyńskiego, należącego do makroregionu Pojezierza Chełmińsko-Dobrzyńskiego oraz Kotliny Płockiej, stanowiącej część makroregionu Pradoliny Toruńsko-Eberswaldzkiej. Granicę między tymi mezoregionami wyznacza stroma skarpa wiślana.

Materiały źródłowe i opis punktów pomiarowych

Płock jest miastem średniej wielkości, liczącym ponad 100 tysięcy mieszkańców. Jego specyfika wynika ze zróżnicowanej zabudowy, urozmaiconej rzeźby terenu, dużego udziału przemysłu i terenów zielonych.

Zabudowę lewobrzeżnej dzielnicy Radziwie stanowi niskie rozproszone budownictwo jednorodzinne, typowe dla peryferii. W prawobrzeżnej części Płocka natomiast starą zwartą niską zabudowę Starego Miasta i Śródmieścia (charakterystyczną dla małych miast) otaczają nowoczesne osiedla mieszkaniowe (m.in. osiedla Tysiąclecia, Łukasiewicza, Do-

brzyńska, Skarpa A i Skarpa B) z typowo wielkomiejskimi luźno rozmieszczonymi wysokimi blokami (rys. 1).



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w Płocku

- Punkt 1 znajdował się na Starym Mieście, powyżej krawędzi skarpy wiślanej, na skwarku z pomnikiem Krzywickiego
- Punkt 2 zlokalizowano również na Starym Mieście, na rozległym trawniku pośrodku Placu Narutowicza
- Punkt 3 położony był w śródmieściu, po północnej stronie wąskiej ulicy Kolegialnej (między ulicami Tumskiej i 1 Maja)
- Punkt 4 usytuowano na dużym prostokątnym podwórzu na tyłach ulicy Tumskiej (po jej zachodniej stronie, między ulicami Sienkiewicza i Kwiatka)
- Punkt 5 zlokalizowany był w wąskiej uliczce biegnącej między ulicami Królewiecką i Sienkiewicza równoległe do ulicy Tumskiej
- Punkt 6 reprezentował nowe osiedle mieszkaniowe z wysoką luźną zabudową. Mieścił się w ogródku koło dwupiętrowego budynku szkoły podstawowej przy ulicy Piasta Kołodzieja w Osiedlu Tysiąclecia.

- Punkt I położony był na dziedzińcu ratusza (obecnej siedziby Urzędu Miejskiego) na rogu ulicy Zduńskiej i Bielskiej.
- Punkt II znajdował się w ogródku szkolnym przy ulicy Piasta Kołodzieja. Klatka meteorologiczna stała w odległości 1,5 m od stanowiska nr 6.
- Punkt III usytuowany był w północno-zachodniej części Płocka w pobliżu ulicy Łukaszewicza, między doliną Brzeźnicy i terenem Mazowieckich Zakładów Rafineryjnych i Petrochemicznych.

W niniejszej pracy wykorzystano wyniki badań meteorologicznych przeprowadzonych na terenie Płocka w latach 1979-1981 przez Zakład Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego podczas studenckich ćwiczeń terenowych. Pomiary odbywały się w 9 punktach (oznaczonych numerami od 1 do 6 oraz od I do III, w 5 okresach obserwacyjnych, przy czym w każdym okresie działała różna ilość punktów:

- punkty: 1, 3, I, II – od 9 do 22 lipca 1979 r
- punkt 1 – od 29 do 30 maja 1980r
- punkty: I, II, III – od 14 do 29 lipca 1980 r.
- punkty: 1, 2, 4, 5, 6, I – od 11 do 23 lipca 1981 r
- punkty: 1, 2, 5 – od 24 do 30 września 1981 r.

Wpływ pogody na warunki termiczne i wilgotnościowe w mieście

Z przeprowadzonej analizy wynika, że wpływ warunków pogodowych na zróżnicowanie przestrzenne temperatury powietrza, ciśnienia pary wodnej i wilgotności względnej w Płocku był znacznie większy podczas pogody antycyklonalnej niż cyklonalnej, natomiast w przypadku prędkości wiatru – odwrotnie. Poza tym bardziej zaznaczał się w wybranych dniach lipca aniżeli września, szczególnie w przypadku temperatury powietrza.

Podczas pogody wyżowej małe zachmurzenie i osłabiona prędkość wiatru warunkowały wyraźny przebieg dzienny temperatury powietrza, ciśnienia pary wodnej i wilgotności względnej, charakteryzujący się dużymi wahaniami: temperatury maksymalnej do 12°C, ciśnienia pary wodnej do 5 hPa, wilgotności do 50%. Ponadto stwierdzono w tego typu dniach duże zróżnicowanie przestrzenne wymienionych elementów meteorologicznych na terenie miasta: temperatury maksymalne do 2,6°C, ciśnienia pary wodnej do 3,5 hPa, wilgotności do 12%. Małej prędkości wiatru towarzyszyły natomiast niewielkie wahania w ciągu dnia – maksymalnie do 2,0 m/s oraz słabe zróżnicowanie przestrzenne tego elementu – do 1,7 m/s.

Charakterystyczne dla pogody niżowej duże zachmurzenie i zwiększona prędkość wiatru wpłynęły natomiast na złagodzenie przebiegu dziennego temperatury powietrza, ciśnienia pary wodnej i wilgotności względnej oraz zmniejszenie ich wahań: temperatury maksymalne do 5°C, ciśnienia pary wodnej do 2 hPa, wilgotności do 25%. Zróżnicowanie przestrzenne tych elementów w porównaniu ze zróżnicowaniem podczas pogody wyżowej było również niewielkie: temperatury maksymalne 1,4°C, ciśnienia pary wodnej do 1,0 hPa, wilgotności do 8%. Jedynie prędkość wiatru charakteryzowała się większymi wahaniami w ciągu dnia – maksymalnie do 3,1 m/s oraz większym zróżnicowaniem przestrzennym – do 2,1 m/s niż w przypadku pogody wyżowej.

W wybranych dniach, niezależnie od typu pogody, uwzględnione elementy meteorologiczne wykazywały największe różnice między punktami pomiarowymi na ogół w serii około południowej (wilgotność względna także w porannej, a prędkość wiatru w wieczornej), zaś najmniejsze – przeważnie w godzinach wieczornych i wczesnych porannych.

Wpływ zabudowy na stratyfikację pionową temperatury i wilgotności powietrza

Wpływ zabudowy na stratyfikację pionową temperatury i wilgotności powietrza wyraża się poprzez właściwości podłoża (tempo akumulacji i wypromieniowania ciepła, a także procesu parowania) oraz lokalne warunki nasłonecznienia i wymiany powietrza.

Typowy rozkład pionowy temperatury powietrza, ciśnienia pary wodnej i wilgotności względnej charakteryzuje się spadkiem ich wartości w miarę wzrostu wysokości nad poziomem gruntu. Stwierdzono, że największe różnice średniej temperatury powietrza i ciśnienia pary wodnej między poziomami 0,25 i 1,50 m wystąpiły w Płocku w godzinach około południowych i maksymalnie wyniosły odpowiednio 1,0°C i 1,6 hPa, natomiast wilgotności względnej – w serii wieczornej: 5%. W przypadku typowej stratyfikacji pionowej niska zwarta zabudowa oraz betonowe lub piaszczyste podłoże (w przeciwieństwie do powierzchni twardej, położonej na skraju obszaru zabudowanego wpływa na zwiększenie pionowej różnicy temperatury oraz zmniejszenie pionowych różnic wskaźników wilgotności powietrza.

Odwroćcie pionowego rozkładu badanych elementów meteorologicznych, czyli wzrost ich wartości w miarę oddalania się od podłoża, pojawiło się w Płocku w przypadku temperatury powietrza i ciśnienia pary wodnej w serii wieczornej, zaś wilgotności względnej - w ciągu całego dnia. Maksymalna wielkość inwersji temperatury wyniosła 0,6°C, ciśnienia pary wodnej 0,3 hPa, a wilgotności względnej 2%. Stwierdzono, że niska zwarta zabudowa i betonowa lub piaszczyste podłoże powoduje (odwrotnie niż powierzchnia roślinna) opóźnienie (nawet o kilka godzin) i złagodzenie wieczornej inwersji termicznej oraz wzrost wilgotności względnej w miarę wzrostu wysokości w różnych porach dnia.

Podsumowanie ważniejszych wyników badań

Badania przeprowadzone w Płocku w latach 1979-1981 wykazały znaczące oddziaływanie zabudowy na temperaturę powietrza (tab. 1-5) i jego wilgotność (ciśnienie pary wodnej)(tab.6-10), tj. kształtowanie klimatu lokalnego miasta.

Poszczególne typy zabudowy, różniące się wysokością, zwartością i układem przestrzennym, szerokością i przebiegiem ulic, ekspozycją dosłoneczną i dowietrzną, właściwościami podłoża, udziałem roślinności, wpływały na występowanie na terenie miasta miejsc charakteryzujących się różnym typem przebiegu procesów nagrzewania się i wchłaniania powierzchni czynnej, parowania i transpiracji roślin oraz lokalnej cyrkulacji powietrza. Prowadziło to do zróżnicowania przestrzennego średnich wartości podstawowych elementów meteorologicznych, zmieniającego się w zależności od pory roku, pory dnia i wysokości nad poziomem gruntu. Stwierdzono, że w Płocku zróżnicowanie to okazało się największe w lipcowych okresach obserwacyjnych, w godzinach około południowych (jedynie w przypadku wilgotności względnej – w wieczornych) i na wysokości 0,25 m

nad powierzchnią podłoża. Maksymalne różnice temperatury powietrza w wymienionych warunkach dochodziły do 1,7°C, ciśnienia pary wodnej – do 2,0 hPa, zaś wilgotności względnej – do 11%.

Analiza przebiegów wartości elementów meteorologicznych w wybranych dniach wykazała, że wpływ zabudowy na ich zróżnicowanie przestrzenne nasilał się przy pogodzie wyżowej, a malał przy niżowej (w przypadku prędkości wiatru było odwrotnie). Podczas gdy na wysokości 1,50 m n.p.g. uśrednione wartości temperatury powietrza różniły się na terenie Płocka maksymalnie o 1,4°C, ciśnienia pary wodnej o 1,5 hPa, wilgotności względnej o 9%, a prędkości wiatru o 1,4 m/s, to w pojedynczym dniu reprezentującym pogodę antycyklonalną mogły sięgać odpowiednio: 2,6°C, 3,5 hPa, 12%, 1,7 m/s, zaś w dniu z pogodą cyklonalną: 1,4 °C, 1,0 hPa, 8%, 2,1 m/s.

Wpływ różnych typów zabudowy, a zwłaszcza rodzajów podłoża, zaznaczył się nie tylko w przebiegu wartości podstawowych elementów meteorologicznych na obszarze miasta, ale i w ich stratyfikacji pionowej. Stwierdzono, że w Płocku największy spadek średniej temperatury powietrza wraz ze wzrostem wysokości między poziomami 0,25 i 1,50 m dochodził w serii około południowej do 1,0°C, ciśnienia pary wodnej do 1,6 hPa, zaś wilgotności względnej w godzinach wieczornych do 5%. Maksymalna wielkość wieczornej inwersji temperatury wynosiła natomiast 0,6°C, ciśnienia pary wodnej 0,3 hPa, a w wilgotności względnej (w ciągu całego dnia) 2%.

Badania wykonane w Płocku potwierdziły, że klimat miasta najsilniej deformuje niska zawarta zabudowa o układzie zamkniętym, z betonowym podłożem i niewielkim udziałem zieleni. Powoduje ona podwyższenie temperatury powietrza w stosunku do terenów otaczających, obniżenie wilgotności i prędkości wiatru, zwiększenie pionowego gradientu temperatury i odwrócenie pionowej stratyfikacji wilgotności względnej. Najbardziej korzystnym z punktu widzenia warunków klimatu lokalnego, a zatem i warunków odczuwalnych dla mieszkańców, okazała się wysoka luźna zabudowa o układzie otwartym i dużym udziałem roślinności niskiej i wysokiej.

Uzyskane wyniki wskazują na to, że niniejsza praca może stanowić wstęp do dalszych, bardziej szczegółowych badań zróżnicowania klimatu lokalnego Płocka i zasięgu oddziaływania zabudowy, przeprowadzonych w zagęszczonej sieci punktów pomiarowych, uwzględniającej nowe osiedla mieszkaniowe z luźną mieszaną zabudową oraz tereny je otaczające.

Tabela 1. Średnia temperatura powietrza (°C) w okresie 9-22 lipca 1979

Punkt	0,25 m				1,50 m			
	1	3	I	II	1	3	I	II
5 ⁰⁰	12,4	13,8			12,3	13,6		
5 ³⁰	12,5	13,9			12,4	13,6		
6 ⁰⁰	15,0	14,1			13,0	13,3		
6 ³⁰	13,5	14,2			13,4	14,2		
7 ⁰⁰	14,0	14,8	14,5	15,3	14,0	14,6	14,6	15
7 ³⁰	14,5	15,5			14,5	15,3		
8 ⁰⁰	15,5	16,1			15,1	15,3		
8 ³⁰	16,2	16,9			15,9	16,7		
9 ⁰⁰	16,8	17,5			16,7	17,4		
12 ⁰⁰	17,9	19,2			17,8	18,5		
12 ³⁰	18,3	19,8			15,6	19,4		
13 ⁰⁰	13,6	19,9	18,3	19,2	18,4	19,6	18,6	18,8
13 ³⁰	18,5	19,5			18,4	19,3		
14 ⁰⁰	13,3	20,4			18,8	20,1		
17 ⁰⁰	13,2	19,4			18,0	19,1		
17 ³⁰	17,5	18,9			17,6	18,5		
18 ⁰⁰	17,3	18,4			17,2	13,1		
18 ³⁰	16,3	17,9			16,9	17,7		
19 ⁰⁰	16,4	17,4	17,3	17,1	16,5	17,2	17,2	17,0
19 ³⁰	16,0	17,1			16,0	16,8		
20 ⁰⁰	15,5	16,6			15,6	16,5		
20 ³⁰	15,2	16,4			15,3	16,1		
21 ⁰⁰	14,3	16,0			15,0	15,7		

Tabela 2. Średnia temperatura powietrza (°C) w punkcie 1 w okresie 29-30 maja 1980

	6 ⁰⁰	6 ³⁰	7 ⁰⁰	7 ³⁰	8 ⁰⁰	12 ⁰⁰	12 ³⁰	13 ⁰⁰
0,25 m	14,9	15,4	16,0	17,4	16,5	23,1	23,2	23,6
1,5 m	14,6	15,0	15,6	17,2	15,3	22,6	22,4	22,8
	13 ³⁰	14 ⁰⁰	18 ⁰⁰	18 ³⁰	19 ⁰⁰	19 ³⁰	20 ⁰⁰	
0,25 m	23,0	21,0	21,0	20,3	19,6	19,3	19,0	
1,5 m	23,0	20,6	21,2	20,5	20,0	19,8	19,4	

Tabela 3. Średnia temperatura powietrza (°C) w okresie 14-29 lipca 1980

Poziom	0,25 m			1,50 m		
Godz.	7 ⁰⁰	13 ⁰⁰	19 ⁰⁰	7 ⁰⁰	13 ⁰⁰	19 ⁰⁰
I	16,6	21,0	19,0	16,6	20,6	16,9
II	16,8	21,1	19,2	16,6	20,7	19,3
III	16,5	21,1	18,5	16,3	20,9	15,4

Tabela 4. Średnia temperatura powietrza (°C) w okresie 11-23 lipca 1981

Punkt	0,25 m						1,50 m					
	1	2	5	6	1	4	1	2	5	6	1	4
5 ⁰⁰	15,4	15,6	16,0	15,9			15,4	15,4	15,7	15,7		
5 ³⁰	15,4	15,5	15,9	15,7			15,3	15,4	15,7	15,6		
6 ⁰⁰	15,2	15,5	15,9	15,9			15,1	15,4	15,9	15,7		
6 ³⁰	15,6	16,0	16,3	16,3			15,4	15,8	16,2	16,1		
7 ⁰⁰	16,2	16,6	16,3	16,9	16,6	16,9	16,1	16,4	16,4	16,7	16,4	16,6
7 ³⁰	16,9	17,5	15,4	17,5			16,6	16,9	17,0	17,2		
8 ⁰⁰	17,5	18,0	17,6	19,1			17,0	17,1	17,5	17,8		
12 ⁰⁰	22,7	22,6	23,1	23,4			22,2	22,4	22,5	22,4		
12 ³⁰	23,0	25,1	23,6	25,8			22,7	22,5	23,2	23,0		
13 ⁰⁰	23,1	25,2	23,2	23,4	23,7	22,4	22,6	22,4	22,7	23,0	25,3	21,9
13 ³⁰	23,2	25,3	25,6	23,6			23,1	25,0	23,2	23,1		
14 ⁰⁰	23,6	25,6	23,7	23,8			23,5	25,1	23,4	23,3		
17 ⁰⁰	21,6	22,2	22,3	22,2			21,7	21,9	22,2	22,1		
17 ³⁰	21,1	21,4	21,3	21,3			21,4	21,5	21,5	21,6		
18 ⁰⁰	21,0	21,4	21,7	21,6			21,2	21,5	21,5	22,0		
18 ³⁰	19,8	20,4	20,3	20,6			20,0	20,5	21,0	20,7		
19 ⁰⁰	19,0	19,2	19,7	19,2	20,5	20,4	19,2	19,3	19,6	19,3	20,4	20,1
19 ³⁰	19,0	19,3	19,6	19,5			19,6	19,6	19,5	19,7		
20 ⁰⁰	18,9	19,7	19,3	19,1			19,3	19,0	19,3	19,3		

Tabela 5. Średnia temperatura powietrza (°C) w okresie 24-30 września 1981

Punkt	0,25 m			1,50 m		
	1	2	5	1	2	5
5 ⁰⁰	14,4	14,2	14,5	14,2	14,3	14,2
5 ³⁰	14,0	14,1	14,0	14,2	14,1	14,0
6 ⁰⁰	14,1	14,1	14,2	14,2	14,1	14,0
6 ³⁰	14,2	14,5	14,1	14,2	14,4	14,0
7 ⁰⁰	14,9	14,8	14,6	14,3	14,7	14,6
7 ³⁰	15,3	15,1	14,8	15,1	15,0	14,6
8 ⁰⁰	15,4	15,2	15,1	15,5	15,2	14,8
12 ⁰⁰	19,5	20,7	19,0	19,4	20,2	13,5
12 ³⁰	20,2	20,7	20,4	20,0	20,7	20,1
13 ⁰⁰	19,5	19,5	19,3	19,4	19,6	19,4
13 ³⁰	19,9	20,0	19,3	19,6	19,3	19,6
14 ⁰⁰	20,0	20,6	20,1	20,0	20,3	19,9
17 ⁰⁰	15,4	13,3	19,7	18,4	19,0	19,4
17 ³⁰	17,5	15,4	18,2	17,7	19,6	19,0
18 ⁰⁰	17,3	15,0	17,6	17,5	19,5	17,6
18 ³⁰	17,1	18,0	17,4	17,2	15,1	17,4
19 ⁰⁰	16,3	17,9	17,0	17,0	15,0	17,1

Tabela 6. Średni ciśnienie pary wodnej (hPa) w okresie 9-22 lipca 1979

Punkt	0,25 m				1,50 m			
	I	3	I	II	I	3	I	II
5 ⁰⁰	12,6	13,5			12,5	13,3	''	
5 ³⁰	12,9	15,3			12,5	13,2		
6 ⁰⁰	13,1	13,4			13,0	13,2		
6 ³⁰	13,5	13,4			13,1	15,2		
7 ⁰⁰	15,6	13,4	13,6	14,2	13,4	13,2	13,5	15,5
7 ³⁰	13,0	15,5			13,6	13,4		
8 ⁰⁰	13,5	13,7			13,44	13,7		
8 ³⁰	15,7	15,6			13,4	13,4		
9 ⁰⁰	15,6	13,3			15,2	13,1		
12 ⁰⁰	12,9	12,7			12,7	12,3		
12 ³⁰	13,0	12,3			12,9	12,1		
13 ⁰⁰	12,5	12,2	13	13,6	12,3	12,2	12,6	12,7
13 ³⁰	12,?	12,1			12,5	12,1		
14 ⁰⁰	13,1	12,0			12,5	11,5		
17 ⁰⁰	12,0	12,5			12,7	12,4		
17 ³⁰	13,0	12,7			12,5	12,6		
18 ⁰⁰	15,0	12,7			12,6	12,5		
18 ³⁰	12,5	15,1			12,9	12,9		
19 ⁰⁰	13,5	15,2	15,5	13,5	13,1	13,1	13,3	13,1
19 ³⁰	13,2	13,2			13,0	15,1		
20 ⁰⁰	15,4	15,2			13,2	13,0		
20 ³⁰	15,2	13,1			15,1	13,0		
21 ⁰⁰	13,2	13,1			13,0	13,1		

Tabela 7. Średnie ciśnienie pary wodnej (hPa) w punkcie 1 w okresie 29-30 maja 1980

	6 ⁰⁰	6 ³⁰	7 ⁰⁰	7 ³⁰	8 ⁰⁰	12 ⁰⁰	12 ³⁰	13 ⁰⁰
0,25 m	14,1	14,1	14,7	14,6	14,9	13,7	12,9	12,5
1,5 m	14,0	14,0	14,2	14,2	14,6	12,6	11,3	11,4
	13 ³⁰	14 ⁰⁰	18 ⁰⁰	18 ³⁰	19 ⁰⁰	19 ³⁰	20 ⁰⁰	
0,25 m	13,6	12,6	12,5	13,0	12,4	12,4	12,6	
1,5 m	13,0	12,0	12,0	12,6	12,4	12,2	12,4	

Tabela 8. Średnie ciśnienie pary wodnej (hPa) w okresie 14-29 lipca 1980

Poziom	0,25 m			1,50 m		
Godz.	7 ⁰⁰	13 ⁰⁰	19 ⁰⁰	7 ⁰⁰	13 ⁰⁰	19 ⁰⁰
I	16,6	17,9	17,0	16,4	17,1	16,6
II	16,8	18,1	17,6	16,5	17,2	17,4
III	16,8	18,6	17,6	16,3	17,8	17,1

Tabela 9. Średnie ciśnienie pary wodnej (hPa) w okresie 11-23 lipca 1981

Punkt	0,25 m						1,50 m					
	1	2	5	6	1	4	1	2	5	6	1	4
5 ⁰⁰	15,3	16,0	15,7	16,0			15,6	15,9	15,5	15,7		
5 ³⁰	16,0	16,3	15,9	15,7			15,9	16,1	15,9	15,2		
6 ⁰⁰	15,6	15,9	16,0	15,5			15,3	15,8	15,8	15,3		
6 ³⁰	15,3	16,1	16,0	15,6			15,5	15,7	15,9	15,3		
7 ⁰⁰	16,5	16,7	16,0	16,4	15,9	15,4	16,0	16,3	15,7	15,9	15,7	15,4
7 ³⁰	16,4	16,7	16,3	16,3			15,7	16,0	16,0	15,9		
8 ⁰⁰	16,9	16,3	16,2	16,3			15,3	16,0	15,9	15,9		
12 ⁰⁰	16,9	16,9	15,5	15,4			15,9	16,3	15,2	15,4		
12 ³⁰	16,9	16,8	15,5	16,9			15,7	16,2	15,1	16,1		
13 ⁰⁰	17,0	17,3	15,3	16,1	16,0	14,7	15,9	16,2	14,8	15,5	15,3	14,6
13 ³⁰	16,4	17,4	15,4	15,9			15,4	16,5	15,0	15,4		
14 ⁰⁰	16,7	17,0	15,4	16,1			15,3	15,5	14,6	15,2		
17 ⁰⁰	16,2	16,7	15,9	15,9			15,6	16,1	15,1	15,4		
17 ³⁰	15,9	16,0	15,6	15,2			15,5	15,5	15,2	15,0		
18 ⁰⁰	16,1	16,0	15,0	15,5			15,5	15,3	14,6	14,8		
18 ³⁰	16,3	16,3	15,4	15,7			15,8	15,9	15,0	15,1		
19 ⁰⁰	16,2	16,6	15,9	16,4	15,2	15,6	15,7	16,2	15,7	15,9	15,0	15,6
19 ³⁰	16,1	16,3	16,6	16,6			15,5	16,4	16,3	16,0		
20 ⁰⁰	16,4	16,9	16,6	16,2			16,1	16,6	16,5	15,9		

Tabela 10. Średnie ciśnienie pary wodnej (hPa) w okresie 24-30 września 1981

Punkt	0,25 m			1,50 m		
	1	2	5	1	2	5
5 ⁰⁰	14,3	14,4	14,9	14,2	14,1	14,9
5 ³⁰	14,2	14,4	14,8	14,1	14,1	14,9
6 ⁰⁰	14,2	14,2	15,0	14,0	14,2	14,7
6 ³⁰	14,4	14,4	15,0	14,2	14,4	14,5
7 ⁰⁰	15,0	14,9	15,4	14,5	14,5	15,2
7 ³⁰	14,9	14,6	15,2	14,3	14,4	15,0
8 ⁰⁰	14,5	14,5	15,1	14,2	14,2	14,9
12 ⁰⁰	16,3	17,3	16,3	16,0	16,5	15,8
12 ³⁰	16,5	16,3	16,0	16,2	15,8	16,1
13 ⁰⁰	16,5	16,1	15,9	15,9	15,6	15,2
13 ³⁰	16,7	15,5	15,6	16,0	15,5	15,6
14 ⁰⁰	16,3	15,9	15,6	15,7	15,9	15,6
17 ⁰⁰	15,6	15,9	14,9	15,0	16,0	15,0
17 ³⁰	15,0	16,0	15,1	15,0	16,1	15,1
18 ⁰⁰	15,2	16,0	15,4	15,1	16,0	15,2
18 ³⁰	15,0	16,0	15,3	15,2	16,0	15,4
19 ⁰⁰	15,0	16,1	15,4	15,3	16,0	15,3

7.2.11. Zależność temperatury i wilgotności powietrza od rzeźby terenu na przykładzie okolic Płocka

Autor: Lidia ROMANIEC

Opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK

Celem niniejszej pracy jest określenie wpływu rzeźby terenu na kształtowanie się warunków termiczno-wilgotnościowych powietrza w terenie dotychczas nie rozpoznanym – okolicach Płocka.

Materiały źródłowe i lokalizacja punktów pomiarowych

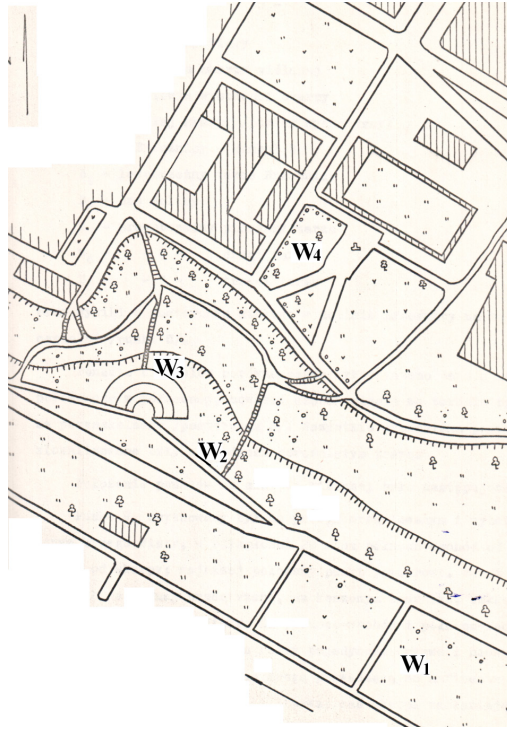
Zależności rozpatrywano pod kątem ukształtowania terenu oraz w jakim stopniu rzeźba terenu wpływa na zróżnicowanie warunków termicznych i wilgotnościowych w różnych sytuacjach pogodowych. Do opracowania posłużono się materiałem pomiarowym z terenu Płocka, z dwóch dolin rzecznych: Wisły (prawe zbocze) i Brzeźnicy. Były to specjalne pomiary prowadzone na dwojakiego rodzaju stanowiskach:

- punkty stałe – bazowe – wyposażone w klatkę meteorologiczną, w której znajdował się psychrometr Augusta, termometry ekstremalne, higrometr i termohigrograf, pomiary wykonywano 3 razy dziennie,
- punkty pomocnicze – wyposażone w przenośną aparaturę pomiarową (psychrometr Assmanna oraz anemometr Robinsona lub katatermometr, pomiary wykonywano na poziomach 0,25 i 1,5 m nad poziomem gruntu, w terminach: 5⁰⁰-9⁰⁰, 12⁰⁰-14⁰⁰, 17⁰⁰-21⁰⁰ co pół godziny.

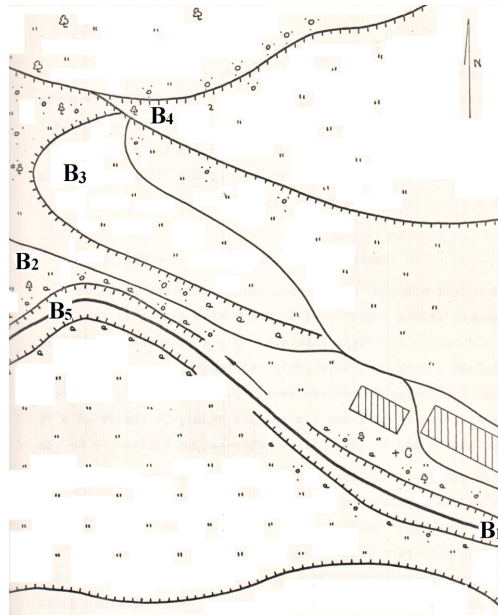
Obydwa rodzaje punktów były umieszczone w charakterystycznych miejscach terenu na przykład: w dnie obniżień, w sąsiedztwie cieków, na wzniesieniach, na poszczególnych tarasach rzecznych. Punkty pomocnicze zlokalizowano w dwóch profilach:

- Dolina Wisły (skarpa wiślana, 4 punkty, rys.1)
 - W₁ – usytuowany był na prawym uregulowanym i wybetonowanym brzegu Wisły, w odległości 20m na północo-wschód od rzeki i 40 m od skarpy (najniższy – dno doliny)
 - W₂ – położony był u podnóża skarpy, w odległości ok. 90m na północo –wschód od Wisły, oddalony był o 1,5m od chodnika i o 5m od mało ruchliwej asfaltowej jezdni
 - W₃ – leżał w połowie wysokości skarpy
 - W₄ – znajdował się w parku, odległy o kilkanaście metrów od krawędzi skarpy
- Dolina Brzeźnicy (5 punktów, rys. 2)
 - B₁ – lewobrzeżny taras Brzeźnicy
 - B₂ – dno doliny
 - B₃ – prawobrzeżny pierwszy taras
 - B₄ – drugi taras
 - B₅ – trzeci taras

Punkty stałe zlokalizowano w dolinie Brzeźnicy w północnej części miasta – na terenie cegielni (punkt C) i terenie ogródka przyszkolnego (posterunek S).



Rys. 1. Plan położenia punktów pomiarowych w dolinie Wisły



Rys. 2. Plan położenia punktów pomiarowych w dolinie Brzeznicy

Materiały źródłowe wykorzystane w pracy to krótkie serie obserwacyjne wykonywane w opisanych wyżej punktach Płocka i okolicy w latach 1979-1981 (w lipcu 1979r., w lipcu 1980r., w maju 1980r., w lipcu 1981r., i we wrześniu 1981r.).

Ważniejsze wyniki badań

Przeprowadzona analiza warunków termiczno-wilgotnościowych w dolinach rzecznych o ekspozycji południowej: Wisły i Brzeźnicy w rejonie Płocka potwierdza prawidłowości przedstawione w literaturze (tab. 1-2 i tab.3-4). Do czynników modyfikujących te warunki w przygruntowej warstwie powietrza należą przede wszystkim: rzeźba terenu i szata roślinna. Warunki te bowiem w przygruntowej warstwie powietrza kształtują się specyficznie. W dolnej warstwie powietrze ogrzewa się głównie od nierównomiernie ogrzanego i oddającego ciepło podłoża. Na wysokości 0,25 m warunki termiczno-wilgotnościowe są znacznie zróżnicowane, gdy na wysokości 1,50 m nad poziomem gruntu prądy konwekcyjne i turbulencyjne mieszając powietrze zacierają różnice powodowane wpływem podłoża, następuje wtedy wyrównanie się temperatury i wilgotności.

Opracowane dzienne przebiegi temperatury powietrza były regularne. Minimum temperatury przypadało na godziny wczesnoranne do godzin południowych temperatura wzrastała uzyskując najwyższą wartość w godzinach 12⁰⁰-14⁰⁰, następnie stopniowo malała.

W pracy dokonano opracowania warunków termiczno-wilgotnościowych profilu prawego zbocza skarpy wiślanej i doliny Brzeźnicy. Trzeba zwrócić uwagę na skalę obiektów. W profilu Wisły punkty były znacznie oddalone od siebie, a różnica wysokości wynosiła do 50 m, natomiast w dolinie Brzeźnicy punkty pomiarowe usytuowane na prawym zboczu doliny były blisko siebie, a różnica wysokości wynosiła 18 m.

W profilu skarpy Wisły wystąpiły następujące prawidłowości. Wpływ Wisły uwidocznił się w punkcie położonym najbliżej rzeki obniżeniem maksymalnej temperatury powietrza. W pozostałych punktach położonych na skarpie najchłodniej było rano i wieczorem u podnóża skarpy, gdzie w godzinach południowych notowana była najwyższa temperatura. Przyczyną tego było silne nagrzewanie się podłoża skarpy o wystawie południowej osłoniętej od wiatru w godzinach południowych i szybkie wychładzanie się podłoża oraz spływ chłodnego powietrza po zboczu skarpy po ustaniu insolacji. W punktach pomiarowych położonych poza skarpą: na terenie parku i w ogródku szkolnym, najwyższe wartości temperatury były o kilka stopni niższe, średnio 0,1-2,0°C niż na skarpie. W godzinach południowych i wieczornych spadek temperatury był tu mniejszy, a pod koniec dnia wartości temperatury w parku i przy szkole przewyższały te w pozostałych punktach, średnio o 0,3-1,5°C. Przyczyną tego zjawiska była zabudowa miejska (akumulująca ciepło w ciągu dnia i oddająca go wieczorem). Podobnie temperatura powietrza zachowywała się w dolinie Brzeźnicy: najcieplej było rano i wieczorem w punktach położonych poza skarpą na otwartej przestrzeni, najchłodniej w punkcie położonym w dolinie najbliżej ciek. W południe sytuacja ulegała zmianie: zbocze doliny o ekspozycji południowej nagrzewało się bardziej i tu było najcieplej. Różnice najwyższych wartości temperatury dochodziły do 1,5°C.

Porównanie temperatury powietrza na poszczególnych punktach na poziomie 0,25 m wykazało większe zróżnicowanie niż na poziomie 1,50 m, gdzie w wyniku mieszania tur-

bulencyjnego następowało wyrównanie się temperatury powietrza, czyli oddziaływanie podłoża (pokrycie, ekspozycja) malało ze wzrostem wysokości.

Stratyfikacja temperatury w poszczególnych punktach pomiarowych była podobna. Największy spadek temperatury powietrza z wysokością następował w godzinach południowych. Wieczorem o 19.30 pojawiła się inwersja temperatury, która zanikała na początku porannej serii pomiarowej. Powstanie dużego gradientu temperatury powietrza było efektem silnego nagrzewania się podłoża i warstwy powietrza przy samym gruncie w godzinach południowych. Powstanie inwersji temperatury w godzinach wieczornych i pozostającej do godzin rannych można tłumaczyć ujemnym bilansem energetycznym, w wyniku wypromieniowania długofalowego podłoża.

W wybranych warunkach pogodowych zauważono, że w dniu ciepłym i słonecznym wystąpiły duże dzienne wahania i zróżnicowanie temperatury powietrza między punktami nawet do 7°C. Obecność dużego zachmurzenia wpływała na wyrównanie się temperatury powietrza.

Przebiegi wilgotności względnej powietrza w punktach pomiarowych były zgodne z ogólnie znanymi prawidłowościami przebiegu wilgotności względnej. Maksimum przypadało na godziny wczesnoranne, co odpowiadało minimum temperatury, zaś minimum przypadało w godzinach południowych i zbiegało się z maksimum temperatury.

W profilu skarpy Wisły stwierdzono znaczne dzienne wahanie wilgotności względnej powietrza. Bezpośrednie oddziaływanie dużej powierzchni wodnej Wisły na punkty położone najbliżej rzeki i w obrębie skarpy nie zawsze wpływało na wzrost wilgotności.

W punktach u podnóża skarpy i na skarpie wystąpiły największe spadki w serii rannej i wzrosty wilgotności w serii wieczornej. Położenie tych punktów na terenie otwartym powodowało, że w pierwszej części dnia dominowały tu procesy konwekcyjne wynoszące wilgoć do góry, a po ustaniu konwekcji gromadzenie się pary wodnej pochodzącej z transpiracji otaczającej zieleni i spływu chłodnego wilgotnego powietrza. Małe wahania wilgotności względnej powietrza wystąpiły w punktach położonych w mieście. Zbudowa miejska: budynki, ulice, kanalizacja powodowały, że głównym źródłem wilgoci była niezbyt obfita szata roślinna.

W profilu doliny Brzeźnicy przebiegi wilgotności względnej powietrza były regularne. Największa wilgotność względna powietrza wystąpiła w dolinie, najmniejsza zaś w punktach położonych po obu stronach ponad doliną. Na dużą wilgotność złożyły się parowanie zarówno bezpośrednio z rzeki, jak i bujnej roślinności oraz grawitacyjny spływ chłodnego i wilgotnego powietrza.

Analiza stratyfikacji wykazała, że wilgotność maleje ze wzrostem wysokości. Średnia wilgotność względna powietrza w warstwie przyziemnej 0,25 m była wyższa niż na wysokości 1,50 m i to zarówno we wszystkich terminach, jak i we wszystkich punktach pomiarowych. Największe różnice wystąpiły w godzinach wieczornych.

Porównując przebiegi wilgotności względnej powietrza w dniach z charakterystycznym typem pogody, w dniu pochmurnym i chłodnym różnice wilgotności między punktami były znikome. W dniu słonecznym i upalnym wilgotność względna powietrza różniła się znacznie, a różnice dochodziły do 30%. Warunki pogodowe wpływały na podkreślenie lub zatarcie oddziaływania czynników lokalnych na warunki termiczno-wilgotnościowe powietrza.

W pracy stwierdzono wpływ rzeźby na zróżnicowanie warunków termiczno-wilgotnościowych. Bardzo dobrze widoczna (szczególnie w profilu Brzeźnicy) była prawidłowość, że w terenie urzeźbionym najwyższe wartości temperatury występowały na wierzcholinie a najniższe w dnie doliny, w serii południowej najwyższe wartości temperatury obserwowano na zboczach, eksponowanych na południe. Bujna szata roślinna w obrębie skarpy wiślanej i w dolinie Brzeźnicy wpływała na wzrost wilgotności względnej powietrza np. w punktach położonych w mieście, w miejscach o niezbyt obfitej roślinności wahania wilgotności były mniejsze, natomiast w obrębie skarpy Wisły i doliny Brzeźnicy różnice wilgotności wywołane rzeźbą terenu spotęgowane również były parowaniem z bujnej szaty roślinnej.

Tabela 1. Temperatura powietrza (°C) w dniu 12 VII 1981 r. w punktach nad Wisłą na poziomach 0,25 i 1,50 m

	0,25 m					1,50 m				
	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	S ₁	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	S ₁
5	16,3	17,3	15,7	17,7	18,2	17,1	16,4	16,9	18,1	18,0
5 ³⁰	17,0	16,0	15,8	18,1	19,2	17,4	16,4	16,9	18,1	19,2
6	17,3	16,2	16,3	18,1	19,2	17,6	16,5	17,2	18,4	19,6
6 ³⁰	19,6	16,5	16,5	18,9	20,0	19,2	17,2	17,9	19,1	20,4
7	21,5	20,1	17,6	20,0	21,4	21,0	20,3	18,6	20,6	21,8
7 ³⁰	22,4	22,1	19,8	21,2	22,6	22,1	22,1	20,2	21,6	22,0
8	23,0	22,8	22,4	22,2	23,9	22,3	23,1	22,1	22,3	22,9
12	27,0	26,6	27,2	27,0	28,8	27,2	27,9	26,7	26,0	28,6
12 ³⁰	28,0	30,9	29,2	27,1	30,0	27,8	28,2	27,7	27,1	28,2
13	27,8	30,6	28,6	27,7	29,4	26,9	27,5	27,3	27,7	28,7
13 ³⁰	30,8	31,4	30,1	27,4	28,1	29,5	28,7	29,5	28,7	28,5
14	29,8	31,7	29,9	27,6	28,8	29,0	29,0	29,5	26,1	28,2
17	27,5	28,8	28,1	26,6	27,5	27,6	27,6	27,7	26,7	27,2
17 ³⁰	26,8	27,9	27,9	25,6	27,2	26,8	27,1	27,7	25,6	27,2
18	26,2	26,6	27,5	25,6	26,5	26,4	26,6	27,3	25,6	27,0
18 ³⁰	24,8	21,6	22,9	24,8	25,7	25,0	24,0	27,6	25,4	26,1
19	23,8	21,7	21,4	24,2	24,7	24,4	23,9	27,5	25,0	25,4
19 ³⁰	23,2	20,7	21,5	22,6	24,0	24,1	20,7	23,0	24,6	25,1
20	21,1	19,7	20,6	23,0	23,3	22,6	19,7	22,6	24,4	24,6

Tabela 2. Temperatura powietrza (°C) w dniu 19 VII 1981 r. w punktach nad Wisłą na poziomach 0,25 i 1,50 m

	0,25 m					1,50 m				
	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	S ₁	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	S ₁
5	14,6	14,7	15,1	14,2	14,2	13,1	14,4	14,1	14,0	14,1
5 ³⁰	14,3	14,6	14,7	14,2	14,3	14,3	14,4	14,3	14,1	14,5
6	14,3	14,8	14,7	14,1	14,2	14,3	14,5	14,3	14,0	14,4
6 ³⁰	14,6	15,0	14,8	14,5	14,6	14,6	14,9	14,5	14,4	14,3
7	16,9	15,2	14,7	14,8	14,8	14,8	15,0	14,6	14,5	14,6
7 ³⁰	15,1	15,2	14,8	15,0	15,0	14,8	15,0	14,7	14,6	14,3
8	15,2	15,2	15,4	14,9	14,9	15,0	15,0	15,0	14,4	14,6
12	20,6	20,1	20,6	19,4	21,4	20,0	19,6	19,7	19,0	19,0
12 ³⁰	19,2	20,1	20,6	19,2	19,8	19,0	19,3	19,3	18,4	18,7
13	18,9	19,5	20,0	18,7	18,9	18,6	19,0	19,1	19,6	18,9
13 ³⁰	19,8	20,1	20,6	19,0	19,9	18,8	19,8	20,0	18,6	19,7
14	18,8	19,5	19,4	18,2	18,9	18,5	19,0	19,2	18,2	18,6
17	18,1	18,6	18,6	17,6	17,8	17,8	18,4	18,4	17,4	17,8
17 ³⁰	17,3	18,6	18,1	16,9	17,0	17,1	17,6	17,6	16,8	16,9
18	17,1	17,8	17,4	16,6	17,1	16,9	17,3	17,2	16,6	16,8
18 ³⁰	16,9	17,6	17,0	16,6	16,8	16,8	17,0	16,8	16,5	16,6
19	16,3	16,9	16,7	16,1	16,4	16,3	16,6	16,4	15,8	15,8
19 ³⁰	45,8	16,5	16,2	15,6	15,4	15,9	16,8	15,9	15,4	15,5
20	15,7	16,0	16,0	15,4	15,4	15,8	16,0	15,9	15,4	15,4

Tabela 3. Wilgotność względna powietrza (%) w dniu 12 VII 1981 r. w punktach nad Wisłą na poziomach 0,25 i 1,50 m.

	0,25 m					1,50 m				
	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	S ₁	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	S ₁
5	79	79	87	73	72	75	78	83	67	73
5 ³⁰	80	65	91	70	68	77	80	81	68	65
6	78	80	93	70	67	76	82	78	69	65
6 ³⁰	70	78	91	69	64	72	80	78	66	63
7	67	75	89	68	67	65	71	77	63	58
7 ³⁰	63	70	77	62	65	62	63	66	60	57
8	61	64	68	61	54	62	61	62	65	57
12	41	43	42	38	41	39	38	42	40	37
12 ³⁰	37	33	39	40	40	37	36	38	35	39
13	38	34	40	38	36	38	38	39	33	35
13 ³⁰	32	35	38	44	37	32	32	31	39	35
14	33	35	37	38	38	34	33	34	33	36
17	37	40	37	40	36	37	38	38	39	36
17 ³⁰	40	48	89	46	38	40	42	37	49	36
18	46	54	48	50	49	44	45	37	51	38
18 ³⁰	48	60	65	48	43	45	54	41	43	40
19	51	69	68	49	49	48	53	46	45	43
19 ³⁰	55	74	70	59	53	48	74	56	47	45
20	63	77	73	55	55	56	77	57	47	46

Tabela 4. Wilgotność względna powietrza (%) w dniu 19 VII 1981 r. w punktach nad Wisłą na poziomach 0,25 i 1,50 m.

	0,25 m					1,50 m				
	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	S ₁	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	S ₁
5	83	93	97	93	94	94	93	99	93	83
5 ³⁰	84	93	99	93	91	83	92	99	93	91
6	82	91	99	9	93	82	82	97	93	90
6 ³⁰	83	90	96	32	91	82	91	94	93	91
7	83	92	94	92	90	83	90	97	92	90
7 ³⁰	82	89	97	91	90	80	69	84	91	90
8	79	88	93	90	86	78	88	92	90	89
12	68	77	78	77	75	63	74	78	77	77
12 ³⁰	75	76	78	78	82	73	75	80	79	78
13	72	75	79	78	79	72	77	79	76	77
13 ³⁰	69	72	76	77	74	69	74	76	76	73
14	73	74	79	80	78	72	77	78	79	79
17	69	79	78	78	79	69	73	78	78	78
17 ³⁰	71	74	78	82	81	70	78	80	82	81
18	72	78	82	83	81	70	80	82	82	81
18 ³⁰	73	78	83	88	82	71	80	82	82	82
19	74	80	84	83	89	75	81	83	87	86
19 ³⁰	77	82	84	87	87	75	81	85	87	87
20	77	83	85	88	88	75	82	86	87	87

7.2.12. Zależność temperatury i wilgotności powietrza od rodzaju upraw

Autor: Maria JARZYNA

Opiekunowie naukowci : Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA

Wprowadzenie

Celem niniejszej pracy jest wykazanie zmian, jakie zachodzą w warunkach termiczno-wilgotnościowych powietrza pod wpływem różnego rodzaju roślin uprawnych, w oparciu o badania prowadzone w następujących uprawach: życie, jęczmieniu, owsie, ziemniakach, burakach, koniczynie i trawie.

Wpływ szaty roślinnej na klimat lokalny jest bardzo duży i dokładnie zbadany, szczególnie wpływ dużych kompleksów zieleni, jak lasów, parków oraz ogólnie ujmowanej niskiej szaty roślinnej. Mało jest natomiast szczegółowych opracowań dotyczących wpływu poszczególnych rodzajów roślin na warunki mikroklimatyczne, czy też na wybrane elementy klimatu. A przecież skomplikowany często przebieg elementów fitoklimatu wywoływany jest nie tylko istnieniem zespołu roślin jako masy okrywającej glebę, lecz także jako żywej okrywy, w której zachodzą nieustanne przemiany fizjologiczne, uzależnione z jednej strony – od warunków otoczenia, z drugiej – wywierające widoczny wpływ na to otoczenie.

Praca ta jest próbą szczegółowego opracowania tego właśnie wpływu, a dokładniej – zależności temperatury i wilgotności powietrza od rodzaju wyżej wymienionych upraw.

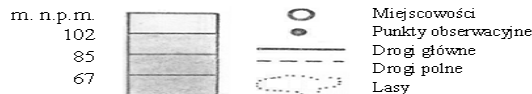
Zasadnicza część pracy składa się z trzech rozdziałów. Pierwszy z nich daje ogólny obraz warunków termiczno-wilgotnościowych na badanym terenie w przygruntowej warstwie powietrza i wpływu pogody na zróżnicowanie przestrzenne tych parametrów. W rozdziale drugim przedstawione jest zróżnicowanie termiczno-wilgotnościowe powietrza w zależności od rodzaju upraw, jak kształtuje się ono w różnych porach dnia i przy różnych warunkach pogodowych.

W rozdziale trzecim omówiony jest wpływ poszczególnych upraw na stratyfikację pionową temperatury i wilgotności powietrza.

Materiały źródłowe i metody ich opracowania

Zakład Klimatologii Instytutu Nauk Fizycznogeograficznych WGiSR UW w związku z badaniami eksperymentalnymi Interkosmos Telefoto 78, przeprowadził pomiary meteorologiczne w okresie 4-18 lipca 1978 r. w trzynastu punktach obserwacyjnych zlokalizowanych na obszarze woj. płockiego w Murzynowie, Siecieniu, Brudzeniu Dużym, Cieślinie i Cierszewie (rys. 1).

W niniejszej pracy wykorzystano wyniki tych pomiarów meteorologicznych – temperatury i wilgotności względnej powietrza. Pomiary wykonane termohigrografami i psychrometrem Augusta, umieszczonymi w pięciu wyżej wymienionych miejscowościach na wysokości 2 m nad powierzchnią gruntu (pomiary psychrometrem Augusta wykonane były w trzech terminach klimatologicznych – o godzinie 8⁰⁰, 14⁰⁰ i 20⁰⁰ według czasu letniego (były podstawą opracowania wpływu pogody na przestrzenne zróżnicowanie temperatury i wilgotności powietrza w przygruntowej warstwie).



Rys. 1. Szkic położenia miejscowości, w których zlokalizowano punkty pomiarowe

Punkty pomiarowe w Murzynie usytuowane były w odległości ok. 500- 600 m od Wisły na skarpie, na wysokości około 60 m n.p.m.. Teren ten od strony rzeki nie jest osłonięty, od strony północno-zachodniej znajduje się niewielki las, w odległości około 250 m od punktów pomiarowych, nieco większy las znajduje się od strony wschodniej i północno-wschodniej w odległości około 150 m.

Punkt pomiarowy w Cierszewie zlokalizowano w dolinie rzeki Skrwy, na wysokości około 62 m n.p.m, w odległości około 90-100 m od rzeki. Klatka meteorologiczna stała w miejscu zacisznym, osłoniętym od zachodu – wysokim lasem, od wschodu – zabudowaniami (znajdował się w sadzie).

W Siecieniu punkty pomiarowe były zlokalizowane w terenie otwartym, położonym na wysokości około 102 m n.p.m. w Brudzeniu Dużym, położonym na wysokości 95 m n.p.m. dwa stanowiska pomiarowe usytuowane były w pobliżu zabudowań.

W Cieślinie znajdowały się w terenie prawie nieosłoniętym, wzniesionym na wysokości około 102 m n.p.m. (w odległości ok. 10 m od zabudowań)

W pracy wykorzystano też wyniki pomiarów wykonanych psychrometrem Assmanna na wysokości 0,25 m i 1,5 m nad powierzchnią gruntu. Pomiarzy te prowadzone były trzy razy na dobę: I termin – 8⁰⁰, II termin – 14⁰⁰, III termin – 20⁰⁰ według czasu letniego, w trzynastu punktach obserwacyjnych:

- w Cieślinie – w burakach i koniczynie
- w Brudzeniu Dużym – w jęczmieniu i w dwóch punktach w trawie
- w Siecieniu – w trawie, ziemniakach i życie
- w Murzynowie – w trawie, ziemniakach i owsie
- w Cierszewie – w trawie

Oprócz pomiarów temperatury i wilgotności powietrza mierzono także kierunki i prędkości wiatru, opad atmosferyczny oraz notowano zachmurzenie nieba, stan gruntu, mgły, burze i inne zjawiska atmosferyczne, co również zostało wykorzystane w niniejszej pracy.

Z termogramów i higrogramów odczytano codzienne wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza po wcześniejszym wprowadzeniu poprawek – poprawki czasowej i poprawki do wartości krzywej elementu.

Opracowane termogramy i higrogramy posłużyły do wyznaczenia dobowych przebiegów różnic temperatury i wilgotności względnej powietrza między punktami Cieślin, Brudzeń Duży, Siecień, Cieszewo, a stacją meteorologiczną w Murzynowie potraktowano jako punkt odniesienia.

Dobowe przebiegi różnic temperatury i wilgotności względnej powietrza wyznaczono dla wybranych dni – 10, 12 i 16 lipca oraz, w formie średnich dobowych przebiegów różnic, dla całego badanego okresu.

Z danych z pomiarów wykonanych psychrometrem Assmanna wyliczono średnie terminowe i dzienne wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza dla okresu 7-18 lipca 1978 r. (tylko w tym okresie pomiary prowadzone były na wszystkich trzynastu punktach obserwacyjnych), które przedstawiono graficznie w postaci wykresów dla każdej miejscowości osobno. Pominięto tu Cierszewo, gdyż tam pomiary prowadzone były tylko w trawie, a wykresy służą porównaniu warunków termiczno-wilgotnościowych w różnych uprawach.

Określono regresję temperatury i wilgotności względnej powietrza w różnych uprawach (y) względem gruntu pokrytego trawą (x). Równania prostych regresji i współczynnik korelacji r wyznaczono z wzorów:

$$y = ax + b$$

$$r = S_{xy} S_x^{-1} S_y^{-1}$$

gdzie: $a = S_{xy} S_x^{-2}$, $b = y_{\text{sr}} - a x_{\text{sr}}$, $S_{xy} = n^{-1} \sum_{i=1}^n (x_i y_i) - x_{\text{sr}} y_{\text{sr}}$ – kowariancja zmiennych x , y ,

$S_x^2 = (n^{-1} \sum_{i=1}^n x_i^2) - x_{\text{sr}}^2$ – wariancja zmiennej x , $S_y^2 = (n^{-1} \sum_{i=1}^n y_i^2) - y_{\text{sr}}^2$ – wariancja zmiennej y

x_{sr} , y_{sr} – średnie arytmetyczne, $S_x = (S_x^2)^{0.5}$, $S_y = (S_y^2)^{0.5}$ – odchylenia standardowe zmiennych x i y .

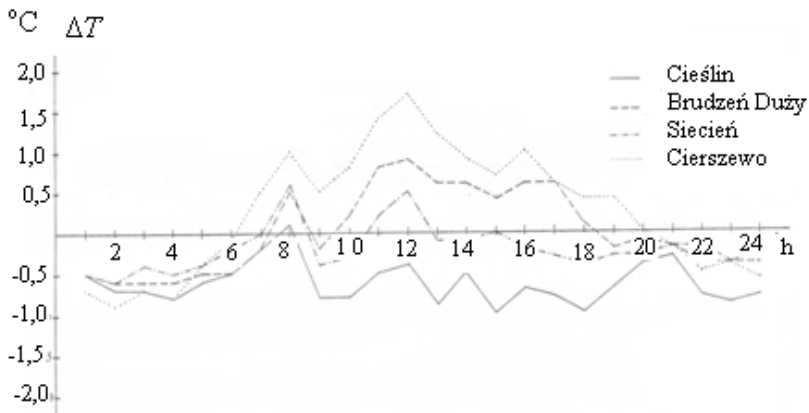
Współczynnik regresji a stanowi miarę wzrostu ($a > 0$) lub spadku ($a < 0$) zmiennej zależnej y , gdy wartość x wzrasta o jednostkę (o 1°C). Rozproszenie punktów względem prostej regresji określa odchylenie resztkowe $\varepsilon = S_y(1 - r^2)^{0.5}$. Współczynnik korelacji r zmienia się w przedziale $-1 \geq r \leq 1$.

Przestrzenne zróżnicowanie temperatury i wilgotności względnej powietrza w zależności od warunków pogodowych

Dobowe przebiegi różnic temperatury i wilgotności względnej powietrza dla poszczególnych punktów obserwacyjnych w stosunku do Murzynowa ilustruje przestrzenne zróżnicowanie warunków termiczno-wilgotnościowych na badanym terenie (rys. 2, tab. 1-2).

Najchłodniejszy jest obszar północny poligonu – Cieślin, tutaj też zaznacza się dość duża wilgotność powietrza dnia 10 i 12 lipca wilgotność niemalże w ciągu całej doby jest tu wyższa niż na pozostałym obszarze.

Obszar centralny poligonu jest bardzo ciepły (Brudzeń Duży), w ciągu dnia temperatury tu występujące przekraczają wartości z Cieślina, Siecienia i Murzynowa; jest to zarazem obszar dość suchy, w czasie pogody wyżowej w ciągu dnia – najsuchszy z całego badanego terenu.



Rys. 2. Średnie różnice temperatury powietrza między Murzynowem i pozostałymi punktami

Na południowym obszarze (Siecień, Murzynowo) temperatura jest nieco niższa jak na obszarze centralnym, ale wyższa jest w porównaniu z Cieślinem; wilgotność jest tu dość niska (w Siecieniu w godzinach nocnych nawet najniższa z całego badanego terenu). Wyjątkowo ciepły jest teren położony na NNE od Murzynowa – Cierszewo, w ciągu dnia średnio biorąc jest on najcieplejszy i najsuchszy z całego poligonu.

W nocy dość wysoka temperatura powietrza występuje w Murzynowie (wg średnich Δt – jest tam najcieplej), a wysoka wilgotność w Cierszewie (wg średnich Δf – jest tam najwilgotniej). Takie zróżnicowanie warunków termiczno-wilgotnościowych powietrza jest w dużej mierze wynikiem warunków lokalnych każdego z punktów pomiarowych. W Cieślinie obserwacje prowadzone były na terenie prawie nieosłoniętym, stąd stosunkowo duże prędkości wiatru, co na pewno wywarło wpływ na temperaturę powietrza.

W Brudzeniu Dużym punkt pomiarowy znajdował się w miejscu zacisznym, a więc korzystnym pod względem termicznym. W wyjątkowo zacisznym miejscu zlokalizowany był punkt pomiarowy w Cierszewie: w ciągu 15 dni obserwacji, przez 8 dni panowała cisza; ponadto usytuowany był on na bardzo łagodnym zboczu o wystawie na południe. Te warunki przyczyniły się do wysokiej temperatury i niskiej wilgotności powietrza w ciągu dnia. Na wysoką wilgotność powietrza w nocy prawdopodobnie wywarło pewien wpływ bliskie sąsiedztwo rzeki Skrwy oraz spływ chłodnego powietrza z obszarów wyżej położonych.

Najmniejsze zróżnicowanie warunków termiczno-wilgotnościowych zaznacza się 10 lipca, nieco większe 16 lipca i największe 12 lipca, związane jest to zapewne z różną sytuacją pogodową panującą w tych dniach.

Dnia 12 lipca, przy pogodzie wyżowej i niewielkim zachmurzeniu silniej zaznaczają się kontrasty powstałe z nierównomiernego nagrzewania się różnych powierzchni czynnych. Wzrost zachmurzenia hamuje dopływ bezpośrednich promieni słonecznych do powierzchni Ziemi, mniejsze są więc możliwości różnorodnego nagrzewania się poszczególnych powierzchni. Kontrasty termiczne powstałe z nierównomiernego nagrzewania się różnych powierzchni czynnych przy pogodzie słonecznej są przyczyną większego zróżnicowania wilgotności powietrza (proces parowania przebiega niejednakowo). Duże zachmurzenie zaciera w pewnym stopniu to zróżnicowanie. Większe zróżnicowanie termiczno-wilgotnościowe 16 lipca niż 10 lipca, spowodowane jest prawdopodobnie różnicami w zachmurzeniu: 10 lipca przeważa zachmurzenie całkowite: 16 lipca wielkość zachmurzenia wynosi średnio 9.

Najmniejsze zróżnicowanie warunków termiczno-wilgotnościowych, a zwłaszcza termicznych, zaznacza się w nocy, brak promieniowania słonecznego eliminuje różnice powstałe z nierównomiernego nagrzewania się różnych powierzchni czynnych. Zróżnicowanie wilgotności jest dość duże w ciągu całej doby.

Z powyższej analizy wynika, że zróżnicowanie termiczno-wilgotnościowe na badanym obszarze jest bardzo duże jak na tak mały teren i wysokość 2 m nad powierzchnią gruntu.

Zmiany dzienne temperatury i wilgotności względnej powietrza na poziomach 0,25 i 1,50 m

Z powyższej analizy wynika, że warunki termiczno-wilgotnościowe powietrza w różnych uprawach wykazują pewne różnice; zaznaczają się one w ciągu całego dnia i na różnych wysokościach (tab. 1-2).

Zróżnicowanie wyraźnej zaznacza się na poziomie 0,25 m niż na poziomie 1,5 m nad powierzchnią gruntu, chociaż na poziomie wyższym jest ono również widoczna. Wpływ roślin na warunki termiczno-wilgotnościowe powietrza większy jest na niższym poziomie, wraz ze wzrostem wysokości zaciera się nieco. Stąd też na poziomie 0,25 m zróżnicowanie termiczno-wilgotnościowe jest wyraźniejsze niż na poziomie 1,5 m.

Zróżnicowanie warunków termiczno-wilgotnościowych powietrza zmienia się w różnych porach dnia. Generalnie różnice temperatury i wilgotności w różnych uprawach zwiększają się w ciągu dnia; największe zróżnicowanie zaznacza się około godzin południowych lub wieczorem. Związane jest to z większym dopływem promieniowania słonecznego około godzin południowych – powoduje ono większą intensywność procesów

zyciowych zachodzących w roślinach (np. maksimum transpiracji przypada na godziny 1100-1500) i tym samym warunki termiczno-wilgotnościowe w najbliższym otoczeniu poszczególnych upraw silniej się różnicują. Około godzin południowych, wyraźniej zaznaczają się też różnice spowodowane odmiennymi warunkami lokalnymi.

Tabela 1. Średnie wartości temperatury powietrza w poszczególnych uprawach w dniach 7-18 lipca 1978 r.

Miejscowość	Uprawa	0,25 m				1,50 m			
		8 ⁰⁰	14 ⁰⁰	20 ⁰⁰	Średnia	8 ⁰⁰	14 ⁰⁰	20 ⁰⁰	Średnia
Cieślin	Buraki	13,37	17,41	14,75	15,18	13,37	17,24	14,90	15,17
	Koniczyna	13,67	17,18	14,68	15,18	13,53	17,07	14,78	15,13
Brudzeń Duży	Trawa	14,08	17,95	15,44	15,82	13,66	17,46	15,18	15,43
	Jęczmień	14,00	17,62	14,45	15,36	13,83	17,37	14,69	15,31
Siecień	Trawa	14,16	17,55	14,96	15,56	13,77	17,41	14,90	15,36
	Żyto	14,11	17,82	14,66	15,53	13,84	17,81	14,68	15,44
	Ziemniaki	14,13	17,63	14,82	15,52	13,89	17,48	14,65	15,34
Murzynowo	Trawa	13,63	17,68	15,40	15,57	13,48	17,56	15,34	15,46
	Owies	14,16	17,69	14,92	15,59	13,82	17,71	14,90	15,48
	Ziemniaki	14,14	17,88	14,95	15,56	13,83	18,00	15,00	15,64

Tabela 2. Średnie wartości wilgotności względnej powietrza w poszczególnych uprawach w dniach 7-18 lipca 1978 r.

Miejscowość	Uprawa	0,25 m				1,50 m			
		8 ⁰⁰	14 ⁰⁰	20 ⁰⁰	Średnia	8 ⁰⁰	14 ⁰⁰	20 ⁰⁰	Średnia
Cieślin	Buraki	89,1	70,3	81,8	80,5	86,2	67,8	78,7	77,6
	Koniczyna	87,4	69,7	82,0	79,7	85,3	66,5	79,3	77,0
Brudzeń Duży	Trawa	84,5	67,0	79,0	76,8	85,4	66,5	79,7	77,2
	Jęczmień	88,0	77,3	85,9	83,7	86,1	69,7	81,7	79,2
Siecień	Trawa	86,4	72,3	84,0	80,9	85,8	68,4	82,9	79,1
	Żyto	88,4	72,4	87,1	82,6	85,6	68,8	84,8	79,7
	Ziemniaki	87,2	72,3	85,0	81,5	85,5	68,6	84,2	79,4
Murzynowo	Trawa	87,9	70,3	78,7	79,0	86,1	67,5	76,1	76,6
	Owies	87,7	73,5	80,4	80,5	86,3	69,5	79,3	78,4
	Ziemniaki	86,8	69,9	79,1	78,6	84,6	68,1	77,3	76,7

Stosunkowo duże zróżnicowanie utrzymuje się do godzin wieczornych, niekiedy jest nawet większe jak w południe (np. różnice temperatury między jęczmieniem a trawą w Brudzeniu Dużym największe są wieczorem); jest to wynik całodobowej operacji słonecznej, intensywnych procesów fizjologicznych roślin, różnej szybkości oddawania nagromadzonego ciepła przez rośliny. Zróżnicowanie to zaciera się do pewnego stopnia dopiero w nocy.

W kształtowaniu się warunków termiczno-wilgotnościowych powietrza w różnych uprawach, widoczne są następujące prawidłowości.

W burakach przez większą część dnia (oprócz godzin rannych) utrzymuje się wyższa temperatura niż w koniczynie. Podobnie wilgotność panująca w burakach jest wyższa od wilgotności w koniczynie, tylko wieczorem jest odwrotnie. Temperatura w jęczmieniu jest niższa niż w trawie, z wyjątkiem godzin rannych na poziomie 1,5 m – gdy jest odwrot-

nie. Natomiast w ciągu całego dnia wyższa wilgotność zaznacza się w jęczmieniu niż w trawie.

W Siecieniu i w Murzynowie, gdzie mamy do czynienia z większą ilością roślin uprawnych, warunki termiczno-wilgotnościowe powietrza kształtują się bardziej skomplikowanie. W Siecieniu na poziomie 0,25 m przez większą część dnia, najwyższa temperatura powietrza utrzymuje się w trawie, niższa w ziemniakach a najniższa w życie, tylko wieczorem jest odwrotnie. Natomiast na wyższym poziomie o każdej porze dnia temperatura kształtuje się odmiennie: rano najcieplej jest w ziemniakach, chłodniej w życie, najchłodniej w trawie; w godzinach południowych najcieplej jest w życie, chłodniej w ziemniakach, najchłodniej w trawie; wieczorem w trawie jest najcieplej, chłodniej w życie, najchłodniej w ziemniakach.

Wilgotność w ciągu całego dnia i na obu poziomach najwyższa jest w życie, niższa w ziemniakach, najniższa w trawie, tylko w godzinach rannych na wyższym poziomie wilgotność w trawie jest wyższa od wilgotności w życie.

W Murzynowie na poziomie 0,25 m warunki termiczne w różnych porach dnia kształtują się odmiennie: w godzinach rannych najcieplej jest w owsie, chłodniej w ziemniakach, najchłodniej w trawie; w południe również najchłodniej jest w trawie, ale najcieplej w ziemniakach.

Taka sytuacja jak w południe na poziomie 0,25 m utrzymuje się przez większą część dnia na poziomie wyższym. Wieczorem na obu poziomach najcieplej jest w trawie, chłodniej w ziemniakach, najchłodniej w owsie. Warunki wilgotnościowe w tych uprawach kształtują się następująco: najwyższa wilgotność, z wyjątkiem godzin rannych na poziomie 0,25 m utrzymuje się w owsie.

W godzinach rannych na niższym poziomie najwilgotniej jest w trawie, nieco suszej w owsie, najsuszej w ziemniakach. W południe na tym samym poziomie niższa wilgotność niż w owsie utrzymuje się w trawie, najniższa w ziemniakach; wieczorem niższa w ziemniakach, najniższa w trawie. Na wyższym poziomie rano niższa niż w owsie jest wilgotność w trawie, najniższa w ziemniakach; przez pozostałą część dnia najniższa jest wilgotność w trawie.

Duża wilgotność panująca w otoczeniu buraków, jęczmienia, żyta i owsa jest zapewne wynikiem wysokiej transpiracji tych roślin, gdyż główną przyczyną nasycenia otaczającego powietrza parą wodną jest proces transpiracji. Ponadto w łanie roślin, zwłaszcza gęstym, wilgotność powietrza zwiększa się również wskutek parowania z powierzchni gleby. Ważne jest przy tym, że mała prędkość wiatru i słabe ruchy turbulencyjne panujące w strefie fitoklimatu, utrudniają odpływ pary wodnej poza obręb szaty roślinnej. Pole jęczmienia, żyta i owsa jest łanem roślin gęstym i wysokim i na pewno skuteczniej zmniejsza prędkość wiatru i osłabia ruchy turbulencyjne, a tym samym zatrzymuje odpływ pary wodnej, niż trawa czy pole ziemniaków. Dlatego, mimo że współczynnik transpiracji trawy i ziemniaków jest także dość duży, wilgotność wśród tych roślin jest niższa niż a zbożach. Wilgotność wśród buraków, choć nie są one tak zwarte i wysokie jak zboże, jest dość znaczna, jest to wynikiem ich wyjątkowo wysokiej transpiracji – maksymalna wartość współczynnika transpiracji dla buraków wynosi 2083 (wg Williama).

Warunki termiczne w otoczeniu roślin uprawnych charakteryzują się większym zróżnicowaniem niż wilgotnościowe. Stosunkowo niska temperatura powietrza utrzymująca

się wśród roślin zbożowych, jest spowodowana ich zawartością, (do wnętrza silnie zwartej szaty roślinnej słabiej dociera promieniowanie słoneczne) a także ich dość wysoką transpirację, gdyż podczas parowania zużywana jest pewna ilość ciepła. Temperatura powietrza w trawie kształtuje się bardzo zmiennie, bywa najniższa i najwyższa w stosunku do innych roślin; dzieje się to różnie w różnych porach dnia, trudno więc doszukać się przyczyn. Temperatura powietrza w ziemniakach najczęściej waha się między temperaturą w uprawach zbożowych a temperaturą w trawie.

Oprócz dużego wpływu roślin na warunki termiczno-wilgotnościowe najbliższego ich otoczenia, pewien wpływ wywierają też warunki lokalne każdego punktu obserwacyjnego; utrudnia to w pewnym stopniu w wychyceniu prawidłowości.

Zależność temperatury i wilgotności względnej powietrza od rodzaju upraw

Z powyższych rozważań wynika, że największe zróżnicowanie termiczno-wilgotnościowe w uprawach zaznacza się w okresie 11-14 lipca; najczęściej jako dzień o największym zróżnicowaniu powtarza się 12 lipca. Są to dni gdy badany obszar był pod wpływem skraju niżu, w związku z tym mniejsze było zachmurzenie niż w pozostałym okresie, a także mniejsza prędkość wiatru. W taką pogodę do powierzchni ziemi docierało więcej promieniowania słonecznego, co spowodowało duże różnice w nagrzewaniu i oddawaniu ciepła przez poszczególne łany roślin, a także w intensywności procesów fizjologicznych roślin. Małe prędkości wiatru uniemożliwiały w dużym stopniu wyrównanie tych różnic. Stosunkowo duże zróżnicowanie temperatury i wilgotności powietrza utrzymujące się w ciągu niemalże całego badanego okresu w Brudzeniu Dużym, spowodowane jest dużą zacisznością punktów obserwacyjnych, prędkości wiatru są tam mniejsze niż w pozostałych miejscowościach, rzadko przekraczają 1 m/s (tab. 3-4).

Tabela 3. Równania prostych regresji temperatury powietrza w różnych uprawach (y) względem gruntu pokrytego trawą (x), z wyjątkiem koniczyny w Cieślinie (x – buraki)

Miejscowość	Uprawy	0,25 m		
		8 ⁰⁰	14 ⁰⁰	20 ⁰⁰
Cieślin	Koniczyna	$y = 0,994x + 0,388$	$y = 0,861x + 2,178$	$y = 0,930x + 0,956$
Brudzeń Duży	Jęczmień	$y = 1,048x - 0,765$	$y = 1,010x - 0,498$	$y = 0,867x - 1,065$
Siecień	Żyto	$y = 0,921x + 1,065$	$y = 0,991x + 0,429$	$y = 0,829x + 2,257$
	Ziemniaki	$y = 0,953x + 0,636$	$y = 0,936x + 1,196$	$y = 0,903x + 1,313$
Murzynowo	Owies	$y = 0,929x + 1,498$	$y = 1,077x - 1,351$	$y = 0,843x + 1,933$
	Ziemniaki	$y = 0,829x + 2,896$	$y = 1,051x - 0,696$	$y = 0,906x + 0,996$
		1,50 m		
		8 ⁰⁰	14 ⁰⁰	20 ⁰⁰
Cieślin	Koniczyna	$y = 0,947x + 0,869$	$y = 0,903x + 1,486$	$y = 0,944x + 0,719$
Brudzeń Duży	Jęczmień	$y = 0,991x + 0,345$	$y = 1,032x - 0,654$	$y = 0,948x + 0,303$
Siecień	Żyto	$y = 1,025x - 0,269$	$y = 1,064x - 0,707$	$y = 0,863x + 1,828$
	Ziemniaki	$y = 1,058x - 0,676$	$y = 0,971x + 0,585$	$y = 0,905x + 1,158$
Murzynowo	Owies	$y = 0,817x + 2,801$	$y = 1,037x - 0,499$	$y = 0,902x + 1,064$
	Ziemniaki	$y = 0,738x + 3,887$	$y = 1,031x - 0,098$	$y = 0,886x + 1,407$

Tabela 4. Równania prostych regresji wilgotności względnej powietrza w różnych uprawach (y) względem gruntu pokrytego trawą (x), z wyjątkiem koniczyny w Cieślinie (x – buraki)

	Uprawy	0,25 m		
		8 ⁰⁰	14 ⁰⁰	20 ⁰⁰
Cieślin	Koniczyna	$y=0,944x+29,65$	$y=0,832x+11,24$	$y=1,053x-4,09$
Brudzeń Duży	Jęczmień	$y=0,496x+37,63$	$y=0,536x+41,32$	$y=0,674x+32,75$
Siecień	Żyto	$y=0,995x+2,45$	$y=1,108x-7,66$	$y=0,788x+20,88$
	Ziemniaki	$y=0,988x+1,75$	$y=1,036x-2,43$	$y=0,898x+9,60$
Murzynowo	Owies	$y=1,102x-9,23$	$y=0,837x+14,71$	$y=0,828x+15,29$
	Ziemniaki	$y=1,180x-17,01$	$y=0,871x+8,71$	$y=0,842x+12,80$
		1,50 m		
		8 ⁰⁰	14 ⁰⁰	20 ⁰⁰
Cieślin	Koniczyna	$y=0,768x+19,074$	$y=0,804x+16,23$	$y=0,886x+11,10$
Brudzeń Duży	Jęczmień	$y=1,003x+0,34$	$y=0,536x+41,32$	$y=0,674x+32,75$
Siecień	Żyto	$y=1,143x-12,511$	$y=1,269x-17,97$	$y=0,947x+6,25$
	Ziemniaki	$y=1,104x-9,28$	$y=1,070x-4,62$	$y=0,924x+7,53$
Murzynowo	Owies	$y=1,1,257x-2,21$	$y=0,866x+11,07$	$y=0,818x+17,10$
	Ziemniaki	$y=1,064x-6,90$	$y=0,904x+7,00$	$y=0,914x+7,78$

Analiza niniejsza potwierdza też prawidłowości zaznaczające się w zróżnicowaniu termiczno-wilgotnościowym w różnych porach dnia. Zróżnicowanie termiczno-wilgotnościowe powietrza na poziomie 0,25 m jest wyraźniejsze niż na wysokości 1,5 m nad powierzchnią gruntu. Wilgotność w burakach i uprawach zbożowych jest wyższa niż w pozostałych uprawach, a temperatura w uprawach zbożowych niższa, szczególnie w godzinach wieczornych niż w innych uprawach.

Pionowe zmiany temperatury i wilgotności względnej powietrza

Pionowy rozkład temperatury i wilgotności względnej powietrza w roślinach uprawnych najczęściej jest potwierdzeniem ogólnie istniejących prawidłowości w przygruntowej warstwie powietrza.

W rozkładzie temperatury przeważa insolacyjny typ stratyfikacji pionowej powietrza, w godzinach wieczornych częściej występują inwersje – zaznacza się typ nocny stratyfikacji pionowej temperatury powietrza. Najczęściej inwersje temperatury występują w uprawach zbożowych jest to prawdopodobnie związane z gęstością masy roślinnej – jest ona większa w tych uprawach niż w koniczynie, burakach, ziemniakach czy trawie. Gęsta masa roślinna przejmuje od gleby właściwości powierzchni czynnej i temperatura powietrza przy powierzchni gleby jest niższa.

Wilgotność powietrza wraz z wysokością najczęściej spada, jednakże wieczorem często zaznacza się typ suchy pionowego rozkładu powietrza. Wzrost wilgotności wraz ze wzrostem wysokości zaznacza się dość często w trawie, przy tym różnice wilgotności względnej powietrza między poziomami 0,25 m i 1,5 m w trawie są mniejsze niż w pozostałych uprawach. W uprawach zbożowych, a także choć w mniejszym stopniu – w ziemniakach, koniczynie i burakach, gęsta masa roślinna powoduje utrzymywanie się o wiele wyższej wilgotności na poziomie 0,25 m niż na poziomie 1,5 m stąd różnice wilgotności względnej między poziomami w tych uprawach są większe niż w trawie.

Pionowy rozkład temperatury i wilgotności powietrza w uprawach różnie kształtuje się w poszczególnych dniach, jednakże trudne jest wychwycić w tym okresie badawczym jakiejś prawidłowości. Różnie kształtuje się on także w zależności od pory dnia. Rano i w godzinach południowych przeważa insolacyjny typ stratyfikacji pionowej temperatury powietrza i typ mokry pionowego rozkładu wilgotności powietrza (dopływ energii słonecznej przeważa nad utratą ciepła przez wypromieniowanie: intensywne parowanie powierzchni gruntu i roślin). Wieczorem częściej zaznacza się radiacyjny typ stratyfikacji pionowej temperatury powietrza, związany z przewagą wypromieniowania, oraz typ suchy pionowego rozkładu wilgotności powietrza związany często z wystąpieniem rosy. Największe różnice temperatury i wilgotności względnej powietrza między poziomami 0,25 m i 1,5 m zaznaczają się w godzinach około południowych, w czasie najintensywniejszego promieniowania słonecznego i największej transpiracji roślin. O tej porze dnia obserwujemy też największe różnice w pionowym rozkładzie temperatury i wilgotności względnej powietrza, między poszczególnymi uprawami, gdyż duży dopływ energii słonecznej powoduje wyraźniejsze zaznaczanie się indywidualnych cech biologicznych roślin.

Ważniejsze wyniki badań

Wyniki badań prowadzonych w różnych roślinach uprawnych (żyto, owies, jęczmień, ziemniaki, buraki, koniczyna, trawa) pozwalają stwierdzić, pomimo krótkiego okresu obserwacji, istnienie wyraźnego zróżnicowania warunków termiczno-wilgotnościowych powietrza między poszczególnymi uprawami.

Główną przyczyną różnego kształtowania się temperatury i wilgotności powietrza w zależności od rodzaju upraw są właściwości biologiczne poszczególnych roślin, ich struktura, wysokość i zawartość masy zielonej. W gęstym i wysokim łanie roślin (żyto, jęczmień, owies) wilgotność powietrza jest wysoka, gdyż osłabienie odpływu pary wodnej; temperatura powietrza natomiast jest stosunkowo niska, gdyż do wnętrza silnie zwartej szaty roślinnej, słabiej dociera promieniowanie słoneczne. Wysoka transpiracja roślin jest przyczyną zwiększenia wilgotności powietrza wśród szaty roślinnej (np. w burakach, zbożach), natomiast temperatura powietrza przy wysokiej transpiracji obniża się, gdyż podczas parowania zużywana jest pewna ilość ciepła.

Zróżnicowanie warunków termiczno-wilgotnościowych powietrza w zależności od rodzaju upraw zmienia się w różnych porach dnia, wraz ze zmianą warunków pogodowych i wraz z wysokością nad powierzchnią gruntu.

Najmniejsze zróżnicowanie warunków termiczno-wilgotnościowych powietrza między uprawami, zaznacza się w godzinach rannych. Powodem tego jest jeszcze słabe w tym czasie promieniowanie słoneczne, które pociąga za sobą słabsze kontrasty w pochłanianiu jej przez różne rośliny. Konsekwencją tego jest również słaba transpiracja, stąd też ogólnie małe różnice tak termiczne jak i wilgotnościowe w tym czasie. W miarę wznoszenia się słońca ponad horyzont, kontrasty te pogłębiają się i dość duże utrzymują się do godzin wieczornych.

Na kształtowanie się kontrastów termiczno-wilgotnościowych powietrza między uprawami, znaczny wpływ wywiera panująca sytuacja pogodowa. Pogoda słoneczna pogłębia zróżnicowanie między uprawami, natomiast pochmurna i deszczowa zmniejsza je. Zmia-

ny warunków pogodowych obejmują między innymi zmiany kierunków i prędkości wiatru, wielkości zachmurzenia, od których również zależy zróżnicowanie warunków termiczno-wilgotnościowych powietrza.

Wpływ roślin na warunki mikroklimatyczne otoczenia najsilniejszy jest blisko powierzchni gruntu (0,25 m), wraz ze wzrostem wysokości maleje, dlatego też zróżnicowanie temperatury i wilgotności powietrza wyraźniej zaznacza się na poziomie 0,25 m niż na poziomie 1,5 m nad powierzchnią gruntu.

W pionowym rozkładzie temperatury i wilgotności powietrza również zaznaczają się dość znaczne różnice między poszczególnymi roślinami uprawami. We wszystkich uprawach przeważa jednak insolacyjny typ stratyfikacji pionowej temperatury powietrza i typ mokry pionowego rozkładu wilgotności. Wieczorem w większości upraw zaznacza się radiacyjny typ stratyfikacji pionowej temperatury powietrza i typ suchy pionowego rozkładu wilgotności. W uprawach zbożowych, częściej niż w poszczególnych roślinach, zaznaczają się inwersje temperatury, w trawie natomiast dość często występuje typ suchy pionowego rozkładu wilgotności powietrza. Pionowy rozkład temperatury i wilgotności powietrza w uprawach zmienia się w zależności od warunków pogodowych i od pory dnia (obserwacji nie prowadzono w godzinach nocnych).

Należy zaznaczyć, że na zróżnicowanie temperatury i wilgotności powietrza, a także na rozkład pionowy tych elementów wśród roślin uprawnych, wywarły pewien wpływ (obok roślin) także warunki lokalne punktów pomiarowych.

7.2.13. Wpływ rzeźby i pokrycia terenu na warunki termiczne na przykładzie transektu położonego w okolicy Płocka

Autor: Maciej J A W O R E K

Opiekun naukowy: Danuta M A R T Y N

Wprowadzenie

Przedstawiona praca stanowi próbę opracowania topoklimatycznego transektu położonego w okolicy Płocka, w pobliżu Mazowieckiego Obserwatorium Geograficznego w Murzynowie.

Zamieszczona w tej pracy analiza topoklimatyczna nie obejmuje wszystkich elementów klimatu, lecz jedynie temperaturę powietrza. Na podstawie danych uzyskanych drogą pomiarów prowadzonych równocześnie w kilku punktach badanego terenu autor przebadał związki między warunkami termicznymi a rzeźbą i pokryciem roślinnym danego miejsca. Niezależnie od wspomnianej analizy danych pomiarowych wykonano mapę topoklimatyczną analizowanego obszaru, posługując się metodą kartowania topoklimatów opracowaną przez J. Paszyńskiego (1980). Ilość stanowisk obserwacyjnych była bowiem zbyt mała, aby można było stworzyć tego typu mapę opierając się na wynikach prowadzonych w nich pomiarów. W pracy zamieszczona została także ocena lokalizacji punktów pomiarowych i propozycje dotyczące ich umiejscowienia.

Na transekanie zlokalizowane zostały trzy punkty pomiarowe, z których pochodzą dane niezbędne do sporządzenia analizy topoklimatycznej. Stanowiska te znajdowały się w dolnej i środkowej części transektu.

Punkt 1 położony był około 80 m od brzegu Wisły, na jej dawnym tarasie nadzalewowym, a więc w miejscu prawie płaskim. Leżał on około 20 m na północ od polnej drogi, na zachodnim obrzeżu podłużnej kępy krzewów, rozciągniętej w kierunku do tej drogi prostopadłym. Długość kępy wynosi 25-30 m, szerokość – do około 5 m, zaś wysokość krzewów nie przekracza obecnie 1,5 m. Wokół rozciągają się pola uprawne. Gleby, na których znajdowało się stanowisko – to czarne ziemie. Wysokość punktu nad poziomem morza wynosiła 59,3 m.

Punkt 2 umieszczony został na znajdującym się poniżej tarasu sandrowego Skrwy odcinku skarpy, na wysokości 66,5 m n.p.m. Nachylenie stoku w tym miejscu przekracza 5°, a jego ekspozycja jest południowa, z lekkim tylko odchyleniem ku zachodowi. W bezpośrednim otoczeniu stanowiska od północy znajdują się grunty orne, zaś od południa – łąka, jednak w bliskim sąsiedztwie, około 20 m na zachód, przebiega krawędź lasu olszowego, który od południo-zachodu podchodzi językiem na odległość kilkunastu metrów od punktu. Odległość do ściany lasu w kierunku południowym jest większa i wynosi 30-40 m, zaś na wschód przekracza 60 m, przy czym w tym ostatnim przypadku mamy do czynienia z borem sosnowym. Punkt 2, podobnie jak punkt 1, znajdował się na czarnych ziemiach.

Punkt 3 położony był na wysokości 78,2 m n.p.m., w górnej części tarasu sandrowego Skrwy, nieopodal miejsca, gdzie taras ten przechodził w stok o ponad 5-stopniowym nachyleniu. Nachylenie zbocza w okolicy punktu 3 jest mniejsze i wynosi około 3° przy południowej ekspozycji. Stanowisko zlokalizowane zostało na granicy lasu i łąki. Biegnie ona z północno-północno-wschodu na południo-południo-zachód. Po jej zachodniej stro-

nie znajduje się łąka, natomiast po wschodniej – dwie partie lasu różniące się wiekiem i wysokością drzew. Na północ od linii prostopadłej do granicy lasu z łąką, odchodzącej od niej w miejscu, gdzie znajdowała się klatka, rośnie bór sosnowy z 15-letnim wówczas drzewostanem. Od południa sąsiaduje z nim zagajnik złożony również z sosen. Obecny wygląd tych drzew świadczy, że w okresie, kiedy dokonywano pomiarów, miały one 5-6 lat i 2-2,5 m wysokości. Między zagajnikiem a starszym lasem istnieje szczelina o szerokości dochodzącej w sąsiedztwie stanowiska obserwacyjnego do 10 m. Gleby występujące w opisywanym miejscu – to gleby brunatne bielcowane.

Posterunek meteorologiczny w Murzynowie położony jest niespełna 1 km od omówionych wcześniej punktów pomiarowych. Znajduje się on na wysoczyźnie, około 100 m na wschód od budynku Mazowieckiego Obserwatorium Geograficznego, na wysokości 92 m n.p.m. w sąsiedztwie pól uprawnych, z dala od drzew i innych wysokich obiektów, zgodnie z wymogami stawianymi tego typu stanowiskom obserwacyjnym. Jego nieznaczne oddalenie od transektu sprawia, że dane z Murzynowa mogą posłużyć za punkt odniesienia dla wyników zebranych w punktach położonych na transekcie.

Przebiegi dobowe temperatury powietrza

Największe prawie 2-stopniowe różnice temperatury między najchłodniejszym a najcieplejszym w danej chwili stanowiskiem występują rano około godziny 8 oraz w porze zachodu Słońca, zaś najmniejsze około $0,2^{\circ}$ w godzinach nocnych.

Dobowa amplituda temperatury najwyższa jest w punkcie 3 (ponad 12°C), niewiele niższa w punkcie 2, zaś najniższa o prawie 2°C niższa na stanowisku 3 w ogródku meteorologicznym, co związane jest z umieszczeniem znajdującej się tam klatki na wysokości 2 m nad gruntem.

Średnia temperatura w analizowanym okresie osiągnęła najwyższą wartość w punkcie 2, punkt 3 był zaledwie o $0,1^{\circ}\text{C}$ chłodniejszy, jeszcze o $0,1^{\circ}\text{C}$ chłodniejszy był punkt 1, zaś najchłodniejszy okazał się posterunek w Murzynowie, przy czym różnica temperatury w porównaniu z punktem 2 wyniosła $0,6^{\circ}\text{C}$.

Ogólnie biorąc wykresy uśrednionych dobowych przebiegów temperatury w ciągu omawianych 42 dni mają kształty dość regularne, zbliżone do sinusoidalnych, co jest następstwem wyrównywania się szeregu niedokładności w wyznaczaniu wartości temperatury i przypadkowych odchyłek od regularnej krzywej, pojawiających się w przebiegach temperatury w pojedynczych dniach (tab. 1-4, rys. 1-2). Opisywany okres był bowiem wystarczająco długi, aby takie wyrównanie mogło nastąpić.

Mapa topoklimatyczna transektu

Mapa topoklimatyczna transektu (rys. 3) została wykonana na podstawie metody Paszyńskiego (1980) z nieznacznymi modyfikacjami.

Przystępując do jej sporządzenia autor dysponował kilkoma mapami analizowanego terenu w skali 1:2000. Były to następujące mapy: utworów powierzchniowych (Ołdak, 1985), gleb (Ołdak, 1985), roślinności rzeczywistej (Borowiecka, 1985) oraz mapa topograficzna.

Na podstawie mapy topograficznej została wykonana mapa spadków z wyróżnieniem fragmentów terenu o nachyleniu przekraczającym 5° , bowiem taką wartość graniczną przyjął Paszyński (1980) w swojej metodzie wyodrębniania jednostek topoklimatycznych.

Opierając się na wymienionych mapach i uściślając zawarte w nich dane własnymi obserwacjami w terenie, dokonano podziału badanego obszaru na takie jednostki.

Na podstawie mapy roślinności rzeczywistej wydzielono obszary zalesione bądź pokryte zaroślami i obszary odsłonięte. W wyniku obserwacji w terenie wyróżniono ponadto, zgodnie z sugestiami Bartkowskiego (1980), obszary o zalesieniu zwartym i obszary, na których szata roślinna jest rozproszona. Do tych ostatnich zaliczono kępy krzewów położone w dolnej części transektu oraz, nie zaznaczony na żadnej z wymienionych map, zagajnik znajdujący się na południe od punktu 3.

Tereny leśne i zaroślowe zostały podzielone na trzy typy wyróżnione w klasyfikacji Paszyńskiego. Podziału tego dokonano na podstawie mapy spadków oraz kierunku przebiegu poziomic na mapie topograficznej.

Na terenach odkrytych wydzielone zostały obszary płaskie wyniesione ponad dna dolin, formy wklęsłe oraz formy wypukłe.

Na obszarach płaskich poza dnami dolin wydzielić można tylko jeden typ topoklimatu, charakterystyczny dla miejsc o glebach suchych i źle przewodzących ciepło (w klasyfikacji Paszyńskiego 2.3).

Do form wklęsłych zaliczono fragmenty terenu, w których mogą tworzyć się zastoiska lub występować spływy chłodnego powietrza. Są to: zagłębienie bezodpływowe utworzone wskutek ogrodzenia obniżenia terenu od południo-zachodu nasypem, po którym biegnie szosa, łagodnie nachyloną dolinkę w środkowej części transektu oraz dwa niewielkie obniżenia znajdujące się poniżej skarpy, porośnięte roślinnością szuwarową, które, ze względu na ich położenie, uznano za wyżej leżące fragmenty rozległej doliny (typ 3.2). Pozostałe wymienione zagłębienia potraktowano jako drobne, samodzielne formy wklęsłe (typ 3.3). Do form, w których mogą się tworzyć zastoiska chłodnego powietrza, nie zaliczono bardzo płytkiego zagłębienia bezodpływowego znajdującego się w środkowej części transektu, na północ od szosy. Jego głębokość wynosi bowiem zaledwie około 30 cm przy rozmiarach rzędu kilkudziesięciu metrów, co pozwala przyjąć, że zaleganie chłodnego powietrza tam nie występuje. Również niewielka dolinka przecinająca górną część skarpy nie została zaliczona do form, w których ma miejsce gromadzenie się chłodnego powietrza, gdyż jej znaczne nachylenie nie sprzyja podobnym zjawiskom. Uznano ją więc za fragment stoku.

Odsłonięte formy wypukłe podzielone zostały podobnie, jak tereny zalesione. Brak jest przy tym w ich obrębie miejsc o bardzo urozmaiconej rzeźbie, jak też stoków o ekspozycji północnej i nachyleniu przekraczającym 5°.

Na terenach zaliczonych do form wypukłych znajdowały się dwa najwyższe położone stanowiska obserwacyjne na transekcie. Punkt 2 leżał przy tym na stoku południowym o ponad 5-stopniowym nachyleniu, zaś punkt 3 również na stoku południowym, lecz o nachyleniu nie przekraczającym 5°. Pierwszy z tych punktów znajdował się więc na obszarze o topoklimacie oznaczonym w klasyfikacji Paszyńskiego jako 1.1, charakteryzującym się uprzywilejowaniem termicznym, zaś drugi w obszarze topoklimatu 1.2. Uzyskane z pomiarów dane wykazują, że średnia temperatura w okresie analizowanych 42 dni jest w punkcie 2 wyższa, niż w punkcie 3, jednak różnica ta jest minimalna i wynosi zaledwie 0,1°C. Największa jest ona w dniach pogodnych, gdy bezpośrednie nagrzewanie powierzchni Ziemi przez Słońce odgrywa największą rolę. Sięga wówczas 0,4°C. Wpływ

nachylenia stoku na stosunki termiczne daje się więc zauważyć. Średnia temperatura maksymalna z badanych 6 tygodni jest w punktach 2 i 3 jednakowa, co wynika z faktu, że efekt bardziej intensywnego nagrzewania przez Słońce okolic punktu 2 niwelowany jest przez odprowadzanie części ciepła w głąb gruntu, który w sąsiedztwie stanowiska 2 charakteryzuje się dobrym przewodnictwem cieplnym ze względu na jego położenie na glebach zwartych i dobrze uwilgotnionych, podczas gdy punkt 3 znajduje się na glebach piaszczystych i suchych. Większe są też w punkcie 2 starty ciepła na parowanie.

Jeśli chodzi o tereny odsłonięte położone w najbardziej płaskiej, znajdującej się najbliższej rzeki, części dawnego tarasu nadzalewowego (obecnie zalewowego) Wisły, pojawiają się wątpliwości dotyczące ich właściwego zaklasyfikowania, a ściślej mówiąc tego, czy panujący tam topoklimat należy uważać za topoklimat rozległego dna dolinnego (typ 3.1 w klasyfikacji Paszyńskiego), czy za topoklimat obszarów lądowych znajdujących się pod silnym wpływem zbiorników wodnych (typ 6.1.b w zmodyfikowanej przez Bartkowskiego klasyfikacji Paszyńskiego). Ze względu na to, że dobowe przebiegi temperatury w położonym w tej części transektu punkcie 1 wykazują zarówno cechy charakterystyczne dla topoklimatu rozległych den dolinnych (spływ chłodnego powietrza podczas pogodnych nocy), jak i dla miejsc znajdujących się pod silnym oddziaływaniem mas wodnych (zmniejszone dobowe wahania temperatury, zwłaszcza przy pogodzie, podczas której nie występują spływy chłodnego powietrza), postanowiono zaliczyć tę część transektu do odrębnej, nie wyróżnionej w klasyfikacji Paszyńskiego, grupy obszarów, których topoklimat (oznaczony przez autora jako typ 6.2) łączy w sobie cechy obydwu wymienionych typów topoklimatu.

Graniczący od południa z transektem obszar Wisły potraktowany został jako teren, którego warunki topoklimatyczne kształtują się pod przemożnym wpływem wody (typ 6.1). Ze względu na brak zabudowań na obszarze transektu nie występują topoklimaty obszarów o dużym wpływie ciepła wyzwalanego w wyniku procesów spalania.

Na mapie zaznaczone zostały istniejące punkty pomiarowe, a także stanowiska, które należałoby umieścić na transekcje zgodnie z propozycjami zawartymi w następnym rozdziale tej pracy.

Objaśnienia do mapy topoklimatu

- Grupa 1 – topoklimaty niezalesionych form wypukłych
 - topoklimat stoków o nachyleniu ponad 5° i ekspozycji SE-SW
 - topoklimat wszystkich zboczy z wyjątkiem stoków o nachyleniu ponad 5° i ekspozycji SE-SW oraz NW-NE
- Grupa 2 – topoklimaty niezalesionych form płaskich poza dnami dolin
 - 2.3 – topoklimat terenów o podłożu źle przewodzącym ciepło
- Grupa 3 – topoklimaty niezalesionych form wklęsłych
 - 3.2 – topoklimat wyżej położonych części rozległych den dolinnych
 - 3.3 – topoklimat drobnych form wklęsłych
- Grupa 4 – topoklimaty obszarów zalesionych lub porośniętych krzewami
 - 4.1.a – topoklimat terenów o zwartym lub średnio zwartym przykryciu koronami drzew, położonych na stokach o nachyleniu ponad 5° i ekspozycji SE-SW
 - 4.2.a – topoklimat terenów o zwartym lub średnio zwartym przykryciu koronami drzew, położonych na obszarach płaskich lub zboczach z wyjątkiem stoków o nachyleniu ponad 5° i ekspozycji SE-SW oraz NW-NE

4.2.b – topoklimat terenów o słabym osłonięciu powierzchni gruntu przez roślinność, położonych na obszarach płaskich lub zboczach z wyjątkiem stoków o nachyleniu ponad 5° i ekspozycji Se-Sw oraz NW-NE

4.3.a – topoklimat terenów o zwartym lub średnio zwartym przykryciu koronami drzew, położonych na stokach o nachyleniu ponad 5° i ekspozycji NW-NE

• Grupa 6 – topoklimaty obszarów znajdujących się pod silnym wpływem zbiorników wodnych

6.1 – topoklimat zbiorników wodnych

6.2 – topoklimat nizej położonych części rozległych den dolinnych znajdujących się pod wyraźnym wpływem zbiorników wodnych

Tabela 1. Średnie wartości temperatury minimalnej (T_{\min}), maksymalnej (T_{\max}) i dobowej amplitudy oraz czas ich występowania w punktach 1 i 2

Dni	Punkt 1					Punkt 2				
	T_{\min}	t_{\min}	T_{\max}	t_{\max}	A	T_{\min}	t_{\min}	T_{\max}	t_{\max}	A
Pog.	11,2	4 ⁰⁰	26,4	16 ⁰⁰	15,2	11,9	5 ³⁰	27,4	16 ¹⁵	15,5
D. p.	13,2	4 ⁴⁵	25,7	15 ³⁰	12,5	13,6	6 ⁰⁰	26,9	16 ¹⁵	13,3
D. poch	14,4	4 ⁰⁰	23,6	15 ³⁰	9,2	14,3	5 ⁰⁰	24,2	14 ⁰⁰	9,9
Poch.	15,2	4 ⁰⁰	22,8	15 ¹⁵	7,6	14,4	4 ³⁰	22,4	16 ⁰⁰	8,0
Wyż	12,5	4 ³⁰	25,5	15 ⁴⁵	13,0	12,6	5 ⁴⁵	26,2	15 ⁴⁰	13,7
Niż	14,8	4 ¹⁵	21,8	15 ¹⁵	7,0	14,3	5 ¹⁵	21,4	16 ⁰⁰	7,1
Nieok.	14,9	4 ⁰⁰	24,9	15 ³⁰	10,0	14,9	4 ¹⁵	25,5	15 ³⁰	10,6
PPm	11,8	4 ¹⁵	22,2	13 ⁴⁵	10,4	12,2	5 ⁴⁵	23,5	15 ¹⁵	11,3
PPms	13,0	4 ¹⁵	24,6	16 ⁰⁰	11,6	13,4	5 ¹⁵	25,5	16 ⁰⁰	12,1
PPmc	12,9	2 ³⁰	25,3	15 ¹⁵	12,4	13,2	5 ⁰⁰	26,0	15 ⁰⁰	12,8
PPk	15,9	5 ³⁰	27,9	15 ¹⁵	12,0	15,0	6 ⁰⁰	27,9	15 ⁴⁵	1,9
Pz	18,1	6 ⁰⁰	28,5	13 ¹⁵	10,4	16,5	4 ⁴⁵	28,4	13 ⁰⁰	11,9
Nieok.	14,0	3 ⁴⁵	24,8	15 ⁴⁵	10,8	13,9	5 ¹⁵	24,9	17 ³⁰	11,0
Wsz.	13,4	4 ¹⁵	24,8	15 ³⁰	11,4	13,5	5 ³⁰	25,5	15 ⁴⁵	12,0

Tabela 2. Średnie wartości temperatury minimalnej (T_{\min}), maksymalnej (T_{\max}) i dobowej amplitudy oraz czas ich występowania w punktach 3 i MOG

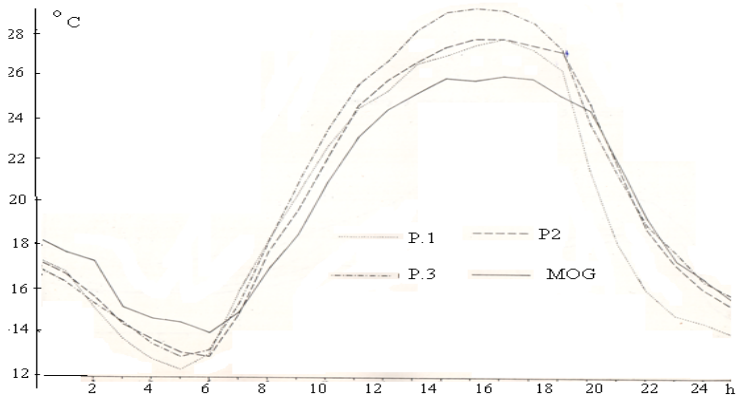
Dni	Punkt 3					Posterunek MOG				
	T_{\min}	t_{\min}	T_{\max}	t_{\max}	A	T_{\min}	t_{\min}	T_{\max}	t_{\max}	A
Pog.	11,2	5 ³⁰	27,5	16 ³⁰	16,3	12,6	5 ⁰⁰	25,8	15 ⁴⁵	13,2
D. p.	13,5	5 ⁴⁵	26,8	16 ⁰⁰	13,3	14,0	5 ³⁰	25,2	15 ⁴⁵	11,2
D. poch	14,0	5 ³⁰	23,9	15 ³⁰	9,9	13,4	5 ⁰⁰	22,3	15 ³⁰	6,9
Poch.	14,9	5 ⁰⁰	23,0	15 ⁴⁵	8,1	14,0	5 ⁰⁰	21,2	15 ⁰⁰	7,2
Wyż	12,5	6 ⁰⁰	26,4	16 ⁰⁰	13,9	13,3	5 ¹⁵	24,8	15 ⁴⁵	11,5
Niż	15,0	5 ¹⁵	22,3	16 ⁰⁰	7,3	13,7	5 ⁰⁰	20,5	15 ¹⁵	6,8
Nieok.	14,4	5 ³⁰	25,2	15 ⁴⁵	10,8	14,0	5 ⁰⁰	23,6	15 ¹⁵	9,6
PPm	11,3	6 ³⁰	22,8	16 ⁰⁰	11,5	11,7	6 ⁰⁰	21,6	15 ⁰⁰	9,9
PPms	13,6	5 ³⁰	26,0	16 ¹⁵	12,4	13,8	4 ³⁰	24,2	15 ⁴⁰	10,4
PPmc	13,0	5 ³⁰	25,1	16 ⁰⁰	12,1	13,5	5 ⁰⁰	24,4	15 ³⁰	10,9
PPk	15,5	5 ⁴⁵	28,3	15 ⁰⁰	12,8	15,8	6 ¹⁵	26,5	15 ³⁰	10,7
Pz	17,7	6 ⁰⁰	29,0	13 ¹⁵	11,3	17,0	6 ⁰⁰	26,7	15 ⁰⁰	9,7
Nieok.	12,1	5 ¹⁵	24,6	16 ³⁰	12,5	11,8	6 ⁰⁰	22,1	16 ³⁰	10,3
Wsz.	13,3	5 ⁴⁵	25,5	16 ⁰⁰	12,2	13,5	5 ¹⁵	23,9	15 ³⁰	10,4

Tabela 3. Wartości temperatury powietrza w godzinach 1⁰⁰-12⁰⁰) i średnie dobowe w poszczególnych typach dni w punkcie 1

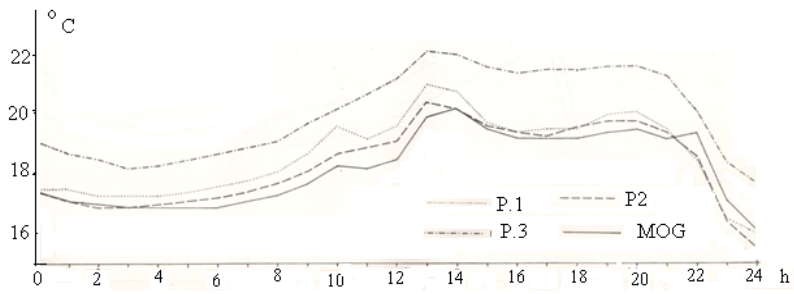
	Dni	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1	Pog.	13,4	12,7	12,2	11,9	11,7	12,4	14,2	16,7	19,0	21,0	22,8	24,1
2	D. p.	15,0	14,6	14,1	13,8	13,7	14,0	15,6	17,6	19,5	21,4	22,9	23,9
3	D. poch	16,5	16,1	15,9	15,6	15,4	15,7	16,4	17,6	18,7	20,1	20,8	21,5
4	Poch.	17,0	16,6	16,5	16,4	16,2	16,2	16,5	17,1	17,9	18,7	19,1	19,5
5	Wyż	14,3	13,7	13,5	13,2	13,0	13,4	15,0	17,1	19,2	21,0	22,5	23,5
6	Niż	16,5	16,4	16,2	16,0	15,7	15,5	15,6	16,2	16,6	17,7	18,0	18,2
7	Nieok.	17,4	17,0	16,4	16,0	16,0	16,3	17,3	18,3	19,4	20,8	21,6	22,6
8	PPm	14,3	14,0	13,2	12,9	12,6	12,8	13,8	15,5	16,9	16,4	19,5	20,2
9	PPms	14,7	14,4	14,1	13,7	13,6	14,0	15,2	16,6	18,2	20,1	21,4	22,3
10	PPmc	13,6	13,5	14,2	14,1	13,7	14,2	15,8	18,2	19,9	21,4	22,7	23,6
11	PPk	18,7	17,8	17,2	16,9	16,6	16,5	17,8	19,8	21,8	23,2	24,5	25,4
12	Pz	19,8	19,5	18,8	18,3	18,1	18,1	18,6	20,3	23,5	26,1	27,4	28,1
13	Nieok.	16,6	15,8	15,1	4,9	15,2	1,9	17,3	18,4	19,0	9,9	20,6	21,6
14	Wsz.	15,3	14,9	14,6	14,2	14,1	14,4	15,6	17,3	18,9	20,5	21,7	22,5

Tabela 4. Wartości temperatury powietrza w godzinach 13⁰⁰-24⁰⁰ i średnie dobowe w poszczególnych typach dni w punkcie 1

	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Śr
1	25,0	25,6	26,2	26,3	26,0	25,3	22,9	19,8	17,9	16,9	16,0	14,9	19,0
2	24,5	25,1	25,4	25,3	24,9	24,2	22,0	19,6	18,0	17,1	16,4	15,7	19,3
3	21,8	22,3	21,2	21,3	21,1	20,9	20,3	18,8	17,6	16,9	15,9	15,3	18,1
4	20,3	20,1	20,0	20,7	20,8	19,8	19,5	18,6	17,7	16,8	16,2	16,0	18,1
5	24,2	24,8	25,2	25,2	24,9	24,2	22,2	19,6	17,9	16,9	16,1	15,2	19,0
6	18,6	19,3	8,9	19,0	19,1	17,6	17,7	17,4	16,7	16,2	15,3	24,8	17,1
7	23,3	23,0	22,3	22,8	22,4	22,2	21,2	19,4	16,4	17,6	16,9	16,5	19,4
8	20,4	20,9	21,2	21,2	21,2	19,8	18,6	15,9	14,3	17,6	13,2	12,5	16,5
9	23,0	25,3	25,0	25,3	23,1	22,8	21,2	19,9	18,5	17,7	16,8	16,0	18,6
10	24,1	24,7	24,4	24,8	24,6	24,0	22,2	20,2	18,5	17,5	17,9	15,5	19,2
11	26,4	27,1	27,6	27,3	26,8	26,2	23,6	21,0	19,3	18,2	18,2	17,6	21,5
12	28,0	21,5	28,0	26,5	26,4	26,3	25,2	23,3	22,4	19,4	16,2	17,5	22,7
13	22,3	22,6	23,0	23,4	23,0	21,6	19,6	18,4	17,9	17,2	16,2	14,9	18,8
14	23,2	23,6	27,6	23,7	23,5	22,8	21,4	19,2	17,8	16,9	16,2	15,5	18,8



Rys. 1. Przebiegi dobowe temperatury powietrza w dniu pogodnym (N=3) 23 sierpnia 1983 r.



Rys. 2. Przebiegi dobowe temperatury powietrza w dniu pochmurnym (N=10) 3 sierpnia 1983 r.



Rys. 3. Mapa topoklimatyczna transektu, skala 1:2000



Rys. 3 cd. Mapa topoklimatyczna transektu, skala 1:2000

7.2.14. Bilans radiacyjny zlewni eksperymentalnej w Murzynowie

Autor: Janusz KOSIŃSKI

Opiekun naukowy: Witold LENART

Cel pracy

Na opracowanie tematu „Bilans radiacyjny zlewni eksperymentalnej w Murzynowie” od dłuższego już czasu istniało zapotrzebowanie. Praca zgonie z podjętym tematem, dotyczy zagadnienia bilansu radiacyjnego dla określonego ściśle miejsca. Podstawą jest tu bilans krótkofalowy. Oczywiście nie chodzi o wyznaczenie samego równania bilansu, lecz o przedstawienie go na podstawie konkretnych zmierzonych wartości. Praca dotyczy niewielkiego obszaru, jednak jego typowość dla znacznych powierzchni Polski sprawia, że może być odniesiona do innych miejsc i większych pól.

Ponadto, jej celem jest przedstawienie rzeczywistych wartości energii dopływającej i zatrzymanej w przypowierzchniowej warstwie gleby i roślinności. Pozwala to znaleźć bilans cieplny i związane z nim parametry, określić parowanie potencjalne czy też elementy mogące znaleźć zastosowanie np. w rolnictwie.

Wszystkie pomiary zostały wykonane na terenie zlewni eksperymentalnej w Murzynowie. Część w rejestracji ciągłej, część w czasie badań terenowych autora. Dane te weszły do szczegółowego opisu rozkładu przepływu promieniowania. Wskazane zostały również zmiany sezonowe, głównie promieniowania krótkofalowego odbitego (zmiany albedo) oraz zmiany spowodowane zróżnicowaniem dopływu.

Bilans promieniowania powierzchni czynnej można określić znając bilans promieniowania krótkofalowego

$$K^* = K_{\downarrow} - K_{\uparrow}$$

i bilans promieniowania długofalowego

$$L^* = L_{\downarrow} - L_{\uparrow},$$

gdzie: K^* – saldo promieniowania w zakresie krótkofalowym, K_{\downarrow} – promieniowanie krótkofalowe padające (bezpośrednie i rozproszone), K_{\uparrow} – promieniowanie krótkofalowe odbite, L^* – saldo promieniowania w zakresie długofalowym, L_{\uparrow} – promieniowanie długofalowe podłoża, L_{\downarrow} – promieniowanie długofalowe zwrotne atmosfery. Bilans promieniowania powierzchni czynnej można zapisać

$$Q^* = K^* + L^* = K_{\downarrow} - K_{\uparrow} + L_{\downarrow} - L_{\uparrow}$$

gdzie: Q^* saldo promieniowania powierzchni czynnej ($W \cdot m^{-2}$ lub $J \cdot cm^{-2}$ w określonym przedziale czasu)

Równanie bilansu cieplnego powierzchni czynnej można zapisać w postaci

$$Q^* + E + P + B = 0$$

gdzie: E – turbulencyjny strumień ciepła utajonego, związany z parowaniem i kondensacją, P – turbulencyjny strumień ciepła jawnego, związany z konwekcją, B – wymiana ciepła z podłożem (przewodnictwa molekularne w glebie).

Strumienie promieniowania długofalowego Ziemi (L_{\uparrow}) i atmosfery (L_{\downarrow}) określone są wzorem:

$$L = a\sigma T^4$$

gdzie: a – względna zdolność absorpcyjna (w przedziale 0,85-0,99), σ – stała Stephana-Boltzmana, T – temperatura bezwzględna powierzchni promieniującej.

Albedo wybranych powierzchni czynnych wyznaczono z wzoru:

$$\alpha = K_{\uparrow}/K_{\downarrow} \cdot 100\%$$

Promieniowanie odbite z terenu całej zlewni (E_{odb}) jest sumą udziałów (%) poszczególnych jej części:

$$E_{\text{odb}} = p_1\alpha_1 + p_2\alpha_2 + \dots + p_k\alpha_k$$

gdzie: p_1, p_2, \dots, p_k – udział procentowy poszczególnych powierzchni w obszarze zlewni, $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$ – albedo odpowiednich powierzchni czynnych.

Dobowe wartości promieniowania pochodzą z okresu od 1 kwietnia 1986 do 31 marca 1988 roku (częściowo uzupełnione na podstawie danych z Belska). Uzyskane z pomiarów i uzupełnione wartości promieniowania zestawiono w tab. 2. Wartości promieniowania w Murzynowie i Belsku są zbliżone. Na przykład maksymalna wartość $67215 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ (średnia dobowa $2241 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$) wystąpiła w 1986 r w czerwcu, a minimalna $4204 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ (średnia dobowa $136 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$) w grudniu. Dużo mniejsze różnice występują w kwietniu i styczniu, a najmniejsze w lipcu i październiku.

Roczny dopływ promieniowania do obszaru zlewni wynosi około $3700 \text{ MJ}\cdot\text{cm}^{-2}$, tj. dla całej jej powierzchni $5,55 \cdot 10^{14} \text{ J}$.

Zestawiono wartości promieniowania krótkofalowego odbitego dla niektórych miesięcy okresu w którym prowadzono pomiary. Dla kwietnia przyjęto wartości wiosenne, dla lipca letnie, dla października jesienne. Natomiast dla stycznia wskazano dwa rozwiązania: z pokrywą śnieżną, gdzie przyjęto albedo i bez pokrywy śnieżnej. Promieniowanie odbite jest największe w lecie – w lipcu $9950 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ i maleje wraz ze spadkiem promieniowania dochodzącego. Inaczej jest w zimie w dniach z zalegającą pokrywą śnieżną, kiedy to promieniowanie odbite znacznie wzrasta.

Sumy dobowe promieniowania pochłoniętego są największe w maju, czerwcu i lipcu. Związane jest to z małym zachmurzeniem, dużą przezroczystością atmosfery i dużą wysokością Słońca oraz małym albedo. Zimą spadek dopływu promieniowania zbiega się ze wzrostem albedo. Minimum w przebiegu rocznym przypada na grudzień lub styczeń. Sumy miesięczne promieniowania pochłoniętego wahają się od około $45000\text{-}55000 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ w lecie do zaledwie $3000\text{-}6000 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ w miesiącach zimowych i jesiennych. Ważniejsze wyniki badań podano w tabelach 1-7.

Tabela 1. Promieniowanie krótkofalowe mierzone w MOG w Murzynowie ($J \cdot cm^{-2}$)

Rok	Miesiąc	Dek I	Dek II	Dek III	Suma	Średnia
1986	Kwiecień	6241	13116	18554	37911	12637
	Lipiec	21336	16547	19503	57386	19129
	Październik	8845	8327	5241	22911	7637
1987	Styczeń	2138	2921	4545	9604	3201
	Kwiecień	9677	12541	14545	36763	12254
	Lipiec	20851	15479	18000	54310	18103
1988	Październik	10746	6400	5691	22837	7612
	Styczeń	2000	2348	1207	5555	1952
	Kwiecień	10431	17932	18923	47286	15762
	Lipiec	21438	13999	22902	58359	19446
1989	Październik	8667	7052	6486	22205	7402
	Styczeń	1778	2143	1241	5162	1721

Tabela 2. Sumy miesięczne promieniowania krótkofalowego ($J \cdot cm^{-2}$) i średnie dobowe z mierzone w MOG w Murzynowie oraz w Obs. Geofizycznym PAN w Belsku (1986-1988) (*wartości uzupełnione metodą różnic na podstawie Belska)

Rok	Miesiąc	Murzynowo		Belsk		Rok	Miesiąc	Murzynowo		Belsk	
		Suma	Śr.	Suma	Śr.			Suma	Śr.	Suma	Śr.
1986	Kwiecień	37911	1264	39657	1322	1988	Styczeń	5555	179	5914	188
	Maj	64003	2064	61590	1987		Luty	12532	432	12676	437
	Czerwiec	67215	2241	67274	2242		Marzec	27864	899	25205	813
	Lipiec	57386	1851	58557	1889		Kwiecień	47286	1576	47163	1572
	Sierpień	46366	1426	46453	1498		Maj	56409	1820	37160	1844
	Wrzesień	29739	991	28499	952		Czerwiec	49077	1636	51553	1722
	Październik	22911	739	23120	746		Lipiec	58339	1882	59487	1919
	Listopad	10887	363	11579	386		Sierpień	47351	1527	48153	1553
	Grudzień	575.5	187	5871	189		Wrzesień	25964	865	26370	879
1987	Styczeń	9604	310	10749	747	Październik	22205	716	22783	735	
	Luty	12539	448	14361	513	Listopad	8033	268	8903	297	
	Marzec	34299	1106	33689	1087	Grudzień	4204	136	4015	130	
	Kwiecień	36763	1225	34771	1159						
	Maj	53258	1718	57173	1844						
	Czerwiec	48955	1632	54165	1806						
	Lipiec	54310	1752	55444	1789						
	Sierpień	44422	1433	45939	1482						
	Wrzesień	33334	1111	34168	1179						
	Październik	22837	737	23657	765						
	Listopad	6493	216	7540	251						
	Grudzień	4689	151	4236	137						

Tabela 3. Albedo (%) w porach roku (W, L, J, Z) dla różnego pokrycia terenu zlewni według pomiarów wykonanych w roku 1989 (s – okres suchy, w – okres wilgotny, św – śnieg świeży, z – śnieg zleżały)

	Pokrycie terenu	W _s	W _w	L _s	L _w	J _s	J _w	Z _{św}	Z _z
2	Łąka świeża, Chwasty ruder	16	14	24	18	19	18	83	47
3	Łąka wilgotna	16	14	23	18	19	19	83	47
4	Uprawy okopowe	31	18	20	19	31	17	83	47
5	Droga gruntowa (połna)	29	17	30	18	29	17	.	.
6	Uprawy zżowebo	15	13	1	20	1	17	83	4 7
7	Młodni sosnowy	8	8	11	10	14	13	36	34
8	Łęg jesionowo olszowy	10	10	16	15	13	16	34	31
10	Bór mieszany	9	9	14	14	15	14	39	34
11	Droga asfaltowa	15	11	13	11	15	11	.	.

Tabela 4. Sumy miesięczne promieniowania pochłoniętego ($J \cdot cm^{-2}$) dla zlewni MOG w Murzynowie (1986-1988)(pokrywa śnieżna)

Rok	Miesiąc	Okres suchy	Okres wilgotny	Średnia	Śr dob	Rok	Miesiąc	Okres suchy	Okres wilgotny	Średnia	Śr dob
1986	Kwiecień	31518	33058	32338	1078	1988	Styczeń	1872	4444	3158	102
	Maj	53379	55811	54595	1761		Luty	7256	10652	8954	309
	Czerwiec	54780	56057	55419	1847		Marzec	23239	24297	23768	767
	Lipiec	46770	47880	47325	1527		Kwiecień	39437	41233	40233	1345
	Sierpień	37788	38669	38229	1233		Maj	47045	49189	48117	1552
	Wrzesień	22929	24981	23955	799		Czerwiec	39998	40930	40464	1349
	Październik	17664	19245	18455	595		Lipiec	47546	48655	48101	1552
	Listopad	8394	9145	8770	292		Sierpień	38591	39491	39041	1260
	Grudzień	1953	1953	1953	63		Wrzesień	20018	21810	20914	697
1987	Styczeń	3237	3237	3237	104	Październik	17120	18652	17886	577	
	Luty	4226	4226	4226	151	Listopad	6193	6748	6471	216	
	Marzec	19859	29154	24507	791	Grudzień	3241	3531	3386	109	
	Kwiecień	30660	32057	31359	1045						
	Maj	44417	46441	45429	1465						
	Czerwiec	39898	40828	40363	1345						
	Lipiec	44263	45295	44779	1444						
	Sierpień	36204	37048	36626	1181						
	Wrzesień	25701	28001	26851	895						
	Październik	17607	19183	18395	593						
	Listopad	5006	5454	5230	174						
	Grudzień	3615	3939	3777	122						

Tabela 5. Promieniowanie krótkofalowe odbite ($J \cdot cm^{-2}$) na terenie zlewni MOG w Murzynowie

	Promieniowanie padające	Promieniowanie odbite		
		Okres suchy	Okres wilgotny	Śr
Kwiecień	40653	6765	5204	5985
Lipiec	56678	10485	9409	9947
Październik	22651	5187	3624	4406
Styczeń	6774	1124	867	996
Styczeń	6774	Śnieg świeży	Śnieg zleżały	
		4491	2852	3672

Tabela 6. Promieniowanie krótkofalowe pochłonięte ($J \cdot cm^{-2}$) na terenie zlewni MOG w Murzynowie

	Promieniowanie pochłonięte		
	Okres suchy	Okres wilgotny	Śr
Kwiecień	33888	35449	34669
Lipiec	46193	47269	46731
Październik	17464	19027	18246
Styczeń	5650	5907	5779
Styczeń	Śnieg świeży	Śnieg zleżały	
	2283	3922	3103

Tabela 7. Przebieg bilansu radiacyjnego i jego składników ($J \cdot cm^{-2}$) i nad powierzchnią trawiastą zmierzonych w MOG w Murzynowie w okresie październik-grudzień 1986 r. (K^* – promieniowanie krótkofalowe pochłonięte, L^* – promieniowanie długofalowe (efektywne), Q^* – saldo (z pokrywą śnieżną)

	Październik			Listopad			Grudzień		
	K^*	L^*	Q^*	K^*	L^*	Q^*	K^*	L^*	Q^*
1	463	-261	202	492	-354	138	387	-351	36
2	1029	-530	499	186	-180	6	208	-276	-68
3	586	-385	201	637	-530	107	48	-164	-116
4	959	-486	473	306	-199	107	254	-351	-97
5	1052	-591	461	409	-260	149	310	-408	-98
6	909	-436	473	419	-355	64	59	-207	-148
7	402	-217	185	530	-190	40	68	-132	-64
8	220	-180	40	355	-336	19	327	-384	-57
9	579	-387	192	308	-307	1	317	-390	-73
10	814	-470	344	508	-460	48	261	-284	-23
11	820	-544	276	479	-438	41	70	-51	19
12	469	-252	217	421	-466	-45	58	-34	24
13	857	-512	345	276	-215	61	102	-168	-66
14	832	-580	252	219	-207	12	99	-92	7
15	809	-523	286	230	-214	16	63	-28	35
16	847	-548	299	91	-107	-16	45	-59	-14
17	586	-357	229	245	-232	13	124	-110	14
18	514	-255	259	92	-187	-95	44	-77	-33
19	623	-426	197	237	-262	-25	119	-119	0
20	598	-383	215	264	-237	27	63	-80	-17
21	133	-156	-23	358	-337	21	139	-230	-91
22	237	-133	104	202	-183	19	100	-107	-7
23	318	-258	60	209	-178	31	25	-35	-10
24	200	-223	-23	72	-129	-57	43	-37	6

7.3. Klimat Niziny Północnomazowieckiej

7.3.1. Ogólna charakterystyka klimatu Mławy (1951-1965)

Autor: Ireneusz PRUSINOWSKI

Opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Danuta MARTYN

Celem pracy jest charakterystyka głównych, a jednocześnie najważniejszych elementów klimatu Mławy, reprezentujących jego cechy termiczne, wilgotnościowe i cyrkulacyjne (rys. 1-2).

Materiały źródłowe z lat 1951-1965 dotyczą stacji meteorologicznej znajdującej się na terenie miasta. Analizowane dane pochodzą z archiwum IMGW, roczników meteorologicznych i opadowych.

Szczególną uwagę w opracowaniu zwrócono na czynniki mające wpływ na kształtowanie się pogody, a tym samym na klimat badanego obszaru. Omówiono zmiany roczne i dobowe wybranych elementów klimatu Mławy. Dotyczą one promieniowania słonecznego, różnych charakterystyk temperatury i wilgotności powietrza, zachmurzenia, opadu, ciśnienia atmosferycznego, wiatru oraz zjawisk: mgły i burzy.

Mława leży w północnej części Wyżyny Ciechanowskiej, na Wzniesieniach Mławskich. Jej położenie określają następujące współrzędne geograficzne: $\varphi = 53^{\circ}7'N$ i $\lambda = 20^{\circ}22'E$. Od północnego zachodu, północy i wschodu miasto otoczone jest pasmem wzgórz morenowych stadiału Mławy zlodowacenia środkowopolskiego. Od południa powierzchnia terenu jest znacznie bardziej wyrównana, z niewielkimi tylko wzniesieniami, które oddzielają obniżenia z łąkami i torfowiskami. Jeszcze dalej w kierunku południowo zachodnim obszar ten stopniowo obniża się w kierunku doliny Wkry. Współczesna rzeźba okolic Mławy powstała w wyniku peryglacialnych procesów denudacyjnych zachodzących w plejstocénskich utworach polodowcowych zlodowacenia środkowopolskiego stadiału Wkry i młodszego Mławy.

Według regionalizacji klimatycznej Okołowicza (1966) Mława położona jest w regionie mazurskim (B10).

Promieniowanie słoneczne

Roczna suma promieniowania całkowitego w Mławie osiągnęła wartość $82,4 \text{ kcal} \cdot \text{cm}^{-2}$. Największe wartości wystąpiły późną wiosną i latem – ich maksimum przypadało w czerwcu ($13,5 \text{ kcal} \cdot \text{cm}^{-2}$), a najmniejsze zimą z minimum w grudniu ($1,0 \text{ kcal} \cdot \text{cm}^{-2}$). Wartości te związane były z największym i najmniejszym usłonecznieniem w ciągu roku (tab. 1-4).

Tabela 1. Średnie sumy promieniowania całkowitego (kcal/cm^2) w Mławie wg Atlasu bilansu promieniowania w Polsce, 1966 r.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
1,3	3,0	6,5	9,0	12,0	13,5	12,2	10,6	7,8	4,0	1,5	1,0	82,4

Promieniowanie pochłonięte było mniejsze od całkowitego i jego roczna suma wynosiła $65,6 \text{ kcal} \cdot \text{cm}^{-2}$. Największe wartości występowały od maja do sierpnia z maksimum w czerwcu ($11,0 \text{ kcal} \cdot \text{cm}^{-2}$), a najmniejsze od listopada do lutego z minimum w styczniu ($0,0 \text{ kcal} \cdot \text{cm}^{-2}$) (tab. 2). Na promieniowanie pochłonięte oprócz wielkości usłonecznienia miało wpływ również albedo. Jego najmniejsze wartości przypadały na późną wiosnę

i lato, a największe w miesiącach z pokrywą śnieżną (zwiększa ona albedo powierzchni i jednocześnie jest izolatorem ciepła – utrudnia jego wypromieniowanie z warstw gruntu przykrytych śniegiem).

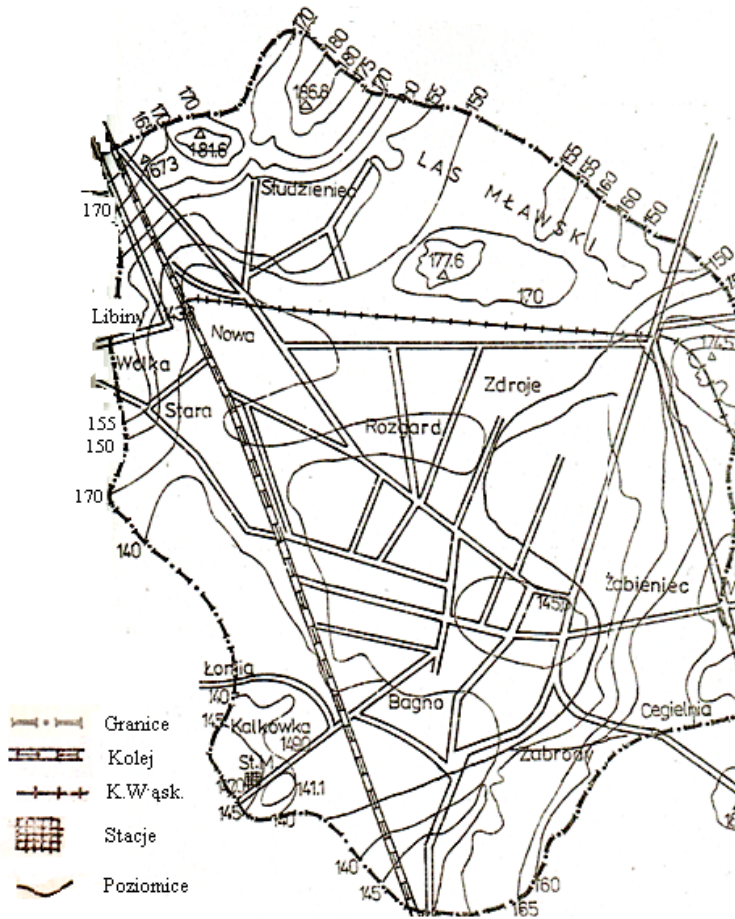


Rys. 1. Województwo Ciechanowskie, skala 1: 750 000

Tabela 2. Średnie sumy promieniowania pochłoniętego (kcal/cm^2) w Mławie wg Atlasu bilansu promieniowania w Polsce, 1966 r.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
0,0	1,7	4,5	7,5	10,0	11,0	10,0	9,0	6,5	3,5	1,3	0,5	65,6

Bilans promieniowania długofalowego przyjmował wartości ujemne. Średnia roczna wartość tego elementu w Mławie wyniosła $-3,0 \text{ kcal}\cdot\text{cm}^{-2}$, a maksimum przypadało w styczniu ($-1,7 \text{ kcal}\cdot\text{cm}^{-2}$), natomiast minimum w maju i czerwcu ($-3,5 \text{ kcal}\cdot\text{cm}^{-2}$). Bilans promieniowania długofalowego przyjmował duże ujemne sumy wiosną z powodu pochłaniania ciepła w trakcie topnienia śniegu oraz latem, kiedy gleba i zbiorniki wodne również silnie się nagrzewały. Późną jesienią i zimą sumy te nie były już tak duże w wyniku wypromieniowania ciepła przez zamarzającą glebę, jeziora i stawy.



Rys. 2. Plan miasta Mławy

Tabela 3. Średnie sumy bilansu promieniowania długofalowego (kcal/cm^2) w Mławie wg Atlasu bilansu promieniowania w Polsce, 1966.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
-1,7	-2,0	-3,0	-3,0	-3,5	-3,5	-3,0	-3,0	-3,0	-2,5	-1,5	-1,5	-2,6

Średnia roczna wartość bilansu promieniowania krótkofalowego wyniosła $3,6 \text{ kcal} \cdot \text{cm}^{-2}$. Największe wartości pojawiły się od maja do sierpnia z maksimum w czerwcu ($8,0 \text{ kcal} \cdot \text{cm}^{-2}$), a najmniejsze (ujemne) zimą z minimum w grudniu ($-1,0 \text{ kcal} \cdot \text{cm}^{-2}$) (tab. 4). Szybki wzrost tych wartości wiosną i latem był związany ze wzrostem osłonecznienia i zmniejszaniem się albedo powierzchni, wcześniej przykrytej śniegiem.

Tabela 4. Średnie sumy bilansu promieniowania krótkofalowego (kcal/cm^2) w Mławie wg Atlasu bilansu promieniowania w Polsce, 1966 r.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
-1,0	0,0	1,5	4,5	7,0	8,0	7,0	6,0	3,5	1,0	0,0	-1,0	3,0

Temperatura powietrza

Średnia roczna temperatura powietrza w Mławie w latach 1951-1965 wyniosła 6,9°C. W badanym okresie najchłodniejszy był 1956 rok ze średnią temperaturą 5,1°C, a najcieplejszy – 1951 rok o średniej wynoszącej 7,9°C. W ciągu roku, w badanym 15-leciu, najzimniejszy był luty ze średnią temperaturą wynoszącą -4,2°C. W ciągu siedmiu zim temperatura stycznia była niższa niż w lutym, choć średnia temperatura stycznia była wyższa i wyniosła -3,6°C (tab. 5-9).

Tabela 5. Średnia miesięczna o godz. 7⁰⁰, 13⁰⁰ i 21⁰⁰ i średnia dobowa temperatura (°C) w Mławie (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
7 ⁰⁰	-4,4	-5,6	-2,8	4,2	10,3	15,3	16,0	14,5	9,9	4,9	1,3	-2,0	5,1
13 ⁰⁰	-2,5	-2,4	2,2	10,5	15,9	20,8	21,6	20,9	16,8	11,3	3,7	-0,6	9,9
21 ⁰⁰	-3,8	-4,5	-0,7	6,1	11,1	15,7	16,7	15,6	11,1	6,9	2,1	-1,6	6,2
Śr. dob.	-3,6	-4,2	-0,5	6,7	12,1	16,9	17,7	16,7	12,2	7,5	2,3	-1,5	6,9

Największy spadek temperatury -12,5°C wystąpił w styczniu 1963 roku, niewiele mniejszy był w lutym 1956 roku i wyniósł -12,0°C (tab. 6). Takie wartości temperatury występowały podczas napływu mas powietrza polarnego kontynentalnego z nad wschodniej Europy i Azji, lub powietrza arktycznego z nad Nowej Ziemi, północnej Europy oraz Oceanu Arktycznego i Morza Norweskiego.

Najcieplejszym miesiącem był lipiec o średniej temperaturze 17,8°C. W badanym 15-leciu najwyższa w roku temperatura wystąpiła w lipcu i czerwcu po 6 razy i tylko 3 razy w sierpniu (tab. 6). Napływały wtedy nad Polskę ze wschodu masy powietrza polarnego kontynentalnego lub zwrotnikowego z południowej Europy i Afryki.

Tabela 6. Średnia miesięczna temperatura (°C) w styczniu, lutym, czerwcu i lipcu oraz roku w Mławie (1951-1965)

	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1951-1965
I	-3,0	-0,8	-3,2	-7,9	-4,0	-2,5	-1,9	-3,5	-2,0	-3,4	-3,2	-1,0	-12,5	-4,0	-1,9	-3,6
II	-1,7	-2,9	-3,2	-10,5	-3,8	-12,0	1,8	-1,8	-1,9	-5,1	1,0	-3,2	-7,8	-6,0	-6,4	-4,2
VI	17,4	14,9	18,7	18,8	15,3	17,4	16,7	15,2	16,7	17,0	18,4	14,4	16,8	19,2	16,0	16,9
VII	18,0	18,1	19,4	16,5	18,7	16,6	18,4	18,0	21,0	16,7	16,0	15,7	20,0	17,8	15,7	17,8
R	7,9	6,5	7,7	6,4	6,8	5,1	7,6	7,0	7,8	7,2	7,8	6,4	6,4	6,5	5,8	6,9

Przebiegi roczne temperatury średniej terminowej z godziny 7⁰⁰, 13⁰⁰ i 21⁰⁰ wykazywały podobieństwo do przebiegu rocznego temperatury powietrza z badanego wielolecia. Najmniejsza temperatura wystąpiła w lutym, a największa w lipcu i wyniosły one odpowiednio o 7⁰⁰ – -5,6 i 16,0°C, o 13⁰⁰ – -2,4 i 21,6°C oraz o 21⁰⁰ – -4,5 i 16,7°C. Średnia miesięczna temperatura maksymalna wahała się od -1,0°C w styczniu i lutym do 23,4°C w lipcu i 22,7°C w czerwcu. Średnia miesięczna minimalna temperatura najmniejsze wartości przyjmowała w lutym -7,8°C i w styczniu -6,8°C, a największe w lipcu 11,9°C i w sierpniu 11,4°C (tab. 7).

Absolutna maksymalna temperatura powietrza wystąpiła 11.VII.1959 i wyniosła 36,8°C. Absolutną minimalną temperaturę zaobserwowano 19.I.1963 i spadła ona do -29,5°C (tab. 8). Amplituda absolutna w latach 1951-1965 wyniosła 66,3°C.

Tabela 7. Średnia miesięczna temperatura maksymalna i minimalna (°C) oraz średnia amplituda dobowa w Mławie (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Max	-1,0	-0,9	3,6	12,2	17,7	22,7	23,4	22,5	18,6	12,4	4,9	0,8	11,4
Min	-6,8	-7,8	-4,3	1,8	6,2	10,6	11,9	11,4	7,6	3,3	-0,3	-4,1	2,5
A	5,8	6,9	7,9	10,4	11,5	12,1	11,5	11,1	11,0	9,1	5,2	4,9	8,9

W badanym okresie najmniejszy zakres wahań między największym maksimum a najmniejszym minimum temperatury w pojedynczym miesiącu wyniósł 33,6°C w lipcu, a największy w grudniu – 41,3°C. Zatem mniejsze zmiany temperatury wystąpiły latem, a większe zimą (związane było to z dużą zimową zmiennością pogody – większy wpływ na pogodę miała ogólna cyrkulacja atmosferyczna niż insolacja, odwrotnie niż latem).

Największa średnia amplituda dobowa wystąpiła w czerwcu (12,1°C), a najmniejsza w grudniu (4,9°C), przy średniej rocznej 8,9°C. Amplituda roczna temperatury powietrza w Mławie wyniosła 21,9°C (w lutym było średnio -4,2°C, a w lipcu 17,7°C). Mława charakteryzuje się więc klimatem przejściowym.

Tabela 8. Absolutna temperatura maksymalna i minimalna (T_{Max} , T_{Min}) oraz absolutny zakres wahań w Mławie (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T_{Max}	8,0	12,0	19,4	28,0	32,1	32,9	36,8	35,6	31,8	24,8	15,0	14,9
data	22 1962	18 1961	23 1959	23 1962	21 1953	22 1954	11 1959	7 1952	7 1951	2 1956	6 1957	5 1961
T_{Min}	-29,5	-28,6	-21,4	-8,0	-4,3	-1,2	3,2	2,6	-2,2	-9,2	-19,3	-26,4
data	19 1963	1 1956	2 1963	10 1957	8 1953	1 1951	1 1956	29 1953	23 1951	31 1956	24 1965	27 1961
Zakres	37,5	40,6	40,8	36,0	36,4	34,1	33,6	33,0	34,0	34,0	34,3	41,3

W Mławie średnia roczna liczba dni z przymrozkami ($t_{min} < 0^{\circ}C$) w badanym okresie wyniosła 132,4 (tab. 9). Najwcześniej dzień przymrozkowy pojawił się 16.IX.1953, a najpóźniej 1.VI.1951. Średnio okres przymrozkowy rozpoczynał się 15.X, a kończył 4.V. Najwięcej dni z przymrozkami było w 1964 roku – 146, a najmniej w 1961 roku – 103. Przeciętnie w Mławie było 49 dni mroźnych ($t_{max} < 0^{\circ}C$) i najczęściej występowały w styczniu (14,7 dni) i w lutym (14,6 dni)(tab. 9). Znacznie mniej wystąpiło w Mławie dni bardzo mroźnych ($T_{min} < -10^{\circ}C$) – średnio 28 w roku. Najwięcej było ich w lutym – 9 i nieco mniej w styczniu – 8. Maksymalnie dni bardzo mroźnych pojawiło się w 1963 roku – aż 64.

Dni gorących w Mławie było średnio w roku 33, a najwięcej ich wystąpiło w 1959 r. – 46. Najwcześniej pojawiły się w kwietniu, a najpóźniej we wrześniu. W badanym okresie najwięcej zaobserwowano ich w lipcu – 10, następnie w czerwcu – 9 i w sierpniu – 8.

Tabela 9. Średnia liczba dni z temperaturą maksymalną $T_{max} < 0^{\circ}C$ i $T_{max} > 25^{\circ}C$ oraz temperaturą minimalną $T_{min} < 0^{\circ}C$ i $T_{min} < -10^{\circ}C$ w Mławie (1951-1965)

L. dni	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Suma
$T_{min} < 0^{\circ}C$	28,1	25,6	22,7	10,0	1,9	0,1	.	.	0,3	6,1	14,3	23,3	132,4
$T_{max} < 0^{\circ}C$	14,7	14,6	7,3	.	.	.	.	.	.	0,1	2,9	9,9	49,5
$T_{min} < -10^{\circ}C$	8,5	9,4	4,7	.	.	.	.	.	.	.	0,7	4,3	27,6
$T_{max} > 25^{\circ}C$	.	.	.	0,6	2,1	9,1	10,2	8,2	3,1	.	.	.	33,3

Wilgotność powietrza

W Mławie średnie roczne ciśnienie pary wodnej w latach 1951-1965 wyniosło 9,0 hPa. Ciśnienie pary wodnej osiągnęło największe średnie wartości w lipcu, a następnie w sierpniu (15,3 i 14,9 hPa), co związane było z wysokimi o tej porze roku opadami atmosferycznymi, dużym parowaniem i wysoką temperaturą powietrza. Najmniejsze średnie wartości, ciśnienie pary wodnej miało zimą w lutym – 4,2 hPa, a wynikało to z występowania zimą niskiej temperatury i małych opadów (tab. 10). W przebiegu dobowym ciśnienie pary wodnej nie wykazywało większego zróżnicowania. Zwraca uwagę jedynie fakt, że najwyższe średnie wartości osiągało latem w godzinach wieczornych (o 21⁰⁰ było ponad 14 hPa), co wiązało się z osłabioną o tej porze konwekcją i mniejszymi prędkościami wiatru. Z kolei jesienią i zimą najwyższe wartości pojawiały się w południe (o 13⁰⁰ było od 4,5 do 12,2 hPa) w związku z wyższą temperaturą powietrza o tej porze dnia.

Tabela 10. Średnie miesięczne ciśnienie pary wodnej (hPa) o godz. 7⁰⁰, 13⁰⁰ i 21⁰⁰ i średnie dobowe w Mławie, (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
7 ⁰⁰	4,3	4,0	4,5	7,2	10,2	13,7	15,4	14,7	11,5	8,4	6,5	5,1	8,8
13 ⁰⁰	4,6	4,5	5,1	7,5	9,9	13,3	15,1	14,8	12,2	9,7	6,9	5,3	9,1
21 ⁰⁰	4,6	4,2	4,9	7,7	10,5	14,0	15,5	15,1	11,9	9,1	6,8	5,2	9,1
Śr	4,4	4,2	4,9	7,5	10,3	13,6	15,3	14,9	11,9	9,1	6,7	5,2	9,0

W Mławie średnia roczna wilgotność względna w badanym 15-leciu wyniosła 80% (tab. 11). Największe średnie miesięczne wartości wystąpiły w grudniu – 89% i w listopadzie – 88%, a najmniejsze w maju i czerwcu – 70%. Duża wilgotność jesienią i zimą była uwarunkowana napływem zasobnych w parę wodną mas powietrza z Atlantyku oraz niższą temperaturą powietrza. Niższą wilgotność w maju i czerwcu powodowała wyższa temperatura powietrza, mniejsze opady związane z napływem powietrza polarnego kontynentalnego. Ponowny jej wzrost w lipcu był spowodowany napływem powietrza polarnego morskiego i letnimi opadami konwekcyjnymi i niżowymi. W związku ze ścisłą zależnością przebiegu dobowego wilgotności względnej powietrza od temperatury powietrza, we wczesnych godzinach rannych (7⁰⁰) wilgotność była największa, następnie spadała w południe i ponownie rosła wieczorem (odpowiednio o 7⁰⁰, 13⁰⁰ i 21⁰⁰ średnio w roku: 87, 69 i 84%). Największe wahania wilgotności względnej w ciągu doby wystąpiły latem – nawet ponad 20%, a najmniejsze zimą – zaledwie do 6%. W okresie wegetacyjnym szata roślinna powoduje zatrzymanie dużych ilości pary wodnej w warstwie przypowierzchniowej i utrudnia jej wymianę z wyższymi warstwami powietrza, stąd tak duże różnice wilgotności względnej latem.

Tabela 11. Średnie miesięczne wartości wilgotności względnej (%) o godz. 7⁰⁰, 13⁰⁰ i 21⁰⁰ oraz średnie dobowe. Mława, 1951-1965

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
7 ⁰⁰	88	87	86	85	79	78	84	89	93	94	92	90	87
13 ⁰⁰	84	81	70	59	55	55	60	61	62	72	84	87	69
21 ⁰⁰	88	86	82	80	77	77	81	85	87	89	91	90	84
Śr	87	85	79	75	70	70	75	78	81	85	88	89	80

Średni roczny niedosyt wilgotności powietrza w Mławie wyniósł 3,0 hPa. Najmniejsze średnie miesięczne wartości niedosytu wilgotności powietrza wystąpiły w grudniu, styczniu i lutym – 0,6 hPa, a najwyższe w czerwcu – 6,8 hPa (tab. 12). Wielkość niedosytu wilgotności jest bardzo związana z temperaturą powietrza, dlatego najmniejsze wartości średnie dobowe pojawiały się rano (1,4 hPa), a największe w południe (5,7 hPa). Latem wahania niedosytu wilgotności w ciągu doby były większe niż zimą, odpowiednio: 0 8,0 hPa w czerwcu (w południe 12,0, a rano 4,0 hPa) i 0,3 hPa w grudniu i styczniu (w południe 0,8, a rano 0,5 hPa).

Tabela 12 Średnie miesięczne wartości niedosytu wilgotności powietrza (hPa) o godz. 7⁰⁰, 13⁰⁰ i 21⁰⁰ oraz średnie dobowe w Mławie (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
7 ⁰⁰	0,5	0,4	0,6	1,3	2,9	4,0	3,1	2,1	1,0	0,5	0,5	0,5	1,4
13 ⁰⁰	0,8	0,9	2,3	6,1	9,4	12,0	11,6	10,7	8,2	4,1	1,3	0,8	5,7
21 ⁰⁰	0,5	0,6	1,0	2,0	3,3	4,3	3,9	2,9	1,9	1,2	0,7	0,5	1,9
Śr	0,6	0,6	1,3	3,1	5,2	6,8	6,2	5,2	3,7	1,9	0,8	0,6	3,0

Zachmurzenie

Średnie roczne zachmurzenie wynosiło 67% (1951-1965). Największe średnie zachmurzenie wystąpiło w listopadzie (84%) oraz grudniu (79%), z kolei najmniejsze przypadają na wrzesień (54%) i czerwiec (59%)(tab. 13). Na przebieg roczny zachmurzenia miała wpływ cyrkulacja atmosferyczna, czyli zimowa silna aktywność Nizy Islandzkiego oraz rozbudowujący się aż do Polski i Ukrainy latem i wczesną jesienią klin Wyżu Azorskiego, a także napływ we wrześniu powietrza zwrotnikowego („babie lato”). W przebiegu dobowym największe zachmurzenie wystąpiło w południe (o 13⁰⁰ było średnio 74% nieba pokryte chmurami), a najmniejsze wieczorem (o 21⁰⁰ było 57%).

Tabela 13. Średnie miesięczne zachmurzenie (%) o godz. 7⁰⁰, 13⁰⁰ i 21⁰⁰ oraz średnie dobowe w Mławie (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
7 ⁰⁰	79	82	69	67	61	56	60	64	61	73	87	81	70
13 ⁰⁰	79	75	65	76	73	68	72	73	66	72	86	83	74
21 ⁰⁰	72	65	50	52	52	54	57	48	35	50	78	74	57
Śr	77	74	61	65	62	59	63	62	54	65	84	79	67

Dni pogodne i pochmurne

W rozpatrywanych latach średnia liczba dni pogodnych (średnie zachmurzenie <20%) w Mławie wyniosła 34. Najwięcej było ich we wrześniu (5,2), marcu (4,7) i kwietniu (3,9), a najmniej w listopadzie (1,1) i styczniu (1,4). Średnia roczna liczba dni pochmurnych (średnie zachmurzenie >80%) sięgała aż 149. Najczęściej takie dni pojawiały się w listopadzie (21,1) i grudniu (19,6), a najrzadziej we wrześniu (7,3) oraz czerwcu (7,9) – wtedy często pojawiały się dni pogodne (tab. 14).

Tabela 14. Średnia liczba dni pogodnych i pochmurnych w Mławie (1951-1965)

Dni	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
pogodne	1,4	2,0	4,7	3,9	3,2	2,7	2,5	2,4	5,2	3,2	1,1	1,9	34,2
pochmurne	17,5	14,8	11,8	9,7	9,7	7,9	9,8	8,5	7,3	11,5	21,1	19,6	149,2

Opady atmosferyczne

Średnia suma roczna w badanym wieloleciu wyniosła 558 mm (tab. 15). Największa suma miesięczna opadu pojawiła się w lipcu – 88 mm, co stanowiło 15,8% sumy rocznej. Najmniejsza suma wystąpiła w marcu – 24 mm, czyli zaledwie 4,3% sumy rocznej.

Tabela 15. Średnie miesięczne sumy opadów (mm) w Mławie (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Suma	37	36	24	34	42	62	88	72	49	27	44	43	558
%	6,6	6,4	4,3	6,1	7,5	11,1	15,8	13,0	8,8	4,8	7,9	7,7	100

Wyraźne nasilenie opadu obserwowano latem, kiedy suma wyniosła 222 mm (aż 39,8% sumy rocznej). Najmniejszą sumą opadów charakteryzowała się wiosna – 100 mm (17,9% sumy rocznej)(tab. 16). Jesienią i zimą suma opadów była zbliżona i wyniosła odpowiednio 120 mm (21,5% sumy rocznej) oraz 116 mm (20,8% sumy rocznej).

Tabela 16. Średnie sezonowe sumy opadów (mm) w Mławie (1951-1965)

	Zima (XII-II)	Wiosna (III-V)	Lato (VI-VIII)	Jesień (IX-XI)	Rok
Suma	116	100	222	120	558
%	20,8	17,9	39,8	21,5	100

Maksymalne sumy dobowe opadu w półroczu ciepłym (maj-październik) były znacznie wyższe niż w półroczu chłodnym (listopad-kwiecień)(tab. 17). W pierwszym przypadku zmieniały się od 30,8 mm w maju (14 V 1962) do 60, 1 mm w lipcu (15 VII 1957). W drugim przypadku kształtowały się w granicach od 20,1 mm w grudniu (13 XII 1952) do 12,3 mm w styczniu (20 I 1954). Dużo mniejsze sumy opadu półroczu chłodnego wynikały z osłabionej konwekcji, przewagi chmur warstwowych i okresowego napływu bardziej suchego powietrza polarne kontynentalnego, a przetransformowane powietrze polarne morskie nie dawało tak obfitych jak latem opadów.

Tabela 17. Maksymalne sumy dobowe opadu (mm) w Mławie (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
S. dobowa	12,3	16,1	16,3	16,2	30,8	49,0	60,1	43,4	43,9	31,5	16,8	20,1	60,1
Data	20 1954	16 1962	23 1951	24 1952	14 1962	28 1958	15 1957	16 1959	4 1965	6 1956	19 1963	13 1952	15VII 1957

Największa roczna suma opadu w badanym okresie 1951-1965 wystąpiła w 1956 roku i wyniosła 681 mm, a najmniejsza 351 mm w 1953 roku. Wysokie sumy opadu przewyższające 600 mm wystąpiły aż w 8 latach, natomiast poniżej 400 mm tylko w 2 latach (tab. 18).

Tabela 18. Miesięczne i roczne sumy opadów (mm) w Mławie w kolejnych latach od 1951-1965 r.

	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1951-1965
I	44,0	52,2	44,4	38,9	45,3	44,2	27,2	41,8	43,7	39,6	21,6	31,0	22,0	17,0	44,0	37,0
II	29,7	47,1	34,3	12,0	18,2	56,2	56,1	65,9	8,2	33,0	24,5	46,0	27,0	47,0	35,0	36,0
VI	80,5	25,6	76,7	89,0	154,4	100,7	159,6	35,5	105,7	180,9	87,1	46,0	48,0	46,0	87,0	88,0
VII	35,2	59,1	28,1	36,5	51,3	126,0	83,0	69,3	64,9	75,5	104,7	100,0	85,0	73,0	90,0	72,0
R	354	626	351	430	634	681	665	630	484	608	540	624	493	587	662	558

Pokrywa śnieżna

W Mławie pokrywa śnieżna zalegała średnio 89 dni w roku, występowała przez 6 miesięcy od listopada do kwietnia. Przeciętnie najwięcej dni z pokrywą śnieżną było w styczniu (26,6), a najmniej w kwietniu (zaledwie 1,3)(tab. 19). Trwałość pokrywy śnieżnej zależy od warunków termicznych okresu chłodnego (zagrożeniem są odwilże), zachmurzenia i związanych z nim opadów.

Tabela 19. Średnia liczba dni z pokrywą śnieżną w Mławie (1951-1965)

	XI	XII	I	II	III	IV	Rok
Liczba dni	3,8	16,5	26,6	23,9	17,1	1,3	89,2

W poszczególnych latach liczba dni z pokrywą śnieżną znacznie zmieniała się od 41 dni w 1957 do 119 dni w 1965 roku (tab. 20). Zaleganie pokrywy śnieżnej ponad 100 dni wystąpiło w ciągu 8 zim, a poniżej 70 dni w czasie 4.

Tabela 20. Roczna liczba dni z pokrywą śnieżną w Mławie podczas kolejnych zim od 1950/1951 do 1964/1965

	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1951-1965
Liczba dni	61	106	73	69	112	112	41	113	75	82	61	100	109	106	119	89,2

Ciśnienie atmosferyczne

Średnie roczne ciśnienie z lat 1951-1965 w Mławie na poziomie stacji wyniosło 997,5 hPa. Najniższa średnia miesięczna wartość wystąpiła w lutym (995,1 hPa), a najwyższa w październiku (1000,6 hPa). Zmienność ciśnienia w przebiegu rocznym była niewielka i sięgała tylko 5,5 hPa (tab. 21).

Tabela 21. Średnie miesięczne ciśnienie atmosferyczne (hPa) na poziomie stacji. w Mławie (1951-1965)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
996,9	995,1	999,0	997,3	997,7	997,8	996,2	996,4	998,6	1000,6	998,5	996,1	997,5

Wiatr

Rozpatrując częstość kierunków wiatru w Mławie można było zauważyć przewagę sektora zachodniego (39,3%). Następnym w kolejności był sektor południowy (35,1%), wschodni (30,8%) i północny (28,4%)(tab. 22). Najczęściej w ciągu roku występowały wiatry południowo-zachodnie (średnio 15,5%) oraz kolejno: zachodnie (14,2%), wschodnie (12,1%) oraz południowo-wschodnie (10,6%). Najrzadziej pojawiały się wiatry północno-wschodnie (8,1%) i północne (8,2%). Cisze w ciągu roku stanowiły 12,7%. Najmniej ich było w marcu (7,6%), a najwięcej we wrześniu (25,2%).

Średnia roczna prędkość wiatru w Mławie była bardzo mała i sięgała 2,8 ms⁻¹. Największą prędkością odznaczały się wiatry zachodnie (średnio w roku 3,5 ms⁻¹). W ciągu roku prędkości z tego właśnie kierunku zmieniały się od 2,9 ms⁻¹ w sierpniu do 4,2 ms⁻¹ w styczniu (tab. 23). Nieco słabsze prędkości miały wiatry południowo-zachodnie i północno-zachodnie, czyli z sektora zachodniego. Najmniejsze prędkości wiatru towarzyszyły w ciągu roku kierunkowi południowemu (2,3 ms⁻¹). Wahały się one od 2,0 ms⁻¹ w październiku do 2,5 ms⁻¹ w kwietniu i listopadzie.

Tabela 22. Średnia częstość kierunków wiatru (%) w Mławie (1951-1965)

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
I	4,5	7,7	9,0	10,8	15,3	23,1	14,2	6,0	9,4
II	6,6	9,0	13,2	10,6	9,5	15,8	16,2	9,3	9,8
III	7,2	12,3	17,7	15,2	6,4	10,2	14,1	9,3	7,6
IV	12,7	10,2	14,2	13,1	9,5	10,6	9,7	9,4	10,6
V	15,5	10,2	14,1	7,4	6,7	9,3	12,8	15,7	8,3
VI	14,4	9,7	10,9	8,7	6,3	11,4	13,8	15,0	9,8
VII	12,5	7,7	7,7	6,2	7,1	18,1	16,0	12,9	11,8
VIII	7,1	5,9	9,7	6,5	5,7	18,5	17,0	11,1	18,5
IX	5,1	5,5	9,3	7,2	7,0	16,1	16,1	8,5	25,2
X	3,3	6,7	14,1	10,2	9,3	14,6	13,3	8,0	20,5
XI	4,9	6,7	15,7	17,3	10,1	16,0	13,4	4,3	11,6
XII	4,4	6,1	9,7	14,1	15,6	21,4	14,3	5,3	9,1
Rok	8,2	8,1	12,1	10,6	9,0	15,5	14,2	9,6	12,7

Tabela 23. Średnia prędkość wiatru v_{sr} (ms^{-1}) wg kierunków. Mława, 1951-1965

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
I	3,9	2,8	3,3	3,0	2,4	3,9	4,2	3,2	3,9
II	3,4	3,2	4,1	2,9	2,3	3,3	4,1	3,8	3,4
III	3,7	3,5	3,5	3,3	2,3	3,8	3,9	3,5	3,7
IV	3,8	2,9	3,1	3,5	2,5	3,0	3,2	3,6	3,8
V	3,4	3,4	3,0	3,1	2,4	2,8	3,4	3,4	3,4
VI	3,0	2,5	2,7	3,0	2,3	2,9	3,2	3,0	3,0
VII	2,5	2,5	2,4	2,3	2,3	3,3	3,4	3,0	2,5
VIII	2,4	2,3	2,5	2,7	2,4	2,9	2,9	2,6	2,4
IX	2,4	2,2	2,8	2,9	2,2	3,4	3,6	3,1	2,4
X	2,5	2,7	2,6	2,6	2,0	3,0	3,3	2,9	2,5
XI	2,7	3,2	3,7	2,9	2,5	3,5	4,0	3,0	2,7
XII	2,9	3,1	3,9	2,8	2,3	3,3	3,0	3,1	2,9
Rok	3,1	2,8	3,1	2,9	2,3	3,3	3,5	3,2	3,1

Wiatry silne ($\geq 10 ms^{-1}$) i bardzo silne ($\geq 15 ms^{-1}$) występowały w Mławie bardzo rzadko – pierwsze przez 10,6 dni średnio w roku, a drugie zaledwie przez 2,5 dnia (tab. 24). Wiatry silne pojawiały się sporadycznie od czerwca do listopada (2-9 dni w ciągu 10 lat). W pozostałych miesiącach maksymalnie do 16 dni w ciągu 10 lat. Wiatry bardzo silne nie pojawiły się w lipcu i sierpniu, w pozostałych miesiącach miały bardzo małą frekwencję, sięgającą najwyżej 7 dni w ciągu 10 lat w lutym. Okolice Mławy nie sprzyjają tworzeniu się dużych prędkości wiatru (tab. 24).

Tabela 24. Średnia prędkość wiatru v_{sr} (ms^{-1}) oraz liczba dni z wiatrem silnym i bardzo silnym w Mławie, (1951-1965)

Miesiące	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
v_{sr}	3,3	3,1	3,3	2,9	3,0	2,7	2,6	2,3	2,4	2,3	3,0	2,9	2,8
$> 10 ms^{-1}$	1,6	1,6	1,3	1,1	1,0	0,2	0,3	0,4	0,8	0,3	0,9	1,1	10,6
$> 15 ms^{-1}$	0,4	0,7	0,4	0,2	0,1	0,1	.	.	0,1	0,1	0,1	0,3	2,5

Zjawiska atmosferyczne (mgły i burze)

W Mławie mgły obserwowano przeciętnie przez 41,6 dni w roku. Najwięcej dni z mgłą przypadało w grudniu, listopadzie i październiku (średnio 7,6, 6,5 i 6,0 dni), natomiast najmniej w czerwcu (średnio 0,6 dnia). Mgły najczęściej występowały w 1959 i 1965 roku (54 dni), a najrzadziej – w 1956 roku (29 dni). Położenie miasta w bliskim sąsiedztwie doliny Wkry oraz wśród licznych łąk i torfowisk sprzyja powstawaniu mgieł przygruntowych – radiacyjnych latem i wczesną jesienią. Z kolei jesienią i zimą dominują mgły adwekcyjne, kiedy cieplejsza masa powietrza napływa nad wychłodzone podłoże.

Średnio w ciągu roku w Mławie występowało 20,3 dni z burzą. Maksimum zjawiska w badanym okresie przypadało w lipcu (średnio 5,4 dni), a w styczniu i lutym nie wystąpiło w ogóle. Do najbardziej burzowych lat zaliczono: 1955 (28 dni z burzą), 1958 i 1962 (27 dni z burzą). Tylko 9 dni burzowych wystąpiło w 1960 roku. W chłodnej porze roku w zasadzie dominują burze frontalne, z kolei w ciepłej tworzą się również burze wewnątrzmasowe – termiczne.

Analiza powyższych elementów klimatycznych dowodzi, że w Mławie panują warunki klimatyczne charakterystyczne dla środkowej, nizinnej części Polski. Klimat Mławy należy również do klimatu przejściowego, który kształtuje się pod wpływem morskich mas powietrza napływających głównie z zachodu, ale także mas kontynentalnych, które także tu docierają ze wschodu, choć z nieco mniejszą częstotliwością. O przejściowości klimatu tego obszaru świadczy duża zmienność wartości skrajnych parametrów klimatycznych, zróżnicowana ich częstota, czy stopień natężenia.

7.3.2. Opady atmosferyczne na Wzniesieniach Mławskich i Równinie Raciąskiej

Autor: Andrzej B O J A N O W S K I

Opiekun naukowy: Danuta M A R T Y N

Cel pracy, materiały źródłowe i metody opracowania

Celem pracy jest przedstawienie opadów atmosferycznych na Wzniesieniach Mławskich i Równinie Raciąskiej oraz wykazanie zmian ilości opadów w latach 1956-1980. Praca składa się z sześciu rozdziałów, z czego pierwszy to wstęp, ostatni to podsumowanie. Rozdział drugi, trzeci i czwarty to rozdziały merytoryczne dotyczące sum opadu, liczby dni z opadem i charakterystyki rodzajów opadu.

W pracy wykorzystano dane zawarte w rocznikach opadowych z lat 1956 -1980 i materiały własne stacji dotyczące historii i położenia. Do opracowania wykorzystano dane z 7 punktów. Są to: jedna stacja meteorologiczna – Mława, sześć posterunków opadowych – Działdowo, Grudusk, Krępa, Krzeczanowo, Raciąż i Żuromin. Należy zaznaczyć, że materiały nie były kompletne, bowiem zdarzały się braki, które częściowo uzupełniono.

W przypadku sum opadów braki z pojedynczych miesięcy obliczono z proporcji:

$$K_1:R_1=K_2:R_2$$

gdzie: np. K_1 – zmierzona suma opadów na stacji w Krzeczanowie, K_2 – szukana suma w Krzeczanowie, R_1 , R_2 – znane sumy opadów na stacji w Raciążu z tych samych lat. W ten sposób uzupełniono luki miesięcznych sum opadów w całym materiale obserwacyjnym.

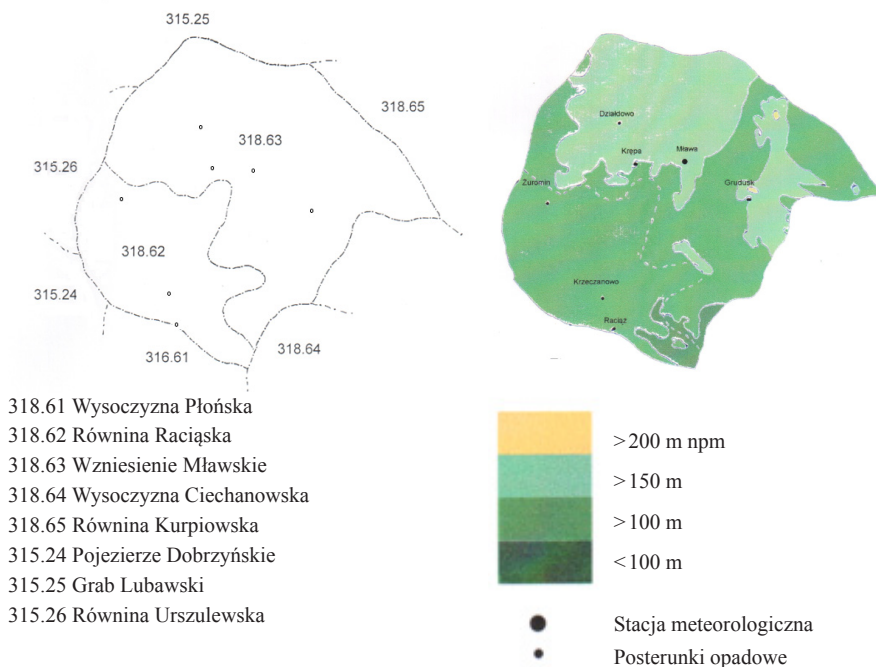
Wszystkie punkty pomiarowe leżą na wysokości od 100 do 150 m. n.p.m. Ich rozmieszczenie (tab. 1, rys. 1-2) nie jest równomierne – w części północnej badanego regionu nie było punktów opadowych.

Tabela 1. Położenie geograficzne posterunków opadowych na Wzniesieniach Mławskich (1-4) i Równinie Raciąskiej (5-7), φ_N – szerokość geograficzna, λ_E – długość geograficzna, H – wysokość (m) n.p.m

Nr	Stacja	φ_N	λ_E	H
1	Działdowo	53°14'	20°12'	150
2	Grudusk	53°04'	20°38'	140
3	Krępa	53°09'	20°14'	140
4	Mława	53°06'	20°21'	147
5	Krzeczanowo	52°51'	20°06'	130
6	Raciąż	52°47'	20°08'	105
7	Żuromin	53°04'	19°55'	135

Uzupełnienie polegało na obliczeniu sum opadów z okresu: miesiąca, pół roku, półroczy: meteorologicznego lub hydrologicznego i roku. Następnie dodając sumy z poszczególnych lat i dzieląc je przez liczbę lat otrzymano średnie wieloletnie sumy. Charakterystyki te uzupełniono wartościami skrajnymi, a także najwyższymi sumami dobowymi wraz z datą ich wystąpienia. Przebieg roczny średnich wieloletnich miesięcznych sum

opadów przedstawiono w tabeli i na wykresach słupkowych. W ten sam sposób przedstawiono dane dotyczące liczby dni z opadami o różnym natężeniu i ich różnych rodzajach. Ważniejsze wyniki badań przedstawiono w tabelach 2-9.



- 318.61 Wysoczyzna Płońska
- 318.62 Równina Raciąska
- 318.63 Wzniesienie Mławskie
- 318.64 Wysoczyzna Ciechanowska
- 318.65 Równina Kurpiowska
- 315.24 Pojezierze Dobrzyńskie
- 315.25 Grab Lubawski
- 315.26 Równina Urszulewska

Rys.1. Jednostki fizycznogeograficzne wg Kondrackiego (1994)

Rys. 2. Mapa fizyczna wzniesień Mławskich i Równiny Raciąskiej

Ważniejsze wyniki badań

W wyniku przeprowadzonej analizy opadów atmosferycznych z okresu 25-letniego stwierdzono, że na Wzniesieniach Mławskich i Równinie Raciąskiej spada przeciętnie 587 mm opadów rocznie, co jest sumą mniejszą od średniej krajowej o 48 mm. W poszczególnych punktach sumy są zróżnicowane, co spowodowane jest ukształtowaniem powierzchni terenu. W drobnej rzeźbie pagórkowatej zróżnicowanie sum opadów należy wiązać z charakterystycznym dla niej zróżnicowanym rozkładem kierunków wiatru. Na badanym terenie ze względu na przewagę wiatrów z sektora zachodniego, strefa najwyższych opadów obejmuje zbocza zachodnie i podnóża pagórków, gdzie jest mniejsza prędkość wiatru. Mniejsza suma opadów występuje na rozległych obszarach niżej położonych oraz na wierzchowinie. Pewną rolę odgrywa też pokrycie terenu, bowiem kształtowanie się miejscowych warunków klimatycznych zależy także od wymiany ciepła i wilgoci między podłożem a przyziemną warstwą powietrza.

W ciągu roku na Wzniesieniach Mławskich i Równinie Raciąskiej największe sumy opadów występują w miesiącach letnich – 38% sumy rocznej. Spowodowane jest to na-

teżeniem opadów, a nie ich częstością. Od czerwca do sierpnia jest najwięcej dni z opadem $\geq 10,0$ mm – po 2 dni i więcej w miesiącu. Wiosną i jesienią liczba dni z opadem obfitym jest podobna (1 dzień w miesiącu), ale większa liczba dni z opadem wpływa na to, że jesienią suma opadów jest większa niż wiosną. Jest to charakterystyczne dla klimatu oceanicznego, choć wyraźna przewaga sum letnich nad zimowymi powoduje, że jest to przebieg roczny o charakterze kontynentalnym. Tak małe opady w zimie spowodowane są ich małym natężeniem, mimo że zimą opady są częstsze.

Przebieg roczny liczby dni z opadem o różnym natężeniu wykazuje duże zróżnicowanie. Najwięcej dni z opadem jest od listopada do stycznia, a najmniej od kwietnia do czerwca i we wrześniu. Nie odpowiada to przebiegowi rocznemu sum opadów, ale spowodowane to jest tym, że zdecydowana większość opadów ma małe natężenie. Jest to widoczne szczególnie w zimie, natomiast latem dużo więcej jest dni z opadem obfitym. Porównując roczną liczbę dni z opadem widać, że najwięcej jest ich w Żurominie (170). W Mławie (166) i Raciążu (162) jest ich mniej, ale to w Żurominie i Raciążu przebieg roczny liczby dni jest podobny.

Na podstawie przeprowadzonej w rozdziałach II-V analizy opadów na Wzniesieniach Mławskich i Równinie Raciąskiej można stwierdzić, że na ich terenie występują takie same warunki opadowe jak i w środkowej, nizinnej części Polski. W związku z tym klimat tego obszaru jest klimatem przejściowym kształtującym się pod wpływem morskich mas powietrza z zachodu i północo-zachodu ścierających się z kontynentalnymi masami ze wschodu. Dlatego charakterystyka opadów uwzględnia zarówno wartości średnie, jak i skrajne, wykazując tym zmienność sum opadów i liczby dni z opadem.

W poszczególnych rozdziałach tego opracowania starano się zwrócić uwagę na fakt, że ogólny obraz opadów ulega zmianom w niektórych regionach pod wpływem warunków lokalnych. Jest to szczególnie widoczne, jeżeli porównamy dane z sąsiadujących stacji: Krępy i Mławy. Obydwa punkty leżą blisko siebie, na podobnej wysokości, ale to Mława leży wyżej – już na wzniesieniu, podczas gdy Krępa na zboczu. To charakterystyczne położenie wpływa na to, że w Krępie spada więcej opadów niż w Mławie. Jeszcze mniej opadów występuje w Działdowie, ale ono leży na wierzchołku. Porównując dane z pozostałych punktów dostrzeżono, że najwyższe roczne sumy opadów oraz największa liczba dni z opadem o różnym natężeniu i rodzaju występuje u podnóża lub na zboczu wzniesienia (Krępa, Grudusk, Żuromin), natomiast na wierzchołku (Mława, Działdowo) lub na rozległym obniżeniu (Raciąż, Krzeczanowo) opadów jest zdecydowanie mniej.

Tabela 2. Średnie sumy opadów w miesiącach i roku na Wzniesieniach Mławskich i Równinie Raciąskiej

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Działdowo	31	27	27	31	47	69	79	72	50	46	45	40	564
Grudusk	36	35	29	41	53	70	79	71	49	48	47	47	605
Krępa	36	34	30	38	54	75	94	77	51	47	50	47	633
Krzeczanowo	31	31	28	36	50	67	77	65	45	39	42	41	552
Mława	30	30	28	36	47	71	83	76	49	43	47	40	580
Raciąż	30	32	31	38	54	62	80	63	49	41	42	41	563
Żuromin	33	32	31	41	53	63	87	83	52	45	48	46	614

Tabela 3. Maksymalne dobowe sumy opadów w miesiącach i roku na Wzniesieniach Mławskich i Równinie Raciąskiej

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Działdowo	25	16	15	18	59	56	42	45	44	40	21	21	59
Grudusk	25	23	22	56	31	59	47	43	35	49	18	23	59
Krępa	13	21	17	39	46	46	61	60	36	40	23	23	61
Krzeczanowo	18	14	18	28	60	53	59	43	44	34	26	27	60
Mława	13	16	17	20	31	58	60	43	44	31	20	16	60
Raciąż	21	16	17	25	70	55	41	49	35	34	25	20	70
Żuromin	18	16	17	29	68	63	66	90	59	41	30	20	90

Tabela 4. Średnia liczba dni z opadem $\geq 0,1$ mm na Wzniesieniach Mławskich i Równinie Raciąskiej

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Mława	16	14	13	12	12	13	15	13	13	13	16	16	166
Raciąż	16	14	13	12	12	12	14	12	11	13	16	17	162
Żuromin	19	15	13	12	12	11	14	13	12	14	17	18	170

Tabela 5. Średnia liczba dni z opadem $\geq 1,0$ mm na Wzniesieniach Mławskich i Równinie Raciąskiej

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Mława	8	7	7	8	8	9	10	10	8	8	10	10	103
Raciąż	8	8	7	8	9	8	10	9	8	8	10	10	103
Żuromin	9	8	8	9	8	9	10	10	8	8	II	11	109

Tabela 6. Średnia liczba dni z opadem $\geq 10,0$ mm na Wzniesieniach Mławskich i Równinie Raciąskiej

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Mława	0,3	0,2	0,4	0,6	1,0	2,1	2,8	2,5	1,3	1,2	1,0	0,4	13,3
Raciąż	0,3	0,4	0,5	0,7	1,5	2,2	2,8	2,1	1,4	1,0	0,8	0,6	14,3
Żuromin	0,3	0,3	0,4	1,0	1,4	1,7	2,7	2,5	1,3	1,2	0,7	0,8	14,3

Tabela 7. Średnia liczba dni z deszczem na Wzniesieniach Mławskich i Równinie Raciąskiej

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Mława	2	3	4	9	11	13	15	12	12	12	10	6	109
Raciąż	4	4	5	9	11	12	13	12	11	12	11	8	112
Żuromin	4	4	6	9	11	11	14	12	11	13	12	8	115

Tabela 8. Średnia liczba dni ze śniegiem na Wzniesieniach Mławskich i Równinie Raciąskiej

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Mława	14	11	9	3	0,5					1	6	11	56
Raciąż	12	9	7	3							6	11	48
Żuromin	13	10	8	3							6	10	50

Tabela 9. Średnia liczba dni z gradem na Wzniesieniach Mławskich i Równinie Raciąskiej

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Mława			0,1	0,4	0,2	0,1		0,1	0,2	0,1	0,1		1,3
Raciąż				0,1	0,3		0,0	0,0	0,1	0,1	0,0		0,7
Żuromin			0,1	0,2	0,4	0,2	0,1	0,1	0,2				1,3

7.3.3. Zróżnicowanie warunków termiczno-wilgotnościowych w Sierpcu

Autor: Danuta DANIELAK

Opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA, Witold LENART

Wpływ miasta na klimat zależy od jego rozmiarów i charakteru zabudowy. Większość prac dotyczy dużych aglomeracji miejsko-przemysłowych, gdzie widoczne są zmiany w przebiegu wszystkich elementów meteorologicznych. Nie rozwiązany pozostaje nadal problem granicznego obszaru zurbanizowanego od którego staje się zauważalna modyfikacja klimatu. Ustalenie tego obszaru ma podstawowe znaczenie w badaniach klimatu miast, związane jest jednak z poważnymi trudnościami polegającymi na wyszukaniu odpowiedniego obiektu badań. Problem ten można sprowadzić do pytania – z jakiej wielkości miastem związane są już cechy klimatu miejskiego. Odpowiedzi na to pytanie mogą dostarczyć serie pomiarów w miastach różnych wielkości. Uzyskane tą drogą materiały pozwolą na określenie wpływu miasta w zależności od jego wielkości.

Na terenie Polski badania takie podjęte zostały przez Zakład Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego. Zapoczątkowane były one pomiarami w Makowie Mazowieckim. W niewielkiej, liczącej zaledwie 6 tysięcy jednostce miejskiej uzyskano wynik pozytywny. Obiektem drugiego etapu badań był Sierpc.

Celem pracy jest określenie cech klimatu miejskiego na przykładzie niewielkiego miasta Sierpca, położonego w południowo-wschodniej części makroregionu Pojezierza Chełmińskiego-Dobrzyńskiego. Wcześniej badano specyfikę klimatu innego niewielkiego miasta Makowa Mazowieckiego, gdzie wpływ miasta uwidocznił się zmianami elementów klimatu, zwłaszcza warunków termicznych i wilgotnościowych w okresie letnim.

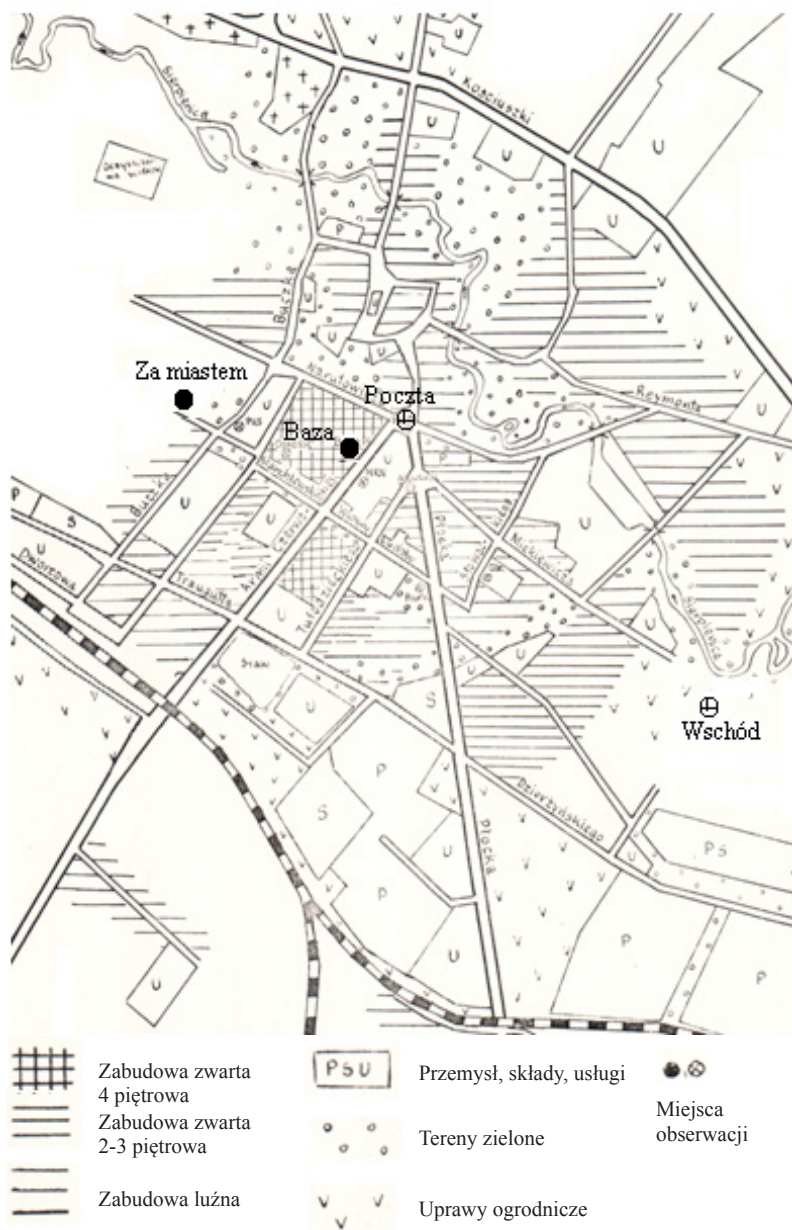
Z racji tej że w badanym mieście nie było żadnej stacji meteorologicznej. Materiały obserwacyjne uzyskano z terenowych pomiarów meteorologicznych, przeprowadzonych w okresie letnim: w dniach 21- 28 lipca 1974 r. i 18 lipca- 14 sierpnia 1975 r. Założono 3 punkty pomiarowe: dwa w obrębie miasta, jeden poza nim (po zachodniej stronie miasta, rys. 1).

Punkt reprezentujący warunki zamiejskie położony był w polu po zachodniej stronie miasta. Wokół były grunty orne. Zainstalowano tu klatkę średnią na wysokości 1,5 m, w której umieszczono termohigrograf i psychrometr Augusta. Ponadto wykonywano pomiary: psychrometrem Assmanna na poziomach 0,25 i 1,5 m, kierunku i prędkości wiatru anemometrem Robinsona na wysokości 1,5 m oraz pomiaru ochładzania katatermometrem.

Baza była wyposażona w termohigrograf i psychrometr Augusta na wysokości 1,5 m, deszczomierz Hellmanna. W dużej klatce na wysokości 2,0 m znajdowały się natomiast: termohigrograf, psychrometr Augusta, higrometr włosowy i ewaporometr Piche'a. Podobnie jak za miastem wykonywano tu także pomiary psychrometrem Assmanna na poziomach 0,25, 1,5 i 2,0 m, prędkości wiatru, ochładzania oraz obserwacje zachmurzenia, stanu gruntu i zjawisk.

Wykonywano obserwacje podstawowych elementów klimatologicznych w 10 terminach w ciągu dnia: 6⁰⁰, 7⁰⁰, 9⁰⁰, 11⁰⁰, 13⁰⁰, 15⁰⁰, 17⁰⁰, 18⁰⁰, 19⁰⁰ i 21⁰⁰. Dzięki samopisom możliwe było policzenie średnich rzeczywistych (z 24 godzin) temperatury i wilgotności

względnej. Nawet tak krótkie serie pomiarowe jakiego były prowadzone w Sierpcu pozwoliły na określenie specyficznych cech miejskiego klimatu.



Rys. 1. Plan Sierpcu z rozmieszczeniem punktów pomiarowych (1: 15 000)

Materiały i metody opracowań

Przy analizie różnic temperatury między miastem a okolicą zastosowano także metody statystyczne. Współczynnik korelacji całkowitej r różnicy temperatury powietrza między miastem i terenem pozamiejskim ($\Delta T=y$), a prędkością wiatru ($v=x_1$) i zachmurzeniem ($N=x_2$) wyznaczono z wzorów:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

$$S_{xy} = n^{-1} \sum_{i=1}^n x_i y_i - x_{\text{sr}} x_{\text{sr}}$$

$$S_x^2 = n^{-1} \sum_{i=1}^n x_i^2 - x_{\text{sr}}^2 \quad \text{i} \quad S_y^2 = n^{-1} \sum_{i=1}^n y_i^2 - y_{\text{sr}}^2$$

gdzie: S_{xy} – jest kowariancją zmiennych x, y ; $S_x = (S_x^2)^{0.5}$, $S_y = (S_y^2)^{0.5}$ – odchylenia standardowe zmiennych x i y ; $x_{\text{sr}}, y_{\text{sr}}$ – średnie arytmetyczne.

Dla stwierdzenia jakie jest prawdopodobieństwo przypadkowego otrzymania wartości współczynników korelacji zbadano poziom ich istotności. Zastosowano test t -Studenta, korzystając z wzoru:

$$t = r(n-2)^{0.5}(1-r^2)^{-0.5}$$

W pracy wyznaczono także równania prostych regresji różnic temperatury ΔT , a prędkością wiatru i zachmurzeniem. Rozrzut wartości względem znalezionych prostych określają wariancje resztkowe w^2 obliczone z wzoru

$$w^2 = S_y^2(1-r^2)$$

z którego wynika, że współczynnik r zmienia się w przedziale $-1 \leq r \leq 1$.

Wyznaczono również równanie regresji różnicy temperatury ΔT względem v i N oraz współczynnik korelacji wielokrotnej, zawarty w przedziale $0 \leq \rho \leq 1$:

$$\rho = \left(1 - \frac{\det R'}{\det R}\right)^{0.5}$$

gdzie: $\det R'$ – jest wyznacznikiem macierzy R' , a $\det R$ – wyznacznikiem macierzy R , po skreśleniu 3 wiersza i 3 kolumny.

$$\det R' = \begin{vmatrix} 1 & r_{vN} & r_{\Delta T} \\ r_{Nv} & 1 & r_{N\Delta T} \\ r_{\Delta Tv} & r_{\Delta TN} & 1 \end{vmatrix}$$

Aby określić zależność różnic temperatury powietrza między miastem i terenem pozamiejskim od prędkości wiatru czy też zachmurzenia po wyeliminowaniu wpływu drugiego elementu nie wystarcza zwykły współczynnik korelacji całkowitej r . Obliczono więc współczynnik korelacji cząstkowej z wzoru

$$\rho' = R_{yj}(R_{yy} \cdot R_{jj})^{-0.5}$$

gdzie: R_{yj}, R_{yy}, R_{jj} są dopełnieniami algebraicznymi wyrazów $r_{yj}, r_{yy}=1, r_{jj}=1$ macierzy korelacji R' , $-1 \leq \rho' \leq 1$.

Wyniki badań

Ważniejsze wyniki badań przedstawiono w tabelach 1-6 i na rys. 2-5.

- Zachmurzenie oraz prędkość wiatru są elementami meteorologicznymi w największym stopniu decydującymi o wielkości różnic temperatury. Potwierdziły to obliczone wartości współczynnika korelacji wielokrotnej. Wynika z tego, że pozostałe elementy mają stosunkowo niewielki wpływ na kształtowanie się różnic temperatury. Dlatego też, tylko te dwa elementy uwzględniono przy obliczaniu równania regresji wielokrotnej:

$$\Delta T = -1,006v + 0,312N + 0,675$$

Obliczone współczynniki korelacji cząstkowej pokazują, że prędkość wiatru ma większy wpływ na kształtowanie się różnic temperatury. Zaważyło to niewątpliwie na współczynnikach regresji wielokrotnej i dlatego współczynnik przy zachmurzeniu ma znak dodatni.

- Wpływ miasta najwyraźniej zaznaczył się w przebiegu temperatury powietrza. Stwierdzono:
 - większe średnie wartości temperatury na stacjach miejskich o $0,6^{\circ}\text{C}$ na skwerku i o $0,9^{\circ}\text{C}$ w rejonie poczty
 - zależność średnich różnic dobowych od sytuacji synoptycznej – największe różnice wystąpiły w czasie upalnych dni pogody wyżowej
 - wyraźny dobowy bieg różnic temperatury powietrza miasto – obszar pozamiejski – największe różnice wystąpiły w godzinach wieczornych i nocnych
 - podwyższenie temperatury maksymalnej w mieście średnio o $0,8^{\circ}\text{C}$
 - podwyższenie temperatury minimalnej w mieście o $0,6^{\circ}\text{C}$ na skwerku i o $1,1^{\circ}\text{C}$ w rejonie poczty
 - zmniejszenie średniej dobowej amplitudy temperatury powietrza o $0,4^{\circ}\text{C}$ w rejonie poczty
 - opóźnienie wystąpienia wartości maksymalnych temperatury średnio o 1-2 godziny, opóźnienie wystąpienia wartości minimalnych temperatury w mieście o ok. 1 godziny
 - łagodzenie spadku temperatury w mieście
 - wystąpienie przestrzennego zróżnicowania temperatury w obrębie miasta – największe poziome gradienty wystąpiły na granicy wysokiej zabudowy z terenem pozamiejskim;
 - zmniejszenie częstości występowania przygruntowej inwersji temperatury o 1,4%;
 - korelację różnic temperatury miasto – obszar pozamiejski z prędkością wiatru i stopniem zachmurzenia.
- Wpływ miasta na wilgotność powietrza był następujący:
 - zmniejszenie średnich wartości wilgotności względnej o 3 % na punkcie bazowym i o 1% w rejonie poczty
 - powiązanie średnich różnic dobowych wilgotności względnej z sytuacją synoptyczną – największe różnice występowały w czasie upalnych, bezopadowych dni
 - wyraźny dobowy bieg różnic wilgotności względnej powietrza miasto – obszar pozamiejski – największe różnice występowały w ciągu dnia;

- zdecydowane obniżenie wartości minimalnych wilgotności względnej powietrza w mieście (średnio o 5% na skwerku)
 - zwiększenie średnich dobowych amplitud wilgotności względnej powietrza w rejonie skwerku o 6%
 - wystąpienie przestrzennego zróżnicowania wilgotności względnej powietrza w obrębie miasta – największe poziome gradienty wystąpiły na granicy pozbawionego roślinności osiedla z terenem przyległym, w godzinach wieczornych (wtedy kiedy wystąpiły duże gradienty temperatury powietrza)
 - zwiększenie częstości występowania przygruntowej inwersji wilgotności względnej w mieście o 4,8%.
- W mieście notowano wyraźnie mniejsze (o 1,1 m/s) prędkości wiatru. Udział ciszy był tu o 5% większy. Zaobserwowano także zdecydowaną zmianę kierunków wiatru
 - w Sierpcu były one zgodne z przebiegiem głównej ulicy.

Uzyskane wyniki mogą mieć znaczenie praktyczne przy planowaniu rozbudowy miasta. Wykazano, że największa zmienność przestrzenna temperatury i wilgotności względnej powietrza występuje na skraju miasta, gdzie osiedle z wysoką zabudową graniczy z terenem niezabudowanym. Brak roślinności na osiedlu wpływa dodatkowo na zwiększenie różnic.

Wybudowanie planowanych nowych domów mieszkalnych w zachodniej części miasta, może wpłynąć na kolejne zwiększenie poziomych gradientów temperatury i wilgotności względnej powietrza na tym obszarze. Można temu częściowo zapobiec poprzez wprowadzenie i rozszerzenie terenów zielonych. Należy pamiętać także o tym, aby układ nowych ulic sprzyjał przewietrzaniu miasta, to znaczy był zachowany dostęp powietrza od zachodu.

Obserwacje w Sierpcu były drugim etapem badań klimatu miast różnej wielkości. Dlatego wskazane jest krótkie porównanie wyników z tymi jakie uzyskano w Makowie Mazowieckim. Średnie różnice temperatury między miastem a okolicą w Makowie Mazowieckim wynosiły 0,2 w 1973 r. i 0,4°C w 1972 r. W Sierpcu natomiast w 1975 r. różnice wynosiły 0,6°C w punkcie bazowym i 0,9°C w rejonie poczty. Zatem był tu wyraźniejszy ocieplający wpływ miasta. Zaznaczyło się to w udziale cieplejszych godzin, których w Makowie było ok. 68% a w Sierpcu w rejonie poczty nawet 78,5%. W Sierpcu notowano także większe wartości różnic temperatury powietrza. Na przykład w rejonie poczty aż 5% stanowiły różnice powyżej 3,0°C. W Makowie natomiast maksymalne różnice dochodziły w 1973 r. do 2,3° a w 1972 r. do 2,7°C. Maksymalne różnice dodatnie w Makowie najczęściej występowały o godz. 20⁰⁰ i stanowiły 23%, a w Sierpcu o 2 godziny później (17,8%). Natomiast maksymalne różnice ujemne w Makowie występowały o 2 godziny później w porównaniu z punktem bazowym i o 4 godziny później niż w rejonie poczty.

Zróżnicowanie wilgotności względnej powietrza w Makowie Mazowieckim słabo się zaznaczyło. Średnie różnice między punktami miejskim i pozamiejskim były poniżej 1%. W Sierpcu natomiast średnie różnice wynosiły 3% w rejonie skwerku i o 1% w rejonie poczty. Większe zróżnicowanie było także w przebiegu dobowym – w Sierpcu dochodziło do 11% a w Makowie było rzędu 2%. Maksymalne różnice wilgotności w Makowie dochodziły do 16% a w Sierpcu nawet do 30%.

Widać więc, że w Sierpcu zróżnicowanie warunków termiczno-wilgotnościowych było większe niż w Makowie Mazowieckim. Było to zgodne z przewidywaniami, że wpływ

większego miasta na warunki klimatyczne jest wyraźniejszy niż w małych ośrodkach miejskich.

Badania te jednak nie są jeszcze wystarczające do ilościowego ujęcia wpływu miasta w zależności od jego wielkości. Aby to było możliwe należy prowadzić badania (zgodnie z programem) w kolejnych większych ośrodkach miejskich. Przy kolejnych badaniach wskazane jest zachowanie metody opierającej się na ciągłych zapisach termohigrografów. Dzięki niej można zaobserwować całodobowe zmiany między punktami pomiarowymi oraz zauważyć przesunięcia fazowe jakie występują w mieście względem obszaru zamieszkłego.

Bardzo wartościowym uzupełnieniem były prowadzone w Sierpcu dodatkowe pomiary psychrometryczne. Pozwoliły one na określenie zróżnicowania termiczno-wilgotnościowego w obrębie miasta w zależności od lokalizacji punktów pomiarowych. Wykryto także różnice w prędkościach (tempie) wzrostu i spadku temperatury.

Interesującym uzupełnieniem byłyby badania rozszerzone o pomiary bilansu promieniowania, czy też niskie sondowania atmosfery. Całodobowa obserwacja stanu zachmurzenia i prędkości wiatru pozwoliłaby natomiast na obliczenie zależności korelacyjnych bardziej porównywalnych od tych jakie przedstawiono w niniejszej pracy.

Tabela 1. Wartości elementów meteorologicznych w kolejnych dniach lipca 1974

	Temperatura (°C)			Wilg. (%)		Wiatr		Zachm.	Opad	E. Piche'a	Ukł	Masa
	Śr	Max	Min	Śr	Min	v m/s	kier		mm	cm ³		
21	14,4	17,9	10,8	90	77	3,0	SW,W	9,7	1,5	1,8	Niż	PPm
22	15,2	20,8	9,2	79	53	3,0	NW	3,3	0,1	6,8	Wyż	PPm
23	18,3	25,6	8,9	67	37	0,4	NE	2,0		7,2	Wyż	PPm
24	18,2	22,2	15,2	88	73	0,9	NW	8,7	0,1	2,9	Niż	PPm
25	14,4	16,5	11,1	79	53	2,7	SW	9,7	0,0	2,7	Niż	PPm
26	12,4	17,9	9,4	79	47	2,6	SW	7,3	0,0	3,1	Niż	PPm
27	13,7	18,8	8,8	83	65	2,3	SW	8,0	6,6	2,1	Niż	PPms
28	-	-	-	-	-	2,2	SW	7,0		-	Niż	PPm
Śr	15,3	20,0	10,5	80	58	2,2		7,0				

Tabela 2. Wartości temperatury powietrza w kolejnych dniach lipca 1974 r. w Sierpcu na skwerku i WOW Szczutowo – las

Dzień	Sierpiec –skwerek				O.W. Szczutowo-las			
	Śr.	Max	Min	Ampl.	Śr.	Max	Min	Ampl.
21	15,0	18,6	11,8	6,8	14,8	16,7	11,0	7,7
22	16,4	21,6	9,7	11,9	15,2	19,7	10,5	9,2
23	19,1	26,3	11,4	14,9	17,6	24,2	9,4	14,8
24	18,4	20,9	15,7	5,2	17,2	19,5	15,2	4,3
25	14,9	16,8	11,9	4,9	14,7	16,5	11,8	4,7
26	12,3	16,7	9,6	7,1	12,1	16,1	9,1	7,0
27	14,4	19,1	9,7	9,4	12,8	17,9	8,3	9,6
28	-	22,0	11,9	10,1	16,3	21,7	11,5	10,2
Śr.	15,8	20,2	11,5	8,8	15,1	19,3	10,8	8,4

Tabela 3. Współczynniki korelacji całkowitej (r) i równania prostych regresji dobowych różnic temperatury między miastem i okolicą względem stopnia zachmurzenia i prędkości wiatru, w^2 – wariancja resztkowa

	Zachmurzenie (N)			Prędkość wiatru (v)		
	r	R prostej regresji	w^2	r	R prostej regresji	w^2
Skwerek	-0,239	$\Delta T = -0,0435N + 0,788$	0,2414	0,0996	$\Delta T = 0,054v + 0,472$	0,2582
Poczta	-0,533	$\Delta T = -0,103N + 1,417$	0,2124	-0,404	$\Delta T = -0,233v + 1,327$	0,2477

Tabela 4. Współczynniki korelacji całkowitej (r) i równania prostych regresji dobowych różnic temperatury między miastem i terenem poza miastem względem prędkości wiatru o godz. 6⁰⁰ i 21⁰⁰, w^2 – wariancja resztkowa

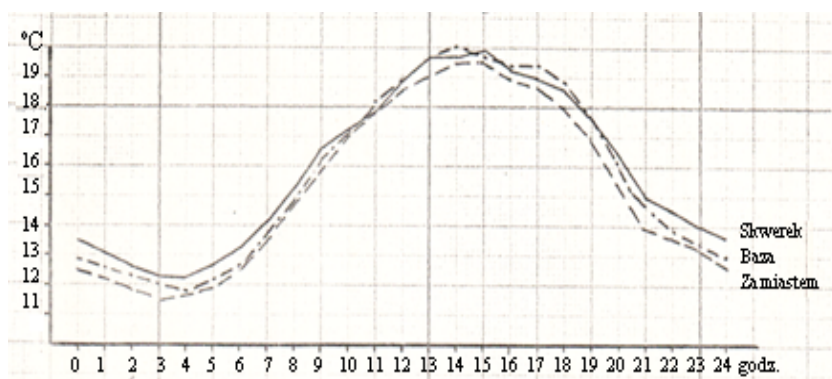
	Godz. 6 ⁰⁰			Godz. 21 ⁰⁰		
	r	R prostej regresji	w^2	r	R prostej regresji	w^2
Skwerek	0,198*	$\Delta T = -0,089v - 0,234$	0,288	-0,366	$\Delta T = -0,2144v + 1,93$	0,288
Poczta	-0,294	$\Delta T = -0,197v + 0,496$	0,602	-0,434	$\Delta T = -0,396v + 1,327$	1,656

Tabela 5. Współczynniki korelacji całkowitej (r) i równania prostych regresji dobowych różnic temperatury między miastem i okolicą względem stopnia zachmurzenia o godz. 6⁰⁰ i 21⁰⁰, w^2 – wariancja resztkowa

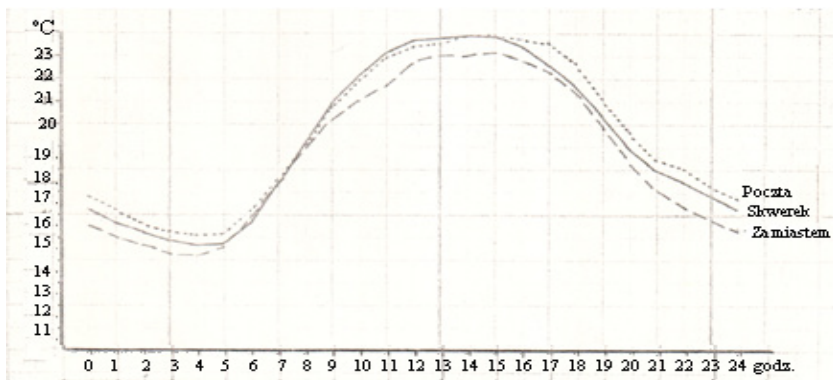
	Godz. 6 ⁰⁰			Godz. 21 ⁰⁰		
	r	R prostej regresji	w^2	r	R prostej regresji	w^2
Skwerek	0,434	$\Delta T = -0,06N - 0,234$	0,243	-0,574	$\Delta T = -0,084N + 1,254$	0,256
Poczta	-0,174	$\Delta T = -0,036N + 0,371$	0,638	-0,583	$\Delta T = -0,133N + 1,958$	0,530

Tabela 6. Współczynniki korelacji całkowitej (r), cząstkowej (ρ'), wariancja resztkowa (w^2) i równania prostych regresji średnich różnic temperatury ΔT między miastem i terenem poza miastem (wysokość 1,5 m) względem zachmurzenia i wiatru (współczynnik korelacji wielokrotnej $\rho = 0,896$)

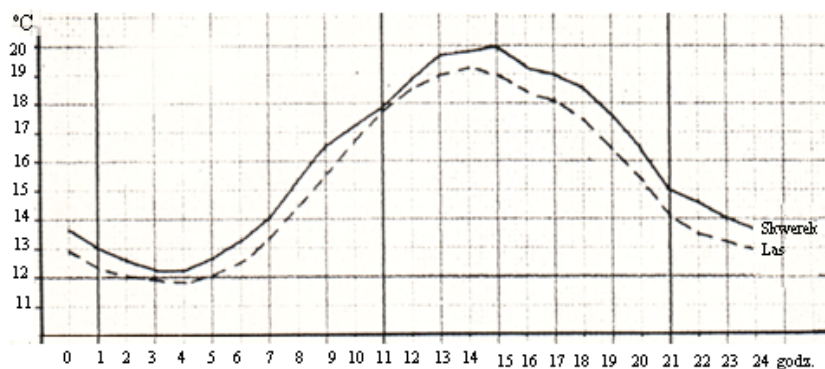
	r	ρ'	w^2	R prostej regresji
Zachmurzenie	-0,626	-0,821	0,147	$\Delta T = -0,536N + 2,8614$
Wiatr	-0,873	-0,407	0,049	$\Delta T = -0,745v + 1,666$



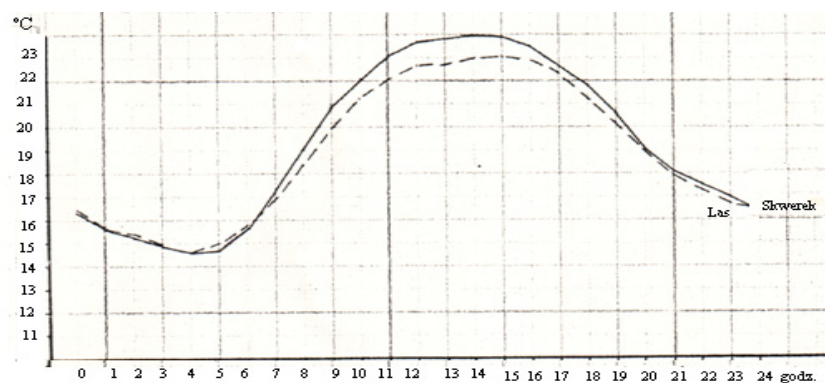
Rys. 2. Średni dobowy przebieg temperatury powietrza na poziomie 1,5 m – skwerek, baza, za miastem (1974)



Rys. 3 Średni dobowy przebieg temperatury powietrza na poziomie 1,5 m – skwerek, baza, za miastem (1975)



Rys. 4. Przebieg średni dobowy temperatury powietrza na poziomie 1,5 m – Sierpc (skwerek) i O.W. Szczutowo (las) (1974)



Rys. 5. Przebieg średni dobowy temperatury powietrza na wysokości 1,5 m – Sierpc (skwerek) i O.W. Szczutowo (las) (1975)

7.3.4. Zróżnicowanie warunków bioklimatycznych na terenie Sierpca w miesiącach letnich

Autor: Monika ŻYROMSKA - STARZYK

Opiekunowie naukowci: Maria STOPA - BORYCZKA,

Maria KOPACZ - LEMBOWICZ

Cel pracy

Niniejsza praca jest kontynuacją badań Zakładu Klimatologii rozpoczętych przed kilkoma laty na terenie 6-tysięcznego miasta Makowa Mazowieckiego. Na podstawie przeprowadzonych badań w tym mieście powstała praca magisterska, w której przedstawiono zróżnicowanie warunków bioklimatycznych. Przedstawione wyniki badań w obecnej pracy są oparte na obserwacjach przeprowadzonych w Sierpcu.

Celem pracy jest uzyskanie odpowiedzi na pytanie: czy miasto większe od Makowa Mazowieckiego, rzędu 13-14 tys. mieszkańców wywiera jeszcze większy wpływ na zróżnicowanie warunków odczuwalnych; czy istnieje zróżnicowanie warunków bioklimatycznych na terenie miasta w zależności od typu zabudowy oraz w stosunku do obszarów pozamiejskich.

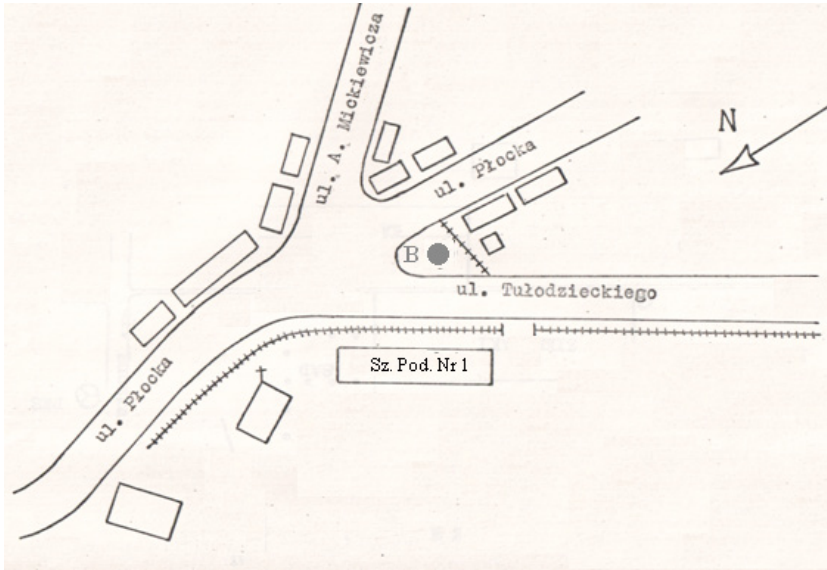
Materiały źródłowe i sposób ich wykorzystania

Pod względem sposobu opracowania praca składa się z dwóch różnych części. W pierwszej części oparto się głównie na opracowaniach już istniejących. Przy opracowaniu rozdziału dotyczącego charakterystyki fizyczno-geograficznej Sierpca skorzystano głównie z „Geografii fizycznej Polski” J. Kondrackiego. Natomiast podstawowymi źródłami przy opracowaniu wskaźników bioklimatycznych były prace takich autorów jak: M. Baranowska, K. Cena, M. Gregorzuk, W. Chełchowski, S. Tyczka.

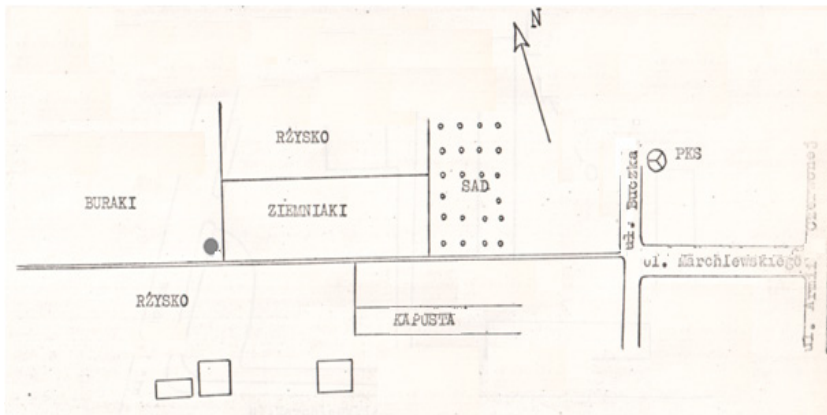
Druga część pracy zawiera analizę rozkładu warunków bioklimatycznych w oparciu o badania własne. Były one przeprowadzone na obszarze Sierpca, za miastem oraz w oddalonym o około 13 km ośrodku wypoczynkowym, położonym nad jeziorem Urszulewskim. Pomiarzy były prowadzone w miesiącach letnich w latach 1974 i 1975. W pierwszym roku obserwacje trwały tylko 9 dni i obejmowały okres od 20 do 28 lipca. Drugi okres obserwacji, przypadający w 1975 roku, był znacznie dłuższy i wynosił 28 dni; od 17 lipca do 14 sierpnia.

Na potrzeby pracy wykonano pomiary, przy pomocy następujących przyrządów:

- Temperatura i wilgotność powietrza – termohigrograf, psychrometr Augusta, psychrometr aspiracyjny Assmanna,
- Wilgotność względna – higrometr włosowy,
- Ochładzanie – katatermometr Hilla,
- Parowanie – ewaporometr Piche’a,
- Prędkość wiatru – anemometr Robinsona,
- Opad – deszczomierz Hellmana, pluwiograf stacyjny,
- Usłonecznienie – heliograf Campella-Stokesa,



Rys. 1. Lokalizacja punktu pomiarowego, ● Baza



Rys. 2. Lokalizacja punktu pomiarowego, ● Za miastem

Ponadto przeprowadzono obserwacje stopnia zachmurzenia, rodzaju chmur, kierunku wiatru, zjawisk atmosferycznych oraz określono stan gruntu.

Metody pracy

W pracy wyznaczono częstość występowania godzin charakterystycznych i wskaźników bioklimatycznych. Podstawowym materiałem były termohigrogramy otrzymane z bazy i punktów dodatkowych oraz wyniki badań elementów meteorologicznych z punktów specjalnych. W analizie bioklimatu Sierpca i jego okolic wzięto pod uwagę: godziny gorące i upalne, godziny parne, godziny gorące-parne i upalne-parne oraz warunki odczu-

cia ciepła wyznaczone z zastosowaniem następujących wskaźników bioklimatycznych:

- wilgotności względnej
- niedosytu fizjologicznego
- temperatury ekwiwalentnej
- temperatury efektywnej
- ochładzania

Łączny wpływ temperatury powietrza i ciśnienia pary wodnej na organizmu ludzki określają dni uciążliwe (M. Baranowska)

	hPa	°C
lekko uciążliwe	$e \geq 18,8$	$T < 25$
uciążliwie	$e \geq 18,8$	$T \geq 25$
bardzo uciążliwie	$e \geq 18,8$	$T \geq 30$

Wskaźnikiem odczucia ciepłego jest wilgotność względna (%)

$$f = \frac{e}{E} \cdot 100\%$$

gdzie: e – aktualne ciśnienie pary wodnej (hPa), E – maksymalne ciśnienie pary wodnej w stanie nasycenia (hPa).

Klasyfikację warunków odczucia ciepłego na podstawie wilgotności względnej zastosowano zaczerpniętą od rosyjskich bioklimatologów:

	%
wybitnie sucho	$f < 30$
sucho	$31 < f < 55$
umiarkowanie sucho	$56 < f < 70$
wilgotno	$71 < f < 85$
bardzo wilgotno	$f > 85$

Niedosyt fizjologiczny (N_f) przyjmuje się jako różnicę ciśnienia pary wodnej (62,8 hPa) w temperaturze 37°C (przyjętej jako temperaturę ciała ludzkiego), a aktualnym ciśnieniem pary wodnej w danej temperaturze. Na podstawie niedosytu fizjologicznego T. Tyczka wprowadziła kryteria odczuwalności cieplnej:

	mm Hg	hPa
parno	$N_f < 34,0$	$N_f < 45,3$
komfort	$34,0 < N_f < 40,0$	$45,3 < N_f < 53,3$
sucho	$N_f > 40,0$	$N_f > 53,3$

Temperatura ekwiwalentna w warunkach pogody bezwietrznej i gorącej jest dobrym wskaźnikiem odczuwalności cieplnej organizmu.

Można ją obliczyć, dodając przyrost ekwiwalentny z wzoru Robitzscha:

$$T_e = T + 1570 \frac{e}{p}$$

gdzie: e – ciśnienie pary wodnej (hPa), p – ciśnienie atmosferyczne (hPa).

Jeżeli ciśnienia e i p wyrazimy w mm Hg, to w przybliżeniu otrzymuje się:

$$T \approx T + 2e$$

W. Leistner ustalił przedziały temperatury ekwiwalentnej na podstawie około 400 pomiarów temperatury skóry ludzi i określenia ich subiektywnych odczuwalności ciepłych:

	°C
zimno	$Te < 18$
chłodno	$18 < Te < 24$
chłodnawo	$24 < Te < 32$
komfort	$32 < Te < 44$
lekkie parno	$44 < Te < 56$
parno.	$Te > 56$

Temperatura efektywna (T_{ef}) opisuje łączny wpływ temperatury, wilgotności i prędkości wiatru na kształtowanie się odczuwalności cieplnej człowieka przebywającego w cieniu (nie uwzględnia promieniowania słonecznego). W celu obliczenia wartości temperatury efektywnej korzystano z wzoru emrycznego Missenarda dla prędkości wiatru $v > 0$:

$$T_{ef} = 37 - (37 - T) \left((0,68 - 0,0014f + (1,76 + 1,4v^{0,75})^{-1})^{-1} - 0,29T(1 - 0,01f) \right)$$

gdzie: T – temperatura powietrza (°C), f – wilgotność względna powietrza (%), v – prędkość wiatru (m/s).

Przedziały odczuwalności cieplnej na podstawie temperatury efektywnej określił W. A. Jakowienko. Dotyczą one człowieka rasy białej, ubranego odpowiednio do pory roku i wykonujące lekkie ruchy.

	°
przechłodzenie	$TE \leq 16,7$
komfort	$16,7 < TE \leq 20,6$
przegrzanie	$TE > 20,6$

W przypadku ochładzania przyjęto skalę odczuć S. Petrovic i M. Kacvinsky, zastosowaną później przez A. Gurbę:

	mcal/cm ² ·s
upalnie	$0,1 < H < 5,0$
gorąco	$5,1 < H < 10,0$
łagodnie	$10,1 < H < 15,0$
przyjemnie chłodno	$15,1 < H < 20,0$
chłodno	$20,1 < H < 30,0$
zimno	$30,1 < H < 40,0$
bardzo zimno	$40,1 < H < 50,0$
nieznośnie zimno i mroźnie	$H > 50,0$

Tabela 1. Częstość (%) występowania wartości temperatury $T > 25^{\circ}\text{C}$ i $T > 30^{\circ}\text{C}$, gdzie: („-” minus) i („+” plus) to znaki różnicy częstości (%) $\Delta < 0$ i $\Delta > 0$

Temperatura	Za miastem (ZM)	Baza (B)	$\Delta = \text{ZM} - \text{B}$	Poczta (P)	$\Delta = \text{ZM} - \text{P}$
$> 25^{\circ}\text{C}$	9,6	12,6	-	13,5	-
$> 30^{\circ}\text{C}$	0,6	0,9	-	1,1	-

Tabela 2. Częstość warunków odczucia wyznaczonych według wilgotności względnej (%), gdzie: („-” minus) i („+” plus) to znaki różnicy częstości (%) $\Delta < 0$ i $\Delta > 0$

Rodzaje warunków	Za miastem (ZM)	Baza (B)	$\Delta = \text{ZM} - \text{B}$	Poczta (P)	$\Delta = \text{ZM} - \text{P}$
Wybitnie sucho	0,3	1,8	-	-	+
Sucho	19,1	28,7	-	24,2	-
Umiarkowanie sucho	18,5	13,8	+	18,2	0
Wilgotno	21,2	16,4	+	21,4	0
Bardzo wilgotno	40,9	39,3	+	36,2	+

Tabela 3. Częstość (%) warunków odczucia wyznaczonych według niedosytu fizjologicznego

Rodzaj warunków	Za miastem (ZM)	Baza (B)	$\Delta = \text{ZM} - \text{B}$	Poczta (P)	$\Delta = \text{ZM} - \text{P}$
Parno	29,0	28,4	+	36,6	-
Komfort	66,7	68,0	-	63,1	+
Sucho	4,3	3,6	-	0,3	+

Tabela 4. Częstość (%) warunków odczucia wyznaczonych według temperatury ekwiwalentnej T_e

Rodzaj warunków	Za miastem (ZM)	Baza (B)	$\Delta = \text{ZM} - \text{B}$	Poczta (P)	$\Delta = \text{ZM} - \text{P}$
Zimno	0,5	4	-	-	+
Chłodno	0,8	1,2	-	0,6	+
Chłodnawo	6,7	6,0	+	2,9	+
Komfort	49,7	49,3	+	43,0	+
Lekko parno	38,6	42,3	-	48,2	-
Parno	3,7	1,2	+	5,3	-

Tabela 5. Częstość (%) warunków odczucia wyznaczonych według temperatury efektywnej TE

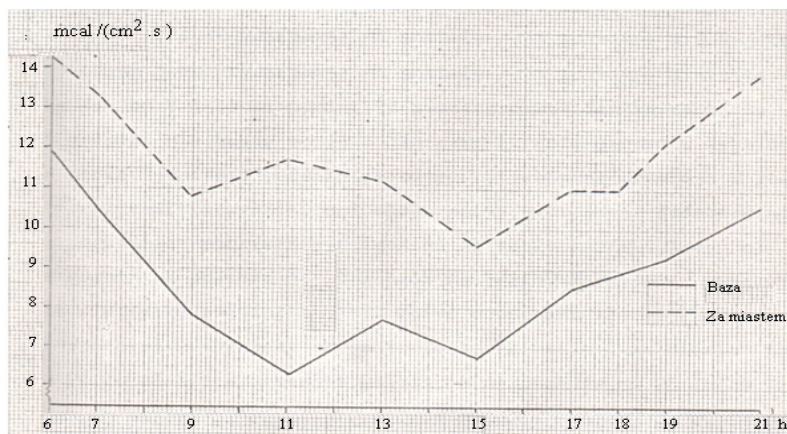
Rodzaj warunków	Za miastem (ZM)	Baza (B)	$\Delta = \text{ZM} - \text{B}$
Przechłodzenie	44,4	22,4	+
Komfort	36,4	44,7	-
Przegrzanie	19,2	32,9	-

Tabela 6. Częstość warunków odczucia wyznaczonych według ochładzania, gdzie: („-” minus) i („+” plus) to znaki nierówności $\Delta < 0$ i $\Delta > 0$

Rodzaj warunków	Za miastem (ZM)	Baza (B)	$\Delta = \text{ZM} - \text{B}$
Upalnie	5,9	14,4	-
Gorąco	37,4	54,4	-
Łagodnie	31,3	25,7	+
Przyjemnie chłodno	16,9	4,3	+
Chłodno	8,3	1,2	+
Zimno	0,4	-	+

Tabela 7. Czstość godzin parnych (%) według kryterium K. Scharlau

Rodzaj warunków	Za miastem (ZM)	Baza (B)	$\Delta=ZM-B$	Poczta (P)	$\Delta=ZM-P$
Godziny parne	17,2	11,2	+	16,8	+
Godziny gorące-parne	3,3	1,4	÷	3,3	0
Godziny upalne-parne	0,3	0,2	0	0,9	-



Rys. 3. Średni przebieg dzienny ochładzania katatermometrycznego

Podsumowanie wyników

Wyniki obserwacji i badań przedstawione w niniejszej pracy dostarczają informacji o warunkach bioklimatycznych panujących w wybranych miejscach Sierpeca, poza zabudową oraz w ośrodku wypoczynkowym nad jeziorem Urszulewskim.

We wstępie pracy postawiono pytanie: czy istnieje zróżnicowanie warunków bioklimatycznych na terenie miasta w zależności od rodzaju zagospodarowania terenu i w stosunku do obszarów pozamiejskich, oraz czy miasto tej wielkości, co Sierpec wywiera większy wpływ na zróżnicowanie warunków odczuwalnych niż 6-tysięczny Maków Mazowiecki. Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników obserwacji otrzymano twierdzącą odpowiedź.

Przestrzenne zróżnicowanie wyników bioklimatycznych nasuwa następujące uwagi:

- Najcieplejszy obszar występuje w pobliżu kilkupiętrowej zwartej zabudowy. W takim rejonie następował najszybszy wzrost temperatury. Np. gdy koło poczty występowało już przegrzanie (temp. efektywna) lub warunki lekko parne (temp. ekwiwalentna) to na pozostałym obszarze panował jeszcze komfort
- Nieco chłodniej było wśród niskiej luźnej zabudowy, najchłodniej było w parku oraz na terenie położonym na wschód od miasta
- Największa wilgotność występowała w parku oraz na wschód od miasta;
- Najbardziej suchy teren znajdował się w sąsiedztwie kilkupiętrowej zwartej zabudowy.

Badania wykazały również zróżnicowanie warunków bioklimatycznych miasta w stosunku do obszaru pozamiejskiego. Ogólnie można stwierdzić, że za miastem panowały niższe temperatury, wyższa była wilgotność oraz większe ochładzanie katatermometryczne.

Miasto stanowiło jak gdyby „wyspę termiczną”, tzn. obszar z podwyższonymi temperaturami w stosunku do okolicy. Rozpatrując poszczególne warunki odczucia ciepła wiadać, że za miastem przeważały warunki niekorzystne, jak: zimno (temp. ekwiwalentna), przechłodzenie (temp. efektywna), chłodno (ochładzanie katatermometryczne) oraz sucho (niedosyt fizjologiczny). Natomiast w mieście do częściej występujących warunków niekorzystnych należy: parno (temp. ekwiwalentna), niedosyt fizjologiczny, przegrzanie (temp. efektywna), upalnie, gorąco (ochładzanie katatermometryczne), wybitnie sucho i sucho (wilgotność względna). Komfort zapewniający warunki odczucia ciepła najbardziej korzystne dla samopoczucia zdecydowaną przewagę miał w mieście (temp. efektywna i niedosyt fizjologiczny).

Te same warunki odczucia ciepła w mieście i poza miastem występowały w różnym czasie. Zaobserwowano pewne opóźnienia w występowaniu warunków odczuwalnych w mieście w stosunku do obszaru pozamiejskiego lub odwrotnie:

- Warunki chłodu (temp. ekwiwalentna) w mieście pojawiały się z kilkugodzinnym opóźnieniem
- Przegrzanie (temp. efektywna) wcześniej zanikało za miastem
- Warunki wybitnie suche (wilgotność względna) za miastem pojawiały się z godzinnym opóźnieniem. Warunki umiarkowanie suche zanikały za miastem o godzinę wcześniej
- Godzinny upalne za miastem pojawiały się o godzinę później.

Analiza wyników obserwacji nie pozwala jednocześnie wyznaczyć w mieście obszaru charakteryzującego się najkorzystniejszymi warunkami bioklimatycznymi, względnie odwrotnie. Wynika to z faktu, że niezależnie od zróżnicowania tych warunków w przestrzeni, istnieje zróżnicowanie w czasie. Najbardziej zróżnicowanie czasowe uwidaczniało się podczas bezchmurnego, słonecznego dnia, przy niewielkich prędkościach wiatru. Podczas takiego dnia w godzinach rannych warunki niekorzystne takie jak parno (temp. ekwiwalentna) czy przechłodzenie (temp. efektywna) występowało wśród zieleni, tzn. na skwerku, w parku oraz na wschód od miasta. Natomiast przegrzanie (temp. efektywna) występowało wśród zabudowy. W godzinach około południowych pośród wysokiej zwartej zabudowy występowały warunki suche (wilgotność względna) i przegrzanie (temp. efektywna). W tym samym czasie komfort najczęściej występował wśród niewielkiej zabudowy, a więc tam gdzie umożliwiała ona przewiewność terenu. Komfort często występował też wśród zwartej zabudowy, ale po południu często pojawiały się tu warunki suche. W godzinach wieczornych parno najczęściej i najwcześniej obejmowało obszar między parkiem a terenem położonym na wschód od miasta.

Sierpc jest miastem większym od Makowa Mazowieckiego. Należało się spodziewać, że zróżnicowanie warunków bioklimatycznych będzie tutaj większe między miastem a obszarami pozamiejskimi niż w Makowie Mazowieckim (tabela 8).

Różnice w częstościach poszczególnych warunków bioklimatycznych między miastem a jego okolicami są znacznie większe w Sierpcu, szczególnie uwidacznia się to w przypadku wilgotności względnej oraz ochładzania katatermometrycznego. Różnice te powinny być jeszcze większe w zależności od wielkości miasta i zajmowanej przez nie powierzchni. Bowiem wraz ze wzorem obszaru miejskiego wzrasta zróżnicowanie warunków bioklimatycznych miasta w stosunku do obszaru pozamiejskiego.

Tabela 8. Różnice częstości (%) warunków bioklimatycznych w mieście i poza miastem w Sierpcu i w Makowie Mazowieckim, „-” (minus) większa częstość w mieście, „+” (plus) większa częstość poza miastem

	Maków Maz. 1973	Sierpc 1973
Temperatura efektywna		
Przechłodzenie	+2,6	-20,0
Komfort	-4,8	+8,3
Przegrzanie	-7,8	+13,7
Temperatura ekwiwalentna		
Chłodnawo	-2,4	-0,7
Komfort	-2,4	-0,4
Lekko parno	+5,1	+3,7
Parno	-0,4	-2,5
Ochładzanie katatermometryczne		
Upalnie	0	+8,5
Gorąco	+6,6	+17,0
Łagodnie	-0,8	-5,6
Przyjemnie chłodno	-2,1	-12,6
Chłodno	-1,5	-7,1
Zimno	-0,2	-0,4
Wilgotność względna		
Wybitnie sucho	0	+1,5
Sucho	-0,1	+9,6
Umiarkowanie sucho	+0,4	-4,7
Wilgotno	-1,9	-4,8
Bardzo wilgotno	+1,6	-1,6
Temperatura		
>25°	+0,9	+3,0
>30°	0	+0,3

7.3.5. Klimat województwa ostrołęckiego

Autor: Ewa JASŁOWSKA

Opiekun naukowy: Maria STOPA - BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA

Celem pracy jest ogólna charakterystyka klimatu województwa ostrołęckiego. Rozpatrywano następujące elementy klimatologiczne: promieniowanie i usłonecznienie, temperaturę i wilgotność powietrza, zachmurzenie, opad atmosferyczny i wiatr. W ostatniej części omówiono zagadnienia fenologiczne: pory roku, fazy fenologiczne niektórych roślin.

Pracę oparto na materiałach obserwacyjnych z 15-lecia 1951-1965 ze stacji synoptycznej Ostrołęka, 3 stacji klimatologicznych: Przasnysz, Myszyniec i Wyszków, oraz 19 posterunków opadowych, dość równomiernie rozmieszczonych na obszarze całego województwa (Chorzele, Cierpięta, Czerwin, Dąbrówka, Guty Duże, Jednorozec, Kadzidło, Krasnosiele, Kruszewo, Krzynowłoga Mł., Maków Mazowiecki, Ostrów Maz., Rozogi, Sieczychy, Ślepioty, Wach, Wąsewo, Zabiele Wielkie, Zaręby)(rys. 1-2). Ważniejsze wyniki badań przedstawiono w tab. 1-23.

Województwo ostrołęckie jest uprzywilejowane termicznie w stosunku do obszarów sąsiadujących z nim od północy i północnego-wschodu. Wskazują na to wyższe wartości temperatury średniej dobowej (luty powyżej $-4,5^{\circ}\text{C}$, lipiec – ponad $17,5^{\circ}\text{C}$), maksymalnej i minimalnej: niższe o około $1,0^{\circ}\text{C}$, dobowe amplitudy temperatury powietrza (w porównaniu z województwami graniczącymi z omawianym od północy), dłuższy okres bezprzymrozkowy, mniejsza liczba dni mroźnych i bardzo mroźnych oraz większa częstość dni gorących.

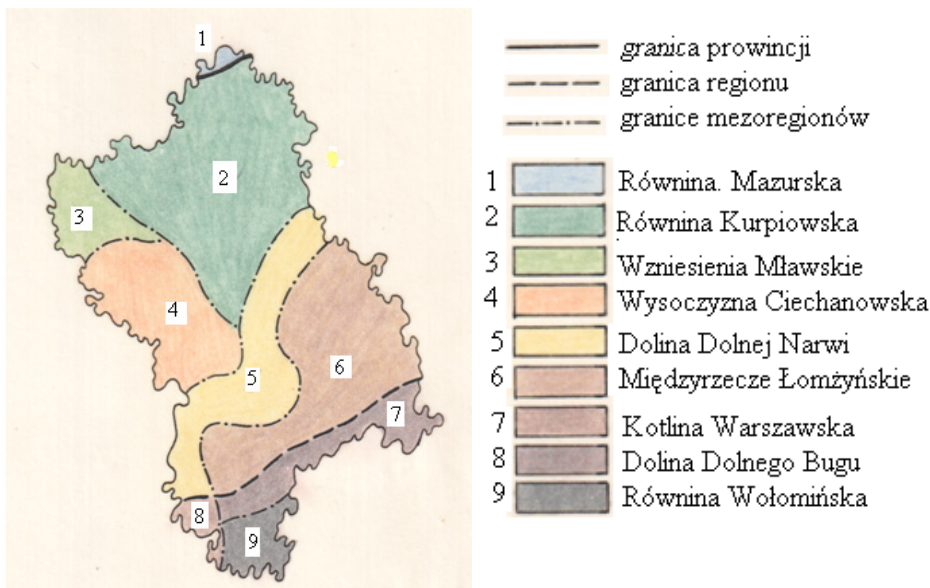
Poza tym, w stosunku do „sąsiadów” z północy i północnego-wschodu województwo ostrołęckie charakteryzuje się mniejszą wilgotnością względną, większym niedosytem wilgotności powietrza, większym stopniem zachmurzenia, mniejszymi sumami opadu oraz dłuższym czasem zalegania pokrywy śnieżnej.

Natomiast w porównaniu z obszarami sąsiadującymi od strony południowej, omawiane województwo jest znacznie chłodniejsze i wilgotniejsze na co wskazują niższe wartości temperatury powietrza, krótszy okres bezprzymrozkowy, większe zachmurzenie, mniejsze sumy opadu, które na terenie województwa ostrołęckiego wzrastają od centralnej jego części na północ i południe oraz krótszy okres z pokrywą śnieżną.

Na terenie omawianego województwa, tak jak i na obszarach sąsiednich przeważają wiatry z sektora zachodniego, podczas gdy wiatry wschodnie i północne notowane są stosunkowo rzadko w ciągu roku.

Ogólnie biorąc, województwo ostrołęckie można podzielić na 2 części różne pod względem klimatycznym. Północną – charakteryzującą się stosunkowo „surowym” klimatem w porównaniu do pozostałych regionów województwa i część południową o klimacie znacznie łagodniejszym.

„Surowość” klimatu Równiny Kurpiowskiej znajdującej się na północy województwa potwierdza stosunkowo niska temperatura powietrza, większa, w porównaniu do południowych jego regionów, dobowe amplitudy temperatury, krótszy o około 15 dni okres bezprzymrozkowy, większa liczba dni przymrozkowych, mroźnych i bardzo mroźnych oraz stosunkowo długi okres z pokrywą śnieżną trwający tam od 127 do 129 dni.



Rys. 1. Regiony fizycznogeograficzne wg J. Kondrackiego (Skala 1: 1 250 000)

Pod względem stosunków wilgotnościowych Równina Kurpiowska nie wyróżnia się w województwie niczym szczególnym. Cechuje się jednak mniejszym stopniem zachmurzenia i większymi sumami opadu w odniesieniu do centralnej i zachodniej części omawianego obszaru a także do zachodnich sąsiadów.

Natomiast o stosunkowo łagodnym klimacie południowych terenów województwa ostrołęckiego a więc: Międzyrzecza Łomżyńskiego, Doliny Dolnego Bugu, części Równiny Wołomińskiej i fragmentu Kotliny Warszawskiej świadczą: wyższa temperatura powietrza, mniejsze dobowe jej amplitudy, stosunkowo długi okres wegetacyjny (około 210 dni) i okres bezprzymrozkowy trwający 165-170 dni, mniejsza liczba dni przymrozkowych, mroźnych i bardzo mroźnych, większa częstość dni gorących oraz krótszy o około 25 dni okres zalegania pokrywy śnieżnej.

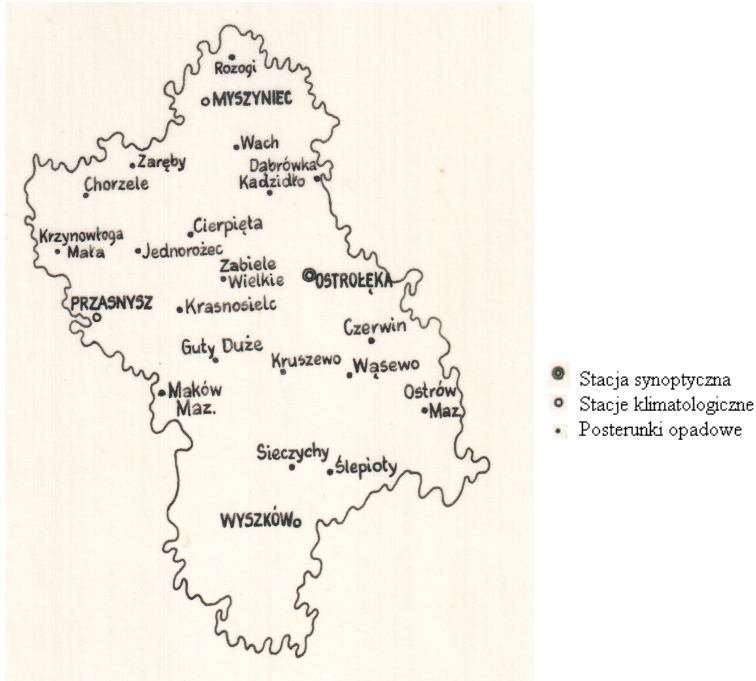
Poza tym regiony te są stosunkowo wilgotne (82%), mają mniejsze, od zachodnich obszarów województwa, zachmurzenie oraz większe sumy opadu.

Znaczne różnicowanie poszczególnych elementów klimatu na terenie województwa ostrołęckiego świadczy, tak jak i w województwach sąsiednich, o dużym wpływie warunków lokalnych.

Rozwój rolnictwa uzależniony jest jak wiadomo, od warunków naturalnych danego obszaru, które w odniesieniu do omawianego województwa określane są jako przeciętne a podstawowym czynnikiem zmniejszającym wydajność z hektara jest duży udział gleb słabych – bielicowych i pseudobielicowych, przy niewielkim procencie gleb urodzajnych I, II, III klasy bonitacyjnej.

W strukturze upraw województwa ostrołęckiego dominują zboża, ziemniaki i rośliny pastewne a wśród roślin przemysłowych stosunkowo duże znaczenie ma len i buraki cukrowe. Spośród zbóż, najpowszechniejsza jest uprawa żyta i owsa, dla którego najodpo-

wiedniejsze warunki termiczne i wilgotnościowe występują w południowej części województwa. Na zachodzie omawianego obszaru – na Wysoczyźnie Ciechanowskiej uprawia się także jęczmień, podczas gdy pól zasianych pszenicą i kukurydzą w województwie ostrołęckim nie spotyka się.



Rys. 2. Rozmieszczenie stacji meteorologicznych (Skala 1: 1 250 000)

Duży procent powierzchni gruntów ornych tego województwa zajmują uprawy: lnu, koniczyzny, łubinu żółtego. Obszarem wyróżniającym się dogodnymi warunkami siedliskowymi dla tych roślin jest centralna i południowo-wschodnia część województwa ostrołęckiego.

Trzeba tu wspomnieć, że województwo to należy do jednego z głównych rejonów uprawy lnu i łubinu żółtego w Polsce, jakim jest północno-wschodnia część naszego kraju. Spośród upraw przemysłowych oprócz lnu na uwagę zasługują buraki cukrowe udające się szczególnie w centrum i na południowym-wschodzie województwa ostrołęckiego, ze względu na dogodne tam dla nich warunki termiczne, wilgotnościowe i większy, niż w pozostałej części województwa, odsetek dobrych gleb.

Ogólnie można stwierdzić, iż na tle całego województwa ostrołęckiego, najlepszymi warunkami siedliskowymi dla uprawianych tu roślin, wyróżnia się centralna i południowo-wschodnia jego część.

Pod względem turystycznym województwo ostrołęckie nie jest tak atrakcyjne jak obszary sąsiadujące z nim szczególnie od północy i południa. Godne zwiedzania są tu przede wszystkim 2 miasta: Ostrołęka i Przasnysz, gdzie na uwagę zasługują zespoły klasztorne pochodzące z XVI i XVII wieku, charakteryzujące się zabytkowym wyposażeniem.

W Ostrołęce, poza tym, w pobliżu ujścia rzeki Omulew do Narwii można obejrzeć resztki starego grodziska.

Turystom, którzy chcą poznać nie tylko przeszłość historyczną ale i aktualne osiągnięcia województwa ostrołęckiego, udostępniona jest do zwiedzania Ostrołęcka Fabryka Celulozy i papieru, jedna z największych i najnowocześniejszych w Polsce.

Miłośników folkloru natomiast „zaprasza” Myszyniec – ośrodek regionu kurpiowskiego, gdzie tradycja noszenia strojów ludowych, nie tylko od święta, istnieje po dzień dzisiejszy.

„Siedliskiem” czystego powietrza są niewątpliwie lasy województwa ostrołęckiego, a szczególnie Puszcza Biała, położona w południowo-wschodniej jego części, charakteryzująca się bardziej dogodnymi warunkami dla turystyki pieszej, niż znajdująca się na północy województwa Puszcza Kurpiowska porastająca rozległe tereny bagienne.

Tabela 1. Średnie dobowe wartości temperatury powietrza

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Myszyniec	-3,7	-4,7	-0,9	6,4	11,7	16,4	17,3	16,5	12,4	7,5	1,7	-1,4	6,7
Ostrołęka	-3,5	-4,2	-0,5	7,1	12,7	17,0	18,0	16,9	12,7	7,7	2,5	-1,1	7,1
Przasnysz	-3,4	-4,1	-0,3	7,0	12,2	16,5	17,7	16,9	12,8	7,7	2,5	-1,5	7,0
Wyszków	-3,6	-4,3	-0,2	7,3	12,5	17,0	18,2	16,9	12,8	8,0	2,8	-0,8	7,2

Tabela 2. Średnie maksymalne i minimalne wartości temperatury powietrza

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Myszyniec	max	-1,3	-1,5	2,8	11,6	17,4	22,1	23,0	22,2	18,2	12,1	4,4	0,7	11,0
	min	-6,9	-8,6	-5,1	1,3	5,4	9,7	11,2	10,8	7,1	3,2	-0,4	-4,1	1,9
Ostrołęka	max	-1,0	-0,9	3,7	12,2	17,8	22,7	23,7	22,7	18,7	12,5	4,9	-0,9	11,5
	min	-6,6	-7,8	-4,4	2,2	6,5	10,7	12,2	11,6	7,8	3,6	0,3	-3,5	2,7
Przasnysz	max	-1,3	-1,3	3,2	11,7	17,3	22,1	23,1	22,4	18,4	12,1	4,7	0,6	11,1
	min	-6,3	-7,6	3,5	2,1	6,5	10,7	11,5	12,1	7,9	3,5	0,1	-3,7	2,8
Wyszków	max	-1,0	-1,0	4,3	12,5	18,1	22,8	23,9	22,8	18,4	12,8	5,5	1,1	11,8
	min	-6,8	-8,3	4,2	2,4	6,6	10,9	12,4	11,7	7,8	3,6	0,3	-3,9	2,8

Tabela 3. Średnia dobowa amplituda temperatury powietrza

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Myszyniec	5,6	7,1	7,9	10,3	12,0	12,4	11,8	11,4	11,1	8,9	4,8	4,8	9,1
Ostrołęka	5,6	6,8	8,1	10,0	11,3	12,0	11,5	11,1	10,9	8,9	4,6	4,4	8,8
Przasnysz	5,0	6,3	6,7	9,6	10,8	11,4	11,6	10,3	10,5	8,6	4,6	4,3	8,3
Wyszków	5,8	7,3	8,5	10,1	11,5	11,9	11,5	11,1	10,6	9,2	5,2	5,0	9,0

Tabela 4. Roczna, ekstremalna i absolutna amplituda temperatury powietrza

Nazwa stacji	Myszyniec	Ostrołęka	Przasnysz	Wyszków
Amplituda roczna (°C)	22,0	22,2	21,8	22,5
Amplituda ekstremalna (°C)	31,6	31,5	30,7	32,2
Amplituda absolutna (°C)	66,5	66,1	65,3	69,3

Tabela 5. Czas trwania termicznych pór roku (a – początek; b – koniec; c – czas trwania)

Stacja	Zima			Przedwiośnie			Wiosna			Lato			Jesień			Przedzime		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Myszyniec	2.12	19.3	108	20.3	9.4	21	10.4	6.6	58	7.6	26.8	81	27.8	28.10	63	29.10	1.12	34
Ostrołęka	6.12	17.3	102	18.3	7.4	21	8.4	1.6	55	2.6	28.8	88	29.8	30.10	63	31.10	5.12	36
Przasnysz	4.12	16.3	103	17.3	7.4	22	8.4	5.6	59	6.6	28.8	84	29.8	30.10	63	31.10	3.12	34
Wyszków	8.12	16.3	99	17.3	6.4	21	7.4	2.6	57	3.6	28.8	87	29.8	1.11	65	2.11	7.12	36

Tabela 6. Daty występowania pierwszych i ostatnich przymrozków oraz długość okresu bezprzymrozkowego

Nazwa stacji	Maszyniec	Ostrołęka	Przasnysz	Wyszków
Data ostatniego przymrozkowego wiosennego	26.V	5.V	29.IV	30.IV
Data pierwszego przymrozkowego jesiennego	20.X	9.X	10.X	10.X
Okres bezprzymrozkowy (l. dni)	149	158	165	164

Tabela 7. Średnia liczba dni bardzo mroźnych ($t_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$)

Nazwa stacji	XI	XII	I	II	III	Rok
Myszyniec	0,9	4,8	8,2	10,9	6,1	30,9
Ostrołęka	0,7	4,1	7,7	9,5	4,9	26,9
Przasnysz	0,6	3,9	7,4	9,7	4,5	26,1
Wyszków	0,6	4,1	8,5	10,2	4,7	28,1

Tabela 8. Średnia liczba dni mroźnych ($t_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$)

Nazwa stacji	XI	XII	I	II	III	Rok
Myszyniec	•	3,7	11,7	14,8	0,2	51,8
Ostrołęka	0,4	3,6	11,1	14,3	0,1	51,5
Przasnysz	0,1	3,4	10,5	15,3	•	52,2
Wyszków	0,1	3,2	9,6	14,4	0,1	49,0

Tabela 9. Średnia liczba dni przymrozkowych ($t_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$)

Nazwa stacji	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	Rok
Myszyniec	0,5	5,2	14,2	23,8	25,8	23,5	22,1	10,1	2,1	127,3
Ostrołęka	0,3	5,3	12,6	22,5	26,9	24,3	24,7	8,9	1,3	126,8
Przasnysz	0,1	5,2	13,4	22,9	27,0	25,0	24,3	8,1	0,7	126,7
Wyszków	0,3	4,9	13,3	23,8	27,5	24,9	24,3	8,7	1,1	128,5

Tabela 10. Średnia liczba dni gorących ($t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$)

Nazwa stacji	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Rok
Myszyniec	0,9	1,8	7,9	9,0	7,8	2,1	29,5
Ostrołęka	0,6	2,4	9,3	10,8	9,0	3,8	35,9
Przasnysz	0,6	2,1	7,7	9,0	8,5	2,9	30,8
Wyszków	0,8	2,8	9,2	11,4	8,7	3,2	36,1

Tabela 11. Średnie wartości ciśnienia pary wodnej

Nazwa stacji	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Myszyniec	4,5	4,2	4,8	7,0	10,0	13,5	15,3	14,7	11,5	9,1	6,6	5,5	8,7
Ostrołęka	4,4	4,2	4,8	7,5	10,4	13,8	15,4	15,4	11,9	11,9	6,7	5,3	9,0
Przasnysz	4,6	4,5	5,2	8,3	11,0	14,9	16,4	15,7	12,4	9,3	6,8	5,6	9,6
Wyszków	4,6	4,6	5,2	7,9	10,9	14,4	15,9	15,1	12,2	9,4	6,5	4,7	9,3

Tabela 12. Średnia liczba dni pogodnych

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Myszyniec	2,2	2,8	8,1	6,3	6,7	5,2	5,2	4,9	7,5	4,8	2,2	2,5	57,7
Ostrołęka	1,9	1,9	5,1	4,3	2,9	3,7	3,1	2,9	5,7	3,1	0,8	1,9	37,3
Wyszaków	2,7	2,4	6,6	5,2	3,9	5,6	4,2	4,3	6,8	3,4	1,2	1,5	47,8

Tabela 13. Średnia liczba dni pochmurnych

Nazwa stacji	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Myszyniec	16,9	12,3	9,9	8,5	8,2	6,1	6,5	6,4	5,4	10,5	19,5	18,9	127,5
Ostrołęka	17,5	14,8	11,8	10,1	9,9	7,4	7,9	7,1	6,5	10,7	18,5	20,6	142,8
Wyszaków	18,1	15,4	11,2	10,2	9,0	6,8	8,4	8,6	6,6	11,5	20,6	20,3	146,7

Tabela 14. Średnie sumy opadu (mm)

Nazwa stacji	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Chorzele	26	26	18	33	45	57	86	75	38	28	37	34	503
Cierpięta	32	34	24	35	44	66	74	72	44	26	46	38	535
Czerwin	32	25	22	34	44	57	62	70	42	29	39	34	490
Dąbrówka	19	19	20	33	43	61	61	74	43	29	36	25	463
Guty Duże	30	31	22	37	46	62	58	64	44	27	41	35	497
Jednorozec	31	35	21	32	48	56	71	76	44	27	44	42	527
Kadzidło	27	27	23	34	48	62	71	71	37	39	38	36	513
Krasnosielec	27	26	18	33	43	60	58	66	44	26	37	33	471
Kruszewo	27	29	20	35	45	56	66	64	43	30	38	36	489
Krzynowłoga Mł.	28	34	19	34	47	58	77	72	41	29	35	39	513
Maków Maz.	27	27	20	33	45	52	64	66	43	20	38	36	471
Myszyniec	30	35	21	40	50	68	87	89	48	35	45	43	591
Ostrołęka	29	32	22	42	44	60	72	73	45	33	44	40	536
Ostrów Maz.	36	36	27	36	53	72	71	89	50	34	47	37	588
Przasnysz	25	25	16	29	39	51	62	60	40	25	33	32	437
Rozogi	28	27	21	35	4,3	57	78	75	39	22	46	32	503
Sieczychy	28	33	18	28	46	64	56	60	40	19	47	33	472
Ślepioty	34	37	27	37	57	69	74	64	47	36	42	42	566
Wach	28	37	23	38	46	61	80	81	47	32	46	42	562
Wąsewo	25	36	25	36	49	68	61	69	39	29	44	33	514
Wyszaków	30	42	23	30	47	70	78	63	45	34	40	38	540
Zabiele Wlk.	34	37	22	41	49	58	78	76	47	36	37	40	555
Zręby	26	27	17	34	38	60	80	75	34	32	42	39	504

Tabela 15. Średnia liczba dni z opadem $\geq 0,1$ mm

Nazwa stacji	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Kruszewo	12,3	12,4	8,4	9,0	11,9	10,7	12,6	11,5	10,8	9,1	14,1	13,4	137,0
Myszyniec	12,9	12,6	8,4	11,9	12,3	11,3	14,1	13,5	10,9	11,3	14,1	13,2	146,5
Ostrołęka	14,8	15,0	10,7	11,6	12,6	11,2	14,2	13,3	12,5	9,5	14,5	15,7	155,6
Przasnysz	11,7	11,1	3,1	9,5	10,4	10,2	12,6	11,4	9,8	7,3	12,0	12,3	126,4
Wąsewo	13,8	14,5	10,1	9,8	10,5	11,8	11,3	12,8	9,5	8,5	14,4	12,5	139,5
Wyszaków	14,7	14,4	9,3	9,3	10,6	11,5	12,3	11,3	12,6	8,2	13,1	13,4	141,3

Tabela 16. Średnia liczba dni z opadem $\geq 1,0$ mm

Nazwa stacji	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Kruszewo	6,3	7,3	5,2	7,4	8,3	7,6	9,8	8,3	5,9	4,9	9,6	7,5	88,1
Myszyniec	7,5	8,6	5,6	8,4	9,6	8,6	10,2	9,6	8,4	6,5	8,7	9,9	101,6
Ostrołęka	8,3	8,6	5,7	7,9	9,0	8,3	10,6	9,9	6,9	5,5	9,7	8,9	99,3
Przasnysz	6,0	6,4	4,0	6,7	7,5	7,3	9,5	7,6	6,8	5,1	7,4	7,7	82,0
Wąsewo	6,1	8,8	5,8	6,5	8,3	7,8	8,8	8,8	6,1	4,8	8,6	6,8	37,2
Wyszków	8,9	9,0	6,1	7,1	8,4	9,0	10,2	8,9	8,3	6,0	9,0	9,0	100,3

Tabela 17. Średnia liczba dni z opadem $\geq 10,0$ mm

Nazwa stacji	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Kruszewo	0,1	0,2	0,2	0,5	0,8	1,7	1,7	1,5	0,9	0,6	0,6	0,5	9,3
Myszyniec	0,1	0,4	0,4	0,9	1,4	2,1	2,4	2,7	0,9	0,9	0,6	0,8	13,6
Ostrołęka	0,1	0,3	0,1	1,0	1,0	2,1	1,9	1,9	1,1	0,9	1,0	0,6	12,0
Przasnysz	0,2	0,3	0,3	0,5	0,3	1,6	1,9	1,7	0,9	0,3	0,5	0,7	9,7
Wąsewo	0,2	0,6	0,4	0,9	1,2	2,2	1,6	2,1	1,0	1,2	1,1	0,4	12,9
Wyszków	•	0,4	0,3	0,7	1,3	2,1	2,4	1,8	1,1	0,6	0,7	0,3	12,2

Tabela 18. Maksymalne dobowe sumy opadu

Nazwa stacji	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Chorzele	12,2	18,6	14,8	19,2	24,7	29,1	76,4	49,7	47,3	29,1	17,9	19,3
Cierpięta	15,8	20,0	22,0	28,3	22,5	40,7	31,4	40,7	31,4	19,6	18,0	21,8
Czerwin	15,8	11,5	23,0	26,0	29,0	41,0	28,0	45,0	40,8	45,0	22,5	13,8
Dąbrówka	9,0	13,4	23,5	25,8	46,8	31,1	39,7	59,0	53,3	21,0	21,0	15,5
Guty Duże	16,0	13,3	12,6	39,5	20,0	29,1	31,3	50,2	31,7	23,0	24,0	20,0
Jednorzec	11,3	23,0	23,4	23,5	30,1	42,5	57,7	57,7	38,5	57,3	30,5	23,8
Kadzidło	22,0	27,0	24,2	26,4	38,0	41,5	54,0	34,8	33,1	42,5	21,1	29,2
Krasnosielc	13,7	19,5	17,6	24,7	27,7	80,8	33,0	50,7	51,3	44,1	20,1	26,0
Kruszewo	13,0	12,0	22,0	24,4	23,2	43,1	58,0	51,3	33,9	59,1	22,3	21,0
Krzynowłoga Mł.	13,7	38,3	20,5	18,3	28,2	52,6	49,9	55,1	24,3	41,2	13,5	19,6
Maków Maz.	16,5	15,5	14,9	19,0	28,7	44,5	25,0	60,3	45,1	47,6	24,0	20,1
Myszyniec	15,3	21,1	14,0	29,0	44,6	57,3	37,0	51,7	38,0	60,0	18,9	19,0
Ostrołęka	11,8	21,3	24,3	40,7	18,5	29,8	36,4	47,5	33,0	49,5	35,7	20,5
Ostrów Maz.	14,5	16,0	26,2	35,5	33,5	37,0	33,2	120,0	45,1	29,0	24,3	22,0
Przasnysz	16,3	18,9	18,0	15,4	32,6	54,0	34,8	69,3	33,0	54,0	24,8	18,2
Rozogi	27,3	15,2	18,2	24,0	19,2	60,6	39,2	60,2	30,7	21,30	15,4	21,8
Sieczychy	11,6	19,8	14,8	25,2	34,2	52,2	29,3	53,8	42,5	30,8	24,2	14,5
Ślepioty	11,4	20,3	23,6	27,4	40,4	45,4	63,9	39,8	39,2	62,2	25,4	14,5
Wach	16,2	14,0	12,3	24,5	43,3	55,5	47,8	60,9	34,5	50,7	18,7	23,3
Wąsewo	14,7	29,5	30,1	30,7	32,3	39,8	57,6	42,6	31,4	55,8	29,5	17,4
Wyszków	9,8	11,7	28,2	20,3	29,9	40,3	56,0	35,9	34,0	60,5	25,8	16,2
Zabiele Wlk.	12,5	14,5	15,0	41,2	40,4	49,7	53,4	42,5	44,0	63,0	18,5	31,4
Zręby	10,9	19,4	17,7	24,4	24,3	43,1	69,2	58,5	32,2	68,0	17,2	19,8

Tabela 19. Średnia liczba dni z burzą

Nazwa stacji	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Rok
Myszyniec	0,1	0,7	2,6	3,2	4,1	3,1	1,3	0,2	•	15,3
Ostrołęka	0,2	1,4	3,1	4,9	5,6	3,8	1,3	0,3	•	20,6
Przasnysz	0,1	0,8	1,2	2,7	2,6	2,0	0,8	0,2	•	10,4
Wyszków	0,1	1,0	2,8	4,4	3,6	2,9	1,3	0,4	0,1	16,6

Tabela 20. Data pierwszej i ostatniej pokrywy śnieżnej oraz długość okresu z pokrywą śnieżną

Nazwa stacji	pierwsza pokr. śnieżna	ostatnia pokr. śnieżna	okres z pokr. śnieżną
Myszyniec	23.XI	2.IV	129
Ostrołęka	24.XI	1.IV	127
Przasnysz	28. XI	18.III	109
Wyszków	8.XII	22.III	103

Tabela 21. Częstość kierunków wiatru w roku (%)

Nazwa stacji	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
Myszyniec	8,5	6,1	6,3	7,9	10,1	15,3	17,8	9,1	18,9
Ostrołęka	8,1	8,5	8,5	12,6	9,0	15,2	12,0	9,1	17,0
Przasnysz	6,8	4,9	8,1	10,7	13,0	15,2	22,2	8,3	10,8
Wyszków	5,3	6,9	9,9	8,0	6,3	15,4	13,7	9,6	24,9

Tabela 22. Średnia prędkość wiatru

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Myszyniec	3,3	2,7	2,6	2,5	2,2	2,1	2,1	2,1	2,4	2,5	2,7	2,9	2,6
Ostrołęka	3,4	3,2	3,2	2,9	2,6	2,3	2,3	2,2	2,3	2,3	3,1	3,2	2,7
Przasnysz	2,8	2,6	2,5	2,2	2,2	2,0	2,1	2,1	2,3	2,1	2,6	2,4	2,3
Wyszków	2,7	2,9	3,0	2,6	2,2	1,9	1,8	2,0	2,0	1,9	2,5	2,4	2,3

Tabela 23. Średnia liczba dni z wiatrem o $v > 15$ m/s

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Myszyniec	1,1	0,6	0,4	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	4,8
Ostrołęka	0,5	0,4	0,3	0,1	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,1	0,6	0,1	3,9
Przasnysz	0,4	0,1	0,1	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0,6
Wyszków	0,4	0,5	0,3	0,1	0,1	•	•	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	2,0

7.3.6. Charakterystyka klimatu Ostrołęki

Autor: Janina KURPIEWSKA

Opiekun naukowy: Danuta MARTYN

Celem pracy jest przedstawienie klimatu Ostrołęki. Materiały źródłowe pochodzą z lat 1951-1965, zmierzone na stacji meteorologicznej leżącej poza miastem, nad Narwią. Omówiono poszczególne elementy klimatu oraz ich zmienność z roku na rok, najdokładniej potraktowano temperaturę powietrza i jej charakterystyki.

Położenie Ostrołęki określają następujące współrzędne geograficzne: $\varphi=53^{\circ}07'N$ i $\lambda=20^{\circ}22'E$ (rys. 1). Międzyrzecze Łomżyńskie na którym leży Ostrołęka stanowi faliastą równinę, która jest poprzecinana dolinami i torfowiskowymi obniżeniami. Północna część regionu to pola uprawne, a południową i wschodnią porastają bory sosnowe oraz mieszane dębowo-sosnowe (Puszcza Biała). Według klasyfikacji Kondrackiego Ostrołęka charakteryzuje się krajobrazem nizinnym, dolin i równin akumulacyjnych oraz staroglacjalnych. Silny wpływ na ten krajobraz wywiera pradolina Narwi. Pod względem klimatycznym (klasyfikacja Okołowicza, 1966) należy do regionu mazurskiego.



Rys. 1. Mapa topograficzna okolic Ostrołęki

Ważniejsze wyniki badań przedstawiono w tabelach 1-17 i na rys. 2.

Temperatura powietrza

Ostrołęka jest uprzywilejowana termicznie w stosunku do obszarów położonych na północ i wschód od niej, ale chłodniejsza od tych położonych na zachodzie i południu. Średnia roczna temperatura powietrza wyniosła $7,1^{\circ}C$ w latach 1951-1965. Najcieplejszym miesiącem w roku był lipiec z temperaturą $18,0^{\circ}C$, a najchłodniejszym luty $-4,2^{\circ}C$.

Średnia roczna maksymalna temperatura wyniosła $11,5^{\circ}C$. Największa była w lipcu $23,7^{\circ}C$, a najmniejsza w styczniu i lutym $-1,0^{\circ}C$. Z kolei średnia roczna minimalna temperatura powietrza osiągnęła wartość $2,7^{\circ}C$. Średnia miesięczna temperatura minimalna zmieniała się od $-7,8^{\circ}C$ w lutym do $12,2^{\circ}C$ w lipcu.

W badanym okresie 1951-1965 absolutna temperatura maksymalna wyniosła 35,9°C 13 VII 1959. Absolutną minimalną temperaturę powietrza wynoszącą -30,2°C zaobserwowano 31 I 1956. Amplituda absolutna wyniosła więc 66,1°C.

Średnia roczna dobowa amplituda temperatury miała 8,8°C, a jej najwyższa wartość pojawiła się w 1953 roku – 9,9°C oraz najniższa w 1962 roku – 7,8°C.

Okres przymrozkowy ($t_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$) w Ostrołęce rozpoczął się nawet we wrześniu (23 IX) i trwał do końca maja (31 V), maksymalnie trwał 251 dni, natomiast średnie jego wartości wyniosły: 209 dni od 9 X do 5 V. Okres bezprzymrozkowy przeciętnie liczył 156 dni (5 V-9 X). Dni mroźne ($t_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$) występowały średnio przez 50 dni i pojawiały się od października do kwietnia. Dni bardzo mroźnych ($t_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$) było średnio 27 od listopada do marca. Dni gorące ($t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$) występowały od maja do września i średnio wyniosły 36 dni. Najczęściej były notowane w lipcu – 11, a w czerwcu i sierpniu – 9.

Do określenia termicznych pór roku posłużono się następującymi przedziałami:

	°C
Zima	$T_{\text{sr}} < 0,0$
Przedwiośnie	$0,0 < T_{\text{sr}} \leq 5,0$
Wiosna	$5,0 < T_{\text{sr}} \leq 15,0$
Lato	$T_{\text{sr}} > 15,0$
Jesień	$5,0 < T_{\text{sr}} \leq 15,0$
Przedzimy	$0,0 < T_{\text{sr}} \leq 5,0$

Tabela 1. Temperatura powietrza w Ostrołęce (°C): średnia, maksymalna i minimalna oraz amplituda dobowa (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
T	-3,5	-4,2	-0,5	7,1	12,7	17,0	18,0	16,9	12,7	7,7	2,6	-1,0	7,1
T_{\max}	-1,0	-1,0	3,7	12,2	17,8	22,7	23,7	22,7	18,7	12,5	4,9	0,9	11,5
T_{\min}	-6,6	-7,8	-4,4	2,2	6,1	10,7	12,2	11,6	7,8	3,6	0,3	-3,5	2,7
A	5,6	6,8	8,1	10,2	11,7	12,0	11,5	11,1	10,9	8,9	4,6	4,4	8,8

Tabela 2. Temperatura powietrza absolutna (°C) oraz data ich wystąpienia w Ostrołęce (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T_{\min}	-30,2	-29,3	-21,9	-7,5	-3,5	0,9	4,0	2,8	-1,7	-9,5	-17,3	-25,3
Data	31 1956	1 1956	9 1956	11 1955	4 1965	7 1958	23 1951	23 1964	16 1953	31 1956	24 1965	27 1961
T_{\max}	8,7	13,4	17,5	27,9	31,6	33,0	35,9	35,4	31,6	24,6	16,8	15,3
Data	22 1962	18 1961	23 1959	22 1962	28 1958	15 1964	13 1959	4 1963	7 1951	2 1956	2 1960	5 1961

Tabela 3. Temperatura powietrza w Ostrołęce (°C): średnia (T), maksymalna (T_{\max}) i minimalna (T_{\min}) oraz amplituda dobowa (A) w poszczególnych latach 1951-1965

	T	T_{\max}	T_{\min}	A		T	T_{\max}	T_{\min}	A
1951	7,9	12,8	3,0	9,8	1959	7,9	12,6	3,4	9,2
1952	6,5	10,9	2,1	8,8	1960	7,4	11,6	3,6	8,0
1953	7,6	12,4	2,5	9,9	1961	8,0	12,5	4,0	8,5
1954	6,6	10,9	2,2	8,7	1962	6,6	10,6	2,8	7,8
1955	7,0	11,5	2,4	9,1	1963	6,6	11,4	1,9	9,5
1956	5,8	9,9	1,5	8,4	1964	6,8	11,4	2,4	9,0
1957	7,8	12,0	3,6	8,4	1965	6,2	10,6	2,1	8,5
1958	7,6	11,2	3,3	7,9					

Tabela 4. Termiczne pory roku i cza ich trwania w Ostrołęce (1951-1965)

Pora roku	Data początku	Data końca	Czas trwania
Przedwiośnie	18 III	6 IV	20
Wiosna	7 IV	31 V	55
Lato	1 VI	1 IX	93
Jesień	2 IX	3 XI	63
Przedzimie	4 X	25 XI	21
Zima	26 XI	17 III	113

Tabela 5. Liczba dni charakterystycznych w Ostrołęce (1951-1965)

L. dni	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Suma
$T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	26,9	24,5	24,8	9,0	1,3	.	.	.	0,3	5,7	13,3	22,3	128,1
$T_{\max} > 0^{\circ}\text{C}$ $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	12,3	9,8	17,5	8,9	1,3	.	.	.	0,3	5,3	10,0	12,5	77,9
$T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$	14,6	14,7	7,3	0,1	.	.	.	.	.	0,4	3,3	9,8	50,2
$T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$	7,7	9,4	4,9	.	.	.	.	.	.	.	0,7	4,1	26,8
$T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$	.	.	.	0,6	2,4	9,3	10,8	9,0	3,8	.	.	.	35,9

Tabela 6. Liczba dni charakterystycznych w poszczególnych latach w Ostrołęce (1951-1965)

	$T_{\min} < 0$	$T_{\max} > 0$ $T_{\min} < 0$	$T_{\max} < 0$	$T_{\min} < -10$	$T_{\max} > 25$
1951	131	100	31	16	51
1952	128	71	57	36	35
1953	142	90	52	21	40
1954	136	73	63	40	38
1955	139	83	56	23	54
1956	140	73	67	39	22
1957	108	78	30	11	31
1958	121	91	30	18	24
1959	120	86	34	11	49
1960	104	65	39	20	25
1961	101	71	30	20	28
1962	121	79	42	25	18
1963	133	49	84	63	57
1964	139	82	57	30	44
1965	140	54	86	29	23

Wilgotność powietrza

W Ostrołęce średnie ciśnienie pary wodnej wyniosło 9,0 hPa i w ciągu roku wahało się od 4,2 hPa w lutym do 15,4 hPa w lipcu. Wiosną ciśnienie pary wodnej było niższe od jesiennego (jesienią jest więcej pary wodnej z powodu letnich opadów i napływu wilgotnych, oceanicznych mas powietrza).

Średnia roczna wilgotność powietrza w Ostrołęce wyniosła 80%. Najwyższa wilgotność przypadła w listopadzie i grudniu – 88%, a najniższa w czerwcu – 70%. Niższa wilgotność względna wiosną niż latem wiązała się z napływem mniej zasobnych w parę wod-

ną mas powietrza arktycznego. W badanym 15-leciu najniższa średnia roczna wilgotność wystąpiła w 1951 roku – 74%, a najwyższa w 1958 – 83%.

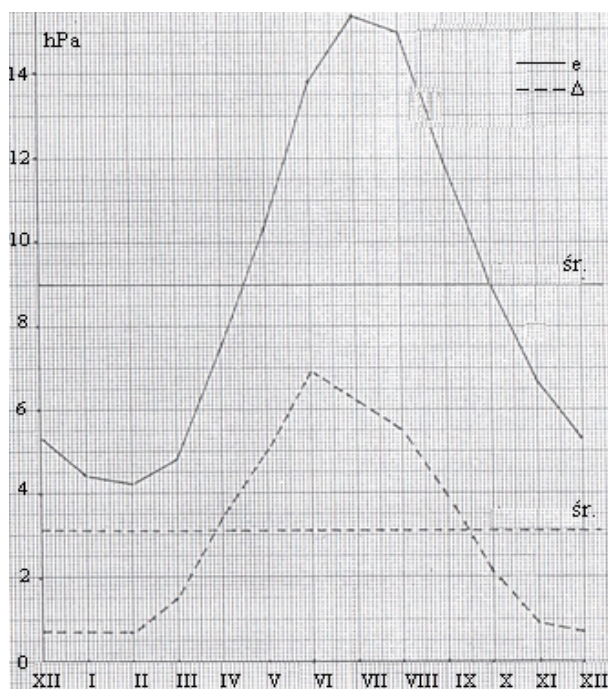
Średni roczny niedosyt wilgotności powietrza miał 3,1 hPa i zmieniał się od 0,7 hPa w grudniu, styczniu i lutym do 6,9 hPa w czerwcu. Najwyższy niedosyt wilgotności wystąpił w czerwcu 1964 roku – 9,5 hPa, a najniższy w grudniu 1952 roku – 0,4 hPa.

Tabela 7. Średnie miesięczne wartości wilgotności względnej powietrza. f (%), ciśnienia pary wodnej e (hPa) i niedosytu wilgotności Δ (hPa) w Ostrołęce (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	Vi	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok.
e	4,4	4,2	4,8	7,5	10,4	13,8	15,4	15,0	11,9	9,0	6,7	5,3	9,0
f	86	85	78	74	71	70	74	78	80	84	88	88	80
Δ	0,7	0,7	1,5	3,4	5,0	6,9	6,2	5,5	3,9	2,1	0,9	0,7	3,1

Tabela 8. Średnie roczne wartości wilgotności względnej powietrza. f (%), ciśnienia pary wodnej e (hPa) i niedosytu wilgotności Δ (hPa) w Ostrołęce (1951-1965)

19..	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
e	74	78	79	79	80	80	80	83	78	82	80	82	79	80	81
f	8,7	8,5	9,2	9,0	9,1	8,6	9,3	9,4	9,1	9,4	9,5	8,9	9,1	8,9	8,6
Δ	4,1	3,0	3,4	3,2	3,1	2,8	3,0	2,6	3,6	2,6	3,2	2,5	3,6	3,3	2,7



Rys. 2. Przebieg roczny ciśnienia pary wodnej e i niedosytu wilgotności Δ (hPa)

Zachmurzenie (dni pogodne i pochmurne), opady atmosferyczne oraz pokrywa śnieżna

Obszary na północ i wschód od Ostrołęki mają o 4% większe zachmurzenie, a obszary południowe o 6% mniejsze (średnie roczne zachmurzenie w Ostrołęce wynosi 66%). Najmniejsze zachmurzenie przypada w Ostrołęce na wrzesień – 53%, wówczas na południu od niej jest o 3% mniejsze, a na północo-wschodzie o 7% większe. Natomiast największe zachmurzenie występuje w listopadzie. W Ostrołęce osiąga 82%, na zachód od niej jest ono o 2% mniejsze, a na wschód o 8% większe. Z zachmurzeniem wiąże się występowanie liczby dni pogodnych. W Ostrołęce jest ich rocznie 37, na wschód od tego miasta wynosi 30 dni, a na północy nawet 10 dni. Dni pochmurnych jest 142, czyli odpowiednio o 18 i 38 dni więcej niż na wschodzie i północy, a na południu o 22 dni mniej niż w Ostrołęce.

Ostrołęka wyróżnia się małą ilością opadów. Średnia suma roczna opadów w Ostrołęce wynosi 540 mm. Sumy opadów na obszarze północo-wschodniej Polski wznoszą się na północ i południe od Ostrołęki są wyższe o 10-60 mm. Najwyższe opady występują w lecie, a szczególnie w sierpniu i lipcu, odpowiednio 73 i 72 mm. Na północy i północo-wschodzie są wyższe o 7-27 mm. Najniższe opady występują w marcu. W Ostrołęce – 23 mm, na pozostałym obszarze są o 7 mm wyższe.

Pokrywa śnieżna w Ostrołęce zalega przeciętnie 85 dni, natomiast w kierunku północo-wschodnim wzrasta do 100 dni.

Tabela 9. Średnia miesięczna wielkość zachmurzenia (%)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
76	74	60	61	62	57	60	59	53	64	82	80	66

Tabela 10. Średnia roczna wielkość zachmurzenia (%)

51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	Śr
60	68	61	69	64	63	66	69	65	69	68	70	63	63	67	66

Tabela 11. Średnia liczba dni pogodnych (<2) i pochmurnych (>8)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	R
<2	1,9	1,9	5,1	4,3	2,9	3,7	3,1	2,9	5,7	3,1	0,8	1,9	37,3
>8	17,5	14,8	11,5	10,1	10,0	7,4	7,9	7,1	6,5	10,7	18,5	20,6	142,6

Tabela 12. Średnia liczba dni pogodnych i pochmurnych w poszczególnych latach (19...)

	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
<2	55	33	45	32	30	44	39	34	44	31	37	15	44	46	31
>8	115	133	124	163	129	138	141	155	149	163	160	161	128	134	146

Tabela 13. Średnia miesięczna liczba dni z mgłą

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
5,1	4,4	2,6	2,6	1,1	1,1	1,3	2,7	2,9	7,6	5,7	7,6	44,7

Tabela 14. Średnia miesięczna liczba dni z mgłą w latach 1951-1965

51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
34	70	45	33	45	29	34	49	42	53	51	55	43	48	43

Wiatr

W Ostrołęce dominują wiatry z sektora zachodniego, zgodnie z cechą całej strefy szerokości umiarkowanej. Najczęściej południowo-zachodnie – 15,3%, a najrzadziej północnej – 8,2% i północno-wschodnie – 8,5%. Przypadki pogody bezwietrznej stanowią 17% obserwacji. Obszar Ostrołęki wyróżnia się małymi prędkościami wiatru, średnia prędkość wiatru wynosi 2,7 m/s. Prędkość wiatru wzrasta w kierunku północno-wschodnim do 4 m/s. Najsilniejsze wiatry występują zimą, a najsłabsze latem. Największe prędkości osiągają wiatry wiejące bardzo często, a więc południowo-zachodnie i zachodnie po 3,7 m/s. Najmniejszą prędkość mają wiatry, które występują najrzadziej (północno-wschodnie – 2,8 m/s). Liczba dni z wiatrem silnym i bardzo silnym w Ostrołęce wynosi odpowiednio – 16 dni i około 3 dni. Porównując z pozostałym obszarem, zauważa się wzrost liczby dni z takimi wiatrami – do 50 dni z wiatrem silnym i 18 dni z wiatrem bardzo silnym.

Porównanie wartości elementów klimatu w Ostrołęce z obszarem północno-wschodniej Polski miało na celu ustalenie tych cech klimatu Ostrołęki, które decydują o charakterze tego miasta i które wynikają z położenia geograficznego.

Tabela 15. Średnia miesięczna liczba dni z wiatrem silnym ($v > 10$ m/s) i bardzo silnym ($v > 15$ m/s)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
$v > 10$	2,6	2,2	2,0	1,5	1,2	0,5	0,6	0,9	0,8	0,9	1,8	1,1	16,1
$v > 15$	0,7	0,5	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	.	0,3	0,1	2,9

Tabela 16. Średnia roczna liczba dni z wiatrem silnym ($v > 10$ m/s) i bardzo silnym ($v > 15$ m/s) oraz ciszą (c %) w poszczególnych latach

	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
> 10	18	25	20	8	18	22	6	16	14	4	12	18	20	23	18
> 15	2	2	5	3	3	10	.	1	3	.	2	6	1	5	.

Tabela 17. Średnia roczna liczba obserwacji z ciszą (%) w poszczególnych latach 19...

51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
19,4	10,4	13,4	13,5	18,8	17,2	22,5	19,3	20,7	15,6	15,8	18,	12,1	10,9	12

W mieście dużą rolę odgrywa zapylenie i zadymienie powietrza, które zakłóca naturalny bilans termiczny, utrudnia dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego oraz wypromieniowanie energii cieplnej. W konsekwencji sprzyja wzrostowi temperatury powietrza i zmniejsza amplitudę dobową jej wahań. Ułatwia też tworzenie jąder kondensacji pary wodnej, powoduje częstsze występowanie mgły, wzrost ilości opadów, a także spadek usłonecznienia w ciągu roku.

W podsumowaniu oceny wpływów ośrodka miejskiego na jego warunki klimatyczne, możemy w odniesieniu do miasta Ostrołęki oczekiwać wzrostu temperatury minimalnej i niższej dobowej amplitudy temperatury. Należy spodziewać się większego zachmurzenia, wynikającego z rozwoju konwekcji nad miastem, a w efekcie większych opadów i większej liczby dni z opadem oraz zmniejszenia prędkości wiatru, ale prawdopodobnie kierunek wiatru będzie nadal sterowany przez Dolinę Narwi. Warunki w każdym większym mieście nie są jednolite, lecz są zróżnicowane przestrzennie, co wynika z nierównomiernej koncentracji zabudowy i zieleni oraz rozmieszczenia ośrodków przemysłowych.

7.3.7. Zróźnicowanie warunków klimatycznych na terenie Makowa Mazowieckiego (na podstawie obserwacji z lipca 1972 r. i 1973 r.)

Autor: Katarzyna STAROSTA

Opiekunowie naukowci: Witold LENART, Urszula KOSSOWSKA,
Maria STOPA BORYCZKA

Wstęp

Celem niniejszej pracy jest dokonanie analizy wpływu niewielkiego miasta na warunki klimatyczne, na przykładzie Makowa Mazowieckiego. Chodzi więc o wykazanie różnic jakie ewentualnie istnieją pomiędzy terenem miejskim a obszarem otaczającym oraz różnic w obrębie samego miasta wynikających z różnorodności jego struktury przestrzennej. Wpływ miasta na klimat jest niezaprzeczalny, ale ocena wielkości tego wpływu, rozkład parametrów klimatologicznych na terenie miasta oraz zależność między wielkością miasta a charakterem i wielkością odrębności klimatycznych są jeszcze dalekie do poznania. Dopiero serie pomiarów w miastach różnych wielkości dostarczyć mogą materiałów umożliwiających dokładne określenie tego wpływu w zależności od wielkości miasta i jego charakteru. Na terenie Polski badania takie prowadzone są przez Zakład Klimatologii Instytutu Geografii Uniwersytetu Warszawskiego.

W podziale fizycznogeograficznym J. Kondrackiego Maków leży w jednostkach: makroregion Niż. Północnomazowiecka, mezoregion Wysoczyzna Ciechanowska, subregion południowy

Pomiary na wysoczyźnie Makowskiej – w Makowie Mazowieckim stanowią początek tych badań w małej jednostce miejskiej. Założono przy tym, że już w niewielkim ośrodku miejskim można będzie, posługując się dostępnymi metodami pomiarowymi, wykryć i określić klimatyczny wpływ miasta.

Materiały i metody opracowań

Praca opiera się na materiałach zebranych podczas praktyk studenckich w lipcu 1972 i 1973 roku. Pomiary prowadzone były na dwóch bazach podstawowych – jednej reprezentującej teren zamiejski, a drugiej położonej w centrum miasta - oraz w pięciu punktach wzdłuż profilu przecinającego miasto ze wschodu na zachód.

Baza I reprezentowała stację zamiejską. Położona była na zachodnim skraju miasta tam, gdzie miasto kończy się wyraźną granicą, poza którą nie ma już terenów zabudowanych. Baza ta zlokalizowana była na boisku szkolnym Zespołu Szkół Zawodowych nr 2 w odległości 35 m od budynku. Od południa otaczały ją pola uprawne i łąki. Grunt wokół bazy pokryty był trawą.

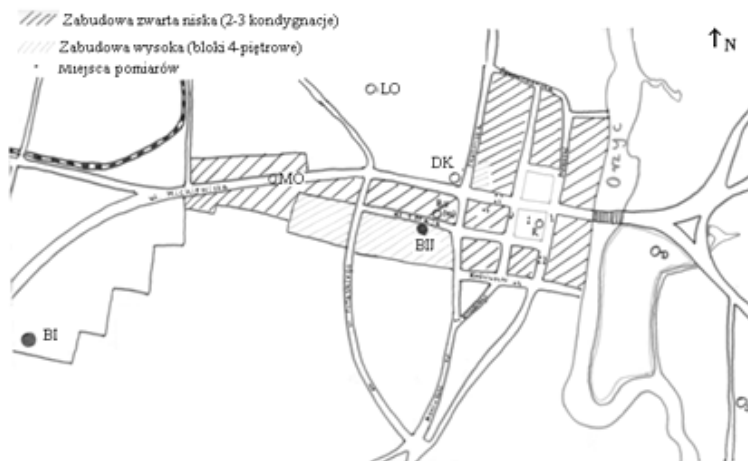
Baza I zlokalizowana poza miastem i baza II zlokalizowana w mieście (rys. 1) wyposażone były w następujące przyrządy pomiarowe:

- termohigrograf – na wysokości 1,5, 2,0 m n.p.g.
- psychrometr Augusta – 2,0 m
- termometry maksymalne – 0,25, 1,5, 2,0 m
- termometry minimalne. – 0,05, 0,25, 1,5, 2,0 m
- higrometr włosowy –2,0 m

- ewaporometr Pichea –2,0 m
- deszczomierz Hellmana, pluwiograf (B I), aneroid (B I), heliograf (B. I).

Poza pomiarami za pomocą wymienionych przyrządów wykonywane były pomiary psychrometrem Assamana na poziomach 0,25, 1,5, 2,0 m, pomiar prędkości wiatru anemometrem Robinsona na wysokości 1,5 m, pomiar ochładzania katatermometrem oraz prowadzone były obserwacje zachmurzenia, stanu gruntu i zjawisk.

Obserwacje w roku 1872 wykonywane były w terminach : 6³⁶, 9⁰⁰, 11⁰⁰, 12³⁶, 15⁰⁰, 17⁰⁰, 18⁰⁰, 19⁰⁰, 20³⁶, a w 1973 – w czasie kalendarzowym, tj. 6⁰⁰, 12⁰⁰, 21⁰⁰ zamiast 6³⁶, 12³⁶, 20³⁶.



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w Makowie Mazowieckim (skala 1: 5 000)

Oprócz wyżej wymienionych baz wyznaczono 5 punktów obserwacyjnych wzdłuż osi miasta, reprezentujących różne strefy miasta. Punkt 1 – położony był na głównej ulicy ul. Mickiewicza przy budynku Komendy Milicji Obywatelskiej (MO) na trawniku między dwoma jezdniami, Punkt 2 – znajdował się przy Liceum Ogólnokształcącym w ogrodzie warzywnym (LO), Punkt 3 znajdował się na Rynku na trawniku, Punkt 4 – na tarasie zalewowym Orzyca (w parku miejskim), Punkt 5 – położony we wschodniej części miasta, na skarpie, na dziedzińcu szkoły podstawowej. W punktach tych prowadzone były pomiary psychrometryczne na poziomach 0,25 i 1,5 m sposobem marszrutowym (przejazdu rowerem) w godzinach 6³⁰-7³⁰ i 18³⁰-19³⁰ według ustalonej kolejności.

Największe różnice temperatury powietrza w 1973 r. wystąpiły 2 lipca. Zmiany temperatury między 6 i 7 rano wynoszą : baza I – 3,3, MO – 4,3, DK – 4,6, dolina – 4,3, szk. podst. – 4,4°C/godz.

Zróznicowanie przestrzenne temperatury powietrza pokazują gradienty poziome: 1,9°C/100m (Rynek – dolina, godz. 20), 1,2°C/100m (Rynek – dolina, godz. 4), 0,3°C/100m (MO – bazą I, godz. 4), 0,6°C/100m (Rynek – DK, godz. 16).

Ważniejsze wyniki badań, próba regionalizacji

Już tak niewielka seria pomiarów jak badania przeprowadzone w dwu miesiącach, tj. w lipcu 1972 i lipcu 1973 (tab. 1-5, rys. 2-3) pozwala na uszeregowanie wniosków.

- Elementem meteorologicznym, którego zmiany są najbardziej zauważalne (poza bilansem promieniowania) jest temperatura powietrza.
- W Makowie zaobserwowano następujący wpływ miasta na temperaturę:
- Wyższe średnie miesięczne temperatury dla stacji miejskich DK, baza II, Rynek, MO
- Wystąpienie różnic temperatur w przebiegu dobowym – największe różnice między miastem a okolicą występują w godzinach popołudniowych i nocnych
- Powstanie wyraźnej wyspy ciepła (DK, baza II, MO) przy bezchmurnej pogodzie wyczerpanej, gdy różnice między miastami a terenem zamiejskim są największe,
- Podwyższenie temperatur minimalnych w mieście
- Przesunięcie maksimum temperatury w mieście na godziny późniejsze (nawet o 2 godziny),
- Wyraźne przesunięcia fazowe (te same temp. w mieście występowały znacznie wcześniej niż za miastem)
- Deformacja ogólnych czasowych zmian temperatury (np. złagodzenie wieczornych spadków temperatury)
- Miasto okazuje się więc ośrodkiem stosunkowo szybko gromadzącym ciepło a powoli je oddającym.
- Różnice wilgotności względnej w mieście dają się zauważyć przy analizie wybranych dni kiedy wyraźnie najsuchszymi stacjami są DK i MO, gdyż nie są otoczone żadną roślinnością. Natomiast średnie różnice między BI a BII są niewielkie (poniżej 1%).
- Wyraźny wpływ miast na zmniejszenie prędkości wiatru, zwłaszcza przy małych prędkościach różnice te są duże, ale ustalenie pewnej zależności jest trudne ze względu na małą masę statystyczną obserwacji kierunku i prędkości wiatru.
- Konieczne jest uzupełnienie badań przez dodatkowe pomiary psychrometryczne w różnych strefach miasta. Wyniki takich pomiarów są ciekawe, dają obraz cech klimatycznych poszczególnych ulic, placów, terenów rekreacyjnych, różnic zależnych od ekspozycji słonecznej, kierunku przebiegu ulicy, wiatru, odległości od roślinności domów. Tego typu badania były prowadzone w jednym wybranym dniu.
- Wybrana metoda pomiarów w oparciu o ciągły zapis termohigrografu wydaje się jedynie słuszną. Dzięki niej można było zaobserwować różnice całodobowych zmian między punktami pomiarowymi oraz zauważyć przesunięcia fazowe jakie występują w mieście względem obszaru zamiejskiego. Ponieważ zapis termohigrograficzny sprowadzany jest do reperowych pomiarów psychrometrem Assmana, istnieją dość istotne rozbieżności między pomiarem a zapisem zwłaszcza po zachodzie Słońca związane z „bezwładnością” klatki. Wymaga to rozstrzygnięcia, czy należy sprowadzać termohigrogramy poprzez odczyty psychrometru Augusta, czy też zastosować bardziej wietrzone klatki.
- Bardzo ważna w badaniach jest odpowiednia lokalizacja stacji, aby poszczególne stacje reprezentowały charakterystyczny dla miasta typ zabudowy. Lokalizacja stacji w Makowie Mazowieckim wydaje się trafna. Jediną zmianą w lokalizacji był punkt przy LO (1972 r.), który nie reprezentował większego obszaru miejskiego i miał na niego wpływ blisko położone tereny ogródka. Natomiast w 1973 r. zainstalowany punkt przy DK posiadał wybitnie „miejski” charakter. Wybrane punkty reprezentowały większość typowych dla miasta stref zabudowy. Zabrakło jedynie punktu na obszarze przemysłowo-składowym.

Tabela 1. Wartości temperatury powietrza na terenie Makowa Mazowieckiego w latach 1972 i 1973 na poziomie 1,5 m

h	1972				1973				
	MO	Rynek	Dolina	Szkoła	MO	DK	Rynek	Dolina	Szkoła
0	17,56	17,58	15,92	-	15,31	15,27	-	13,76	14,61
1	16,91	16,88	15,40	17,43	14,90	14,09	14,61	13,57	14,24
2	10,40	16,48	14,95	16,17	14,43	14,08	14,20	13,28	13,80
3	16,01	16,24	14,68	15,89	14,07	14,39	13,89	13,10	13,78
4	15,76	16,04	14,59	15,58	14,03	14,33	13,74	13,11	13,70
5	15,41	16,49	15,38	16,12	14,66	14,62	14,10	13,95	14,37
6	17,45	17,86	17,21	17,60	15,46	15,80	15,41	15,44	15,63
7	19,39	19,92	19,74	19,78	17,24	17,39	17,33	17,22	17,25
8	21,05	21,54	22,06	21,25	18,43	19,11	18,98	19,09	18,70
9	23,47	22,85	23,20	22,28	19,78	20,46	20,19	20,07	19,93
10	23,52	24,02	23,96	23,50	20,61	21,06	21,18	20,84	20,60
11	24,47	24,87	24,80	24,38	21,43	21,82	21,85	20,73	21,54
12	25,02	25,38	25,50	24,88	21,87	22,52	22,57	21,02	22,11
13	25,58	25,49	26,44	25,08	21,40	22,88	22,63	21,87	22,26
14	25,68	25,23	25,24	24,70	21,93	22,57	22,45	21,82	22,02
15	25,72	24,94	25,11	24,40	21,84	22,42	22,29	21,90	21,57
16	25,19	24,90	24,72	24,24	22,12	22,43	22,45	22,04	21,58
17	24,76	24,59	23,71	23,82	21,39	21,92	22,15	20,95	20,95
18	23,74	23,76	23,00	22,87	20,43	20,82	20,58	19,63	19,82
19	23,21	21,87	21,21	31,54	19,48	19,55	19,42	18,33	18,26
20	20,95	20,10	18,77	20,00	18,12	18,19	17,68	16,06	16,99
21	19,85	19,38	17,72	19,17	17,12	17,07	16,02	15,04	16,17
22	18,85	18,57	17,00	18,35	16,39	16,35	15,86	14,42	15,51
23	18,20	18,01	16,31	17,83	15,85	15,76	15,26	14,02	15,00
24	17,55	17,59	15,86	17,30	15,36	15,31	14,86	17,71	14,61
Śr	20,83	20,82	20,06	21,00	18,10	18,48	18,31	17,40	17,80

Tabela 2. Porównanie temperatury powietrza (°C), wilgotności względnej (%) i prędkości wiatru (m/s) w Makowie Mazowieckim w punktach pomiarowych BI i BII w lipcu 1972 i 1973

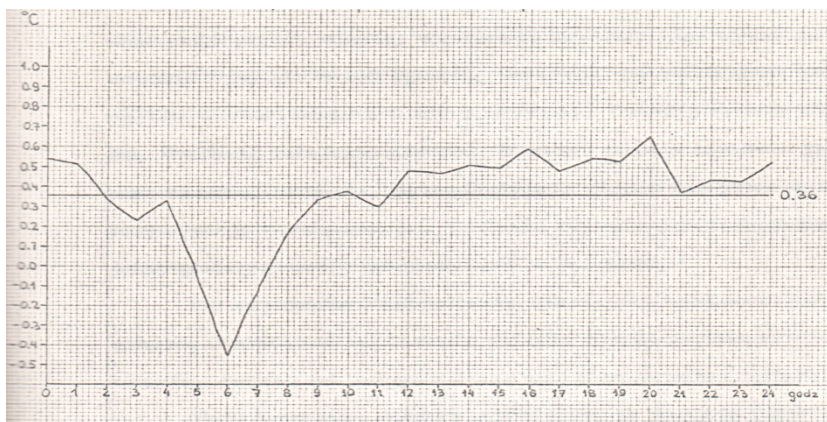
	Temperatura		Wilgotność		Pręd.wiatru		Kierunek wiatru	Zachmu-rzenie	Usłonecz-nienie	Typ pogody	Masy powietrza
	BI	BII	BI	BII	BI	BII					
Lipiec 1972											
10	21,0	21,4	67	65	1,7	1,2	W	3,0	10,6	wyż	PPms
16	25,3	25,4	70	72	1,2	0,7	E	1,7	13,7	wyż	PPk
24	22,5	24,2	66	59	-	0,3	SE	1,3	13,0	wyż	PPk
29	24,2	25,2	60	56	1,4	0,2	SE	4,0	12,0	niż	PPk
Lipiec 1973											
2	23,6	23,8	46	46	0,9	1,4	NW	2,3	14,6	wyż	PPk
17	23,7	23,9	61	57	1,2	1,0	SW	2,0	12,6	niż	PPms
31	20,7	21,2	65	59	0,5	1,1		2,0	13,3	wyż	PPms

Tabela 3. Zakres wahań temperatury powietrza w różnych punktach Makowa Mazowieckiego w dniu 31 VII 1973 r. w czasie 11-13 i 16-18

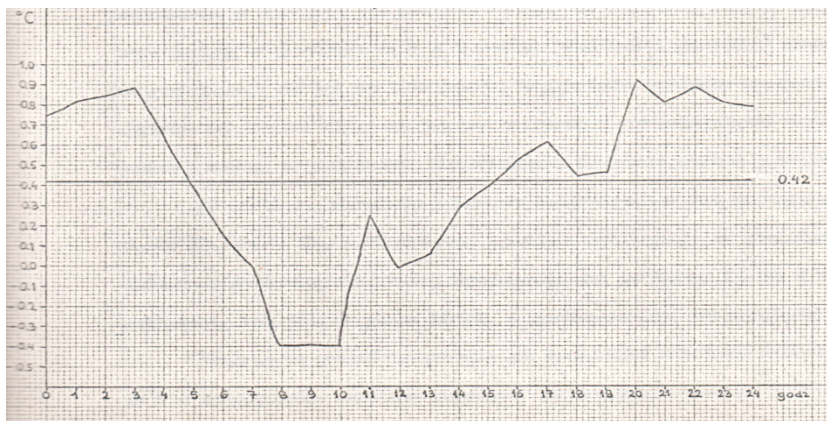
h	Baza I	Ul. Mickiewicza			Rynek			PKS		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
11-13	1,5	1,8	1,9	1,9	2,6	2,1	3,1	1,6	1,0	1,6
16-18	2,4	1,8	2,1	2,6	2,0	2,1	1,6	1,8	2,2	1,8

Tabela 4. Spadek wilgotności względnej powietrza między godz. 6 i 8 rano (%/godz.)

Baza I	MO	Baza II	DK	R	Dolina	Sz. Podst.
12	29	16	24	16	11	6



Rys. 2. Przebieg dobowy różnic temperatury powietrza (średni) między bazą II i bazą I w lipcu 1972 na poziomie 2m



Rys. 3. Przebieg dobowy różnic temperatury powietrza (średni) między bazą II i bazą I w lipcu 1973 na poziomie 1,5 m

Przeprowadzone badania pozwoliły na wyróżnienie w mieście stref różniących się warunkami klimatycznymi. Cztery wyróżnione strefy wiążą się z różnym rodzajem zabudowy miejskiej, natomiast strefa doliny związana jest z odmiennymi warunkami topograficznymi.

Pierwsza strefa to obszary ze starą zabudową 2-3 kondygnacją wokół Rynku (ograniczone doliną Orzyca, ul. Kościuszki – od pld., Moniuszki i Przasnyską – od zach., Franciszkańską – od pln.), oraz tereny wzdłuż ulicy Mickiewicza. Reprezentują go dwie stacje „MO” i „Rynek”. Jest to obszar o zwiększonych średnich temperaturach miesięcznych w stosunku do terenu zamiejskiego, a także o wyraźnym przesunięciu fazowym temperatur, co jest charakterystyczne właśnie dla miasta. Różnice wilgotności w tej strefie są duże i zależą przede wszystkim od roślinności. Na terenie, gdzie zieleni jest mało, np. ul. Mickiewicza, zmniejszenie wilgotności jest bardzo znaczne, natomiast obecność zieleni miejskiej w rynku czy w okolicy kościoła wpływa na złagodzenie niekorzystnych wpływów miejskiej zabudowy.

Druga strefa obejmuje tereny zabudowy wysokiej 4-piętrowych bloków (między ulicą Moniuszki a Puławskiego). Reprezentują dwie stacje baza II i DK, które były najbardziej „miejskimi” stacjami. W tej strefie znajduje się centrum termiczne miasta. Temperatury średnie miesięczne są wyższe niż za miastem. Wyraźne są przesunięcia fazowe i duże różnice między terenem zamiejskim w godzinach popołudniowych i nocnych. Wilgotność tej strefy jest niższa niż obszaru zamiejskiego. W strefie tej jest za mało zieleni (np. zlikwidowano skwerek za DK).

Zupełnie odmienne warunki klimatyczne posiada dzielnica willowa, którą reprezentowała w 1972 r. stacja LO. Zabudowa willowa występuje na północ i na południe od wyznaczonych dwu pierwszych stref. Tutaj specyficznych miejskich warunków nie ma. Niska zabudowa z ogrodami wpływa na to, że temperatury nie różnią się od terenu zamiejskiego a wilgotność jest wysoka (czasami wyższa niż poza miastem).

Innych warunków klimatycznych należy spodziewać się w dzielnicy przemysłowo-składowej w północnej i północno-wschodniej części miasta, toteż wyodrębniono ten obszar w osobną strefę.

Odrębnym zupełnie terenem już nie związanym z zabudową ale charakterystycznym dla miasta jest dolina Orzyca z parkiem. Silny i wyraźny jest tutaj wpływ topografii, zmniejszona jest znacznie średnia miesięczna temp., występują tu najniższe temp. minimalne i duże amplitudy. Na terenie miasta wpływ doliny jest większy w kierunku wschodnim (ku szkole podstawowej) niż w kierunku centrum miasta, gdzie brzeg jest wysoki. Kiedy drzewa w nowo założonym parku podrosną, warunki klimatyczne w dolinie ulegną poprawie.

Klasyfikacja zabudowy miasta przedstawiona jest na planie rys. 1.

Przy dalszej rozbudowie miasta należy starać się o zachowanie dostępu powietrza od zachodu, nie należy też likwidować istniejących już obecnie terenów zielonych a zwiększyć je w nowych dzielnicach.

Tabela 5. Cechy termiczne i wilgotnościowe terenów miasta Maków Mazowiecki

Nazwa strefy	Stacja	Temperatura	Wilgotność
1. Centrum miasta ze zwartą zabudową 2-3 kond. i terenami zielonymi. Zabudowa niska bez zieleni	Rynek MO	Wzrost temperatury śr. miesięcznej 18,3°C 18,1°C	Znaczne zmniejszenie wilgotności na obszarach bez zieleni
2. Zabudowa 4-piętrowa zwarta	Baza II DK	Największe dodatnie różnice temp. między terenem zamiejskim, przesunięcie maksimów 18,5°C	Zmniejszenie wilgotności
3. Dzielnica willowa	LO		Wilgotność taka sama lub wyższa niż za miastem
4. Tereny składowo-przemysłowe	-		
5. Dolina	Dolina	17,4°C Najniższe średnie temp. Najniższe temp. minimalne Zwiększenie amplitud temperatury	

7.3.8. Zróźnicowanie warunków bioklimatycznych na terenie Makowa Mazowieckiego (na podstawie obserwacji z lipca 1972 i 1973 roku)

Autor: Barbara G A B R Y L

Opiekunowie naukowci: Wincenty O K O Ł O W I C Z, Maria K O P A C Z

Cel pracy

Miasto – sztuczne środowisko, charakteryzujące się specyficznymi cechami, takimi jak: szczególne podłoże (asfalt), duży udział kamienia w swojej budowie, topografia (sieć ulic, wysokość domów, emisja różnych zanieczyszczeń) – wytwarza swój własny, odrębny klimat, różniący się od klimatów terenów sąsiednich.

Zakład Klimatologii IG UW podjął opracowanie zagadnienia wielkości wpływu miasta na klimat lub inaczej: cech klimatu miejskiego. Innymi słowy, chodzi o odpowiedź na pytanie, przy jakiej wielkości miasta pojawia się ten miejski klimat i jak się zmienia jego wpływ w miarę rozrastania się aglomeracji miejskiej. Za najmniejsze ogniwo tych badań zostało wybrane 6-cio tysięczne miasto Maków Mazowiecki, położony na krańcu Wysozczyzny Ciechanowskiej mezoregionu Nizin Północnych (wg. podziału J. Kondrackiego). Następnym etapem badań ma być miasto Sierpc.

Niniejsza praca stanowi ocenę wyników badań mikroklimatycznych, przeprowadzonych na terenie miasta Makowa Mazowieckiego. Badania te prowadzone były w lipcu dwóch kolejnych lat: 1972-1973 i posłużyły jako materiał do dwóch prac magisterskich. W pracy badano zróźnicowanie warunków bioklimatycznych, w odróżnieniu od K. Starosty (7.3.7) – zróźnicowanie elementów meteorologicznych.

Na podstawie cogodzinnych wartości ciśnienia pary wodnej i temperatury obliczono wartości temperatury ekwiwalentnej z wzoru:

$$T_e = T + \Delta T$$

gdzie $\Delta T = c_u x / c_p$ jest ekwiwalentnym przyrostem temperatury powietrza, x – stosunek zmieszania, c_u – ciepło utajone kondensacji, c_p – ciepło właściwe powietrza suchego przy stałym ciśnieniu. Zastosowano przybliżony wzór Robitzcha:

$$T_e \approx T + 2e$$

gdzie ciśnienie pary wodnej e wyrażone jest w mm Hg.

Inne wskaźniki wyznaczono na podstawie specjalnych nomogramów jak na przykład temperatura efektywna – wg nomogramu Jakowienko (na podstawie odczytów z psychrometru Augusta i pomiarów prędkości wiatru), bądź bezpośrednio mierzone odpowiednimi przyrządami, jak np. ochładzanie za pomocą katatermometru Hilla.

Materiały

Podstawowy materiał opracowania stanowi termohigrogramy z poziomu 1,5 m (przyjętego jako przeciętna wysokość człowieka). Wyniki te jak i wyliczone na ich podstawie wskaźniki bioklimatyczne przedstawiono w specjalnych zestawieniach zbiorczych.

Przy obliczaniu innych wskaźników bioklimatycznych, codzienne wartości zestawiono dla czterech zmiennych: temperatury, wilgotności względnej, ciśnienia pary w hPa i w mm Hg. Na podstawie wyżej wymienionych parametrów obliczono podstawowe wskaźniki bioklimatyczne dla wszystkich punktów pomiarowych z lat 1972 i 1973: temperaturę ekwiwalentną – niedosyt fizjologiczny.

Ponadto oparto niniejszą pracę na pomiarach: katatermometrycznych (w dwóch punktach w 9 terminach), psychrometrycznych (psychrometr Augusta), prędkości wiatru (anemometr Robinsona), opadów (deszczomierz Hellmana), usłonecznienia (heliograf Campela – Stokesa) oraz na obserwacjach zachmurzenia.

Badania w Makowie Mazowieckim przeprowadzono w następujących punktach pomiarowych: na dwóch tzw. bazach, z których jedna (Baza I) reprezentowała warunki pozamiejskie, a druga (Baza II) warunki miejskie, wyposażonych w komplet przyrządów: duża klatka na poziomie 2 m, a w niej psychrometr Augusta, termohigrograf, ewaporometr Piche'a, higrometr włosowy, termometry ekstremalne; samopis na poziomie 1,5 m, deszczomierz, pluwiograf i heliograf (tylko na Bazie I), termometry ekstremalne na 3 poziomach (2 m – duża klatka, 1,5 m i 0,25 m).

Pięć punktów ustawionych na profilu biegnącym przez miasto z zachodu na wschód, wyposażono przede wszystkim w samopisy na poziomie 1,5 m oraz w termometry ekstremalne na poziomie 1,5 m i 0,25 m oraz deszczomierze (z wyjątkiem punktu przy Domu Kultury w 1973 r., gdzie zainstalowano tylko samopis). Ponadto dokonywano na obu bazach pomiarów psychrometrem aspiracyjnym Assmana na 3 poziomach: 2,0, 1,5, 0,25 m, prędkości wiatru anemometrem Robinsona, ochładzania katatermometrem Hilla oraz prowadzone obserwacje zachmurzenia. Wszystkie pomiary prowadzono w 9 terminach: w 1972 – 6³⁶, 9⁰⁰, 11⁰⁰, 12³⁶, 15⁰⁰, 17⁰⁰, 18⁰⁰, 19⁰⁰. Na pozostałych punktach prócz odczytów termometrów ekstremalnych dokonywano pomiarów psychrometrem Assmana na trzech poziomach, dwa razy dziennie (rano i wieczorem) stosując objazdy (każdy punkt w określonym terminie).

Charakterystyka Makowa Mazowieckiego, jako zespołu miejskiego

Typy zabudowy

- Zabudowa zwarta, wysoka – centrum miasta wokół rynku /prawy brzeg ograniczone ulicami: Franciszkańską, Przasnyską, Kościuszki
- Zabudowa zwarta, niska – nowe dzielnice mieszkaniowe, otoczone ulicami Mickiewicza od pn., Przasnyską od wsch., dzielnic willowych od pd., oraz od zachodu innym typem zabudowy.
- Zabudowa niska, luźna – stanowią je tereny wysunięte najbardziej na zachód, zajęte przez kompleks nowo wybudowanych i b. nowoczesnych szkół zawodowych. Właśnie poza tą strefą zlokalizowana była stacja pozamiejska – Baza I
- Zabudowa luźna, wysoka – dzielnica nowych domów mieszkalnych.
- Tereny przemysłowe – przede wszystkim pn. część miasta na prawym brzegu – zakłady zlokalizowane wzdłuż osi – ul. Przasnyskiej – zakład takie jak: ZREMB, PZGS, Centrala Nasiennictwa, oraz na lewym brzegu, na wsch. od ul. Mazowieckiej POM, Spółdzielnia. Usługowo-wytwórcza Kółek Rolniczych, Przedsiębiorstwo Budownictwa Komunalnego.

- Zabudowa willowa – w trzech obszarach (domki w otoczeniu ogródków działkowych)
 - a. na prawym brzegu Orzyca, na pd. od centrum miasta między ulicami Moniuszki a Pułaskiego (teren dodatkowych pomiarów w dniu 31.07.73)
 - b. na prawym brzegu Orzyca, na zachód od strefy przemysłowej, zlokalizowanej wzdłuż ulicy Przasnyskiej
 - c. na lewym brzegu – oprócz niewielkiego wycinka o zabudowie typu przemysłowego.
- Zabudowa wiejska– zagrody w otoczeniu ogródków – obszar na lewym brzegu Orzyca, tu na skarpie, ciągnący się między strefą willową a do lasu “Grzanka”.
- Tereny zielone w Makowie Mazowieckim
- Rynek z bardzo ładnym skwerem
- Dolina Orzyca – nowy park miejski, świeżo założony wraz z basenem kąpielowym
- Cmentarz i Stary Park w pd.-zach. części miasta Las “Grzanka” graniczy z miastem (lewy brzeg) – miejsce rekreacji mieszkańców. W lesie tym znajduje się cmentarz ku czci żołnierzy poległych w II wojnie światowej. Las “Grzanka” jest zwartym kompleksem leśnym – las mieszany dębowo-grabowo-sosnowy, w pd. części piękny starodrzew. Typy zabudowy i lokalizację punktów w Makowie Mazowieckim przedstawiają rys. 1-2.

Lokalizacja punktów pomiarowych

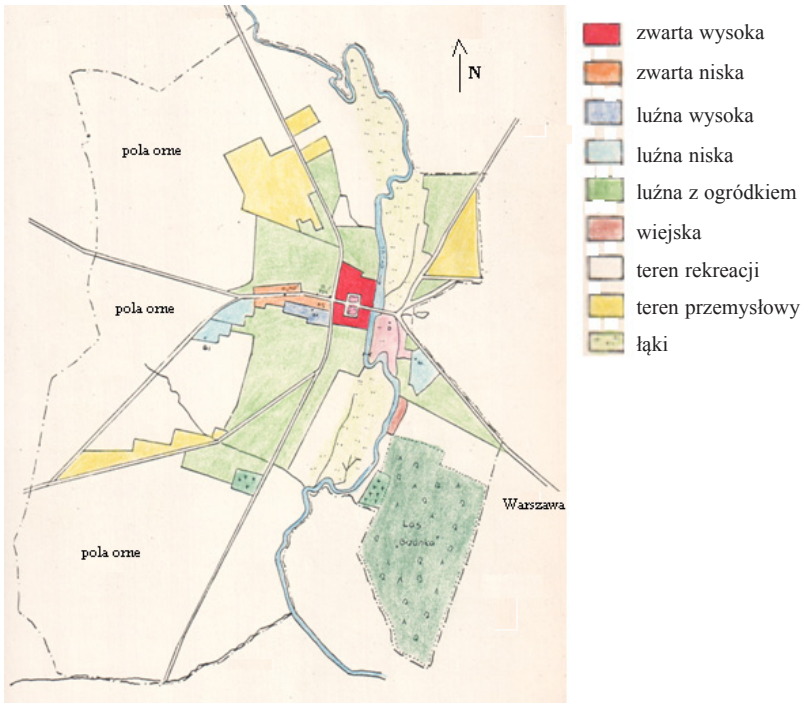
Główną osią miasta jest arteria przelotowa wschód – zachód – ulica Mickiewicza i północ – południe ulica Przasnyska. Punkty pomiarowe przecinające miasto na profilu usytuowane były wzdłuż arterii wschód – zachód ul. Mickiewicza. Opis poszczególnych punktów przedstawia tabela 1. Ważniejsze wyniki badań przedstawiono w tabelach 2-15.

Tabela 1. Lokalizacja punktów pomiarowych

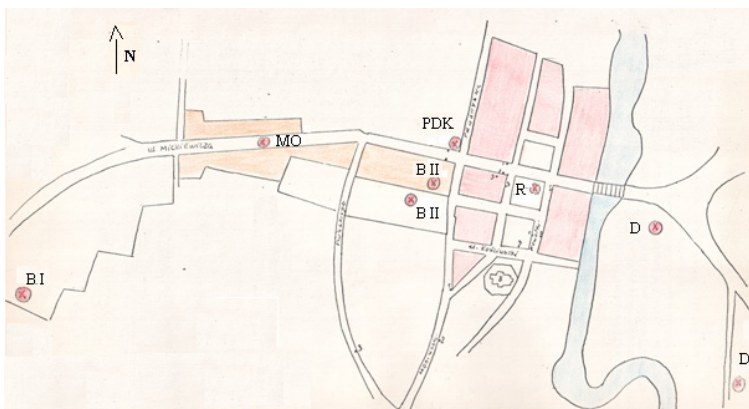
Punkty	Typ zabudowy	Otoczenie
Baza I	poza mastem	Baza I położona była na otwartej przestrzeni, za boiskiem sportowym, w odległości 100 m od pierwszych budynków. Na południe od terenu szkół zawodowych ciągną się pola uprawne
MO	zwarta niska	Punkt MO położony był na ulicy Mickiewicza, głównej arterii przelotowej. Na wysokim trawniku dzielącym trasę na dwa pasma. Na trawniku co 50 m posadzone były małe, niewysokie drzewka,
Baza II	zwarta wysoka	Baza II w 1972 r. zlokalizowana była na małym skwerku przy pomniku. Trawnik otoczony był niskim żywopłotem. W odległości 80 m w kierunku wschodnim znajdowały się domy zabudowy zwartej, a w kierunku pd. w odległości 30 m budynki 4-piętrowe.
	luźna wysoka	Baza II w 1973 r. zlokalizowana była na podwórku między dwoma wysokimi wieżowcami. Budynki otaczały punkt ze strony wsch. i zach., od pd. podwórko to było ograniczone niższą od budynków ścianą zieleni – strefą ogródków działkowych.
PDK	zwarta	Punkt „PDK” położony był na skrzyżowaniu dwóch głównych ulic Makowa – Mickiewicza i Przasnyskiej; miejsce to jest jednocześnie pograniczem dzielnicy o zabudowie zwartej wysokiej z niską
Rynek	zwarta wysoka	Punkt „Rynek” położony był na skraju skwerku, po jego stronie wschodniej, stosunkowo blisko głównej ulicy Mickiewicza. Domy po drugiej stronie Placu Dzierżyńskiego, otaczające punkt od wsch. znajdowały się w odległości 14 m. Punkt otoczony był krzewami i drzewkami o wys. od 0,5 do 2,0 m
Dolina	teren zielony	Punkt „Dolina” zlokalizowany był na szerokim tarasie zalewowym Orzyca, na terenie nowo założonego parku, w otoczeniu drzew o wys. około 6 m
Szkoła Podst.	Otoczenie zabudowy willowej	Punkt ten znajdował się przy dużym, wysokim budynku szkoły podstawowej, na przeciwległym wysokim brzegu. Otoczenie punktu stanowiły niewielkie zarośla i krzewy o wysokości ok. 0,5 m.

Wnioski dotyczące wpływu miasta na klimat i zróżnicowania warunków bioklimatycznych w mieście

- Istnieje wpływ 6 tysięcznego miasta na klimat.
- Wpływ ten przejawiał się w występowaniu wyspy przegrzania – parność nad miastem i związanym z tym zjawiskiem przesunięciem fazowym.
- Dzielnica o zabudowie zwartej, wysokiej i niskiej jest siedliskiem wyspy termicznej. Większa suchość panuje w dzielnicy o zabudowie niskiej, a parność- o zabudowie wysokiej.
- Tereny zielone, skwer w Rynku oraz dzielnice willowe działają łagodząco na kontrasty klimatyczne – w czasie upałów stanowią wyspę komfortu. Tereny zielone w mieście, na skutek większej suchości powietrza wykazują w godzinach popołudniowych mniejszą parność niż kompleks leśny.
- Wpływ topografii, a szczególnie forma dolinna nie zaciera się przez wpływ miasta. Dolina rzeczna reaguje całkiem niezależnie, w przypadku Makowa – z małym pokryciem roślinności – jest miejscem dużych kontrastów w warunkach odczucia.
- Stwierdzono występowanie w Makowie pewnego dobowego rytmu zmian w warunkach odczucia bioklimatycznego i zjawiska oscylacji – przemieszczania się wyspy przegrzania – parności z centrum miasta na tereny go okalające.



Rys. 1. Typy zabudowy w Makowie Mazowieckim



Rys. 2. Lokalizacja punktów pomiarowych

Tabela 2. Kryteria oceny warunków bioklimatycznych

Temperatura	$> 25^{\circ}\text{C}$ $> 30^{\circ}\text{C}$	gorąco upalnie
Wilgotność względna	f (%)	wg klimat. rosyjskich
	$f < 30$	1. wybitnie sucho
	$30 < f < 55$	2. sucho
	$55 < f < 70$	3. umiarkowanie sucho
	$70 < f < 85$	4. wilgotno
	$f > 85$	5. bardzo wilgotno
Ciśnienie pary wodnej	$e > 14,1$ mm Hg	parno kryterium Scharlau
Niedosyt fizjologiczny	N (mm Hg)	
	$N < 34,0$	parno
	$34,0 < N < 40,0$	komfort
	$N_f > 40,0$	sucho (zn. fizjologiczne)
Temperatura ekwiwalentna	T_e ($^{\circ}\text{C}$)	wg Jakowienko, 1927
	$T_e < 32$	1. przyjemnie chłodno
	$32 < T_e < 44$	2. komfort
	$44 < T_e < 56$	3. lekko gorąco
	$T_e > 56$	4. parno
Temperatura efektywna	TE (o)	
	$TE \leq 16,7$	przechłodzenie
	$16,7 < TE \leq 20,6$	komfort
	$TE > 20,6$	przeżrzenie
Ochładzanie	Q (mcal/cm ² .s)	S. Petrovič i M. Kacvinsky
	$1,0 < Q < 5,0$	1. upalnie
	$5,0 < Q < 10,0$	2. gorąco
	$10,0 < Q < 15,0$	3. łagodnie
	$15,0 < Q < 20,0$	4. przyjemnie chłodno
	$20,0 < Q < 30,0$	5. zimno
	$30,0 < Q < 40,0$	6. bardzo zimno

Tabela 3. Częstość występowania temperatury powietrza: $T > 25^{\circ}\text{C}$ i $T > 30^{\circ}\text{C}$, Δ – różnica dodatnia (+) lub ujemna (-)

1972				1973		
$^{\circ}\text{C}$	Baza II	Baza I	Δ	Baza II	Baza I	Δ
$T > 30$	23,0	1,3	+	-	-	-
$T > 25$	19,2	20,6	-	8,3	7,4	+
			Δ			Δ
	MO	Baza I		MO	Baza I	
$T > 30$	3,5	1,3	+	-	-	
$T > 25$	20,7	20,6	0	8,3	7,4	+

Tabela 4. Częstość występowania warunków odczucia cieplnego wg wilgotności względnej (f , %) w mieście i poza miastem, Δ – różnica dodatnia (+) lub ujemna (-)

Warunki B II		1972			1973		
		B I	Δ	B II	B I	Δ	
1.	Wybitnie sucho	0,3	-	+	0,1	0,1	0
2.	Sucho	20,9	17,6	+	19,8	19,9	0
3.	Umiarkowanie sucho	16,3	17,6	-	14,0	13,6	+
4.	Wilgotno	20,4	23,2	-	19,2	21,1	-
5.	Bardzo wilgotno	42,1	41,5	0	46,9	45,3	+
		MO	B I	Δ	MO	B I	Δ
1.	Wybitnie sucho	3,1	-	+	3,0	0,1	+
2.	Sucho	24,3	17,6	+	19,4	19,9	0
3.	Umiarkowanie sucho	4,4	17,6	-	14,2	13,6	+
4.	Wilgotno	8,0	23,2	-	15,4	21,1	-
5.	Bardzo wilgotno	40,2	41,6	-	40,0	45,3	+

Tabela 5. Częstość występowania warunków odczucia cieplnego wg temperatury ekwiwalentnej (T_e) w mieście i poza miastem

Warunki B II		1972			1973		
		B I	Δ	B II	B I	Δ	
1.	Przyjemnie chłodno	2,6	3,7	-	3,3	5,7	-
2.	Komfort	35,4	37,3	-	57,6	60,0	-
3.	Lekko parno	48,9	43,5	+	38,2	33,1	+
4.	Parno	13,1	15,5	-	0,8	1,2	-
		MO	B I	Δ	MO	B I	Δ
1.	Przyjemnie chłodno	1,2	3,7	-	4,2	5,7	-
2.	Komfort	35,8	37,3	-	62,3	60,0	+
3.	Lekko parno	50,7	43,5	+	33,4	33,1	0
4.	Parno	12,3	15,5	-	0,1	1,2	-

Tabela 6. Częstość występowania warunków odczucia wyznaczonych wg temperatury efektywnej (*TE*) w mieście i poza miastem

	1972			1973		
	B II	B I	Δ	B II	B I	Δ
1. przegrzanie	67,2	47,1	+	8,9	6,3	+
2. komfort	18,7	31,0	-	40,0	44,8	-
3. przechłodzenie	14,1	21,9	-	41,1	48,9	-

Tabela 7. Częstość występowania warunków odczucia wyznaczonych wg ochładzania w mieście i poza miastem (1973)

	B II	B I	Δ
1. upalnie	0,3	0,3	0
2. gorąco	38,7	32,1	+
3. łagodnie	47,6	48,4	-
4. przyjemnie chłodno	15,1	17,2	-
5. chłodno	0,6	2,1	-
5. zimno	-	0,2	-

Tabela 8. Średnie różnice *TE* (B II - B I)

	7 ⁰⁰	9 ⁰⁰	11 ⁰⁰	13 ⁰⁰	15 ⁰⁰	17 ⁰⁰	18 ⁰⁰	19 ⁰⁰	21 ⁰⁰
Lipiec 1972	+2,1	+2,1	+1,7	+2,6	+2,3	+1,4	+0,9	+1,9	+1,7
Lipiec 1973	+1,3	+1,7	+1,7	+2,4	+2,6	+2,4	+2,3	+0,8	+0,3

Tabela 9. Średnie różnice *Te* (wg Jakowienko) w 1973

	7 ⁰⁰	9 ⁰⁰	11 ⁰⁰	13 ⁰⁰	15 ⁰⁰	17 ⁰⁰	18 ⁰⁰	19 ⁰⁰	21 ⁰⁰
	+0,1	-0,7	-0,2	+0,9	+0,4	+1,1	+0,7	+0,7	+0,3

Tabela 10. Częstość występowania warunków odczucia wyznaczonych wg wilgotności względnej w lipcu 1972 (% – częstość skumulowana)

	$f < 30$	$30 < f < 55$	$55 < f < 70$	$70 < f < 85$	$f > 85$
Baza I	-	17,6	17,6	23,2	41,6
%	-	17,6	35,2	58,4	100,0
Baza II	0,3	20,9	16,3	20,4	42,1
%	0,3	21,2	37,5	57,9	100,0
MO	3,1	24,3	14,4	18,0	40,2
%	13,1	27,4	41,2	59,8	100,0
Rynek	0,6	25,8	14,2	17,6	41,8
%	0,6	26,4	40,6	58,2	100,0
Dolina	1,1	8,3	24,9	18,3	47,4
%	1,1	9,4	39,3	53,6	100,0
Sz. Podst.	0,2	22,4	16,1	17,7	43,6
%	0,2	22,6	38,7	56,4	100,0

Tabela 11. Częstość występowania warunków odczucia wyznaczonych wg wilgotności względnej w lipcu 1973 (% – częstość skumulowana)

	f<30	30<f<55	55<f<70	70<f<85	f>85
Baza I	0,1	199,0	18,6	21,1	45,3
%	0,1	20,0	33,6	54,7	100,0
MO	3,0	19,4	14,2	15,4	48,0
%	3,0	22,4	36,6	52,0	100,0
Baza II	0,1	19,8	14,0	19,2	46,9
%	0,1	19,9	33,9	63,1	100,0
PDK	1,0	21,3	12,1	16,2	48,8
%	11,6	22,9	35,0	51,2	100,0
Rynek	0,4	21,3	13,2	16,1	49,0
%	0,4	21,7	34,9	51,0	100,0
Dolina	-	9,2	17,8	18,2	54,8
%	-	9,2	27,0	45,2	100,0
Sz. Podst	-	12,6	14,8	20,3	52,0
	-	12,6	37,4	43,0	100,0

Tabela 12. Częstość występowania warunków odczucia wyznaczonych wg temperatury ekwiwalentnej (Te) w lipcu 1972

	Baza I		MO		Baza II		Rynek		Dolina		Sz. Podst.	
1	3,7	100,0	1,2	100,0	2,6	100,0	2,7	100,0	2,5	.	1,0	.
2	37,3	96,3	35,8	98,8	35,4	97,4	34,4	98,3	34,3	95,6	32,6	99,0
3	43,5	68,0	50,7	63,0	48,9	62,0	49,3	63,9	37,5	62,2	51,0	66,4
4	15,5	15,5	12,3	12,3	13,1	13,1	14,6	14,6	24,7	24,7	15,4	15,4

Tabela 13. Częstość występowania warunków odczucia wyznaczonych wg temperatury ekwiwalentnej (Te) w lipcu 1973 (% – częstość skumulowana)

	Te<32	32<Te<44	44<Te<56	Te>56
Baza I	5,7	60,0	33,1	1,2
%		94,3	34,3	1,2
MO	4,2	62,3	33,4	0,1
%		95,8	33,5	0,1
Baza II	3,4	57,6	38,0	0,8
%	5,7	96,6	39,0	0,8
PDK	3,2	58,7	37,8	0,3
%		96,8	38,1	0,3
Rynek	3,8	58,9	36,1	1,2
%		96,2	37,3	1,2
Dolina	7,8	52,3	36,9	3,0
%		92,2	39,9	3,0
Sz. Podst	6,1	60,8	31,0	2,1
		93,9	33,1	2,1

Tabela 14. Częstość dodatnich różnic ($\Delta > 0$) wartości wskaźników między Bazą II a Bazą I (%) w godzinach 7⁰⁰-21⁰⁰

Δ		7 ⁰⁰	9 ⁰⁰	11 ⁰⁰	13 ⁰⁰	15 ⁰⁰	17 ⁰⁰	18 ⁰⁰	19 ⁰⁰	21 ⁰⁰
TE	1972	76,9	85,2	88,9	87,1	80,0	73,1	92,0	88,9	70,0
TE	1973	57,1	61,5	63,6	76,0	78,9	71,4	70,8	62,1	41,7
Te	1973	44,8	31,0	46,2	63,3	57,7	75,0	70,8	72,4	60,0
Q	1973	63,0	64,3	70,8	75,0	75,0	73,9	40,9	51,8	54,6

Tabela 15. Charakterystyka dni specjalnych

Dzień	Klasa pogody	Masy Pow.	T_{sr} °C	f %	13^b e mm Hg	T_e °C		TE		Q mcal/cm ³ s
						B I	B II	B I	B II	
10.07.1972	II III	W, Pms	21,0	67	12,9	51,8	49,2	20,1	20,6	7,9
15.07.1972		W, PPK	24,6	69	15,9	0,5	62,7	22,1	24,1	4,4
2.07.1973	II	W, PPK	23,5	46	10,4	46,2	47,4	18,5	23,0	4,9
7.07.1972	II III	W, PPM	20,6	60	11,5	48,2	47,0	18,9	18,9	4,7
29.07.1972	II	PF'ms	24,2	60	14,7	58,9	56,0	1,8	21,0	4,9
31.07.1973	II III	W, PPMs	20,7	65	10,4	43,9	45,1	12,7	18,7	5,6
19.07.1973	VII	N, PPMs	16,1	77	11,0	38,9	38,1	-	9,5	18,8

7.4. Klimat Niziny Południowopodlaskiej

7.4.1. Klimat województwa siedleckiego

Autor: Małgorzata R O G O W I E C

Opiekunowie naukowci: Maria S T O P A - B O R Y C Z K A,

Krzysztof O L S Z E W S K I

Wprowadzenie

W ciągu kilku ostatnich lat w Zakładzie Klimatologii Instytutu Geografii Uniwersytetu Warszawskiego prowadzone są prace mające na celu zbadanie klimatu Polski Północno-Wschodniej. Po przeprowadzonej 1975 r. reformie administracyjnej zajęto się opracowaniem klimatu województw tej części kraju.

Praca jest próbą oceny klimatu województwa siedleckiego. Uwzględniono między innymi te elementy klimatologiczne: (promieniowanie słoneczne, usłonecznienie, temperatura powietrza, wilgotność powietrza, zachmurzenie, opady atmosferyczne, wiatr), które mogą być przydatne z rolniczego punktu widzenia. Województwo siedleckie jest bowiem regionem rolniczym. Produkcja rolnicza jest w znacznym stopniu zależna od warunków meteorologicznych. Znajomość rozkładu w czasie i przestrzeni poszczególnych elementów meteorologicznych może przyczynić się do zwiększenia efektywności rolnictwa. Również działalność innych działów gospodarki narodowej: (budownictwo, transport, leśnictwo) jest uzależnione od panującej w danym okresie pogody. Z tego względu znajomość klimatu, który według W. Okołowicza jest charakterystycznym ustrojem, okresowo i nieokresowo zmieniającym się całokształtem warunków atmosferycznych i stanów (stosunków) pogody, właściwym dla danego miejsca (obszaru) i danego okresu czasu, określonym zazwyczaj na podstawie wieloletnich obserwacji, może stać się przydatna przy opracowywaniu planów gospodarczych.

Województwo siedleckie zajmuje 8,5 tys. km² powierzchni, co stawia je na 10 miejscu w kraju. W 1974 r. w granicach obecnego województwa żyło 602 tys. osób. Na 1 km² przypadało średnio 71 osób – pod tym względem województwo było 33 w Polsce. W miastach mieszkało tylko 22,8% ludności.

Rolnicze użytkowanie ziemi w województwie siedleckim cechuje przede wszystkim wysoki udział użytków rolnych.

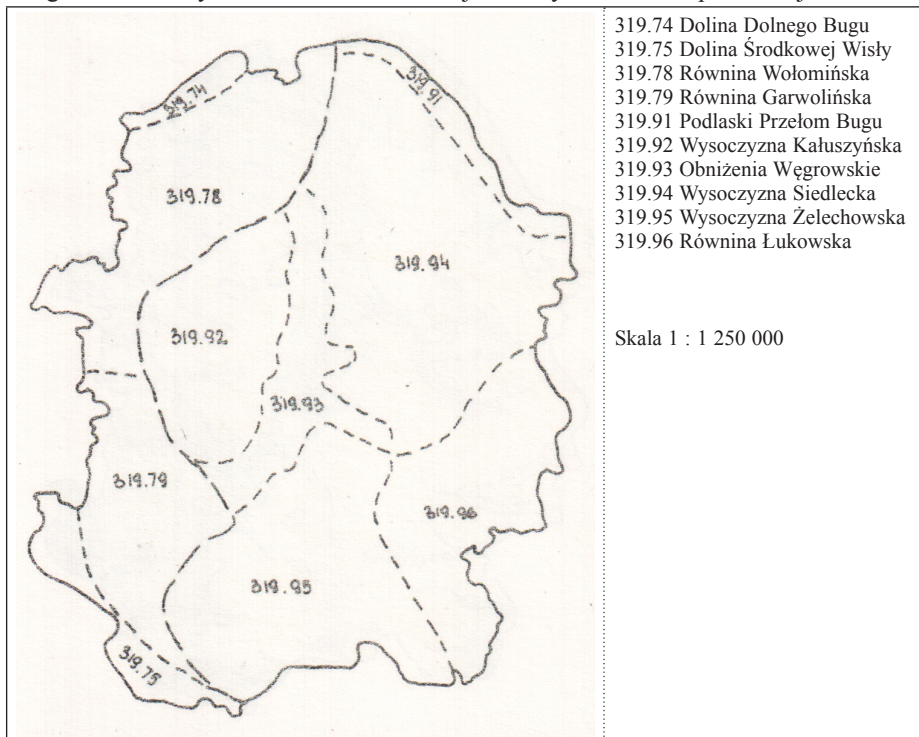
Zajmowały one w 1974 r. 70,9% powierzchni województwa, grunty orne – 55,2%, sady 1,2%, łąki i pastwiska – 14,5%, lasy – 21,8%, nieużytki – 7,3%.

Charakterystyka fizycznogeograficzna województwa

Województwo siedleckie położone jest we wschodniej części Polski. Graniczy ono z następującymi województwami: warszawskim (od zachodu), ostrołęckim, łomżyńskim, białostockim (od północy), białskopodlaskim (od wschodu), lubelskim i radomskim (od południa).

Według przeprowadzonej przez J. Kondrackiego i J. Ostrowskiego (rys. 1) regionalizacji fizyczno-geograficznej Polski prawie cały nasz kraj należy do obszaru Europy Zachodniej, podobszaru pozaalpejskiej Europy Zachodniej. Województwo siedleckie położone jest w granicach prowincji Niżu Środkowoeuropejskiego. Leży ono we wschodniej części pod-

provincji Nizin Środkowopolskich. Przez teren województwa przebiega granica dwóch makroregionów: Niziny Środkowomazowieckiej i Niziny Południowopodlaskiej.



Rys. 1. Podział fizycznogeograficzny wg J. Kondrackiego i J. Ostrowskiego

Nizina Środkowomazowiecka zasięgiem swym obejmuje zachodnią część województwa i leżące w jego granicach następujące mezoregiony: Dolinę Dolnego Bugu, Równinę Wołomińską, Równinę Garwolińską, Dolinę Środkowej Wisły. Pozostała część województwa leży na terenie Niziny Południowopodlaskiej i jej mezoregionów: Podlaskiego Przełomu Bugu, Wysoczyzny Kałuszyńskiej, Obniżenia Węgrowskiego, Wysoczyzny Siedleckiej, Wysoczyzny Żelichowskiej i Równiny Łukowskiej.

Należy zaznaczyć, iż większość z wymienionych mezoregionów nie należy w całości do województwa siedleckiego. Są one położone również na terenie województw sąsiednich.

Rzeźba terenu jest słabo zróżnicowana wysokości bezwzględne wahają się od około 100 do około 200 m n.p.m. Północno zachodnia część Doliny Środkowej Wisły, Dolina Dolnego Bugu oraz północno-zachodni fragment Równiny Wołomińskiej są najniższymi obszarami województwa (do 100 m n.p.m). Najwyższe wzniesienie znajduje się w pobliżu Kałuszyń (220 m n.p.m). Poza tym wysokości przekraczające 200m n.p.m osiągnęły wzgórza morenowe okolic Sokołowa Podlaskiego (213 m n.p.m) oraz Stoczka (200-206 m n.p.m). Urozmaiceniem rzeźby terenu jest głęboko wcięta dolina dolnego Bugu ograniczająca województwo od północy oraz dolina środkowej Wisły na południo-

wym-zachodzie. Licznie występujące doliny małych rzeczek dodają malowniczości krajobrazowi województwa.

Na obszarze województwa dominują gleby brunatne i wylugowane oraz gleby prze-myte (pseudobielicowe). Wytworzone są one głównie z piasków naglinowych i glin zwałowych lekkich, jak również ze żwirów oraz piasków słabo gliniastych i gliniastych. Gleby te powstały także z glin zwałowych ciężkich oraz pyłów i ilów różnej gezy. Poza tym na znacznych powierzchniach występują gleby bielicowe oraz rdzawe wytworzone z piasków słabo gliniastych i gliniastych lub z piasków luźnych różnej gezy. W dolinach rzecznych występują gleby hydrogeniczne oraz mady.

Rolnicza przydatność gleb jest na terenie województwa zróżnicowana. Przeważają gleby kompleksu żytniego bardzo dobrego i dobrego. Znacznie słabsze gleby – o przewadze kompleksu żytniego słabego i bardzo słabego występują na terenie Podlaskiego Przełomu Bugu, Równiny Wołomińskiej, w północnych częściach: Równiny Łukowskiej i Wyszoczyzny Żelichowskiej.

Województwo siedleckie położone jest w dorzeczu Wisły. Rzeka ta ogranicza województwo od południowego zachodu. Na północy podobną funkcję spełnia Bug.

Przez teren województwa przepływa szereg małych rzeczek wpadających do Wisły, Bugu lub Wieprza, który znajduje się poza granicami województwa. Największą z nich jest Liwiec, biorący swój początek na wschód od Siedlec i spływający na północny zachód od Bugu. Na obszarze województwa występują też jeziora. Najwięcej jest ich na obniżeniu Węgrowskim. Tereny położone nad górnym Kostrzyniem, Muchawką i górnym Liwcem są zabagnione.

Według przeprowadzonej przez W. Szafera regionalizacji geobotanicznej Polski cały nasz kraj należy do Państwa Holaktyda, Obszaru Euro-Syberyjskiego, Prowincji Nizowo-Wyzynnej Środkowoeuropejskiej. Województwo siedleckie położone jest na obszarze Działu Bałtyckiego, Poddziału Pasa Wielkich Dolin. Przez teren województwa biegnie granica między dwiema krainami geobotanicznymi. Dolina Dolnego Bugu, Równina Wołomińska, Równina Garwolińska, Dolina Środkowej Wisły należą do krainy Mazowieckiej, Okręgu Warszawskiego. Pozostała część województwa leży w granicach krainy Podlaskiej, okręgu Łukowsko-Siedleckiego.

Województwo siedleckie ma stosunkowo dużo lasów (21,8%). Największe obszary zajmują bory sosnowe oraz rosnące na dobrych glebach morenowych lasy mieszane.

Największą osobliwością geobotaniczną omawianego obszaru są występujące tu duże kompleksy lasów jodłowych. Znajdują się one na wzniesieniach morenowych na wschód od Mińska Mazowieckiego (w okolicach Mieni i Mrozów) oraz na polach sandrowych u źródeł Krzny w okolicach Lukowa. Poza tym licznie występują higrofilne zespoły torfowiskowe, łąkowe i zaroślowe.

Na obszarze województwa siedleckiego utworzonych jest 5 rezerwatów przyrody. Są to: Jedlina – w okolicach Mieni, Rudka Sanatoryjna – okolice Mrozów Topór i Jata – w Jagodnem oraz Przekop – w Korczewie.

Najnowsza regionalizacja klimatyczna naszego kraju opracowana została przez W. Okołowicza. Według tego podziału województwo siedleckie znajduje się w granicach mazowiecko-podlaskiego regionu klimatycznego. Cechą charakterystyczną tego regionu jest wczesne lato oraz trwała szata śnieżna w jego wschodniej części.

Średnia temperatura stycznia waha się od -3°C do -4°C . W lipcu średnia wynosi $18,0^{\circ}\text{C}$. Zima trwa od 80 dni na zachodzie do powyżej 100 na wschodzie, lato zaś od 80 dni na krańcach wschodnich do 110 na zachodzie. Opady osiągają wysokość 450-650 mm.

Dla potrzeb rolnictwa wykonana została regionalizacja klimatyczna R. Gumińskiego. W świetle tego podziału zachodnia część województwa siedleckiego należy do dzielnicy środkowej, wschodnia zaś do dzielnicy podlaskiej.

Dzielnica podlaska jest chłodniejsza od środkowej. Liczba dni przymrozkowych waha się tu od 110 do 130, a dni mroźnych od 50 do 60, podczas gdy w dzielnicy środkowej jest odpowiednio 30-50 dni przymrozkowych i 100-110 mroźnych. Czas trwania pokrywy śnieżnej jest dłuższy w dzielnicy podlaskiej (80-87 dni) niż w środkowej (38-60 dni). Okres wegetacyjny waha się od 200 do 220 dni. Opad atmosferyczny kształtuje się w granicach od 550 do 650 mm rocznie. Częstość występowania silnych wiatrów zmniejsza się ku wschodowi.

Materiały źródłowe i metodyka ich opracowań

Dla opracowania klimatu danego obszaru niezbędny jest kilkunastoletni ciąg obserwacyjny poszczególnych elementów meteorologicznych. Ze względu na zmianę od 1970 r. terminów obserwacji meteorologicznych na posterunkach klimatologicznych, a od 1 stycznia 1966 r. obserwacji w terminach klimatologicznych (nie są prowadzone na stacjach synoptycznych) – do opracowania klimatu województwa siedleckiego przyjęto 15-lecie 1951-1965. W ciągu tego okresu na terenie województwa pracowały 3 stacje klimatologiczne (Rudka, Ostrowik, Sinołęka) i jedna synoptyczna (Siedlce). Jednak ze względu na niekompletny materiał obserwacyjny trzeba było odrzucić dane ze stacji klimatologicznych. Do opracowań pozostały więc obserwacje ze stacji w Siedlcach. Jest ona położona na $52^{\circ}11'$, szerokości geograficznej północnej i $26^{\circ}16'$, długości geograficznej wschodniej, na wysokości 146 m n.p.m.

Materiały dla lat 1954-1965 wypisano z roczników, natomiast dla lat 1951-1953 dane zostały zaczerpnięte z archiwum Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Zebrane dane posłużyły do obliczenia miesięcznych i rocznych średnich arytmetycznych wartości poszczególnych elementów dla 15-lecia (rys. 2).

W ten sam sposób były liczone średnie dla stacji klimatologicznych położonych w innych województwach Polski Północno-Wschodniej. Średnie te stanowiły punkt wyjścia dla wykreślenia – metodą interpolacji matematycznej – izolinii miesięcznych i rocznych wartości poszczególnych elementów meteorologicznych w północno-wschodniej części Polski. W ten sposób, mimo posiadania materiałów tylko ze stacji w Siedlcach, udało się uzyskać załączone do pracy mapki dotyczące przestrzennego rozkładu na obszarze województwa siedleckiego poszczególnych elementów meteorologicznych w kolejnych miesiącach i roku. Dodatkowo metody graficzne stosowane przy opracowaniu wiatru – dla stacji w Siedlcach wykreślono kierunkowe róże wiatrów oraz izoplety częstości kierunków i prędkości wiatru.

Analizę rozkładu poszczególnych elementów meteorologicznych przeprowadzono w oparciu o umownie przyjęte pory roku: zima (XII-II), wiosna (III-V), lato (VI-VIII), jesień (IX-X). Kolejność rozdziałów pracy nie jest dziełem przypadku. Elementy klimatyczne zostały omówione według procesów klimatotwórczych, do których zaliczamy obieg ciepła, obieg wilgoci i cyrkulację atmosferyczną.



Rys. 2. Rozmieszczenie posterunków opadowych

Obieg ciepła jest to wymiana ciepła drogą promieniowania słonecznego i przewodnictwa cieplnego Ziemi. Na ten cykl składa się kilka elementów meteorologicznych, a do uwzględnionych w niniejszej pracy należą: promieniowanie słoneczne, usłonecznienie i temperatura powietrza.

Na obieg wilgoci składają się: parowanie wody, jej kondensacja, powstanie chmur i mgieł, a w konsekwencji i opadów atmosferycznych. W niniejszej pracy omówiono wilgotność powietrza, zachmurzenie i opady atmosferyczne.

Cyrkulacja atmosferyczna, czyli ruch powietrza w atmosferze jest charakteryzowana za pomocą wiatru.

Ważniejsze wyniki badań

Przeprowadzona analiza przebiegu rocznego i rozkładu przestrzennego podstawowych elementów meteorologicznych w województwie siedleckim w 15-leciu 1951-1965 pozwala na wyciągnięcie wniosków ogólnych dotyczących klimatu tego obszaru (tab. 1-15).

Kształtowany jest on pod przeważającym wpływem kontynentalnych mas powietrza, co znajduje odzwierciedlenie w wartościach poszczególnych elementów klimatu.

Średnia roczna temperatura powietrza w województwie siedleckim wynosi około 7,5°C i zmniejsza się z zachodu i południowego zachodu na północny wschód. Województwa: łomżyńskie i białostockie charakteryzują się nieco mniejszymi wartościami temperatury – 7,0°C.

Miesiącem najcieplejszym jest lipiec – temperatura średnia wynosi 18,5°C. Najchłodniejszym miesiącem roku, w omawianym 15-leciu, jest luty ze średnią temperaturą kształtującą się na poziomie -4,5°C. Średnia roczna amplituda temperatury wynosi około 22°C i rośnie w kierunku północno-wschodnim co wskazuje na większy kontynentalizm termiczny tej części województwa.

W województwach: białostockim i białkopodlaskim średnia roczna amplituda temperatury jest większa i wynosi około 23,0°C.

Pory roku (oprócz jesieni i wiosny) wkraczają na teren województwa siedleckiego z południowego zachodu i przesuwają się ku północnemu wschodowi. Jesień i zima natomiast wcześniej pojawiają się na wschodzie. Zima trwa w województwie siedleckim 100-105 dni, zaś lato 90 dni.

Okres przymrozkowi jest dość krótki – trwa 150-170 dni, podczas gdy długość trwania okresu wegetacyjnego wynosi około 210 dni.

Średnia roczna wilgotność względna powietrza w województwie waha się w granicach 78-82%. Natomiast niedosyt wilgotności wynosi od 3,0 do 3,5 hPa. Wartość parametrów wilgotności w województwach sąsiadujących z siedleckim kształtuje się na tym samym poziomie.

Średnie roczne zachmurzenie zmienia się od 6,5 w województwie warszawskim i zachodnich rejonach siedleckiego do 7,0 w województwach łomżyńskim i białostockim.

Opady atmosferyczne osiągają w siedleckim przeciętną wysokość 500-600 mm i są równe sumom opadu w Białostockiem i Ostrołęckiem. Pozostałe przyległe do województwa siedleckiego, tereny charakteryzują się nieco niższymi, średnimi, rocznymi sumami opadu (500-550 mm). Szczególnie niskie są one w województwie warszawskim (450-550 mm) i łomżyńskim (450-500 mm).

Podobnie jak cała Polska województwo siedleckie charakteryzuje się przewagą wiatrów zachodnich i południowo-zachodnich. Właśnie przy tych kierunkach wiatr osiąga najwyższe średnie prędkości. Średnia roczna prędkość wiatru wynosi w województwie siedleckim 2-3 m/s.

Warunki klimatyczne panujące na terenie województwa siedleckiego są w różnych jego rejonach bardziej lub mniej korzystne dla rolnictwa. Szczególnie wyraźne różnice zaznaczają się między dwoma obszarami województwa: południowo-zachodnim i wschodnim.

Rejon południowo-zachodni obejmuje Dolinę Środkowej Wisły, południową część Równiny Garwolińskiej, południowo-zachodnie tereny Wysoczyzny Żelichowskiej i charakteryzuje się najkorzystniejszymi w województwie warunkami dla produkcji rolnej. Ma on najwyższe wartości średniej rocznej temperatury powietrza. Najdłuższe w województwie okresy: bezprzymrozkowy i wegetacyjny pozwalają na wcześniejsze niż na innych terenach województwa rozpoczęcie prac polowych i na późniejsze ich zakończenie.

Przeciwnieństwem jest rejon wschodni obejmujący wschodnią część Wysoczyzny Siedleckiej i północne tereny Równiny Łukowskiej. Charakteryzuje się on najniższą w województwie średnią roczną temperaturą powietrza. Krótki okres bezprzymrozkowy i wegetacyjny oraz długi czas zalegania pokrywy śnieżnej powoduje, że jest to obszar o najbardziej niekorzystnych dla rolnictwa warunkach klimatycznych.

Oceniając klimat województwa siedleckiego z punktu widzenia turystyki i wypoczyn-

ku należy stwierdzić, że jest on korzystny, szczególnie w miesiącach maj – wrzesień. Dość duża w wymienionych miesiącach średnia dobowa temperatura powietrza (12,5-18,5°C), jak również średnia maksymalna temperatura (18,0-24,0°C) oraz często występujące dni gorące (35 razy w roku) sprawiają, iż pod względem termicznym klimat województwa odpowiada wymogom turystyki i wypoczynku. Omawiany okres charakteryzuje się stosunkowo małym średnim miesięcznym zachmurzeniem (4,5-6,0), małą liczbą dni pochmurnych (6-10 w miesiącu) i dość dużą liczbą dni pogodnych (3-6 w miesiącu), jak również stosunkowo małą liczbą dni z opadem (11-13 w miesiącu). Warunki klimatyczne województwa siedleckiego, istniejące na jego terenie duże kompleksy lasów, liczne jeziora i rzeki, piękne krajobrazowo tereny leżące w dolinach Bugu oraz Wisły stanowią przesłanki do rozwoju turystyki i wypoczynku na tym obszarze. Istniejące warunki naturalne nie są jednak wykorzystane. Na całym obszarze województwa istnieje tylko 5 ośrodków wczasowych: (Sadowne, Urle, Stoczek Łukowski, Gródek, Wilga), nie ma ani jednego campingu. Fatalnie przedstawia się sprawa wypoczynku ludności miasta wojewódzkiego. Najbliższy ośrodek wczasowy znajduje się w odległym o prawie 40 km Stoczku Łukowskim. Zbudowano wprawdzie na peryferiach miasta rozległy zalew na Muchawce. Jednak mimo, że istnieje on już kilka lat, w dalszym ciągu jest bardzo słabo zagospodarowany.

Należy zaznaczyć, iż warunki klimatyczne województwa siedleckiego sprzyjają również rozwojowi wypoczynku w okresie zimy (obfite opady śniegu, długi okres zalegania pokrywy śnieżnej). Jednak ze względu na małe deniwelacje terenu niemożliwe jest uprawianie sportów zimowych. Wyjątek stanowi narciarstwo nizinne, ale ze względu na brak tradycji nie jest ono w województwie siedleckim uprawiane.

Tabela 1. Temperatura powietrza (°C) w Siedlcach (1951-1965)

	Śr.dob.	Max	Min	Ampl.	Max. abs.	Min. abs.	Ampl. abs.
I	-3,8	-1,2	-6,9	5,7	7,8	-30,3	38,1
II	-4,6	-1,0	-8,1	7,1	10,7	-30,0	40,7
III	-0,7	3,4	-4,2	7,6	17,8	-21,1	38,9
IV	7,1	12,4	2,3	10,1	27,1	-6,9	34,0
V	12,4	17,8	6,5	11,3	31,8	-6,0	37,8
VI	16,9	22,5	10,6	11,9	32,8	0,5	33,3
VII	18,0	23,7	12,1	11,6	35,0	4,4	30,6
VIII	16,9	22,9	11,5	11,4	35,2	3,8	31,4
IX	12,7	19,4	7,6	11,8	31,3	-1,3	32,6
X	7,6	12,7	3,4	9,3	24,2	-8,4	32,6
XI	2,7	5,2	0,0	5,2	17,4	-21,5	38,9
XII	-1,2	1,0	-3,8	4,8	14,8	-23,3	38,1
Rok	7,0	11,5	2,5	9,0	35,2	-30,3	65,5

Tabela 2. Średnie daty początku i końca oraz czas trwania termicznych pór roku w Siedlcach (1951-1965)

Pora roku	Początek	Koniec	Czas trwania
Przedwiośnie	18 III	5 IV	19
Wiosna	6 IV	1 VI	57
Lato	2 VI	28 VIII	88
Jesień	29 VIII	30 X	63
Przedzimie	31 X	5 XII	36
Zima	6 XII	17 III	102

Tabela 3. Średnia miesięczna i roczna liczba dni charakterystycznych w Siedlcach (1951-1965)

	Gorące	Przymroz.	Mroźne	B. mroźne
I	-	27,7	14,7	8,3
II	-	25,3	15,2	9,8
III	-	24,5	8,5	5,5
IV	0,8	9,2	0,1	-
V	2,8	1,2	-	-
VI	8,5	0,1	-	-
VII	11,6	-	-	-
VIII	9,2	-	-	-
IX	3,4	0,3	-	-
X	-	6,2	0,1	-
XI	-	13,7	2,9	0,4
XII	-	23,7	10,1	3,9
Rok	36,3	131,1	51,7	27,8

Tabela 4. Parametry wilgotności powietrza: e – ciśnienie pary wodnej (hPa), f – wilgotność względna (%), Δ – niedosyt wilgotności (hPa) w Siedlcach (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
e	4,4	4,2	5,0	7,7	10,8	14,3	15,7	15,2	12,1	9,0	9,0	5,3	9,2
f	88	87	81	75	73	74	75	78	81	84	88	89	81
Δ	0,6	0,6	1,3	3,5	4,7	6,1	6,2	5,3	3,7	2,1	0,9	0,6	3,0

Tabela 5. Średnie miesięczne i roczne wartości charakterystyk zachmurzenia w Siedlcach (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Zachmurzenie	7,8	7,6	6,4	6,4	6,4	5,9	6,2	5,9	5,6	6,4	8,4	8,2	6,8
L.d. pog.	1,5	1,7	4,3	3,3	2,2	3,1	3,1	2,3	4,6	3,3	0,9	1,3	31,5
L.d. poch.	18,3	15,5	12,5	11,1	10,4	8,2	8,8	7,4	7,9	11,1	20,9	21,2	153,2

Tabela 6. Średnia miesięczna i roczna liczba dni z mgłą w Siedlcach (1951-1965)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
3,1	4,7	2,8	2,4	1,0	1,0	0,6	1,1	2,9	7,0	6,5	6,1	39,3

Tabela 7. Średnie miesięczne i roczne sumy opadów (mm) w województwie siedleckim (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Chrzeptą	26	30	22	31	53	66	75	59	42	32	38	33	507
Człekówka	26	36	27	35	64	67	80	70	45	32	45	32	559
Dębe	32	37	31	31	51	66	84	68	42	32	43	32	547
Domanice	31	34	24	33	58	73	83	68	42	32	43	32	547
Frankopol	24	28	22	28	50	70	76	61	40	29	34	28	490
Gwizdały	34	38	26	34	53	70	80	70	46	33	42	42	568
Jedlanka	27	32	25	32	48	62	73	70	41	29	39	36	512
Korwin	31	39	32	36	54	69	78	66	51	33	50	42	581
Korytnica	25	31	28	33	51	60	91	79	43	34	40	32	546
Kotuń	31	36	28	32	51	74	76	68	44	32	42	39	553
Krępa	34	31	30	32	49	61	65	53	41	32	50	32	511
Krynica	23	24	22	31	56	68	90	70	45	33	43	31	537
Krzemień	16	20	18	32	46	62	82	76	40	33	34	32	492
Liwskie Mosty	28	28	25	33	54	58	88	61	40	30	38	34	516
Łazów	24	24	21	28	52	65	73	74	41	32	35	31	500
Łuków	23	30	25	32	49	63	71	67	44	26	36	30	497
Mordy	23	29	23	28	58	69	84	65	43	33	38	32	525
Niemojki	20	26	22	29	56	62	90	63	37	26	32	34	498
Olszanica	23	29	18	36	58	68	78	63	46	31	37	26	513
Osieck	33	37	30	36	53	71	74	68	44	29	41	39	556
Ostrowik	31	37	34	36	59	79	87	68	48	38	51	49	618
Paprotnia	21	25	22	31	62	72	77	67	38	30	39	28	510
Puznówka	42	41	32	34	57	77	79	68	50	34	50	47	611
Radoryż	26	36	31	33	47	65	90	74	47	31	46	44	569
Sadowne	31	36	25	37	60	57	68	65	46	31	43	36	534
Siedlce	23	28	26	30	54	72	87	67	44	30	38	34	533
Siennica	31	41	29	35	58	68	78	74	44	35	40	39	572
Sinołęka	26	30	23	31	52	67	81	65	42	32	42	37	528
Sokołów Podlaski	34	38	30	33	55	64	87	62	46	33	42	34	558
Stanisławów	27	31	23	36	55	70	77	61	44	31	41	40	536
Strachówka	33	34	30	30	46	65	82	63	46	31	41	40	538
Trzebieszów	28	33	27	35	55	67	81	67	41	28	37	38	536
Unin Kolonia	28	29	22	32	54	69	78	64	45	31	45	39	535
Węgrów	30	33	28	33	55	62	74	60	42	30	39	36	526
Wielgolas	34	35	27	28	55	62	72	63	49	29	50	41	534
Wilga	25	29	23	28	48	66	75	68	41	27	36	31	497
Wrzoski	30	31	25	32	55	63	72	55	38	28	40	24	493
Żelechów	28	28	25	31	56	70	79	65	46	40	47	33	550
Życzyn	38	46	34	33	59	83	77	65	48	40	42	34	597

Tabela 8. Maksymalne opady dobowe (mm) w województwie siedleckim (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Domanice	11,7	18,3	16,8	25,1	50,9	78,3	49,6	44,1	18,7	47,1	18,3	18,6
Chrzeptą	8,6	19,2	21,6	25,2	41,7	40,6	45,1	38,5	30,8	57,9	21,2	19,2
Franłopol	11,0	14,0	16,0	23,3	31,5	64,7	53,7	47,6	23,8	33,6	15,4	20,2
Gwizdały	12,6	20,1	24,6	24,7	50,3	28,9	56,0	74,1	29,3	38,9	26,0	23,8
Korwin	9,6	19,0	23,1	22,4	34,5	57,4	31,6	46,4	39,0	39,5	19,6	17,4
Kotuń	11,0	16,1	15,7	24,8	31,6	67,4	46,6	46,5	21,0	46,0	21,4	18,5
Liwskie Mosty	11,3	12,1	17,6	25,8	35,9	33,3	119,8	45,0	21,6	48,4	19,6	19,4
Łazów	11,1	13,1	15,9	17,0	53,6	44,4	106,5	44,9	20,0	50,3	20,9	20,7
Łuków	10,6	13,0	11,4	23,1	24,0	41,4	106,9	40,5	24,6	38,2	19,1	17,3
Mordy	11,2	12,5	11,7	19,9	71,8	15,8	75,4	43,3	27,3	39,3	18,4	16,7
Niemojki	9,9	12,5	11,1	21,7	39,9	30,8	98,0	46,2	35,0	32,4	14,0	17,5
Osieck	12,9	15,1	26,8	30,8	55,0	46,4	38,0	82,2	32,9	50,0	26,7	22,0
Paprotnia	10,0	15,0	18,6	17,0	63,0	61,3	51,0	41,5	23,3	38,0	22,0	14,0
Puznówka	32,4	16,0	23,3	24,3	50,2	45,0	27,0	44,4	32,5	57,5	23,2	20,3
Siedlce	8,0	13,4	14,2	18,6	53,6	62,6	64,1	35,8	23,3	43,4	22,4	16,9
Sinołęka	9,8	15,1	17,4	21,1	34,6	50,7	87,3	59,0	24,6	28,2	23,3	27,4
Sokołów.Podlaski	34,9	16,6	15,6	20,6	38,2	44,8	78,6	31,6	22,6	28,6	17,7	21,7
Strachówka	14,5	15,2	25,0	37,0	28,5	36,3	36,0	47,0	32,4	43,1	25,3	22,6
Trzebieszów	17,0	13,0	15,4	22,5	44,0	35,5	85,3	45,0	27,8	25,5	18,7	15,0
Unin Kolonia	11,3	13,0	20,3	21,1	48,3	76,7	34,7	44,5	42,3	54,6	21,4	20,9
Węgrów	11,1	15,8	22,2	23,5	37,5	36,3	111,7	45,0	24,7	42,8	21,4	21,5
Wielgdąs	22,2	18,5	18,1	22,1	36,3	37,4	61,5	31,2	28,7	26,0	27,2	29,0
Wilga	14,3	14,6	13,8	35,0	40,9	42,3	46,9	52,0	42,0	43,8	23,6	17,8
Wrzoski	15,6	35,2	27,1	24,5	23,3	28,3	76,2	44,5	27,8	22,8	22,0	11,9

Tabela 9. Średnia miesięczna i roczna liczba dni z opadami w Siedlcach (1951-1965)

	≥0,1 mm	≥1,0 mm	≥10,0 mm
I	14,6	6,3	-
II	15,5	8,4	0,3
III	11,0	6,1	0,5
IV	10,4	6,9	0,5
V	12,5	8,5	1,6
VI	11,5	9,9	1,8
VII	12,9	10,0	2,6
VIII	11,8	9,4	1,9
IX	11,7	8,3	1,1
X	9,6	5,9	0,7
XI	11,7	8,9	0,6
XII	14,3	8,7	0,4
Rok	150,5	97,3	11,8

Tabela 10. Średnia miesięczna i roczna liczba dni z burzą w Siedlcach (1951-1965)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
-	-	0,1	1,3	4,5	5,8	5,9	3,9	2,0	0,1	-	-	23,6

Tabela 11. Średnia miesięczna i roczna liczba dni z pokrywą śnieżną w Siedlcach (1951-1965)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
23,6	21,2	14,4	1,1	0,1	-	-	-	-	-	2,7	14,9	78,1

Tabela 12. Średnia miesięczna i roczna częstość (%) występowania kierunków wiatru oraz cisz w Siedlcach (1951-1965)

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
I	4,6	7,7	6,7	13,1	16,1	23,3	17	6,1	3,4
II	7,8	6,0	13,1	13,4	10,2	17,1	17,9	8,7	5,7
III	8,4	10,6	17,2	16,6	6,7	11,4	14,7	9,9	4,5
IV	9,7	8,5	13,2	18,0	10,2	10,7	11,1	11,4	7,1
V	12,2	9,4	11,5	10,1	6,2	10,6	15,2	16,4	8,3
VI	12,6	9,3	7,7	11,7	7,1	10,3	16,8	14,6	9,8
VII	9,0	6,9	5,6	7,8	10,5	16,8	20,3	13,7	9,5
VIII	4,4	5,9	6,5	10,3	8,8	16,3	21,6	11,2	15,0
IX	4,6	4,6	7,9	11,6	11,0	10,1	18,5	10,6	11,0
X	4,1	4,4	11,5	16,4	11,2	17,9	16,4	6,8	11,0
XI	5,9	6,0	13,4	22,5	12,3	15,8	14,7	5,3	4,0
XII	5,4	5,3	8,0	17,6	16,4	22,5	15,4	5,8	3,5
Rok	7,3	7,1	10,2	14,1	10,6	16,1	16,6	10,2	7,8

Tabela 13. Średnie miesięczne i roczne prędkości wiatru (m/s) oraz średnia dla poszczególnych kierunków w Siedlcach (1951-1965)

	v	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
I	4,3	3,0	3,2	3,9	3,3	4,2	5,4	5,6	4,2
II	4,1	3,4	3,3	3,6	3,7	4,0	4,8	5,8	4,8
III	4,0	3,8	3,9	3,7	3,6	3,5	5,0	5,2	5,0
IV	3,4	3,4	3,1	3,1	3,5	3,6	3,8	4,5	4,0
V	3,1	3,2	2,8	3,0	3,0	3,3	3,7	4,0	3,6
VI	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	3,4	3,5	3,9	3,2
VII	2,9	2,7	2,6	2,5	2,6	3,1	3,6	3,8	3,1
VIII	2,8	2,8	2,5	2,4	2,5	2,9	4,4	4,0	3,3
IX	3,2	2,7	2,8	2,4	2,6	3,3	4,3	4,6	3,3
X	3,2	2,4	2,6	3,1	2,6	3,3	4,3	4,4	3,6
XI	3,8	3,4	3,0	3,4	3,7	3,2	4,8	5,1	3,8
XII	4,0	3,7	3,0	4,2	3,3	3,9	4,7	5,0	4,2
Rok	3,5	3,1	3,0	3,2	3,1	3,5	4,4	4,6	3,8

Tabela 14. Średnia miesięczna i roczna liczba dni z wiatrem silnym ($v > 10\text{m/s}$) w Siedlcach (1951-1960)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
3,5	3,3	3,1	1,5	1,3	0,7	0,9	1,1	1,5	1,3	2,2	2,8	23,2

Tabela 15. Fazy fenologiczne wybranych roślin w województwie siedleckim (1951-1960)(np. 25 kwiecień tj. 25.4)

Uprawa		Mińsk Maz..	Łuków	Siedlce	Sokołów Podl.	Węgrów
Brzoza – listnienie	Początek	25.4	26.4	2.5	6.5	6.5
	Koniec	17.1	19.1	18.1	17.1	15.1
Drzewa owocowe – kwitnienie	Początek	2.5	2.5	30.4	28.4	4.5
	Koniec	15.5	17.5	15.5	16.5	17.5
Owies	Wschód	26.4	25.4	24.4	25.4	24.4
	Żniwa	3.8	2.8	4.8	4.8	5.8
Buraki cukrowe	Wschód	10.5	14.5	15.5	15.4	18.3
	Zbiór	10.1	5.1	6.1	30.9	4.1
Łubin złoty	Siew	2.5	26.4	26.4	2.5	4.5
	Wschód	10.5	10.5	8.5	19.5	14.5
	Zakwitanie	28.6	6.7	7.7	7.7	5.7
	Zbiór	30.8	26.8	26.8	27.8	28.8
Len	Siew	26.4	23.4	28.4	10.5	3.5
	Wschód	6.5	10.5	8.5	19.5	13.5
	Zakwitanie	26.6	27.6	25.6	2.7	28.6
	Zbiór	12.8	2.8	4.8	8.8	3.8
Koniczyna I pokos		16.6	21.6	17.6	16.6	20.6
Łąki I pokos	Początek	16.6	14.6	16.6	21.6	19.6
	Koniec	30.6	25.6	26.6	30.6	30.6

7.4.2. Charakterystyka klimatu Wysoczyzny Siedleckiej

Autor: Urszula M A ̄ K A

Opiekun naukowy: Danuta M A R T Y N

Zakład Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego prowadzi badania nad klimatem północno-wschodniej części Polski. Niniejsza praca jest próbą oceny klimatu Wysoczyzny Siedleckiej w powiązaniu z warunkami fizycznogeograficznymi.

Wysoczyzna Siedlecka to mezoregion, który według przyjętej przez J. Kondrackiego (1981) regionalizacji fizycznogeograficznej Polski, należy do makroregionu Niziny Południowopodlaskiej.

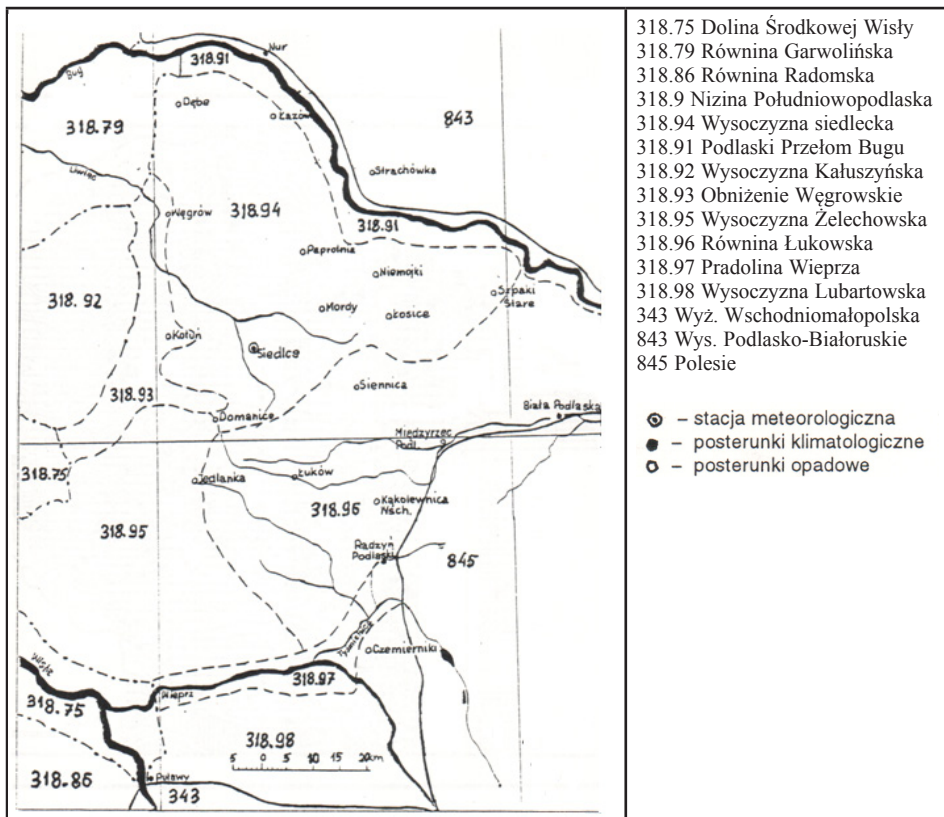
Człowiek od początku swego istnienia przekształcał środowisko geograficzne, przyczyniając się w dużym stopniu do jego degradacji. Klimat jest jednym z elementów środowiska, od którego mieszkańcy kuli ziemskiej od zarania swych dziejów są ściśle uzależnieni. Mimo rozwoju nauki i techniki, człowiek nie może wpłynąć na zmianę warunków klimatycznych w skali globalnej, lecz mają one znaczenie lokalne, szczególnie na terenach zurbanizowanych i uprzemysłowionych.

Badania klimatu mają istotne znaczenie dla działalności gospodarczej człowieka, gdyż znajomość warunków klimatycznych odgrywa ważną rolę w takich dziedzinach gospodarki, jak: rolnictwo, komunikacja, planowanie przestrzenne, medycyna a także dla codziennego właściwego funkcjonowania wielu innych gałęzi gospodarki.

Z powyższych względów ważne są opracowania klimatu dotyczące stosunkowo niewielkich obszarów, zamkniętych w określonych granicach. Praca ta jest monografią klimatyczną mezoregionu Wysoczyzny Siedleckiej, w której scharakteryzowano następujące elementy klimatu: promieniowanie słoneczne, usłonecznienie, temperaturę i wilgotność powietrza, zachmurzenie, opady atmosferyczne i wiatr.

Materiały źródłowe

Materiałem wyjściowym wykorzystanym w tej pracy są dane meteorologiczne z lat 1951-1965. Na Wysoczyźnie Siedleckiej znajduje się tylko jedna stacja synoptyczna w Siedlcach. Wykorzystano też dane ze stacji leżących na terenach przyległych: na północy w Podlaskim Przełomie Bugu – Nur, na wschodzie na Równinie Łukowskiej – Białą Podlaską, na południo-wschodzie w Pradolinie Wieprza – Radzyń Podlaski, na południu na granicy Doliny Środkowej Wisły i Wysoczyzny Lubartowskiej – Puławy. Takie usytuowanie stacji meteorologicznych (rys. 1) umożliwia charakterystykę klimatu Wysoczyzny Siedleckiej w porównaniu z otaczającymi ją terenami. W celu porównania warunków klimatycznych obszarów położonych na zachodzie, posłużono się mapami zawartymi w pracy M. Stopy-Boryczki, D. Martyn i innych (1986). Ważną rolę w kształtowaniu warunków klimatycznych odgrywają opady. Charakterystyki tego elementu można dokonać dokładniej, gdyż posterunków opadowych jest znacznie więcej, a rozmieszczenie ich na Wysoczyźnie Siedleckiej jest bardzo równomierne. W pracy posłużono się danymi z 7 posterunków opadowych położonych w badanym obszarze oraz 11 posterunków opadowych leżących na terenach przyległych. Przy czym uwzględniono tutaj również te spośród nich, które mają krótszy (czternastoletni) okres obserwacji.



Rys. 1. Podział fizycznogeograficzny (wg J. Kondrackiego, 1988) oraz rozmieszczenie stacji posterunków klimatologicznych i opadowych

Materiał obserwacyjny nie ma większych luk. Jedyne dane pochodzące z Nura odznaczają się brakiem pomiarów do lipca 1951 r. Braki zostały uzupełnione przy pomocy znanych w klimatologii wzorów, według danych ze stacji meteorologicznej w Siedlcach. Barak jest również danych dotyczących średniej prędkości wiatru (m/s) z poszczególnych kierunków ze stacji Biała Podlaska i Puławy, zaś średnia częstość kierunków wiatru w tych stacjach obejmuje dziesięcioletni okres obserwacji (1951-1960).

Dane liczbowe zaczerpnięto niemal w całości z tabel, które zostały opracowane przez Zakład Klimatologii WGIŚR UW, a braki uzupełniono z Roczników Meteorologicznych.

Charakterystyki liczbowe elementów klimatu zostały opracowane za pomocą metod statystycznych stosowanych w klimatologii i przedstawionych graficznie, a średnie z całego obszaru obliczono na podstawie tabel zawartych w pracy, jako średnie arytmetyczne ze wszystkich stacji. Graficznie przedstawione odchylenie średnich wartości elementów klimatu w Siedlcach od średniej z całego obszaru.

Metody dobrano tak, aby można było łatwo uchwycić zmiany elementów klimatu w czasie i przestrzeni. Z danych liczbowych obliczono średnie wieloletnie, miesięczne i roczne wartości głównych elementów klimatu, które zestawiono w tabelach. Dla lepsze-

go zobrazowania warunków klimatycznych, wyznaczono także najprostsze miary dyspersji, jaką jest amplituda dobowa, roczna, ekstremalna, absolutna temperatura powietrza.

Ważniejsze wyniki badań

Oceny klimatu Wysoczyzny Siedleckiej dokonano na podstawie porównania warunków klimatycznych na stacji w Siedlcach z terenami otaczającymi. Szczegółowa analiza poszczególnych elementów klimatu pozwoliła na wyodrębnienie kilku charakterystycznych jego cech. Obszar Wysoczyzny Siedleckiej charakteryzuje się większą sumą promieniowania całkowitego, która wynosi około 10,5 MJ/m².dzień (250 cal/cm²).

Średnie roczne wartości usłonecznienia rzeczywistego na Wysoczyźnie Siedleckiej wynoszą 4,4 godz. (35%) i nie zauważa się zróżnicowania przestrzennego w jego rozkładzie. Średnia miesięczna temperatura powietrza na Wysoczyźnie Siedleckiej jest nieco niższa (o 0,2°C) niż na terenach przyległych, waha się od 4,6°C w lutym do 18,0°C w lipcu. Jeszcze bardziej widoczne są różnice w przypadku temperatury maksymalnej i minimalnej, które również są niższe niż na obszarach otaczających. Specyficzne warunki termiczne występujące na Wysoczyźnie Siedleckiej, związane są z lokalizacją stacji meteorologicznej, leżącej w północnej części miasta, poza obszarem zwartej zabudowy. Na temperaturę maksymalną i minimalną ma wpływ również piaszczysto-gliniasty charakter podłoża. Podłoże nagrzewa się wolniej o czym świadczy niższa temperatura maksymalna oraz szybciej się ochładza, co znajduje odzwierciedlenie w niższej temperaturze minimalnej.

Wiosna i lato na Wysoczyźnie Siedleckiej rozpoczyna się później: wiosna – 7 kwietnia, lato – 2 czerwca i trwają krócej (lato – 88 dni); zima zaczyna się wcześniej niż w otaczających ją obszarach – 6 grudnia i jest najdłuższą porą, trwającą 103 dni. Obserwowany jest również krótszy okres wegetacyjny trwający 207 dni. Większa liczba mroźnych (52 dni), a mniejsza gorących (36 dni) o 2-3 dni niż na terenach przyległych. Na Wysoczyźnie Siedleckiej utrzymują się najdłużej przymrozki (do 9 maja) i pojawiają się wcześniej (4 października).

Pod względem wilgotnościowym Wysoczyzna Siedlecka nie wyróżnia się na tle otaczających ją obszarów. Średnie roczne ciśnienie pary wodnej 9,2 hPa, a średnia roczna wilgotność względna równa się 80%.

Średnie roczne zachmurzenie w Siedlcach jest większe o 3% niż na terenach otaczających i wynosi 68%. Potwierdza to również większa o 7 dni, w porównaniu ze średnią, liczba dni pochmurnych i mniejsza o 12 dni liczba dni pogodnych (32 dni). Wartości te związane są z warunkami lokalnymi. Siedlce leżą w widłach Liwca i Muchawki oraz na terenach zabagnionych, co wpływa na wzrost zachmurzenia.

Mniejsza suma opadów występuje w północno-wschodniej części Wysoczyzny Siedleckiej, zaś większa w części środkowej, północno-zachodniej i zachodniej. Północno-wschodnia część Wysoczyzny Siedleckiej charakteryzuje się sumą opadów poniżej 500 mm i jest ona o około 20 mm mniejsza od średniej sumy opadów na Wysoczyźnie. Natomiast pozostałe obszary mają opady od 525 mm do 550 mm. Pod względem liczby dni z opadem Wysoczyzna Siedlecka nie różni się od terenów ją otaczających.

Na Wysoczyźnie Siedleckiej, zgodnie z ogólną cyrkulacją w szerokościach umiarkowanych Europy, przeważają wiatry zachodnie – 16,6% oraz południowo-zachodnie 16,1%,

najmniejszą frekwencją odznaczają się wiatry północne – 7,3% i północno-wschodnie – 7,2%. Średnia prędkość wiatru w Siedlcach jest większa niż na terenach przyległych, średnio o 0,7 m/s i wynosi 3,5 m/s, gdyż stacja w Siedlcach zlokalizowana jest poza terenem zabudowanym.

Z powyższej analizy wynika, że warunki klimatyczne występujące na Wysoczyźnie Siedleckiej niewiele różnią się od obszarów przyległych. Różnice w wartościach niektórych elementów są zapewne spowodowane bardziej warunkami lokalnymi, związanymi z lokalizacją stacji meteorologicznej, niż jej wysokością nad poziomem morza. Zapewne większa liczba stacji meteorologicznych pozwoliłaby wydobyć więcej informacji o warunkach klimatycznych, o czym świadczy większe zróżnicowanie opadów atmosferycznych, które się mierzy w większej liczbie posterunków.

Tabela 1. Wykaz stacji i posterunków klimatologicznych oraz opadowych

	φ_N	λ_E	m n.p.m.
Stacje meteorologiczne i klimatologiczne			
Siedlce	52°11'	22°16'	147
Biała Podlaska	52°02'	23°05'	145
Nur	52°40'	22°19'	110
Puławy	51°25'	21°58'	142
Radzyń Podlaski	51°48'	22°38'	151
Posterunki opadowe			
Dębe	52°35'	22°05'	127
Łazów	52°34'	22°22'	117
Łosice	52°12'	22°43'	154
Mordy	52°13'	22°31'	162
Niemojki	52°16'	22°042'	148
Paprotnica	52°18'	22°28'	158
Szpaki Stare	52°14'	22°54'	166
Czemierniki	51°40'	22°37'	156
Domanice	52°02'	22°11'	159
Jedlanka	51°56'	22°07'	175
Kąkolewnica Wschodnia	51°54'	22°41'	154
Kotuń	52°11'	22°04'	130
Łuków	51°55'	22°22'	162
Międzyrzec Podlaski	51°59'	22°47'	149
Siennica	52°05'	21°37'	150
Stanisławów	52°17'	21°33'	145
Strachówka	52°26'	21°38'	108
Węgrów	52°24'	22°01'	120

Tabela 2. Średnia temperatura powietrza (°C)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	R
Siedlce	-3,8	-4,6	-0,7	7,1	12,4	16,9	18,0	16,9	12,7	7,6	2,7	-1,2	7,0
Biała Podl.	-3,9	-4,4	-0,6	7,3	12,8	17,4	18,5	17,4	12,9	7,7	2,6	-1,4	7,2
Nur	-3,7	-4,3	-0,6	7,1	12,4	16,9	18,1	17,3	12,8	7,8	2,6	-1,2	7,0
Puławy	-3,2	-3,6	-0,2	7,9	12,9	17,4	18,6	17,7	13,5	8,4	3,3	-0,7	7,7
Radz. Podl.	-3,8	-4,2	-0,4	7,3	12,4	16,8	18,1	17,1	12,8	7,7	2,7	-1,3	7,1

Tabela 2. Maksymalna temperatura powietrza (°C)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	R
Siedlce	-1,2	-1,0	3,4	12,4	17,8	22,5	23,7	22,9	19,1	12,7	5,2	1,0	11,5
Biała Podl.	-1,2	-1,0	3,6	12,5	18,2	23,0	24,2	23,2	19,0	12,8	5,3	0,9	11,7
Nur	-1,4	-1,3	3,6	12,6	18,0	22,5	23,8	22,9	18,5	12,6	5,5	0,9	11,5
Puławy	-0,8	-0,3	4,2	12,8	18,0	22,6	23,8	23,1	19,1	13,2	6,0	1,5	11,9
Radzyń Podl.	-1,1	-0,3	3,7	12,4	18,0	23,2	24,6	23,5	19,4	13,2	5,4	1,0	11,9

Tabela 3. Minimalna temperatura powietrza (°C)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Siedlce	-6,9	-8,1	-4,2	2,3	6,5	10,6	12,1	11,5	7,6	3,4	0,0	-3,8	2,5
Biała Podl.	-6,9	-8,0	-4,5	2,2	7,1	11,2	12,6	12,1	7,9	3,4	0,0	-4,1	2,7
Nur	-6,8	-7,9	-3,9	2,4	6,8	11,1	12,4	11,8	8,1	3,7	0,1	-3,7	2,8
Puławy	-6,0	-7,0	-3,4	3,2	7,7	11,8	13,2	12,6	8,8	4,3	0,8	-3,1	3,6
Radzyń Podl.	-7,0	-8,1	-4,5	2,2	6,6	10,4	11,9	11,3	7,4	3,0	0,2	-4,0	2,4

Tabela 4. Termiczne pory roku (P – początek, t – czas trwania) oraz długość okresu wegetacyjnego

	Przedwiośnie		Wiosna		Lato		Jesień		Przedzimie		Zima		Okres weg.
	P	t	P	t	P	t	P	t	P	t	P	t	
Siedlce	18.3	19	7.4	56	2.6	88	29.8	63	31.10	36	6.12I	103	207
Biała Podl.	17.3	20	6.4	54	29.5	94	31.8	60	30.10	36	5.12	102	208
Nur	17.3	21	7.4	55	1.6	91	31.8	61	31.10	36	6.12	101	207
Puławy	16.3	20	4.4	54	28.5	97	3.9	61	3.11	37	10.12	96	212
Radzyń Podl.	17.3	20	6.4	57	2.6I	88	29.8	61	29.10	37	5.12	102	206

Tabela 5. Absolutne maksima temperatury powietrza (°C)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Siedlce	7,8	10,7	17,8	27,1	31,8	31,8	35,0	35,2	31,3	24,2	17,4	14,8
Biała Podl.	9,2	10,0	18,2	27,4	32,5	32,5	36,5	35,8	31,7	24,9	19,4	14,8
Nur	9,3	10,1	18,5	27,8	31,7	31,7	35,9	34,6	32,0	24,6	17,4	14,7
Puławy	9,5	11,4	18,9	26,8	32,0	32,0	35,4	34,4	31,9	24,8	18,0	15,1
Radzyń Podl.	9,4	10,3	18,7	27,7	31,5	31,1	35,6	35,5	31,9	24,5	18,4	14,9

Tabela 6. Absolutne minima temperatury powietrza (°C)

	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Siedlce	-30,1	-30,0	-21,1	-6,9	-6,0	-0,5	4,4	3,8	-1,3	-8,4	-21,5	-23,3
Biała Podl.	-32,0	-28,3	-20,6	-7,5	-4,5	1,9	4,7	6,1	-1,6	-8,7	-12,8	-25,0
Nur	-31,5	-30,8	-22,3	-7,0	-3,8	1,5	5,2	4,5	-0,6	-8,2	-17,5	-24,8
Puławy	-30,4	-28,8	-23,6	-4,7	-2,8	1,8	6,0	5,9	-0,8	-6,9	-19,0	-23,3
Radzyń Podl.	-31,7	-29,7	-24,7	-7,0	-5,9	1,0	4,0	4,4	-1,8	-7,9	-19,6	-28,3

Tabela 7. Średnia liczba dni bardzo mroźnych ($T_{\min} < -10,0^{\circ}\text{C}$)

	XI	XII	I	II	III	Rok
Siedlce	0,4	3,9	8,3	9,8	5,5	27,9
Biała Podl.	0,5	4,3	8,7	9,5	5,1	28,1
Nur	0,5	4,2	8,2	10,1	5,6	28,6
Puławy	0,4	3,1	7,0	9,0	3,2	22,7
Radzyń Podl.	0,4	4,1	8,6	9,5	5,3	27,9

Tabela 8. Średnia liczba dni gorących ($T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$)

	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Rok
Siedlce	0,8	2,9	8,5	11,6	9,2	3,4	36,3
Biała Podl.	0,9	3,1	10,0	12,0	10,0	3,4	39,4
Nur	0,8	2,8	8,5	8,5	10,7	3,5	36,1
Puławy	0,7	2,9	9,2	9,2	12,3	4,1	39,1
Radzyń Podl.	0,9	2,7	10,4	13,3	10,5	3,9	41,7

Tabela 9. Ciśnienie pary wodnej (hPa)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Siedlce	4,4	4,2	5,0	7,7	10,8	14,3	15,7	15,2	12,1	9,0	6,9	5,3	9,2
Biała Podl.	4,3	4,2	4,5	7,7	10,8	14,3	15,6	15,1	12,0	9,0	6,8	5,2	9,2
Puławy	4,4	4,4	5,1	7,6	10,5	14,4	15,5	15,1	12,0	9,0	7,0	5,3	9,2
Radzyń Podl.	4,6	4,5	5,2	7,8	11,2	15,0	17,1	16,0	12,0	9,6	6,9	5,7	9,6

Tabela 10. Wilgotność względna powietrza (%)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Siedlce	88	87	81	75	73	74	75	78	79	84	88	89	81
Biała Podl.	87	86	80	75	72	71	73	76	79	83	89	89	80
Puławy	85	84	78	71	70	70	72	75	77	81	86	87	78
Radzyń Podl.	87	87	83	76	74	74	78	80	82	86	89	90	82

Tabela 11. Niedośyt wilgotności powietrza (hPa)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Siedlce	0,6	0,6	1,3	3,3	4,7	6,1	6,2	5,3	3,7	2,1	0,9	0,6	3,0
Biała Podl.	0,6	0,6	1,4	3,4	5,0	6,8	6,8	5,9	4,1	2,2	0,9	0,6	3,2
Puławy	0,8	0,8	1,6	3,9	5,4	6,8	6,9	6,2	4,5	2,6	1,2	0,8	3,5
Radzyń Podl.	0,6	0,6	1,3	3,1	4,8	6,0	6,1	5,2	3,4	2,4	1,0	0,6	2,9

Tabela 12. Średnie zachmurzenie (%)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Siedlce	78	76	64	64	64	59	62	56	56	64	84	82	68
Biała Podl.	79	77	65	63	65	61	62	60	56	64	84	83	68
Nur	77	74	58	58	56	53	55	54	52	63	85	80	64
Puławy	75	72	62	57	58	55	58	54	51	59	79	78	63
Radzyń Podl.	74	74	61	56	57	51	53	52	52	59	82	80	63

Tabela 13. Średnia liczba dni pogodnych

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Siedlce	1,5	1,7	4,3	3,3	2,2	3,1	3,1	2,3	4,6	3,3	0,9	1,3	31,6
Biała Podl.	1,7	1,7	4,1	3,1	2,1	2,2	2,4	2,6	4,6	3,6	0,9	0,7	29,7
Nur	2,4	1,8	6,5	5,3	5,4	5,8	4,6	5,3	6,9	4,4	1,5	1,2	51,9
Puławy	2,4	2,7	5,2	5,0	4,5	5,2	4,7	5,5	6,7	5,1	1,6	1,7	50,3
Radzyń Podl.	2,3	2,2	5,3	5,1	1,2	5,6	5,7	4,9	6,7	5,5	1,7	11,7	51,1

Tabela 14. Sumy opadów atmosferycznych (mm), gdzie * Wysoczyzna Siedlecka

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Siedlce*	23	28	26	30	54	72	80	67	44	30	38	34	525
Dębe *	32	37	31	31	51	66	84	68	42	32	43	32	547
Łazów*	24	24	21	28	52	65	73	74	41	32	35	31	500
Łosice*	20	24	20	28	56	69	74	63	43	31	35	31	494
Mordy*	23	29	23	28	58	69	84	65	43	33	38	32	525
Niemojki*	20	26	23	29	55	64	84	62	43	30	35	33	504
Paprotnia*	21	25	22	31	62	72	77	67	38	30	39	28	510
Szpaki Stare*	18	23	22	28	56	68	76	55	41	29	34	28	478
Biała Podlaska	27	35	27	37	55	66	83	68	46	30	42	36	552
Czemierniki	21	28	25	31	52	63	63	54	40	26	36	28	467
Domanice	31	34	24	33	58	73	83	68	44	31	42	29	560
Jedlanka	27	32	25	32	48	62	73	70	41	29	39	26	512
Kąkolewnica Wsch.	27	36	24	34	56	62	82	58	44	30	41	39	533
Kotuń	31	36	28	32	51	74	76	68	44	32	42	39	553
Łuków	23	30	25	32	49	63	71	67	44	27	36	30	497
Międzyrzec Podlaski	26	36	29	34	52	72	90	61	37	27	29	41	544
Nur	32	37	29	34	56	67	82	68	46	36	44	40	571
Radzyń Podlaski	25	34	30	34	54	67	73	66	46	31	40	34	534
Siennica	31	41	29	35	58	68	78	74	44	35	40	39	572
Stanisławów	27	31	23	36	55	70	77	61	44	31	41	40	536
Strachówka	33	34	30	30	46	65	82	63	46	31	41	40	538
Węgrów	30	33	28	32	55	67	80	60	42	30	39	36	532

Tabela 15. Średnia liczba dni z pokrywą śnieżną

	XI	XII	I	II	III	IV	V	Rok
Siedlce	2,7	14,9	23,5	21,6	14,4	1,1	0,1	78,1
Biała Podl.	3,3	16,1	25,1	22,3	14,8	1,3	0,1	83,0
Nur	2,6	14,1	23,6	21,1	14,3	1,2	0,1	77,0
Puławy	2,5	13,1	24,5	20,5	14,1	1,0	.	75,7
Radz. Podl.	3,0	14,9	23,9	21,2	15,5	0,9	0,1	79,5

Tabela 16. Średnia liczba dni z burzą

	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Rok
Siedlce	.	0,1	1,3	4,5	5,8	5,9	3,9	2,0	0,1	23,6
Biała Podl.	0,1	0,1	0,4	3,6	5,8	6,0	3,8	1,7	0,1	22,1
Radz. Podl.	0,1	.	1,4	2,5	4,2	4,4	3,9	1,5	0,1	18,1

Tabela 17. Średnia prędkość wiatru (m/s)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Siedlce	4,3	4,1	4,0	3,4	3,1	2,8	2,9	2,8	3,2	3,2	3,8	4,0	3,5
Biała Podl.	3,9	3,8	3,8	3,4	2,9	2,8	2,6	2,9	3,0	3,1	4,0	3,6	3,3
Nur	2,7	3,0	2,7	2,4	1,9	1,7	1,6	1,5	1,8	1,9	2,5	2,3	2,2
Puławy	2,5	2,3	2,3	2,0	1,9	1,6	1,4	1,4	1,7	1,7	2,1	2,3	1,9
Radz. Podl.	3,6	3,7	2,9	3,2	2,9	2,6	2,3	2,3	2,5	2,7	3,5	3,3	3,0

Tabela 18. Średnia częstość (%) kierunków wiatru w Siedlcech

Miesiące	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
I	4,6	7,7	6,7	13,1	16,1	23,3	17,0	8,1
II	7,8	6,0	13,1	13,4	10,2	17,1	17,9	8,7
III	8,4	10,6	17,2	16,6	6,7	11,4	14,7	9,9
IV	9,7	8,5	13,2	18,0	10,2	10,7	11,1	11,4
V	12,2	9,4	11,5	10,1	6,2	10,6	15,2	16,4
VI	12,6	9,3	7,7	11,7	7,1	10,3	16,8	14,6
VII	9,0	6,9	5,6	7,8	10,5	16,8	20,3	13,7
VIII	4,4	5,9	6,5	10,3	8,8	16,3	21,6	11,2
IX	4,6	4,6	7,9	11,6	11,0	20,1	18,5	10,6
X	4,1	4,4	11,5	19,4	11,2	17,9	16,4	6,8
XI	5,9	6,0	13,4	22,5	12,3	15,8	14,7	5,3
XII	5,4	5,3	8,0	17,6	16,4	22,5	15,4	5,8
Rok	7,3	7,1	10,2	14,1	10,6	16,1	16,6	10,2

Tabela 19. Średnia prędkość wiatru wiatru (m/s) w Siedlcech

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
I	3,0	3,2	3,9	3,3	4,2	5,4	5,6	4,2
II	3,4	3,3	3,6	3,7	4,0	4,8	5,8	4,8
III	3,8	3,9	3,7	3,6	3,5	5,0	5,2	5,0
IV	3,4	3,1	3,1	3,5	3,6	3,8	4,5	4,0
V	3,2	2,8	3,0	3,0	3,3	3,7	4,0	3,6
VI	2,8	2,8	2,7	2,7	3,4	3,5	3,9	3,2
VII	2,7	2,6	2,5	2,6	3,1	3,6	3,8	3,1
VIII	2,8	2,5	2,4	2,5	2,9	4,4	4,0	3,3
IX	2,7	2,8	2,4	2,6	3,3	4,3	4,6	3,3
X	2,4	2,6	3,1	2,6	3,3	4,3	4,4	3,6
XI	3,4	3,0	3,4	3,7	3,3	4,8	5,1	3,8
XII	3,7	3,0	4,2	3,3	3,9	4,7	5,0	4,2
Rok	3,1	3,0	3,1	3,1	3,5	4,4	4,6	3,8

7.4.3. Charakterystyka klimatu Siedlec

Autor: Grażyna DĄBROWSKA

Opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA,

Urszula KOSSOWSKA-CEZAK,

Jerzy BORYCZKA

Cel pracy i materiały źródłowe

Celem pracy jest określenie cech charakterystycznych i osobliwych klimatu Siedlec.

Praca zawiera przegląd literatury dotyczącej ogólnie klimatu miasta oraz charakterystykę fizyczno-geograficzną Siedlec, ze szczególnym uwzględnieniem dotychczasowych opracowań klimatu Siedlec.

Przedstawiono w niej zmiany roczne podstawowych elementów klimatu w dziesięcioleciu 1970-1980. Scharakteryzowano warunki termiczne, wilgotnościowe oraz intensywność poziomych ruchów powietrza. Charakterystyki warunków termicznych dokonano na podstawie przebiegów rocznych: średniej, maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza, amplitudy dobowej temperatury oraz liczby dni charakterystycznych. Z kolei ciśnienie pary wodnej, wilgotność względna, zachmurzenie, opad i liczby dni charakterystycznych oraz liczby dni ze zjawiskami atmosferycznymi określiły stosunki wilgotnościowe klimatu Siedlec. Poziomy ruch powietrza opisano podając częstość kierunków wiatru, jego średnią prędkość oraz charakteryzując łącznie prędkość wiatru i jego kierunek.

Mając już ogólnie zarysowany klimat miasta, przy czym miasta potraktowanego jako punktu, podjęto próbę określenia wpływu warunków meteorologicznych na rozkład zanieczyszczeń powietrza oraz próbę określenia wpływu zabudowy na zmianę tych warunków. Wykazano, że istnieje zróżnicowanie klimatu na terenie miasta. To zróżnicowanie starano się ująć ilościowo podając różnice wartości elementów między centrum i peryferiami miasta.

I wreszcie, na końcu dano prognozę średnich rocznych wartości temperatur powietrza w Siedlcach do 2000 roku, obliczonych na podstawie funkcji aproksymującej.

Zakończenie pracy zawiera podsumowanie dotychczasowych rozdziałów, wyrażające się próbą wydzielenia na terenie miasta obszarów o zbliżonych warunkach klimatycznych. Jako główne kryterium podziału przyjęto zawartość i wysokość zabudowy.

Wszystkie dane obserwacyjne dotyczące warunków klimatycznych Siedlec pochodzą z pomiarów wykonanych na siedleckiej stacji meteorologicznej i znajdujących się w Bibliotece Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie. Dane dotyczące zanieczyszczeń powietrza zostały udostępnione przez Wojewódzką Stację Sanitarno-Epidemiologiczną w Siedlcach.

Obliczenia związane z aproksymacją średnich rocznych temperatur powietrza w Siedlcach i ekstrapolacją umożliwiającą prognozę temperatur powietrza do 2000 roku wykonano w Centrum Informatycznym Uniwersytetu Warszawskiego.

Materiały i dane liczbowe charakteryzujące obecne i przyszłe stosunki gospodarcze i ludnościowe Siedlec zostały w większości udostępnione przez Urząd Miejski w Siedlcach oraz przez Biuro Planowania i Rozwoju Warszawy.

Porównanie danych z różnych okresów badawczych

Obserwacje meteorologiczne są prowadzone w Siedlcach od kilkudziesięciu lat, dzięki czemu istnieje możliwość porównania podstawowych elementów meteorologicznych: temperatury i opadów z rozpatrywanego 10-lecia z seriami z dłuższych okresów. Porównanie to wykazuje występowanie pewnych różnic w średnich wartościach wymienionych elementów.

Średnie miesięczne temperatury powietrza w różnych okresach obserwacyjnych mają zbliżone wartości jedynie w okresie wiosny i jesieni, natomiast lato i zima charakteryzują się największymi różnicami. Najbardziej zbliżone wartości mają temperatury z okresów 1881-1960 i 1931-1960. Wyjątek stanowi lato oraz początek zimy, kiedy to wyższe temperatury powietrza były w latach 1931-1960, z maksymalną różnicą w lipcu $0,5^{\circ}\text{C}$.

Okres obserwacyjny 1951-1960 wyróżnia się niższymi temperaturami w okresie drugiej połowy zimy i wiosny w porównaniu z latami 1881-1960 i 1931-1960. Maksymalne różnice, wynoszące $-0,8^{\circ}\text{C}$ i $-0,7^{\circ}\text{C}$, wystąpiły odpowiednio w marcu i lutym. Okres 1951-1960 wyróżnia się też znacznie cieplejszym grudniem i styczniem. Największe różnice wynoszą $1,4^{\circ}\text{C}$ i $1,2^{\circ}\text{C}$ – w przypadku porównania wartości temperatur grudnia lat 1951-1960 i 1881-1960 i temperatur stycznia lat 1951-1960 i 1931-1960.

Temperatury lipca okresu 1951-1960 są wyższe od odpowiednich temperatur w latach 1881-1960. W porze letniej wyróżnił się czerwiec, bowiem temperatury czerwca lat 1951-1960 są wyższe od odpowiednich temperatur okresów poprzednich (maksymalna różnica wynosi $0,6^{\circ}\text{C}$). Natomiast koniec lata okazał się chłodniejszy, podczas gdy jesienią temperatury są podobne jak w poprzednich wieloleciach.

Na tle tych trzech okresów obserwacyjnych 10-lecie 1971-1980 wyróżnia się wyraźnie cieplejszą zimą i chłodniejszym latem. Największe różnice są w przypadku porównania temperatur w marcu i lutym w okresie 1971-1980 i 1951-1960 i w lipcu w okresach 1971-1980 i 1931-1960 (różnica w obu przypadkach $-1,3^{\circ}\text{C}$).

Porównując wielkość opadów atmosferycznych można zauważyć, że okresy 1891-1930 i 1931-1960 mają bardzo podobne średnie roczne sumy opadów (546 i 549 mm), natomiast w obu dziesięcioleciach sumy te nieznacznie odbiegają od wartości przeciętnej. W 10-leciu 1951-1960 była najniższa średnia suma roczna opadów 535 mm; stosunkowo mało opadów było pod koniec lata oraz jesienią. Natomiast w 10-leciu 1971-1980 była największa średnia suma roczna 555 mm. Wpłynęły na to duże opady w sierpniu, wrześniu i październiku, ponieważ w pozostałych miesiącach opady były nawet mniejsze niż przeciętne.

W tym 10-leciu aż trzykrotnie sierpień 1972, 1977 i 1979 r. i dwukrotnie październik 1974, 1980 r. były miesiącami o maksymalnej sumie opadów w roku.

- Serie 80-letnia i 30-letnia mają prawie takie same wartości temperatury i opadów w ciągu całego roku. 10-lecie 1951-1960 wyróżnia się cieplejszym początkiem zimy, a zarazem ostrzejszym niż zwykle końcem zimy i początkiem wiosny oraz nieco mniejszą sumą opadów atmosferycznych. 10-lecie 1971-1980 wyróżnia się łagodną zimą i bardzo ciepłym początkiem wiosny, ale latem najchłodniejszym w porównaniu z innymi okresami obserwacyjnymi; w tym dziesięcioleciu było najwięcej opadów, szczególnie w okresie jesieni.
- Porównanie wartości temperatury i wielkości opadów w różnych okresach obserwacyjnych pozwoliło zauważyć, że klimat nie jest stabilny, lecz ulega wahaniom. Nato-

miast porównując 10-lecie 1971-1980 z 15-leciem 1951-1965 można określić wielkość zmian podstawowych elementów klimatu.

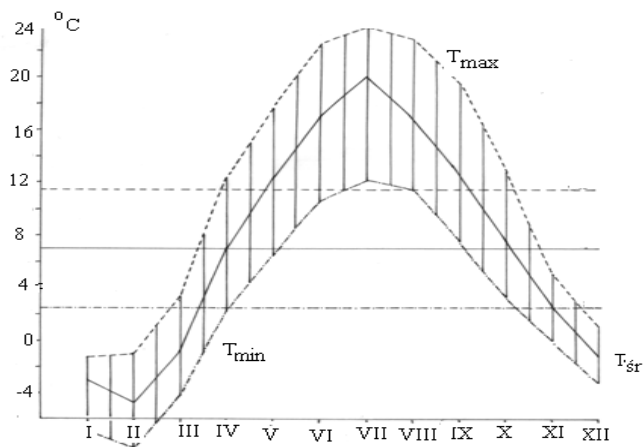
- Wzrosła temperatura powietrza – średnia temperatura o $0,2^{\circ}\text{C}$, minimalna o $0,7^{\circ}\text{C}$ i maksymalna o $0,4^{\circ}\text{C}$. Zmniejszyła się średnia amplituda dobową temperatury o $0,6^{\circ}\text{C}$. Mniej było dni przymrozkowych, mroźnych i bardzo mroźnych – odpowiednio o 16, 14 i 7 dni. Mniejsze było ciśnienie pary wodnej o $0,2\text{ hPa}$,
- Zmniejszyła się średnia wielkość zachmurzenia o 1,5. Więcej było dni pogodnych i mniej dni pochmurnych – odpowiednio o 11 i 45 dni,
- Wzrosła suma opadów atmosferycznych o 22 mm. Częściej notowano zjawisko mgły – liczba dni z mgłą wzrosła mniej więcej dwukrotnie, tj. o 31 dni,
- Mniej było dni z pokrywą śnieżną – o 16 dni w roku,
- Zmniejszyła się prędkość wiatru o $0,2\text{ m/s}$.

Jeśli sięgnąć do historii Siedlec, to okazuje się, że od ostatniego roku 15-lecia 1951-1965 datuje się rozwój miasta, gdyż przed 1965 rokiem miasto prawie się nie rozwijało. Dopiero utworzenie podregionu siedleckiego w ówczesnym województwie warszawskim, z głównym ośrodkiem przemysłowym Siedlcami, i idąca za tym lokalizacja filii warszawskich zakładów przemysłowych stała się bodźcem dalszego rozwoju. Ale przyspieszony rozwój Siedlec zaczął się dopiero po 1975 roku, kiedy to Siedlce otrzymały status miasta wojewódzkiego. Wówczas też zaczęły owocować inwestycje przełomu lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. To wszystko stało się przyczyną szybkiej urbanizacji, tak że na początku lat osiemdziesiątych Siedlce stały się miastem przemysłowym liczącym blisko 60 tys. mieszkańców, tj. prawie dwa razy tyle co w roku 1965.

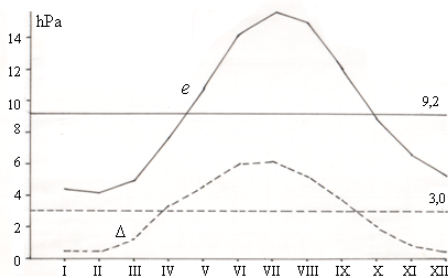
W świetle powyższych stwierdzeń można wyrazić przypuszczenie, że różnice wartości elementów klimatu wynikające z porównania 10-lecia 1971-1980 i 15-lecia 1951-1965 mogą być w dużej części rezultatem urbanizacji.

Wzrost temperatury powietrza i zmiany związane z temperaturą, tj. częstsze występowanie mgły oraz zmniejszenie prędkości wiatru wskazują na wyraźniejsze zanaczenie się w Siedlcach charakterystycznych cech klimatu miast. Jedyne trudne do wyjaśnienia jest zmniejszenie się wilgotności, zachmurzenia i związany z tym wzrost częstości dni pogodnych oraz spadek dni pochmurnych. Należałoby spodziewać się raczej tendencji odwrotnej, bowiem wzrost zachmurzenia jest cechą charakterystyczną klimatu miasta. Być może w tym przypadku o obserwowanej wielkości zachmurzenia zadecydowała wspomniana już poprzednio lokalizacja ogródka meteorologicznego. Podrastające krzewy i drzewa mogły coraz bardziej zasłaniać horyzont obarczając wykonywane pomiary coraz większym błędem.

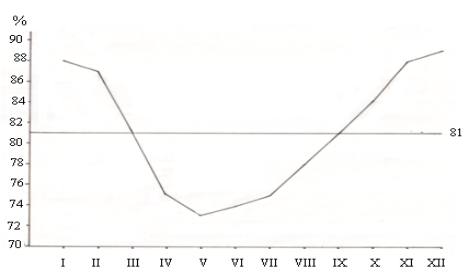
Przebiegi roczne podstawowych elementów meteorologicznych w Siedlcach w latach 1951-1965 przedstawiono na rys. 1-6. Punkty pomiarów stężenia SO_2 i stężenia pyłu (mg/m^3) w latach 1980 i 1981 podano na planie rys. 7, a przebiegi roczne – na rys. 8 i 9.



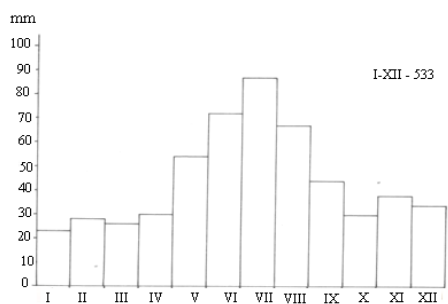
Rys. 1. Przebieg roczny temperatury powietrza w Siedlcach (1951-1965)



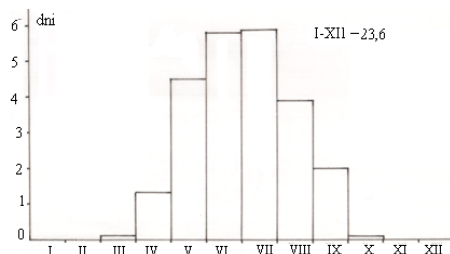
Rys. 2. Przebieg roczny ciśnienia pary wodnej (e) i niedosytu wilgotności (Δ) w Siedlcach (1951-1965)



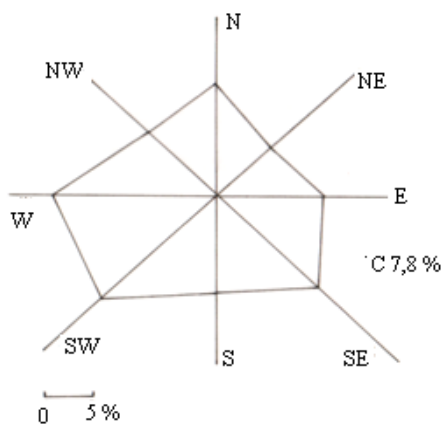
Rys. 3. Przebieg roczny wilgotności względnej powietrza (%) w Siedlcach (1951-1965)



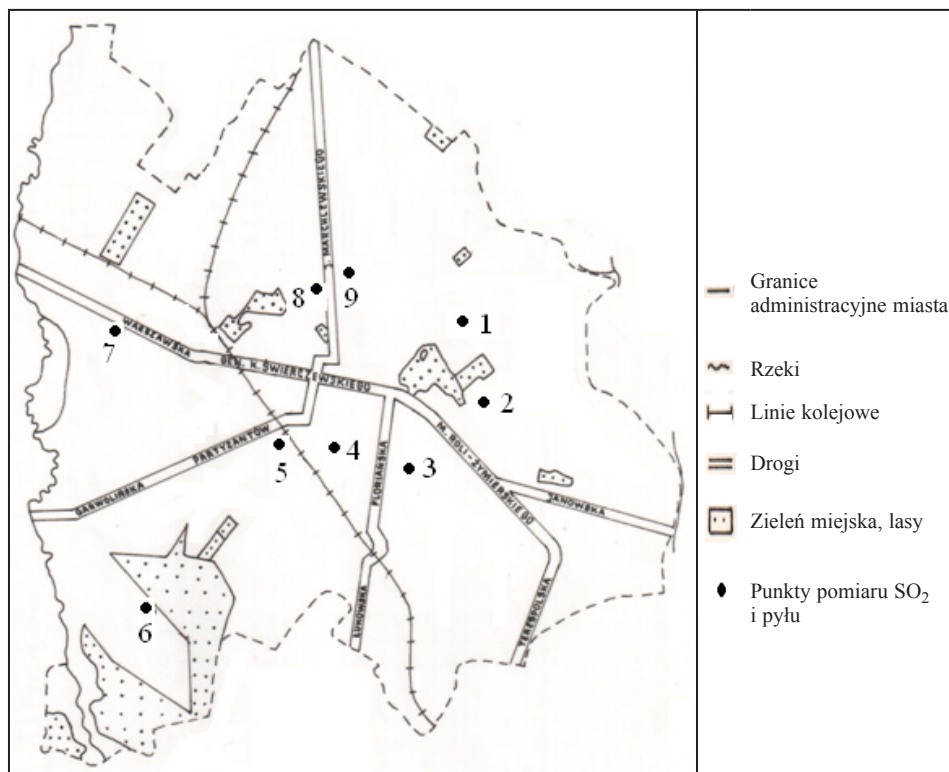
Rys. 4. Przebieg roczny opadów atmosferycznych w Siedlcach (1951-1965)



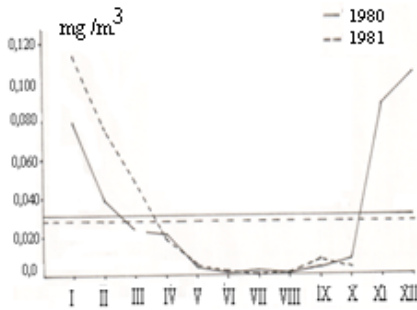
Rys. 5. Przebieg roczny dni z burzą w Siedlcach (1951-1965)



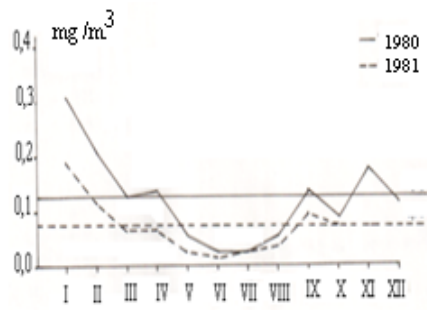
Rys. 6. Częstość kierunków wiatru w Siedlcach (1951-1965)



Rys. 7. Rozmieszczenie punktów pomiaru zanieczyszczeń powietrza w Siedlcach



Rys. 8. Przebieg roczny średniego dobowego stężenia SO_2 w Siedlcach w latach 1980 i 1981 (p. 2)



Rys. 9. przebieg roczny średniego dobowego stężenia pyłu w Siedlcach w latach 1980 i 1981 (p. 2)

Prognoza średniej rocznej temperatury powietrza w Siedlcach do 2000 roku

W obliczeniach wykorzystano średnie roczne wartości temperatury powietrza z kolejnych lat 1931-1984 w Siedlcach. Na podstawie tych danych wyznaczono trend czasowy $y=F(t)$ temperatury powietrza.

Cykle temperatury wyznaczono metodą sinusoid regresji J. Boryczki zakładając zależność od czasu t (przyjęto rok 1931 jako $t=0$):

$$y = a_0 + b \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + c\right)$$

gdzie: T – okres (parametr z przedziału $0 < T \leq 100$ lat), b – amplituda, c – faza.

Okresy T – to maksyma lokalne współczynnika korelacji $R = (1 - \varepsilon^2/s^2)^{0,5}$ (minima lokalne wariancji resztkowej ε^2), s^2 – wariancja zmiennej y .

Po weryfikacji testem Fishera-Snedecora na poziomie istotności 0,05 potraktowano je jako cykle. Stwierdzono trzy cykle: 8-letni o amplitudzie $0,528^\circ\text{C}$, 12-letni o amplitudzie $0,545^\circ\text{C}$ i 17-letni o amplitudzie $0,272^\circ\text{C}$. Dla tych cykli pierwiastek wariancji resztkowej ε oraz błąd standardowy $\delta = n^{0,5}(n-3)^{-0,5} \varepsilon$ był najmniejszy, a wartości F_{obl} i współczynnika korelacji (R) – największe.

Tabela 1. Miary dokładności wyznaczonych cykli średniej rocznej temperatury powietrza

Cykle	ε	δ	R	F_{obl}
8 lat	0,8035	0,8268	0,4265	5,670
12 lat	0,8035	0,8268	0,4265	5,670
17 lat	0,8671	0,8922	0,2175	1,266

Złożenie uzyskanych cykli dało w rezultacie trend czasowy temperatury powietrza. Został on rozpatrzony w dwóch wariantach, tj. z uwzględnieniem składnika liniowego at i jego pominięciem ($a=0$):

$$y = a_0 + at + \sum_{r=1}^k b_r \sin\left(\frac{2\pi}{T_r}t + c_j\right)$$

Przy wyborze odpowiedniego wariantu wzięto pod uwagę wartości błędu standardowego, współczynnika korelacji R oraz F_{obl} , które są miarą dokładności funkcji aproksymującej. W przypadku obliczeń przeprowadzonych tą metodą dla Siedlec uzyskano następujące miary dokładności funkcji trendu temperatury powietrza (tab. 2).

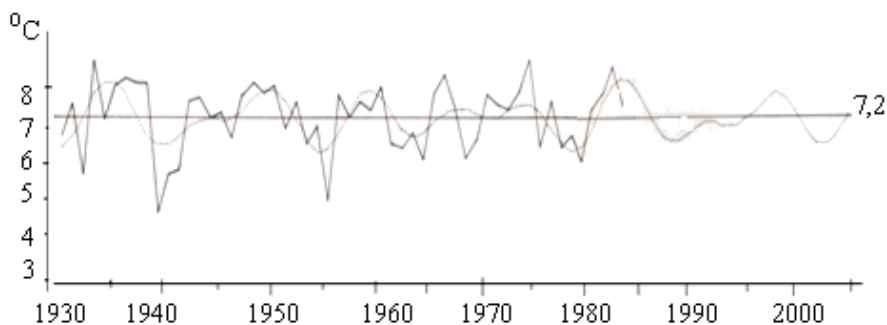
Tabela 2. Oceny dokładności funkcji trendu czasowego

	Bez składnika liniowego ($a=0$)	Ze składnikiem liniowym ($a \neq 0$)
R	0,5831	0,5846
δ	0,7736	0,7809
F_{obl}	4,036	3,412
F_{kr}	2,30	2,22

Wprowadzenie składnika liniowego do funkcji aproksymującej przyczyniło się 1 do wzrostu błędu standardowego oraz zmniejszenia się wartości F_{obl} . Ale funkcja trendu ze składnikiem liniowym at jest także istotna na poziomie 0,05 (w tabelce podano również wartości F_{kr} odczytane z tablic rozkładu F na poziomie istotności 0,05) w związku z tym w dalszych rozważaniach nie brano pod uwagę składnika liniowego at . Na marginesie należy wspomnieć, że stała tendencja trendu at , jak sądzi autor tej metody (Boryczka, 1984) może wskazywać antropogeniczne zmiany temperatury powietrza w mieście związane ze wzrostem koncentracji zanieczyszczeń (szczególnie CO_2) oraz z rozbudową miasta. Dodatni współczynnik regresji $a=0,24^\circ C/100$ lat świadczy to o stałym wzroście temperatury powietrza w Siedlcach.

Funkcja trendu temperatury powietrza w Siedlcach ma postać
 $y=7,194+0,4350\sin(2\pi t/8-2,570)+0,4853\sin(2\pi t/12-1,702)+0,1990\sin(2\pi t/17+0,3862)$

Oprócz wykresu tej funkcji na rys. 9, przedstawiono także średnie roczne wartości temperatury powietrza w Siedlcach, zmierzone w kolejnych latach 1931-1984. Przecinając wykres trendu temperatury linią prostą $y=y_{sr}$, gdzie $y_{sr}=7,2^\circ C$ jest średnią roczną temperaturą w 54-leciu 1931-1984, określono chronologię okresów chłodnych i ciepłych w 70-leciu 1931-2000.



Rys. 9. Trend czasowy temperatury powietrza w Siedlcach (1931-2005), — wartości zmierzone, ... wartości funkcji aproksymującej

Ten model zmian temperatury powietrza jest obciążony oczywiście pewnym błędem. Przede wszystkim dysponowano tylko 54-letnią serią obserwacyjną, co umożliwiło wyznaczenie tylko krótkich cykli: 8-, 12- i 17-letniego. Istotne cykle dłuższe nie zostały uwzględnione. Dlatego też w miarę oddalania się od końca okresu obserwacyjnego, tj. od 1984 roku, rośnie prawdopodobieństwo błędu. Poza tym należy zaznaczyć, że jest to model tendencji zmian. Jednak mimo tych wszystkich niedostatków, prognoza ta pozwala na ogólną, orientacyjną tendencję zmian klimatu w Siedlcach.

Zakończenie

Jak wspomniano na wstępie, klimat miasta można rozpatrywać w różnych skalach. Próbę takiego różnorodnego podejścia do klimatu miasta zaprezentowano także w niniejszej pracy.

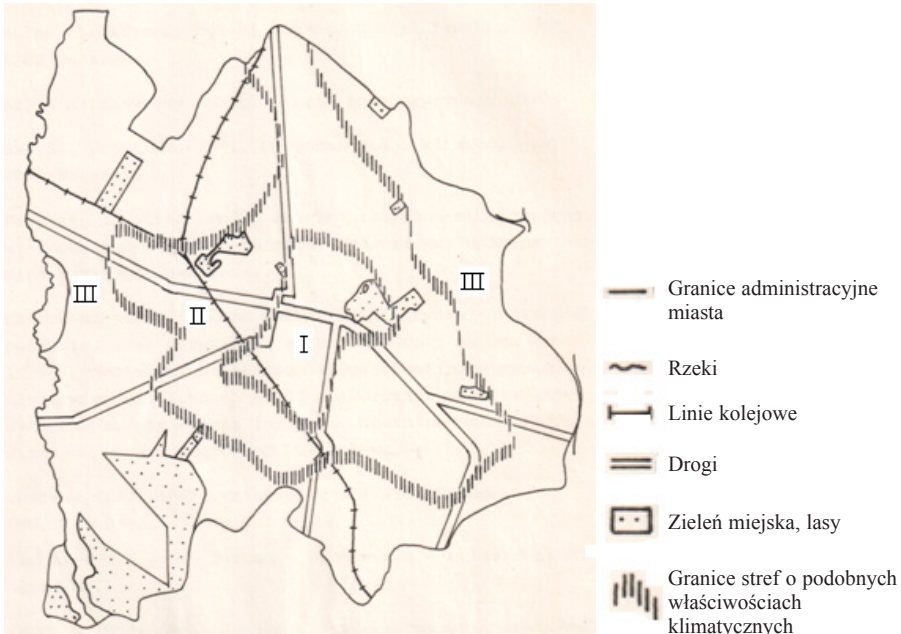
Porównanie wartości elementów klimatu w Siedlcach i w Polsce miało na celu wykupienie tych cech klimatu Siedlec, które decydują o swoistym charakterze i które wynikają z położenia geograficznego. Charakter klimatu Siedlec kształtuje głównie zachodnia cyrkulacja powietrza, a lokalizacja miasta na wschodnich krańcach Polski i stosunkowo bliskie sąsiedztwo dużego i zwarteo kontynentu azjatyckiego sprzyja częstszemu niż na zachodzie Polski napływowi kontynentalnych mas powietrza. Znalazło to swój wyraz w wartościach elementów klimatu. Siedlce mają niższe niż przeciętnie w Polsce temperatury powietrza zimą, ale wyższe latem. W związku z tym średnia roczna amplituda temperatury, będąca najprostszym wskaźnikiem kontynentalizmu klimatu, jest większa w Siedlcach. Notuje się także mniej opadów atmosferycznych. Prawie w każdym miesiącu sumy opadów w Siedlcach są mniejsze od przeciętnych wartości występujących na obszarze Polski, przy czym w Siedlcach, podobnie jak i w Polsce, maksimum opadowe występuje w lipcu. Jednak w miarę wzrostu stopnia kontynentalizmu klimatu, co ma miejsce w przypadku Siedlec, rośnie ilość opadów letnich w stosunku do opadów zimowych. W Siedlcach opady letnie są 2,8 razy większe niż opady zimowe, natomiast przeciętnie na obszarze Polski są one 2,3 razy większe.

Inne spojrzenie na klimat Siedlec uzyskano przy założeniu jego odmienności w środowisku geograficznym, co pozwoliło wskazać charakterystyczne cechy klimatu miasta. Natężenie tych cech zależy przede wszystkim od wielkości miasta oraz od stopnia gospodarczego zainwestowania terenu. W dużych miastach przemysłowych cechy te są bardziej widoczne niż w niewielkich miastach słabo uprzemysłowionych. Biorąc pod uwagę wielkość Siedlec należy spodziewać się, że klimat Siedlec ma już cechy klimatu miejskiego. Cechą charakterystyczną są wyższe temperatury powietrza w mieście. Wielkość różnic temperatur między centrum a peryferiami miasta zmienia się w zależności od pory dnia i roku. Należy spodziewać się, że średnia roczna temperatura w centrum Siedlec będzie średnio o około 0,4°C wyższa niż na peryferiach. Wilgotność powietrza będzie niższa w centrum w porównaniu z obszarami pozamiejskimi; różnice wilgotności względnej wahają się od -1 do -5% w ciągu roku. Natomiast wielkości opadów atmosferycznych będą większe przez cały rok w centrum miasta. Również zwarta zabudowa centrum utrudnia swobodny poziomy ruch powietrza. W związku z tym prędkości wiatru w centrum powinny być przeciętnie o około 0,8 m/s mniejsze.

Porównanie danych z dwóch okresów obserwacyjnych 1951-1965 i 1971-1980 pozwoliło zauważyć, że wzrosła temperatura powietrza, zmniejszyła się liczba dni przy-mrozkowych, mroźnych i bardzo mroźnych, zmniejszyła się zawartość wilgoci w powietrzu miejskim, częściej występowała mgła oraz zmniejszyła się prędkość wiatru. Różnice te są prawdopodobnie wynikiem nałożenia się globalnych zmian klimatu na zmiany związane z procesem uprzemysłowienia i rozwoju miasta. Należy sądzić, że te obserwowane zmiany klimatu są w większości wynikiem zmian gospodarczych dokonywanych w Siedlcach po 1965 roku, a owocujących dopiero w latach siedemdziesiątych, kiedy to obserwowano przyspieszony rozwój miasta.

Analiza struktury urbanistycznej Siedlec w powiązaniu ze znajomością oddziaływań różnych czynników na klimat dała podstawę do wyróżnienia stref charakteryzujących się podobnymi warunkami klimatycznymi.

Czynnikiem różnicującym klimat miasta, a szczególnie w przypadku, gdy miasto jest położone na terenie słabo zróżnicowanym pod względem hipsometrycznym jest różnego rodzaju zabudowa (w zależności od rodzaju materiałów budowlanych, wysokości i zawartości budynków) przeplatająca się z terenami zieleni miejskiej (parki, zieleńce, itp.) oraz z naturalnymi powierzchniami zielonymi (lasy, łąki, itp.). na takim właśnie płaskim terenie są zlokalizowane Siedlce; deniwelacje nie przekraczają na ogół 4 metrów. W tej sytuacji dokonano próby wydzielenia obszarów o podobnych cechach klimatu, przyjmując jako główne kryterium podziału zawartość i wysokość zabudowy. Zostały wyróżnione trzy obszary, zwane dalej strefami, układające się koncentrycznie wokół śródmieścia. Granice między strefami są nieostre. Wynika to stąd, że granicę stanowi obszar, na którym występują cechy charakterystyczne dla obu sąsiadujących stref (rys. 11)



Rys. 11. Obszary o podobnych właściwościach klimatycznych na terenie Siedlec

I strefa – śródmieście Siedlec obejmuje najbardziej zwartą i najwyższą zabudowę miasta. Jest to obszar, gdzie sztuczne powierzchnie czynne dominują nad naturalnymi. Jest to również najbardziej zanieczyszczony rejon miasta, średnie roczne stężenia dwutlenku siarki są większe od $0,040 \text{ mg/m}^3$, a stężenia pyłu od $0,15 \text{ mg/m}^3$. W tej strefie należy się spodziewać maksymalnych różnic między wartościami elementów klimatu mierzonymi w tej strefie i w strefie pozamiejskiej. Śródmieście Siedlec powinno okazać się najcieplejsze, najsuchsze i najmniej wietrzne w ciągu całego roku. Największe różnice temperatur powietrza są latem, a największą zmiennością wyróżnia się temperatura minimalna. I tak średnia temperatura powietrza powinna być w tej strefie o około $0,4^\circ\text{C}$ wyższa niż w strefie III, minimalna o $0,8^\circ\text{C}$, zaś temperatura maksymalna jest mniej więcej taka sama w obu strefach. Wyższej temperaturze towarzyszy średnio o $0,2 \text{ hPa}$ niższe ciśnienie pary wodnej i około 3% mniejsza wilgotność względna. Niewielkim zmianom uległa wielkość zachmurzenia i opad atmosferyczny – powinny być nieco większe. Natomiast średnia prędkość wiatru jest w tej strefie o $0,6\text{-}1,3 \text{ m/s}$ mniejsza przez cały rok.

II strefa okalająca śródmieście różni się od poprzedniej znacznym wzrostem udziału powierzchni niezabudowanych, zajętych przez grunty orne i użytki zielone. W miarę oddalania się od granic poprzedniej strefy, zmienia się charakter zabudowy oraz jej wysokość. Budynki są najczęściej parterowe lub mają jedno piętro i są przeważnie wolno stojące w otoczeniu zieleni przydomowej. Również jest mniejsze zanieczyszczenie powietrza, średnie roczne stężenia dwutlenku siarki kształtują się w granicach od $0,020$ do $0,040 \text{ mg/m}^3$, a stężenia pyłu od $0,05$ do $0,15 \text{ mg/m}^3$.

Ostatnia strefa to peryferie miasta. Tutaj grunty orne i użytki zielone dominują nad obszarami zabudowanymi, przy czym zabudowa ma charakter zagrodowej i skupia się najczęściej w pobliżu ważniejszych dróg. Na przykład, w dzielnicy Piaski Zamiejskie cała zabudowa koncentruje się wzdłuż jednej drogi, o tej samej nazwie co dzielnica, stanowiącej główny szlak komunikacyjny w tej części miasta. Również zanieczyszczenia powietrza są w III strefie najmniejsze; średnie roczne stężenie dwutlenku siarki są poniżej $0,020 \text{ mg/m}^3$, a stężenia pyłu poniżej $0,05 \text{ mg/m}^3$. Jest to także obszar, na którym zacierają się różnice klimatyczne miasto-obszar pozamiejski. Zachodnią granicę tej strefy i zarazem zachodnią granicę miasta, stanowi rzeka Muchawka. Obszary przylegające do rzeki, a szczególnie w okolicy Zalewu nad Muchawką, stanowią tereny rekreacji i wypoczynku mieszkańców Siedlec. Przyjęto, że wartości elementów klimatu mierzone na stacji meteorologicznej w Siedlcach są najbardziej reprezentatywne dla warunków klimatycznych III strefy, tzn. peryferii miasta. Średnia roczna temperatura powietrza w tej strefie wynosi $7,2^\circ\text{C}$, temperatura maksymalna $11,6^\circ\text{C}$ oraz temperatura minimalna $3,2^\circ\text{C}$. Ciśnienie pary wodnej wynosi $9,0 \text{ hPa}$, a wilgotność względna 81%. Wielkość zachmurzenia kształtuje się na poziomie 5,3. W ciągu roku spada przeciętnie 555 mm opadu. Średnia prędkość wiatru wynosi $3,3 \text{ m/s}$.

7.4.4. Charakterystyka fizycznogeograficzna okolic Żelechowa, ze szczególnym uwzględnieniem topoklimatu

Autor: Dariusz D O R O B I S Z

Opiekun naukowy: Danuta M A R T Y N

Cel i zakres pracy

Celem pracy jest ogólna charakterystyka fizycznogeograficzna okolic Żelechowa, ze szczególnym uwzględnieniem topoklimatu, przeprowadzona na podstawie własnych obserwacji oraz danych z literatury dotyczącej tego regionu i wyników obserwacji ze Stacji Meteorologicznej IMGW w Jarczewie, z okresu 1980-1989.

Celem pracy było również zapoznanie się z warunkami przyrodniczymi badanego terenu, kompleksowa prezentacja poprzedzona analizą poszczególnych komponentów środowiska, wskazanie związków między nimi oraz przedstawienie kartograficzne. Wykonano kilka map, m.in. mapy: hipsometryczną, gleb, wód powierzchniowych, hydroizohips, użytkowania terenu, ekspozycji zboczy i topoklimatów okolic Żelechowa.

Praca składa się z 4 rozdziałów będących opracowaniem poszczególnych elementów środowiska (położenie, ukształtowanie powierzchni, budowa geologiczna, gleb, wody, szata roślinna i użytkowanie terenu), charakterystyki klimatu i różnicowanie topoklimatyczne wraz z podsumowaniem.

Materiały źródłowe

W pierwszym etapie pracy zebrano i zanalizowano literaturę opisującą środowisko geograficzne okolic Żelechowa, dotyczącą problematyki regionalizacji fizycznogeograficznej, a także literaturę omawiającą metody badań w terenie.

Wykorzystano materiały kartograficzne:

- Mapę topograficzną w skali 1:25000, arkusz 284.12 Żelechów;
- Mapę gleb w skali 1:25000 gmin Żelechów, Wola Mysłowska i Kłoczew z IUNG w Puławach;
- Mapę użytkowania terenu w skali 1:15000 gmin Żelechów, Wola Mysłowska i Kłoczew z Urzędów: Miasta i Gminy Żelechów, Gminy Wola Mysłowska i Gminy Kłoczew.

Ze stacji Meteorologicznej IMGW w Jarczewie uzyskano dane z pomiarów meteorologicznych, z okresu 1980-1989. W czasie badań terenowych zmierzono 93 studnie.

Drugi etap prac obejmował: analizę uzyskanych materiałów, danych i wyników pomiarów terenowych. Opracowano szczegółowe mapy w skali 1:25000 – hipsometryczną (wg mapy topograficznej w skali 1:25000, arkusz 284.12. Żelechów), gleb (wg mapy gleb z IUNG w Puławach), wód powierzchniowych i hydroizohips, użytkowania terenu (wg map z Urzędów z Żelechowa, Woli Mysłowskiej i Kłoczewa) oraz mapę ekspozycji zboczy. Zestawiono tabelarycznie średnie wartości miesięczne i roczne danych meteorologicznych ze stacji Meteorologicznej IMGW w Jarczewie.

Trzeci etap obejmował opracowanie systematyczne poszczególnych komponentów środowiska przyrodniczego, opis elementów klimatu obszaru na podstawie tabel i wykonywanych rysunków oraz wykonanie mapy i opisu wyróżnionych topoklimatów w okolicach Żelechowa.

Charakterystyka fizycznogeograficzna

Położenie

Badany obszar leży w południowo-wschodniej części województwa mazowieckiego i północno-zachodniej części województwa lubelskiego. Obejmuje północno-wschodnią część gminy Żelechów (powiat Garwolin, woj. mazowieckie), północno-zachodnią część gminy Wola Mysłowska (pow. Łuków, woj. lubelskie) i niewielki obszar północnej części gminy Kłoczew (pow. Ryki, woj. lubelskie).

Należy on do mezoregionu Wysoczyzna Żelechowska (319.95) należącego do makroregionu Niziny Południowo-Podlaskiej (319.9), który stanowi część prowincji Niz Środkowo-Europejski (31), ta z kolei jest częścią podobszaru Pozaalpejskiej Europy Zachodniej (3) i obszaru Europy Zachodniej (Kondracki 1999).

Okolice Żelechowa położone są peryferyjnie względem głównych tras drogowych i kolejowych, dopiero na zachód od Żelechowa, w odległości 12 km przebiega trasa Warszawa-Lublin.

Odległości od Żelechowa do innych miast wynoszą w komunikacji drogowej: Łuków (woj. lubelskie) – 38 km, Siedlce – 63 km, Garwolin – 25 km, Łaskrzew – 40 km, Stoczek Łukowski – 23 km, Ryki (woj. lubelskie) – 26 km, Warszawa – 91 km.

Ukształtowanie powierzchni

Okolice Żelechowa charakteryzują się rzeźbą niskofalistą. Północna i zachodnia część obszaru jest bardzo urozmaicona rozczłonkowaną siecią dolin rzecznych. Część środkowa i południowa jest nieco wyniesiona- najwyższe wyniesienie terenu (196,1 m n.p.m.) znajduje się w środkowo-południowej części obszaru, na zachód od wsi Kłótówka. Najniższy obszar (161,4 m n.p.m.) leży w północno-zachodniej części badanego obszaru, w dolinie rzeki Żelechówki, na wschód od Krupy – część wsi Gózek. Różnica wysokości wynosi 34,7 m (wg mapy topograficznej w skali 1:25000, arkusz 284.12 Żelechów z 1987 roku).

W zachodniej części obszaru biegnie dolina Żelechówki i jej dopływów, a w północnej części znajduje się dolina niewielkiego fragmentu rzeki Wilgi i jej dopływów.

Metoda sporządzania map topoklimatów

Na podstawie metody sporządzania map topoklimatów J. Paszyńskiego (1980) z modyfikacją T. Bartkowskiego (1986) i map okolic Żelechowa: hipsometrycznej, gleb, użytkowania terenu i ekspozycji zboczy autor, stosując własną numerację, wyróżnił w Jarczewie kilka rodzajów topoklimatu (rys. 1).

Podstawowe znaczenie dla kształtowania się topoklimatu ma wymiana energii zachodząca na powierzchni granicznej pomiędzy atmosferą a jej podłożem. Wymianę energii przedstawiono w postaci równania bilansu cieplnego powierzchni granicznej. Równanie to ma postać dla godzin dziennych:

$$K_{\downarrow} + (S) = K_{\uparrow} + L + B + P + E,$$

a dla godzin nocnych:

$$P + B + E + (S) = L,$$

gdzie:

K_{\downarrow} – całkowite promieniowanie słoneczne (bezpośrednie i rozproszone),

K_{\uparrow} – promieniowanie słoneczne odbite od podłoża,
 S – ciepło wyzwolone sztucznie podczas procesu spalania,
 L – promieniowanie cieplne podłoża w zakresie długofalowym (wypromieniowanie efektywne),
 B – wymiana ciepła między powierzchnią graniczną a podłożem wskutek przewodzenia,
 P – wymiana ciepła między powierzchnią graniczną a atmosferą wskutek turbulencji,
 E – wymiana ciepła utajonego wskutek parowania lub kondensacji wody.

W obu równaniach człony znajdujące się po lewej stronie przyjmują, na ogół wartości dodatnie, tzn. że odpowiednie strumienie ciepła skierowane są ku powierzchni granicznej od góry lub od dołu, natomiast człony umieszczone po prawej stronie przyjmują wartości ujemne, tzn. że strumienie ciepła skierowane są od powierzchni granicznej, do atmosfery lub podłoża (pogoda bezwietrzna).

W metodzie tej wzięto pod uwagę wartości względne tych składników równania, które mają decydujące znaczenie w kształtowaniu warunków termicznych i wilgotnościowych w przyziemnej warstwie powietrza. Wartość względna – to odchylenie (dodatnie lub ujemne) od składnika bilansu cieplnego na terenie płaskim, o odsłoniętym horyzoncie, pokrytym trawą, z głębą umiarkowanie wilgotną. W podziale na typy topoklimatyczne wzięto przede wszystkim pod uwagę turbulencyjną w czasie pogodnych wymianę ciepła między powierzchnią graniczną, a atmosferą w nocy. Ten składnik bilansu cieplnego decyduje o występowaniu lokalnych przymrozków radiacyjnych lub radiacyjno-adwekcyjnych.

Ważniejsze wyniki badań topoklimatu w Jarczewie w latach 1980-1989 przedstawiono w tabelach 1-6.

Tabela 1. Średnie usłonecznienie (godz.) w Jarczewie (1980-1989)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Suma m.	43	61	110	163	227	189	226	223	142	98	54	28	1654
Suma d.	1,4	2,2	3,5	5,4	7,3	6,3	7,3	7,2	4,7	3,2	1,8	0,9	4,3

Tabela 2. Częstość kierunków wiatru (%) w przedziałach prędkości (m/s) w Jarczewie (1980-1989)

m/s	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Suma
0									7,8
1-2	3,8	2,7	4,0	4,6	6,2	5,5	6,5	3,4	36,7
3-5	1,6	2,0	5,3	5,6	6,7	6,7	9,1	3,8	40,8
6-7	0,1	0,2	1,3	1,4	0,9	1,7	3,5	0,6	9,7
8-10	•	•	0,7	0,3	0,1	0,7	1,8	0,3	3,9
11-15	•	•	0,1	0,1	•	0,3	0,5	•	1,0
≥16	•	•	•	•	•	•	0,1	•	0,1
Suma	5,5	4,9	11,4	12,0	13,9	14,9	21,5	8,1	100,0
Śr. ważona	2,3	2,7	3,8	3,5	3,1	3,8	4,3	3,3	

Tabela 3. Prędkość wiatru (m/s) w Jarczewie (1980-1989)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
4,1	3,7	3,6	3,3	2,8	2,6	2,6	2,7	3,0	3,5	3,9	4,0	3,3

Tabela 3. Temperatura powietrza (°C) w Jarczewie (1980-1989), T – średnia dobowa, T_{\max} – maksymalna, T_{\min} – minimalna

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
T	-3,8	-3,4	1,0	7,1	13,3	15,4	17,4	16,8	12,7	8,1	1,9	-0,8	7,1
T_{\max}	-1,6	-0,9	4,0	12,4	18,8	20,5	22,8	22,6	17,7	12,4	4,7	1,7	13,5
T_{\min}	-7,4	-6,0	-2,0	2,5	7,7	10,5	12,1	11,7	8,9	4,8	-0,5	-2,6	3,3

Tabela 4. Wilgotność powietrza w Jarczewie (1980-1989), e – ciśnienie pary wodnej (hPa), f – wilgotność względna (%), Δ – niedosyt wilgotności (hPa)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
e	4,4	4,4	5,6	7,7	11,5	14,1	15,3	14,8	12,5	9,4	6,4	5,6	9,3
f	87	85	82	75	74	79	76	77	84	85	87	88	82
Δ	0,7	0,8	1,6	3,5	5,8	5,4	6,8	6,6	3,5	2,3	1,0	0,7	3,9

Tabela 5. Zachmurzenie (%) w Jarczewie (1980-1989)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
79	75	70	65	59	66	63	60	62	66	78	85	69

Tabela 5. Sumy opadów (mm) w Jarczewie (1980-1989) na wysokości 1m n.p.g i przy gruncie

poziom	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
1 m	31	20	34	31	51	70	56	58	52	38	38	50	529
0 m	42	27	41	36	56	76	61	62	58	44	48	62	614

Tabela 6. Liczba dni z opadem, opadem deszczu, opadem śniegu i pokrywą śnieżną

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Opad	17	14	14	12	12	15	14	11	11	14	17	20	170
Deszcz	6	5	7	8	12	15	14	11	11	13	10	9	120
Śnieg	11	9	7	4	0	·	·	·	·	1	7	11	50
Pokr. śn.	20	19	10	0	·	·	·	·	·	0	5	12	66
Burze	·	·	0	2	6	6	5	2	0	·	·	·	27

Topoklimaty w okolicach Żelechowa

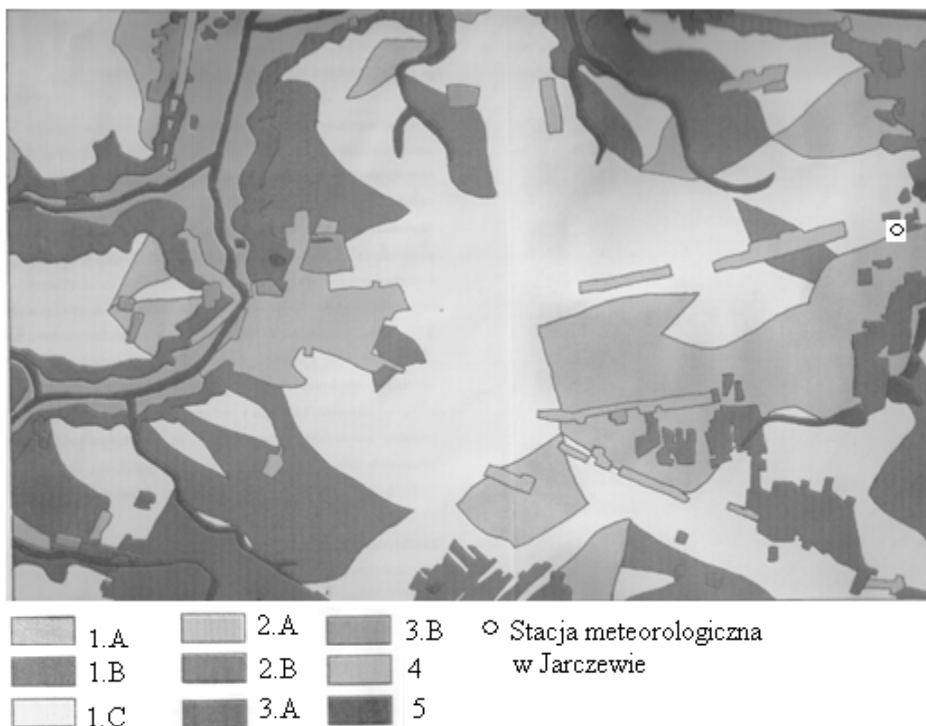
1. Topoklimaty form wypukłych

Nie ma dużych przymrozków lokalnych pochodzenia radiacyjnego lub radiacyjno-adwekcyjnego i dużej wymiany ciepła między powierzchnią graniczną, a atmosferą wskutek turbulencji w nocy. Jest to teren o przeciętnych wartościach całkowitego promieniowania słonecznego (bezpośrednie+rozproszone). Należą do nich wszystkie niezalesione formy wypukłe z wyjątkiem zboczy południowych i północnych, o nachyleniu ponad 5°, a więc wszystkie zbocza o pozostałych wystawach oraz zbocza północne i południowe o nachyleniu nie przekraczającym 5°, a także niewielkie partie wierzchowinowe, na których – ze względu na ich małą rozciągłość – nie ma warunków do tworzenia się warstwy zimnego powietrza w czasie pogodnych nocy. Ta grupa topoklimatów dominuje w okolicach Żelechowa.

- **1.A.** Topoklimat stoków i zboczy dowietrznych – są to miejsca silniej chłodzone przez wiatry, bardziej wystawione na opady atmosferyczne, krótsze zaleganie pokry-

wy śnieżnej wskutek działalności wiatrów. Występują one we wschodniej i południowo-wschodniej części okolic Żelechowa, na niewielkich obszarach na zachód od Żelechowa i w okolicy wsi Gózdek.

- **1.B.** Topoklimat stoków i zboczy zawietrznych; w miejscach bardziej zacisznych, charakteryzujących się dużą wilgotnością powietrza i uwilgoceniem gleby, często tworzy się mgła i rosa. Występuje w północnej, południowo-zachodniej i południowo-wschodniej części omawianego terenu.
- **1.C.** Topoklimat pozostałych stoków i zboczy. Występuje na niewielkich powierzchniowo obszarach rozrzuconych po całym terenie, z koncentracją w części środkowej – na wschód od Żelechowa.



Rys. 1. Mapa topoklimatów w okolicach Żelechowa (jednoski przestrzenne, Skala 1: 25 000)

2. Topoklimaty form wklęsłych

Cechują się częstymi inwersjami temperatury powietrza, narażone w większym stopniu na niebezpieczeństwo przymrozków pochodzenia lokalnego.

- **2.A.** Topoklimat o względnie małych wartościach wymiany ciepła między powierzchnią graniczną a atmosferą wskutek turbulencji (w nocy) i stosunkowo **dużych wartościach wymiany ciepła utajonego** wskutek parowania lub kondensacji pary wodnej. Na rozległych, dobrze nawietrznych, podmokłych dnach dolin pokrytych roślinnością łąkową, gdzie w czasie pogodnych nocy tworzą się zastoiska chłodnego po-

wietrza, a więc narażone są na niebezpieczeństwo przymrozków lokalnych typu radiacyjno-adwekcyjnego.

- **2.B.** Topoklimat o względnie małych wartościach wymiany ciepła między powierzchnią graniczną, a atmosferą wskutek turbulencji (w nocy) i o przeciętnych wartościach wymiany ciepła utajonego wskutek parowania lub kondensacji pary wodnej. Na wyżej położonych częściach rozległych szerokich den dolin, o nieco niższym niż w 2.A. zwierciadle wód gruntowych, gdzie czynnikiem ograniczającym parowanie terenowe jest ilość wody będącej do dyspozycji. Topoklimaty 2.A. i 2.B. występują obok siebie w dolinach rzek: Żelechówki w zachodniej i północno-zachodniej części omawianego obszaru, Wilgi w północno-wschodniej części, oraz na niewielkich obszarach dopływów tych rzek, przy ich ujściu.

3. Topoklimaty obszarów zalesionych

Wskutek osłonięcia powierzchni granicznej przed wypromieniowaniem przez okap leśny, występują stosunkowo wysokie wartości promieniowania ciepłego podłoża (wypromieniowanie efektywne) w zakresie długofalowym; nocne spadki temperatury są znacznie mniejsze niż na obszarach sąsiednich.

- **3.A.** Topoklimat o względnie małych wartościach i o przeciętnych wartościach promieniowania ciepłego podłoża i o przeciętnych wartościach całkowitego promieniowania słonecznego (bezpośrednie i rozproszone). Na płaskich obszarach zalesionych lub położonych na zboczach, z wyjątkiem zboczy o wystawie północnej lub południowej, o nachyleniu ponad 5° i o zwartym okapie koron drzew. Występują one w południowej części obszaru, w Lesie Żelechowskim oraz we wschodniej i południowo-wschodniej części terenu, na niewielkich powierzchniowo prywatnych lasach i zagajnikach chłopskich.
- **3.B.** Topoklimat o względnie małych wartościach promieniowania ciepłego podłoża i o wyższych niż w 3.A. wartościach całkowitego promieniowania słonecznego. Na obszarach zalesionych, płaskich lub położonych na zboczach, z wyjątkiem zboczy o wystawie północnej i południowej, o nachyleniu przekraczającym 5° , i na mozaikowo występujących małych powierzchniach średnio lub słabo chronionych przed wypromieniowaniem; są nimi powierzchnie o charakterze kompleksowym i o rozproszonym okapie koron drzew. Występują w okolicach Żelechowa i wsi Gózdek, w północno-zachodniej części i w innych częściach terenu, w obrębach lasów.

4. Topoklimaty obszarów pokrytych budynkami

W bilansie cieplnym występuje ciepło wyzwolone sztucznie przy procesach spalania i ze stosunkowo dużymi wartościami wymiany ciepła między powierzchnią graniczną a atmosferą wskutek turbulencji. Na terenach położonych w dobrze przewietrzonych partiach zboczowych lub wierzcholinowych, gdzie w przyziemnej warstwie atmosfery nie występuje niebezpieczeństwo zanieczyszczeń. Topoklimat ten obejmuje miasto Żelechów i wsie: Gózdek w północno-zachodniej części terenu, Kębłów w południowo-zachodniej części, Huta Żelechowska na północno-wschodzie, oraz leżące na wschód od Żelechowa – Jarczew, Zakrzówek i Kotłówka.

6. Topoklimat zbiorników wodnych

O bardzo dużych wartościach wymiany ciepła między powierzchnią graniczną a podłożem wskutek przewodzenia. Obejmuje on zbiorniki wodne, naturalne i sztuczne oraz

ich bezpośrednie otoczenie, gdzie wskutek dużej pojemności cieplnej i dobrej przewodności cieplnej podłoża, dobowe amplitudy temperatury w przyziemnej warstwie powietrza są znacznie mniejsze, aniżeli na terenach sąsiednich. Topoklimat ten występuje w zachodniej i północnej części terenu; na obszarach rzek Żelechówki i Wilgi z dopływami niewielkich cieków. W okolicy Żelechowa – na północnych jego krańcach znajdują się stawy Polskiego Związku Wędkarskiego, a we wschodniej części terenu na południe i na północ od Jarczewa – prywatne stawy hodowlane.

Podsumowanie

Przeprowadzona analiza warunków klimatycznych okolic Żelechowa na podstawie danych ze Stacji Meteorologicznej IMGW w Jarczewie wskazuje na klimat umiarkowany dzielnicy wschodniej – Podlasko-Poleskiej (Woś, 1995).

W okolicach Żelechowa występuje wiele typów klimatu miejscowego. Na dość mało zróżnicowanym obszarze, o różnorodności topoklimatycznej decyduje forma pokrycia terenu roślinnością, ekspozycja zboczy i w niewielkim stopniu występowanie wód powierzchniowych. Posługując się klasyfikacją topoklimatów J. Paszyńskiego (1980) z modyfikacją T. Bartkowskiego (1986) sporządzono mapę topoklimatów okolic Żelechowa (rys. 1). Dominującą grupą topoklimatów w okolicach Żelechowa są topoklimaty form wypukłych, z których podgrupa A występuje we wschodniej i południowo-wschodniej części obszaru, podgrupa B w północnej, północno-zachodniej i południowo-wschodniej części, a podgrupa C koncentruje się na wschód od Żelechowa. Grupa topoklimatów form wklęsłych występuje w dolinach rzek Żelechówki i Wilgi, oraz ich dopływów. Topoklimaty obszarów zalesionych dzielą się na podgrupę A obejmującą Las Żelechowski oraz lasy i zagajniki chłopskie, podgrupę B obejmującą sady. W skład topoklimatu obszarów pokrytych budynkami wchodzi miasto Żelichów oraz wsie znajdujące się na tym terenie. Topoklimat zbiorników wodnych obejmuje rzeki Żelechówkę i Wilgę z dopływami oraz stawy hodowlane prywatne i PZW.

7.5. Klimat Wzniesień Południowomazowieckich

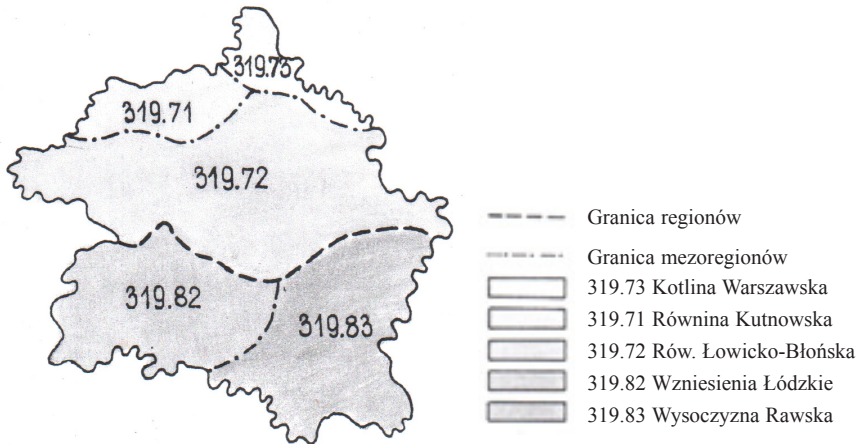
7.5.1. Klimat województwa Skierniewickiego

Autor: Jolanta MATUSIAK

Opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA,

Urszula KOSSOWSKA-CEZAK

Celem pracy jest charakterystyka elementów klimatu województwa skierniewickiego (rys. 1-2). Za podstawę opracowania przyjęto okres 15-letni 1951-1965. Opracowano materiały obserwacyjne pochodzące z 4 stacji meteorologicznych: Łowicz, Niepokalanów, Skierniewice i Strzelna oraz 3 posterunków opadowych: Sucha Nowa, Strugi, Mszczonów. W opracowaniu uwzględniono następujące elementy klimatologiczne: promieniowanie, usłonecznienie, temperaturę i wilgotność powietrza, zachmurzenie, opad atmosferyczny, kierunek i prędkość wiatru, zjawiska atmosferyczne oraz fenologię. Ważniejsze wyniki badań przedstawiono w tabelach 1-21.



Rys. 1. Regiony fizycznogeograficzne wg J. Kondrackiego

Analiza przestrzennego zróżnicowania poszczególnych parametrów meteorologicznych na obszarze województwa skierniewickiego wskazuje, że badany obszar cechuje przejściowość klimatu między klimatem morskim a kontynentalnym, która jest typowa dla Polski Środkowej. W związku z tym możemy zauważyć zróżnicowanie poszczególnych parametrów meteorologicznych w porównaniu z obszarami położonymi na północy-wschodzie i wschodzie oraz zachodzie i południo-zachodzie. W odniesieniu do obszarów sąsiadujących z nim od wschodu możemy mówić o pewnym „uprzywilejowaniu” pod względem warunków termicznych. Średnie miesięczne wartości temperatury są na tym obszarze o około 0,2-0,7°C wyższe w porównaniu z analogicznymi stołecznego województwa warszawskiego (luty – -3,0°C, lipiec – 18,1°C). Potwierdzają to również wartości temperatury maksymalnej, minimalnej i dobowe amplitudy temperatury powietrza, mniejsza jest średnio o 2 dni liczba dni bardzo mroźnych (16-21), mroźnych (33-40), przymrozkowych (94-115).

Stosunki wilgotnościowe w województwie cechują się nieco wyższymi wartościami wilgotności względnej o ok. 3% (79-31%) i niższymi o 0,4 hPa niedosytu wilgotności powietrza (3,1-3,3 hPa) w porównaniu z analogicznymi w województwie stołecznym.



Rys. 2. Rozmieszczenie stacji klimatycznych

Pod względem zachmurzenia województwo skierniewickie nie wyróżnia się od terenów je otaczających, zwłaszcza pod względem średnich rocznych wartości (około 65%). Jako obszar o zmniejszonym zachmurzeniu i większej liczbie dni pogodnych – około 50 i małej dni pochmurnych – około 109 – wyróżnia się Kotlina Warszawska. Jednocześnie obszar ten otrzymuje stosunkowo dużo opadów w roku, ponad 500 mm, podczas gdy na Równinie Kutnowskiej, Wysoczyźnie Rawskiej, Równinie Łowicko-Błońskiej roczne sumy opadu nie przekraczają 500 mm. Wiąże się to z faktem, że są to obszary położone w „cieniu opadowym” Wzniesień Łódzkich i Równiny Piotrkowskiej. Pokrywa śnieżna ustala się później niż w województwach wschodnich a wcześniej niż w południowo-zachodnich i zachodnich i zalega przez około 56 dni w roku, a więc średnio o 4 dni krócej w porównaniu do województwa stołecznego.

Natomiast w stosunku do zachodnich i południowo-zachodnich sąsiadów obszar województwa skierniewickiego cechują niższe wartości temperatury średniej miesięcznej i rocznej, podobnie też kształtują się wartości temperatury maksymalnej oraz liczba dni charakterystycznych. Długość okresu wegetacyjnego wynosi około 210 dni.

Przejściowość klimatu województwa skierniewickiego zaznacza się tylko w stosunku do terenów przyległych, ale także w granicach samego województwa. Mimo małego jego obszaru, zróżnicowanie warunków klimatycznych wskazuje na pewną odmienność w kształtowaniu poszczególnych elementów w części północnej i południowej województwa. Odmienność ta jest wynikiem nie tylko ogólnej cyrkulacji atmosferycznej, ale także uzależniona jest od ukształtowania rzeźby terenu.

Nizinne regiony północnej i środkowej części województwa charakteryzują wyższe wartości temperatury maksymalnej i minimalnej, dłuższy okres bezprzymrozkowy, szcze-

gólnie na północo-zachodzie i w centrum. Jednocześnie odnotowuje się tutaj mniej dni bardzo mroźnych i mroźnych.

Pod względem stosunków wilgotnościowych północne regiony : Kotlinę Warszawską, Równinę Kutnowską i północny-wschód Równiny Łowicko-Błońskiej cechują niższe wartości wilgotności względnej, większy niedosyt wilgotności powietrza i stosunkowo duże zachmurzenie, szczególnie w części północno-zachodniej, która wyróżnia się także mniejszymi sumami opadu.

Natomiast południowe regiony: Wysoczyzna Rawska i Wzniesienia Łódzkie wyróżniają się niższymi wartościami temperatury powietrza: średniej maksymalnej i minimalnej oraz stosunkowo krótkim okresem bezprzymrozkowym i większą liczbą dni mroźnych i bardzo mroźnych i małą liczbą dni gorących. Okres wegetacyjny jest najkrótszy w województwie i spada poniżej 210 dni. Zróżnicowanie przestrzenne parametrów wilgotności powietrza wyróżnia te regiony jako najwilgotniejsze, jednocześnie też o największych sumach opadu.

Takie zróżnicowanie wartości poszczególnych elementów meteorologicznych wskazuje na wyraźny wpływ warunków lokalnych, nawet w skali tak małego obszaru zaznaczają się różnice wynikające z ukształtowania terenu, obecności zbiorników wodnych czy kompleksów leśnych.

Rozwój gospodarczy danego obszaru jest w głównej mierze uwarunkowany warunkami naturalnymi, zasobami środowiska. W przypadku województwa skierniewickiego środowisko naturalne nie stwarza sprzyjających warunków do rozwoju rolnictwa ze względu na duży udział gleb słabych, głównie biellicowych, pseudobilicowych i brunatnych, wytwarzanych z piasków bądź glin lekkich i średnich: są to gleby V i niższych klas bonitacyjnych. Jedynie występujące we wschodniej części województwa czarne ziemie (obszar sochaczewski) zaliczane są do gleb średnich.

Nie mniej gleby piaskowe gliniaste, zajmujące największy obszar województwa, przy odpowiedniej kulturze i częstym nawożeniu nadają się pod uprawy żyta, ziemniaków, łubinu, saradeli, a na glebach niżej położonych także udaje się owies, koniczyna biała, a nawet jęczmień i pszenica. Gleby brunatne wytworzone na podłożu glin lekkich i średnich odznaczają się nieco lepszymi właściwościami użytkowymi. Są to przeważnie gleby pszenno-buraczane, zaliczane do II i III klasy bonitacyjnej.

W związku z tym w produkcji rolniczej województwa skierniewickiego dominuje kie-runek żytnio-ziemniaczany, uprawia się także rośliny pastewne: łubin, koniczynę białą, saradelę. Z roślin przemysłowych uprawia się len i buraki cukrowe.

Spośród zbóż uprawia się głównie żyto i owies, nieznaczny odsetek gruntów zajmuje pszenica, wymagająca lepszych warunków glebowych. Najodpowiedniejsze warunki do rozwoju upraw żyta i owsa obserwuje się na Równinie Kutnowskiej i Kotlinie Warszawskiej.

Dość znaczny udział w powierzchni zasiewów mają uprawy lnu i łubinu żółtego. Len najlepiej udaje się w południowych regionach, natomiast łubin na obszarze Równiny Kutnowskiej, Kotlinie Warszawskiej i Równinie Łowicko-Błońskiej.

Ze względu na stosunkowo lepsze gleby, bardziej sprzyjające warunki termiczne i wilgotnościowe uprawa buraka cukrowego rozwija się szczególnie w północnej części województwa.

O rozwoju danego regionu może zdecydować również jego atrakcyjność turystyczna. Województwo skierniewickie nie jest zbyt atrakcyjne pod względem walorów środowiska naturalnego, jakkolwiek sąsiedztwo Puszczy Kampinoskiej może wpłynąć na ożywienie ruchu turystycznego. Na centralnym szlaku turystycznym łączącym Warszawę z Łodzią istnieje kilka miejsc godnych zwiedzenia, a przede wszystkim zespół zabytkowy Arkadia – Nieborów. Arkadia jest jedynym w Polsce zabytkiem architektury ogrodowej, który zachował elementy koncepcji przestrzennych z końca XVIII wieku.

Pałac w Nieborowie, wzniesiony w latach 1695-1697 przez kardynała Radziejewskiego, stanowi wraz z Arkadią zespół zabytkowy o wysokiej wartości historycznej, artystycznej i krajobrazowej. Zaliczony został do najwyższej, tzn. zerowej grupy zamków i pałaców polskich. W odległości 6 km od Nieborowa leży Bolimów, gdzie zachowały się ślady grodziska i cmentarzysko ciałopalne z II wieku. Na trasie tej również znajduje się Łowicz z licznymi zabytkami, a przede wszystkim chłubiący się cennymi zabytkami sztuki i strojami ludowymi.

Na granicy województwa skierniewickiego i warszawskiego leży Żelazowa Wola, miejsce urodzenia Fryderyka Chopina.

Przeprowadzona w pracy charakterystyka warunków klimatycznych województwa skierniewickiego wykazała, że nie można mówić o monotonii klimatycznej omawianego obszaru, odchylenia wartości rozpatrywanych elementów meteorologicznych (promienianie, temperatura, wilgotność, zachmurzenie, opad i wiatr) są wynikiem przede wszystkim układu hipsometrycznego. Brak na opracowanym terenie jaskrawych kontrastów w poszczególnych elementach meteorologicznych sprzyja działalności gospodarczej człowieka, przy odpowiednim do warunków środowiska jej planowaniu. Sąsiedztwo Puszczy Kampinoskiej i zabytki architektury, kultury polskiej stwarzają potencjalne możliwości zagospodarowania turystycznego.

Tabela 1. Średnia dobowa temperatura powietrza

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Łowicz	-2,4	-2,7	0,8	8,2	12,8	17,3	18,6	17,7	13,8	8,6	3,5	-0,5	8,0
Niepokalanów	-2,8	-3,3	0,6	7,6	12,6	17,0	18,1	17,2	13,2	8,2	3,2	-0,4	7,6
Skierniewice	-2,9	-3,4	0,5	7,5	12,5	16,9	18,0	17,4	13,4	8,3	3,2	-1,2	7,6

Tabela 2. Średnia maksymalna temperatura powietrza

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Łowicz	0,1	0,8	4,7	12,8	18,0	23,1	24,0	23,8	20,0	13,6	6,2	2,3	12,4
Niepokalanów	0,1	0,1	3,9	12,9	18,0	22,6	23,7	23,2	19,4	13,5	5,9	1,9	12,1
Skierniewice	-0,3	-0,2	4,3	12,5	17,5	22,1	23,3	22,9	18,9	13,1	5,5	1,6	11,8

Tabela 3. Średnia minimalna temperatura powietrza

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Łowicz	-5,5	-7,0	-3,1	3,0	7,2	11,2	12,2	12,7	8,9	4,0	1,3	-2,6	3,5
Niepokalanów	-5,8	-6,9	-3,1	2,7	6,9	11,2	12,5	11,9	8,3	3,9	0,6	-3,0	3,3
Skierniewice	-5,8	-6,8	-3,0	2,9	7,1	11,2	12,8	12,4	8,9	4,2	0,6	-2,9	3,4

Tabela 4. Średnia dobowa amplituda temperatury powietrza

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Łowicz	5,6	7,8	7,8	9,8	10,8	11,9	11,8	11,1	11,1	9,6	4,9	4,9	8,9
Niepokalanów	5,9	7,0	7,0	10,2	11,1	11,4	11,2	11,3	11,1	9,6	5,3	4,9	9,0
Skierniewice	5,5	6,6	7,3	9,6	10,4	10,9	10,5	10,5	10,0	8,9	4,9	4,5	8,4

Tabela 5. Termiczne pory roku (a – początek; b – koniec; c – czas trwania)

	Zima			Przedwiośnie			Wiosna			Lato			Jesień			Przedzimie		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Łowicz.	11.12	10.03	91	11.03	1.04	22	2.04	30.05	59	1.06	5.09	97	6.09	4.11	60	5.11	10.12	36
Niepokal.	11.12	12.03	92	13.03	3.04	22	4.04	1.06	59	2.06	1.09	92	2.09	3.11	63	4.11	10.12	37
Skierniewice	11.12	13.03	92	13.03	3.04	22	4.04	1.06	59	2.06	2.09	93	3.09	2.11	61	3.11	10.12	38

Tabela 6. Średnia liczba dni przymrozkowych ($t_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$)

	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	Rok
Łowicz	0,8	4,2	8,4	18,7	20,0	18,9	17,3	5,0	0,8	94,1
Niepokalanów	•	5,2	12,1	20,7	25,4	22,7	22,9	7,1	1,1	117,2
Skierniewice	•	4,3	12,3	19,5	26,0	23,9	22,4	6,7	0,7	115,8

Tabela 7. Średnia liczba dni mroźnych ($t_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$), 1951-1965

	Dni mroźne ($t_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$)								
	X	XI	XII	I	II	III	IV	Rok	
Łowicz	•	1,3	8,7	9,4	9,2	4,3	•	32,9	
Niepokalanów	0,1	2,1	9,3	12,5	13,3	6,1	•	43,4	
Skierniewice	0,1	2,5	8,3	12,9	13,7	6,8	0,1	44,4	

Tabela 8. Średnia liczba dni bardzo mroźnych ($t_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$) i gorących ($t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$), 1951-1965

	Dni b. mroźne ($t_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$)						Dni gorące ($t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$)							
	XI	XII	I	II	III	Rok	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Rok
Łowicz	0,6	2,8	5,1	5,1	1,9	15,5	0,7	1,7	8,3	11,9	9,2	3,2	•	35,0
Niepokalanów	0,5	3,3	5,9	8,3	2,9	20,9	0,7	2,3	8,7	11,3	10,4	3,5	0,1	37,0
Skierniewice	0,6	3,3	6,6	8,4	2,9	21,8	0,5	1,6	7,7	10,5	9,1	3,3	•	32,9

Tabela 9. Średnie ciśnienie pary wodnej

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Niepokalanów	4,6	4,7	5,2	7,8	10,6	14,3	15,9	15,2	12,3	9,1	6,9	5,4	9,3
Skierniewice	4,7	4,5	5,4	7,8	10,6	13,9	15,2	14,8	12,1	9,3	7,1	5,5	9,2

Tabela 10. Średnia wilgotność względna powietrza

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Łowicz	87	87	84	80	73	73	73	75	77	81	88	92	81
Niepokalanów	84	84	79	74	72	72	70	77	79	81	87	86	79
Skierniewice	86	85	81	74	71	71	73	74	78	82	88	88	79

Tabela 11. Średnia wartość niedosytu wilgotności powietrza

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Łowicz	0,8	0,9	1,4	2,8	4,9	6,3	6,1	5,4	4,2	2,6	0,9	0,7	3,1
Niepokalanów	0,8	0,9	1,7	3,6	4,9	6,3	6,3	5,7	4,1	2,5	1,2	0,8	3,3
Skierniewice	0,8	0,8	1,4	3,4	6,1	6,5	6,7	6,2	4,3	2,4	1,0	0,7	3,3

Tabela 12. Średnie miesięczne sumy opadów w mm

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Łowicz	25	32	26	29	48	59	76	59	46	25	39	33	497
Niepokalanów	29	35	28	32	53	60	83	54	46	26	39	40	525
Skierniewice	18	24	21	32	53	61	88	53	45	24	36	31	486

Tabela 13. Średnia liczba dni z opadem $\geq 10,0$ mm

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Łowicz	0,1	0,4	0,5	0,5	1,3	2,2	2,2	2,8	1,5	0,5	0,8	0,4	13,2
Niepokalanów	•	0,3	0,3	0,5	1,4	1,3	2,7	1,3	1,5	0,5	0,6	0,4	10,8
Skierniewice	0,0	0,1	0,2	0,6	1,3	2,0	2,8	1,5	1,2	0,5	0,8	0,3	11,3
Strzelna	0,2	0,5	0,7	0,7	1,9	2,0	3,0	2,2	1,6	0,7	1,1	0,6	15,2

Tabela 14. Maksymalne dobowe sumy opadu

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Łowicz	22,8	25,0	25,0	18,6	21,2	46,0	46,3	35,7	23,0	39,0	24,0	39,0	46,3
Mszczonów	15,0	12,3	21,2	28,5	32,4	40,0	48,0	30,6	31,9	20,1	37,1	18,3	48,0
Niepokalanów	9,8	13,0	17,5	28,6	79,0	37,1	43,6	36,8	22,1	43,2	33,5	28,1	79,0
Skierniewice	8,9	10,1	16,1	26,6	27,4	55,2	41,9	40,2	26,7	42,5	31,1	22,0	55,2
Strugi	10,2	20,3	20,6	31,4	77,5	55,0	37,4	33,9	31,3	39,1	44,5	22,0	77,5
Strzelna	11,1	21,0	36,8	21,5	65,3	61,0	120,2	38,1	32,5	52,0	32,0	18,7	120,2
Nowa Sucha	16,4	15,8	16,1	22,4	86,9	45,8	56,5	36,5	19,7	30,8	23,5	27,3	56,5

Tabela 15. Średnia liczba dni z burzą

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Łowicz	•	0,4	•	1,7	3,2	4,1	3,0	2,2	1,2	•	0,1	•	15,6
Niepokalanów	0,1	•	0,1	1,2	4,1	5,4	7,0	4,3	2,1	•	•	0,1	24,4
Skierniewice	•	•	0,1	1,1	3,4	3,9	5,5	3,2	1,3	•	•	•	18,5
Strzelna	•	0,1	0,1	1,5	3,7	4,9	5,1	3,9	1,7	0,1	0,1	•	21,2

Tabela 16. Średnia liczba dni z pokrywą śnieżną

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	Rok
Niepokalanów	•	2,1	10,6	17,0	15,7	10,5	0,6	•	55,9
Skierniewice	•	2,3	8,6	16,6	17,7	10,7	0,9	0,1	56,9

Tabela 17. Średnia prędkość wiatru w różnych kierunkach (m/s) w Łowiczu

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
N	2,1	2,2	2,6	2,1	2,1	2,0	2,0	1,5	1,6	1,3	2,2	1,6
NE	1,6	2,0	2,3	2,0	1,9	2,0	2,2	1,5	1,5	1,5	2,4	1,5
E	2,1	2,2	2,5	2,8	2,0	2,3	2,0	2,0	2,0	1,8	2,3	2,4
SE	2,2	2,2	2,7	3,0	2,4	2,5	1,9	2,3	2,3	2,2	2,0	2,2
S	3,2	2,3	2,6	2,6	2,3	2,1	2,2	2,2	2,5	2,4	2,2	2,9
SW	2,9	4,7	3,5	2,4	2,3	2,0	2,3	2,6	2,6	2,7	3,3	4,0
W	2,8	3,0	3,0	1,7	2,4	2,3	2,4	2,6	2,4	2,2	3,2	2,4
NW	2,6	3,4	3,2	2,7	2,5	2,2	2,4	2,2	2,2	2,1	2,6	1,9

Tabela 18. Średnia prędkość wiatru w różnych kierunkach (m/s) w Niepokalanowie

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
N	3,8	3,6	4,2	3,7	3,6	3,2	2,9	2,6	3,0	2,8	3,9	3,1
NE	3,5	3,4	4,0	3,5	3,3	3,2	3,0	3,0	2,5	2,8	3,0	3,1
E	3,9	4,2	4,3	3,9	3,6	3,1	3,1	3,1	3,5	4,1	3,7	4,4
SE	3,5	4,1	4,7	4,3	3,7	3,6	3,1	3,5	3,3	3,6	4,2	3,6
S	3,2	3,0	3,4	3,8	3,4	3,2	3,0	3,3	3,4	3,2	3,1	2,9
SW	4,6	3,7	4,1	3,6	4,0	3,7	4,0	4,0	4,2	3,8	3,8	4,3
W	5,3	5,4	5,6	4,7	4,9	4,3	4,1	4,8	4,9	4,8	5,4	5,1
NW	5,2	4,6	4,9	4,9	4,2	4,1	3,7	3,8	4,1	3,2	4,3	4,2

Tabela 19. Średnia prędkość wiatru w różnych kierunkach (m/s) w Skierniewicach

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
N	3,2	3,5	3,5	3,2	3,1	2,9	2,4	2,8	2,5	2,3	3,4	2,5
NE	3,6	3,6	4,2	3,1	2,8	2,7	2,7	2,4	2,6	3,0	3,6	4,4
E	5,6	4,9	5,4	4,5	3,8	3,0	2,9	3,3	3,3	3,7	4,9	5,0
SE	4,1	3,8	4,8	3,5	3,5	3,1	2,6	3,2	3,5	3,6	4,3	3,7
S	4,0	3,4	2,9	3,3	2,9	2,7	2,9	2,9	2,9	2,8	3,0	3,6
SW	4,5	3,8	4,4	3,2	3,2	3,0	3,2	3,3	3,3	3,4	3,7	4,4
W	4,8	4,7	4,1	3,6	3,4	3,1	3,2	3,7	3,7	3,6	4,5	4,2
NW	4,0	4,0	4,3	3,5	3,6	3,1	3,2	3,4	3,4	3,7	3,2	3,7

Tabela 20. Średnia prędkość wiatru według kierunków (m/s)

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Łowicz	1,9	1,9	2,2	2,3	2,4	2,9	2,5	2,5
Niepokalanów	3,4	3,2	3,7	3,8	3,2	4,0	4,9	4,3
Skierniewice	2,9	3,2	4,2	3,6	3,1	3,6	3,9	3,6

Tabela 21. Średnia prędkość wiatru

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Łowicz	2,3	2,6	2,5	2,2	2,0	1,8	1,8	1,7	1,9	1,7	2,2	2,1	2,1
Niepokalanów	4,1	4,0	4,5	3,8	3,6	3,4	3,4	3,3	3,5	3,4	4,0	4,1	3,9
Skierniewice	4,3	4,0	4,2	3,7	3,1	2,8	2,8	3,0	3,1	3,1	3,8	3,9	3,5

7.5.2. Zmiany roczne promieniowania słonecznego na Mazowszu

Autor: Elżbieta B O G D A N

Opiekun naukowy: Urszula K O S S O W S K A - C E Z A K

Analiza sum usłonecznienia rzeczywistego i promieniowania całkowitego w Belsku w latach 1981-1990, rozpatrzenie związków między omawianymi elementami oraz ich zależności od cyrkulacji atmosferycznej pozwoliło na sformułowanie wniosków (tab. 1-4, rys. 1-3).

Średnia roczna suma usłonecznienia (ΣU) wyniosła 1699 godzin, tj. 4,6 godz./dzień, zaś średnia roczna suma promieniowania całkowitego (ΣI) wyniosła 374,6 kJ/cm², tj. 1023 J/(cm²·dzień). Sumy usłonecznienia (ΣU) były większe niż podawane w literaturze (Podogrocki J., 1974): 1601-1650 godz./rok w latach 1951-1970 na obszarze Mazowsza. Sumy promieniowania całkowitego (I) również były większe niż podane przez J. Paszyńskiego (1966): 82-84 kcal/rok (tj. 343-352 kJ/(cm²·rok) oraz M. Stopę-Boryczkę (1994): 345,0 kJ/(cm²·rok). Przyczyn większych sum usłonecznienia i promieniowania w badanym 10-leciu trudno doszukiwać się na podstawie opracowywanych materiałów. Przebieg roczny, zarówno średnich sum miesięcznych usłonecznienia jak i promieniowania, był uwarunkowany czynnikami astronomicznymi, jednak zaznaczyły się anomalie w przebiegu sum średnich, przejawiające się mniejszymi wartościami obu zmiennych w czerwcu w porównaniu z miesiącami sąsiednimi oraz występowaniem sum maksymalnych w lipcu, a nie w czerwcu. Nietypowy przebieg sum średnich, co wykazała dalsza analiza, był spowodowany większym udziałem typów cyklonalnych w czerwcu (57%), podczas gdy w sąsiednich miesiącach udział ten wynosił znacznie mniej (maj – 50%, lipiec i sierpień – po 45%). Roczne sumy usłonecznienia (ΣU) wahały się od 1553 godz., tj. 4,2 godz./dzień w 1981 roku do 1926 godz., tj. 5,2 godz./dzień w 1982 roku. Maksymalna suma roczna była większa od średniej o 14% tej średniej, a minimalna suma – mniejsza o 9%. Rok 1982 charakteryzował się też największą roczną ΣI – 409,6 kJ/cm², tj. 1119 J/(cm²·dzień), ale najmniejsza roczna ΣI wystąpiła w 1984 roku (330,4 kJ/cm²; tj. 902 J/(cm²·dzień). Maksymalna ΣI była większa od średniej o 9%, najmniejsza zaś – o 12%.

Zakres zmian w porach roku był większy niż w roku. Odchylenia najmniejszych sum sezonowych od średniej wynosiły zimą 42, wiosną 14, latem 13, jesienią zaś 19%. Odchylenia od średniej największych sum sezonowych wyniosły odpowiednio: 27, 11, 31 i 22%. W przypadku całkowitego promieniowania słonecznego najmniejsze sumy sezonowe wahały się w granicach od -22 do +17% średniej – zimą, od -14 do +8% – wiosną, od -12% do +16% – latem oraz od -12% do +14% średniej jesienią, zatem różnice względem średniej 10-letniej w przypadku usłonecznienia były większe. Zauważono też, że zimą i wiosną odchylenia sum sezonowych poniżej średniej z odpowiedniego sezonu były większe niż odchylenia sum maksymalnych, a latem i jesienią było odwrotnie.

Miesięczne ΣI i ΣU charakteryzowały się dużym zróżnicowaniem. Największym zróżnicowaniem w badanym 10-leciu wyróżniał się sierpień 1983 roku: 324 godziny ze słońcem, tj. 10,4 godz./dzień, a największym promieniowaniem całkowitym – czerwiec 1986 roku: 67,3 kJ/(cm²·miesiąc), tj. 2242 J/(cm²·dzień). Najmniejszym zarówno promieniowaniem, jak i usłonecznieniem odznaczał się grudzień 1982 roku: 7,6 godzin ze słońcem, tj. 0,2 godz./dzień oraz 3,6 kJ/(cm²·miesiąc), tj. 115 J/(cm²·dzień). Zakres zmian

sum miesięcznych w wartościach bezwzględnych większy był w miesiącach półrocza ciepłego niż chłodnego, natomiast względem średnich z poszczególnych miesięcy zakres zmian większy był w miesiącach półrocza chłodnego.

Rzeczywiste sumy dzienne zarówno promieniowania, jak i usłonecznienia odznaczały się bardzo dużym zróżnicowaniem. W porównaniu do średnich dziennych z 10-letnia mogły stanowić tylko nieznaczny ich procent (2-4%), albo 2- lub 3-krotnie je przewyższać. Wprawdzie najczęściej w badanym wieloleciu występowały małe sumy usłonecznienia i promieniowania, gdyż dni z usłonecznieniem do 4 godzin stanowiły ponad 50% dni w roku i także w ok. 50% dni sumy promieniowania całkowitego nie przekraczały $600\text{J}/\text{cm}^2$, jednak odnotowano sumę promieniowania $3050\text{J}/\text{cm}^2$ -dzień (22 VI 1983), podczas gdy absolutnie minimalna ΣI wyniosła zaledwie $21\text{J}/\text{cm}^2$ -dzień (18 XII 1982), oraz odnotowano w dwóch miesiącach usłonecznienie sięgające prawie 16 godzin (15,9 godz. – 1 VII 1986; 15,8 godz. – 21 VI 1983). Dni z usłonecznieniem 0.0 stanowiły średnio ok. 25% wszystkich dni w roku, czyli dni ze słońcem występowały podczas $\frac{3}{4}$ roku. W związku z tak dużym zróżnicowaniem sum dziennych obu zmiennych przebieg roczny średnich miesięcznych tylko bardzo ogólnie nawiązywał do przebiegu maksimów częstotliwości w poszczególnych miesiącach.

Związek sum całkowitego promieniowania słonecznego z usłonecznieniem rzeczywistym jest bardzo silny, pomimo tego, że ekstrema nie zawsze występują w tych samych okresach. Współczynnik korelacji sum rocznych wyniósł $r = 0,77$. Zauważono znacznie silniejszy związek sum miesięcznych w lecie niż w zimie. Znacznie silniejszą zależność wykazywały też sumy dobowe, sięgającą nawet $r = 0,98$ w czerwcu 1983 roku, niż sumy miesięczne czy sezonowe. Można stwierdzić, że siła związku rośnie w miarę skracania porównywanych okresów oraz w miarę wzrostu wartości sum obu elementów. Zależność sum całkowitego promieniowania słonecznego od usłonecznienia rzeczywistego określają w przybliżeniu proste regresji, których współczynniki wykazują przebieg roczny.

Wartości obu zmiennych są bardzo uzależnione od charakteru cyrkulacji atmosferycznej. Zachodzi silna zależność sum usłonecznienia od cyrkulacji cyklonalnej lub antycyklonalnej; najczęściej duże sumy usłonecznienia występują przy typach cyrkulacji antycyklonalnych, a małe przy cyklonalnych. Sumy promieniowania całkowitego oprócz tego, że zależą od rodzaju cyrkulacji, podobnie jak sumy usłonecznienia, wyraźnie poza tym są uwarunkowane kierunkiem napływu mas powietrznych: duże sumy promieniowania częściej występują przy typach cyrkulacji ze składową zachodnią. Wyjątkowym miesiącem był październik 1985, w którym były minimalne sumy promieniowania całkowitego i usłonecznienia pomimo przewagi typów antycyklonalnych. Wyjaśnienie przyczyn tego zjawiska na podstawie opracowanych materiałów jest trudne. Przypuszcza się, że mogło to być związane z zapyleniem powietrza w wyniku wybuchu wulkanu, bądź pożaru lasu, zwłaszcza że w kolejnych miesiącach 1985 roku (listopad, grudzień) notowano również zmniejszone wartości obu zmiennych.

Ilościowa ocena sum promieniowania całkowitego i usłonecznienia rzeczywistego w zależności od typów cyrkulacji atmosferycznej według Osuchowskiej-Klein wykazała, że korzystne warunki solarne występują w tych samych typach cyrkulacji: D₂C, E, G z tym że najkorzystniejsze warunki usłonecznienia występują przy typie G (wyż z centrum nad Polską), a najbardziej korzystne warunki dopływu promieniowania słonecznego – przy

typie D₂C (wyż nad morzem Śródziemnym). Najmniejsze sumy obu zmiennych wystąpiły przy typach cyrkulacji A i F (niżej nad Europą Północną bądź Środkową). Mimo że badania wartości dobowych dokonano na podstawie jednego tylko miesiąca (lipca), to jednak można oczekiwać, że podobny charakter różnicowania prawdopodobnie występuje w innych miesiącach. Charakterystyczne cechy mas powietrznych warunkujących dopływ promieniowania i długość usłonecznienia związane są z typami cyrkulacji atmosferycznej. Najkorzystniejsze warunki obu zmiennych, jak już wspomniano, występują w typach antycyklonalnych, a najmniej korzystne – w typach cyklonalnych, jednak zauważono wyjątki. Typ cyrkulacji południowo-wschodniej E1 (wyż nad południowo-wschodnią Rosją), mimo że jest typem antycyklonalnym, nie sprzyja wysokim sumom omawianych elementów. Typ cyrkulacji południowo-zachodniej D (niż nad Wyspami Brytyjskimi), mimo że jest typem cyklonalnym, sprzyja dopływowi promieniowania i usłonecznieniu.

Tabela 1. Zakres zmian miesięcznego usłonecznienia rzeczywistego U (godz.) i promieniowania całkowitego I (kJ/cm²·mies.), Belsk, 1981-1990

	U	%	I	%
I	44,6	100	6,0	81
II	36,2	52	4,5	33
III	85,4	74	13,7	50
IV	115,3	69	13,5	33
V	89,4	36	19,0	33
VI	136,5	63	22,1	40
VII	111,0	43	23,1	40
VIII	128,4	53	14,7	29
IX	107,4	80	13,8	45
X	82,8	68	8,0	40
XI	70,1	140	5,7	68
XII	49,2	161	4,3	82

Tabela 2. Wartości skrajne sum miesięcznych i amplitudy roczne promieniowania całkowitego I (kJ/cm²·mies.), Belsk, 1981-1990 w odniesieniu do sum miesięcznych (%)

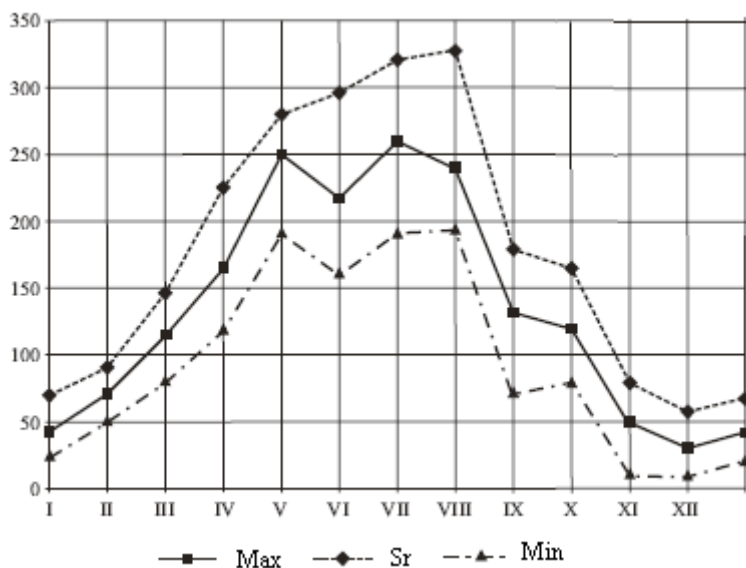
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Min	4,7	12,4	20	33,7	43,3	45,2	43,2	45,7	23,4	15,7	5,9	3,6
Max	10,7	16,9	33,7	47,2	62,5	67,3	66,3	60,4	37,2	23,7	11,6	7,9
Ampl.	6,0	4,5	13,7	13,5	19,2	22,1	23,1	14,7	13,8	8,0	5,7	4,3
Min %	63,5	87,3	73,8	83,6	75,2	82,5	74,4	90,5	77,5	78,1	70,2	67,9
Max %	145	119	124	117	109	123	114	120	121	118	138	149
Ampl. %	81,1	31,7	50,6	33,5	35,2	40,3	39,8	29,1	44,8	39,8	67,8	81,1

Tabela 3. Skrajne sumy dzienne Max, Min promieniowania całkowitego I (J/cm^2 -dzień) oraz współczynnik korelacji (r) i równania prostych regresji promieniowania I względem usłonecznienia U , Belsk, 1981-1990

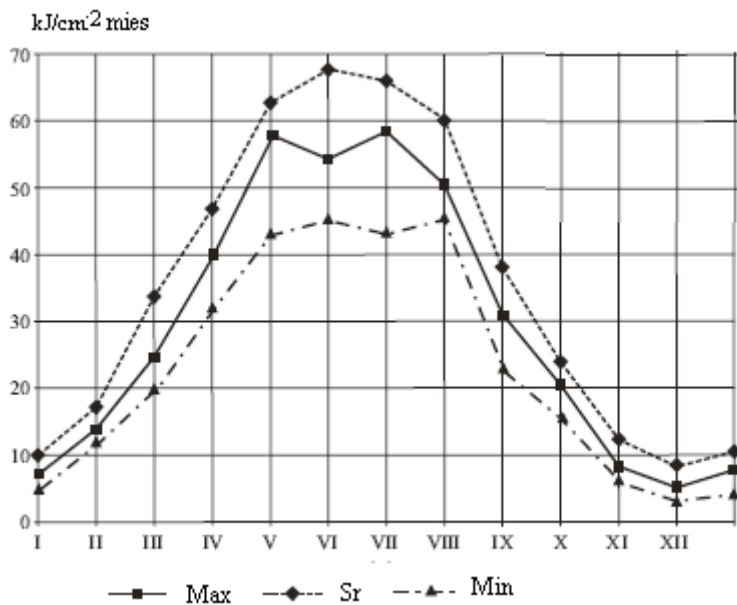
	Max	Min	Ampl.	r	Równania regresji $I=b \cdot U+a$
I	638	26	657	0,696	$I=0,078U+3,934$
II	1301	81	1220	0,602	$I=0,074U+9,084$
III	1766	101	1665	0,97	$I=0,147U+10,919$
IV	2645	145	2500	0,947	$I=0,119U+20,471$
V	2935	148	2787	0,864	$I=0,180U+12,904$
VI	3050	250	2800	0,889	$I=0,125U+27,769$
VII	3004	245	2758	0,929	$I=0,158U+17,427$
VIII	2720	164	2556	0,944	$I=0,105U+25,037$
IX	2233	119	2114	0,937	$I=0,143U+11,692$
X	1468	91	1377	0,935	$I=0,097U+8,258$
XI	782	23	759	0,952	$I=0,073U+4,750$
XII	451	21	430	0,602	$I=0,052U+3,715$
Rok	3050	21	3029	0,771	$I=0,128U+157,504$

Tabela 4. Częstość typów cyrkulacji (%) w dniach z maksymalnymi sumami dobowymi usłonecznienia (U_{max}) i promieniowania (I_{max}) w latach 1981-1990 oraz średnie sumy dobowe promieniowania (J/cm^2 -doba) i usłonecznienia (godz.) (Belsk, 1981-1988)

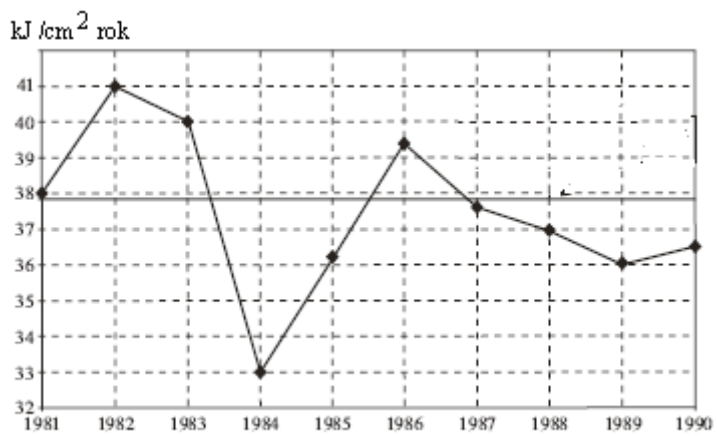
Typy cyrkulacji	U_{max}		I_{max}		I_{min}		Lp	I	U
	Lp	%	Lp	%	Lp	%			
E_0	2	2,0	5	4,2	24	19,4	30	1520	5,9
F	3	3,0	3	2,5	9	7,3	5	1610	5,5
B	2	2,0	2	1,7	9	7,3	9	1788	6,7
D	9	9,0	9	7,5	4	3,2	11	2093	10,0
A	1	1,0	1	0,8	12	9,7	11	1362	5,5
CB	7	7,0	8	6,7	27	21,8	48	1448	5,6
E	24	24,0	29	24,2	12	9,7	43	2263	10,9
E_1	17	17,0	12	10	8	6,4	5	1685	6,8
D_2C	8	8,0	11	9,2	5	4	14	2283	12,1
C_2D	6	6,0	8	6,7	4	3,2	50	2066	9,4
E_2C	5	5,0	8	6,7	5	4	7	2030	9,8
G	15	15,0	23	19,2	4	3,2	14	2150	12,6
BE	1	1,0	1	0,8	1	0,8	1	2110	9,8



Rys. 1. Przebieg roczny miesięcznych sum usłonecznienia w Belsku w latach 1981-1990



Rys. 2. Przebieg roczny miesięcznych sum całkowitego promieniowania słonecznego (Belsk, 1981-1990, kJ/(cm²·mies.)



Rys. 3. Przebieg rocznych sum promieniowania całkowitego (Belsk, 1981-1990, kJ/(cm²·rok)

7.5.3. Ogólna charakterystyka klimatu Radomia

Autor: Krystyna G Ó R S K A

Opiekun naukowy: Urszula K O S S O W S K A - C E Z A K

Celem pracy jest przedstawienie ogólnej charakterystyki klimatu Radomia. Znajomość klimatu może być wykorzystana przy planowaniu i rozwoju miasta. Wskazanie obszarów korzystnych oraz zwrócenie uwagi na tereny niekorzystne z punktu widzenia klimatu może być pomocne dla urbanistów w utrzymaniu dobrych warunków klimatycznych przez odpowiednią zabudowę oraz zachowanie równowagi między terenami zabudowanymi a zielenią miejską.

Przy opracowaniu charakterystyki klimatu Radomia oparto się na materiale za okres (1951-1965) ze stacji synoptycznej w Radomiu i materiale z lat 1956-1965 z posterunku opadowego w Wolanowie. Ważniejsze wyniki obliczeń zestawiono w tabelach 1-21 i na rys. 1.

Charakterystyka klimatu zawarta jest w ośmiu rozdziałach. W części wstępnej dokonano przeglądu literatury dotyczącej klimatu Radomia. Następnie przedstawiono charakterystykę fizycznogeograficzną miasta uwzględniając wszystkie czynniki, które bezpośrednio lub pośrednio wpływają na klimat miasta, a więc budowę geologiczną i ukształtowanie powierzchni terenu, pokrywę glebową, stosunki wodne, zabudowę miasta i zieleń w mieście. Dokonano również opisu stacji meteorologicznej. Przedstawiono charakterystykę klimatu Radomia w świetle dotychczasowych badań. Na zakończenie przedstawiono materiały źródłowe i metody ich opracowania.

W następnych rozdziałach omówiono poszczególne elementy meteorologiczne. Najdokładniej opracowano temperaturę powietrza, która jest jednym z podstawowych elementów klimatu. Wyliczono średnie wieloletnie temperatury dobowe, maksymalne i minimalne, dobowe amplitudy dla poszczególnych miesięcy i roku oraz roczną i absolutną amplitudę temperatury powietrza. Dokonano charakterystyki termicznych pór roku, dni charakterystycznych, daty pojawiania się i zaniku przymrozków oraz długości okresu bezprzymrozkowego.

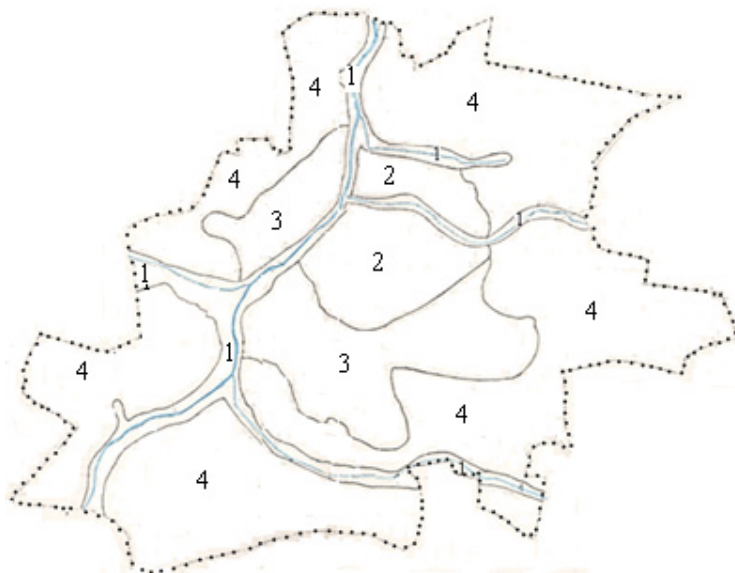
W rozdziale dotyczącym wilgotności powietrza omówiono średni roczny przebieg wilgotności względnej, prężności pary wodnej i niedosytu wilgotności powietrza w oparciu o wartości średnie dobowe i terminowe.

Następny rozdział dotyczy zachmurzenia, przedstawiono w nim zachmurzenie średnie dobowe i terminowe, liczbę dni pogodnych i pochmurnych oraz średnie liczby dni z mgłą w poszczególnych miesiącach i roku.

W rozdziale dotyczącym opadów przedstawiono średnie miesięczne i roczne sumy opadów oraz liczbę dni z opadem różnej wielkości. Ponieważ opad wykazuje większe zróżnicowanie przestrzenne niż inne elementy klimatu, opady w Radomiu porównano z opadami najbliższej położonego posterunku opadowego w Wolanowie. Ponieważ dla Wolanowa nie było pełnych danych, dane z okresu 1951-1960 sprowadzono do okresu 15-lecia (1951-1965) metodą stosunków, na podstawie stacji Radom Wacyn.

W rozdziale o wietrze omówiono średnie prędkości i częstości kierunków wiatru w poszczególnych miesiącach i roku.

W ostatnim rozdziale pracy omówiono syntezę klimatu Radomia oraz dokonano próby wydzielenia na terenie miasta obszarów o zróżnicowanych warunkach klimatycznych (rys. 1).



- | | |
|---|---|
| 1 Dolina rzeki Mlecznej i jej dopływów | 3 Dzielnice przemysłowe |
| 2 Dzielnice centralne o zwartej zabudowie | 4 Dzielnice z zabudową niską, rozproszoną |

Rys. 1. Obszary klimatyczne na terenie miasta Radomia

Klimat Radomia na tle klimatu Polski

Ogólna konfrontacja wartości średnich poszczególnych elementów klimatu dla Radomia z odpowiednimi wartościami średnimi dla Polski za okres 1951-1960 wykazuje, że Radom ma dość korzystne warunki termiczne. Średnia roczna temperatura w Radomiu jest wyższa od średniej krajowej ($7,2^{\circ}\text{C}$) i wynosi $7,6^{\circ}\text{C}$. Miesiącem najcieplejszym, podobnie jak w całej Polsce, jest lipiec – $18,2^{\circ}\text{C}$, a najzimniejszym luty, którego średnia temperatura miesięczna wynosi $-3,5^{\circ}\text{C}$. Średnia roczna temperatura maksymalna jest wyższa od średniej krajowej ($11,2^{\circ}\text{C}$) i wynosi $11,6^{\circ}\text{C}$. Również średnia roczna temperatura minimalna wynosząca $3,4^{\circ}\text{C}$ jest wyższa niż średnia dla Polski ($3,1^{\circ}\text{C}$). Korzystne warunki termiczne podkreśla duża liczba dni gorących – średnio 37 w roku, natomiast dni bardzo mroźnych jest tylko 23 w roku. Okres bezprzymrozkowy trwa średnio 174 dni.

Pod względem wilgotności powietrza obszar Radomia nie wyróżnia się od innych obszarów Polski. Średnia wilgotność względna wynosi 80% i jest taka sama jak średnia wilgotność względna dla Polski. Minimum roczne wilgotności względnej występuje na obszarze Polski w maju, natomiast w Radomiu w maju i czerwcu – po 73%. Największa wilgotność jest w listopadzie i grudniu – po 88%. Średnia prężność pary wodnej wynosi w Radomiu $9,3\text{ hPa}$ i niewiele się różni od średniej krajowej prężności ($9,1\text{ hPa}$). Najniż-

sza prężność występuje w styczniu i lutym – po 4,5 hPa, a najwyższa w lipcu – 15,8 hPa. Niedośyt wilgotności powietrza wynosi 3,2 hPa i jest prawie taki sam jak średni niedośyt krajowy (3,1 hPa). Najwyższe wartości niedośytu powietrza występują w Radomiu w lipcu – 6,4 hPa; gdy średnio w Polsce maksimum niedośytu jest w sierpniu, a wtórne w czerwcu. Najniższy niedośyt wilgotności powietrza występuje przez 3 miesiące zimowe, od grudnia do lutego – po 0,7 hPa.

Okolice Radomia nie wyróżniają się również pod względem zachmurzenia. Średnie roczne zachmurzenie wynosi 66%, a więc jest identyczne jak średnie krajowe. Maksimum zachmurzenia występuje w listopadzie – 81%, w Polsce przeciętnie w grudniu, minimum zachmurzenia przypada w Radomiu na wrzesień – 55%. Dni pogodnych jest 38 w roku, a więc prawie tyle samo co średnio w Polsce (38,8). Najwięcej dni pogodnych jest we wrześniu – 6 dni, a najmniej w grudniu – 1 dzień. Dni pochmurnych jest 151 w roku, czyli o 6 więcej niż średnio w Polsce. Najwięcej dni pochmurnych jest w listopadzie – 20 dni, a najmniej w sierpniu – 7 dni.

Obszar Radomia wyróżnia się małą ilością opadów. Średnia roczna suma opadów w Radomiu wynosi 544 mm i jest o 95mm niższa niż średnia roczna suma opadów dla Polski. Najwyższe opady występują w lecie, a szczególnie w lipcu – 83 mm, co wiąże się z dużą częstością opadów dużych ($\geq 10,0$ mm) w tym okresie. Najniższe opady występują w miesiącach zimowych, w styczniu i lutym – po 27 mm, są to najczęściej opady drobne ($\geq 0,1$ mm).

Pokrywa śnieżna w Radomiu przeciętnie zalega 65 dni, najwięcej dni z pokrywą jest w styczniu – 20 dni. Największą zaś grubość osiąga pokrywa w lutym – 9 cm, średnia roczna grubość pokrywy wynosi 4,6 cm.

W Radomiu, podobnie jak w całej Polsce, dominują wiatry sektora zachodniego. Najczęściej notuje się wiatry zachodnie 21%, a najrzadziej północno-wschodnie – 5%, przypadki pogody bezwietrznej stanowią 14,3%. Obszar Radomia wyróżnia się również małymi prędkościami wiatru, przeciętna prędkość wiatru wynosi 2,8 m/s, a więc jest niższa niż średnia krajowa (3,3 m/s). Najsilniejsze wiatry występują zimą i na początku wiosny, najsłabsze latem. Największe prędkości osiągają wiatry wiejące bardzo często, a więc wiatry z sektora zachodniego (południowo-zachodniego – 3,9 m/s, zachodnie – 3,5 m/s i północno-zachodnie – 3,4 m/s). Najmniejsze prędkości osiągają wiatry, które występują najrzadziej (północno-wschodnie – 2,5 m/s).

Próba wydzielenia obszarów klimatycznych na terenie miasta Radomia

Miasto przeobraża krajobraz naturalny, wytwarza swoisty klimat, który różni się od klimatu terenów sąsiednich. Na odrębność warunków klimatycznych w mieście w dużym stopniu wpływa zabudowa miasta. Duże skupienie budynków o różnej wysokości i zwartości wpływa na warunki cyrkulacji powietrza. Prędkość wiatru wśród zabudowy jest znacznie osłabiona. Zabudowa wpływa też na kierunek wiatru powodując, że dostosowuje się on do biegu dolin rzecznych, czy długich ulic mających zwartą zabudowę; gdy kierunek wiatru zgadza się z kierunkiem ulicy, wówczas jego prędkość wzrasta. W mieście jest większa niż w otwartej przestrzeni tzw. powierzchnia czynna, do której dociera promieniowanie słoneczne i na której następuje zamiana energii promienistą w energię ciepłą.

ną; powierzchnię tę stanowią dachy, ściany boczne i ulice. Zwiększona sztucznie powierzchnia czynna jest jedną z przyczyn wzrostu temperatury powietrza w mieście. Ulice miasta są pokryte asfaltem i płytami, istnieje sieć kanalizacyjna, powoduje to szybki odpływ wód opadowych do sieci kanalizacyjnej, parowanie jest więc znacznie mniejsze, co przyczynia się do obniżenia wilgotności powietrza w mieście.

Na odrębne warunki klimatyczne w mieście ma też duży wpływ zanieczyszczenie powietrza, które zmniejsza dopływ promieniowania słonecznego w dzień, a w nocy osłabia utratę ciepła drogą promieniowania, co wpływa na warunki termiczne w mieście. Większa zawartość zanieczyszczeń, które mogą być jądrami kondensacji, sprzyja częstszemu powstawaniu mgieł.

Innym czynnikiem mającym wpływ na warunki klimatyczne w mieście jest ciepło sztucznego pochodzenia dostarczane przez zakłady pracy, systemy ogrzewcze i komunikacyjne. Przyczynia się ono do podwyższenia temperatury w mieście, co najwyraźniej występuje w okresie zimy, gdy dopływ tego rodzaju ciepła jest największy.

Charakterystyka klimatu miasta jest dość trudna i wymaga wielu specjalistycznych badań. Najdokładniej można zbadać klimat miasta, gdy dysponuje się wynikami z obserwacji prowadzonych na tylu stacjach meteorologicznych, ile jednostek hipsometryczno-morfologicznych można wyróżnić na badanym terenie. Jednak badania prowadzone w licznych miastach wykazały, że różnicowanie warunków klimatycznych na terenie miasta, wiąże najbardziej z rzeźbą i charakterem zabudowy. Zatem można wyróżnić obszary o zróżnicowanym klimacie w obrębie miasta, dysponując danymi liczbowymi.

Na terenie miasta Radomia na podstawie ukształtowania powierzchni, zawartości zabudowy i stopnia uprzemysłowienia wyróżniono odpowiednie obszary klimatyczne.

Dolina rzeki Mlecznej, jej dopływów i cieków okresowych

Dolina rzeki Mlecznej jest dość płaska i szeroka, miejscami dochodzi do 1 kilometra. Zbocza doliny są łagodne. Różnice w wysokości dna doliny i kulminacji wysoczyzny nie przekraczają 25 m. Również szerokie i płaskie są doliny poprzeczne stałych dopływów i cieków okresowych rzeki Mlecznej. Przed kilkunastu laty były to tereny bardzo zabagnione, występowały tam liczne sadzawki. Skanalizowanie terenów poprawiło w pewnym stopniu stosunki wodne, ale nadal istnieją obszary wilgotne. Obszary te mają bardzo niekorzystne warunki klimatyczne. Występuje tam przypuszczalnie podwyższona wilgotność względna powietrza, ponieważ na niektórych odcinkach występują tereny podmokłe. Na wzrost wilgotności wpływa też duża ilość zieleni porastającej obszary dolin. Na obszarach tych istnieją warunki do częstszego powstawania mgieł. W dolinie rzeki Mlecznej, mającej kierunek z południo-zachodu na północo-wschód występuje przewaga wiatrów zgodnych z kierunkiem doliny. Ciągi zabudowy, poprzeczne w stosunku do doliny, utrudniają bardzo jej przewietrzanie. Również doliny dopływów są poprzegradzane nasypami, torami kolejowymi lub zabudową, co utrudnia ich przewietrzanie. W wilgotnych dolinach podczas bezwietrznych i bezchmurnych nocy dochodzi do dość znacznego wypromieniowania ciepła i szybszego ochłodzenia warstwy przygruntowej powietrza niż na wyniesieniach i na zboczach doliny. Z powodu osłabionego przewietrzania dolin, spływ zimnego powietrza sprzyja powstawaniu inwersji. Mogą więc wystąpić na tym obszarze inwersje, szczególnie niebezpieczne w okresie wiosny i jesieni ze względu na powodowanie przymrozków w warstwie przygruntowej na terenach inwersyjnych. W związku

z tym mogą występować znaczne różnice temperatury między doliną a terenami położonymi wyżej.

Nad rzeką Mleczną skoncentrowały się najstarsze zespoły przemysłowe – garbarnie, zakłady mięsne, mleczarskie, fabryka kleju i fajansów. Usytuowanie zakładów w słabo przewietrzanej dolinie powoduje utrzymywanie się przez dłuższy czas zanieczyszczeń powietrza. Zanieczyszczenie powietrza jest tu największe na terenie całego miasta, opad pyłu wynosi 300 t/(km²·rok) a stężenie SO₂ 0,55 mg/(m³·dobę), co znacznie przekracza dopuszczalne normy.

Ścieki z zakładów przemysłowych zanieczyszczają rzekę, szczególnie uciążliwe są ścieki z garbarni. W okresie bezplanowej zabudowy miasta niektóre fragmenty dolin zostały zabudowane i obecnie mieszkańcy tych zespołów, szczególnie doliny Strumienia Południowego i doliny rzeki Mlecznej mieszkają w bardzo niekorzystnych warunkach klimatycznych, co przejawia się w tym, że często występują tam zachorowania na reumatyzm.

Tereny te powinny być wyłączone spod zabudowy tak mieszkaniowej jak i tym bardziej przemysłowej. Po wybudowaniu oczyszczalni ścieków i kolektora równoległego do rzeki, obszary te powinny znaleźć przeznaczenie, jako tereny rekreacji i zieleni.

Obszary centralne o zwartej zabudowie

W skład tego obszaru wchodzi dzielnica Śródmieście, Obozisko i Stare Miasto. Obszar ten charakteryzuje się zwartą, intensywną zabudową. Przeważa zabudowa wielokondygnacyjna, szczególnie w osiedlach Malczewskiego, Żeromskiego i Planty. Nagromadzenie dużej ilości budynków o różnej wysokości oraz placów pokrytych brukiem i asfaltem powoduje, że istnieją tam warunki do występowania wyższych temperatur niż na stacji meteorologicznej znajdującej się w dzielnicy Wacyn, gdzie przeważa niska jednorodzinna zabudowa. Natomiast można się spodziewać niższych temperatur na Starym Mieście, gdzie występują długie wąskie uliczki, często zacienione wyższymi gmachami. Materiały budowlane mają większe przewodnictwo niż grunt, co prowadzi do akumulacji ciepła w dzień. Nagrzane w ciągu dnia ściany oddają w nocy ciepło, tworząc przypuszczalnie nad tym obszarem wyspę ciepła. W ciągu dnia wyspa ciepła zanika.

Na obszarze tym, w związku z ocieplającym wpływem zabudowy, jest mniejsza prawdopodobnie liczba dni przymrozkowych i krótszy czas trwania okresu przymrozkowego. Na skutek wyższej temperatury w tych dzielnicach i mniejszej ilości powierzchni parujących roślinnych i wodnych, powietrze jest zapewne bardziej suche niż podają dane ze stacji meteorologicznej. Na suchość powietrza wpływa również szybszy spływ wód opadowych do sieci kanalizacyjnej. W związku z tym na tym obszarze może wystąpić niższa wilgotność względna, prężność pary wodnej oraz wyższy niedosyt wilgotności powietrza; różnic tych można szczególnie spodziewać w miesiącach letnich. Na obszarze tym częściej mogą występować wiatry słabe i pogoda bezwietrzna, chociaż może nastąpić zwiększenie prędkości wiatru, gdy kierunek wiatru jest taki sam jak ulicy. Wokół wysokich budynków (osiedle Żeromskiego, Planty) mogą wystąpić zawirowania. Rozwój komunikacji, działanie systemów ogrzewczych i istnienie rozproszonych zakładów przemysłowych wpływa na zanieczyszczenie powietrza. Opad pyłu wynosi 240 t/km²/rok, a stężenie SO₂ 0,50 mg/(m³·doba). Opad pyłu nie przekracza dopuszczalnych norm, ale stężenie SO₂ jest zbyt duże. Wpływa to niekorzystnie na warunki klimatyczne tego obszaru.

Warunki klimatyczne obszarów centralnych o zwartej zabudowie są lepsze niż w dolinach rzek, są jednak niezbyt korzystne dla zdrowia mieszkańców. Na obszarze tym najbardziej jest widoczne oddziaływanie ośrodka miejskiego na klimat.

Dzielnice przemysłowe

Na terenie miasta wytworzyły się następujące zespoły zabudowy przemysłowej:

Glinice – odlewnie, zakłady płytek fajansowych, garbarnie, Podkanów – odlewnie łączników, wytwórnia słupów betonowych, Zamłynie – zakłady garbarskie państwowe i spółdzielcze, Młodzianów – fabryka farb i lakierów, gazownia, garbarnie, Zespół Przydworcowy – zakłady metalowe, materiałów ogniotrwałych, wytwórnia papierosów i pre-fabrykatów budowlanych.

W okresie rozbudowy miasta strefa przemysłowa (Zamłynie, Młodzianów, Glinice) ukształtowała się w zachodniej i południowej części miasta z których to kierunków często wieją wiatry. Sprzyja to zadymieniu i zapyleniu atmosfery nad miastem. W dzielnicach, w których skoncentrowana jest zabudowa przemysłowa opad pyłu wynosi od 320 do 350 t/ (km² · rok), a stężenie SO₂ od 0,20 do 0,31 mg/(m³ · doba). Opad pyłu znacznie więc przekracza dopuszczalną normę. Zwiększona zawartość pyłów i gazów osłabia przypuszczalnie natężenie promieniowania bezpośredniego i rozproszonego. Zmniejszone jest również na tym obszarze usłonecznienie. Spaliny przemysłowe tworzą powłokę unoszącą się nad miastem. Sadza i dym zanieczyszczają pokrywą śnieżną, która na tym obszarze może zanikać wcześniej niż na terenach peryferyjnych. Sztuczne źródła energii, jakimi są zakłady przemysłowe i systemy ogrzewcze dostarczając dodatkowych ilości ciepła prawdopodobnie wpływają na termikę tych obszarów.

Na wzrost temperatury może wpływać również zasłona dymna, która zmniejsza straty promieniowania długofalowego w nocy. Pyły zawarte w powietrzu zawierające związki siarki, węgla i azotu są przyczyną wielu schorzeń, szczególnie układu krążenia i dróg oddechowych. Poza zwartymi zespołami budownictwa przemysłowego zlokalizowano wiele zakładów przemysłowych w zespołach zabudowy mieszkaniowej. Ze względu na znaczny stan ich zainwestowania nie ma możliwości przeniesienia ich do odpowiednich stref przemysłowych. Otoczono je więc strefami ochronnymi, które w pewnym stopniu zmniejszają ich uciążliwość. Nowe zakłady przemysłowe lokalizuje się bardziej prawidłowo, np. kombinat garbarski „Radoskór” w północnej części miasta, skąd rzadko wieją wiatry.

Istnieje możliwość zmniejszenia w przyszłości zadymienia przez zakładanie elektrofiltrów na kominach fabryk do usuwania pyłów i sadzy.

Dzielnice z zabudową niską jednorodziną

Do obszarów tych należą dzielnice: Brzustówka, Kapturek, Gołębiów, Dzierzków, Wodniki, Godów, Jeżowa Wola, Halinów i Wacyn. Znajdują się one na wysoczyznach, które stanowią obszary wyniesione ponad dna dolin, ze spadkami w kierunku otaczających je cieków. Łagodne zbocza o spadkach poniżej 5% mają dobre nasłonecznienie nawet na zboczach północnych, wody gruntowe zalegają dość głęboko, nieraz dopiero w utworach plejstoceńskich. Stacja meteorologiczna, z której dane wykorzystano, zlokalizowana jest na tym obszarze. Temperatury są prawdopodobnie niższe niż w dzielnicach centralnych, ale wyższe niż na obszarach położonych za miastem. Wraz z oddalaniem się od centrum miasta może wzrastać liczba dni z przymrozkami i dni bardzo mroźnych. Na obszarach luźnej zabudowy występuje przypuszczalnie dużo dni gorących. Powietrze na tym ob-

szarze jest mniej zanieczyszczone. Opad pyłu wynosi 100-120 t/km²-rok, a więc mniej niż połowę dopuszczalnej normy, a stężenie dwutlenku siarki od 0,02 mg/m³-dobę do 0,03mg/m³-dobę czyli poniżej dopuszczalnej normy.

Zabudowa w tych dzielnicach jest rozluźniona i charakteryzuje się swobodnym układem. Przeważają przypuszczalnie wiatry słabe, często występują cisze. W związku z dużą ilością zieleni wysokiej – krzewów, drzew, na obszarach tych wilgotność względna jest przypuszczalnie większa niż w dzielnicach centralnych.

W dzielnicach tych panują najkorzystniejsze warunki klimatyczne w całym mieście. Luźna zabudowa z dużą ilością zieleni oraz niewielkie zanieczyszczenie powietrza pozwalają zachować warunki klimatyczne zbliżone do panujących poza miastem.

Tabela 1. Średnie miesięczne temperatury dobowe i terminowe (°C) w Radomiu (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
7 ^h	-4,2	-5,0	-1,9	5,1	10,7	15,2	16,4	15,1	10,5	5,6	2,0	-1,4	5,6
13 ^h	-1,9	-1,6	3,0	11,2	16,2	20,2	22,0	21,6	17,9	12,3	4,9	-0,4	9,9
21 ^h	-3,2	-3,8	0,1	7,3	11,3	16,0	17,2	16,6	12,7	7,8	2,9	-1,1	7,0
1951-1965	-3,3	-3,5	0,3	7,7	12,7	17,0	18,2	17,5	13,5	8,3	3,2	-1,0	7,6
1881-1960	-3,0	-2,2	1,8	7,7	13,8	16,9	18,6	17,6	13,6	8,1	2,7	-1,0	7,9

Tabela 2. Średnie miesięczne temperatury maksymalne i minimalne (°C) w Radomiu (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Max	-0,8	-0,5	3,9	12,4	17,4	22,1	23,2	22,6	18,9	12,9	5,7	1,3	11,6
Min	-6,3	-7,0	-3,4	2,9	7,3	11,6	13,0	12,5	8,9	4,3	0,6	-3,3	3,4
A	5,5	6,5	7,3	9,5	10,1	10,5	10,2	10,1	10,0	8,6	5,1	4,6	8,2

Tabela 3. Temperatury absolutne (°C) w Radomiu (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Max	-28,1	-29,5	-21,0	-6,5	-2,9	1,4	5,6	5,7	0,9	-7,3	18,2	-23,5	-29,5
Rok	1956	1956	1963	1955	1953	1958	1965	1964	1953	1956	1965	1961	1956
Min	9,9	13,8	19,2	27,5	31,2	34,4	34,9	35,1	31,5	25,9	17,0	17,0	35,1
Rok	1959	1958	1959	1957	1958	1963	1963	1952	1954	1956	1963	1961	1952

Tabela 4. Termiczne pory roku i czas ich trwania w Radomiu (1951-1965)

Pora roku	Początek	Koniec	Czas trwania
Przedwiośnie	15 III	3 IV	20
Wiosna	4 IV	1 VI	59
Lato	2 VI	1 IX	92
Jesień	2 IX	3 XI	63
Przedzimy	4 XI	8 XII	35
Zima	9 XII	14 III	96

Tabela 5. Średnia liczba dni charakterystycznych (°C) w Radomiu (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Suma
$t_{\min} < 0^{\circ}$	25,7	22,8	21,9	7,0	0,4	•	•	•	•	3,9	12,0	22,1	115,8
$t_{\max} < 0^{\circ}$	13,9	14,1	7,5	0,1	•	•	•	•	•	0,1	2,3	8,1	46,1
$t_{\min} < -10^{\circ}$	7,0	8,7	3,4	•	•	•	•	•	•	•	0,4	3,3	22,8
$t_{\max} > 25^{\circ}$	•	•	•	0,7	2,5	8,9	11,4	9,9	3,9	0,1	•	•	37,4

Tabela 6. Średnia miesięczna wilgotność względna terminowa i dobowa (%) w Radomiu (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
7 ^h	88	88	88	83	81	81	84	86	90	92	92	90	87
13 ^h	83	82	73	61	60	60	61	60	63	70	82	84	70
21 ^h	88	87	85	78	77	78	80	80	82	87	90	89	84
Śr	86	86	82	74	73	73	75	75	78	83	88	88	80

Tabela 7. Średnie miesięczne ciśnienie pary wodnej terminowe i dobowe (hPa) w Radomiu (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
7 ^h	4,3	4,3	4,1	7,5	10,5	14,1	15,7	14,9	11,8	8,7	6,7	5,4	9,1
13 ^h	4,6	4,7	5,6	7,7	10,5	14,1	15,9	15,0	12,6	9,8	7,2	5,6	9,4
21 ^h	4,5	4,4	5,4	8,4	11,0	14,3	15,8	15,1	12,4	9,5	7,0	5,3	9,4
Śr	4,5	4,5	5,0	7,9	10,7	14,2	15,8	15,0	12,3	9,3	7,0	5,4	9,3

Tabela 8. Średni miesięczny niedosyt wilgotności terminowy i dobowy (hPa) w Radomiu (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
7 ^h	0,5	0,5	0,6	1,5	2,6	3,4	3,3	2,4	1,3	0,7	0,5	0,5	1,5
13 ^h	0,9	1,0	2,5	6,6	8,6	11,3	11,7	11,7	8,7	5,1	1,8	1,0	5,9
21 ^h	0,6	0,6	1,0	2,5	3,3	4,3	4,2	4,0	2,7	1,5	0,8	0,6	2,2
Śr	0,7	0,7	1,4	3,5	4,8	6,3	6,4	6,0	4,2	2,4	1,0	0,7	3,2

Tabela 9. Średnie miesięczne zachmurzenie terminowe i dobowe (%) w Radomiu (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
I	80	79	68	65	61	57	57	55	58	68	85	83	68
II	76	74	65	68	66	65	65	63	60	64	82	81	70
III	73	68	57	56	59	56	57	54	46	52	76	77	61
Średnie	76	74	63	63	62	59	60	57	55	61	81	80	66

Tabela 10. Średnia liczba dni pogodnych i pochmurnych w Radomiu (1951-1965)

Miesiące	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Dni pogodne	1,7	2,2	4,3	3,7	2,7	3,4	3,4	3,8	5,7	4,6	1,3	1,1	37,9
Dni pochmurne	17,8	14,5	12,8	11,1	11,0	8,5	9,7	7,3	8,3	11,3	19,5	19,3	151,1

Tabela 11. Średnie miesięczne sumy opadów (mm) w Radomiu w latach 1951-1965

Stacja	Okres	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Radom	1951-1965	27	27	23	37	56	81	83	63	36	30	43	33	544
Radom	1891-1960	35	28	33	46	56	69	92	72	44	42	36	37	590
Wolanów	1951-1965	36	40	32	38	56	83	81	70	49	32	45	39	601

Tabela 12. Średnie sezonowe sumy opadów (mm) w Radomiu w latach 1951-1965

Stacja		Zima XII-II	Wiosna III-V	Lato VI-VIII	Jesień IX-XI	Rok
Radom	Suma	87	121	227	109	544
	%	16	22	42	20	100
Wolanów	Suma	115	126	234	126	601
	%	19	21	39	21	100

Tabela 13. Maksymalne dobowe sumy opadu (mm) w Radomiu (1951-1965)

Miesiące	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Max dobowe	11,2	12,9	17,8	41,6	46,0	46,7	46,5	38,1	22,4	38,0	33,9	14,8
Rok	1958	1951	1964	1951	1962	1953	1965	1958	1962	1956	1952	1957

Tabela 14. Średnia liczba dni z opadem w Radomiu w latach 1951-1965

Stacja		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Radom	0,1 mm	14,1	14,3	11,1	9,8	12,5	12,3	13,3	12,1	10,1	9,0	13,1	12,8	144,5
	1,0 mm	7,0	7,3	7,3	7,5	8,5	9,7	9,7	8,6	7,5	5,5	9,2	7,0	94,8
	10,0 mm	0,1	0,1	0,4	0,9	1,7	2,7	2,7	1,9	1,1	0,7	0,8	0,3	13,4
Wolanów	0,1 mm	16,1	17,0	13,5	11,0	15,0	14,2	10,8	11,6	12,0	11,2	15,7	16,3	164,4
	1,0 mm	9,4	9,3	9,2	6,8	9,9	10,0	8,5	7,8	7,2	6,6	10,6	10,5	105,8
	10,0 mm	0,1	0,1	0,6	0,8	1,4	2,2	5,2	4,1	0,8	0,6	0,9	0,4	17,2

Tabela 15. Średnia miesięczna liczba dni z burzą i mgłą w Radomiu (1951-1965)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Dni z burzą	•	0,1	0,1	1,2	2,8	4,2	5,0	2,4	1,1	0,1	•	0,1	17,1
Dni z mgłą	2,4	2,1	2,1	1,4	0,7	0,2	0,2	0,4	1,6	4,7	4,5	3,9	24,2

Tabela 16. Średnia miesięczna grubość pokrywy śnieżnej (cm). Radom (1951-1965). Wolanów (1951-1965)

Stacja	XI	XII	I	II	III	IV	Rok
Radom	1,3	3,6	6,7	8,8	6,2	1,1	4,6
Wolanów	2,3	8,2	9,8	14,1	12,6	1,1	8,0

Tabela 17. Średnia miesięczna prędkość wiatru (m/s) w Radomiu (1951-1965)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
3,4	3,5	3,4	2,8	2,7	2,5	2,3	2,4	2,5	2,4	3,0	3,3	2,8

Tabela 18. Średnia prędkość (m/s) i częstość wiatrów z kierunków (%) w Radomiu (1951-1965)

Kierunek	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
v m/s	2,6	2,5	3,0	3,2	2,8	3,9	3,5	3,4	-
%	8,3	5,3	6,5	11,3	7,9	13,0	20,8	12,6	14,3

Tabela 19. Prędkości wiatru w poszczególnych kierunkach (cisze – 15,9%) w Radomiu (1951-1965)

Prędkość w m/s	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Suma
0-2	6,3	2,9	2,8	3,6	4,1	3,5	6,2	5,6	35,0
2-5	3,1	1,1	3,4	5,7	3,0	5,4	10,2	5,6	38,1
5-10	0,5	0,2	0,8	1,2	0,5	2,5	3,1	1,2	10,0
10-15	•	•	•	0,1	•	0,3	0,3	0,1	0,8
15	•	•	•	•	•	0,1	0,1	•	0,2
Suma	9,9	4,8	7,0	10,6	7,6	11,8	19,9	12,5	100

Tabela 20. Średnia liczba dni z wiatrami silnymi i bardzo silnymi w Radomiu (1951-1965)

	Miesiące	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Liczba dni	v>10	2,6	1,7	1,9	0,8	0,3	0,5	0,1	0,3	0,6	0,5	2,1	1,7	13,1
	v>15	0,5	0,6	0,2	•	•	0,1	•	0,1	•	•	0,1	0,1	1,7

Tabela 21. Średnia liczba cisz w Radomiu (1951-1965)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
10,8	11,6	10,1	11,3	10,1	11,7	14,4	16,5	16,3	17,7	14,6	11,7	156,9

7.5.4. Wpływ warunków atmosferycznych na wypadki drogowe w Radomiu

Autor: Magdalena ŚMIETANKA

Opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ

Cel pracy

Człowiek od dawna przypatrywał się zjawiskom atmosferycznym, starał się unikać niekorzystnych zjawisk, a wykorzystywał w możliwie największym stopniu pozytywne oddziaływanie atmosfery.

Jednymi z prekursorów tych działań byli żeglarze korzystający z przychylnych wiatrów, a omijający tereny znane z warunków niesprzyjających żeglarstwu. Wpływ warunków atmosferycznych na człowieka i różne dziedziny jego działalności (rolnictwo, budownictwo, transport) był od lat przedmiotem zainteresowania ludzi, a wraz z rozwojem nauki wielu jej dyscyplin. Bardzo silnie ów wpływ zaznacza się w przypadku wspomnianego już transportu. I to nie tylko lotniczego, najbardziej zależnego od atmosfery, gdyż odbywającego się w jej centrum, na dużych wysokościach. Relacje te są tak silne, że przy skrajnie niesprzyjających warunkach, nawet pomimo najnowocześniejszych urządzeń nawigacyjnych lot nie odbędzie się.

Pomimo, że wypadki w transporcie lądowym, ze względu na jednorazowo mniejszą, liczbę ofiar, nie robią tak silnego wrażenia, nie można pominąć wpływu zjawisk pogodowych na komunikację drogową. W celu sprawnego i bezpiecznego funkcjonowania tej dziedziny gospodarki zorganizowane zostały specjalne służby o zakresie lokalnym i międzynarodowym, mające za zadanie szybką, wymianę informacji o stanie pogody i zjawiskach zagrażających komunikacji, wyznaczanie tras optymalnych dla ruchu i w ogóle ochronę tej ważnej działalności człowieka, jak jest transport. Przez meteorologów i klimatologów badane są przede wszystkim dwa zagadnienia: w jaki sposób warunki atmosferyczne wpływają na określony środek transportu (samolot, statek), czy drogę (pas startowy) oraz które sytuacje pogodowe i w jakim stopniu wywierają niekorzystny wpływ na ludzi obsługujących te środki komunikacji.

Oczywisty jest wpływ atmosfery na np.: stan dróg (śliskość) czy ogólne pogorszenie warunków jazdy (mgła, zamieć śnieżna), nieczęsto zaś zastanawiamy się nad zależnością samopoczucia ludzi uczestniczących w ruchu od stanów pogody. A przecież procesy zachodzące w atmosferze w sposób niewątpliwy wpływają na stan psychofizyczny zarówno kierowców, jak i pieszych użytkowników dróg. Zależność tę potwierdzają statystyki, jednakże sama znajomość tego nie jest wystarczająca.

Wykrycie wzajemnych relacji i ich przyczyn daje dopiero podstawę do sporządzania prognoz ostrzegawczych. Badania prowadzone przez Zespół Biometeorologii IMGW doprowadziły do powstania osłony ruchu drogowego w Warszawie. Przy podejmowaniu tego typu prac badawczych najtrudniejszy jest wybór metody, dobór analizowanych parametrów, które podawane są potem w komunikatach ostrzegawczych. Prowadzone analizy uwzględniają coraz inne elementy meteorologiczne, procesy w atmosferze, czynniki, które mogą wpływać obciążająco na organizm ludzki. Celem tej pracy jest wykazanie oddziaływania procesów zachodzących w atmosferze na człowieka, przejawiające się wzro-

stem lub spadkiem liczby wypadków i kolizji drogowych. Rozpatrywana wypadkowość jest dość wymierną, charakterystyką, stanu psychofizycznego kierowców, który zakładając w tej pracy, jest wypadkową, oddziaływania m.in.: układów barycznych panujących nad Radomiem, rodzaju i aktywności przechodzących frontów i wielu innych, nieuwzględnianych tutaj czynników.

Materiały źródłowe i metodyka opracowania

Podstawę opracowania stanowią, cogodzinne dane obejmujące cały 1993 rok, pochodzące z wojskowych dzienników synoptycznych, w których podane są w postaci zaszyfrowanej według klucza FMA2-VII SYNOP (wojskowy). Pomiaru te wykonane zostały na terenie jednostki wojskowej położonej we wschodniej części miasta, w dzielnicy Sadków, na przedłużeniu ulicy Lubelskiej. Dokładne współrzędne geograficzne stacji wynoszą: szerokość geograficzna $\varphi = 51^{\circ}23'21''N$, długość geograficzna $\lambda = 21^{\circ}12'48''E$, a wysokość $H = 191$ m n.p.m. Kolejnym źródłem informacji były dolne mapy synoptyczne z czterech terminów doby: 00, 06, 12, 18 GMT, opracowane w Zakładzie Prognoz Krótkoterminowych IMOW w Warszawie.

Dane dotyczące wypadków i kolizji drogowych pochodziły z archiwum Wydziału Ruchu Drogowego Komendy Rejonowej Policji w Radomiu. Obejmowały dokładny czas, miejsce i przyczynę zdarzenia podaną, według klasyfikacji policyjnej.

W badaniach występowania kolizji i wypadków drogowych zastosowano rozkład prawdopodobieństwa Poissona (o parametrze λ). W ocenach istotności statystycznej odchyłeń liczby kolizji i wypadków drogowych od średnich wartości w różnych układach barycznych i średnich w dniach z frontem, zastosowano test χ^2 (Chi-kwadrat).

Ważniejsze wyniki badań zależności kolizji i wypadków drogowych od warunków meteorologicznych przedstawiono w tabelach 1-14 i na rys. 1-5.

Tabela 1. Ruch na trasach wylotowych w/z następujących kierunków (Radom, 1993)

Kierunek	Ogółem
Warszawa	10580
Kozienice	2970
Kraków	8600
Lublin	4770
Łódź	4300
Piotrków Trybunalski	4490
Rzeszów	7370
Starachowice	3460

Tabela 2. Charakterystyka ruchu drogowego w Radomiu (1993)

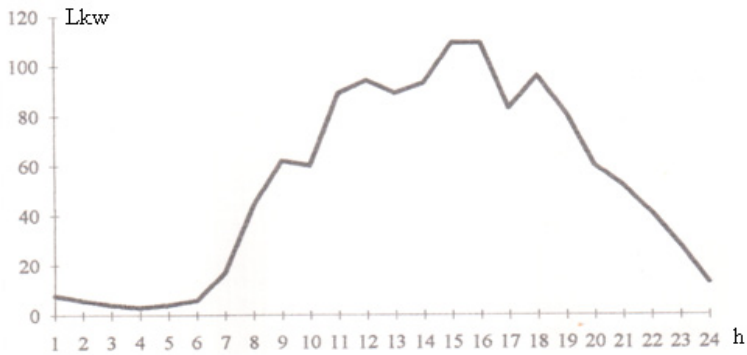
Charakterystyka	Z pomiaru
Natężenie ruchu (tys. poj/godz,)	17,4
Średnia prędkość (km/godz)	38,5
Zużycie paliwa (l/pojazd)	0,313
Czas przejazdu (min/pojazd)	5,56
Czas zatrzymań (s/pojazd)	71,3
Liczba zatrzymań/pojazd	2,9
Długość odcinka ruchu płynnego/pojazd (m)	1200

Tabela 3. Ulice o największym zagrożeniu kolizją (Radom, 1993)

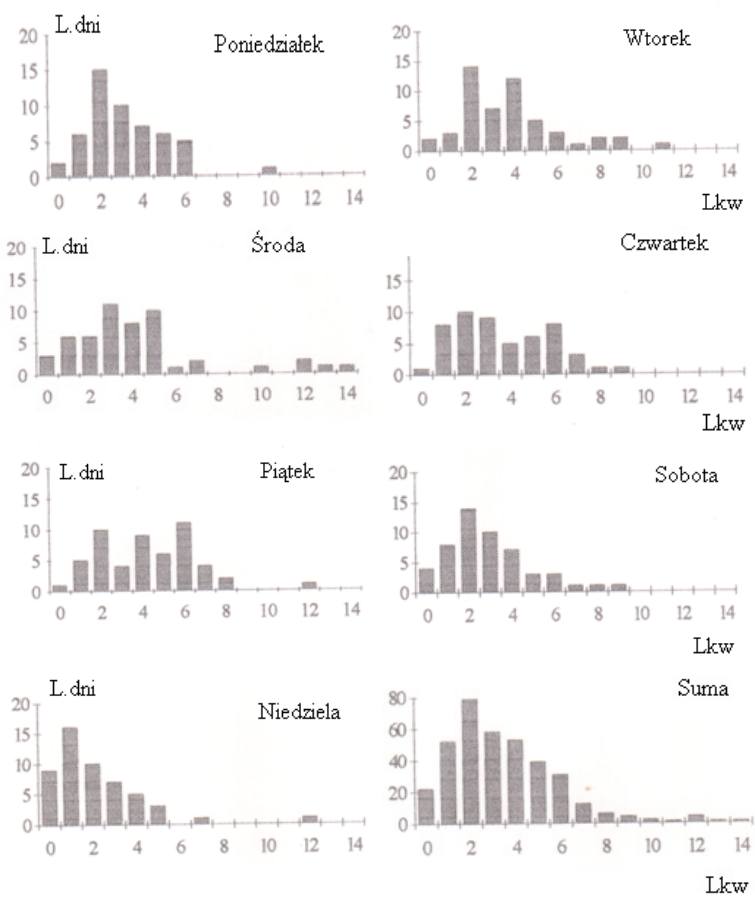
Ulice	Liczba wypadków	Liczba kolizji
Warszawska, Malczewskiego	25	130
Kielecka, Czarnieckiego	18	134
25 Czerwca, Żwirki i Wigury	18	55
Słowackiego	15	73
Limanowskiego	14	90
Chrobrego	9	92
Żeromskiego	9	34
Okulickiego	7	53
Żółkiewskiego	7	46

Tabela 4. Ruch na granicach centrum Radomia (13 X 1993, godz. 6-18)

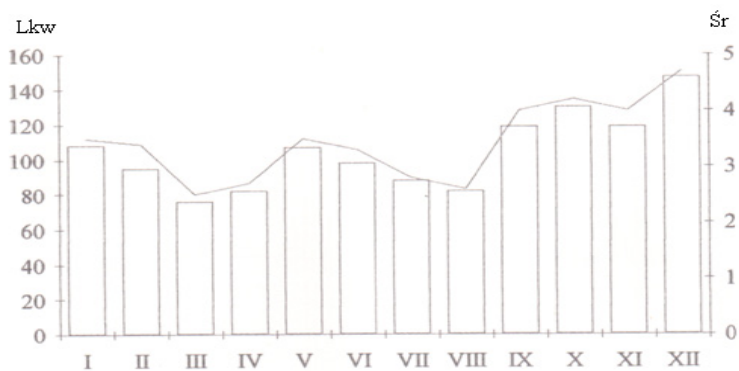
Kierunek (ulica)	Wlot	Wylot	Razem%
Warszawska	6268	6403	10,0
Chrobrego	6321	5644	9,0
Grzecznarowskiego	6303	6125	9,4
Okulickiego	7161	7477	11,0
1905 Roku	8254	8062	12,7
Słowackiego	7407	6202	10,1
inne	24815	24997	37,8
suma	66529	64910	100



Rys. 1. Przebieg dobowy kolizji i wypadków drogowych w Radomiu w 1993 roku



Rys. 2. Przebieg tygodniowy kolizji i wypadków drogowych w Radomiu w 1993 roku



Rys. 3. Przebieg roczny liczby kolizji i wypadków drogowych w Radomiu w 1993 roku, Śr – średnia dobowa

Wypadki drogowe w roku w przedziale czasu 1 godziny mają w 87,5% rozkład Poissona o parametrze $\lambda=0,021$ – najmniejsze natężenie ruchu, $\lambda=0,299$ – w godzinach szczytu i $\lambda=0,190$ – pozostałe godziny.

Przyczyny wypadków

W 1993 roku na terenie miasta Radomia liczba wypadków i kolizji drogowych (Lkw) wyniosła 1824. Zazwyczaj sprawcą wypadku jest kierowca samochodu osobowego oraz pieszy. W grupie zarejestrowanych kolizji w 70% przypadków do zderzenia doszło w wyniku błędu kierowcy samochodu osobowego, w 18% przypadków kierowcy samochodu ciężarowego, w 6% przypadków do kolizji doszło po błędzie pieszego. Do najczęściej występujących wypadków drogowych należy zaliczyć:

- potrącenie pieszego – 53.4%
- zderzenie pojazdów – 34,1%
- najechanie na przeszkodę – 12.5%.

W rejestrze kolizji najczęściej występują:

- zderzenie pojazdów – 79.7%
- najechanie na przeszkodę – 13.5%
- potrącenie pieszego – 6,8%.

Do potrącenia pieszego dochodzi najczęściej po jego błędzie, a w wielu przypadkach stwierdzona jest jego nietrzeźwość w chwili zdarzenia.

Ogółem przyczyny wypadków można podzielić na pięć grup:

- błędne zachowanie kierujących (nieprawidłowe wykonywanie manewrów, nieprzestrzeganie pierwszeństwa przejazdu, niedostosowanie prędkości do warunków drogowych, nieuwaga, roztargnienie, zmęczenie, zaśnięcie i in.) lub pieszych – 68.4% Lkw.
- stan nietrzeźwy kierujących lub pieszych – 8.7% Lkw.
- braki techniczne pojazdu – 0.8% Lkw.
- stan nawierzchni dróg (zły stan nawierzchni, śliskość) – 0.8% Lkw.
- inne (brak opieki nad dziećmi, zwierzęta na drodze, pożar pojazdu, awaria sygnalizacji świetlnej, nieustalone 21.4%).

Klasyfikacja układów barycznych i frontów atmosferycznych

W pracy tej wykorzystana została klasyfikacja układów barycznych i frontów dla potrzeb badań związków korelacyjnych z dobową liczbą, wypadków i kolizji drogowych, opracowana przez M. Baranowską (1985, 1987). Głównymi kryteriami podziału układów były kształty izobar i wartości ciśnienia, na których podstawie wydzielono:

- grupę układów wyżowych wyznaczonych izobarami zamkniętymi opisującymi obszar wysokiego ciśnienia oraz izobarami o krzywiznie antycyklonalnej, z dominującym czynnikiem radiacji,
- grupę układów niżowych wyznaczonych izobarami zamkniętymi opisującymi obszar niskiego ciśnienia oraz izobarami o krzywiznie cyklonalnej, z dominującą adwekcją powietrza z innych stref klimatycznych,
- grupę układów przejściowych wydzielonych dla przypadków, kiedy układ i krzywizna izobar zmieniały się w ciągu doby.

Do podziału układów niżowych wprowadzono kryterium odległości ośrodka niżowego od Polski jakim jest granica obszaru wyznaczonego przez następujące współrzędne geograficzne $\varphi - 5-60^{\circ}\text{N}$ i $\lambda - 0-35^{\circ}\text{E}$. Ostatecznie wydzielono 11 układów o zbliżonych rozmiarach i podobnej charakterystyce wypadkowości:

- W – wyżę o izobarach zamkniętych bez względu na pochodzenie układu (azorski, skandynawski i in.) oraz skraje wyżów, kliny i wały wyżowe wyznaczone antycyklonalną krzywizną izobar
- OW – rozmyte pola wysokiego ciśnienia z małymi lokalnymi ośrodkami niżowymi oraz słabogradientowe obszary podwyższonego ciśnienia, najczęściej charakteryzują się przebiegiem jednej izobary nad Polską o krzywiznie antycyklonalnej
- ON – rozmyte pola niskiego ciśnienia z lokalnymi słabymi ośrodkami niżowymi nad Europą oraz słabogradientowe obszary obniżonego ciśnienia, charakteryzujące się najczęściej jej przebiegiem nad Polską jednej izobary o krzywiznie cyklonalnej
- N – niżę o izobarach zamkniętych, których ośrodki przemieszczają się nad obszarem ograniczonym współrzędnymi $5-60^{\circ}\text{N}$ i $0-35^{\circ}\text{E}$
- Np – niżę o izobarach zamkniętych, których ośrodki przemieszczają się nad Polską lub tworzące się nad obszarem Polski, najczęściej w brzdach niżowych na frontach zafalowanych;
- Ns – skraje dużych układów niżowych, których ośrodki przemieszczają się poza obszarem $5-60^{\circ}\text{N}$ i $0-35^{\circ}\text{E}$ a także skraje niżów w obrębie zdefiniowanego obszaru
- Z – zatoki występujące w niżach przemieszczających się nad zdefiniowanym obszarem lub tworzące się na skrajach niżów
- Zw – zatoki przemieszczające się w wyżach, którym towarzyszą wysokie wartości ciśnienia, zakłócenie pogody wyżowej trwa około jednego dnia
- Kf – krótkotrwale kliny wyżowe rozwijające się za frontem, antycyklonalna krzywizna izobar
- N-W – skraj niżu lub zatoki, wzrost ciśnienia nad Polską, w ciągu doby następuje zmiana kształtu izobar z cyklonalnej na antycyklonalną
- W-N – skraj wyżu, spadek ciśnienia nad Polską, w ciągu doby następuje zmiana kształtu izobar z antycyklonalnej na cyklonalną (zatoka, niż).

Metoda ta jest oparta na kryteriach jakościowych i dlatego poza opisem podanie ścisłych definicji układów jest trudna. Ocena sytuacji barycznej przedstawionej na mapie i sklasyfikowanie jej do danej grupy nie jest pozbawiona subiektywizmu. Kolejnym krokiem była klasyfikacja frontów atmosferycznych wyznaczonych na mapach synoptycznych. Brane były pod uwagę fronty przechodzące przez Radom lub te, których oddziaływanie mogło być w Radomiu zauważalne. Były to fronty chłodne, ciepłe, zokludowane oraz stacjonarne, nazywane czasem w tej pracy zafalowanymi. Analizowano je pod względem prędkości przemieszczania się nad Polską oraz pod względem wielkości zmian elementów meteorologicznych w ciągu trzech godzin po lub przed przejściem frontu, a także zmian w stosunku do doby poprzedniej lub następnej tak, by wyeliminować naturalny cykl zmian elementów meteorologicznych w ciągu doby. Za elementy meteorologiczne, odzwierciedlające zmiany jakie front przynosi uznano: temperaturę powietrza i ciśnienie atmosferyczne, ciśnienie pary wodnej oraz prędkość przemieszczania się frontu. Klasyfikując zmiany po przejściu frontu przyjęto wartości progowe elementów meteorologicznych jak w tab. 5.

Tabela 5. Kryteria klasyfikacji frontów atmosferycznych

	w ciągu 3 godzin	w ciągu doby
Temperatura powietrza (°C)	<1≥	<0,5≥
Ciśnienie atmosferyczne (hPa)	<1≥	<0,5≥
Ciśnienie pary wodnej (hPa)	<0,5≥	<3≥
Prędkość ruchu Fc (km/h)	<25≥	
Prędkość ruchu Fz (km/h)	<45≥	

Wartości mniejsze od podanych w tab. 5 klasyfikowały front jako słaby, równe lub większe jako silny.

W wersji A do dni bez utrudnień zaliczono te, w których nie występowały żadne zjawiska pogodowe lub jedynie zamglenie (liczba klucza 10, w grupie pogody bieżącej FMA2-VII SYNOP), przelotny deszcz, słaby i umiarkowany.

Tabela 6. Dni z liczbą wypadków poniżej i powyżej średniej miesięcznej oraz w roku (Radom, 1993)

	N	Np	Ns	Z	ON	OW	W	Zw	Kf	N-W	W-N
-	29	13	4	23	23	15	56	4	14	3	9
+	6	13	4	25	14	16	28	7	15	6	8
Rok	65	26	8	48	37	31	84	11	29	9	17

Tabela 7. Liczba dni z frontem w poszczególnych miesiącach (Radom, 1993)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	suma
15	9	7	8	12	15	15	10	14	14	7	18	144

Tabela 8. Liczba wypadków i kolizji drogowych w poszczególnych układach barycznych

	N	Np	Ns	Z	ON	OW	W	Zw	Kf	N-W	W-N	Suma
L. d.	65	26	8	48	37	31	84	11	29	9	17	365
L. wyp.	266	103	29	171	124	103	213	45	103	31	64	1251

Tabela 9. Liczba dobowych wypadków (od 0 do 14) w poszczególnych sytuacjach barycznych (Radom, 1993)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
N	4	5	13	10	10	8	6	2		2	-	1	2	-	1
Np	1	6	3	4	3	2	3	-	1	1	1	-	1	-	-
Ns	1	-	1	1	2	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Z	1	4	14	8	8	5	4	2	1	-	-	-	1	-	-
ON	1	6	9	8	5	1	3	2	-	1	1	-	-	-	-
OW	2	3	7	5	4	8	1	-	1	-	-	-	-	-	-
W	6	22	22	13	7	6	6	2	-	-	-	-	-	-	-
Zw	1	1	2	1	3	-	2	-	-	-	-	-	-	1	-
Kf	4	2	5	4	3	4	3	3	1	-	-	-	-	-	-
N-W	1	1	1	-	4	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-
W-N	-	2	2	4	4	2	2	-	1	-	-	-	-	-	-
Suma	22	52	79	58	53	39	31	12	6	4	2	1	4	1	1

Tabela 10. Wypadki w dniach z poszczególnymi układami barycznymi (wersja A – bez utrudnień i z utrudnieniami) (Radom, 1993)

	Bez utrudnień				Z utrudnieniami			
	Bezp.	Neutr.	Niebezp.	L. dni	Bezp.	Neutr.	Niebezp.	L. dni
N	1	7	4	12	8	16	29	53
Np	0	0	1	1	7	7	11	25
Ns	1	2	1	4	0	0	4	4
Z	4	5	6	15	1	17	15	33
ON	4	10	3	17	3	7	10	20
OW	1	7	11	19	4	5	3	12
W	22	23	11	56	6	12	10	28
Zw	2	3	1	6	0	0	5	5
Kf	5	6	2	13	1	3	12	16
N-W	2	0	2	4	0	1	4	5
W-N	1	2	3	6	1	4	6	11

Tabela 11. Udział dni z frontem w roku i liczba wypadków w tych dniach (Radom, 1993)

Fronty	Lkw (%)	L. dni (%)
Ciepły silny (Fe !)	6,87	4,66
Chłodny silny (Fz !)	10,07	6,58
Pozostałe silne (Fp !)	3,12	2,19
Ciepły słaby (Fe)	3,68	4,93
Chłodny słaby (Fz)	6,24	7,94
Pozostałe słabe (Fp)	2,88	3,84
Dni wielofrontalne (wiel)	6,39	6,30
Rok	39,2 0	36,40

Tabela 12. Wypadki w dniach z frontem atmosferycznym (wersja A – bez utrudnień i z utrudnieniami) (Radom, 1993)

	Bez utrudnień				Z utrudnieniami			
	Bezp.	Neutr.	Niebezp.	L. dni	Bezp.	Neutr.	Niebezp.	L. dni
Fc !	1	2	0	3	0	0	14	14
Fz !	0	1	3	4	0	5	15	20
Fp !	0	0	1	1	2	0	5	7
Fc	1	1	2	4	1	11	2	14
Fz	7	3	1	11	2	8	8	18
Fp	0	1	0	1	3	8	2	13
Wiel.	0	0	2	2	3	9	9	21
OF	34	57	36	127	20	31	54	105
Suma	43	65	45	153	31	72	109	212

Dyskusja wyników badań i wnioski

Założeniem pracy jest wykazanie wpływu dynamicznych procesów zachodzących w atmosferze na człowieka, poprzez udokumentowanie wzrostu lub spadku liczby wypadków i kolizji drogowych w poszczególnych sytuacjach. Jako "poligon doświadczalny" służyła przestrzeń miejska Radomia. Miasto to z aktualną siecią uliczną, liczbą pojazdów poruszających się po drogach, nierozwiązanym wciąż problemem obwodnicy i tranzytu przez miasto, może być reprezentantem rozwoju wypadkowości w miastach 200-300 tysięcznych.

Oceniając stan zależności między sytuacjami pogodowymi a Lkw należy pamiętać iż, okres badawczy przyjęty w pracy wynosił zaledwie jeden rok, a liczba rozpatrywanych wypadków 1251. Przy rozpatrywaniu tak małej próby zdarzenie, które normalnie nie mieściłoby się w granicach błędu przypadkowego, w tej sytuacji może zmieścić się w tym przedziale i mieć znaczący wpływ na wyniki analizy. Porównano otrzymane efekty tej pracy z wynikami badań przeprowadzonych w IMGW (Baranowska, Wojtach, 1985) (tab. 13).

Tabela 13. Porównanie wyników badań z Radomia (1993) i Warszawy (1970-1977) – odchylenie od średniej (%) liczby wypadków i kolizji drogowych w dniach z różnymi układami barycznymi

Układy baryczne	Dni bezpieczne Lkw=0 lub 1)		Dni niebezpieczne Lkw≥4	
	Radom	Warszawa	Radom	Warszawa
N	-0,20	-0,05	0,04	0,06
Np	-0,28	-0,15	0,71	0,22
Z	-0,01	-0,02	0,11	0,01
W	0,11	0,19	-0,09	-0,18
Kf	0,10	0,06	-0,14	-0,08
W-N	-0,11	-0,03	0,21	0,02
Śr	0,28	0,31	0,29	0,31

Przytoczone wyniki analiz IMGW pochodzą z lat 1970-1977. Materiałem badawczym był zbiór wypadków warszawskich pojazdów MZK, które wydarzyły się w dniach bez opadu (eliminacja utrudnień jazdy), stąd pomimo tak długiego przedziału czasowego liczba dni branych pod uwagę wyniosła 884.

Materiałem wyjściowym tego opracowania były wszystkie wypadki i kolizje drogowe zarejestrowane przez policję na terenie miasta Radomia w 1993 roku. By badać meteorotropizm należało wydzielić dni z utrudnieniami jazdy. Autorka wyeliminowała nie tylko opad, ale również dni z innymi zjawiskami, które w zależności od długości trwania mogą w różny sposób utrudniać jazdę. Dodatkową różnicą stał się podział na dni z małym i dużym ryzykiem wypadku. W celu zredukowania tendencji zmienności wypadków związanej z gęstością ruchu drogowego w opracowaniach IMGW posłużono się krzywą gęstości standaryzowanej zmiennej losowej wypadków i przyjęto kryterium progu δ , obliczanego osobno dla każdego miesiąca. I tak dni z sumą, wypadków $\bar{x} - \delta$ oznaczono jako dni z małą liczbą wypadków, $\bar{x} + \delta$ jako dni z dużym ryzykiem kolizji.

W tym opracowaniu grupę dni bezpiecznych i niebezpiecznych wyznaczono z empirycznego rozkładu liczby wypadków w Radomiu. Przyjęto takie rozwiązanie gdyż próby wykorzystania odchylenia standardowego prowadziły do zwiększenia grupy średniej wypadkowości, a zawężenia grup skrajnych, co nie służyło celowi pracy. Głównym podobieństwem i cechą pozwalającą na porównanie wyników tych prac jest klasyfikacja synoptyczna układów barycznych i frontów atmosferycznych, dokonana ściśle według wskazówek jej autorki M. Baranowskiej. Dobra zgodność (wersja A bez utrudnień) zaznacza się w przypadku pojawiania się niżu z centrum nad Polską, który pociąga za sobą wzrost częstości dni niebezpiecznych dla ruchu. Pomimo, i w tej pracy jest to wzrost a o 71%, a w pracach IMGW o 22% to w obu przypadkach są to największe odchylenia od średniej i to stanowi o istotnym oddziaływaniu meteorotropowym. Podobnej wielkości wzrost ryzyka jazdy występuje w sytuacji niżu i wynosi w Radomiu 4%, w Warszawie 6%. Zbliżone wyniki określające wzrost bezpieczeństwa jazdy charakteryzują, wyż (Radom 11%, Warszawa 19%) i klin za frontem chłodnym (Radom 10%, Warszawa 6%).

Odniesienie tej pracy do niektórych analiz niemieckich również daje satysfakcjonujące wyniki. Np: badania W. Spanna i H. Ungeheuera z lat 1950-1953, dokonane w Monachium wykazały wzrost Lkw o 10% przy pogodzie niżowej, po wyłączeniu zjawisk utrudniających. E. King badający w latach 1956-1958 wypadki w mieście Stuttgart podwyższył tę wartość do 12%. (Baranowska, Gurba, 1979). W tej pracy wykazano również 10% wzrost liczby wypadków i kolizji drogowych przy panujących układach cyklonalnych.

Tabela 14. Porównanie wyników badań z Radomia (1993) i Warszawy (1970-77) - odchylenie od średniej (%) liczby wypadków i kolizji drogowych w dniach z frontem atmosferycznym (Baranowska, Wojtach, 1987)

Fronty atm.	Dni bezpieczne Lkw=0 lub 1)		Dni niebezpieczne Lkw≥4	
	Radom	Warszawa	Radom	Warszawa
F	0,22	0,19	-0,10	-0,22
Fz !	-0,28	-0,19	0,46	0,16
Fc !	0,05	-0,28	-0,29	0,39
OF	-0,01	0,12	-0,01	-0,12
Śr	0,28	0,31	0,29	0,31

Wyniki dotyczące frontów atmosferycznych wykazują w przypadku silnego frontu chłodnego spadek liczby dni z małą wypadkowością w Radomiu o 28, w Warszawie o 19% i wzrost częstości pojawiania się dni niebezpiecznych odpowiednio o 46 i 16%. Tak wysoki wskaźnik w Radomiu wskazuje na wielki meteorotropizm tych sytuacji. Podobieństwo zachodzi również we wzroście liczby dni bezpiecznych (Radom o 22%, Warszawa o 19%) przy przechodzeniu frontów słabych, co sugeruje brak jakiegokolwiek oddziaływania tego typu frontów. Wszelkie rozbieżności w wynikach mogą, być konsekwencją zarówno bardzo krótkiego okresu badawczego, jak i różnic klimatycznych między latami siedemdziesiątymi a rokiem 1993.

Podsumowując całość wyników można stwierdzić, że biotropowe oddziaływanie charakteryzuje niż rozwijający się nad Polską lub jedynie z centrum przemieszczającym się

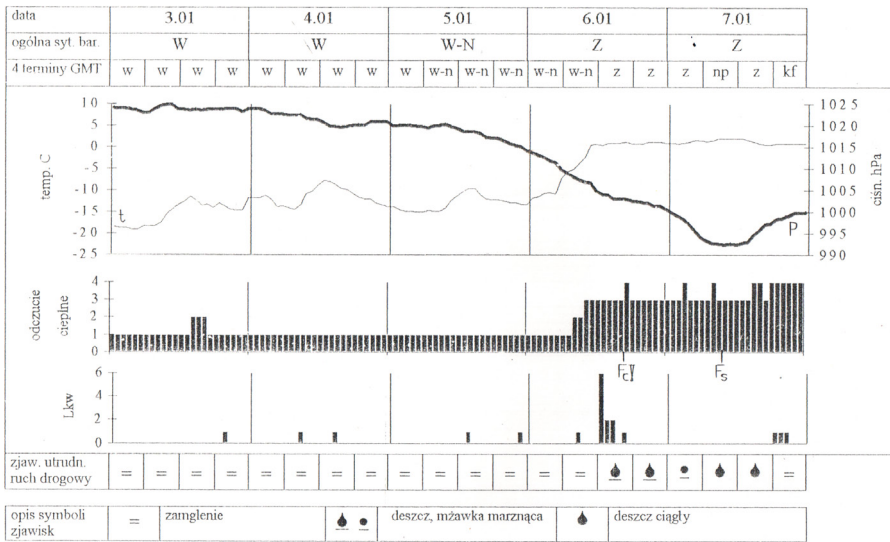
nad naszym krajem oraz zatokę niżową. Te aktywne sytuacje poprzez dużą zmienność w czasie elementów meteorologicznych negatywnie oddziałuje na ludzi, powodując pośrednio zwiększenie Lkw. Sugerowany wzrost wypadkowości w przypadku centrów niżów przemieszczających się nad obszarem pomiędzy 45-60°N i 0-35°E nie występował. Innym aktywnym meteorotropowym układem był wyż, który swą stałością, brakiem szybkich zmian elementów meteorologicznych, towarzyszącą mu najczęściej słoneczną pogodą, oddziaływał pozytywnie na formę psychofizyczną ludzi, co zaznaczyło się w spadku Lkw.

Pewne sytuacje, takie jak słabogradentowy obszar niżowy oraz zmiana z niżu do wyżu, nie wykazywały żadnego oddziaływania, uznać je więc można za obojętne dla organizmu. Ogólnie można stwierdzić ujemny meteorotropowy wpływ sytuacji o charakterze cyklonalnym, a pozytywny sytuacji antycyklonalnych.

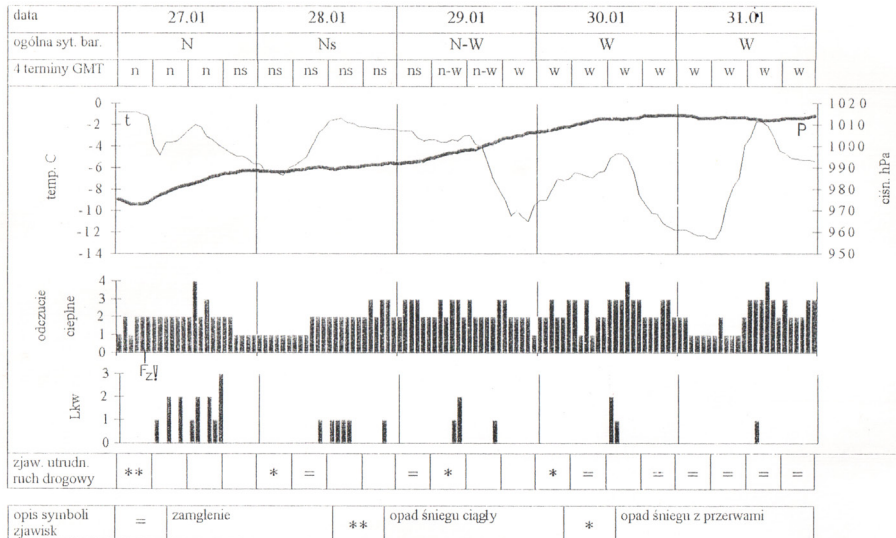
Najsilniejszym biotropowym determinantem wypadkowości okazały się fronty atmosferyczne. Najwyraźniej na zwiększenie Lkw wpływa przejście silnego frontu chłodnego, z którym wiąże się zmienność pogody bardzo obciążająca mechanizm przystosowawczy człowieka, a w ekstremalnych warunkach zakłócająca jego sprawność psychofizyczną. Przechodzenie frontów słabych nie zaznacza się w przebiegu Lkw, który kształtuje się w tych dniach na średnim poziomie. Ogólnie można stwierdzić aktywność meteorotropową, frontów silnych i dni wielofrontalnych.

Analiza zależności rozmiaru wypadkowości od środowiska termicznego, poprzez wykorzystanie skali odczucia cieplnego (1 – b. zimno, 2 – zimno, 3 – chłodno, 4 – komfort, 5 – ciepło, 6 – gorąco, 7 – b. gorąco), nie dała wyników istotnych. Zaznaczyło się jedynie istnienie trendu wzrostu Lkw w warunkach odczuwanych jako gorące. Potwierdzono, że stres gorąca jest bardziej obciążający dla człowieka od stresu zimna, czyli że organizm ludzki lepiej przystosowuje się do warunków zimna.

Dobrym, kompleksowym zakończeniem może być analiza biometeorogramu przedstawiającego zmianę panującego układu barycznego z antycyklonalnego na cyklonalny (rys. 4). W czasie panowania układu antycyklonalnego wypadki praktycznie nie występują. Sytuacja zmienia się wraz z nadejściem zatoki niżowej i towarzyszącego jej silnego frontu ciepłego, którego przejście w dniu 6.01 powoduje nagły wzrost wypadków. W dniu 27.01 (rys. 5) wzrost liczby wypadków pojawia się po przejściu silnego frontu chłodnego, pomimo iż opad śniegu już się zakończył i przez większą część dnia nie notowano zjawisk utrudniających jazdę. Z rozwojem układu wyżowego maleje liczba wypadków od 14 w dniu 27.01 do 1 w dniu 31.01 i jak widać ich występowanie nie zależy od zjawisk pogodowych.



Rys. 4. Biometeorogram przedstawiający: temperaturę powietrza, ciśnienie atmosferyczne, odczucia ciepła (skala 0-4) i liczbę kolizji i wypadków w Radomiu w dniach od 3 do 7 stycznia 1993) (przejście z sytuacji antycyklonalnej do cyklonalnej)



Rys. 5. Biometeorogram przedstawiający : temperaturę powietrza (°C), ciśnienie atmosferyczne (hPa), odczucia ciepła (skala 1-7) oraz liczbę kolizji i wypadków w Radomiu w dniach od 27 do 31 stycznia 1993) (przejście z sytuacji cyklonalnej do antycyklonalnej)

7.5.5. Klimat lotniska Sadków w Radomiu

Autor: Paweł PARZUCHOWSKI

Opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA

Cel pracy

Głównym celem pracy jest określenie warunków meteorologicznych utrudniających funkcjonowanie lotniska w Radomiu - Sadkowie. Szczególne znaczenie ma określenie częstości występowania: małej widzialności poziomej, silnego wiatru, burz z wyładowaniami atmosferycznymi, intensywnych opadów, gradu oraz gołoledzi i szadzi. Uzupełnieniem jest charakterystyka zmienności dobowej i rocznej podstawowych elementów meteorologicznych – temperatury powietrza, wilgotności, zachmurzenia, opadów oraz ciśnienia atmosferycznego.

Dobrym przykładem w tym zakresie jest lotnisko na radomskim Sadkowie. Użytkowane od ponad 90 lat przez wojsko ma dużą szansę w najbliższych latach podzielić swą funkcje na wojskowo- cywilną (tab. 1, rys. 1).

Niezwykle istotnym czynnikiem lokalizacji lotnisk i ich działalności są warunki meteorologiczne charakterystyczne dla danego obszaru, a w szerszej skali czasowej- lokalny klimat lotnisk. To pogoda ostatecznie decyduje o możliwości odbywania lotów. Pewne, specyficzne stany atmosfery mogą utrudniać bądź uniemożliwiać funkcjonowanie lotnisk na wiele godzin a nawet dni. Niektóre rejony Polski cechują się uprzywilejowaniem, inne stanowią swoista barierę rozpatrując ich wieloletnie prawidłowości średnich stanów pogody w odniesieniu do średnich warunków w naszym kraju. Klimat lokalny poszczególnych miejsc – w kraju o cechach klimatu umiarkowanego przejściowego, może diametralnie odbiegać od średnich wieloletnich warunków w całej Polsce jak i w poszczególnych jej regionach. Nawet w niewielkich odległościach, częstość oraz nasilenie owych niekorzystnych zjawisk mogą być odmienne. Wobec mgły, silnego wiatru czy wyładowań atmosferycznych człowiek pozostaje w zasadzie bezsilny – nie ma i w najbliższej przyszłości nie będzie rozwiązań mogących pokonać te trudności. Istotna jest odpowiedź na pytanie czy klimat, tj. średnie wartości wybranych elementów meteorologicznych są odpowiednie dla lokalizacji lotniska w Radomiu.

Tabela 1. Podstawowa charakterystyka lotniska w Radomiu

Szerokość geograficzna	$\varphi = 51^{\circ}23'21''N$
Długość geograficzna	$\lambda = 21^{\circ}12'49''E$
Wysokość	$H = 186$ m
Droga startowa	200 m·60 m
Pas bezpieczeństwa	2500 m·285 m
Zasadniczy kierunek lądowania	21°
Kod ICAO	EPRA



Rys. 1. Lokalizacja lotniska Sadków na terenie Radomia

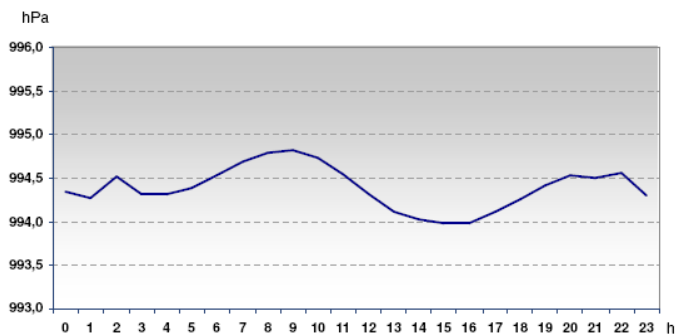
Materiały źródłowe i metody badań

Problemy badawcze w pracy były rozwiązywane na podstawie codziennych (0^h-24^h) – codziennych danych pomiarowych z lat 2001-2005, pochodzących z Wojskowej Lotniskowej Stacji Meteorologicznej w Radomiu a ponadto w oparciu o wiedzę dostępną w wartościowych pozycjach literatury i sieci internetowej. We wprowadzeniu do pracy scharakteryzowano położenie geograficzne lotniska wojskowego w Radomiu oraz regionu, w którym jest ono położone – Ziemi Radomskiej. W części poświęconej przeglądowi literatury zawarto pozycje szczegółowo analizujące wpływ warunków klimatycznych na transport lotniczy. Uwzględniono ponadto prace, w których dokonano prób regionalizacji klimatycznej Ziemi Radomskiej. Następnie zanalizowano zmienność czasową podstawowych elementów meteorologicznych, nie wpływających bezpośrednio na prace lotniska w Radomiu. Omówiono przebieg dobowy i roczny ciśnienia atmosferycznego, temperatury powietrza, wilgotności powietrza oraz zachmurzenia i opadów atmosferycznych. Obliczono średnie arytmetyczne z codziennych danych pomiarowych stacji meteorologicznej.

Przebieg dobowy i roczny zmiennych meteorologicznych na lotnisku Radom-Sadków w latach 2001-2005

Przebieg dobowy ciśnienia atmosferycznego w Radomiu ma dwa minima i dwa maksima ciśnienia. Maksima ciśnienia przypadają na godziny: 9-10 oraz 21-22, a minima – na godziny: około 4 oraz około 15-16.

W przebiegu rocznym (tab. 2) największe średnie wartości ciśnienia atmosferycznego występują w grudniu (995,3 hPa) i wrześniu (995 hPa), a najmniejsze w lipcu (prawie 992 hPa) oraz kwietniu (992,3 hPa).



Rys. 2. Przebieg dobowy ciśnienia atmosferycznego w Radomiu-Sadkowie w latach 2001-2005

Tabela 2. Charakterystyka ciśnienia atmosferycznego w Radomiu w latach 2001-2005

Okres	Średnie	Śr. minimalne	Śr. maksymalne	Śr. zakres wahań
I	992,9	967,6	1011,2	43,6
II	993,0	970,4	1016,2	45,8
III	994,3	974,2	1010,8	36,6
IV	992,3	976,4	1008,8	32,4
V	992,9	980,4	1004,6	24,2
VI	993,0	982,0	1002,2	20,2
VII	991,9	980,8	1002,2	21,4
VIII	992,9	980,6	1003,4	22,8
IX	995,0	979,4	1007,4	28,0
X	994,5	980,6	1011,2	30,6
XI	993,6	969,4	1012,2	42,6
XII	995,3	966,9	1016,7	49,8
X-III	994,1	971,5	1012,8	41,3
IV-IX	993,0	980,0	1004,8	24,8

Najniższa temperatura w ciągu doby występowała w pobliżu świtu słonecznego – około godziny trzeciej; począwszy od godziny piątej, szóstej zaznaczał się dość szybki wzrost temperatury – średnio o 6°C, osiągając największe wartości około godziny trzynastej; po godzinie piętnastej, szesnastej następował spadek temperatury (rys. 3). Miesiącem o największej średniej miesięcznej temperaturze powietrza (20,2°C) w badanym pięcioleciu jest lipiec a najchłodniejszym – styczeń (-1,7°C). Zakres rocznych wahań temperatury wyniósł 21,9°C (tab. 3).

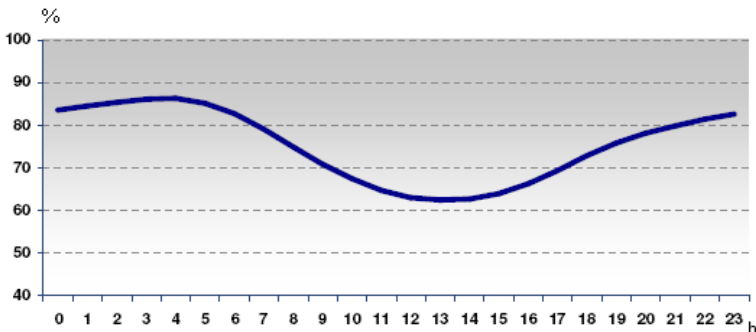


Rys. 3. Przebieg dobowy średniej temperatury powietrza w Radomiu-Sadkowie w latach 2001-2005

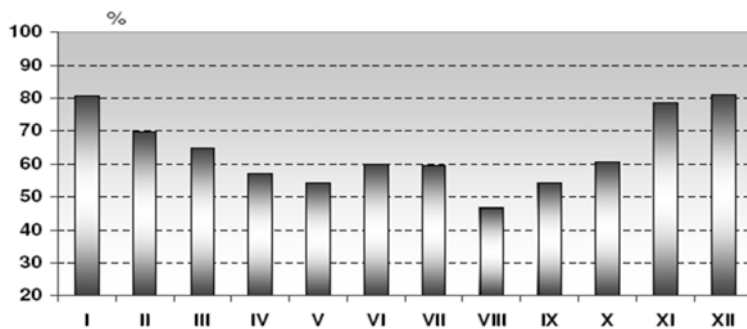
Tabela 3. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza w Radomiu w latach 2001-2005 (T_{MIN} – temperatura minimalna, T_{MAX} – maksymalna)

	2001	2002	2003	2004	2005	T_{MIN}	T_{MAX}
I	-1,19	-0,63	-2,84	-4,75	0,97	-22,5	14,1
II	-1,16	3,64	-5,03	0,25	-2,74	-22,9	13,9
III	1,62	4,51	2,32	3,43	1,06	-15,9	19,4
IV	7,31	7,35	7,49	8,66	10,09	-4,5	24,6
V	13,93	16,62	16,08	12,35	13,55	1,8	31,5
VI	15,23	17,46	18,5	16,29	17,11	3,5	30,9
VII	20,15	20,99	20,25	18,2	21,23	8,1	34,8
VIII	19,29	20,35	19,44	19,30	8,32	8,5	31,4
IX	12,17	13,6	14,3	14,37	16,00	2,5	28,6
X	10,08	7,63	5,85	10,00	9,58	-6,2	23,1
XI	1,58	4,79	5,22	3,64	3,48	-11,4	17,7
XII	-4,49	-6,15	1,44	2,03	-0,16	-21,6	8,1
Rok	7,88	9,18	8,59	8,66	9,04	-22,9	34,8

Zmiany czasowe wilgotności względnej powietrza, zachmurzenia i opadów atmosferycznych przedstawiają rys. 4-5 i tab. 4-5.



Rys. 4. Przebieg dobowy wilgotności względnej powietrza w Radomiu-Sadkowie w latach 2001-2005



Rys. 5. Przebieg roczny zachmurzenia w Radomiu-Sadkowie w latach 2001-2005

Tabela 4. Charakterystyka zachmurzenia w Radomiu w latach 2001-2005

	Śr %	Bezchm.	Całk
2001	65,9	1	33
2002	62,0	4	22
2003	58,4	10	37
2004	66,9	3	26
2005	66,9	15	40
Śr.	64,0	6,6	31,6

Tabela 5. Charakterystyka opadów atmosferycznych w Radomiu w latach 2001-2005

	Deszcz	Śnieg	Mżawka	Grad	Σ
2001	153	71	37	3	212
2002	144	54	35	1	187
2003	119	52	35	0	169
2004	135	63	24	2	186
2005	95	67	24	0	145
Σ	129	61	31	1	180

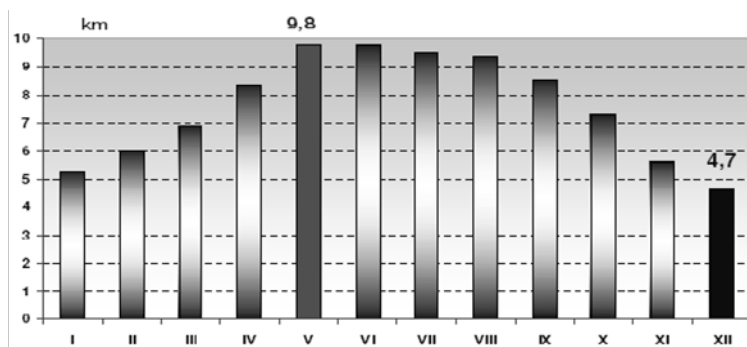
Widzialność pozioma – mgły

Widzialność pozioma odgrywa kluczową rolę w działalności lotniczej. Określa ona możliwość dostrzegania z możliwie największej odległości danego obiektu, różniącego się od tła. Średnia roczna widzialność pozioma na lotnisku w Radomiu, w latach 2001-2005 przyjęła wartość 7,6 km. Miesiące półrocza ciepłego, a zwłaszcza okres od maja do sierpnia, charakteryzowały się najlepszymi warunkami średniej widzialności. Wówczas jej wartość przekroczyła 9 km. Odmienna sytuacja występowała w miesiącach zimowych, najgorsze warunki widzialności poziomej cechowały grudzień i styczeń – średnia jej wartość w grudniu nie była większa niż 5 km. Jednym z najważniejszych powodów utrudniających, bądź uniemożliwiających prace portów lotniczych, jest ograniczenie widzialności poziomej. W niniejszej charakterystyce widzialności jako zjawiska niekorzystnego dla lotnictwa przyjęto progową jej wartość mniejszą od 1 km, określając ją jako mgłę. Mgłą, zwłaszcza silną, w większości przypadków utrudnia działalność lotnisk na wiele godzin. Dodatkowo w ujemnej temperaturze zawiesina mikroskopijnych kropelek wody może zamarzać, a kryształki lodu powodować oblodzenie pasa startowego i samolotu.

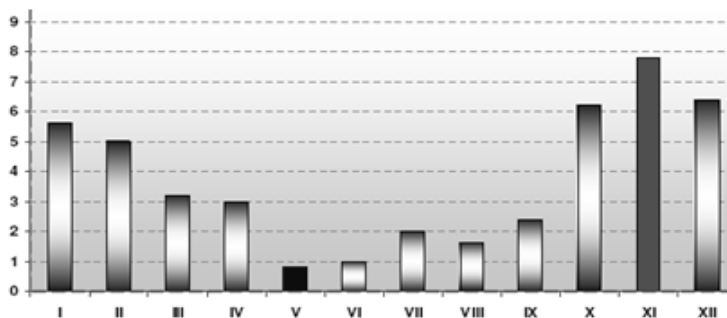
Dokładniejszą charakterystyką zjawiska mgły jest liczba godzin z mgłą. Najczęściej mgła występuje w półroczu chłodnym, w listopadzie, grudniu oraz styczniu; jednak miesiącem o największym nasileniu zjawiska mgły okazał się styczeń (średnio ponad 43 godziny z mgłą). W miesiącach półrocza ciepłego mgła wystąpiła sporadycznie, zwłaszcza w okresie od maja do września (w czerwcu średnio tylko 2 godziny).

Największym utrudnieniem dla pracy lotnictwa jest silna mgła. Ograniczenie widzialności poniżej 300 metrów sprawia, i na większości światowych lotnisk transport lotniczy zostaje wstrzymany. Na lotnisku w Radomiu w latach 2001-2005 wystąpiło średnio 67 godzin z silną mgłą rocznie. W styczniu takich godzin było średnio około 16, w listopadzie około 14, zaś w październiku 12. W półroczu ciepłym zjawisko mgły występowało sporadycznie, najrzadziej w okresie od maja do sierpnia (zwykle około 1 godziny w miesiącu).

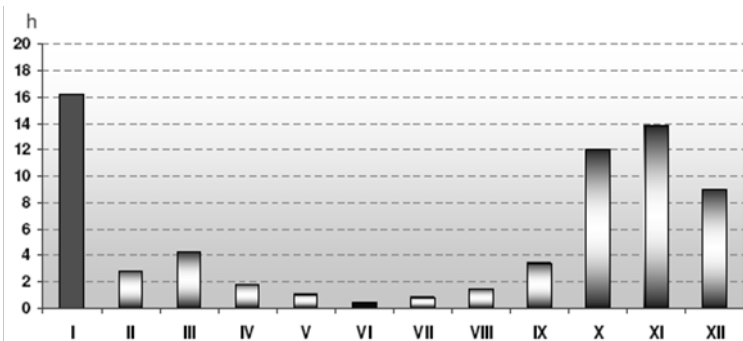
Ważniejsze wyniki badań w zakresie widzialności poziomej (mgieł) przedstawiono na rys. 6-11.



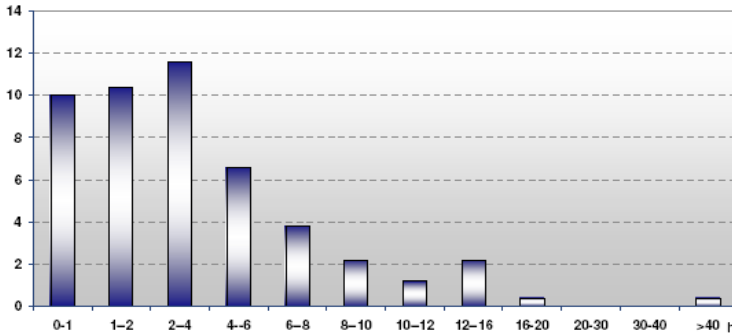
Rys. 6. Przebieg roczny widzialności poziomej (km) w Radomiu-Sadkowie w latach 2001-2005



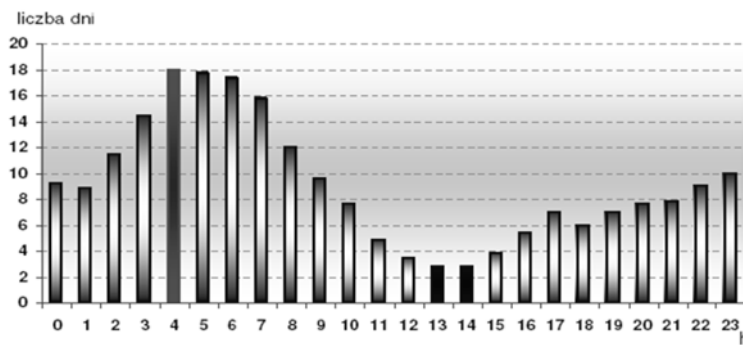
Rys. 7. Przebieg roczny liczby dni z mgłą w Radomiu-Sadkowie w latach 2001-2005



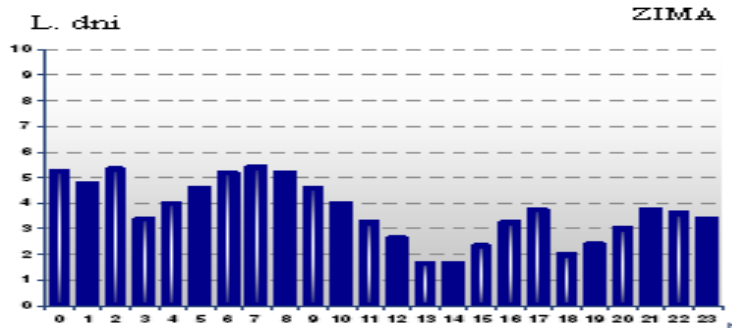
Rys. 8. Przebieg roczny liczby godzin z silną mgłą w Radomiu - Sadkowie w latach 2001-2005



Rys. 9. Średnia liczba przypadków mgły o określonej długości jej trwania w Radomiu-Sadkowie w latach 2001-2005



Rys. 10. Przebieg dobowy liczby dni z mgłą w Radomiu-Sadkowie w latach 2001-2005

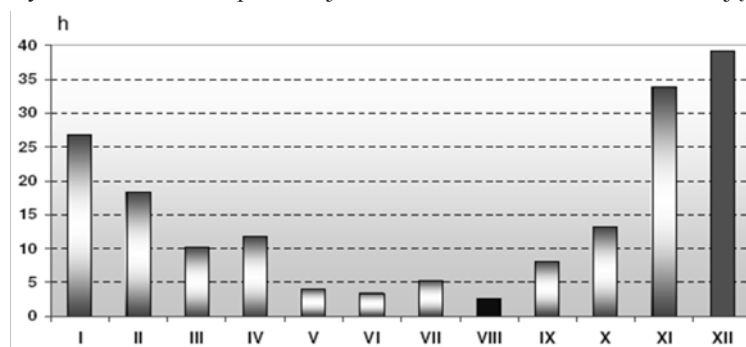


Rys. 11. Przebieg dobowy liczby dni z mgłą w Radomiu-Sadkowie w zimie w latach 2001-2005

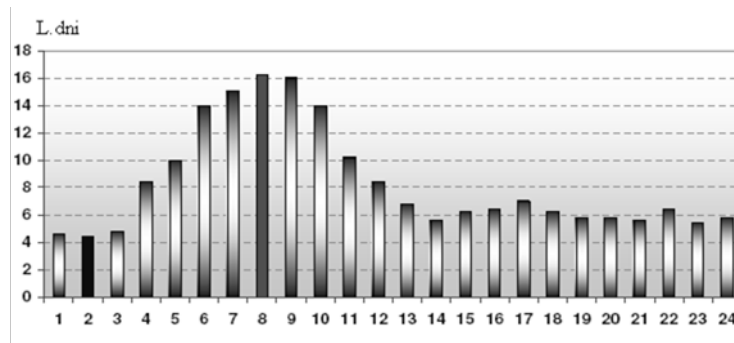
Wysokość podstawy chmur – widzialność pionowa

Widzialność pionowa oznacza wysokość wzniesienia podstawy chmury (chmur) ponad poziom terenu stacji obserwacyjnej. Jeżeli chmura jest możliwa do rozróżnienia na tle nieba, należy podać wysokość podstawy najniższej jej części. Największe znaczenie dla lotnictwa mają chmury pietra niskiego: Stratus, Stratocumulus i Nimbostratus, a także chmu-

ry mające swą podstawę w dolnych częściach troposfery – Cumulonimbus. Wysokość podstawy chmury ma związek z temperaturą i wilgotnością powietrza. Znacznym ograniczeniem lub wstrzymaniem podróży powietrznych jest sytuacja, w której podstawa chmur jest niższa od 100 metrów. Warunkują to chmury typu Stratus a niekiedy także Nimbostratus. Najwięcej dni z niską podstawą chmur wystąpiło w Radomiu w miesiącach jesienno – zimowych: listopadzie i grudniu. Także styczeń, luty i październik charakteryzowały się podwyższoną liczbą takich dni. Mała liczba dni z niską podstawą chmur wystąpiła w okresie wiosenno- letnim: w czerwcu, sierpniu maju (średnio najwyżej 1 dzień w miesiącu). Miesiącami o najbardziej niekorzystnych warunkach w lotnictwie były grudzień i listopad, kiedy to średni czas z niską podstawą chmur przekraczał 30 godzin i występował w ciągu całej doby. Najmniejsze nasilenie zjawiska przypadło w czasie od maja do sierpnia. W sierpniu średnia liczba godzin z niską podstawą chmur wyniosła tylko 2,5 w godzinach wczesno porannych. O widzialności pionowej na lotnisku Radom-Sadków informują rys. 12-13.



Rys. 12. Przebieg roczny liczby godzin z podstawą chmur niższą od 100 metrów w Radomiu-Sadkowie w latach 2001-2005



Rys. 13. Cykl dobowy liczby dni z podstawą chmur niższą od 100 metrów w Radomiu w latach 2001-2005

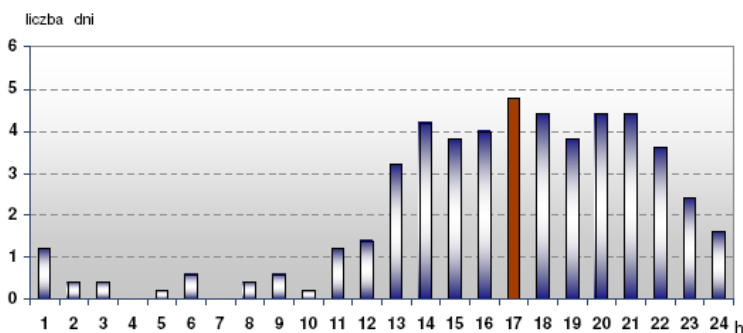
Burze

Podczas występowania burzy należy liczyć się z wielu niebezpiecznymi dla lotnictwa zjawiskami atmosferycznymi: wyładowaniami elektrycznymi, intensywnymi opadami (w tym także gradu), ograniczeniem widzialności, silnymi i zmiennymi porywami wiatru oraz turbulencjami w potężnych chmurach burzowych Cumulonimbus. W Polsce domi-

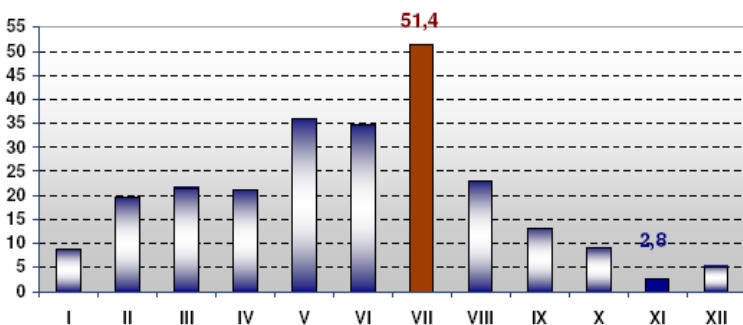
nują burze frontowe, powstające na granicy dwóch różnych termicznie mas powietrza – obejmują one zwykle znaczne obszary i mogą występować w ciągu całej doby, w każdej porze roku, charakteryzują się często gwałtownym przebiegiem, ale w wielu przypadkach są krótkotrwałe. Dysponując obrazami map radarowych i satelitarnych można z dużym prawdopodobieństwem przewidzieć trasę wędrówki takich burz, ich rozwój oraz siłę. Burze wewnątrzmasowe, powstają najczęściej w ciepłej porze roku nad rozgrzanym lądem, mają charakter lokalny a ich rozwój i siła są trudniejsze do prognozowania. W Radomiu w latach 2001-2005 wystąpiło średnio 23 dni z burzą w roku. Liczba ta wahała się od 15 w 2005 roku do 35 w 2001. Najbardziej „burzowym” miesiącem okazał się lipiec, w którym wystąpiło średnio 8 dni z burzą. Warto podkreślić, i w każdym roku badanego pięciolecia to właśnie w lipcu obserwowano największą aktywność burzowa – od 6 dni z burzą w latach 2004 i 2005 do 12 w roku 2001. Najdłużej trwająca burza wystąpiła w lipcu 2001 roku, wyładowania elektryczne obserwowano przez około 7 godzin. Dominowały jednak burze krótkotrwałe – trwające do 1 godziny (tab. 6, rys. 14-15).

Tabela 6. Czas trwania burz (godz.) w Radomiu w latach 2001-2005

Czas trwania (godz.)	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
Liczba burz	72	35	17	4	8	0	1
Liczba burz (%)	52,5	25,5	12	3	6	0	1



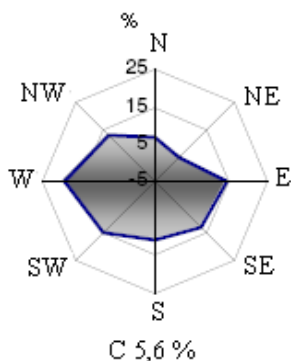
Rys. 14. Przebieg doby liczby dni z burzą w Radomiu w latach 2001-2005



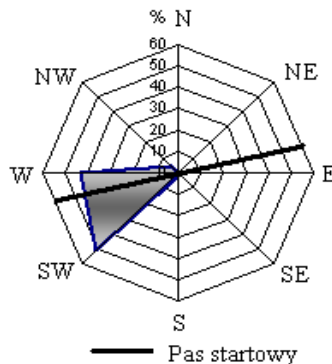
Rys. 15. Średnia liczba godzin z chmurami Cumulonimbus w Radomiu w latach 2001-2005

Wiatr

Głównym zagrożeniem dla wykonywania lotów są zbyt silne porywy wiatru, zwłaszcza o zmiennym kierunku, bądź o stałym kierunku niekorzystnym względem położenia pasa startowego. Niebezpiecznym zjawiskiem są porywy wiatru – nagłe i niespodziewane zmiany prędkości i (lub) kierunku ruchu powietrza będące przyczyną turbulencji. Występują one często na granicy frontów atmosferycznych, ale najgroźniejszy rodzaj turbulencji (CAT – turbulencja w czystym powietrzu) jest bardzo trudny do przewidzenia i obserwacji. Groźne ruchy powietrza towarzyszą też często burzom i chmurom Cumulonimbus (tab. 7, rys. 16-17).



Rys. 16. Częstość kierunków wiatru w Radomiu w latach 2001-2005 (róża wiatru)



Rys. 17. Częstość kierunków wiatru o $v > 15$ m/s względem pasa startowego lotniska w Radomiu w latach 2001-2005

Tabela 7. Charakterystyka wiatru o prędkości $v > 15$ m/s w Radomiu w latach 2001-2005

	2001	2002	2003	2004	2005	Śr.	Maks.
Rok	8	39	9	16	1	14,6	22

Średnia prędkość wiatru (v) na lotnisku w Radomiu w latach 2001-2005 wyniosła niemal 3 m/s. Maksymalna zanotowana w pięcioleciu prędkość wiatru osiągnęła 22 m/s. Miesiącami o średnio największej prędkości wiatru były styczeń oraz grudzień, wówczas prędkość wiatru przekroczyła 3,5 m/s.

VIII. ZMIANY ROCZNE I WIELOLETNIE OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH WE WSCHODNIEJ CZĘŚCI NIZINY MAZOWIECKIEJ (NA PRZYKŁADZIE WARSZAWY-OKĘCIA I SIEDLEC)

Urszula KOSSOWSKA-CEZAK, Jan SKRZYPCZUK

Celem opracowania jest rozpoznanie zmian rocznych i wieloletnich sum opadów atmosferycznych oraz zakresu tych zmian we wschodniej części Niziny Mazowieckiej, a więc w tej części regionu, w której znajduje się Warszawa. Podstawę opracowania stanowią sumy miesięczne opadów ze stacji Warszawa-Okęcie i Siedlce z istniejącej najdłuższej serii pomiarowej, tj. od jesieni 1948 do końca roku 2010. Co prawda, stacja synoptyczna na Okęciu została uruchomiona po działaniach wojennych 2 lata wcześniej niż w Siedlcach, ale ze względu na zachowanie pełnej porównywalności wyników przyjęto wspólny okres w odniesieniu do obu stacji.

Na obszarze Warszawy pomiary opadów są wykonywane w wielu miejscach, a stację Okęcie wybrano do opracowania nie tylko dlatego, że jest to stacja synoptyczna, o najwyższej jakości pomiarów, ale również dlatego, że jest punktem obserwacyjnym o lokalizacji niezaburzonej zmianami urbanistycznymi (Lorenc, 1991).

Położenie obu stacji w ciągu objętych badaniem lat praktycznie nie uległo zmianie. Określają je współrzędne geograficzne: Okęcie – 52°10'N, 20°58'E i 106 m n.p.m., Siedlce – 52°11'N, 22°15'E i 152 m n.p.m.

Ogólna charakterystyka opadów w Warszawie i Siedlcach

Średnia suma roczna opadów w wieloleciu 1949-2010 w Warszawie na Okęciu wyniosła 520 mm, a w Siedlcach 538 mm (tab. 1, 2). Ta wyższa o 3% średnia suma wieloletnia nie oznacza jednak, że w Siedlcach opady w ogóle są wyższe niż w Warszawie, choć wyższe o ponad 40 m położenie Siedlec łatwo nasuwałoby taką interpretację. W rzeczywistości wielkość opadów na obszarze Warszawy jest bardzo zróżnicowana, co wykazały już Z. Kaczorowska (1967) i B. Bogdańska (1972) czy znacznie później H. Lorenc (1991). We wszystkich tych pracach uzyskano zgodny wynik, że południowo-zachodnie peryferie Warszawy, gdzie jest zlokalizowane lotnisko na Okęciu, stanowią obszar o niższych opadach, najwyższe zaś są związane z obszarami śródmiejskimi i zawietrzną, północno-wschodnią i wschodnią częścią miasta, czy – jak wykazała Lorenc (1991) – raczej z lokalizacją głównego źródła zanieczyszczeń pyłowych. W tych najobficiej zraszanych częściach miasta sumy opadów są wyższe niż w Siedlcach, co znajduje potwierdzenie w różnicy średniej wieloletniej sumy opadów na najstarszej stacji w Warszawie, znajdującej się w Śródmieściu – Obserwatorium Astronomiczne i w Siedlcach: w latach 1891-1930 odpowiednio 555 i 546 mm (Wiszniewski, 1953), 1931-1960 odpowiednio 561 i 549 mm (*Atlas...*, 1977). Można zatem przyjąć, że ilość opadów, jaka spada na obszar Warszawy i Siedlec, czy szerzej – całej wschodniej części Niziny Mazowieckiej – jest podobna, co potwierdzają mapy rozkładu opadów w Polsce w latach 1971-2000: obydwie stacje znajdują się w obszarze z opadami nieco poniżej 550 mm (Lorenc, 2005).

Ze względu na znaczne zróżnicowanie wielkości opadów na obszarze Warszawy, w celu uniknięcia niejasności, dalej w opracowaniu będzie mowa o opadach na Okęciu.

Tabela 1. Średnie wieloletnie, największe i najmniejsze sumy opadów (mm) miesięczne, sezonowe, półroczne i roczne – Warszawa-Okęcie, 1949-2010

Suma	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Średnia	24	25	26	34	53	66	74	61	45	35	40	34
% sumy rocznej	5	5	5	6	10	13	14	12	9	7	8	6
Najw.	79	72	65	93	183	149	214	179	138	148	109	81
% śred. sumy	329	288	250	274	345	226	289	293	307	423	273	238
Rok	2007	2002	1994	1994	1962	2009	1997	1977	1995	1974	2010	2005
Najm.	1	0	5	4	16	14	15	4	1	0	12	3
% śred. sumy	4	0	19	12	30	21	20	7	2	0	30	9
Rok	1997	1976	1974 1982	1976	1979	2000	1982	1968	1951	1951	1954	2002

Suma	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Półroczna		Rok	
					XI-IV	V-X	hydrol.	kalend.
Średnia	83	114	202	121	183	335	518	520
% sumy rocznej	16	22	39	23	35	65	100	100
Największa	139	274	338	265	334	530	751	800
% śred. sumy	167	240	167	219	183	158	145	154
Rok	1967	1962	1972	1952	1967	2010	2010	2010
Najmniejsza	28	49	90	20	80	162	305	330
% śred. sumy	34	43	45	17	44	48	59	63
Rok	1997	1953	1992	1951	1976	1951	1976	1951

Wyższa o 3% średnia wieloletnia suma opadów w Siedlcach w porównaniu z Okęciem jest związana z wyższymi opadami w lecie (VI-VIII) i w jesieni (IX-XI) – o 5%, a także w ciepłym półroczu hydrologicznym (V-X) – również o 5%, podczas gdy w zimie i wiosną średnie sumy opadów na obu stacjach są bardzo podobne (tab. 1, 2). Szczególnie wysokimi opadami w Siedlcach w porównaniu z Okęciem wyróżniają się czerwiec, sierpień i wrzesień, kiedy to średnie sumy wieloletnie są o 11-13% wyższe niż na Okęciu. Zaskakująca jest natomiast niższa o 4% średnia suma opadów w lipcu (rys. 1).

W dalszym ciągu pracy przedmiotem zainteresowania będą m.in. sumy roczne opadów na obu stacjach. Są to sumy uzyskane w latach kalendarzowych – od stycznia do grudnia (od 1949 do 2010 roku). Ze względu jednak na to, że będą również rozpatrywane sumy opadów w półroczach hydrologicznych, tzn. od listopada do kwietnia – półroczcie chłodne i od maja do października – półroczcie ciepłe, obliczono również sumy opadów w latach hydrologicznych, tzn. od listopada roku ubiegłego do października roku danego. To oznacza, że opracowanie w ujęciu hydrologicznym obejmuje okres od listopada 1948 do października 2010. To przesunięcie okresu badawczego zaledwie o 2 miesiące (przy masie statystycznej 744 miesięcy z każdej stacji) sprawiło, że średnia suma wieloletnia w roku hydrologicznym okazała się zarówno na Okęciu, jak i w Siedlcach niższa o 2 mm od tej w roku kalendarzowym. Przyczyną tej różnicy jest wielkość opadów w listopadzie i grudniu 1948 i 2010 roku – te pierwsze były niższe o ponad 110 mm na Okęciu i ponad 100 mm w Siedlcach. Szczególnie zaważyła tu wielkość opadów w listopadzie 2010 roku, który był najbardziej deszczowy w całym 62-leciu (tab. 1, 2).

Tabela 2. Średnie wieloletnie, największe i najmniejsze sumy opadów (mm) miesięczne, sezonowe, półroczne i roczne – Siedlce, 1949-2010

Suma	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Średnia	26	25	27	34	52	73	71	68	51	36	39	34
% sumy rocznej	5	5	5	6	10	14	13	13	9	7	7	6
Najw.	73	68	70	90	114	226	179	256	167	180	105	90
% śred. sumy	281	272	259	265	219	310	252	376	327	500	269	265
Rok	2007	2002	2009	1994	1984	1985	1997	2006	2010	1974	2010	1966
Najm.	2	1	5	5	12	18	8	3	12	1	8	5
% śred. sumy	8	4	19	15	23	25	11	4	24	3	21	15
Rok	1997	1976	1953 1974 1984	2009	1993	2000	2006	1984	1951	1951	1959 1975	1972

Suma	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Półrocza		Rok	
					XI-IV	V-X	hydrol.	kalend.
Średnia	85	113	212	127	184	352	536	538
% sumy rocznej	16	21	39	24	34	66	100	100
Największa	164	236	403	314	342	563	708	742
% śred. sumy	193	209	190	247	186	160	132	138
Rok	1967	1994	1985	1952	1967	1974	1956	2010
Najmniejsza	23	47	97	34	85	223	374	364
% śred. sumy	27	42	46	27	46	63	70	68
Rok	1997	1953	1983	1951	1996	1983	1987	1953

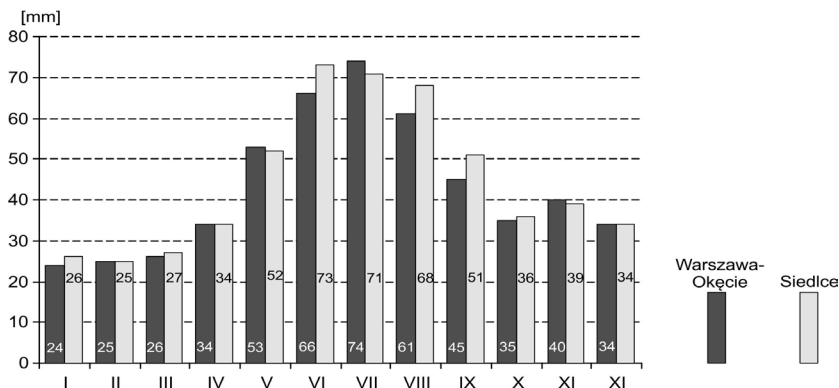
Dwumiesięczne przesunięcie roku hydrologicznego względem kalendarzowego sprawia też, że na ogół najsuchszy i najobfitszy w opady rok hydrologiczny i kalendarzowy przypadają na różne lata; zgodny pod tym względem był tylko rok o najwyższych opadach w Warszawie-Okęciu – był to ostatni rok rozpatrywanego wielolecia – 2010.

Przebieg roczny opadów

Podobnie jak w całej Polsce, tak i we wschodniej części Niziny Mazowieckiej, wyraźnie zaznacza się cykl roczny opadów, z najniższymi sumami miesięcznymi od stycznia do marca oraz letnim maksimum – od czerwca do sierpnia. Prawidłowość ta występuje na obydwu stacjach, dlatego sezonowy rozkład opadów oraz na półrocza hydrologiczne jest bardzo podobny: w Warszawie w zimę spada 16% średniej sumy rocznej, na wiosnę 22%, w lecie 39% i w jesieni 23%, w Siedlcach odpowiednio 16, 21, 39 i 24%, w Warszawie na półrocze chłodne 35%, na ciepłe 65%, w Siedlcach odpowiednio 34 i 66% (tab. 1, 2; rys. 1).

W ciągu 8 miesięcy – od października do maja – sumy opadów na obydwu stacjach są prawie takie same (zaledwie w jednym miesiącu różnią się o 2 mm); również praktycznie taka sama jest średnia suma wieloletnia z całego okresu od października do maja (Okęcie 271 mm, Siedlce 272 mm). Wyższa suma roczna w Siedlcach jest zatem związana z obfitszymi opadami letnimi; jak już wcześniej wspomniano, szczególnie wyższe niż w Warszawie są opady w czerwcu, sierpniu i wrześniu (łącznie o 20 mm). Okazuje się

zatem, że Okęcie odznacza się wyraźnym rocznym maksimum opadowym w lipcu (74 mm, 14% sumy rocznej), podczas gdy w Siedlcach maksimum to przypada na czerwiec, a w kolejnych miesiącach opady są niewiele niższe (odpowiednio 73, 71 i 68 mm, tzn. 14, 13 i 13% średniej sumy rocznej; rys. 1, tab. 1, 2).



Rys. 1. Średni przebieg roczny opadów w Warszawie-Okęciu i Siedlcach (1949-2010)

Początkowe miesiące roku nie tylko odznaczają się najniższymi średnimi wieloletnimi sumami opadów, ale również okazują się najsuchsze w poszczególnych latach (tab. 3). Dotyczy to szczególnie stycznia i lutego, które stanowiły w Warszawie 43%, a w Siedlcach 37% najsuchszych miesięcy w roku w 62-leciu; średnio opady w tych najsuchszych miesiącach wynosiły 10-12 mm. Równie często jak styczeń i luty najsuchszy był październik (w Warszawie 24%, w Siedlcach 19%), a średnie opady wynosiły wówczas tylko 7-8 mm. Poza tym kilka razy najsuchszy był marzec lub grudzień, a w pozostałej części roku najsuchsze miesiące zdarzały się sporadycznie, przy czym na Okęciu nigdy najsuchszym miesiącem roku nie był maj ani czerwiec, a w Siedlcach czerwiec. Skupienie się najsuchszych miesięcy w przebiegu rocznym od grudnia do marca oraz w październiku wyraźniej zaznacza się na Okęciu (odpowiednio 63 i 24%) niż w Siedlcach (60 i 19%).

Występowanie najwyższych średnich opadów miesięcznych w lecie znajduje również potwierdzenie częstości miesięcy o najwyższych opadach w roku: na obydwu stacjach najczęściej najbardziej deszczowy był lipiec, przy czym szczególnie duża częstość tego miesiąca jako najbogatszego w opady zaznacza się na Okęciu (32%, w Siedlcach 27%, tab. 4). Często najbardziej deszczowy był też czerwiec albo sierpień; jeden z trzech letnich miesięcy miał najwyższe opady w roku na Okęciu w 78% lat, a w Siedlcach w 69% lat badanego wielolecia. Te najwyższe miesięczne opady na Okęciu wynosiły średnio 108-113 mm, a w Siedlcach 115-130 mm. W miesiącach od listopada do kwietnia najwyższe opady zdarzały się tylko w jednym roku 62-lecia lub nie zdarzały się wcale. Na szczególną uwagę zasługuje tu październik: maksimum roczne opadów przypadło na ten miesiąc tylko dwa razy, ale średnia suma tych opadów była wyższa niż w którymkolwiek innym miesiącu: na Okęciu 144 mm, w Siedlcach 150 mm.

Tabela 3. Charakterystyki najniższych opadów miesięcznych w roku (1949-2010)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Warszawa-Okęcie												
L. mies.	14,5	12,5	8,5	2	-	-	2	1	2	15	1	3,5
%	23,4	20,2	13,7	3,2	-	-	3,2	1,6	3,2	24,2	1,6	5,6
Suma śr.	12	11	10	6	-	-	20	4	20	7	13	12
Najw.	1	0	5	5	-	-	17	4	13	0	13	3
Rok	1997	1976	1974 1982	1984	-	-	1967	1968	1983	1951	1956 1975	2002
Siedlce												
L. mies.	12	11	8	4,5	1	-	1	2	1	12	3,5	6
%	19,4	17,7	12,9	7,3	1,6	-	1,6	3,2	1,6	19,4	5,6	9,7
Suma śr.	10	10	12	10	17	-	8	13	13	8	15	16
Najn.	2	1	5	5	17	-	8	3	13	1	8	10
Rok	1997	1976	1953 1974 1984	2009	1971	-	2006	1984	1961 2009	1951	1975	1968

Tabela 4. Charakterystyki najwyższych opadów miesięcznych w roku (1949-2010)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Warszawa-Okęcie												
L. mies.	-	-	-	1	7	16	20	12	3	2	1	-
%	-	-	-	1,6	11,3	25,8	32,3	19,4	4,8	3,2	2,1	-
Suma śr.	-	-	-	93	87	108	113	112	98	144	108	-
Najw.	-	-	-	93	183	149	214	179	138	148	108	-
Rok	-	-	-	1994	1962	2009	1997	1977	1995	1974	1952	-
Siedlce												
L. mies.	1	-	1	1	8,5	14,5	17	10	6	2	1	-
%	1,6	-	1,6	1,6	13,7	23,4	27,4	16,1	9,7	3,2	1,6	-
Suma śr.	73	-	50	90	87	115	116	130	116	150	83	-
Najn.	73	-	50	90	114	226	179	256	167	180	83	-
Rok	2007	-	1983	1994	1984	1985	1997	2006	2010	1974	1964	-

Częstość sum opadów różnej wielkości i zakres zmienności

Chociaż opady podlegają wielkim wahaniom zarówno w ciągu roku, jak i w danym miesiącu z roku na rok, częstość sum miesięcznych, sezonowych i półrocznych różnej wielkości wyraźnie nawiązuje do średniego przebiegu rocznego (tab. 5, 6). Od września do kwietnia najczęściej występują sumy miesięczne opadów 21-40 mm, które zresztą są najczęstsze w całym roku, stanowiąc 37% wszystkich sum miesięcznych na Okęciu i 36% w Siedlcach. Udział takich sum opadów sięga lub nawet przekracza 50% w marcu i w listopadzie na obydwu stacjach, a na Okęciu również w styczniu. Od stycznia do marca oraz w październiku znaczny (30-40%) jest też udział sum opadów poniżej 20 mm; w ciągu roku jest ich około 20% na obydwu stacjach. Na szczególną uwagę zasługuje paździer-

nik, wyróżniający się największą w roku (ponad 20%) częstością sum miesięcznych opadów poniżej 10 mm. Od października do kwietnia częstość sum miesięcznych opadów różnej wielkości na obu stacjach jest podobna; odznacza się nie tylko wspomnianą wcześniej dominacją sum 21-40 mm, lecz również całkowitym brakiem sum powyżej 80 mm od stycznia do marca i tylko sporadycznym pojawianiem się opadów tej wielkości w pozostałych miesiącach (nieznacznie więcej w październiku w Siedlcach – 5 przypadków w ciągu 62 lat).

Od maja do września wyraźnie zwiększa się częstość wyższych od 40 mm sum opadów, a także zaznacza się zróżnicowanie ich częstości między Okęciem i Siedlcami. Co prawda, jeszcze w maju w Siedlcach i już we wrześniu na obydwu stacjach najczęstsze są (tak jak w chłodniejszej części roku) opady miesięczne o wysokości 21-40 mm (tab. 5, 6), ale wyraźnie zmniejsza się udział miesięcy z opadami poniżej 20 mm na rzecz tych powyżej 40 mm.

Tabela 5. Częstość (%) sum opadów miesięcznych, sezonowych, półrocznych i rocznych – Warszawa-Okęcie, 1949-2010

mm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
>200	-	-	-	-	-	-	1,6	-	-	-	-	-
151-200	-	-	-	-	-	-	3,2	-	-	-	-	-
101-150	-	-	-	-	1,6	19,3	14,5	6,5	1,6	3,2	3,2	-
81-100	-	-	-	3,2	8,1	12,9	25,8	8,1	6,5	-	1,6	1,6
61-80	3,2	1,6	1,6	4,8	14,5	16,1	17,7	24,2	14,5	14,5	8,1	9,7
41-60	7,8	14,5	14,5	24,2	37,1	25,8	12,9	30,6	27,4	17,7	24,2	22,6
21-40	51,6	45,2	51,6	48,4	33,9	19,4	19,4	24,2	33,9	27,4	50,0	38,7
11-20	27,4	25,9	22,6	12,9	3,2	5,6	4,8	1,6	14,5	14,5	12,9	17,7
0-10	12,9	12,9	9,7	6,5	-	-	-	1,6	1,6	22,6	1,6	9,7
>100	-	-	-	-	-	-	19,3	9,7	1,6	3,2	3,2	-
51-100	3,2	6,5	4,8	17,7	38,7	45,2	45,2	48,4	35,5	24,2	19,4	17,7
0-50	96,8	93,5	95,2	82,3	58,1	35,5	35,5	41,9	62,9	72,6	77,4	82,3

mm	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	mm	Półroczna		mm	Rok	
						XI-IV	V-X		hydrol	kalend.
>300	-	-	3,2	-	>500	-	3,2	>700	3,2	3,2
251-300	-	1,6	16,1	1,6	401-500	-	16,1	651-700	4,8	6,5
201-250	-	3,2	22,6	6,5	351-400	-	19,4	601-650	12,9	8,1
151-200	-	4,8	43,5	8,1	301-350	1,6	24,2	551-600	14,5	12,9
101-150	30,6	50,0	12,9	51,6	251-300	3,2	25,8	501-550	19,4	19,4
51-100	50,0	38,7	1,6	29,0	201-250	32,3	9,7	451-500	22,6	30,6
≤50	19,4	1,6	-	3,2	151-200	33,9	1,6	401-450	12,9	12,9
>200	-	4,8	41,9	8,1	101-150	27,4	-	351-400	8,1	3,2
101-200	30,6	54,8	56,5	59,7	≤100	1,6	-	≤350	1,6	3,2
≤100	69,4	40,3	1,6	32,2						

W maju na Okęciu maksimum częstości sum miesięcznych opadów przypada na przedział 41-60 mm (37%), przy nadal znacznym (34%) udziale sum 21-40 mm. Poczynając od maja sumy miesięczne poniżej 20 mm zdarzają się już bardzo rzadko, pojawiają się natomiast powyżej 100 mm. Największe prawdopodobieństwo wystąpienia tak wysokich opadów miesięcznych przypada na czerwiec i lipiec (do 19%). W czerwcu maksimum częstości sum miesięcznych opadów przypada w Warszawie na przedział 41-60 mm (26%), a w Siedlcach 61-80 mm (32%), w lipcu zaś odpowiednio na 81-100 mm (26%) i 41-60 mm (24%), co wyraźnie nawiązuje do średnich wieloletnich sum opadów w tych miesiącach. W sierpniu na obu stacjach najczęściej (31%) występują opady miesięczne 41-60 mm, ale w Siedlcach nieco częściej (13%) niż na Okęciu (10%) zdarzają się opady powyżej 100 mm.

Tabela 6. Częstość (%) sum opadów miesięcznych, sezonowych, półrocznych i rocznych – Siedlce, 1949-2010

mm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
>200	-	-	-	-	-	1,6	-	1,6	-	-	-	-
151-200	-	-	-	-	-	4,8	4,8	4,8	1,6	1,6	-	-
101-150	-	-	-	-	6,5	8,1	14,5	6,5	4,8	1,6	1,6	-
81-100	-	-	-	1,6	6,5	14,5	14,5	9,7	12,9	4,8	3,2	1,6
61-80	3,2	1,6	1,6	9,7	22,6	32,3	19,4	27,4	16,1	4,8	9,7	8,1
41-60	8,1	11,3	12,9	21,0	27,4	22,6	24,2	30,7	14,5	21,0	22,6	21,0
21-40	45,2	45,2	53,2	45,2	33,9	14,5	19,4	17,7	37,1	30,7	50,0	41,9
11-20	35,5	29,0	22,6	9,7	3,2	1,6	1,6	-	12,9	14,5	9,7	22,6
0-10	8,1	12,9	9,7	12,9	-	-	1,6	1,6	-	21,0	3,2	4,8
>100	-	-	-	-	6,5	14,5	19,4	12,9	6,5	3,2	1,6	-
51-100	9,7	4,8	4,8	19,4	37,1	56,5	43,5	50,0	38,7	25,8	17,7	19,4
0-50	90,3	95,2	95,2	80,6	56,4	29,0	37,1	37,1	54,8	71,0	80,6	80,6

mm	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	mm	Półroczna		mm	Rok	
						XI-IV	V-X		hydrol	kalend.
>300	-	-	11,3	1,6	>500	-	3,2	>700	1,6	6,6
251-300	-	-	11,3	3,2	401-500	-	19,4	651-700	9,7	8,1
201-250	-	3,2	25,8	3,2	351-400	-	21,0	601-650	16,1	12,9
151-200	1,6	8,1	41,9	16,1	301-350	1,6	27,4	551-600	14,5	14,5
101-150	30,7	51,6	8,1	43,6	251-300	4,8	22,6	501-550	21,0	21,0
51-100	53,2	35,5	1,6	27,4	201-250	29,0	6,5	451-500	19,4	14,5
≤50	14,5	1,6	-	4,8	151-200	38,7	-	401-450	12,9	19,4
>200	-	3,2	48,4	8,1	101-150	24,2	-	351-400	4,8	3,2
101-200	32,3	59,7	50,0	59,7	≤100	1,6	-	≤350	-	-
≤100	67,7	37,1	1,6	32,2						

Uogólniając, należy stwierdzić, że opady miesięczne poniżej 50 mm stanowią ponad 90% wszystkich przypadków od stycznia do marca, a mniej niż 50% od czerwca do sierpnia. Szczególnie mały udział tych najniższych opadów zaznacza się w Siedlcach w czerw-

cu (29%), gdzie zresztą w ciągu całego roku jest ich mniej (67%) niż na Okęciu (prawie 70%). W Siedlcach natomiast jest więcej (o 2%) miesięcy z opadami 51-100 mm i powyżej 100 mm (o 0,5%)(tab. 5, 6).

Podobny charakter zróżnicowania między obydwoma stacjami, przy ogólnym dużym podobieństwie warunków opadowych, zaznacza się w częstości sum opadów sezonowych, półrocznych i rocznych (tab. 5,6). Szczególnie zwraca tu uwagę większy udział letnich sum opadów powyżej 200 mm w Siedlcach (48%) niż na Okęciu (40%) i jesiennych powyżej 150 mm (odpowiednio 24 i 16%). W półroczu ciepłym w Siedlcach suma opadów najczęściej (27%) osiąga 301-350 mm albo 251-300 mm (23%), na Okęciu zaś 251-300 mm (26%) albo 301-350 mm (24%).

Suma roczna opadów na Okęciu wynosi najczęściej (31% w roku kalendarzowym i 23% w roku hydrologicznym) 451-500 mm, a w Siedlcach 501-550 mm (zarówno w roku kalendarzowym, jak i hydrologicznym 21%)(tab. 5, 6).

Sumy miesięczne opadów w latach 1949-2010 na Okęciu wahały się od 0 mm (brak opadów) w październiku 1951 i lutym 1976 do 214 mm w lipcu 1997 (tab. 1). W Siedlcach najsuchsze były te same miesiące co na Okęciu, ale suma miesięczna wyniosła tam w obu miesiącach 1 mm, największymi opadami zaś wyróżnił się sierpień 2006 z sumą 256 mm. Opady powyżej 200 mm wyniosły tu ponadto w czerwcu 1985. W miesiącach od grudnia do kwietnia suma miesięczna opadów nigdy nie osiągnęła 100 mm, a w miesiącach najsuchszych nigdy nie przekroczyła 5 mm – podobnie na obydwu stacjach. Od maja do listopada skrajne sumy miesięczne kształtowały się w różny sposób, a różnice między nimi nie wykazują żadnych prawidłowości. Na przykład, w najbardziej deszczowym miesiącu w Siedlcach – sierpniu 2006 – na Okęciu opady były o 90 mm niższe (odpowiednio 256 i 165 mm), a w bardzo deszczowym w Warszawie maju 1962 w Siedlcach opady były niższe o 70 mm (odpowiednio 183 i 109 mm).

Najsuchszymi porami na Okęciu była jesień 1951 r. (20 mm) i zima 1997 r. (28 mm), a w Siedlcach odwrotnie: zima 1997 i jesień 1951 (odpowiednio 23 i 34 mm)(tab. 1). Podczas najsuchszej wiosny opady nie osiągnęły 50 mm, a podczas najsuchszego latania osiągnęły 100 mm – podobnie na obydwu stacjach. Najbardziej deszczową porą roku na Okęciu było lato 1972 z sumą 338 mm, a w Siedlcach lato 1985 – 403 mm. W półroczu chłodnym suma opadów wahała się na Okęciu od 80 do 334 mm, w Siedlcach od 85 do 342 mm, w półroczu ciepłym odpowiednio od 162 do 530 i od 223 do 562 mm; te skrajne półroczne sumy opadów na każdej stacji przypadły na różne lata, z wyjątkiem półroczu chłodnego o najobfitszych opadach – było to półrocze 1966/7.

Najniższa roczna suma opadów na Okęciu wyniosła 330 mm (1951) i w roku hydrologicznym 305 mm (1976), w Siedlcach odpowiednio 364 mm (1953) i 374 mm (1987); najwyższe opady wystąpiły w ostatnim roku objętym opracowaniem 2010 – na Okęciu w roku kalendarzowym 800 mm, w roku hydrologicznym 751 mm, w Siedlcach w roku kalendarzowym 742 mm. W Siedlcach najbogatszym w opady rokiem hydrologicznym był rok 1956 – 708 mm.

Opady normalne i anomalne

W związku z wielką zmiennością sum opadów miesięcznych, sezonowych, półrocznych i rocznych, istotne jest zagadnienie, jaką ich wielkość można uznać za normalną

i jak niskie lub wysokie muszą być opady, aby były uznane za anomalne. Aczkolwiek zagadnieniem tym zajmowało się wielu autorów, nie zostały ustalone jedne, powszechnie stosowane kryteria (Kossowska-Cezak, Bajkiewicz-Grabowska, 2008). Najczęściej są przyjmowane kryteria zaproponowane przez Z. Kaczorowską (1962), według których okresem o opadach normalnych jest ten, w którym opady wynosiły 90-110% średniej sumy wieloletniej; okres o opadach 75-89% to okres suchy, 50-74% – bardzo suchy, poniżej 50% – skrajnie suchy; okres z opadami 111-125% średniej sumy wieloletniej to okres wilgotny, 126-150% – bardzo wilgotny, powyżej 150% – skrajnie wilgotny. Należy tu jednak wyraźnie podkreślić, że kryteria te zostały zaproponowane w odniesieniu do pór roku i całego roku (a zatem są również do przyjęcia do półroczy), nie zaś miesięcy. Zakres zmienności sum miesięcznych – jak już pokazano w poprzednim rozdziale – jest tak duży, że przedział 90-110% średniej sumy jest za wąski, aby mógł być przyjęty za normalny. Trudno bowiem poważnie traktować sytuację, w której „norma” zdarza się rzadziej niż „anomalna” (np. na Okęciu w październiku opady w granicach 90-110% średniej sumy wieloletniej stanowią niecałe 10%, a poniżej 50% – 31% wszystkich przypadków). Niekiedy w literaturze spotyka się kryterium miesięcy o opadach normalnych jako tych, których suma mieści się w zakresie 75-125% średniej sumy wieloletniej, również przypisywana – chociaż niesłusznie – Kaczorowskiej; jest ona bliższa propozycjom Lambora (1965) i Schmucka (1962). Ostatecznie przyjęto w odniesieniu do pór roku, półroczy i roku przedstawioną wcześniej klasyfikację Kaczorowskiej (1962), a do miesięcy: normalne – 75-125% średniej sumy wieloletniej, 50-74% – suche, 25-49% – bardzo suche, poniżej 25% – skrajnie suche, 126-150% – wilgotne, 151-200% – bardzo wilgotne i powyżej 200% – skrajnie wilgotne. Częstość miesięcy, pór roku, półroczy i lat w tych zakresach wielkości sum opadów podano w tab. 7 i 8.

Normalne sumy miesięczne opadów stanowią w Warszawie 38%, a w Siedlcach niepełna 36%. Najrzadziej normalna suma opadów bywa w październiku (w Warszawie 26%, w Siedlcach 23%), a najczęściej normalne opady w Warszawie są w maju (48%), w Siedlcach zaś w czerwcu i listopadzie (47%). Na obydwu stacjach znacznie częściej występują opady poniżej normy, tzn. poniżej 75% średniej sumy wieloletniej, niż powyżej normy, tzn. powyżej 125% średniej sumy wieloletniej; w Warszawie jest to odpowiednio 36 i 26%, a w Siedlcach 37 i 27% wszystkich miesięcy. Szczególnie częste są miesiące suche, które w Warszawie stanowią 18%, a w Siedlcach 20% wszystkich miesięcy; dość częste są też miesiące bardzo suche, których jest odpowiednio 13 i 14%. Miesiące skrajnie suche, z opadami poniżej 25% średniej sumy wieloletniej, zdarzają się rzadko, lecz nieznacznie częściej w Warszawie niż w Siedlcach (5 i 3%). Miesiącem o szczególnie dużej ich częstości jest październik (w Warszawie 16%, w Siedlcach 13%). W tych skrajnie suchych miesiącach suma miesięczna opadów może spadać poniżej 5% średniej sumy wieloletniej, a w Warszawie były dwa miesiące w ogóle bez opadów (por. tab. 1).

Miesiące wilgotne i bardzo wilgotne na obu stacjach występują z podobną częstością 10-12%. Miesiące skrajnie wilgotne, tj. o opadach ponad dwukrotnie przekraczających średnią sumę wieloletnią, stanowią niewielki odsetek (w Warszawie niecałe 5%, w Siedlcach 6%). Największe przekroczenie stwierdzono w październiku 1974, kiedy to suma w Warszawie przekroczyła 400%, a w Siedlcach osiągnęła 500% średniej sumy wieloletniej (por. tab. 1).

Tabela 7. Częstość (%) sum opadów wyrażonych w procentach odpowiedniej (miesięcznej, sezonowej, półrocznej i rocznej) średniej sumy wieloletniej; Warszawa-Okęcie, 1949-2010

mm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII
Powyżej normy													
>300	1,6	-	-	-	1,6	-	-	-	1,6	3,2	-	-	0,7
251-300	1,6	1,6	-	1,6	-	-	3,2	3,2	-	-	3,2	-	1,2
201-250	-	4,8	3,2	3,2	1,6	4,8	1,6	3,2	1,6	3,2	1,6	3,2	2,7
151-200	12,9	9,7	12,9	9,7	8,1	14,5	8,1	6,5	14,5	19,4	8,1	14,5	11,6
126-150	9,7	11,3	12,9	14,5	6,5	8,1	14,5	9,7	9,7	3,2	9,7	12,9	10,2
W normie													
111-125	8,1	11,3	8,1	9,7	11,3	11,3	17,7	11,3	12,9	8,1	6,5	9,1	10,5
90-110	17,7	14,5	24,2	11,3	17,7	12,9	8,1	16,1	9,7	9,7	22,6	16,1	15,0
75-89	19,4	11,3	8,1	16,1	19,4	12,9	9,7	12,9	11,3	8,1	11,3	9,7	12,5
Poniżej normy													
50-74	12,9	19,4	16,1	17,7	25,8	21,0	16,1	19,4	21,0	14,5	24,2	11,3	18,3
25-49	9,7	8,1	11,3	9,7	8,1	11,3	17,7	16,1	16,1	14,5	12,9	16,1	12,6
10-24	4,8	6,5	3,2	6,5	-	3,2	3,2	-	-	11,3	-	4,8	3,6
0-9	1,6	1,6	-	-	-	-	-	1,6	1,6	4,8	-	1,6	1,1
>100	43,5	41,9	41,9	45,2	38,7	45,2	50,0	40,3	43,6	45,2	37,1	48,4	43,4
100	1,6	3,2	8,1	-	-	-	-	1,6	4,8	-	4,8	-	2,0
<100	54,8	54,8	50,0	54,8	61,3	54,8	50,0	58,1	51,6	54,8	58,1	51,6	54,6

mm	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Półrocza		Rok	
					XI-IV	V-X	hydrol.	kalend.
Powyżej normy								
>200	-	3,2	-	3,2	-	-	-	-
151-200	9,7	3,2	3,2	8,1	3,2	3,2	-	1,6
126-150	19,4	6,5	16,1	4,8	12,9	12,9	8,1	8,1
111-125	16,1	17,7	9,7	16,1	21,0	14,5	21,0	17,7
W normie								
90-110	17,7	22,6	35,5	25,8	29,0	32,3	41,9	48,4
Poniżej normy								
75-89	12,9	29,0	21,0	19,4	17,7	25,8	22,6	17,7
50-74	11,3	14,5	12,9	17,7	14,5	9,7	6,5	6,5
25-49	12,9	3,2	1,6	3,2	1,6	1,6	-	-
10-24	-	-	-	-	-	-	-	-
>100	51,6	38,7	40,3	46,8	48,4	45,2	41,9	38,7
100	-	1,6	1,6	-	-	-	1,6	6,5
<100	48,4	59,7	58,1	53,2	51,6	54,8	56,5	54,8

Tabela 8. Częstość (%) sum opadów wyrażonych w procentach odpowiedniej (miesięcznej, sezonowej, półrocznej i rocznej) średniej sumy wieloletniej; Siedlce, 1949-2010

mm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII
Powyżej normy													
>300	-	-	-	-	-	1,6	-	1,6	1,6	3,2	-	-	0,7
251-300	1,6	1,6	1,6	1,6	-	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5
201-250	6,5	3,2	1,6	4,8	3,2	3,2	6,5	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,8
151-200	6,5	14,5	11,3	11,3	9,7	4,8	9,7	4,8	16,1	16,1	9,7	11,3	10,5
126-150	17,7	11,3	12,9	11,3	16,1	9,7	8,1	8,1	4,8	8,1	6,5	14,5	10,7
W normie													
111-125	6,5	6,5	9,7	9,7	8,1	8,1	9,7	17,7	9,7	3,2	11,3	9,7	9,1
90-110	9,7	14,5	21,0	16,1	11,3	22,6	16,1	14,5	9,7	9,7	21,0	11,3	14,8
75-89	9,7	16,1	9,7	14,5	12,9	16,1	9,7	12,9	6,5	9,7	14,5	6,5	11,6
Poniżej normy													
50-74	24,2	16,1	11,3	14,5	27,4	22,6	21,0	21,0	24,2	11,3	21,0	24,2	19,9
25-49	14,5	12,9	16,1	11,3	9,7	9,7	16,1	12,9	21,0	21,0	8,1	14,5	14,0
10-24	1,6	-	4,8	4,8	1,6	-	1,6	-	1,6	8,1	3,2	3,2	2,5
0-9	1,6	3,2	-	-	-	-	-	1,6	-	4,8	-	-	0,9
>100													
>100	40,3	40,3	40,3	43,6	40,3	40,3	43,5	46,8	42,0	40,3	37,1	46,8	41,8
100	-	3,2	1,6	1,6	1,6	3,2	-	-	3,2	1,6	1,6	1,6	1,6
<100	59,7	56,5	58,1	54,8	58,1	56,5	56,5	53,2	54,8	58,1	61,3	51,6	56,6

mm	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Półrocza		Rok	
					XI-IV	V-X	hydrol.	kalend.
Powyżej normy								
>200	-	1,6	-	4,8	-	-	-	-
151-200	6,5	4,8	6,5	3,2	1,6	1,6	-	-
126-150	19,4	9,7	8,1	11,3	11,3	14,5	6,5	9,7
111-125	9,7	17,7	21,0	14,5	17,7	12,9	21,0	19,4
W normie								
90-110	25,8	29,0	19,4	16,1	37,1	32,3	46,8	38,7
Poniżej normy								
75-89	12,9	12,9	30,6	24,2	12,9	27,4	21,0	29,0
50-74	21,0	22,6	12,9	21,0	17,7	11,3	4,8	3,2
25-49	4,8	1,6	1,6	4,8	1,6	-	-	-
10-24	-	-	-	-	-	-	-	-
>100								
>100	48,4	48,4	38,7	41,9	53,2	41,9	46,8	43,6
100	-	-	4,8	1,6	1,6	1,6	-	4,8
<100	51,6	51,6	56,5	56,5	45,2	56,5	53,2	51,6

Ponieważ w porach roku, półroczach i roku przedział normy jest znacznie węższy niż w miesiącach (90-110%), udział sezonów i półroczy normalnych jest mniejszy niż miesięcy, jest przy tym bardzo zróżnicowany tak między poszczególnymi porami roku, jak i między rozpatrywanymi stacjami (tab. 6, 7). Szczególną uwagę zwraca duży udział bardzo wilgotnych zim na obu stacjach oraz skrajnie suchych na Okęciu i bardzo suchych w Siedlcach, bardzo duży udział suchych wiosen na Okęciu i bardzo suchych w Siedlcach, duży odsetek suchych i bardzo wilgotnych lat w Siedlcach, a także wyjątkowo duży udział suchych i bardzo suchych jesieni w Siedlcach (tab. 7, 8).

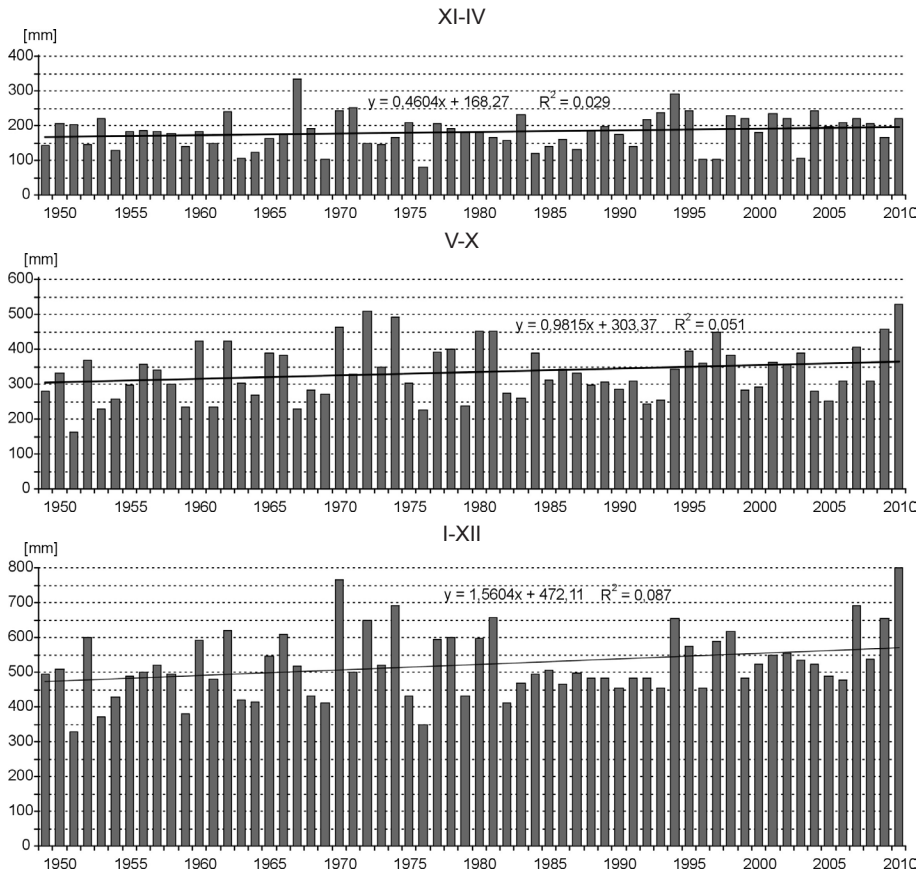
W półroczu chłodnym na Okęciu udział sum opadów powyżej normy okazuje się nieco większy (37%) niż tych poniżej (34%), a w Siedlcach prawie wyrównany (odpowiednio 31 i 32%). Półrocza skrajnie suche i skrajnie mokre zdarzają się wyjątkowo rzadko. Rok pod względem opadowym najczęściej bywa normalny, a udział lat z opadami poniżej i powyżej podziału normy jest wyrównany. Należy jednak zwrócić uwagę, że zarówno miesiące, jak i pory roku i cały rok częściej mają sumę opadu poniżej sumy średniej niż powyżej (wyjątek stanowi półrocze chłodne w Siedlcach).

Zmiany wieloletnie opadów

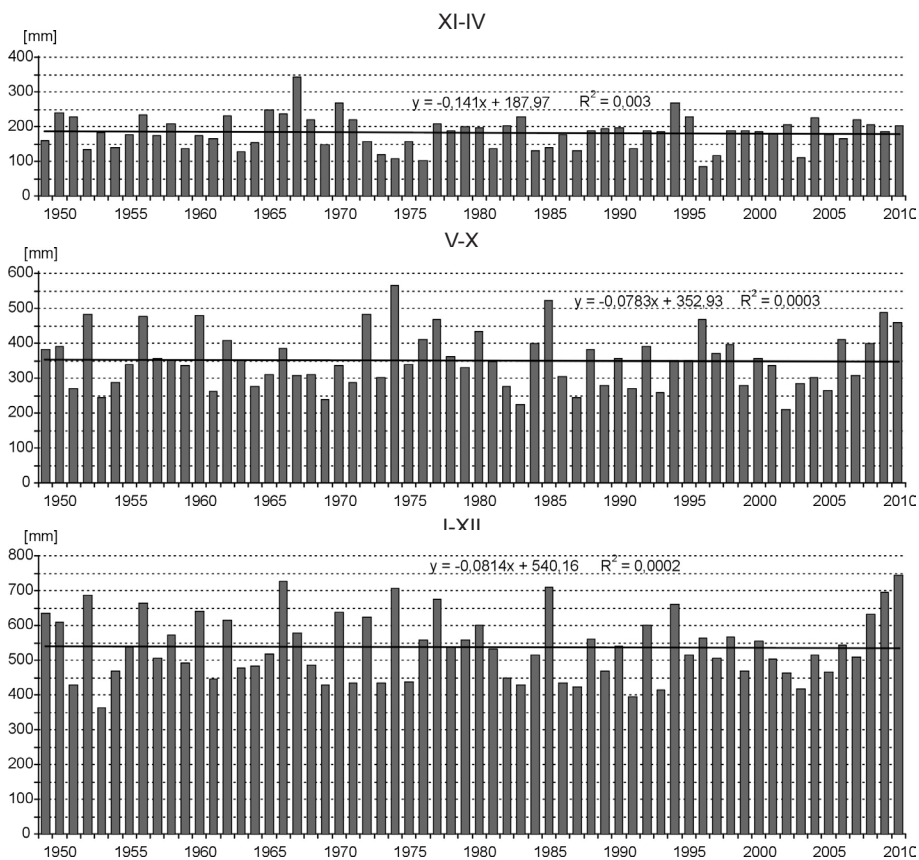
Badanie zmian wieloletnich opadów w Warszawie-Okęciu i w Siedlcach ograniczono do sum w półroczach hydrologicznych i w roku kalendarzowym; zbadano tendencje zmian ilości opadów i cykle wieloletnie (przy użyciu metody sinusoid regresji J. Boryczki, 2010).

W badanym 62-leciu 1949-2010 na Okęciu wystąpił wzrost opadów: w półroczu chłodnym (od listopada do kwietnia) o 4,6 mm/10 lat, nieistotny statystycznie; w półroczu ciepłym (od maja do października) o 9,8 mm/10 lat, istotny na poziomie 10%; w roku o 15,6 mm/10 lat, wysoce istotny statystycznie na poziomie 2% (rys. 2). W tym samym czasie opady w Siedlcach praktycznie nie uległy zmianie – zaznaczyła się bardzo słaba tendencja spadkowa, w roku poniżej 1 mm/ 10 lat, nieistotna statystycznie (rys. 3).

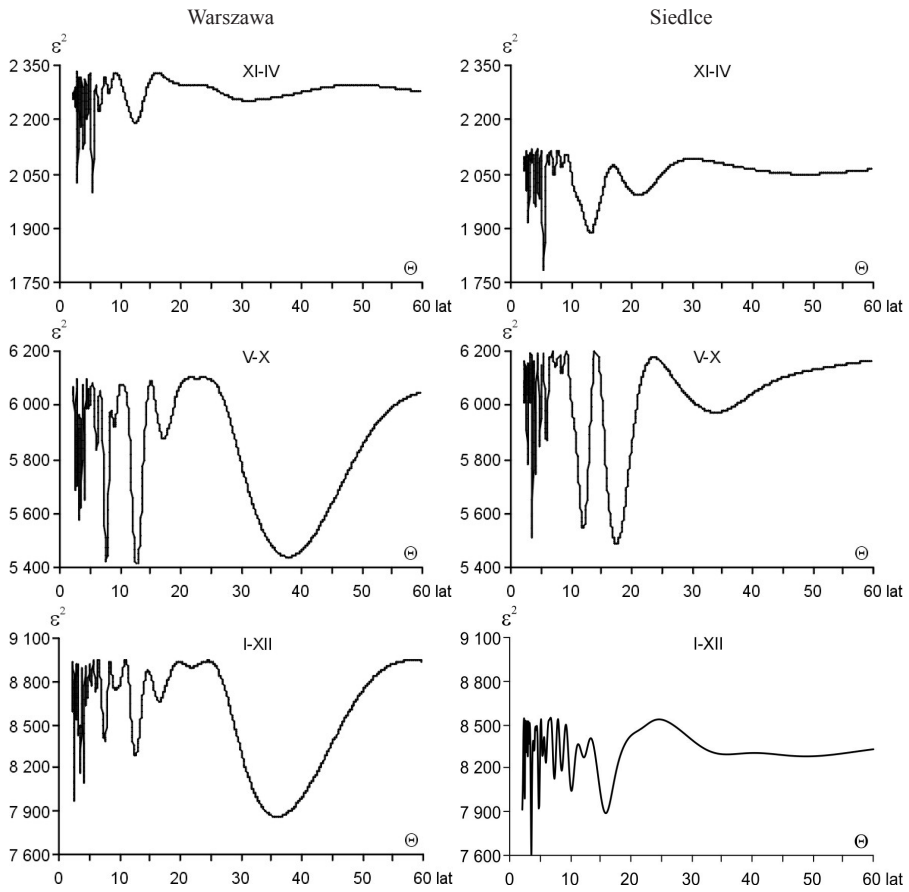
Mimo odmiennych tendencji zmian wieloletnich opadów na każdej ze stacji, na obydwu z nich wystąpiła dość podobna cykliczność zmian w przebiegu wieloletnim (rys. 4, tab. 9). Analiza cykliczności sum półrocznych i rocznych opadów, dokonana z zastosowaniem metody sinusoid regresji J. Boryczki (2010), wykazała w półroczu chłodnym na obu stacjach występowanie cykli około 7, 13 i 21 lat, przy czym istotny statystycznie (na poziomie 0,05) jest tylko cykl 13,2 lat w Siedlcach. W półroczu ciepłym zaznaczają się też dość zgodnie cykle około 4, 6, 12-13 i 17 lat. Istotne statystycznie (poziom 0,05) są na Okęciu cykl 12,8 lat i niemający swojego odpowiednika w Siedlcach cykl 7,7 lat, a w Siedlcach 3,6, 12,1 i 17,5 lat. Ponadto na Okęciu występuje mniej istotny statystycznie (poziom 0,10) cykl 4,1 lat oraz o dużej istotności długi cykl 37,8 lat. Sumy roczne opadów wykazują cykliczność około 4-5, 9-10, 12-13 i około 16 lat, z których istotny na poziomie 0,10 jest tylko cykl 4,1 i 12,7 lat na Okęciu i 15,9 w Siedlcach. Ponadto największą istotnością wyróżnia się na Okęciu długi cykl 36 lat o amplitudzie przekraczającej 35 mm.



Rys. 2. Przebieg wieloletni i tendencje zmian opadów w półroczach chłodnym i ciepłym oraz w roku w Warszawie-Okęcie (1949-2010)



Rys. 3. Przebieg wieloletni i tendencje zmian opadów w półroczach chłodnym i ciepłym oraz w roku w Siedlcach (1949-2010)



Rys. 4. Widma zmian półrocznych i rocznych sum opadów w Warszawie-Okęciu i Siedlcach (1949-2010) (ϵ^2 – wariancja resztkowa)

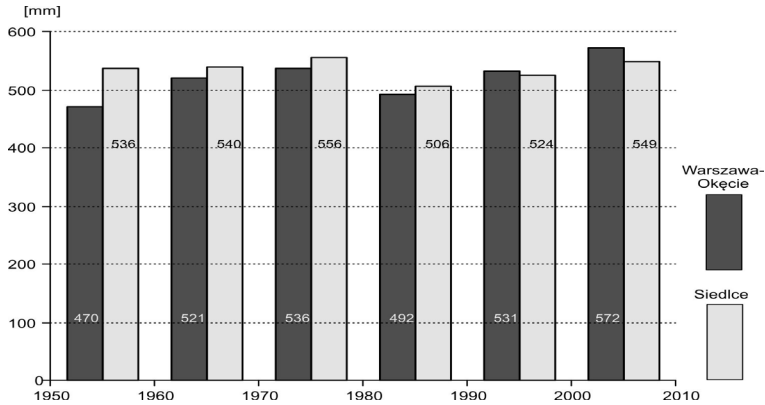
Tabela 9. Okresy (Θ – lata), amplitudy (b – mm), fazy (c) cykli półrocznych i rocznych sum opadów w Warszawie-Okęciu i Siedlcach (1949-2010); R – współczynnik korelacji wielokrotnej, F_{obl} – statystyka Fishera-Snedecora ($F_{0,05}=3,15$, $F_{0,10}=2,39$)

	Warszawa					Siedlce				
	Θ	b	c	R	F_{obl}	Θ	b	c	R	F_{obl}
XI-IV	6,6	13,32	1,2861	0,211	1,40	7,2	11,94	2,4221	0,185	1,06
	12,6	15,03	0,4759	0,246	1,93	13,2	20,83	1,4072	0,333	3,74
	20,8	9,36	3,0729	0,120	0,44	21,2	13,75	3,1160	0,247	1,95
	31,2	9,22	0,8869	0,183	1,03	48,6	8,34	-0,7688	0,183	1,04
V-X	4,1	27,96	-0,1701	0,272	2,41	3,6	36,50	-0,1088	0,337	3,85
	6,1	18,41	-0,4249	0,209	1,38	5,9	24,23	-1,1305	0,237	1,79
	7,7	33,88	0,9564	0,334	3,75	12,1	29,43	0,9522	0,329	3,64
	12,8	29,86	1,3117	0,338	3,88	17,5	38,15	2,0514	0,342	3,98
	17,2	13,68	1,6252	0,193	1,16	34,0	22,87	0,5316	0,198	1,22
	37,8	30,62	0,3139	0,330	3,66					
I-XII	4,1	41,05	-0,5946	0,306	3,11	4,8	34,98	-1,9187	0,270	2,37
	7,6	33,17	-1,3968	0,253	2,05	10,2	29,30	2,3738	0,243	1,89
	9,4	24,78	-2,9470	0,153	0,72	12,3	17,36	-0,6209	0,179	0,99
	12,7	28,40	0,4719	0,272	2,40	15,9	33,71	-1,2081	0,278	2,50
	16,5	15,02	2,4077	0,181	1,01	35,9	35,35	0,7914	0,172	0,92
	36,0	35,48	3,0525	0,350	4,19					

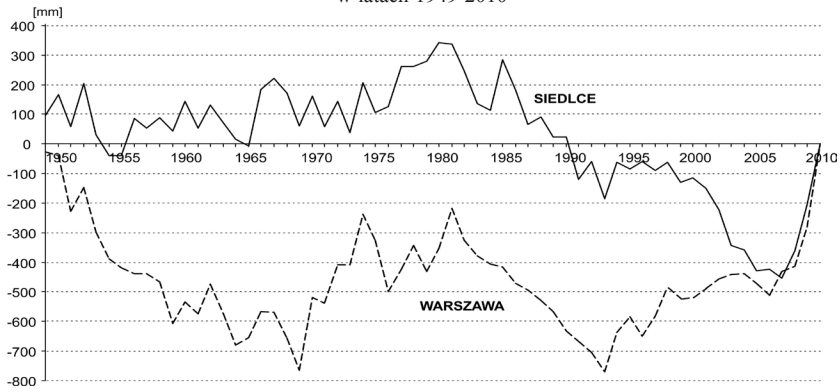
Porównanie ilości opadów i ich zmian czasowych na Okęciu i w Siedlcach

Jak stwierdzono na początku, średnia wieloletnia (1949-2010) suma roczna opadów w Siedlcach jest o 18 mm (3%) wyższa niż na Okęciu (odpowiednio 538 i 520, tab. 1 i 2). Występowanie różnej tendencji zmian w okresie wieloletnim – na Okęciu istotnej statystycznie dodatniej, a w Siedlcach ujemnej (choć nieistotnej) – wskazuje na to, że różnica ilości opadów między Siedlcami i Okęciem również ulegała zmianom w czasie. Tak też było w rzeczywistości (rys. 5): w pierwszych czterech 10-leciach (od 1951 do 1990) opady były wyższe w Siedlcach niż na Okęciu; średnia 10-letnia suma roczna kolejno o 66, 19, 20 i 14 mm (tj. o 14, 4, 4 i 3% sumy opadów na Okęciu). W ostatnich dwóch 10-leciach różnica ta uległa odwróceniu i w Siedlcach opady były już niższe odpowiednio o 7 i 23 mm (tj. o 1 i 4%). Warto też wspomnieć, że w dwóch pierwszych latach objętych opracowaniem, tzn. w roku 1949 i 1950, nadwyżka sum opadów w Siedlcach w porównaniu z Okęciem wyniosła nawet odpowiednio 140 i 100 mm (28 i 20%).

Inny na każdej stacji przebieg zmian czasowych sum rocznych opadów znajduje również odzwierciedlenie w obrazie ich odchyleń kumulowanych (rys. 6). Na Okęciu w rozpatrywanym wieloleciu są dwa okresy zmniejszających się opadów – od początku okresu, tj. od roku 1949 do końca lat 1960. oraz od początku lat 1980. do roku 1993; od tej pory opady tu wzrastają, zwłaszcza w ostatnich latach. W Siedlcach od początku okresu do roku 1980 opady nieznacznie wzrastały, a od tamtej pory, z wahnięciem w roku 1985 i 1986, malały aż do roku 2007; w ostatnich latach, podobnie jak na Okęciu, zwiększają się.



Rys. 5. Średnie 10-letnie sumy roczne opadów w Warszawie-Okęciu i Siedlcach w latach 1949-2010



Rys. 6. Odchylenia kumulowane sum rocznych opadów od wartości średniej wieloletniej, Warszawa-Okęcie i Siedlce, 1949-2010

Aczkolwiek różnice między średnimi 10-letnimi sumami rocznymi opadów w Siedlcach i na Okęciu stopniowo zmniejszały się, a po roku 1990 zmieniły znak na przeciwny, to różnice takie w poszczególnych latach kształtowały się w różny sposób. Jak można oczekiwać na podstawie wcześniejszych wyników, w większości lat 62-letnia opady w Siedlcach były wyższe niż na Okęciu, w tym w 9 latach różnica ta przekraczała 100 mm, a dwukrotnie nawet przekroczyła 200 mm: w 1976 roku w Siedlcach spadło 557 mm wody, podczas gdy na Okęciu tylko 348 mm, a w 1985 roku odpowiednio 709 i 507 mm. Były też jednak lata z opadami wyższymi na Okęciu, niekiedy nawet o 100 mm: w 1970 roku na Okęciu spadło 767 mm wody, a w Siedlcach 638 mm, w 1981 roku odpowiednio 657 i 531 mm i w 2003 roku odpowiednio 534 i 418 mm. Wgląd w sumy miesięczne opadów w wymienionych (i innych) latach wykazuje, że tak zaskakująco duże różnice sum rocznych opadów są głównie wynikiem różnic ilości opadów na obu stacjach w pojedynczych miesiącach, a są to z reguły miesiące od czerwca do września. Na przykład, w 1985 roku w Siedlcach w czerwcu i lipcu opady osiągnęły łącznie 337 mm, gdy na Okęciu tylko 126 mm; w 1976 roku w Siedlcach w lipcu spadło 135 mm wody, a na Okęciu 38 mm; w 2010 roku we wrześniu odpowiednio 167 i 89 mm. Przykładów takich jest więcej. Po-

dobnie było w latach o wyższych opadach rocznych na Okęciu: w 1970 roku spadło tu w maju 89 mm wody, a w lipcu 193 mm, gdy w Siedlcach odpowiednio 43 i 81 mm; w 1981 roku na Okęciu w miesiącach od czerwca do sierpnia spadło 296 mm, w Siedlcach zaś 174 mm. Fakt, że te największe różnice miesięcznych sum opadów, wpływające w istotny sposób na ich sumy roczne, przypadają na najcieplejsze miesiące roku, wyjaśnia ich przyczynę – wysokie sumy opadów pojawiające się tylko na jednej z rozpatrywanych stacji są wynikiem obfitych, ale ograniczonych przestrzennie opadów konwekcyjnych. Bardziej im sprzyjające warunki występują w położonych wyżej, na wzniesieniu, Siedlcach.

Odrebnym zagadnieniem pozostaje brak tendencji rosnącej ilości opadów w Siedlcach, tak wyraźnej na Okęciu. Tendencje takie są kształtowane przez makroskalowe czynniki cyrkulacyjne, można byłoby zatem oczekiwać podobnych tendencji w miejscach odległych od siebie zaledwie o około 70 kilometrów (o podobieństwie tych czynników makroskalowych w obu miejscach świadczy znaczne podobieństwo cykli wieloletnich opadów). Brak podobieństwa tendencji zmian wieloletnich wielkości opadów na Okęciu i w Siedlcach każe zatem szukać jego przyczyn w warunkach lokalnych obu miejsc pomiaru opadów.

Jak wspomniano na wstępie, położone na południowo-zachodnich peryferiach Warszawy, w otwartej przestrzeni lotniska, Okęcie jest stacją wolną od wpływu zabudowy, pozostającą przez cały czas swojego istnienia we względnie jednorodnych warunkach. Inna sytuacja jest w Siedlcach, które z niespełna 35-tysięcznego miasta na początku lat 1950. w ciągu 60 lat podwoiło z naddatkem liczbę ludności, czemu towarzyszyła silna rozbudowa miasta. Powiększył się zasięg terytorialny Siedlec, jak też zmieniła się struktura zabudowy. Stacja meteorologiczna, co prawda, jest zlokalizowana w północno-zachodniej części miasta, poza obszarem zabudowanym, ale w bezpośredniej bliskości od strony południowej i południowo-zachodniej znajduje się teren ogrodów działkowych, a od strony zachodniej i północno-zachodniej niewielki las. Ogrody działkowe powstały w latach 1970., a więc najstarsze rosnące tam drzewa mają już ponad 30 lat. Las brzoźowy powstał w latach 1990., a dość gęsto rosnące drzewa osiągnęły wysokość 10-15 metrów. Można zatem wyrazić przypuszczenie, że w wyniku zmian zagospodarowania przestrzennego obszaru Siedlec (kilka nowych osiedli wzniesionych głównie w latach 1970.) w centrum miasta opady mogły wzrosnąć, co jest typowe dla obszarów śródmiejskich (i co wyraźnie zaznaczyło się na Okęciu, mimo braku zmian w otoczeniu). Tymczasem na stacji meteorologicznej, która w miarę upływu czasu znalazła się na „parawanem” coraz wyższych, rosnących w pobliżu drzew, opady nawet nieznacznie zmniejszyły się. Należy zatem stwierdzić, że seria wieloletnia pomiarów opadów atmosferycznych w Siedlcach przestała być serią w pełni jednorodną (mimo niezminionej lokalizacji), aczkolwiek utrata jednorodności nie nastąpiła skokowo, lecz zachodziła stopniowo; nie była aktem, lecz procesem. Początek tego procesu przypada na lata 1970., a jego pogłębienie na lata 1990.

Podsumowanie i wnioski

Próba charakterystyki warunków opadowych we wschodniej części Niziny Mazowieckiej oraz określenia zmian rocznych i wieloletnich opadów w tej części regionu została oparta na wynikach pomiarów prowadzonych na dwóch stacjach synoptycznych – Warszawa-Okęcie i Siedlce. Oparto się na długiej serii pomiarów z okresu powojennego 1949-2010.

W wyniku przeprowadzonej analizy stwierdzono, co następuje.

Średnie wieloletnie sumy opadów na obu stacjach są podobne – na Okęciu 520, w Siedlcach 538 mm, a nieco wyższe opady w Siedlcach są podobne do występujących w innych niż Okęcie częściach Warszawy. Upoważnia to do stwierdzenia, że na obszarze wschodniej części Niziny Mazowieckiej średnia wielkość opadów jest mało zróżnicowana i wynosi między 500 i 550 mm.

Przebieg roczny opadów na tym obszarze odznacza się wyraźnym minimum od stycznia do marca (15% opadów rocznych) i maksimum od czerwca do sierpnia (około 40%). Wyraża się to nie tylko w średnich wieloletnich sumach miesięcznych, ale również w rozkładzie rocznym miesięcy o najniższych i najwyższych opadach w poszczególnych latach. Przez większą część roku – od października do maja – ilość opadów na obu stacjach jest praktycznie taka sama, a nieco wyższe opady roczne w Siedlcach są związane z większą ich ilością w czerwcu, sierpniu i wrześniu. Wyższe średnie sumy opadów w tych miesiącach w Siedlcach nie są spowodowane systematycznie nieco wyższymi tam opadami, lecz szczególnie wysokimi opadami w pojedynczych miesiącach różnych lat, które można tłumaczyć rozwojem miejscowej konwekcji.

Sumy miesięczne opadów najczęściej osiągają wysokość 21-40 mm – na Okęciu 37%, w Siedlcach 36% wszystkich miesięcy, a ich zdecydowana większość mieści się w granicach 10-60 mm – odpowiednio 72 i 70%. W Siedlcach jest o 3% więcej miesięcy z opadami ponad 60 mm. Sumy roczne opadów na Okęciu najczęściej (31%) osiągają 451-500 mm, a w Siedlcach 501-550 mm (21%).

Wielkość opadów w poszczególnych miesiącach ulega wielkim wahaniom. Największy zakres zmian wykazują sumy miesięczne w lecie – na Okęciu w lipcu od 15 do 214 mm (199 mm), w Siedlcach w sierpniu od 3 do 256 mm (253 mm). Największe względne wahania sum miesięcznych opadów przypadają w październiku – na Okęciu od 0 do 423% średniej sumy wieloletniej, a w Siedlcach od 3 do 500%. Względna zmienność czasowa sum opadów sezonowych, półrocznych i rocznych jest mniejsza niż sum miesięcznych – sumy roczne wahały się w Warszawie od 330 mm (63% średniej sumy wieloletniej) do 800 mm (154%), a w Siedlcach odpowiednio od 364 (68%) do 742 mm (138%).

Miesiące o opadach normalnych (75-125% średniej sumy wieloletniej) stanowią na Okęciu 38,0% wszystkich miesięcy, a w Siedlcach 35,5%. Miesiące z opadami poniżej normy (< 75%) jest więcej (Okęcie – 35,6%, Siedlce – 37,3%) niż tych powyżej normy (> 125%; odpowiednio 26,4 i 27,2%). Dotyczy to również pór roku, półroczy i roku.

Miesiące anomalne – skrajnie suche (< 25% średniej sumy wieloletniej) na Okęciu stanowią 4,7%, w Siedlcach 3,4%, a skrajnie mokre (> 200%) odpowiednio 4,6 i 6,0%. Oznacza to, że w Siedlcach częściej niż na Okęciu zdarzają się miesiące nie tylko o bezwzględnie wyższych sumach opadów, ale również o sumach anomalnie wysokich w stosunku do wartości średniej, natomiast o sumach anomalnie niskich (tak bezwzględnie, jak i względnie) – rzadziej. Dotyczy to również sum opadów sezonowych, półrocznych i rocznych.

Uzyskane wyniki wskazują na znaczną jednorodność warunków opadowych we wschodniej części Niziny Mazowieckiej, znacznie jednak modyfikowaną przez warunki lokalne położenia punktu pomiarowego. Analiza zmian użytkowania terenu w sąsiedztwie

stacji meteorologicznej w Siedlcach, a zwłaszcza od strony południowej i zachodniej, a więc od strony przeważających wiatrów (Lorenc, 2005), wskazuje, że prawdopodobnie brak wzrostu ilości opadów, tak wyraźny na Okęciu, nie pojawił się w Siedlcach na skutek stopniowo zwiększającego się osłonięcia stacji meteorologicznej przez rozrastające się w pobliżu drzewa. Czy hipoteza ta jest słuszna, mogłyby rozstrzygnąć tylko badania oparte na danych pomiarowych z innej stacji z tego rejonu.

Autorzy składają serdeczne podziękowania Panu mgr. Pawłowi Barei za udzielenie wyczerpujących informacji na temat zmian zagospodarowania przestrzennego Siedlec w okresie badanego wielolecia.

Literatura

- Atlas klimatyczny Polski*, 1977, *Część tabelaryczna*, z. 3 *Opady atmosferyczne i pokrywa śnieżna*, Warszawa, IMGW-WLiK, s. 98
- Bogdańska B., 1972, *Kształtowanie się opadów atmosferycznych w Warszawie i jej okolicach w okresie 1966-1970*. Praca magisterska wykonana w Zakładzie Klimatologii UW
- Boryczka J., 2010, *Metoda J. Boryczki „sinusoid regresji” badań okresowości zmiennych przyrodniczych*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. 25, *Zmiany klimatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku*. Warszawa, Wyd. UW
- Kaczorowska Z., 1962, *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*, Prace Geograficzne IG PAN, nr 33
- Kaczorowska Z., 1967, *Opady Wielkiej Warszawy i jej okolic w okresie 1956-1960*. Przegl. Geofiz., 12(20), 3-4
- Kossowska-Cezak U., Bajkiewicz-Grabowska E., 2008, *Podstawy hydrometeorologii*. Warszawa, Wyd. Naukowe PWN
- Lambor J., 1965, *Podstawy i zasady gospodarki wodnej*. Warszawa, PIHM
- Lorenc H., 1991, *Wpływ urbanizacji Warszawy na zmienność opadów atmosferycznych*. Wiadomości IMGW, 14(35), 1-4
- Lorenc H. (red.), 2005, *Atlas klimatu Polski*. Warszawa, IMGW
- Schmuck A., 1962, *Posuchy i wysokie opady atmosferyczne województwie warszawskim w latach 1950-1959*. Czasopismo Geogr., 4
- Wiszniewski W. (red.), 1953, *Atlas opadów atmosferycznych w Polsce 1891-1930*. Warszawa, PIHM-P.P. Wyd. Komunik

IX. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA BADAŃ KLIMATU MAZOWSZA W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII

W zakończeniu prezentacji kolejnych 45 prac magisterskich dotyczących badań klimatu Mazowsza w różnych skalach przestrzennych, przeprowadzono ogólną ocenę materiałów źródłowych oraz zastosowanych metod badań i opracowań klimatologicznych.

Specyfika wydawniczej serii atlasu uzasadnia wyeksponowanie na pierwszym miejscu strony tabelarycznej i graficznej. Badanie pól zmiennych meteorologicznych w różnych okresach umożliwia prognozę klimatu w różnych skalach czasowych i przestrzennych. Najdłuższe serie pomiarów pozwalają na określenie tendencji i prognozy przede wszystkim temperatury i opadów atmosferycznych. Należy podkreślić, że w całej serii prac magisterskich najwięcej przykładów opracowań pochodzi z początku drugiej połowy XX w (1951-1965). Materiały źródłowe na podstawie których opracowano tabele, mapy i wykresy zmiennych meteorologicznych obejmują różne przedziały czasu:

Klimat Mazowsza w odniesieniu do obszaru całej Polski

1971-2000, 1966-1995. *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Mazowsza* (Nowakowska, 2005),

Cechy termiczne klimatu województwa mazowieckiego (Dzioban, 2010)

1966-1995. *Zachmurzenie w Polsce i jego związek z typami cyrkulacji atmosferycznej* (Pawlak, 2010)

1993-1999. *Zależność zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki od typów cyrkulacji atmosferycznej w środkowej Polsce* (Pyłka, 2005)

Regionalne i mezoregionalne zróżnicowanie klimatu Mazowsza na przykładzie 5 województw (wg podziału administracyjnego z 1975 r.)

1961-1965. *Klimat Stołecznego województwa warszawskiego* (Wawer, 1977), *Klimat województwa płockiego* (Daszkiewicz, 1979), *Klimat województwa ostrołęckiego* (Jasłowska, 1977), *Klimat województwa siedleckiego* (Rogowiec, 1977), *Klimat województwa skierniewickiego* (Matusiak, 1977)

Wahania roczne podstawowych elementów klimatu na przykładzie miast wojewódzkich

1951-1965. *Ogólna charakterystyka klimatu Płocka* (Wójcikowski, 1979), *Ogólna charakterystyka klimatu Mławy* (Prusinowski, 1981), *Charakterystyka klimatu Ostrołęki* (Kurpiewska, 1993), *Charakterystyka klimatu Siedlec* (Dąbrowska, 1986), *Ogólna charakterystyka klimatu Radomia* (Górska, 1979)

Klimat wybranych jednostek fizycznogeograficznych według podziału J. Kondrackiego

1951-1965. *Charakterystyka klimatu Równiny Łowicko-Błońskiej* (Niedźwiedź-Gostomska, 1992), *Charakterystyka klimatu Wysoczyzny Siedleckiej* (Mąka, 1995)

1971-1980. *Charakterystyka klimatu Kotliny Warszawskiej* (Sztabowska, 1991)

1956-1980. *Opady atmosferyczne na Wzniesieniach Mławskich i Równinie Raciąskiej* (Bojanowski, 2002)

Z badań eksperymentalnych klimatu lokalnego i bioklimatu Mazowsza

1967 (VII, VIII), 1968 (VII). *Przyczynek do poznania klimatu Doliny Środkowej Wisły w okolicy Wyszogrodu. Stosunki termiczne* (Walczak, 1971), *Przyczynek do poznania klimatu Doliny Środkowej Wisły w okolicy Wyszogrodu: Stosunki wilgotnościowe i anemometryczne* (Wierzchowska, 1971), *Przyczynek do poznania klimatu Doliny Środkowej Wisły w okolicy Wyszogrodu: Stosunki nefologiczne i opadowe* (Różycka, 1971)

1977-1979, 1983-1986, 1988-1989 (V, VI, VII). *Wpływ warszawskiej skarpy wsiłanej na warunki termiczno-wilgotnościowe* (Wolszczak, 1990)

1978 (VII). *Zależność temperatury i wilgotności powietrza od rzeźby terenu na przykładzie okolic Płocka* (Romaniec, 1987)

1983 (VIII). *Wpływ rzeźby i pokrycia terenu na warunki termiczne na przykładzie transektu położonego w okolicy Płocka* (Jaworek, 1987)

1978 (VII). *Zależność temperatury i wilgotności powietrza od rodzaju upraw* (Jarczyńska, 1981)

1986-1988. *Bilans radiacyjny zlewni eksperymentalnej w Murzynowie* (Kosiński, 1990)

1979 (VII), 1980 (V, VII). *Wpływ zabudowy na klimat lokalny Płocka* (Błażek, 1988)

1973-1974 (VII). *Zróżnicowanie warunków termiczno-wilgotnościowych w Sierpcu* (Danielak, 1976), *Zróżnicowanie warunków bioklimatycznych na terenie Sierpca w miesiącach letnich* (Żyromska, 1977)

1972-1973 (VII). *Zróżnicowanie warunków klimatycznych na terenie Makowa Mazowieckiego na podstawie obserwacji z lipca 1972 i 1973 roku* (Starosta, 1974), *Zróżnicowanie warunków bioklimatycznych na terenie Makowa Mazowieckiego na podstawie obserwacji z lipca 1972 i 1973* (Gabryl, 1974)

Ponadto wyniki badań mikroklimatycznych w dolinie Bugu (1962) znajdują się w pracy magisterskiej E. Tchórzewskiej pt. *Klimat Kotliny Warszawskiej i terenów przyległych, położonych nad Bugiem i Narwią. Część III: Opady, szata i pokrywa śnieżna oraz wybrane zjawiska (1951-1960)*(1963)

Metody badań i opracowań statystycznych

- Zmiany dobowe i roczne zmiennych meteorologicznych (z licznymi wykresami)
- Średnia arytmetyczna, odchylenia przeciętne i standardowe
- Rozkład prawdopodobieństwa – histogram, dystrybuanta empiryczna, rozkład normalny
- Równanie prostej regresji $y=ax+b$, określającej zależność zmiennej y od x lub tendencję (a), jeżeli $x=t$, gdzie t – czas
- Współczynnik (Pearsona) korelacji r , korelacji wielokrotnej R , korelacji cząstkowej ρ_j

- Badania cykliczności zmiennych meteorologicznych metodą „sinusoid regresji”
- Wyznaczenie trendów czasowych temperatury powietrza $y=f(t)$ wynikających z nakładania się cykli
- Miary dokładności aproksymacji wyników pomiarów wzorami empirycznymi – wariancja resztkowa ε^2
- Weryfikacja wzorów empirycznych z zastosowaniem znanych testów statystycznych: test t-Studenta, test Fishera-Snedecora, test Chi-kwadrat
- Zastosowania wzorów do wyznaczania temperatury ekwiwalentnej T_e , efektywnej T_E i innych wskaźników bioklimatycznych
- Izarytmy zmiennych meteorologicznych (mapy)

Ważniejsze wyniki badań klimatu Mazowsza

Według pracy A. Dzioban (2010) województwo mazowieckie wyróżnia się pod względem warunków solarnych, termicznych i opadowych (rys. 1, tab. 1-5 zaczerpnięte z innych publikacji).

Średnia roczna suma usłonecznienia wynosi około 1600 godzin, podczas gdy średnia w Polsce wynosi około 1550 godzin. Średnie roczne sumy promieniowania całkowitego w województwie mazowieckim są wyższe niż w całej Polsce, średnio przyjmują wartość 3700 MJ/m², chociaż Warszawa i jej okolice tworzą jakby wyspę, gdzie średnie roczne sumy promieniowania spadają do 3600 MJ/m². Na obszarze całej Polski, średnia suma promieniowania wynosi 3600 MJ/m². Średnia roczna temperatura powietrza w Polsce wynosi 7,2°C, w województwie mazowieckim jest o około pół stopnia wyższa (7,7°C). Zarówno w województwie mazowieckim, jak i w całej Polsce układ izoterm wskazuje spadek średniej rocznej temperatury powietrza w kierunku północno – wschodnim, a wzrost w kierunku południowo – zachodnim. W całej Polsce najwyższa temperatura powietrza jest w miesiącach letnich, a najniższe – w zimowych. Średnia temperatura lipca obliczona dla całego obszaru Polski wynosi 17,3°C, a w samym województwie mazowieckim przyjmuje wartość 17,9°C. Średnia temperatura najzimniejszego miesiąca roku (styczeń lub luty) wynosi -3,4°C, przy czym w województwie mazowieckim: -2,9°C.

Ważną charakterystyką warunków termicznych danego terenu jest występowanie termicznych pór roku. Termiczna wiosna pojawia się w województwie mazowieckim pod koniec marca i czas jej trwania nie przekracza 30 dni. Lato wkracza do Polski na przełomie maja i czerwca i cechuje je najdłuższy czas trwania (w Warszawie trwa 96 dni). Termiczna jesień wkracza do Polski od północnego wschodu i trwa średnio 30 dni, w województwie mazowieckim pojawia się na przełomie września i października. Zima najwcześniej rozpoczyna się na północnym wschodzie Polski (pod koniec listopada), a najpóźniej na wybrzeżu (w styczniu). W województwie mazowieckim pojawia się w pierwszych dniach grudnia i trwa około 80 dni. W całej Polsce czas trwania tej termicznej pory roku jest dość zróżnicowany. Najdłużej, nawet ponad 100 dni trwa w górach, najkrócej zaś na wybrzeżu i zachodzie (około 30 dni).

Średnia roczna maksymalna temperatura powietrza w województwie mazowieckim ma wartość zbliżoną do wartości maksymalnej temperatury w całej Polsce i wynosi 11-12°C. Średnia wartość minimalnej temperatura powietrza też dla całego obszaru Polski jest podobna i wynosi około 4°C.



Rys. 1. Położenie województwa mazowieckiego i granice regionów,
http://pl.wikipedia.org/wiki/Grafika:Mazowsze_makroregiony.png

W gospodarce i życiu społecznym istotne znaczenie ma częstość występowania charakterystycznych dni pod względem termicznym. Liczba dni przymrozkowych wzrasta w Polsce z zachodu na wschód i w województwie mazowieckim wynosi około 110 (najwięcej w grudniu, styczniu i lutym). Dni mroźne mogą występować od listopada do marca z największą częstością występowania w styczniu. W województwie mazowieckim obserwuje się średnio 40 takich dni w roku. Dni bardzo mroźne rejestruje się znacznie rzadziej. W ciągu całego roku, pojawiają się średnio dwa razy. Dni gorące w Polsce notuje się od maja do września a ich liczba dla całego obszaru Polski wynosi około 35 dni. W Warszawie średnia liczba dni gorących wynosi 38. Dni upalne w Polsce zdarzają się mniej więcej od 2 do 7 razy w roku, w Warszawie ich liczba nie przekracza 5 dni.

Polska jest krajem o stosunkowo dużym zachmurzeniu. Badany region w porównaniu z całym krajem, charakteryzuje mniejsze średnie zachmurzenie, które wynosi 5,0-5,2. Średnie roczne zachmurzenie w Polsce waha się od 5,2 do 5,4. W całym kraju roczna liczba dni pogodnych jest mniejsza (39 w roku, w województwie mazowieckim – 40) niż dni pochmurnych (odpowiednio 145 i 160). Obszar województwa mazowieckiego charakte-

ryzuje się mniejszą (o około 10 dni) liczbą dni z mgłą niż cała Polska. Województwo mazowieckie jest obszarem o stosunkowo niskich sumach opadów. Podczas gdy średnia roczna suma opadów w Polsce wynosi 630 mm, w województwie mazowieckim z reguły nie przekracza 550 mm. Liczba dni z pokrywą śnieżną w Polsce waha się od 30 na zachodzie do 80 na wschodzie kraju. W województwie mazowieckim wynosi około 60 dni w roku. Średnia roczna liczba dni z burzą w województwie mazowieckim w porównaniu z całym krajem jest dość wysoka i wynosi około 24 (w Polsce waha się od 18 dni na zachodzie do 32 dni na południu).

Tabela 1. Wartości zmiennych meteorologicznych na Mazowszu i na obszarze Polski w latach 1971-2000 (- nieco poniżej, + powyżej)(opracowanie autorów wg Atlasu klimatu Polski, red. Lorenc, 2005)

Zmienne	Mazowsze	Polska
Ciśnienie atmosferyczne (hPa)	$p \approx 1015$	$1015 < p < 1018^+$
Średnia prędkość wiatru 10-minutowa (m/s)	$3,5 < v < 4$	$2 < v < 6,8^+$
Usłonecznienie (h/rok)	$1550 < U < 1650$	$1400 < U < 1700$
Promieniowanie słoneczne (MJ/m ²)	$3700 < I < 3800$	$3600 < I < 4000$
Temperatura średnia roczna (°C)	$7,5 < T < 8^+$	$0 < T < 8,5$
Styczeń (°C)	$-3 < T < 2$	$-7,5 < T < 0^+$
Lipiec (°C)	$17 < T \approx 18^+$	$7 < T < 18^+$
Temperatura maksymalna (°C)	$12 < T_{\max} < 12^+$	$2 < T_{\max} < 13^+$
Temperatura minimalna (°C)	$4 < T_{\min} < 4^+$	$-3 < T_{\min} < 5^+$
Wilgotność względna (%)	$f \approx 80$	$78 < f < 84^+$
Zachmurzenie (N)	$N \approx 5$	$4,8 < N < 5,4^+$
Liczba dni pogodnych ($N \leq 2$)	$35 < L_{0,2} < 45$	$35 < L_{0,2} < 55^+$
Liczba dni pochmurnych ($N \geq 7$)	$140^+ < L_{7-10} < 160$	$140 < L_{7-10} < 180^+$
Opady atm. (mm)	$O \approx 550$	$550 < O < 1800$
Liczba dni z opadem	$170 < L_o < 180$	$160 < L_o < 200^+$
Pokrywa śnieżna	$50 < L_s < 60$	$6 < L_s < 86$

Zróźnicowanie przestrzenne średniej prędkości wiatru w Polsce jest niewielkie i wynosi około 3-4 m/s., a w województwie mazowieckim – 3,5 m/s. Na całym obszarze Polski największa średnia prędkość wiatru przypada w styczniu, a najmniejsza w miesiącach letnich (szczególnie w sierpniu i lipcu). Kierunki wiatru w województwie mazowieckim generalnie nawiązują do ogólnej cyrkulacji powietrza, a więc tak jak i w całej Polsce, przeważają wiatry z sektora zachodniego.

Porównano także średnie arytmetyczne podstawowych zmiennych meteorologicznych z lat 1951-1960: J_o – promieniowanie całkowite, J – promieniowanie pochłonięte, U – usłonecznienie rzeczywiste, T – temperatura powietrza, T_{\max} , T_{\min} – temperatury ekstremalne i A – dobowa amplituda temperatury powietrza, e – ciśnienie pary wodnej, q – wilgotność właściwa, f – wilgotność względna, ρ' – wilgotność bezwzględna, Δ – niedosyt wilgotności powietrza, N – zachmurzenie, L_o – liczba dni pogodnych, L_{\bullet} – liczba dni pochmurnych, L_m – liczba dni z mgłą, O – opad atmosferyczny, L_{op} – liczba dni z opadem, P – ciśnienie powietrza, ρ – gęstość powietrza, v – prędkość wiatru, L_v – liczba dni z wiatrem silnym, L_c – liczba przypadków ciszy (tab. 4).

Warszawa na tle Polski wyróżnia się przede wszystkim wyższą temperaturą powietrza, szczególnie latem od $\Delta T=1,5^{\circ}\text{C}$ do $\Delta T_{\text{max}}=1,3^{\circ}\text{C}$, co świadczy o uprzywilejowaniu termicznym Kotliny Warszawskiej.

Tabela 2. Przebieg roczny podstawowych elementów klimatu w Warszawie w latach 1966-1995 (Stopa-Boryczka, Boryczka 2005)

Zmienne	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Ciśnienie (hPa)	1003	1004	1002	1000	1002	1001	1002	1002	1003	1005	1003	1003	1003
Kierunek wiatru			N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C		
Częstość (%)			7,0	5,8	12,3	14,1	12,0	10,4	25,3	10,6	2,6		
Prędkość (m/s)	4,8	4,5	4,7	4,3	3,8	3,7	3,6	3,4	3,7	4,0	4,6	4,6	4,1
Usłonecznienie	39	61	106	148	225	216	233	219	131	99	42	27	1546
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)													
Średnia	-2,6	-1,6	2,6	7,7	13,6	16,5	18,2	17,6	13,1	8,2	3,0	-0,6	8,0
Maksymalna	0,0	1,5	6,6	12,8	19,1	21,9	23,7	23,3	18,2	12,5	5,6	1,7	12,2
Minimalna	-5,3	-4,4	-1,0	3,0	8,1	11,2	12,8	12,2	8,7	4,5	0,5	-3,1	3,9
D. mroź ($T_{\text{max}} < 0$)	14	10	3	0	0	0	0	0	0	0	3	9	38
D. prz. ($T_{\text{min}} < 0$)	23	22	17	6	0	0	0	0	0	5	12	21	106
D. gor ($T_{\text{max}} > 25$)	0	0	0	0	4	8	12	11	2	0	0	0	38
Wigotność względna (%)													
Średnia	-2,6	-1,6	2,6	7,7	13,6	16,5	18,2	17,6	13,1	8,2	3,0	-0,6	8,0
o godz. 12	83	79	68	59	57	59	59	58	66	72	82	86	69
Zachmurzenie (0-8)	5,9	5,7	5,1	4,9	4,4	4,6	4,3	4,1	4,6	4,8	6,0	6,2	5,0
D. pogodne (≤ 2)	2	3	4	3	5	4	5	6	4	5	2	2	46
D. pochm. (≥ 8)	14	11	8	6	4	3	3	3	4	7	13	15	90
D. z mgłą	4	5	3	2	2	1	1	2	4	7	5	5	41
Σ opadów (mm)	24	21	28	35	53	70	68	58	48	40	39	37	522
Dni z opadem													
$\geq 0,1$ mm	16	14	14	12	12	13	12	11	12	13	15	17	162
$\geq 1,0$ mm	7	6	7	7	9	9	8	8	8	7	9	9	96
$\geq 10,0$ mm	0	0	0	1	1	2	2	2	1	1	1	0	12
D. ze śniegiem	12	10	7	3	0	0	0	0	0	0	5	10	47
D. z pokr. śnież.	19	14	7	1	0	0	0	0	0	0	4	12	55
D. z burzą	0	0	1	1	5	6	6	5	2	1	0	0	25

Tabela 3. Zakres wahań elementów klimatu w Warszawie w latach 1966-1995 (Stopa-Boryczka, Boryczka 2005)

Temperatura powietrza		Największe	Data	Najmniejsze	Data
Średnia	$^{\circ}\text{C}$	22,0	VII 1994	-12,3	I 1987
Maksymalna	$^{\circ}\text{C}$	28,6	VIII 1992	-7,7	I 1997
Minimalna	$^{\circ}\text{C}$	15,5	VII 1972	-16,4	I 1987
Ekstrema absolutne	$^{\circ}\text{C}$	36,4	1VIII 1994	-30,7	8 I 1987
Ciśnienie atmosferyczne	hPa	1035	2 I 1993	958	26 II 1989
Prędkość wiatru (śr. 10 minutowa)	m/s	20,0	20 I 1986 29 II 1988		

Wilgotność powietrza jest w Warszawie mniejsza niż średnia w Polsce $\Delta f = -9,2\%$ w czerwcu, a niedosyt wilgotności większy $\Delta \Delta = 1,4$ hPa w sierpniu.

Warszawa wyróżnia się większym zachmurzeniem $\Delta N = 0,3$ w styczniu, mniejszą liczbą dni pogodnych $\Delta L_o = -1,3$ w październiku oraz mniejszą liczbą dni z mgłą $\Delta L_m = -1,9$ w sierpniu. Kotlina Warszawska, w której położona jest Warszawa, należy do obszarów deficytowych w wodę opadową – o mniejszej sumie opadów atmosferycznych $\Delta O = -28$ mm w sierpniu. Równinny teren Kotliny Warszawskiej powoduje swobodny przepływ powietrza w okolicy Warszawy, co daje efekt w postaci zwiększonej prędkości wiatru $\Delta v = 1,3$ m/s w styczniu.

Tabela 4. Różnice podstawowych zmiennych meteorologicznych między Warszawą (Okęcie) i Polską w latach 1951-1960 (Stopa-Boryczka, Boryczka i nni, 1989, *Atlas*, t. V)

	Zmienne	Min	Data	Max	Data	Rok	Jednostka
1	ΔJ_o	0,0	III, IX	-3,2	V	-1,3	kJ/cm ²
2	ΔJ	0,0	III, IX, XI	-3,0	VII	-0,9	kJ/cm ²
3	ΔU	4,7	IX)	-25,0	IV	-14,5	h
4	ΔT	0,0	XI, III	1,5	VI	0,7	°C
5	ΔT_{\max}	-0,2	XII	1,3	VI	0,4	°C
6	ΔT_{\min}	0,1	II, XI	1,4	VI	0,5	°C
7	ΔA	0,1	II, VIII, X, XI	0,6	I, IV	-0,2	°C
8	Δe	0,0	V	1,8	VII	0,2	hPa
9	$\Delta \Delta$	0,0	XI	1,4	VI, VIII	0,5	hPa
10	$\Delta \rho'$	0,0	III, VIII, XII	0,6	IV	0,2	g/m ³
11	Δq	0,8	III, XII	2,0	VI	1,3	g/kg
12	Δf	-0,4	XII	-9,2	VI	-3,5	%
13	ΔN	0,0	II, III, X	0,3	I	0,0	1-10
14	ΔL_e	0,1	II	-1,1	IV	-0,8	d
15	ΔL_{\bullet}	0,2	XII	-2,0	VI	-0,7	d
16	ΔL_m	-0,3	VI	1,9	VIII	-0,6	d
17	ΔO	-5,0	II	-28,0	VII	-13,8	mm
18	ΔL_o	0,0	II	-1,9	I	-0,9	d
19	ΔP	11,1	III, IV, VI	12,6	II	11,1	hPa
20	$\Delta \rho$	0,01	III, VII, VIII, XI, XII	0,02	I, II, IV, V, VI, X, XI	0,01	kg/m ³
21	Δv	0,4	VIII	1,3	I	0,8	m/s
22	ΔL_v	-0,3	VII	1,9	XI	0,6	d
23	ΔL_c	0,0	XI	4,8	I	-0,1	d

Klimat jest także deformowany przez miasta – tzw. miejskie wyspy ciepła. Miasto na tle otaczających terenów wyróżnia się powierzchniami sztucznymi: pionowymi (wysoką, wielokondygnacyjną zabudową) i poziomymi, przeważnie asfaltowymi. Powierzchnie pionowe ścian budynków, wielokrotnie większe od ich podstaw stanowią w mieście dodatkową powierzchnię czynną. Bilans cieplny w mieście wyróżnia się większym pochłonięciem promieniowaniem słonecznym i większą akumulacją ciepła przez podłoże niż w te-

renie otwartym, ze względu na mniejsze albedo i większą powierzchnię czynną (większą masę akumulującą ciepło).

Miara „intensywności” miejskiej wyspy ciepła jest różnica $T - T_0$ między zmierzonymi wartościami temperatury powietrza w mieście (T) i poza miastem – w terenie otwartym (T_0)(tab. 5).

Miasto ogrzewa ($Q > 0$) się i ochładza ($Q < 0$) znacznie wolniej niż jego otoczenie ze względu na dużą masę i dużą pojemność cieplną materiałów budowlanych. Bilans ciepła między powietrzem w mieście i jego otoczeniem określa wzór: $Q = Mc_p (T - T_0)$, gdzie M – masa powietrza przepływającego, c_p – ciepło właściwe powietrza. Miasto jest na ogół cieplejsze ($T > T_0$) od otaczających terenów niezabudowanych (T_0) także dlatego, że albedo powierzchni miejskich, pokrytych pyłem (szarych), jest małe (w zimie prawie nie ma pokrywy śnieżnej).

Tabela 5. Największe różnice średnich wartości zmiennych meteorologicznych między centrum a peryferiami Warszawy (Okęcie) w latach 1961-1965 i 1969 (Stopa-Boryczka, Boryczka 2005)

	Zmienne	Symbol	Różnice	Jednostka
1	Temperatura średnia dobowa)	T_{sr}	1,1	°C
2	Temperatura maksymalna	T_{max}	0,5	°C
3	Temperatura minimalna	T_{min}	2,0	°C
4	Dni przymrozkowi	$T_{min} < 0$	-10	°C
5	Dni mroźne	$T_{max} < 0$	-6	°C
6	Ciśnienie pary wodnej	e	-0,5	hPa
7	Wilgotność względna	f	-5	%
8	Niedosyt wilgotności	Δ	1,8	hPa
9	Zachmurzenie	N	4	%
10	Dni pogodne	$N < 2$	-4	d
11	Dni pochmurne	$N > 8$	18	d
12	Dni z mgłą	L_m	-18	d
13	Opad atmosferyczny	P	76	mm
14	Dni z opadem $\geq 0,1$ mm	$P_{0,1}$	-8	mm
15	Dni z opadem $\geq 1,0$ mm	$P_{1,0}$	7	d
16	Dni z opadem $\geq 10,0$ mm	$P_{10,0}$	2	d
17	Dni z burzą	L_b	-7	d
18	Dni z pokrywą śnieżną	$L_{śn}$	4	d
19	Prędkość wiatru	v	-1,4	m.s ⁻¹
20	Dni z wiatrem silnym (rok)	$v \geq 10$	-8	d
21	Liczba cisz	L_c	97	d
22	Promieniowanie całk., 1969	ΣI	58,6	MJ·m ⁻² /mies
23	Opad pyłu 1969 r.	O_p	110	t/km ² /mies

Znaczącą rolę w kształtowaniu miejskich wysp ciepła odgrywają pyły miejskie, pochodzące z emisji wtórnej, które pochłaniają i rozpraszają promieniowanie słoneczne. Różnice promieniowania całkowitego między obszarami wielkomiejskimi i strefami podmiejskimi wynoszą od -15% do -20% (Schönwiese, 1992). Istotne znaczenie ma także lo-

kalny efekt cieplarniany, wywołany emisją CO₂ i innych gazów cieplarnianych do atmosfery (elektrownie zlokalizowane w pobliżu miast, spaliny samochodowe itp.).

Są to główne przyczyny powstawania miejskich wysp ciepła. Inne czynniki, takie jak sztuczne ciepło, przewodnictwo ścian budynków (nieszczelność okien) i inne, mają drugorzędne znaczenie.

X. ZAKOŃCZENIE

W pracy określono najpierw najważniejsze cechy klimatu Europy, wynikające z jej położenia w umiarkowanych szerokościach geograficznych – w sąsiedztwie Oceanu Atlantyckiego i strefowego ukształtowania jej powierzchni. Badania przeprowadzono na podstawie wyników pomiarów podstawowych elementów klimatycznych na stacjach europejskich w latach 1961-1990 (CLINO, 1991).

Metody badań modelowych zmienności przestrzennej klimatu zaproponowane przez Zakład Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego są sprawdzone na przykładach mniejszych i większych obszarów, położonych w różnych szerokościach geograficznych: Polska i Europa (Stopa-Boryczka, Boryczka i inni 1974, 1990, 1994, Śmiałkowski 1991, Barańska 1994), Kanada (Piotrowski 2001), Irak (Ahmed 1987), Wietnam (Van Than 1990).

Aproksymacji pól temperatury powietrza i innych zmiennych meteorologicznych dokonano tam za pomocą równań prostych, płaszczyzn i hiperpłaszczyzn regresji. Wyjątkowo na obszarze Polski i Europy zastosowano wielomiany regresji drugiego, trzeciego, czwartego i piątego stopnia względem trzech współrzędnych położenia: szerokości geograficznej φ , długości λ , i wysokości nad poziomem morza H .

Dobrym narzędziem badań klimatu Europy okazały się modele statystyczne trójwymiarowe pól zmiennych klimatologicznych $y=f(\varphi, \lambda, H)$. Są nimi wielomiany regresji względem trzech współrzędnych kartezjańskich: szerokości φ i długości geograficznej λ oraz wysokość nad poziomem morza H , które spełniają podwójną rolę – jednocześnie czynników geograficznych. Wprowadzenie do wielomianów regresji wysokości bezwzględnej H (oprócz szerokości i długości geograficznej φ, λ) znacznie zwiększa dokładność modeli, ponieważ elementy klimatologiczne są z nią silnie skorelowane. Według J. Kondrackiego (1994) jest to ważki wkład autorów w udoskonalenie modeli statystycznych, opisujących pola zmiennych meteorologicznych.

Cechy klimatu Polski w odniesieniu do równoleżnika $\varphi=52^{\circ}\text{N}$

Istotne znaczenie poznawcze ma porównanie średnich obszarowych wartości elementów klimatu w Polsce (środką: $\varphi_{\text{sr}}=52^{\circ}\text{N}$, $\lambda_{\text{sr}}=20^{\circ}\text{E}$, znajdującego się w pobliżu Warszawy) ze średnimi na równoleżniku tj. części lądowej, morskiej i euroazjatyckiej (tab. 3, wg Śmiałkowskiego 1991).

Usłonecznienie rzeczywiste w styczniu w Polsce wynosi $U=50$ godzin. Jest ono bardziej zbliżone do średniego $U=40$ na oceanach niż lądach $U=70$ i mniejsze o 10 godzin od średniego na równoleżniku $\varphi=52^{\circ}\text{N}$. W lipcu suma godzin ze Słońcem w Polsce $U=230$ jest zbliżona do usłonecznienia na lądach i Eurazji – odpowiednio 255 i 260 niż na oceanach $U=48$ i przewyższa znacznie średnią równoleżnika $U=186$ godzin. Sumy roczne usłonecznienia rzeczywistego $U=1900$ godzin, które w Polsce są nieco większe niż na lądach $U=1875$ i nieznacznie mniejsze niż w Eurazji – 1962.

Promieniowanie całkowite w grudniu $I_c=6$ kJ/cm² na obszarze Polski jest o 1 kJ/cm² mniejsze niż średnie na równoleżniku (lądy i Eurazja), a o 1 kJ/cm² większe niż na oceanach. W czerwcu suma promieniowania całkowitego wynosi w Polsce $I_c=62$ kJ/cm². Jest ono większe od średniego na oceanach $I_c=34$, na całym równoleżniku $I_c=51$ oraz

łędach i Eurazji $I_c = 59 \text{ kJ/cm}^2$. Suma roczna promieniowania całkowitego w Polsce $I_c = 416 \text{ kJ/cm}^2$ jest większa od średniej na całym równoleżniku $I_c = 374 \text{ kJ/cm}^2$. Promieniowanie I_{c_j} jest zbliżone do średnich wartości w Eurazji $I_c = 433$ i łędach $I_c = 424 \text{ kJ/cm}^2$.

Tabela 3. Średnie wartości elementów klimatu na równoleżniku $\varphi = 52^\circ\text{N}$ i wybranych jego częściach

Elementy klimatu	Miesiące	Polska $\lambda_{\text{sr}} = 20^\circ\text{E}$	Eurazja	Łądy	Oceany	$\varphi = 52^\circ\text{N}$
Uśonecznienie (godz.)	Styczeń	50	71	70	40	60
	Lipiec	230	260	255	48	168
	Rok	1900	1962	1875	1117	1622
Promieniowanie całkowite (kJ/cm^2)	Grudzień	6	7	7	5	7
	Czerwiec	62	59	59	34	51
	Rok	416	433	424	279	374
Temperatura powietrza ($^\circ\text{C}$)	Styczeń	-3,0	-13,7	-15,2	2,1	-8,9
	Lipiec	19,0	17,1	16,6	11,5	14,7
Amplituda roczna ($^\circ\text{C}$)	Rok	22,0	33,2	32,8	13,3	26,3
Wilgotność względna (%)	Styczeń	81	78	78	81	79
	Lipiec	73	66	66	88	74
Zachmurzenie (%)	Styczeń	75	60	57	66	60
	Lipiec	53	59	58	70	62
Opad atmosferyczny (mm)	Styczeń	25	33	25	27	26
	Lipiec	85	79	81	31	63
	Rok	500	516	546	1346	830
Ciśnienie atmosferyczne (hPa)	Styczeń	1014	1023	1020	1004	1015
	Lipiec	1013	1009	1010	1016	1012

Temperatura powietrza w styczniu w Polsce $T = -3,0^\circ\text{C}$ jest wyższa od średniej na równoleżniku $T = -8,9^\circ\text{C}$ i średniej na łędach i Eurazji – odpowiednio $T = -15,2$ i $T = -13,7^\circ\text{C}$, a niższa od średniej oceanów $T = +2,1^\circ\text{C}$. Natomiast średnia lipca w Polsce $T = 19^\circ\text{C}$ przewyższa średnie z obszarów oceanów $T = 11,5$, całego równoleżnika $T = 14,7$, łędów $T = 16,6$ i Eurazji $T = 17,1^\circ\text{C}$.

Amplituda roczna temperatury powietrza równa 22°C w Polsce jest mała w porównaniu z całym równoleżnikiem $26,3^\circ\text{C}$ – łędami $32,8^\circ\text{C}$ i Eurazją $33,2^\circ\text{C}$ a przewyższa średnią z oceanów $11,5^\circ\text{C}$.

Wilgotność względna powietrza $f = 81\%$ w styczniu w Polsce jest większa od średniej z całego równoleżnika $f = 79$ z łędów i Eurazji $f = 78$. W Polsce w lipcu wynosi ona $f = 73$ i jest zbliżona do średniej z całego równoleżnika $f = 74$, a jest większa niż na łędach i w Eurazji $f = 66$ i nieco mniejsza od średniej z oceanów $f = 88\%$.

Zachmurzenie w Polsce w styczniu $N = 75\%$ jest duże w odniesieniu do oceanów $N = 66$, całego równoleżnika $N = 60$, Eurazji $N = 60$ i łędów $N = 57$. Natomiast zachmurzenie w lipcu $N = 53$ jest wartością mniejszą od średniego z oceanów $N = 70$, całego równoleżnika $N = 62$, Eurazji $N = 59$ i łędów $N = 58\%$. Zachmurzenie na terytorium Polski wyróżnia się na tle równoleżnika $\varphi = 52^\circ\text{N}$.

Suma opadów atmosferycznych w Polsce w styczniu wynosi $P = 25 \text{ mm}$ i nie wyróżnia się, w odniesieniu do całego równoleżnika $P = 26$, oceanów $P = 27$, łędów $P = 25$ oraz Eurazji $P = 33 \text{ mm}$. W lipcu sumy opadów atmosferycznych w Polsce są duże $P = 85 \text{ mm}$. Są one większe niż na oceanach $P = 31$, na całym równoleżniku $P = 63$, w Eurazji $P = 79$

i na lądach $P=81$ mm. Sumy roczne opadów atmosferycznych w Polsce $P=500$ mm są niewielkie w porównaniu z oceanami $P=1346$, całym równoleżnikiem $P=830$ mm. Są one zbliżone do średniej na lądach $P=546$ i w Eurazji $P=516$ mm.

Ciśnienie atmosferyczne w Polsce o wartościach średnich: $p=1014$ hPa w styczniu i $p=1013$ hPa w lipcu jest zbliżone do średniego na całym równoleżniku (odpowiednio $p=1015$ i $p=1012$ hPa). W styczniu jest ono wyższe niż średnie nad oceanami $p=1004$ hPa, a niższe od średnich wartości na lądach $p=1020$ i w Eurazji $p=1023$. W lipcu zaś jest przeciwnie, ciśnienie atmosferyczne w Polsce jest niższe niż na oceanach $p=1016$, a wyższe niż na lądach $p=1010$ i w Eurazji $p=1009$ hPa).

Z porównań wynika, że średnie wartości elementów klimatu w Polsce w miesiącach zimowych są zbliżone do wartości mierzonych na stacjach położonych w pobliżu równoleżnika $\varphi=52^\circ\text{N}$ nad oceanami, a w letnich – nad lądami. Obszar Polski pod względem przebiegu rocznego sum opadów jest podobny do obszarów Azji. Natomiast temperatura powietrza w Polsce jest zimą znacznie niższa niż nad oceanami, a wyższa niż nad lądami. Latem powietrze nad Polską jest cieplejsze niż nad obszarami – o klimacie morskim i chłodniejsze niż nad obszarami – o klimacie kontynentalnym. Są to cechy przejściowe klimatu Polski – od klimatu morskiego do kontynentalnego.

Zmiany klimatu Mazowsza w odniesieniu do obszaru Polski

Celem pracy M. Nowakowskiej pt. *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Mazowsza* (2005) jest określenie cech charakterystycznych klimatu Mazowsza, wyodrębnionych na tle klimatu Polski.

Mazowsze na tle Polski wyróżnia się przede wszystkim uprzywilejowaniem solaro-termicznym. Średnie roczne sumy usłonecznienia przekraczają 1600 godzin, a w zachodniej części regionu nawet 1650 godzin, podczas gdy przeciętnie w Polsce roczne sumy usłonecznienia wynoszą 1539 godz., w Warszawie są wyższe i wynoszą 1589 godz. O uprzywilejowaniu termicznym Mazowsza świadczy wyższa temperatura powietrza, szczególnie latem różnica między średnią temperaturą powietrza w Warszawie i w Polsce jest większa – o około $0,7-0,8^\circ\text{C}$. Średnia roczna temperatura powietrza na Mazowszu maleje w kierunku północno-wschodnim, na zachodzie wynosi ponad $8,0^\circ\text{C}$, a w północno-wschodniej części regionu spada do niecałych $7,0^\circ\text{C}$.

Mazowsze jest regionem o najmniejszej wilgotności względnej powietrza. Wilgotność względna średnio w roku, w Warszawie wynosi 80%, a najmniejsza wilgotność względna w najsuchszym miesiącu – maju 72%.

Zachmurzenie w południowej części Mazowsza średnio w roku wynosi poniżej 62%, jednak im dalej na północ tym zachmurzenie jest większe. Największym zachmurzeniem, powyżej 67%, cechuje się północna część Wysoczyzny Ciechanowskiej.

Mazowsze charakteryzuje się jednymi z najniższych sum opadów atmosferycznych w Polsce. Średnie sumy wynoszą niewiele ponad 500 mm rocznie; w Warszawie – 515 mm, a przeciętnie w Polsce sumy opadów osiągają 589 mm.

Cyrkulacja atmosferyczna na Mazowszu ma podobnie charakter zbliżony do ogólnej cyrkulacji w Polsce. Przeważają wiatry z sektora zachodniego; w Warszawie sektor zachodni stanowi 46,2%, a sektor wschodni 32,2%. Natomiast wartości prędkości wiatru na Mazowszu są nieco większe, niż przeciętnie w Polsce, zwłaszcza w zachodniej części re-

gionu. W Warszawie średnia roczna prędkość wiatru wynosi 4,1 m/s, a przeciętnie w Polsce – 3,5 m/s.

W pracy określono również tendencje zmian temperatury powietrza na Mazowszu w 30-leciu 1966-1995. Dla większości miesięcy tendencje zmian temperatury powietrza okazały się rosnące, tylko w czerwcu, październiku i listopadzie tendencje są malejące. Porównując tendencje zmian temperatury we wspomnianym 30-leciu z tendencjami w 210-leciu 1779-1990, okazuje się, że tempo wzrostu temperatury powietrza w ostatnich 30 latach jest większe niż przez ostatnie 2 stulecia.

Działalność człowieka prowadzi w dużym stopniu do zmian klimatu. Efektem jest zanieczyszczenie powietrza oraz powstanie specyficznego klimatu miasta.

Zanieczyszczenie powietrza powoduje zmniejszenie dopływu zarówno bezpośrednio promieniowania słonecznego, jak też długofalowego promieniowania Ziemi. Wpływa na wzrost temperatury powietrza, zwiększa wilgotność powietrza, zachmurzenie oraz wpływa na wzrost sum opadów.

Warunki meteorologiczne wpływają na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń: duże osłoneczenie przyczynia się do powstania smogu fotochemicznego, wilgotność powietrza powyżej 70% przyspiesza przemianę zanieczyszczeń w substancje toksyczne, opad atmosferyczny oczyszcza powietrze z zanieczyszczeń, niestety powoduje to zanieczyszczenie gleb i wód, mieszanie się mgły z zanieczyszczeniami może powodować wzrost stężeń zanieczyszczeń, zwłaszcza, gdy mgła utrzymuje się przez kilka dni, tworzy się wtedy tzw. smog siarkowy.

Pod względem zanieczyszczenia atmosfery województwo mazowieckie plasuje się na 4 pozycji w Polsce, jednak najwięcej zanieczyszczeń emituje aglomeracja warszawska, pozostała część Mazowsza nie należy do obszarów silnie zanieczyszczonych; wśród zanieczyszczeń przeważają zanieczyszczenia gazowe (93,13%) nad pyłowymi (6,87%)

Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu zachmurzenia na Mazowszu

Na podstawie przeprowadzonych badań przez M. Pawlak pt. *Zachmurzenie w Polsce i jego związek z typami cyrkulacji atmosferycznej* (2010) związku wielkości zachmurzenia z cyrkulacją atmosferyczną sformułowano następujące wnioski:

W ciągu całego roku przy większości typów cyrkulacji największe dobowe zachmurzenie występuje w godzinach okołopołudniowych. Jedynie przy typie E_1 (SE/Ea) i D_2C (SW/Sa) w Warszawie i Kielcach, przy E_0 (NE/Ec) w Warszawie, a także przy E_0 (NE/Ec), F (SEc), B (Sc), E (NEa) i E_1 (SE/Ea) w Helu największe zachmurzenie w ciągu doby występuje w godzinach porannych. Natomiast dobowe minimum wielkości zachmurzenia niezależnie od typu cyrkulacji przypada w całym kraju na godziny nocne.

Największe terminowe zachmurzenie w ciągu roku jest związane z cyrkulacją E_0 (NE/Ec) (od 77,6% w Helu o godz. 6⁰⁰ do 84 w Kielcach o godz. 12⁰⁰) i z cyrkulacją A (Wc) (od 77,6 w Helu o godz. 12⁰⁰ do 82,2% w Kielcach o godz. 12⁰⁰). Najmniejsza terminowa wielkość zachmurzenia w ciągu roku (około 40-45%) występuje w Warszawie i Kielcach przy typach: E_1 (SE/Ea) i G (Ca), a w Helu przy: E (NEa) i G (Ca). Ponadto w Kielcach bardzo małe zachmurzenie w godzinach nocnych (00⁰⁰ UTC) zaznacza się przy cyrkulacji BE (Sca) – 37,8%.

Najmniejszy zakres zmian między średnimi terminowymi wielkościami zachmurzenia występuje podczas typu E_0 (NE/Ec) – od 5,2% w Helu do 11,5% w Kielcach, a w Warszawie także podczas typów: E_1 (SE/Ea) i D_2C (SW/Sa) – odpowiednio 7,7% i 9,3%. Natomiast największe różnice wielkości zachmurzenia w ciągu doby występują na wszystkich stacjach podczas typów: BE (Sca)(od 12,3% w Helu do 23,9% w Kielcach) i C_2D (Wa)(od 12,1% w Helu do 18,4% w Kielcach), a na południu kraju także przy cyrkulacji F (SEc) i B (Sc).

W półroczu ciepłym przy większości typów cyrkulacji dobowe maksimum wielkości zachmurzeniem, tak jak średnio w roku, przypada na godziny okołopołudniowe (12^{00} UTC). Jedynie w obszarach nadmorskich (Hel) zaznacza się ono w różnych terminach obserwacyjnych (6^{00} , 12^{00} lub 18^{00}). Największe zachmurzenie (około 70-85%) o godzinie 12^{00} wiosną występuje przy typach: A (Wc), E_0 (NE/Ec) i CB (NWc), a latem – przy: B (Sc), E_0 (NE/Ec) i CB (NWc). W tej części roku najmniejszym zachmurzeniem w ciągu doby podczas wszystkich typów cyrkulacji cechują się godziny nocne (00^{00} UTC). Przy czym najpogodniejsze noce (wielkość zachmurzenia poniżej 30%) wiosną występują przy typie G (Ca) i D_2C (SW/Sa), latem zaś – głównie przy BE (Sca)(od 3,3% w Kielcach do 13,2% w Helu) oraz przy cyrkulacji E_1 (SE/Ea), G (Ca) i D_2C (SW/Sa).

W okresie jesienno-zimowym największym zachmurzeniem w ciągu doby przy większości typów cyrkulacji wyróżniają się godziny poranne (6^{00} UTC). Największe pokrycie nieba przez chmury – powyżej 80% – przynoszą wówczas typy cyklonalne: F (SEc) i E_0 (NE/Ec). Jesienią najmniejsze zachmurzenie w ciągu doby przy większości typów zaznacza się w godzinach nocnych (00^{00} UTC). W tej porze roku najpogodniejsze noce (wielkość zachmurzenia około 30-50%) w Warszawie i Kielcach towarzyszą cyrkulacji: BE (Sca), G (Ca) i E_1 (SE/Ea), a w Helu – E_1 (SE/Ea), G (Ca) i E_2C (NWA). W miesiącach zimowych najmniejsze dobowe zachmurzenie przypada na ogół na godziny wieczorne (18^{00} UTC), przy czym najmniejsze pokrycie nieba przez chmury (około 50-65%) w Warszawie i Kielcach występuje wówczas przy typie G (Ca), E_1 (SE/Ea) i D_2C (SW/Sa), a w Helu – przy G (Ca), E_2C (NWA) i D_2C (SW/Sa).

Przebieg roczny zachmurzenia w Polsce w poszczególnych typach cyrkulacji jest zróżnicowany. Główne maksima wielkości zachmurzenia występują między listopadem a lutym (najczęściej w styczniu lub grudniu), minima zaś – między majem a sierpniem. Największe średnie miesięczne zachmurzenie (powyżej 80%) w całym kraju zaznacza się przy typie F (SEc) w styczniu oraz przy E_0 (NE/Ec) w lutym w Helu i w listopadzie na pozostałych stacjach. Najmniejsze minima roczne wielkości zachmurzenia – poniżej 30% -występują przy cyrkulacji: BE (Sca) w czerwcu (Hel i Kielce) i sierpniu (Warszawie) oraz przy G (Ca) w sierpniu (Hel i Kielce) i lipcu (Warszawa).

Największa średnia dobowa wielkość zachmurzenia w ciągu roku w całej Polsce występuje w dniach z typem cyrkulacji E_0 (NE/Ec)(od 74% w Helu i 75,9% w Warszawie do 78,3% w Kielcach), który jest jednym z najczęściej występujących typów cyrkulacji w kraju, zwłaszcza w ciepłej połowie roku. Najmniejsze średnie dobowe zachmurzenie w ciągu roku zaznacza się natomiast przy typach: G (Ca)(od 46,5% w Kielcach do 49,8% w Helu) i E_1 (SE/Ea)(od 51% w Warszawie do 56,3% w Helu). Uogólniając można stwierdzić, że największe zachmurzenie w ciągu całego roku jest związane z typami cyklonalnymi, najmniejsze zaś – z antycyklonalnymi.

Analizując przebiegi roczne odchyłeń średnich miesięcznych wielkości zachmurzenia w Polsce w poszczególnych typach cyrkulacji od średnich w wieloleciu 1966-1995 wyróżniono 3 grupy typów.

Do pierwszej grupy zaliczono typy: E₀ (NE/Ec), F (SEc), B (Sc), A (Wc) oraz CB (NWc), które na ogół w ciągu całego roku na obszarze Polski powodują wzrost wielkości zachmurzenia. Przy czym typy E₀ i CB powodują najsilniejszy wzrost zachmurzenia latem i jesienią (oprócz listopada), a na wybrzeżu również wiosną, typ B – latem (w sierpniu nawet o 20%), typ A – wiosną, a typ F – zimą. Do tej grupy zaliczono także typ D (SWc), któremu towarzyszy stosunkowo duże zachmurzenie, szczególnie w cieplej części roku, w Helu.

Drugą grupę stanowią typy cyrkulacji: BE (Sca), C₂D (Wa) i E₂C (Nwa), które w niewielkim stopniu modyfikują wielkość zachmurzenia w Polsce. Jedynie cyrkulacja BE (Sca) latem i jesienią powoduje bardzo duże zmniejszenie zachmurzenia (w czerwcu nawet o ponad 30% od średniej wieloletniej). W typach tych w części roku dochodzi do wzrostu, a w części do zmniejszenia wielkości zachmurzenia.

Trzecia grupa obejmuje typy: E₁ (SE/Ea), D₂C (SW/Sa), G (Ca) i E (NEa), które na ogół w całej Polsce w przeważającej części roku warunkują mniejsze niż przeciętnie zachmurzenie. Największe ujemne odchylenie średniej miesięcznej wielkości zachmurzenia zaznacza się przy cyrkulacji centralnej antycyklonalnej (G) w marcu (od -25,3% w Helu do -32,6% w Kielcach). Do tej grupy zaliczono również typy D (SWc) i E₂C (Nwa). Pierwszy z nich powoduje zmniejszenie wielkości zachmurzenia w ciągu całego roku w środkowej i południowej części Polski, a drugi – w jej północnej części. % W badanym okresie około 80% dni pogodnych w Polsce wystąpiło przy antycyklonalnych typach cyrkulacji, a 13-16% – przy typach cyklonalnych. Dni pochmurne najczęściej (ok. 60%) pojawiały się przy cyrkulacji cyklonalnej. Około 36-38% tych dni towarzyszyło natomiast typom antycyklonalnym.

Na podstawie analizy prawdopodobieństwa liczby dni pogodnych i pochmurnych w różnych typach cyrkulacji stwierdzono, że w cieplej połowie roku dni pogodne w Polsce najczęściej (powyżej 25%) występują przy cyrkulacji antycyklonalnej E (NEa). Na wybrzeżu (Hel) prawie połowa dni pogodnych latem (46,5%) jest związana z tym typem cyrkulacji. Wiosną względnie duża część dni pogodnych (ok. 20%) występuje także podczas typu E₁ (SE/Ea). W półroczu chłodnym dni pogodne z największą częstością, wynoszącą zimą nawet 40%, występują przy cyrkulacji E₁ (SE/Ea). Stosunkowo często (ok. 10-20%) pojawiają się one także przy typie G (Ca) oraz E (NEa).

Dni pochmurne w okresie wiosenno-letnim najczęściej występują przy typach: E₀ (NE/Ec), CB (NWc) i E (NEa). Jednak latem prawdopodobieństwo wystąpienia tych dni przy typach E₀ i CB wynosi ponad 20%, a wiosną – około 15%. W chłodnej połowie roku najwięcej dni pochmurnych – około 15% – jest związanych z typem cyrkulacji CB (NWc).

Najdłuższemu ciągowi dni pogodnych na badanych stacjach (między 11 a 20 marca 1972 roku) towarzyszyły typy cyrkulacji G (Ca), E (NEa) i E₁ (SE/Ea). W najdłuższym ciągu dni pochmurnych w Helu (1-24 stycznia 1966 roku) najczęściej występowały typy cyrkulacji E (NEa) i E₁ (SE/Ea) oraz A (Wc) i E₀ (NE/Ec).

Badanie związków korelacyjnych wielkości zachmurzenia z częstością poszczególnych typów cyrkulacji wykazało, że w ciągu całego roku zachmurzenie w Polsce jest na

ogół dodatnio skorelowane z częstością cyklonalnych typów cyrkulacji, ujemnie zaś z częstością typów antycyklonalnych. Znaczący wpływ na wzrost wielkości zachmurzenia w całej Polsce wywiera latem cyrkulacja cyklonalna z napływem mas powietrznych z kierunku NW-NE-E (CB i E₀), a zimą – z południa (B). Najsilniejsze związki wielkości zachmurzenia z częstością danego typu cyrkulacji występują w obszarach nadmorskich (Hel) – przy typie CB (NWc) latem współczynnik korelacji wynosi 0,71, a przy typie B (Sc) zimą 0,66. W przypadku typów antycyklonalnych korelacja nie jest istotna na obszarze całej Polski, a jedynie na poszczególnych stacjach. Wśród tych typów najsilniejszy wpływ na wielkość zachmurzenia ma typ cyrkulacji D₂C (SW/Sa) zimą w Helu ($r=-0,54$) oraz E₂C (NWA) latem w Warszawie ($r=-0,50$).

Podsumowując, można stwierdzić, że poszczególne typy cyrkulacji atmosferycznej mają różny wpływ na wielkość zachmurzenia w Polsce. Dla lepszego zobrazowania zróżnicowania przestrzennego wielkości zachmurzenia na obszarze kraju przy różnych sytuacjach synoptycznych należałoby rozszerzyć materiał źródłowy o większą liczbę stacji. Niemniej jednak otrzymane wyniki dotyczące zmian czasowych wielkości zachmurzenia w Polsce w zależności od typów cyrkulacji mają istotne znaczenie poznawcze.

Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu stanu aerosanitarnego Mazowsza

Celem pracy K. Pyłki pt. *Zależność zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki od typów cyrkulacji atmosferycznej w Środkowej Polsce* (2005) jest określenie wpływu cyrkulacji atmosferycznej na stężenie dwutlenku siarki na terenie środkowej Polski w latach 1993-1999. Poznanie tej zależności jest niezwykle ważne dla celów monitoringowych, bowiem może pomóc w przewidywaniu sytuacji sprzyjających zwiększonej koncentracji dwutlenku siarki.

W pracy zostały wykorzystane codzienne średnie dobowe wartości dwutlenku siarki z 9 punktów pomiarowych z lat 1993-1999. Ponadto posłużono się kalendarzem typów cyrkulacji atmosferycznej według J. Lityńskiego.

Region środkowej Polski nie odznacza się dużą emisją dwutlenku siarki (wyjątek stanowią większe miasta, np. Warszawa lub Łódź), toteż o okresowo zwiększonym stężeniu tego gazu decyduje tu głównie napływ zanieczyszczeń z terenów o dużej emisji.

Analizę rozpoczęto od oceny zmian przestrzennych oraz czasowych stężenia SO₂. Z tej części pracy wynika, iż zanieczyszczenie powietrza określone przez średnie roczne stężenie dwutlenku siarki w latach 1993-1999 charakteryzuje duże zróżnicowanie przestrzenne. Największym średnim stężeniem SO₂ wyróżnia się w środkowej Polsce południowo-zachodnia oraz środkowa część regionu (Piotrków Trybunalski – 26,6 ug/m³, Warszawa – 19,7 ug/m³). Taka sytuacja wynika ze stosunkowo dużej emisji SO₂ w większych miastach, takich jak Warszawa lub Łódź oraz bliskiego sąsiedztwa elektrowni w Belchatowie. Z kolei najlepszą jakością powietrza odznaczają się południowo-wschodnie (Radom, Jarczew) oraz północne krańce (Ciechanów, Płock) badanego terenu. Średnie stężenie SO₂ na wskazanych stacjach nie przekracza 10 ug/m³.

Ocena przestrzennego rozkładu stężenia dwutlenku siarki na terenie środkowej Polski pozwoliła porównać ten obszar z innymi regionami kraju. W zestawieniu z mocno zanieczyszczoną południową częścią kraju, gdzie średnie roczne stężenie SO₂ nie spada poni-

żej 43,0 ug/m³ (Katowice), jakość powietrza środkowej Polski przedstawia się dobrze. Gorzej analizowany region wypada w porównaniu z północnymi terenami Polski cechującymi się najmniejszą emisją oraz niewielkim stopniem zanieczyszczenia powietrza. Jedynie w Gdańsku średnie stężenie SO₂ (19,9 ug/m³) jest podobne jak w Warszawie.

Następnie stwierdzono, że stężenie dwutlenku siarki odznacza się wyraźnym rytmem rocznym, będącym wynikiem występujących w ciągu roku zmian emisji, a także zmian warunków pogodowych. Cykl roczny charakteryzuje się dużymi wartościami stężenia w miesiącach zimowych i kilkakrotnie mniejszymi (ok. 3 razy) w letnich. W półroczu chłodnym średnie dobowe wartości stężenia SO₂ osiągają nawet 44,5 ug/m³ (Piotrków Trybunalski), częściej pojawiają się większe wartości stężenia SO₂, przekraczające 20 ug/m³ oraz 50 ug/m³, a nawet dopuszczalną normę 150 ug/m³ (w Warszawa 1,3% dni). Jedynie w Ciechanowie, Radomiu i Jarczewie stężenie SO₂ nie przekroczyło 100 ug/m³. W półroczu ciepłym na większości stacji stężenie nie przekracza 10 ug/m³ oraz wzrasta udział mniejszych jego wartości (poniżej 5 ug/m³). Dodatkowo półroczu chłodne charakteryzują większe niż półroczu ciepłe wartości percentyla 0,95 przekraczające nawet 184 ug/m³ (w Piotrkowie Trybunalskim). W cieplej połowie roku percentyl 0,95 stężenia SO₂ na większości stacji nie przekracza 10 ug/m³ (wyjątek stanowią Piotrków Trybunalski (30 ug/m³) oraz Warszawa (26 ug/m³)).

Wstępem do określenia wpływu cyrkulacji atmosferycznej na stężenie dwutlenku siarki było rozpatrzenie wpływu kierunku adwekcji mas powietrza oraz układu barycznego. Dzięki analizie wartości średnich stężenia SO₂, częstości występowania określonych wartości oraz percentyla 0,95 możliwe było wskazanie zróżnicowania warunków aerosanitarnych w zależności od rozpatrywanych warunków.

Kierunek adwekcji mas powietrza w bardzo istotny sposób wpływa na rozkład przestrzenny zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki. Średni czas przebywania SO₂ w atmosferze wynosi ok. 4 dni. Jest to czas wystarczający, aby zanieczyszczenia mogły być przetransportowane wraz z masami powietrza nad inne obszary. Dlatego też istotne jest, przy jakich kierunkach napływu mas powietrza należy się spodziewać okresów o podwyższonym stężeniu dwutlenku siarki. Na badanym obszarze wartości większe od przeciętnego o 2-4 ug/m³ pojawiały się najczęściej przy napływie mas powietrza z kierunku południowo-zachodniego (np. w Łodzi 19,2 ug/m³, w Warszawie 23,3 ug/m³). Negatywny wpływ adwekcji z tego kierunku jest wynikiem oddziaływania zakładów przemysłowych zlokalizowanych na południu (GOP) i południo-zachodzie kraju. Ten niekorzystny kierunek adwekcji pojawia się stosunkowo często (13,1% dni w roku). Znacznie lepsze warunki aerosanitarnie panują podczas adwekcji z sektora północnego, a w szczególności z północo-zachodu i północo-wschodu. Podczas napływu mas powietrza z tych kierunków na żadnym z punktów pomiarowych przeciętne stężenie nie przekroczyło wartości średniej. Jest to efekt napływu mas powietrza z nieuprzemysłowionych terenów wybrzeży i pojezierza. Łączny udział tych kierunków jest znaczny i wynosi w ciągu roku 21,5%.

W półroczu chłodnym wpływ kierunku adwekcji jest znacznie wyraźniejszy. Główną tego przyczyną jest wzmóżona emisja SO₂. Najbardziej niekorzystne sytuacje powstają przy adwekcji powietrza z południa i południo-wschodu. Wzrost stężenia SO₂ następuje wówczas na większości stacji. Adwekcja mroźnego powietrza polarnego kontynentalnego ze wschodu powoduje wzmóżoną intensywność systemów grzewczych, a co za tym

idzie większą emisję SO₂. Podczas adwekcji z południo-wschodu częściej występują wartości stężenia SO₂ przekraczające 20 ug/m³, 50 ug/m³ a niejednokrotnie i 150 ug/m³ (Warszawa i Piotrków Trybunalski – ok. 3% pomiarów). Niekorzystny wpływ omawianych warunków podkreślają również bardzo duże wartości percentyla 0,95 stężenia SO₂ – w Łodzi (60 ug/m³), Warszawie (180 ug/m³), a także w Jarczewie (28 ug/m³). Poprawę jakości powietrza na wszystkich stacjach powoduje napływ mas powietrza z północo-zachodu oraz północo-wschodu. Wówczas przeciętne stężenie SO₂ na analizowanych punktach pomiarowych nie przekracza średniej w danym okresie na danej stacji.

W półroczu ciepłym względnie duża koncentracja SO₂ występuje podczas napływu mas powietrza ze wschodu oraz południo-zachodu. Natomiast najlepszy stan aerosanitarny występuje podczas napływu mas powietrza z zachodu. W dniach z adwekcja z tego kierunku stężenie na wszystkich stacjach jest mniejsze od przeciętnego. Najczęściej pojawiają się wartości nieprzekraczające 5 ug/m³.

Obok kierunku napływu mas powietrza ważną rolę w kształtowaniu warunków cyrkulacyjnych odgrywa rodzaj układu barycznego. W półroczu chłodnym na większości punktów pomiarowych jako najczęściej niekorzystne zaznaczały się układy antycyklonalne. Wynika to z faktu, że układy te stwarzają warunki sprzyjające tworzeniu się termicznych warstw hamujących, co powoduje zwiększenie stężenia dwutlenku siarki w przygruntowej warstwie atmosfery. Z kolei warunki sprzyjające wymianie powietrza i wynoszeniu zanieczyszczeń, a tym samym mniejszym wartościom stężenia stwarzały układy cyklonalne. Dlatego też w dniach z panującymi układami niskiego ciśnienia, stężenie na większości stacji było mniejsze od przeciętnego. Różnicę w oddziaływaniu poszczególnych układów barycznych dobrze uwidacznia analiza częstości. W półroczu chłodnym układy antycyklonalne powodowały pogorszenie jakości powietrza na wszystkich stacjach. Najczęściej pojawiało się wówczas stężenie przekraczające 20 ug/m³ oraz 50 ug/m³ – ok. 30-50% obserwacji. Częściej również pojawia się stężenie przekraczające 100 ug/m³ (głównie w Warszawie oraz Piotrkowie Trybunalskim). Przy układach cyklonalnych, częstsze są natomiast mniejsze wartości stężenia nieprzekraczające 20 ug/m³. Częstość ich występowania waha się od 37% w Radomiu do 79% w Jarczewie. Ponadto wartości percentyla 0,95 podczas utrzymujących się układów antycyklonalnych są większe o ok. 15 ug/m³ niż podczas panowania układów cyklonalnych.

W półroczu ciepłym sytuacja aerosanitarna jest dobra na większości stacji niezależnie od utrzymującego się układu barycznego. Sprzyjają temu korzystniejsze warunki pogodowe, które łagodzą niekorzystny wpływ układów antycyklonalnych. Dlatego też w tym okresie najczęściej pojawiają się małe wartości stężenia (do 5 ug/m³) – ich udział nie spada poniżej 50%, a w Ciechanowie, Skierniewicach oraz Jarczewie przekracza nawet 90%.

Ocena wpływu typów cyrkulacji atmosferycznej na stężenie dwutlenku siarki potwierdziła wcześniejsze wyniki uzyskane na podstawie analizy wpływu kierunków adwekcji mas powietrza oraz układów barycznych. Szczególnie duża koncentracja dwutlenku siarki występowała podczas sytuacji antycyklonalnych z adwekcji z południo-wschodu lub południo-zachodu (Ea-SEa oraz Sa-SWa). Niekorzystny wpływ tych typów cyrkulacji zaznacza się na wielu punktach badawczych a średnie stężenie było wówczas większe od przeciętnego o ok. 4 ug/m³ (Ciechanów 9,5 ug/m³) do 10 ug/m³ (Warszawa 32 ug/m³). Natomiast najlepsze warunki aerosanitarnie panowały podczas utrzymujących się typów

cyrkulacji z adwekcją z sektora północnego (Na-NEa, Wa-NWa, Nc-NWc, Wc-NWc). Wówczas średnie stężenie na wszystkich punktach pomiarowych było mniejsze w porównaniu do wartości przeciętnej o ok. $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

W półroczu chłodnym najbardziej niekorzystne okazały się typy Ea-SEa oraz Sa-SWa – na większości punktów pomiarowych średnie stężenie dwutlenku siarki było wówczas większe o ok. $2\text{--}4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ od przeciętne. Ponadto w dniach, kiedy utrzymywały się wymienione typy cyrkulacji, częstość występowania większych (przekraczających $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wartości stężenia SO_2 na większości stacji przekraczała 50%, a w Łodzi i Piotrkowie Trybunalskim nawet 0%.

Wyraźna poprawa stanu aerosanitarnego następowała w dniach z panującym układem cyklonalnym podczas adwekcji z zachodu i północo-zachodu (Wc-NWc), wzrastał wówczas udział mniejszych (do $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wartości stężenia SO_2 – nawet do 50% (Ciechanów, Kutno oraz Radom).

W półroczu ciepłym o większej koncentracji dwutlenku siarki decyduje głównie adwekcja mas powietrza, ponieważ wpływ układu barycznego jest wówczas nieznaczny. Za niekorzystny typ cyrkulacji, przy którym następuje zwiększenie koncentracji SO_2 , można uznać Sc-SWc. Jego wpływ zaznacza się w Łodzi, Warszawie, Radomiu oraz Skiernewicach. Generalnie w półroczu ciepłym, niezależnie od utrzymującego się typu cyrkulacji, na wszystkich stacjach zaznacza się większy udział małych, nieprzekraczających $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wartości SO_2 .

Przedstawiona analiza dowodzi, że cyrkulacja atmosferyczna w znacznym stopniu determinuje stężenie dwutlenku siarki na obszarze środkowej Polski. Dlatego też wnioski zawarte w pracy mogą być przydatne dla celów monitoringowych i lepszej ochrony środowiska przyrodniczego.

Regionalne zróżnicowanie cech termicznych klimatu Mazowsza na przykładzie: Niziny Północnomazowieckiej, Niziny Południowopodlaskiej i Niziny Środkomazowieckiej

W pracy A. Dzioban pt. *Cechy termiczne klimatu województwa mazowieckiego* (2010) województwo mazowieckie podzielono na trzy części o odmiennych cechach termicznych (rys. 14). Wyróżniono region północny (I), wschodni (II) i południowo – zachodni (III).

Ze względu na dość dużą powierzchnię województwa, region ten cechuje się zróżnicowaniem termicznym, nie tylko w stosunku do całej Polski, ale również w swoich administracyjnych granicach. **Region północny**, który reprezentują dane ze stacji meteorologicznej w Mławie, charakteryzuje się najbardziej odmiennymi warunkami termicznymi w stosunku do pozostałego obszaru województwa mazowieckiego. Notowane są tam najniższe roczne sumy usłonecznienia, spadające poniżej 1550 godzin i tylko w jego południowej części liczba ta dochodzi do 1600. Średnie roczne sumy promieniowania całkowitego na tym wydzielonym obszarze przyjmują wartości również nieco niższe niż w pozostałych dwóch regionach i wynoszą średnio $3700 \text{ MJ}/\text{m}^2$. Średnia wartość temperatury powietrza jest tam najniższa, w Mławie równa się $7,2^\circ\text{C}$, a biorąc pod uwagę cały region północny to wynosi $7,5^\circ\text{C}$. Średnia temperatura powietrza najchłodniejszego miesiąca roku przyjmuje wartość $-3,4^\circ\text{C}$, najcieplejszego zaś $17,4^\circ\text{C}$, a więc średnia temperatura lipca jest najniższą w całym województwie.

Okres wegetacyjny w regionie północnym rozpoczyna się później (5 kwietnia), a kończy wcześniej (31 października) niż w pozostałych regionach a więc trwa tam najkrócej – 209 dni. Również termiczne lato na tym obszarze trwa krócej – około 82 dni, podczas gdy w regionie południowo – zachodnim jest o około 11 dni dłuższe, natomiast czas trwania termicznej zimy jest tam najdłuższy, średnio utrzymuje się 89 dni. Liczba dni przymrozkowych może wynieść tam nawet 120, a mroźnych 50 w ciągu roku. Liczba dni gorących i upalnych jest podobna w całym województwie mazowieckim i wynosi odpowiednio ponad 30 i 4 dni.

Region wschodni charakteryzują dane meteorologiczne z dwóch stacji: Ostrołęka i Siedlce. Mimo iż ostrołęcka stacja meteorologiczna położona jest w dolinie rzecznej a siedlecka na terenie równinnym, to warunki termiczne cechujące te obydwie stacje są bardzo podobne. Średnie sumy usłonecznienia wynoszą około 1600 godzin w roku, natomiast średnie roczne sumy promieniowania całkowitego – około 3600 MJ/m². Średnia roczna temperatura powietrza wynosi tam 7,5°C, przy czym średnia temperatura stycznia przyjmuje wartość -1,2°C, a lipca 17,8. Okres wegetacyjny w regionie wschodnim trwa 212 – 213 dni i zaczyna się już 3 kwietnia a kończy 1-go bądź 2-go listopada. Termiczne lato trwa tam około 88 dni a termiczna zima – 86 dni. Region ten charakteryzuje się najkrótszym czasem trwania przedwiośnia, średnio 34 dni, podczas gdy na pozostałym obszarze województwa mazowieckiego ta termiczna pora roku jest o dwa dni dłuższa. Zauważalną cechą tego regionu jest większa liczba dni z przymrozkiem i liczba dni mroźnych, które podobnie jak w regionie północnym odpowiednio wynoszą około 120 i 50 w ciągu roku. Liczba dni gorących jest taka jak w całym województwie, natomiast liczba dni upalnych jest nieco niższa i nie przekracza 4 dni w ciągu całego roku.

Region południowo-zachodni jest trzecim regionem wydzielonym przez autora. Ten obszar reprezentują dane ze stacji meteorologicznych w Płocku, Warszawie i Radomiu. Mimo, że tak jak i w przypadku regionu wschodniego, stacje meteorologiczne położone są na terenie o różnych cechach ukształtowania powierzchni, to jednak zmierzone wartości termiczne wykazują podobieństwo na tyle duże, że postanowiono zamknąć je w jednym wydzielonym obszarze. Średnie roczne sumy usłonecznienia wynoszą w nim 1625 godzin, tym samym są najwyższe w całym województwie. Średnie roczne sumy promieniowania całkowitego także przyjmują najwyższe wartości równe 3750 MJ/m², przy czym w Płocku przekraczają nawet 3800 MJ/m². Średnia roczna temperatura powietrza w tym regionie jest najwyższa w województwie i wynosi 8°C. Średnia temperatura najchłodniejszego miesiąca jest również najwyższa i przyjmuje wartość -2,4°C, najcieplejszego zaś 18,1°C. Czas trwania okresu wegetacyjnego jest najdłuższy w całym województwie mazowieckim i wynosi około 218 dni. Swój początek ma już pod koniec marca, natomiast kończy się zazwyczaj 4 listopada. Termiczne lato trwa tam najdłużej – około 94 dni, a termiczna zima utrzymuje się najkrócej – średnio przez 75 dni. Liczba dni przymrozkowych i mroźnych jest tam niższa niż w pozostałych regionach. Dni z przymrozkiem nie przekraczają 110 a mroźne – 40 w ciągu roku. Liczba dni gorących i upalnych z reguły nie różni się od wartości cechującej całe województwo mazowieckie, a więc wynosi odpowiednio ponad 30 i 4 rocznie.

Reasumując, województwo mazowieckie nie jest jednolitym obszarem pod względem termicznym. Wydzielone obszary pokazują, iż można wyodrębnić w nim regiony, które

charakteryzują się odrębnymi cechami termicznymi. I tak region północny jest najchłodniejszą częścią województwa. Wszystkie zmierzone w nim wartości opisujące pole temperatury powietrza są niższe niż w pozostałych dwóch regionach. Region wschodni jest obszarem pośrednim, tzn. liczby charakteryzujące warunki termiczne przyjmują z reguły wartości średnie. Region południowo – zachodni, jest natomiast wyraźnie obszarem najcieplejszym i cechują go najwyższe wartości z całego województwa mazowieckiego.

Istotne znaczenie przy określaniu pola temperatury badanego obszaru mają duże aglomeracje miejskie. W tym przypadku była to Warszawa charakteryzująca się specyficznymi cechami termicznymi, typowymi dla klimatu lokalnego dużego miasta. Deformacja naturalnych warunków termicznych w aglomeracji Warszawy jest spowodowana antropogenicznymi przekształceniami środowiska geograficznego i uwidacznia się podwyższeniem temperatury powietrza w stosunku do obszarów pozamiejskich. Takie zjawisko określane jest „miejską wyspą ciepła” i mimo że jest zjawiskiem częstym, jednak nie występuje codziennie i nie ma jednakowej intensywności. Największe kontrasty termiczne obserwowane są wieczorem i w nocy a najmniejsze około południa. Małe zachmurzenie oraz małe prędkości wiatru sprzyjają większej intensywności wyspy ciepła. Sytuacja odwrotna prowadzi zaś do zaniku tego zjawiska. Warszawa jako największe i najludniejsze miasto w Polsce cechuje się najwyższymi różnicami temperatury powietrza między miastem i jego peryferiami, a postępująca urbanizacja powoduje jeszcze większy wzrost różnic temperatury powietrza między śródmieściem a otoczeniem miasta. Prowadzone badania nad tym zjawiskiem pozwalają na określenie negatywnych ale również pozytywnych skutków miejskiej wyspy ciepła.

Mezoregionalne zróżnicowanie klimatu Mazowsza na przykładzie Kotliny Warszawskiej i Wysoczyzny Siedleckiej

Z pracy A. Sztabowskiej *Charakterystyka klimatu Kotliny Warszawskiej (1971-1980)* (1991) wynikają istotne wnioski dotyczące klimatu tego mezoregionu:

Zmniejszone usłonecznienie. Sumy dzienne usłonecznienia rzeczywistego w sąsiednich obszarach są większe od 0,1 do nawet 1,9 h. Tak mały czas usłonecznienia spowodowany jest większym zachmurzeniem, częstszym występowaniem mgieł i dużym zanieczyszczeniem powietrza.

Uprzywilejowanie termiczne. Średnie miesięczne wartości temperatury (od -2,6- -3,1°C w styczniu do 17,9-18,2°C w lipcu) i roczne (około 8°C), są tu z reguły wyższe niż w otaczających obszarach. Północno wschodnia część Kotliny Warszawskiej charakteryzuje się nieznacznie niższą (o 0,3-0,5°C) temperaturą powietrza. Potwierdzają to również temperatura minimalna i maksymalna, jak i inne charakterystyki termiczne. Kotlina Warszawska w porównaniu z sąsiednimi obszarami charakteryzuje się większą (o 4) liczbą dni gorących – około 37, upalnych (o 1 dzień) – około 5,1 i mniejszą (o 4-8) liczbą dni przymrozkowych – 61-65.

Dłuższy okres wegetacji – sięgający nawet do 220 dni. Charakterystyczne jest wcześniejsze (średnio o 2-3 dni) rozpoczęcie przedwiośnia, wiosny i lata oraz opóźnione (średnio o 2-3 dni) nadejście jesieni, przedzimia i zimy. Stosunkowo długie jest lato, które trwa 92-98 dni, podczas gdy w otaczających obszarach 85-89 dni. Czas trwania zimy (66-75 dni) jest krótszy (o 2-10 dni) niż w sąsiednich krainach (68-85 dni).

Większa suchość. Mniejsza wilgotność względna i większy niedosyt wilgotności powietrza świadczą o bardziej suchym klimacie Kotliny Warszawskiej. Wilgotność względna w Kotlinie Warszawskiej wynosi 77-79% i jest niższa o około 2-4% w porównaniu z otoczeniem. Podobnie kształtuje się ciśnienie pary wodnej, które przyjmuje wartości około 9 hPa w Kotlinie i jest niższe o 0,2-0,5 hPa. Różnice te najbardziej zaznaczają się latem i wiosną, zimą natomiast zróżnicowanie jest niewielkie. Wartości niedosytu wilgotności powietrza są wyższe od występujących w całym omawianym obszarze i kształtują się od 3,9 do 4,1 hPa.

Większe zachmurzenie. Na terenie Kotliny Warszawskiej jest wyższe o 3% niż na przyległych terenach i wynosi 66%. Potwierdza to również zwiększona (o 3) liczba dni pochmurnych, około 153 w roku i mniejsza (o 6-7 dni) liczba dni pogodnych, poniżej 40 dni.

Mniejsze sumy opadów we wschodniej i środkowej części Kotliny Warszawskiej, a większe w części zachodniej. Wschodnia i środkowa Kotlina Warszawska charakteryzuje się sumami opadów poniżej 600 mm (580-560 mm), zachodnia natomiast około 700 mm. W tej części także obserwuje się większą liczbę dni z opadem. We wschodniej i środkowej części Kotliny sumy opadów nieznacznie są mniejsze od średniej z otoczenia, z wyjątkiem miesięcy letnio-jesiennych (maj-październik), kiedy to średnia miesięczna suma opadów jest mniejsza o 2-8 mm. Występuje tu także najmniejsza liczba dni z opadem. Zachodnia część Kotliny Warszawskiej wyróżnia się ponadto największą liczbą dni z burzami, około 27 dni w roku (Iłów), natomiast w części wschodniej jest tych dni najmniej (około 17).

Pokrywa śnieżna występuje w zachodniej i środkowej części Kotliny Warszawskiej krócej (o 4-7 dni) niż w sąsiednich regionach wschodnich (średnio 46-49 dni w roku), natomiast we wschodniej części różnica ta powoli zanika (średnio 54-56 dni w roku).

Podobnie jak na omawianym całym obszarze tak i w Kotlinie Warszawskiej przeważają wiatry z sektora zachodniego (głównie kierunek zachodni i południowo-zachodni) z częstościami powyżej 20% w okresie lata. Najmniejsza frekwencja przypada na kierunek północny (około 5% i południowy (8%). Prędkość wiatru uzależniona jest ściśle od lokalizacji stacji. W części wschodniej Kotliny Warszawskiej prędkości wiatru są przeciętnie o 0,7 m/s wyższe od średniej z całego obszaru, natomiast w części środkowej są mniejsze średnio o 0,5 m/s.

Korzystne warunki klimatyczne panują zwłaszcza w środkowej części Kotliny Warszawskiej, głównie pod względem termicznym. Jest tu stosunkowo cieplej, występują duże amplitudy temperatury powietrza, najniższa wilgotność względna, znaczne zachmurzenie, mniej dni pogodnych, dużo pochmurnych, mniejsza liczba burz (we wschodniej części), większy opad i większa liczba dni z opadem (w części zachodniej). Na kształtowanie się klimatu Kotliny Warszawskiej wpływa dodatkowo kompleks leśny Puszczy Kampinoskiej i tereny podmokłe (w północnej części Kotliny), szczególnie zaś aglomeracja miejska Warszawy.

Miasto stwarza własny klimat lokalny i nie pozostaje bez wpływu na tereny otaczające. Warszawa oddziałuje na klimat przez zabudowę (powierzchnie asfaltowe, mury), wytwarzanie ogromnych ilości zanieczyszczeń przemysłowych i komunikacyjnych, co przyczynia się do znacznego zmniejszenia promieniowania słonecznego i chroni przed nadmiernym wypromieniowaniem. To właśnie jest przyczyną powstania nad miastem „wy-

spy ciepła”, a w konsekwencji wyższych temperatur, zwłaszcza minimalnych. Ponadto okres wegetacyjny i bezprzymrozkowy jest tu najdłuższy.

W wyniku różnic w oświetleniu i nagrzaniu różnych powierzchni, wzmagają się turbulencja i prądy konwekcyjne, które przyczyniają się do powstawania chmur, wzrostu zachmurzenia nad miastem i wzrostu sum opadu. Zabudowa miasta stanowi ponadto przeszkodę dla wiatrów, zmniejszając ich prędkość i odkształcając kierunek.

W celu zorientowania się w zmianach poszczególnych elementów klimatu Kotliny Warszawskiej porównano uzyskane wyniki z danymi z poprzedniego okresu. Ponieważ najbardziej kompleksowo opracowane są dane dotyczące klimatu analizowanego obszaru w *Atlasie współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, część IV *Klimat północno-wschodniej Polski*, dlatego też do porównania przyjęto okres piętnastoletni 1951-1965.

Rozkład przestrzenny temperatury powietrza (średniej, maksymalnej i minimalnej) jest zbliżony w obu porównywanych okresach. Wartości charakterystyk temperatury w styczniu oraz średnia miesięczna temperatura kwietnia są takie same. W pozostałych miesiącach wartość temperatury jest o 0,5°C niższa w latach siedemdziesiątych niż w latach 1951-1965. Jedynie temperatura maksymalna w październiku wykazuje większy spadek – około 1,5°C.

Zmiany ciśnienia pary wodnej między porównywanymi okresami nie były większe od 0,2 hPa – większe zmiany wystąpiły w skrajnych częściach Kotliny Warszawskiej. Wilgotność względna w latach 70-tych była większa średnio o 2% (najwięcej w październiku nawet do 4% i prawie bez zmian w kwietniu). Niedosyt wilgotności tylko w lipcu zwiększył się o 2 hPa.

Zachmurzenie w latach 1971-80 w styczniu i kwietniu wzrosło o około 5-10%. W pozostałych miesiącach wykazywało niewielkie zmiany. Zwiększyła się także liczba dni pochmurnych przeciętnie o 1-2 dni miesięcznie, a nawet do 4 dni w październiku.

Większe były również sumy roczne opadów o około 100 mm (wzrost o ponad 15%). Największy przyrost opadów zanotowano w październiku, o 15-20 mm (ok. 7%) Rozkład przestrzenny opadów jest bardzo nieregularny, ze względu na różnice w sumach opadów na poszczególnych stacjach i posterunkach. Liczba dni z opadem $\geq 0,1$ mm była większa w latach 70. do 10-20 dni rocznie, a największy miesięczny przyrost był w październiku o 4-5 dni, a w pozostałych miesiącach 1-2 dni. Stwierdzono także większą częstość dni z burzami, szczególnie w zachodniej części Kotliny Warszawskiej (do 5 dni rocznie).

Średnia liczba dni z pokrywą śnieżną jest natomiast mniejsza w latach siedemdziesiątych o około 2 dni. Średnia prędkość wiatru jest podobna w porównywanych okresach, jedynie w kwietniu i październiku jest nieco większa (o 1 m/s) w latach 70-tych.

Reasumując klimat Kotliny Warszawskiej w latach 1971-1980 wyróżnia się na tle otaczających regionów zmniejszonym usłonecznieniem, wyższą temperaturą, większą suchością powietrza, większym zachmurzeniem oraz mniejszymi opadami.

W porównaniu z okresem piętnastoletnim 1951-1965 wynika, że w analizowanym okresie było chłodniej, zwiększyła się wilgotność względna, zachmurzenie, a przede wszystkim zwiększyły się znacznie sumy opadów.

W pracy U. Mąki pt. *Charakterystyka klimatu Wysoczyzny Siedleckiej* (1995) przedstawiono warunki klimatyczne Siedlec i terenów otaczających. Szczegółowa analiza po-

szczególnych elementów klimatu pozwoliła na wyodrębnienie kilku charakterystycznych jego cech. Obszar Wysoczyzny Siedleckiej charakteryzuje się większą sumą promieniowania całkowitego, która wynosi około $10,5 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{dzień}$ (250 cal/cm^2).

Średnie roczne wartości usłonecznienia rzeczywistego na Wysoczyźnie Siedleckiej wynoszą 4,4 godz. (35%) i nie zauważa się zróżnicowania przestrzennego w jego rozkładzie. Średnia miesięczna temperatura powietrza na Wysoczyźnie Siedleckiej jest nieco niższa (o $0,2^\circ\text{C}$) niż na terenach przyległych, waha się od $4,6^\circ\text{C}$ w lutym do $18,0^\circ\text{C}$ w lipcu. Jeszcze bardziej widoczne są różnice w przypadku temperatury maksymalnej i minimalnej, które również są niższe niż na obszarach otaczających. Specyficzne warunki termiczne występujące na Wysoczyźnie Siedleckiej, związane są z lokalizacją stacji meteorologicznej, leżącej w północnej części miasta, poza obszarem zwartej zabudowy. Na temperaturę maksymalną i minimalną ma wpływ również piaszczysto-gliniasty charakter podłoża. Podłoże nagrzewa się wolniej o czym świadczy niższa temperatura maksymalna oraz szybciej się ochładza, co znajduje odzwierciedlenie w niższej temperaturze minimalnej.

Wiosna i lato na Wysoczyźnie Siedleckiej rozpoczyna się później: wiosna – 7 kwietnia, lato – 2 czerwca i trwają krócej (lato – 88 dni); zima zaczyna się wcześniej niż w otaczających ją obszarach – 6 grudnia i jest najdłuższą porą, trwającą 103 dni. Obserwowany jest również krótszy okres wegetacyjny trwający 207 dni. Większa liczba mroźnych (52 dni), a mniejsza gorących (36 dni) o 2-3 dni niż na terenach przyległych. Na Wysoczyźnie Siedleckiej utrzymują się najdłużej przymrozki (do 9 maja) i pojawiają się wcześniej (4 października).

Pod względem wilgotnościowym Wysoczyzna Siedlecka nie wyróżnia się na tle otaczających ją obszarów. Średnie roczne ciśnienie pary wodnej $9,2 \text{ hPa}$, a średnia roczna wilgotność względna równa się 80%.

Średnie roczne zachmurzenie w Siedlcach jest większe o 3% niż na terenach otaczających i wynosi 68%. Potwierdza to również większa o 7 dni, w porównaniu ze średnią, liczba dni pochmurnych i mniejsza o 12 dni liczba dni pogodnych (32 dni). Wartości te związane są z warunkami lokalnymi. Siedlce leżą w widłach Liwca i Muchawki oraz na terenach zabagnionych, co wpływa na wzrost zachmurzenia.

Mniejsza suma opadów występuje w północno-wschodniej części Wysoczyzny Siedleckiej, zaś większa w części środkowej, północno-zachodniej i zachodniej. Północno-wschodnia część Wysoczyzny Siedleckiej charakteryzuje się sumą opadów poniżej 500 mm i jest ona o około 20 mm mniejsza od średniej sumy opadów na Wysoczyźnie. Natomiast pozostałe obszary mają opady od 525 mm do 550 mm. Pod względem liczby dni z opadem Wysoczyzna Siedlecka nie różni się od terenów ją otaczających.

Na Wysoczyźnie Siedleckiej, zgodnie z ogólną cyrkulacją w szerokościach umiarkowanych Europy, przeważają wiatry zachodnie – 16,6% oraz południowo-zachodnie 16,1%, najmniejszą frekwencją odznaczają się wiatry północne – 7,3% i północno-wschodnie – 7,2%. Średnia prędkość wiatru w Siedlcach jest większa niż na terenach przyległych, średnio o $0,7 \text{ m/s}$ i wynosi $3,5 \text{ m/s}$, gdyż stacja w Siedlcach zlokalizowana jest poza terenem zabudowanym.

Z powyższej analizy wynika, że warunki klimatyczne występujące na Wysoczyźnie Siedleckiej niewiele różnią się od obszarów przyległych. Różnice w wartościach niektó-

rych elementów są zapewne spowodowane bardziej warunkami lokalnymi, związanymi z lokalizacją stacji meteorologicznej, niż jej wysokością nad poziomem morza.

Antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy

Warszawa w porównaniu z jej otoczeniem wyróżnia się przede wszystkim mniejszym dopływem promieniowania, wyższą temperaturą powietrza (zwłaszcza minimalną) i dłuższym okresem bez przymrozków, mniejszą wilgotnością względną i większym niedosytem wilgotności powietrza, większym zachmurzeniem oraz mniejszą liczbą dni pogodnych, większymi sumami opadu atmosferycznego, mniejszą prędkością wiatru. Fizyczne przyczyny swoistego klimatu miasta przejawiają się w wyniku oddziaływania takich czynników, jak: sztuczne powierzchnie czynne, konfiguracja budynków i ulic zmieniające wymianę ciepła, sztuczne źródła ciepła, zmiana bilansu wodnego, zanieczyszczenia powietrza.

Wieloletnie charakterystyki elementów meteorologicznych dają również możliwość prześledzenia wielookresowych zmian tychże elementów, a więc trendów, i wykrycia, jak cechy miejskie narastają w miarę rozbudowy miasta. Natomiast w opracowaniach dotyczących zróżnicowania warunków klimatycznych w obrębie miasta oparto się w dużym stopniu na badaniach własnych prowadzonych w wielu osiedlach warszawskich o różnym typie zabudowy (o różnej wysokości, zwartości i z różnym udziałem zieleni).

Badania te przeprowadzono w takich osiedlach jak: Sady Żoliborskie, osiedle Szwoleżerów, Stawki, Chomiczówka, Stegny, Służew nad Dolinką, fragmenty śródmieścia, osiedle willowe Olimpijska na Mokotowie. Przeprowadzono również badania profilowe przez miasto: północ-południe i wschód-zachód, badano też warunki mikroklimatyczne skarpy wiślanej. Starano się m. in. określić pewne cechy miejskiej wyspy ciepła i jej intensywność w ciągu roku w zależności od sytuacji pogodowej. Podstawą oceny zarówno intensywności wyspy ciepła, jak i skutków jej występowania były różnice temperatury ΔT , obliczone w stosunku do stacji peryferyjnej Warszawa-Okęcie dla całego miasta oraz różnych jego fragmentów

Wyspa ciepła w Warszawie nie jest zjawiskiem stabilnym i wykazuje periodyczne wahania zarówno w cyklu dobowym, jak i rocznym. Największe zróżnicowanie temperatury między miastem i peryferiami występuje wieczorem i nocą, a w przebiegu rocznym od kwietnia do października, najmniejsze zaś w południe oraz w listopadzie i marcu. Wyspa ciepła zaznacza się najsilniej jednak latem (lipiec), osiągając średnio w centralnych rejonach miasta ΔT bliską 2°C , podczas gdy w innych rejonach miasta, z dala od śródmieścia, różnica jest o połowę mniejsza. Analiza przebiegu rocznego wartości przyrostu temperatury powietrza w mieście dostarcza informacji o tempie nagrzewania i wychładzania miasta w stosunku do terenów niezabudowanych. Tereny o intensywnej zabudowie charakteryzują się spowolnionym tempem wychładzania oraz nagrzewania, zwłaszcza w miesiącach letnich.

Właściwości miejskiej wyspy ciepła (jej intensywność) zależą od pory roku i pory dnia oraz warunków pogodowych panujących w ciągu doby. Analiza dobowa ujawnia, że miejska wyspa ciepła zaznacza się w chłodnej porze roku (zwłaszcza od grudnia do marca) zwykle przez całą dobę. Jest to efekt termicznego oddziaływania zabudowy wraz z wpływem „sztucznego” ciepła (Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Wawer J., Prace Geograficzne IGiPZ PAN, nr 180, 2001).

XI. LITERATURA

Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce. Wyd. UW, Warszawa:

- t. IV, 1986, Stopa-Boryczka M., Martyn D., Boryczka J., Wawer J., Ryczywolska E., Kopacz-Lembowicz M., Kossowska-Cezak U., Lenart W. Danielak D., Styś K., *Klimat północno-wschodniej Polski*. ss. 510
- t. V, 1989, Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E., *Z badań klimatu Polski*. ss. 284
- t. VII, 1992, Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E., *Zmiany wiekowe klimatu Polski*. ss. 439
- t. IX, 1995, Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Błażek E., Skrzypczuk J., *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy*, ss. 322
- t. XI, 1998, Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., *Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie*, ss. 258
- t. XII, 1999, Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wągrowaska M., Błażek E., Skrzypczuk J., *Ocieplenia i ochłodzenia klimatu miast w Europie*, ss. 255
- t. XIII, 1999, Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., *Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie*, ss. 283
- t. XIV, 2000, Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Lorenc H., Kicińska B., Błażek E., Skrzypczuk J., *Prognozy zmian klimatu Warszawy*, ss. 209
- t. XVI, 2001, Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Grabowska K., Błażek E., Skrzypczuk J., *Prognozy zmian klimatu Polski*, ss. 212
- t. XVII, 2003, Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Kirschenstein M., Błażek E., Skrzypczuk J., *Mroźne zimy i upalne lata w Polsce*, ss. 297
- t. XVIII, 2004, Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J., *Groźne zjawiska pogodowe w Polsce*, ss. 217
- t. XIX, 2005, Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Pietras K., Bijak S., Błażek E., Skrzypczuk J., *Cechy termiczne klimatu Europy*, ss. 184
- t. XX-XXI, 2007, Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Bijak Sz., Cebulski R., Błażek E., Skrzypczuk J., *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych*, ss. 266
- t. XXII, 2008, Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., *Wpływ zabudowy i zieleni osiedlowej na zróżnicowanie klimatu lokalnego w Warszawie*, ss. 332
- t. XXIII, 2009, Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., *Klimat Warszawy i innych miast Polski. Studia porównawcze*, ss. 383
- t. XXIV, 2010, Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., *Klimat Warszawy i miejscowości strefy podmiejskiej*, ss. 333
- t. XXV, 2010, Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., *Zmiany klimatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku*, ss. 417

- Bernes C., 2003 *A Warmer World. The Greenhouse Effect and Climate Change*, Monitor 18, Swedish Enviromental Protection Agency, SWE CLIM
- Błażejczyk K., 2002, *Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej*, Dokumentacja Geograficzna nr 26, PAN IGiPZ, Warszawa
- Boryczka J., 1998, *Zmiany klimatu Ziemi*, Wyd. Akademickie DIALOG, Warszawa
- Boryczka J., 1964, *Zależność klimatycznego wskaźnika turbulencyjnego od wysokości przy różnym stopniu zachmurzenia*, Przegląd Geofizyczny, t. IX, z. 3-4
- Boryczka J., Okołowicz W., 1964, *Turbulencyjne rozprzestrzenianie się pyłów i innych zanieczyszczeń powietrza w różnych porach roku w zależności od charakteru podłoża ze szczególnym uwzględnieniem warunków miejskich*, Przegląd Geofizyczny, t. IX, z. 2
- Boryczka J., 1966, *Próba klasyfikacji warunków miejskich dla celów klimatologicznych*, Przegląd Geograficzny, t. XXXVIII, z. 1
- Boryczka J. 1968, *Turbulencyjna transformacja pyłu i gazów w atmosferze ziemskiej i jej zależność od parametrów klimatologicznych*, maszynopis pracy doktorskiej wykonanej w Zakładzie Klimatologii UW
- Boryczka J., 1973, *Turbulencyjna transformacja pyłu i gazów w atmosferze ziemskiej i jej zależność od parametrów klimatologicznych* (skrót pracy doktorskiej), Dokumentacja Geograficzna, z. 6
- Boryczka J. 1992, *Naturalny i antropogeniczny trend temperatury i opadów w Warszawie*, Prace i Studia Geograficzne, t. 11
- Boryczka J., 2001, *Zmiany klimatu Warszawy w XVIII-XX wieku i ich prognozy*, Prace Geograficzne IG PAN nr 180
- Boryczka J., Mucha B., Stopa-Boryczka M., Wawer J., 2006, *The influence of the North Atlantic Oscillations (NAO) on the climate of Warsaw and Lviv*, Miscellanea Geographica, t. 12
- Climatological Normals (CLINO) for Climate and Climate Ship Stations for the Period 1931-1960*, 1962, 1971, WMO, TP 117
- Degirmendzić J., Kozuchowski K., Żmudzka E., 2002, *Uwarunkowania cyrkulacyjne zmienności temperatury powietrza w Polsce w okresie 1951-2000*, Przegląd Geofizyczny, nr 1-2
- Ekofizjograficzne podstawy kształtowania Środowiska osiedla w Białoleśce Dworskiej*, 1979, Opracowanie dla Instytutu Kształtowania Środowiska w Warszawie (temat rządowy PR-5 pt.: *Charakterystyka i ocena warunków klimatycznych Białoleśki Dworskiej oraz określenie wpływu zabudowy na ich zmiany*, autorzy: M. Stopa-Boryczka, M. Kopcz-Lembowicz, A. Górka, E. Ryczywolska, J. Boryczka, J. Wawer
- Flohn H., 1985, *Climatic prospects in the cane of extended CO₂ – induced warming*, Meteor. Zeit., H. 1
- Fortuniak K., 2003, *Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne. Studia eksperymentalne. Modele numeryczne i statystyczne*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź
- Gorczyński W., 1911, *O zmienności opadu wg obserwacji warszawskich od 1803 r.*, Warszawa

- Gorczyński W., Wierzbicka W., 1915, *O wartościach średnich zachmurzenia w Polsce*, Warszawa
- Gorczyński W., Kosińska S., 1916, *O temperaturze powietrza w Polsce*, Warszawa
- Gumiński R., 1950, *Ważniejsze elementy klimatu rolniczego Polski Południowo-Wschodniej*, Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej, t. III, z. 1, Warszawa
- Grabowska K. 2002, *Burze w Polsce i ich uwarunkowania (1951-1990)*(maszynopis rozprawy doktorskiej), Warszawa
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC-1990, IPCC-1995, IPCC-2001, IPCC-2007, WMO*
- Jastrzębowski W., 1828, *Karta meteorograficzna stolicy Królestwa Polskiego obraz głównych dostrzeżeń w Warszawie 1803-1828*, Warszawa
- Jastrzębowski W., 1829, *Wypadki dostrzeżeń meteorologicznych czynionych w Warszawie blisko pół wieku tj. od 1779 do 1828 r. włącznie przez księdza Bystrzyckiego, Antoniego Magiera i innych*, Warszawa
- Jatczak K., 2004, *Wpływ warunków pogodowych na wzrost stężenia ozonu w śródmieściu Warszawy (1996-2000)*, Praca magisterska wykonana w Zakładzie Klimatologii WGiSR UW
- Kaczorowska Z., 1962, *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*, Prace Geograficzne IG PAN, z. 33, Warszawa
- Kaczorowska Z., 1967, *Opady Wielkiej Warszawy i jej okolic w okresie 1956-1960*, Przegląd Geofizyczny, t. 12, z. 3-4
- Kicińska B., 1999, *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na stężenie dwutlenku siarki w powietrzu w Polsce*, (maszynopis rozprawy doktorskiej wykonanej w Zakładzie Klimatologii UW), Warszawa
- Kicińska B., 2000, *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na stężenie dwutlenku siarki w powietrzu w Polsce*, Miscellanea Geographica, t. 9, (skróć pracy doktorskiej)
- Kicińska B, Wawer J. 2005, *Urban climate 8. Weather and air conditions, w: Urban Sprawl Warsaw Weather and air conditions, Urban Sprawl Warsaw Agglomeration case study* (red. M. Gutry-Korycka), Wyd. WGSR
- Klimat Wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007*, red. K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski, 2008, Materiały Zakładu Klimatologii WGiSR UW na XII Piknik Naukowy Radia BIS. WGiSRWGiSR UW
- Kłysik K., Fortuniak K., 1999, *Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Lodz, Poland*. Atmos. Environ., 33, 3885-3895
- Kłysik K., Wibig J., Fortuniak K. (red.), 2008, *Klimat i bioklimat miast*, Wyd. UŁ, Łódź
- Kossowska U., 1971, *Osobliwości klimatu wielkomiejskiego na przykładzie Warszawy*, maszynopis pracy doktorskiej wykonanej w Zakładzie Klimatologii
- Kossowska U., 1973, *Przebieg roczny temperatury powietrza w Warszawie w różnych okresach obserwacyjnych*, Prace i Studia IG UW, Klimatologia, z. 7
- Kossowska-Cezak U., 1973, *Osobliwości klimatu wielkomiejskiego na przykładzie Warszawy*, Prace i Studia IG UW nr 12, Klimatologia nr 7, s. 141-185
- Kossowska-Cezak U., 1976, *Zmiany roczne różnic temperatury powietrza między śródmieściem a peryferiami Warszawy*, Prace i Studia IG UW, Klimatologia, z. 8

- Kossowska-Cezak U., 1977, *Warunki termiczne Warszawy*, Prace i Studia IG UW, Klimatologia, z. 9
- Kossowska-Cezak U., 1978, *Próba określenia wpływu zabudowy miejskiej na wielkość zachmurzenia (na przykładzie Warszawy)*, Prace i Studia IG UW, Klimatologia, z. 10
- Kossowska-Cezak U., 1995, *Lato w Polsce na tle sezonów letnich ostatnich 120 lat*, Materiały konferencji „Klimat i bioklimat miast”. Wyd. UŁ
- Kossowska-Cezak U., 1996, *Monthly thermal and precipitation anomalies in Warsaw and their causes*, Miscellanea Geographica, t. 7
- Kossowska-Cezak U., 1998, *Wpływ rozwoju terytorialnego Warszawy na warunki termiczne*, Acta Universitatis Lodzianensis, Folia Geographica Physica, 3
- Kossowska-Cezak U., 2000, *The differences of temperature between the peripheries of Warsaw in years 1933-1998*, Miscellanea Geographica, t. 9
- Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2001, *Wkład Zakładu Klimatologii w badania klimatu Warszawy*, w: *50 lat działalności naukowej i dydaktycznej Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego (1951-2000)*, Prace i Studia Geograficzne, t. 28
- Kossowska-Cezak U., 2002, *Anomalous months and seasons in terms of temperature and precipitation in the second half of the 20th century in Warsaw*, Miscellanea Geographica, t. 10
- Kossowska-Cezak U., 2002, *Zmiany różnicy temperatury powietrza między śródmieściem a peryferiami Warszawy od 1933 do 2000 roku*, Przegląd Geofizyczny, t. 47, nr 3-4
- Kossowska-Cezak U., 2003a, *Uwarunkowania cyrkulacyjne dużych zmian temperatury z dnia na dzień w Warszawie*, [w:] *Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych*, Prace Geograficzne, nr 188
- Kossowska-Cezak U., 2003b, *Współczesne ocieplenie a liczba dni charakterystycznych*, Balneologia Polska, t. 45, nr 1-2
- Kossowska-Cezak U., 2004, *Contemporary warming and daily values of temperature (on example of Warsaw)*, Miscellanea Geographica, t. 11
- Kossowska-Cezak U., 2005, *Zmiany termicznych pór roku w Warszawie w okresie 1933-2004*, Przegląd Geofizyczny, t. 50, nr 3-4
- Kossowska-Cezak U., 2009, *Warunki termiczne i opadowe w Warszawie w świetle serii obserwacyjnej z Okęcia (1947-2008)*, Zeszyty Naukowe Szkoły Wyższej Przyrodniczo-Humanistycznej w Warszawie, Seria Geograficzno-Turystyczna, nr 2
- Kozłowska –Szczęsna T., Podogrocki J., 1995, *Antropogeniczne zmiany warunków radiacyjnych w Warszawie*, w: Kłysik K., (red.), *Klimat i bioklimat miast*, Łódź
- Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1996, *Atlas Warszawy*, z. 4, Środowisko fizycznogeograficzne – niektóre zagadnienia
- Kozłowska –Szczęsna T., Krawczyk B., Błażejczyk K., 2001, *Charakterystyczne cechy klimatu Warszawy*, w: *Badania środowiska fizycznogeograficznego aglomeracji warszawskiej*, Prace Geograficzne IGiPZ PAN nr 180
- Kożuchowski K., 1992, *Klimat termiczny Warszawy na podstawie pomiarów od 1979 r.*, Przegląd Geofizyczny, t. 64, nr 1-2

- Kuchcik M., 2000, *Wpływ warunków aerosanitarnych i biometeorologicznych na zgony mieszkańców Warszawy* (maszynopis maszynopis rozprawy doktorskiej wykonanej w Zakładzie Klimatologii UW)
- Kuchcik M., 2001, *Wpływ warunków aerosanitarnych i biometeorologicznych na zgony mieszkańców Warszawy*, Prace i Studia Geograficzne, t. 28 (skrót pracy doktorskiej)
- Lewińska J., Zgud K., Baścik J., Bartosik J., Czerwieńiec M., 1982, *Wpływ miasta na klimat lokalny*. IKS
- Lorenc H., 1978, *Opady ulewne i nawałne na obszarze Warszawy*, Przegląd Geofizyczny, z. 4
- Lorenc H., 1991, *Wpływ urbanizacji Warszawy na zmienność opadów atmosferycznych*, Wiadomości IMGW, nr 1-4
- Lorenc H., 1994, *Symptomy zmian klimatu w strefach ograniczonych wpływów antropogenicznych*, Mat. Bad. IMGW, Meteorologia, 19
- Lorenc H., 2000, *Studia nad 202-letnią (1779-1998) serią temperatury powietrza w Warszawie oraz ocena jej wiekowych tendencji*, Mat. Bad. IMGW, Meteorologia, 31
- Lorenc H., Mazur A., 2003, *Współczesne problemy klimatu Warszawy*, IMGW, Warszawa
- Lipska A., 1986, *Instrumentalne obserwacje meteorologiczne w Warszawie*, „Przegląd Geofizyczny”, t. 31, z. 1
- Malcher J., Schönwiese Ch., 1987, *Homogeneity, spatial correlation and spectral variance analysis of long European and North American air temperature records*, Theor. Appl. Climat., 38
- Merecki R., 1914, *Klimatologia ziem polskich*, Warszawa
- Michalska A., 1998, *Długookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Polsce*, (maszynopis rozprawy doktorskiej wykonanej w Zakładzie Klimatologii UW)
- Michalska A., 1997, *Długookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Polsce*, „Prace i Studia Geograficzne”, t. 20 (skrót pracy doktorskiej)
- Okołowicz W., 1962, *Zachmurzenie Polski*, Prace Geograficzne IG PAN, z. 34, Warszawa
- Oke T. R., 1995, *Boundary layer climates*, Methuen, London
- Olszewski K., 2003, *Klimat Mazowsza*, Richling A. (red.), *Przyroda Mazowsza i jej antropogeniczne przekształcenia*, Wyd. Wyższej Szkoły Humanistycznej w Pułtusk, Pułtusk
- Olfé D. B., Lee R. L., 1971, *Linearized calculations of urban heat island convection effects*, J. Atmos. Sci., 28, 1374-1388
- Paszyński J., Niedźwiedz T., 1991, *Klimat*, [W:] Starkel L. (red.), *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*, PWN Warszawa
- Prace i Studia IG UW, seria Klimatologia, z. 1. (1964), z. 4. (1970), z. 5. 1970), z. 7. (1973), z. 9. (1977), z. 10. (1978), z. 11. (1978), Wyd. UW
- Prace i Studia Geograficzne, t. 11. (1992), t. 20. (1997), t. 47. (2011), Wyd. UW
- Rojecki A., 1956, *O najdawniejszych obserwacjach meteorologicznych na ziemiach Polski*, Przegląd Geofizyczny, R. I, z. 3-4
- Rojecki A., 1968, *O obserwacjach meteorologicznych w Warszawie w wieku XVII-XIX*, Przegląd Geofizyczny, t. XIII, z. 1

- Schönwiese Ch. D., Rapp J., Fuchs T., Denhard M., 1993, *Klimatrend-Atlas Europa 1891-1990*, Berichte des Zentrums Für Umweltforschung, Nr 20, Frankfurt am Main
- Stopa M., 1962, *Burze w Polsce*, Prace Geograficzne IG PAN, z. 34, Warszawa
- Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Boryczka J., Ryczywolska E., 1980, *Zasady sporządzania i wykorzystania dokumentacji klimatologicznej na potrzeby projektowania osiedli mieszkaniowych*, Opracowanie w ramach tematu rządowego PR-5 dla Instytutu Kształtowania Środowiska w Warszawie
- Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Ryczywolska E., 1980, *Wpływ zabudowy na zróżnicowanie warunków mikroklimatycznych osiedli mieszkaniowych*, Opracowanie dla Instytutu Kształtowania Środowiska w Warszawie
- Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Boryczka J., Ryczywolska E., Górka A., 1982, *Ocena klimatu lokalnego do projektu osiedla w Białoleęce Dworskiej*, Człowiek i Środowisko, t. 6, z. 3-4
- Stopa-Boryczka M., J. Boryczka., 1984, *The multiperiodical changes of air temperature in Warsaw*, Miscellanea Geographica, t. 1
- Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Kossowska-Cezak U., Ryczywolska E., Wawer J., 1984, *Badania wpływu zabudowy na klimat lokalny w Warszawie*, Materiały I Ogólnopolskiej Konferencji „Klimat i bioklimat miast”, Łódź
- Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Kossowska-Cezak U., Mierzwiński B., Wawer J., 1986, *Deformacja pól elementów meteorologicznych pod wpływem zabudowy*, Materiały I Sesji naukowej INFG, Warszawa
- Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Kossowska-Cezak U., Mierzwiński B., Wawer J., 1986, *Deformation of fields of meteorological elements under the influence of buildings*, Miscellanea Geographica, t. 2
- Stopa-Boryczka M., 1988, *Air temperature field deformation under the influence of build-up area in Warsaw*, Miscellanea Geographica, t. 3
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1989, *Wpływ czynników antropogenicznych na klimat lokalny Warszawy*, Acta Universitatis Carolinae, Geographica, XXIV 2
- Stopa-Boryczka M., 1992, *Z badań klimatu Warszawy Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego*, Prace i Studia Geograficzne, t. 11
- Stopa-Boryczka M., 1992, *Deformacja pól zmiennych meteorologicznych przez zabudowę w Warszawie*, Prace i Studia Geograficzne, t. 11
- Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Błażek E., Kicińska B., Żmudzka E., 1995, *Antropogeniczne zmiany temperatury powietrza w Warszawie – pozytywne i negatywne skutki*, Materiały II Konferencji „Klimat i bioklimat miast”, Łódź
- Stopa-Boryczka M., 1998, *On thermal characteristic analysis of city climates*, Miscellanea Geographica, t. 8
- Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Wawer J., 2001, *Klimat Warszawy w pracach Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego*, Prace Geograficzne IGiPZ PAN nr 180
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2001, *Klimat Polski w publikacjach Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego*, w: Prace i Studia Geograficzne, t. 28, *50 lat działalności naukowej i dydaktycznej Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii*

- i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego (1951-2000)*, Wyd. WGSR UW, Warszawa. WGSR UW
- Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Wawer J., 2002, *The climate of Warsaw in the research conducted At the Department of Climatology of Warsaw University*, Miscellanea Geographica t. 10
- Stopa-Boryczka M. (editor), 2003, *Studies on the climate of Warsaw*, Warsaw University Faculty of Geography and Regional Studies, Warsaw
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2005, *Klimat* [w]: (red.) Richling A., Ostaszewska K., *Geografia fizyczna Polski*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, s. 84-127
- Śmiałkowski J., 1991, *Klimat Polski na tle klimatu strefy umiarkowanej Półkuli Północnej*, Warszawa (praca magisterska w Zakładzie Klimatologii)
- Trepińska J., 1973, *Zmiany w przebiegu temperatury powietrza w Krakowie w XIX i XX wieku*, Przegl. Geofiz., z. 1-2
- Trepińska J., 1988, *Wieloletni przebieg ciśnienia i temperatury powietrza w Krakowie na tle ich zmienności w Europie*, Rozprawy Habilitacyjne UJ, 140, Kraków
- Twardosz R., 2005, *Zmienność silnych opadów śniegu w Krakowie (1863-2000)*, [w:] *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne* (red.: E. Bogdanowicz, U. Kossowska-Cezak, J. Szkutnicki), PTGeof, IMGW, Warszawa
- Wawer J., 1992, *Zależność różnic temperatury powietrza między miastem i otoczeniem od pory dnia*, Prace i Studia Geograficzne, t. 11
- Wawer J., 1995, *Wpływ warunków pogodowych na intensywność miejskiej wyspy ciepła w Warszawie*, [w:] K. Kłysik, red., *Klimat i bioklimat miast*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, s. 71-78
- Wawer J., 1996, *The rate of heating and cooling of fair in town and outside of it*, Miscellanea Geographica, t. 7
- Wawer J., 1997, *Częstość miejskiej wyspy ciepła w Warszawie*, Materiały III Ogólnopolskiej konferencji "Klimat i bioklimat miast", Łódź
- Wawer J. 1997, *Cechy termiczne klimatu lokalnego Warszawy*, „Prace i Studia Geograficzne”, t. 20, (skrót pracy doktorskiej, maszynopis – 1994)
- Wawer J., 1997, *Miejska wyspa ciepła w Warszawie*, Prace i Studia Geograficzne, t. 20, *Urban Sprawl. Warsaw Agglomeration, case study*, 2005, (red. M. Gutry-Korycka), Wyd. UW, Warszawa
- Wawer J., 1999, *Zależność miejskiej wyspy ciepła od cyrkulacji atmosferycznej*, Acta Universitatis Lodzensis, Folia Geographica Physica, 3
- Wawer J. Demendecki D., 2008, *Dom pasywny w klimacie Polski*, Klimat i bioklimat miast (red. K. Kłysik, J. Wibig, K. Fortuniak), Wyd. UŁ, Łódź
- Wiszniewski W., Gumiński R., Bartnicki L., 1949, *Przyczynki do klimatologii Polski*, Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej, t. I, z. 5
- Wpływ warunków pogodowych na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń na terenie Warszawy*, 1970, Maszynopis pracy wykonanej na zlecenie Biura Studiów i Projektów Inżynierii Miejskiej
- Zmiany klimatu i ich przyczyny. Hipotezy i fakty*, pod red. M. Stopy-Boryczki, J. Boryczki, 2002, Materiały Zakładu Klimatologii WGiSR UW na VI Piknik Naukowy Radia BIS. WGiSR UW

- Żmudzka E., 1997, *Cykliczne zmiany temperatury powietrza w Polsce* (maszynopis, 1998), *Prace i Studia Geograficzne*, t. 20, (skrót pracy doktorskiej)
- Żmudzka E., Kossowska-Cezak U., Dobrowolska M., 2003, *Circulation's Requirements of the Urban Heat Island Variations in Warsaw*, [w:] K. Kłysik, T. Oke, K. Fortuniak, S. Grimmond, J. Wibig (red.), *Proceedings*, t. 1., Fifth International Conference on Urban Climate, 1-5 IX 2003, Łódź, Poland, s. 163-166.163-166
- Żmudzka E., 2007, *Zmienność zachmurzenia nad Polską i jej uwarunkowania cyrkulacyjne (1951-2000)*. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa
- Żmudzka E., 2008, *Zmiany zachmurzenia w Warszawie w drugiej połowie XX wieku*, [w:] K. Kłysik, J. Wibig, K. Fortuniak, red., *Klimat i bioklimat miast*. Monografia, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Katedra Meteorologii i Klimatologii UŁ, Łódź, s. 165-177

Wykaz prac magisterskich Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego uwzględniających badania klimatu Mazowsza

1. Klimat Kotliny Warszawskiej i terenów przyległych położonych nad dolnym Bugiem i Narwią, cz. III. Stosunki opadowe (1963) – Elżbieta TCHÓRZEWSKA (opiekunowie naukowci: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA)
2. Zachmurzenie i wilgotność powietrza w województwie warszawskim w latach 1951-1960 (1968) – Maria KRUK (opiekunowie naukowci: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Maria STOPA)
3. Przyczynek do poznania klimatu Doliny Środkowej Wisły w okolicy Wyszogrodu, cz. II. Stosunki wilgotnościowe i anemometryczne (1970) – Barbara WIERZCHOWSKA (opiekunowie naukowci: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Maria STOPA-BORYCZKA)
4. Przyczynek do poznania klimatu Doliny Środkowej Wisły w okolicy Wyszogrodu, cz. I. Stosunki termiczne (1971) – Barbara WALCZAK (opiekunowie naukowci: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Maria STOPA-BORYCZKA)
5. Przyczynek do poznania klimatu Doliny Środkowej Wisły w okolicy Wyszogrodu, cz. III. Stosunki nefologiczne i opadowe (1971) – Jolanta RÓŻYCKA (opiekunowie naukowci: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Maria STOPA-BORYCZKA)
6. Zróżnicowanie warunków klimatycznych na terenie Makowa Mazowieckiego (na podstawie obserwacji z lipca 1972 i 1973 roku)(1974) – Katarzyna STAROSTA (opiekunowie naukowci: Witold LENART, Urszula KOSSOWSKA, Maria STOPA BORYCZKA)
7. Zróżnicowanie warunków bioklimatycznych na terenie Makowa Mazowieckiego (na podstawie obserwacji z lipca 1972 i 1973 roku)(1974) – Barbara GABRYL (opiekunowie naukowci: Wincenty OKOŁOWICZ, Maria KOPACZ)
8. Zróżnicowanie warunków termiczno-wilgotnościowych w Sierpcu (1976) – Danuta DANIELAK (opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Witold LENART)
9. Klimat Stołecznego Województwa Warszawskiego (1977) – Jolanta WAWER (opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA)
10. Klimat województwa Ostrołęckiego (1977) – Ewa JASŁOWSKA (opiekunowie: Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA)

11. Zróżnicowanie warunków bioklimatycznych na terenie Sierpca w miesiącach letnich (1977) –Monika ŻYROMSKA– STARZYK (opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)
12. Klimat województwa Siedleckiego (1977) – Małgorzata ROGOWIEC (opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Krzysztof OLSZEWSKI)
13. Klimat województwa Skierniewickiego (1977) – Jolanta MATUSIAK (opiekunowie: Maria STOPA-BORYCZKA, Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)
14. Zmiany roczne kierunku i prędkości wiatru w Kotlinie Warszawskiej (1978) – Aleksandra ŚLEZAK (opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Danuta MARTYN)
15. Klimat województwa Płockiego (1979) – Małgorzata DASZKIEWICZ (opiekunowie: Maria STOPA-BORYCZKA, Witold LENART)
16. Ogólna charakterystyka klimatu Płocka (1979) – Ryszard WÓJCIKOWSKI (opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)
17. Związki korelacyjne parametrów meteorologicznych w Płocku (1951–1965)(1979) – Helena SIEREDZIŃSKA (opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA)
18. Ogólna charakterystyka klimatu Radomia (1979) – Krystyna GÓRSKA(opiekun naukowcy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)
19. Wpływ wiatru na temperaturę powietrza w Płocku (1980) – Leszek ŁAPA (opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Witold LENART)
20. Wstępna charakterystyka klimatu lokalnego Mazowieckich Zakładów Petrochemicznych w Płocku (1980) – Marek KROŚKIEWICZ (opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Witold LENART)
21. Charakterystyka warunków odczuwalnych Płocka w cieplej porze roku (1980) – Anna OSET (opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)
22. Charakterystyka warunków odczuwalnych Płocka w półroczu chłodnym (1980) – Barbara BELI (opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)
23. Zależność temperatury i wilgotności powietrza od rodzaju upraw (1981) – Maria JARZYNA (opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA)
24. Ogólna charakterystyka klimatu Mławy (1951–1965)(1981) – Ireneusz PRUSINOWSKI (opiekun naukowcy: Danuta MARTYN)
25. Zmiany czasowo–przestrzenne pola opadów atmosferycznych w województwie płockim w latach 1951–1970 (1984) – Marianna KUBICKA (opiekun naukowcy: Maria STOPA-BORYCZKA)
26. Charakterystyka klimatu Siedlec (1986) – Grażyna DĄBROWSKA (opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA Urszula KOSSOWSKA-CEZAK, Jerzy BORYCZKA)
27. Zależność temperatury i wilgotności powietrza od rzeźby terenu na przykładzie okolic Płocka (1987) – Lidia ROMANIEC (opiekun naukowcy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)
28. Wpływ rzeźby i pokrycia terenu na warunki termiczne na przykładzie transektu położonego w okolicy Płocka (1987) – Maciej JAWOREK (opiekun naukowcy: Danuta MARTYN)

29. Cechy charakterystyczne klimatu lokalnego Płocka (1988) – Stefan NOWICKI (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)
30. Wpływ zabudowy na klimat lokalny Płocka (1988) – Eżbieta BŁAŻEK (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)
31. Wpływ warszawskiej skarpy wiślanej na warunki termiczno– wilgotnościowe(1990) – Beata WOLSZCZAK (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)
32. Bilans radiacyjny zlewni eksperymentalnej w Murzynowie (1990) – Janusz KOSIŃSKI (opiekun naukowy: Witold LENART)
33. Charakterystyka klimatu Kotliny Warszawskiej (1971-1980)(1991) – Anna SZTABOWSKA (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)
34. Charakterystyka klimatu Równiny Łowicko-Błońskiej w latach 1951–1965 (1992) – Beata NIEDŹWIEDŹ-GOSTOMSKA (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)
35. Charakterystyka klimatu Ostrołęki (1993) – Janina KURPIEWSKA (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)
36. Charakterystyka klimatu wysoczyzny Siedleckiej (1995) – Urszula MAKA (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)
37. Wpływ warunków atmosferycznych na wypadki drogowe w Radomiu (1995) – Magdalena ŚMIETANKA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)
38. Zmiany roczne promieniowania słonecznego na Mazowszu (1997) – Elżbieta BOGDAN (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)
39. Charakterystyka fizycznogeograficzna okolic Żelechowa ze szczególnym uwzględnieniem topoklimatu (2001) – Dariusz DOROBISZ (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)
40. Opady atmosferyczne na Wzniesieniach Mławskich i Równinie Raciąskiej (2000) – Andrzej BOJANOWSKI (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)
41. Zależność zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki od typów cyrkulacji atmosferycznej w Środkowej Polsce (2005) – Kamila PYŁKA (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)
42. Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Mazowsza (2006) – Magdalena NOWAKOWSKA(opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)
43. Klimat lotniska Sadków w Radomiu (2008) – Paweł PARZUCHOWSKI (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)
44. Cechy termiczne klimatu województwa mazowieckiego (2010) – Anna DZIOBAN (opiekun naukowy: Jolanta WAWER)
45. Zachmurzenie w Polsce i jego związek z typami cyrkulacji atmosferycznej (2010) – Magdalena PAWLAK (opiekun naukowy: Elwira ŻMUDZKA)

Wykaz prac dyplomowych uzupełniających

1. Tchórzewska B., 1954, Wahania wód gruntowych w zależności od opadów atmosferycznych na przykładzie dorzecza Świdra (opiekunowie naukowci: W. Okołowicz, Z. Kaczorowska)
2. Wieczorek J., 1954, *Klimat środkowego Mazowsza na przykładzie stacji Warszawa-Okęcie w przekroju 5-lecia 1947-1951* (opiekunowie naukowci: W. Okołowicz, Z. Kaczorowska)

3. Pietrukowicz M., 1958, *Opady śnieżne i szata śnieżna na obszarze Niziny Mazowiecko-Podlaskiej za okres 1951-1955* (opiekunowie naukowci: W. Okołowicz, Z. Kaczorowska)
4. Bułtowicz E., 1961, *Próba badania topoklimatów południowej części Lasku Bielańskiego* (opiekun naukowy: W. Okołowicz)
5. Fortini-Iwanowska J., 1961, *Próba badania topoklimatów północnej części Lasku Bielańskiego* (opiekun naukowy: W. Okołowicz)
6. Tomaszewska A., 1962, *Przebieg temperatur ekstremalnych w Warszawie w różnych masach powietrza w latach 1951-1960* (opiekun naukowy: W. Okołowicz)
7. Skibińska Z., 1963, *Klimat doliny środkowej Wisły, cz. I. Stosunki termiczne* (opiekunowie naukowci: W. Okołowicz, Z. Kaczorowska)
8. Gawin K., 1963, *Klimat Kotliny Warszawskiej i terenów przyległych położonych nad dolnym Bugiem i Narwią, cz. I. Temperatura* (opiekunowie naukowci: W. Okołowicz, Z. Kaczorowska)
9. Krauze I., 1963, *Klimat doliny środkowej Wisły na odcinku między ujściem Bzury i Drwęcy oraz obszarów do niej przyległych, cz. III. Zachmurzenie i stosunki wilgotnościowe* (opiekunowie naukowci: W. Okołowicz, Z. Kaczorowska)
10. Sztreker-Dratwiczka H., 1963, *Klimat doliny środkowej Wisły na odcinku między ujściem Bzury i Drwęcy oraz obszarów do niej przyległych, cz. II. Opad* (opiekunowie naukowci: W. Okołowicz, Z. Kaczorowska)
11. Przybylska G., 1965, *Kształtowanie się warunków wilgotnościowych (niedosyt wilgotności powietrza) w zależności od kierunków wiatru na stacjach: Toruń-Wrzosy, Płock-Radziwie, Warszawa-Okęcie, Mława w okresie 1956-1960* (opiekunowie naukowci: W. Okołowicz, Z. Kaczorowska)
12. Kołpak-Nowacka M., 1965, *Kształtowanie się temperatury zależnie od kierunku wiatru na przykładzie czterech wybranych stacji: Warszawa-Okęcie, Płock-Radziwie, Toruń-Wszosy, Mława w pięcioleciu 1956-1960* (opiekunowie naukowci: W. Okołowicz, Z. Kaczorowska)
13. Roycewicz-Nożewnik A., 1965, *Kształtowanie się zachmurzenia w zależności od kierunków wiatru na stacjach: Toruń-Wrzosy, Płock, Warszawa, Mława w okresie 1956-1960* (opiekunowie naukowci: W. Okołowicz, Z. Kaczorowska)
14. Podczaska-Garczarek Z., 1965, *Kształtowanie się opadów w zależności od kierunku i prędkości wiatru na przykładzie czterech wybranych stacji: Warszawa-Okęcie, Płock-Radziwie, Toruń-Wrzosy, Mława w pięcioleciu 1956-1960* (opiekunowie naukowci: W. Okołowicz, Z. Kaczorowska)
15. Tipelt-Wudarska B., 1976, *Charakterystyka kierunku i prędkości wiatru w dolinie środkowej Wisły na odcinku między ujściami Drwęcy i Bzury* (opiekun naukowy: M. Stopa-Boryczka)
16. Łęcka-Ulman H., 1978, *Klimat woj. ciechanowskiego* (opiekun naukowy: U. Kosowska-Cezak)
17. Góralska M., 1979, *Zmiany dobowe wilgotności powietrza w Murzynie* (opiekunowie naukowci: M. Stopa-Boryczka, W. Lenart)
18. Sadownik J., 1979, *Wahania dobowe temperatury na stacji w Murzynie w roku 1978* (opiekunowie naukowci: M. Stopa-Boryczka, W. Lenart)

19. Katana M., 1980, *Zależność dobowych zmian temperatury powietrza od pory roku i warunków pogodowych* (opiekun naukowy: M. Stopa-Boryczka)
20. Stefańczuk A., 1980, *Zależność dobowej amplitudy temperatury powietrza od innych parametrów meteorologicznych* (opiekunowie naukowcy: M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka)
21. Pietrzak O., 2003, *Częstość występowania burz w Siedlcach* (opiekun naukowy: M. Stopa-Boryczka)
22. Molendowska K., 2008, *Zróżnicowanie warunków termicznych w otoczeniu Jeziora Włocławskiego* (opiekun naukowy: B. Kicińska)*
23. Tekień J., 2009, *Topoklimaty we wschodniej części Puszczy Kampinoskiej* (opiekun naukowy: E. Żmudzka)*
24. Książek A., 2010, *Topoklimaty północnej części Równiny Garwolińskiej* (opiekun naukowy: E. Żmudzka)*

* Prace licencjackie