# ZMIANY KLIMATU WARSZAWY
# I INNYCH MIAST EUROPY W XVII-XXI WIEKU

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

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

## XXV. THE CHANGES OF CLIMATE IN WARSAW AND OTHER EUROPE CITIES IN 17TH-21TH CENTURIES

# atlas

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

**Warszawa 2010**

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

## XXV. ZMIANY KLIMATU WARSZAWY I INNYCH MIAST EUROPY W XVII-XXI WIEKU

# atlas

WSPÓŁZALEŻNOŚCI
PARAMETRÓW
METEOROLOGICZNYCH
I GEOGRAFICZNYCH
W POLSCE

Warszawa 2010

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 2010

ISBN 978-83-89502-29-2

Skład i łamanie
Magdalena Dobrowolska

Druk i oprawa: Zakład Graficzny UW

## SPIS TREŚCI


I. WPROWADZENIE ..... 7

II. MODELOWANIE NATURALNYCH I ANTROPOGENICZNYCH ZMIAN KLIMATU W ATLASIE WSPÓŁZALEŻNOŚCI PARAMETRÓW METEOROLOGICZNYCH I GEOGRAFICZNYCH W POLSCE (1974-2010) ..... 13

III. METODA J. BORYCZKI „SINUSOID REGRESJI" BADAŃ OKRESOWOŚCI ZMIENNYCH PRZYRODNICZYCH ..... 71

IV. OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU PÓŁNOCNEJ PÓŁKULI ZIEMI (NA PODSTAWIE WAHAŃ IZOTOPU TLENU $\delta^{18}O$ I DANYCH DENDROLOGICZNYCH) ..... 88

V. CYKLICZNE ZMIANY KLIMATU EUROPY W OSTATNIM TYSIĄCLECIU WEDŁUG CIĄGÓW DENDROLOGICZNYCH ..... 99

VI. PROBLEMY BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU* ..... 123

VII. WSPÓŁCZESNE ZMIANY KLIMATU MIAST EUROPY W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO ..... 131

7.1. Długookresowe zmiany klimatu miast Europy ..... 133

7.1.1. Wiekowe zmiany temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach 1659-1973 ..... 133

7.1.2. Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Alpach (XIX-XX wiek) ..... 145

7.1.3. Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Warszawie i Pradze w latach 1779-1976 ..... 156

7.1.4. Zmiany temperatury powietrza na helu w okresie 1851-1995 ..... 167

7.1.5. Wahania temperatury powietrza w Warszawie i Tallinie w latach 1779-2000* ..... 176

7.1.6. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Warszawy w XVIII-XX wieku ..... 183

7.1.7. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Moskwy w XVIII-XX wieku ..... 194

7.1.8. Długookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w XVIII-XX wieku ..... 204

7.2. Solarne i cyrkulacyjne uwarunkowania klimatu miast Europy ..... 213

7.2.1. Wpływ aktywności Słońca na okresowe zmiany cyrkulacji atmosferycznej w Europie ..... 213

7.2.2. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Paryżu w XIX-XX wieku ..... 229

7.2.3. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Polsce w XIX-XX wieku ..... 238

7.2.4. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX-XX wieku (na przykładzie Wrocławia i Marsylii) ..... 250
7.2.5. Rola Oscylacji Północnoatlantyckiej w kształtowaniu opadów atmosferycznych we Wrocławiu w XX wieku ..... 261
7.2.6. Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX i XX wieku i ich przyczyny ..... 272
7.2.7. Zmiany klimatu Szwecji według danych dendrologicznych ..... 289
VIII. WSPÓŁCZESNE ZMIANY KLIMATU W PUBLIKACJACH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO ..... 299
8.1. Ocieplenie klimatu miast Europy w XVII-XX wieku i jego przyczyny . 299
8.2. The influence of the north Atlantic Oscillations (NAO) on the climate of Warsaw and Lviv* ..... 307
8.3. Tendencje zmian klimatu Polski i Ukrainy w ostatnich stuleciach i ich przyczyny* ..... 312
X. ZMIANY KLIMATU WARSZAWY W XVIII-XXI WIEKU I ICH PRZYCZYNY ..... 321
X. ZMIANY WARUNKÓW TERMICZNYCH I OPADOWYCH W WARSZAWIE OKREŚLONE NA PODSTAWIE POWOJENNEJ SERII OBSERWACYJNEJ Z OKĘCIA (1947-2009) ..... 363
Changes of thermic and precipitation conditions in Warsaw described on the basis of the past-war observation series from Okęcie (1947-2009) .. 363
XI. ZAKOŃCZENIE ..... 387
XII. LITERATURA ..... 411

# I. WPROWADZENIE

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 meteorologiczny 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 szczegółowych 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 meteorologiczny 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 ($\varphi = 52{,}1^{\circ}$, $\lambda = 21{,}0°$, $H = 106$ m n. p. m) i Krakowa – miasta położonego w Kotlinie Podkarpackiej – Bramie Krakowskiej ($\varphi = 50{,}1°$, $\lambda = 20{,}0°$, $H = 206$ 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 liczba 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 trzydziestopięciolecia 1966-2000. Dotyczą one liczby dni z burzą, maksymalnych dobowych sum opadów atmosferycznych, częstości dobowych sum opadów $\geq 10$ 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 meteorologiczny 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.

Prezentowany XXV tom „*Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*" z wyodrębnionym tytułem *Zmiany* k*limatu 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 wciągu ostatnich 40 lat. Trzeci pt. „Badanie cykliczności zmiennych przyrodniczych metodą J. Boryczk „sinusoid regresji" przedstawia opis metody wyznaczania okresów wraz z przykładami zasto-

sowania programu autora. Czwarty pt. „*Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Północnej Półkuli Ziemi (na podstawie wahań izotopu tlenu $\delta^{18}O$ i danych dendrologicznych)*" przedstawia naturalne zmiany klimatu w różnych skalach czasowych wraz z prognozami na najbliższe stulecia na podstawie cyklicznych zmian zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}O$ i sum promieniowania słonecznego. Piąty „Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według ciągów dendrologicznych" – zawiera porównania cykli szerokości słoi drzew 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 (rozdz. 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 $\delta^{18}O$ 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 badan 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 Wolfa, 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 miasta na zróżnicowanie klimatu lokalnego na przykładzie Warszawy i okolic (t. XXII i t. XXIV).

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

Opublikowanie kolejnych części tej 25-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 37-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.

Autorzy składają także serdeczne podziękowanie inż. Magdalenie Grzędzie – studentce studiów magisterskich Wydziału Geologii UW za duży udział w opracowaniu prezentowanych skrótów prac magisterskich.

# II. MODELOWANIE NATURALNYCH I ANTROPOGENICZNYCH ZMIAN KLIMATU W ATLASIE WSPÓŁZALEŻNOŚCI PARAMETRÓW METEOROLOGICZNYCH I GEOGRAFICZNYCH W POLSCE (1974-2010)

Jerzy B O R Y C Z K A, Maria S T O P A - B O R Y C Z K A

*Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, którego kolejne tomy ukazują się w druku od 37 lat, można już traktować jako zakładową serię wydawniczą. Pierwszy tom opublikowano w roku 1974, dwudziesty piąty w 2010. Kolejne tomy *Atlasu* różnią się między sobą zarówno problematyką badań, jak też zastosowanymi oryginalnymi metodami statystycznych opracowań.

W ośmiu tomach *Atlasu* (I-V, VI, VIII, XIX) opisano empirycznymi wzorami pola elementów klimatologicznych w Polsce i Europie. Równania prostych, płaszczyzn, hiperpłaszczyzn i wielomianów regresji wyższych stopni względem współrzędnych położenia (szerokości i długości geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza) określają główne cechy pola temperatury, wilgotności powietrza, opadów itp. Modelowanie pól przede wszystkim wielomianami wyższych stopni względem współrzędnych geograficznych, które są jednocześnie czynnikami geograficznymi determinującymi klimat, okazały się dobrym narzędziem badań klimatu. Szczególną rolę odgrywa trzecia współrzędna położenia – wysokość nad poziomem morza, której wprowadzenie do wzorów empirycznych umożliwia z dużą dokładnością oszacowanie wartości temperatury, opadów tam, gdzie nigdy nie prowadzono pomiarów.

O działalności naukowej w zakresie zmian klimatu Polski i Europy, cykliczności, tendencji i prognoz w XXI wieku informują pozostałe tomy (VII, IX-XIX, XX/XXI) opublikowane w latach 1992, 1995-2007.

Prace identyfikujące przyczyny naturalnych ochłodzeń i ociepleń klimatu w XVII-XX wieku przyniosły postęp w badaniach klimatu Ziemi. Wykazanie analogicznej cykliczności domniemanych przyczyn zmian klimatu umożliwiło opracowanie prognoz klimatycznych Europy i Polski.

Poszczególne tomy *Atlasu* nawiązują do aktualnie rozwiązywanego problemu „Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Europy i Polski" z wyodrębnionymi tematami:

- Empiryczne modele przestrzennej i czasowej zmienności klimatu
- Cykliczne zmiany klimatu i ich przyczyny
- Tendencje wiekowe zmian klimatu
- Antropogeniczne zmiany klimatu
- Prognozy zmian klimatu w XXI wieku.

Istotnym ogniwem w badaniach naukowych i kształcenia klimatologów w zakresie wiekowych zmian klimatu są również prace magisterskie. Stanowią one oryginalne opracowania cząstkowe na podstawie krótkich, jak też najdłuższych serii pomiarów. Przykładem takiej współpracy pracowników Zakładu ze studentami są liczne prace magisterskie dotyczące temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie i Krakowie. Część tych wyników i obliczeń została włączona do tabel i wykresów opublikowanych

w XI i XII tomie *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* (Boryczka, Stopa-Boryczka, Błażek, Skrzypczuk 1998-1999).

Za wielką monografię klimatu Warszawy można uznać 150 prac magisterskich dotyczących poszczególnych elementów klimatu i ich przestrzennego zróżnicowania, z wyróżnieniem warunków termicznych, opublikowanych w kolejnych tomach: XXII-XXV Atlasu w latach 2008-2010.

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

## Charakterystyka materiałów źródłowych

Przed przystąpieniem do prezentacji kolejnych 25 tomów Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce, dokonano ogólnej oceny materiałów źródłowych oraz zastosowanych statystycznych metod badań i opracowań klimatologicznych.

Specyfika wydawniczej serii Atlasu uzasadnia wyeksponowanie na pierwszym miejscu strony graficznej. Aproksymacja pól zmiennych meteorologicznych w różnych okresach umożliwia prognozę klimatu w różnych skalach czasowych i przestrzennych. Najdłuższe serie pomiarów pozwoliły na określenie tendencji i prognozy przede wszystkim temperatury powietrza i opadów atmosferycznych. Należy podkreślić, że w całej serii Atlasu, najwięcej przykładów opracowań klimatologicznych pochodzi z drugiej połowy XX wieku.

**Materiały źródłowe (przedziały czasu)** na podstawie których opracowano mapy i wykresy zmiennych meteorologicznych oraz dendrologicznych podano w tabelach 1-8.

**Tabela 1.** Mapy podstawowych elementów meteorologicznych w Polsce i Europie

| Przedział czasu | Tom |
|---|---|
| 10-letni (1951-1960) | I, II, III, VI |
| 15-letni (1951-1965) | IV |
| 25-letni (1971-1995) | XV, XVI, XVII |
| 30-letni (1951-1980) | V |
| 30-letni (1930-1960) | VIII |
| 30-letni (1961-1990) | XIX |
| 45-letni (1951-1995) | XVII |

**Tabela 2.** Wykresy: zmian długookresowych temperatury powietrza w Polsce na tle Europy (XVII-XX w.) – Tom: VII, XI, XII, XIII, XIV

| Miasto | Przedział czasu | Liczba lat | Miasto | Przedział czasu | Liczba lat |
|---|---|---|---|---|---|
| Warszawa | 1779-1990 | 212 | Praga | 1771-1980 | 210 |
| Kraków | 1826-1990 | 165 | Zurych | 1864-1980 | 117 |
| Wrocław | 1851-1980 | 130 | Poczdam | 1893-1992 | 100 |
| Anglia | 1659-1973 | 315 | Colombo | 1869-1980 | 111 |
| Genewa | 1768-1980 | 213 | Spistbegen | 1912-1975 | 63 |

**Tabela 3.** Wykresy: zmian długookresowych temperatury powietrza w Europie (XVII-XX w.) – Tom: XVII, XIX, XX-XXI

| Miejscowość | Okres | $\varphi$ | $\lambda$ | $H$ |
|---|---|---|---|---|
| Akureyri | 1882-2002 | 65°41'N | 18°05'W | 27 |
| Anglia Środkowa | 1660-1973 | - | - | - |
| Ateny | 1858-2002 | 37°58'N | 23°43'E | 107 |
| Bazylea | 1755-1980 | 47°36'N | 7°36'E | 316 |
| Berlin | 1769-1990 | 52°28'N | 13°18'E | 58 |
| Budapeszt | 1780-1991 | 47°31'N | 19°02'E | 129 |
| Genewa | 1768-1980 | 46°15'N | 6°08'E | 416 |
| Greenwich | 1763-1969 | 51°30'N | 0°00 | |
| Innsbruck | 1777-2000 | 48°24'N | 17°09'E | 207 |
| Kijów | 1812-2000 | 50°24'N | 30°34'E | 167 |
| Kopenhaga | 1768-1991 | 55°37'N | 12°39'E | 5 |
| Kraków | 1827-1997 | 50°04'N | 19°57'E | 221 |
| Kremsnuenster | 1767-1981 | 48°00'N | 14°06'E | |
| Lwów | 1824-2002 | 49°49'N | 23°57'E | 323 |
| Marsylia | 1838-2002 | 43°27'N | 5°14'E | 36 |
| Mińsk | 1891-2002 | 53°56'N | 27°38'E | 231 |
| Monachium | 1781-1991 | 48°22'N | 11°48'E | 447 |
| Moskwa | 1779-2002 | 55°50'N | 37°37'E | 156 |
| Odessa | 1821-2002 | 46°26'N | 30°46'E | 42 |
| Oksford | 1828-1980 | 51°42'N | 1°12'E | 63 |
| Oslo | 1816-1991 | 59°57N | l0°43'E | 96 |
| Paryż | 1757-1995 | 48°58'N | 2°27'E | 65 |
| Poczdam | 1984-1992 | 52°23'N | 13°04'E | 100 |
| Praga | 1771-2002 | 50°06'N | 14°15'E | 365 |
| Ryga | 1795-1990 | 56°58'N | 24°03'E | 7 |
| Rzym | 1811-1991 | 41°48'N | 12°36'E | 46 |
| Saentis | 1883-1988 | 47°15'N | 9°21'E | 2500 |
| Sonnblick | 1921-1980 | 47°03'N | 12°57'E | 3109 |
| Stambul | 1839-2002 | 40°58'N | 29°05'E | 33 |
| Sztokholm | 1756-1994 | 59°34'N | 18°06'F | 44 |
| Tallin | 1779-2002 | 59°23'N | 24°35'E | 34 |
| Trondheim | 1761-1981 | 63°24'N | 0°30'E | 133 |
| Uppsala | 1739-1970 | 59°54'N | 17°36'E | |
| Vestmannaeyjar | 1884-1981 | 63°24'N | 20°17'E | 124 |
| Warszawa | 1779-1998 | 52°13'N | 21°02'E | 110 |
| Wiedeń | 1775-2002 | 48°15'N | 16°22'E | 200 |
| Wilno | 1777-2002 | 54°38'N | 25°06'E | 156 |
| Wrocław | 1792-2002 | 51°08'N | 16°59'E | 116 |
| Zagrzeb | 1862-2002 | 45°49'N | 15°59'E | 162 |
| Zurich | 1864-1980 | 47°23'N | 8°34'E | 569 |

**Tabela 4.** Zmiany długookresowe opadów atmosferycznych w Polsce (XIX-XX w.) – Tom: VI, IX, XIII, XIV

| Przedział czasu | Liczba lat | Miejscowość |
|---|---|---|
| 1813-1990 | 177 | Warszawa |
| 1850-1990 | 140 | Kraków |
| 1859-1980 | 121 | Wrocław |
| 1869-1980 | 111 | Colombo |
| 1894-1976 | 82 | Nauru |

**Tabela 5.** Rozmieszczenie badanych drzew w Europie w różnych przedziałach czasu

| Rodzaje drzew (miejsce) | Przedział czasu | Rodzaje drzew (miejsce) | Przedział czasu |
|---|---|---|---|
| **Sosna** | | Modrzew | |
| Pinus sylvestris | | Berchtesgaden (Niemcy) | 1339-1947 |
| Forfjorddalen (Norwegia) | 877-1994 | Les Merveilles 1 (Francja) | 1187-1974 |
| Karhunpesakivi (Finlandia) | 1398-1993 | Les Merveilles 2 (Francja) | 988-1974 |
| Kola (Rosja) | 1577-1997 | Obergurgl (Austria) | 1604-1972 |
| Muddas (Szwecja) | 1532-1972 | Pinega 1 (Rosja) | 1578-1990 |
| Pyaozera (Rosja) | 1546-1993 | **Jodła** | |
| Siete, Picos (Hiszpania) | 1527-1988 | Fodara Vedla (Włochy) | 1474-1990 |
| Vikran (Norwegia) | 1599-1992 | Prayo Magno (Włochy) | 1540-1973 |
| ***Pinus nigra*** | | Dąb | |
| Puerto Llano (Hiszpania) | 1585-1985 | ***Quercus robur*** | |
| Riscopal (Hiszpania) | 1523-1988 | Hamburg (Niemcy) | 1340-1967 |
| Tajo (Hiszpania) | 1610-1988 | ***Quercus petraea*** | |
| Torreton, (Hiszpania) | 1485-1988 | Ardeny (Belgia) | 1118-1986 |
| **Świerk** | | Bodensee (Holandia) | 1275-1986 |
| Falkenstein (Niemcy) | 1540-1995 | Bourgogne (Francja) | 681-1991 |
| Fodara Vedla (Włochy) | 1598-1990 | Franche-Comte (Francja) | 1294-1987 |
| Guadarrama 1 (Hiszpania) | 1726-1983 | Shanes Castle (Irlandia) | 1649-1992 |
| Guadarrama 4 (Hiszpania) | 1599-1984 | | |
| Stonnglandes (Norwegia) | 403-1997 | | |
| Zagradeniye (Grecja) | 1635-1979 | | |

**Tabela 6**. Rozmieszczenie dębów w Polsce

| Dąb | Przedział czasu | Dąb | Przedział czasu |
|---|---|---|---|
| Gdańsk | 1762-1985 | Poznań | 1836-1986 |
| Gołdap | 1871-1986 | Roztocze | 1872-1988 |
| Hajnówka | 1720-1984 | Suwałki | 1861-1986 |
| Koszalin | 1782-1986 | Toruń | 1713-1986 |
| Kraków | 1792-1985 | Warszawa | 1690-1984 |
| Pomorze wsch. | 996-1985 | Wolin | 1554-1986 |
| Pomorze wsch. 1 | 996-1500 | Wrocław | 1727-1986 |
| Pomorze wsch. 2 | 1500-1985 | | |

**Tabela 7.** Zmiany długookresowe aktywności Słońca (liczb Wolfa), stałej słonecznej i wskaźnika aktywności geomagnetycznej (XVII-XX w.)

| Przedział czasu | Liczba lat | Zmienne |
|---|---|---|
| 1700-1993 | 293 | Liczba Wolfa (średnie roczne) |
| 1749-1993 | 244 | Liczba Wolfa (średnie miesięczne) |
| 1884-1981 | 98 | Aktywność geomagnetyczna |

**Tabela 8.** Zmiany długookresowe cyrkulacji atmosferycznej wg klasyfikacji Wangenheima (wschodniej, zachodniej, południkowej), cyklonalnej i strefowej (wg klasyfikacji Osuchowskiej-Klein) oraz wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO)

| Przedział czasu | Liczba lat | Typy cyrkulacji |
|---|---|---|
| 1881-1976 | 95 | E, W, S – południkowa (Europa) |
| 1899-1984 | 85 | Cyklonalna, strefowa (Polska) |
| 1825-1997 | 173 | North Atlantic Oscillation (*NAO*) |

## Metody badań i opracowań statystycznych

- Aproksymacja pól elementów klimatologicznych równaniami prostych, płaszczyzn i hiperpłaszczyzn regresji oraz wielomianami regresji 4 stopnia trzech współrzędnych położenia ($\varphi$, $\lambda$, $H$)
- Cel: Określenie gradientów horyzontalnych (południkowych i równoleżnikowych) – miar oddziaływania Oceanu Atlantyckiego oraz hipsometrycznych – interpolacja wartości, tam gdzie nigdy nie były prowadzone pomiary
- Badania cykliczności zmiennych klimatologicznych metodą J. Boryczki „sinusoid regresji"
- Cel: Wykrycie składników deterministycznych w seriach pomiarowych oraz wykrycie naturalnych przyczyn wahań klimatu
- Tendencje (rosnące, malejące) wiekowych zmian elementów klimatologicznych określają współczynniki regresji względem czasu
- Trendy czasowe elementów klimatologicznych – jako wypadkowa interferencji sinusoidalnych cykli
- Wyodrębnienie składnika liniowego w seriach pomiarowych – jako miary antropogenicznych zmian klimatu
- Histogramy, dystrybuanty empiryczne
- Weryfikacja wzorów empirycznych z zastosowaniem znanych testów statystycznych: Fishera-Snedecora, t-Studenta, Chi-kwadrat i innych.

## Wyniki badań przedstawione graficznie

- Mapy izarytm: izokorekt i izogradientów
- Wykresy przebiegów rocznych średnich wartości i geograficznych gradientów elementów klimatycznych (południkowych, równoleżnikowych i hipsometrycznych)
- Profile: południkowy, równoleżnikowy i pionowy składowych gradientów pól temperatury powietrza i opadów atmosferycznych (wykresy prostych regresji i wielomianów 2 stopnia względem $\varphi$, $\lambda$, $H$)
- Wykresy prostych regresji względem czasu $t$ (tendencji wiekowych)

- Rozkłady prawdopodobieństwa – dystrybuanty empiryczne i teoretyczne
- Widma oscylacji zmiennych klimatologicznych i astronomicznych
- Wykresy trendów czasowych $y=f(t)$ wynikających z interferencji cykli zmiennych klimatologicznych (temperatury, opadów), aktywności Słońca, stałej słonecznej, *NAO* i innych
- Średnie konsekutywne 11-letnie wartości zmiennych klimatologicznych i astronomicznych.

Serię wydawniczą *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, liczącą 25 odrębnych tomów, charakteryzuje ogólna liczba stron 7423, w tym komentarz (tekst) zajmuje 2050 stron. Oryginalne mapy zajmują ok. 1434 stron, wykresy – 2182, tabele – 1777. Charakterystykę poszczególnych tomów podano w tabeli 9. Komentarz tekstowy systematycznie rośnie od 26 stron w tomie II do 200 – w tomie XXII. Najwięcej map zawiera tom IV, a w ogóle ich brak – w tomach VII, X, XII, XIII, XVIII, XX-XXI, XXII, XXIII, XXIV, XXV. Największą liczbą wykresów wyróżnia się tom VII – 347. Natomiast w tomach II i IV nie ma wykresów. Liczba tabel zdominowała tom II (259), a najmniej ich jest w tomie XVIII (tylko 6).

Kolejne tomy *Atlasu* mają w zasadzie charakter roczników, mimo że nie ukazywały się regularnie. Informują o tym daty wydania poszczególnych tomów: I – 1974, II – 1976, III – 1980, IV – 1986, V – 1989, VI – 1990, VII – 1992, VIII – 1994, IX – 1995, X – 1997, XI – 1998, XII – 1999, XIII – 1999, XIV – 2000, XV – 2001, XVI – 2002, XVII – 2003, XVIII – 2004, XIX – 2005 XX-XXI – 2007, XXII – 2008, XXIII – 2009, XXIV – 2010, XXV – 2010. Największy odstęp czasu między kolejnymi pozycjami wynosi 6 lat (między III i IV), a najmniejszy pół roku między datami wydania tomów XII i XIII w tym samym roku 1999 oraz XXIV i XXV – 2010. Kolejne tomy były wydawane średnio co 1-2 lata.

**Tabela 9.** Charakterystyka poszczególnych tomów Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce (1974-2010)

| Części | Liczba stron | Komentarz (tekst) | Mapy | Wykresy | Tabele | Części | Liczba stron | Komentarz (tekst) | Mapy | Wykresy | Tabele |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tom I | 276 | 35 | 162 | 27 | 52 | Tom XV | 249 | 71 | 52 | 106 | 20 |
| Tom II | 455 | 26 | 170 | 0 | 259 | Tom XVI | 212 | 59 | 112 | 24 | 17 |
| Tom III | 322 | 36 | 65 | 62 | 159 | Tom XVII | 297 | 70 | 85 | 120 | 22 |
| Tom IV | 510 | 32 | 341 | 0 | 137 | Tom XVIII | 217 | 65 | 0 | 146 | 6 |
| Tom V | 284 | 67 | 122 | 72 | 23 | Tom XIX | 184 | 59 | 14 | 96 | 15 |
| Tom VI | 334 | 82 | 129 | 37 | 86 | Tom XX-XXI | 226 | 90 | 0 | 102 | 34 |
| Tom VII | 439 | 82 | 0 | 347 | 10 | Tom XXII | 332 | 200 | 0 | 96 | 36 |
| Tom VIII | 406 | 64 | 166 | 47 | 129 | Tom XXIII | 383 | 198 | 0 | 94 | 91 |
| Tom IX | 322 | 83 | 6 | 205 | 28 | Tom XXIV | 333 | 173 | 0 | 74 | 86 |
| Tom X | 220 | 55 | 0 | 66 | 99 | Tom XXV | 417 | 211 | 0 | 115 | 89 |
| Tom XI | 258 | 52 | 2 | 76 | 128 | Razem | 7423 | 2010 | 1434 | 2188 | 1789 |
| Tom XII | 255 | 37 | 0 | 72 | 146 | | | | | | |
| Tom XIII | 283 | 90 | 0 | 106 | 87 | | | | | | |
| Tom XIV | 209 | 73 | 8 | 98 | 30 | | | | | | |

Promocji kolejnych tomów *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* w Przedmowach dokonali: Prof. Wincenty Okołowicz (tom I), Prof. Zdzisław Mikulski (tom III), Prof. Jerzy Kondracki (tomy II, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, pośrednio XII i XIII).

Profesor Jerzy Kondracki ustosunkował się do badań współczesnych zmian klimatu, prowadzonych w Zakładzie Klimatologii, przede wszystkim w przedmowie do XI tomu Atlasu następująco: Inicjatywa *Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego opracowania kolejnego XI tomu „Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce" z wyodrębnionym tytułem „Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie" zasługuje na uznanie. Zmiany klimatu należą do najważniejszych problemów badawczych integrujących nauki przyrodnicze, ze względu na przyszłość życia na Ziemi. Koncepcja samego tematu badań wynika z dotychczasowych prac autorów Atlasu. Nowością jest określenie wielookresowych zmian i tendencji wiekowej temperatury powietrza w Europie. Jest nią też wykazanie synchroniczności wahań temperatury powietrza, cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca. Treść opracowania nawiązuje do VII tomu Atlasu, opublikowanego w 1992 r., a dotyczącego wiekowych zmian klimatu Warszawy. Znaczącym postępem w badaniach jest identyfikacja przyczyn naturalnych zmian klimatu przedstawiona w obszernej monografii J. Boryczki (1993) „Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII i XXI wieku". W XI tomie Atlasu autorzy znacznie rozszerzyli zakres badań zmian klimatu na podstawie długich ciągów chronologicznych: temperatury powietrza z 8 miast europejskich (Warszawa, Kraków, Wrocław, Praga, Zurych, Genewa, Poczdam, Anglia Środkowa). Autorzy wnioskują o naturalnych przyczynach ocieplania klimatu w ostatnich dwóch stuleciach. Te coraz cieplejsze zimy w Europie (np. w Warszawie o 1°C/100 lat, Genewie o 0,5°C/100 lat) przypisują oni wzrostowi aktywności Słońca w latach 1779-1993 – o 15,3/100 lat i spadkowi aktywności wulkanicznej w latach 1680-1980 – rzadszym wybuchom wulkanów i mniejszej emisji pyłów wulkanicznych do atmosfery. W pracy oszacowano także zmienność temperatury powietrza w ostatnich dwóch stuleciach, wynikającą z czynników antropogenicznych. Antropogeniczny wzrost temperatury w Warszawie wynosi 0,10-0,15°C/100 lat. Jest on wynikiem głównie rozbudowy miasta i kształtowania miejskiej wyspy ciepła (większej akumulacji ciepła przez powierzchnie zabudowań o mniejszym albedo). W pracy dominują wyniki badań dotyczące cykliczności i tendencji temperatury powietrza, z wyodrębnieniem poszczególnych sezonów, półroczy i roku. Duże znaczenie poznawcze ma wykrycie cykli długich – kilkudziesięcioletnich i wiekowych, a nawet dwuwiekowych, wyznaczonych z dużą dokładnością. Prezentowany tom zawiera oryginalne wyniki badań dotyczące zmian klimatu. Rezultaty badań cykliczności zmian klimatu i jego tendencji wiekowych mogą być wykorzystane w naukach pokrewnych – w hydrologii, biologii, czy też geologii. Mogą one również być wykorzystane w niektórych działach gospodarki, np. w rolnictwie. Ważny jest też aspekt dydaktyczny – kształcenia absolwentów w zakresie nauk przyrodniczych i ochrony środowiska. Duże znaczenie mają prognozy naturalnych wahań klimatu pod wpływem czynników naturalnych (aktywności Słońca i wulkanów), obserwowanych od wielu tysięcy lat. Wiarygodne wydają się sondaże przyszłości (po rok 2100) otrzymane na podstawie długich ciągów pomiarów, które wskazują na naturalne ochłodzenie klimatu w XXI wieku. Można sądzić, że naturalne cykle klimatu obserwowane w holoce-*

*nie (stwierdzone również w XVIII-XX wieku) będą powtarzać się nadal i kształtować klimat Ziemi*.

Przedmowa prof. Jerzego Kondrackiego do tomu XI *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* jest jednocześnie promocją tomu XIII, gdyż stanowią one całość w zakresie cyklicznych zmian klimatu miast w Europie. Trzynasta część Atlasu jest syntezą dotychczasowych badań autorów cykliczności zmian: aktywności Słońca i stałej słonecznej, wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO), cyrkulacji atmosferycznej w Europie, temperatury powietrza w Europie, opadów atmosferycznych w Polsce, ciśnienia atmosferycznego i wartości ekstremalnych temperatury powietrza w Warszawie.

Kolejne dwa tomy *Atlasu*: XIV (2000) – pt. *Prognozy zmian klimatu Warszawy* i XV (2001) – *Prognozy zmian klimatu miast w Europie* można uznać za syntezę wcześniejszych wyników badań zmian klimatu i ich uwarunkowań w XVIII-XXI wieku. Postęp badań w zakresie naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu Europy stanowią Atlasy, opublikowane w pierwszej dekadzie XXI wieku: XVII (2003) – *Mroźne zimy i upalne lata w Polsce*, XX-XXI (2007) – *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych*, XXIII (20090) – *Klimat Warszawy i innych miast Polski*, *Studia porównawcze*.

Na podstawie istniejących ciągów chronologicznych: aktywności Słońca, Oscylacji Północnego Atlantyku (*NAO*), temperatury powietrza i opadów atmosferycznych wnioskuje się o naturalnych przyczynach wahań klimatu. Wnioskuje się również, że część postępującego ocieplenia wynika z przyczyn naturalnych, tj. wzrostu aktywności Słońca i spadku aktywności wulkanicznej w ostatnim stuleciu.

Prognozy temperatury powietrza w Europie na podstawie interferencji wykrytych cykli (składników deterministycznych serii pomiarowych) są dość wiarygodne. Występuje dobra zgodność zmian temperatury powietrza i wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (*NAO*) w latach 1700-2100. Można oczekiwać, że klimat Europy będzie nadal kształtowany zmianami cyrkulacji strefowej, skorelowanej z temperaturą wód Atlantyku Północnego (ze wskaźnikiem *NAO*). Należy też przypuszczać, że nie zmieni się cykliczność aktywności Słońca (stałej słonecznej) w XXI wieku i jej wpływ na klimat Ziemi.

**Tom I – *Związki korelacyjne między elementami meteorologicznymi i czynnikami geograficznymi w Polsce* (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1974), ss. 276 (brak podtytułu na okładce).**

Praca zawiera mapy izarytm podstawowych elementów meteorologicznych (półrocze chłodne i ciepłe, rok). Pola poszczególnych zmiennych (tab. 1) opisano równaniami prostych, płaszczyzn i hiperpłaszczyzn regresji wraz z ocenami dokładności aproksymacji i wartościami błędów standardowych. Opracowano je na podstawie wyników pomiarów z 60 stacji meteorologicznych (synoptycznych) Państwowego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego z lat 1951-1960 (tab. 10).

Współczynniki regresji cząstkowej w równaniach wskazują wpływ szerokości geograficznej, długości i wysokości nad poziomem morza na temperaturę powietrza, opady atmosferyczne itp. Równania hiperpłaszczyzn regresji względem trzech współrzędnych położenia $\varphi$, $\lambda$, $H$ można wykorzystać w interpolacji pól zmiennych meteorologicznych.

Współzależność zmiennych meteorologicznych na obszarze Polski charakteryzują izokorelaty na zamieszczonych mapach.

We wstępie przedstawiono odpowiednie wzory, na podstawie których wyznaczono równania aproksymujące pola zmiennych i obliczono miary dokładności.

Tom I rozpoczyna przedmowa prof. Wincentego Okołowicza z czerwca 1973 r., zawierająca wysoką ocenę rozwiązywanych problemów.

W tym tomie podano część wyników z wcześniej wykonanych prac autorów *Cechy termiczne klimatu Polski* (Stopa-Boryczka, 1973) i *Empiryczne równania klimatu Polski* (Boryczka, 1974).

**Tabela 10.** Parametry meteorologiczne, ich symbole i jednostki

| Lp. | Symbole | Parametry meteorologiczne | Jednostki |
|---|---|---|---|
| 1. | $T$ | Temperatura powietrza | K |
| 2. | $A$ | Dobowa amplituda temperatury | °C |
| 3. | $T_{max}$ | Temperatura maksymalna | K |
| 4. | $T_{min}$ | Temperatura minimalna | K |
| 5. | $U$ | Energia wewnętrzna | cal/g |
| 6. | $H$ | Enthalpia | cal/g |
| 7. | $p$ | Ciśnienie atmosferyczne | hPa |
| 8. | $\Theta$ | Temperatura potencjalna | K |
| 9. | $\rho$ | Gęstość powietrza | kg/m$^3$ |
| 10. | $S$ | Entropia | J/gK |
| 11. | $e$ | Ciśnienie pary wodnej | hPa |
| 12. | $\rho'$ | Wilgotność bezwzględna | g/m$^3$ |
| 13. | $q$ | Wilgotność właściwa | g/kg |
| 14. | $f$ | Wilgotność względna | % |
| 15. | $\Delta$ | Niedosyt wilgotności | hPa |
| 16. | $\Theta_e$ | Temperatura ekwiwalentna | K |
| 17. | $v$ | Prędkość wiatru | m/s |
| 18. | $M$ | Poziomy strumień powietrza | kg/m$^2$s |
| 19. | $M'$ | Poziomy strumień pary wodnej | kg/m$^2$s |
| 20. | $N$ | Zachmurzenie | 1/10 |
| 21. | $O$ | Opady atmosferyczne | mm |
| 22. | $L_{\odot}$ | Dni pogodne | liczba dni |
| 23. | $L_{\bullet}$ | Dni pochmurne | liczba dni |
| 24. | $L_O$ | Dni z opadem | liczba dni |
| 25. | $L_m$ | Dni z mgłą | liczba dni |
| 26. | $L_v$ | Dni z wiatrem >10 m/s | liczba dni |
| 27. | $L_c$ | Dni z ciszą | liczba dni |

SPIS TREŚCI I

PRZEDMOWA

WSTĘP

I. ZALEŻNOŚĆ PARAMETRÓW METEOROLOGICZNYCH OD WSPÓŁRZĘDNYCH GEOGRAFICZNYCH NA OBSZARZE POLSKI
   1. Temperatura powietrza
   2. Dobowa amplituda temperatury powietrza
   3. Maksymalna temperatura powietrza
   4. Minimalna temperatura powietrza
   5. Energia wewnętrzna powietrza
   6. Enthalpia
   7. Ciśnienie atmosferyczne
   8. Temperatura potencjalna
   9. Gęstość powietrza
   10. Entropia
   11. Ciśnienie pary wodnej
   12. Wilgotność bezwzględna
   13. Wilgotność właściwa
   14. Wilgotność względna
   15. Niedosyt wilgotności
   16. Temperatura ekwiwalentna
   17. Prędkość wiatru
   18. Poziomy strumień powietrza
   19. Poziomy strumień pary wodnej
   20. Zachmurzenie
   21. Opad atmosferyczny
   22. Dni pogodne
   23. Dni pochmurne
   24. Dni z opadem
   25. Dni z mgłą
   26. Dni z wiatrem silnym
   27. Dni z ciszą

II. ZWIĄZKI KORELACYJNE MIĘDZY PARAMETRAMI METEOROLOGICZNYMI NA OBSZARZE POLSKI
   1. Temperatura powietrza i ciśnienie atmosferyczne
   2. Temperatura powietrza i prędkość wiatru
   3. Temperatura i wilgotność względna powietrza
   4. Temperatura i niedosyt wilgotności powietrza
   5. Temperatura powietrza i zachmurzenie
   6. Temperatura powietrza i opad
   7. Dobowa amplituda temperatury i ciśnienie atmosferyczne
   8. Dobowa amplituda temperatury i prędkość wiatru
   9. Dobowa amplituda temperatury i wilgotność względna
   10. Dobowa amplituda temperatury i niedosyt wilgotności
   11. Dobowa amplituda temperatury i zachmurzenie
   12. Dobowa amplituda temperatury i opad
   13. Wilgotność względna i niedosyt wilgotności powietrza
   14. Wilgotność względna powietrza i zachmurzenie
   15. Wilgotność względna powietrza i opad
   16. Niedosyt wilgotności powietrza i zachmurzenie
   17. Niedosyt wilgotności powietrza i opad
   18. Zachmurzenie i opad
   19. Ciśnienie atmosferyczne i prędkość wiatru

20. Ciśnienie atmosferyczne i wilgotność względna powietrza
21. Ciśnienie atmosferyczne i niedosyt wilgotności powietrza
22. Ciśnienie atmosferyczne i zachmurzenie
23. Ciśnienie atmosferyczne i opad
24. Prędkość wiatru i wilgotność względna powietrza
25. Prędkość wiatru i niedosyt wilgotności powietrza
26. Prędkość wiatru i zachmurzenie
27. Prędkość wiatru i opad
LITERATURA

**Tom II – *Zależność elementów meteorologicznych od czynników geograficznych w Polsce* (Stopa-Boryczka M, Boryczka J.), 1976, ss. 455 (brak podtytułu na okładce).**

Głównym celem pracy jest wyznaczenie geograficznych gradientów (poziomych – horyzontalnych i pionowych – hipsometrycznych) parametrów, określających stan atmosfery na obszarze Polski. W odróżnieniu od tomu I określono dokładniej zmiany roczne empirycznych równań, wyrażających rozkład elementów meteorologicznych na obszarze Polski. Zamiast półroczy (chłodnego i ciepłego) wyodrębniono poszczególne miesiące.

Zależność parametrów meteorologicznych od współrzędnych geograficznych wyrażono dodatkowo równaniami prostych, płaszczyzn i hiperpłaszczyzn głównych, wyznaczonych z warunku minimalizującego odległości (nie odchylenia) punktów empirycznych. Z tego też względu są one słuszne w podanych jednostkach (nie można zmieniać jednostek, tak jak np. w przypadku hiperpłaszczyzn regresji).

Za najważniejsze wyniki badań można uznać podane w „Zakończeniu" poziome i pionowe gradienty parametrów meteorologicznych względem szerokości geograficznej $\varphi$, długości $\lambda$ oraz wysokości nad poziomem morza $H$ wg równań prostych, płaszczyzn, a szczególnie hiperpłaszczyzn regresji (zestawione w tabelach).

Na początku tomu zamieszczona jest „Przedmowa" prof. Jerzego Kondrackiego z listopada 1974 r., podkreślająca zasadność tego rodzaju badań.

SPIS TREŚCI II

PRZEDMOWA
I. WSTĘP
II. GEOGRAFICZNE GRADIENTY PARAMETRÓW METEOROLOGICZNYCH I ICH ZMIANY ROCZNE
1. Temperatura powietrza
2. Maksymalna temperatura powietrza
3. Minimalna temperatura powietrza
4. Dobowa amplituda temperatury powietrza
5. Energia wewnętrzna powietrza
6. Entalpia
7. Ciśnienie atmosferyczne
8. Temperatura potencjalna
9. Gęstość powietrza
10. Entropia
11. Ciśnienie pary wodnej
12. Wilgotność bezwzględna
13. Wilgotność właściwa
14. Wilgotność względna
15. Niedosyt wilgotności

16. Temperatura ekwiwalentna
17. Prędkość wiatru
18. Poziomy strumień powietrza
19. Poziomy strumień pary wodnej
20. Zachmurzenie
21. Opad atmosferyczny
22. Dni z wiatrem silnym
23. Liczba cisz
24. Dni pogodne
25. Dni pochmurne
26. Dni z mgłą
27. Dni z opadem
28. Dni z burzą
29. Dni z gradem
30. Dni z opadem ≥10,0 mm

III. ZAKOŃCZENIE

**Tom III – *Geograficzne gradienty parametrów wilgotności powietrza w Polsce* (Stopa-Boryczka M., Boryczka J. 1980), ss. 322.**

Celem pracy jest określenie empirycznymi wzorami przestrzennego rozkładu różnych wskaźników wilgotności powietrza w Polsce (1951-1960). Dotyczy ona wyłącznie wilgotności powietrza: ciśnienia pary wodnej, wilgotności bezwzględnej (gęstości pary wodnej), wilgotności właściwej, niedosytu wilgotności i wilgotności względnej. Zależność parametrów wilgotności powietrza od współrzędnych geograficznych wyrażają równania prostych, płaszczyzn i hiperpłaszczyzn regresji. Współczynniki w tych równaniach – to gradienty poziome (południkowe i równoleżnikowe) oraz hipsometryczne – średnie na obszarze Polski. Pola poszczególnych wskaźników wilgotności powietrza scharakteryzowano również zamieszczając wykresy dystrybuant empirycznych i teoretycznych na siatce dystrybuant rozkładu normalnego. Wykresy dystrybuant empirycznych mają punkty przegięcia w pobliżu średnich arytmetycznych, co wskazuje na rozkład zbliżony do normalnego.

Prof. Zdzisław Mikulski w *Przedmowie* z kwietnia 1978 r. Stwierdza, że *jest to kompendium wiedzy o wilgotności powietrza w Polsce*. Stwierdza też, że mapy ilustrujące rozkład wilgotności bezwzględnej i właściwej powietrza na obszarze Polski w poszczególnych miesiącach mają istotne znaczenie np. dla celów rolnictwa, budownictwa i komunikacji.

SPIS TREŚCI III

PRZEDMOWA
I. WSTEP
II. ZALEŻNOŚĆ PARAMETRÓW WILGOTNOŚCI POWIETRZA OD WSPÓŁRZĘDNYCH GEOGRAFICZNYCH W POLSCE
1. Ciśnienie pary wodnej
2. Wilgotność bezwzględna
3. Wilgotność właściwa
4. Niedosyt wilgotności powietrza
5. Wilgotność względna
III. ZAKOŃCZENIE

**Tom IV – *Klimat północno-wschodniej Polski* (Stopa-Boryczka M., Martyn D., Boryczka J., Wawer J., Ryczywolska E., Kopacz-Lembowicz M., Kossowska-Cezak U., Lenart W., Danielak D., Styś K., 1986), ss. 510.**

W pracy określono wpływ czynników geograficznych na pole zmiennych meteorologicznych w północno-wschodniej Polsce. Zbadano zależność 80 zmiennych meteorologicznych i 19 fenologicznych od szerokości geograficznej $\varphi$, długości $\lambda$ i wysokości nad poziomem morza $H$.

Pola temperatury powietrza charakteryzują zmienne: średnia, minimalna, maksymalna, amplituda dobowa, roczna, daty początku i czas trwania termicznych pór roku, okres wegetacyjny, liczba dni z przymrozkami, okres bez przymrozków, liczba dni mroźnych, bardzo mroźnych i gorących.

Pole wilgotności powietrza opisują wskaźniki: ciśnienie pary wodnej, wilgotność względna i niedosyt wilgotności oraz pośrednio – parowanie wody z powierzchni gruntu.

Miarami intensywności poziomego ruchu powietrza są: średnia prędkość wiatru, liczba dni z wiatrem silnym, bardzo silnym i częstość cisz.

Z obiegiem wody w układzie Ziemia-atmosfera wiążą się: opad atmosferyczny (sumy zmierzone, sumy rzeczywiste, amplituda, maksymalne sumy dobowe, liczba dni z opadem powyżej progów 0,1; 1,0; 10,0 mm, liczba dni z burzą, liczba dni z pokrywą śnieżną i okres jej występowania) i zachmurzenie (średnie dobowe, liczba dni pogodnych i pochmurnych, liczba dni z mgłą).

Odrębną grupę zmiennych stanowią fazy fenologiczne niektórych roślin m.in. początek i koniec kwitnienia drzew owocowych, wschód i żniwa owsa, wschód i zbiór buraków cukrowych, fazy rozwoju łubinu żółtego, lnu, początek i koniec pierwszego pokosu traw.

Przestrzenne rozkłady tych zmiennych na obszarze północno-wschodniej Polski charakteryzują mapy izarytmiczne. Równania hiperpłaszczyzn regresji względem szerokości ($\varphi$) i długości ($\lambda$) geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza ($H$) określają gradienty horyzontalne (południkowy i równoleżnikowy), a także hipsometryczny na tym terenie. Gradienty poziome informują o zmianach w kierunkach północ-południe i wschód-zachód w północno-wschodniej Polsce. Natomiast gradienty hipsometryczne wyrażają spadki czy też wzrosty badanych zmiennych, wyrażone na 100 m wysokości nad poziomem morza. Okres badań obejmuje 15 lat (1951-1965), a liczba uwzględnionych stacji Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej waha się od 53 przy wilgotności powietrza do 293 punktów pomiarów opadu.

W przedmowie prof. J. Kondrackiego czytamy: *Ten bogaty materiał udokumentował specyfikę klimatu północno-wschodniego krańca Polski*, *wyrażającą się w wydłużonym okresie zimy i skróconym czasie trwania lata*, *w porównaniu z zachodnią i środkową częścią kraju*, *a także największymi rocznymi amplitudami temperatury powietrza*, *będącymi potwierdzeniem wzrastającego z zachodu na wschód kontynentalizmu klimatu. Zwrócono uwagę na zależność cech mezoklimatu od ukształtowania powierzchni i występowania zbiorników wodnych. Zasługuje też na uwagę próba regionalizacji klimatycznej metodą izogradientów*, *analogiczną do zastosowanej w swoim czasie przez Eugeniusza Romera*, *oraz liczbowa charakterystyka wydzielonych regionów.*

SPIS TREŚCI IV

PRZEDMOWA
I. WSTĘP
II. ROZKŁAD GEOGRAFICZNY ZMIENNYCH METEOROLOGICZNYCH – IZARYTMY I RÓWNANIA REGRESJI
1. Pole temperatury powietrza
2. Pole wilgotności powietrza
3. Zachmurzenie
4. Pole opadów atmosferycznych
5. Pole prędkości wiatru
6. Fenologia
III. ZAKOŃCZENIE
SUMMARY
LITERATURA

**Tom V – *Z badań klimatu Polski* (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E., 1989), ss. 284.**

Za syntezę badań w zakresie najistotniejszych cech klimatu Polski uwarunkowanych jej położeniem geograficznym i ukształtowaniem powierzchni można uznać tom V. Zawiera on wyniki badań zależności zmiennych meteorologicznych od szerokości i długości geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza. Miarami tej zależności są składowe gradientu pola: poziome – południkowe i równoleżnikowe oraz pionowy – hipsometryczny, określone równaniem hiperpłaszczyzny regresji względem $\varphi$, $\lambda$, $H$. Wyeliminowanie wpływu wysokości terenu na klimat pozwoliło określić strefowość pól zmiennych meteorologicznych i określić zakres dominującego oddziaływania Atlantyku i Bałtyku. Na przykład o przejściowości klimatu Polski świadczy między innymi zmiana znaku gradientu równoleżnikowego temperatury i wilgotności powietrza w ciągu roku z ujemnego zimą na dodatni latem.

Tendencje zmiennych meteorologicznych – średnich wartości i gradientów określono porównując dane z dziesięciolecia 1951-1960 i trzydziestolecia 1951-1980, a w przypadku temperatury i opadów w Warszawie z lat 1779-1979 i 1813-1980.

Średnie pola elementów meteorologicznych na obszarze Polski nie ulegają większym zmianom w czasie. Zarówno izarytmy, jak też gradienty horyzontalne i hipsometryczne w dziesięcioleciu i trzydziestoleciu są zbliżone.

Pola zmiennych meteorologicznych są najbardziej deformowane przez ukształtowanie powierzchni Polski – wysokość nad poziomem morza. Izarytmy układają się mniej więcej równolegle do łańcuchów górskich z malejącymi wartościami temperatury i wzrastającymi sumami opadów atmosferycznych ze wzrostem wysokości.

Z przedmowy do tego tomu prof. Jerzego Kondrackiego wyeksponować należy fragment dotyczący odniesienia uzyskanych wyników do danych z Półkuli Północnej: *Interesujące jest przedstawienie średnich wartości elementów meteorologicznych z obszaru Polski i składowej południkowej gradientów pól według równań hiperpłaszczyzn regresji na tle istniejących profili południkowych charakteryzujących strefową zmienność klimatu na półkuli północnej. Rozbieżność między danymi z Polski i tymi profilami wskazuje na specyfikę klimatu Polski w odniesieniu do strefy umiarkowanych szerokości geograficznych – równoleżnika* $\varphi = 52°$.

SPIS TREŚCI V

PRZEDMOWA
I. Z BADAŃ KLIMATU POLSKI ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO
II. ZMIANY ROCZNE PRZECIĘTNEGO STANU ATMOSFERY W POLSCE NA TLE STREF KLIMATYCZNYCH PÓŁKULI PÓŁNOCNEJ
1. Przebieg roczny zmiennych meteorologicznych
1.1. Promieniowanie i usłonecznienie rzeczywiste
1.2. Temperatura powietrza
1.3. Wilgotność powietrza
1.4. Zachmurzenie
1.5. Opad atmosferyczny
1.6. Ciśnienie atmosferyczne i gęstość powietrza
1.7. Prędkość wiatru
2. Zależność zmiennych meteorologicznych od szerokości geograficznej na półkuli północnej
III. TREND CZASOWY PÓL ZMIENYCH METEOROLOGICZNYCH W POLSCE
1. Przebieg roczny zmiennych meteorologicznych w dziesięcioleciu 1951-1960 na tle trzydziestolecia 1951-1980
2. Pola zmiennych meteorologicznych w Polsce w latach 1951-1960 i 1951-1980
2.1. Pole temperatury powietrza
2.2. Pola wilgotności powietrza
2.3. Pole zachmurzenia
2.4. Pole opadów atmosferycznych
2.5. Pole prędkości wiatru
3. Wiekowe zmiany temperatury powietrza w latach 1779-1980 i opadów atmosferycznych w latach 1813-1980 w Warszawie
IV. GEOGRAFICZNE GRADIENTY PÓL ZMIENNYCH METEOROLOGICZNYCH W POLSCE I INNYCH SZEROKOŚCIACH PÓŁKULI PÓŁNOCNEJ
1. Sinusoidy roczne gradientów południkowych, równoleżnikowych i hipsometrycznych zmiennych meteorologicznych w latach 1951-1960 i 1951-1980
2. Zależność gradientów południkowych zmiennych meteorologicznych od szerokości geograficznej na półkuli północnej
II. ZAKOŃCZENIE
SUMMARY
LITERATURA
Wykaz prac z zakresu klimatu Polski opublikowanych przez pracowników Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego w latach 1952-1987
Wykaz prac magisterskich dotyczących klimatu Polski wykonanych w Zakładzie Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego w latach 1952-1987

**Tom VI –** ***Wpływ Oceanu Atlantyckiego i ukształtowania powierzchni Ziemi na pole temperatury powietrza w Polsce*** **(Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E, 1990), ss. 334.**

Jednym z ważniejszych problemów klimatologii jest prognoza przestrzenno-czasowych zmian klimatu. Tematykę tą podjęto w szóstym tomie *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* poświęconemu deformacji pola temperatury powietrza przez Ocean Atlantycki i ukształtowanie powierzchni Ziemi.

Celem pracy jest określenie zakresu oddziaływania czynników geograficznych na klimat w każdym miejscu obszaru Polski. Wymagało to oddzielenia głównych składowych tego oddziaływania, tj. wyodrębnienia zmienności temperatury: południkowej – zdeterminowanej przez szerokość geograficzną (kąt padania promieni słonecznych, długość dnia),

równoleżnikowej – wywołanej cyrkulacją mas powietrza polarnego morskiego i kontynentalnego oraz hipsometrycznej – wynikającej z różnicy wysokości nad poziomem morza.

Zasadniczym modelem empirycznym symulującym przestrzenną zmienność temperatury powietrza w Polsce jest wielomian regresji (czwartego stopnia) względem współrzędnych położenia, tj.: szerokości i długości geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza. Opis w przestrzeni trójwymiarowej $\varphi$, $\lambda$, $H$, gdzie trzecią współrzędną jest wysokość n.p.m., jest główną zaletą proponowanego modelu empirycznego. Wprowadzenie do wielomianu regresji wysokości bezwzględnej ($H$) znacznie zwiększa dokładność modelu, ponieważ temperatura powietrza jest z nią silnie skorelowana. Na podstawie wielomianu regresji wyznaczono gradienty: południkowy, równoleżnikowy (zredukowane do poziomu morza) i hipsometryczne temperatury powietrza. Umożliwiło to sporządzenie 45 map izogradientów południkowych, równoleżnikowych i hipsometrycznych, które są nowością w literaturze klimatologicznej.

Istotne znaczenie poznawcze ma określenie pola (jej wyodrębnienie) przez rzeźbę terenu. Wyeliminowanie wpływu wysokości nad poziomem morza na temperaturę powietrza pozwoliło na wydzielenie stref dominującego oddziaływania Atlantyku i Bałtyku na klimat Polski.

Nowością są również mapy gradientów horyzontalnych temperatury powietrza (zredukowane do poziomu morza) przedstawionych w postaci wektorów. Ich odchylenia od miejscowych południków i długość są miarami oddziaływania mas powietrza polarnego morskiego i kontynentalnego. Izolinie ich azymutów wyodrębniają strefy różnego stopnia oddziaływania Atlantyku i Bałtyku na klimat Polski.

Zamiast romerowskich izoterm na poziomie morza (przy stałym spadku temperatury 0,5°C/100m) przedstawiono mapy izoterm spadków hipsometrycznych temperatury powietrza z zastosowaniem lokalnych gradientów hipsometrycznych – zmiennych na obszarze Polski.

Wielomian regresji (czwartego stopnia) względem $\varphi$, $\lambda$, $H$ wykorzystano także przy konstrukcji obiektywnych map izoterm w skali 1:1 000 000 do interpolacji wartości temperatury powietrza w miejscach, gdzie brak jest stacji meteorologicznych.

W przedmowie prof. Jerzy Kondracki stwierdza: *Należy podkreślić, że zastosowanie wielomianów regresji wyższych stopni jako narzędzia badań umożliwiło autorom Atlasu ilościowe określenie najistotniejszych cech klimatu Polski*.

SPIS TREŚCI VI

PRZEDMOWA
I. WSTĘP
II. METODY BADAŃ KLIMATU POLSKI WPROWADZONE PRZEZ ZAKŁAD KLIMATOLOGII UW
III. MATEMATYCZNY MODEL POLA TEMPERATURY POWIETRZA W POLSCE
    1. Aproksymacja pola temperatury powietrza wielomianami
    2. Profile horyzontalne i hipsometryczny temperatury powietrza
        a. Pole średnie temperatury
        b. Pole gradientu temperatury
IV. ZALEŻNOŚĆ POLA TEMPERATURY POWIETRZA W POLSCE OD POŁOŻENIA GEOGRAFICZNEGO I WYSOKOŚCI NAD POZIOMEM MORZA
    1. Gradienty południkowe temperatury powietrza w Polsce
    2. Gradienty równoleżnikowe temperatury powietrza w Polsce

3. Gradienty hipsometryczne temperatury powietrza w Polsce
4. Nowe mapy izoterm w Polsce – z zastosowaniem wielomianów *n*-stopnia
5. Wpływ czynników lokalnych na pole temperatury powietrza według reszt wielomianowych

V. ASTREFOWOŚĆ POLA TEMPERATURY POWIETRZA W POLSCE – ODDZIAŁYWANIE OCEANU ATLANTYCKIEGO I UKSZTAŁTOWANIA POWIERZCHNI ZIEMI
1. Gradient horyzontalny temperatury powietrza w Polsce
2. Gradient horyzontalny temperatury powietrza w Polsce na poziomie rzeczywistym
3. Deformacja pola temperatury powietrza przez rzeźbę terenu
4. Lokalne spadki hipsometryczne temperatury powietrza (poprawki redukcyjne)

VI. ZAKOŃCZENIE
LITERATURA
SUMMARY

**Tom VII – *Zmiany wiekowe klimatu Polski* (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kicińska B., Żmudzka E., 1992), ss. 439.**

Zmiany klimatu Ziemi i ich przyczyny są głównym problemem badań współczesnej klimatologii – objętym programem Światowej Organizacji Meteorologicznej. Temat ten podjęto w siódmym tomie *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*.

Głównym celem pracy jest określenie cyklicznych zmian i tendencji klimatu Polski na przykładzie Warszawy. Zbadano ciągi chronologiczne: aktywności Słońca (liczb Wolfa) – w latach 1749-1983, cyrkulacji atmosferycznej (wschodniej, zachodniej, południkowej) – w latach 1891-1976 wg klasyfikacji Wangenheima, temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1779-1979 i 1813-1980.

Zasadniczą część Atlasu stanowią wyniki badań cykliczności zmian klimatu z zastosowaniem oryginalnej metody wyznaczania widm i optymalnych okresów, wprowadzonej przez J. Boryczkę (1984).

Innym rozwiązywanym w Atlasie problemem jest modelowanie naturalnych wahań i antropogenicznych zmian klimatu. W serii pomiarowej temperatury powietrza w Warszawie wyodrębniono dwa składniki: naturalny i antropogeniczny. Składnik naturalny – to wypadkowa $f(t)$ interferencji cykli. Składnik antropogeniczny – to część liniowa $at$ trendu czasowego, gdzie współczynnik regresji cząstkowej $a > 0$ wskazuje tendencję rosnącą.

Istotne znaczenie poznawcze ma określenie przyczyn naturalnych wahań klimatu Polski. Ekstrapolując trendy czasowe – wynikające z interferencji cykli temperatury i opadów opracowano unikatowe (w krajowej i zagranicznej literaturze) prognozy zmian klimatu Warszawy w XXI wieku.

Według prof. J. Kondrackiego: *Praca ta stanowi znaczący wkład Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego w badania współczesnych zmian klimatu Ziemi i ich przyczyn*".

SPIS TREŚCI VII

PRZEDMOWA

I. WSTĘP

II. METODY BADAŃ ZMIAN KLIMTU WPROWADZONE PRZEZ ZAKŁAD KLIMATOLOGII UNWERSYTETU WARSZAWSKIEGO
1. Teoria analizy oscylacji i rzeczywistych okresów
2. Modelowanie naturalnych zmian klimatu
3. Modelowanie antropogenicznych zmian klimatu

III. CYKLICZNE ZMIANY AKTYWNOŚCI SŁOŃCA

1. Chronologiczny ciąg liczb Wolfa
2. Rzeczywiste cykle liczb Wolfa
3. Trend wiekowy aktywności Słońca

IV. ZMIANY OKRESOWE CYRKULACJI ATMOSERYCZNEJ
1. Cyrkulacja wschodnia
2. Cyrkulacja zachodnia
3. Cyrkulacja południkowa

V. TREND WIEKOWY TEMPERATURY POWIETRZA W POLSCE
1. Widma oscylacji temperatury powietrza
2. Naturalna i antropogeniczne zmiany temperatury powietrza
3. Prognoza temperatury powietrza w stuleciu XXI

VI. TREND WIEKOWY OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W POLSCE
1. Widma oscylacji opadów atmosferycznych
2. Naturalne i antropogeniczne zmiany opadów atmosferycznych
3. Prognoza opadów atmosferycznych w stuleciu XXI

VII. ZAKOŃCZENIE
SUMMARY
LITERATURA

**Tom VIII – *Cechy oceaniczne klimatu Europy* (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wągrowska M., Śmiałkowski J., 1994), ss. 406.**

Celem ósmego tomu *Atlasu* jest określenie cech termicznych klimatu Europy, wynikających z jej położenia geograficznego w szerokościach umiarkowanych. Pod względem metodycznym nie różni się on od szóstego tomu, dotyczącego obszaru Polski.

Pole temperatury powietrza w Europie aproksymowano zarówno równaniami hiperpłaszczyzn regresji, jak też wielomianami regresji wyższych stopni – drugiego, trzeciego, czwartego i piątego stopnia – względem trzech współrzędnych położenia (szerokości i długości geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza: $\varphi$, $\lambda$, $H$). Współczynniki regresji cząstkowej w równaniu hiperpłaszczyzny regresji określają średnie obszarowe gradienty: południkowy, równoleżnikowy, hipsometryczny w terenie. Wielomiany regresji okazały się dobrym narzędziem badań klimatu, gdyż określają lokalne gradienty (południkowy, równoleżnikowy, hipsometryczny) w terenie.

Nowość w literaturze klimatologicznej stanowią mapy gradientów: południkowych, równoleżnikowych, hipsometrycznych, opracowane po raz pierwszy na przykładzie Polski (zamieszczone w tomie VI *Atlasu*). Wprowadzone wcześniej przez E. Romera (1962) izogradienty jako linie łączące oczka siatki podstawowej o tej samej liczbie przecinających je izoterm, izohiet, itp., były względną miarą przestrzennego zróżnicowania klimatu. Zależały one od odległości izarytm i wymiarów oczka siatki, a ich pole było skalarne.

Dotychczas wpływ mas powietrza polarnego morskiego i kontynentalnego na klimat charakteryzowały izotermy zredukowane do poziomu morza, z zastosowaniem stałego w czasie i przestrzeni spadku temperatury powietrza o 0,5°C/100m (Romer, 1962). Natomiast w Atlasach (t. VI i VIII) przedstawiono izarytmy gradientów hipsometrycznych na obszarze Polski i w Europie zmieniających się w ciągu roku (od stycznia do grudnia). Istotne znaczenie praktyczne mają gradienty horyzontalne na poziomie rzeczywistym, wyznaczone na podstawie funkcji aproksymujących – bez wysokości nad poziomem morza. Wektory wskazują kierunki wzrostu temperatury powietrza na obszarze Europy.

Różnice między zmierzonymi wartościami temperatury powietrza i obliczonymi z wielomianów regresji czwartego stopnia (reszty) względem trzech współrzędnych potrakto-

wano jako miary deformacji lokalnej pola przez czynniki naturalne (szczyty górskie, doliny, zbiorniki wodne) i antropogeniczne (duże miasta).

Prof. Jerzy Kondracki zwraca uwagę, że *Wprowadzenie przez Zakład Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego modeli statystycznych jako narzędzi badań wpływu czynników geograficznych na klimat jest znacznym postępem w rozwoju klimatologii*.

SPIS TREŚCI VIII


PRZEDMOWA
I. WSTĘP
II. METODY APROKSYMACJI POLA I WYZNACZANIA GRADIENTU
III. ZALEŻNOŚĆ TEMPERATURY POWIETR.ZA OD POŁOŻENIA GEOGRAFICZNEGO W EUROPIE
1. Profil południkowy temperatury powietrza
2. Profil równoleżnikowy temperatury powietrza
3. Profil hipsometryczny temperatury powietrza
4. Profile amplitudy rocznej temperatury powietrza
IV. EMPIRYCZNE RÓWNANIA POLA TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE
1. Wielomiany regresji względem współrzędnych geograficznych
2. Wielomiany regresji względem współrzędnych wyrażonych w kilometrach
V. NOWE MAPY GRADIENTÓW TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE
1. Średnie pole temperatury powietrza
2. Izogradienty południkowe temperatury powietrza
3. Izogradienty równoleżnikowe temperatury powietrza
4. Izogradienty hipsometryczne temperatury powietrza
VI. GRADIENTY HORYZONTALNE TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE
1. Gradienty horyzontalne temperatury powietrza zredukowane do poziomu morza
2. Strefy oddziaływania Oceanu Atlantyckiego na klimat Europy
3. Gradienty horyzontalne temperatury powietrza na poziomie rzeczywistym
VII. RESZTY WIELOMIANÓW REGRESJI JAKO MIARA WPŁYWU CZYNNIKÓW LOKALNYCH
1. Deformacja pola temperatury przez rzeźbę terenu
2. Deformacja pola temperatury przez miasta
VIII. ZAKOŃCZENIE
SUMMARY
LITERATURA


**Tom IX – *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy* (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Błażek E., Skrzypczuk J., 1995), ss. 322.**

Głównym celem pracy jest określenie zakresu deformacji pola temperatury powietrza w Polsce przez miasta. Próbę rozwiązania tego problemu przedstawiono na przykładzie Warszawy – miasta nizinnego, położonego w środkowej Europie na Nizinie Mazowieckiej ($\varphi = 52{,}1°$, $\lambda = 21{,}0°$, $H = 110$ m n.p.m).

Najpierw dokonano oceny wpływu położenia geograficznego na cechy termiczne klimatu miast w Europie – ze szczególnym uwzględnieniem Polski. Z modeli statystycznych: wielkoskalowych (Europa) i średnioskalowych (Polska) wynika, że w kształtowaniu klimatu miast (także największych) dominują czynniki naturalne: szerokość geograficzna – warunkująca strefowość klimatu, odległość od Oceanu Atlantyckiego (ocieplający wpływ w zimie mas powietrza polarnego morskiego) i wysokość n.p.m. Strefowość klimatu jest głównie deformowana przez Ocean Atlantycki i góry. W miastach „nizinnych" Europy Zachodniej dominuje oddziaływanie Oceanu Atlantyckiego na pole temperatury powietrza, a w Europie Wschodniej – wpływ lądu Azji. Pole temperatury powietrza w miastach położonych na południe i północ od nizin europejskich jest głównie zdefor-

mowane przez wysokość n.p.m. Najbardziej je deformują kotliny śródgórskie w Alpach, Karpatach i Sudetach.

Z modeli symulujących zmienność przestrzenną temperatury powietrza w Europie wynika też znaczny udział czynników antropogenicznych w kształtowaniu klimatu miast. Różnice temperatury powietrza między wartościami zmierzonymi i obliczonymi z wielomianów regresji 4 stopnia względem czynników geograficznych $T=f(\varphi, \lambda, H)$ świadczą o dość dużej roli powierzchni sztucznych – głównie w dużych miastach. W przypadku Warszawy ta różnica jest rzędu 1°C, mimo że wyróżnia się jako cieplejsza Nizina Mazowiecka.

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 powietrza, 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.

Pomiary elementów meteorologicznych w obrębie miasta (w kilku punktach) i na jego peryferiach umożliwiły określenie zmian rocznych i dobowych miejskiej wyspy ciepła w Warszawie. Określono deformację pola temperatury powietrza w skali całego miasta jak też jego fragmentów: o zabudowie zwartej, luźnej i zieleni parkowej. Sporo miejsca w pracy poświęcono więc zróżnicowaniu cech termicznych klimatu w skali lokalnej – wpływowi rodzaju zabudowy, konfiguracji budynków, terenów zielonych na miejską wyspę ciepła.

Novum w literaturze stanowi wszechstronna charakterystyka zmian dobowych miejskiej wyspy ciepła w Warszawie przedstawiona na przykładzie anomalnego – upalnego roku 1992. Istotne znaczenie poznawcze mają terminy pojawiania się i zaniku miejskiej wyspy ciepła, jak również jej intensywność – zależnie od warunków pogodowych. Interesujące jest określenie, przy jakiej cyrkulacji powietrza różnice temperatury powietrza między miastem i otoczeniem są największe np. >3°C. Po prostu stwierdzono, jakie sytuacje pogodowe sprzyjają dużej intensywności miejskiej wyspy ciepła.

Stwierdzone prawidłowości oddziaływania powierzchni sztucznych (miasta) na stan atmosfery w ciągu doby czy też roku można wykorzystać w prognozach antropogenicznych zmian klimatu, np. przy rozbudowie miast – w projektowaniu nowych osiedli mieszkaniowych.

Prof. Jerzy Kondracki zwraca uwagę, że *Ważne problemy klimatologii zawarte są w końcowym rozdziale: „Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu miast Europy w XVIII-XXI wieku". Na podstawie istniejących ciągów chronologicznych: temperatury powietrza, cyrkulacji atmosferycznej, aktywności Słońca i erupcji wulkanów autorzy wnioskują o naturalnych przyczynach ocieplenia klimatu w ostatnich dwóch stuleciach – wzrostu temperatury powietrza w Warszawie o 0,6°C/100 lat. To ocieplenie klimatu przypisują oni wzrostowi aktywności Słońca w latach 1680-1980 – rzadszym wybuchom wulkanów i mniejszej emisji pyłów wulkanicznych do atmosfery (jej oczyszczaniem się). Jest to dość przekonywające, gdyż minimum wiekowe temperatury powietrza wystąpiło podczas minimum wiekowego aktywności Słońca – w latach wzmożonej aktywności wulkanicznej Zie-*

*mi. W pracy oszacowano także zmienność temperatury powietrza w ostatnich dwóch stuleciach, wynikającą z czynników antropogenicznych. Antropogeniczny wzrost temperatury powietrza w Warszawie wynosi 0,15°C/100 lat. Jest on wynikiem głównie rozbudowy miasta – miejskiej wyspy ciepła (większej akumulacji ciepła przez powierzchnie sztuczne).*

SPIS TREŚCI IX

PRZEDMOWA
I. WSTĘP
II. ZASTOSOWANE METODY BADAŃ KLIMATU MIAST
1. Badanie zależności miejskiej wyspy ciepła od stanu atmosfery
2. Ekstrema roczne miejskiej wyspy ciepła i daty ich występowania
3. Oddzielenie deformacji pola temperatury powietrza przez ukształtowanie powierzchni Ziemi i miasta
III. WPLYW CZYNNIKÓW GEOGRAFICZNYCH NA POLE TEMPERATURY POWIETRZA
1. Profile temperatury powietrza w Europie
2. Profile temperatury powietrza w Polsce
IV. CECHY TERMICZNE KLIMATU MIAST W POLSCE
1. Zmiany roczne temperatury powietrza w latach 1951-1990
2. Przestrzenne zróżnicowanie temperatury powietrza w Polsce
V. DEFORMACJA POLA TEMPERATURY POWIETRZA PRZEZ MIASTO
1. Wpływ zabudowy na różnice temperatury powietrza między miastem i otoczeniem
2. Zależność różnic temperatury powietrza od stanu atmosfery
3. Wpływ miejskiej wyspy ciepła na procesy przewietrzania Warszawy
VI. ZMIANY DOBOWE MIEJSKIEJ WYSPY CIEPŁA W WARSZAWIE
1. Terminy powstawania i zaniku miejskiej wyspy ciepła
2. Intensywność miejskiej wyspy ciepła w godzinach wieczornych i nocnych
3. Warunki meteorologiczne sprzyjające powstawaniu miejskiej wyspy ciepła
VII. NATURALNE I ANTROPOGENICZNE ZMIANY KLIMATU MIAST W EUROPIE W XVII-XXI WIEKU
1. Metody identyfikacji przyczyn zmian klimatu
2. Wpływ parametrów Układu Słonecznego na aktywność Słońca, erupcje wulkanów i klimat Ziemi
3. Antropogeniczne zmiany klimatu w XVII-XXI wieku
VIII. ZAKOŃCZENIE
LITERATURA
SUMMARY

**Tom X – *Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie* (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1997), ss. 220.**

Celem pracy jest określenie zakresu oddziaływania aktywności Słońca na cyrkulację atmosferyczną w Europie. Analizie statystycznej poddano ciągi chronologiczne: aktywności Słońca – liczb Wolfa (1700-1993) i cyrkulacji atmosferycznej – wschodniej, zachodniej, południkowej (1881-1976, wg klasyfikacji Wangenheima), strefowej (1899-1984) i cyklonalnej (1901-1975) wg klasyfikacji Osuchowskiej-Klein.

Problem rozwiązano dzięki zastosowaniu oryginalnej metody J. Boryczki (1983) wykrywania krótkich, średnich i długich cykli badanych zmiennych. Identyfikacji przyczyn naturalnych zmian klimatu można dokonać zgodnie z zasadą, iż gęste widma oscylacji skutków (zmiennych klimatologicznych) i przyczyn (zmiennych astronomicznych) powinny być zbliżone.

Ogromne znaczenie dla wyjaśnienia współczesnych wahań klimatu ma synchroniczność – cykli cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca. Cyrkulacja atmosferyczna

jest bowiem ogniwem przenoszenia zmian zachodzących na Słońcu na Ziemię. Sam mechanizm fizyczny tego przenoszenia nie jest obecnie dobrze znany. Hipotezy B. Haurwitza (1946) – o roli ozonu w strefie międzyzwrotnikowej w kształtowaniu ogólnej cyrkulacji atmosferycznej i L.R. Rakipowej (1960) – o wpływie cyklu 11-letniego aktywności Słońca na stan jonosfery i ruch antycyklonów i cyklonów nie są wystarczające. Hipotezy te potwierdza cykl 11,4-letni cyrkulacji południkowej. Silne są również (o dużych amplitudach) cykle o długościach 9,1-13,4 lat cyrkulacji strefowej. Cyrkulacja wschodnia i zachodnia ulega cykliczności ok. 30-letniej, zbliżonej do najsilniejszego cyklu dyspersji masy względem środka masy Układu Słonecznego – 29,5 lat. Jest to jednocześnie cykl planetarny – okres obiegu drugiej dużej planety – Saturna – 29,46 lat i jego położenia względem Urana – 35,87 lat. Jest to także statystyczny cykl 28,9-letni aktywności Słońca w latach 1700-1993. Analogicznej cykliczności ok. 30-letniej ulega cyrkulacja strefowa (wg innej klasyfikacji Osuchowskiej-Klein). Cykl ok. 30-letni cyrkulacji atmosferycznej kształtowany prawdopodobnie przez cykle tej samej długości aktywności Słońca i parametrów Układu Słonecznego (przez cykle planetarne) świadczy o realnym istnieniu cyklu 35-letniego Brücknera opadów atmosferycznych. Na uwagę zasługują cykle najdłuższe cyrkulacji południkowej (77,4-85,8) i strefowej (74,9-76,3).

Cykle te o dość dużych amplitudach kształtowały klimat Europy w ostatnim stuleciu.

Cyrkulacja atmosferyczna: wschodnia, zachodnia, południkowa (1891-1976), cyklonalna (1901-1975), strefowa (1899-1984) w przedziałach obserwacji ulegała systematycznym zmianom. Znamienny jest bardzo duży wzrost liczby dni z cyrkulacją wschodnią. Odpowiednio obserwuje się bardzo duży spadek liczby dni z cyrkulacją zachodnią. Maleje również liczba dni z cyrkulacją cyklonalną. Obserwuje się też spadek cyrkulacji cyklonalnej zwłaszcza w zimie.

Przygotowany przez Zespół pracowników Zakładu Klimatologii X tom *Atlasu* wyjaśnia przyczyny naturalnych wahań klimatu związanych z aktywnością Słońca i zawiera oryginalne wyniki badań w odniesieniu do istniejącej wiedzy w zakresie przyczyn zmian klimatu.

W przedmowie prof. Jerzego Kondrackiego zwraca uwagę zdanie: *Rezultaty badań cykliczności czynników naturalnych i ich tendencji mogą być wykorzystane w innych naukach*, *jak np. hydrologii i biologii*, *w prognozowaniu zmian*.

SPIS TREŚCI X

PRZEDMOWA
I. STAN BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU
   1. Antropogeniczne zmiany klimatu
   2. Naturalne zmiany klimatu
   3. Prognoza zmian klimatu
II. NOWA METODA BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU
   1. Teoretyczne podstawy analizy oscylacji i rzeczywistych cykli
   2. Ocena realności cykli w tzw. eksperymencie Monte Carlo
III. CYKLICZNE WAHANIA I TENDENCJE AKTYWNOŚCI SŁOŃCA (1700-1993)
   1. Średnie i długie cykle liczb Wolfa
   2. Tendencja wiekowa aktywności Słońca
IV. CYKLICZNE WAHANIA I TENDENCJE CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ W EUROPIE (wg klasyfikacji Wangenheima i Osuchowskiej-Klein)
   1. Cyrkulacja wschodnia (1891-1976)
   2. Cyrkulacja zachodnia (1891-1976)

3. Cyrkulacja południkowa (1891-1976)
4. Cyrkulacja cyklonalna (1901-1975)
5. Cyrkulacja strefowa (1899-1984)

V. ZAKOŃCZENIE
LITERATURA
SUMMARY

**Tom XI – *Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie* (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1998), ss. 258.**

Celem XI tomu *Atlasu* jest wykazanie podobieństwa okresowych wahań temperatury powietrza w Europie – w poszczególnych sezonach, półroczach i roku. Jest nim też wykazanie, że w ostatnich dwóch stuleciach są zbliżone okresowe wahania temperatury powietrza, aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej. Istotne też są porównania tendencji temperatury powietrza i aktywności Słońca, świadczące, iż część postępującego globalnego ocieplenia może wynikać ze wzrostu liczby plam słonecznych w XIX-XX wieku.

Cechy termiczne klimatu miast w strefie umiarkowanej określono na podstawie długich ciągów czasowych temperatury powietrza zmierzonej w 8 miejscowościach Europy Środkowej i Zachodniej. Do pewnych porównań cykliczności zmian klimatu wykorzystano także ciągi chronologiczne ze stacji meteorologicznych znajdujących się w innych strefach geograficznych.

Niepokojące jest systematyczne ocieplenie klimatu Ziemi w ostatnich dwóch stuleciach. Średnia globalna temperatura powietrza w dwudziestym wieku wzrosła o 0,3-0,6°C. Na przykład w Europie przede wszystkim zimy są coraz cieplejsze w Warszawie (1779-1990) – o 1,0°C/100 lat, Pradze (1771-1980) – o 0,25°C/100 lat, Genewie (1768-1980 – o 0,5°C/100 lat, Anglii Środkowej (1859-1973) – o 0,3°C/100 lat.

Postępującemu globalnemu ociepleniu klimatu przypisywany jest zwykle wzrost efektu cieplarnianego, wywołanego przez gazy szklarniowe – głównie dwutlenek węgla ($CO_2$). Według scenariusza emisji IPCC (1990) przewiduje się wzrost średniej globalnej temperatury powietrza do 2100 r. o blisko 6°C. Po uwzględnieniu ochładzającego działania aerozoli siarczanowych prognozowany jest mniejszy wzrost temperatury powietrza o 1-2°C w stosunku do 1990 r. (IPCC, 1995).

Tendencja rosnąca temperatury powietrza w XIX-XX wieku może częściowo wynikać z tzw. miejskich wysp ciepła – z coraz większej akumulacji ciepła przez zabudowę i inne powierzchnie sztuczne o małym albedo. Po prostu szare powierzchnie w miastach pochłaniają więcej energii słonecznej w dzień niż ich otoczenie (szczególnie w zimie). Miasta, w których znajdują się stacje meteorologiczne, są znacznie cieplejsze (przede wszystkim w nocy) od otaczających terenów. Na przykład różnica temperatury powietrza między śródmieściem Warszawy i peryferiami może osiągać nawet 9,1°C (jak 30 VII i 17 VIII 1992 r.).

Ciągi czasowe temperatury powietrza w ostatnich stuleciach w Europie świadczą, że współczesne ocieplenie klimatu może w dużym stopniu wynikać z przyczyn naturalnych. Tendencja rosnąca temperatury powietrza zwłaszcza zimą jest po prostu wypadkową interferencji cykli naturalnych. Na przykład coraz cieplejsze zimy w Warszawie – o 1,03°C/100 lat w latach 1779-1980 są efektem nałożenia się kilku okresów: 3,5; 5,5; 12,9; 18,0; 38,3; 66,7; 218,3 lat. Ich interferencja wyjaśnia wzrost temperatury powietrza podczas zim o 0,93°C/100 lat. Na zmienność antropogeniczną przypada zaledwie

0,1°C/100 lat. Analogiczne, coraz cieplejsze zimy w Genewie – o 0,5°C/100 lat, Pradze – o 0,25°C/100 lat są także efektem interferencji cykli temperatury powietrza.

Postępujące globalne ocieplenie może też wynikać z tendencji malejącej wskaźnika *DVI* (Dust Veil Index) zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze w latach 1680-1980 i z większych odstępów czasu między kolejnymi wybuchami wulkanów. Na stałą słoneczną ma niewątpliwie wpływ drobny pył (aerozole siarczanowe), pozostając w stratosferze przez wiele lat.

Według prof. Jerzego Kondrackiego *Duże znaczenie mają prognozy naturalnych wahań klimatu, obserwowanych od wielu tysięcy lat – pod wpływem czynników naturalnych (aktywności Słońca i wulkanów). Wiarygodne wydają się sondaże przyszłości (po rok 2100), otrzymane na podstawie długich ciągów pomiarów, które wskazują na naturalne ochłodzenie klimatu w XXI wieku. Można sądzić, że naturalne cykle klimatu obserwowane w holocenie (stwierdzone również w XVIII-XX wieku) będą powtarzać się nadal i kształtować klimat Ziemi*.

SPIS TREŚCI XI

PRZEDMOWA
I. PROBLEMY BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU
II. ZASTOSOWANE METODY BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH WAHAŃ KLIMATU
1. Wyznaczanie okresów metoda „sinusoid regresji”
2. Modulacja cykli krótkich
3. Zastosowania liczb losowych do ocen realności okresów
4. Modelowanie naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu
III. WIELOOKRESOWE WAHANIA TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE
1. Ogólne cechy pola temperatury powietrza w Europie
2. Synchroniczność cykli temperatury powietrza, cyrkulacji atmosferycznej, aktywności Słońca i erupcji wulkanicznych
IV. OCIEPLENIE KLIMATU MIAST EUROPY W XVII-XX WIEKU I JEGO PRZYCZYNY
1. Tendencje wiekowe temperatury powietrza
1.1. Charakterystyka najdłuższych ciągów chronologicznych
1.2. Trendy liniowe temperatury powietrza
V. ZAKOŃCZENIE
LITERATURA
SUMMARY
ZAŁĄCZNIKI

**Tom XII – *Ocieplenia i ochłodzenia klimatu miast w Europie* (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wągrowska M., Błażek E, Skrzypczuk J., 1999), ss. 255.**

W tomie XII określono tendencje i zakres cyklicznych zmian temperatury powietrza w poszczególnych miesiącach na obszarze Europy (w 8 miejscowościach).

Długości serii pomiarowych wynoszą: 315 lat – Anglia Środkowa (1659-1973), 213 lat – Genewa (1768-1980), 212 lat – Warszawa (1779-1990), 210 lat – Praga (1771-1980), 165 lat – Kraków (1826-1990), 130 lat – Wrocław (1851-1980), 117 lat – Zurych (1864-1980), 100 lat – Poczdam (1893-1992). Ponadto analizie statystycznej poddano ciągi chronologiczne miesięcznych wartości temperatury powietrza na Spitsbergenie (64 lata, 1912-1975) i w Colombo (112 lat, 1869-1980).

Tendencje wiekowe temperatury powietrza (w°C/100 lat) w wymienianych przedziałach czasu (średnie) wg funkcji trendów czasowych przedstawiono na wykresach. Ten-

dencji liniowych wyznaczonych na podstawie danych z różnych przedziałów czasowych nie można bezpośrednio porównywać.

Ogólnie można jednak stwierdzić, że są one rosnące prawie we wszystkich miesiącach. Świadczy to o postępującym ociepleniu klimatu miast Europy (i Polski). Szczególnie zimy są w Europie coraz cieplejsze. Na przykład w Warszawie w latach 1779-1990 styczniе są cieplejsze średnio o 1,15°C/100 lat, w Krakowie (1826-1990) o 1,7°C/100 lat, Pradze (1771-1980) o 0,44°C/100 lat, a w Genewie (1768-1980) o 0,74°C/100 lat.

Tendencje wiekowe temperatury powietrza w porze letniej są w niektórych miastach rosnące lub malejące. Lipce są np. coraz cieplejsze: w Warszawie o 0,19°C/100 lat, Krakowie o 0,34°C/100 lat, Poczdamie o 0,64°C/100 lat. Natomiast są one coraz chłodniejsze: we Wrocławiu o 0,73°C/100 lat, Pradze o 0,16°C/100 lat, Zurychu o 1,08°C/100 lat, a w Genewie o 0,08°C/100 lat. Tendencja temperatury powietrza w Anglii Środkowej w lecie $A = 0{,}01$°C/100 lat jest prawie zerowa (nieistotna statystycznie na poziomie istotności 0,05).

Tendencje malejące lub zerowe temperatury powietrza w miesiącach letnich nie wspierają hipotezy o antropogenicznych przyczynach globalnego ocieplenia klimatu. Nie można postępującego ocieplenia klimatu przypisać tylko efektowi cieplarnianemu, wynikającemu ze wzrostu zawartości $CO_2$ w atmosferze, który pochodzi ze spalania węgla i innych paliw. Hipotezie tej przeczą: cykl roczny i przestrzenne zróżnicowanie tendencji wiekowej temperatury powietrza na obszarze Europy.

Praca dotyczy ważnego nie rozwiązanego dotąd problemu klimatologii: wyznaczania składników okresowych (deterministycznych) zmienności klimatu. Cykliczność temperatury powietrza dłuższą od jednego roku badano zwykle w pojedynczych miejscowościach Europy (i Polski), w seriach pomiarowych o różnej długości, odmiennymi metodami, ograniczając się na ogół do samych okresów.

Nie znana była dyspersja okresów, amplitud i dat ekstremów cykli o długościach od 1 do 200 lat i czy cykle są synchroniczne na obszarze Europy. Wyłonił się więc problem zbadania, czy pole temperatury powietrza na dużym obszarze jest jednorodne pod względem cykliczności. Zagadnienie to jest dotychczas wszechstronnie opracowane jedynie w przypadku cyklu rocznego.

W tym celu wyznaczono metodą „sinusoid regresji" (Boryczka, 1998) parametry cykli: okresy, amplitudy i fazy. Dla każdej spośród badanych miejscowości wyznaczono widma temperatury powietrza w paśmie 2,1-200 lat i porównano je.

Analogiczna okresowość zmiennych: astronomicznych i klimatologicznych świadczy o naturalnych uwarunkowaniach okresowości klimatu.

Przedmowa prof. Jerzego Kondrackiego do tomu XI *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* jest zarazem promocją tomu XII, gdyż stanowią one integralną całość. Obydwie części dotyczą tendencji i cykliczności zmian temperatury powietrza miast w Europie. W pierwszej z nich zamieszczono zmienność warunków termicznych w porach roku, półroczach i roku, w drugiej zaś w poszczególnych miesiącach.

SPIS TREŚCI XII

I. PROFESOR JERZY KONDRACKI – WAŻNIEJSZE OPINIE
II. OCIEPLENIA I OCHŁODZENIA KLIMATU EUROPY W OSTATNICH STULECIACH
1. Zarys klimatu minionych 2500 lat
2. Coraz cieplejsze zimy w Europie w XIX i XX wieku
3. Miejska wyspa ciepła jako przyczyna postępującego ocieplenia klimatu

III. TENDENCJE TEMPERATURY POWIETRZA MIAST W EUROPIE W XVII-XX WIEKU
1. Postępujące ocieplenie jest większe zimą niż latem
2. Postępujące ocieplenie i jego uwarunkowania
IV. CYKLICZNOŚĆ JAKO CECHA POLA TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE
1. Cykl 8-letni i jego uwarunkowania
2. Cykl 11-letni temperatury powietrza i plam słonecznych
3. Planetarny 178,9-letni cykl temperatury powietrza
V. ZAKOŃCZENIE
LITERATURA
SUMMARY

**Tom XIII – *Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie* (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J, 1999), ss. 283.**

Trzynasty tom Atlasu jest poświęcony wyłącznie wynikom badań cykliczności zmian klimatu Europy ze szczególnym uwzględnieniem Polski. Dane pochodzą przede wszystkim z sieci pomiarowej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, a także z innych krajów europejskich – z lat 1659-1995 (temperatura powietrza) i 1861-1990 (opady atmosferyczne).

W tomie XIII pt. *Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie* znacznie rozszerzono zakres badań zmian klimatu na podstawie długiego ciągu chronologicznego Oscylacji Północnego Atlantyku (*NAO*, 1825-1997) jako wskaźnika globalnych zmian klimatu. Po raz pierwszy wyznaczono krótkie cykle ciśnienia atmosferycznego i ekstremalnych wartości temperatury powietrza (maksymalnej i minimalnej w Warszawie w ostatnim 30-leciu 1966-1995).

Treść XIII tomu *Atlasu* nawiązuje głównie do trzech ostatnich części, dotyczących cykliczności i tendencji aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie (cz. X. 1997) i temperatury powietrza w Europie w sezonach, półroczach i roku (cz. XI. 1998) oraz w poszczególnych miesiącach (cz. XII. 1999). Razem stanowią one integralną całość.

Na obszarze Europy (i Polski) występuje kilka cykli temperatury powietrza o znaczących okresach wahań: 3-4, 7-8, 10-14-letnie i dłuższe. Ich obecność prawie we wszystkich ciągach chronologicznych (zbliżone okresy i zgodności ekstremów cykli, głównie 8-letniego i 11-letniego) implikują tezy, że cykliczność ta jest cechą pola temperatury powietrza w Europie i Polsce.

Dominujący cykl około 8-letni temperatury powietrza w zimie w Polsce i Europie jest wywołany analogiczną cyklicznością cyrkulacji strefowej (*NAO*) – równoleżnikowego transferu ciepła znad cieplejszego w zimie Atlantyku. Taką samą 8-letnią cyklicznością cechuje się przyspieszenie Słońca w jego ruchu wokół środka masy Układu Słonecznego. Dotychczas nie wiadomo jednak, jaki jest mechanizm tych oddziaływań planetarnych na klimat Ziemi.

Od dawna znana jest cykliczność 11-letnia temperatury powietrza. Zakres wahań temperatury powietrza w tym cyklu w zimie (0,4-1,0°C) jest dwukrotnie większy niż w lecie (0,1-0,4°C). Wahania temperatury są wywołane bezpośrednio cyklem 11-letnim stałej słonecznej. Nie są one zbyt duże ze względu na powolne przenikanie ciepła podczas maksimów w głąb gruntu i głębszych warstw wód oceanicznych.

Cykliczność 9-14-letnia aktywności Słońca jest prawdopodobnie związana z okresem 11,86-letnim obiegu największej planety (Jowisza) dookoła Słońca. Okres ten dominuje w ciągach czasowych wypadkowej siły grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce (11,8 lat) i dyspersji masy planet (11,9) względem płaszczyzny ekliptyki.

Interesujące jest, że okresowość 11,4-letnia występuje w ciągach czasowych zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze (wskaźnika *DVI* – dust veil index).

W identyfikacji naturalnych przyczyn globalnych zmian klimatu ogromne znaczenie ma planetarny okres 178,9-letni zmian parametrów Układu Słonecznego. Po upływie 178,9 lat powtarza się konfiguracja 9 planet, a tym samym: odległości środka masy US od Słońca, przyspieszenie Słońca, wypadkowa sił grawitacyjnych, dyspersji masy w Układzie Słonecznym i inne.

Kluczowe znaczenie ma powtarzanie się liczb Wolfa z lat 1700-1878,9, po upływie 178,9 lat. Pokrywają się dwa maksima absolutne: jedno (rok 1878, $W_{max} = 154{,}4$) z przedziału 1700-1878,9, a drugie (rok 1957, $W_{max} = 189{,}9$) – po upływie 178,9 lat.

Cykliczność około dwuwiekowa występuje również w najdłuższych seriach pomiarowych temperatury powietrza (Anglia Środkowa 1659-1973, Warszawa, 1773-2000). Najdłuższy cykl około dwuwiekowy temperatury w Warszawie wyjaśnia 84% postępującego ocieplenia w zimie 1°C/100 lat. Analogiczną cyklicznością cechują się ciągi chronologiczne stosunku izotopów tlenu $^{18}O/^{16}O$ w osadach głębokomorskich, a także zawartość substancji organicznych i węglanów wapnia w osadach polskich jezior.

Wykryte okresy temperatury powietrza – obecne w ciągach chronologicznych zmiennych astronomicznych umożliwiają prognozowanie naturalnego składnika zmian klimatu Europy (i Polski).

Wiarygodne są sondaże przyszłości (po rok 2100) na podstawie interferencji cykli temperatury powietrza, synchronicznych z cyklami stałej słonecznej, skorelowanej ze zmianami parametrów Układu Słonecznego.

SPIS TREŚCI XIII


I. WPROWADZENIE
II. CYKLICZNE ZMIANY AKTYWNOŚCI SŁOŃCA W OSTATNICH STULECIACH (1700-1993)
   1. Daty minimów i maksimów plam słonecznych w cyklu 11-letnim
   2. Okresy liczb Wolfa wyznaczone metodą „sinusoid regresji"
   3. Okresy wiekowe i dwuwiekowe aktywności Słońca
III. CYKLICZNE WAHANIA OSCYLACJI PÓŁNOCNOATLANTYCKIEJ (NAO) W LATACH 1825-1997
   1. Okresowe zmiany Oscylacji Północnoatlantyckiej
   2. Tendencje Oscylacji Północnoatlantyckiej
IV. CYKLICZNE WAHANIA CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ W EUROPIE (1891-1984)
   1. Cykle cyrkulacji wschodniej
   2. Cykle cyrkulacji zachodniej
   3. Cykle cyrkulacji południkowej
   4. Cykle cyrkulacji cyklonalnej
   5. Cykle cyrkulacji strefowej
V. OKRESOWE ZMIANY CIŚNIENIA ATMOSFERYCZNEGO W WARSZAWIE W TRZYDZIESTOLECIU 1966-1995
   1. Cykl roczny ciśnienia atmosferycznego
   2. Tendencje ciśnienia atmosferycznego
   3. Cykliczne zmiany ciśnienia atmosferycznego
VI. OKRESOWE ZMIANY TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE W OSTATNICH STULECIACH (1659-1990)
   1. Cykle około 4-5-letnie temperatury powietrza
   2. Cykle około 7-8-letnie temperatury powietrza
   3. Cykle około 10-12-letnie temperatury powietrza
   4. Cykle około 100-200-letnie temperatury powietrza

VII. OKRESOWE ZMIANY TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE W 30-LECIU (1966-1995) I 210-LECIU (1779-1990)
1. Cykl roczny temperatury powietrza w Warszawie w latach 1966-1995 i 1779-1979
2. Tendencja temperatury powietrza w 30-leciu 1966-1995 i 210-leciu 1779-1990
3. Cykliczne zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1966-1995 i 1779-1990
VIII. OKRESOWE ZMIANY OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W POLSCE (1850-1990)
1. Wielookresowa zmienność opadów atmosferycznych
2. Krótkookresowa zmienność opadów atmosferycznych (3,4-5,3 lat)
3. Okres 11-letni sezonowych sum opadów
4. Okresowość 28,5-43,5-letnia opadów (cykl Brücknera)
IX. SYNCHRONICZNOŚĆ KRÓTKICH CYKLI KLIMATU MIAST W EUROPIE
1. Okresowość około 4-letnia temperatury powietrza, opadów i cyrkulacji atmosferycznej
2. Okresowość około 8-letnia temperatury powietrza, cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca
3. Cykl około 11-letni temperatury powietrza, opadów i aktywności Słońca
4. Nakładanie się cykli aktywności Słońca, cyrkulacji atmosferycznej, temperatury powietrza i opadów
X. ZAKOŃCZENIE
LITERATURA
SUMMARY

**Tom XIV – *Prognozy zmian klimatu Warszawy* (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Lorenc H., Kicińska B., Błażek E., Skrzypczuk J., 2000), ss. 209.**

W czternastym tomie *Atlasu* określono składniki deterministyczne (okresowe) czasowej zmienności klimatu Polski w XVIII-XX wieku. Identyfikowano naturalne przyczyny ochłodzeń i ociepleń klimatu Polski, a także prognozowano temperaturę powietrza i opady atmosferyczne w Warszawie w XXI wieku. W prognozach zmian klimatu Polski przyjęto założenie, że ekstrema wykrytych cykli temperatury i opadów będą się powtarzać nadal, tak jak w XVIII-XX wieku. Do przyjęcia takiego założenia upoważnia obecność analogicznych cykli w ciągach czasowych aktywności Słońca (stałej słonecznej) i parametrów Układu Słonecznego oraz ich synchroniczność (koincydencja ekstremów). Najdłuższe okresy około 100-200-letni powtarzają się wielokrotnie w ciągach chronologicznych paleotemperatury ($^{18}O/^{16}O$) i zawartości substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych.

Najmroźniejsze zimy, o średniej temperaturze -7°C, wystąpią prawdopodobnie w połowie przyszłego stulecia – około roku 2050. Według interferencji letnich cykli temperatury powietrza chłodne lata wystąpią w pierwszych dwóch dekadach przyszłego wieku. Maksimum wiekowe opadów 720 mm wystąpi mniej więcej w latach 2030, 2063, 2068. Najmniejsze sumy roczne, rzędu 400 mm, wystąpią prawdopodobnie w pobliżu dat: 2033, 2040.

Sprawdziły się dotychczasowe prognozy temperatury powietrza w Warszawie na podstawie danych z lat 1799-1980. Zgodnie z prognozą minimum wiekowe średniej rocznej temperatury wystąpiło w roku 1980 (Boryczka, 1993). Średnia roczna temperatura 6,6°C w roku 1980, wg pomiarów ze stacji Warszawa-Okęcie, jest najmniejszą wartością w 30-leciu 1966-1995.

Dobra jest także zgodność z wynikami pomiarów (na Okęciu) prognozowanych rocznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie (1813-1980). Wykresowi sum rocznych o tendencji malejącej w latach 1981-1990 odpowiada spadek zmierzonych sum opadów: od 656 mm – w roku 1981 do 456 mm – w roku 1990, a następnie wzrost do 652 mm w 1993.

Jeszcze bardziej wiarygodne są prognozy średnich konsekutywnych 11-letnich wartości temperatury powietrza i sum opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1991-2100, przedstawione w XIV tomie *Atlasu*.

Dość dobra zgodność prognozowanych wartości temperatury i opadów atmosferycznych ze zmierzonymi – poza przedziałem aproksymacji – świadczy, iż istnieją przyczynowo-skutkowe związki między okresami zmiennych klimatologicznych i astronomicznych.

Postępem w badaniach wiekowych zmian klimatu jest także wyodrębnienie dwóch składników trendu czasowego: naturalnego i antropogenicznego. Obserwowane zmiany wiekowe np. temperatury powietrza można potraktować jako wypadkową zmian naturalnych, uwarunkowanych aktywnością Słońca i zmian antropogenicznych wynikających z wpływu takich czynników, jak rozbudowa miasta, wzrost zawartości $CO_2$ (efekt cieplarniany) i pyłów (absorpcja promieniowania słonecznego) w atmosferze i innych. Autorzy wyszli z założenia, że składnik naturalny jest wynikiem nakładania się tych sinusoidalnych cykli. Natomiast składnik antropogeniczny cechuje się stałą tendencją zmian. Trzeba jednak pamiętać, że wyodrębnione przyrosty antropogeniczne temperatury i opadów atmosferycznych (i ich prognoza na lata 2000-2100) nie zawsze wynikają z wpływu czynników antropogenicznych. Mogą to być również zmiany naturalne o bardzo długich nieznanych okresach nie stwierdzonych na podstawie istniejących ciągów chronologicznych.

Tego rodzaju trendy czasowe klimatu umożliwiły autorom dokonanie rekonstrukcji (od 1700) i prognozy (po rok 2100) klimatu Warszawy przez zwykłą ekstrapolację funkcji aproksymujących.

Trzeba zauważyć, że krzywa wiekowych zmian temperatury powietrza w stuleciu XXI cechuje się głębokim minimum wiekowym. Biorąc jednak pod uwagę przyrosty antropogeniczne temperatury, które złagodzą jej naturalne spadki, może nie wystąpić zbytnie ochłodzenie klimatu w przyszłym stuleciu. Oczywiście prognozy te – sondaż przyszłości – otrzymano przy założeniu, że ekstrema wykrytych cykli, które wystąpiły w XVIII-XX wieku, powtarzać się będą nadal.

Novum stanowią wyniki badań dotyczących stanu aerosanitarnego Warszawy w odniesieniu do innych miast Polski (Kicińska, 1999) oraz wpływu pogody i stężeń zanieczyszczeń atmosfery na zdrowie i zgony ludności miejskiej na przykładzie Warszawy (Kuchcik, 2000).

SPIS TREŚCI XIV


I. WPROWADZENIE
II. POSTĘP BADAŃ ZMIAN KLIMATU W OSTATNICH DZIESIĘCIOLECIACH
III. ZMIANY AKTYWNOŚCI SŁOŃCA I STAŁEJ SŁONECZNEJ W XVIII-XX WIEKU
IV. CYKLICZNE WAHANIA I TENDENCJA ZMIAN OSCYLACJI PÓŁNOCNOATLANTYCKIEJ (*NAO*) W XIX-XX WIEKU
V. WARSZAWSKA SERIA POMIARÓW TEMPERATURY POWIETRZA NA STACJI OBSERWATORIUM ASTRONOMICZNE W LATACH 1779-1997
   1. Dokumentacja historyczna prowadzonych pomiarów temperatury powietrza w Warszawie od 1779 roku
   2. Poprawki korygujące dotychczasową „serię warszawską" temperatury powietrza w latach 1779-1997
   3. Zakres wahań temperatury powietrza w Warszawie (Obserwatorium) w latach 1779-1997
VI. ZMIANY KLIMATU WARSZAWY W XVIII-XXI
   1. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Warszawy i ich uwarunkowania
   2. Okresowa zmienność opadów atmosferycznych w Warszawie
   3. Tendencje zmian klimatu Warszawy
   4. Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku
VII. STAN AEROSANITARNY WARSZAWY W ODNIESIENIU DO INNYCH MIAST POLSKI

1. Przestrzenny rozkład stężenia dwutlenku siarki w Polsce
2. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na stężenia zanieczyszczeń powietrza ($SO_2$)
3. Rozkład prawdopodobieństwa stężenia zanieczyszczeń przy różnych kierunkach adwekcji powietrza
4. Synchroniczne wahania stężeń zanieczyszczeń powietrza w Polsce
5. Podobieństwo stanu zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki w poszczególnych regionach Polski przy różnych kierunkach adwekcji mas powietrza
6. Zanieczyszczenie atmosfery a zdrowie i zgony mieszkańców Warszawy

VIII. ZAKOŃCZENIE
LITERATURA
SUMMARY

**Tom XV – *Prognozy zmian klimatu miast Europy* (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Błażek E., Skrzypczuk J., 2001, ss. 249).**

Celem XV tomu *Atlasu* pt. *Prognozy zmian klimatu miast Europy* jest określenie wahań Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO) i temperatury powietrza w wybranych miastach Europy Środkowej (Warszawa, Kraków, Praga, Genewa) w XVIII-XX wieku. Jest nim też opracowanie prognoz zmian klimatu w XXI wieku w odniesieniu do zmian cyrkulacji strefowej (wskaźnika *NAO*).

Najpierw zestawiono najważniejsze wyniki badań, dotyczące modelowania zmienności przestrzennej i czasowej klimatu Europy (ze szczególnym uwzględnieniem Polski), zawarte w 15 tomach *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* (1974-2001). Wyeksponowano wpływ cyrkulacji atmosferycznej nad Europą na klimat Polski (wg klasyfikacji Wangenheima i Osuchowskiej-Klein).

W tomie XV dominują badania roli cyrkulacji strefowej (równoleżnikowej), uwarunkowanej Oscylacją Północnego Atlantyku (NAO) w kształtowaniu klimatu Europy w latach 1825-1997. Tendencje zmian wskaźnika *NAO* w ostatnim stuleciu dobrze wyjaśniają ochłodzenia i ocieplenia klimatu. Coraz cieplejsze zimy w Europie (i Polsce) wynikają z tendencji rosnącej wskaźnika *NAO*. Natomiast nieco cieplejsze lata – z tendencji malejącej *NAO*.

Biorąc pod uwagę silną korelację między wahaniami temperatury powietrza w Europie i Oscylacji Północnego Atlantyku zbadano cykliczność wskaźnika *NAO* i temperatury powietrza.

Widma temperatury powietrza (średnich miesięcznych, sezonowych, półrocznych i rocznych wartości) i wskaźnika *NAO* wykazują duże podobieństwo, zwłaszcza w części krótkookresowej, tj. w paśmie 2,1-15 lat.

Wykryte cykle temperatury powietrza i zbliżone cykli wskaźnika *NAO*, aktywności Słońca (stałej słonecznej) i parametrów Układu Słonecznego – to składniki deterministyczne w seriach pomiarowych. Mają one ogromne znaczenie nie tylko poznawcze, lecz także praktyczne, umożliwiając prognozowanie składnika naturalnego zmian klimatu miast w Europie.

Wyznaczone metodą „sinusoid regresji" cykle – to średnie okresy w seriach pomiarowych, cechujące się największym prawdopodobieństwem występowania. Ich skorelowanie z cyklami aktywności Słońca i parametrów Układu Słonecznego upoważnia do ekstrapolacji poza przedział aproksymacji (2001-2100).

Prognozy wskaźnika *NAO* i temperatury powietrza w wybranych miastach Europy (Warszawa, Kraków, Praga, Genewa) opracowano na podstawie interferencji wykrytych cykli (obecnych w widmach).

Prognozy wskazują na naturalne ochłodzenie klimatu Europy w XXI wieku. Można sądzić, że naturalne cykle występujące teraz i wcześniej będą powtarzać się nadal i kształtować klimat Europy w bieżącym stuleciu.

Innym ważnym problemem jest określenie pola temperatury powietrza w Polsce w zależności od typów cyrkulacji atmosferycznej. Zagadnienie to zostało rozwiązane w pracy doktorskiej Dariusza Baranowskiego pt. *Zróżnicowanie warunków atmosferycznych w Polsce w zależności od typu cyrkulacji* (2001r.).

O wpływie poszczególnych typów cyrkulacji atmosferycznej na pole temperatury powietrza w Polsce świadczą mapy izarytm średnich wartości i odchyleń (anomalii). Opisują one pole temperatury kształtowane przez 12 typów cyrkulacji wg B. Osuchowskiej-Klein. Miarą oddziaływania Oceanu Atlantyckiego na klimat Polski jest południkowy układ izoterm przy strefowej cyrkulacji (zachodniej cyklonalnej i antycyklonalnej).

Ważniejsze wyniki badań zawarte w XV tomie *Atlasu* przedstawiono na licznych wykresach, mapach i tabelach, a ich syntezę zamieszczono w *Zakończeniu*.

SPIS TREŚCI XV


I. WPROWADZENIE
II. MODELOWANIE NATURALNYCH I ANTROPOGENICZNYCH ZMIAN KLIMATU W ATLASIE WSPÓŁZALEŻNOŚCI PARAMETRÓW METEOROLOGICZNYCH I GEOGRAFICZNYCH W POLSCE (1974-2001)
III. WPŁYW CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ NA KLIMAT EUROPY
1. Cykliczne wahania i tendencje cyrkulacji atmosferycznej w Europie (wg klasyfikacji Wangenheima i Osuchowskiej-Klein)
2. Wpływ Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO) na klimat Polski
3. Prognozy zmian Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO) w XXI wieku
3.1. Widma wskaźnika NAO w latach 1825-1997
3.2. Zmiany wskaźnika NAO w XVIII-XXI wieku
IV. OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU EUROPY ŚRODKOWEJ KSZTAŁTOWANE PRZEZ NIŻ ISLANDZKI I WYŻ AZORSKI
1. Widma temperatury powietrza w latach 1659-1998
2. Prognozy temperatury powietrza w miastach Europy Środkowej (Warszawa, Kraków, Praga, Genewa) w XXI wieku
V. POLE TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE A TYPY CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ
1. Typy cyrkulacji atmosferycznej w Europie i kierunki adwekcji mas powietrza
2. Typy cyrkulacji atmosferycznej w Polsce wg klasyfikacji Osuchowskiej-Klein
3. Cechy termiczne klimatu Polski a typy cyrkulacji atmosferycznej
4. Deformacja pola temperatury powietrza przez Ocean Atlantycki – odchylenia gradientów horyzontalnych od południków lokalnych
VI. ZAKOŃCZENIE
LITERATURA
SUMMARY


**Tom XVI – *Prognozy zmian klimatu Polski* (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Grabowska K., Błażek E., Skrzypczuk J., 2001), ss. 212.**

Celem XVI tomu *Atlasu* pt. *Prognozy zmian klimatu Polski* jest przedstawienie stanu badań zmian klimatu Europy, ze szczególnym uwzględnieniem Polski prowadzonych w Zakładzie Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego w latach 1984-2002.

Najpierw zestawiono najważniejsze wyniki badań dotyczące cykliczności, tendencji i prognoz zmian klimatu Polski na tle Europy w XVIII-XXI wieku. Koncepcja progno-

zowania zmian klimatu pojawiła się po wykryciu synchronicznych cykli zmiennych klimatologicznych, astronomicznych i geologicznych. Analogiczna cykliczność skutków i domniemanych przyczyn upoważnia do przedstawienia hipotezy, że stwierdzona okresowość w XVIII-XX wieku będzie się powtarzać w XXI wieku. Sondażem przyszłości jest interferencja wykrytych cykli krótkich, średnich i długich poza przedziałem serii pomiarów. Jednym z nich, najważniejszym w prognozach, jest planetarny cykl 178,9-letni. Po prostu co 179 lat powtarza się liczba plam słonecznych (liczb Wolfa) jak też wartości stałej słonecznej.

Jego obecność w seriach pomiarowych (temperatury i paleotemperatury) świadczy o zewnętrznych przyczynach współczesnych wahań klimatu. Ponadto stwierdzono, że w kształtowaniu klimatu ważną rolę spełnia zawartość pyłów wulkanicznych w atmosferze, która cechuje się także okresowością. Dystrybucja energii słonecznej na Ziemi uwarunkowana zmianami stałej słonecznej i przezroczystości atmosfery odbywa się przez ogólną cyrkulację. Klimat Europy (i Polski) zależy od jej składowej równoleżnikowej (strefowej). Postępujące ocieplenie, zwłaszcza coraz cieplejsze zimy w Europie dobrze wyjaśnia tendencja rosnąca wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku (*NAO*) tj. intensyfikacja ocieplającego w zimie oddziaływania wód Atlantyku.

Prognozy wskazują na naturalne ochłodzenie klimatu Europy (i Polski) w XXI wieku, które częściowo może być złagodzone przez czynniki antropogeniczne (efekt cieplarniany i miejskie wyspy ciepła).

Wyeksponowano wpływ cyrkulacji atmosferycznej na klimat Polski (wg klasyfikacji Osuchowskiej-Klein) w rozdziale IV opracowanym przez D. Baranowskiego. Szczególne znaczenie poznawcze i możliwość wykorzystania w prognozach regionalnych mają mapy izarytm maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza z wyodrębnieniem kierunków adwekcji mas powietrza i typów cyrkulacji cyklonalnej i antycyklonalnej. Rozdział ten jest rozszerzeniem badań autora zapoczątkowanych w pracy doktorskiej (2001).

Innym ważnym problemem jest aktywność burzowa w Polsce w zależności od typów cyrkulacji atmosferycznej. Zagadnienie to zostało rozwiązane w pracy doktorskiej K. Grabowskiej pt. *Burze w Polsce i ich uwarunkowania* (20002). Wykrycie cykliczności aktywności burzowej w Polsce w latach 1951-1990 umożliwiło opracowanie prognoz liczby dni z burzą do roku 2025 w 20 miejscowościach, reprezentujących różne jednostki fizycznogeograficzne Polski. Prognozy liczby dni z burzą w Polsce mają duże znaczenie aplikacyjne.

Ważniejsze wyniki badań zawarte w XVI tomie *Atlasu* przedstawiono głównie na mapach, licznych wykresach i tabelach.

SPIS TREŚCI XVI

I WPROWADZENIE
II STAN BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU
1. Antropogeniczne zmiany klimatu
2. Naturalne zmiany klimatu
3. Prognozy zmian klimatu
III PROGNOZY ZMIAN KLIMATU W PRACACH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO
1. Początki badań zmian klimatu i prognoz (1984)
2. Postęp badań zmian klimatu i prognoz (1992-2000)
3. Wpływ Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO) na klimat Polski
4. Prognozy zmian Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO) w XXI wieku

4.1. Widma wskaźnika *NAO* w latach 1825-1997
4.2. Zmiany wskaźnika *NAO* w XVIII-XXI wieku
IV. ZMIANY KLIMATU POLSKI NA TLE EUROPY W XVIII-XXI WIEKU
1. Cykliczne zmiany klimatu Europy (XVIII-XX)
2. Coraz cieplejsze zimy w Europie i Polsce
3. Prognoza klimatu Warszawy w XXI wieku
V. POLE TEMPERATURY POWIETRZA W POLSCE A TYPY CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ
1. Geograficzny rozkład temperatury maksymalnej i minimalnej w Polsce.
2. Maksymalna temperatura powietrza w Polsce a typy cyrkulacji atmosferycznej
3. Minimalna temperatura powietrza a typy cyrkulacji atmosferycznej
4. Zróżnicowanie wartości temperatury maksymalnej i minimalnej na obszarze Polski w dominujących typach cyrkulacji atmosferycznej
5. Zmienność temperatury maksymalnej i minimalnej w przebiegu rocznym w dominujących typach cyrkulacji
6. Temperatura maksymalna i minimalna w zależności od makrotypu cyrkulacji atmosferycznej
VI. Z BADAŃ OKRESOWOŚCI I TENDENCJI ZMIAN BURZ W POLSCE
1. Zmiany roczne liczby dni z burzą
2. Zmiany cykliczne liczby dni z burzą
3. Zależność dni z burzą od typów cyrkulacji atmosferycznej
4. Tendencje zmian aktywności burzowej w Polsce
5. Prognoza dni z burzą w latach 2000-2025
VII. ZAKOŃCZENIE
LITERATURA

**Tom XVII – *Mroźne zimy i upalne lata w Polsce* (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Kirschenstein M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2003), ss. 297.**

Celem pracy jest określenie zakresu zmian i wahań temperatury powietrza podczas sezonów zimowych (XII, I, II) i letnich (VI, VII, VIII) w Europie, ze szczególnym uwzględnieniem Polski. Najpierw przedstawiono opisy niebezpiecznych zjawisk pogodowych w kronikach pogody w X-XVI wieku. Trudno nie zainteresować się informacją, że „w 1219 roku w Polsce przez cale lato padał deszcz, który rzadko ustawał. Z powodu powodzi był głód, zima była bardzo ciężka, a zimą 1322/1323 było między Danią, słowiańskim krajem i Jutlandią zamarznięte Morze Bałtyckie, tak że rozbójnicy, przychodząc ze słowiańskiego kraju, splądrowali niektóre okolice Danii, a pośrodku morza na lodzie były założone gospody dla przejezdnych". Sporo miejsca poświęcono przeszłości i teraźniejszości klimatu Europy i Polski. Szczególną uwagę zwrócono na zmiany klimatu minionych epok geologicznych. Obecnie żyjemy w epoce lodowej (czwartorzędu), która rozpoczęła się 2 miliony lat temu i trwa nadal z pokrywa lodową znajdującą się na obu biegunach (na Antarktydzie i Arktyce).

Według zawartości substancji organicznych w osadach polskich jezior za datę holoceńskiego ochłodzenie klimatu Polski można przyjąć 12 000 BP (Jez. Wikaryjskie). Największe holoceńskie ocieplenie klimatu Polski (wg osadów Jez. Gościąż) wystąpiły 13 000-11 000 i 9 000-8 500 lat temu.

Rekonstrukcja temperatury powietrza w warstwie przyziemnej w różnych miejscach Ziemi w ostatnim tysiącleciu (według redukcji lodowców, szerokości pierścieni drzew i pomiarów bezpośrednich) wskazuje 3 zasadnicze przedziały czasu: „optimum średniowieczne" – 800-1200, „mała epoka lodowa" – 1400-1900 i współczesne ocieplenie – od 1900 roku.

W Europie (i Polsce) przede wszystkim zimy są coraz cieplejsze. Na przykład w Warszawie zimy są coraz cieplejsze o 1°C/100 lat, a lata o 0,1°C/100 lat. Średnia roczna

temperatura wzrasta o 0,7°C/100 lat. Nie wiadomo, jaka część postępującego ocieplenia klimatu jest efektem oddziaływania czynników naturalnych, a jaka czynników antropogenicznych. Ocieplenie klimatu w XIX-XX wieku może być wywołane wzrostem aktywności Słońca i spadkiem aktywności wulkanicznej na Ziemi.Temperaturę powietrza podczas zim w Warszawie i wskaźnik NAO cechuje analogiczna cykliczność z dominującym okresem 7,8-letnim. Podobieństwo tych cykli świadczy, iż zimy w Warszawie są kształtowane przez okresowe wahania wskaźnika NAO (cyrkulacji strefowej).

Najważniejszą część pracy stanowi rozdział 5 „Mroźne zimy i upalne lata w Europie w XVIII-XXI wieku, ze szczególnym uwzględnieniem Polski". Zawiera on wykresy zmian temperatury powietrza podczas zimy i lata w XVIII-XXI wieku w 40 miejscowościach europejskich. Widma temperatury powietrza i tendencje zmian, określone równaniami prostych regresji omówiono wcześniej – w rozdziale III – „Przeszłość i teraźniejszość klimatu...". Szczególne znaczenie mają jednak prognozy klimatu do roku 2100 na podstawie interferencji silniejszych cykli zawartych w widmach. Prognozy wskazują na naturalne ochłodzenie klimatu Europy (i Polski) w XXI wieku, które częściowo może być złagodzone przez czynniki antropogeniczne (efekt cieplarniany i miejskie wyspy ciepła). W tabelkach zestawiono po 10 najmroźniejszych i najłagodniejszych zim i po 10 najcieplejszych i najchłodniejszych lat.

Istotny jest również kolejny rozdział VI („Dobowe amplitudy temperatury powietrza w Polsce i ich zależność od typów cyrkulacji atmosferycznej (1971-1995)"), opracowany przez D. Baranowskiego. Szczególne znaczenie mają mapy izarytm średnich miesięcznych wartości dobowej amplitudy temperatury powietrza przy różnych kierunkach adwekcji mas powietrza i typach cyrkulacji cyklonalnej i antycyklonalnej (wg klasyfikacji Osuchowskiej-Klein). Rozdział ten jest rozszerzeniem badań autora rozpoczętych w pracy doktorskiej (2001).

Innym ważnym elementem jest pole opadów atmosferycznych w Polsce (jego zmienność czasowa i przestrzenna) przedstawione w rozdziale VII – „Zmiany roczne pola opadów atmosferycznych w Polsce i ich uwarunkowania (1951-1995)", opracowanym przez autorów D. Baranowskiego i M. Kirschenstein Zagadnienie to zostało częściowo rozwiązane wcześniej w pracy doktorskiej M. Kirschenstein pt. „Wysokie dobowe sumy opadów atmosferycznych na obszarze północno-zachodniej Polski i ich uwarunkowania" (2000). Interesujące są mapy izarytm wskaźników (ilorazów), które wyróżniają obszary o cechach oceanicznych (kontynentalnych) klimatu Polski.

Ważniejsze wyniki badań zawarte XVII tomie Atlasu przedstawiono graficznie na licznych wykresach, tabelach i mapach.

SPIS TREŚCI XVII


I. WPROWADZENIE
II. EKSTREMALNE ZJAWISKA POGODOWE W X-XVI WIEKU (wg kronik)
III. PRZESZŁOŚĆ I TERAŹNIEJSZOŚĆ KLIMATU ZIEMI
   1. Zarys klimatu minionych epok geologicznych
   2 Ochłodzenia i ocieplenia klimatu w ostatnich stuleciach
   3 Tendencje zmian klimatu w XVII-XX wieku
IV. ROLA CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ W KSZTAŁTOWANIU KLIMATU EUROPY
   1. Wpływ Niżu Islandzkiego i Wyżu Azorskiego na klimat Europy
   2. Kierunki adwekcji mas powietrza przy różnych typach cyrkulacji
   3. Dominujące kierunki i prędkości wiatru w Polsce

V. MROŹNE ZIMY I UPALNE LATA W EUROPIE W XVIII-XXI WIEKU ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM POLSKI.
1. Mroźne i łagodne zimy oraz ciepłe i chłodne lata
2. Widma temperatury powietrza w Europie
3. Zmiany temperatury powietrza w Europie w XVIII-XX wieku. Prognozy po rok 2100
VI. DOBOWE AMPLITUDY TEMPERATURY POWIETRZA W POLSCE I ICH ZALEŻNOŚĆ OD TYPÓW CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ (1971-1995)
1. Dobowe wahania temperatury powietrza na obszarze Polski
2. Zależność dobowej amplitudy temperatury od typów cyrkulacji atmosferycznej
3. Zmienność dobowej amplitudy temperatury powietrza w przebiegu rocznym
VII. ZMIANY ROCZNE POLA OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W POLSCE I ICH UWARUNKOWANIA (1951-1995)
1. Roczne sumy opadów w Polsce
2. Miesięczne sumy opadów
3. Maksima i minima roczne sum opadów
4. Amplituda roczna opadów
5. Sumy opadów w porach roku
6. Iloraz sezonowych sum opadów
VIII. ZAKOŃCZENIE
LITERATURA
SUMMARY

**Tom XVIII – *Groźne zjawiska pogodowe w Polsce* (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2004), ss. 217.**

Celem XVIII tomu Atlasu jest określenie okresowości i tendencji zmian temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Polsce w XVIII-XX wieku wraz z prognozą w XXI wieku. Interesujące są wykresy czasowych zmian: aktywności Słońca i wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) z prognozami sięgającymi po rok 2100. Prognozy uzyskano na podstawie interferencji wyznaczonych metodą „sinusoid regresji" cykli liczb Wolfa i wskaźnika NAO. Wahania temperatury powietrza podczas zimy w Warszawie i Krakowie są silnie skorelowane. Zasadniczym celem pracy 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 35-lecia 1966-2000. Dotyczą one liczby dni z burzą, maksymalnych dobowych sum opadów atmosferycznych, częstości dobowych sum $\geq 10$ mm i liczby dni z pokrywą śnieżną.

Oprócz przebiegów czasowych, tendencji zmian (prostych regresji) i widm tych groźnych zjawisk pogodowych przedstawiono histogramy, odniesione do histogramów w rozkładzie normalnym. Istotne znaczenie praktyczne ma porównanie dystrybuant empirycznych z dystrybuantami rozkładu teoretycznego (normalnego). Na ogół rozkłady prawdopodobieństwa: liczby dni z burzą, maksymalnych dobowych sum opadów, częstości dobowych sum opadów $\geq 10$ mm i liczby dni z pokrywą śnieżną są zbliżone do normalnego (gaussowskiego) rozkładu prawdopodobieństwa (dotyczy to głównie średnich rocznych wartości). Na podstawie zamieszczonych wykresów dystrybuant rozkładu normalnego (znając wartość średnią i odchylenie standardowe) można określić prawdopodobieństwo występowania tych zjawisk pogodowych powyżej przyjętych wartości progowych (w przedziale wartości standaryzowanych (-4, +4) – na osi poziomej).

Ekstremalne wartości elementów klimatu i zjawisk atmosferycznych w Polsce stanowią zagrożenie dla człowieka. Na przykład burze z wyładowaniami grożą pożarem i utra-

tą życia, ulewne deszcze powodują lokalne powodzie, gradobicia towarzyszące burzom wyrządzają szkody w uprawach rolnych. Intensywne opady śniegu obciążają sieć energetyczną i telekomunikacyjną, a zawieje, zamiecie, zaspy i gołoledź paraliżują ruch kołowy.

SPIS TREŚCI XVIII


I. WPROWADZENIE
II. CYKLICZNE WAHANIA TEMPERATURY I OPADÓW W POLSCE W XIX-XXI WIEKU
   1. Synchroniczność cykli temperatury powietrza, opadów, cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca w Polsce
   2. Wpływ oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na klimat Warszawy i Krakowa
   3. Prognozy zmian klimatu Warszawy i Krakowa w XXI wieku
III. OKRESOWE ZMIANY TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE W 30-LECIU (1966-1995) I 210-LECIU (1779-1990)
   1. Cykl roczny temperatury powietrza w Warszawie w latach 1966-1995 i 1779-1979
   2. Cykliczne zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1966-1995 i 1779-1990
   3. Tendencja temperatury powietrza w 30-leciu 1966-1995 i 210-leciu 1779-1990
IV. ZMIANY OKRESOWE ITENDENCJE BURZ W POLSCE W LATACH 1951-990 i 1966-2000
   1. Tendencje zmian aktywności burzowej w Polsce
   2. Zmiany roczne liczby dni z burzą
   3. Zmiany cykliczne liczby dni z burzą (widma)
   4. Zależność dni z burzą od typów cyrkulacji atmosferycznej
   5. Prawdopodobieństwo występowania burz w Warszawie w Krakowie w latach 1966-2000
V. MAKSYMALNE DOBOWE SUMY OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH I CZESTOŚĆ OPADÓW ≥10 mm W WARSZAWIE I KRAKOWIE W LATACH 1966-2000
VI. LICZBA DNI Z POKRYWĄ ŚNIEŻNĄ W WARSZAWIE I KRAKOWIE W LATACH 1966-2000
VII. ZAKOŃCZENIE
SUMMARY
LITERATURA
KALENDARZ WAŻNIEJSZYCH WYDARZEŃ W ZAKŁADZIE KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO (2001-2004)


**Tom XIX – *Cechy termiczne klimatu Europy* (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Pietras K., Bijak S., Błażek E., Skrzypczuk J., 2005), ss. 184.**

Treść XIX tomu Atlasu nawiązuje bezpośrednio do tomu XVII dotyczącego mroźnych i łagodnych zim oraz najcieplejszych i chłodnych okresów letnich w Polsce na tle Europy i do tomu VIII poświęconego cechom oceanicznym klimatu Europy ze szczególnym uwzględnieniem Polski (Boryczka, Stopa-Boryczka i inni 1994, 2003).

Celem tego tomu Atlasu jest określenie zmian cech termicznych klimatu Europy w XVIII-XIX wieku z wyeksponowaniem ich przyczyn.

Najpierw uaktualniono cykliczność i tendencje zmian aktywności Słońca na podstawie danych z lat1700-2002 a potem okresowość Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-2000 (rozdz. II i III).

Oryginalną część pracy stanowi rozdział IV pt. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy*. Zawiera on wykresy widm i przebiegów wieloletnich temperatury powietrza wraz z prostymi regresji, w miesiącach zimowych (w styczniu) i letnich (w lipcu) w 40 miejscowościach europejskich. Widma temperatury powietrza wyznaczono metodą sinusoid regresji, a tendencje zmian określono równaniami prostych regresji. Szczególne znaczenie mają jednak prognozy temperatury powietrza do 2100 roku na podstawie interferencji

silniejszych cykli zawartych w widmach. Prognozy wskazują na naturalne ochłodzenie klimatu Europy w XXI wieku. Według tych prognoz, w XXI wieku można oczekiwać ochłodzenia (więcej mroźnych zim), które częściowo może być złagodzone przez czynniki antropogeniczne (efekt cieplarniany i miejskie wyspy ciepła). W prognozach przyjęto założenie, że ekstrema wykrytych cykli (obecnych w widmach temperatury powietrza) o dość dużych amplitudach (istotnych statystycznie) będą się powtarzać nadal, tak jak w XVIII-XX wieku.

W tabelach zestawiono po 10 najmroźniejszych i najchłodniejszych styczniów i po 10 najcieplejszych i najchłodniejszych lipców w XVIII-XX wieku.

Ochłodzenia i ocieplenia klimatu są kształtowane wahaniem dopływu energii słonecznej do powierzchni Ziemi, zależnej od aktywności Słońca (stałej słonecznej) i zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze – pochłaniających i rozpraszających promieniowanie słoneczne.

Najbardziej poznane (na podstawie danych instrumentalnych) jest ostatnie, największe ochłodzenie w Europie. Trzeba zauważyć, że wystąpiło ono podczas trzech najsłabszych, wydłużonych (12-13-letnich) cykli aktywności Słońca (1798-1833). Ochłodzenie to pojawiło się w czasie najsłabszego 13 letniego cyklu plam słonecznych (1811-1823), podczas absolutnego minimum wiekowego (od 1700 r.). To ostatnie globalne ochłodzenie klimatu (także w Europie) wystąpiło podczas wzmożonej aktywności wulkanicznej, po największych wybuchach wulkanów: 1803 – Cotopaxi, 1815 – Tambora, 1835 – Cosequina.

Temperatura powietrza podczas zim w Europie w 1830 roku wynosiła: -10,4 Lwów, -10,3 Kraków, -10,3 Wrocław, -10,1 Kijów, -9,7 Warszawa, -9,7 Wilno, -6,7 Wiedeń, -6,6 Berlin, -6,1 Praga, -5,4 Bazylea, -5,0 Budapeszt, -4,5 Kopenhaga, -3,5 Genewa.

Ocieplenie klimatu w XIX-XX wieku było wywołane wzrostem aktywności Słońca i spadkiem aktywności wulkanicznej na Ziemi oraz wzrostem efektu cieplarnianego atmosfery.

W Europie przede wszystkim zimy są coraz cieplejsze. Na przykład w Warszawie zimy są cieplejsze o 1,1°C/100 lat, a lata chłodniejsze prawie o 0,1°C/100 lat. Jeszcze większy wzrost temperatury powietrza podczas zimy występuje w Krakowie – 1,5°C/100 lat i Moskwie – 1,6°C/100 lat. Średnia roczna temperatura powietrza wzrasta w Warszawie – o 0,6°C; Krakowie – o 0,8°C; Moskwie – o 0,7°C na 100 lat.

Nie wiadomo jaka część postępującego ocieplenia klimatu jest efektem oddziaływania czynników naturalnych, a jaka – czynników antropogenicznych.

Do mroźnych okresów w drugiej połowie XX wieku można zaliczyć także zimę z 1963 r. – -9,7 Mińsk, -9,5 Warszawa, -8,4 Wrocław, -8,4 Lwów, -7,8 Oslo, -6,9 Praga, -6,9 Kraków, -5,7 Poczdam, -5,7 Innsbruck, -3,6 Zagrzeb.

Najłagodniejsze zimy wystąpiły w ostatniej dekadzie XX wieku: 1990 – Marsylia (9,7), Berlin (4,3), Poczdam (4,0), Wrocław (3,2), Odessa (2,9), Warszawa (2,3), Lwów (1,0), Kijów (0,9), Mińsk (0,0), 1998 – Wiedeń (3,6), Innsbruck (2,5), 2001 – Zagrzeb (5,2).

Najcieplejsze pory letnie wystąpiły: w 1811 – Budapeszt (24,1), Wiedeń (22,4), Warszawa (21,4), Wilno (20,6), Monachium (18,9), w 1992 – Wiedeń (21,7), Kijów (21,4), Wrocław (20,3), Poczdam (20,1), Kraków (20,1), Mińsk (19,2), w 1999 – Ateny (28,9), Odessa (23,5), Kijów (21,5), Mińsk (20,0).

Na klimat Europy dominujący wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego: Niż Islandzki i Wyż Azorski. Te dwa centra ciśnienia związane z różnicą temperatury między wodą Atlantyku Północnego i lądem są w ciągu roku ze sobą ujemnie skorelowane. O wpływie aktywności Słońca na cyrkulację atmosfery (na dystrybucję ciepła na Ziemi) świadczą analogiczne cykle cyrkulacji atmosfery i liczb Wolfa, a także temperatury powietrza.

Wskaźnik *NAO* w latach 1825-2000 cechuje się okresowością 8-letnią, kilkunastoletnią i 106,3 letnią, a temperatura powietrza w Europie cechuje się okresowością 8, 11, 100 i 180-letnią.

Temperatura powietrza podczas zim w Warszawie i wskaźnik NAO cechuje analogiczna cykliczność z dominującym okresem 7, 8-letnim. Podobieństwo tych cykli świadczy, iż zimy w Warszawie są kształtowane przez okresowe wahania Oscylacji Północnoatlantyckiej NAO (cyrkulacji strefowej). Oto zimowe okresy około 8-letnie temperatury powietrza na innych stacjach w Europie i ich amplitudy: Kraków – 8,3 (1,87ºC), Wrocław – 8,3 (1,53 ºC), Lwów – 8,3 (1,30°C), Praga – 8,3 (1,06°C), Berlin – 7,7 (1,54°C), Genewa – 7,7 (0,62°C), Wiedeń – 8,3 (0,87°C), Rzym – 7,9 (0,30°C), Sztokholm – 7,8 (1,33°C), Kopenhaga – 7,8 (1,24°C), Moskwa – 7,9 (0,76°C).

W lecie okresowość jest zbliżona, amplitudy są prawie o połowę mniejsze.

Dużą rolę w kształtowaniu klimatu odgrywają długie cykle: 102 i 187 – letnie aktywności Słońca. Analogiczne okresy są obecnie w widmach temperatury powietrza. Oto zimowe cykle około 100-letnie temperatury powietrza w Europie: Warszawa – 113,4; Kraków – 90,0; Wrocław – 123,3; Lwów – 108,8; Praga – 116,3; Wiedeń – 89,8; Bazylea – 85,5; Kopenhaga – 80,5; Sztokholm – 86,3; Uppsala – 102,7.

W pracy (rozdział V) określono też najważniejsze cechy termiczne klimatu Europy, wynikające z jej położenia w umiarkowanych szerokościach geograficznych – w sąsiedztwie Oceanu Atlantyckiego i strefowego ukształtowania jej powierzchni.

W tym celu, pole temperatury powietrza w Europie w obszarze: $15°N < \varphi < 85°N$, $15°W < \lambda < 180°E$ opisano empirycznymi modelami – wielomianami regresji $T(\varphi, \lambda, H)$ względem współrzędnych położenia ($\varphi$ i $\lambda$) oraz wysokości nad poziomem morza ($H$).

Symulują one zarówno zmienność strefową temperatury powietrza (uwarunkowaną dopływem promieniowania słonecznego) jak też oddziaływanie Oceanu Atlantyckiego oraz wpływ wysokości nad poziomem morza.

Dobrym narzędziem badań ogólnych cech termicznych klimatu tego obszaru okazały się wielomiany pierwszego stopnia.

Zmiany południkowe temperatury powietrza spełniają zasadę strefowości klimatu w ciągu całego roku. Średni gradient południkowy na badanym obszarze wynosi $-0,5°C/1°\varphi$. To znaczy, że temperatura powietrza spada ze wzrostem szerokości geograficznej – średnio o $0,5°C/1°\varphi$.

Gradient równoleżnikowy temperatury powietrza charakteryzuje zmienność z zachodu na wschód – wzrost w°C/1°$\lambda$. Natomiast gradient hipsometryczny temperatury powietrza opisuje jej spadek o 0,6°C/100 m ze wzrostem wysokości nad poziomem morza.

Cechy oceaniczne i kontynentalne klimatu Europy dobrze charakteryzuje profil równoleżnikowy amplitudy rocznej i jej gradient. Te średnie gradienty temperatury powietrza – określone wielomianami pierwszego stopnia nie różnią się od znanych w literaturze.

Gradient hipsometryczny – 0,6°C/100 m jest zbliżony do gradientu wilgotnoadiabatycznego w swobodnej atmosferze.

Na końcu zamieszczono mapy izoterm średnich wartości temperatury powietrza w poszczególnych miesiącach, porach roku i roku w latach 1961-1990.

Ciągi chronologiczne średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w niektórych miejscowościach europejskich w XVIII-XX wieku zaczerpnięto z internetu: http://data.giss.nasa.gov/gistemp/station_data/.

SPIS TREŚCI XIX


I. WPROWADZENIE
II. OKRESOWE ZMIANY AKTYWNOŚCI SŁOŃCA W LATACH 1700-2002
   1. Daty minimów i maksimów plam słonecznych w cyklu 11-letnim
   2. Okresy aktywności Słońca wyznaczone metodą „sinusoid regresji.
   3. Okresy wiekowe i dwuwiekowe aktywności Słońca
III. OKRESOWE ZMIANY OSCYLACJI PÓŁNOCNOATLANTYCKIEJ (NAO) W LATACH 1825-2000
   1. Okresowe zmiany Oscylacji Północnoatlantyckiej
   2. Tendencje zmian Oscylacji Północnoatlantyckiej
IV. OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU EUROPY W OSTATNICH STULECIACH
   1. Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie
   2. Mroźne i łagodne zimy oraz ciepłe i chłodne lata
   3. Zmiany temperatury powietrza w Europie w XVIII-XXI wieku
V. CECHY OCEANICZNE I KONTYNENTALNE KLIMATU EUROPY
   1. Profile temperatury powietrza (południkowy, równoleżnikowy i hipsometryczny)
   2. Gradienty horyzontalne w°C/100 km
VI. ZAKOŃCZENIE.
SUMMARY
LITERATURA


**Tom XX-XXI – *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych* (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Bijak Sz., Cebulski R., Błażek E., Skrzypczuk J., 2007, ss. 226).**

Treść XX-XXI tomu *Atlasu* nawiązuje bezpośrednio do tomu XVII i XIX, dotyczących mroźnych i łagodnych zim oraz najcieplejszych i chłodnych okresów letnich w Polsce na tle Europy, i do tomu VIII, poświęconego cechom oceanicznym klimatu Europy ze szczególnym uwzględnieniem Polski (Boryczka, Stopa-Boryczka i inni 1994, 2003, 2005).

Celem tego tomu jest określenie tendencji zmian cech termicznych klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu (ze szczególnym uwzględnieniem ostatnich stuleci XVIII-XXI) z wyeksponowaniem ich przyczyn.

Najpierw określono cechy termiczne 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 temperatury powietrza w latach 1931-1960 i 1961-1990. Pola temperatury powietrza opisano empirycznymi modelami – wielomianami regresji pierwszego, drugiego, trzeciego i czwartego stopnia $T=f(\varphi, \lambda, H)$ względem trzech współrzędnych: szerokości i długości geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza. Symulują one zarówno zmienność strefową temperatury powietrza (uwarunkowaną dopływem promieniowania słonecznego), jak też oddziaływanie Oceanu Atlantyckiego i wpływ wysokości nad poziomem morza.

Oryginalną część pracy stanowi rozdział III pod tytułem *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w XIX-XXI wieku*. Zawiera on wykresy widm i przebiegów wieloletnich temperatury powietrza wraz z prostymi regresji na przykładzie średnich rocznych w 40 miejscowościach europejskich. Widma temperatury powietrza wyznaczono metodą sinusoid regresji, a tendencje zmian określono równaniami prostych regresji. Szczególne znaczenie mają jednak prognozy temperatury powietrza do 2100 roku na podstawie interferencji silniejszych cykli zawartych w widmach. Prognozy wskazują na naturalne ochładzanie klimatu Europy w XXI wieku. Według tych prognoz w XXI wieku można oczekiwać ochłodzenia, które częściowo może być złagodzone przez czynniki antropogeniczne (efekt cieplarniany i miejskie wyspy ciepła). W prognozach przyjęto założenia, że ekstrema wykrytych cykli (obecnych w widmach temperatury powietrza) o dość dużych amplitudach (istotnych statystycznie) będą się powtarzać nadal, tak jak w XVIII-XX wieku.

W tabelach zestawiono po 10 najchłodniejszych lat i po 10 najcieplejszych lat w XVIII-XX wieku. Kolejna seria tabel dotyczy krótkich, średnich i długich cykli temperatury powietrza w 40 miejscowościach europejskich reprezentujących prawie wszystkie jednostki fizycznogeograficzne.

Ochłodzenia i ocieplenia klimatu są kształtowane wahaniem dopływu energii słonecznej do powierzchni Ziemi, zależnej od aktywności Słońca (stałej słonecznej) i zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze – pochłaniających i rozpraszających promieniowanie słoneczne.

Najbardziej poznane (na podstawie danych instrumentalnych) jest ostatnie, największe ochłodzenie w Europie. Trzeba zauważyć, że wystąpiło ono podczas trzech najsłabszych, wydłużonych (12-13-letnich) cykli aktywności Słońca (1798-1833). Ochłodzenie to pojawiło się w czasie najsłabszego 13-letniego cyklu plam słonecznych (1811-1823), podczas absolutnego minimum wiekowego (ok. 1700 r.). To ostatnie globalne ochłodzenie klimatu (także w Europie) wystąpiło podczas wzmożonej aktywności wulkanicznej, po największych wybuchach wulkanów: 1813 r. – Cotopaxi, 1815 r. – Tambora, 1835 r. – Cosequina.

Temperatura powietrza w Europie w 1829 r. wynosiła: 1,9°C – Tallin, 3,6 – Sztokholm, 4,7 – Warszawa, 5,2 – Wrocław, 7,4 – Wiedeń, a w 1830 r.: 5,3 – Wrocław, 5,4 – Lwów.

W Europie przede wszystkim zimy są coraz cieplejsze. Na przykład w Warszawie zimy są cieplejsze o 1,1°C/100lat, a lata chłodniejsze prawie o 0,1°C/100 lat. Jeszcze większy wzrost temperatury powietrza podczas zimy występuje w Krakowie – 1,5°C/100 lat i Moskwie – 1,6°C/100 lat. Średnia roczna temperatura powietrza wzrosła w Warszawie o 0,06°C, Krakowie – o 0,8°C, Moskwie – o 0,7°C na 100 lat. Nie wiadomo, jaka część postępującego ocieplenia klimatu jest efektem oddziaływania czynników naturalnych, a jaka – czynników antropogenicznych.

Najłagodniejsze zimy wystąpiły w ostatniej dekadzie XX wieku, co znalazło swój wyraz w średnich rocznych: 1990 r. – Tallin (6,6°C), Mińsk (7,7), Monachium (9,2), Odessa (9,2), Kijów (9,3), Warszawa (9,7), Wrocław (10,0), Berlin (10,4), Genewa (10,4), Kopenhaga (10,8), Wiedeń (11,1), Zagrzeb (12,6), Marsylia (15,6).

Najcieplejsze pory letnie wystąpiły w 1811 roku, co tylko częściowo znalazło odbicie w średnich rocznych: Kremsmuenster (9,6°C), Monachium (9,7), Odessa (9,7), Wiedeń (11,2), Praga (11,3), Rzym (11,3), Innsbruck (11,4).

Według średnich rocznych wyróżnia się rok 2000: Ateny (19,3°C), Marsylia (15,5), Zagrzeb (13,4), Wiedeń (11,6), Wrocław (10,3), Kijów (9,1), Lwów (9,0), Mińsk (7,8), Tallin (7,1), Moskwa (6,7), Oxford (6,6).

Na klimat Europy dominujący wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego: Niż Islandzki i Wyż Azorski. Te dwa centra ciśnienia związane z różnicą temperatury między wodą Atlantyku Północnego i lądem są w ciągu roku ze sobą ujemnie skorelowane. O wpływie aktywności Słońca na cyrkulację atmosfery (na dystrybucję ciepła na Ziemi) świadczą analogiczne cykle cyrkulacji atmosfery i liczb Wolfa, a także temperatury powietrza.

Wskaźnik NAO w latach 1825-2000 cechuje się okresowością 8-letnią, kilkunastoletnią i 106,3-letnią, a temperatura powietrza w Europie cechuje się okresowością 8-, 11-, 100- i 180-letnią.Temperatura powietrza podczas zim w Warszawie i wskaźnik NAO cechuje analogiczna cykliczność z dominującym okresem 7,8-letnim. Podobieństwo tych cykli świadczy, iż zimy w Warszawie są kształtowane przez okresowe wahania Oscylacji Północnoatlantyckiej NAO (cyrkulacji strefowej). Oto zimowe okresy około 8-letnie temperatury powietrza na innych stacjach w Europie i ich amplitudy: Kraków – 8,3 (1,87°C), Wrocław – 8,3 (1,53°C), Lwów – 8,3 (1,30°C), Praga – 8,3 (1,06°C), Berlin – 7,7 (1,54°C), Genewa – 7,7 (0,62°C), Wiedeń -8,3 (0,87°C), Rzym – 7,9 (0,30°C), Sztokholm – 7,8 (1,33°C), Kopenhaga – 7,8 (1,24°C), Moskwa – 7,9 (0,76°C). W lecie okresowość jest zbliżona, amplitudy są prawie o połowę mniejsze.

Średnia roczna temperatury powietrza wykazuje podobną cykliczność: Kraków – 8,3 (0,86°C), Kopenhaga – 8,3 (0,24°C), Berlin – 7,8 (0,72°C), Kijów – 7,8 (0,54°C), Lwów – 8,3 (0,42°C), Marsylia – 7,8 (0,22°C), Moskwa – 7,9 (0,38°C), Oslo – 7,8 (0,60°C), Paryż – 7,8 (0,32°C), Praga – 7,8 (0,48°C), Rzym – 8,1 (0,24°C), Sztokholm – 7,8 (0,58°C), Warszawa – 7,8 (0,52°C), Wiedeń – 7,8 (0,38°C), Wilno – 7,8 (0,64°C), Wrocław – 7,8 (0,50°C), Zagrzeb – 8,2 (0,46°C).

Dużą rolę w kształtowaniu klimatu odgrywają długie cykle: 102- i 187-letnie aktywności Słońca. Analogiczne okresy są obecne w widmach temperatury powietrza. Oto zimowe cykle około 100-letnie temperatury powietrza w Europie: Warszawa – 113,4, Kraków – 90,0, Wrocław – 123,3, Lwów – 108,8, Praga – 116,3, Wiedeń – 89,8, Bazylea – 85,5, Kopenhaga – 80,5, Sztokholm – 86,3, Uppsala – 102,7. Dla porównania zestawiono też najdłuższe cykle średnich rocznych: Berlin – 170,4, Genewa – 98,1, Kijów – 95,1, Kopenhaga – 87,0, Kraków – 245,2, Lwów – 125,4, Moskwa – 152,3, Oslo – 181,9, Praga – 116,1, Ryga – 91,6, Rzym – 144,4, Uppsala – 162,5, Warszawa – 106,1, Wiedeń – 93,7, Wrocław – 125,8, Wilno – 182,9.

Okresy prawie dwuwiekowe są zbliżone do okresu planetarnego 178,9 lat, po upływie którego powtarzają się wartości parametrów Układu Słonecznego. Ich długości wynoszą: Kraków (lipiec – 179,8), Lwów (lipiec – 158,8), Berlin (lipiec – 154,4), Kopenhaga (lipiec – 175,2), Anglia środkowa (styczeń – 191,1), Uppsala (styczeń – 193,3), Innsbruck (styczeń – 164,2), Trondheim (styczeń – 207,7 lat).

Nowość stanowią cykle klimatu określone pośrednio na podstawie danych dendrologicznych z Europy (i Polski) w ostatnim 1000-leciu oraz prognozy po rok 2100.

Analogiczne okresy około 8. i 11-letnie są obecne w chronologicznych ciągach rocznych przyrostów drewna tj. szerokości pierścieni (słoi) dębów rosnących w Polsce (tab. 11).

**Tabela 11.** Okresy ($\Theta$ lat) około 8. i 11- letnie szerokości pierścieni dębów (*Quercus robur*) rosnących w Polsce (XVIII-XX wieku), $R$ – współczynnik korelacji

| Miejsce | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | Miejsce | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gdańsk | 8,0 | 0,127 | 11,6 | 0,219 | Roztocze | 7,6 | 0,147 | 11,2 | 0,194 |
| Gołdap | 7,8 | 0,154 | 10,8 | 0,130 | Suwałki | 7,5 | 0,278 | 11,8 | 0,172 |
| Hajnówka | 7,9 | 0,144 | 11,2 | 0,258 | Toruń | 7,7 | 0,161 | 11,4 | 0,181 |
| Koszalin | 8,6 | 0,193 | 11,1 | 0,127 | Warszawa | 7,7 | 0,175 | 11,1 | 0,124 |
| Kraków | 7,7 | 0,235 | 11,5 | 0,137 | Wrocław | 8,3 | 0,206 | 11,6 | 0,162 |

Ciągi chronologiczne szerokości pierścieni drzew: sosny, świerka i modrzewia w Europie cechują się również podobnymi okresami około 100. i 200-letnimi (tab. 12).

**Tabela 12.** Okresy ($\Theta$ lat) około 35., 100. i 200-letnie szerokości pierścieni drzew (sosna, świerk, modrzew) rosnących w Europie

| Drzewo | Przedział czasu | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Sosna** | | | | | | | |
| Forfiorddalen (Norway) | 877-1994 | 35 | 0,148 | 112 | 0,178 | 189 | 0,121 |
| Kola (Russia) | 1577-1997 | 33 | 0,259 | 109 | 0,394 | 186 | 0,277 |
| **Świerk** | | | | | | | |
| Stonngrandes (Norway) | 1403-1997 | 35 | 0,165 | 114 | 0,191 | – | – |
| Falkenstein (Germany) | 1540-1995 | 46 | 0,225 | 110 | 0,298 | 189 | 0,414 |
| **Modrzew** | | | | | | | |
| Pinega 1 (Russia) | 1598-1990 | 32 | 0,286 | 103 | 0,177 | 217 | 0,286 |

Należy podkreślić duży udział mgr Szymona Bijaka – doktoranta Zakładu Dendrometrii SGGW w Warszawie, w opracowaniu rozdziałów IV i V dotyczących cykliczności klimatu Europy, ze szczególnym uwzględnieniem Polski, na podstawie danych dendrologicznych.

Istotny jest również ostatni rozdział VI pt. *Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu opadów atmosferycznych i stanów wody rzeki górskiej*, opracowany przez Roberta Cebulskiego – autoreferat pracy doktorskiej obronionej na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego. Obrona pracy doktorskiej odbyła się w dniu 29 maja 2007 r. (promotor – prof. dr hab. Jerzy Boryczka, recenzenci: prof. dr hab. Tadeusz Niedźwiedź, UŚ i dr hab. Artur Magnuszewski, UW).

Celem tej pracy jest określenie wpływu cyrkulacji atmosferycznej na pole opadów atmosferycznych i stany wody w korycie rzeki górskiej na przykładzie Skawy. Jest nim wykazanie analogicznych okresów opadów atmosferycznych i stanów wody oraz istotnych zależności regresyjnych od: aktywności Słońca, Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) i częstości typów cyrkulacji. Dużą wartość poznawczą mają zbliżone widma i okresy, wyznaczone metodą „sinusoid regresji", badanych zmiennych tj. stanów wody w rzece górskiej, opadów atmosferycznych, wskaźników cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca.

SPIS TREŚCI XX-XXI

DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWA I DYDAKTYCZNA PROF. DR HAB. JERZEGO BORYCZKI. ACADEMIC AND RESEARCH ACTIVITY OF PROFESSOR JERZY BORYCZKA

I. WPROWADZENIE

II. CECHY TERMICZNE KLIMATU EUROPY

1. Zmiany roczne gradientów temperatury powietrza
2. Profile gradientów rocznej amplitudy temperatury powietrza
3. Przestrzenny rozkład gradientów temperatury powietrza
4. Gradienty horyzontalne temperatury powietrza w°C/100 km
5. Deformacja pola temperatury powietrza przez czynniki lokalne

III. OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU EUROPY W XIX-XXI WIEKU
1. Wpływ aktywności Słońca na temperaturę powietrza w Europie
2. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na temperaturę powietrza w Europie
3. Mroźne i łagodne zimy oraz ciepłe i chłodne lata w Europie
4. Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie
5. Tendencje zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX-XX wieku. Prognozy do roku 2100

IV. CYKLICZNE ZMIANY KLIMATU EUROPY W OSTATNIM TYSIĄCLECIU WEDŁUG CIĄGÓW DENDROLOGICZNYCH
1. Zarys badań dendroklimatycznych
2. Synchroniczność cykli klimatycznych i dendrologicznych w Europie
   2.1. Cykl 4-letni temperatury powietrza, opadów i cyrkulacji atmosferycznej
   2.2. Cykl 8-letni temperatury, cyrkulacji atmosferycznej, aktywności Słońca i rocznych przyrostów drzew
   2.3. Cykl 11-letni temperatury powietrza, opadów, aktywności Słońca i rocznych przyrostów drzew
   2.4. Cykle 100. i 180-letni temperatury powietrza, aktywności Słońca i rocznych przyrostów drzew
3. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na klimat Europy
4. Prognozy zmian klimatu Europy w XXI wieku

V. ZMIANY KLIMATU POLSKI W OSTATNICH STULECIACH WEDŁUG ROCZNYCH PRZYROSTOW DĘBÓW
1. Największe ochłodzenia i ocieplenia w kronikach z X-XVI wieku nawiązujące do osobliwości rocznych przyrostów dębów w Polsce
2. Zależność szerokości słoi dębów od miesięcznych wartości temperatury i sum opadów atmosferycznych w Polsce
3. Lata wskaźnikowe dębów w Polsce
4. Widma i parametry cykli rocznych przyrostów dębów w Polsce
5. Prognozy zmian rocznych przyrostów dębów w Polsce w XXI wieku

VI. ROLA CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ W KSZTAŁTOWANIU OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH I STANOW WODY RZEKI GÓRSKIEJ
1. Cel, tezy zakres pracy
2. Cechy fizyczno-geograficzne badanej zlewni karpackiej
   2.1. Położenie geograficzne zlewni, układ dorzecza
   2.2. Warunki klimatyczne zlewni
   2.3. Dane empiryczne
3. Empiryczne i teoretyczne rozkłady prawdopodobieństwa opadów atmosferycznych i stanów wody w rzece karpackiej
   3.1. Wybór teoretycznych rozkładów prawdopodobieństwa
   3.2. Porównanie dystrybuant empirycznych i teoretycznych
   3.3. Wyznaczenie sum opadów o prawdopodobieństwie przewyższenia
4. Ekstrema i tendencje zmian opadów atmosferycznych stanów wody w przekrojach wodowskazowych oraz ich uwarunkowania
   4.1. Przyczyny tendencji malejącej zmian stanów wody w rzece Skawie
5. Okresowe zmiany opadów atmosferycznych i stanów wody w rzece górskiej oraz ich przyczyny
   5.1. Metoda badania okresowości ciągów chronologicznych
   5.2. Wyniki analizy okresowej zmienności elementów klimatologicznych i hydrologicznych
   5.3. Synchroniczność cykli badanych zmiennych
6. Zależność opadów atmosferycznych oraz średnich i ekstremalnych stanów wody w rzece górskiej od cyrkulacji atmosferycznej
   6.1. Wybór metod analizy regresji
   6.2. Próba uwzględnienia zmian koryta rzeki w ciągach chronologicznych stanów wody

6.3. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na pole opadów w zlewni Skawy
6.4. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na stany wody w przekrojach wodowskazowych Skawy
6.5. Zależność stanów wody Skawy od opadów atmosferycznych
6.6. Zależność częstości ekstremalnych stanów wody w przekrojach wodowskazowych zlewni karpackiej od cyrkulacji atmosferycznej
7. Prognoza zmian opadów atmosferycznych oraz średnich i ekstremalnych stanów wody w rzece karpackiej do roku 2025
7.1. Przyjęte metody prognozowania oraz jego statystycznej oceny
7.2. Prognoza sum rocznych opadów atmosferycznych do roku 2025
7.3. Prognoza rocznych wartości stanów wody do roku 2025
8. Podsumowanie
VII.ZAKOŃCZENIE
SUMMARY
LITERATURA
WYKAZ PRAC MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII DOTYCZĄCYCH CYKLICZNOŚCI I TENDENCJI ZMIAN KLIAMTU W EUROPIE

**Tom XXII – *Wpływ zabudowy i zieleni osiedlowej na zróżnicowanie klimatu lokalnego w Warszawie* (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2008, ss. 332).**

Jest to druga 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 pt. „ *Klimat Wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007"* (2008).

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 szczegółowych 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.

W pracy uwzględniono również wyniki dotychczasowych badań pracowników Zakładu Klimatologii, dotyczące mikroklimatu osiedli mieszkaniowych oraz studia porównawcze.

Najwięcej prac dotyczyło projektowanego osiedla mieszkaniowego w Białołęce Dworskiej, w ramach realizowanego programu rządowego PR-5 (*Kompleksowy rozwój budownictwa mieszkaniowego*) w zadaniu 02.02.03 6 – eksperyment *Białołęka Dworska* (1976-1979). Na podstawie badań specjalistycznych (geologicznych, hydrologicznych, klimatycznych, gleboznawczych, fito- i zoocenotycznych) dokonano oceny środowiska przyrodniczego przeznaczonego pod zabudowę. Ponadto przedstawiono prognozy urbanistyczne zmian środowiska, po wprowadzeniu zabudowy. Pozwoliło to zaprojektowanie optymalnych walorów środowiska przyrodniczego. Do postawienia prognoz zmian klimatu lokalnego w Białołęce Dworskiej potrzebna była dotychczasowa wiedza pracowników Zakładu Klimatologii UW, zdobyta podczas prowadzenia badań klimatu Warszawy, zwłaszcza w pracach magisterskich.

SPIS TREŚCI XXII


I. WPROWADZENIE.

II. STAN BADAŃ KLIMATU WARSZAWY W PUBLIKACJACH I PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO.

III. CHARAKTERYSTYKA I OCENA WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH BIAŁOŁĘKI DWORSKIEJ ORAZ OKREŚLENIE WPŁYWU ZABUDOWY NA ICH ZMIANY – Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ, Andrzej GÓRKA, Ewa RYCZYWOLSKA, Jerzy BORYCZKA, Jolanta WAWER.

IV. WARUNKI KLIMATYCZNE OSIEDLA SZWOLEŻERÓW – WYNIKI BADAŃ ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO

V. WPŁYW ZABUDOWY NA ZRÓŻNICOWANIE WARUNKÓW MIKROKLIMATYCZNYCH W OSIEDLACH SADY ŻOLIBORSKIE I SZWOLEŻERÓW – Maria STOPA-BORYCZKA Maria KOPACZ-LEMBOWICZ, Ewa RYCZYWOLSKA

VI. DZIENNE ZMIANY RÓŻNIC TEMPERATURY POWIETRZA MIĘDZY OSIEDLEM Z DUŻYM UDZIAŁEM ZIELENI I TERENEM POZAMIEJSKIM – Bohdan MIERZWIŃSKI.

VII. DEFORMACJA PÓL ELEMENTÓW METEOROLOGICZNYCH POD WPŁYWEM ZABU-DOWY – Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ, Urszula KOSSOWSKA-CEZAK, Bohdan MIERZWIŃSKI, Jolanta WAWER

VIII. ZRÓŻNICOWANIE KLIMATU LOKALNEGO W WARSZAWIE NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH PRAC MAGISTERSKICH DOTYCZĄCYCH OSIEDLI.

8.1. Osiedle Białołęka Dworska

8.1.1. Zmiany dobowe temperatury powietrza w 1977 roku na przykładzie Białołęki Dworskiej (1978) – Małgorzata PANASZ (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)

8.1.2. Zmiany dobowe i roczne wilgotności powietrza w Białołęce Dworskiej w 1977 r. (1979) – Elżbieta KOWALCZYK-GUTOWSKA (opiekunowie naukowi: Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA)

8.1.3. Wpływ podłoża na temperaturę powietrza na przykładzie Białołęki Dworskiej (1979) – Krystyna BĄCZYK (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)

8.1.4. Wpływ podłoża na warunki wilgotnościowe w Białołęce Dworskiej (1979) – Celina BOUŻYK (opiekunowie naukowi: Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA)

8.1.5. Wpływ pogody na zróżnicowanie warunków odczuwalnych osiedla mieszkaniowego na przykładzie Białołęki Dworskiej (1979) – Wiesława DYBCZYŃSKA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)

8.1.6. Ocena warunków odczuwalnych dla potrzeb budownictwa w Białołęce Dworskiej (1979) – Anna PIORUŃSKA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)

8.1.7. Ogólna charakterystyka bioklimatu okolic Białołęki Dworskiej za okres 1961-1970 (1979) – Krystyna KOWALIK-BIAŁOWOLSKA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)

8.2. Osiedle Chomiczówka.

8.2.1. Warunki termiczne osiedla Chomiczówka w Warszawie (1994) – Anna KAZUBEK (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)

8.3. Osiedle Sady Żoliborskie

8.3.1. Warunki bioklimatyczne w osiedlu Sady Żoliborskie (1989) – Irma KIJOWSKA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)

8.3.2. Warunki odczuwalne osiedli warszawskich o dużym udziale i strukturze zieleni (1991) – Grażyna DUDZICKA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)

8.4. Osiedle Stawki

8.4.1. Mikroklimat osiedla „Stawki" w Warszawie (1986) – Walentyna LEONIUK (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)

8.4.2. Warunki odczuwalne w osiedlach warszawskich o wysokiej zabudowie (1988) – Anna ANDRZEJEWSKA-MAMCZAREK (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)

8.5. Osiedle Szwoleżerów

8.5.1. Mikroklimat osiedla Szwoleżerów w Warszawie (1988) – Urszula SZCZĘŚNIAK (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)

8.6. Osiedle Wyględów-Olimpijska

8.6.1. Warunki odczuwalne w osiedlach warszawskich Sady Żoliborskie i Olimpijska (1988) – Barbara GAWRYŚ (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)

8.7. Osiedle Służew nad Dolinką

8.7.1. Mikroklimat osiedla Służew nad Dolinką w Warszawie (1988) – Maria WACŁAWSKA (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)

8.7.2. Warunki termiczne w osiedlach warszawskich o wysokiej zabudowie (1987) – Monika ŻOŁNIEROWICZ-KASPRZYK (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)

8.7.3. Wpływ wysokiej zabudowy na kierunek i prędkość wiatru w osiedlach warszawskich (1988) – Grzegorz GRABOWSKI (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)

8.8. Osiedle Kabaty

8.8.1. Wpływ zabudowy na warunki termiczno-wilgotnościowe (2007) – Aleksandra BŁASZCZYK (opiekun naukowy: Jolanta WAWER)

8.9. Osiedle Przyjaźń – Jelonki

8.9.1. Wpływ warunków meteorologicznych na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń powietrza w porze zimowej i wiosennej w 1969/70 roku (1971) – Witold HUCULAK (opiekunowie naukowi: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Jerzy BORYCZKA)

8.9.2. Wpływ warunków meteorologicznych na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń powietrza w porze letniej i jesiennej w 1970 roku (1971) – Barbara KLEMENTYS (opiekunowie naukowi: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Jerzy BORYCZKA)

8.10. Śródmieście Warszawy

8.10.1. Stratyfikacja temperatury powietrza w warstwie do 130 m nad poziomem podłoża w śródmieściu Warszawy (na podstawie badań otoczenia Pałacu Kultury i Nauki w 1960) – Urszula KOSSOWSKA-CEZAK

8.10.2. Warunki odczuwalne w Śródmieściu Warszawy w latach 1966-1970 (1992) – Bożena MOSSAKOWSKA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)
8.10.3. Wpływ zabudowy na warunki odczucia ciepła w centrum Warszawy (1990) – Lesław KIJOWSKI (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)
8.10.4. Wpływ zabudowy na pola zmiennych meteorologicznych w Warszawie (1989) – Hanna KRAJEWSKA (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)

IX. ZRÓŻNICOWANIE KLIMATU LOKALNEGO W WARSZAWIE W ZALEŻNOŚCI OD LOKALIZACJI OSIEDLI
9.1. Zróżnicowanie klimatu lokalnego Warszawy w miesiącach letnich (1994) – Renata ROMAŃSKA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)
9.2. Zróżnicowanie klimatu lokalnego Warszawy na profilu wschód-zachód (1994) – Dorota PRZYBYŁKOWSKA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)
9.3. Dobowy przebieg warunków odczuwalnych w Warszawie (1997) – Katarzyna GULA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)
9.4. Warunki odczucia termicznego w Warszawie (1990) – Robert WAKER (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)

X. KLIMAT LOKALNY ULIC I PLACÓW W WARSZAWIE
10.1. Kształtowanie się wybranych elementów meteorologicznych w Warszawie w latach 1969 i 1971, cz. I. Temperatura (1972) – Grażyna KORCYL (opiekunowie naukowi: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Urszula KOSSOWSKA)
10.2. Kształtowanie się wybranych elementów meteorologicznych w Warszawie w latach 1969 i 1971, cz. III. Zachmurzenie i prężność pary wodnej (1972) – Marek ZAKRZEWSKI (opiekunowie naukowi: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA)
10.3. Wpływ zieleni na warunki termiczno-wilgotnościowe na przykładzie obserwacji w Warszawie w lipcu 1972 r. (1977) – Tomasz ŻUŁKOWSKI (opiekunowie naukowi: Wincenty OKOŁOWICZ, Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)

XI. INFLUENCE OF THE CITY ON FIELD OF METEOROGICAL VARIABLE – Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ, Jerzy BORYCZKA

XII. POSITIVE AND NEGATIVE EFFECTS OF THE URBAN HEAT ISLAND IN WARSAW – Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ, Jerzy BORYCZKA

XIII. THE APPLICATION-ORIENTED CHARACTER OF THE REPORTS ELABORATEM AT THE DEPARTMENT OF CLIMATOLOGY CONCERNING URBAN CLIMATE – Maria KOPACZ-LEMBOWICZ

ZAKOŃCZENIE

LITERATURA

**Tom XXIII – *Klimat Warszawy i innych miast Polski, Studia porównawcze* (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2009, ss. 383).**

Jest to trzecia 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 ($\varphi = 52{,}1°$, $\lambda = 21{,}0°$, $H = 106$ m n.p.m) i Krakowa – miasta położonego w Kotlinie Podkarpackiej – Bramie Krakowskiej ($\varphi = 50{,}1°$, $\lambda = 20{,}0°$, $H = 206$ 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 prze-

strzennych 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 liczba 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 trzydziestopięciolecia 1966-2000. Dotyczą one liczby dni z burzą, maksymalnych dobowych sum opadów atmosferycznych, częstości dobowych sum opadów $\geq$10mm 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 czasowych zmian klimatu miast Polski i ich cyrkulacyjnych uwarunkowań.

SPIS TREŚCI XXIII


I. WPROWADZENIE
II. KLIMAT POLSKI W PUBLIKACJACH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAW-SKIEGO – Maria BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA
III. CYKLICZNE WAHANIA TEMPERATURY I OPADÓW W POLSCE W XIX-XXI WIEKU – Jerzy BORYCZKA, Maria BORYCZKA, Katarzyna GRABOWSKA, Jolanta WAWER, Elżbieta BŁAŻEK, Jan SKRZYPCZUK
IV. ZMIANY OKRESOWE I TENDENCJE NIEKTÓRYCH ZJAWISK POGODOWYCH W POLSCE ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM WARSZAWY I KRAKOWA – Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA, Katarzyna GRABOWSKA, Jolanta WAWER, E. BŁAŻEK, Jan SKRZYPCZUK
V. PRZESZŁOŚĆ I TERAŹNIEJSZOŚĆ KLIMATU MIAST POLSKI W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO
5.1. Długookresowe zmiany klimatu miast Polski
5.1.1. Wielookresowe zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1979 (1984) – Bogumiła DĄBROWSKA (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)
5.1.2. Wielookresowe zmiany temperatury powietrza w Krakowie w latach 1826-1985 (1989) – Konrad KLECHTA (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)

5.1.3. Wielookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1813-1980 (1986) – Dorota DĘBSKA (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)
5.1.4. Wielookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Krakowie w latach 1850-1987 (1989) – Katarzyna GRZĘDA (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)
5.1.5. Długookresowe zmiany temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie (1990) – Małgorzata TOMASIK, (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)
5.1.6. Synchroniczne wahania temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w XIX-XX wieku (2002) – Mariusz TOMASZEWSKI (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)
5.1.7. Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Polsce w zależności od erupcji wulkanicznych i aktywności Słońca – Robert DUMA (1999) (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)

5.2. Cyrkulacyjne uwarunkowania klimatu miast Polski
5.2.1. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Polsce w XIX-XX wieku (2007) – Hanna Gołdowska (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)
5.2.2. Cyrkulacja atmosferyczna nad Polską według typologii B. Osuchowskiej-Klein i J. Lityńskiego (2005) – Mariusz CEBULA (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)
5.2.3. Okresowe zmiany ciśnienia atmosferycznego w Warszawie i Krakowie w latach 1966-1995 (2005) – Marta MACIEJAK (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)
5.2.4. Typy cyrkulacji atmosferycznej a prędkość wiatru w Warszawie i Krakowie (2005) – Paulina PIĄTKOWSKA (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)
5.2.5. Częstość występowania burz w zależności od typów cyrkulacji atmosferycznej w Warszawie i Krakowie w latach 1961-1990 (2007) – Agata KOSIŃSKA (opiekun naukowy: Katarzyna GRABOWSKA)
5.2.6. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na sumy dobowe opadów > 10 mm w Warszawie i Krakowie – Joanna MAROSZEK
5.2.7. Cyrkulacja atmosferyczna a zmiany pokrywy śnieżnej w Warszawie i Krakowie (2005) – Ewa KANIEWSKA (opiekun naukowy: Elwira ŻMUDZKA)

5.3. Cechy solarne i termiczne klimatu miast Polski
5.3.1. Promieniowanie całkowite w Warszawie w okresie 1966-1970 (1972 – Elżbieta DRZEWIECKA (opiekunowie naukowi: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA)
5.3.2. Zmiany roczne promieniowania słonecznego na Mazowszu (1997) – Elżbieta BOGDAN (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)
5.3.3. Zmienność temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX wieku (2005) – Przemysław SZANIAWSKI (opiekun naukowy: Elwira ŻMUDZKA)
5.3.4. Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce (2006) – Urszula CITKO (opiekun naukowy: Jolanta WAWER)
5.3.5. Termiczne pory roku i okres wegetacyjny w Polsce (2006) – Urszula CITKO, Jolanta WAWER

5.4. Cechy wilgotnościowe klimatu miast
5.4.1. Tendencje zmian wilgotności powietrza w Polsce w latach 1966-1995 (2005) – Małgorzata MACIEJAK (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)
5.4.2. Zmiany roczne zachmurzenia w Polsce (2006) – Monika ZIENOWICZ (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)
5.4.3. Tendencje rocznych zmian zachmurzenia w Warszawie i Krakowie w latach 1966-1995 (2006) – Karol STYŚ (opiekun naukowy: Katarzyna GRABOWSKA)
5.4.4. Tendencje zmian opadów atmosferycznych w Polsce w latach 1951-1990 (2008) – Magdalena GOZDECKA (opiekun naukowy: Jolanta WAWER)

5.5. Stan aerosanitarny miast w Polsce
5.5.1. Tendencje zmian zanieczyszczeń powietrza w Polsce na przykładzie wybranych miast (Gorzów Wielkopolski, Warszawa, Kraków) (2000) – Żaneta WICHER VEL WICHROWSKA (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)
5.5.2. Wpływ warunków meteorologicznych na stężenie zanieczyszczeń powietrza na przykładzie Krakowa i Warszawy (2004) – Agata KIELMER (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)
5.5.3. Zanieczyszczenie powietrza dwutlenkiem azotu w Warszawie i Krakowie w latach 1994-1998 (2006) – Izabela GOŁĘBCZYK (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)

VI. DEFORMACJA PÓL ZMIENNYCH METEOROLOGICZNYCH W POLSCE PRZEZ CZYNNIKI NATURALNE I ANTROPOGENICZNE – Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA, Elżbieta BŁAŻEK, Jan SKRZYPCZUK
6.1. Empiryczne równania przebiegów rocznych temperatury powietrza w Polsce (na przykładzie 32 miast)
6.2. Cechy charakterystyczne klimatu miast Polski z wyodrębnieniem Warszawy i Krakowa (1997) – Iwona CIEŚLA (opiekunowie naukowi : Maria STOPA-BORYCZKA, Jolanta WAWER)
VII. ZAKOŃCZENIE
LITERATURA

**Tom XXIV – *Klimat Warszawy i miejscowości strefy podmiejskiej* (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2010, ss. 333).**

Jest to czwarta 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.

SPIS TREŚCI XXIV


I. WPROWADZENIE – Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA
II. WKŁAD ZAKŁADU KLIMATOLOGII W BADANIA KLIMATU WARSZAWY – Urszula KOSSOWSKA-CEZAK, Jolanta WAWER
III. KLIMAT MIASTA I MIEJSCOWOŚCI PODWARSZAWSKICH W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO
3.1. Klimat i bioklimat Konstancina
3.1.1. Charakterystyka warunków bioklimatycznych Śródmieścia Warszawy i uzdrowiska Konstancin (1972) – Urszula OKRASA (opiekunowie naukowi : Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Maria KOPACZ)
3.1.2. Klimat lokalny uzdrowiska Konstancin (1977) – Marta KIELAK (opiekunowie naukowi: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)
3.1.3. Warunki klimatoterapii w uzdrowisku Konstancin (1977) – Barbara MATEJA (opiekunowie naukowi: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)
3.1.4. Warunki termiczno-wilgotnościowe pomieszczeń sanatoryjnych o ekspozycji południowej w Konstancinie (1977) – Stanisław STUCZYK (opiekunowie naukowi: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ, Jerzy BORYCZKA)
3.1.5. Warunki termiczno-wilgotnościowe pomieszczeń sanatoryjnych o ekspozycji północnej w Konstancinie (1977) – Anna JĘDRYSZCZAK (opiekunowie naukowi: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ, Jerzy BORYCZKA)
3.2. Klimat i bioklimat Otwocka
3.2.1. Wpływ cyrkulacji na ciśnienie atmosferyczne w Warszawie w latach 1981-2000 (2006) – Paweł WYRZYKOWSKI (opiekun naukowy: Jolanta WAWER)
3.2.2. Wpływ cyrkulacji nad Polską na ciśnienie atmosferyczne (na przykładzie Świdra, 1981-1990) (2002) – Jarosław BOCHEŃSKI (opiekun naukowy:Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)
3.2.3. Zmiany roczne ciśnienia atmosferycznego w 10-leciu 1981-1990 na przykładzie obserwacji w Świdrze (1995) – Mariola MIROWSKA (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)
3.2.4. Ogólna charakterystyka klimatu Świdra (1980) – Władysław DULCZEWSKI (opiekunowie naukowi: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)
3.2.5. Bioklimat Otwocka (1966) – Maria KOPACZ (opiekun naukowy: Zofia KACZOROWSKA)
3.2.6. Zmiany odczucia termicznego w Otwocku w latach 1991-1995 (2001) – Patrycja KOLBE-SOKOLIK (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)
3.3. Klimat Wesołej k. Warszawy
3.3.1. Charakterystyka klimatu lokalnego Wesołej k. Warszawy (1990) – Anna KIRYLUK (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)
3.4. Klimat Legionowa
3.4.1. Charakterystyka klimatu Legionowa (1971-1980) (1989) – Ewa WIJAS (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)

3.4.2. Inwersje temperatury przyziemne i w swobodnej atmosferze w Legionowie w okresie II 1954-31 XII 1958 (1959) – Lucjan NOWOSIELSKI (opiekun naukowy: Wincenty OKOŁOWICZ)
3.5. Bioklimat Dziekanowa Leśnego
3.5.1. Bioklimat Dziekanowa Leśnego (1969) – Małgorzata GNIADEK (opiekunowie naukowi: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Maria STOPA)
3.6. Klimat w Morach
3.6.1. Charakterystyka termiczna sezonu grzewczego 1976/77 na przykładzie stacji w Morach (1978) – Bożena GROCHULSKA (opiekunowie naukowi: Maria STOPA-BORYCZKA, Krzysztof OLSZEWSKI)
3.6.2. Charakterystyka warunków wilgotnościowych sezonu grzewczego 1976/77 na przykładzie stacji w Morach (1979) – Zofia KRAWCOW (opiekunowie naukowi: Maria STOPA – BORYCZKA, Krzysztof Olszewski)
3.7. Klimat Brwinowa
3.7.1. Promieniowanie całkowite w Warszawie w okresie 1966-1970 (1972) – Elżbieta DRZEWIECKA (opiekunowie naukowi: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA)
3.7.2. Związek między temperaturą powietrza i gruntu na stacji meteorologicznej w Brwinowie w latach 1956-1965 (1990) – Andrzej GÓRSKI (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)
3.8. Klimat i bioklimat Okęcia
3.8.1. Zależność temperatury od cyrkulacji atmosferycznej na przykładzie stacji Warszawa-Okęcie w okresie 1981-1990 (1994) – Aleksandra ŻEBROWSKA (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)
3.8.2. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza w Warszawie w 10-leciu 1951-1960 (1994) – Iwona BIRULA (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)
3.8.3. Warunki występowania susz atmosferycznych na Równinie Warszawskiej w latach 1951-1990 na przykładzie stacji Warszawa-Okęcie (1998) – Michał PRASZKIEWICZ (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)
3.8.4. Ostrość i śnieżność zim w Warszawie w latach 1965-1995 (2005) – Rafał PŁAŻEWSKI (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)
3.8.5. Charakterystyka warunków odczuwalnych otoczenia Warszawy na przykładzie stacji Okęcie w latach 1966-1970 (1991) – Magdalena SZULC-BOMBA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)
3.8.6. Klimat lotniska Warszawa-Okęcie (1951-1960) (1963) – Józef OSOS (opiekunowie naukowi: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA)
IV. WPŁYW URBANIZACJI NA WARUNKI KLIMATYCZNE W WARSZAWIE – Bożena KICIŃSKA, Jolanta WAWER
V. WARUNKI NEFOLOGICZNE W WARSZAWIE – Elwira ŻMUDZKA
VI. ZAKOŃCZENIE
LITERATURA

**Tom XXV – *Zmiany klimatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku* (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wawer J., Grabowska K., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2010, ss. 417).**

Prezentowany XXV tom *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*" z wyodrębnionym tytułem Zmiany k*limatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku* jest piątą częścią 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 (zmienione – uaktualnione) i archiwalne.

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 wciągu ostatnich 40 lat.

Trzeci pt. *„Badanie cykliczności zmiennych przyrodniczych metodą J. Boryczki „sinusoid* regresji" przedstawia opis metody badania okresowości wraz z przykładami zastosowania programu autora. Czwarty pt." *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Północnej Półkuli Ziemi (na podstawie wahań izotopu tlenu* $\delta^{18}O$ *i danych dendrologicznych)* przedstawia naturalne zmiany klimatu w różnych skalach czasowych wraz z prognozami na najbliższe stulecia na podstawie cyklicznych zmian zawartości *izotopu tlenu* $\delta^{18}O$ i sum promieniowania słonecznego. Piąty: „C*yckliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według ciągów dendrologicznych"* świadczy o wiarygodności cykli około 100 i 200-letnich temperatury powietrza w Europie, wyznaczonych wcześniej na podstawie niezbyt długich ciągów pomiarów instrumentalnych (o zbliżonej długości). 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 ''O*cieplenie 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).

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

Najważniejsze wyniki badan 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 Wolfa, 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 miasta na zróżnicowanie klimatu lokalnego na przykładzie Warszawy i okolic (t. XXII i t. XXIV).

SPIS TREŚCI XXV


I. WPROWADZENIE
II. MODELOWANIE NATURALNYCH I ANTROPOGENICZNYCH ZMIAN KLIMATU W ATLASIE WSPÓŁZALEŻNOŚCI PARAMETRÓW METEOROLOGICZNYCH I GEOGRAFICZNYCH W POLSCE (1974-2010) – Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA
III. METODA J. BORYCZKI „SINUSOID REGRESJI" BADAŃ OKRESOWOŚCI ZMIENNYCH PRZYRODNICZYCH – Jerzy BORYCZKA
IV. OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU PÓŁNOCNEJ PÓŁKULI ZIEMI (NA PODSTAWIE WAHAŃ IZOTOPU TLENU $\delta^{18}O$ I DANYCH DENDROLOGICZNYCH) – Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA, Arleta UNTON-PYZIOŁEK, Piotr GIESZCZ
V. CYKLICZNE ZMIANY KLIMATU EUROPY W OSTATNIM TYSIĄCLECIU WEDŁUG CIĄGÓW DENDROLOGICZNYCH – Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA, Szymon BIJAK, Robert CEBULSKI, Elżbieta BŁAŻEK, Jan SKRZYPCZUK
VI. PROBLEMY BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU – Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA, Elżbieta BŁAŻEK, Jan SKRZYPCZUK
VII. WSPÓŁCZESNE ZMIANY KLIMATU MIAST EUROPY W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO
7.1. Długookresowe zmiany klimatu miast Europy
7.1.1. Wiekowe zmiany temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach 1659-1973 (1993) – Jan SKRZYPCZUK (opiekun naukowy : Jerzy BORYCZKA)
7.1.2. Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Alpach (XIX-XX wiek)(1994) – Małgorzata KIERZKOWSKA (opiekun naukowy : Jerzy BORYCZKA)
7.1.3. Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Warszawie i Pradze w latach 1779-1976 (1992) – Anna POROWSKA (opiekun naukowy : Jerzy BORYCZKA)
7.1.4. Zmiany temperatury powietrza na Helu w okresie 1851-1995 (2001) – Anna SZAREK (opiekun naukowy : Jolanta WAWER)
7.1.5. Wahania temperatury powietrza w Warszawie i Tallinie w latach 1779-2000 – Szymon BIJAK
7.1.6. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Warszawy w XVIII-XX wieku (2005) – Katarzyna KALECIŃSKA (opiekun naukowy : Jerzy BORYCZKA)
7.1.7. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Moskwy w XVIII-XX wieku (2005) – Anna MISIEWICZ (opiekun naukowy : Jerzy BORYCZKA)
7.1.8. Długookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w XVIII-XX wieku (2009) – Grzegorz MAKSYMIUK (opiekun naukowy Katarzyna GRABOWSKA)
7.2. Solarne i cyrkulacyjne uwarunkowania klimatu miast Europy
7.2.1. Wpływ aktywności Słońca na okresowe zmiany cyrkulacji atmosferycznej w Europie (2008) – Michał ŁOPACKI (opiekun naukowy : Jerzy BORYCZKA)
7.2.2. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Paryżu w XIX-XX wieku (2007) – Krzysztof BACZYŃSKI (opiekun naukowy : Jerzy BORYCZKA)
7.2.3. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Polsce w XIX-XX wieku (2007) – Hanna GOŁDOWSKA (opiekun naukowy : Jerzy BORYCZKA)

7.2.4. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX-XX wieku (na przykładzie Wrocławia i Marsylii)(2006) – Ewa LESZCZYŃSKA (opiekun naukowy : Jerzy BORYCZKA)
7.2.5. Rola Oscylacji Północnoatlantyckiej w kształtowaniu opadów atmosferycznych we Wrocławiu w XX wieku (2006) – Andrzej TOMASZEWSKI (opiekun naukowy: Elwira ŻMUDZKA)
7.2.6. Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX i XX wieku i ich przyczyny – Katarzyna BRAKONIECKA (opiekun naukowy : Jerzy BORYCZKA)
7.2.7. Zmiany klimatu Szwecji według danych dendrologicznych (2009) – Łukasz PAWŁOWSKI (opiekunowie naukowi: Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA)
VIII. WSPÓŁCZESNE ZMIANY KLIMATU W PUBLIKACJACH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO
8.1. Ocieplenie klimatu miast Europy w XVII-XX wieku i ich przyczyny – Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA, Elżbieta BŁAŻEK, Jan SKRZYPCZUK
8.2. The influence of the North Atlantic Oscillations (NAO) on the Climate of Warsaw and Lviv – Jerzy BORYCZKA, Bohgan MUCHA, Maria STOPA-BORYCZKA, Jolanta WAWER
8.3. Tendencje zmian klimatu Polski i Ukrainy w ostatnich stuleciach i ich przyczyny – Jerzy BORYCZKA, Bohdan MUCHA, Maria STOPA-BORYCZKA
IX. ZMIANY KLIMATU WARSZAWY W XVIII-XXI WIEKU I ICH PRZYCZYNY – Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA, Halina LORENC, Bożena KICIŃSKA, Elżbieta BŁAŻEK, Jan SKRZYPCZUK
X. ZMIANY WARUNKÓW TERMICZNYCH I OPADOWYCH W WARSZAWIE OKREŚLONE NA PODSTAWIE POWOJENNEJ SERII OBSERWACYJNEJ Z OKĘCIA (1947-2009) – Urszula KOSSOWSKA-CEZAK
XI. ZAKOŃCZENIE
LITERATURA

Na uwagę zasługuje również dzieło piknikowe pt.:

***Klimat Wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007*** **(2008)** [w:] Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego na XII Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS i Centrum Nauki Kopernik (2008) zorganizowany w dniu 14.06.2008 w Warszawie.

Jest to pierwsza część syntezy studenckich badań w zakresie naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu miasta (publikacja Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego).

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.

SPIS TREŚCI (PIKNIK 2008)


WPROWADZENIE – *Maria STOPA-BORYCZKA*, *Jerzy BORYCZKA*

UDZIAŁ STUDENTÓW W BADANIACH NAUKOWYCH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO – *Maria STOPA-BORYCZKA*, *Jerzy BORYCZKA*

KLIMAT WARSZAWY W PUBLIKACJACH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO – *Maria STOPA-BORYCZKA*, *Maria KOPACZ-LEMBOWICZ*, *Jolanta WAWER*

KLIMAT WARSZAWY W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO – (Wybór prac magisterskich *Jolanta WAWER*)

Cechy klimatu miasta nizinnego na przykładzie Warszawy

Cechy charakterystyczne i osobliwe klimatu Warszawy (1999) – *Katarzyna BIESZKE* (opiekun naukowy: *Maria STOPA-BORYCZKA*)

Zmiany roczne podstawowych elementów klimatologicznych w Warszawie (1984) – *Elżbieta MAKOS* (opiekun naukowy: *Maria STOPA-BORYCZKA*)

Regresja elementów meteorologicznych w Warszawie względem jej okolic (1986) – *Krzysztof LUDWICZAK* (opiekunowie naukowi: *Maria STOPA-BORYCZKA*, *Jerzy BORYCZKA*)

Deformacja pól zmiennych meteorologicznych w Warszawie z wyodrębnieniem miejskiej wyspy ciepła

Zróżnicowanie klimatu lokalnego Warszawy na profilu wschód-zachód (1994) – *Dorota PRZYBYŁKOWSKA* (opiekun naukowy: *Maria KOPACZ-LEMBOWICZ*)

Częstość zjawiska miejskiej wyspy ciepła w Warszawie (2005) – *Katarzyna KROKOS* (opiekun naukowy: *Jolanta WAWER*)

Warunki meteorologiczne sprzyjające powstawaniu śródmiejskiej wyspy ciepła w Warszawie w 1992 roku (1994) – *Urszula SOCHACKA*, *Urszula PUŁAWSKA* (opiekun naukowy: *Krzysztof OLSZEWSKI*)

Rola zieleni miejskiej w kształtowaniu warunków termicznych i wilgotnościowych w Warszawie

Rola zieleni w kształtowaniu cech termicznych klimatu Warszawy (1995) – *Dorota PORZYCKA-LIPIŃSKA* (opiekun naukowy: *Maria STOPA-BORYCZKA*)

Wpływ roślinności na warunki termiczne i wilgotnościowe w mieście na przykładzie Ogrodu Saskiego w Warszawie (2008) – *Julita CEDZYŃSKA*, *Hanna FRANKOWSKA*, *Katarzyna PIETRAS*

Wpływ zabudowy na warunki termiczno-wilgotno-ściowe (2007) – *Aleksandra BŁASZCZYK* (opiekun naukowy: *Jolanta WAWER*)

Deformacja pola wiatru przez zabudowę w Warszawie

Zależność warunków wiatrowych w rejonie Warszawy-Okęcia od typu cyrkulacji atmosferycznej (1998) – *Urszula KOSSOWSKA-CEZAK*, *Marta NURZYŃSKA*

Wpływ zabudowy miejskiej Warszawy na kierunek i prędkość wiatru (1998) – *Urszula KOSSOWSKA-CEZAK*, *Paweł BAREJA*

Wpływ wysokiej zabudowy na kierunek i prędkość wiatru w osiedlach warszawskich (1988) – *Grzegorz GRABOWSKI* (opiekun naukowy: *Maria STOPA-BORYCZKA*)

Zmienność przestrzenna i czasowa warunków odczuwalnych w Warszawie

Dobowy przebieg warunków odczuwalnych w Warszawie (1997) – *Katarzyna GULA* (opiekun naukowy: *Maria KOPACZ-LEMBOWICZ*)

Warunki odczuwalne w Śródmieściu Warszawy w latach 1966-1970 (1992) – *Bożena MOSSAKOWSKA*, opiekun naukowy: *Maria KOPACZ-LEMBOWICZ*)

Warunki odczuwalne w osiedlach warszawskich o wysokiej zabudowie (1988) – *Anna ANDRZEJEWSKA-MAMCZAREK* (opiekun naukowy: *Maria KOPACZ-LEMBOWICZ*)

Warunki synoptyczne występowania dużych zmian ciśnienia atmosferycznego i temperatury powietrza w Warszawie w latach 1986-1995 (1999) – *Tomasz WASILEWSKI*, *Urszula KOSSOWSKA-CEZAK*

Wpływ warunków pogodowych na zgony mieszkańców Warszawy w latach 1999-2001 (2005) – *Danuta DZIEDZIC-IDZIKOWSKA* (opiekunowie naukowi: *Jolanta WAWER*, *Barbara WOJTACH*)

Wpływ zabudowy na zróżnicowanie zachmurzenia w Warszawie

Wpływ miasta na zachmurzenie na przykładzie Warszawy (1990) – *Anna OLECKA* (opiekun naukowy: *Krzysztof OLSZEWSKI*)

Wielkość zachmurzenia w róznych masach powietrznych (2006) – *Justyna NIEMCZURA* (opiekun naukowy: *Krzysztof OLSZEWSKI*)

Zależność częstości rodzajów chmur od typów cyrkulacji atmosferycznj w Warszawie (2005) – *Marzena POTERA* (opiekun naukowy: *Krzysztof OLSZEWSKI*, *Urszula KOSSOWSKA-CEZAK*)

Zmienność czasowa i przestrzenna opadów atmosferycznych w Warszawie i okolicach

Kształtowanie się opadów w Warszawie i jej okolicach w okresie 1966-1970 (1972) – *Barbara BOGDAŃSKA* (opiekun naukowy: *Zofia KACZOROWSKA*)

Badanie przestrzennego rozkładu sum opadowych deszczu ciągłego na terenie Wielkiej Warszawy w okresie od marca do listopada 1960 roku (1963) – *Elżbieta BUDZISZEWSKA* (opiekunowie naukowi: *Wincenty OKOŁOWICZ*, *Zofia KACZOROWSKA*)

Sytuacje synoptyczne sprzyjające występowaniu wysokich opadów w aglomeracji warszawskiej w latach 1971-1980 (2003) – *Kamila HIPNAROWICZ* (opiekun naukowy: *Jolanta WAWER*)

Maksima dobowe opadów atmosferycznych w Warszawie (2007) – *Joanna MAROSZEK* (opiekun naukowy: *Jolanta WAWER*)

Cykliczność i tendencje zmian klimatu Warszawy

Tendencje temperatury powietrza w Warszawie w latach 1966-1995 (1999) – *Edyta OLSZEWSKA*, (opiekunowie naukowi: *Maria STOPA-BORYCZKA*, *Jerzy BORYCZKA*)

Zmienność termicznych pór roku w Warszawie w latach 1951-2000 (2003) – *Jolanta WAWER*, *Monika PIETRAS*

Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1966-1995 (2003) – *Mariola GÓRSKA* (opiekun naukowy: *Maria STOPA-BORYCZKA*

Wahania roczne i tendencje zmian zjawisk atmosferycznych

Hydrometeory w Warszawie w latach 1966-2000 (2006) – *Monika MARKS* (opiekun naukowy: *Jolanta WAWER*)

Warunki synoptyczne sprzyjające powstawaniu burz w Warszawie (1977) – *Katarzyna WESOŁOWSKA (GRABOWSKA)* (opiekun naukowy: *Maria STOPA-BORYCZKA*)

Zmiana warunków meteorologicznych w Warszawie po przejściu burzy (2008) – *Przemysław KOTYNIA*, *Maria STOPA-BORYCZKA*, *Jerzy BORYCZKA*

Wstępna ocena możliwości numerycznego prognozowania mgieł na lotnisku Warszawa-Okęcie (2007) – *Karolina BŁASIAK* (opiekun naukowy: *Bożena KICIŃSKA*)

Wpływ warunków pogodowych na wzrost stężenia ozonu troposferycznego w Śródmieściu Warszawy (1996-2000) (2004) – *Katarzyna JATCZAK* (opiekun naukowy: *Jolanta WAWER*)

Warunki opadowe a kwasowość opadu w Warszawie w latach 1993-1995 (2000) – *Adam CIEŚLAK* (opiekun naukowy: *Krzysztof OLSZEWSKI*)

PRACE MAGISTERSKIE DOTYCZĄCE KLIMATU WARSZAWY I OKOLIC WYKONANE W ZAKŁADZIE KLIMATOLOGII W LATACH 1954-2008 – *Jolanta WAWER*

PRACE LICENCJACKIE DOTYCZĄCE KLIMATU WARSZAWY I OKOLIC WYKONANE W ZAKŁADZIE KLIMATOLOGII W LATACH 2003-2007 – *Jolanta WAWER*

ZMIENNOŚĆ ZACHMURZENIA NAD POLSKĄ I JEJ UWARUNKOWANIA CYRKULACYJNE (1951-2000), Warszawa 2007 (praca habilitacyjna) – *Elwira ŻMUDZKA*. Okładka i spis treści

ZMIANY ZACHMURZENIA W WARSZAWIE W DRUGIEJ POŁOWIE XX WIEKU – *Elwira ŻMUDZKA*

CYKLICZNE ZMIANY KLIMATU EUROPY W OSTATNIM TYSIĄCLECIU WEDŁUG DANYCH DENDROLOGICZNYCH – *Maria STOPA-BORYCZKA*, *Jerzy BORYCZKA*, *Szymon BIJAK*, *Robert CEBULSKI*, *Elżbieta BŁAŻEK*, *Jan SKRZYPCZUK*

Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce, t. XX-XXI, Warszawa 2007. Okładka i spis treści

PODSTAWY METEOROLOGII I KLIMATOLOGII, Warszawa 2007 – *Urszula KOSSOWSKA-CEZAK* Okładka i spis treści

OKRESOWOŚĆ I TENDENCJE ZMIAN KLIMATU ARKTYKI (2008) – *Piotr GIESZCZ* (opiekun naukowy: *Jerzy BORYCZKA*)

ZROZUMIEĆ PROGNOZĘ POGODY (2008) – *Arleta UNTON-PYZIOŁEK*
ZMIANY KLIMATU I ICH PRZYCZYNY, HIPOTEZY I FAKTY. VI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, „Co nauka daje sztuce", Warszawa 2002. Okładka i spis treści
KLIMAT EUROPY, PRZESZŁOŚĆ-TERAŹNIEJSZOŚĆ-PRZYSZŁOŚĆ. VIII Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, „Nauka bez granic", Warszawa 2004
Okładka i spis treści
PROGNOZY POGODY W PRZYSŁOWIACH I ICH SPRAWDZALNOŚĆ. X Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, „Świat za 10 lat", Warszawa 2006., Okładka i spis treści
CYKLICZNOŚĆ I TENDENCJE ZMIAN KLIMATU POLSKI. XI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, „Matematyka i my", Warszawa 2007. Okładka i spis treści

Redaktorami naukowymi kolejnych części Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce, opublikowanymi w latach 1974-2010 są:
Maria Stopa-Boryczka: I – 1974, II – 1976, III – 1980, IV – (1986, V – 1989, VI – 1990, VII – 1992, VIII – 1994, IX – 1995, X – 1997, XI – 1998, XII – 1999, XIII – 1999, XIV – 2000, XX-XXI – 2007
Maria Stopa-Boryczka, Jerzy Boryczka: XV – 2001, XVI – 2002, XVII – 2003, XVIII – 2004, XIX – 2005
Krzysztof Błażejczyk, Maria Stopa-Boryczka, Jerzy Boryczka, Jolanta Wawer, Władysław Żakowski: XXII – 2008, XXIII – 2009, XXIV – 2010, XXV – 2010

Redaktorami publikacji *Klimat wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007*(2008), Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego na XII Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS i Centrum Nauki Kopernik (2008) zorganizowany w dniu 14.06.2008 w Warszawie są: Krzysztof Błażejczyk, Maria Stopa-Boryczka, Jerzy Boryczka, Jolanta Wawer, Władysław Żakowski.

*Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce, t. XV – *Prognozy zmian klimatu miast Europy***,** 2001 (zmieniony i uzupełniony rozdz. II)

# III. METODA J. BORYCZKI „SINUSOID REGRESJI" BADAŃ OKRESOWOŚCI ZMIENNYCH PRZYRODNICZYCH

Jerzy B O R Y C Z K A

Nazwa „sinusoida regresji" została wprowadzona przez autora (Boryczka 1998). Wcześniej (od 1979 r.) w badaniach nazywano ją metodą „optymalnych okresów".

Metoda „sinusoid regresji" polega na wyznaczaniu równań kolejnych sinusoid o okresie $\Theta$, amplitudzie $b$ i fazie $c$, zmieniając okres $\Theta$ z dowolnym odstępem np. 0,1; 0,2; …, $n$ lat:

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

Parametry $a_0$, $b$, $c$ sinusoidy regresji (cyklu) wyznacza się tak, by suma kwadratów odchyleń $\varepsilon_i = n^{-1}\sum[y_i - f(t_i)]$ punktów $(t_i, y_i)$ od jej wykresu była minimalna.

Równanie sinusoidy po przekształceniu: $a_1 = b\cos c$, $a_2 = b \sin c$ przyjmuje postać równania płaszczyzny regresji $y$ względem: $x_1 = \sin(2\pi t/\Theta)$, $x_2 = \cos(2\pi t/\Theta)$:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2$$

Amplitudę $b$ i fazę $c$ wyznacza się z przekształcenia odwrotnego: $b = (a^2_1 + a^2_2)^{0,5}$, $\mathrm{tg}\, c = a_2/a_1$.

Zmieniając okres sinusoidy $\Theta$ z dowolnym odstępem czasu: $\Theta_1$, $\Theta_2$, … otrzymuje się ciąg liczbowy wariancji resztkowej $\varepsilon^2_1$, $\varepsilon^2_2$, … (widmo). Okresy $\Theta_j$ – to minima lokalne widma – maksima współczynnika korelacji $R = (1 - \varepsilon^2/s^2)^{0,5}$, gdzie $s^2$ – wariancja zmiennej $y$.

Równanie sinusoidy regresji o okresie $\Theta$ można wyznaczyć z układu równań normalnych:

$$S^2_{11}\, a_1 + S_{12}\, a_2 = S_{y1}$$
$$S_{21}\, a_1 + S^2_{22}\, a_2 = S_{y2}$$

Jego rozwiązaniem w zapisie macierzowym: $SA = S_y$ jest $A = S^{-1}S_y$, gdzie: $A = [a_1, a_2]^T$ – macierz niewiadomych; $S^2_{11}$, $S^2_{22}$, $S_{12}$ i $S_{y1}$, $S_{y2}$ – elementy macierzy kowariancji S i $S_y$ (wariancje i kowariancje zmiennych $x_1$, $x_2$ i $y$), $S^{-1}$ – macierz odwrotna.

Przebieg dobowy temperatury powietrza w Warszawie w dniu 10.05.1997 r. (tab. 1) dobrze opisuje sinusoida regresji o okresie $\Theta = 24$.

**Tabela 1.** Wartości temperatury powietrza ($y$, °C) zmierzone na Okęciu w czasie $t$ (od $1^h$ do $24^h$) w ciągu doby 10.05.1977

| $t$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $y$ | 5,9 | 5,2 | 4,5 | 4,1 | 4,2 | 6,4 | 10,0 | 10,3 | 11,3 | 12,3 | 13,5 | 14,1 |
| $t$ | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| $y$ | 15,6 | 15,9 | 16,3 | 16,6 | 16,4 | 15,8 | 13,9 | 12,1 | 11,4 | 9,4 | 8,2 | 7,2 |

Żeby wyznaczyć równanie sinusoidy opisującej przebieg dobowy temperatury powietrza w Warszawie, na Okęciu w dniu 10.05.1977 r, najlepiej przygotować dane tj. wartości zmiennych: $t$, $y$, $x_1$, $x_2$ w postaci macierzy o 4 kolumnach (tab. 2).

**Tabela 2.** Wartości zmiennych: $t$(h), $y$(°C) i sin($2\pi t/24$, cos($2\pi t/24$)

| $t$ | $y$ | $x_1$ | $x_2$ |
|---|---|---|---|
| h | °C | sin($2\pi t/24$) | cos($2\pi t/24$) |
| 1 | 5,9 | 0,258819 | 0,965926 |
| 2 | 5,2 | 0,500000 | 0,866026 |
| 3 | 4,5 | 0,707106 | 0,707107 |
| 4 | 4,1 | 0,866025 | 0,500001 |
| 5 | 4,2 | 0,965926 | 0,258820 |
| 6 | 6,4 | 1,000000 | 0,000001 |
| 7 | 10 | 0,965926 | -0,258818 |
| 8 | 10,3 | 0,866026 | -0,499998 |
| 9 | 11,3 | 0,707108 | -0,707105 |
| 10 | 12,3 | 0,500002 | -0,866024 |
| 11 | 13,5 | 0,258821 | -0,965925 |
| 12 | 14,1 | 0,000003 | -1,000000 |
| 13 | 15,6 | -0,258816 | -0,965927 |
| 14 | 15,9 | -0,499997 | -0,866027 |
| 15 | 16,3 | -0,707104 | -0,707109 |
| 16 | 16,6 | -0,866024 | -0,500003 |
| 17 | 16,4 | -0,965925 | -0,258823 |
| 18 | 15,8 | -1,000000 | -0,000004 |
| 19 | 13,9 | -0,965927 | 0,258815 |
| 20 | 12,1 | -0,866028 | 0,499996 |
| 21 | 11,4 | -0,707110 | 0,707103 |
| 22 | 9,4 | -0,500004 | 0,866023 |
| 23 | 8,2 | -0,258824 | 0,965925 |
| 24 | 7,2 | -0,000005 | 1,000000 |

Rozwiązaniem tego układu równań

$0{,}50000041a_1 - 0{,}00000011a_2 = -2{,}11620122$

$-0{,}00000011a_1 + 0{,}49999959a_2 = -2{,}03909561$

są $a_1$, $a_2$:

$a_1 = (S_{y1}S^2_{22} - S_{y2}S_{12})/(S^2_{11}S^2_{22} - S^2_{12}) = -4{,}2324$,

$a_2 = (S_{y2}S^2_{11} - S_{y1}S_{12})/(S^2_{11}S^2_{22} - S^2_{12}) = -4{,}07819$

Następnie obliczamy amplitudę

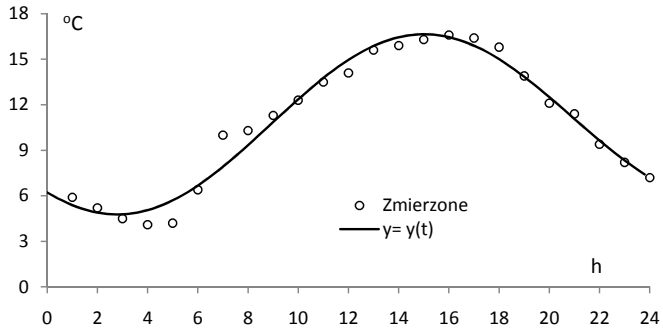
$b = (a^2_1 + a^2_2)^{0,5} = 5{,}877487$ i fazę $c = -2{,}33764$(tg$c = a_2/a_1 = 0{,}963566$),

$c = -(0{,}5\pi + 0{,}766845)$, III ćwiartka, gdyż $a_1 < 0$, $a_2 < 0$) i $a_0 = y_{śr} = 10{,}85833$

oraz wariancję zmiennej $y$: $s^2 = 17{,}44975$.

Równanie sinusoidy regresji charakteryzuje przebieg dobowy temperatury powietrza na stacji Warszawa-Okęcie:

$$T = 10{,}858 + 5{,}877\sin(2\pi t/24 - 2{,}33764)$$




**Rys. 1.** Przebieg dobowy temperatury powietrza na stacji Warszawa-Okęcie w dniu 10.05.1977 r.

## Wyznaczenie równania sinusoidy programem REGLINP (Excel)

Najpierw zaznaczamy MYSZKĄ pole o 3 kolumnach (trzy współczynniki : $a_0$, $a_1$, $a_2$) i zawsze 5 wierszy

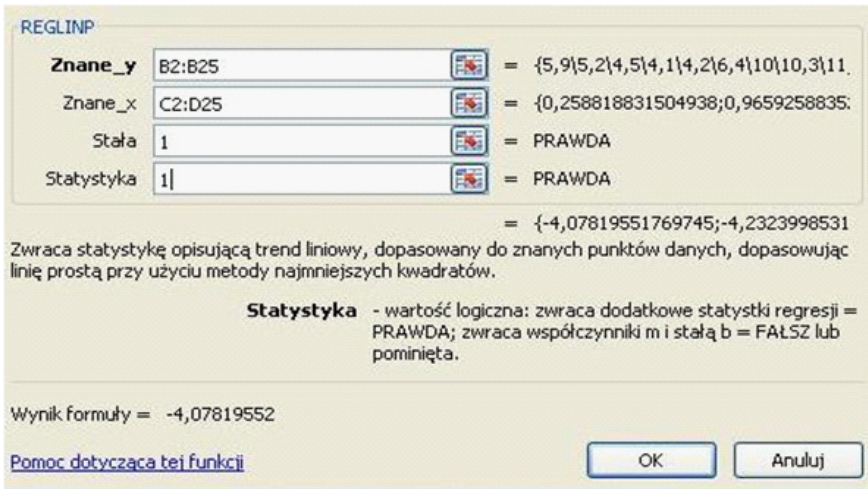
Następnie wpisujemy do tablicy REGLINP zakres zmian danych według tabeli 3: $y$ – B2:B25; $x_1$,$x_2$ – C2:D25; Stała1; Statystyka 1.

**Tabela 3.** Wartości zmiennych: $t$(h), $y$(°C) i sin($2\pi t$/24, cos($2\pi t$/24)

| | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $t$ | $y$ | sin($2\pi t$/24) | cos($2\pi t$/24) |
| 2 | 1 | 5,9 | 0,258819 | 0,965926 |
| 3 | 2 | 5,2 | 0,500000 | 0,866026 |
| 4 | 3 | 4,5 | 0,707106 | 0,707107 |
| 5 | 4 | 4,1 | 0,866025 | 0,500001 |
| 6 | 5 | 4,2 | 0,965926 | 0,258820 |
| 7 | 6 | 6,4 | 1,000000 | 0,000001 |
| 8 | 7 | 10,0 | 0,965926 | -0,258818 |
| 9 | 8 | 10,3 | 0,866026 | -0,499998 |
| 10 | 9 | 11,3 | 0,707108 | -0,707105 |
| 11 | 10 | 12,3 | 0,500002 | -0,866024 |
| 12 | 11 | 13,5 | 0,258821 | -0,965925 |
| 13 | 12 | 14,1 | 0,000003 | -1,000000 |
| 14 | 13 | 15,6 | -0,258816 | -0,965927 |
| 15 | 14 | 15,9 | -0,499997 | -0,866027 |
| 16 | 15 | 16,3 | -0,707104 | -0,707109 |

| | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| | $t$ | $y$ | sin($2\pi t$/24) | cos($2\pi t$/24) |
| 17 | 16 | 16,6 | -0,866024 | -0,500003 |
| 18 | 17 | 16,4 | -0,965925 | -0,258823 |
| 19 | 18 | 15,8 | -1,000000 | -0,000004 |
| 20 | 19 | 13,9 | -0,965927 | 0,258815 |
| 21 | 20 | 12,1 | -0,866028 | 0,499996 |
| 22 | 21 | 11,4 | -0,707110 | 0,707103 |
| 23 | 22 | 9,4 | -0,500004 | 0,866023 |
| 24 | 23 | 8,2 | -0,258824 | 0,965925 |
| 25 | 24 | 7,2 | -0,000005 | 1,000000 |

ARGUMENTY FUNKCJI




Po naciśnięciu (jednoczesnym) klawiszy: **Shift, Ctrl** i **Enter** otrzymuje się wyniki obliczeń w postaci zestawienia tabelarycznego (tab. 4).

**Tabela 4**. REGLINP

| | | |
|---|---|---|
| -4,0782 | -4,2324 | 10,85833 |
| 0,222359 | 0,222359 | 0,157232 |
| **0,97082** | 0,770274 | #N/D! |
| 349,3368 | 21 | #N/D! |
| 414,5386 | 12,45977 | #N/D! |

Pierwszy wiersz tej macierzy (tablicy 4) zawiera wartości współczynników $a_0$, $a_1$, $a_2$ (w odwrotnej kolejności w stosunku do danych $y$, $x_1$, $x_2$). Współczynnik determinacji $\boldsymbol{R^2 = 0{,}97082}$ (wiersz 3, kolumna 1).

Stosując program **REGLINP** otrzymuje się równanie płaszczyzny regresji

$y = 10{,}85833 - 4{,}2324x_1 - 4{,}0782x_2$

a następnie amplitudę $b = 5{,}87749$ i fazę $c = -2{,}33764$ (tg$c = 0{,}963566$).

Równanie sinusoidy dobowych zmian temperatury powietrza na stacji Warszawa-Okęcie ma postać:

$T = 10{,}85833 + 5{,}877\sin(2\pi t/24 - 2{,}33764)$.

## Wyznaczenie widm i okresów metodą „sinusoid regresji”

### Instalacja programu

Tworzymy FOLDER o dowolnej nazwie np. w tej instrukcji „LICZBY WOLFA” (wynikającej z prowadzonych badań). Kopiujemy 3 części programu tj. PLIKI : BOR1.EXE (24,2 kB), BOR2.EXE (22,4 kB), BOR3.EXE (18,8 kB) i dane empiryczne przygotowane do obliczeń „WOLF.DAT”.

**BOR1.EXE –** to część główna programu (najważniejsza)

## FOLDER: LICZBY WOLFA

**Dane empiryczne**

- ZMIENNE PRZYRODNICZE I INNE: astronomiczne, geologiczne, sedymentacyjne, dendrologiczne, hydrologiczne, klimatologiczne i inne
- DANE LICZBOWE zestawiamy w 2 kolumnach macierzy [x y]. Pierwsza kolumna – to czas ($x = t$), druga – to wartości zmierzone ($y$)
- PRZECINKI (,) zamieniamy na KROPKI (.)
- Poza tym w PLIKU z rozszerzeniem np. WOLF.TXT nie ma żadnych innych znaków (na całej stronie)
- Dane należy przygotować w programie EXCEL. Dwie kolumny liczbowe trzeba zapisać: „rozdzielane znakami tabulacji" np. WOLF.TXT. Ponowne otwarcie PLIKU WOLF.TXT umożliwia zamianę przecinków (,) na kropki (.). Jeżeli zapiszemy z rozszerzeniem WOLF.xls lub WOLF.xlsx (wersja 2007) – to na ogół liczby całkowite (z ujemnym znakiem) np. -10,0 nie będą zamienione na -10.0 (pozostaną z przecinkami). Zamykamy program EXCEL
- UWAGA. Można też zamienić przecinki na kropki w kolejnych wierszach ciągu liczbowego otwierając PLIK WOLF.TXT za pomocą „NOTATNIK" (jeżeli liczba danych nie jest zbyt duża)
- MÓJ KOMPUTER – OTWÓRZ
- Trzeba zmienić rozszerzenie Pliku WOLF.TXT na **WOLF.DAT**

**Tabela 5**. WOLF.DAT

| | |
|---|---|
| 1700 | 5.0 |
| 1701 | 11.0 |
| 1702 | 16.0 |
| 1703 | 23.0 |
| 1704 | 36.0 |
| 1705 | 58.0 |
| . | . |
| . | . |
| . | . |
| 2001 | 11.08 |
| 2002 | 103.8 |

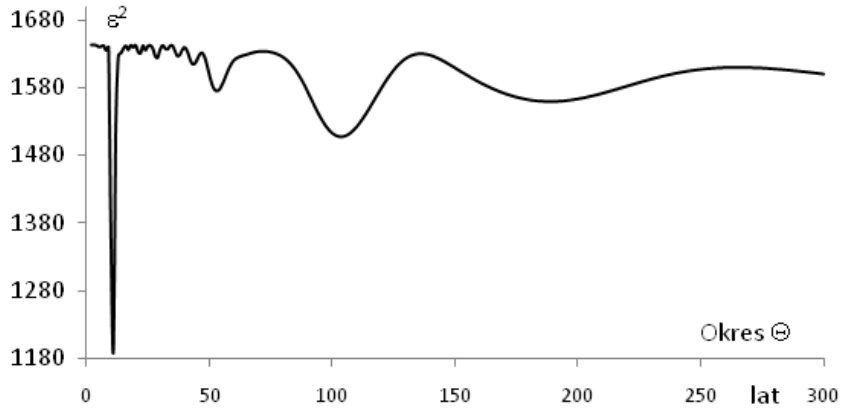
- **BOR1.EXE**. OTWÓRZ
- Wpisujemy kolejno odpowiedzi:
- Plik: WOLF. liczba kolumn <1,2>:2, Min 2.1, Max 300, Krok :0.1
- Każdą z nich zatwierdzamy „ ENTER" (Przykład wypełnionej tablicy BOR1.EXE – str. 76)

- Uwaga. Jeżeli przygotujemy jedną kolumnę wartości np. w kolejnych latach, to po wpisaniu; liczb kolumn <1,2>:1 otrzymamy Pliki obliczeń. OUT,. OPT z krokiem 1 (automatycznie, bez możliwości zmiany kroku na inny)
- Jeżeli nie pojawią się Pliki WOLF.OPT i WOLF.OUT należy sprawdzić rozszerzenie WOLF.DAT, czy nie pozostały przecinki, czy zbiór danych znajduje się w folderze z PROGRAMEM

C: \BOR1.EXE

**Tabela 6. BOR1.EXE** WOLF. OUT (Wykres – Rys. 2)

| Okr | Eps |
|---|---|
| 2.100 | 1643.469 |
| 10.700 | 1543.856 |
| 10.800 | 1486.566 |
| 10.900 | 1297.516 |
| 11.000 | 1192.878 |
| 11.100 | 1278.541 |
| 11.200 | 1461.169 |
| 11.300 | 1592.906 |
| 11.400 | 1636.956 |
| . | . |
| 188.400 | 1560.044 |
| 188.500 | 1560.042 |
| 188.600 | 1560.041 |
| 188.700 | 1560.041 |
| 188.800 | 1560.041 |
| 188.900 | 1560.041 |
| 189.000 | 1560.043 |
| . | . |
| 299.600 | 1600.819 |
| 299.700 | 1600.775 |
| 299.800 | 1600.731 |
| 299.900 | 1600.687 |




**Rys. 2.** Widmo liczb Wolfa w latach 1700-2002 tj. WOLF.OUT (z krokiem: 1, a nie 0.1). Na wykresie zmniejszono liczbę punktów z 2880 do 288

**Tabela 7**. WOLF.OPT. Okresy liczb Wolfa w latach 1700-2002 o najmniejszej wariancji resztkowej $\varepsilon^2$ (Pominięto minima lokalne widma o wariancji $\varepsilon^2 > 1631.129$, $R < 0{,}087$)

| Okres $\Theta$ | $\varepsilon^2$ |
|---|---|
| 5.500 | 1631.129 |
| 8.100 | 1605.952 |
| 8.500 | 1588.433 |
| 9.600 | 1618.156 |
| 10.500 | 1366.856 |
| 11.000 | 1192.878 |
| 12.000 | 1528.446 |
| 28.600 | 1623.541 |
| 37.300 | 1626.610 |
| 43.500 | 1614.824 |
| 53.100 | 1575.522 |
| 103.600 | 1507.988 |
| 188.700 | 1560.041 |

**Wyznaczenie amplitud i faz cykli**

- BOR2.EXE: OTWÓRZ. Wpisujemy PLIK: WOLF, Liczba kolumn <1,2>:2 i „ENTER” (zob. Tablica)

C: \BOR2.EXE

- Otrzymuje się PLIK WOLF.RES (tab. 8)

**Tabela 8.** WOLF.RES – Nowe symbole:okres $\Theta$, $a_1$=A, $a_2$=B, $b$=C, $c$=fi oraz $a_0$=$A_0$, $a$=$B_0$, $\varepsilon^2$=E^2, $R$ – współczynnik korelacji wielokrotnej

| A0 | B0 | E^2 | R | CBK | RS |
|---|---|---|---|---|---|
| -88.099764 | 0.074072 | 516.852632 | 0.827969 | 2.601365 | 0.935887 |
| Okres | | A | B | C | fi |
| 5.50000000 | | -0.37545809 | 4.86307428 | 4.87754654 | 1.64784939 |
| 8.10000038 | | -6.70548415 | -3.24207702 | 7.44812601 | -2.69123493 |
| 8.50000000 | | 10.33556642 | 3.55289388 | 10.92918058 | 0.33109979 |
| 9.60000038 | | 6.37764966 | -3.06571745 | 7.07623054 | 0.44808635 |
| 10.50000000 | | 3.52773774 | 16.85364910 | 17.21889722 | -1.36445937 |
| 11.00000000 | | 11.05097522 | 23.42999280 | 25.90537813 | 1.13007719 |
| 12.00000000 | | 1.09973953 | 11.98505585 | 12.03540572 | 1.47929333 |
| 28.60000038 | | 5.22317567 | -2.58941541 | 5.82980585 | -0.46024584 |
| 37.29999924 | | 2.66666483 | -0.40165983 | 2.69674469 | -0.14949873 |
| 43.50000000 | | -0.46793141 | 5.56231137 | 5.58195912 | 1.65472407 |
| 53.09999847 | | -5.55625987 | -8.16160359 | 9.87338832 | -2.16850644 |
| 103.59999847 | | -2.81484650 | 13.15764599 | 13.45537100 | 1.78155181 |
| 188.69999695 | | 3.06397949 | -7.21860360 | 7.84195181 | -1.16938656 |

Kolumny A=$a_j$, B=$b_j$ – to współczynniki regresji wielokrotnej, uwzględniającej $k$=13 cykli tj. 2$k$ zmiennych :sin($2\pi t/\Theta_j$), cos($2\pi t/\Theta_j$), A0+B0$t$ – składnik liniowy

- Plik WOLF.RES po wpisaniu A0=$y_{śr}$=50,2066 i B=0,0 daje obliczenia bez składnika liniowgo ($at$=0), $y_{śr}$=średnia arytmetyczna

**Tabela 9.** Z programów BOR1 WOLF.OPT i BOR2 WOLF. RES wyznaczono parametry cykli: Okres $\Theta$, amplituda $b$, faza $c$, wariancja resztkowa $\varepsilon^2$, współczynnik korelacj $R$ i wartość statystyki $F_{obl}$ Fishera-Snedecora

| Okres | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 5,5 | 4,88 | 1,6478 | 1631,1 | 0,087 | 1,14 |
| 8,1 | 7,45 | -2,6912 | 1606,0 | 0,151 | 3,47 |
| 8,5 | 10,93 | 0,3311 | 1588,4 | 0,183 | 5,12 |
| 9,6 | 7,08 | 0,4481 | 1618,2 | 0,124 | 2,34 |
| 10,5 | 17,22 | -1,3645 | 1366,9 | 0,410 | 27,69 |
| 11,0 | 25,91 | 1,1301 | 1192,9 | 0,524 | 48,28 |
| 12,0 | 12,04 | 1,4793 | 1528,4 | 0,265 | 10,90 |
| 28,6 | 5,83 | -0,4602 | 1623,5 | 0,110 | 1,84 |
| 37,3 | 2,70 | -0,1495 | 1626,6 | 0,102 | 1,56 |
| 43,5 | 5,58 | 1,6547 | 1614,8 | 0,132 | 2,65 |
| 53,1 | 9,87 | -2,1685 | 1575,5 | 0,203 | 6,34 |
| 103,6 | 13,46 | 1,7816 | 1508,0 | 0,287 | 12,92 |
| 188,7 | 7,84 | -1,1694 | 1560,0 | 0,225 | 7,83 |

Amplitudę $b$ i fazę $c$ $k$ cykli można wyznaczyć jednocześnie minimalizując łączną wariancję resztkową, wynikającą z ich interferencji $y=f(t)=a_0+\Sigma\, b_j\sin(2\pi t/\Theta_j+c_j)$

$$\varepsilon^2=n^{-1}\Sigma\,[y_i-f(t_i)]^2$$

Posługując się programem REGLINP, należy utworzyć dane $2k=26$ zmiennych

**Tabela 10.** Dane $2k=26$ zmiennych

| $y$ | $x_1$ | $x_2$ | | $x_{25}$ | $x_{26}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $y$ | sin(2*3,14*t/5,5 | cos(2*3,14*t/5,5 | … | sin (2*3,14*t/188,7 | cos (2*3,14*t/188,7 |
| . | . | . | . | . | . |

## Wyznaczenie równania pojedynczej sinusoidy programem BOR1.EXE i BOR2.EXE

**Tabela 11.** Przykład – DOBA.DAT

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 5,9 | 13 | 15,6 |
| 2 | 5,2 | 14 | 15,9 |
| 3 | 4,5 | 15 | 16,3 |
| 4 | 4,1 | 16 | 16,6 |
| 5 | 4,2 | 17 | 16,4 |
| 6 | 6,4 | 18 | 15,8 |
| 7 | 10,0 | 19 | 13,9 |
| 8 | 10,3 | 20 | 12,1 |
| 9 | 11,3 | 21 | 11,4 |
| 10 | 12,3 | 22 | 9,4 |
| 11 | 13,5 | 23 | 8,2 |
| 12 | 14,1 | 24 | 7,2 |

Pomijamy część BOR1.EXE., tworząc a priori PLIK DOBA.OPT o jednym elemencie: 24.

Wynikiem obliczeń BOR2.EXE są wartości liczbowe w tab. 4.

**Tabela 12**. **BOR 1.DOBA.RES**

| $a_0$=A0 | | $a$=B0 | $\varepsilon^2$=E^2 | R | CBK | RS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10.340615 | | 0.041417 | 0.487306 | 0.986210 | 1.312296 | 0.998203 |
| Okres $\Theta$ | | $a_1$=A | $a_2$=B | $b$=C | $c$=fi | |
| 24.00000000 | | -3.91781527 | -4.11959924 | 5.68510109 | -2.33109418 | |

Równanie sinusoidy zmian dobowych temperatury powietrza na stacji Warszawa-Okęcie ma postać ($R$, CBK, RS współczynniki korelacji):

$T$=10,340615+0,041417$t$+5,68510109 sin(2$\pi t$/24-2,33109418).

Wartości sinusoidy dobowej, bez składnika liniowego $at$, można obliczyć wpisując A0=$y_{śr}$, B0=0.00 do PLIK DOBA.RES.

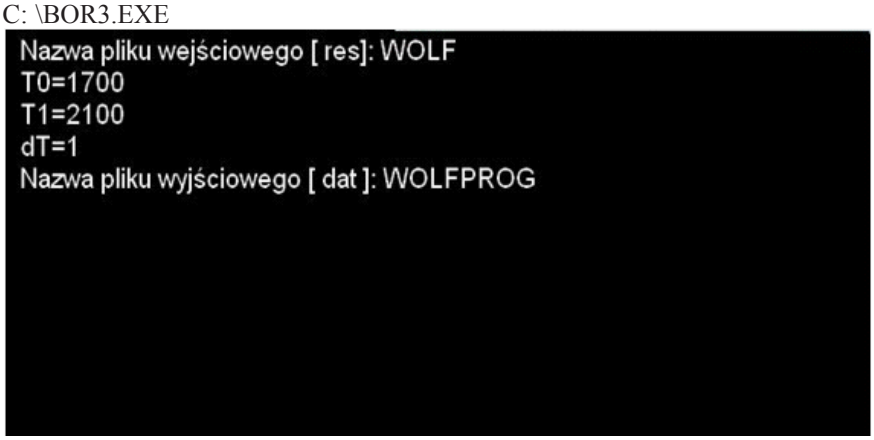
**Interferencja cykli. Rekonstrukcja – prognozy**

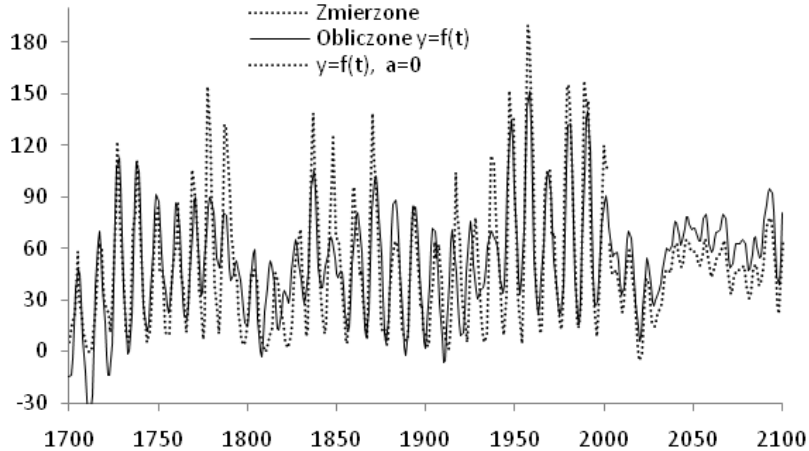
Wyznaczana jest wypadkowa nakładania się na siebie $k$ cykli, ze składnikiem liniowym $at$:

$$y=a_0+at+\sum b_j\sin(2\pi t/\Theta_j+c_j)$$

- **BOR3.EXE**.: OTWÓRZ
- Program BOR3.EXE działa, gdy wcześniej są wykonane obliczenia wcześniejsze BOR2.EXE, gdy jest już Plik WOLF. RES
- Trzeba wpisać PLIK WOLF, Liczba kolumn<1,2>2:, $T_0$ – początkowa data (1700), $T_1$ – data końcowa np. 2002 lub 2100 (z prognozą), dt=1 – odstęp 1 lub dt=0,5 (co pół roku), nadajemy nazwę PLIKU wyjściowego np. WOLFPROG
- Otrzymuje się PLIK WOLFPROG.DAT. Istotne są 2 pierwsze kolumny na podstawie których można sporządzić wykres zmian liczb Wolfa (dowolnej zmiennej $y$). Trzecią kolumnę zawierającą punkty prostej regresji można pominąć lub usunąć
- Zmieniamy rozszerzenie. DAT na WOLFPROG.TXT
- Wtedy można otworzyć ten plik za pomocą „NOTATNIK"
- Należy uruchomić program EXCEL i otworzyć ten plik tekstowy WOLFPROG. TXT i sporządzić wykres
- Przykład wykresu punktowego na rys. 3

C: \BOR3.EXE






**Rys. 3**. Zmiany liczb Wolfa w latach 1700-2100

Nie bez znaczenie jest wyjątkowo krótki czas obliczeń (w porównaniu z innymi metodami) ustalania składników trendu czasowego – superpozycji k cykli, ze składnikiem *at*, przy minimalnym błędzie standardowym $\delta = n^{0,5}(n\text{-}k)^{-0,5}\varepsilon$, $\varepsilon = (\varepsilon^2)^{0,5}$, $R = (1\text{-}\varepsilon^2 s^{-2})^{0,5}$:

$$y = a_0 + at + \sum b_j \sin(2\pi t/\Theta_j + c_j)$$

Interferencję tych $k = 13$ cykli, ze składnikiem liniowym można otrzymać z zastosowaniem programu EXCEL, po wpisaniu formuły podanej w tabeli 13.

**Tabela 13.** Wzór do wyznaczenia programem Excel wypadkowej interferencji $k = 13$ cykli liczb Wolfa w latach 1700-2002, ze składnikiem liniowym $a_0 + at$ ($a_0$=A0, $a$=B0, według WOLF.RES – tab. 8)

| |
|---|
| =-88,099764+0,074072*A1+ |
| +4,87754654*sin(2*3,14159*A1/5,5+1,64784939) +7,44812601*sin(2*3,14159*A1/8,1-2,69123493) |
| +10,92918058*sin(2*3,14159*A1/8,5+0,33109979) +7,07623054*sin(2*3,14159*A1/9,6+0,44808635) |
| +17,21889722*sin(2*3,14159*A1/10,5-1,3644594) +25,90537813*sin(2*3,14159*A1/11,0+1,1300772) |
| +12,03540572*sin(2*3,14159*A1/12,0+1,47929333) +5,82980585*sin(2*3,14159*A1/28,6-0,46024584) |
| +2,69674469*sin(2*3,14159*A1/37,3-0,14949873) +5,58195912*sin(2*3,14159*A1/43,5+1,65472407) |
| +9,87338832*sin(2*3,14159*A1/53,9-2,16850644) +13,455371*sin(2*3,14159*A1/103,6+1,78155181) |
| +7,8419518*sin(2*3,14159*A1/188,7-1,16938656) |

Interferencję tych 13 cykli można też otrzymać, posługując się programem REGLINP. Należy utworzyć dane $2k+1 = 27$ zmiennych (tab. 14):

$$y = a_0 + at + a_1x_1 + a_2x_2 + \ldots + a_{25}x_{25} + a_{26}x_{26}$$

**Tabela 14.** Dane $2k+1 = 27$ zmiennych

| | $x_0 = t$ | $x_1$ | $x_2$ | … | $x_{25}$ | $x_{26}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $y$ | $A_1$ | sin(2*3,14*$A_1$/5,5) | cos(2*3,14*A1/5,5) | … | sin(2*3,14*$A_1$/188,7) | cos(2*3,14*$A_1$/188,7) |
| | | | | | | |

Weryfikując współczynniki korelacji $R$, wyznaczane tak jak współczynniki korelacji wielokrotnej, tj. z wzoru $R=(1-\varepsilon^2 s^{-2})^{0,5}$, należy je traktować jako współczynniki korelacji cząstkowej. Na ogół wariancję $s^2$ zmiennej $y$ wyjaśnia nie jeden, lecz kilka okresów:

$y=a_0+b'_1\sin(2\pi t\Theta_1^{-1}+c_1)+b'_2\sin(2\pi t\Theta_2^{-1}+c_2)+\ldots$

gdzie $b'_1$, $b'_2$, … to współczynniki regresji cząstkowej względem wykrytych cykli Współczynniki korelacji wielokrotnej $R$ (między wartościami zmierzonymi i obliczonymi z równania sinusoidy $y(t_i)$) mają wartości bardzo zbliżone do współczynników korelacji cząstkowej. Nie można więc oczekiwać by współczynniki korelacji $R_k$ poszczególnych cykli – spośród $k$, wyjaśniających wariancję zmiennej $y$ były duże.

**Modulacja cykli**

Uogólnieniem metody „sinusoid regresji" jest określenie modulacji amplitudy $b_0$ i fazy $c_0$ cyklu o częstości $\omega_0$ przez cykl o częstości mniejszej $\omega$ (Boryczka, 1984):

$y=a_0+[b_0+b\sin(\omega t+c)\ ]\sin(\omega_0 t+c_0)$.

Posługując się wzorami Eulera otrzymuje się trend czasowy:

$y=a_0+b_0\sin(\omega_0 t+c_0)+b_1\sin[(\omega_0+\omega)\ t+c_1]+b_2\sin[(\omega_0-\omega)t+c_2]$,

który wyznacza się wg najmniejszych kwadratów (Boryczka, 1993).

Wykres tego trendu czasowego wyraża modulację cyklu o częstości $\omega_0=2\pi/\Theta_0$ przez cykl o częstości $\omega=2\pi/\Theta$. W przybliżeniu spełniony jest warunek $b_1/b_2\approx 1$.

Stosując tę metodę wykazano (Boryczka, 1984) modulację cyklu 11-letniego liczb Wolfa przez okresy długie 89 lat i 179 lat na podstawie danych z lat 1700-1980. Efektem modulacji są cykle dłuższe (12-14 lat) o mniejszych amplitudach, w latach 1785-1823 i krótsze (9-10 lat) o amplitudach większych, w pobliżu maksimum absolutnego liczb Wolfa (1957 rok).

Metodę „sinusoid regresji" stosowano dotychczas w badaniach periodyczności zmiennych: klimatologicznych (temperatura powietrza, opady atmosferyczne, cyrkulacja atmosferyczna), hydrologicznych (odpływy rzek, poziom Morza Bałtyckiego), astronomicznych (aktywność Słońca, parametry Układu Słonecznego), geologicznych (erupcje wulkanów), sedymentologicznych (akumulacja substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych), dendrologicznych (słoi drzew) i innych.

Dobre rezultaty badań okresowości uzyskano w zastosowaniach poza klimatologią, np. w pracy J. Cyberskiego (1995), dotyczącej bilansu wodnego i zasolenia wód Bałtyku (patrz str. 136-150).

Metoda „sinusoid regresji", bardzo prosta, jest potężnym narzędziem wykrywania okresowości zjawisk przyrodniczych – składnika deterministycznego w ciągach czasowych wyników pomiarów.

## Walory metody „sinusoid regresji" zastosowanej w badaniach cykliczności zmiennych przyrodniczych

Podstawy teoretyczne tej metody podano w publikacji: Boryczka J., 1779, *Nowa metoda wyznaczania okresowych zmian parametrów meteorologicznych*. Przegląd Geofizyczny, t. XXIV, z.1. s.45-56. W tym czasie w Centrum Informatycznym Uniwersytetu Warszawskiego powstała 1 wersja PROGRAMU w języku FORTRAN – na maszynę cyfrową BASF, z współudziałem zespołu pracowników : Anny Góraj, Teresy Desperat i Grażyny Woźniakowskiej, kierowanego przez Wacława Pankiewicza.

Program metody J. Boryczki,, sinusoid regresji" w wersji obecnej: BOR.1.EXE, BOR2.EXE, BOR3.EXE został przystosowany do obliczeń za pomocą mikrokomputera przez J. Cyberskiego (1995) – w celu wykonania obliczeń do rozprawy habilitacyjnej „*Współczesne i prognozowane zmiany bilansu wodnego i jego rola w kształtowaniu zasolenia wód Bałtyku*", Wyd. UG, Gdańsk.

W identyfikacji przyczyn naturalnych wahań klimatu ogromne znaczenie ma wykrycie okresów zmiennych klimatologicznych: cyrkulacji atmosferycznej, temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, odpływów rzek, poziomu mórz itp. (skutków) i okresów domniemanych przyczyn (zmiennych astronomicznych, geologicznych). W przybliżeniu powinna być spełniona zasada identyfikacyjna: „okresy skutków i przyczyn są takie same, a wahania synchroniczne". Warunek ten spełniony jest na ogół w przypadku dobowych wahań zmiennych meteorologicznych wywołanych ruchem obrotowym Ziemi o okresie $\Theta = 86400$ s i wahań rocznych, związanych z ruchem obiegowym Ziemi dookoła Słońca, o okresie $\Theta = 365{,}2564$ dni – okres obiegu Ziemi dookoła Słońca. Po uśrednieniu, ekstrema (minima i maksima) w cyklach dobowym i rocznym przypadają na tę samą porę doby, czy też roku (na te same wysokości Słońca i wartości deklinacji Słońca). Te dwa cykle, dobowy i roczny cechują się największymi zakresami wahań: temperatury powietrza, opadów atmosferycznych i innych zmiennych. Są one synchroniczne z pozornym ruchem Słońca w ciągu doby i roku.

Wykrycie innych okresów zmian: aktywności Słońca, cyrkulacji atmosferycznej, temperatury powietrza, opadów jak też słoi drzew jest istotne dla wyjaśnienia przyczyn naturalnych wahań klimatu, mimo że nie znane są dobrze obecnie mechanizmy fizyczne oddziaływania domniemanych przyczyn na klimat.

Od dawna stosowane są różne metody badań okresowości zjawisk przyrodniczych: analiza harmoniczna, metoda autokorelacyjna i transformata Fouriera. W analizie harmonicznej, polegającej na wyznaczeniu kolejnych wyrazów szeregu Fouriera, otrzymuje się okresy z podziału długości ciągu czasowego na części : $n, \frac{n}{2}, \frac{n}{3}, \ldots$ tj. okresy fikcyjne, rzadko pokrywające się z prawdziwymi.

W kolejnej, lepszej metodzie współczynniki autokorelacji $r_k$, wyznaczane są na podstawie coraz krótszych danych o liczebności *k*-*n* lub przy ukrytym założeniu, że każda badana seria pomiarów *n* lat jest okresem (w metodzie rotacyjnej).

Dobre rezultaty w części krótkookresowej widma otrzymuje się stosując transformatę Fouriera, wiążąc wyrazy szeregu Fouriera (o dowolnie założonym okresie) z funkcją autokowariancji.

Wszystkie wymienione metody można stosować jedynie wtedy, gdy odstępy czasu między kolejnymi wyrazami ciągu są równe. Warunku tego na ogół nie spełniają najdłuższe serie pomiarów temperatury powietrza i opadów atmosferycznych, zawierające liczne braki (po prostu dawniej nie prowadzono pomiarów ciągłych). Nie spełniają tego warunku również liczne serie pomiarów obecnie prowadzonych nad obszarami oceanów (zajmujących 70% powierzchni Ziemi).

Spełnienie warunku równych odstępów czasu między wyrazami ciągu od kilkudziesięciu lat wymusza tzw. „uzupełnianie" serii pomiarowych, wpisywanie fikcyjnych danych. W ten sposób większość najdłuższych serii pomiarowych została uzupełniona w „majestacie metod matematycznych" (różnic, stosunków, regresji liniowej itp.) na po-

stawie sąsiednich miejscowości, gdzie w tym czasie były prowadzone obserwacje. Nasuwa się pytanie, w jakim stopniu zostało zdeformowane pole temperatury, opadów przez wstawienie fikcyjnych „wyników pomiarów".

Poza tym, niektóre zjawiska, takie jak erupcje wulkanów występują z natury nierównomiernie – w różnych odstępach czasu. Ponadto dotychczas stosowane metody ograniczają się do wyznaczenia krótkookresowej części widma 0-0,5N ($n$ – długość serii pomiarowej, szerokość przedziału aproksymacji).

W badaniach okresowości zjawisk przyrodniczych – zmiennych: klimatologicznych, hydrologicznych, astronomicznych, geologicznych – dobre rezultaty otrzymuje się stosując metodę J. Boryczki „sinusoid regresji" (1983, 1993). Metodą „sinusoid regresji" wyznaczane jest całe widmo 0-$n$ jego część krótkookresowa 0-0,5 i długookresowa 0,5-1 (okresy o długościach większych od zera do N, gdzie N – długość serii pomiarów). Metodę autora można stosować także wówczas, gdy odstępy czasu między wyrazami ciągu czasowego są różne. Metoda ta nie wymaga „uzupełniania" brakujących danych w seriach pomiarowych, które zniekształca prawdziwe informacje o zmianach klimatu.

Głównymi walorami zaproponowanej metody „sinusoid regresji" w badaniach periodyczności zjawisk przyrodniczych są: możliwość wyznaczenia okresów, gdy odstępy czasu w serii pomiarowej nie są równe i występują braki w pomiarach, możliwość wyznaczenia części długookresowej widma $<0,5n, n>$.

W badaniach zmian klimatu fundamentalne znaczenie ma porównanie informacji zawartych w seriach pomiarowych: instrumentalnych, dendrometrycznych, sedymentologicznych i w rdzeniach lodowych o różnych długościach: 50, 100, 200, 400, 1000, 10 000 lat, itd. W identyfikacji przyczyn wahań klimatu ogromne znaczenie ma możliwość wyznaczenia długookresowej części widma 0,5-1,0, oprócz części krótkookresowej 0-0,5. Część długookresowa widma 0,5-1,0 wg serii np. 100-letniej – to części krótkookresowe widm: 0,25-0,5, 0,125-0,25, 0,05-0,10 serii 200-, 400-, 1000-letniej.

Istotne jest porównanie długookresowych części widm (skutków i przyczyn), wyznaczonych na podstawie krótszych (nowszych) serii pomiarów z krótkookresowymi częściami widm, obejmujących dawne pomiary instrumentalne, dendrometryczne i paleotemperatury.

Wszechstronne porównanie części krótkookresowych (0-0,5) i długookresowych (0,5-1,0) widm skutków i domniemanych przyczyn, warunkują ciągłość badań okresowości, niezależną od przedziałów aproksymacji.

Obecność w przedziale aproksymacji $<0, n>$ odcinka sinusoidy o okresie dłuższym od długości serii pomiarowej ($n$) rozstrzyga kryterium. Jeżeli wariancja resztkowa wzrasta w pobliżu górnej granicy widma, to nie ma w serii pomiarów części sinusoidy o okresie dłuższym od $n$. Gdy wariancja maleje na końcu widma – to w przedziale aproksymacji znajduje się odcinek sinusoidy o okresie $\Theta > n$, którego nie można wyznaczyć na podstawie badanej serii pomiarów. Jest to składnik liniowy trendu czasowego, który może być błędnie interpretowany jako składnik antropogeniczny.

Oczywiste jest, że okresy wyznaczane metodą „sinusoidy regresji" (podobnie jak innymi metodami statystycznymi) – to średnie okresy w seriach pomiarowych. Cechują się one określoną dyspersją – odmienną w seriach wyników pomiarów, pochodzących z różnych przedziałów czasu. Na ogół szerokości pasm zawierających okresy długie (w części długookresowej widma) są większe niż w części krótkookresowej widma.

Okresy w niektórych częściach serii pomiarowych (przedziałach czasu) cechują się dużymi amplitudami, a w innych małymi – nawet zanikającymi. Na przykład średni okres aktywności Słońca w latach 1700-1993 wynosi 11,0 lat; w latach 1785-1798 cykl jest wydłużony do 14 lat, zanikający, a w pobliżu maksimum absolutnego aktywności Słońca (1957) – skrócony do 10 lat i ma dużą amplitudę.

Walorem metody „sinusoid regresji" jest także możliwość jej zastosowania do wyznaczania lokalnych okresów $\Theta_l$ wewnątrz serii pomiarowej – dzieląc dane pomiarowe z lat $t_1$, ..., $t_n$ na części $\Delta t = \Theta_l$: $y = a_l + b_1 \sin(2\pi t\, \Theta^{-1} + c_1)$.

Po prostu wyznaczane są amplitudy $b_l$ i fazy $c_l$ cykli optymalnych w konsekutywnych $\Delta t = \Theta_l$ – letnich przedziałach czasu o liczbie $n - \Theta_l - 1$.

W ten sposób można ustalić przedziały czasu (daty), w których lokalny okres $\Theta_l$ cechuje się największą amplitudą lub cykl zanika. Do tego celu jest obecnie stosowana analiza falkowa J. Morleta (1983).

Okresy tzw. rzeczywiste (maksima lokalne ciągu amplitud $b_1$, $b_2$, …), praktycznie nie różnią się od okresów optymalnych w części krótkookresowej widma 0-0,5$n$ ($n$ – długość serii pomiarów). Są one dobrym przybliżeniem okresów optymalnych w przedziale widma 0-0,7$n$). Rozbieżność między okresami optymalnymi i rzeczywistymi wzrasta, gdy $\Theta \rightarrow n$, maksymalnie do 8,0% dla teoretycznego przypadku $\Theta = n$.

## Sprawdzalność wcześniejszych prognoz

Wyniki badań okresowości i prognozowanie tendencji zmian klimatu są uznane w literaturze klimatologicznej. Trendy czasowe i wielomiany zmiennych astronomicznych wyznaczono wg kryterium minimalizującego błąd standardowy Liczbę uwzględnionych okresów, ich długość oraz liczbę wyrazów w wielomianach zmieniano tak, by błąd standardowy był najmniejszy. Stąd ekstrapolowane wartości cechują się wysokim poziomem wiarygodności. Sprawdziły się prognozy tendencji temperatury powietrza w Warszawie na lata 1980 1996 na pod stawie danych z lat 1779-1979 – przedstawione w *Naturalne i antropogeniczne zmiany* klimatu (Boryczka,1993).,, Prognozowane minimum wiekowe temperatury powietrza na rok 1980 wystąpiło w roku 1980. Średnia roczna temperatura 6,6°C w roku 1980, wg pomiarów na stacji Warszawa-Okęcie, jest najmniejszą, wartością w latach 1966-1996. W roku 1991 wystąpiło kolejne prognozowane minimum (wyższe) temperatury, zgodne z wynikami pomiarów w latach 1989-1992 (9,5; 9,4; 8,8°C). Sprawdziły się też prognozowane zimy w Warszawie – na podstawie danych z lat 1779-1990 i Genewie – wg danych z lat 1768-1990, opublikowane w pracy: Boryczka J., 1996, The tendency of natural changes of Earth's climate and identification of its causes. Proceeding of the International Conference on Climate Dynamics and the Global Perspective, Cracow, October 17-20, 995.

Zgodnie z prognozą zim w Warszawie w roku 1990 zakończyła sic seria ciepłych zim. Tendencja wiekowych zmian temperatury powietrza w zimach 1779-2100 (Boryczka 1993) jest malejąca od 1991 roku. Ekstrapolowanym wartościom trendu czasowego w latach 1987-1996 odpowiadają chłodniejsze zimy – wg wyników pomiarów na stacji Warszawa-Okęcie.

| Rok | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| °C | -4,2 | 0,6 | 2,4 | 2,1 | -2,0 | -0,3 | 0,1 | -0,3 | -1,3 | -1,6 |

Analogicznie jest w przypadku prognozowanych zim w Genewie lata 1981-1993. Dobra jest także zgodność prognozowanych rocznych i miesięcznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie na podstawie danych z lat 1813-1980 z wynikami pomiarów (na stacji Warszawa-Okęcie) – przedstawionych w w/w publikacji (1993, str. 219 i w Atlasie, t.VII πt.„Zmiany wiekowe klimatu Polski. Krzywej zmian rocznych sum opadów atmosferycznych o tendencji malejącej w latach 1981-1990 odpowiada spadek zmierzonych sum opadów: od 656 mm (w roku 1981) do poniżej 500 mm (456 mm w roku 1990), a następnie ich wzrost (do 652 mm – w roku 1993).

Dobra zgodność prognozowanych wartości temperatury powietrza i opadów atmosferycznych ze zmierzonymi (poza przedziałem aproksymacji, wykazana na podstawie Warszawy), świadczy również o poprawności metodologicznej – ekstrapolacji długich okresów (zdeterminowanych) poza przedziałem aproksymacji. W naukach przyrodniczych takich jak agrometeorologia, hydrologia, ekologia i innych, modele tendencji zmian klimatu mają praktyczne zastosowanie (zwłaszcza dotyczące sezonów).

Przykładem zastosowania metody J. Boryczki (1993)„ sinusoid regresji" do wykrywania okresowości i wyznaczania trendów czas owych jest praca: Cyberski J., 1995, Współczesne i prognozowane zmiany bilansu wodnego i jego rola w kształtowaniu zasolenia wód Bałtyku, Wyd. UG, Gdańsk, (rozprawa habilitacyjna), str. 137-139, str. 141-149 i inne.

Cytaty niektórych jej fragmentów:

*„Istotnym walorem metody Boryczki jest możliwość wykonania obliczeń w sytuacji niespełnienia warunku ciągłości danych, co przy analizowanych danych oceanograficznych można uznać za jej największą zaletę"(str.139). Moż1iwości jakie dało zastosowanie metody Boryczki w analizie długoletnich zmian zasolenia nie ograniczały się jedynie do ujawniania wykrytych okresów. Rekonstrukcja, którą uzyskuje się na drodze aproksymowania, obejmuje w konsekwencji cały zadany okres wraz z pustymi miejscami. Umożliwia ona uzupełnienie informacji o czasach z brakującymi danymi na dość wysokim poziomie wiarygodności, wynikających z określ1enia błędu standardowego".*

Główny„ładunek" prac wykonanych w Zakładzie Klimatologii Instytutu Nauk Fizycznogeograficznych Uniwersytetu Warszawskiego tkwi w poznaniu praw klimatologii – wykryciu prawdziwych okresów, amplitud i faz w czasowym przebiegu podstawowych elementów klimatologicznych. Na przykład te pozornie nieregularne wiekowe anomalie klimatu są wynikiem nakładania się krótkich i długich okresów temperatury, opadów, odpływów rzek i cyrkulacji. Synchroniczność wahań krótkookresowych i długookresowych zmiennych klimatologicznych, geologicznych i astronomicznych implikuje tezę, ze wiekowe anomalie klimatu są zdeterminowane. W ostatnich latach pojawiły się w literaturze liczne katastroficzne" prognozy znacznego wzrostu temperatury powietrza, wynikającego z rosnącej i1ości $CO_2$ w atmosferze (scenariusze $2xCO_2$). Okazało się jednak, że to ocieplenie klimatu w ostatnich dwóch stuleciach jest wynikiem – nie tylko zmian antropogenicznych, lecz nałożenia się cykli długich – wiekowego i dwuwiekowego temperatury powietrza. Wykazano, że ten wzrost ternperratury jest efektem nałożenia się analogicznych długich okresów aktywności Słońca i erupcji wulkanów (dust veil index, Lamba). Uzasadnieniem tej tezy, że zbliżone wahania długookresowe stałej słonecznej, około 100 i 200 lat oraz jej tendencja rosnąca w latach 1700-1993 (Angstrom, Kondratiev i Nikolski, 1974) i tendencja malejąca aktywności wulkanicznej.

Okresowość zbliżona do wiekowej i dwuwiekowej występuje w ciągach czasowych: substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych sprzed 10 000 lat, i izotopu tlenu $\delta^{18}O$ – w rdzeniu lodowych Devon Island sprzed 100 000 lat i danych dendrologicznych.

J. Kondracki ustosunkował się do badań współczesnych zmian klimatu, prowadzonych w Zakładzie Klimatologii, przede wszystkim w przedmowie do XI tomu Atlasu *Atlasu*:

*Inicjatywa Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego opracowania kolejnego XI tomu „Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce" z wyodrębnionym tytułem „Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie" zasługuje na uznanie. Zmiany klimatu należą do najważniejszych problemów badawczych integrujących nauki przyrodnicze, ze względu na przyszłość życia na Ziemi. Koncepcja samego tematu badań wynika z dotychczasowych prac autorów Atlasu. Nowością jest określenie wielookresowych zmian i tendencji wiekowej temperatury powietrza w Europie. Jest nią też wykazanie synchroniczności wahań temperatury powietrza, cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca. Treść opracowania nawiązuje do VII tomu Atlasu, opublikowanego w 1992 r., a dotyczącego wiekowych zmian klimatu Warszawy. Znaczącym postępem w badaniach jest identyfikacja przyczyn naturalnych zmian klimatu przedstawiona w obszernej monografii J. Boryczki (1993) „Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII i XXI wieku… Duże znaczenie poznawcze ma wykrycie cykli długich – kilkudziesięcioletnich i wiekowych, a nawet dwuwiekowych, wyznaczonych z dużą dokładnością.. Rezultaty badań cykliczności zmian klimatu i jego tendencji wiekowych mogą być wykorzystane w naukach pokrewnych – w hydrologii, biologii, czy też geologii. Mogą one również być wykorzystane w niektórych działach gospodarki, np. w rolnictwie. Ważny jest też aspekt dydaktyczny – kształcenia absolwentów w zakresie nauk przyrodniczych i ochrony środowiska. Duże znaczenie mają prognozy naturalnych wahań klimatu pod wpływem czynników naturalnych (aktywności Słońca i wulkanów), obserwowanych od wielu tysięcy lat. Wiarygodne wydają się sondaże przyszłości (po rok 2100) otrzymane na podstawie długich ciągów pomiarów, które wskazują na naturalne ochłodzenie klimatu w XXI wieku. Można sądzić, że naturalne cykle klimatu obserwowane w holocenie (stwierdzone również w XVIII-XX wieku) będą powtarzać się nadal i kształtować klimat Ziemi.*

# IV. OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU PÓŁNOCNEJ PÓŁKULI ZIEMI (NA PODSTAWIE WAHAŃ IZOTOPU TLENU $\delta^{18}O$ I DANYCH DENDROLOGICZNYCH)

Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA,
Arleta UNTON-PYZIOŁEK, Piotr GIESZCZ

Celem pracy jest wykazanie, że wahania klimatu Ziemi (ochłodzenia i ocieplenia w ciągu ostatnich stu tysięcy lat były kształtowane przez czynniki naturalne – astronomiczne i geologiczne. Jest nim też wykazanie zależności zmian klimatu od koncentracji masy planet względem płaszczyzny ekliptyk – od grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce.

## Wahania klimatu Półkuli Północnej w ciągu ostatnich 100 000 lat z prognozą na przyszłe 40 000 lat (według $\delta^{18}O$ i promieniowania)

Największe ochłodzenia klimatu (zlodowacenia) w przeszłości były wywołane zmianami okresowymi eliptycznej orbity Ziemi i nachylenia osi Ziemi. Wynikały one z wahań promieniowania słonecznego w dużych szerokościach geograficznych, zwłaszcza w obszarach okołobiegunowych. Są one efektem nakładania się trzech długich cykli: mimośrodu orbity – 92 000 lat (od $e=0$ do $e=0{,}068$), nachylenia płaszczyzny równika do ekliptyki – 40 000 lat (od $\varepsilon=21°58'$ do $\varepsilon=24°36'$) oraz długości ekliptycznej peryhelium ($\Omega$) względem punktu równonocy wiosennej – 21 000 lat (Milankowich, 1930, Berger 1988). Najkrótsza odległość Ziemi od Słońca przypada na tę samą porę roku co 20 900 lat. Jeżeli Ziemia podczas zimy znajduje się np. w peryhelium orbity (o mimośrodzie 0,066) to wtedy dobowe sumy promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi=60°$ maleją o 44,4%, gdy nachylenie ekliptyki do równika rośnie od 21°58' do 24°36'.

Okresy zbliżone tj. 23 000, 42 000 i 100 000 lat wykryto później w zmianach izotopu tlenu $\delta^{18}O$ zawartego w węglanach wapnia osadów głębokomorskich (Hays i inni, 1976). Geologicznym uzasadnieniem tej okresowości są rytmy: zasięgu lodowców, zmiany poziomu oceanów, aktywności sejsmicznej, wulkanicznej, zmiany położenia zwrotników – o długości 40 700 lat (Maksimov, 1972).

Okresami różnic fazowych maksimów (minimów) tych cykli są: ($\Omega$, $e$) – 21 211 lat) ($\varepsilon$, $\Omega$) – 44 210 lat, ($\varepsilon$, $e$) – 70 769 lat. Konfiguracja nachylenia płaszczyzny ekliptyki $\varepsilon=24°36'$, przy orbicie kołowej powtarza się po upływie 70 769 lat.

Ważnych informacji o globalnych zmianach klimatu dostarczają zmiany zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}O$ w rdzeniach lodowych Antarktydy (Petit i in., 1999, Boryczka, 2004) i z Arktyki (Fisher, 1979, Gieszcz 2008). Izotop $\delta^{18}O$ zawarty w rdzeniu lodowym z Devon Island pochodzi z parowania ciężkiej wody ($H_2{}^{18}O$) z oceanów – większego podczas ociepleń. Okresy średnich rocznych wartości wskaźnika izotopu tlenu $\delta^{18}O<0$ (‰) w rdzeniu lodowych z Devon Island (w Arktyce Kanadyjskiej), wyznaczone metodą J. Boryczki (1998) sinusoid regresji: $y=a_0+b\sin(2\pi t/\Theta+c)$, przedstawiono w tab. 1.

W widmie izotopu tlenu $\delta^{18}O$ w rdzeniu z Devon Island są obecne okresy $\Theta$ (istotne na poziomie 0.05): 4 500, 4 700, 6 200, 7 300,8 700, 11 300, 16 700, 24 700, 45 900 lat

oraz $\Theta = 86\ 100 > n/2$ lat. Wskaźnik izotopu tlenu $\delta^{18}O$ cechuje się dwoma okresami: 24 700 i 45 900 lat – zbliżonymi do okresów zmian długości ekliptycznej perihelium i nachylenia płaszczyzny równika do ekliptyki.

**Tabela 1.** Okresy $\Theta$ (years), amplitudy $b$ i fazy $c$ cykli wskaźnika izotopu tlenu $\delta^{18}O$ w rdzeniu z Devon Island – od 110 977 lat temu ($R$ – współczynnik korelacji wielokrotnej)
**Table 1**. Periods $\Theta$ (years), amplitudes $b$ and phases $c$ of the cycles of the oxygen isotope $\delta^{18}O$ coefficient in the Devon Island ice core- from 110 977 years ago ($R$ – multiple correlation coefficient)

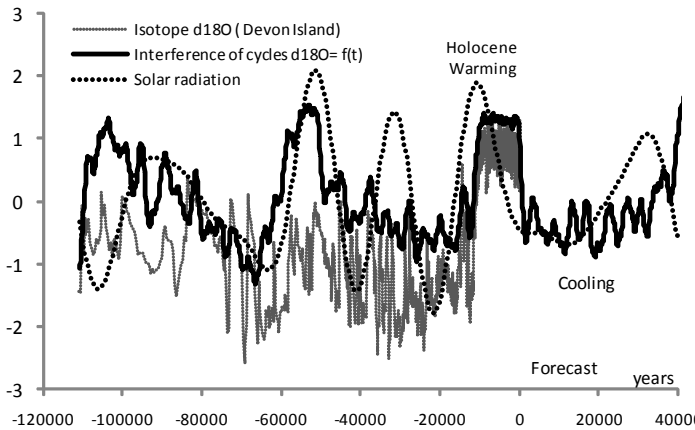
| Periods $\Theta$ | $b$ | $c$ | $R$ |
|---|---|---|---|
| 1100 | 0,134 | 2,1566 | 0,041 |
| 2200 | 0,105 | 2,3140 | 0,056 |
| 2800 | 0,200 | 1,6527 | 0,059 |
| 3400 | 0,392 | 2,1201 | 0,079 |
| 4500 | 0,383 | 2,6125 | 0,115 |
| 4700 | 0,291 | 2,4280 | 0,107 |
| 6200 | 0,402 | -2,5822 | 0,153 |
| 7300 | 0,290 | 2,5228 | 0,164 |
| 8700 | 0,326 | 2,8119 | 0,151 |
| 11300 | 0,064 | -0,8220 | 0,100 |
| 16700 | 0,604 | -2,7634 | 0,378 |
| 24700 | 1,237 | 3,0170 | 0,613 |
| 45900 | 1,962 | 2,2622 | 0,764 |
| 58750 | 4,700 | 2,477 | 0,766 |
| 86100 | 3,028 | -2,7487 | 0,770 |

Interferencję cykli zawartości izotopu tlenu w rdzeniu lodowym: $\delta^{18}O = f(t) = a_0 + at + \sum_j b_j \sin(2\pi t/\Theta + c_j)$ wyznaczono z pominięciem okresów najdłuższych tj. $\Theta > 0.5$ n i składnika liniowego($a = 0$). Wypadkową cykli izotopu tlenu $\delta^{18}O$ (tab.1) w latach: od $t = -110977$ lat temu z prognozą do $t = 40\ 000$ lat przedstawia wykres (linia ciągła, wartości standaryzowane) na rys. 1. Minima $t_{min}$ zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}O$ w rdzeniu lodowym wskazują największe ochłodzenia klimatu na Półkuli Północnej, a makima $t_{max}$ – ocieplenia.

Żeby wskazać przyczyny wahań klimatu (wahań zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}O$ w rdzeniu lodowym) obliczono dobowe sumy promieniowania słonecznego na równoleżniku 65°N. W obliczeniach sum promieniowania słonecznego w miesiącach od marca do września (III-IX) uwzględniono długość okresów: mimośrodu – 100 000 lat, osi Ziemi – 40 000 i peryhelium – 21 000 lat. Przyjęto, że mimośród $e$ eliptycznej orbity Ziemi w cyklu 100 000 lat zmienia się od 0 do 0,066 (obecnie $e = 0{,}017$), a nachylenie ekliptyki do równika $\varepsilon$ w cyklu 40 000 lat zmienia się od 21°58' do 24°36' (obecnie $\varepsilon = 23°30'$).

Główne ekstrema (minima i maksima) sum promieniowania słonecznego w szerokości geograficznej $\varphi = 65°$N w tych miesiącach zgadzają się z datami kolejnych glacjałów i interglacjałów (ekstremami zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}O$). Na przykład, ostatnie głębokie

minimum sum promieniowania słonecznego $I_{min}$ = 5971 MJ/m$^2$ przypada w czasie $t_{min}$ = -21 500 tj. na zlodowacenie Würm. Ostatnie lokalne maksimum sum promieniowania słonecznego $I_{max}$ = 6813 MJ/m$^2$, które wystąpiło w czasie $t_{max}$ = -10 500 lat, przypada na maksimum wskaźnika zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}$O tj. na holoceńskie optimum klimatu.




**Rys. 1.** Zmiany izotopu tlenu $\delta^{18}$O (Devon Island) i interferencja cykli $f(t)$ w przedziale czasu -110 977 < $t$ < 40 000 years
**Fig. 1.** Changes of isotope $\delta^{18}$O (Devon Island) and interference of cycles $f(t)$ and solar radiation in the timeframe: -110 977 < $t$ < 40 000 years

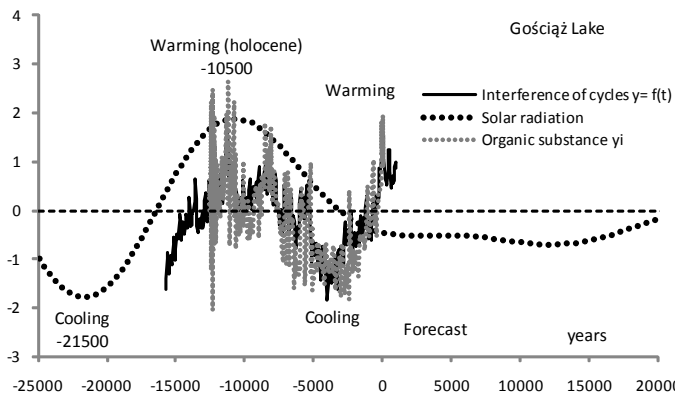
Na uwagę zasługuje porównanie prognozowanych wartości izotopu tlenu $\delta^{18}O = f(t)$ i sum promieniowania słonecznego z wyprzedzeniem 40 000 years ($t$ = 0, 1900 AD). W najbliższych stuleciach można oczekiwać gwałtownego ochłodzenia klimatu (kolejnego zlodowacenia Ziemi).

## Zmiany klimatu Europy w ciągu ostatnich 25 000 lat z prognozą na 1 000 lat (według substancji organicznych w osadach i promieniowania)

Holoceńskie ochłodzenia i ocieplenia klimatu w Europie są znane na podstawie badań substancji organicznych (i zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}$O) zdeponowanych w jeziorze Gościąż (Boryczka, Wicik, 1994). W laminowanych osadach jeziora Gościąż można było określić czas kalendarzowy (zliczając roczne przyrosty rdzenia osadów) W przedziale czasu od -15 750 do -12 540 BP rekonstruowano, a na najbliższe 1000 lat – prognozowano zawartość substancji organicznych w osadach na podstawie interferencji $y = f(t)$ cykli: 50, 230, 360, 390, 540, 590, 1 120, 1 380, 1 770, 2 970, 6 080, 12 380 lat, obecnych w widmie zawartości substancji organicznych. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu – to minima i maksima lokalne przebiegów czasowych $y = f(t)$ koncentracji substancji organicznych (w %) w osadach jeziora Gościąż (rys. 2). Przedstawiono także zmiany sum promieniowania słonecznego (III-IX) od -25 000 lat temu do +1 000, obliczone biorąc pod uwagę okresowe zmiany parametrów orbity Ziemi. Przebieg promieniowania cechuje się dwoma ekstremami: minimum $t_{min}$ = -21 500 (5791 MJ/m$^{2)}$ i maksimum $t_{max}$ = -10 500 (6813 MJ/m$^2$). Największe wartości $y = f(t)$ substancji organicznych w osadach jeziora Gościąż (standaryzowane

dodatnie tj. powyżej średniej) przypadają na rozległe maksimum sum promieniowania słonecznego. Stąd wynika, że główną przyczyną holoceńskiego optimum klimatu był wzrost sum promieniowania słonecznego, wywołany zmianami orbity Ziemi.

Substancji organicznych w jeziorze Gościąż było najmniej w czasie: $t_{min}$=-15 750 ($y_{min}$=9,1%) i $t_{min}$=-4000 ($y_{min}$=8,2%). Wykres wypadkowej interferencji cykli $y=f(t)$ ma dwa maksima: $t_{max}$=-11250 ($y_{max}$=21,2%) i $t_{max}$=0 tj.1984 AD ($y_{max}$=21,1%). Z prognozowanego promieniowania słonecznego i z okresowości substancji organicznych w jeziorze Gościąż wynika, że w ciągu najbliższych 1000. lat prawdopodobnie będzie się ochładzać – z minimum $t_{min}$=600 tj. w pobliżu roku 22580 ($y_{min}$=16,9%).



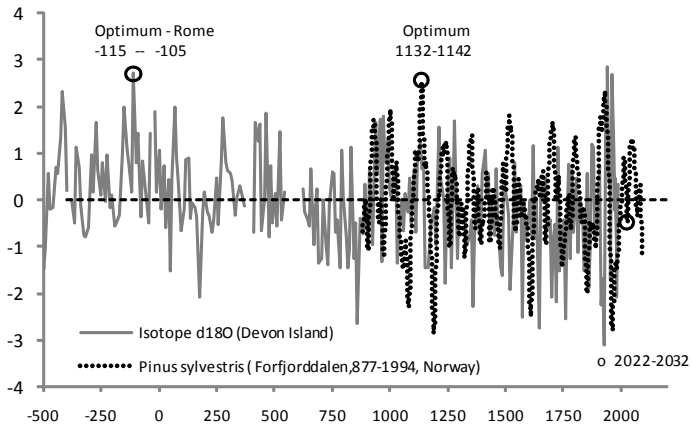

**Rys. 2.** Zmiany zawartości substancji organicznych w jeziorze Gościąż w czasie: -15750 < $t$ < 1000 w odniesieniu do sum promieniowania słonecznego
**Fig. 2.** The change of the organic substance content in Lake Gościąż during: -15750 < $t$ < 1000 in reference to the sums of solar radiation

## Zmiany klimatu Europy w okresie od -500 lat bp do 2100 ad (według $\delta^{18}$O i słoi sosny)

Rekonstrukcje temperatury powietrza w warstwie przyziemnej w różnych miejscach Ziemi wskazują zasadnicze przedziały czasu ocieplenia i ochłodzenia klimatu: epoka ciepła (optimum czasów rzymskich) – 500 BP-500 AD, epoka chłodna – 500-800 AD, epoka ciepła (optimum średniowieczne) – 800-1200 AD, mała epoka lodowa – 1400-1900 AD i współczesne ocieplenie – od 1900 r.

Zmiany klimatu Europy od czasu -500 BP do roku 2100 charakteryzują przebiegi zmierzonych wartości wskaźnika izotopu tlenu $\delta^{18}$O w rdzeniu lodowym z Devon Island z lat -500 BP do roku 1984 i szerokości pierścieni sosny (*Pinus sylvestris*) w Forfjorddalen (Norwegia) z lat 877-1994 (rys. 3).

Istnieje dość dobra zgodność przebiegów: wypadkowej $y=f(t)$ interferencji cykli szerokości pierścieni tej sosny (Tab. 2) z wahaniami izotopu tlenu $\delta^{18}$O. Największa szerokość standaryzowana słoi sosny ($y_{max}$=2,56) występuje podczas średniowiecznego optimum klimatu w Europie ($t_{max}$=1138 AD). Prognozowane najbliższe ochłodzenie klimatu według trendu czasowego szerokości słoi sosny *Pinus sylvestris* w Forfjorddalen przypada na rok 2027.




**Rys. 3.** Zmiany izotopu tlenu $\delta^{18}O$ w rdzeniu lodowym z Devon Island od -500 BP do 2100 AD i szerokości słoi sosny (*Pinus sylvestris*) w Forfjorddalen w latach 877-2100 AD (średnie konsekutywne 11. letnie, standaryzowane)

**Fig. 3.** Change of the of oxygen $\delta^{18}O$ isotope in the Devon Island ice core from -500 BP to 2100 AD and the width of pine tree rings (*Pinus sylvestris*) in Forfjorddalen (Norway) during the years 877-2100 AD (consecutive averages for 11 years, standardized

**Tabela 2**. Okresy $\Theta$ (years) szerokości pierścieni sosny *Pinus sylvestris* w Forfjorddalen (877-1994), *R*- współczynnik korelacji wielokrotnej, *F*obl – statystyka Fishera-Snedecora
**Table 2.** Periods $\Theta$ (years) of width of pine tree rings *Pinus sylvestris* in Forfjorddalen (877-1994), *R*- the multiple correlation coefficient, *F*obl - the Fisher-Snedecor statistics

| Periods $\Theta$ | 9 | 22 | 35 | 59 | 71 | 99 | 112 | 133 | 189 | 257 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $R$ | 0,094 | 0,108 | 0,147 | 0,113 | 0,139 | 0,166 | 0,177 | 0,17 | 0,12 | 0,041 |
| $F_{obl}$ | 44,9 | 59,2 | 110,8 | 64,2 | 98,0 | 141,8 | 162,7 | 149,6 | 73,4 | 8,5 |

Największa wartość wskaźnika izotopu tlen $(\delta^{18}O)_{max}$=-33,58‰ występuje podczas optimum czasów rzymskich $t_{min}$=-110 BP.

## Wpływ koncentracji masy planet w Układzie Słonecznym na wahania klimatu Półkuli Północnej

Zbadano zależność wahań klimatu Ziemi od dyspersji masy planet w Układzie Słonecznym. Na podstawie parametrów orbity Ziemi (Reznikow, 1982) obliczono moment bezwładności ($B_z$, przyjmując $R^2_0$ za jednostkę, $R_0$ – promień Słońca) planet względem płaszczyzny ekliptyki:

$$B_z = M^{-1}\Sigma m_i z^2_i$$

gdzie: $m_i$ – masa. planety, $z_i$- odległość środka masy Układu Słonecznego od płaszczyzny ekliptyki. Z dotychczasowych badań (Boryczka, 2003) wynika, że aktywność Słońca (liczby Wolfa) zależy od położenia środka masy czterech największych planet: Jowisza, Saturna, Uranu i Neptuna – od momentu masy $\Sigma m_i r_i$, gdzie $r_i$ - odległość i. planety od Słońca. Moment bezładności $B_z$ planet jest miarą dyspersji masy planet względem płaszczyzny ekliptyki, a ze znakiem ujemnym ($-B_z$) – wskazuje koncentrację masy planet – w odniesieniu do ekliptyki.

Interesujące jest porównanie zmian przyrostów szerokości słoi: sosny (*Pinus sylvestris*) w Karhunpesakivi (1398-1993, Finlandia) i świerka (Picea bies) – w Falkenstein (1540-1995, Niemcy) z przebiegiem wskaźnika koncentracji masy planet ($-B_z$) w latach 1500-2500 (rys. 4-5). Porównano wypadkowe $y=f(t)$ interferencji cykli $\Theta$ szerokości słoi sosny i świerka wyznaczone na podstawie cykli (tab. 3-4) z wskaźnikiem $-B_z$.

**Tabela 3.** Okresy $\Theta$ (years) szerokości pierścieni sosny Pinus sylvestris w Karhunpesakivi – Finlandia (1396-1993

**Table 3.** Periods $\Theta$ (years) of the Scots pine tree ring widths Pinus sylvestris in Karhunpesakivi – Finland (1396-1993)

| Periods $\Theta$ | 23 | 28 | 32 | 49 | 72 | 85 | 107 | 137 | 176 | 265 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R | 0,137 | 0,155 | 0,190 | 0,166 | 0,201 | 0,306 | 0,178 | 0,178 | 0,118 | 0,487 |
| $F_{obl}$ | 5,63 | 7,30 | 11,15 | 8,45 | 12,43 | 30,62 | 9,71 | 9,71 | 4,21 | 92,30 |

**Tabela 4.** Okresy $\Theta$ (years) szerokości pierścieni świerka Picea abies w Falkenstein – Niemcy (1540-1995)

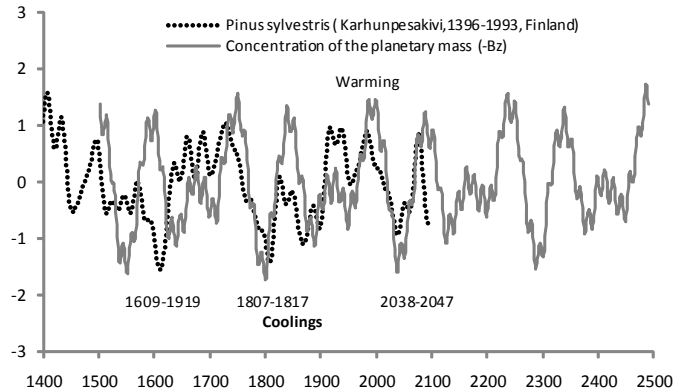
**Table 4.** Periods $\Theta$ (years) of the Norway spruce tree ring widths *Picea abies* in Falkenstein – Germany (1540-1995)

| Periods $\Theta$ | 8 | 12 | 15 | 25 | 46 | 53 | 73 | 110 | 189 | 429 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *R* | 0,057 | 0,059 | 0,143 | 0,123 | 0,217 | 0,160 | 0,328 | 0,303 | 0,416 | 0,399 |
| *F*obl | 0,74 | 0,79 | 4,72 | 3,46 | 11,23 | 5,92 | 27,34 | 22,96 | 47,39 | 42,85 |

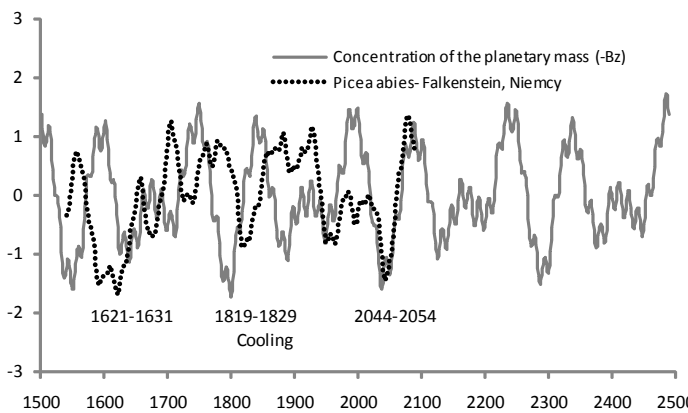
Przebieg szerokości słoi sosny w Karhunpesakivi (rys. 4) cechuje się trzema głównymi minimami: 1609-1919, 1807-1817, 2038-2047 (ekstrapolacja). Synchroniczność wahań występuje przede wszystkim w latach 1700-2100. Główne minima szerokości słoi tej sosny: 1807-1817, 2038-2047 (prognozowane) przypadają na minima koncentracji masy planet względem ekliptyki $(-B_z)_{min}$. Przebieg szerokości słoi świerka w Falkenstein jest także podobny do przebiegu koncentracji masy planet ($-B_z$) – z trzema zbliżonymi minimami w latach: 1621-1631, 1819-1829 i prognozowanym 2044-2054 (rys. 5). Minima szerokości słoi wskazują największe ochłodzenia klimatu w Europie. Na uwagę zasługują prognozowane minima szerokości słoi sosny 2038-2047 (Karhunpesakivi) i świerka 2044-2054 (Falkenstein) tj. prognozowane duże ochłodzenia klimatu – takie jak na początku XIX wieku.

Ostatnie największe ochłodzenie wystąpiło po najsłabszym 13-letnim cyklu plam słonecznych (1811-1823) – przy najkrótszej odległość Słońca od środka masy Układu Słonecznego (0,14 promienia Słońca, 1811). Wystąpiło ono (także w Polsce) podczas wzmożonej aktywności wulkanicznej (Lamb, 1974), po największych eksplozywnych erupcjach: 1803 – Cotopaxi (*DVI*=1100), 1815 – Tambora (*DVI*=3000), 1835 – Cosiguina (*DVI*=4000) – o dużym wskaźniku *DVI* (Lamb, 1974).

Szerokości słoi sosny (*Pinus sylvestris*) w Forfjorddalen (Norwegia) mają zbliżony przebieg do dyspersji masy planet względem płaszczyzny ekliptyki (momentu bezwładności $B_z$) (rys. 6). W tym przypadku minima główne szerokości słoi sosny występują podczas małej dyspersji masy $B_z$. Prawdopodobnie zależą one od opadów atmosferycznych, które są większe podczas minimów aktywności Słońca.

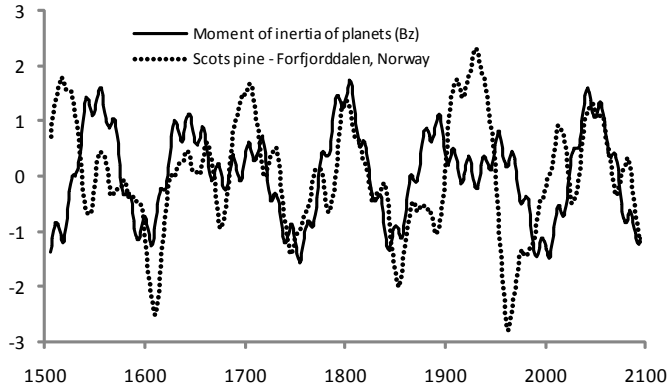



**Rys. 4.** Zmiany szerokości słoi sosny (*Pinus sylvestris*) w Karhunpesakivi (1400-2100) i wskaźnika (-*Bz*) koncentracji masy planet względem ekliptyki (1500-2500)
**Fig. 4.** Changes in the widths of the Scots pine tree rings (*Pinus sylvestris*) in Karhunpesakivi (1400-2100) and the coefficient (-*Bz*) of concentration of the planet moment of inertia in relation to the ecliptic (1500-2500)




**Rys. 5.** Zmiany szerokości słoi świerka (*Picea abies*) w Falkenstein (1540-2100) i wskaźnika (-*Bz*) koncentracji masy planet względem ekliptyki (1500-2500)
**Fig. 5.** Changes in the widths of the Norway spruce tree rings (*Picea abies*) in Falkenstein (1540-2100) and the coefficient (-*Bz*) of concentration of the planet momentum of inertia in relation to the ecliptic (1500-2500)

Aktywność Słońca (liczba plam słonecznych) zależy zatem od sił grawitacyjnych planet, które powodują ruch obiegowy Słońca (o zmiennym przyśpieszeniu) wokół środka masy Układu Słonecznego. Natomiast siły pływowe Księżyca i Słońca na Ziemię powodują naprężenia wewnątrz obracającej się Ziemi, które warunkują czas erupcji wulkanicznych. Aktywność Słońca (liczby Wolfa) zależy od zmian położenia środka masy czterech największych planet – Jowisza, Saturna, Uranu, Neptuna o okresach obiegu: 11,862, 29,458, 84,015, 164,79 lat. Świadczy o tym porównanie przebiegów momentu masy $\Sigma m_i r_i$ z liczbami Wolfa w latach 1700-2100 (Boryczka, 2003).



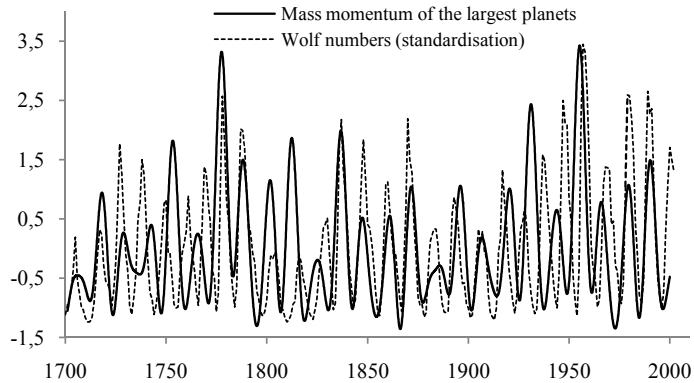

**Rys. 6.** Zmiany szerokości słoi sosny (*Pinus sylvestris*) w w Forfjorddalen (Norwegia) i momentu bezwładności ($B_z$) masy planet w Układzie Słonecznym względem ekliptyki (1500-2100)
**Fig. 6.** Changes in the widths of Scots pine tree rings (*Pinus sylvestris*) in Forfjorddalen (Norway) and the moment of inertia ($B_z$) of the planet mass in the Solar System in relation to the ecliptic (1500-2100)

Przebieg standaryzowanych liczb Wolfa w latach 1700-2002 dobrze opisuje wzór na moment masy $\mu = f(M_{ij})$, uwzględniający modulację oddziaływań na Słońce planet bliższych przez planety dalsze:

$$\mu = \sin(2\pi t/11{,}862 + c_J)(1 + M_{12}\sin(2\pi t/29{,}458 + c_S) + M_{13}\sin(2\pi t/84{,}015 + c_U) + M_{14}\sin(2\pi t/164{,}79 + c_N)) + M_{12}\sin(2\pi t/29{,}458 + c_S)(1 + M_{23}\sin(2\pi t/84{,}015 + c_U) + M_{24}\sin(2\pi t/164{,}79 + c_N)) + M_{13}\sin(2\pi t/84{,}015 + c_U)(1 + M_{34}\sin(2\pi t/164{,}79 + c_N) + M_{14}\sin(2\pi t/164{,}79 + c_N)$$

gdzie: względne momenty mas poszczególnych planet $M_{ij}$ (podzielone przez $M_{11} = 1653{,}617$ Jowisza) wynoszą: $M_{12} = 0{,}549629$, $M_{13} = 0{,}168967$, $M_{14} = 0{,}314122$, $M_{23} = 0{,}30742$, $M_{24} = 0{,}571516$, $M_{34} = 1{,}859073$, a przesunięcia fazowe obliczone metodą sinusoid regresji: $c_J = 1{,}238896$, $c_S = -1.646381$, $c_U = 2{,}115445$, $c_N = 2{,}061512$.

Przyjęcie momentu masy $M_{11}$ Jowisza za jednostkę jest w przybliżeniu równoważne standaryzacji statystycznej liczb Wolfa. Liczby Wolfa w latach 1700-2001 można z dobrym przybliżeniem otrzymać z przekształcenia: $W_i = W + \mu_i s$ ($W$ – średnia arytmetyczna, $s$ – odchylenie standardowe). Świadczy o tym „równoległość" zmian standaryzowanych liczb Wolfa i wartości momentu masy $\mu_i$ (rys. 7).




**Rys. 7.** Zmiany standaryzowanych liczb Wolfa i wartości momentu masy planet $\mu=f(M)$ w latach 1700-2000 (średnie konsekutywne 11. letnie)
**Fig. 7.** Changes in the standardised Wolf numbers and the values of the planet mass momentum $\mu=f(M)$ in the years 1700-2000 (consecutive averages for 11 years, standardized)

## Synchroniczność wahań szerokości słoi sosny, świerka i temperatury powietrza

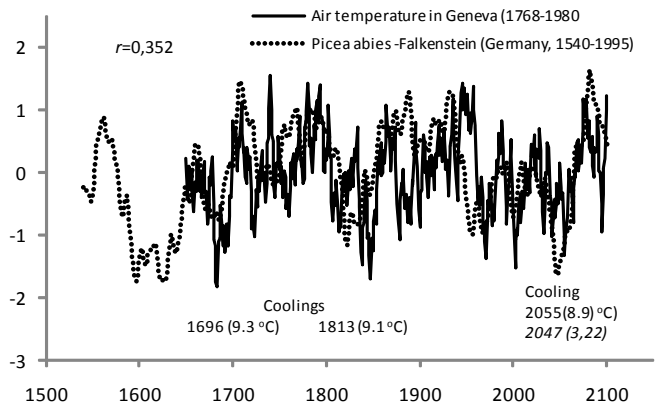
Kontynuacją badań synchroniczności wahań szerokości słoi drzew i temperatury powietrza w Europie (Stopa-Boryczka, Boryczka i in., 2007 i Boryczka, Stopa-Boryczka, Bijak, 2008) jest porównanie zmian szerokości słoi świerka z Falkenstein (1540-2100) z przebiegiem temperatury powietrza w Genewie w latach 1650-2100 (rys. 8). Porównano wypadkową interferencji istotnych cykli temperatury powietrza $T=f(t)$, podanych w tab. 5 z szerokościami pierścieni świerka. Współczynnik korelacji wynosi $r=0{,}352$.

**Tabela 5.** Okresy $\Theta$ (years) średniej rocznej temperatury powietrza w Genewie (1768-1980)
**Table 5.** Periods $\Theta$ (years) of the mean annual air temperature in Geneva (1768-1980)

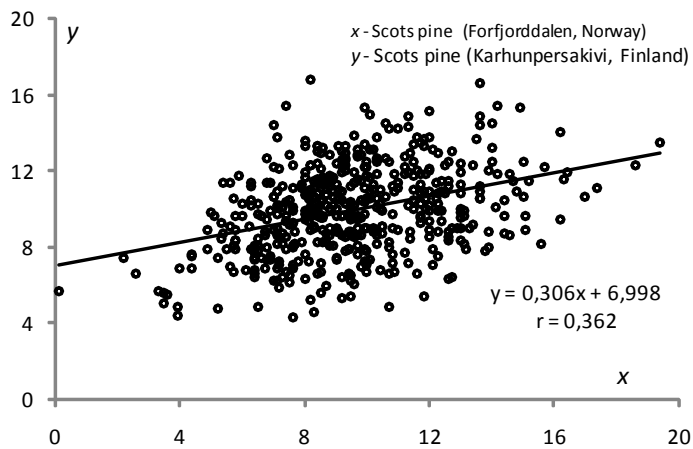
| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ | 3,1 | 7,8 | 10,3 | 12,9 | 31,1 | 40,6 | 75,8 | 163,9 |
| $R$ | 0,176 | 0,187 | 0,176 | 0,170 | 0,219 | 0,311 | 0,300 | 0,340 |
| $F_{obl}$ | 3,35 | 3,82 | 3,35 | 3,11 | 5,27 | 11,21 | 10,40 | 13,72 |

Minima główne temperatury powietrza w Genewie przypadają na daty: 1696 (9,3°C) i 1813 (9,1°C), a prognozowane ochłodzenie ($T_{min}=8{,}9$°C) przewidywane jest w latach: 2055, a według trendu przyrostów szerokości słoi świerka – w 2047 $y_{min}=3{,}22$).Wahania klimatu są na ogół synchroniczne w całej Europie. Świadczą o tym np. silnie skorelowane ($r=0{,}362$) szerokości słoi sosen (*Pinus sylvestris*) rosnących w Forfjorddalen (Norway) i Karhunpersakivi (Finland) (rys. 9).

Naturalne ochłodzenie klimatu (i wód oceanów) – przewidywane w połowie XXI wieku zmniejszy całkowity efekt cieplarniany atmosfery. Postępujące obecnie ocieplenie klimatu Ziemi prowadzi do wzrostu naturalnej części efektu cieplarnianego, wynikającego ze spadku absorpcji dwutlenku węgla $CO_2$ przez wody oceanów.




**Rys. 8.** Zmiany temperatury powietrza w Genewie w latach 1650-2100 i szerokości słoi świerka z Falkenstein (1540-2100)
**Fig. 8.** Changes of air temperature in Geneva in the years 1650-2100 and the widths of pine tree rings from Falkenstein (1540-2100)




**Rys. 9.** Korelacja między szerokościami słoi sosny (Pinus sylvestris) w Forjorddalen (Norwegia) i Karhunpersakivi (Finlandia)
**Fig. 9.** The correlation between the widths of the Scots pine tree rings (*Pinus sylvestris*) in Forjorddalen (Norway) and in Karhunpersakivi (Finland)

## LITERATURA

Berger A., 1988. Milankovich theory and climate, *Rewiews of Geophysics*, 26.

Boryczka J., Wicik B., 1994. Record of holocene climatic cycles in lake sediments in Central Poland, *Miscellanea Geographyca*, t.6, Wyd. UW, Warszawa.

Boryczka J., 1998. Zmiany klimatu Ziemi [Changes of the Earth's climate*;* in Polish], Wyd. Aca

Boryczka J., 2003. Trends in Climate Change in Europe and their Causes. [W:] Pyka J.L.i in. (red.) Man and Climate in the 20th Century. Geographical Studies 75, Wyd. Uniw. Wrocł.

Boryczka J., 2004.Mit efektu cieplarnianego [T*he greenhouse effect myth;* in Polish], *Przegl Geof.* XLIX, z. 1-2.

Boryczka J., M.Stopa- Boryczka, Bijak S., 2008. *Cyclic changes of climate in Europe during the last millennium according to dendrological date*, *Miscellanea Geographyca*, vol. 13.

Fisher D.A., 1979. *Comparison of 100.000 years of oxygen isotope and insoluble impurity profiles from the Devon Island and Camp Century ice cores*. Quaternary Research 11.

Gieszcz P., 2008, *Okresowość i tendencje zmian klimatu Arktyki*, *Klimat wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007*, [*Periodicity and trends of climate changes in the Arctic*, *Climate of great Warsaw in master thesis of the Department of Climatol ogy in the years 1952-2007;* in Polish], Warszawa (Materiały na XII Piknik Naukowy Polskiego Radia i Centrum Nauki Kopernik, 14.06. 2008).

Hays J. D., Imbrie J., Shackleton N. J., 1976, *Variation in the Earth's orbits*: *Pacemaker of the ice-ages*, *Science*, 194, No. 4270.

Lamb H. H., 1974, *Volcanic dust in the atmosphere with and chronology and assessment of meteorological*, Phil. Transactions Roy. Soc., ser. A, 226.

Maksimow E.W., 1972, *Problemy oledeneniia Ziemli i ritmy w prirode*, Izd. Nauka, Leningrad.

Milankovich, 1930. *Mathematiche Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen.*

Brevier J.R., Jouzel J., Raynaud D. and in., 1999. Climate and atmospheric history of the of pastes 420 000 years from the Vostok ice core, Antarrctica, *Nature* 399. p.429.

Reznikow A. P., 1982, *Priedskazanije jestiestwiennych processow obuczajuszcziejsja sistiemoj*, Nowosybirsk.

Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Bijak S., Cebulski R., Błażek E., Skrzypczuk J., 2007. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XX-XXI, *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych*, Wyd. UW, Warszawa.*[Atlas of correlation of meteorological and geographical parameters in Poland*, vol. XX-XXI, *Cyclical climate changes in Europe in the last millennium according to dendrological data; in Polish*], Wyd. UW, Warszawa.

## COOLING AND WARMING OF CLIMATE OF THE EARTH'S NORTHERN HEMISPHERE (ON THE BASIS OF FLUCTUATIONS OF THE OXYGEN $\delta^{18}O$ AND DENDROLOGICAL DATA)

**Summary**

Content fluctuations of the oxygen isotope $\delta^{18}O$ in the Devon Island ice core during the last 100 000 years are a measure of climate fluctuations in the Northern Hemisphere. The course of content of the oxygen isotope $\delta^{18}O$ and the sums of solar radiation reaching the upper edge of the atmosphere are characterized by approximate minima and maxima (by positive correlation). This proves that, during the last hundred thousand years, climate fluctuations (cooling and warming) in the Northern Hemisphere were conditioned by long-term changes of the orbit and altitude of the Earth's axis. Climate fluctuation forecasts for the Northern Hemisphere were developed for the next 40 000 years on the basis of the established periods of change of the oxygen isotope $\delta^{18}O$ and the known solar radiation periodicity. Climate changes in Europe during the last 25 000 years were presented together with a forecast for 1 000 years (according to organic substances in deposits and radiation) as well as climate changes in Europe in the period from -500 years BP to 2 100 AD (according to $\delta^{18}O$ and pine tree-rings). It showed that climate changes depended on the concentration of planet mass in relation to the ecliptic plane (from the gravitational impact of planets on the Sun). Concentration courses of planet mass in the Solar System and climate fluctuations in the Northern Hemisphere were compared. Of interest are examples of synchronic fluctuations, i.e. dispersal of planet mass in the Solar System, the widths of pine and spruce tree rings and air temperatures in Europe.

# V. CYKLICZNE ZMIANY KLIMATU EUROPY W OSTATNIM TYSIĄCLECIU WEDŁUG CIĄGÓW DENDROLOGICZNYCH

Maria S T O P A - B O R Y C Z K A, Jerzy B O R Y C Z K A, Szymon B I J A K,
Robert C E B U L S K I, Elżbieta B Ł A Ż E K, Jan S K R Z Y P C Z U K

## Zarys badań dendroklimatycznych

Instrumentalne pomiary elementów meteorologicznych dostarczają informacji o warunkach klimatycznych od mniej więcej początku XIX wieku, a w przypadku temperatury powietrza nawet i od połowy XVII stulecia. Danych dotyczących wcześniejszych okresów należy szukać w innych źródłach, zarówno antropogenicznych (kroniki), jak i naturalnych. Jedną z możliwości wykorzystania „zapisów" warunków klimatycznych przez przyrodę jest analiza słojów przyrostu rocznego drzew. Dziedziną nauki zajmującą się tymi zagadnieniami jest dendroklimatologia.

Zdecydowana większość roślin drzewiastych, a także część krzewów występujących na Ziemi, odkłada w ciągu roku na swoim obwodzie pewną ilość drewna, tak zwany słój przyrostu rocznego. Jest on efektem podziałów zachodzących w tkance twórczej (kambium). Rozmiary i właściwości przyrostu zależą od wielu czynników, pośród których warunki klimatyczne odgrywają zasadniczą rolę. Analiza różnych cech drewna (np. szerokość słoja, liczba naczyń, gęstość) pozwala na „odczytanie" informacji o warunkach środowiskowych, jakie występowały w czasie życia danego drzewa od momentu wykiełkowania aż do obumarcia. Należy jednak mieć na uwadze, że różne gatunki reagują na zmienne warunki środowiskowe w różny sposób. Również przyrosty drewna poszczególnych osobników w obrębie jednego gatunku może się znacznie różnić (Briffa 2000).

Pierwsze starania w zakresie analizy relacji przyrostu z klimatem podjął na początku XX wieku amerykański badacz A.E. Douglass, który usiłował powiązać warunki klimatyczne z wyrażoną liczbami Wolfa aktywnością Słońca. Brak danych pomiarowych chciał zastąpić wynikami pomiarów szerokości słojów przyrostowych (Douglass 1937, 1942). Od tego czasu opracowano szczegółową metodykę badań oraz przeprowadzono wiele analiz pozwalających ustalić związki między przyrostami drewna i zmiennymi klimatycznymi, w szczególności z temperaturą powietrza i opadami atmosferycznymi, dla jak najszerszej liczby gatunków (Fritts 1976, Zielski, Krąpiec 2004).

Poznanie związków przyrost – klimat umożliwia podjęcie próby rekonstrukcji warunków środowiska w okresie przed pomiarami instrumentalnymi. Aby jednak było to możliwe konieczna jest utworzenie możliwie najdłuższych ciągów przyrostów – chronologii szerokości słojów rocznych. Najdłuższa europejska sekwencja przyrostowa liczy 10 430 lat i prezentuje sięgające 8 480 r. p.n.e. przyrosty dębów z południowych Niemiec. Najdłuższe polskie chronologie to zestawione przez M. Krąpca ciągi przyrostowe dębu z Wielkopolski (449-1994), Dolnego Śląska (780-1994) i Małopolski (910-1997) oraz dębowa sekwencja z Pomorza Gdańskiego, obejmująca okres 996-1985 autorstwa T. Ważnego. Równie długie chronologie utworzono także i dla innych gatunków drzewiastych w Polsce. A. Zielski (2004)opracował ciąg przyrostów sosny z terenów położonych nad dolną Wisłą obejmujący lata 1106-1994. Zbliżony zasięg czasowy prezentuje utworzona przez E. Szychowską-Krąpiec (2000) chronologia jodły z południowej Polski. Krótsze są natomiast

chronologie świerkowe, które utworzono dla Beskidu Żywieckiego (1641-1995, E. Szychowska Krapiec) i Babiogórskiego Parku Narodowego (1650-1993, Z. Bednarz).

Jak do tej pory nie przeprowadzono szerszej rekonstrukcji klimatu Polski w oparciu o dane dendrochronologiczne. Jedyne podjęte próby to prace dotyczące Babiogórskiego Parku Narodowego (Bednarz 1996) i Polski północnej (Przybylak i inni 2001). Na świecie opracowano już kilkanaście rekonstrukcji obejmujących warunki klimatyczne ostatnich dwóch tysięcy lat. Prace te jednak nie dotyczą warunków pogodowych w ciągu całego roku, lecz najczęściej tzw. „miesięcy letnich", rozumianych jako przybliżenie okresu wegetacyjnego lub tych miesięcy, dla których wcześniejsze badania ustaliły statystycznie istotne powiązanie przyrostów drewna z warunkami klimatycznymi.

Analizie statystycznej poddano ciągi chronologiczne rocznych przyrostów drzew tj. sosny, świerka, modrzewia, jodły i dębu rosnących w Europie (tab. 1).

**Tabela1**. Rozmieszczenie badanych drzew w Europie w różnych przedziałach czasu
**Table 1**. Localization of dendrochronological data

| Rodzaje drzew (miejsce) | Okres | Rodzaje drzew (miejsce) | Okres |
|---|---|---|---|
| **Sosna** | | Modrzew | |
| Pinus sylvestris | | Berchtesgaden (Niemcy) | 1339-1947 |
| Forfjorddalen (Norwegia) | 877-1994 | Les Merveilles 1 (Francja) | 1187-1974 |
| Karhunpesakivi (Finlandia) | 1398-1993 | Les Merveilles 2 (Francja) | 988-1974 |
| Kola (Rosja) | 1577-1997 | Obergurgl (Austria) | 1604-1972 |
| Muddas (Szwecja) | 1532-1972 | Pinega 1 (Rosja) | 1578-1990 |
| Pyaozera (Rosja) | 1546-1993 | **Jodła** | |
| Siete, Picos (Hiszpania) | 1527-1988 | Fodara Vedla (Włochy) | 1474-1990 |
| Vikran (Norwegia) | 1599-1992 | Prayo Magno (Włochy) | 1540-1973 |
| ***Pinus nigra*** | | Dąb | |
| Puerto Llano (Hiszpania) | 1585-1985 | ***Quercus robur*** | |
| Riscopal (Hiszpania) | 1523-1988 | Hamburg (Niemcy) | 1340-1967 |
| Tajo (Hiszpania) | 1610-1988 | ***Quercus petraea*** | |
| Torreton, (Hiszpania) | 1485-1988 | Ardeny (Belgia) | 1118-1986 |
| **Świerk** | | Bodensee (Holandia) | 1275-1986 |
| Falkenstein (Niemcy) | 1540-1995 | Bourgogne (Francja) | 681-1991 |
| Fodara Vedla (Włochy) | 1598-1990 | Franche-Comte (Francja) | 1294-1987 |
| Guadarrama 1 (Hiszpania) | 1726-1983 | Shanes Castle (Irlandia) | 1649-1992 |
| Guadarrama 4 (Hiszpania) | 1599-1984 | | |
| Stonnglandes (Norwegia) | 403-1997 | | |
| Zagradeniye (Grecja) | 1635-1979 | | |

## Synchroniczność cykli klimatycznych i dendrologicznych w Europie

Celem rozdziału jest określenie zakresu zmian temperatury powietrza w Europie w ostatnich dwóch stuleciach. Jest nim też wykazanie synchroniczności cyklicznych wahań klimatu w Europie na podstawie danych instrumentalnych i dendrologicznych oraz prognoza zmian klimatu w XXI wieku.

Z dotychczasowych badań długich ciągów pomiarów wynika, że w Warszawie, podobnie jak w innych miastach Polski np. Kraków (1826-1990), Wrocław (1851-1980) i Europy np. Anglia (1659-1773), Bazylea (1755-1980), Genewa (1768-1990), Insbruck (1777-2000), Kopenhaga (1768-1991), Lwów (1824-2002), Poczdam (1893-1992), Praga (1771-1980), Sztokholm (1756-1994), Uppsala (1739-1970), Wiedeń (1775-2002), Zurych (1864-1980) występuje kilka cykli temperatury powietrza o znaczących amplitudach. Są to cykle około 4., 8., 11., 100. i około 180-letnie. Ich obecność prawie we wszystkich ciągach chronologicznych (miesięcznych i sezonowych wartości) świadczy, że cykliczność ta jest cechą pola temperatury powietrza w Europie.

Widma i cykle: temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, wskaźnika NAO, aktywności Słońca i rocznych przyrostów drzew (szerokości słoi) wyznaczono metodą „sinusoid regresji" J. Boryczki (1998):

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

gdzie: $\Theta$ – okres, $b$ – amplituda, $c$ – przesunięcie fazowe, $t$ – czas, zmieniając okres sinusoidy $\Theta$ co 0,1 roku. Ciąg wartości wariancji resztkowej $\varepsilon^2$, odpowiadających zadawanym okresom $\Theta$ – to widmo zmiennej $y$. Okresy $\Theta$ – to minima lokalne wariancji resztkowej $\varepsilon^2$ (maksima lokalne współczynnika korelacji $R = (1 - \varepsilon^2/s^2)^{0,5}$, $s^2$ – wariancja zmiennej $y$). Są to okresy w sensie statystycznym: $f(t_i + \Theta) = f(t_i) + \varepsilon_i$, gdzie $\varepsilon_i$ jest resztą losową.

Wyniki badań krótszych serii pomiarów temperatury powietrza z lat 1951-1990 w Polsce przedstawione w pracy doktorskiej E. Żmudzkiej (1998) pt. *Cykliczne zmiany temperatury powietrza w Polsce* potwierdziły częściowo tezę o cykliczności pola temperatury powietrza.

Cykliczność miesięcznych, sezonowych, półrocznych i rocznych sum opadów atmosferycznych w latach 1813-1980 przedstawiono w VII tomie *Atlasu* (Boryczka, Stopa-Boryczka, Kicińska, Żmudzka, 1992). Okresy miesięcznych sum opadów w Warszawie są zawarte w przedziałach: 3-6, 9-13, 15-23, 30-44, 51-67, 74-100, 113-129 lat. Okresowość sezonowych sum opadów w innych miejscowościach Polski (Koszalin, Bydgoszcz, Poznań, Wrocław, Kraków) w latach 1861-1990 badała A. Michalska w pracy doktorskiej pt. *Długookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Polsce*.

Wcześniej, zmienność opadów atmosferycznych w Polsce była badana przez Z. Kaczorowską (1962) z zastosowaniem analizy harmonicznej.

Cykliczność temperatury powietrza w Polsce dłuższą od jednego roku badano zwykle różnymi metodami, ograniczając się do długości samych cykli. Nie znana była dyspersja parametrów cykli: okresów, amplitud i dat ekstremów w przypadkach cykli o długościach od 1 do 200 lat. Nie wiadomo było też, czy cykle temperatury powietrza są synchroniczne na obszarze Polski i Europy. Wyłonił się więc problem zbadania, czy pole temperatury powietrza jest jednorodne pod względem cykliczności.

W badaniach współczesnych zmian klimatu ważnym problemem jest wykrycie prawdziwych, naturalnych okresów klimatycznych, astronomicznych i geologicznych. Analogiczna okresowość „skutków" i domniemanych „przyczyn" umożliwia identyfikację naturalnych czynników wywołujących, przy udziale cyrkulacji atmosferycznej, główne ochłodzenia i ocieplenia klimatu Ziemi.

Spór naukowy, czy rytmy klimatyczne są realne, trwa już prawie 100 lat, od ukazania się publikacji E. Brücknera (1890) o 35-letnim rytmie klimatycznym. E. Brückner uzasadnił, że istnieje jeden rytm, którego długość ma rozkład gaussowski o wartości średniej 35 lat. Okazało się później, że widma wyznaczone metodami statystycznymi zawierają więcej rytmów klimatycznych.

## Cykl 4-letni temperatury powietrza, opadów i cyrkulacji atmosferycznej

Ciągi czasowe temperatury powietrza w Europie cechują się okresowością około 4-letnią o zakresie zmian $\Delta T = 2b$ (tab. 2).

**Tabela 2.** Okresy około 4-letnie temperatury powietrza w Europie
**Table 2.** 4-years periods of air temperature in Europe

| Miejscowość | Zima | | Wiosna | | Lato | | Jesień | | Rok | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ |
| Warszawa | 3,5 | 1,18 | 4,0 | 0,75 | 3,9 | 0,78 | 4,7 | 0,66 | 4,7 | 0,51 |
| Kraków | 3,3 | 0,28 | 4,0 | 0,32 | 3,9 | 0,50 | 4,1 | 0,34 | 4,5 | 0,25 |
| Praga | 3,5 | 1,21 | 4,4 | 0,55 | 3,9 | 0,61 | 4,7 | 0,66 | 4,7 | 0,41 |
| Genewa | 3,8 | 0,65 | 3,9 | 0,48 | 3,9 | 0,53 | 3,7 | 0,47 | 3,9 | 0,29 |
| Anglia | 3,8 | 0,48 | 3,7 | 0,29 | 3,1 | 0,36 | 4,3 | 0,29 | 5,2 | 0,21 |

Analogiczna okresowość 3,0-4,8-letnia występuje w seriach sezonowych i rocznych sum opadów atmosferycznych (tab. 3).

**Tabela 3.** Okresy około 4-letnie opadów atmosferycznych w Polsce
**Table 3.** 4-years periods of precipitation in Europe

| | Zima | | Wiosna | | Lato | | Jesień | | Rok | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $\Delta P$ | $\Theta$ | $\Delta$P | $\Theta$ | $\Delta P$ | $\Theta$ | $\Delta$P | $\Theta$ | $\Delta P$ |
| Warszawa | 4,8 | 21,0 | 3,6 | 25,0 | 3,4 | 40,0 | 2,6 | 21,8 | 3,6 | 68,6 |
| Kraków | 4,0 | 16,4 | 3,5 | 35,0 | 2,9 | 54,8 | 3,4 | 36,4 | 3,4 | 61,2 |
| Wrocław | 3,5 | 15,8 | 3,0 | 24,0 | 3,2 | 38,0 | 3,7 | 27,4 | 3,3 | 65,6 |

Zakres zmian w stosunku do sum sezonowych np. w Warszawie wynosi: zima – $P = 98$ mm, $\Delta P/P = 21{,}4\%$, lato – $P = 216$ mm, $\Delta P/P = 11{,}6\%$.

Taką samą okresowość ma cyrkulacja atmosferyczna: makrotyp E, południkowa (wg klasyfikacji Wangenheima-Girsa 1891-1776) i cyklonalna (wg Obuchowskiej-Klein 1901-1975). Okresy ($\Theta$) i współczynniki korelacji ($R$) wynoszą (tab. 4).

**Tabela4.** Okresy około 4-letnie cyrkulacji atmosferycznej w Europie
**Table 4.** 4-years periods of atmospheric circulation in Europe

| Cyrkulacja | Zima | | Wiosna | | Lato | | Jesień | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
| Makrotyp E | 3,0 | 0,18 | 3,0 | 0,25 | 4,4 | 0,21 | 2,9 | 0,22 |
| Południkowa | 3,0 | 0,28 | 3,3 | 0,32 | 4,3 | 0,29 | 2,8 | 0,32 |
| Cyklonalna | 4,2 | 0,29 | 3,5 | 0,30 | 2,8 | 0,33 | 3,4 | 0,30 |

Podobna okresowość 3,1. i 5,5-letnia o amplitudzie $\Delta h = 2{,}2$ i 2,9 cm występuje w ciągach czasowych średniego poziomu Morza Bałtyckiego, a cykl 3,1-letni maksymalnych rocznych poziomów ma największą amplitudę $\Delta h_{max} = 12{,}6$ cm (Kożuchowski, Boryczka, 1997).

Okresowością 3,4-5,0-letnią wyróżniają się również odpływy rzeki Goty-Alv (1807-1779), odpływy Wisły (Jokiel, Kożuchowski 1989; Gutry-Korycka, Boryczka 1980), zlodzenia Bałtyku (Kożuchowski,1994). Istnieje także 3,0-letni cykl wskaźnika zawartości pyłu wulkanicznego w atmosferze (DVI).

Okresy około 4-letnie rocznych przyrostów drzew (szerokości słoi) nie są istotne statystycznie i je pominięto. W kilkusetletnich ciągach dendrologicznych cykle krótkie zanikają ze względu na nieco różne przesunięcia fazowe (*c*).

Trzeba zaznaczyć, że przyczyną tych około 4-letnich okresów jest prawdopodobnie najsilniejszy okres 4,0-letni ($R = 0{,}37$) planetarnych sił pływowych na Ziemi w latach 1700-2000, które sumują się ze znacznie większymi siłami pływowymi Księżyca i Słońca. Nieobecność tego okresu w widmie aktywności Słońca wskazuje, że jest to cykl związany z pływami atmosfery.

## Cykl 8-letni temperatury, cyrkulacji atmosferycznej, aktywności Słońca i rocznych przyrostów drzew

W Europie (i w Polsce) dominują około 8-letnie okresy temperatury powietrza o dużych amplitudach $\Delta T = T_{max} - T_{min}$ (tab.5 i 6).

**Tabela5.** Okresy około 8-letnie temperatury powietrza w porach roku i roku w Europie
**Table 5.** 8-years periods of air temperature periods and year in Europe

| Miejscowość | Zima | | Wiosna | | Lato | | Jesień | | Rok | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ |
| Warszawa | 8,3 | 1,52 | 7,8 | 0,81 | 7,1 | 0,57 | 6,5 | 0,62 | 7,7 | 0,59 |
| Kraków | 8,3 | 1,50 | 7,9 | 0,42 | 7,8 | 0,30 | 7,9 | 0,30 | 8,3 | 0,46 |
| Praga | 7,7 | 1,23 | 6,9 | 0,71 | 8,4 | 0,45 | 7,5 | 0,43 | 7,8 | 0,48 |
| Genewa | 8,5 | 0,68 | 7,8 | 0,53 | 7,8 | 0,41 | 6,8 | 0,47 | 7,4 | 0,40 |
| Anglia | 7,7 | 0,49 | 6,9 | 0,31 | 8,3 | 0,29 | 7,3 | 0,36 | 7,4 | 0,26 |

**Tabela 6.** Okresy około 8-letnie temperatury powietrza podczas zimy i lata w Europie
**Table 6.** 8-years periods of air temperature in winter and summer in Europe

| | Zima | | Lato | | | Zima | | Lato | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ |
| Warszawa* | 8,3 | 1,59 | 7,1 | 0,66 | Genewa* | 7,7 | 0,62 | 7,8 | 0,40 |
| Kraków* | 8,3 | 1,87 | 7,8 | 0,33 | Wiedeń | 8,3 | 0,87 | 8,4 | 0,38 |
| Wrocław | 8,3 | 1,53 | 7,8 | 0,27 | Rzym | 7,9 | 0,30 | 8,4 | 0,32 |
| Lwów | 8,3 | 1,30 | 7,9 | 0,56 | Sztokholm | 7,8 | 1,33 | 7,8 | 0,40 |
| Praga* | 8,3 | 1,06 | 7,8 | 0,44 | Kopenhaga | 7,8 | 1,24 | 8,3 | 0,51 |
| Berlin | 7,7 | 1,54 | 7,8 | 0,55 | Moskwa | 7,9 | 0,76 | 8,3 | 0,60 |

(* – nieco inny przedział czasu niż w tab. 5)

Zakres wahań temperatury powietrza np. w Warszawie w zimie w cyklu 8,3-letnim wynosi $\Delta T = 1{,}5°C$, a średniej rocznej (okres 7,7 lat) – 0,6°C.

Zbliżoną okresowością cechuje się cyrkulacja atmosferyczna (tab. 7).

**Tabela 7.** Okresy około 8-letnie cyrkulacji atmosferycznej w Europie
**Table 7.** 8-years periods of atmospheric circulation in Europe

| Typ cyrkulacji | Zima | | Wiosna | | Lato | | Jesień | | Rok | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
| Makrotyp E | 7,4 | 0,26 | 7,7 | 0,22 | 7,0 | 0,17 | 7,7 | 0,31 | 8,0 | 0,20 |
| Makrotyp W | 7,6 | 0,20 | 9,0 | 0,27 | 6,3 | 0,28 | 7,6 | 0,32 | 9,4 | 0,26 |
| Południkowa C | 5,6 | 0,32 | 8,9 | 0,30 | 6,9 | 0,21 | 6,5 | 0,25 | 7,8 | 0,26 |
| Cyklonalna | 7,4 | 0,41 | 5,4 | 0,31 | 7,9 | 0,28 | 6,9 | 0,18 | 8,5 | 0,24 |
| Strefowa | 7,8 | 0,28 | 8,3 | 0,29 | 8,9 | 0,16 | 7,7 | 0,21 | 8,9 | 0,19 |

Cykle 7,7-8,3-letnie temperatury powietrza w Europie (w zimie) są kształtowane głównie zbliżoną cyklicznością 7,4-letnią typów cyklonalnych ($R = 0{,}41$) i 7,8-letnią cyrkulacji południkowej ($R = 0{,}32$).

Okresowość 7,7-letnią temperatury powietrza stwierdzono także w Alpach (Lorenc 1994), a wcześniej w kilkudziesięciu seriach europejskich (Malcher, Schönwiese 1987). Okres 7,8-letni występuje również w seriach pomiarów (od 1720 roku) zlodowacenia Bałtyku (Kożuchowski 1994).

W ciągach czasowych liczb Wolfa w latach 1748-1993 i 1700-1993 występują okresy: 8,1 i 8,5 lat, o amplitudzie $\Delta W = 2b = 21{,}2$ i 23,5. Wskaźnik zawartości pyłu wulkanicznego w atmosferze (DVI) ma okres 7,9 lat.

Taki sam okres stwierdzono w zmienności parametrów Układu Słonecznego w latach 1700-2000 (przyspieszenie Słońca – 7,8 lat) oraz planetarnych sił pływowych na Słońcu.

Istotny wpływ na cyrkulację atmosferyczną może mieć 8,84-letni okres obiegu po orbicie Księżyca linii perygeum-apogeum. Składowa pozioma wypadkowej sił pływowych Księżyca i Słońca jest znacząca i prawdopodobnie powoduje cykliczność około 8-letnią cyrkulacji atmosfery.

Cykl około 8-letni temperatury powietrza (cyrkulacji atmosfery) dominuje dlatego, że nakładają się efekty planetarnych sił pływowych na Słońcu (poprzez zmienność aktywności Słońca – stałej słonecznej) ze znacznie większymi siłami pływowymi Księżyca i Słońca.

Pływy atmosfery ziemskiej są dotychczas mało znane ze względu na złożony ruch Księżyca (jego zmienną orbitę). Składowa pionowa sił pływowych księżycowo-słonecznych jest mała w porównaniu z przyspieszeniem ziemskim i powoduje niewielkie zmiany grubości atmosfery (rozciąganie). Natomiast składowa pozioma działająca przez dłuższy czas, odgrywa prawdopodobnie znaczną rolę w cyrkulacji wód oceanicznych (prądów morskich, w tym El Niño) i przemieszczaniu się wyżów i niżów (Boryczka 1998).

Analogiczne okresy są obecne w chronologicznych ciągach szerokości pierścieni (słoi) dębów rosnących w Polsce (tab. 8).

**Tabela 8.** Okresy ($\Theta$ lat) około 8-letnie szerokości pierścieni dębów rosnących w Polsce (XVIII-XX w.); $R$ – współczynnik korelacji
**Table 8.** Close-to-8 years cycles ($\Theta$ years) of English oak (*Quercus robur*) tree ring widths from Poland (XVIII-XX century); $R$ – correlation coefficient

| Miejsce | $\Theta$ | $R$ | Miejsce | $\Theta$ | $R$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Gdańsk | 8,0 | 0,127 | Roztocze | 7,6 | 0,147 |
| Gołdap | 7,8 | 0,154 | Suwałki | 7,5 | 0,278 |
| Hajnówka | 7,9 | 0,144 | Toruń | 7,7 | 0,161 |
| Koszalin | 8,6 | 0,193 | Warszawa | 7,7 | 0,175 |
| Kraków | 7,7 | 0,235 | Wrocław | 8,3 | 0,206 |

Cykl 11-letni temperatury powietrza, opadów, aktywności Słońca i rocznych przyrostów drzew.

Od dawna znana jest cykliczność około 11-letnia temperatury powietrza, wiązana z cyklem 11-letnim plam słonecznych. Okresy 10-15-letnie temperatury powietrza i amplitudy (w °C) w wybranych miejscowościach, w poszczególnych sezonach i w roku zestawiono w tabelach 9 i 10.

**Tabela 9.** Okresy około 11-letnie temperatury powietrza w porach roku i roku w Europie
**Table 9.** 11-years periods of air temperature periods and year in Europe

| Miejscowość | Zima | | Wiosna | | Lato | | Jesień | | Rok | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ |
| Warszawa | 11,9 | 0,5 | 11,2 | 0,7 | 11,3 | 0,3 | 11,4 | 0,2 | 11,1 | 0,3 |
| Kraków | 11,3 | 0,7 | 11,2 | 0,7 | 11,4 | 0,3 | 10,8 | 1,0 | 11,3 | 0,3 |
| Praga | 11,8 | 0,5 | 11,2 | 0,6 | 11,7 | 0,2 | 11,1 | 0,2 | 11,4 | 0,2 |
| Genewa | 11,1 | 0,4 | 11,2 | 0,4 | 11,3 | 0,4 | 11,2 | 0,1 | 11,1 | 0,2 |
| Anglia | 11,2 | 0,5 | 11,1 | 0,2 | 11,1 | 0,2 | 11,2 | 0,2 | 11,1 | 0,2 |

**Tabela 10.** Okresy około 11-letnie temperatury powietrza w Europie
**Table 10.** 11-years periods of air temperature in Europe

| | Zima | | Lato | | | Zima | | Lato | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ |
| Warszawa* | 11,6 | 0,53 | 11,3 | 0,22 | Genewa* | 11,0 | 0,40 | 11,3 | 0,28 |
| Kraków* | 11,3 | 0,84 | 11,4 | 0,26 | Wiedeń | 11,0 | 0,44 | 11,0 | 0,12 |
| Wrocław | 11,4 | 0,74 | 11,5 | 0,42 | Rzym | 11,8 | 0,44 | 10,7 | 0,39 |
| Lwów | 11,2 | 1,11 | 10,7 | 0,06 | Sztokholm | 11,3 | 0,29 | 11,6 | 0,38 |
| Praga* | 11,0 | 0,42 | 11,1 | 0,19 | Kopenhaga | 11,1 | 0,26 | 11,5 | 0,48 |
| Berlin | 11,0 | 0,42 | 11,6 | 0,18 | Moskwa | 11,4 | 1,62 | 11,3 | 0,30 |

(* – nieco inny przedział czasu niż w tab. 9)

Zakres wahań temperatury powietrza w tym około 11-letnim cyklu jest na ogół ponad dwukrotnie większy w zimie (0,4-1,0°C) niż w lecie (0,1-0,4°C).

Okazało się, że istotna statystycznie jest również okresowość około 11-letnia sezonowych sum opadów atmosferycznych w Polsce (tab. 11).

**Tabela 11**. Okresy około 11-letnie opadów atmosferycznych w Polsce
**Table 11**. 11-years periods of precipitation in Europe

| Miejscowość | Zima | | Wiosna | | Lato | | Jesień | | Rok | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $\Delta P$ | $\Theta$ | $\Delta P$ | $\Theta$ | % | $\Theta$ | $\Delta P$ | $\Theta$ | $\Delta P$ |
| Warszawa | 10,1 | 25,9 | 12,0 | 23,7 | 11,2 | 13,8 | 10,2 | 10,6 | 11,3 | 9,5 |
| Kraków | 9,8 | 12,3 | 10,2 | 18,7 | 10,3 | 12,9 | 10,9 | 17,1 | 9,8 | 5,4 |
| Wrocław | 9,9 | 17,4 | 10,2 | 27,4 | 9,7 | 16,7 | 9,9 | 13,2 | 9,8 | 13,9 |

Zakres zmienności sezonowych sum opadów atmosferycznych w cyklach 9,8-12,0 lat w stosunku do średnich wartości z lat 1861-1990 ($P$) jest większy w zimie niż w lecie (przekracza ¼ części sumy $P$). Amplitudy względne $(P_{max} - P_{min})P^{-1}$ na ogół są większe w zimie niż w lecie, w przypadku sum rocznych zawierają się w przedziale 5,4-13,9%.

Zbliżonymi okresami cechują się chronologiczne ciągi szerokości pierścieni (słoi) dębów rosnących w Polsce (tab. 12).

**Tabela 12**. Okresy ($\Theta$ lat) około 11-letnie szerokości pierścieni dębów rosnących w Polsce (XVIII-XX w.), $R$ – współczynnik korelacji
**Table 12**. Close-to-11 years cycles ($\Theta$ years) of English oak (*Quercus robur*) tree ring widths from Poland (XVIII-XX century); $R$ – correlation coefficient

| Miejsce | $\Theta$ | $R$ | Miejsce | $\Theta$ | $R$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Gdańsk | 11,6 | 0,219 | Roztocze | 11,2 | 0,194 |
| Gołdap | 10,8 | 0,130 | Suwałki | 11,8 | 0,172 |
| Hajnówka | 11,2 | 0,258 | Toruń | 11,4 | 0,181 |
| Koszalin | 11,1 | 0,127 | Warszawa | 11,1 | 0,124 |
| Kraków | 11,5 | 0,137 | Wrocław | 11,6 | 0,162 |

Przyczyną okresów około 11-letnich temperatury powietrza i opadów atmosferycznych jest niewątpliwie 11-letni cykl aktywności Słońca (i stałej słonecznej)(tab. 13).

**Tabela 13.** Okresy około 11-letnie aktywności Słońca i stałej słonecznej
**Table 13.** 11-years periods of solar activity and solar constant

| Liczby Wolfa | | Stała słoneczna | |
|---|---|---|---|
| $\Theta$ | $\Delta W$ | $\Theta$ | $\Delta s/s$ % |
| 10,0 | 48,3 | 10,1 | 0,35 |
| 10,5 | 44,7 | 10,5 | 0,51 |
| 11,0 | 60,1 | 11,1 | 0,94 |
| 12,0 | 32,2 | 11,9 | 0,29 |

Oto równanie cyklu 11-letniego (średniego w latach 1700-1993) stałej słonecznej o minimalnej wariancji resztkowej $\varepsilon^2 = 7{,}1\times10^{-5}$ i współczynniku korelacji $R = 0{,}609$.

$$s = 1{,}9435 + 0{,}009163\sin(2\pi t/11{,}1 - 1{,}9549)$$

Zakres zmian stałej słonecznej w cyklu 11-letnim stanowi prawie 1% średniej wartości 1,94 cal×cm$^{-2}$min$^{-1}$ w latach 1700-1993. W pojedynczych 11-letnich cyklach plam słonecznych stała słoneczna zmienia się maksymalnie o 2,5% (Kondratiev, Nikolski 1970). Cykliczność 9-14-letnia aktywności Słońca jest prawdopodobnie związana z okresami obiegu czterech największych planet dookoła Słońca. Okres 11,86 lat obiegu Jowisza dominuje w ciągach czasowych: wypadkowej siły grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce (11,8 lat, $R = 0{,}40$), całkowitego momentu pędu planet (11,9 lat, $R = 0{,}75$) i dyspersji masy planet w Układzie Słonecznym (11,9 lat, $R = 0{,}58$).

Należy też podkreślić, że okresowość około 11-letnia jest obecna w ciągach czasowych (1680-1980) erupcji wulkanicznych: wskaźnika zawartości pyłu wulkanicznego w atmosferze (log DVI) – $\Theta = 11{,}4$ lat, $R = 0{,}31$; aktywności wulkanicznej (log $DVI/\Delta t$) – $\Theta = 11{,}7$ lat, $R = 0{,}29$ i odstępem czasu $\Delta t$ między kolejnymi erupcjami eksplozywnymi – $\Theta = 12{,}1$, $R = 0{,}21$.

Analogiczna okresowość zmiennych geologicznych, astronomicznych i klimatologicznych świadczy o grawitacyjnych uwarunkowaniach okresowości.

## Cykle 100 i 180-letni temperatury powietrza, aktywności Słońca i rocznych przyrostów drzew

Krótkookresowe zmiany aktywności Słońca (stałej słonecznej) nie odgrywają istotnej roli w kształtowaniu klimatu Ziemi, ze względu na bardzo powolne przenikanie ciepła do głębszych warstw Ziemi. Większą rolę odgrywają długie cykle: około 100- i 180-letni aktywności Słońca (tab.14). W otoczeniu maksimów plam słonecznych w tych cyklach kumulowana energia słoneczna w głębszych warstwach lądów i oceanów, wywiera wpływ na prądy morskie i cyrkulację atmosferyczną.

**Tabela 14**. Okresy około 100- i 180- letnie: aktywności Słońca, stałej słonecznej i erupcji wulkanicznych (lata)
**Table 14**. The close – to – 100 and 180-year long periods of solar activity, solar constant and volcanic eruption (years)

| Zmienna | 100-letni | 200-letni |
|---|---|---|
| Aktywność Słońca (1700-2000) | 102,0 | 187,3 |
| Stała słoneczna (1700-2000) | 102,0 | 187,0 |
| Aktywność wulkaniczna DVI/$\Delta t$ | 91,5 | 206,0 |

Okresy około 100. i 180-letnie są obecne w wielu seriach pomiarowych temperatury powietrza w Europie (tab. 15, 16).

**Tabela 15**. Okresy około 100-letnie temperatury powietrza w Europie
**Table 15.** The close to-100-year long periods of air temperature in Europe

| Miejscowość | Zima | | Lato | | Miejscowość | Zima | | Lato | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ |
| Warszawa | 113,4 | 1,22 | 75,0 | 0,88 | Bazylea | 85,5 | 0,14 | 87,6 | 0,64 |
| Kraków | 90,0 | 0,48 | 88,0 | 0,67 | Kopenhaga | 80,5 | 0,22 | 89,6 | 0,27 |
| Wrocław | 123,3 | 1,66 | 75,0 | 0,50 | Anglia | 99,3 | 0,44 | 102,5 | 0,20 |
| Lwów | 108,8 | 1,30 | 74,1 | 1,33 | Sztokholm | 86,3 | 0,55 | 89,4 | 0,51 |
| Praga | 116,3 | 1,44 | 118,3 | 0,68 | Uppsala | 102,7 | 1,48 | 94,0 | 0,79 |
| Wiedeń | 89,8 | 0,79 | 96,1 | 0,58 | Insbruck | 69,9 | 0,80 | 84,6 | 0,50 |

**Tabela 16**. Okresy około 180-letnie temperatury powietrza w Europie
**Table 16.** The close -to-180-year long periods of air temperature in Europe

| Miejscowość | Zima | | Lato | | Miejscowość | Zima | | Lato | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ |
| Warszawa | 179,0 | 0,44 | 208,2 | 0,66 | Bazylea | - | - | 227,4 | 0,26 |
| Kraków | 168,3 | 0,43 | - | - | Kopenhaga | - | - | 211,6 | 1,19 |
| Wrocław | - | - | 195,3 | 1,00 | Anglia | 166,9 | 0,48 | 204,6 | 0,34 |
| Lwów | 144,1 | - | 248,3 | 1,09 | Sztokholm | 184,6 | 0,49 | - | - |
| Praga | 212,8 | 1,18 | - | - | Uppsala | 182,3 | 2,50 | 192,8 | 0,39 |
| Wiedeń | - | - | 224,9 | 1,40 | Insbruck | 169,8 | 1,45 | - | - |

Na przykład okresy około 100-letnie temperatury powietrza w zimie wynoszą: Warszawa – 113,4, Kraków – 90,0, Anglia – 99,3, Wiedeń – 89,8, Sztokholm – 86,3, Uppsala – 102,7 lat. Zbliżona okresowość około 100-letnia występuje również w lipcu: Warszawa – 75,0, Kraków – 88, Wiedeń – 96,1, Anglia – 102,5, Sztokholm – 89,0, Uppsala – 94 lat.

Cykl około 180-letni jest obecny w najdłuższych seriach pomiarowych temperatury powietrza i opadów atmosferycznych.

Ciągi chronologiczne szerokości pierścieni drzew: sosny, świerka, modrzewia, jodły i dębu w Europie cechują się również podobnymi okresami około 100. i 180-letnimi (tab. 17). Ekstrema cyklu 180-letniego (zbliżonego do długości serii instrumentalnych) wielokrotnie powtarzają się w ciągach dendrologicznych sprzed tysiąca czy też kilkuset lat.

**Tabela 17**. Okresy ($\Theta$ lat) około 35., 100. i 180- letnie szerokości pierścieni drzew (sosna, świerk, modrzew) rosnących w Europie
**Table 17**. Close- to- 35-, 100- and 200- years cycles ($\Theta$ years) of tree ring widths from Europe (Scots pine, Norway spruce and European larch)

| Drzewo | Przedział czasu | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sosna: | | | | | | | |
| Forfiorddalen (Norwegia) | 877-1994 | 35 | 0,148 | 112 | 0,178 | 189 | 0,121 |
| Kola (Rosja) | 1577-1997 | 33 | 0,259 | 109 | 0,394 | 186 | 0,277 |
| Świerk: | | | | | | | |
| Stonngrandes (Norwegia) | 1403-1997 | 35 | 0,165 | 114 | 0,191 | - | - |
| Falkenstein (Niemcy) | 1540-1995 | 46 | 0,225 | 110 | 0,298 | 189 | 0,414 |
| Modrzew: | | | | | | | |
| Pinega 1 (Rosja) | 1578-1990 | 32 | 0,286 | 103 | 0,177 | 217 | 0,286 |

Parametry sinusoidalnych cykli szerokości słoi badanych drzew rosnących w Europie ($\Theta$ – okres, $b$ – amplituda, $c$ – faza, $R$ – współczynnik korelacji wielokrotnej podano w odpowiednich zestawieniach – tab. 20, 21, 22. Natomiast widma rocznych przyrostów niektórych drzew przedstawiają wykresy: sosny – rys. 1,2,3, świerka – rys. 4, 5, 6, modrzewia – rys. 7.

## Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na klimat Europy

Na klimat środkowej Europy (i Polski) dominujący wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego: Wyż Azorski i Niż Islandzki. Te dwa centra ciśnieniania związane z różnicą temperatury między wodą Atlantyku Północnego i lądem są ze sobą

ujemnie skorelowane. Jeżeli ciśnienie w Wyżu Azorskim rośnie, to ciśnienie w Niżu Islandzkim – maleje i przeciwnie. Jest to tzw. Oscylacja Północnoatlantycka (North Atlantic Oscillation, NAO).

Przy dużej południkowej różnicy ciśnienia tj. dużym gradiencie ciśnienia skierowanym na północ, powietrze znad Atlantyku przemieszcza się wzdłuż równoleżników z zachodu na wschód – nad obszar Polski. Natomiast podczas spadku ciśnienia w Wyżu Azorskim (i jednocześnie wzroście ciśnienia w Niżu Islandzkim) poziomy gradient ciśnienia może być skierowany na wschód lub zachód. Wtedy powietrze przemieszcza się wzdłuż południków (cyrkulacja południkowa) na południe lub północ. Wówczas nad obszar Polski napływa powietrze z północy lub południa.

Kierunek i prędkość ruchu powietrza wynika z równoważenia się: siły gradientowej ciśnienia, siły Coriolisa i siły odśrodkowej (oraz siły tarcia o podłoże i lepkości turbulencyjnej – w pobliżu powierzchni Ziemi). Na większych wysokościach kierunek wiatru gradientowego jest deformowany przez pole temperatury powietrza – o poziomym gradiencie skierowanym ku biegunowi północnemu – przez wiatr tzw. termiczny (wiejący także z zachodu na wschód).

W badaniach posłużono się wskaźnikiem NAO, zdefiniowanym przez P.D. Jonesa i in. (1997) jako standaryzowaną różnicę ciśnienia na poziomie morza między Gibraltarem i południowo-zachodnią Islandią.

Okresy $\Theta$ obecne w widmie wskaźnika NAO w latach 1825-1997 podano w tabeli 18 ($R$ – współczynnik korelacji).

**Tabela 18**. Okresy wskaźnika NAO w latach 1825-1997
**Table 18**. The periods of NAO in years 1825-1997

| Wiosna | | Lato | | Jesień | | Zima | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
| 6,5 | 0,22 | 7,8 | 0,17 | 7,3 | 0,22 | 7,8 | 0,27 |
| 11,1 | 0,13 | 10,3 | 0,20 | 8,8 | 0,17 | 8,3 | 0,24 |
| 13,4 | 0,21 | 11,1 | 0,09 | 16,6 | 0,24 | 11,3 | 0,13 |
| 23,9 | 0,19 | 13,8 | 0,14 | 24,2 | 0,20 | 15,5 | 0,17 |
| 45,5 | 0,16 | 39,5 | 0,14 | 29,9 | 0,20 | 37,1 | 0,16 |
| 106,3 | 0,09 | 83,2 | 0,17 | 75,3 | 0,16 | 105,1 | 0,17 |

W widmie wskaźnika NAO w zimie podobnie jak w widmach temperatury powietrza w Warszawie (1779-1998 i Krakowie (1826-1995) dominuje cykl około 8-letni. Jest to jednocześnie cykl aktywności Słońca (8,1 lat) i przyspieszenia Słońca (7,75 lat). Maksima tych około 8-letnich cykli przypadają w przybliżeniu na te same lata.

## Prognozy zmian klimatu Europy w XXI wieku

W badaniach zmian klimatu i ich przyczyn ważnym problemem jest wykrycie synchronicznych cykli: temperatury powietrza, opadów atmosferycznych i cyrkulacji strefowej (wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej NAO), warunkującej adwekcję mas powietrza znad Oceanu Atlantyckiego. Cykle – to składniki deterministyczne w seriach pomiarowych, umożliwiające prognozowanie zmian klimatu w najbliższych latach.

Nie są jeszcze poznane mechanizmy przenoszenia zmian w Układzie Słonecznym do układu Ziemia – atmosfera (poza stałą słoneczną). Mimo to wykryta okresowość zmiennych klimatologicznych – także około 100 i 180-letnia może być wykorzystana do rekonstrukcji klimatu w ostatnich stuleciach oraz w prognozach w XXI wieku.

Interesujące są wykresy czasowych zmian : aktywności Słońca (liczb Wolfa) i wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej NAO wraz z prognozami sięgającymi po rok 2100 (Boryczka, Stopa-Boryczka i inni, 2004). Rekonstrukcje i prognozy otrzymano na podstawie interferencji wykrytych cykli: liczb Wolfa i wskaźnika NAO:

$$y = a_0 + at + \sum b_j \sin(2\pi t/\Theta_j + c_j),$$

gdzie: $\Theta_j$, $b_j$, $c_j$ – to parametry istotnych statystycznie cykli (na poziomie istotności 0,05, według testu $F$ Fishera-Snedecora).

W ten sam sposób (ze składnikiem liniowym $at$ i $a = 0$) i opracowano prognozy średniej rocznej temperatury powietrza w 40. miejscowościach w Europie (Stopa-Boryczka, Boryczka i inni, 2007).

W prognozach przyjęto założenie, że ekstrema wyznaczonych cykli o dość dużych amplitudach (istotnych) będą się powtarzać nadal, tak jak w XVIII-XX wieku. Do takiego założenia upoważnia 178,9- letni cykl planetarny. Po upływie 178,9 lat powtarzają się wartości parametrów Układu Słonecznego (odległości środka masy US od Słońca, przyspieszenia Słońca, wypadkowej siły grawitacji planet). Wykresy zmian liczb Wolfa (i stałej słonecznej) w latach 1700-1879 i 1880-2000 – po upływie 179 lat są prawie przystające. Odstęp czasu między maksimami absolutnymi liczb Wolfa (1778, 1957) wynosi 179 lat. Jest to w przybliżeniu okresowość w sensie matematycznym $f(t + 178{,}9) = f(t)$.

Przebieg czasowy liczb Wolfa w latach 1700-2100 (maksima główne w latach 1778 i 1957) można otrzymać uwzględniając momenty mas 4. największych planet (Jowisz, Saturn, Uran, Neptun) – modulację momentów mas bliższych planet przez dalsze.

Można sądzić, że aktywność Słońca (stała słoneczna) jest kształtowana przez pola grawitacyjne tych planet.

Cykl 180-letni wielokrotnie powtarza się w ciągach chronologicznych paleotemperatury osadów jeziornych sprzed kilkunastu tysięcy lat.

Prognozę Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w zimie w XXI wieku otrzymano na podstawie wyznaczonych okresów w latach 1826-1997: 2,4; 5,0; 5,8; 7,8; 8,3; 15,5; 21,5; 37,1; 71,5; 105,1 lat. Z nakładania się tych cykli wynika, że podczas zim 2001-2100 można oczekiwać spadku wskaźnika NAO, tj. zmniejszenia cyrkulacji strefowej, a więc osłabienia ocieplającego oddziaływania Oceanu Atlantyckiego w zimie na klimat Europy (i Polski). Prognozy wskaźnika NAO w XXI wieku już przekonują o zbliżającym się naturalnym ochłodzeniu klimatu Europy (Boryczka, Stopa-Boryczka i inni, 2004).

Istotnym elementem wyników badań jest logiczna zbieżność prognozowanych w XXI wieku tendencji spadkowych: aktywności Słońca (stałej słonecznej), wskaźnika NAO, warunkującego łagodność czy też mroźność zim w Polsce, z prognozą samej temperatury powietrza (ochłodzenia w XXI wieku).

Najmroźniejsze zimy w Warszawie (średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury około -4°C) wystąpią około roku 2050. Będą one nieco łagodniejsze niż na początku XIX wieku, ze względu na coraz większy udział czynników antropogenicznych. Na-

tomiast lata chłodniejsze (średnie konsekutywne 11-letnie około 17,5-18,0°C) wystąpią wcześniej, w drugiej dekadzie XXI wieku.

Prognozy rocznych przyrostów (szerokości słoi) drzew rosnących w Europie przedstawiają wykresy: sosny – rys. 8, 9, świerka – rys. 10, 11, jodły – 12, 13 i dębu – rys. 14, 15, 16. Na uwagę zasługują prognozy przyrostów rocznych niektórych drzew po rok 2100. Wykresy prognostyczne ich rocznych przyrostów cechują się głównymi minimami w połowie XXI wieku. W przypadku np. dwóch świerków, rosnących w Niemczech i we Włoszech funkcje prognostyczne $y = f(t)$ uwzględniają okresy podane w tab. 19. Słoje świerka z Falkenstein (1540-1995) cechują się „silnymi" cyklami: 110, 189 i 429 lat – o współczynnikach korelacji ($R$) 0,30, 0,42 i 0,40.

Prognozowane duże ocieplenie w XXI wieku, na podstawie interferencji cykli przyrostów rocznych (słoi) drzew rosnących w Europie wynika także z uwzględnienia liniowej tendencji *at.*

**Tabela 19**. Okresy $\Theta$ (lat) szerokości słoi świerków, uwzględnione w prognozach zmian klimatu po rok 2100 ($R$ – współczynnik korelacji wielokrotnej)
**Table 19**. Cycles of Norway spruce (*Picea abies*) tree ring widths applied in the climate forecast until year 2100; R- multiple correlation coefficient

| Falkenstein (Niemcy) 1540-1995 | | Fodara Vedla (Włochy) 1598-1990 | |
|---|---|---|---|
| $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
| 8 | 0,057 | 8 | 0,034 |
| 12 | 0,059 | 12 | 0,047 |
| 15 | 0,143 | 23 | 0,148 |
| 25 | 0,123 | 39 | 0,175 |
| 46 | 0,217 | 53 | 0,205 |
| 53 | 0,160 | 63 | 0,130 |
| 73 | 0,328 | 77 | 0,186 |
| 110 | 0,303 | 99 | 0,083 |
| 189 | 0,416 | 191 | 0,718 |
| 429 | 0,399 | | |

Metody prognozowania sprawdzono też na przykładzie krótkiej, 30-letniej serii pomiarów w Zamościu z lat 1951-1980 (Stopa-Boryczka, Boryczka 1998). Ekstrapolowanie wartości trendu czasowego – wypadkowej cykli: 3,25; 7,75; 12,6 lat – w latach 1981-1990 (poza przedział aproksymacji 1951-1980) są zbliżone do wyników pomiarów temperatury powietrza w dziesięcioleciu 1981-1990. Na uwagę zasługuje synchroniczność ekstremów wyrównanej temperatury powietrza w Zamościu z minimami i maksymami aktywności Słońca w cyklu 11-letnim. Maksima temperatury powietrza przypadają na daty maksimów plam słonecznych: 1957, 1968, 1979, 1989.

Ciągi czasowe temperatury powietrza w ostatnich stuleciach w Europie świadczą, że współczesne ocieplenie klimatu może w dużym stopniu wynikać z przyczyn naturalnych. Nie bez znaczenia są prawie przystające proste regresji standaryzowanych wartości aktywności Słońca i temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000.

$$W' = 0{,}0037t - 6{,}956,$$
$$T' = 0{,}0047t - 8{,}940$$

Tendencja rosnąca temperatury powietrza, zwłaszcza zimą, jest po prostu wypadkową nakładania się cykli naturalnych. Na przykład coraz cieplejsze zimy w Warszawie – o 1,03°C/100 lat w latach 1779-1990 są efektem nałożenia się kilku okresów: 3,5; 5,5; 8,3; 12,9; 18,0; 38,3; 66,7; 113,1; 218,3 lat. Ich wypadkowa (prosta regresji) wyjaśnia wzrost temperatury powietrza podczas zim o 0,93°C/100 lat. Na zmienność antropogeniczną przypada zaledwie 0,1°C/100 lat. Analogiczne coraz cieplejsze zimy w Genewie – 0,05°C/100 lat, Pradze – 0,25°C/100 lat są efektem nakładania się cyklicznych wahań temperatury powietrza.

*Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XX-XXI – *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych*, Warszawa 2007 (zmieniony rozdział czwarty).

**Tabela 20.** Cykle szerokości słoi sosny (*Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*) i świerka (*Picea abies*)
**Table 20.** The cycles of tree ring widths of Scots pine (*Sylvestris*, *nigra*) and spruce (*Picea abies*)

| Forfjorddalen, Norwegia *Pinus sylvestris* 877-1994 | | | | Karhunpesakivi, Finlandia *Pinus sylvestris* 1396-1993, | | | | Kola, Rosja *Pinus sylvestris* 1577-1997 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Θ* | *b* | *c* | *R* | *Θ* | *b* | *c* | *R* | *Θ* | *b* | *c* | *R* |
| 9 | 0,330 | 1,3511 | 0,094 | 23 | 0,546 | -0,8792 | 0,137 | 12 | 0,464 | 0,6931 | 0,104 |
| 22 | 0,373 | -2,7237 | 0,108 | 28 | 0,635 | -0,7920 | 0,155 | 18 | 0,774 | 2,5878 | 0,163 |
| 35 | 0,517 | -1,5916 | 0,147 | 32 | 0,686 | 1,6109 | 0,190 | 24 | 0,854 | 0,5317 | 0,176 |
| 59 | 0,360 | 2,8686 | 0,113 | 49 | 0,705 | -1,2153 | 0,166 | 33 | 1,323 | -0,3607 | 0,264 |
| 71 | 0,425 | 0,5040 | 0,139 | 72 | 0,601 | 2,9868 | 0,201 | 39 | 0,439 | -2,3441 | 0,141 |
| 99 | 0,440 | -1,0134 | 0,166 | 85 | 1,257 | -1,9919 | 0,306 | 46 | 0,692 | 0,3900 | 0,146 |
| 112 | 0,457 | 0,8515 | 0,177 | 107 | 0,597 | -0,2726 | 0,178 | 60 | 0,583 | -0,6880 | 0,214 |
| 133 | 0,516 | -1,4801 | 0,170 | 137 | 0,546 | -0,4014 | 0,178 | 77 | 1,558 | -0,2060 | 0,414 |
| 189 | 0,366 | 1,4378 | 0,120 | 176 | 0,521 | 2,8056 | 0,118 | 109 | 1,484 | 2,4742 | 0,397 |
| 257 | 0,163 | 3,0652 | 0,041 | 265 | 2,021 | -1,1806 | 0,487 | 186 | 1,171 | -1,1779 | 0,280 |
| Muddas, Szwecja *Pinus sylvestris* 1532-1977 | | | | Pyaozera, Rosja *Pinus sylvestris* 1546-1993 | | | | Picos, Hiszpania *Pinus sylvestris* 1527-1988 | | | |
| *Θ* | *b* | *c* | *R* | *Θ* | *b* | *c* | *R* | *Θ* | *b* | *c* | *R* |
| 9 | 0,399 | 1,7204 | 0,119 | 12 | 0,416 | -0,2954 | 0,110 | 7 | 0,223 | 0,2838 | 0,106 |
| 13 | 0,334 | 2,1656 | 0,107 | 18 | 0,741 | 2,7764 | 0,192 | 13 | 0,393 | -1,6615 | 0,184 |
| 16 | 0,373 | -0,3742 | 0,106 | 27 | 0,740 | -0,5273 | 0,199 | 19 | 0,230 | -0,4817 | 0,104 |
| 23 | 0,628 | -1,7616 | 0,182 | 29 | 0,839 | 0,7146 | 0,216 | 24 | 0,395 | -1,0975 | 0,184 |
| 33 | 1,034 | -0,2418 | 0,305 | 44 | 0,736 | -2,6520 | 0,185 | 28 | 0,347 | 3,0577 | 0,161 |
| 41 | 0,528 | -0,5936 | 0,155 | 49 | 0,405 | 2,6853 | 0,140 | 32 | 0,138 | 3,0462 | 0,058 |
| 49 | 0,283 | 1,1473 | 0,104 | 75 | 1,058 | -2,9956 | 0,353 | 113 | 0,022 | 2,4935 | 0,019 |
| 60 | 0,798 | -0,2613 | 0,280 | 95 | 0,931 | 0,0483 | 0,348 | 170 | 0,022 | 0,5216 | 0,019 |
| 89 | 0,520 | 2,9362 | 0,232 | 126 | 0,727 | 0,3314 | 0,314 | | | | |
| 182 | 0,664 | 3,1043 | 0,231 | 196 | 1,354 | -2,8475 | 0,430 | | | | |
| Vikran, Norwegia *Pinus sylvestris* 1599-1992 | | | | Puerto Liano, Hiszpania *Pinus nigra* 1585-1985 | | | | Riscopal, Hiszpania *Pinus nigra* 1523-1988 | | | |
| *Θ* | *b* | *c* | *R* | *Θ* | *b* | *c* | *R* | *Θ* | *b* | *c* | *R* |
| 7 | 0,251 | -1,8296 | 0,067 | 8 | 0,662 | -1,2330 | 0,226 | 12 | 0,329 | 2,3833 | 0,100 |
| 12 | 0,300 | 0,3531 | 0,085 | 10 | 0,282 | -0,0337 | 0,102 | 17 | 0,375 | -2,1342 | 0,113 |
| 25 | 0,564 | 1,2387 | 0,154 | 13 | 0,487 | -1,6923 | 0,169 | 21 | 0,699 | 1,9996 | 0,222 |
| 29 | 0,477 | 0,5738 | 0,153 | 18 | 0,368 | -3,0066 | 0,124 | 24 | 0,671 | -1,1087 | 0,231 |
| 33 | 0,874 | -0,7313 | 0,260 | 23 | 0,320 | 1,1301 | 0,124 | 33 | 0,648 | 0,0294 | 0,199 |
| 45 | 1,073 | 1,8412 | 0,277 | 28 | 0,316 | 2,2091 | 0,112 | 42 | 0,378 | 1,1662 | 0,151 |
| 72 | 0,870 | 2,8813 | 0,289 | 45 | 0,764 | 2,0366 | 0,265 | 48 | 0,203 | -0,5494 | 0,106 |
| 99 | 1,012 | -2,6710 | 0,344 | 79 | 0,486 | 0,3754 | 0,185 | 63 | 0,386 | -2,2707 | 0,136 |
| 148 | 0,770 | 0,5560 | 0,276 | 136 | 0,302 | 3,1318 | 0,119 | 89 | 0,302 | -0,7118 | 0,105 |
| 264 | 0,872 | -1,6776 | 0,273 | 251 | 0,099 | -1,7575 | 0,034 | 163 | 0,134 | -1,3196 | 0,055 |
| Tajo, Hiszpania *Pinus nigra* 1610-1988 | | | | Torrefon, Hiszpania *Pinus nigra* 1485-1988 | | | | Falkenstein, Niemcy *Picea abies* 1540-1995 | | | |
| *Θ* | *b* | *c* | *R* | *Θ* | *b* | *c* | *R* | *Θ* | *b* | *c* | *R* |
| 12 | 0,531 | 2,1571 | 0,163 | 9 | 0,362 | 0,1958 | 0,099 | 8 | 0,293 | 0,2353 | 0,057 |
| 18 | 0,573 | 2,7765 | 0,169 | 15 | 0,643 | 3,0063 | 0,180 | 12 | 0,334 | -0,3831 | 0,059 |
| 20 | 0,380 | 1,9409 | 0,124 | 20 | 0,432 | 2,5677 | 0,133 | 15 | 0,776 | 2,6834 | 0,143 |
| 28 | 0,978 | 2,1814 | 0,224 | 24 | 0,779 | -1,9263 | 0,226 | 25 | 0,612 | -1,2772 | 0,123 |
| 31 | 0,964 | 3,0713 | 0,249 | 27 | 0,356 | -1,7777 | 0,131 | 46 | 1,014 | 0,8256 | 0,217 |
| 38 | 0,607 | 1,8629 | 0,189 | 30 | 0,592 | 2,9667 | 0,173 | 53 | 0,884 | -0,2560 | 0,160 |
| 45 | 0,285 | -0,1833 | 0,130 | 41 | 0,414 | -1,2997 | 0,129 | 73 | 1,594 | -1,5741 | 0,328 |
| 61 | 0,254 | 2,9717 | 0,093 | 55 | 0,476 | 1,2682 | 0,139 | 110 | 1,385 | 0,2286 | 0,303 |
| 92 | 0,550 | 2,8832 | 0,167 | 112 | 0,220 | 1,0094 | 0,060 | 189 | 1,820 | 0,7056 | 0,416 |
| 231 | 0,070 | 0,1092 | 0,031 | 155 | 0,136 | -1,8878 | 0,034 | 429 | 1,630 | 0,2336 | 0,399 |

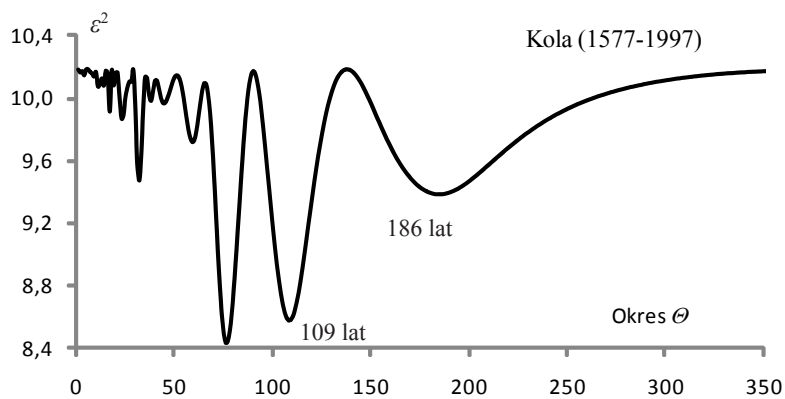
**Tabela 21.** Cykle szerokości słoi *świerka* (*Picea abies*), modrzewia (*Larix decidua*) i jodły (*Abies alba*)
**Table 21.** The cycles of tree ring widths Norway spruce (*Picea abies*), European larch (*Larix decidua*), pine Sylver fir (*Abies alba*)

| Fodara Vedla, Włochy *Picea abies* 1598-1990 | | | | Guadarrama 1, Hiszpania *Picea abies* 1726-1983 | | | | Guadarrama 4, Hiszpania *Picea abies* 1599-1984 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Θ* | *b* | *c* | R | *Θ* | *b* | *c* | R | *Θ* | *b* | *c* | R |
| 8 | 0,167 | 1,5612 | 0,034 | 4 | 0,405 | -2,1245 | 0,105 | 11 | 0,336 | 0,7279 | 0,141 |
| 12 | 0,281 | 1,4108 | 0,047 | 8 | 0,330 | -1,1024 | 0,082 | 14 | 0,391 | 1,7570 | 0,148 |
| 23 | 0,676 | -1,3095 | 0,148 | 11 | 1,067 | 1,7469 | 0,271 | 25 | 0,542 | -1,6407 | 0,208 |
| 39 | 0,771 | 1,6377 | 0,175 | 15 | 1,072 | -2,1603 | 0,275 | 31 | 0,590 | 1,3709 | 0,233 |
| 53 | 0,918 | 1,5109 | 0,205 | 27 | 0,803 | 0,5575 | 0,233 | 37 | 0,680 | -1,6810 | 0,272 |
| 63 | 0,317 | -0,4174 | 0,130 | 46 | 1,404 | -1,8021 | 0,367 | 62 | 0,205 | 1,2496 | 0,100 |
| 77 | 0,606 | -2,4669 | 0,186 | 61 | 0,275 | -0,4844 | 0,146 | 95 | 0,267 | 1,7381 | 0,122 |
| 99 | 0,246 | 0,9379 | 0,083 | 90 | 0,737 | 0,6052 | 0,201 | 219 | 0,064 | -0,8679 | 0,048 |
| 191 | 2,971 | 0,0658 | 0,718 | | | | | | | | |
| Stonnglandes, Norwegia *Picea abies* 1403-1997 | | | | Zagradeniye, Grecja *Picea abies* 1635-1979 | | | | Berchtesgaden, Niemcy *Larix decidua* 1339-1947 | | | |
| *Θ* | *b* | *c* | *R* | *Θ* | *b* | *c* | R | *Θ* | *b* | *c* | R |
| 14 | 0,447 | 1,8882 | 0,139 | 9 | 0,207 | 0,0553 | 0,095 | 7 | 0,306 | 2,5340 | 0,097 |
| 29 | 0,422 | 1,9326 | 0,140 | 13 | 0,275 | -0,3122 | 0,127 | 14 | 0,342 | 0,9150 | 0,108 |
| 32 | 0,492 | 1,7328 | 0,143 | 25 | 0,488 | 1,2988 | 0,244 | 20 | 0,424 | -0,7737 | 0,126 |
| 35 | 0,575 | -1,7321 | 0,165 | 28 | 0,637 | 1,2199 | 0,288 | 22 | 0,597 | -1,6506 | 0,174 |
| 45 | 0,632 | 1,8424 | 0,201 | 33 | 0,424 | 1,0397 | 0,218 | 38 | 0,476 | -0,7101 | 0,152 |
| 56 | 0,393 | -1,7343 | 0,155 | 83 | 0,487 | 2,2196 | 0,312 | 42 | 0,462 | 1,2639 | 0,145 |
| 76 | 0,424 | -1,7063 | 0,139 | 129 | 0,666 | -2,2681 | 0,391 | 73 | 0,468 | -0,7281 | 0,165 |
| 114 | 0,558 | 0,4485 | 0,191 | 267 | 0,423 | 2,1528 | 0,260 | 88 | 0,248 | 0,8732 | 0,109 |
| 201 | 0,764 | 2,2289 | 0,243 | | | | | 192 | 0,147 | 1,7568 | 0,050 |
| Les Merveilles 1, Francja *Larix decidua* 1187-1974 | | | | Les Merveilles 2, Francja *Larix decidua* 988-1974 | | | | Obergurgl, Austria *Larix decidua* 1604-1972 | | | |
| *Θ* | *b* | *c* | R | *Θ* | *b* | *c* | R | *Θ* | *b* | *c* | R |
| 11 | 0,325 | 2,6633 | 0,084 | 11 | 0,243 | 2,7194 | 0,071 | 7 | 0,599 | 3,0198 | 0,154 |
| 17 | 0,445 | 1,2541 | 0,118 | 17 | 0,329 | 1,4535 | 0,098 | 10 | 0,382 | 2,9909 | 0,099 |
| 30 | 0,528 | -1,1299 | 0,132 | 22 | 0,327 | 3,1083 | 0,095 | 15 | 0,286 | 2,4159 | 0,067 |
| 40 | 0,483 | -2,7736 | 0,118 | 34 | 0,370 | 0,6625 | 0,111 | 22 | 0,493 | -1,5952 | 0,176 |
| 66 | 0,510 | 0,9793 | 0,127 | 40 | 0,314 | 2,9657 | 0,101 | 24 | 0,936 | 0,3049 | 0,268 |
| 89 | 0,472 | 1,3748 | 0,126 | 49 | 0,436 | 1,4177 | 0,141 | 63 | 0,955 | -0,9817 | 0,253 |
| 113 | 0,459 | -2,2960 | 0,126 | 64 | 0,479 | 1,9875 | 0,141 | 94 | 0,689 | 2,6392 | 0,149 |
| 189 | 0,485 | 1,8909 | 0,139 | 89 | 0,295 | 1,3842 | 0,079 | 165 | 0,688 | -1,3430 | 0,170 |
| 614 | 0,218 | -0,5333 | 0,057 | 182 | 0,269 | -0,7358 | 0,073 | | | | |
| | | | | 300 | 0,351 | -1,3807 | 0,102 | | | | |
| Pinega 1, Rosja *Larix decidua* 1578-1990 | | | | Fodara Vedla, Włochy *Abies alba* 1474-1990 | | | | Prayo Magno, Włochy *Abies alba* 1540-1973 | | | |
| *Θ* | *b* | *c* | R | *Θ* | *b* | *c* | | *Θ* | *b* | *c* | $e^2$ |
| 12 | 0,299 | -0,0979 | 0,080 | 20 | 0,552 | -0,4403 | 0,124 | 14 | 1,053 | -2,8477 | 36,036 |
| 19 | 0,873 | 1,1725 | 0,248 | 24 | 0,609 | 0,1805 | 0,135 | 33 | 1,329 | 1,6647 | 35,590 |
| 32 | 0,912 | 1,1729 | 0,274 | 47 | 0,436 | 1,0778 | 0,122 | 37 | 0,988 | 3,0825 | 36,126 |
| 53 | 0,774 | -2,9463 | 0,248 | 57 | 0,439 | -0,7882 | 0,134 | 48 | 1,145 | -1,1204 | 35,946 |
| 65 | 0,631 | 1,2667 | 0,241 | 65 | 0,513 | 0,5797 | 0,164 | 57 | 1,554 | 0,0186 | 35,088 |
| 103 | 0,384 | 2,0833 | 0,184 | 76 | 0,474 | 2,3965 | 0,172 | 70 | 1,642 | 0,8181 | 34,643 |
| 142 | 0,770 | 1,4612 | 0,229 | 91 | 0,410 | -2,6837 | 0,159 | 94 | 2,409 | -0,3119 | 31,397 |
| 217 | 0,580 | 2,3395 | 0,287 | 135 | 0,576 | 0,4162 | 0,166 | 134 | 1,131 | 0,7681 | 32,800 |
| | | | | 196 | 1,207 | 2,5341 | 0,419 | 244 | 4,255 | 3,1069 | 24,521 |
| | | | | 420 | 3,132 | -2,5546 | 0,763 | | | | |

**Tabela 22.** Cykle szerokości słoi dębu (*Quercus petrae*, *Quercus robur*), *Θ* – okres, *b* – amplituda, *c* – przesunięcie fazowe, *R* – współczynnik korelacji

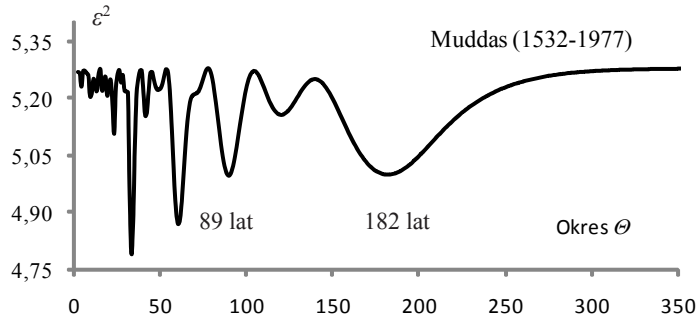
**Table 22.** The cycles of tree ring widths of Sessile oak (*Quercus petraea*, *Quercus robur*), *Θ* – period, *b* – amplitude, *c* – phase delay, R – correlation coefficient

| Ardeny, Belgia *Quercus petraea* 118-1986 | | | | Bodensee, Holandia *Quercus petraea* 1275-1986 | | | | Bourgogne, Francja *Quercus petraea* 681-1991 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Θ | b | c | R | Θ | b | c | R | *Θ* | *b* | *c* | *R* |
| 5 | 0,208 | 2,1236 | 0,040 | 15 | 0,711 | -0,2804 | 0,099 | 32 | 0,499 | -0,1431 | 0,098 |
| 7 | 0,242 | 2,5466 | 0,046 | 18 | 0,665 | 2,1025 | 0,093 | 39 | 0,509 | -0,5554 | 0,107 |
| 9 | 0,244 | -2,2887 | 0,045 | 28 | 0,904 | 1,9545 | 0,122 | 50 | 0,599 | -0,3998 | 0,121 |
| 28 | 0,666 | 2,5096 | 0,119 | 68 | 1,504 | 2,5454 | 0,232 | 63 | 0,801 | -1,1808 | 0,152 |
| 49 | 1,487 | -0,1342 | 0,282 | 87 | 0,621 | 2,9027 | 0,108 | 124 | 0,550 | 0,2477 | 0,165 |
| 69 | 0,824 | -0,9107 | 0,174 | 112 | 1,502 | -0,6093 | 0,248 | 140 | 1,222 | -0,7427 | 0,316 |
| 103 | 1,056 | 2,2678 | 0,211 | 143 | 1,840 | 2,8253 | 0,212 | 165 | 1,580 | -1,5904 | 0,381 |
| 162 | 0,795 | 0,0120 | 0,175 | 197 | 2,594 | 2,7352 | 0,373 | 234 | 1,250 | 1,3144 | 0,285 |
| 258 | 1,481 | -0,7447 | 0,334 | 333 | 4,464 | -2,9926 | 0,577 | 485 | 1,797 | -0,5070 | 0,372 |
| Franche-Comte, Francja *Quercus petraea* 1294-1987 | | | | Hamburg, Niemcy *Quercus robur* 1340-1967 | | | | Shanes Castle,Irlandia *Quercus robur* 1649-1992 | | | |
| 20 | 0,728 | -1,6603 | 0,099 | 12 | 0,546 | 2,1411 | 0,063 | 12 | 0,358 | 2,5629 | 0,083 |
| 29 | 0,746 | -1,5957 | 0,108 | 16 | 0,988 | -2,6670 | 0,111 | 19 | 0,289 | -0,6819 | 0,084 |
| 54 | 1,095 | -0,1071 | 0,151 | 23 | 0,931 | 0,2303 | 0,105 | 22 | 0,524 | -0,4121 | 0,123 |
| 61 | 0,807 | -2,0308 | 0,108 | 34 | 1,061 | -3,0509 | 0,124 | 29 | 0,375 | -1,6499 | 0,106 |
| 67 | 0,500 | -0,9225 | 0,116 | 44 | 1,485 | -2,4237 | 0,176 | 43 | 0,230 | -0,2774 | 0,118 |
| 86 | 0,638 | 2,6671 | 0,119 | 71 | 1,359 | -2,0733 | 0,140 | 51 | 0,608 | -0,3952 | 0,223 |
| 108 | 1,692 | 2,7490 | 0,217 | 89 | 2,178 | -3,0985 | 0,184 | 63 | 1,289 | 1,8307 | 0,399 |
| 141 | 1,027 | 0,6529 | 0,149 | 111 | 2,186 | 2,2242 | 0,265 | 84 | 1,128 | 0,2228 | 0,369 |
| 225 | 1,933 | -1,0610 | 0,395 | 195 | 0,967 | 0,0555 | 0,280 | 145 | 2,047 | 2,1688 | 0,467 |
| 338 | 2,023 | 2,2980 | 0,305 | 353 | 5,474 | 1,5464 | 0,666 | | | | |

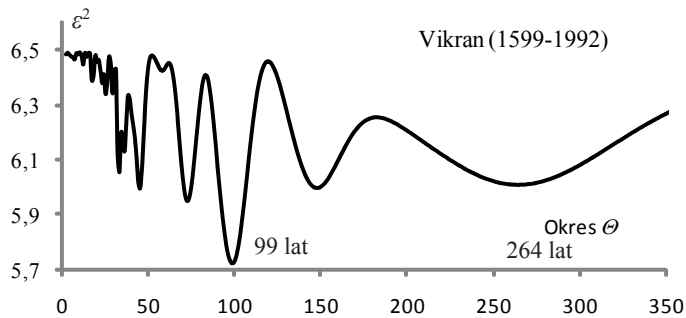



**Rys. 1.** Widmo szerokości słoi sosny (*Pinus sylvestris*) – Kola (1577-1997, Rosja)

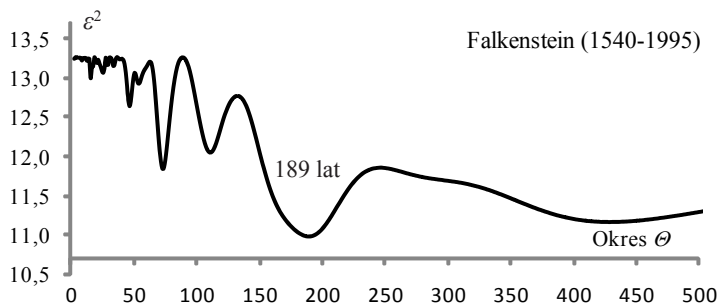
**Fig. 1.** Spectrum of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) – Kola (1577-1997, Russia)



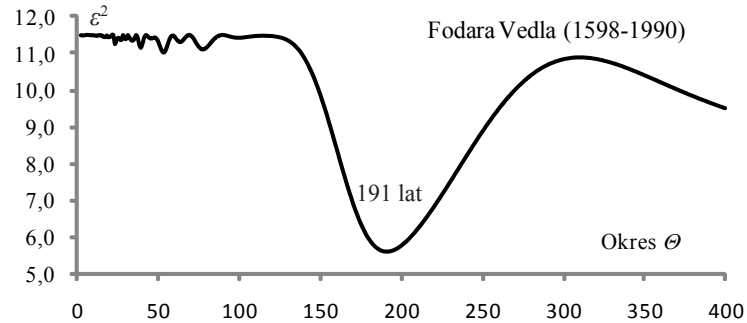

**Rys. 2.** Widmo szerokości słoi sosny (*Pinus sylvestris*) – Muddas (1532-1972, Szwecja)
**Fig. 2.** Spectrum of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) – Muddas (1532-1972, Sweden)



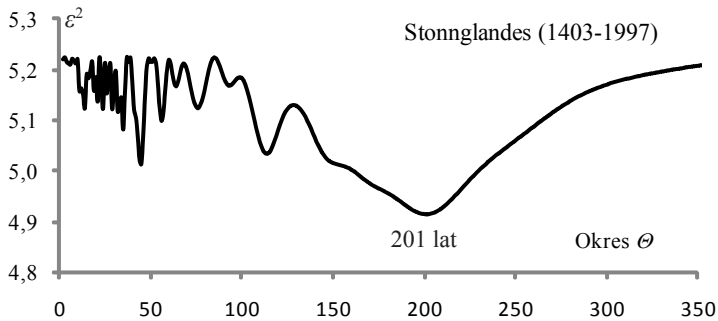

**Rys. 3.** Widmo szerokości słoi sosny (*Pinus sylvestris*) – Vikran (1599-1992, Norwegia)
**Fig. 3.** Spectrum of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) – Vikran (1599-1992, Norway)



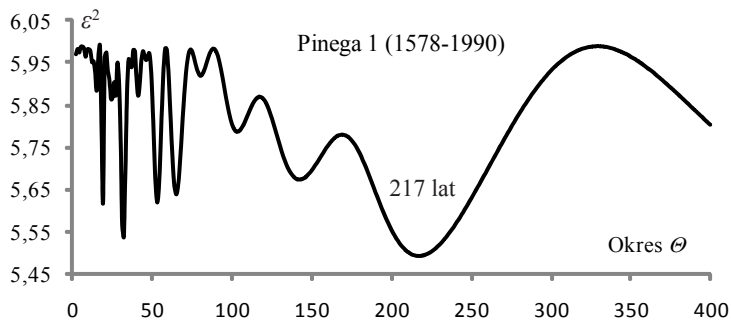

**Rys. 4.** Widmo szerokości słoi świerka (*Picea abies*) – Falkenstein (1540-1995, Niemcy)
**Fig. 4.** Spectrum of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) – Falkenstein (1540-1995, Germany)



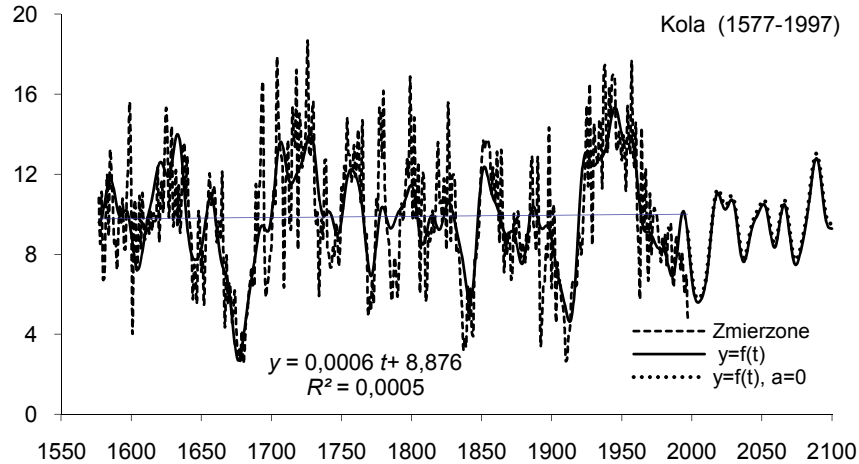

**Rys. 5.** Widmo szerokości słoi świerka (*Picea abies*) – Fodara Vedla (1598-1990, Włochy)
**Fig. 5.** Spectrum of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) – Fodara Vedla (1598-1990, Italia)



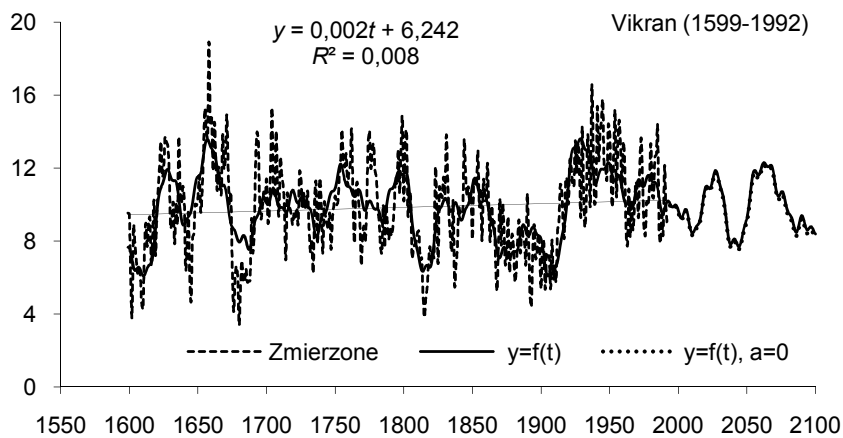

**Rys. 6.** Widmo szerokości słoi świerka (*Picea abies*) – Stonnglandes (1403-1997, Norwegia)
**Fig. 6.** Spectrum of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) – Stonnglandes (1403-1997, Norway)



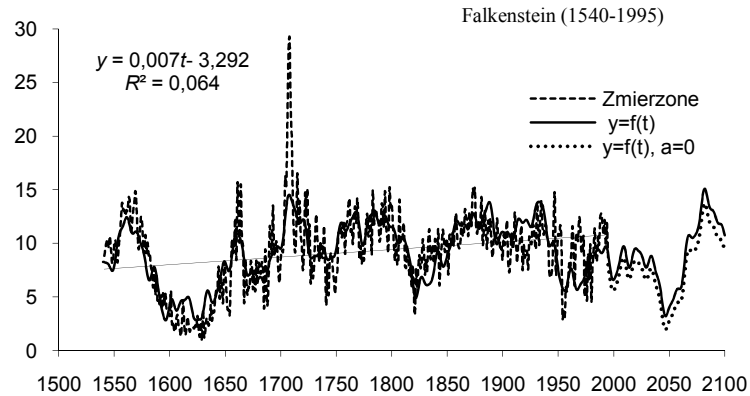

**Rys. 7.** Widmo szerokości słoi modrzewia (*Larix decidua*) – Pinega 1 (1578-1990, Rosja)
**Fig. 7.** Spectrum of tree ring widths of European larch (*Larix decidua*) – Pinega 1 (1578-1990, Russia)



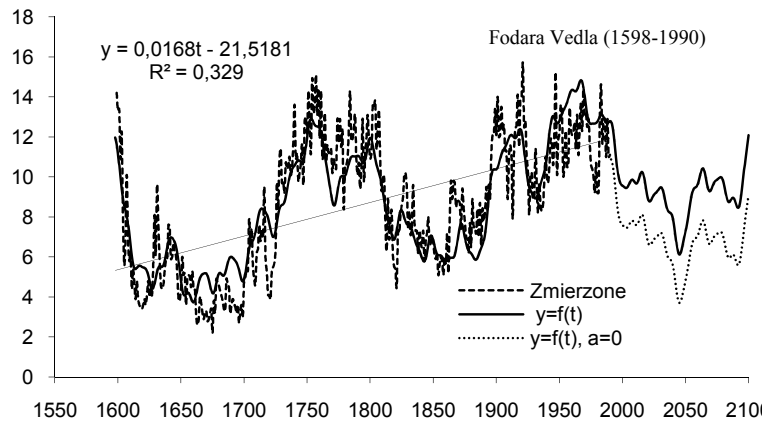

**Rys. 8.** Zmiany szerokości słoi sosny (*Pinus sylvestris*) na Półwyspie Kola (1577-1997, Rosja); *R* – współczynnik korelacji wielokrotnej
**Fig. 8.** Changes of Scots pine (*Pinus sylvestris*) tree ring widths in Kola (1577-1997, Russia); *R* – multiple correlation coefficient



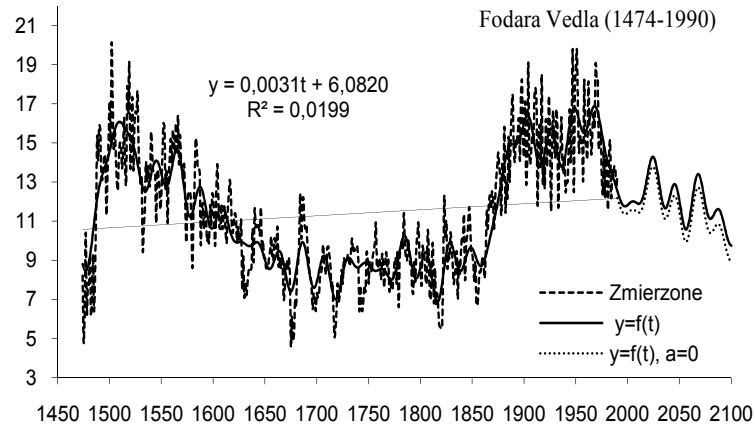

**Rys. 9.** Zmiany szerokości słoi sosny (*Pinus sylvestris*) w Vikran (1599-1992, Norwegia); *R* – współczynnik korelacji wielokrotnej
**Fig. 9.** Changes of Scots pine (*Pinus sylvestris*) tree ring widths in Vikran (1599-1992, Norway); *R* – multiple correlation coefficient




**Rys. 10.** Zmiany szerokości słoi świerka (*Picea abies*) w Falkenstein (1540-1995, Niemcy); *R* – współczynnik korelacji wielokrotnej
**Fig. 10.** Changes of Norway spruce (*Picea abies*) tree ring widths in Falkenstein (1540-1995, Germany); *R* – multiple correlation coefficient

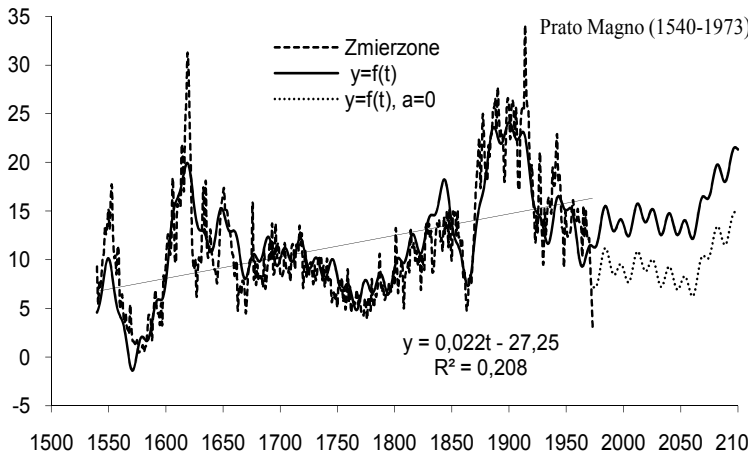



**Rys. 11.** Zmiany szerokości słoi świerka (*Picea abies*) w Fodara Vedla (1598-1990, Włochy); *R* – współczynnik korelacji wielokrotnej
**Fig. 11.** Changes of Norway spruce (*Picea abies*) tree ring widths in Fodara Vedla (1598-1990, Italia); *R* – multiple correlation coefficient



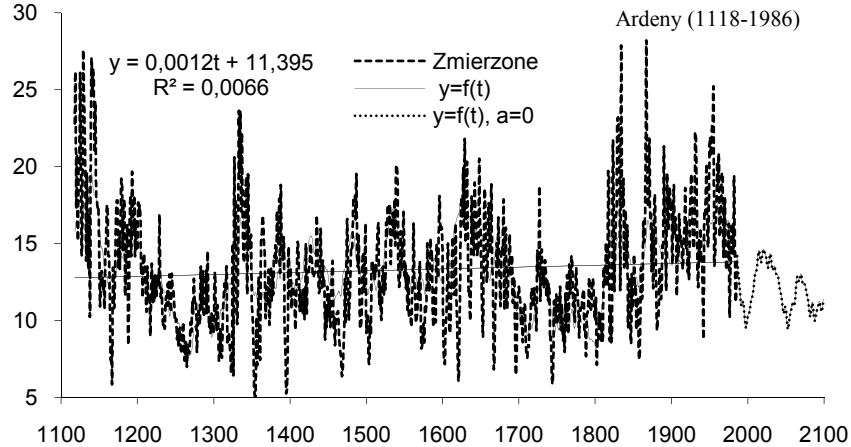

**Rys. 12.** Zmiany szerokości słoi jodły (*Abies alba*) w Fodara Vedla (1474-1990, Włochy); *R* – współczynnik korelacji wielokrotnej

**Fig. 12.** Changes of pine Silver fir (*Abies alba*) tree ring widths in Fodara Vedla (1474-1990, Italia); *R* – multiple correlation coefficient



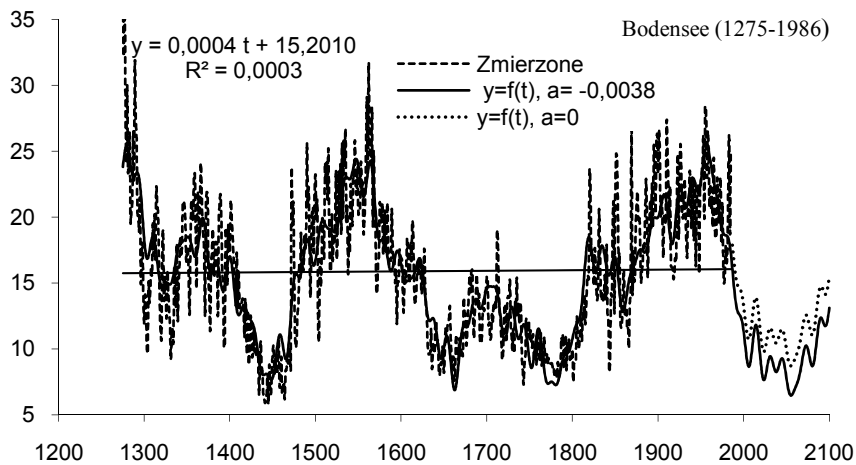

**Rys. 13.** Zmiany szerokości słoi jodły (*Abies alba*) w Prayo Magno (1540-1973, Włochy); *R* – współczynnik korelacji wielokrotnej

**Fig. 13.** Changes of pine Silver fir (*Abies alba*) tree ring widths in Prayo Magno (1540-1973, Italia); *R* – multiple correlation coefficient



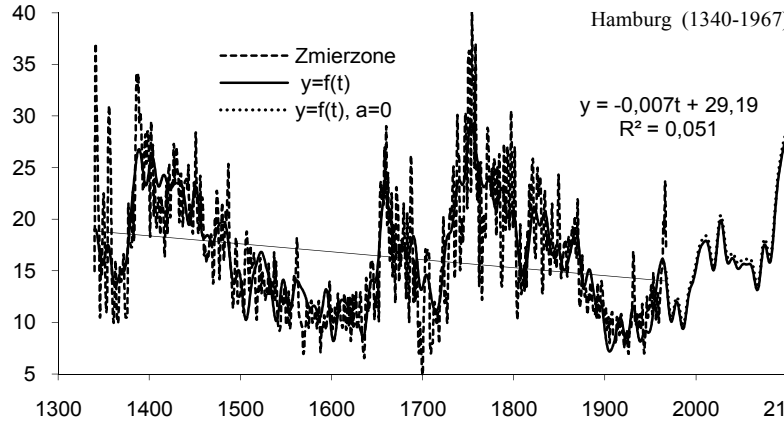

**Rys. 14.** Zmiany szerokości słoi dębu (*Quercus petraea*) w Ardenach (1118-1986, Belgia); *R* – współczynnik korelacji wielokrotnej

**Fig. 14.** Changes of Sessile oak (*Quercus petraea*) tree ring widths in Ardens (1118-1986, Belgium); *R* – multiple correlation coefficient




**Rys. 15.** Zmiany szerokości słoi dębu (*Quercus petraea*) w Bodensee (1275-1986, Holandia); *R* – współczynnik korelacji wielokrotnej

**Fig. 15.** Changes of Sessile oak (*Quercus petraea*) tree ring widths in Bodensee (1275-1986, Holland); *R* – multiple correlation coefficient




**Rys. 16.** Zmiany szerokości słoi dębu (*Quercus robur*) w Hamburgu (1340-1967, Niemcy); *R* – współczynnik korelacji wielokrotnej
**Fig. 16.** Changes of English oak (*Quercus robur*) tree ring widths in Hamburg (1340-1967, Germany); *R* – multiple correlation coefficient

# VI. PROBLEMY BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU*

Jerzy B O R Y C Z K A, Maria S T O P A - B O R Y C Z K A,
Elżbieta B Ł A Ż E K, Jan S K R Z Y P C Z U K

Współczesne zmiany klimatu są jednym z ważniejszych problemów badawczych nauk przyrodniczych i społeczno-ekonomicznych. Istotne znaczenie dla ochrony życia na Ziemi ma znajomość tendencji zarówno naturalnych, jak też antropogenicznych zmian klimatu.

Na naturalna zmienność klimatu, wynikająca z przyczyn zewnętrznych (astronomicznych) i wewnętrznych (geologicznych) systemu Ziemia — atmosfera, nakładają się efekty oddziaływań antropogenicznych.

Niepokojące jest systematyczne ocieplenie klimatu Ziemi w ostatnich dwóch stuleciach. Średnia globalna temperatura powietrza w dwudziestym wieku wzrosła o 0,3-0,6°C. Na przykład w Europie przede wszystkim zimy są coraz cieplejsze: w Warszawie (1779-1990) – co 1°C/100 lat, Pradze (1771-1980) – co 0,25°C/l00 lat, Genewie (1768-1980) – co 0,5°C/100 lat, Anglii Środkowej (1859-1973) – co 0,3°C/100 lat (rys. 2). Postępującemu globalnemu ociepleniu klimatu przypisywany jest zwykle wzrost efektu cieplarnianego, wywołanego przez gazy szklarniowe — głównie dwutlenek węgla ($CO_2$). W modelach wg scenariuszy $2xCO_2$ ocenia się, że po podwojeniu stężenia $CO_2$ w atmosferze (względem stanu początkowego 280 ppm) nastąpi wzrost temperatury powietrza o 0,1-4,0°C, w zależności od szerokości geograficznej. Według scenariusza emisji IPCC (1990) przewiduje sic wzrost średniej globalnej temperatury powietrza do 2100 r. o blisko 6°C. Po uwzględnieniu ochładzającego działania aerozoli siarczan owych prognozowany jest mniejszy wzrost temperatury powietrza o 1-2°C w stosunku do 1990 r.

O istnieniu efektu cieplarnianego w atmosferze (wywołanego głównie przez parę wodną i $CO_2$) świadczy równanie bilansu promieniowania słonecznego padającego na oświetloną powierzchnię Ziemi ($\pi R^2$) i długofalowego Ziemi ($4\pi R^2$): $0{,}25(1\text{-}A)s = aT^4$, gdzie $s$ – stała słoneczna, $A$ – albedo Ziemi, $a$ – stała Stefana-Boltzmana. Temperatura planetarna Ziemi $T = 254$ K jest znacznie mniejsza (o 2-4°C) od średniej temperatury wynikającej z pomiarów.

Ze względu na sprzężenie zwrotne miedzy efektem cieplarnianym pary wodnej i temperatury powietrza wzrost stałej słonecznej powoduje dwukrotny przyrost temperatury (Wetherald i Manabe 1975). Zmiany i1oci energii słonecznej dochodzącej do powierzchni Ziemi wynikają zarówno z długookresowych zmian parametrów orbity Ziemi (Milankovicz 1938), jak też zmiennej aktywności Słońca (Kondratiew i Nikolski 1974).

Interesujące są wyniki badań stężenia $CO_2$ i temperatury (wg izotopu deuteru) w ciągu ostatnich 160 000 lat na podstawie rdzeni lodowych na stacji Vostok (WMO 1990; Rys. 1). Zgodność dat dwóch głównych maksimów stężenia $CO_2$ i temperatury (współczesnych i odległych 125 000 lat temu) świadczy, że zawartość dwutlenku węgla w atmosferze może wynikać ze wzrostu temperatury powietrza.

Ocieplenie klimatu 125 000 lat temu było prawdopodobnie spowodowane znacznym wzrostem promieniowania słonecznego (maksimum krzywej Milankovicza ok. 125 000 lat temu). Tak wiec było to naturalne ocieplenie, wynikające z nałożenia się trzech okresów zmian parametrów orbity Ziemi (90 000, 40 000, 21 000 lat). Regulatorem zawarto-

ści $CO_2$ w atmosferze (skorelowanej z temperatura powietrza) są prawdopodobnie wody oceanów. Wzrostowi temperatury powietrza na Ziemi na ogól przypisywane jest podnoszenie sic poziomu oceanów – średnio o 10-25 cm w ciągu ostatniego stulecia. Poziom Morza Bałtyckiego w latach 1811-1990 (w Świnoujściu) wzrasta średnio o 5,7 cm/100 lat (najszybciej jesienią – o 6,8 cm i zimą – o 5,7 cm/100 lat).

W prognozach przewidywany jest dalszy wzrost poziomu oceanów – ekspansja oceanów (objętości wód) ze wzrostem temperatury i topnienie lodowców. Według scenariusza emisji (IPCC 1995) poziom oceanów w roku 2100 podniesie sic o prawie 50 cm (wg prognoz IPCC 1990 – o ponad 65 cm). Prognozuje sic, ze poziom oceanów podniesie sic w roku 2100 o 15 cm – przy minimalnej emisji $CO_2$ i o 95 cm – przy emisji maksymalnej.

Istnieje też ujemne sprzężenie zwrotne wywołane wzrostem zawartości $CO_2$ w atmosferze (efektem cieplarnianym). Ze wzrostem temperatury powietrza wzrasta parowanie wód oceanów, powodując większe zachmurzenie. Zachmurzenie ogranicza dopływ promieniowania słonecznego (bezpośredniego) do powierzchni Ziemi, przeciwdziałając globalnemu ociepleniu.

Dopływ promieniowania słonecznego (bezpośredniego) do powierzchni Ziemi ograniczają pyły emitowane do atmosfery – pochodzenia antropogenicznego i naturalnego (z erupcji wulkanicznych). Pyły zmieniają istotnie bilans radiacyjny, powodując lokalne obniżenia temperatury powietrza.

Tendencja rosnąca temperatury powietrza w XIX-XX wieku może częściowo wynikać z tzw. miejskich wysp ciepła – z coraz większej akumulacji ciepła przez zabudowę i inne powierzchnie sztuczne o małym albedo. Po prostu szare miasta pochłaniają więcej energii słonecznej w dzień niż ich otoczenie (szczególnie w zimie). Miasta, w których znajdują się stacje meteorologiczne, są znacznie cieplejsze (przede wszystkim w nocy) od otaczających terenów. Na przykład różnica temperatury powietrza miedzy śródmieściem Warszawy i peryferiami może osiągać nawet 9,1°C (jak 30.07 i 17.08.1992 r.).

Ciągi czasowe temperatury powietrza w ostatnich stuleciach w Europie świadczą, ze współczesne ocieplenie klimatu może w dużym stopniu wynikać z przyczyn naturalnych. Tendencja rosnąca temperatury powietrza zwłaszcza zima jest po prostu wypadkową nakładających sic cykli naturalnych. Na przykład coraz cieplejsze zimy w Warszawie – o 1,03°C/100 lat w latach 1779-1990 są efektem nałożenia się kilku okresów: 3,5; 5,5; 8,3; 12,9; 18,0; 38,3; 66,7; 113,1; 218,3 lat (rys. 3, 4.). Ich wypadkowa (prosta regresji) wyjaśnia wzrost temperatury powietrza podczas zim o 0,93°C/100 lat. Na zmienność antropogeniczną przypada zaledwie 0,1°C/100 lat. Analogicznie, coraz cieplejsze zimy w Genewie – o 0,5°C/100 lat, Pradze – o 0,25°C/100 lat są efektem nakładania się cyklicznych wahań temperatury powietrza.

Globalne ocieplenie klimatu (w Warszawie w latach 1779-1990 – średnio o 0,67°C/100 lat) może być wywołane wzrostem aktywności Słońca. Aktywność Słońca (liczby Wolfa) w latach 1779-1993 wzrasta średnio o 17,2/ 100 lat (rys. 7.). Wzrosła ona w ostatnich dwóch stuleciach średnio o 34,5, tj. o ponad 50% w stosunku do średniej wartości liczb Wolfa.

Okresowe wahania klimatu (ocieplenia i ochłodzenia) s analogiczne do okresów zmian aktywności Słońca – zbliżonych do okresów planetarnych *P*. (obiegu czterech najwięk-

szych planet i ich wzajemnego położenia): 11,7; 1,8; 13,8; 19,9; 29,5; 35,9; 45,4; 84,0; 164,0; 171,4 lat. Interesujący jest eksperyment po1egający na wyznaczeniu trendu czasowego liczb Wolfa

$$W = a_0 + b_j \sin(2\pi t/P_j + c_j),$$

przy założeniu okresowości planetarnej $P$j, z uwzględnieniem modulacji najkrótszego okresu 11,7 lat przez okresy najdłuższe 84 lat i 171,4 lat. Wypadkowa okresów planetarnych dobrze opisuje zmienność aktywności Słońca (wyniki obserwacji) w latach 1700-1993 (współczynnik korelacji $R = 0{,}8$).

Okresowe wahania temperatury powietrza skorelowane z okresami aktywności Słońca i okresami planetarnymi implikują tezę o chłodzeniu klimatu w przyszłym – XXI stuleciu. Wypadkowa okresów temperatury powietrza w Warszawie podczas zim (rys. 2.) cechuje sic głębokim minimum w latach 2000-2100, kiedy to prognozowane jest kolejne wiekowe minimum aktywności Słońca.

Ochłodzenia klimatu wystąpiły podczas wiekowych minimów plam słonecznych: Maundera (1640-11710) i Daltona (1780-1830). Zauważono (Charvatova, Jestlik 1996), podczas minimów wiekowych aktywności Słońca (co 179 lat) ruch środka masy Układu Słonecznego odbywa sic po innych orbitach (chaotycznych) niż podczas maksimów (po orbitach uporządkowanych). Podobne minimum wiekowe aktywności Słońca (i ochłodzenie klimatu) autorzy ci prognozują w połowie przyszłego stulecia.

Podobnie Sezanow i Malkentin (1996) sugerują, ze anomalne cieple zimy są wywołane specyficznym układem największych planet (Saturn, Neptun, Uran, które znajdują się w koniunkcji ze Slońcem i Ziemią) deformujących heliosferę własnymi polami grawitacyjnymi.

Naturalne wahania klimatu są wywołane głównie zmiennością stałej słonecznej. Zmienia się ona w ciągu roku o ±3,3% w wyniku różnej odległości Ziemi od Słońca: styczeń (147 mm km) – 2,01 cal/cm$^2$min, lipiec (152 mm km) – 1,94 cal/cm$^2$min. Stała słoneczna zależy od aktywności Słońca. Maksymalna jej wartość przypada na przedział 80-100 liczb Wolfa (Kondratiev 1965).

Z wzoru K. Kondratieva i G. Nikolskiego (1970):

$$s = 1{,}903 + 0{,}011 W^{05} - 0{,}0006 W$$

wynika, iż w cyklu 11- letnim stała słoneczna (cal cm$^{-2}$min$^{-1}$) waha się o 2,5%. Ciąg czasowy stałej słonecznej w latach 1700-1993 (otrzymany wg powyższego wzoru) cechuje sic średnią okresowością: 11,1; 34,2; 102,0; 187,8 lat (minima wariancji resztkowej, metoda sinusoid regresji).

Tendencja stałej słonecznej w latach 1700-1993 jest rosnąca i może być przyczyna postępującego ocieplenia klimatu Ziemi.

Zmiany zachodzące na Słońcu są przenoszone na Ziemię nie tylko poprzez stałą słoneczną, ale także przez jonosferę (cyrkulację atmosferyczną).

Znamienne jest, ze minimum absolutne trendu czasowego temperatury powietrza w Europie w ostatnich dwóch stuleciach (1779-1990) przypada na minimum absolutne aktywności Słońca (na najsłabszy cykl 13-letni plam słonecznych 1811-1823) i jednoczenie na maksimum wiekowe aktywności wulkanicznej. Na początku XIX w. wystąpiły wybuchy

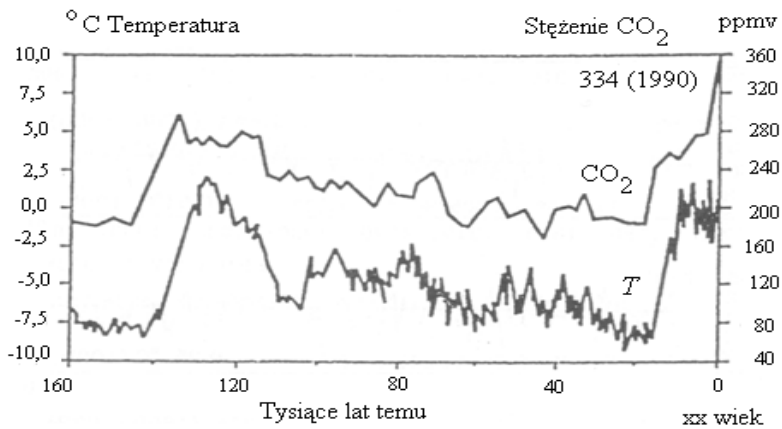
wulkanów o największym wskaźniku zapylenia atmosfery DVI (dust veil index H. Lamba, 1974): Tambora — o DVI 3000 w 1815 r., Coseguina — o DVI=4000 w 1835 r.

Postępujące globalne ocieplenie może też wynikać z tendencji malejącej wskaźnika DVI w latach 1680-1980 i z większych odstępów czasu miedzy kolejnymi wybuchami wulkanów. Na stałą słoneczną ma niewątpliwie wpływ drobny pył, pozostający w stratosferze przez wiele lat.

Okresowość zbliżoną do wiekowej (120 lat) i dwuwiekowej (190 lat), która najbardziej kształtuje współczesne wahania klimatu, występuje również w ciągach czasowych substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych sprzed 10 000 lat (w holocenie).

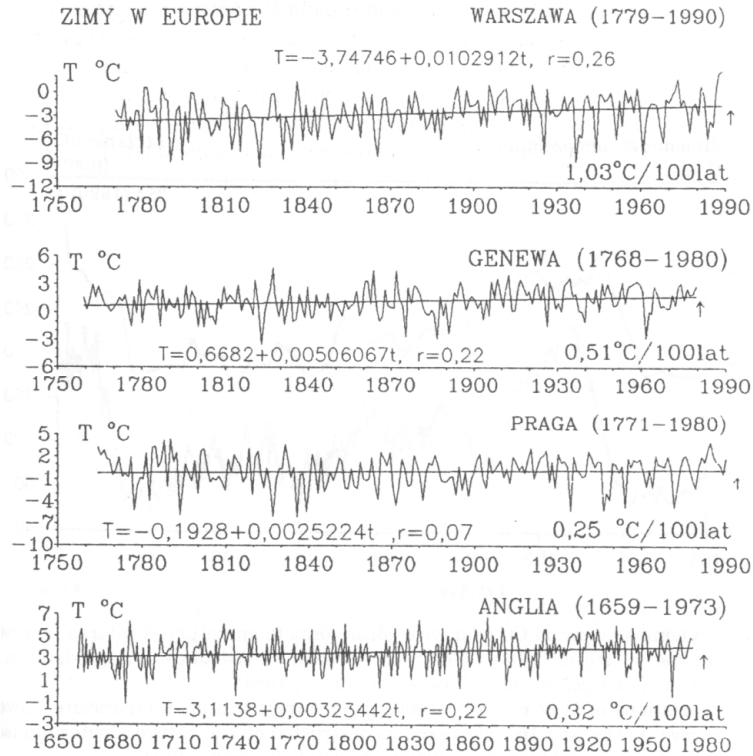
Te długie okresy: temperatury; aktywności Słońca i erupcji wulkanicznych (wiekowy i dwuwiekowy) powtarzają się wielokrotnie w przypadku akumulacji substancji organicznych.

W prognozach zmian klimatu w XXI wieku można pominąć bardzo powolne zmiany, spowodowane długimi okresami wahań parametrów orbity Ziemi (90 000, 40 000, 21 000 lat; Milanković 1938). Można również pominąć najdłuższe holoceńskie cykle klimatu (powyżej 1000 lat), wykryte w ciągach czasowych zdeponowanych substancji organicznych w osadach jezior: Wikaryjskie, Gościąż, Swięte (Boryczka, Wicik 1994). Ich ekstrema (ochłodzenia i ocieplenia) prawdopodobnie będą sic powtarzać, gdyż analogicznej okresowości ulegają parametry Układu Słonecznego. W prognozach nie można jednak zaniechać paruset letnich holoceńskich okresów, które kształtowały klimat Ziemi w ostatnich tysiącleciach. Być może, że współczesne ocieplenie jest efektem nałożenia sic bardzo długiego holoceńskiego cyklu klimatu (jego fazy rosnącej) i zmienności antropogenicznej.



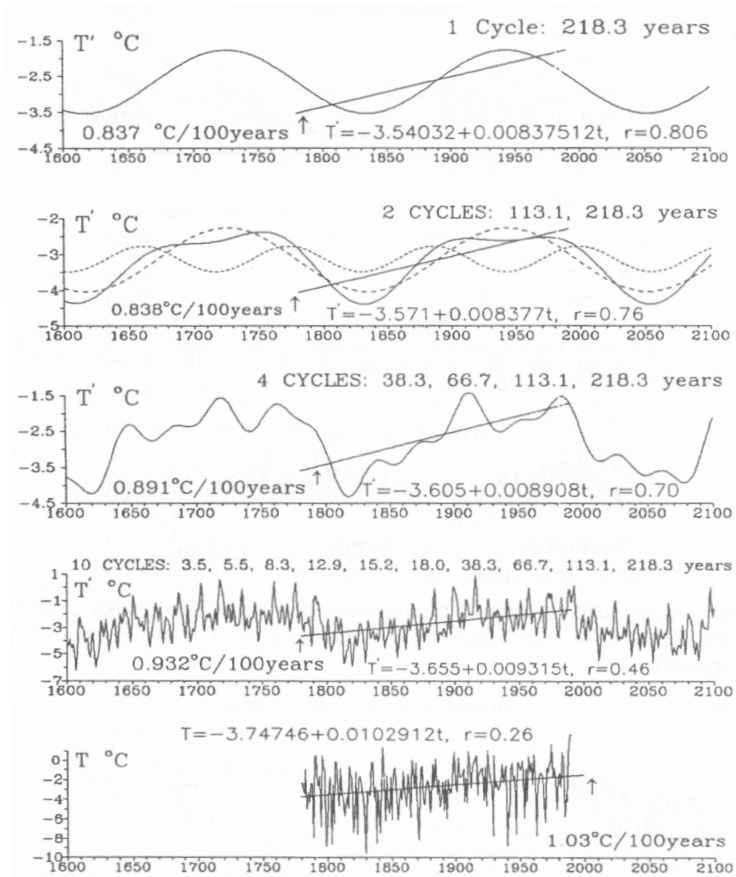

**Rys. 1.** Zmienność stężenia $CO_2$ (krzywa górna) oraz temperatury powietrza (krzywa dolna) w ostatnich 160 000 lat, odtworzona na podstawie izotopu deuteru z rdzeni lodowych na stacji Vostok (za Lorenc, 1994 – Zmieniony)

**Fig. 1.** Variations of $CO_2$ concentration (upper curve) and air temperature (lower curve) in the past 160 000 years, reconstructed on the basis of deuterium isotope form glacial core in the Vostok base (after Lorenc, 1994)



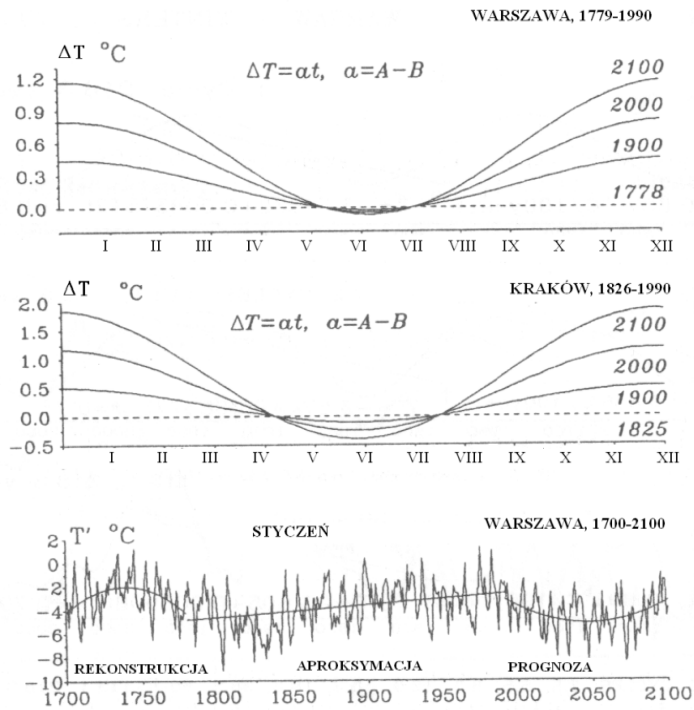

**Rys. 2**. Tendencje rosnące temperatury powietrza w ziemie w Europie: Warszawa (1779-1990) – 01,03°C/100 lat, Genewa (1768-1980) – 00,51°C/l00 lat, Praga (1771-1980) – 0,25°C/100 lat, Anglia Środkowa (1659-1973) – 00,32°C/100 lat

**Fig.2.**The increasing trend of air temperature in winter in Europe: in Warsaw (1779-1990) – by 1,03°C/100 years, in Geneva (1768-1980) – by 0,51°C/100 years, in Prague (1771-1980) – by 0,25°C/100 years and in Middle England (1659-1973) – by 0,32°C/100 years



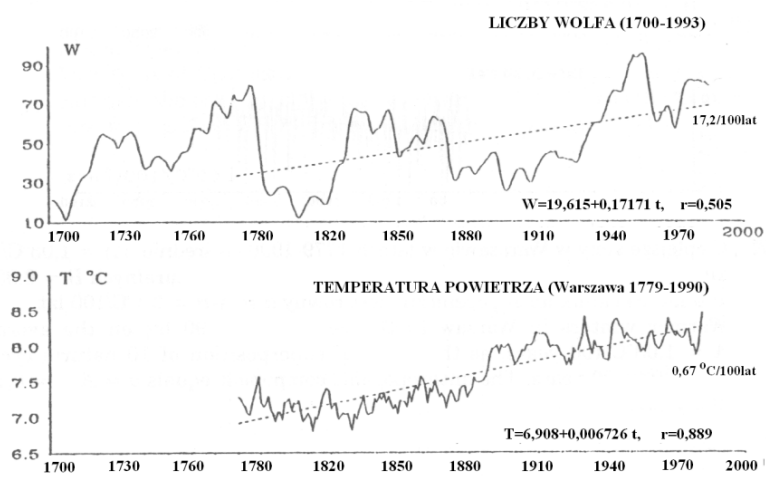

**Rys. 3**. Cieplejsze zimy w Warszawie w latach 1779-1990 – średnio o $A$=1,03°C/100 lat – to efekt nakładania się (superpozycji) 10 cykli naturalnych $B$=0,93°C! 100 lat. Składnik antropogeniczny jest równy a=$A$-$B$=0,1°C/100 lat

**Fig.3**. Warmer winters in Warsaw in the years 1779-1990 by, on the average, $A$=1,03°C/100 years, as the effect of superposition of 10 natural cycles; $B$=O,93°/100 years. The anthropogenic component equals a=A-B=0,1°C/ 100 years



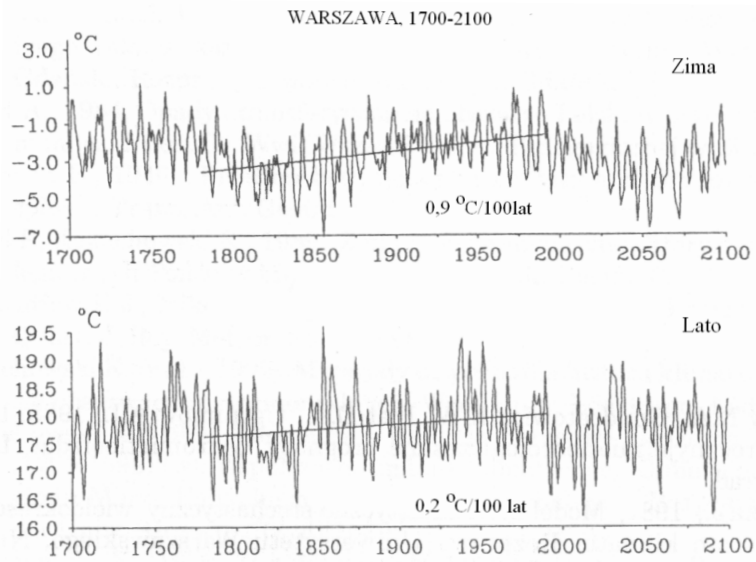

**Rys. 4.** Antropogeniczne przyrosty temperatury powietrza (Δ*T*) w latach 1900, 200, 2100 (Warszaw a, Kraków). Prognoza temperatury w styczniu do roku 2100

**Fig. 4.** Relative antropogenic increments of air temperature (Δ*T*) in the years 1900, 2000, 2100 (Warsaw, Cracow). Forecast of temperature In January until the year 2100

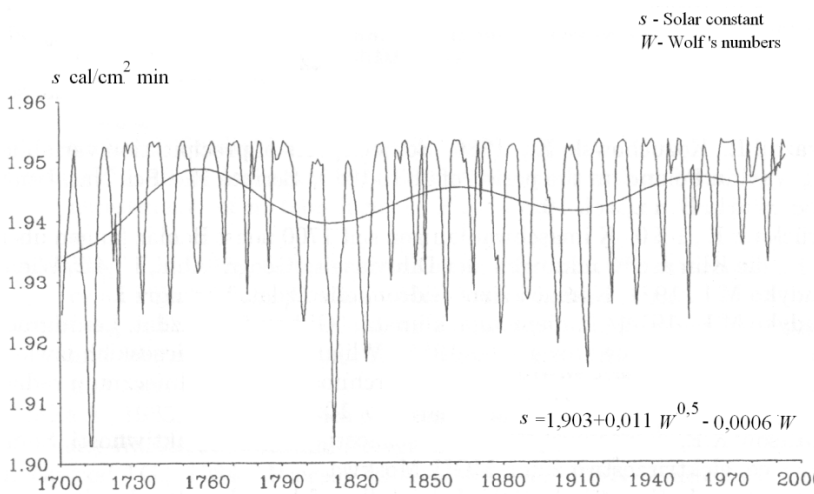



**Rys. 5.** Tendencje wiekowe aktywności Słońca (1700-1993) i temperatury powietrza w Warszawie (1779-1990); średnie konsekutywne 10-letnie)

**Fig. 5.** The tendency of solar activity (1700-1993) and air temperature in Warsaw (1779-1990, consecutive 10 years averages)




**Rys. 6**. Naturalne, okresowe zmiany klimatu w latach 1700-2100 w Warszawie
**Fig. 6**. Natural, periodic climatic changes in Warsaw in the years 1700-2100




**Rys. 7.** Tendencje stalej slonecznej w latach 1700-1993
**Fig. 7.** Tendencies of the solar constant in the years 1700-1993

[*] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* t. XI. *Tendencje wiekowe klimatu miast Europy*, Wyd. UW, Warszawa 1998 (zmieniony rozdział I).

# VII. WSPÓŁCZESNE ZMIANY KLIMATU MIAST EUROPY W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO

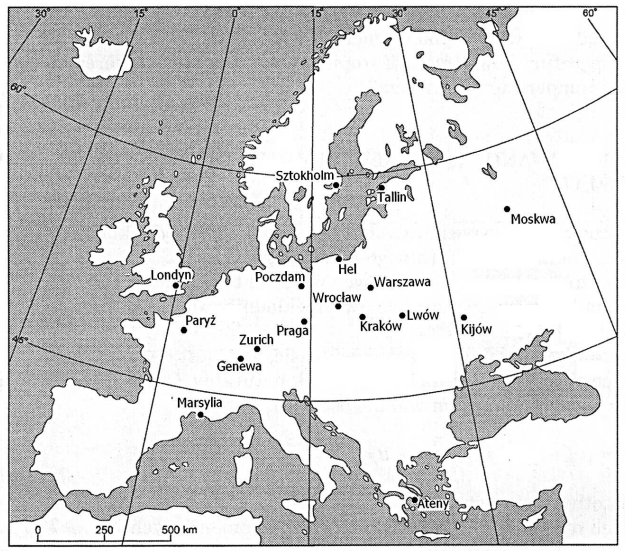
## Wprowadzenie

Celem badań prac magisterskich jest określenie cyklicznych wahań i tendencji zmian temperatury powietrza w Europie w poszczególnych sezonach, półroczach i roku. Jest nim też wykazanie, ze w ostatnich dwóch stuleciach są zbliżone okresowe wahania temperatury powietrza, aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej. Istotne są też porównania tendencji temperatury powietrza i aktywności Słońca, świadczące, iż część postępującego globalnego ocieplenia może wynikać ze wzrostu liczby plam słonecznych w XIX-XX wieku.

Cechy termiczne klimatu miast w strefie umiarkowanej określono na podstawie długich ciągów czasowych temperatury powietrza zmierzonej w kilkunastu miejscowościach Europy Środkowej i Zachodniej. Cyk1iczność i tendencje zmian klimatu badano, wykorzystując ciągi chronologiczne o różnej długości ze stacji meteorologicznych. Współrzędne geograficzne: szerokość ($\varphi$) i długość ($\lambda$) oraz wysokość nad poziomem morza ($H$), a także długość serii pomiarów zestawiono w tabeli 1. Lokalizację punktów pomiarowych temperatury powietrza w Europie przedstawia mapa na rys. 1.

**Tabela 1**.Rozmieszczenie stacji meteorologicznych w Europie
**Table 2.** Location of meteorological stations in Europe

| Miejscowość | $\varphi$° | λ° | $H$ (m) | Lata |
|---|---|---|---|---|
| Warszawa | 52,15 | 20,97 | 108 | 1779-1990 |
| Krakow | 50,08 | 19,98 | 213 | 1820-1990 |
| Wroclaw | 51,13 | 16,98 | 124 | 1851-1980 |
| Anglia Środkowa | 51,47 | -0,32 | 5 | 1659-1974 |
| Ateny | 37,97 | 23,72 | 107 | 1858-2002 |
| Berlin | 52,47 | 13,3 | 58 | 1769-1990 |
| Genewa | 46,20 | 6,15 | 405 | 1768-1980 |
| Kijów | 50,40 | 30,95 | 167 | 1812-2000 |
| Lwów | 49,82 | 23,95 | 323 | 1824-2002 |
| Moskwa | 55,83 | 37,62 | 156 | 1779-2002 |
| Paryż | 48,97 | 2,45 | 65 | 1757-1995 |
| Poczdam | 52,38 | 13,07 | 93 | 1893-1992 |
| Praga | 50,07 | 14,43 | 263 | 1771-1980 |
| Sonblick | 47,25 | 9,35 | 2500 | 1921-1980 |
| Sztokholm | 59,57 | 18,1 | 44 | 1756-1994 |
| Tallin | 59,38 | 24,42 | 34 | 1779-2002 |
| Zurych | 47,38 | 8,57 | 569 | 1864-1980 |




**Rys. 1.** Rozmieszczenie stacji meteorologicznych w Europie
**Fig. 1.** Location of meteorological stations In Europe

Prace magisterskie zawierają oryginalne wyniki badań zmian klimatu w Europie. Rezultaty badań cykliczności i tendencji wiekowych zmian temperatury powietrza, opadów atmosferycznych i innych zmiennych meteorologicznych mogą być wykorzystane w innych naukach przyrodniczych (hydrologia, biologia, geologia), czy też w niektórych działach gospodarki np. w rolnictwie, Ważny jest także aspekt dydaktyczny tj. kształcenie absolwentów w zakresie badań zmian klimatu i ich przyczyn, ochrony środowiska, a także prognozowania na najbliższe lata.

## 7.1. Długookresowe zmiany klimatu miast Europy

### 7.1.1. Wiekowe zmiany temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach 1659-1973

Autor: Jan S K R Z Y P C Z U K
Opiekun naukowy: Jerzy B O R Y C Z K A

Celem pracy jest zbadanie okresowości klimatu na podstawie długiego (ponad trzystuletniego) ciągu obserwacyjnego temperatury powietrza w Środkowej Anglii (1659-1973) – w powiązaniu ze zmianami aktywności Słońca.

#### Materiały źródłowe i metody stosowane przy ich opracowaniu

W pracy wykorzystano serie pomiarowe temperatury powietrza z lat 1659-1973 z Środkowej Anglii, opracowane przez profesora Uniwersytetu Londyńskiego Gordona Manley'a. Wyniki te przytoczono za Kożuchowskim (1990).

G. Manley (1953, 1974) opublikował w 1953 roku pierwotną wersję serii, zawierającą dane z lat 1699-1952. W dwadzieścia lat później została ona przedłużona, zarówno ze względu na znalezienie nowych (starszych) danych i dostosowanie ich do poprzedniej serii. Obecnie obejmuje ona okres ponad 300 lat (1659-1973).

Niejednorodność tej serii polega na tym, że zebrane przez siebie dane o temperaturze powietrza z różnych stacji i różnych okresów autor sprowadził do jednej serii (tabeli), gdzie przedstawił wartości temperatury powietrza od 1659 roku. G. Manley uważał, że wczesne lata tej serii (tj. sześć pierwszych dekad do 1720 roku) należy traktować bardzo ostrożnie.

Autor uzupełniał wiele niepełnych serii innymi bądź danymi z dariuszy opisujących stany pogody. Nieodpowiednie były też ekspozycje instrumentów pomiarowych, nie mówiąc już o czułości ówczesnych termometrów. Także różne godziny wykonywania pomiarów przez różnych obserwatorów nie ułatwiały ujednolicenia danych. Dlatego też obliczone średnie wartości temperatury powietrza dla pierwszych 12 lat zaokrąglone są do 1°C, a następne (od 1720 roku) do 0,5°C.

Podstawą do opracowania tej serii były średnie miesięczne wartości temperatury powietrza z lat 1815-1952, otrzymane na podstawie obserwacji z Obserwatorium Radcliffe'a w Oxford i z Lancashire (skąd wzięto pod uwagę dane z 4-7 stacji, sprowadzone do wspólnego poziomu). Serię z lat 1815-1952 ujednolicono poprzez proste uśrednienie (średnie arytmetyczne) wartości temperatury powietrza z tych dwóch ośrodków (Oxford-Lancashire).

Mimo, że seria Manley'a jest niejednorodna, jako najdłuższy ciąg obserwacyjny temperatury powietrza, jest dobrym materiałem do badań długookresowych zmian temperatury powietrza.

#### Metody badań cyklicznych zmian temperatury powietrza

Cykliczność temperatury powietrza w Środkowej Anglii zbadano stosując metodę J. Boryczki (1984) wyznaczenia optymalnych cykli, przez dopasowanie kolejnych sinusoid regresji do wyników pomiarów (wg najmniejszych kwadratów):

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

gdzie : $\Theta$ – okres, $b$ – amplituda zmian, $c$ – faza. $a_0$ – wyraz wolny.

Okresy optymalne (rzeczywiste) $\Theta$ – to maksyma lokalne widma tj. ciągu wartości współczynnika korelacji $R=(1-\varepsilon^2/s^2)^{0,5}$ (maksima amplitudy $b$). Są to oczywiście minima lokalne wariancji resztkowej $\varepsilon^2=n^{-1}\Sigma\,[y_i-f(t_i)]^2$, gdzie: $s^2=n^{-1}(\Sigma y_i^2)-y_{śr}^2$.

Miarami dokładności empirycznych trendów dla wybranych miesięcy, sezonów, półroczy i roku są, oprócz współczynnika korelacji wielokrotnej $R$, błąd standardowy estymacji $e=n(n-k-1)^{-1}\varepsilon$ i test Fishera-Snedecora $F_{obl}=0,5(n-3)R^2(1-R^2)^{-1}$, o 2 i $n$-3 stopniach swobody. Jeżeli wartość obliczona $F_{obl}$ była większa od krytycznej $F_{kr}$, to uznawano, że $R$ w populacji nie jest równy zero. Wartości $F_{kr.}$ dla badanego ciągu są następujące:

| Poziom istotności ($\alpha$) | $F_{kr}$ |
|---|---|
| 0,10 | 2,33 |
| 0,05 | 3,03 |
| 0,01 | 4,68 |

Ekstrema poszczególnych sinusoid regresji: $t_{min}$ (temperatura minimalna), $t_{max}$ (temperatura maksymalna) można obliczyć z wzorów:

$$t_{min}=(1,5\pi-c)\Theta/2\pi$$
$$t_{max}=(0,5\pi-c)\Theta/2\pi$$

## Okresy rzeczywiste temperatury powietrza w Środkowej Anglii

Okresy $\Theta$, zakres zmian (°C) i fazy cykli temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach (1659-1973) zestawiono w tabelach 1, 2, 3, a widma oscylacji w porach roku, w niektórych miesiącach i roku na rysunkach.1-3,4a, 4b, 5.Otrzymane cykle temperatury powietrza pogrupowano w zależności od długości trwania na 8 przedziałów o długości: 3-8 lat; 9-14 lat; 15-20 lat; 21-28 lat; 29-50 lat; 51-89 lat; 90-110 lat oraz dłuższe od 110 lat. Taki podział ułatwił porównanie tych cykli z okresami rzeczywistymi aktywności Słońca (liczb Wolfa), co posłużyło do określenia wpływu zmian na Słońcu na warunki termiczne Środkowej Anglii.

**Okresy 3-8 lat**

W przedziale najkrótszych cykli temperatury powietrza (3-8 lat) wykryto pięć okresów rzeczywistych. Wśród nich w zimie wystąpił cykl 5-letni, wiosną, i latem 6- letnie, natomiast jesienią, stwierdzono dwa okresy. Jeden o długości 4, a drugi 8 lat. Tylko 6-letni cykl wiosenny jest istotny statystycznie na poziomie ufności 0,05. Jednak związane z nim zmiany temperatury powietrza sa niewielkie, nieco przekraczają 0,3°C. Największą zmiennością charakteryzuje się cykl zimowy (5-letni), w którym zmiany temperatury powietrza dochodzą do 0,5°C. Okres ten nie jest. jednak istotny na żadnym z trzech obranych poziomów istotności.

**Tabela 1.** Okresy $\Theta$ (lata), amplituda $b$ (°C) i fazy ($c$) cykli temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach (1659-1973) ($R$ – współczynnik korelacji, $F_{obl}$ – statystyka Fishera-Snedecora, $\alpha$ – poziom istotności) – Pory roku

| | $\Theta$ | $b$ | $c$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\alpha$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zima | 5 | 0,228 | -2,920 | 0,120 | 2,279 | |
| | 9 | 0,136 | -0,202 | 0,071 | 0,795 | |
| | 11 | 0,153 | 1,240 | 0,080 | 1,012 | |
| | 15 | 0,279 | 2,170 | 0,146 | 3,398 | 0,05 |
| | 18 | 0,210 | -1,250 | 0,109 | 1,876 | |
| | 20 | 0,108 | -2,040 | 0,057 | 0,505 | |
| | 24 | 0,187 | 1,100 | 0,098 | 1,525 | |
| | 27 | 0,130 | 2,320 | 0,068 | 0,714 | |
| | 35 | 0,132 | 1,570 | 0,069 | 0,742 | |
| | 43 | 0,171 | 1,830 | 0,088 | 1,232 | |
| | 53 | 0,160 | 2,130 | 0,083 | 1,090 | |
| | 67 | 0,210 | 2,030 | 0,108 | 1,841 | |
| | 99 | 0,305 | 3,040 | 0,158 | 3,994 | 0,05 |
| | 169 | 0,299 | -1,660 | 0,153 | 3,739 | 0,05 |
| Wiosna | 6 | 0,157 | 0,111 | 0,130 | 2,682 | 0,10 |
| | 9 | 0,126 | 0,429 | 0,104 | 1,706 | |
| | 13 | 0,153 | 1,100 | 0,126 | 2,517 | 0,10 |
| | 15 | 0,134 | 2,480 | 0,110 | 1,911 | |
| | 17 | 0,171 | 2,260 | 0,141 | 3,164 | 0,05 |
| | 23 | 0,300 | 0,459 | 0,248 | 10,223 | 0,01 |
| | 26 | 0,166 | 2,410 | 0,136 | 2,940 | 0,10 |
| | 31 | 0,090 | -1,850 | 0,074 | 0,864 | |
| | 37 | 0,160 | -2,750 | 0,131 | 2,724 | 0,10 |
| | 46 | 0,151 | -1,210 | 0,123 | 2,396 | 0,10 |
| | 58 | 0,148 | 1,310 | 0,121 | 2,318 | |
| | 74 | 0,191 | 2,380 | 0,154 | 3,790 | 0,05 |
| | 103 | 0,274 | 3,130 | 0,224 | 8,241 | 0,01 |
| | 177 | 0,232 | -2,720 | 0,198 | 6,365 | 0,01 |
| Lato | 6 | 0,098 | 1,620 | 0,088 | 1,223 | |
| | 10 | 0,172 | 2,450 | 0,155 | 3,840 | 0,05 |
| | 15 | 0,130 | 2,250 | 0,117 | 2,165 | |
| | 19 | 0,135 | -0,851 | 0,122 | 2,357 | 0,10 |
| | 24 | 0,210 | 1,570 | 0,189 | 5,779 | 0,01 |
| | 33 | 0,168 | -0,685 | 0,151 | 3,640 | 0,05 |
| | 39 | 0,157 | -0,155 | 0,141 | 3,164 | 0,05 |
| | 46 | 0,067 | 0,575 | 0,061 | 0,581 | |
| | 55 | 0,169 | 0,464 | 0,154 | 3,790 | 0,05 |
| | 72 | 0,189 | 2,160 | 0,168 | 4,531 | 0,05 |
| Jesień | 4 | 0,111 | -2,770 | 0,094 | 1,391 | |
| | 8 | 0,116 | 2,360 | 0,098 | 1,510 | |
| | 10 | 0,133 | 1,480 | 0,112 | 1,982 | |
| | 15 | 0,097 | 3,000 | 0,082 | 1,059 | |
| | 24 | 0,184 | 1,880 | 0,156 | 3,891 | 0,05 |
| | 28 | 0,105 | 1,940 | 0,089 | 1,234 | |
| | 34 | 0,110 | 1,180 | 0,094 | 1,388 | |
| | 39 | 0,100 | 0,444 | 0,085 | 1,133 | |
| | 48 | 0,134 | -0,044 | 0,113 | 2,018 | |
| | 59 | 0,222 | 1,360 | 0,187 | 5,653 | 0,01 |
| | 76 | 0,273 | 2,060 | 0,230 | 8,713 | 0,01 |

**Tabela 2.** Okres $\Theta$ (lata), amplituda $b$ (°C) i fazy $c$ cykli temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach (1659-1973) ($R$ – współczynnik korelacji, $F_{obl}$ – statystyka Fishera-Snedecora, $\alpha$ – poziom istotności) – Styczeń, Lipiec

| Miesiące | $\Theta$ | $b$ | $c$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\alpha$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Styczeń | 5 | 0,269 | 2,530 | 0,095 | 1,427 | |
| | 9 | 0,233 | -2,280 | 0,082 | 1,061 | |
| | 14 | 0,315 | -1,090 | 0,111 | 1,946 | |
| | 17 | 0,259 | -1,460 | 0,092 | 1,323 | |
| | 21 | 0,160 | 2,380 | 0,057 | 0,050 | |
| | 24 | 0,274 | 1,260 | 0,097 | 1,485 | |
| | 28 | 0,279 | -2,450 | 0,099 | 1,554 | |
| | 42 | 0,225 | -0,249 | 0,079 | 0,987 | |
| | 62 | 0,381 | 0,198 | 0,134 | 2,852 | 0,10 |
| | 95 | 0,256 | 2,740 | 0,090 | 1,265 | |
| | 191 | 0,503 | -0,603 | 0,165 | 4,366 | 0,05 |
| Lipiec | 6 | 0,115 | 0,552 | 0,073 | 0,840 | 0,10 |
| | 10 | 0,115 | 0,552 | 0,073 | 0,840 | 0,10 |
| | 13 | 0,192 | 1,940 | 0,122 | 2,357 | 0,05 |
| | 15 | 0,203 | -1,810 | 0,129 | 2,640 | |
| | 17 | 0,223 | 1,720 | 0,142 | 3,210 | 0,01 |
| | 25 | 0,158 | -0,753 | 0,100 | 1,576 | |
| | 28 | 0,306 | 2,990 | 0,194 | 6,101 | |
| | 32 | 0,167 | -1,470 | 0,105 | 1,739 | 0,10 |
| | 39 | 0,204 | -0,293 | 0,129 | 2,640 | 0,10 |
| | 55 | 0,124 | 0,640 | 0,080 | 1,010 | |
| | 72 | 0,168 | 2,100 | 0,105 | 1,739 | |
| | 99 | 0,101 | 2,020 | 0,063 | 0,628 | |
| | 163 | 0,196 | -2,730 | 0,127 | 2,557 | 0,10 |

**Tabela 3.** Okres $\Theta$ (lata), amplituda $b$ (°C) i fazy $c$ cykli temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach (1659-1973) ($R$ – współczynnik korelacji, $F_{obl}$ – statystyka Fishera-Snedecora, $\alpha$ – poziom istotności) – Rok

| | $\Theta$ | $b$ | $c$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\alpha$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Rok | 4 | 0,083 | -2,930 | 0,094 | 1,406 | |
| | 6 | 0,081 | 0,647 | 0,092 | 1,343 | |
| | 9 | 0,062 | 0,127 | 0,071 | 0,786 | |
| | 11 | 0,076 | 1,260 | 0,087 | 1,179 | |
| | 15 | 0,158 | 2,470 | 0,180 | 5,224 | 0,01 |
| | 18 | 0,095 | -1,160 | 0,108 | 1,841 | |
| | 24 | 0,207 | 1,610 | 0,236 | 9,201 | 0,01 |
| | 27 | 0,060 | 2,600 | 0,067 | 0,710 | |
| | 35 | 0,103 | 1,850 | 0,117 | 2,165 | |
| | 48 | 0,076 | -0,236 | 0,086 | 1,154 | |
| | 58 | 0,110 | 1,190 | 0,125 | 2,476 | 0,10 |
| | 73 | 0,174 | 2,190 | 0,195 | 6,166 | 0,01 |
| | 103 | 0,254 | 3,090 | 0,287 | 14,003 | 0,01 |
| | 177 | 0,198 | -2,170 | 0,234 | 9,037 | 0,01 |

**Okresy 9-14 lat**

W kolejnym przedziale długości cykli rzeczywistych, trwających od 9 do 14 lat, wykryto w Środkowej Anglii sześć okresów rzeczywistych temperatury powietrza. Są, to po dwa okresy zimowe (9- i 11-letni) i wiosenne (9 i 13-letni) oraz po jednym w lecie i jesieni,, oba trwające 10 lat. Największe zmiany temperatury powietrza występują w cyklu 10- letnim (lato), przekraczają. one 0,3°C, przy poziomie ufności 95 %. Wzór opisujący ten cykl ma postać:

$$y = a_0 + 0{,}171\sin(2\pi t/10 - 2{,}450)$$

Drugim okresem w tym przedziale istotnym statystycznie (na poziomie ufności 90%) jest cykl wiosenny trwający 13 lat. Pozostałe okresy, pomimo że charakteryzuje Je podobny zakres wahań, nie są, istotne statystycznie na żadnym z tych trzech poziomów istotności.

**Okresy 15-20 lat**

Następnych osiem okresów rzeczywistych wykryto w przedziale 15-20 lat. W zimie wystąpiły trzy z nich (15-, 18- i 20- letni), wiosną – 15- i 17-letni, dwa kolejne cykle letnie miały długości odpowiednio 15 i 19 lat, a ostatni jesienny trwa 15 lat. Dwa z nich (15-letni zimowy i 17-letni wiosenny) są istotne na poziomie 0,05, a letni cykl 19-letni na 0,10. Okresem rzeczywistym w zimie o największej zmienności warunków termicznych jest cykl opisany równaniem:

$$y = a_0 + 0{,}279\sin(2\pi t/15 - 2{,}170)$$

Zmiany temperatury wystpujące w nim dochodzą, do 0,6°C, a w pozostałych cyklach wahania nie przekraczają 0,4°C. Wyjątek stanowi 18-letni cykl zimowy, w którym zmiany temperatury powietrza oscylują ok. 0,4°C, lecz nie jest on istotny statystycznie, nawet na najniższym poziomie ufności.

**Okresy 21-28 lat**

W przedziale dugości trwania okresów rzeczywistych 21-28 lat stwierdzono siedem cykli temperatury powietrza. Cztery z nich sa istotne statystycznie; 23-letni – wiosną, 24-letni – latem i jesienią, oraz 26-letni – wiosną. Największe zmiany temperatury powietrza wystąpiły w cyklu wiosennym o długości 23 lat i wyniosły 0,6°C. Cykl ten istotny na poziomie ufnoci 99% opisuje równanie siniusoidy regresji:

$$y = a_0 + 0{,}300\sin(2\pi t/23 + 0{,}459)$$

Pozostałe trzy istotne statystycznie okresy rzeczywiste w tym przedziale cechują, się podobną zmiennością termiczną – ok. 0,4°C.

**Okresy 29-50 lat**

Najwięcej, bo aż jedenaście cykli rzeczywistych wystapiIo w przedziale o długości 29-50 lat. Dwa z nich stwierdzono w zimie (35- i 43-letni), a w pozostałych sezonach po trzy: wiosną (31-, 37- i 46-letni), w lecie (33-, 39- i 46- letni) oraz jesienia, (34-, 39- i 48-letni). Okresy występujące w tym przedziale charakteryzują się niewielką zmiennością temperatury powietrza, maksymalnie wahającą się w pobliżu 0,3°C. Największe zmiany związane są z czterema cyklami istotnymi statystycznie: 37- i 46-letnim wiosną, istotnym na poziomie ufnoci 90% oraz 33- i 39-letnim w lecie, istotnym w 95%.

**Okresy 51-89 lat**

Kolejne osiem cykli stwierdzono w przedziale długości trwania okresów rzeczywistych od 51 do 89 lat (po dwa w każd ym sezonie). Pięć z nich jest istotnych statystycznie na poziomie ufności co najmniej 95%, w tym dwa na poziomie 99%. Te cykle charakteryzują się największymi wahaniami temperatury powietrza, a szczególnie 76-letni cykl jesienny, w którym zmiany temperatury przekroczyły 0,5°C. Równanie opisujące go ma postać:

$$y = a_0 + 0{,}273\sin(2\pi t/76 + 2{,}060)$$

Pozostałe istotne statystycznie cykle (74-letni wiosenny, 55- i 72-letni, które stwierdzono latem, oraz 59-letni jesienny: wykazują, podobną zmienność termiczną – ok. 0,4°C.

**Okresy 90-110 lat i dłuższe**

Wszystkie cykle stwierdzone w przedziale okołowiekowyrn (po jednym w każdym sezoriie) są istotne statystycznie na jednym z poziomów ufności. Maksymalne zmiany temperatury powietrza cechują cykl jesienny o długości trwania 105 lat. Są to jednocześnie największe zmiany temperatury (dochodzą do 0,7°C) stwierdzone we wszystkich sezonach. Cykl ten, opisany równaniem

$$y = a_0 + 0{,}3433\sin(2\pi t/105 - 3{,}070)$$

jest istotny na poziomie ufności 99% Dużą zmiennością temperatury powietrza charakteryzują się także cykle: 99-letni zimowy – istotny na poziomie ufności 95% oraz 103-letni wiosenny – istotny na poziomie ufności 99% (wahania temperatury dochodzą do 0.6°C. Jedynie z cyklem letnim o długości 10 lat związane są, mniejsze zmiany temperatury (ok. 0,3°C).

W Środkowej Anglii stwierdzono w poszczególnych sezonach tylko dwa okresy rzeczywiste temperatury powietrza dłuższe od 110 lat. Pierwszy z nich – 169-letni cykl zimowy, istotny na poziomie ufności 95% cechują, zmiany temperatury rzędu 0,6°C. Cykl ten opisuje równanie sinusoidy regresji:

$$y = a_0 + 0{,}299\sin(2\pi t/169 - 1{,}680)$$

Najdłuższy jest zaś cykl wiosenny, który trwa 177 lat. Zmiany temperatury powietrza z nim związane są nieco mniejsze niż w cyklu styczniowym (poniżej 0,5°C), chociaż jest on istotny na wyższym poziomie ufności 99%.

## Prognoza zmian temperatury powietrza w Środkowej Anglii do roku 2100

Prognozę zmian temperatury powietrza w Środkowej Anglii wykonano podobnie, jak i ich rekonstrukcję dla stycznia i lipca (tab. 2) oraz dla średnich rocznych wartości temperatury (tab. 3). Zmiany te będą w największym stopniu kształtowane przez następujące cykle rzeczywiste temperatury powietrza: 62-, 95- i 191-letni (styczeń), 25-, 99- i 163-letni (lipiec) oraz 24-, 103- i 177-letni (rok).

Na podstawie prognozowanych ekstremów lokalnych temperatury można określić tendencje zmian tego elementu w XXI wieku.

Koniec XX i początek XXI stulecia powinny charakteryzować się znacznym ochłodzeniem. Następnie aż do lat sześćdziesiątych XXI wieku średnia temperatura stycznia (tab.4) będzie wykazywać tendencje rosnącą, by pod koniec stulecia znowu zacząć spadać.

**Tabela 4**. Prognozy ekstremów lokalnych (maksimów i minimów,°C) temperatury powietrza czasu ich wystąpienia – Styczeń

| Minimum | Rok | Maksimum | Rok |
|---|---|---|---|
| 2,8 | 1974 | 3,5 | 2023 |
| 2,7 | 2008 | 3,5 | 2020 |
| 2,6 | 2011 | 3,4 | 2044 |
| 2,8 | 2069 | | |
| 2,7 | 2070 | | |

Największe zmiany temperatury w lipcu (tab.5) związane są z 25-letnim cyklem rzeczywistym temperatury. W związku z tym na podstawie samych ekstremów lokalnych trudne jest określenie tendencji zmian temperatury powietrza w XXI wieku.

**Tabela 5**. Prognozy ekstremów lokalnych (maksimów i minimów,°C) temperatury powietrza czasu ich wystąpienia – Lipiec

| Minimum | Rok | Maksimum | Rok |
|---|---|---|---|
| 15,6 | 1990 | 16,2 | 1977 |
| 15,8 | 1997 | 16,2 | 2002 |
| 15,7 | 2014 | 16,2 | 2027 |
| 15,6 | 2015 | 16,0 | 2047 |
| 15,6 | 2040 | 16,2 | 2052 |
| 15,6 | 2065 | 16,2 | 2077 |
| 15,6 | 2090 | 16,1 | 2095 |
| 15,8 | 2096 | | |

Ekstrema rocznych wartości temperatury obliczone z równań sinusoid regresji zawiera tabela 6. Na podstawie otrzymanych wyników można przypuszczać, że pod koniec naszego stulecia wystąpi ochłodzenie, które powinno trwać do końca pierwszej dekady XXI wieku.

**Tabela 6**. Prognozy ekstremów lokalnych (maksimów i minimów,°C) temperatury powietrza czasu ich wystąpienia – Rok

| Minimum | Rok | Maksimum | Rok |
|---|---|---|---|
| 8,9 | 1988 | 9,3 | 1976 |
| 8,8 | 1994 | 9,3 | 2000 |
| 8,9 | 2012 | 9,3 | 2024 |
| 8,9 | 2029 | 9,4 | 2035 |
| 8,9 | 2036 | 9,3 | 2048 |
| 8,9 | 2060 | 9,3 | 2072 |
| 8,9 | 2084 | 9,4 | 2096 |
| 8,8 | 2097 | | |

Przedstawione ekstrema temperatury powietrza są zgodne z prognozami J. Boryczki (1993), który przewidywał w Środkowej Anglii, w latach 1970-2010, chłodniejszy okres, podobnie jak cześniej – w latach 1675-1710.

## Zmiany temperatury a aktywność Słońca

W pracy starano się określić wpływ aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej na zmiany temperatury powietrza w Środkowej Anglii. Przedstawiono w nim również nowe teorie omawiające związki solarno-atmosferyczne. Takie ujęcie problemu umożliwiło lepszą interpretację uzyskanych wyników.

Analizując przebieg rocznych wartości liczb Wolfa i temperatury powietrza w Środkowej Anglii stwierdzono (rys. 6), że przez większą część okresu badawczego (1749-1973) korelacja między liczbą plam słonecznych a temperaturą powietrza była dodatnia. Najwyższe wartości średniej rocznej temperatury występowały w pobliżu maksimów rocznych liczby Wolfa, zaś minima temperatury pokrywały się z najniższymi wartościami liczb Wolfa. Między innymi maksimum absolutne temperatury z 1949 roku (10,6°C) wystąpiło w roku największej aktywności Słońca. Stwierdzone zależności nie były stałe, tzn. wystąpiły również okresy, gdy maksimum liczby Wolfa odpowiadało minimum lokalnej temperatury powietrza i odwrotnie. Takie przypadki występowały jednak dużo rzadziej.

Porównano również długość cykli rzeczywistych temperatury powietrza i aktywności Słońca. Z zestawienia tego wynika, że aż połowa okresów rzeczywistych temperatury powietrza w Środkowej Anglii (11-, 28- i 59-letni) ma taką samą długość jak cykle rzeczywiste aktywności Słońca. Wykryte tu zależności potwierdzają związki między temperaturą powietrza na Ziemi i liczbą plam słonecznych. Jednak aby wyjaśnić mechanizm tych związków, powiązano zmiany temperatury powietrza z cyrkulacją atmosferyczną i aktywnością Słońca.

## Zmiany temperatury a cyrkulacja atmosferyczna

W celu zbadania tych związków porównano częstość występowania makrotypów cyrkulacji atmosferycznej w europejsko-atlantyckim sektorze półkuli północnej (wg Wangenheima-Girsa) z liczbą plam słonecznych (10-letnie średnie konsekutywne). Otrzymane wyniki potwierdziły spostrzeżenia niektórych badaczy (np. A.A. Girs 1971), że wraz ze wzrostem wartości liczb Wolfa maleje częstość występowania makrotypu cyrkulacji W, przy jednoczesnym zwiększeniu częstości występowania makrotypu E. Wzrost aktywności Słońca nie powoduje zaś widocznych zmian częstości występowania makrotypu cyrkulacji C. Można jedynie stwierdzić, że na ogół maksimom lokalnym 11-letniego cyklu aktywności Słońca odpowiadały większe częstości występowania makrotypu C, a minimom – mniejsze.

Zbadano także powiązania temperatury powietrza w Środkowej Anglii z częstością występowania poszczególnych makrotypów cyrkulacji atmosferycznej. Otrzymane wyniki pozwalają wyciągnąć wnioski, że wzrost częstości występowania makrotypu cyrkulacji E powodował ocieplenie klimatu – wzrost średnich rocznych wartości temperatury powietrza, podczas gdy w okresach przewagi makrotypu cyrkulacji W występowały spadki temperatury.

Z makrotypem południkowym cyrkulacji atmosferycznej (C) tylko w pewnych okresach temperatura powietrza jest dobrze skorelowana. Na jakość tych powiązań duży

wpływ ma pora roku, w której przeważał ten makrotyp. Wzrost występowania makrotypu cyrkulacji C w lecie powodował ocieplenie tego sezonu, zaś gdy ten makrotyp przeważał zimą, występowały wtedy znaczne spadki temperatury powietrza.

## Podsumowanie

Ponad trzystuletni ciąg obserwacyjny temperatury powietrza pozwolił stwierdzić wiele okresów o zróżnicowanych cechach termicznych. W badaniach tych posłużono się uśrednionymi wartościami temperatury powietrza (10- i 25 letnimi średnimi konsekutywnymi), co bardzo ułatwiło wykrycie w obrębie serii Manley'a okresów o rosnącej i malejącej tendencji zmian temperatury powietrza.

Charakterystyczną cechą było wystąpienie we wszystkich sezonach, miesiącach, i roku okresów z podobną tendencją zmian tego elementu klimatologicznego. Okresy te, różniące się między sobą jedynie wartościami temperatury i amplitudami zmian, miały podobną długość (ekstrema lokalne występowały w tym samym czasie).

Na początku uśrednionej serii pomiarowej zaznaczył się okres spadków wartości temperatury powietrza trwający do lat osiemdziesiątych lub dziewięćdziesiątych XVII wieku (wystąpiły minima absolutne temperatury). Następnie zaznaczył się szybki wzrost wartości temperatury, kończący się w latach trzydziestych lub czterdziestych XVIII stulecia najwyższą wartością temperatury jaka wystąpiła w Środkowej Anglii w XVII, XVIII i XIX wieku.

Począwszy od lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XIX wieku aż do ok. 1950 roku wystąpiło ocieplenie. W połowie XX wieku wystąpiły maksima absolutne dla całego okresu obserwacyjnego. Jedynie w sezonie zimowym i w styczniu maksima te wystąpiły około trzydzieści lat wcześniej. Koniec serii obserwacyjnej cechował się znacznym spadkiem wartości temperatury (tylko zimą i w styczniu rozpoczęło się wtedy kolejne ocieplenie). W sezonie letnim, w lipcu i całym półroczu aż do początków XIX stulecia temperatura powietrza utrzymywała się powyżej średniej wieloletniej. Następnie zaś wahała się w pobliżu tej średniej.

Innym ważnym problemem badawczym, który starano się rozwiązać w pracy, było wyznaczenie cykli rzeczywistych temperatury powietrza w Środkowej Anglii. Tak długa seria pomiarowa pozwoliła wyznaczyć nie tylko okresy o długości do 100 lat, ale także długie (ponad wiekowe). Okresy rzeczywiste wyznaczone metodą J. Boryczki (1984) były pomocne w późniejszej rekonstrukcji i prognozie zmian temperatury powietrza Środkowej Anglii.

Cykle rzeczywiste pogrupowano w zależności od czasu trwania na okresy o długości: 3-8 lat, 9-14 lat, 15-20 lat, 21-28 lat, 29-50 lat, 51-89 lat, 90-110 lat i ponad 110 letnie. W każdym z badanych sezonów, miesięcy i roku stwierdzono po kilkanaście cykli rzeczywistych temperatury powietrza, z których kilka jest istotnych statystycznie na jednym z trzech poziomów ufności – 90%, 95% lub 99%.

Najmniej (dwa) istotne statystycznie okresy rzeczywiste wystąpiły w styczniu, najwięcej zaś (dziesięć) na wiosnę.

Z cyklem styczniowym o długości 191 lat związane były największe zmiany temperatury powietrza (przekraczające 1°C). Także duże zmiany warunków termicznych były związane z cyklem 62-letnim styczniowym, gdzie zmiany dochodziły do 0,8°C. Z kolei

z cyklami rzeczywistymi, które wystąpiły jesienią (105-letnim), związane były nieco mniejsze wahania temperatury powietrza, dochodzące do 0,7°C. Zmiany temperatury ok. 0,6°C cechują 99-letni cykl styczniowy, 23-letni wiosenny oraz cykl 102-letni, który wystąpił w półroczu chłodnym.

Z pozostałymi istotnymi statystycznie okresami rzeczywistymi temperatury powietrza związane są już mniejsze oscylacje tego elementu klimatologicznego. Wahania temperatury w tych okresach nie przekraczają 0,5°C.Największe zmiany temperatury związane były głównie z cyklami długimi (w przedziałach 90-110 lat i ponad 110-letnim), co może potwierdzić największy wpływ długich cykli zmian aktywności Słońca na temperaturę powietrza.

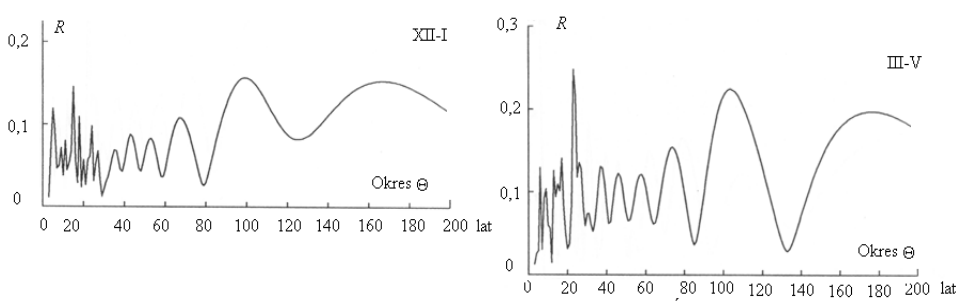
Duża liczba cykli rzeczywistych mieszcząca się w przedziale 9-14 lat: styczeń (9-letni), zima (9- i 11-letni), wiosna (9- i 13 letni), lato i jesień (10-letni), półrocze chłodne i rok (9- i 11-letni) oraz 10-letni w półroczu ciepłym może być potwierdzeniem wpływu 11-letniego cyklu zmian aktywności Słońca na temperaturę powierzchni Ziemi.

Ostatnim problemem analizowanym w pracy była rekonstrukcja zmian temperatury powietrza w Środkowej Anglii od 1500 roku oraz ich prognoza do 2100 roku. Do badania wybrano cykle rzeczywiste temperatury o największych amplitudach (*b*), co pozwoliło wyznaczyć daty wystąpienia i wartości ekstremów lokalnych temperatury przed 1659 i po 1973 roku.

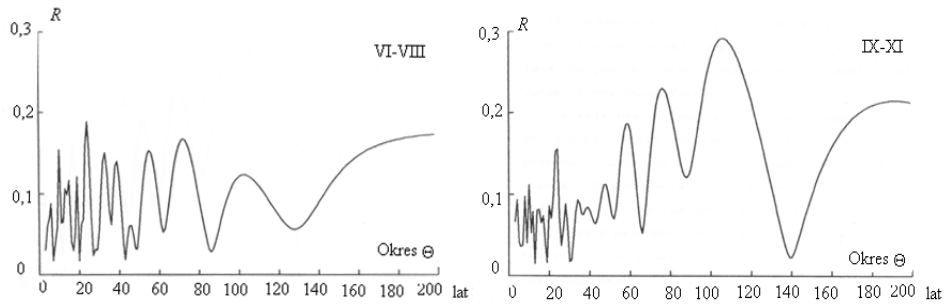
W wykonanej rekonstrukcji minimum absolutne średnich rocznych wartości temperatury powietrza powinno było wystąpić w 1582 roku i być równe 8,8°C, podczas gdy maksimum temperatury wystąpiło w 1530 i 1633 roku i miało wartość 9,4°C.

Z kolei prognoza zmian temperatury do2100 roku pozwoliła wyznaczyć ekstrema lokalne w latach minimum 1994 (8,8°C) i 2097 (8,8°C); maksimum zaś wystąpi w 2035 i 2096 roku i będzie równe 9,4°C.

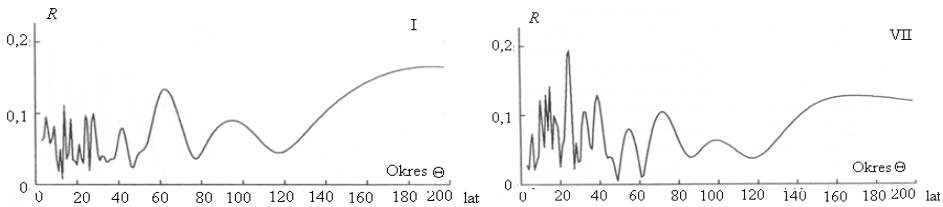
W pracy, oprócz wyznaczenia wiekowych zmian temperatury powietrza w Środkowej Anglii, próbowano również określić przyczyny tych zmian, jest podstawą do rozwijania zagadnień związanych z długookresową zmiennością elementów klimatologicznych na Ziemi. Otrzymane wyniki potwierdzają badania klimatologów i rozszerzają je w zakresie cyklicznych zmian klimatu Anglii.



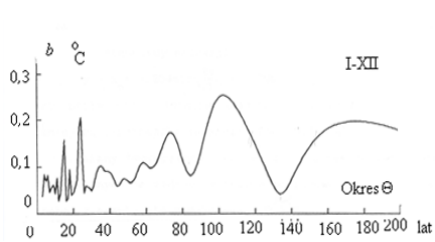

**Rys. 1**. Widmo oscylacji (oscylogram korelacji) temperatury powietrza w Środkowej Anglii (1659-1973) – Zima (XII-I), Wiosna (III-V)



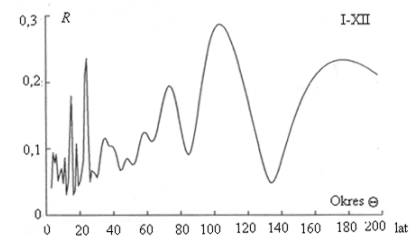

**Rys. 2**. Widma oscylacji (oscylogramy korelacji) temperatury powietrz a w Środkowej Anglii (1659-1973) – Lato (VI-VIII), Jesień (IX-XI)



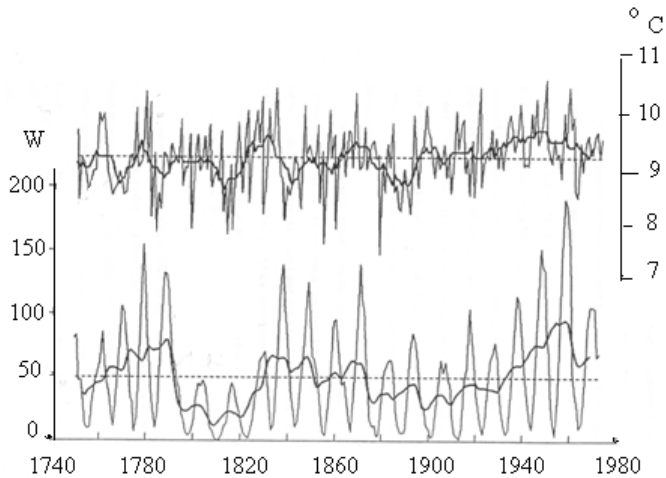

**Rys. 3.** Widma oscylacji (oscylogramy korelacji) temperatury powietrza w Środkowej Anglii (1659-1973) – Styczeń(I), Lipiec (VII)




**Rys. 4 a.** Widmo oscylacji (*b*) (oscylogram korelacji) temperatury powietrza w Środkowej Anglii (1659-1973) – Rok (I-XII)




**Rys. 4 b.** Widmo oscylacji (*R*) (oscylogram korelacji) temperaturaw Środkowej Anglii (1659-1973) – Rok (I-XII)




**Rys. 5.** Średnie roczne i 10-letnie konsekutywne wartości liczb Wolfa i temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach 1659-1973

### 7.1.2. Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Alpach (XIX-XX wiek)

Autor: Małgorzata K I E R Z K O W S K A
Opiekun naukowy: Jerzy B O R Y C Z K A

## Zarys treści

Celem pracy jest określenie prawidłowości w wiekowym przebiegu temperatury powietrza oraz związek jej wahań ze zmianami aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej.

Długookresowe zmiany temperatury powietrza zbadano na przykładzie Genewy w poszczególnych sezonach (wiosna, lato, jesień, zima), półroczach (chłodnym i ciepłym) oraz roku. Podstawą do przeprowadzenia analizy zmian temperatury powietrza są 10-letnie średnie konsekutywne. Zbadano również powiązania zmian temperatury powietrza ze zmianami aktywności Słońca – liczb Wolfa.

Podjęto próbę ustalenia wpływu zmian zachodzących na Słońcu na zmiany cyrkulacji atmosferycznej. Umożliwiło to lepiej wyjaśnić wpływ aktywności Słońca (plam słonecznych) na temperaturę powietrza Ziemi. Dla ustalenia zakresu tych zmian posłużono się katalogiem częstości występowania poszczególnych makrotypów cyrkulacji atmosferycznej w europejsko-atlantyckim sektorze półkuli północnej wg klasyfikacji Wangenheima-Girsa (1971, 1974; za K. Kożuchowskim).

Podjęto próbę, na podstawie najnowszej literatury, przedstawienia mechanizmów oddziaływania, zmiennych astronomicznych (Słońca) na cyrkulację atmosferyczną i temperaturę powietrza.

Ważnym celem pracy jest wyznaczenie cykli rzeczywistych temperatury powietrza dla półroczy i roku. Obliczenia rzeczywistych cykli temperatury powietrza wykonano metodą J. Boryczki (1993) dla Genewy, Zurychu i Saentis, Sonnblick.

Cykle rzeczywiste posłużyły również do dokonania rekonstrukcji i prognozy temperatury powietrza. Przedstawiono zmiany temperatury powietrza w Genewie od 1700 roku do 1768 roku, Saentis od 1800 roku do 1882 roku i Zurychu od 1800 roku do 1863 roku oraz ich prognozę do 2050 roku.

Praca jest jedną z kilku prac magisterskich na temat zmian długotrwałych elementów klimatologicznych wykonanych w Zakładzie Klimatologii INFG Uniwersytetu Warszawskiego.

## Materiały źródłowe i metody ich opracowania

W pracy wykorzystano dane pomiarowe zestawione w rocznikach „World Weather Records" oraz posłużono się materiałami z publikacji J. Boryczki (1993) *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII-XXI wieku* i K. Kożuchowskiego (1990) *Materiały do poznania historii klimatu w okresie obserwacji instrumentalnych*.

Serie pomiarowe, z których pochodzą dane są niejednorodne czasowo. Najdłuższa seria danych pochodzi z Genewy (1768-1980), pozostałe są krótsze Zurych (1864-1980), Saentis (1883-1980) i najkrótsza Sonnblick (1821-1980). Niestety dane są niepełne, brak danych obserwacyjnych z okresu wojennego 1940-1950 ze stacji Zurych, Saentis i Sonnblick. Jedynie dane z Genewy są ciągłe.

Położenie geograficzne tych miejscowości charakteryzują współrzędne geograficzne: $\varphi$ – szerokość geograficzna, $\lambda$ – długość geograficzna i $H$ – wysokość nad poziomem morza:

| Miejscowość | Okres | $\varphi$ | $\lambda$ | $H$ |
|---|---|---|---|---|
| Genewa | 1768-1980 | 46°15'N | 6°8'E | 416 m |
| Saentis | 1883-1980 | 47°15'N | 9°21'E | 2500 m |
| Sonnblick | 1921-1980 | 47°03' N | 12°57'E | 3100 m |
| Zurych | 1864-1980 | 47°23'N | 8°34'E | 569 m |

W rozwiązaniu problemu posłużono się odpowiednimi metodami statystycznymi. Podstawą przy analizie są wartości średnie miesięczne oraz roczne, z których obliczono średnie wartości oraz odchylenie standardowe. Określono lata z ekstremami (wysokimi i niskimi) wartości temperatury i aktywności Słońca oraz przedziały czasowe z większą i mniejszą temperaturą powietrza. W celu wyrównania przebiegu temperatury w Genewie posłużono się metodą 10-letnich średnich konsekutywnych. Stosując metodę J. Boryczki (1993), polegającą na wyznaczaniu rzeczywistych cykli, dopasowując kolejne sinusoidy regresji do wyników pomiarów wg „najmniejszych kwadratów", badano cykliczność temperatury powietrza. Wyznaczono tzw. widmo oscylacji temperatury powietrza – ciąg wartości współczynników korelacji (amplitud) sinusoid regresji:

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

gdzie $\Theta$ – okres; zmieniając okres od 2,1 do 250 lat. Maksima współczynników korelacji, zweryfikowane testem Fishera-Snedecora 2 i $n$ - 3 stopniach swobody – to okresy.

Parametry cykli : okresy ($\Theta$), amplitudy ($b$) i fazy ($c$) temperatury powietrza w: Genewie w latach (1760-1980), Saentis w latach 1883-1980, Sonnblick w latach 1921-1980 i Zurychu w latach 1864-1980w półroczach i roku zestawiono w tabelach 1-4, a widma – na rys. 1-4.

## Mechanizm wpływu zmian zachodzących na Słońcu na zmiany klimatu Ziemi

Wpływem aktywności Słońca na pogodę i klimat Ziemi interesowało się wielu meteorologów i klimatologów już od końca XIX wieku. Wyniki badań niektórych z tych autorów przedstawiono wcześniej. W tym podrozdziale zaprezentowane zostaną niektóre nowsze koncepcje dotyczące mechanizmów transformacji zmian zachodzących na Słońcu na zmiany niektórych elementów meteorologicznych na Ziemi i ich wpływu na klimat.

Dopływ energii od Słońca warunkuje funkcjonowanie ziemskiego systemu klimatycznego. Z tego względu wielu autorów próbowało znaleźć zależności między zmiennymi solarnymi i atmosferycznymi, np. J. Boryczka (1984, 1992 i 1993). Pomimo znalezienia dużych powiązań, (czasem zgodny rytm wskaźników solarno-atmosferycznych obejmuje tylko kilka cykli a w następnych zanika), nie wydaje się, by zmiany aktywności Słońca były jedynie odpowiedzialne za zmiany ziemskiego klimatu.

Wyjaśniając mechanizm wpływu Słońca na atmosferę, a szczególnie jej przyziemne warstwy (w których kształtują się zjawiska pogodowe), stwierdzono, że zmiany stałej

słonecznej nie mogą być powodem zmian wartości elementów klimatologicznych (wahania stałej słonecznej są zbyt małe). Fluktuacje klimatyczne mogą być raczej spowodowane różnymi cechami widma promieniowania falowego oraz właściwościami energetycznymi i elektromagnetycznymi promieniowania korpuskularnego (wiatru słonecznego) – związanego z aktywnością Słońca.

Charakterystycznym efektem aktywności Słońca są plamy słoneczne, widoczne na powierzchni Słońca jako ciemne obiekty otoczone nieco jaśniejszą obwódką. Liczbę plam najlepiej określa formuła podana przez Rudolfa Wolfa:

$$R = k(10q + f)$$

gdzie: $R$ – Liczba Wolfa – stopień „zaplamienia", $q$ – liczba grup plam słonecznych, $f$ – liczba pojedynczych plam niezależnie od ich wielkości, $k$ – współczynnik przeliczeniowy.

Najbardziej znaną właściwością liczb Wolfa jest ich cykliczna zmienność (minima pojawiają się średnio co 11,2 lat). Plamami związane są bardzo silne pola magnetyczne. W obrębie biernych grup plam zawsze jedna jest namagnesowana dodatnio, a druga ujemnie. W ciągu całego 11-letniego cyklu wszystkie plamy na jednej półkuli mają tak samo zorientowane bieguny magnetyczne, a w plamach następnego cyklu biegunowość odwraca się. Cały cykl zmian magnetycznych trwa więc ok. 22 lat.

## Rekonstrukcja i prognoza zmian temperatury powietrza

Do rekonstrukcji i prognozy zmian temperatury powietrza w Genewie, Saentis i Zurychu zastosowano metodę J. Boryczki (1993). Z wyznaczonych okresów rzeczywistych temperatury powietrza w Genewie, Saentis, Zurychu wybrano okresy o największej amplitudzie ($b$) i największym współczynniku korelacji ($R$).

Dla Genewy, ze względu na najdłuższy i pełny ciąg chronologiczny temperatury powietrza, wybrano 15 takich okresów, dla pozostałych stacji 10 okresów. Pozwoliło to, wyznaczyć czas wystąpienia maksimów i minimów lokalnych temperatury, przed i po okresie badawczym. Ekstrema temperatury powietrza obliczone zostały wg wzorów:

$$t_{\min} = (1{,}5\pi - c)\Theta/2\pi;\ t_{\max} = (0{,}5\pi - c)\Theta/2\pi$$

gdzie: $t_{\min}$ – czas wystąpienia temperatury minimalnej, $t_{\max}$ – czas wystąpienia temperatury maksymalnej, $c$ – przesuniecie fazowe, $\Theta$ – okres.

Temperatury ekstremalne wyznaczono z wzorów:

$$T_{\min} = a_0 - b\ ;\ T_{\max} = a_0 + b$$

gdzie: $T_{\min}$ – temperatura minimalna w danym cyklu, $T_{\max}$ – temperatura maksymalna w cyklu, $a_0$ – wyraz wolny, $b$ – amplituda zmian temperatury powietrza.

Zastosowana metoda pozwoliła na wyznaczenie ekstremów lokalnych temperatury powietrza w Genewie od 1700, w Saentis i Zurychu od 1800. Uwzględniając początki poszczególnych serii pomiarowych ($t = 0$) skreślono lata kalendarzowe ekstremów lokalnym temperatury powietrza od roku 2050.

## Prognoza temperatury powietrza w Genewie, Saentis i Zurychu

Prognozę zmian temperatury powietrza dla Alp wykonano na podstawie stacji Genewa, Zurych i Saentis. Zmiany te będą kształtowane przez następujące cykle rzeczywiste: w Genewie – 165,3-letni, 75,8-letni, 40,6-letni, w Saentis – 2,3-letni i 87-letni, w Zurychu – 2,7-letni, 7,7-letni oraz 84,3-letni.

Prognozy ekstremalnych temperatur dla poszczególnych stacji przedstawiają się następująco:

| Genewa | | | | Seantis | | | | Zurych | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $T_{min}$ | Data | $T_{max}$ | Data | $T_{min}$ | Data | $T_{max}$ | Data | $T_{min}$ | Data | $T_{max}$ | Data |
| 9,2 | 1984 | 10,3 | 1989 | -2,7 | 1981 | -1,7 | 1982 | 8,1 | 1981 | 9,0 | 1990 |
| 9,2 | 1993 | 10,3 | 1998 | -2,8 | 1984 | -1,5 | 1999 | 8,3 | 1994 | 9,1 | 2002 |
| 9,1 | 2000 | 10,3 | 2026 | -2,9 | 1986 | -1,6 | 2010 | 8,3 | 2001 | 9,6 | 2014 |
| 8,7 | 2003 | 10,2 | 2029 | -2,9 | 1990 | -1,4 | 2026 | 8,2 | 2006 | 9,5 | 2021 |
| 8,8 | 2006 | 10,2 | 2032 | -2,9 | 1997 | -1,6 | 2036 | 8,2 | 2008 | 9,3 | 2026 |
| 8,8 | 2034 | | | -2,7 | 2011 | -1,4 | 2037 | 8,2 | 2032 | 9,2 | 2043 |
| 8,8 | 2044 | | | | | -1,6 | 2040 | 8,2 | 2040 | | |
| | | | | | | -1,2 | 2042 | 7,9 | 2049 | | |

Na podstawie otrzymanych wyników można przypuszczać, że w Genewie znaczne ochłodzenie wystąpi w latach 1999-2020 oraz w latach 2040-2050. W Zurychu temperatura do 2000 roku będzie utrzymywała się w pobliżu wartości 9,6°C i potem zaznaczy się znaczne ocieplenie do 2030 roku. W Saentis ocieplenie spodziewane jest w połowie pierwszego stulecia XXI wieku.

Wyznaczono również składniki antropogeniczne temperatury powietrza, które są wypadkową przyrostu temperatury powietrza. Prognozuje się, iż antropogeniczne przyrosty temperatury powietrza w roku 2050 wyniosą: Genewa 0,1°C/100 lat, Saentis 0,38°C/100 lat i Zurych 0,056°C/100 lat. Jak widać, przyrosty nie są duże, czyli składnik antropogeniczny na terenie Alp ma znikomy udział w kształtowaniu klimatu.

## Zakończenie

W badaniach wiekowych zmian temperatury powietrza w Genewie posłużono się 10-letnimi średnimi konsekutywnymi wartościami temperatury powietrza. Pozwoliło to na wyznaczenie w ponad 200-letniej serii obserwacyjnej, przedziałów czasu rosnącej i malejącej tendencji temperatury powietrza.

Przebiegi temperatury przedstawione na wykresach średnich od 1769 roku w każdym sezonie, w obu półroczach i roku, cechują się podobną tendencją zmian termicznych różniąc się wartościami temperatury i amplitudami zmian.

W większości badanych przedziałach czasu, w początkowych latach zaznaczył się krótkotrwały wzrost temperatury powietrza, jedynie w sezonie zimowym widoczny jest spadek. W latach dwudziestych XX wieku rozpoczęło się ocieplenie, które trwało do ok. 1950 roku. W tym okresie wzrostu temperatury, w połowie lat czterdziestych nastąpiły maksima absolutne temperatury powietrza. Jedynie w sezonie zimowym i półroczu chłodnym maksima wystąpiły 10 lat później. Pod koniec serii pomiarowej zaznaczył się gwałtowny spadek temperatury powietrza poniżej średniej wieloletniej a zimą i w pierwszym półroczu chłodnym było przeciwnie – temperatura wzrastała.

Sezony wiosenny i letni wykazują podobieństwo przebiegu średniej wartości temperatury powietrza do półrocza ciepłego natomiast półrocze chłodne ma zbliżoną zmienność przebiegu temperatury do sezonu jesiennego. Minima absolutne występują w tym samym czasie.

Średnia wieloletnia temperatura wiosny jest niższa od średniej temperatury jesiennej o 0,4°C. Spowodowane to może być napływem chłodniejszych mas powietrza z północo-zachodu w kwietniu oraz majowymi przymrozkami tzw. "lodowatymi świętymi" związanymi z napływem chłodnego powietrza znad Morza Północnego.

Sezon zimowy charakteryzuje się największymi wahaniami temperatury powietrza, amplitudy przekraczały wartość 2°C. Związane jest to z dużą zmiennością temperatury w grudniu, kiedy to w połowie grudnia rozwija się nad Alpami obszar wysokiego ciśnienia (gwałtowny spadek temperatury w obniżeniach) a pod koniec następuje zmiana cyrkulacji na zachodnią tzw. „Niż Bożego Narodzenia", która niesie z sobą znaczne ocieplenie i odwilże.

W Genewie, Saentis, Sonnblick i Zurychu zostały wyznaczone, krótkie i ponadwiekowe, cykle rzeczywiste zmian temperatury powietrza w półroczach (chłodnym i ciepłym) oraz roku, które były pomocne w późniejszej rekonstrukcji i prognozie zmian temperatury.

Najczęściej powtarza się 11-letni cykl. Wyróżniono go w przebiegu temperatury półrocza chłodnego i roku w Genewie oraz w przebiegu półroczy ciepłych w Saentis i Sonnblick. Natomiast w Zurychu cykl ten występuje w przebiegu temperatury w obu półroczach i roku. Związane z nim zmiany są niewielkie, rzędu 0,1-0,2°C. Również często występują cykle 6-letni i 8-letni, które powodują duże zmiany termiczne w Saentis i Zurychu (ok. 0,7°C).

Największe wahania temperatury powierza związane są głównie z cyklami najdłuższymi i istotnymi statystycznie. W cyklach 75-letnim w Genewie i 76-letnim w Saentis (półrocze ciepłe) wahania temperatury przekroczyły 1°C a w cyklach:202-letnim w Genewie i 127-letnim (w półroczu ciepłym) przewyższały wartość 0,8°C. Zmiany temperatury powietrza powyżej 0,6°C cechuje zwykle 165-letni (w Genewie), 84-letnim (w Zurychu) i 35-letnim (w Saentis). Przytoczone dane potwierdzają największy wpływ długich cykli zmian aktywności Słońca na temperaturę powietrza.

Trzeba zaznaczyć, że w niektórych przypadkach duży wpływ na wahania temperatury miały również krótkie cykle np. 2,7-letni cykl w Zurychu powodował zmiany temperatury powyżej 1°C. Pozostałymi istotnymi statystycznie, okresami rzeczywistymi temperatury powietrza związane są mniejsze oscylacje temperatury, nie przekraczają 0,5°C.Najmniejszy wpływ na zmianę temperatury, miały cykle nieistotne statystycznie na wybranych poziomach ufności 95% i 90%. Występowały dość rzadko i związane były z krótkimi cyklami rzeczywistymi.

Istnieje pewne podobieństwo występowania okresów rzeczywistych temperatury powietrza w Genewie (1768-1980) i Warszawie (1779-1979). Cykle: 202-letni (w Genewie) i 195,17-letni (w Warszawie) osiągają maksymalne wahania temperatury powietrza w badanych okresach (ok. 0,9°C).

Analizując przebieg rocznych wartości liczb Wolfa i temperatury powietrza w Genewie stwierdzono, że przez większą część okresu badawczego (1768-1980) korelacja między tymi elementami była dodatnia. Najwyższe wartości średniej rocznej temperatury wystę-

powały w pobliżu maksimów liczby Wolfa, zaś minima temperatury pokrywały się z najniższymi wartościami liczb Wolfa.

Zależności te nie były stałe. Są przedziały czasu, gdy maksima liczby Wolfa odpowiadają minimum lokalnym temperatury i przeciwnie. Przypadki takie występowały dość rzadko.

W celu określenia związków miedzy typami cyrkulacji atmosferycznej i aktywnością Słońca porównano częstość występowania makrotypów cyrkulacji atmosferycznej w europejsko-atlantyckim sektorze półkuli północnej (wg Wangenheima-Grisa) z liczbą plam słonecznych.

Wraz ze wzrostem liczb Wolfa maleje częstość występowania cyrkulacji zachodniej na korzyść cyrkulacji wschodniej.

Wzrost aktywności Słońca nie wpływa znacząco na zmiany częstości występowania makrotypu południowego cyrkulacji atmosferycznej.

Zbadano również powiązania temperatury powietrza w Genewie z częstością występowania poszczególnych makrotypów cyrkulacji. Wzrost częstości występowania makrotypu cyrkulacji wschodniej powodował ocieplenie klimatu oraz wzrost średniej rocznej temperatury powietrza. Natomiast ze wzrostem makrotypu zachodniego związane były spadki temperatury.

Do prognozy oraz rekonstrukcji temperatury powietrza wybrano cykle rzeczywiste temperatury powietrza o największych amplitudach (*b*). Pozwoliło to, wyznaczyć daty wystąpienia oraz wartości ekstremów lokalnych temperatury przed i po okresie obserwacyjnym w Genewie, Saentis i Zurychu.

W rekonstrukcji minima absolutne średnich rocznych wartości temperatury przypadają w Genewie na rok 1759 (9°C), w Saentis w 1842 roku (-3,3°C) i w Zurychu w roku 1825 (7,9°C). Natomiast maksima temperatury powietrza – w Genewie w 1745 o wartości 10,6°C, w Saentis w 1854 o wartości -1,3°C oraz Zurychu w 1845 o wartości 9,9°C.

Prognoza zmian temperatury do 2050 roku pozwoliła wyznaczyć następujące ekstrema w Genewie: minimum temperatury – 2003 roku o wartości 8,7°C a maksima w latach 1989, 1998, 2026 (10,3°C). W Saentis minima temperatury wystąpią w latach: 1984, 1986, 1990 o wartości -2,9°C, a maksimum wartości -1,2°C prawdopodobnie wystąpi w roku 2042. W Zurychu zaś minimum 7,9°C wystąpi w roku 2049 natomiast maksimum 9,6°C w 2014 roku.

Prognozuje się również wzrost składnika antropogenicznego, który w Genewie wynosi 0,1°C/100 lat, w Saentis 0,38°C/100 lat a w Zurychu 0,56°C/100 lat. Przyrost jest bardzo mały, zwłaszcza w Zurychu, co świadczy o znikomym wpływie tego składnika na zmiany klimatyczne w Alpach.

**Tabela 1**. Okresy (*Θ*), amplitudy (*b*) i fazy (*c*) temperatury powietrza w Genewie w latach (1760-1980), *R* – współczynnik korelacji – Półrocza i rok

| *Θ* | *b* | *c* | *R* | *Θ* | *b* | *c* | *R* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Półrocze chłodne | | | | Rok | | | |
| 5 | 0,125 | 2,962 | 0,093 | 2,4 | 0,110 | -2,199 | 0,113 |
| 8 | 0,084 | 0,619 | 0,062 | 2,9 | 0,086 | -1,634 | 0,089 |
| 11 | 0,115 | 0,656 | 0,086 | 3,1 | 0,170 | -0,183 | 0,175 |
| 13 | 0,202 | 2,044 | 0,150 | 3,4 | 0,126 | -2,736 | 0,130 |
| 15 | 0,219 | -1,887 | 0,164 | 3,9 | 0,154 | 2,332 | 0,159 |
| 18 | 0,146 | -0,565 | 0,109 | 4,2 | 0,069 | 1,688 | 0,071 |
| 20 | 0,196 | -1,422 | 0,126 | 4,4 | 0,109 | -2,104 | 0,112 |
| 22 | 0,172 | -0,383 | 0,127 | 4,7 | 0,091 | 1,003 | 0,093 |
| 26 | 0,229 | 0,724 | 0,171 | 5,1 | 0,089 | -2,361 | 0,091 |
| 31 | 0,161 | 1,691 | 0,119 | 5,5 | 0,132 | 2,583 | 0,136 |
| 41 | 0,210 | -1,424 | 0,157 | 5,7 | 0,096 | -2,335 | 0,099 |
| 57 | 0,129 | 1,883 | 0,095 | 6,0 | 0,118 | 2,525 | 0,122 |
| 93 | 0,182 | 2,433 | 0,131 | 6,3 | 0,142 | -2,421 | 0,043 |
| 202 | 0,428 | 2,515 | 0,314 | 6,7 | 0,101 | -2,773 | 0,104 |
| Półrocze ciepłe | | | | 7,0 | 0,040 | -1,649 | 0,041 |
| *Θ* | *b* | *c* | *R* | 7,4 | 0,182 | -3,125 | 0,187 |
| 6 | 0,166 | 2,784 | 0,141 | 7,8 | 0,181 | -1,894 | 0,186 |
| 10 | 0,107 | -2,073 | 0,091 | 8,9 | 0,117 | 2,430 | 0,120 |
| 14 | 0,176 | -2,924 | 0,150 | 9,3 | 0,118 | -1,050 | 0,120 |
| 17 | 0,077 | -2,638 | 0,066 | 10,3 | 0,174 | -0,535 | 0,178 |
| 21 | 0,173 | -2,148 | 0,149 | 11,2 | 0,108 | 1,579 | 0,111 |
| 24 | 0,124 | -0,931 | 0,105 | 12,0 | 0,072 | 2,178 | 0,074 |
| 31 | 0,279 | 1,259 | 0,238 | 12,9 | 0,166 | 1,991 | 0,170 |
| 40 | 0,391 | -1,781 | 0,332 | 14,0 | 0,112 | -2,924 | 0,115 |
| 53 | 0,295 | -0,500 | 0,252 | 15,2 | 0,106 | -1,809 | 0,109 |
| 75 | 0,515 | -0,574 | 0,432 | 17,4 | 0,090 | -1,370 | 0,092 |
| 140 | 0,379 | 0,744 | 0,316 | 21,7 | 0,118 | -0,857 | 0,121 |
| | | | | 25,7 | 0,152 | 0,478 | 0,158 |
| | | | | 31,1 | 0,215 | 1,496 | 0,220 |
| | | | | 40,6 | 0,301 | -1,539 | 0,309 |
| | | | | 75,8 | 0,295 | -0,383 | 0,300 |
| | | | | 165,3 | 0,341 | 1,590 | 0,340 |

**Tabela 2**. Okresy (*Θ*), amplitudy (*b*) i fazy (*c*) temperatury powietrza w Saentis w latach 1883-1980, *R* – współczynnik korelacji – Półrocza i rok

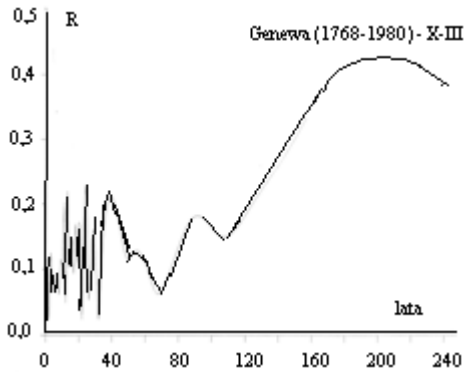
| *Θ* | *b* | *c* | *R* | *Θ* | *b* | *c* | *R* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Półrocze chłodne | | | | Rok | | | |
| 6 | 0,357 | -2,876 | 0,354 | 2,3 | 0,284 | -2,482 | 0,307 |
| 8 | 0,221 | -2,296 | 0,214 | 2,5 | 0,139 | -2,412 | 0,152 |
| 11 | 0,221 | 0,010 | 0,215 | 2,7 | 0,191 | -0,300 | 0,200 |
| 14 | 0,157 | -2,076 | 0,152 | 2,9 | 0,135 | 0,797 | 0,148 |
| 16 | 0,186 | -0,417 | 0,176 | 3,4 | 0,204 | -0,591 | 0,225 |
| 22 | 0,132 | 1,131 | 0,127 | 3,6 | 0,142 | 2,639 | 0,155 |
| 35 | 0,373 | -0,127 | 0,344 | 3,8 | 0,138 | -3,114 | 0,152 |
| 76 | 0,478 | 2,548 | 0,392 | 4,0 | 0,048 | -2,614 | 0,052 |
| Półrocze ciepłe | | | | 4,3 | 0,160 | 2,224 | 0,176 |
| *Θ* | *b* | *c* | *R* | 4,6 | 0,161 | -1,573 | 0,176 |
| 5 | 0,191 | 0,512 | 0,129 | 5,1 | 0,077 | 1,882 | 0,084 |
| 8 | 0,313 | 2,473 | 0,210 | 5,6 | 0,209 | 3,088 | 0,230 |
| 10 | 0,240 | 3,098 | 0,164 | 6,0 | 0,195 | -2,418 | 0,214 |
| 12 | 0,210 | -0,576 | 0,142 | 6,5 | 0,171 | -2,274 | 0,188 |
| 16 | 0,231 | 2,282 | 0,155 | 7,0 | 0,174 | -0,943 | 0,191 |
| 19 | 0,135 | 2,609 | 0,090 | 7,7 | 0,220 | 0,922 | 0,242 |
| 26 | 0,246 | -2,112 | 0,170 | 8,2 | 0,200 | -1,751 | 0,220 |
| 46 | 0,276 | 1,878 | 0,178 | 9,4 | 0,172 | 0,366 | 0,188 |
| | | | | 12,4 | 0,126 | 0,125 | 0,139 |
| | | | | 15,0 | 0,080 | 0,530 | 0,089 |
| | | | | 18,1 | 0,065 | 1,875 | 0,071 |
| | | | | 23,9 | 0,088 | 2,897 | 0,105 |
| | | | | 37,8 | 0,265 | 0,298 | 0,266 |

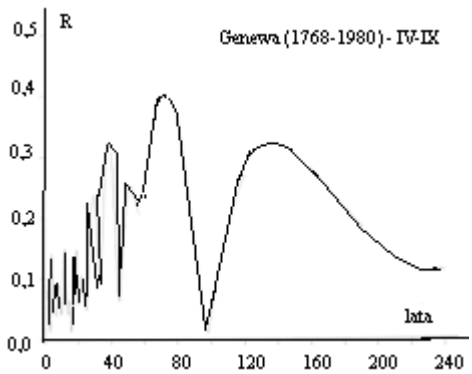
**Tabela 3.** Okresy (*Θ*), amplitudy (*b*) i fazy (*c*) temperatury powietrza w Sonnblick w latach 1921-1980, *R* – współczynnik korelacji – Półrocza i rok

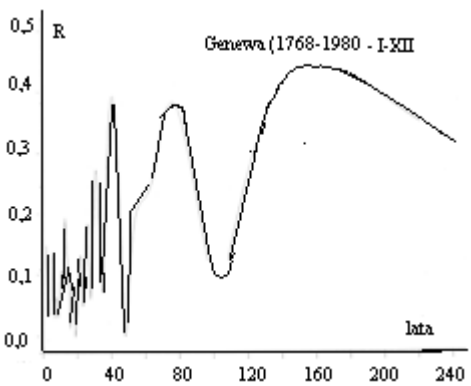
| *Θ* | *b* | *c* | *R* | *Θ* | *b* | *c* | *R* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Półrocze chłodne | | | | Rok | | | |
| 6 | 0,136 | -2,388 | 0,112 | 2,3 | 0,172 | 0,824 | 0,218 |
| 8 | 0,277 | 2,296 | 0,227 | 2,5 | 0,205 | -1,660 | 0,261 |
| 10 | 0,299 | 2,868 | 0,245 | 2,7 | 0,287 | 0,068 | 0,372 |
| 16 | 0,230 | -1,381 | 0,190 | 3,0 | 0,184 | -0,888 | 0,236 |
| 30 | 0,154 | 2,540 | 0,119 | 3,4 | 0,243 | 1,498 | 0,312 |
| Półrocze ciepłe | | | | 3,6 | 0,169 | 0,080 | 0,221 |
| *Θ* | *b* | *c* | *R* | 4,2 | 0,102 | 0,756 | 0,131 |
| 4 | 0,112 | 2,602 | 0,145 | 4,6 | 0,155 | 0,171 | 0,202 |
| 6 | 0,228 | -0,360 | 0,295 | 5,1 | 0,092 | 0,005 | 0,120 |
| 8 | 0,220 | 1,764 | 0,285 | 5,6 | 0,079 | 1,294 | 0,102 |
| 11 | 0,256 | 2,796 | 0,328 | 6,4 | 0,197 | 1,219 | 0,252 |
| 14 | 0,059 | 2,176 | 0,073 | 7,9 | 0,240 | 1,875 | 0,309 |
| 18 | 0,169 | -2,757 | 0,220 | 9,7 | 0,157 | 1,956 | 0,196 |
| 27 | 0,098 | -2,441 | 0,131 | 14,5 | 0,107 | 3,065 | 0,137 |
| | | | | 20,4 | 0,033 | -2,307 | 0,043 |
| | | | | 29,0 | 0,057 | 2,953 | 0,068 |

**Tabela 4**. Okresy ($\Theta$), amplitudy ($b$) i fazy ($c$) temperatury powietrza w Zurychu w latach 1864-1980, $R$ – współczynnik korelacji – Półrocza i rok

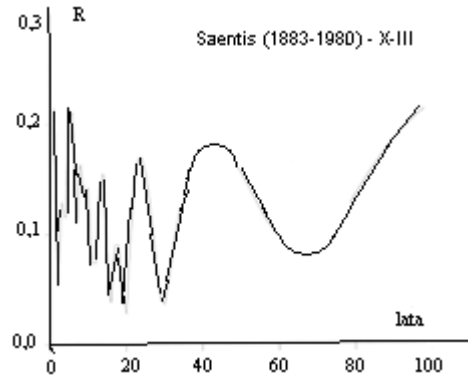
| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $R$ | $\Theta$ | $b$ | $c$ | $R$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Półrocze chłodne | | | | Rok | | | |
| 5 | 0,209 | 2,945 | 0,142 | 2,4 | 0,185 | 1,498 | 0,217 |
| 9 | 0,220 | -1,134 | 0,150 | 2,7 | 0,602 | -0167 | 0,072 |
| 11 | 0,199 | -2,448 | 0,136 | 3,0 | 0,099 | -2,993 | 0,117 |
| 13 | 0,295 | -2,435 | 0,198 | 3,2 | 0,098 | -2,972 | 0,116 |
| 16 | 0,258 | 0,949 | 0,177 | 3,4 | 0,167 | 2,797 | 0,197 |
| 20 | 0,298 | -3,073 | 0,204 | 3,8 | 0,159 | -2,520 | 0,188 |
| 26 | 0,233 | -1,556 | 0,159 | 4,1 | 0,103 | -0,553 | 0,121 |
| 34 | 0,177 | -0,298 | 0,121 | 4,4 | 0,141 | 1,216 | 0,166 |
| 67 | 0,474 | 2,639 | 0,303 | 4,7 | 0,057 | 1,449 | 0,067 |
| 127 | 0,449 | -2,288 | 0,293 | 5,0 | 0,070 | -2,971 | 0,083 |
| Półrocze ciepłe | | | | 5,5 | 0,172 | -1,937 | 0,203 |
| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $R$ | 6,1 | 0,182 | 2,970 | 0,213 |
| 6 | 0,274 | 2,190 | 0,267 | 6,7 | 0,149 | -1,460 | 0,175 |
| 9 | 0,109 | -0,885 | 0,107 | 7,7 | 0,344 | -1,799 | 0,406 |
| 11 | 0,141 | 1,551 | 0,139 | 8,4 | 0,232 | -1,637 | 0,274 |
| 13 | 0,213 | -1,053 | 0,208 | 9,2 | 0,195 | -0,385 | 0,229 |
| 17 | 0,131 | 0,022 | 0,128 | 10,2 | 0,084 | 0,504 | 0,099 |
| 20 | 0,146 | -0,319 | 0,143 | 11,4 | 0,087 | -1,913 | 0,103 |
| 24 | 0,159 | -0,287 | 0,157 | 13,2 | 0,204 | -1,443 | 0,236 |
| 31 | 0,398 | 0,368 | 0,385 | 15,4 | 0,141 | -0,215 | 0,165 |
| 41 | 0,140 | 1,253 | 0,139 | 19,0 | 0,088 | 2,398 | 0,102 |
| 73 | 0,406 | 1,138 | 0,395 | 29,5 | 0,225 | -0,268 | 0,259 |
| | | | | 84,3 | 0,266 | 2,576 | 0,299 |

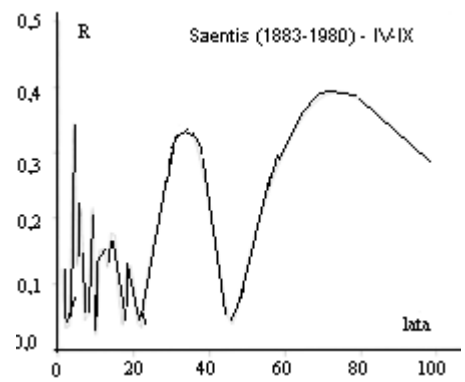


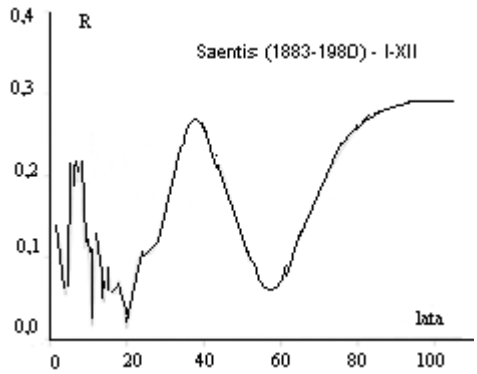



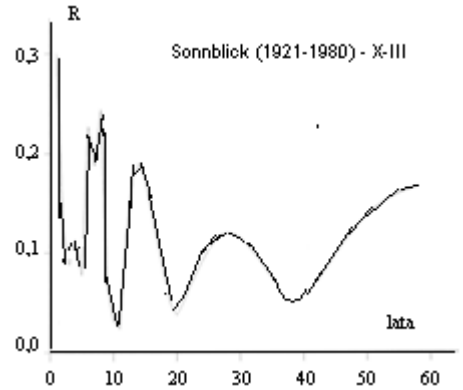

**Rys. 1.** Oscylogramy korelacji (widma) temperatury powietrza w Genewie (1768-1980) – p. chłodne (X-III), p. ciepłe (IV-IX), rok (I-XII)

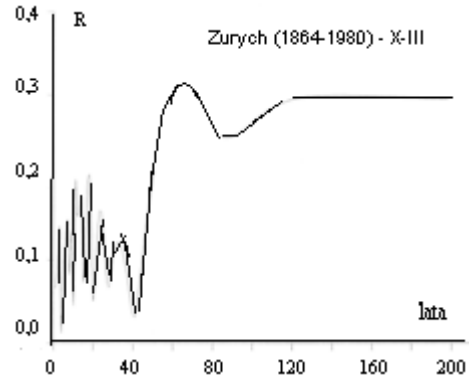


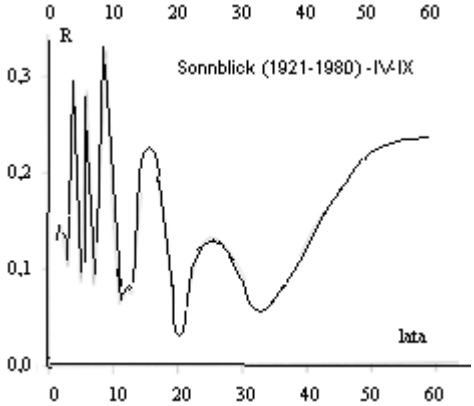



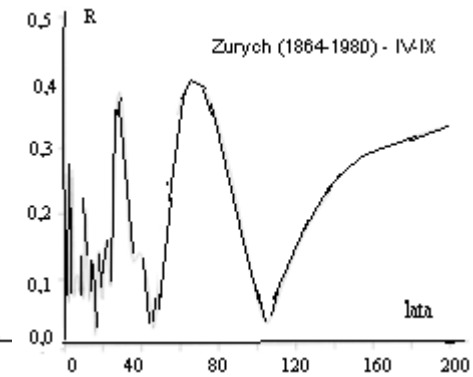



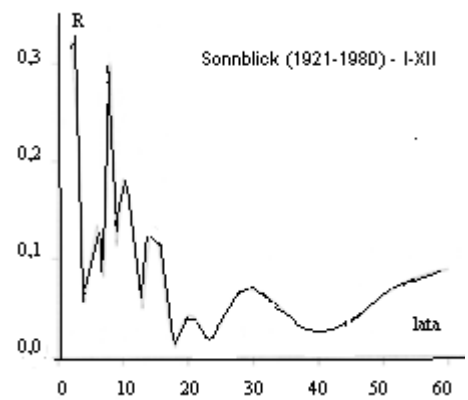

**Rys. 2.** Oscylogramy korelacji (widma) temperatury powietrza w Saentis (1883-1980) –p. chłodne (X-III), p. ciepłe (IV-IX), rok (I-XII)

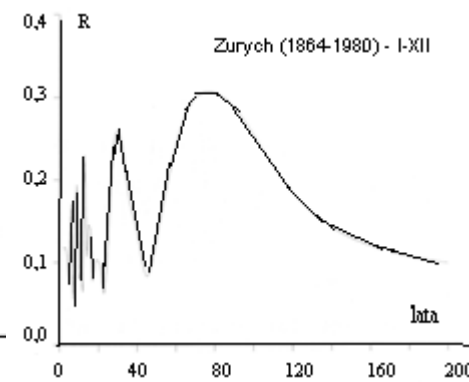



**Rys. 3**. Oscylogramy korelacji (widma) temperatury powietrza w Sonnblick (1921-1980) – p. chłodne (X-III), p. ciepłe (IV-IX), rok (I-XII)

**Rys. 4**. Oscylogramy korelacji (widma) temperatury powietrza w Zurychu (1864-1980) – p. chłodne (X-III), p. ciepłe (IV-IX), rok (I-XII)

### 7.1.3. Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Warszawie i Pradze w latach 1779-1976

Autor: Anna P O R O W S K A
Opiekun naukowy : Jerzy B O R Y C Z K A

## Zarys treści

Najistotniejszym problemem badawczym klimatologii jest poznanie, wyjaśnienie i prognozowanie zmian klimatycznych. Temperatura powietrza jest jednym z ważniejszych elementów charakteryzujących te zmiany.

Celem pracy jest porównanie przebiegu temperatury powietrza w ciągu 198 lat w Warszawie i Pradze oraz powiązanie tych przebiegów z aktywnością Słońca poprzez cyrkulację atmosferyczną. Za miarę aktywności Słońca przyjęto liczby Wolfa.

Liczby Wolfa oraz temperaturę powietrza w Warszawie i Pradze zbadano na podstawie danych z lat 1779-1976. Częstość występowania poszczególnych makrotypów cyrkulacji atmosferycznej (wg klasyfikacji Wangenheima-Girsa) określono na podstawie ciągu chronologicznego z lat 1891-1976. Ta rozbieżność spowodowana jest istnieniem dłuższych cykli obserwacyjnych temperatury powietrza i aktywności słonecznej niż cyrkulacji atmosferycznej. Analizowano cyrkulację atmosferyczną wg klasyfikacji Wangenheima-Girsa, ponieważ odnosi się ona do sektora atlantycko-europejskiego.

Na początku pracy zajęto się analizą wartości średnich miesięcznych i rocznych aktywności Słońca i porównano je z częstością występowania poszczególnych makrotypów cyrkulacji atmosferycznej. W dalszej części opracowania analizowano przebiegi wartości średnich miesięcznych i rocznych temperatury powietrza w Warszawie i Pradze. Porównano przebiegi temperatury powietrza i poszczególnych makrotypów cyrkulacji atmosferycznej (wg klasyfikacji Wangenheima-Girsa). Ponadto poszukiwano cykliczności w przebiegu temperatury powietrza w Warszawie i Pradze.

## Materiały źródłowe i metody ich opracowania

Materiały do tej pracy wzięto z publikacji K. Kożuchowskiego (1990), pt. „*Materiały do poznania historii klimatu w okresie obserwacji instrumentalnych*".

W rozwiązywaniu problemu posłużono się metodami statystycznymi. Podstawę w analizie stanowiły wartości średnie miesięczne i roczne, z których obliczono wartości średnie i odchylenie standardowe. Wartości średnie i odchylenie standardowe pozwoliły określić lata szczególne (z bardzo wysoką lub niską temperaturą, aktywnością Słońca, liczbą dni z poszczególnymi makrotypami cyrkulacji atmosferycznej) oraz przedziały czasowe ze zwiększoną lub zmniejszoną temperaturą powietrza itd. W celu wyrównania przebiegu temperatury powietrza w Warszawie i Pradze wykorzystano metodę średnich konsekutywnych 20-letnich.

Cykliczność w przebiegu temperatury powietrza badano, stosując metodę J. Boryczki sinusoid regresji (1984). Miarą statystyczną, określającą dokładność otrzymanych wyników jest test Fishera-Snedecora.

Ważniejsze wyniki badań przedstawiono w tabelach 1-7 i na rysunkach 1-4.

## Wyznaczenie okresów temperatury powietrza w Warszawie i Pradze

Cykle temperatury powietrza w Warszawie i Pradze wyznaczono metodą sinusoid regresji J. Boryczki (1984), polegającą na dopasowaniu kolejnych sinusoid do wyników pomiarów (wg najmniejszych kwadratów):

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

gdzie $a_0$ – wyraz wolny, $b$ – amplituda zmian, $c$ – faza, $\Theta$ – okres oscylacji.

Miarami dokładności są:

Współczynnik korelacji wielokrotnej $R=(1-\varepsilon^2/s^2)^{0,5}$, gdzie:

$s^2=(n^{-1}\sum y_i^2)-y_{śr}^2$ – jest wariancją zmiennej $y$

$\varepsilon^2=n^{-1}\sum[y_i-f(t_i)]^2$ – jest wariancją resztkową.

Test Fishera-Snedecora: $F_{obl}=0,5(n-3)R^2/(1-R^2)$.

Porównano w nim wartości obliczone $F_{obl}$ z odczytaną z tablic wartością krytyczną ($F_{kr}$) dla 2 i $n-3$ stopni swobody, dla ustalonego z góry poziomu istotności ($\alpha$). Jeżeli $F_{obl}>F_{kr}$, to hipotezę odrzucano, uznając, że współczynnik $R$ w populacji jest różny od zera.

Wartości krytyczna ($F_{kr}$) dla równań, dotyczących miesięcznych i rocznych wartości temperatury powietrza w Warszawie i Pradze wynoszą:

| α | $F_{kr}$ |
|---|---|
| 0,01 | 4,71 |
| 0,05 | 3,04 |
| 0,10 | 2,33 |

Równanie cyklu (sinusoidy regresji) umożliwia wyznaczenie ekstremów (minimów i maksimów) temperatury.

$T_{min}=1778+(1,5\pi-c)\Theta/2\pi$ – temperatura minimalna,

$T_{max}=1778+(0,5\pi-c)\Theta/2\pi$ – temperatura maksymalna.

Okresy $\Theta$, amplitudy $b$ i fazy $c$ cykli średniej rocznej temperatury powietrza w Warszawie i Pradze oraz miary ich dokładności: $R$ – współczynnik korelacji, $F_{obl}$ – statystyka testu Fishera-Snedecora zestawiono w tabelach 2-4.

## Porównanie okresów temperatury powietrza w Warszawie i Pradze w styczniu w latach 1779-1976

W styczniu obserwuje się w Warszawie cykle: 5, 7, 10, 13, 15, 20, 23, 27, 32, 43, i 184-letnie, w Pradze: 6, 10, 13, 16, 20, 23, 26, 31, i 57-letnie (tab. 2). Mamy w tym przypadku pewne zbieżności cykli między Warszawa i Pragą (10, 13, 20 i 23 – letni). Niestety, w obu przypadkach ich istotność statystyczna występuje na poziomie ufności niższej od 90%. Zakres wahań temperatury powietrza jest nieco większy w Warszawie niż w Pradze. Wyjątek stanowi cykl 20-letni. Sytuacja wtedy jest przeciwna. Początek cyklu 10-letniego przypada na ten sam rok. Podobnie, jak w przypadku cyklu: 13, 20, 23-letniego.

Wyróżnić można również w Warszawie i Pradze cykle, których długości są zbliżone do siebie. I tak, w Warszawie mamy cykle: 15, 27, 32 i 64-letni, a w Pradze: 16, 26, 31 i 57-letni.

W styczniu najbardziej istotny w Pradze jest cykl 57-letni. Jego poziom istotności jest mniejszy od 0,10, wywołuje on jednocześnie największe zmiany temperatury powietrza. Równie wysoką amplitudę ma w Warszawie cykl: 10 i 23-letni. W Warszawie w styczniu najistotniejszy statystycznie (poziom ufności 99%) jest cykl 184-letni. Ma on również największą amplitudę zmian temperatury powietrza.

Najmniejsze zmiany w przebiegu temperatury powietrza powoduje cykl w Warszawie 32-letni, a w Pradze 31-letni.

## Zakończenie

W pracy określono cykle w przebiegu temperatury powietrza w Warszawie i w Pradze. Powiązano również temperaturę powietrza z cyrkulacją atmosferyczną i aktywnością Słońca.

Ze zwiększoną liczbą plam słonecznych wiąże się większa częstość występowania cyrkulacji południkowej. Dzieje się to kosztem cyrkulacji wschodniej. Ze wzrostem liczby dni z cyrkulacją południkową wiąże się zazwyczaj większa częstość występowania cyrkulacji zachodniej. Wywiera to wpływ na przebieg temperatury powietrza w badanych miesiącach. Potwierdza się również teoria Suda (1973), że wpływ zwiększonej aktywności Słońca w miesiącach zimowych (styczeń) powoduje zwiększoną liczbę dni z cyrkulacją południkową i zachodnią, kosztem cyrkulacji wschodniej przynosząc ocieplenie. Natomiast w miesiącach letnich (lipiec) występuje ochłodzenie. Wiosną (kwiecień) ze zmniejszeniem się częstości południkowej cyrkulacji atmosferycznej wiąże się wyższa temperatura powietrza. Podobnie jest w przypadku jesieni (październik). W miesiącach wiosenno – jesiennych z południkową cyrkulacją atmosferyczną wiąże się napływ mas powietrza arktycznego, a napływ tych mas powietrznych powoduje występowanie przymrozków. Natomiast z południa i zachodu napływają masy powietrza cyklonalnego, przynosząc pogodę deszczową. Odwrotnie jest w przypadku napływu mas powietrza ze wschodu. Mamy wtedy typ pogody antycyklonalnej.

Z porównania przebiegu temperatury powietrza w Warszawie i Pradze wynika, że w styczniu przebiegi te są bardzo podobne do siebie, ale wahania temperatury powietrza w Pradze są mniejsze. Częściej oscylują wokół średniej. Odwrotnie jest w przypadku lipca. Temperatura lata (lipiec) w Warszawie charakteryzuje się mniejszymi wahaniami, niż w Pradze. Największe różnice w przebiegu temperatury lipca między Warszawą, a Pragą, są na początku i pod koniec badawczego okresu. Natomiast wiosną (kwiecień) i jesienią (październik), występują dużo większe różnice w przebiegu temperatury powietrza między Warszawą, a Pragą. W przypadku jesieni (październik) wystąpiły trudności nie tylko w porównaniu przebiegów czasowych temperatury powietrza, ale i w określeniu cykli o zwiększonej lub zmniejszonej częstości poszczególnych makrotypów cyrkulacji atmosferycznej.

W przebiegu wiekowym rocznych wartości temperatury powietrza w Warszawie następuje systematyczny wzrost, natomiast w Pradze ma on charakter sinusoidalny lub trendu stałego.

W przebiegu temperatury powietrza w Warszawie i w Pradze w styczniu, kwietniu, lipcu, październiku i roku, wyznaczone zostały cykle zmian, przy pomocy których można zrekonstruować i prognozować temperaturę powietrza w Warszawie i Pradze. Cykle te cechują się różnym poziomem istotności. Te o największym poziomie istotności charakteryzują się największymi zmianami w przebiegu temperatury powietrza. Ta prawidłowość występuje we wszystkich badanych miesiącach i w roku. Związane jest to z tym, że cykle w największych amplitudach w przebiegu temperatury powietrza są najbardziej widoczne, ponieważ najtrudniejsze są do zniwelowania poprzez inne czynniki.

Najczęściej powtarza się w obu miastach cykl 5-letni. W Pradze wyróżniono go w przebiegu temperatury stycznia, kwietnia, lipca, października i rocznym, a w Warszawie nie występuje ten cykl jedynie w rocznym przebiegu temperatury powietrza. Notowane są natomiast cykle 4 i 6-letnie. Dość często występuje również w miesięcznych przebiegach temperatury powietrza w Warszawie cykl 7, 13 i 61-letni, a w Pradze 7, 11, 13 i 24-letni. W przypadku Warszawy cykl 61-letni wyróżniono w przebiegu temperatury powietrza w kwietniu, październiku i rocznym. Natomiast w styczniu zbliżony długością do niego jest cykl 64-letni. Podobnie jest w przypadku Pragi, gdzie w przebiegu temperatury powietrza poszczególnych miesięcy notuje się cykle o podobnej długości (kwiecień 75-letni, lipiec 73-letni, październik 76-letni, rok 78-letni).

Najwięcej cykli, cechujących się poziomem ufności powyżej 90% zanotowano w przebiegu temperatury powietrza w kwietniu. Na uwagę zasługuje jeszcze to, że są to przeważnie cykle, występujące jednocześnie w Warszawie i Pradze (7, 13, 15, 17, 24 i 30-letni). Cykle te mają również w obu miastach podobny przebieg w czasie maksimów i minimów. W październiku także, w obu miastach istnieją cykle: 5, 17, 19, 27 i 34-letnie. Mają one również podobny przebieg w czasie, a cykl 5, 27 i 34-letni istotne są na poziomie istotności 0.10. Dodatkowo w Warszawie na tym poziomie ufności są cykle 12 i 97-letni, a w Pradze cykl 11 i 168-letni. W miesiącach letnich (lipiec) i zimowych (styczeń) zmniejsza się liczba cykli istotnych na poziomie ufności powyżej 90%.

I tak, w styczniu w Warszawie jest tylko jeden cykl, spełniający ten warunek. Jest to cykl 184-letni, w Pradze natomiast cykl 57-letni. W przypadku lipca w Warszawie istotny jest cykl 75-letni, a w Pradze cykl 20, 24, 37 i 73-letni. Podobne sytuacja jak w styczniu i lipcu jest w rocznym przebiegu temperatury powietrza. Występują wtedy mniejsze zbieżności w występowaniu cykli w Warszawie i Pradze. W warszawie istotny jest cykl 13 i 90-letni na poziomie istotności 0,10; a w Pradze 14, 36 i 78-letni.

We wszystkich badanych przebiegach temperatury powietrza wyróżniono także cykle, których długości są zbliżone do siebie.

I tak w styczniu w Warszawie mamy cykle: 15, 27, 32 i 64-letni, a w Pradze 16, 26, 31 i 57-letni; w kwietniu w Warszawie cykle 10 i 41-letni, a w Pradze 11 i 40-letni. W przypadku lipca w Warszawie są to cykle 12, 14, 21, 39 i 75-letnie, a w Pradze odpowiednio 11, 13, 20, 37 i 73-letnie. Podobnie jest w październiku i w rocznym przebiegu temperatury powietrza.

Największa zbieżność w występowaniu cykli w przebiegu temperatury powietrza w Warszawie i Pradze jest wiosną (kwiecień) i jesienią (październik). Związane jest to z wędrówką Niżu Genueńskiego, kierującego się poprzez Włochy, Słowenię, zachodnie Węgry, Morawę aż do Polski.

**Tabela 1**. Lata szczególnie ciepłe i szczególnie chłodne w Warszawie (W) i Pradze (P)

| Styczeń | | | | Lipiec | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ciepłe | | Chłodne | | Ciepłe | | Chłodne | |
| W | P | W | P | W | P | W | P |
| 1976 | 1921 | 1795 | 1784 | 1789 | 1788 | 1815 | 1786 |
| | 1976 | 1803 | 1795 | 1811 | 1794 | 1832 | 1844 |
| | | 1823 | 1799 | 1834 | 1811 | 1844 | 1860 |
| | | 1838 | 1823 | | 1859 | 1898 | 1907 |
| | | 1848 | 1830 | 1789 | 1788 | | 1913 |
| | | 1850 | 1838 | 1811 | 1794 | 1815 | 1786 |
| | | 1893 | 1848 | 1834 | 1811 | 1832 | 1844 |
| | | 1940 | 1864 | | 1859 | 1844 | 1860 |
| | | 1942 | 1893 | | | 1898 | 1907 |
| | | 1963 | 1940 | | | | 1913 |
| | | | 1942 | | | | 1786 |
| Kwiecień | | | | Październik | | | |
| 1918 | 1794 | 1785 | 1785 | 1841 | 1793 | 1805 | 1786 |
| 1920 | 1800 | 1817 | 1817 | 1846 | 1795 | 1817 | 1881 |
| | 1961 | 1852 | 1939 | 1896 | 1802 | 1871 | 1905 |
| | | 1929 | 1850 | 1907 | 1811 | 1920 | 1922 |
| 1918 | 1794 | 1785 | 1785 | 1966 | 1907 | 1 | |
| 1920 | 1800 | 1817 | 1817 | 1967 | 1966 | | |
| | 1961 | 1852 | 1939 | | 1967 | | |
| | | 1929 | 1850 | | | | |

| Rok | | | |
|---|---|---|---|
| Ciepłe | | Chłodne | |
| W | P | W | P |
| 1911 | 1794 | 1799 | 1786 |
| 1934 | 1934 | 1829 | 1799 |
| | 1975 | 1940 | 1829 |
| | | | 1838 |
| | | | 1840 |
| | | | 1864 |
| | | | 1870 |
| | | | 1871 |
| | | | 1940 |

**Tabela 2**. Okresy $\Theta$, amplitudy $b$, fazy $c$ cykli temperatury powietrza w Warszawie i Pradze oraz miary ich dokładności: $R$ – współczynnik korelacji, $F_{obl}$ – statystyka testu Fishera-Snedecora – Styczeń, kwiecień

| Warszawa – Styczeń | | | | | Warszawa – Kwiecień | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\Theta$ | $b$ | $c$ | $R$ | $F_{obl}$ |
| 5 | 0,431 | -1,99 | 0,087 | 0,75 | 5 | 0,313 | -1,940 | 0,113 | 1,26 |
| 7 | 0,688 | 2,79 | 0,139 | 1,92 | 7 | 0,455 | 0,432 | 0,165 | 2,73 |
| 10 | 0,745 | 2,88 | 0,151 | 2,27 | 10 | 0,274 | 0,987 | 0,0994 | 0,97 |
| 13 | 0,665 | 0,75 | 0,135 | 1,81 | 13 | 0,331 | 0,826 | 0,120 | 1,42 |
| 15 | 0,532 | 0,59 | 0,108 | 1,15 | 15 | 0,416 | -1,050 | 0,150 | 2,24 |
| 20 | 0,426 | 1,84 | 0,086 | 0,72 | 17 | 0,425 | 0,894 | 0,155 | 2,40 |
| 23 | 0,742 | -2,13 | 0,151 | 2,27 | 19 | 0,180 | 1,300 | 0,0649 | 0,41 |
| 27 | 0,583 | -1,47 | 0,116 | 1,33 | 24 | 0,655 | 2,36 | 0,235 | 5,70 |
| 32 | 0,285 | -1,39 | 0,006 | 0,32 | 30 | 0,472 | -2,48 | 0,171 | 2,94 |
| 43 | 0,503 | 0,42 | 0,102 | 1,03 | 41 | 0,316 | -0,44 | 0,114 | 1,28 |
| 64 | 0,530 | 0,49 | 0,107 | 1,13 | 61 | 2,49 | 2,43 | 0,088 | 0,76 |
| 184 | 1,420 | 3,10 | 0,277 | 8,10 | 95 | 0,267 | 3,10 | 0,0949 | 0,89 |
| Praga – Styczeń | | | | | Praga – Kwiecień | | | | |
| 6 | 0,494 | -2,81 | 0,112 | 1,24 | 5 | 0,169 | -1,65 | 0,061 | 0,37 |
| 10 | 0,576 | 2,95 | 0,131 | 1,70 | 7 | 0,392 | 0,29 | 0,143 | 2,04 |
| 13 | 0,595 | 0,78 | 0,136 | 1,84 | 11 | 0,295 | 1,26 | 0,107 | 1,13 |
| 16 | 0,566 | -3,03 | 0,129 | 1,65 | 13 | 0,426 | 1,11 | 0,155 | 2,40 |
| 20 | 0,497 | 2,02 | 0,112 | 1,24 | 15 | 0,436 | -0,94 | 0,157 | 2,46 |
| 23 | 0,561 | -2,10 | 0,128 | 1,62 | 17 | 0,488 | 1,75 | 0,177 | 3,15 |
| 31 | 0,218 | -2,04 | 0,049 | 0,24 | 19 | 0,241 | 2,04 | 0,087 | 0,75 |
| 57 | 0,757 | -1,47 | 0,171 | 2,94 | 21 | 0,325 | 1,74 | 0,118 | 1,38 |
| | | | | | 24 | 0,540 | 2,56 | 0,195 | 3,85 |
| | | | | | 30 | 0,395 | -2,34 | 0,714 | 2,06 |
| | | | | | 40 | 0,479 | -0,49 | 0,174 | 3,04 |
| | | | | | 75 | 0,620 | -0,70 | 0,218 | 4,86 |

**Tabela 3.** Okresy $\Theta$, amplitudy $b$, fazy $c$ cykli temperatury powietrza w Warszawie i Pradze oraz miary ich dokładności: $R$ – współczynnik korelacji, $F_{obl}$ – statystyka testu Fishera-Snedecora – Lipiec, październik

| Warszawa – Lipiec | | | | | Warszawa – Październik | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\Theta$ | $b$ | $c$ | $R$ | $F_{obl}$ |
| 5 | 0,118 | 2,23 | 0,057 | 0,31 | 5 | 0,390 | 2,05 | 0,160 | 2,56 |
| 7 | 0,253 | -2,89 | 0,122 | 1,47 | 8 | 0,155 | -0,94 | 0,0636 | 0,40 |
| 12 | 0,236 | 2,61 | 0,113 | 1,26 | 12 | 0,401 | 2,94 | 0,165 | 2,73 |
| 14 | 0,230 | -1,41 | 0,111 | 1,22 | 17 | 0,324 | 2,73 | 0,132 | 1,73 |
| 21 | 0,204 | -1,48 | 0,098 | 0,94 | 19 | 0,253 | 1,71 | 0,104 | 1,07 |
| 28 | 0,118 | 1,04 | 0,057 | 0,32 | 23 | 0,245 | 2,11 | 0,100 | 0,98 |
| 39 | 0,0976 | 0,37 | 0,047 | 0,21 | 27 | 0,396 | 3,11 | 0,164 | 2,69 |
| 50 | 0,180 | -0,10 | 0,086 | 0,73 | 34 | 0,430 | -1,14 | 0,175 | 3,08 |
| 75 | 0,382 | 0,48 | 0,185 | 3,46 | 61 | 0,283 | 1,30 | 0,117 | 1,35 |
| 165 | 0,320 | 2,24 | 0,145 | 2,09 | 97 | 0,394 | -2,96 | 0,161 | 2,59 |
| Praga – Lipiec | | | | | Praga – Październik | | | | |
| 5 | 0,146 | 2,51 | 0,072 | 0,52 | 5 | 0,348 | 2,46 | 0,155 | 2,40 |
| 7 | 0,229 | -2,30 | 0,114 | 1,28 | 7 | 0,188 | -1,28 | 0,084 | 0,68 |
| 9 | 0,0836 | -1,65 | 0,042 | 0,17 | 11 | 0,403 | 0,99 | 0,179 | 3,23 |
| 11 | 0,169 | -0,88 | 0,084 | 0,70 | 17 | 0,282 | 2,60 | 0,124 | 1,52 |
| 13 | 0,181 | 0,29 | 0,091 | 0,81 | 19 | 0,207 | 2,09 | 0,092 | 0,63 |
| 16 | 0,221 | 2,38 | 0,110 | 1,19 | 21 | 0,212 | 2,38 | 0,094 | 0,87 |
| 20 | 0,405 | -2,11 | 0,202 | 4,24 | 24 | 0,112 | 2,93 | 0,050 | 0,24 |
| 24 | 0,314 | 0,65 | 0,152 | 2,50 | 27 | 0,356 | 2,93 | 0,158 | 2,50 |
| 37 | 0,347 | -0,93 | 0,171 | 2,94 | 34 | 0,406 | -1,50 | 0,179 | 3,28 |
| 73 | 0,436 | -0,55 | 0,210 | 4,50 | 43 | 0,117 | -1,77 | 0,052 | 0,27 |
| | | | | | 53 | 0,222 | -1,09 | 0,097 | 0,92 |
| | | | | | 76 | 0,160 | -0,39 | 0,069 | 0,46 |
| | | | | | 168 | 0,553 | 0,24 | 0,244 | 6,17 |

**Tabela 4**. Okresy $\Theta$, amplitudy $b$, fazy $c$ cykli średniej rocznej temperatury powietrza w Warszawie i Pradze oraz miary ich dokładności: $R$ – współczynnik korelacji, $F_{obl}$ – statystyka testu Fishera-Snedecora

| Warszawa – Rok | | | | | Praga – Rok | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\Theta$ | $b$ | $c$ | $R$ | $F_{obl}$ |
| 4 | 0,1670 | 2,830 | 0,1240 | 1,52 | 5 | 0,1580 | 2,640 | 0,1230 | 1,50 |
| 6 | 0,1530 | -1,810 | 0,1130 | 1,26 | 11 | 0,1050 | 0,912 | 0,0818 | 0,66 |
| 9 | 0,1010 | 0,375 | 0,0749 | 0,55 | 14 | 0,2740 | 1,050 | 0,2150 | 4,73 |
| 11 | 0,1250 | -0,146 | 0,0930 | 0,85 | 18 | 0,1800 | 3,120 | 0,1400 | 1,95 |
| 13 | 0,1970 | 0,668 | 0,1470 | 2,15 | 20 | 0,1150 | -2,970 | 0,0899 | 0,79 |
| 18 | 0,1530 | -2,380 | 0,1130 | 1,26 | 22 | 0,1620 | 2,530 | 0,1260 | 1,57 |
| 22 | 0,1230 | 1,800 | 0,0914 | 0,82 | 25 | 0,1550 | 2,890 | 0,1210 | 1,45 |
| 25 | 0,0559 | 2,940 | 0,0417 | 0,17 | 30 | 0,1650 | -2,110 | 0,1300 | 1,68 |
| 29 | 0,0611 | 2,950 | 0,045 | 0,20 | 36 | 0,2190 | 1,420 | 0,1700 | 2,90 |
| 39 | 0,0935 | -0,0186 | 0,069 | 0,47 | 44 | 0,1200 | 0,314 | 0,0931 | 0,85 |
| 60 | 0,1320 | 1,370 | 0,098 | 0,95 | 57 | 0,1430 | -2,080 | 0,1110 | 1,22 |

**Tabela 5**. Przebieg czasowy ekstremów sinusoid regresji w Warszawie i Pradze – Styczeń, kwiecień)

| Warszawa – Styczeń | | | Praga – Styczeń | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Okres $\Theta$ | $t_{max}$ | $t_{min}$ | Okres $\Theta$ | $t_{max}$ | $t_{min}$ |
| 5 | 1780,83 | 1783,33 | 6 | 1783,18 | 1786,18 |
| 7 | 1776,64 | 1780,14 | 10 | 1775,80 | 1780,80 |
| 10 | 1775,91 | 1780,95 | 13 | 1779,63 | 1786,13 |
| 13 | 1779,70 | 1786,20 | 16 | 1789,72 | 1797,72 |
| 15 | 1780,33 | 1787,83 | 20 | 1776,57 | 1786,57 |
| 20 | 1777,14 | 1787,14 | 23 | 1791,44 | 1802,94 |
| 23 | 1791,55 | 1803,05 | 26 | 1795,97 | 1808,97 |
| 27 | 1791,07 | 1804,57 | 31 | 1795,82 | 1811,32 |
| 32 | 1793,08 | 1809,08 | 57 | 1805,59 | 1834,09 |
| 43 | 1785,90 | 1807,40 | | | |
| 64 | 1788,92 | 1820,92 | | | |
| 184 | 1733,17 | 1825,17 | | | |
| Warszawa – Kwiecień | | | Praga – Kwiecień | | |
| Okres $\Theta$ | $t_{max}$ | $t_{min}$ | Okres $\Theta$ | $t_{max}$ | $t_{min}$ |
| 5 | 1780,79 | 1783,29 | 5 | 1780,56 | 1783,06 |
| 7 | 1779,27 | 1782,77 | 7 | 1779,42 | 1782,92 |
| 10 | 1778,93 | 1783,93 | 11 | 1778,54 | 1784,04 |
| 13 | 1779,54 | 1786,04 | 13 | 1778,95 | 1785,45 |
| 15 | 1784,26 | 1791,76 | 15 | 1779,50 | 1785,00 |
| 17 | 1779,83 | 1788,33 | 17 | 1777,51 | 1786,01 |
| 19 | 1778,82 | 1788,32 | 19 | 1776,58 | 1786,08 |
| 24 | 1774,98 | 1786,98 | 21 | 1777,43 | 1787,93 |
| 30 | 1797,35 | 1812,35 | 24 | 1774,22 | 1786,22 |
| 41 | 1791,15 | 1811,65 | 30 | 1796,68 | 1811,68 |
| 61 | 1769,65 | 1800,15 | 40 | 1791,12 | 1811,12 |
| 95 | 1754,86 | 1802,36 | 75 | 1805,15 | 1842,55 |

**Tabela 6**. Przebieg czasowy ekstremów sinusoid regresji w Warszawie i Pradze – Lipiec, październik

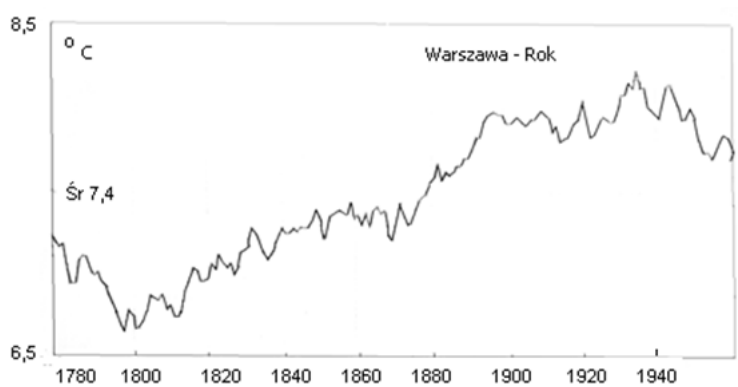
| Warszawa – Lipiec | | | Warszawa – Lipiec | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Okres $\Theta$ | $t_{max}$ | $t_{min}$ | Okres $\Theta$ | $t_{max}$ | $t_{min}$ |
| 5 | 1777,47 | 1779,97 | 5 | 1777,25 | 1779,75 |
| 7 | 1782,97 | 1786,47 | 7 | 1782,31 | 1785,81 |
| 12 | 1776,01 | 1782,01 | 9 | 1782,61 | 1787,11 |
| 14 | 1781,14 | 1788,14 | 11 | 1782,29 | 1787,79 |
| 21 | 1788,20 | 1798,70 | 13 | 1780,65 | 1786,15 |
| 28 | 1780,36 | 1794,36 | 16 | 1775,94 | 1783,94 |
| 39 | 1785,44 | 1804,94 | 20 | 1789,72 | 1799,72 |
| 50 | 1789,68 | 1814,68 | 24 | 1781,51 | 1793,51 |
| 75 | 1791,04 | 1828,54 | 37 | 1792,70 | 1811,20 |
| 165 | 1760,40 | 1842,80 | 73 | 1802,67 | 1840,17 |
| Warszawa – Październik | | | Praga – Październik | | |
| Okres $\Theta$ | $t_{max}$ | $t_{min}$ | Okres $\Theta$ | $t_{max}$ | $t_{min}$ |
| 5 | 1777,62 | 1780,12 | 5 | 1777,29 | 1779,79 |
| 8 | 1781,19 | 1785,19 | 7 | 1781,18 | 1784,68 |
| 12 | 1775,38 | 1781,38 | 11 | 1779,02 | 1784,52 |
| 17 | 1774,86 | 1783,36 | 17 | 1775,21 | 1783,71 |
| 19 | 1772,58 | 1787,08 | 19 | 1776,43 | 1785,93 |
| 23 | 1776,02 | 1787,52 | 21 | 1775,29 | 1785,79 |
| 27 | 1771,38 | 1784,88 | 24 | 1772,80 | 1784,80 |
| 34 | 1792,67 | 1809,67 | 27 | 1772,15 | 1785,65 |
| 61 | 1780,62 | 1811,12 | 34 | 1794,62 | 1811,62 |
| 97 | 1847,97 | 1896,47 | 43 | 1800,87 | 1822,37 |
| | | | 53 | 1800,45 | 1826,95 |
| | | | 76 | 1801,67 | 1839,67 |
| | | | 168 | 1813,69 | 1897,69 |

**Tabela 7**. Przebieg czasowy ekstremów sinusoid regresji w Warszawie i Pradze – Rok

| Warszawa | | | Praga | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Okres $\Theta$ | $t_{max}$ | $t_{min}$ | Okres $\Theta$ | $t_{max}$ | $t_{min}$ |
| 4 | 1772,20 | 1779,70 | 5 | 1777,15 | 1779,15 |
| 6 | 1781,23 | 1784,23 | 11 | 1779,15 | 1784,65 |
| 9 | 1779,71 | 1784,21 | 14 | 1778,16 | 1786,16 |
| 11 | 1781,01 | 1786,37 | 18 | 1773,56 | 1782,56 |
| 13 | 1775,87 | 1786,37 | 20 | 1792,46 | 1802,46 |
| 18 | 1789,32 | 1798,32 | 22 | 1774,64 | 1785,25 |
| 22 | 1777,19 | 1788,19 | 25 | | |
| 25 | | | 30 | 1795,58 | 1810,58 |
| 29 | 1771,63 | 1786,13 | 36 | 1778,86 | 1796,86 |
| 39 | 1787,87 | 1807,37 | 44 | 1786,80 | 1808,80 |
| 60 | 1779,91 | 1809,91 | 57 | 1811,13 | 1839,63 |
| 90 | 1763,96 | 1808,96 | 78 | 1805,24 | 1844,24 |

**Rys. 1.** Średnie konsekutywne 20-letniewartości temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1976 – Lipiec

**Rys. 2.** Średnie konsekutywne 20-letniewartości temperatury powietrza w Pradze w latach 1779-1976 – Lipiec




**Rys. 3.** Średnie konsekutywne 20-letnie wartości temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1976 – Rok

**Rys. 4.** Średnie konsekutywne 20-letnie wartości temperatury powietrza w Pradze w latach 1779-1976 – Rok

### 7.1.4. Zmiany temperatury powietrza na helu w okresie 1851-1995

Autor: Anna SZAREK
Opiekun naukowy: Jolanta WAWER

Temperatura powietrza zależy od poszczególnych składowych obiegu ciepła, w tym także wymiany poziomej, związanej z adwekcją mas powietrznych. Jej rozkład przestrzenny jest uwarunkowany wpływem czynników geograficznych tj. szerokości geograficznej, wysokości nad poziomem morza, rzeźbą terenu, rodzajem podłoża, rodzajem pokrycia terenu.

Jako element ciągły klimatu, ulega zmianie w ciągu krótkich okresów (doba, miesiąc) jak również w długich przedziałach czasowych (10-leciach, 50-leciach, 150-leciach).

Celem pracy jest zbadanie zakresu zmian temperatury powietrza w ciągu 145-lecia (1851-1995) w Helu, wyodrębnienie okresów cieplejszych i chłodniejszych, wykazanie trendu w przebiegu temperatury średniej miesięcznej oraz podanie przyczyn, które mogły być powodem zmian temperatury w badanym wieloleciu.

Pomiary meteorologiczne na stacji w Helu prowadzono od 1851 roku. W tak długim ciągu obserwacyjnym niestety wystąpiły braki, które wymagały uzupełnienia i sprowadzenia wartości temperatury powietrza do serii jednorodnej. Dokładnie przeprowadzona homogenizacja serii przez M. Miętusa (1998) umożliwiła uzupełnienie braków w wieloletnich seriach średnich miesięcznych i rocznych wartości temperatury powietrza.

Zmiany temperatury powietrza w Helu w latach 1851-1995 charakteryzują tabele 1, 2, 3 i rysunki 1, 2, 3.

**Tabela 1.** Temperatura średnia, najwyższa i najniższa poszczególnych miesięcy, pór roku, półroczy i roku (Hel, 1851-1995)

| | Średnia | Najwyższa | | Najniższa | | Zakres |
|---|---|---|---|---|---|---|
| I | -0,7 | 4,0 | 1983 | -7,4 | 1942 | 11,4 |
| II | -0,8 | 5,1 | 1990 | -9,5 | 1940 | 14,6 |
| III | 1,4 | 6,1 | 1990 | -4,1 | 1942 | 10,2 |
| IV | 5,4 | 9,3 | 1918 | 1,5 | 1929 | 7,8 |
| V | 10,2 | 14,1 | 1993 | 6,4 | 1864 | 7,8 |
| VI | 14,7 | 18,9 | 1917 | 10,4 | 1870 | 8,5 |
| VII | 17,2 | 20,7 | 1914 | 14,4 | 1867 | 6,3 |
| VIII | 16,9 | 21,5 | 1868 | 13,6 | 1864 | 7,9 |
| IX | 13,6 | 16,6 | 1949 | 10,2 | 1860 | 6,4 |
| X | 9,0 | 13,0 | 1907 | 5,6 | 1905 | 7,4 |
| XI | 4,0 | 7,6 | 1978 | 0,1 | 1876 | 7,5 |
| XII | 0,8 | 4,3 | 1898 | -4,1 | 1855 | 8,4 |
| Zima | -0,2 | 3,6 | 1990 | -5,8 | 1940 | 9,4 |
| Wiosna | 5,7 | 8,6 | 1990 | 3,0 | 1867 | 5,6 |
| Lato | 16,3 | 19,8 | 1868 | 14,2 | 1867 | 5,7 |
| Jesień | 8,9 | 11,5 | 1934 | 6,4 | 1860 | 5,1 |
| P.ciepłe | 13,0 | 15,5 | 1868 | 11,0 | 1867 | 4,4 |
| P. zimne | 2,3 | 5,4 | 1990 | -1,4 | 1940 | 6,8 |
| Rok | 7,6 | 9,6 | 1990 | 5,7 | 1870 | 3,8 |

**Tabela 2**. Częstość średnich miesięcznych wartości temperatury w Helu w latach 1851-1995 (%)

| Przedziały | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| od | do | | | | | | | | | | | | |
| 21,2 | 22 | | | | | | | | 0,7 | | | | |
| 20,1 | 21 | | | | | | | 1,4 | 0,0 | | | | |
| 19,1 | 20 | | | | | | | 4,1 | 3,5 | | | | |
| 18,1 | 19 | | | | | | 2,8 | 20,7 | 11,0 | | | | |
| 17,1 | 18 | | | | | | 3,4 | 31,8 | 23,4 | | | | |
| 16,1 | 17 | | | | | | 8,9 | 22,1 | 36,5 | 2,1 | | | |
| 15,1 | 16 | | | | | | 20,1 | 15,1 | 20,8 | 6,2 | | | |
| 14,1 | 15 | | | | | 0,7 | 33,1 | 4,8 | 3,4 | 27,6 | | | |
| 13,1 | 14 | | | | | 2,1 | 22,8 | | 0,7 | 34,4 | | | |
| 12,1 | 13 | | | | | 6,8 | 4,7 | | | 22,2 | 0,7 | | |
| 11,1 | 12 | | | | | 20,1 | 3,5 | | | 5,4 | 7,6 | | |
| 10,1 | 11 | | | | | 20,0 | 0,7 | | | 2,1 | 13,8 | | |
| 9,1 | 10 | | | | 0,7 | 26,9 | | | | | 29,7 | | |
| 8,1 | 9 | | | | 2,8 | 16,5 | | | | | 22,8 | | |
| 7,1 | 8 | | | | 7,6 | 4,8 | | | | | 13,8 | 2,1 | |
| 6,1 | 7 | | | 0,7 | 22,1 | 2,1 | | | | | 8,2 | 8,2 | |
| 5,1 | 6 | | 0,7 | 0,7 | 21,3 | | | | | | 3,4 | 15,9 | |
| 4,1 | 5 | | 0,7 | 7,5 | 29,0 | | | | | | | 26,3 | 2,7 |
| 3,1 | 4 | 4,2 | 2,8 | 9,0 | 12,4 | | | | | | | 19,3 | 8,9 |
| 2,1 | 3 | 8,2 | 6,9 | 20,7 | 3,4 | | | | | | | 15,9 | 16,5 |
| 1,1 | 2 | 13,8 | 15,2 | 24,2 | 0,7 | | | | | | | 6,8 | 28,4 |
| 0,1 | 1 | 12,4 | 12,5 | 12,4 | | | | | | | | 4,8 | 10,3 |
| -0,9 | 0 | 20,7 | 20,2 | 14,5 | | | | | | | | 0,7 | 13,1 |
| -1,9 | -1 | 10,3 | 15,2 | 6,1 | | | | | | | | | 12,4 |
| -2,9 | -2 | 12,4 | 8,3 | 2,1 | | | | | | | | | 3,5 |
| -3,9 | -3 | 11,0 | 7,0 | 1,4 | | | | | | | | | 3,5 |
| -4,9 | -4 | 2,8 | 3,5 | 0,7 | | | | | | | | | 0,7 |
| -5,9 | -5 | 1,4 | 1,4 | | | | | | | | | | |
| -6,9 | -6 | 0,7 | 2,1 | | | | | | | | | | |
| -7,9 | -7 | 2,1 | 1,4 | | | | | | | | | | |
| -8,9 | -8 | | 0,7 | | | | | | | | | | |
| -9,9 | -9 | | 1,4 | | | | | | | | | | |

**Tabela 3**. Częstość średniej temperatury w sezonach, półroczach i roku w Helu w latach 1851-1995 (w %)

| Przedziały | | Zima | Wiosna | Lato | Jesień | P. zimne | P. ciepłe | Rok |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| od | do | | | | | | | |
| 2,1 | 22 | | | 0,7 | | | | |
| 20,1 | 21 | | | 0,7 | | | | |
| 19,1 | 20 | | | 0,7 | | | | |
| 18,1 | 19 | | | 1,4 | | | | |
| 17,1 | 18 | | | 17,9 | | | | |
| 16,1 | 17 | | | 39,3 | | | | |
| 15,1 | 16 | | | 28,9 | | | 0,7 | |
| 14,1 | 15 | | | 9,0 | | | 3,5 | |
| 13,1 | 14 | | | 0,7 | | | 44,1 | |
| 12,1 | 13 | | | 0,7 | | | 41,3 | |
| 11,1 | 12 | | | | 1,4 | | 9,7 | |
| 10,1 | 11 | | | | 9,0 | | 0,7 | |
| 9,1 | 10 | | | | 35,2 | | | 2,8 |
| 8,1 | 9 | | 2,1 | | 33,8 | | | 31,0 |
| 7,1 | 8 | | 11,1 | | 16,5 | | | 42,7 |
| 6,1 | 7 | | 24,1 | | 4,1 | | | 21,4 |
| 5,1 | 6 | | 31,7 | | | 0,7 | | |
| 4,1 | 5 | | 23,4 | | | 3,4 | | |
| 3,1 | 4 | 2,1 | 6,9 | | | 24,8 | | |
| 2,1 | 3 | 4,8 | 0,7 | | | 32,5 | | |
| 1,1 | 2 | 14,5 | | | | 10,3 | | |
| 0,1 | 1 | 29,7 | | | | 1,4 | | |
| -0,9 | 0 | 17,9 | | | | 2,1 | | |
| -1,9 | -1 | 17,3 | | | | | | |
| -2,9 | -2 | 6,1 | | | | | | |
| -3,9 | -3 | 4,8 | | | | | | |
| -4,9 | -4 | 1,4 | | | | | | |
| -5,9 | -5 | 1,4 | | | | | | |
| -6,9 | -6 | | | | | | | |
| -7,9 | -7 | | | | | | | |
| -8,9 | -8 | | | | | | | |
| -9,9 | -9 | | | | | | | |

Średnia roczna temperatura w latach 1851- 1995 wynosi 7,6°C, najwyższa jej wartość (99,6°C) wystąpiła w 1990 r., a najniższa (5,7°C) w 1870 roku. W latach 1851- 1995 wyróżnić możemy następujące okresy wzrostu temperatury: 1857, 1859, 1868, 1872-1873, 1878, 1882 i spadki w latach: 1873, 1875, 1860, 1862, 1864, 1867, 1870-1871, 1874-1876, 1881, 1887-1889, 1892-1893. W 45-leciu 1951- 1995 temperatura spadła poniżej 7°C w latach: 1956, 1969, 1980 i 1987.

## Przebiegi średnich konsekutywnych 10-letnich wartości temperatury powietrza – Zima

W grudniu w wieloleciu 1851- 1995, od początku tego okresu do połowy lat 80-tych XIX w. wystąpiło znaczne ochłodzenie, rzędu 2°C w odniesieniu do średniej z wielolecia (0,8°C). Następnie temperatura zaczęła się podwyższać do roku 1918, osiągając wartość 2°C. W tym okresie nastąpiły dwa małe, krótkie ochłodzenia w 1896 i 1908 r. Od 1920 roku do połowy lat 40-tych XX w. nastąpiło ponowne ochłodzenie, które było przedzielone niewielkim wzrostem temperatury w larach 1937 – 1938 do 1,3°C. Lata 50-te i następne do końca omawianego okresu to ocieplenie, w którym w latach 1969 – 1970 nastąpiło niewielkie ochłodzenie ze spadkiem do 0,2°C. W tym wieloleciu ocieplenia jakie wystąpiły w grudniu, z temperaturą powyżej 2°C przypadły na lata: 1956-1958, 1991, 1993 oraz 1994 r., kiedy to wystąpiła najwyższa wartość 10-cioletniej średniej konsekutywnej temperatury – 2,3°C (w całym badanym okresie).

W styczniu temperatura oscylowała wokół średniej tego miesiąca, wynoszącej -0,7°C. W okresie 1891- 1900 nastąpiło ochłodzenie do temperatury -2,3°C, w roku 1897. Następnie do około 1905 r. rozpoczęło się najdłuższe w całym wieloleciu, ocieplenie o ok. 2,5°C, które trwało aż do lat 40-tych XX w., gdyż temperatura wzrosła do wartości 0,4°C w latach: 1907, 1911 i 1939. W latach 40-tych XX w. nastąpił gwałtowny spadek temperatury do -2,3°C (ochłodzenie o ok. 1,6°C w stosunku do średniej z wielolecia), po czym nastąpiło ocieplenie o ok. 2°C w latach 50 i 60-tych, a następnie kolejne ochłodzenie o ok. 2,5°C w latach 70-tych XX w. (w stosunku do najniższej wartości -2,3°C). na początku lat 80-tych nastąpił powolny wzrost temperatury do 0°C, po czym ponownie się ochłodziło o 1,5°C. Od lat 90-tych temperatura zaczęła się stopniowo podwyższać do wartości 0,8°C powyżej średniej wieloletniej tj.: wzrost temperatury od ostatniego ochłodzenia o 2,5°C. Był to jednocześnie najcieplejszy styczeń w całym 145-leciu.

Luty ze średnią wieloletnią (1851-1995) wynosząca -0,8°C należy do najchłodniejszych miesięcy w ciągu całego roku..Podczas największego ochłodzenia w 1862 roku temperatura spadła do -2,1°C. Lata 1880- 1890 – to ocieplenie o ok. 1°C w stosunku do średniej z wielolecia (-0,8°C), do wartości 0,4°C w 1885 roku. W połowie lat 90-tych XIX w. nastąpił spadek temperatury o 2°C (w stosunku do roku 1885), a później przez około 20 lat temperatura wzrosła o 1,5°C i kształtowała się powyżej przeciętnej, osiągając najwyżej -0,1°C. Przez kolejne 20 lat wartość temperatury spadła o ok. 1,5°C, osiągając najniższą wartość -1,8°C w roku 1931. W latach 1984 – 1989, temperatura lutego spadła do -2,1°C w roku 1987 (była to najniższa wartość w całym badanym okresie).

Zima, jako pora roku ma temperaturę średnią z wielolecia równą -0,2°C. Początkowe lata badanego okresu charakteryzował spadek temperatury poniżej średniej do -1,2°C w roku 1871. W latach 1885- 1891 nastąpił wzrost o ok. 1°C (w stosunku do lat wcześniejszych), ale temperatura oscylowała wokół średniej wieloletniej, po czym spadła do wartości -1,2°C w roku 1897. Następnie zaznaczyło się 40-letnie ocieplenie o 1,5°C (w stosunku do najniższej wartości -1,2°C), na które wpływ miała temperatura stycznia i grudnia. Podczas tego ocieplenia w latach 30-tych XX w. temperatura spadła poniżej przeciętej. W latach 50 i 60-tych nastąpił wzrost temperatury o ok. 1,5°C do wartości 0,3°C w latach: 1952, 1957-1958, po czym wystąpił spadek temperatury o 1,3°C w latach 70-tych, który zaznaczył

się również we wszystkich trzech miesiącach zimowych. Kolejny wzrost temperatury o 0,6°C wystąpił w latach 1975-1984 z wartościami powyżej średniej z wielolecia. Od roku 1985 do 1988 temperatura kształtowała się poniżej przeciętnej, osiągając -0,7°C w roku 1987, zaś od 1989 roku zaczęła stopniowo wzrastać, osiągając wartość 1,3°C w 1995 roku.

Wystąpienie tak ciepłych zim w latach 90-tych wielu klimatologów tłumaczy adwekcją ciepłych i wilgotnych mas powietrza atlantyckiego. Ciepłe zimy wystąpiły wówczas nie tylko w Polsce, ale i w północno-wschodniej Europie.

## Przebiegi średnich konsekutywnych 10-letnich wartości temperatury powietrza – Lato

W czerwcu, analizowany okres rozpoczął się dość wysokimi temperaturami w stosunku do przeciętnej, z maksimum 15,6°C w roku 1861, które obniżyły się o 1,5°C w latach 1870-1876 i ponownie wzrosły do takiej samej wartości (15,6°C) w 1884 roku.

W okresie 1885-19212 temperatura oscylowała wokół średniej z wielolecia, przyjmując wartości od 14,6 do 15,5°C. W latach 1922-1938 wystąpiło ochłodzenie, w którym temperatura spadła do 13,2°C w roku 1932 (ochłodzenie o ok. 2°C).

Lipiec jest najcieplejszym miesiącem roku, a jego średnia temperatura z wielolecia wynosi 17,2°C. W badanym wieloleciu lipiec charakteryzował się najmniejszą zmiennością warunków termicznych z roku na rok. Temperatura w tym miesiącu przyjmowała wartości od 16,4°C do 18°C. Analizowany okres rozpoczął się niewielkim ociepleniem, po którym nastąpiło łagodne ochłodzenie o ok. 1,8°C. W latach 80-tych XIX w. nastąpiło niewielkie ocieplenie z maksimum 17,9°C w roku 1885, po czym ponownie się ochłodziło (lata 1892-1899) o ok. 1,9°C. Podobne warunki trwały do połowy lat 20-tych XX w., kiedy nastąpiło pierwsze największe ochłodzenie z minimum 16,4°C w 1924 roku. W latach 1939-1956 temperatura przyjmowała wartości powyżej średniej wieloletniej, a w latach 1947-1948 osiągnęła najwyższą wartość w całym wieloleciu 18°C (ocieplenie o 1,6°C). do końca omawianego okresu zaznaczyły się jeszcze dwa niewielkie wzrosty temperatury w latach 70 i 90-tych, oraz dwa ochłodzenia pod koniec lat 60-tych i w latach 80-tych – drugie największe z minimum 16,4°C w roku 1985.

W sierpniu, początkowo temperatura kształtowała się powyżej średniej (16,9°C), a około roku 1864 zaczęła spadać o ok. 0,8°C. Taki przebieg utrzymywał się do roku 1874, po czym jej wartości oscylowały wokół przeciętnej. W latach 1885-1900 nastąpiło ochłodzenie o ok. 1°C, z minimum 16°C w latach 1889 i 1891-1894. Temperatura osiągnęła największą wartość 18°C w latach 1945-1945 (ocieplenie o 1,1°C w stosunku do średniej z wielolecia). Było to najdłuższe ocieplenie w sierpniu w całym wieloleciu, gdyż trwało aż 28 lat (1937-1964).

Temperatura w lecie początkowo przyjmowała wartości powyżej średniej wieloletnie (16,3°C), osiągając maksimum 16,9°C w 1861 r., po czym nastąpiło ochłodzenie o 1,2°C z minimum 15,7°C w roku 1871, po którym nastąpił wzrost temperatury do wartości 16,8°C w roku 1884. Lata 1885-1938 – to najdłuższe ochłodzenie w całym wieloleciu, w którym zaznaczają się dwa nieznaczne wzrosty temperatury w latach 1901-1906 i 1916-1921. Podczas tego ochłodzenia temperatura łagodnie spadała do najniższej wartości 15,4°C (1931 r.) w całym wieloleciu (spadek rzędu 0,6°C w stosunku do średniej wieloletniej), po czym ponownie wzrosła osiągając najwyższą wartość 17°C w roku 1947.

Wzrost ten był spowodowany wysoką temperaturą w lipcu i sierpniu. W okresie 1950-1995 zaznaczyły się dwa niewielkie ochłodzenia – pierwsze w latach 1963-1971 (rzędu 0,8°C), drugie w latach 1979-1993 – rzędu 1°C w stosunku do ocieplenia z lat 40-tych XX w.

Zauważyć należy, że w lecie większe ocieplenie wystąpiło w latach 40-tych i 50-tych, zaś ostatnie lata (90-te) są raczej przeciętne.

Z przeprowadzonej analizy zmian temperatury powietrza w Helu w latach 1851-1995 wynikają wnioski:

Spośród wszystkich miesięcy roku najcieplejszy był lipiec ze średnią 17,2°C a najchłodniejszy luty ze średnią -0,8°C.Tylko styczeń i luty miał średnią temperaturę poniżej 0°C. Jesień była cieplejsza od wiosny średnio o 3,2°C, podobnie październik był chłodniejszy od kwietnia o 3,6°C. W lutym występowały największe wahania temperatury od -9,5°C do 5,1°C. Najmniejsza zmienność temperatury występowała w lipcu od 14,4°C do 20,7°C, co świadczy o najmniejszym zróżnicowaniu warunków termicznych tego miesiąca. We wrześniu również zakres wahań temperatury był niski 6,4°C - od 10,2° do 16,6°C.

Spośród sezonów jesień charakteryzowała się najmniejszym zakresem wahań temperatury od 6,4° do 11,5°C, zaś zima największym od -5,8° do 3,6°C.

Półrocze ciepłe w porównaniu do półrocza chłodnego wykazało znacznie mniejszy zakres wahań temperatury.

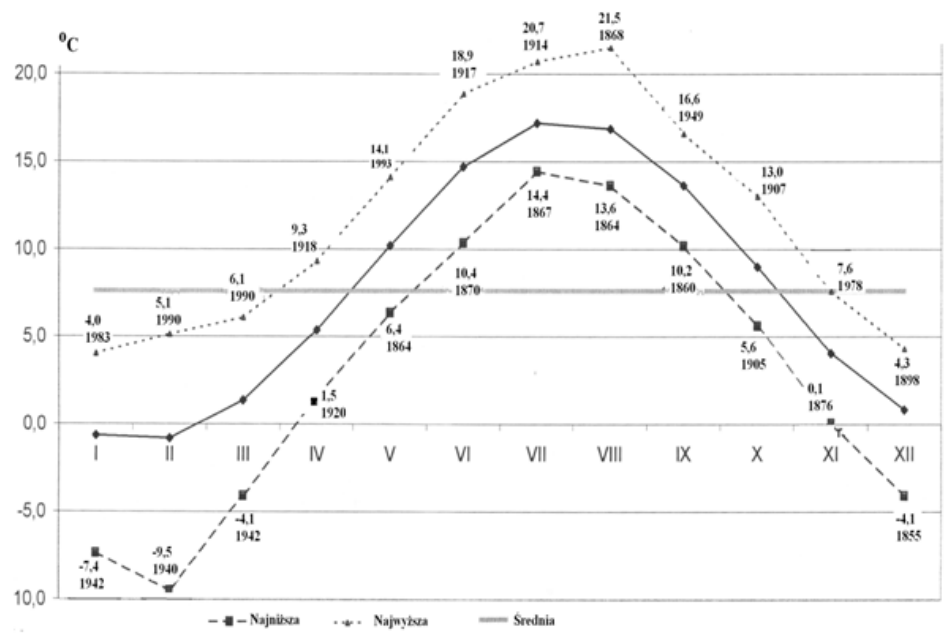
Na podstawie częstości średnich miesięcznych, sezonowych, półrocznych i rocznych wartości temperatury powietrza można stwierdzić: Luty charakteryzował się największym zróżnicowaniem warunków termicznych, gdyż temperatura pojawiała się aż w 16 przedziałach klasowych. W lipcu występowało najmniejsze zróżnicowanie warunków termicznych. Najmniejsze wartości temperatury występowały w przedziale -9,9 - -9,0°C (w lutym), największe zaś w przedziale od 21,1 do 22,0°C (w sierpniu). Wartości ujemne temperatury pojawiały się w miesiącach: styczeń, luty, marzec, listopad i grudzień, zaś wartości dodatnie w pozostałych miesiącach. Zima i lato wykazywały ten sam stopień zróżnicowania warunków termicznych (ta sama liczba przedziałów) przy odmiennej tendencji zmian, przy czym charakteryzowały się największym zakresem zmienności temperatury. Półrocze chłodne w porównaniu do półrocza ciepłego wykazało znacznie większy zakres wahań temperatury. W zimie, spośród istniejących 10 kombinacji – najczęściej pojawiał się typ zimy LSG (luty-styczeń-grudzień) z najchłodniejszym lutym i najcieplejszym grudniem, co może być dowodem na to, że luty jest z reguły miesiącem najchłodniejszym w roku, najrzadziej występował typ zimy LS=G i S=LG (po 1 przypadku). Wiosną w 143 przypadkach (na 145 możliwych) najchłodniejszy był marzec a najcieplejszy maj. Jesień charakteryzowała się największą stałością rocznego przebiegu temperatury, gdyż na 145 przypadków – 145 razy najchłodniejszym miesiącem był listopad a najcieplejszym wrzesień. W lecie najczęściej pojawiał się typ tej pory z najcieplejszym lipcem i najchłodniejszym czerwcem, co jest zgodne z tym, że lipiec to najcieplejszy miesiąc roku.

Z analizy zmian długookresowych w latach 1851-1995 wynikają wnioski:

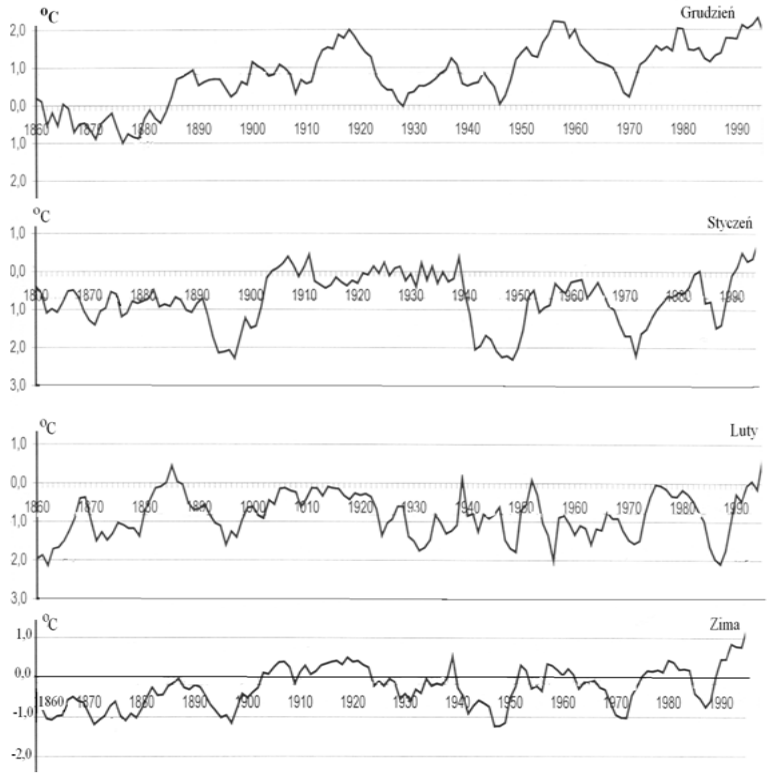
Największą różnorodnością warunków termicznych charakteryzowała się zima (2,5°C – zakres wahań od -1,2 do 1,3° C), zaś pozostałe pory roku wykazały ten sam zakres w wartościach 10-letnich średnich konsekutywnych (1,6°C – wiosna od 4,9 do 6,5°C, lato od 15,4 do 17,0°C, jesień od 8,1 do 9,7°C).

Grudzień charakteryzował się największą różnorodnością warunków termicznych (3,3°C – od -1,0 do 2,3°C). W latach 90. XX. wieku poszczególne miesiące zimowe charakteryzowały się najwyższymi wartościami temperatury powietrza w całej badanej serii, co wpłynęło na bardzo ciepłe zimy. W wieloleciu 1851- 1995 wyraźnie najcieplejszy z miesięcy wiosennych, zwłaszcza w ostatnich latach 90. XX. wieku okazuje się marzec (2,6°C w stosunku do średniej 1.4°C), oraz cała wiosna (6,5°C w stosunku do 5,7°C). W lecie większe ocieplenie wystąpiło w latach 40. i 50. XX. wieku, zaś ostatnie lata (90.) były raczej przeciętne. Lipiec charakteryzował się najmniejszą różnorodnością warunków termicznych. Od roku 1851 do lat 30. XX. wieku temperatura jesieni była znacznie niższa od lat następnych (najcieplejszy był przełom lat 30. i 40. XX. wieku oraz 50.60. i 70- XX. wieku – zwłaszcza październik, w latach 90. wystąpiła tendencja spadkowa temperatury jesieni. W półroczu ciepłym zaznaczyły się lata 30. 40. i 50. XX. wieku z wyraźnym ociepleniem, a lata 90. charakteryzowały się temperaturą powyżej średniej, ale już nieco niższą. W półroczu chłodnym wyraźnie cieplejsze były lata 90. XX. wieku na tle całego wielolecia 1851-1995. Zakres zmian temperatury w półroczu ciepłym był niższy od wahań w półroczu chłodnym o 0,7°C.

Przebieg temperatury średniej rocznej w okresie 1851-1995 wykazał, że po ochłodzeniu w XIX. wieku nastąpiło ocieplenie w pierwszej połowie XX. wieku, które obecnie wskazuje na tendencję do największego (do tej pory) ocieplenia. Jest to wynikiem wyższej temperatury w miesiącach półrocza chłodnego i wiosny. To współczesne ocieplenie jest w głównej mierze wynikiem działalności człowieka, jak również samej natury (naturalny efekt cieplarniany).




**Rys. 1.** Przebieg roczny temperatury powietrza w Helu w latach 1851-1995




**Rys. 2.** Dziesięcioletnie średnie konsekutywne wartości temperatury w Helu w latach 1851-1995 (miesiące zimowe, zima)

**Rys. 3.** Dziesięcioletnie średnie konsekutywne wartości temperatury w Helu w latach 1851-1995 (miesiące letnie i lato)

### 7.1.5. Wahania temperatury powietrza w Warszawie i Tallinie w latach 1779-2000*

Szymon B I J A K

Ciągłe instrumentalne obserwacje meteorologiczne zaczęto w Europie ponad 200 lat temu. Niewiele jednak jest miast, które mogą poszczycić się tak długą serią pomiarową. W północno-wschodniej części kontynentu jednym z takich ośrodków jest Tallin, który podobnie jak Warszawa dysponuje wynikami obserwacji od XVIII wieku. Daje to rzadką okazję do porównań i poznawania klimatu tej części Europy.

Warszawa (52°13'N, 21°03'E, 110 m n.p.m.) i Tallin (59°25'N, 24°48'E, 44 m n.p.m.) położone są w zlewisku Morza Bałtyckiego, w odległości ok. 1000 km od siebie. Klimat tego obszaru Okołowicz (Martyn 2000) określił jako typ przejściowy klimatu umiarkowanego ciepłego. Na podstawie takiego położenia, w tym samym typie klimatu, można oczekiwać pewnego podobieństwa warunków termicznych obu miast.

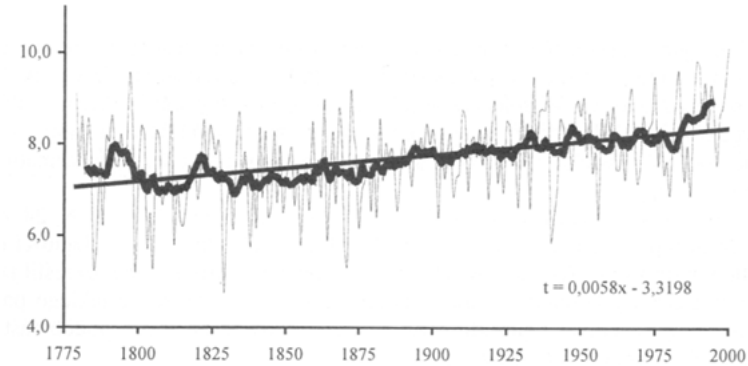
Celem opracowania jest charakterystyka porównawcza warunków termicznych w Warszawie i Tallinie w latach 1779-2000. W pracy wykorzystano wartości temperatury powietrza z Warszawy, opracowane przez H. Lorenc (2000), oraz Tallina, zestawione przez A. Taranda (2003). Dane tallińskie, podobnie jak warszawskie, składają się z serii z kilku stacji, które różnią się położeniem i warunkami otoczenia. Serie te zostały zweryfikowane i zhomogenizowane przez autorów (Lorenc 2000, Tarand 2003), zatem można uznać je za jednorodne i wiarygodne.

W pracy zbadano przebieg czasowy średniej rocznej temperatury w kolejnych latach w Warszawie i Tallinie. Szczególną uwagę poświęcono służącej za wskaźnik oceanizmu klimatu rocznej amplitudzie, którą w każdym roku liczono na podstawie wartości średnich z najcieplejszego i najchłodniejszego miesiąca. Podjęto też próbę określenia cykliczności jej wahań. Przeanalizowano także zakres zmian wartości temperatury w kolejnych miesiącach, nie badano jednak zmian czasowych tej charakterystyki.

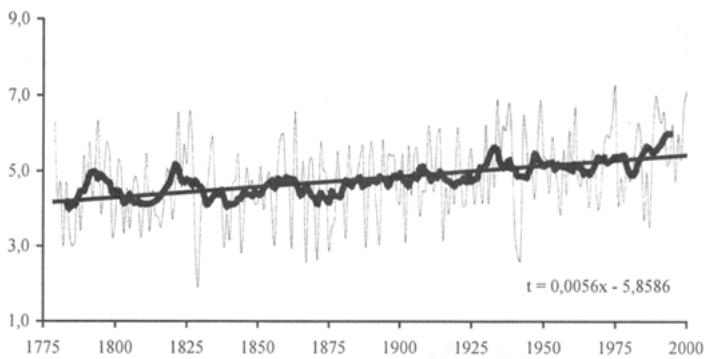
## Średnia roczna temperatura powietrza

Średnia roczna temperatura powietrza w Warszawie i w Tallinie w okresie 1779-2000 wynosiła odpowiednio 7,7°C i 4,8°C. W stolicy Polski najniższa 4,7°C była w roku 1829, natomiast najwyższa 10,1°C w 2000. Wartości $\leq$6,0°C wystąpiły 13 razy, głównie w XIX stuleciu (69% przypadków), a wartości $\geq$9,0°C 17 razy, w tym najczęściej (76%) w XX wieku. W Tallinie wartość najniższą (1,9°C) średnia roczna temperatura osiągnęła również w roku 1829, najwyższą zaś 7,2°C w 1975. W badanym okresie średnia roczna temperatura w stolicy Estonii przyjmowała wartości $\leq$3,0°C 13 razy, z czego 9 (69%) w wieku XIX, a wartości $\geq$6,0°C wystąpiły 30 razy, z czego 24 przypadki (80%) w XX stuleciu.

W omawianym okresie w obu miastach średnia roczna temperatura powietrza cechowała się zbliżoną dodatnią tendencją (rys. 1-2), w Warszawie temperatura wzrastała o 0,58°C na 100 lat, a w Tallinie o 0,56°C. Średnie wartości wieloletnie w tych miastach (tab. 1) wykazują podobny rytm zmian. Zarówno w Warszawie, jak i w Tallinie na początku analizowanego okresu wartości średniej rocznej temperatury spadały, a od połowy XIX wieku obserwuje się ich stały wzrost. Różnica ($\Delta t$) między oboma miastami zmieniała się w całym okresie w bardzo niewielkim stopniu (2,7-3,1°C).




**Rys. 1**.Średnia roczna temperatura powietrza w Warszawie w latach 1779-2000
**Fig. 1**. Mean annual air temperature in Warsaw in the years 1779-2000




**Rys. 2**.Średnia roczna temperatura powietrza w Tallinie w latach 1779-2000
**Fig. 2**. Mean annual air temperature in Tallin in the years 1779-2000

**Tabela 1**. Średnia roczna temperatura powietrza w Warszawie i Tallinie w kolejnych okresach (°C)

| Okres | Warszawa | Tallin | $\Delta t$ |
|---|---|---|---|
| 1779-1800 | 7,6 | 4,5 | 3,1 |
| 1801-1825 | 7,3 | 4,5 | 2,8 |
| 1826-1850 | 7,1 | 4,3 | 2,8 |
| 1851-1875 | 7,3 | 4,6 | 2,7 |
| 1876-1900 | 7,6 | 4,6 | 3,0 |
| 1901-1925 | 7,8 | 4,8 | 3,0 |
| 1926-1950 | 8,0 | 5,1 | 2,9 |
| 1951-1975 | 8,1 | 5,2 | 2,9 |
| 1976-2000 | 8,5 | 5,5 | 3,0 |

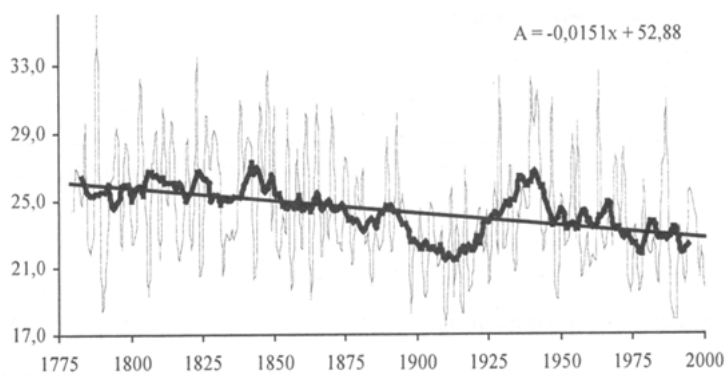
## Roczna amplituda temperatury

W badanym okresie średnie wartości rocznej amplitudy temperatury w Warszawie i Tallinie były prawie jednakowe – odpowiednio 24,4°C i 24,3°C. W Warszawie najmniejsza amplituda wynosiła 17,4°C (1910), największa zaś 35,8°C (na początku serii pomiarowej w roku 1788). Amplitudy ≤20,0°C wystąpiły 21 razy (15 w XX wieku), a ≥30,0°C – 20, z czego 13 w XIX stuleciu. W Tallinie najmniejsza amplituda roczna wyniosła 16,9°C (1803), a największa – 33,2°C (1871). Amplitudy ≤20,0°C występowały częściej w wieku XX (16 z 29 przypadków). Wartości ≥30,0°C stwierdzono w 15 latach, z czego 67% w XIX wieku.

W latach 1779-2000 zarówno w Warszawie, jak i w Tallinie roczna amplituda temperatury wykazywała tendencję spadkową (rys. 3-4). Wartości malały w stolicy Polski o 1,5°C na 100 lat, a w stolicy Estonii – o 1,3°C. Z przebiegu rocznej amplitudy temperatury w kolejnych 25-leciach wynika, że największe wahania roczne temperatury wystąpiły w trzeciej ćwierci XIX wieku (tab. 2). Od tego czasu zachodzi spadek amplitudy rocznej (*A*), na co ma wpływ wzrost średniej temperatury powietrza w zimie (Z).

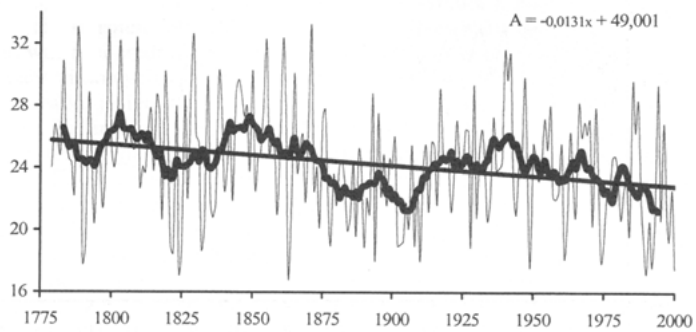
**Tabela 2**. Roczna amplituda temperatury (*A*) oraz średnie wartości temperatury w zimie (Z) i lecie (L) w Warszawie i Tallinie w kolejnych okresach (°C)

| Okres | Warszawa | | | Tallin | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Z | L | *A* | Z | L | *A* |
| 1779-1800 | -3,1 | 18,4 | 25,5 | -5,9 | 15,6 | 25,3 |
| 1801-1825 | -3,6 | 17,9 | 25,8 | -5,3 | 14,9 | 25,1 |
| 1826-1850 | -3,7 | 17,7 | 16,3 | -5,7 | 15,2 | 25,9 |
| 1851-1875 | -3,1 | 18,0 | 24,6 | -5,1 | 15,5 | 25,4 |
| 1876-1900 | -2,5 | 17,6 | 23,7 | -4,4 | 14,8 | 22,9 |
| 1901-1925 | -1,4 | 17,2 | 22,1 | -4,1 | 14,7 | 23,1 |
| 1926-1950 | -2,6 | 18,2 | 25,1 | -4,4 | 15,5 | 24,8 |
| 1951-1975 | -1,9 | 18,1 | 23,6 | -4,1 | 15,4 | 23,9 |
| 1976-2000 | -1,0 | 18,0 | 22,7 | -3,5 | 15,2 | 22,5 |




**Rys. 3.** Roczna amplituda temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000
**Fig. 3.** Annual amplitude of air temperature in Warsaw in the years 1779-2000

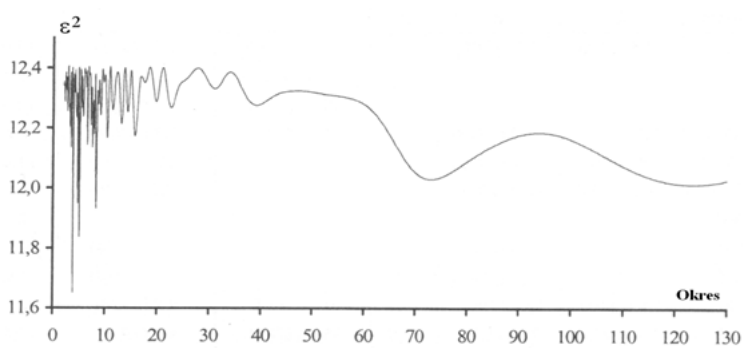
Dokonano próby wyznaczenia cykliczności zmian rocznej amplitudy temperatury powietrza w Warszawie i Tallinie. W tym celu wykorzystano metodę sinusoid regresji J. Boryczki (1998). W obydwu miastach wykryto obecność cykli 8- i 23-letniego, w Warszawie wyraźne są również cykle 13-, 73- i, najdłuższy, 123-letni o amplitudach 1,3°C, 1,3°C oraz 2,0°C, w Tallinie natomiast znaczenie mają cykle 14- i 80-letni (amplitudy odpowiednio 2,5°C i 1,8°C). wyznaczone parametry cykli zestawiono w tabeli (tab. 3), a widma (ciągi wartości wariancji resztkowej $\varepsilon^2$) oscylacji rocznej amplitudy przedstawiono na rysunkach 5-6.



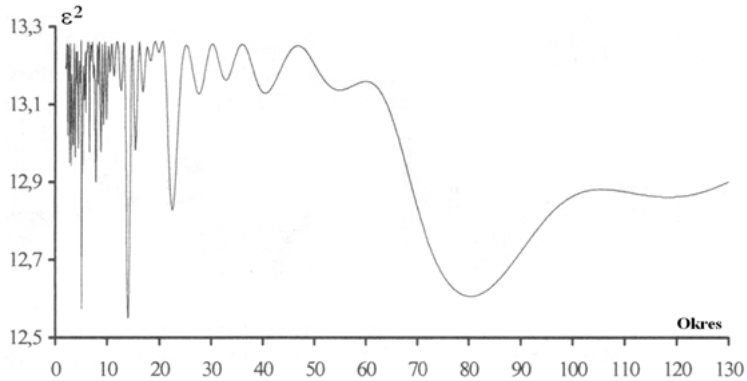

**Rys. 4**. Roczna amplituda temperatury powietrza w Tallinie w latach 1779-2000
**Fig. 4**. Annual amplitude of air temperature in Tallinn in the years 1779-2000

**Tabela 3**. Parametry cykli rocznej amplitudy temperatury w Warszawie i Tallinie

| Warszawa | | | Tallin | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Okres (lata) | Amplituda (°C) | Faza | Okres (lata) | Amplituda (°C) | Faza |
| 8 | 0,95 | -1,028 | 8 | 0,95 | -1,285 |
| 13 | 1,41 | -1,235 | 14 | 2,45 | -2,430 |
| 16 | 1,18 | 0,349 | 17 | 0,47 | -3,141 |
| 23 | 0,94 | -0,454 | 23 | 1,88 | -1,117 |
| 39 | 1,34 | -2,126 | 40 | 0,70 | 0,001 |
| 123 | 2,01 | 2,063 | 118 | 1,54 | -1,842 |




**Rys. 5**. Roczna amplituda temperatury w Warszawie – widmo oscylacji ($\varepsilon^2$)
**Fig. 5**. Annual amplitude in Warsaw – oscillation spectra ($\varepsilon^2$)




**Rys. 6**. Roczna amplituda temperatury w Tallinie – widmo oscylacji ($\varepsilon^2$)
**Fig. 6**. Annual amplitude in Tallinn – oscillation spectra

## Zakres wahań średniej miesięcznej temperatury powietrza

Warunki termiczne może także charakteryzować zakres wahań średnich miesięcznych i średniej rocznej temperatury powietrza (tab. 4). W latach 1779-2000 najniższa średnia temperatura wystąpiła w Warszawie w grudniu 1788 r. (-14,8°C), w Tallinie zaś w lutym roku 1871 (-16,6°C). Najcieplejsze były odpowiednio sierpień 1870 roku – 23,8°C oraz lipiec roku 1914 – 20,8°C. Zakres zmian wartości średnich miesięcznych największy w obu miastach był podczas miesięcy zimowych (grudzień-luty) i wynosił 16-19°C, a najmniejszy latem i na początku jesieni (8-9°C). Największy zakres zmienności przypada w Warszawie i Tallinie na luty, odpowiednio 18,8°C i 19,1°C. najbardziej stabilne warunki termiczne cechują w obu miastach wrzesień – różnica między najwyższą a najniższą wynosi 7,7 (Warszawa) i 7,8°C (Tallin). W miesiącach o skrajnie małych i dużych wahaniach były one nieznacznie większe w Tallinie, ale podczas połowy miesięcy wyraźnie większe były w Warszawie. W rezultacie zakres wahań temperatury średniej rocznej był w obu miastach prawie jednakowy – odpowiednio 5,4°C i 5,3°C. Najwyższa i najniższa średnia roczna w obu miastach różniły się o ok. 3°C, podobnie jak średnia temperatura wieloletnia.

**Tabela 4.** Zakres wahań temperatury średniej miesięcznej w Warszawie i Tallinie (1779-2000) w °C

| miesiąc | Warszawa | | | Tallin | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | Δ | A | B | Δ |
| I | -13,5 (1838) | 3,5 (1796) | 17,0 | -15,2 (1942) | 1,8 (1925) | 17,0 |
| II | -13,7 (1929) | 5,1 (1990) | 18,8 | -16,6 (1871) | 2,5 (1990) | 19,1 |
| III | -6,9 (1845) | 7,4 (1836) | 14,3 | -9,9 (1917) | 2,4 (1990) | 12,3 |
| IV | 2,4 (1817) | 13,2 (1918) | 10,8 | -2,4 (1852) | 7,3 (2000) | 9,7 |
| V | 7,9 (1864) | 18,2 (1937) | 10,3 | 1,9 (1867) | 12,9 (1993) | 11,0 |
| VI | 13,0 (1923) | 22,4 (1811) | 9,4 | 9,0 (1895) | 17,5 (1936) | 8,5 |
| VII | 14,6 (1832) | 22,5 (1811) | 7,9 | 12,5 (1815, 1821) | 20,8 (1914) | 8,3 |
| VIII | 14,0 (1833) | 23,8 (1807) | 9,8 | 12,2 (1836) | 20,5 (1834) | 8,3 |
| IX | 9,1 (1912) | 16,8 (1942) | 7,7 | 7,1 (1993) | 14,9 (1934) | 7,8 |
| X | 1,8 (1805) | 12,6 (1907) | 10,8 | 0,7 (1830) | 9,9 (1923) | 9,2 |
| XI | -3,4 (1919) | 7,2 (1926) | 11,0 | -5,9 (1786) | 5,3 (1938) | 11,2 |
| XII | -14,8 (1788) | 3,2 (1971) | 18,0 | -13,7 (1788) | 2,5 (1932, 1972) | 16,2 |
| Rok | 4,7 (1829) | 10,1 (2000) | 5,4 | 1,9 (1829) | 7,2 (1975) | 5,3 |

## Wnioski

Analizowane charakterystyki temperatury powietrza w Warszawie i Tallinie odznaczają się wysokim stopniem korelacji: współczynnik Pearsona średniej rocznej temperatury w obydwu miastach wyniósł 0,808, a rocznej amplitudy – 0,669.

Średnia roczna temperatura powietrza w Warszawie jest o ok. 3°C wyższa, co wynika z położenia stolicy Polski o 7°szerokości geograficznej na południe i 3°długości geograficznej na zachód od Tallina. Różnica ta w badanym okresie zmieniała się bardzo w niewielkim zakresie. Średnia amplituda roczna również była w warszawie i Tallinie bardzo podobna, ok. 24,5°C. Może to być wynikiem położenia Tallina nad Zatoką Fińską, której wpływ zmniejsza wzrost amplitudy wraz z szerokością geograficzną.

Oba miasta cechują się też zbliżonym zakresem wahań średniej temperatury w kolejnych miesiącach, aczkolwiek skrajne wartości przypadły na różne lata. Tylko dwukrotnie zdarzyło się, że miesiąc z ekstremalną średnią temperaturą wystąpił w obydwu miastach w tym samym roku: najchłodniejszy grudzień w roku 1788 i najcieplejszy luty w roku 1990. Także ten sam rok okazał się najchłodniejszy – był to rok 1829. Zgodnie też w obydwu miastach wystąpił wzrost średniej rocznej temperatury i spadek amplitudy rocznej, który związany jest z wyraźnym wzrostem temperatury miesięcy zimowych. Ten rodzaj zmian można wiązać ze wzrostem oceanizmu klimatu. Zbliżona była również cykliczność zmian amplitudy rocznej.

Analogia warunków termicznych oraz ich zmian czasowych w odległych od siebie o 1000 km, lecz leżących w tym samym regionie klimatycznym miastach wskazuje na podobieństwo procesów kształtujących klimat w strefie umiarkowanej. Dodatkowo uwidacznia się ocieplający wpływ wód Zatoki Fińskiej, które łagodzą klimat położonego bardziej na północy Tallina.

## Streszczenie

Praca poświęcona jest charakterystyce warunków termicznych w Warszawie i Tallinie w latach 1779-2000. W wyniku analizy średnich miesięcznych, średniej rocznej oraz rocznej amplitudy temperatury powietrza stwierdzono podobieństwo cech termicznych w obu miastach. Wyznaczono także parametry cykli amplitudy rocznej.

## Literatura

Boryczka J., 1998, *Zmiany klimatu Ziemi*. Wyd. Akademickie Dialog, Warszawa.

Lorenc H., 2000, *Studia nad 220-letnią (1779-1998) serią temperatury powietrza w Warszawie oraz ocena jej wiekowych tendencji*. Mat. Bad., s. Meteorologia 31, IMGW Warszawa.

Martyn D., 2000, *Klimaty kuli ziemskiej*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.

Tarand A., 2003, *Tallinnas Oödetud Ohutemperatuuri aegrida.* [w:] Jaagus J. (red.) Uurimusi Eesti kliimast, Tartu.

**Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne*, red.: E. Bogdanowicz, U. Kossowska-Cezak, J. Szkutnicki, 2005. IMGW, Warszawa (przedruk artykułu studenta V roku Zakładu Klimatologii WGSR UW

### 7.1.6. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Warszawy w XVIII-XX wieku

Autor: Katarzyna K A L E C I Ń S K A
Opiekun naukowy: Jerzy B O R Y C Z K A

Celem pracy jest określenie ekstremów (minimów i maksimów), wyróżnienie przedziałów czasu o tendencji spadkowej lub wzrostowej względem średniej z całego okresu badawczego oraz tendencji w przebiegu temperatury powietrza w Warszawie od XVIII do XX wieku. Jest nim też określenie prawdopodobieństwa występowania chłodnych i ciepłych: zim, lat, wiosen i jesieni, półroczy i lat (I-XII). Problem rozwiązano na podstawie średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w latach 1779-2000. Ponadto porównano rozkłady empiryczne i normalne prawdopodobieństwa, umożliwiające określenie prawdopodobieństwa występowania: chłodnych i ciepłych zim, wiosen, lat i jesieni oraz półroczy i lat (I-XII).

## Metody badań zmian klimatu

Duże znaczenie w identyfikacji przyczyn wahań klimatu ma wykrycie cykli w przebiegu zmiennych klimatologicznych. Najczęściej stosuje się metodę autokorelacji, które pozwala jednak na wykrycie jedynie krótkich okresów. Nowszym i doskonalszym narzędziem w badaniach tego typu jest wyznaczanie widma i okresów metodą kolejnych sinusoid regresji (Boryczka, 1998). Umożliwia to nie tylko rekonstrukcje, ale także prognozę zmian klimatu.

W badaniach wiekowych zmian klimatu wykorzystano średnie konsekutywne 11-letnie w zależności od czasu – z wzoru:

$$(x_1 + x_2 + \ldots + x_{11})/11,\ (x_2 + x_3 + \ldots + x_{12})/11,\ \ldots$$

gdzie $x_1, x_2, \ldots$ oznaczają temperaturę w kolejnych latach.

W celu dokładniejszego prześledzenia zmian wiekowych temperatury powietrza wyznaczono histogramy tj. liczby przypadków wystąpienia wartości temperatury w przedziałach. W niniejszej pracy wyznaczono też proste regresji określające tendencję temperatury powietrza.

Istotne znaczenie poznawcze i praktyczne ma porównanie histogramów empirycznych temperatury powietrza z rozkładem normalnym. W tym celu posłużono się przedziałami klasowymi temperatury standaryzowanej $(x\text{-}x_{śr})/s$, *gdzie* $x_{śr}$ jest średnią arytmetyczną, s – odchyleniem standardowym:

$$x_{śr} = n^{-1}\Sigma x_i,\ s^2 = n^{-1}\Sigma(x_i\text{-}x_{śr})^2,\ s = (s^2)^{0,5}$$

Przyjęto górne granice przedziałów: -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4.

Ponadto porównano dystrybuanty empiryczne $j/n$, gdzie $j = 1,2,\ldots,n$ w ciągu uporządkowanym od najmniejszej $x_{min}$ do największej $x_{max}$ wartości temperatury. Z porównania wynika, że rozkłady prawdopodobieństwa temperatury powietrza (dystrybuanty empirycznej) są zbliżone do dystrybuant rozkładu normalnego, dotyczącego całej populacji.

## Ochłodzenia i ocieplenia klimatu i ich uwarunkowania

Wiele badań na temat zmian klimatu Ziemi przeprowadził J. Boryczka(1993, 1998, 2001). Na szczególną uwagę w ostatnich latach zasługuje seria „*Atlasów współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*" (Boryczka, Stopa-Boryczka i inni), a zwłaszcza tomy wydawane od roku 1992, które dotyczą: zmian wiekowych klimatu Polski (t. VII – 1992), naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu w Warszawie (t. IX – 1995), cyklicznych zmian aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie (t. X – 1997), tendencji wiekowych klimatu miast w Europie (t. XI – 1998), ochłodzeń i ociepleń klimatu Europy (t. XII – 1999), cyklicznych zmian klimatu miast w Europie (t. XIII – 1999), a także prognoz zmian klimatu Warszawy (t. XIV – 2000), prognoz zmian klimatu miast Europy (t. XV – 2001) i prognoz zmian klimatu Polski (t. XVI – 2002).

Zmiany klimatu są uwarunkowane wahaniami dopływu energii słonecznej do powierzchni Ziemi (zmianami stałej słonecznej) i zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze. Na Słońcu obserwuje się plamy słoneczne, które charakteryzują się okresowym natężeniem i warunkują stałą słoneczną. Liczby Wolfa (wskaźnik aktywności słonecznej) są obliczane na podstawie obserwowanej na tarczy Słońca liczby plam słonecznych i ich grup, określany wzorem:

$$W = k(10g + f),$$

gdzie $k$ – współczynnik proporcjonalności, $f$ – liczba plam, $g$ – liczba grup.

Temperatura powietrza podczas maksimów aktywności Słońca jest wyższa niż w czasie minimów.

Obserwuje się również zależność temperatury powietrza od zawartości pyłów wulkanicznych, które mogą zmniejszyć bezpośrednie promieniowanie słoneczne. Wulkany eksplozywne wyrzucają bowiem do atmosfery duże ilości pyłów i gazów, które mogą w niej pozostawać nawet przez kilkanaście lat. Pył dodatkowo zwiększa rozproszone promieniowanie słoneczne dochodzące do Ziemi, a to z kolei zwiększa spadek średniej temperatury przy powierzchni Ziemi (Boryczka, 2001).

Na klimat środkowej Europy, w tym także Polski wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego – Wyż Azorski i Niż Islandzki. Są one ze sobą skorelowane w taki sposób, że gdy ciśnienie w wyżu rośnie to w niżu maleje. Jest to tzw. Oscylacja Północnoatlantycka (NAO). W widmie tego wskaźnika dominuje cykl około 8-letni. Można zauważyć silną korelację temperatury powietrza w Warszawie ze wskaźnikiem NAO. Podobnie jak w przypadku temperatury jego tendencje w zimie są rosnące, a w lecie malejące. To postępujące ocieplenie zimowe wywołane jest nasileniem ocieplającego oddziaływania Oceanu Atlantyckiego. Natomiast podczas lata obserwuje się zanikanie tego oddziaływania na klimat Polski (Stopa-Boryczka, 2003).

Historia zmian klimatu Ziemi zapisana jest w różnych osadach (głębokomorskich, jeziornych), a także przede wszystkim w lodach Antarktydy, Arktyki i lodowcach wysokogórskich. Analizując zawartość izotopów tlenu $^{18}O$ w substancjach organicznych znajdujących się w tych osadach i rdzeniach lodowych można prześledzić zmiany klimatu, które wystąpiły wiele tysięcy, a nawet milionów lat temu (Boryczka 2001).

W przypadku rekonstrukcji przebiegu temperatury powietrza w ostatnim tysiącleciu wykorzystuje się dane historyczne, dendrometryczne i instrumentalne.

Rekonstrukcje temperatury powietrza ostatnich 2500 lat w różnych miejscach na Ziemi pozwalają wyróżnić kilka zasadniczych przedziałów czasu charakteryzujących się ociepleniem lub ochłodzeniem klimatu. Są to cztery okresy:

- 500 p.n.e-500 n.e. – epoka ciepła (optimum czasów rzymskich)
- 500-800 n.e – epoka chłodna
- 1000-1100 n.e. – epoka ciepła (średniowieczne optimum klimatyczne)
- 1200-1400 n.e. do XIX wieku – epoka chłodna („mała epoka lodowa").

Pierwsze pomiary instrumentalne w Warszawie dokonywane były już w pierwszej połowie XVII wieku, wkrótce po wynalezieniu termometru i barometru. Najwcześniejsze obserwacje temperatury powietrza pochodzą z lat 1654-1655, jednak najdłuższa, ciągła seria rozpoczyna się dopiero od roku 1779. W ciągu ostatnich 200 lat w przebiegu średniej temperatury powietrza zaznaczają się cztery okresy. Od początku ciągłych obserwacji instrumentalnych, czyli od roku 1779 do początku wieku XIX.

W ostatnich 400 latach możemy wyróżnić trzy główne okresy ochłodzenia klimatu w pobliżu lat 1600, 1700 oraz najlepiej poznane w 1830 roku (Schönwiese, 1997).

Obserwuje się (tab. 1-3) optimum termiczne ze średnią temperaturą powietrza 7,8°C (1791-1800). Drugi okres trwający od początku XIX wieku do lat 90-tych XIX wieku charakteryzuje się znacznym ochłodzeniem, które przypada na minimum absolutne aktywności słonecznej (1811-1823 – najsłabszy cykl plam słonecznych) i jednocześnie na wiekowe maksimum aktywności wulkanicznej (1803 – Cotopaxi, 1815 – Tambora, 1835 – Cosequina). Od około 1890 roku zaobserwowano systematyczny wzrost temperatury powietrza, który trwał do lat 80-tych XX wieku. Ostatni okres temperatury trwający do końca XX wieku charakteryzuje się skokowym i gwałtownym przyrostem temperatury. Dwa ostatnie 10-lecia XX wieku są najcieplejszymi w 220-letniej historii obserwacji meteorologicznych w Warszawie (średnie roczne wartości temperatury powietrza 8,5°C i 8,6°C). Przyczyn wzrostu temperatury powietrza od końca XIX wieku doszukuje się we wzroście aktywności Słońca (stałej słonecznej, zwiększeniu się odstępów czasu między kolejnymi wybuchami wulkanów oraz w deformacji antropogenicznej (wynikającej ze wzrostu emisji gazów cieplarnianych do atmosfery, Lorenc, 2000).

**Tabela 1.** Ekstrema wiekowe temperatury powietrza (°C) – Rok

| Najchłodniejsze | | Najcieplejsze | |
|---|---|---|---|
| 1829 | 4,7 | 2000 | 10,1 |
| 1799 | 5,2 | 1989 | 9,8 |
| 1785 | 5,3 | 1990 | 9,7 |
| 1805 | 5,3 | 1983 | 9,6 |
| 1871 | 5,4 | 1797 | 9,6 |
| 1803 | 5,8 | 1975 | 9,5 |
| 1838 | 5,8 | 1934 | 9,5 |
| 1855 | 5,8 | 1992 | 9,4 |
| 1870 | 5,8 | 1999 | 9,3 |
| 1786 | 5,8 | 1994 | 9,3 |

**Tabela 2.** Ekstrema wiekowe temperatury powietrza (°C) – Zima

| Najchłodniejsze | | Najcieplejsze | |
|---|---|---|---|
| 1830 | -9,2 | 1990 | 2,7 |
| 1940 | -8,8 | 1989 | 2,4 |
| 1799 | -8,6 | 1975 | 1,7 |
| 1838 | -8,6 | 1998 | 1,7 |
| 1789 | -8,3 | 1910 | 1,4 |
| 1871 | -8,1 | 1843 | 1,4 |
| 1929 | -7,7 | 1995 | 1,0 |
| 1963 | -7,7 | 1983 | 1,0 |
| 1947 | -7,5 | 2000 | 1,0 |
| 1841 | -7,4 | 1925 | 1,0 |

**Tabela 3.** Ekstrema wiekowe temperatury powietrza (°C) – Lato

| Najchłodniejsze | | Najcieplejsze | |
|---|---|---|---|
| 1913 | 15,5 | 1811 | 21,6 |
| 1832 | 15,6 | 1781 | 20,7 |
| 1923 | 15,6 | 1939 | 20,6 |
| 1844 | 15,7 | 1992 | 20,6 |
| 1907 | 15,8 | 1784 | 20,2 |
| 1821 | 16,0 | 1783 | 20,0 |
| 1902 | 16,0 | 1797 | 19,9 |
| 1919 | 16,0 | 1807 | 19,9 |
| 1785 | 16,2 | 1868 | 19,7 |
| 1899 | 16,2 | 1859 | 19,7 |

## Tendencje zmiany temperatury powietrza

Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000: średniej rocznej, w zimie i lecie wraz ze średnimi konsekutywnymi 11-letnimi i prostymi regresji przedstawiono na rysunkach 1-5.

**Rok.** Średnia roczna temperatura powietrza w Warszawie w wieloleciu 1779-2000 wynosi 7,7°C, a jej tendencja jest wzrostowa, średnio o 0,58°C na 100 lat. Na początku badanego okresu temperatura utrzymywała się w pobliżu 7,4-7,5°C aż do roku 1791, kiedy to zaczęła gwałtownie rosnąć. W roku 1793 osiągnęła dużą wartość 8,0°C i od tego roku zaznacza się spadek temperatury powietrza. Od roku 1814 temperatura znowu zaczęła rosnąć osiągając wartość 7,7°C w roku 1822 i 1823. Przez następne lata temperatura powietrza utrzymywała się poniżej średniej z wielolecia aż do roku 1887. Od tego czasu temperatura ma tendencję rosnącą z krótkimi okresami ochłodzenia w latach 1904-1907, 1936-1945, 1959-1960 oraz 1882-1883. Pod koniec XX wieku temperatura powietrza ma większą tendencję wzrostową (rys.1).

**Zima.** Średnia wartość temperatury powietrza w zimie w wieloleciu 1779-2000 wynosi -2,5°C. Jej wahania wykazują jednak duży zakres od -9,2°C do 2,7°C – największe spośród wszystkich sezonów. Znacznie mniejsze zróżnicowanie wykazują natomiast śred-

nie konsekutywne 11-letnie od -4,2°C do 0,1°C. Początkowe lata badanego okresu charakteryzują się wzrostem temperatury powietrza z maksimum w roku 1793 (-2,1°C), od którego następuje znaczny spadek poniżej średniej z wielolecia. Ochłodzenie to utrzymuje się do około 1825 roku, po którym temperatura powietrza zaczyna powoli rosnąć. W roku 1915 osiąga jedną z większych wartości sezonu zimowego w badanym okresie -0,8°C. Wcześniej jednak w latach 1887-1897 następuje gwałtowne ochłodzenie dochodzące do -3,3°C. Po maksimum w roku 1915 następuje znaczny spadek temperatury powietrza do roku 1942, po którym temperatura znowu zaczyna rosnąć do końca XX wieku z dwoma krótkim okresami spadkowymi w latach 1959-1969 i 1980-1985.

Ogólna tendencja temperatury powietrza w zimie jest rosnąca. Średnio na 100 lat temperatura wzrasta o 1,18°C.

**Lato.** Temperatura powietrza w latach 1779-2000 w Warszawie zazwyczaj ma trend wzrostowy. Wyjątkiem jest lato, w którym wszystkie miesiące charakteryzują się tendencją spadkową. Ogólnie w lecie spadek temperatury wynosi 0,04°C na 100 lat. Największy jest spadek temperatury w sierpniu (0,16°C na 100 lat), a najmniejszy w lipcu (0,02°C na 100 lat). W czerwcu także spadek temperatury powietrza nie jest duży – wynosi 0,05°C na 100 lat. W zmianach temperatury powietrza w lecie można wyróżnić trzy okresy spadkowe – od końca XVIII wieku do roku 1834, 1857-1911 oraz 1942-1983, po których to temperatura powietrza przez kilka lat rośnie. Są to jednak na ogół niezbyt duże wahania temperatury powietrza (od 17,0°C do 18,7°C). Ostatnie lata XX wieku cechują się trendem wzrostowym.

## Prawdopodobieństwo występowania ochłodzeń i ociepleń klimatu w Warszawie

### Rozkład częstości temperatury powietrza

W celu scharakteryzowania wiekowych zmian w przebiegu temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 wyznaczono rozkłady częstości. Obliczono liczbę przypadków w standaryzowanych przedziałach temperatury od -4 do 4 i wykreślono histogramy w roku i porach roku. Wykresy te obrazują rozproszenie wartości temperatury względem średniej wieloletniej (rys. 6, 7, 8). Porównano uzyskane wyniki z histogramem rozkładu normalnego.

**Rok.** Rozkład częstości średnich rocznych (standaryzowanych) wartości temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 znacznie różni się od histogramu rozkładu normalnego (rys. 6). Największa liczba przypadków odpowiada przedziałowi o granicy 1 (8,7°C). Duża liczba przypadków występuje w środkowym przedziale zawierającym średnią arytmetyczną, która w latach 1779-2000 wynosi 7,7°C. Zbliżone są liczebności przedziałów o granicy -1 (6,7°C) i 2 (9,6°C).

**Zima.** W zimie rozkład częstości temperatury powietrza znacznie różni się od rozkładu normalnego (rys.7). Najbardziej liczny jest przedział odpowiadający 1 odchyleniu standardowym (-0,2°C). Znacznie mniej liczebny jest natomiast przedział odpowiadający średniej wieloletniej 1779-2000 o wartości -2,5°C. Zaznacza się w tej porze roku znaczna przewaga wartości temperatury wyższych od średniej.

**Lato.** Najbardziej zbliżony do rozkładu normalnego jest rozkład temperatury powietrza w lecie (rys. 8). Najliczniejsze są dwa przedziały odpowiadające wartościom równym

średniej wieloletniej (17,9°C) oraz 1 odchyleniu standardowemu (19,0°C). Niewiele różnią się od siebie przedziały o granicach odpowiadających -1 (16,8°C) oraz 2 (20,0°C) odchylenia standardowe. W tej porze roku zaznacza się podobnie jak w innych sezonach liczebna przewaga wartości temperatury większych od średniej.

**Dystrybuanty empiryczna i teoretyczna temperatury powietrza**

Dystrybuanta empiryczna rozkładu temperatury powietrza umożliwia wyznaczenie prawdopodobieństwa wystąpienia wartości temperatury mniejszej od zadanej. W celu wyciągnięcia poprawnych wniosków porównano dystrybuantę empiryczną temperatury powietrza z dystrybuantą rozkładu normalnego (dystrybuanta teoretyczna) na wykresach (rys. 9, 10, 11).

**Rok.** Rozkład prawdopodobieństwa średniej rocznej temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 charakteryzuje się małymi odstępstwami od dystrybuanty rozkładu normalnego. Prawdopodobieństwo wystąpienia temperatury mniejszej od wartości odpowiadającej -1 (6,7°C) w przypadku rozkładu empirycznego jest większe niż w rozkładzie normalnym. Natomiast prawdopodobieństwo wystąpienia temperatury powietrza większej niż 1 (8,7°C) jest większe w przypadku dystrybuanty teoretycznej.

**Zima.** Rozkład prawdopodobieństwa temperatury powietrza w zimie w Warszawie w latach 1779-2000 charakteryzuje się największym odstępstwem od rozkładu normalnego. Podobnie jak w przypadku średniej rocznej większe jest prawdopodobieństwo wystąpienia temperatury.

**Lato.** Spośród wszystkich pór roku cechuje się najbardziej zbliżonymi do siebie rozkładami dystrybuanty empirycznej i teoretycznej. Niewielka różnica występuje w przypadku prawdopodobieństwa wystąpienia temperatury mniejszej od 16,5°C, które jest mniejsze w rozkładzie empirycznym. Ponadto prawdopodobieństwa wystąpienia temperatury poniżej 19,3°C jest mniejsze niż według rozkładu normalnego.

**Prawdopodobieństwo występowania chłodnych i ciepłych zim**

Prawdopodobieństwo wystąpienia chłodnych i ciepłych zim, sezonów letnich oraz lat zostało obliczone na podstawie rozkładu normalnego (tab. 4). Jest to wynikiem zbliżonych rozkładów empirycznych i rozkładu normalnego.

**Tabela 4.** Prawdopodobieństwo (%) wystąpienia wartości temperatury powietrza w Warszawie mniejszych od zadanych wartości progowych *Tp* (°C)

| Wartość *Tp* | Standaryzowana | Prawdop. < *Tp* |
|---|---|---|
| Rok | | |
| 5 | -2,80642 | 0,26 |
| 7 | -0,73602 | 22,97 |
| 9 | 1,33437 | 90,99 |
| Zima | | |
| -10 | -3,15238 | 0,08 |
| -5 | -1,04077 | 14,92 |
| 0 | 1,07084 | 85,99 |
| Lato | | |
| 15 | -2,75722 | 0,29 |
| 20 | 2,03331 | 97,93 |

W przypadku średniej rocznej przyjęto trzy wartości progowe 5, 7 i 9°C. Za lata chłodne (I-XII) przyjęto takie, których średnia roczna temperatura powietrza przyjmuje wartość mniejszą od 5°C. Takich przypadków w przyszłości wystąpi jedynie 0,26%. Lata ciepłe charakteryzują się natomiast średnią roczną temperaturą wyższą niż 9°C. Prawdopodobieństwo wystąpienia średniej rocznej temperatury mniejszej od 9°C wynosi 90,99%, więc lat ciepłych wystąpi w najbliższej przyszłości 9,01%. W zimie jako pory roku charakteryzującej się największym zakresem wahań temperatury powietrza przyjęto następujące wartości progowe: >-10°C; >-5°C i <0°C. Prawdopodobieństwo wystąpienia temperatury powietrza mniejszej niż -10°C wynosi tylko 0,08%, a poniżej -5°C już 14,92%. Ciepłe zimy ze średnią temperaturą powyżej 0°C wystąpią z prawdopodobieństwem 14,01%. Duże różnice prawdopodobieństwa występują w przypadku wiosny i jesieni. Ciepłe lata ze średnią temperaturą powyżej 20°C wystąpią z prawdopodobieństwem 2,07%. Chłodnych lat z temperaturą średnią poniżej 15°C będzie 0,29%.

## Podsumowanie

Temperatura powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 cechuje się dużą zmiennością w swoim przebiegu, która świadczy o znaczących zmianach klimatu w tych dwóch stuleciach. Z 222-letniej serii średnich miesięcznych, sezonowych, półrocznych i rocznych wartości temperatury powietrza na stacji Warszawa-Obserwatorium Astronomiczne wynika postępujące ocieplenie klimatu od ostatniej dekady XVIII wieku.

Tendencja średniej rocznej temperatury powietrza ma charakter wzrostowy i wynosi 0,58°C na 100 lat. Tendencja wzrostowa temperatury powietrza występuje w przebiegu średnich wartości temperatury w obu półroczach, a także podczas zimy, wiosny i jesieni oraz w poszczególnych miesiącach tych sezonów. Wyróżniającą się porą roku jest natomiast lato. Charakteryzuje się ono niewielką tendencją malejącą temperatury powietrza (0,04°C na 100 lat). Spośród wszystkich miesięcy na szczególną uwagę zasługuje miesiąc grudzień z największą tendencją rosnącą -średnio o 1,41°C na 100 lat oraz sierpień o największej tendencji malejącej – średnio o 0,16°C na 100 lat.

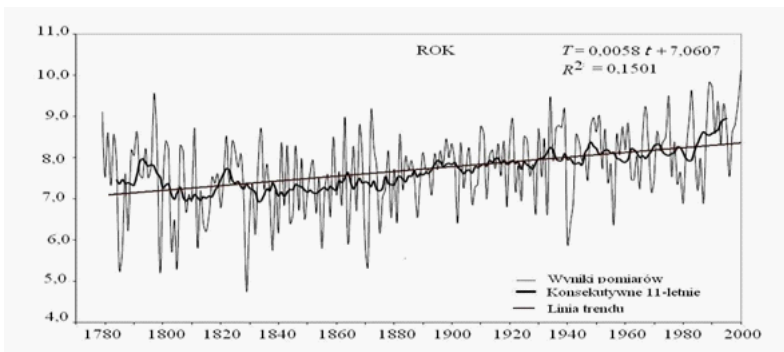
Kolejnym wnioskiem wynikającym z analizy przebiegu temperatury powietrza w Warszawie jest występowanie wyodrębniających się okresów ociepleń i ochłodzeń klimatu. W końcu XVIII wieku zaznacza się optimum klimatyczne, które prawdopodobnie zaczęło się dużo wcześniej. To ocieplenie kończy się wraz z początkiem XIX wieku, kiedy to temperatura powietrza powoli spada. Taki stan utrzymuje się przez cały XIX wiek. Na początku XX wieku natomiast zaznacza się tendencja wzrostowa temperatury – na początku mała, a później – coraz większa. Te różnice w przebiegu temperatury powierza zaznaczają się także w przebiegu ekstremów wiekowych. Występuje przewaga najcieplejszych lat na końcu badanego okresu, a najchłodniejszych – na jego początku. Podobnie jak w przypadku tendencji wyróżnia się sezon letni. Najwięcej maksimów lokalnych średniej temperatury powietrza w lecie wystąpiło pod koniec XVIII i na początku XIX wieku, a minimów na końcu badanego okresu.

Zakres wiekowych zmian w przebiegu temperatury powietrza w latach 1779-2000 została także scharakteryzowany przez porównanie rozkładów częstości z rozkładem normalnym. W ten sposób określono rozproszenie wartości temperatury powietrza względem średniej wieloletniej. Można zauważyć różnicę między rozkładem częstości standa-

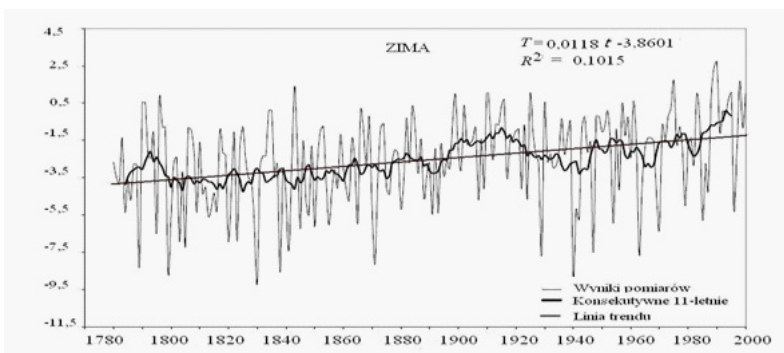
ryzowanych wartości temperatury a rozkładem normalnym. Zaznacza się znaczna przewaga przypadków w przedziale o górnej granicy i odchylenia standardowego, co wynika z liczebnej przewagi wartości temperatury wyższych od średniej.

Ponadto wyznaczono rozkłady empiryczne i normalne prawdopodobieństwa, umożliwiające określenie prawdopodobieństwa występowania: chłodnych i ciepłych zim, wiosen, lat i jesieni oraz półroczy i lat (I-XII). Prawie normalne rozkłady prawdopodobieństwa temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 wykazują, że prawdopodobieństwo wystąpienia lat cieplejszych jest większe niż chłodnych.

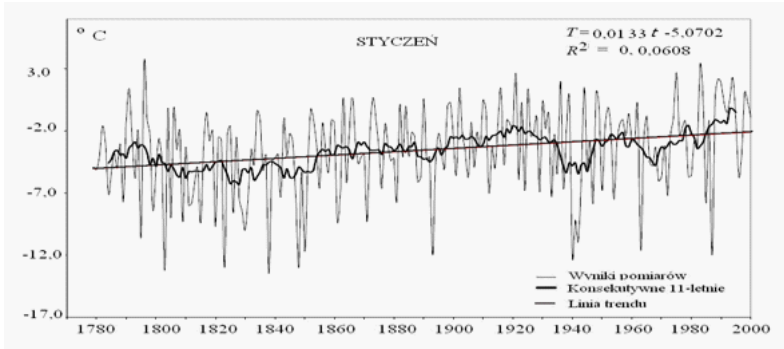
W pracy wyznaczono tendencje temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 w poszczególnych miesiącach, porach roku, półroczach i roku na podstawie danych ze stacji Obserwatorium Astronomiczne. Tendencje określają równania prostych regresji zamieszczone na wykresach. Przebieg temperatury powietrza cechuje się okresami ociepleń (koniec XVIII i XX w) i ochłodzeń (XIX w) klimatu. Zestawiono po 10 najcieplejszych i najchłodniejszych zim, wiosen, lat i jesieni. Na początku badanego przedziału przeważają lata najchłodniejsze, a pod koniec XX w – lata najcieplejsze. Wyjątkiem jest tu tylko sezon letni, w którym najwięcej maksimów wystąpiło pod koniec XVIII w. Ponadto wykazano, że prawdopodobieństwo wystąpienia lat cieplejszych jest większe niż chłodnych.



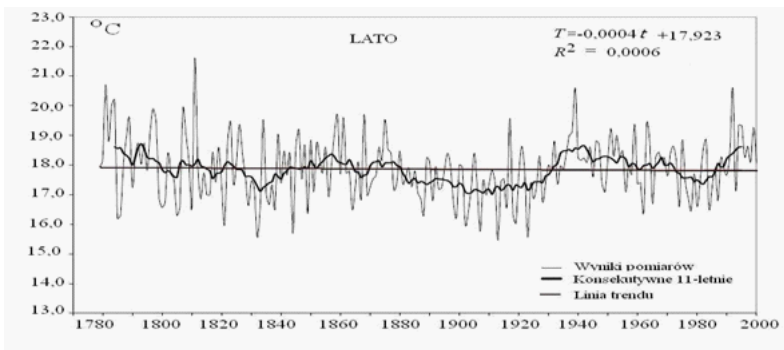

**Rys. 1.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 – Rok



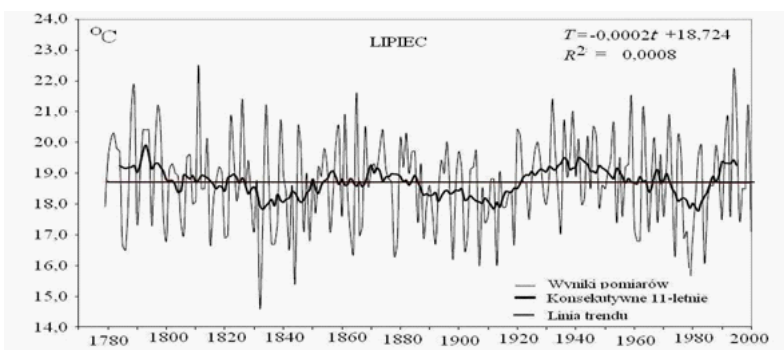

**Rys. 2.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 – Zima



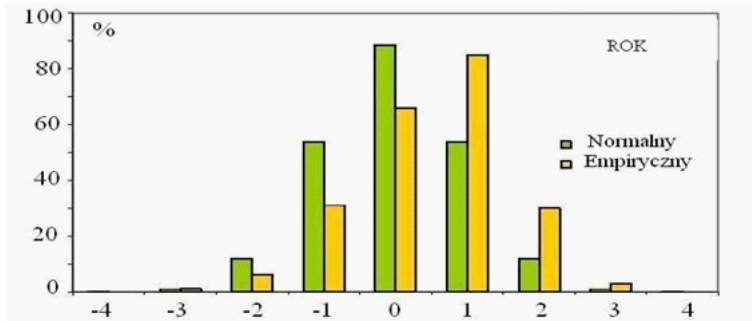

**Rys. 3.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 – Styczeń



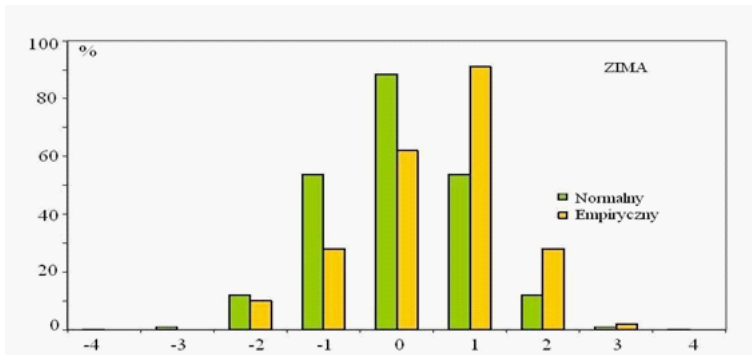

**Rys. 4.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 – Lato



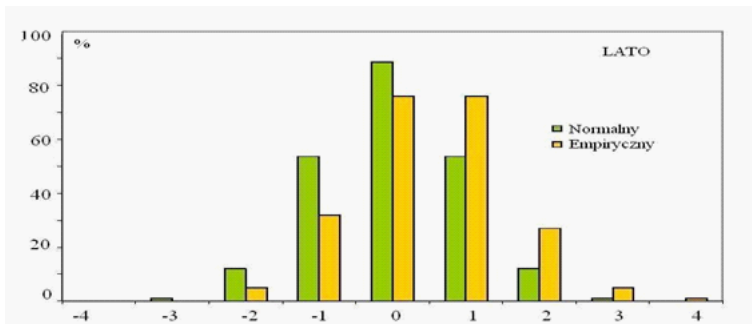

**Rys. 5.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 – Lipiec



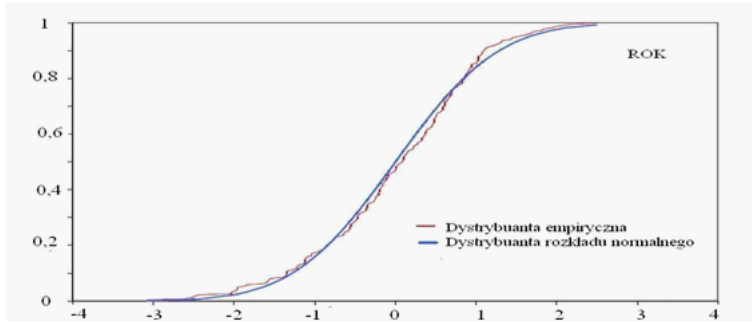

**Rys. 6.** Histogramy (empiryczny i teoretyczny) temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 – Rok



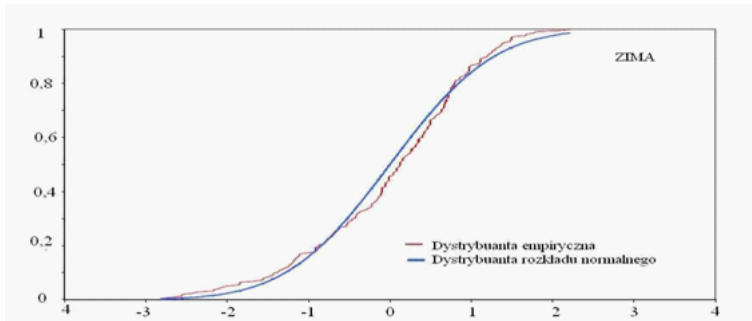

**Rys. 7.** Histogramy (empiryczny i teoretyczny) temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 – Zima



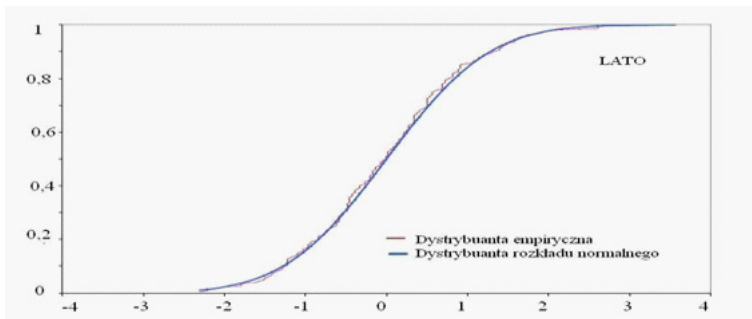

**Rys. 8.** Histogramy (empiryczny i teoretyczny) temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 – Lato




**Rys. 9.** Rozkłady prawdopodobieństwa (empiryczny i normalny) temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 – Rok




**Rys. 10.** Rozkłady prawdopodobieństwa (empiryczny i normalny) temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 – Zima




**Rys. 11.** Rozkłady prawdopodobieństwa (empiryczny i normalny) temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 – Lato

### 7.1.7. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Moskwy w XVIII-XX wieku

Autor: Anna M I S I E W I C Z
Opiekun naukowy: Jerzy B O R Y C Z K A

Celem pracy jest określenie ekstremów wiekowych, okresowych wahań i tendencji zmian temperatury powietrza w Moskwie w XVIII-XX wieku. Celem są też prognozy temperatury powietrza w Moskwie w XXI wieku oraz określenie prawdopodobieństw występowania chłodnych i ciepłych: zim, wiosen, lat i jesieni.

W pracy wyznaczono tendencje temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2002 w porach roku, półroczach i roku oraz w latach 1881-2002 w poszczególnych miesiącach. Zima, wiosna oraz jesień charakteryzują się tendencją wzrostową temperatury powietrza, a lato spadkową. Zestawiono po 10 najchłodniejszych i najcieplejszych zim, wiosen, sezonów letnich, jesieni, półroczy oraz lat. Zaznaczająca się przewaga ciepłych zim i wiosen pod koniec XX i na początku XXI wieku świadczy o ociepleniu klimatu. Prawdopodobieństwo wystąpienia lat cieplejszych jest większe niż chłodniejszych. Istotne znaczenie poznawcze mają widma i istotne statystycznie okresy obecne w seriach pomiarowych temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2002. Są to okresy około 8-letnie, kilkunastoletnie i ponad 100-letnie. Prognozy na lata 2003-2100 na podstawie okresowości wskazują na spadek temperatury w najbliższych latach.

## Materiały źródłowe i metody badań

Do badań zmian temperatury powietrza w Moskwie wykorzystano dane empiryczne ze strony internetowej: www.giss.nasa.gov/.data/update/.gis.temap/station_data.

Są to średnie miesięczne i średnie z poszczególnych pór roku, półroczy oraz roku. Opracowana seria pomiarów dotyczy okresu od 1779 roku do 2002. Dane nie są jednak kompletne. Występują dwa okresy, z których brak jest danych (1793-1819 oraz 1857-1880). Luki w pomiarach nie są dużą przeszkodą w badaniach okresowości, ale wpływają na określenie tendencji temperatury powietrza. Analizowano również dane z lat 1881-2002 jako nieprzerwaną serię pomiarów. Najpierw scharakteryzowano klimat Moskwy na podstawie dostępnej literatury oraz danych z CLINO1(1996). Następnie analizowano średnie wartości temperatury powietrza w poszczególnych sezonach, półroczach oraz roku. Określono ekstrema wiekowe (minima i maksima) oraz wyznaczono amplitudy wahań średnich miesięcznych w badanym okresie poprzez obliczenie różnicy między najwyższą i najniższą temperaturą powietrza. Zestawiono w tabelach po dziesięciu najchłodniejszych i najcieplejszych lat z poszczególnych pór roku. W pracy posłużono się równaniami prostych regresji temperatury powietrza ($T$) względem czasu ($t$):

$$T = at + b,$$

gdzie: $a$ – współczynnik regresji wyrażający dodatnią ($a > 0$) lub ujemną ($a < 0$) tendencję temperatury powietrza (°C/rok lub°C /100 lat), $b$ – wyraz wolny. Proste regresji określają trend temperatury powietrza w poszczególnych miesiącach, porach roku, półroczach i roku. Wykorzystano także średnie konsekutywne 11-letnie, na podstawie których opisano tendencje rosnące i malejące zmian temperatury powietrza w krótszych przedziałach

czasu. Posłużyły one do określenia okresów ochłodzenia i ocieplenia klimatu. Dodatkowo obliczono wartości współczynnika determinacji $R^2 = 1 - (\varepsilon^2/s^2)$, gdzie $\varepsilon^2$ – wariancja resztkowa, $s^2$ – wariancja temperatury).

W przypadku zmian rocznych temperatury powietrza obliczono średnie wartości temperatury powietrza w poszczególnych miesiącach oraz odchylenia standardowe, które następnie odjęto i dodano do obliczonych średnich. W ten sposób otrzymano przedział zmienności średniej rocznej temperatury powietrza w poszczególnych miesiącach.

Widma (ciągi liczbowe wariancji resztkowej $\varepsilon^2$) i okresy (minima lokalne widm) temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2002 wyznaczono metodą „sinusoid regresji" J. Boryczki (1998):

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

gdzie: $\Theta$ – okres, $b$ – amplituda, $c$ – faza,. zadając okresy od 2,0 do $n$ co 0,1 roku.

Mimo braku danych w seriach w seriach pomiarowych można było zastosować tę metodę, gdyż nie wymaga ona uzupełnienia danych.

W celu ustalenia istotności statystycznych zastosowano test Fishera-Snedecora. Porównano wartości obliczone $F_{obl}$ z wartością krytyczną $F_k$ na poziomie istotności 0,05, gdzie $R$ – to współczynnik korelacji:

$$F_{obl} = 0{,}5(n\text{-}3)R^2(1\text{-}R^2)^{-1}$$

Prognozy zmian temperatury powietrza w Moskwie do 2100 roku otrzymano z nakładania cykli, stosując program komputerowy metody sinusoid regresji BOR 3. Wykresy zmian temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2100 przedstawiono na rysunkach.

Ponadto sporządzono histogramy i porównano je z histogramami rozkładu normalnego, standaryzując wartości: $T' = (T\text{-}T_{śr})\, s^{-1}$, gdzie $T_{śr}$ – średnia arytmetyczna, $s$ – odchylenie standardowe. Porównano też dystrybuanty empiryczne z rozkładem normalnym. Standaryzowane wartości temperatury powietrza umożliwiły określenie prawdopodobieństwa wystąpienia wartości temperatury mniejszych lub większych od przyjętych wartości progowych.

Dodatkowo zbadano zgodność rozkładów empirycznego i teoretycznego z wykorzystaniem testu Kołmogorowa:

$$D_n = \sup|m/n - F(x)|$$

gdzie $m/n$ jest dystrybuantą empiryczną ($m$-kolejny numer w uporządkowanym rosnąco ciągu wartości temperatury), a $F(x)$ jest dystrybuantą rozkładu normalnego. Wartości obliczone zmiennej $y = nD_n$ porównano z wartością krytyczną $y_k$ określoną z rozkładu Kołmogorowa na ustalonym poziomie istotności 0,05. Zastosowanie tej metody miało na celu zbadanie, czy oba rozkłady (empiryczny i normalny) są do siebie zbliżone. Na ogół nie było podstaw do odrzucenia hipotezy, że rozkład jest normalny ($y < y_k$).

## Zmiany roczne temperatury powietrza w Moskwie

Przebieg roczny średnich miesięcznych wartości (wieloletnich) temperatury powietrza w Moskwie oraz odchylenia standardowe opisują wykresy na rys. 1. Ponadto zestawiono (tab. 1) średnie miesięczne ($T$), najmniejsze ($T_{min}$) i największe ($T_{max}$) wartości temperatury powietrza, zakres zmian ($T_{max} - T_{min}$) oraz odchylenia standardowe ($s$).

**Tabela 1.** Średnie miesięczne ($T$), wartości najmniejsza ($T_{min}$) i największa ($T_{max}$), zakres wahań ($T_{max}$-$T_{min}$) i odchylenie standardowe ($s$) temperatury powietrza w Moskwie (°C)

| | $T$ | $T_{min}$ | $T_{max}$ | $T_{max}$-$T_{min}$ | $s$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Styczeń | -10,1 | -21,7 | -2,2 | 19,5 | 4,1 |
| Luty | -8,9 | -19,6 | 0,3 | 19,9 | 3,7 |
| Marzec | -3,9 | -12,1 | 2,2 | 14,3 | 2,8 |
| Kwiecień | 4,6 | -1,4 | 11,4 | 12,8 | 2,5 |
| Maj | 12,1 | 5,9 | 17,5 | 11,6 | 2,2 |
| Czerwiec | 16,3 | 11,9 | 21,9 | 10,0 | 2,0 |
| Lipiec | 18,5 | 14,5 | 23,3 | 8,8 | 1,8 |
| Sierpień | 16,6 | 12,2 | 22,5 | 10,3 | 1,8 |
| Wrzesień | 10,9 | 6,9 | 17,7 | 10,8 | 1,8 |
| Październik | 4,3 | -1,1 | 8,9 | 10,0 | 2,0 |
| Listopad | -2,1 | -8,2 | 3,9 | 12,1 | 2,5 |
| Grudzień | -7,6 | -20,2 | 0,0 | 20,2 | 3,6 |

Wykresy przebiegu rocznego temperatury powietrza ($T$) w Moskwie i różnic $T-s$ i $T+s$ w badanym wieloleciu są zbliżone do sinusoid. W półroczu ciepłym (IV-IX) w ciągu sześciu miesięcy temperatura wzrasta od 4,6°C w kwietniu do 18,5°C w lipcu, a następnie maleje do 10,9°C we wrześniu. Przyrost temperatury w półroczu ciepłym wynosi 13,9°C. W półroczu chłodnym, temperatura spada od 4,3°C w październiku do -10,1°C w styczniu, czyli o 14,4°C.

Zima charakteryzuje się największym zakresem wahań (13,9°C) temperatury powietrza (tab. 2). Najmroźniejsza zima w Moskwie w badanym wieloleciu wystąpiła w roku 1893 (-16,8°C).

**Tabela. 2.** Najchłodniejsze i najcieplejsze zimy w Moskwie (ºC)

| Najchłodniejsze | | Najcieplejsze | |
|---|---|---|---|
| 1893 | -16,8 | 1961 | -2,9 |
| 1942 | -15,0 | 1989 | -2,3 |
| 1956 | -14,5 | 2000 | -3,5 |
| 1838 | -14,0 | 1990 | -3,7 |
| 1840 | -13,7 | 1843 | -3,9 |
| 1889 | -13,5 | 1983 | -4,1 |
| 1883 | -13,3 | 1957 | -4,2 |
| 1789 | -13,5 | 1952 | -4,3 |
| 1841 | -13,3 | 1822 | -4,3 |
| 1783 | -13,1 | 975 | -4,3 |

Rozkład prawdopodobieństwa temperatury powietrza w Moskwie w zimie (i innych porach roku) w latach 1779-2002 można uznać jako rozkład normalny (z prawdopodobieństwem 95%). Wartość $F_{obl}=0{,}5180$ jest mniejsza od wartości krytycznej $y_k=1{,}23$ ustalonej na poziomie istotności 0,05 na podstawie rozkładu Kołmogorowa. Przykładowo na rys. 2 porównano wykresy zimowych dystrybuant rozkładów: empirycznego i normalnego temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2002 i wyznaczono prawdopodobieństwa (tab. 3).

**Tabela 3.** Prawdopodobieństwo (%) wystąpienia temperatury powietrza niższej od przyjętych wartości progowych $T_p$ (°C)

| Próg $T_p$ | Po standaryzacji | $P(T<T_p)$ |
|---|---|---|
| -15 | -2,331 | 0,98 |
| -10 | -0,535 | 29,63 |
| -5 | 1,260 | 89,62 |

## Tendencje temperatury powietrza w Moskwie

**1881-2002**

Tendencji zmian temperatury powietrza w Moskwie określono na podstawie ciągłej serii danych od 1881 do 2002 roku (rys. 3 i 4). Średnie konsekutywne11-letnie umożliwiły określić przedziały czasu wzrostów i spadków temperatury powietrza. Styczeń jest najzimniejszym miesiącem w całym roku w badanym wieloleciu. Średnia temperatura powietrza wynosi -10,1 C. Styczeń charakteryzuje się też największą tendencją wzrostową temperatury, która wynosi 3,54 C na 100 lat. W latach 1881-2002 lipiec jest miesiącem najcieplejszym. Średnia temperatura powietrza w lipcu wynosi 18,5°C i waha się od 16,6 do 19,8°C. Spośród miesięcy letnich tendencja wzrostowa temperatury w opisywanym miesiącu jest najmniejsza – 0,81°C na 100 lat.

**1779-2002**

Zima charakteryzuje się tendencją wzrostową temperatury powietrza. Współczynnik regresji temperatury w Moskwie zimą wynosi 0,54°C na 100 lat.Średnia temperatura zimy w Moskwie w latach 1779-2002 wynosi -8,8°C. Jej wahania wykazują duży zakres od -16,8°C do -2,9°C. Jest on największy spośród wszystkich badanych sezonów. Lato charakteryzuje się najwyższą średnią temperaturą powietrza, równą w badanym wieloleciu 17,1°C. W odróżnieniu od pozostałych pór roku w latach 1779-2002 temperatura powietrza ma charakter spadkowy średnio o 0,14°C na 100 lat.

Średnia roczna temperatura powietrza w Moskwie w badanym wieloleciu wynosi 4,2°C. Jej tendencja ma charakter wzrostowy średnio o 0,68°C na 100 lat.

## Okresowe zmiany temperatury powietrza w Moskwie

Przykładowo przedstawiono wykres widma temperatury powietrza w zimie (rys. 5). Parametry cykli: $\Theta$, $b$, $c$, wariancje resztkowe $\varepsilon^2$, współczynniki korelacji $R$ i wartości obliczone $F_{obl}$ statystyki Fishera-Snedecora zestawiono w tabeli 4.

Na poziomie istotności 0,05 (5%) wartość krytyczna $F_k$ dla danych z Moskwy z przedziału 1779-2002 lat wynosi 3,04.

W zimie największymi amplitudami cechują się cykle o okresach 2,4 lat (0,993°C), 59,9 lat (0,829°C), 46 lat (0,761°C) oraz 133 lat. (0,741°C). Najistotniejszy spośród zestawionych okresów okazał się okres 133-letni. Charakteryzuje się on największą wartością obliczoną $F_{obl}$=6,215492 oraz znaczącą wartością amplitudy $b$=(0,741°C). Największym zakresem wahań $T_{max}$-$T_{min}$=2$b$=1,99°C cechuje się cykl najkrótszy 2,4-letni.

**Tabela 4.** Okresy $\Theta$, amplitudy $b$ (°C) i fazy $c$ cykli temperatury powietrza, w Moskwie, $s^2$ – wariancja resztkowa, $R$ – współczynnik korelacji, $F_{obl}$ wartość statystyki testu Fishera-Snedecora

| Zima | | | | | | Wiosna | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ | b | c | $s^2$ | R | $F_{obl}$ | $\Theta$ | b | c | $s^2$ | R | $F_{obl}$ |
| 2,4 | 0,993 | 0,2031 | 7,075 | 0,253 | 5,57 | 4,7 | 0,435 | -1,8834 | 3,129 | 0,179 | 2,69 |
| 9,3 | 0,620 | -1,2835 | 7,224 | 0,210 | 3,77 | 5,9 | 0,506 | -0,5607 | 3,109 | 0,195 | 3,23 |
| 9,8 | 0,609 | 1,0010 | 7,17 | 0,227 | 4,42 | 7,9 | 0,509 | 0,9964 | 3,089 | 0,210 | 3,78 |
| 11,4 | 0,33, | 0,4712 | 7,242 | 0,205 | 3,56 | 8,6 | 0,319 | -2,1403 | 3,143 | 0,166 | 2,31 |
| 18,6 | 0,678 | 2,2607 | 7,373 | 0,157 | 2,05 | 9,1 | 0,378 | 1,0783 | 3,136 | 0,172 | 2,50 |
| 38,5 | 0,370 | 2,8201 | 7,30 | 0,185 | 2,89 | 13,9 | 0,577 | 0,5198 | 3,083 | 0,215 | 3,94 |
| 46,0 | 0,761 | -1,5208 | 7,219 | 0,212 | 3,83 | 32,2 | 0,107 | 1,5152 | 3,152 | 0,157 | 2,07 |
| 59,9 | 0,829 | 0,1929 | 7,16 | 0,230 | 4,54 | 56,6 | 0,278 | 0,2814 | 3,012 | 0,261 | 5,96 |
| 84,9 | 0,543 | -0,5059 | 7,233 | 0,208 | 3,67 | 80,2 | 0,419 | 2,9225 | 3,068 | 0,225 | 4,36 |
| 133,0 | 0,741 | 2,2464 | 7,023 | 0,266 | 6,22 | 176,1 | 0,941 | -0,1971 | 2,659 | 0,421 | 7,57 |
| Lato | | | | | | Jesień | | | | | |
| $\Theta$ | b | c | $s^2$ | R | $F_{obl}$ | $\Theta$ | b | c | $s^2$ | R | $F_{obl}$ |
| 3,5 | 0,305 | 1,7669 | 1,864 | 0,187 | 2,94 | 2,9 | 0,323 | 0,6236 | 1,874 | 0,179 | 2,69 |
| 3,9 | 0,293 | -1,4847 | 1,877 | 0,168 | 2,36 | 4,1 | 0,320 | -1,6386 | 1,885 | 0,162 | 2,20 |
| 5,7 | 0,377 | 3,1003 | 1,871 | 0,177 | 2,62 | 5,6 | 0,369 | -0,2124 | 1,855 | 0,204 | 3,55 |
| 7,0 | 0,503 | 1,8642 | 1,804 | 0,257 | 5,75 | 6,4 | 0,399 | -2,3059 | 1,840 | 0,223 | 4,25 |
| 8,3 | 0,339 | -1,8131 | 1,884 | 0,156 | 2,04 | 6,7 | 0,172 | 1,7992 | 1,886 | 0,161 | 2,16 |
| 10,7 | 0,281 | 1,6706 | 1,885 | 0,155 | 2,00 | 9,5 | 0,317 | -2,8416 | 1,879 | 0,171 | 2,47 |
| 13,2 | 0,215 | -1,6639 | 1,875 | 0,171 | 2,44 | 14,5 | 0,380 | -2,6335 | 1,865 | 0,191 | 3,10 |
| 21,2 | 0,270 | -0,5927 | 1,853 | 0,201 | 3,44 | 39,8 | 0,424 | -1,6001 | 1,858 | 0,201 | 3,42 |
| 51,3 | 0,494 | 1,8055 | 1,786 | 0,274 | 6,63 | 62,0 | 0,249 | 1,0128 | 1,898 | 0,140 | 1,63 |
| 159 | 0,638 | -1,4717 | 1,683 | 0,359 | 12,02 | 140,1 | 0,537 | 1,6226 | 1,830 | 0,234 | 4,72 |
| Rok | | | | | | | | | | | |
| $\Theta$ | b | c | $s^2$ | R | $F_{obl}$ | | | | | | |
| 2,4 | 0,285 | 0,3792 | 1,244 | 0,171 | 2,45 | | | | | | |
| 4,7 | 0,234 | -1,4750 | 1,252 | 0,151 | 1,91 | | | | | | |
| 5,7 | 0,261 | 1,6490 | 1,236 | 0,188 | 2,99 | | | | | | |
| 7,0 | 0,218 | 1,8301 | 1,248 | 0,161 | 2,99 | | | | | | |
| 7,9 | 0,150 | 1,5237 | 1,247 | 0,164 | 2,24 | | | | | | |
| 8,6 | 0,216 | -1,2519 | 1,249 | 0,159 | 2,11 | | | | | | |
| 9,4 | 0,153 | 2,5249 | 1,250 | 0,156 | 2,04 | | | | | | |
| 12,6 | 0,262 | -2,5230 | 1,232 | 0,196 | 3,26 | | | | | | |
| 60,2 | 0,219 | 1,0684 | 1,194 | 0,261 | 5,96 | | | | | | |
| 152,3 | 0,628 | 1,3439 | 0,992 | 0,475 | 23,8 | | | | | | |

Wiosną najbardziej istotnymi są cykle najdłuższe: 176,1-letni (17,57), 80,2-letni (4,36) oraz 56,6-letni (5,96). Największymi amplitudami charakteryzują się cykle 76,1-letni (0,941°C), 13,9-letni (0,577°C) i 7,9-letni (0,509°C). W tej porze roku największą rolę w kształtowaniu klimatu Moskwy odgrywa cykl o najdłuższym okresie $\Theta = 176{,}1$ lat. Znacznie mniejsze znacznie ma cykl o okresie 13,9 lat.

W lecie, spośród dziesięciu wyznaczonych cykli tylko cztery są istotne statystycznie na poziomie 5%. Do najistotniejszych należą dwa o najdłuższych okresach 0: 159-letni (12,02) i 51,3-letni (6,63). Duże wartości amplitud b mają najdłuższe cykle: 159-letni (0,638°C) i 51,3-letni (0,493°C). Istotny jest także cykl 7-letni (5,75), który charakteryzuje się również dużą amplitudą $b = 0{,}503$°C).

W sezonie jesiennym do najbardziej istotnych cykli należą 140,1-letni (4,72), 6,4-letni (4,25) i 39,8 (3,42). Odznaczają się one największymi wartościami amplitud *b*, kolejno: 0,537°C; 0,399°C i 0,424°C. Oprócz najdłuższego cyklu (140,1-letniego) duża istotność charakteryzuje cykle 39,8-letni i 6,4-letni.

Trzy cykle średniej rocznej temperatury powietrza cechują się tylko wartością $F_{oM}$ większą od wartości krytycznej wynoszącej 3,04, a tym samym są istotne statystycznie. Są to trzy najdłuższe cykle: 152,3-letni (23,77), 60,2-letni (5,96) i 12,6-letni (3,26). Największymi amplitudami (*b*) cechują się okresy 152,3-letni (0,628°C), 2,4-letni (0,285°C) oraz 12,6-letni (0,262°C). Stąd wynika, że najistotniejszymi cyklami o największych amplitudach *b*, są cykle najdłuższe.

## Prognozy temperatury powietrza w latach 2003-2100

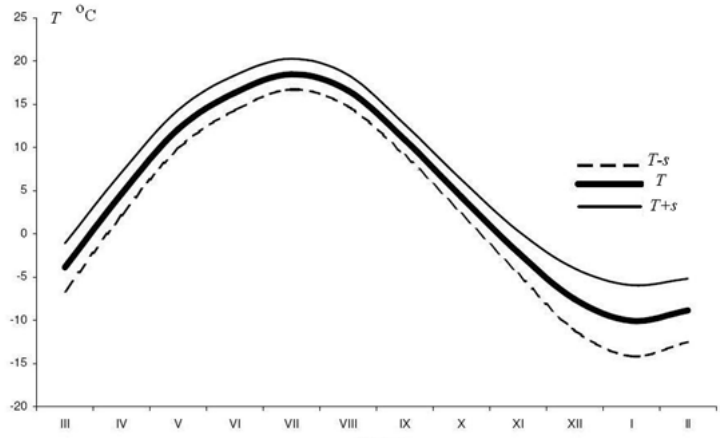
W celu określenia prognoz zmian klimatu w Moskwie na lata 2002-2100 wyznaczono funkcje aproksymujące $T=f(t)$ uwzględniające nakładanie się cykli $\Theta_j$ temperatury powietrza:

$$T = f(t) = a_0 + \Sigma b_j \sin(2\pi t\ \Theta_j^{-1} + c_j)$$

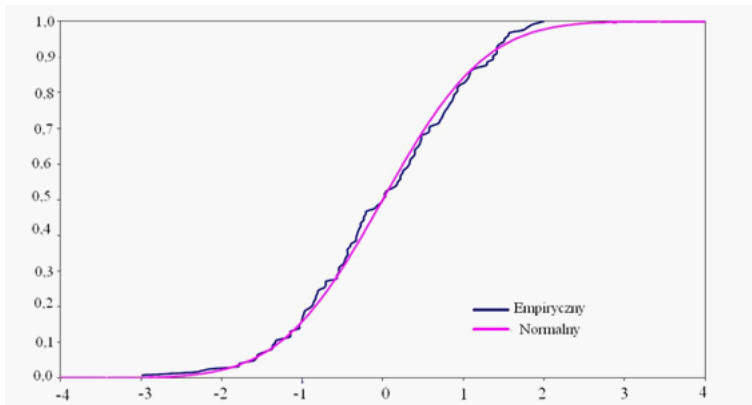
Na wykresach (rys. 6-10) przedstawiono wyniki pomiarów (serie danych z Moskwy z lat 1779-2002) oraz wartości obliczone, wraz z prognozami do 2100 roku.

W zimie spadek temperatury będzie bardzo gwałtowny. Prognozy przewidują ochłodzenie o kilka stopni Celsjusza w ciągu kilkudziesięciu lat. Od około 2025 roku temperatura powietrza prawdopodobnie zacznie wzrastać i dopiero po 25 latach (około roku 2050) zaznaczy się jej niewielki spadek. Następnie od lat 80. XXI wieku możliwy jest minimalny wzrost temperatury powietrza.

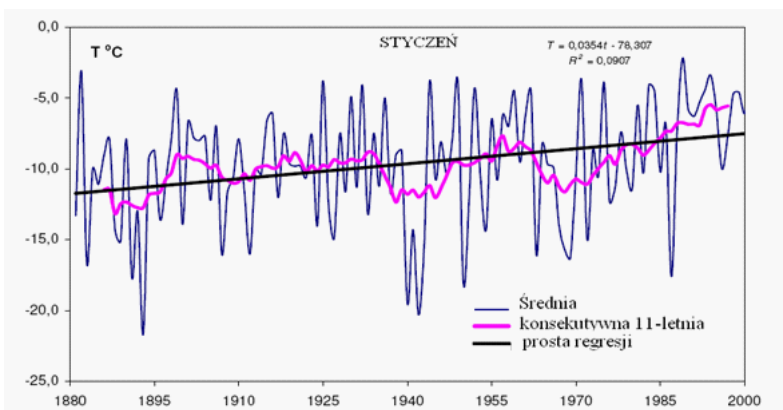
Tendencja temperatury powietrza wiosną do 2100 roku jest na ogół malejąca. Do końca pierwszego stulecia XXI wieku przewiduje się powolny spadek temperatury powietrza o około 3°C. Prognozy na nadchodzące sezony letnie w Moskwie charakteryzują się tendencją spadkową temperatury powietrza. W lecie przewiduje się stopniowe ochłodzenie i spadek temperatury powietrza o około 1-1,5°C do 2100 roku. Prognozy zmian temperatury powietrza w Moskwie w sezonie jesiennym wskazują na początkowy niewielki spadek temperatury powietrza (do 2050 roku o około 2°C). Następnie możliwe jest ocieplenie klimatu i wzrost średniej temperatury powietrza nawet o 3°C w stosunku do roku 2050. Prognoza zmian średniej rocznej temperatury powietrza przewiduje raczej powolny spadek jej w ciągu najbliższych 75 lat. Spadek wartości temperatury o około 1-1,5°C od początków XXI wieku do lat 70. XXI wieku poprzedzać będzie powolny wzrost temperatury powietrza.



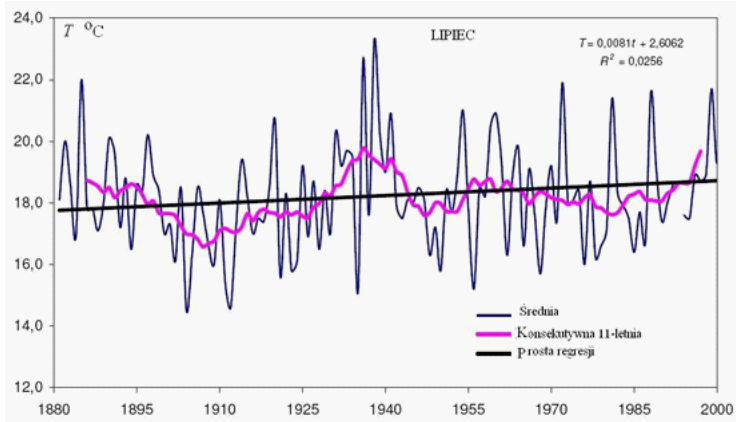

**Rys. 1.** Zmiany roczne temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2002



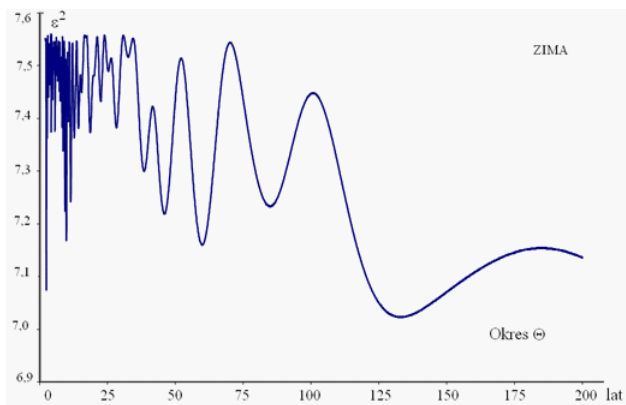

**Rys. 2.** Dystrybuanty:rozkładów: empirycznego i normalnego temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2002 – Zima



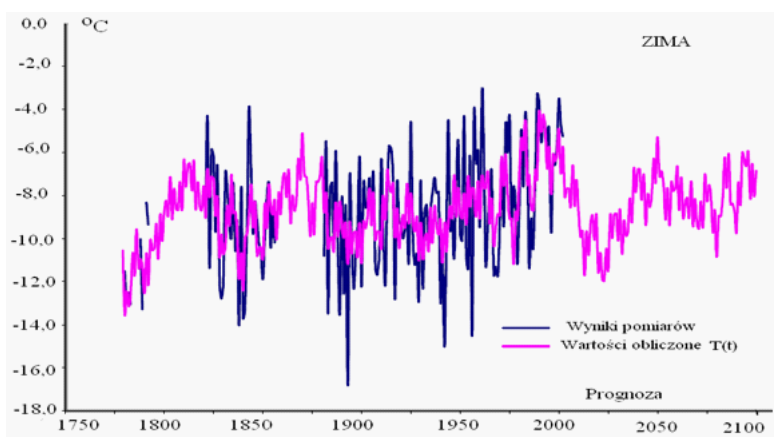

**Rys. 3.** Zmiany temperatury powietrza w Moskwie w latach 1881-2002 (Styczeń)



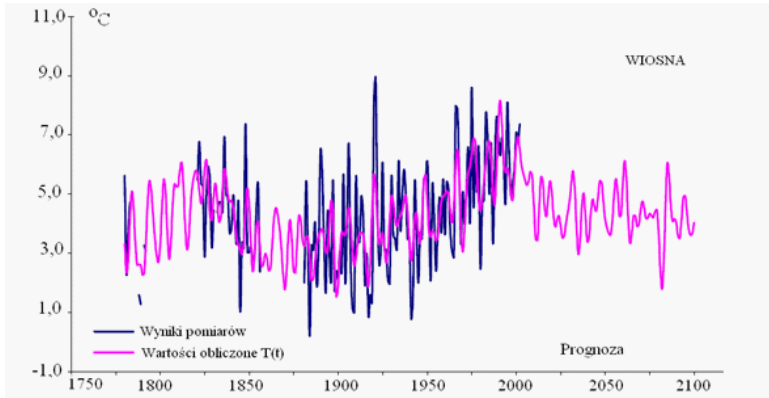

**Rys. 4.** Zmiany temperatury powietrza w Moskwie w latach 1881-2002 (Lipiec)



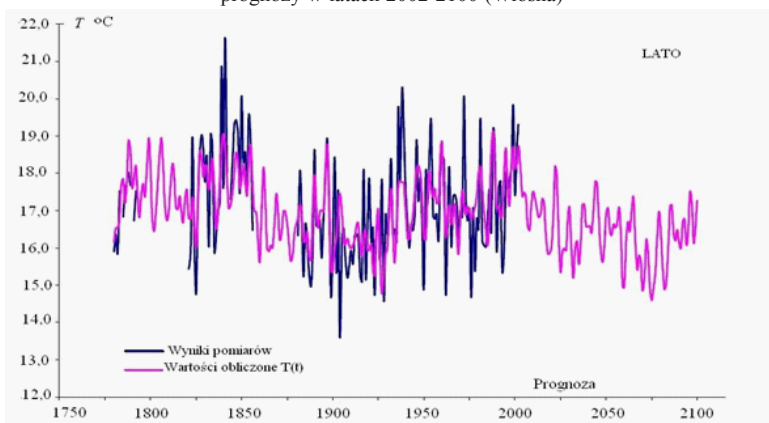

**Rys. 5.** Widmo temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2002 (w paśmie 2,0-200 lat, co 0,1 roku) – Zima



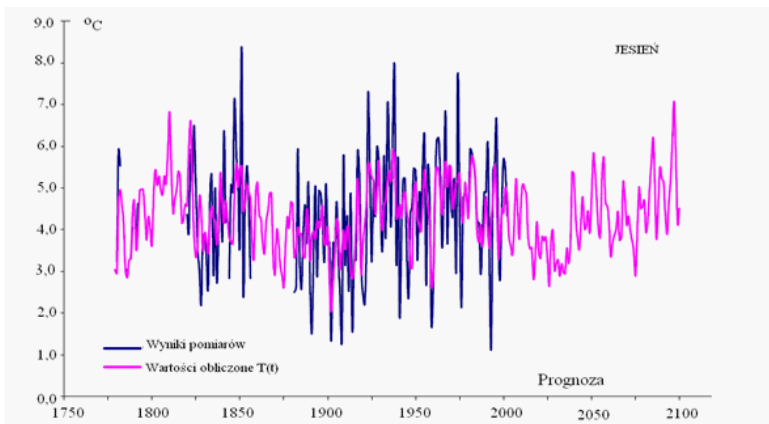

**Rys. 6.** Zmiany temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2002, prognozy w latach 2002-2100 (Zima)



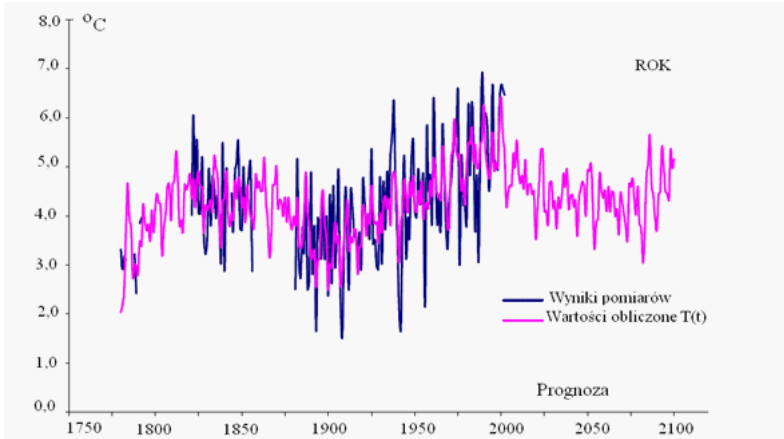

**Rys. 7.** Zmiany temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2002, prognozy w latach 2002-2100 (Wiosna)




**Rys. 8.** Zmiany temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2002, prognozy w latach 2002-2100 (Lato)




**Rys. 9.** Zmiany temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2002, prognozy w latach 2002-2100 (Jesień)




**Rys. 10.** Zmiany temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2002, prognozy w latach 2002-2100 (Rok)

### 7.1.8. Długookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w XVIII-XX wieku

Autor: Grzegorz M A K S Y M I U K
Opiekun naukowy Katarzyna G R A B O W S K A

## Cel pracy i zarys treści

W pracy określono wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na opady atmosferyczne w Warszawie w latach 1825-1998. Analizie poddano sumy opadów atmosferycznych, liczbę dni z opadem z lat 1955-1980, oraz wskaźnik NAO Jonesa.

Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej badano na miesięczne, sezonowe i roczne sumy opadów oraz liczby dni z opadem. Posłużono się współczynnikiem korelacji. Analizując sumy opadów atmosferycznych rozpatrzono związki synchroniczne oraz asynchroniczne.

## Przegląd literatury

V. Kremser (1884), analizując serię pomiarową od 1799 roku na stacji we Wrocławiu, stwierdził spadek sum opadów.

A. Pietkiewicz (1889) na podstawie pomiarów na stacji Obserwatorium Astronomiczne, poddał szczegółowej analizie roczne, sezonowe i miesięczne sumy opadów atmosferycznych w stolicy w latach 1813-1887.Autor wyznaczył 3własne epoki opadowe w Warszawie – 1816-1850, mokra – 1851-1880, sucha – 1881-1910. Stwierdził też wpływ 11-letniego cyklu plam słonecznych na opady atmosferyczne półrocza ciepłego.

J.P. Rychliński (1923), analizując stuletnią serię opadów w Warszawie sformułował wnioski dotyczące okresowości zmian opadów – cykl opadowy wynosi 4,2 lat. W kolejnej pracy (1927) dzięki zaproponowanemu wskaźnikowi kontynentalizmu pluwiotermicznemu stwierdził, iż wpływy oceaniczne Atlantyku o najdalszym wschodnim zasięgu występują między 50 a 60° szerokości geograficznej, a także, że w ciągu stulecia 1811-1910 w Warszawie zmalał wpływ kontynentu Europy i Azji.

Wpływ wysokości rzeźby terenu na wielkość opadów został udowodniony w pracy H. Hessa (1965) który podkreślił, że cień opadowy Karpat dochodzi do 100 km.

W. Okołowicz (1948), analizując dane z okresu 1851-1930 wydzielił pas zmniejszających się sum opadów, począwszy od Berlina poprzez Warszawę, Lwów, Odessę i kończąc na Sulinie. Anomalię tę opadów w Europie wyjaśniał rozbudową cienia opadowego Sudetów i Karpat, wywołaną przyrostem cyrkulacji południowo-zachodniej.

J. Stachy (1969) za przyczynę stepowienia środkowych obszarów Polski, a także zmniejszenie odpływu rzek polskich. podaje zmiany klimatyczne w latach 1901-1965 wywołane zmianami aktywności Słońca. Autor uważa, że wzrostowi aktywności od początku drugiego dziesięciolecia XX w. towarzyszyło osłabienie cyrkulacji zachodniej i aktywizacja wschodniej.

Z. Kaczorowska (1962) stwierdziła zależność sum opadów od liczb Wolfa w latach 1950-1959. W przypadku Koszalina, Krakowa, Warszawy i Wrocławia okazało się, że przy maksimum plam słonecznych opady są nieznacznie niższe niż przy minimum. Stosując analizę harmoniczną, wykazano okresowe wahania sum opadów atmosferycznych w Polsce.

K. Kożuchowski (1985, 1986) wieloletnią zmienność opadów wyjaśniał związkiem z cyrkulacją stratosferyczną i troposferyczną oraz aktywnością Słońca, przypisując dominującą rolę cyrkulacji strefowej. W stuleciu 1881-1980 w Polsce, przyczyną zwiększonych sum opadów atmosferycznych jest rozwój procesów cyrkulacyjnych W i E (wg klasyfikacji Wangengeima).

L. Suryjak (1974) wykazał związek średnich sum opadów na terenie Polski z quasidwuletnią zmiennością terminów wiosennych zwrotów kierunku wiatrów stratosferycznych.

L. Suryjak (1974) i A. N. Tomaszewska (1974) zauważyli, że w latach równoczesnego zwrotu wiatru w stratosferze, opady na obszarze Polski były przeciętnie o 10% niższe od średnich wieloletnich.

B. Olechnowicz-Bobrowska (1971), badając związek między rozwojem mas powietrza, a opadem w poszczególnych sezonach i roku w Warszawie w latach 1951-1960, stwierdziła, że prawdopodobieństwo wystąpienia dni z opadem w Warszawie jest największe w masie PPm (49%), a znacznie mniejsze – w masie PPk (30%).

A. Ewert (1984), badając zmiany opadów atmosferycznych w Polsce Północno-zachodniej, wykazują największą ich korelację z 80- i 90-letnim cyklem aktywności Słońca. W przypadku minimum wiekowego cyklu opady półrocza chłodnego są duże,a w przypadku maksimum – małe. Typ cyrkulacji zachodniej (wg Wangengeima) sprzyja występowaniu dużych sum opadów, natomiast ogranicza je typ cyrkulacji południkowej. Istotnym elementem mającym wpływ na wahania wysokości opadów są też zmiany częstości typów barycznych Północnego Atlantyku, które wykorzystano w celu określenia znaczenia zmian ciśnienia w centrum Niżu Islandzkiego.

A. Styszyńskiej (2001) badała wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na warunki opadowe w Polsce w latach 1951-1995 (w 26 stacjach meteorologicznych). Hurrella. Okazało się, że wpływ NAO (wskaźnik Hurrella) na opady w północnej Polsce (Szczecin, Szczecinek, Lębork, Olsztyn, Suwałki) jest istotny statystycznie.

A. Marsz (1999), oddziaływanie Oscylacji Północnoatlantyckiej w zimie na opady w sierpniu i listopadzie powiązał z „przenosem prądowym anomalii temperatury wody powierzchniowej na północnym Atlantyku".

E. Łupikasza (2001) stwierdziła związki między zmiennością wskaźnika nierównomierności opadów w Europie, a zmiennością wskaźnika NAO, zależne od pory roku.

K. Kożuchowski (2003), zajmując się kontynentalizmem, przejściowością i zmiennością klimatu Polski, stwierdzia, iż w kształtowaniu klimatu (także opadów) duże znaczenie ma składowa południkowa cyrkulacji, zwłaszcza dla przejściowych pór roku. Jego badania potwierdziły tezę o zmiennym kierunku wpływu NAO na wysokość opadów w Polsce w ciągu roku.

## Materiały źródłowe i metody badań

W pracy wykorzystano miesięczne sumy opadów atmosferycznych w Warszawie z lat 1825-1998 – z Obserwatorium Astronomicznego. Dane te zostały uzupełnione o 25-letnią serię liczby dni z opadem z lat 1955-1980. Do analizy Oscylacji Północnoatlantyckiej wykorzystano wartości indeksu NAO Jonesa z lat 1825-1998.

Przebieg roczny opadów atmosferycznych w Warszawie zbadano na podstawie miesięcznych sum opadów oraz miesięcznej liczby dni z opadem. Wyznaczono też przedzia-

ły częstości występowania sum opadów i liczby dni z opadem w sezonach i roku. Zmienność wieloletnią w badanym okresie przedstawiono za pomocą 11-letnich średnich konsekutywnych oraz prostej regresji.

Obliczono współczynniki kierunkowe prostych regresji miesięcznych, sezonowych i rocznych sum opadów oraz liczby dni z opadem.

Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na sumy opadów atmosferycznych oraz liczbę dni z opadem opisano współczynnikiem korelacji prostej. Obliczono synchroniczne i w przypadku sum opadów asynchroniczne wartości współczynników korelacji. Przeanalizowano także stabilność badanych związków obliczając wartości współczynników korelacji w różnych epokach cyrkulacyjnych, wyznaczonych na podstawie wartości indeksu NAO (Marsz, 1999).

## Zmiany Oscylacji Północnoatlantyckiej w latach 1825-1998

Dwa dominujące ośrodki baryczne atlantycko-europejskiego sektora cyrkulacyjnego to Niż Islandzki oraz Wyż Azorski. Między ciśnieniem w jednym i drugim ośrodku zachodzi telekoneksja. Ciśnienie w Niżu Islandzkim i Wyżu Azorskim są ze sobą ujemnie skorelowane. Wyróżnia się pozytywną (dodatnią) oraz negatywną (ujemną) fazę NAO. Dodatnia faza NAO występuje gdy wzrostowi ciśnienia w Wyżu Azorskim towarzyszy spadek ciśnienia w Niżu Islandzkim. Negatywna faza NAO występuje kiedy ciśnienie w Niżu Islandzkim rośnie, a w Wyżu Azorskim spada. Gradient ciśnienia podczas fazy pozytywnej ma kierunek równoleżnikowy (adwekcja powietrza z zachodu), a przy negatywnej – południkowy.

W pracy wykorzystano opracowany przez Jonesa, Jonssona i Wheelera (1997) wskaźnik NAO. Stanowi on znormalizowaną średnią miesięczną różnicę ciśnienia atmosferycznego między Gibraltarem a Stykkisholmur (Islandia) (Marsz, Styszyńska, 2002). Wskaźnik ten oparty jest jak do tej pory na najdłuższym ciągu pomiarów instrumentalnych ciśnienia atmosferycznego, mających początek w 1821 roku.

Przebieg wieloletni indeksu NAO Jonesa w latach 1825-1998 przedstawiono na rys.1. Charakteryzuje się on malejącą tendencją, której wartość wynosi $a = -0{,}0012$, czyli -0,12/100 lat.

Średni przebieg roczny wartości indeksu NAO Jonesa w latach 1825-1998 – na rys. 2. Najwyższa wartość indeksu NAO w przypadku przebiegu rocznego wystąpiła w sierpniu (0,83) (rys.2). Nieco słabsze wartości przypadały na styczeń (0,57) i luty (0,65). Minimum wystąpiła w październiku (-0,49). Maj również charakteryzował się niską wartością wskaźnika (-0,22). Przewaga wiatrów zachodnich zatem występuje zimą i pod koniec lata. Natomiast wymiana powietrza o charakterze południkowym ma miejsce jesienią i pod koniec wiosny.

Przebiegi średnich konsekutywnych 11-letnich wartości indeksu NAO podczas zimy i lata (rys.3) charakteryzują równania prostych regresji:

$$\text{Zima} - y = -0{,}0012x + 0{,}601,\ \text{Lato} - y = -0{,}0072x + 1{,}088$$

o współczynnikach determinacji odpowiednio: $R^2$: 0,022 i 0,655.

Wieloletnie przebiegi wartości indeksu NAO w latach 1825-1998, zarówno w zimie jak i w lecie cechują się tendencją ujemną. W przypadku zimy tendencja ta wynosi

-0,12/100 lat, a w lecie -0,72/100 lat. Z tym dużym spadiem NAO w lecie wiąże się spadek zachodniego przenosu powietrza. W przypadku zimy trend nieznacznie odbiega od 0.

Minimum aktywności NAO zimą przypadło na koniec lat 60-tych. Od tego momentu widoczny jest wzrost wskaźnika, co potwierdza.

## Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1825-1998

### Zmiany roczne

Zmiany roczne średnich miesięcznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1825-1998, ma typowy dla Polski, przebieg sinusoidalny (rys. 4). Poczynając od lutego (średnia wartość 29 mm) opady z miesiąca na miesiąc osiągały coraz większe sumy, aż do lipca, gdzie ich średnia wartość wyniosła 79 mm. Od tego momentu średnia miesięczna suma opadów atmosferycznych sukcesywnie spadała, aż do wcześniej wspomnianego lutego.

W przypadku minimalnych sum miesięcznych jest podobnie. Najmniejsza suma opadów – brak opadów w październiku. Natomiast miesiącem, w którym minimalne sumy były największe okazał się maj (10 mm).

Maksymalne sumy miesięczne opadów atmosferycznych nie wykazuje sinusoidalnych wahań. Największe sumy odnotowano w miesiącach letnich i jesiennych. W przypadku lata to wynik krótkotrwałych, ale zarazem silnych opadów konwekcyjnych. Jesienią natężenie opadów jest zdecydowanie mniejsze, a czynnikiem decydującym o występowaniu ich znacznej sumy jest zapewne charakterystyczne dla tej pory roku długotrwałe zaleganie pokrywy chmur deszczowych.

Pomimo, że przebieg roczny maksymalnych miesięcznych sum opadów atmosferycznych różni się znacznie od średniego rocznego przebiegu, to jednak i w tym przypadku maksymalna wartość przypadła w lecie (lipiec – 194 mm), a minimalna w zimie (styczeń – 77 mm).

### Częstość

Częstość wysokości sum rocznych opadów atmosferycznych w sezonach i roku w Warszawie w latach 1825-1998 przedstawiono na rys.5. W szeregu czasowym rocznych sum opadów atmosferycznych wydzielono klasy: 0-400, 401-500, 501-600, 601-700, 701-800 mm oraz wartości > 800 mm. Ostatni przedział jest otwarty ze względu na znikomą liczbę maksymów.

Średnie roczne sumy opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1825-1998 najczęściej mieściły się w przedziale 501-600 mm (35%). Niewiele mniej przypadków znajdowało się w sąsiadujących przedziałach: 450-500 mm (28%) i 601-650 mm (25%). Tą samą i najrzadszą wartość (3%) osiągnęły przedziały 0-400 mm oraz > 800 mm.

## Zmiany wieloletnie opadów atmosferycznych

Miesięczne sumy opadów w pierwszych czterech miesiącach roku cechują się tendencja ujemną (tab.1, rys.6). Jednak największe spadki sum opadów występują w sierpniu (-9 mm/100 lat) i październiku (-7 mm/100 lat). Żadna z dodatnich tendencji w pozostałych miesiącach nie przekroczyła 4 mm/100 lat – największe wartości są w czerwcu i listopadzie (3 mm/100 lat). Żadna z tendencji nie jest istotna statystycznie na poziomie 0,05.

Średnia roczna suma opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1825-1998 wyniosła 565 mm. W ciągu całego okresu tendencja zmian średniej rocznej sumy opadów

była nieznacznie ujemna i wyniosła -15 mm/100 lat (tab.1) Wszystkie sezony wykazały nieznaczny spadek sumy opadów, który najsilniej zaznaczył się wiosną i latem (-6 mm/100 lat) (rys. 6).

Tabela 1. Współczynniki kierunkowe prostych regresji (mm/rok) miesięcznych, sezonowych i rocznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1825-1998

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -0,017 | -0,008 | -0,060 | -0,015 | 0,015 | 0,034 | -0,007 | -0,090 | 0,017 |
| X | XI | XII | Zima | Wiosna | Lato | Jesień | Rok | |
| -0,067 | 0,034 | 0,016 | -0,014 | -0,060 | -0,063 | -0,017 | -0,149 | |

W latach 1825-1998 w Warszawie widoczna była duża zmienność rocznych sum opadów z roku na rok (rys. 7). Pojawiło się kilka krótkich okresów z niedoborem lub nadwyżką opadów atmosferycznych w stosunku do średniej z całego okresu. Najdłuższe z nich wystąpiły w latach:

- 1849-1860 – nadwyżka opadów
- 1960-1974 – nadwyżka opadów
- 1982-1993 – niedobór opadów.

## Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na opady atmosferyczne w Warszawie w latach 1825-1998

Oddziaływanie Oscylacji Północnoatlantyckiej na opady atmosferyczne w Warszawie określono, wyznaczając współczynnik korelacji prostej między średnimi miesięcznymi, sezonowymi i rocznymi sumami opadów i indeksem NAO Jonesa (tab. 2, rys. 8).

**Tabela. 2**. Współczynniki korelacji ($r$) miesięcznych, sezonowych i rocznych sum opadów w Warszawie z indeksem NAO Jonesa w latach 1825-1998 (pogrubiono współczynniki istotne na poziomie 0,05)

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,12 | 0,08 | 0,08 | 0,13 | -0,11 | -0,08 | -0,05 | -0,13 | **-0,24** |
| X | XI | XII | Zima | Wiosna | Lato | Jesień | Rok | |
| -0,09 | 0,02 | 0,12 | 0,07 | -0,03 | -0,03 | -0,04 | -0,01 | |

Najsilniejsza ujemna korelacja opadów atmosferycznych w Warszawie z Oscylacją Północnoatlantyckąj wystąpiła we wrześniu ($r$=-0,24). Ujemne współczynniki korelacji (nieistotne statystycznie) są w innych miesiącach letnich. Napływ morskich mas powietrza przy pozytywnej fazie NAO, przejawia się częstymi, lecz niezbyt intensywnymi opadami. Od późnej jesieni do połowy wiosny (XI-IV) korelacja opadów z NAO jest dodatnia. Współczynnik korelacji największe wartości osiągnął w kwietniu ($r$=0,13), styczniu i grudniu ($r$=0,12). Od wiosny do jesieni korelacjal jest ujemna. Jedynie w zimie współczynnik korelacji był dodatni i wyniósł 0,07.

Wyznaczono też współczynniki korelacji miesięcznych, sezonowych i rocznych sumopadów w Warszawie w epokach cyrkulacyjnych XIX i XX wieku (tab. 3).

Porównano przebiegi sum rocznych opadów oraz wartości indeksu NAO w badanym okresie (rys. 9). Można zauważyć, że krzywe obu przebiegów są względem siebie przesunięte.

**Tabela 3** Współczynniki korelacji (*r*) miesięcznych, sezonowych i rocznych sum opadów w Warszawie w epokach cyrkulacyjnych XIX i XX wieku

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1864-1899 (-) | -0,11 | 0,24 | -0,03 | 0,19 | -0,09 | -0,20 | 0,18 | -0,05 | -0,38 |
| 1900-1929 (+) | 0,31 | 0,29 | -0,01 | -0,05 | -0,11 | -0,22 | -0,29 | -0,04 | -0,35 |
| 1930-1970 (-) | -0,13 | -0,01 | -0,15 | 0,00 | -0,12 | 0,36 | -0,12 | -0,07 | -0,22 |
| 1971-1995 (+) | 0,04 | 0,12 | 0,24 | 0,28 | -0,01 | -0,44 | 0,22 | -0,30 | -0,27 |
| 1825-1998 | 0,12 | 0,08 | 0,08 | 0,13 | -0,11 | -0,08 | -0,05 | -0,13 | -0,24 |
| | X | XI | XII | XII-II | III-V | VI-VIII | IX-XI | I-XII | |
| 1864-1899 (-) | 0,06 | 0,01 | -0,18 | -0,07 | 0,04 | -0,03 | -0,09 | 0,22 | |
| 1900-1929 (+) | 0,27 | -0,01 | 0,01 | -0,03 | 0,02 | 0,16 | 0,10 | -0,19 | |
| 1930-1970 (-) | -0,07 | -0,34 | 0,21 | 0,05 | -0,23 | 0,18 | -0,20 | -0,11 | |
| 1971-1995 (+) | -0,11 | 0,38 | 0,12 | -0,20 | 0,13 | -0,23 | 0,01 | -0,20 | |
| 1825-1998 | -0,09 | 0,02 | 0,12 | 0,07 | -0,03 | -0,03 | -0,04 | -0,01 | |

W celu dokładniejszego zbadania wpływu NAO na opady atmosferyczne analizowano także korelacje asynchroniczne (tab.4) – z przesunięciem o 0, 1, 2, …, 10 lat.

**Tabela. 4** Współczynniki korelacji asynchronicznych (*r*) rocznych sum opadów w Warszawie z indeksem NAO Jonesa w latach 1825-1998 (z przesunięciem o *k* lat)

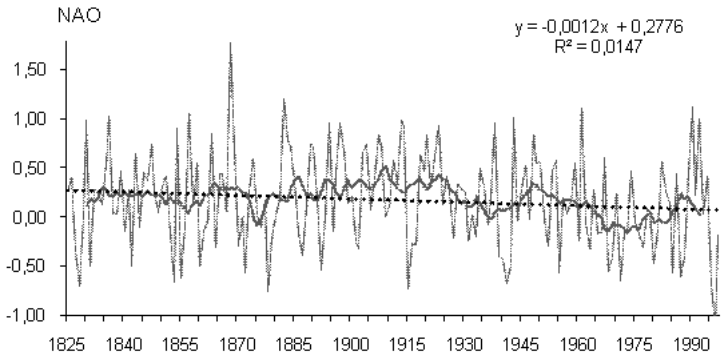
| *k* | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***r*** | -0,01 | -0,05 | -0,06 | 0,11 | 0,03 | 0,00 | -0,04 | 0,05 | 0,02 | 0,02 | -0,08 |

W tabeli 5 przedstawiono asynchroniczną korelację między rocznymi sumami opadów w Warszawie a indeksem NAO w badanym wieloleciu w odstępie od 0 do 10 lat. Okazało się, że z wyjątkiem przesunięcia 5-letniego, wpływ pozytywnej fazy NAO na opady był większy niż w przypadku korelacji synchronicznych. Najbardziej zaznaczył się po 3 latach, kiedy wartość współczynnika korelacji wyniosła $r = 0{,}11$. Jednak nadal żaden z przypadków nie spełnił warunku istotności statystycznej na poziomie $\alpha = 0{,}05$.

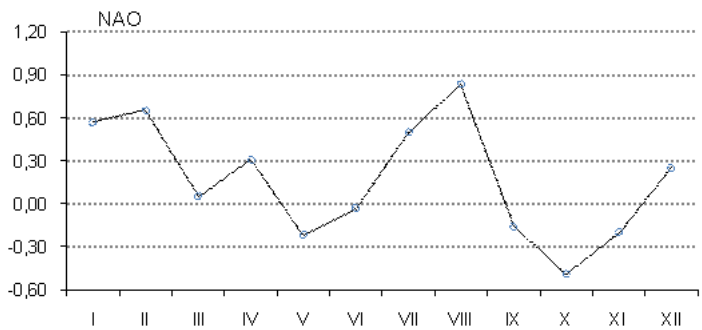
Natomiast w tabeli 4 przedstawiono asynchroniczne korelacje między miesięcznymi wartościami indeksu NAO a sumami opadów atmosferycznych (macierz korelacji). Także i w tym wypadku żadna z zależności nie była istotna statystycznie na poziomie $\alpha = 0{,}05$.

**Tabela 5.** Współczynniki korelacji asynchronicznych (*r*) miesięcznych sum opadów w Warszawie z indeksem NAO Jonesa w latach 1825-1998

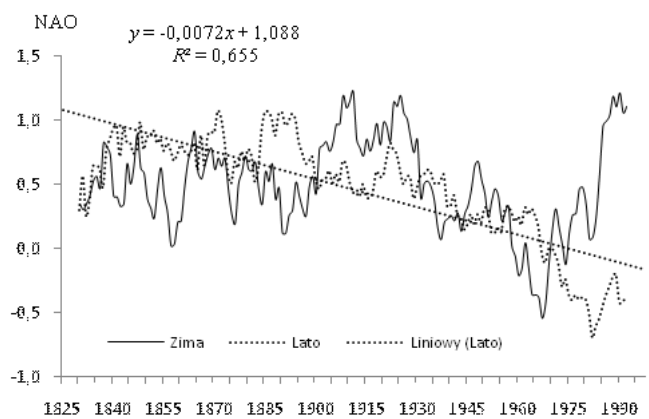
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | 0,12 | | | | | | | | | | | |
| II | 0,03 | 0,08 | | | | | | | | | | |
| III | -0,02 | -0,04 | 0,08 | | | | | | | | | |
| IV | -0,09 | 0,09 | 0,03 | 0,13 | | | | | | | | |
| V | 0,08 | 0,09 | -0,09 | -0,10 | -0,11 | | | | | | | |
| VI | 0,07 | -0,03 | -0,12 | -0,04 | -0,07 | -0,08 | | | | | | |
| VII | -0,12 | 0,05 | -0,01 | 0,07 | -0,05 | -0,02 | -0,05 | | | | | |
| VIII | -0,02 | -0,09 | 0,02 | 0,10 | 0,12 | 0,02 | -0,01 | -0,13 | | | | |
| IX | 0,08 | 0,09 | -0,07 | 0,05 | -0,02 | 0,04 | -0,02 | -0,10 | **-0,24** | | | |
| X | -0,02 | -0,04 | -0,13 | -0,06 | 0,02 | 0,11 | -0,02 | -0,01 | -0,01 | -0,09 | | |
| XI | -0,04 | 0,07 | -0,14 | 0,18 | 0,02 | -0,06 | -0,10 | 0,06 | 0,00 | -0,03 | 0,02 | |
| XII | -0,01 | 0,08 | -0,01 | 0,16 | 0,06 | 0,08 | -0,02 | -0,03 | 0,02 | -0,06 | 0,03 | 0,12 |



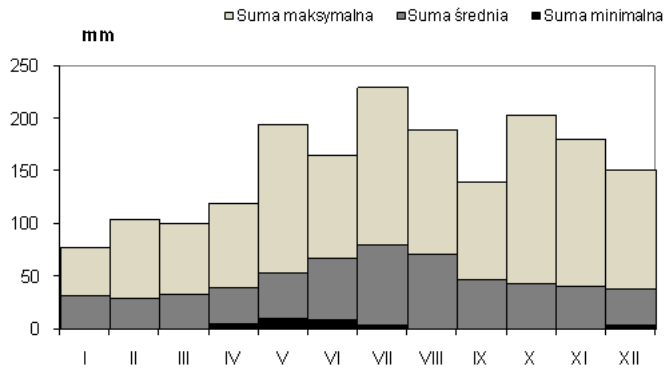

**Rys. 1.** Przebieg wieloletni indeksu NAO Jonesa w latach 1825-1998



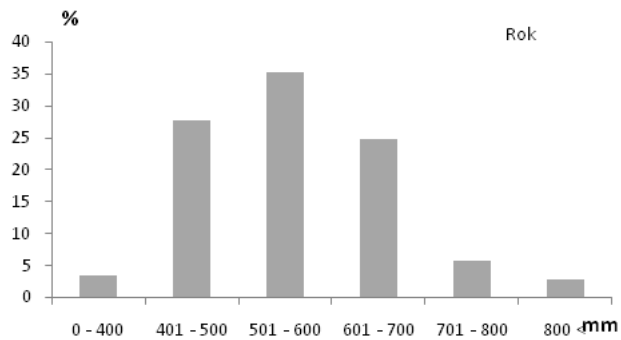

**Rys. 2.** Przebieg roczny wartości indeksu NAO Jonesa w latach 1825-1998



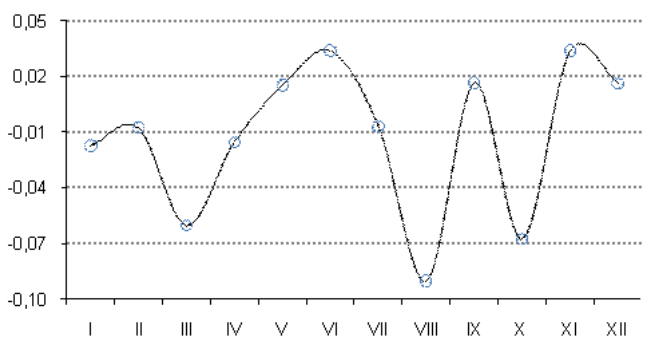

**Rys. 3.** Przebieg wieloletni zimowych i letnich wartości indeksu NAO Jonesa w latach 1825-1998



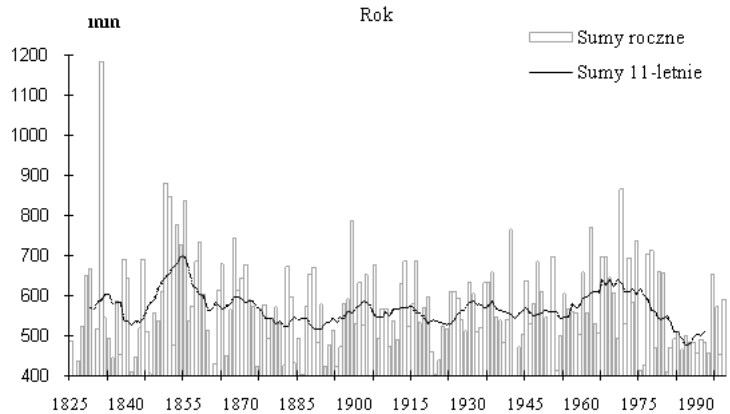

**Rys. 4.** Przebieg roczny miesięcznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1825-1998



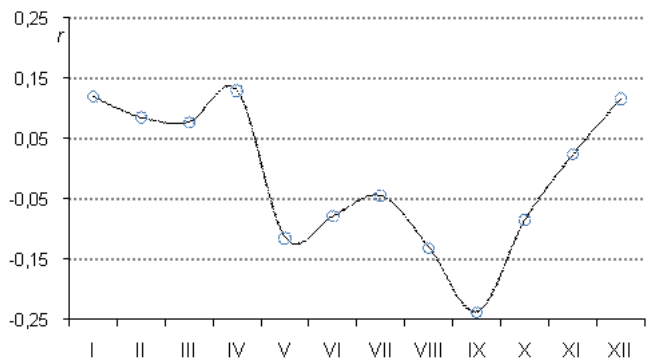

**Rys. 5.** Częstość (%) wysokości sum rocznych opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1825-1998



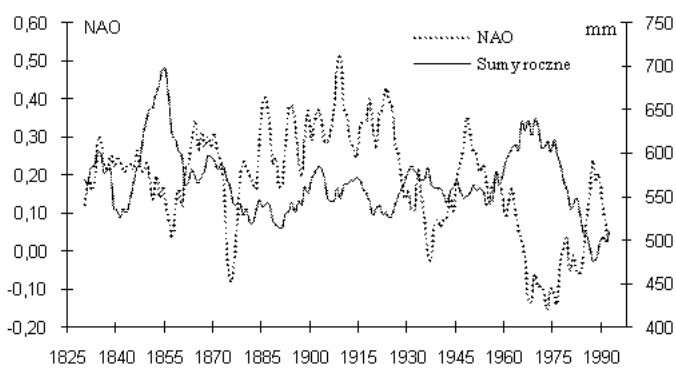

**Rys. 6.** Współczynniki kierunkowe prostych regresji miesięcznych sum opadów w Warszawie w latach 1825-1998




**Rys. 7.** Przebieg sum rocznych opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1825-1998




**Rys. 8.** Współczynniki korelacji miesięcznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie z indeksem NAO Jonesa




**Rys. 9.** Przebiegi wieloletnie sum opadów atmosferycznych w Warszawie oraz indeksu NAO Jonesa w latach 1825-1998 (11-letnie średnie konsekutywne)

## 7.2. Solarne i cyrkulacyjne uwarunkowania klimatu miast Europy

### 7.2.1. Wpływ aktywności Słońca na okresowe zmiany cyrkulacji atmosferycznej w Europie

Autor: Michał ŁOPACKI
Opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA

Celem pracy jest określenie wpływu aktywności Słońca na częstość występowania różnych typów cyrkulacji atmosferycznej. W tym celu wyznaczono widma liczb Wolfa, dni z typami cyrkulacji atmosferycznej Wangenheima, indeksu NAO Jonesa oraz typów Osuchowskiej-Klein we wszystkich porach roku i roku. Zbadano synchroniczność cyklicznych zmian oraz związki korelacyjne między cyrkulacją atmosferyczną a aktywnością słoneczną. Ponadto sporządzono prognozy wszystkich zmiennych do roku 2100.

#### Przegląd literatury dotyczącej związków cyrkulacji atmosferycznej z aktywnością słoneczną

T. J. Cohen i E. I. Sweetser (1975) przy pomocy analizy widmowej pokazali, że liczba atlantyckich cyklonów tropikalnych cechuje się cyklicznością 11,3-letnią, a czas trwania sezonu ich występowania wykazuje okresowość 10,9-letnią – zbliżoną do aktywności Słońca.

W. Suryjak (1977) badając zależność cyrkulacji stratosferycznej od aktywności słonecznej w troposferze – wskaźnika energii kinetycznej na poziomie izobarycznym 10 hPa w latach 1959-1970 określił wpływ zmian aktywności Słońca w cyklu 11-letnim na intensywność cyrkulacji stratosferycznej. Współczynnik korelacji liniowej między średnimi wartościami wskaźnika energii kinetycznej a liczbami Wolfa wynosi dla tego okresu 0,77.

B. Osuchowska-Klein (1985) badała wpływ aktywności słonecznej na południkowe procesy cyrkulacyjne w Europie Środkowej w latach 1900-1979. Analizę przeprowadzono na podstawie danych z okresu 1900-1979. Posługując się modułem wskaźnika cyrkulacji południkowej na poziomie morza w sektorze 40-65°N i 0-35°E wykazała, że w latach minimum aktywności słonecznej istnieje nieco większa tendencja do „południkowości" procesów atmosferycznych niż w latach maksimum plam.

W. Rozwoda, W. Suryjak i A. M. Tomaszewska (1985) określili wpływ aktywności słonecznej na pole wiatru w stratosferze, na podstawie sondaży rakietowych w latach 1964-1977. Jedynie składowe strefowe w strefie 50-70°N cechują się zależnością od aktywności Słońca.

K. Kożuchowski (1990) stwierdza związki pola ciśnienia z aktywnością geomagnetyczną (silnie skorelowanej z aktywnością słoneczną) w wysokich szerokościach geograficznych. W latach 1949-1983 współczynnik korelacji wartości ciśnienia na półkuli północnej i planetarnego indeksu aktywności geomagnetycznej osiągał wartość 0,6.

J. Boryczka (1993) badał okresowość (metodą sinusoid regresji) miesięcznych liczb dni z cyklonalnymi typami cyrkulacji Osuchowskiej-Klein w latach 1901-1975 i wskaźnikiem cyrkulacji strefowej (różnicy ciśnienia między równoleżnikami 35° i 65° na poziomie morza) w latach 1899-1984. Wykryte cykle o różnych długościach są na ogół

zbliżone do okresów różnych parametrów Układu Słonecznego. Niektóre cykle, o długości ok. 8 i 11 lat, wykazują bezpośredni związek z okresowymi zmianami liczb Wolfa.

J. Mergentaler (1994) stwierdza, że w latach1890-1967 istnieje dodatnia korelacja ciśnienia w układach antycyklonalnych z liczbami Wolfa i ujemna w układach cyklonalnych. Przejście Ziemi przez strumienie cząstek emitowane podczas rozbłysków chromosferycznych powoduje wzrost aktywności geomagnetycznej.

J. Boryczka i inni (1999) w XIII tomie „Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce", stosując metodę „sinusoid regresji" porównali cykle aktywności Słońca (miesięcznych liczb Wolfa w latach 1700-1993) z cyklami: indeksu NAO Jonesa w latach 1825-1997 i typami cyrkulacji cyklonalnej Osuchowskiej-Klein w latach 1901-1975. Znaleziono okresy ok. 8-, 11-, 100- i 187-letnie liczb Wolfa, ok. 8-, 11- i 100-letnie indeksu NAO oraz ok. 8- i 11-letnie cyrkulacji atmosferycznej. Synchroniczność tych cykli wskazuje na związek przyczynowo-skutkowy cyrkulacji atmosferycznej w Europie z aktywnością Słońca

## Materiały źródłowe i zastosowane metody badań

W pracy wykorzystano wyniki pomiarów udostępnione przez Zakład Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego. Aktywność słoneczną opisują liczby Wolfa w latach 1749-2002. Oscylację Północnoatlantycką scharakteryzowano średnimi miesięcznymi, sezonowymi i rocznymi wartościami indeksu NAO Jonesa z lat 1821-2000. Wykorzystano również chronologiczne ciągi sezonowych i rocznych liczb dni z poszczególnymi typami cyrkulacji Wangenheima w latach 1891-1976 oraz cyrkulacji Osuchowskiej-Klein w latach 1901-1995.

Okresowość Oscylacji Północnoatlantyckiej poszukiwano również we wszystkich miesiącach. Metoda sinusoid regresji umożliwiła wyznaczenie okresów (z krokiem czasowym 0,1 roku) i aproksymację badanych zmiennych sumą sinusoid o różnych długościach okresów, amplitudach, i przesunięciach fazowych:

$$y(t)=a_0+at+\Sigma\, b_j\sin(2\pi t\Theta_j^{-1}+c_j),$$

gdzie: $\Theta$ – okres, $a_0$ – wyraz wolny, $b$ – amplituda, $c$ – przesunięcie fazowe; $j=1,2,\ldots,k$ $k$ – liczba okresów.

Istotność statystyczną wyznaczonych cykli oceniono testem Fishera-Snedecora $F_{obl}=0{,}5(n\text{-}3)R^2(1\text{-}R^2)^{-1}$ o 2 i $n$-3 stopniach swobody, gdzie: $n$ – liczebność serii danych, $R^2$ – współczynnik determinacji.

Prognozy aktywności słonecznej oraz indeksu NAO, typów cyrkulacji Wangenheima i Osuchowskiej-Klein, otrzymano przez superpozycję cykli o najmniejszej wariancji resztkowej.

## Cykliczne wahania aktywności Słońca w latach 1749-2002

Ilość energii docierająca w jednostce czasu do jednostkowej powierzchni ustawionej prostopadle do padającego promieniowania na granicy ziemskiej atmosfery (stała słoneczna) zależy od aktywności Słońca. Jej średnia wartość zmierzona przy pomocy satelitów wynosi 1367,5 W/m$^2$.

Aktywność słoneczną charakteryzują liczby Wolfa (Schwabe, Wolf): $W=k(10g+f)$, gdzie: $g$ – liczba grup plam, $f$ –liczba pojedynczych plam, $k$ – współczynnik zależny od teleskopu i warunków widzialności. Aktywność Słońca cechuje się 11-letnim cyklem zmian plam i 22-letnim zmian biegunów pola magnetycznego. Interferencja długich cykli spowodowała wystąpienie w latach 1645-1715 okresu niemal całkowitego braku plam, zwanego minimum Maundera (w Europie – Mała Epoka Lodowa).
Parametry cykli liczb Wolfa, wyznaczonych metodą sinusoid regresji podano w tabeli 1.

**Tabela 1.** Cykle aktywności Słońca w latach 1749-2002 (rok)

| $\Theta$ | $2b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 8,1 | 18,531 | -2,6688 | 1682,341 | 0,169 | 3,68 |
| 8,5 | 16,566 | 0,3114 | 1656,134 | 0,209 | 5,72 |
| 8,9 | 9,356 | -2,8757 | 1685,021 | 0,164 | 3,47 |
| 9,5 | 12,480 | 0,4696 | 1682,433 | 0,169 | 3,67 |
| 10,0 | 38,630 | 2,4339 | 1420,353 | 0,424 | 27,50 |
| 10,6 | 33,794 | 2,8058 | 1466,175 | 0,392 | 22,72 |
| 11,0 | 63,547 | 1,0982 | 1310,805 | 0,493 | 40,29 |
| 11,8 | 32,731 | -2,5168 | 1614,531 | 0,260 | 9,10 |
| 54,0 | 21,354 | 1,2931 | 1677,631 | 0,177 | 4,04 |
| 105,0 | 32,843 | -3,0412 | 1613,808 | 0,261 | 9,16 |

Tendencje zmian rocznych liczb Wolfa (11,42/100lat) w latach 1749-2002 określa równanie prostej regresji $W=0{,}1142t-161{,}3$, o współczynniku korelacji $R=0{,}201$.

## Cykliczność zmian wskaźnika NAO

Cykliczność Oscylacji Północnoatlantyckiej została zbadana na podstawie chronologicznych ciągów wartości indeksu NAO Jonesa w poszczególnych miesiącach, porach roku i latach z okresu 1821-2000 (tab. 2). Okresy NAO wyznaczono metodą sinusoid regresji, zmieniając okres w paśmie 2-180 lat z krokiem 0,1 roku. Istotność statystyczną wyznaczonych cykli sprawdzono testem Fishera-Snedecora ($\alpha=0{,}05$, $F_{kryt}=2{,}36$). Widmo indeksu NAO w zimie przedstawia rys. 1.

**Tabela 2.** Okresy $\Theta$, amplitudy $b$ i fazy $c$ cykli wskaźnika NAO w latach 1825-2002 w porach roku ($\varepsilon^{2}$ – wariancja resztkowa, $R$ – współczynnik korelacji)

| Zima | | | | | Wiosna | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ | $2b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $\Theta$ | $2b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ |
| 2,4 | 0,695 | 0,1989 | 1,474 | 0,200 | 2,9 | 0,426 | 1,3888 | 0,725 | 0,178 |
| 4,7 | 0,620 | -0,9714 | 1,483 | 0,185 | 3,3 | 0,426 | 2,4836 | 0,726 | 0,175 |
| 5,0 | 0,739 | -2,9030 | 1,462 | 0,219 | 4,9 | 0,405 | -1,3526 | 0,728 | 0,167 |
| 5,7 | 0,611 | 2,1742 | 1,482 | 0,187 | 5,4 | 0,317 | 1,3856 | 0,729 | 0,163 |
| 7,8 | 0,853 | -0,0619 | 1,412 | 0,284 | 5,7 | 0,540 | 2,5726 | 0,707 | 0,236 |
| 8,3 | 0,566 | 2,2681 | 1,455 | 0,229 | 6,5 | 0,506 | -0,7212 | 0,717 | 0,206 |
| 8,8 | 0,456 | -0,2612 | 1,480 | 0,190 | 13,4 | 0,484 | -1,7470 | 0,721 | 0,193 |
| Lato | | | | | Jesień | | | | |
| $\Theta$ | $2b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $\Theta$ | $2b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ |
| 2,3 | 0,435 | -0,4712 | 0,909 | 0,152 | 3,6 | 0,468 | -1,0137 | 0,891 | 0,172 |
| 2,5 | 0,553 | -0,6651 | 0,893 | 0,201 | 4,9 | 0,409 | -1,9901 | 0,895 | 0,159 |
| 4,7 | 0,506 | 0,5672 | 0,899 | 0,184 | 6,2 | 0,362 | -0,2980 | 0,895 | 0,159 |
| 5,5 | 0,485 | 2,7204 | 0,903 | 0,172 | 6,6 | 0,492 | -0,6969 | 0,889 | 0,178 |
| 6,1 | 0,419 | -1,0491 | 0,909 | 0,152 | 7,3 | 0,493 | 2,4591 | 0,876 | 0,214 |
| 7,8 | 0,349 | -0,1448 | 0,909 | 0,152 | 7,7 | 0,426 | -2,5952 | 0,884 | 0,193 |
| 9,1 | 0,323 | 2,0948 | 0,908 | 0,155 | 16,6 | 0,541 | -1,1273 | 0,874 | 0,219 |
| Rok | | | | | | | | | |
| $\Theta$ | $2b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | | | | | |
| 2,7 | 0,231 | -2,6106 | 0,233 | 0,165 | | | | | |
| 2,9 | 0,269 | 0,8181 | 0,231 | 0,188 | | | | | |
| 4,0 | 0,270 | -1,4231 | 0,230 | 0,199 | | | | | |
| 5,0 | 0,276 | -2,8275 | 0,229 | 0,209 | | | | | |
| 7,3 | 0,228 | 2,1470 | 0,234 | 0,152 | | | | | |
| 7,8 | 0,411 | -0,0050 | 0,220 | 0,285 | | | | | |
| 9,0 | 0,218 | -0,3303 | 0,233 | 0,165 | | | | | |

## Cykliczne wahania cyrkulacji atmosferycznej według typologii Osuchowskiej-Klein w latach 1901-1995

Według Osuchowskiej-Klein typ cyrkulacji na poziomie morza jest charakteryzowany przez położenie głównych układów ciśnienia nad Europą i północnym Atlantykiem, które warunkują określony kierunek napływu powietrza nad Polskę w sytuacji cyklonalnej lub antycyklonalnej. Zostało wyróżnionych 13 wzorcowych typów cyrkulacji:

- północno-wschodni i wschodni cyklonalny ($E_0$)
- południowo-wschodni cyklonalny (F)
- południowy cyklonalny (B)
- południowo-zachodni cyklonalny (D)
- zachodni cyklonalny (A)
- północno-zachodni cyklonalny (CB)

- północno-wschodni antycyklonalny (E)
- wschodni i południowo-wschodni antycyklonalny ($E_1$)
- południowy i południowo-zachodni antycyklonalny ($D_2C$)
- zachodni antycyklonalny ($C_2D$)
- północno-zachodni antycyklonalny ($E_2C$)
- centralny antycyklonalny (G)
- południowy pośredni między cyklonalnym a antycyklonalnym (BE).

Cykliczność typów cyrkulacji atmosferycznej Osuchowskiej-Klein zbadano na podstawie chronologicznych ciągów liczby dni z poszczególnymi typami cyrkulacji we wszystkich porach roku i latach z okresu 1901-1995. Okresowość cyrkulacji wyznaczono metodą sinusoid regresji, zmieniając długość okresu w przedziale 2-95 lat z krokiem czasowym 0,1 roku. Istotność statystyczną wyznaczonych cykli sprawdzono za pomocą testu Fishera-Snedecora, przyjmując $F_{kr}=3,11$ dla poziomu istotności $\alpha=0,05$, Parametry wyznaczonych cykli zestawiono w tabelach 3 i 4.

**Typy cyklonalne**

Łączna liczba dni, w których występują cyklonalne typy cyrkulacji atmosferycznej Osuchowskiej-Klein wykazuje okresowość 2,2-57,2-letnią. Zimą cykle 7,3- i 4,2-letni są istotne na poziomie 5%, a okresy 8,8- i 10,3-letni na poziomie 10%. Wiosną na poziomie 5% istotne są cykle 41,8- i 5,5-letni, a na poziomie 10%: 2,8-, 6,2- i 4,8-letni. Latem wszystkie znalezione okresy są istotne statystycznie, spośród których 33,9-, 3,1- oraz 7,8-letni na poziomie 5%. Jesienią tylko 2 wyznaczone cykle wykazują istotność na poziomie 5%: 49,1- i 3,4-letni. Pozostałe są nieistotne. W przypadku wartości rocznych na poziomie 5% istotne są cykle 4,8- i 3,2-letni, a na poziomie 10%: 2,5- i 24,4-letni. Z powyższej analizy wynika, że liczba dni, w których występują cyklonalne typy cyrkulacji Osuchowskiej-Klein cechuje się okresowością 2,5-2,8-letnią (wiosna, lato i rok), 3,1-3,6-letnią (lato, jesień i rok) oraz 4,2-4,8-letnią (zima, wiosna i rok). Widmo liczby dni z typem A cyrkulacji w zimie przedstawia rys. 2.

**Typy antycyklonalne**

Łączna liczba dni, w których występują antycyklonalne typy cyrkulacji atmosferycznej Osuchowskiej-Klein wykazuje okresowość 2,4-57,8-letnią. Zimą na poziomie 5% istotne są cykle 7,3- i 4,2-letni, a na poziomie 10%: 8,8-, 2,4- oraz 10,2-letni. Wiosną okresy 5,5-, 41,7- i 3,5-letni są istotne na poziomie 5%, a 4,2-, 18,4- i 57,8-letni na poziomie 10%. Latem wszystkie znalezione okresy są istotne statystycznie, z czego 4 na poziomie 5%. Mają one długość 3,1; 18,4; 3,4 i 35,3 roku. Jesienią tylko okres 3,4-letni jest istotny na poziomie 5%. Pozostałe są nieistotne. W przypadku wartości rocznych na poziomie 5% istotny jest jedynie cykl 24,4-letni. Cykle 4,8-, 17,9-, 3,2-, 3- oraz 3,4-letni są istotne na poziomie 10%. Z powyższej analizy wynika, że liczba dni, w których występują antycyklonalne typy cyrkulacji Osuchowskiej-Klein cechuje się okresowością 3-3,5-letnią (wiosna, lato, jesień i rok), 3,9-4,2-letnią (zima, wiosna i lato) oraz 17,9-18,4-letnią (wiosna, lato i rok), tab.4. Widmo liczby dni z typem C2D cyrkulacji w zimie przedstawia rys. 3.

**Tabela 3.** Okresy $\Theta$, amplitudy $b$ i fazy $c$ cykli typów cyklonalnych cyrkulacji Osuchowskiej-Klein w latach 1902-1999 w porach roku ($R$ – współczynnik korelacji, $F_{obl}$ – statystyka Fishera-Snedecora)

| Zima | | | | | Wiosna | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ | $2b$ | $c$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\Theta$ | $2b$ | $c$ | $R$ | $F_{obl}$ |
| 2,5 | 6,506 | 0,1534 | 0,219 | 2,29 | 2,8 | 5,498 | -1,3144 | 0,237 | 2,73 |
| 4,2 | 8,599 | 2,4040 | 0,307 | 4,72 | 3,5 | 4,812 | -1,3126 | 0,219 | 2,32 |
| 5,0 | 4,102 | 0,7559 | 0,213 | 2,16 | 4,8 | 4,551 | -1,0812 | 0,223 | 2,41 |
| 5,2 | 5,899 | -0,1168 | 0,216 | 2,22 | 5,5 | 7,477 | -1,8709 | 0,326 | 5,49 |
| 7,3 | 10,441 | -1,0218 | 0,354 | 6,52 | 6,2 | 4,785 | 3,1317 | 0,227 | 2,50 |
| 8,8 | 6,322 | -2,1935 | 0,238 | 2,73 | 14,2 | 4,793 | -2,2549 | 0,219 | 2,31 |
| 10,3 | 4,909 | 1,8481 | 0,225 | 2,42 | 41,8 | 8,021 | -0,3162 | 0,328 | 5,53 |
| Lato | | | | | Jesień | | | | |
| $\Theta$ | $2b$ | $c$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\Theta$ | $2b$ | $c$ | $R$ | $F_{obl}$ |
| 2,8 | 6,835 | 2,2595 | 0,228 | 2,51 | 2,4 | 5,973 | -0,5246 | 0,192 | 1,77 |
| 3,1 | 8,259 | 2,0799 | 0,290 | 4,21 | 2,7 | 6,213 | 2,2338 | 0,197 | 1,85 |
| 3,4 | 5,140 | -2,1660 | 0,242 | 2,86 | 3,4 | 9,532 | -1,0708 | 0,310 | 4,88 |
| 3,6 | 6,226 | -0,1649 | 0,223 | 2,42 | 4,7 | 5,506 | 0,8588 | 0,188 | 1,69 |
| 7,8 | 8,832 | 2,8048 | 0,284 | 4,04 | 9,5 | 5,629 | -2,2781 | 0,219 | 2,32 |
| 18,6 | 8,026 | -1,3709 | 0,250 | 3,06 | 11,1 | 4,829 | -2,3596 | 0,189 | 1,70 |
| 33,9 | 10,029 | -1,8259 | 0,302 | 4,63 | 49,1 | 11,139 | -0,3427 | 0,335 | 5,80 |
| Rok | | | | | | | | | |
| $\Theta$ | $2b$ | $c$ | $R$ | $F_{obl}$ | | | | | |
| 2,2 | 12,460 | 0,0091 | 0,205 | 2,01 | | | | | |
| 2,5 | 13,418 | 0,8595 | 0,229 | 2,54 | | | | | |
| 3,2 | 14,563 | -2,9676 | 0,262 | 3,38 | | | | | |
| 4,2 | 13,713 | 2,5231 | 0,208 | 2,08 | | | | | |
| 4,8 | 16,899 | -0,6655 | 0,274 | 3,72 | | | | | |
| 24,4 | 13,389 | 0,7530 | 0,228 | 2,52 | | | | | |
| 57,2 | 15,079 | -2,5492 | 0,216 | 2,26 | | | | | |

**Tabela 4**. Okresy *Θ*, amplitudy *b i* fazy *c* cykli typów antycyklonalnych cyrkulacji Osuchowskiej-Klein w latach 1902-1999 w porach roku (*R*- współczynnik korelacji, $F_{obl}$ – statystyka Fishera-Snedecora)

| Zima | | | | | Wiosna | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Θ* | 2*b* | *c* | *R* | $F_{obl}$ | *Θ* | 2*b* | *c* | *R* | $F_{obl}$ |
| 2,4 | 6,832 | 0,2844 | 0,228 | 2,48 | 2,8 | 5,020 | 1,8654 | 0,213 | 2,20 |
| 4,0 | 5,644 | -0,0805 | 0,212 | 2,14 | 3,5 | 6,159 | 1,7706 | 0,261 | 3,37 |
| 4,2 | 7,645 | -0,6508 | 0,294 | 4,32 | 4,2 | 6,145 | -1,8709 | 0,241 | 2,85 |
| 5,0 | 5,322 | -2,6288 | 0,202 | 1,94 | 5,5 | 7,752 | 1,2300 | 0,306 | 4,75 |
| 7,3 | 8,885 | 2,1639 | 0,312 | 4,89 | 18,4 | 5,025 | -0,4739 | 0,234 | 2,66 |
| 8,8 | 6,954 | 0,7504 | 0,252 | 3,09 | 41,7 | 6,618 | 1,7745 | 0,275 | 3,76 |
| 10,2 | 4,632 | -0,5337 | 0,223 | 2,38 | 57,8 | 4,659 | -2,9600 | 0,233 | 2,63 |
| Lato | | | | | Jesień | | | | |
| *Θ* | 2*b* | *c* | *R* | $F_{obl}$ | *Θ* | 2*b* | *c* | *R* | $F_{obl}$ |
| 3,1 | 8,406 | -1,0878 | 0,295 | 4,39 | 2,4 | 6,017 | 2,5855 | 0,201 | 1,95 |
| 3,4 | 7,879 | 1,1875 | 0,271 | 3,65 | 2,7 | 6,353 | -1,0378 | 0,207 | 2,05 |
| 3,9 | 7,145 | -0,9414 | 0,235 | 2,68 | 3,4 | 10,635 | 2,0781 | 0,351 | 6,45 |
| 7,8 | 8,120 | -0,2182 | 0,249 | 3,05 | 9,6 | 5,867 | 2,0628 | 0,217 | 2,27 |
| 18,4 | 7,288 | 0,7011 | 0,276 | 3,80 | 11,4 | 5,510 | -1,8326 | 0,202 | 1,95 |
| 27,7 | 5,116 | 0,8842 | 0,236 | 2,71 | 22,0 | 6,737 | 0,0137 | 0,211 | 2,14 |
| 35,3 | 8,760 | 3,0967 | 0,252 | 3,11 | 50,5 | 8,533 | -2,8148 | 0,220 | 2,34 |
| Rok | | | | | | | | | |
| *Θ* | 2*b* | *c* | *R* | $F_{obl}$ | | | | | |
| 3,0 | 13,312 | 1,4722 | 0,232 | 2,61 | | | | | |
| 3,2 | 12,525 | 0,2515 | 0,233 | 2,63 | | | | | |
| 3,4 | 11,143 | 1,5700 | 0,226 | 2,48 | | | | | |
| 4,2 | 14,238 | -0,6898 | 0,218 | 2,29 | | | | | |
| 4,8 | 16,133 | 2,6079 | 0,251 | 3,11 | | | | | |
| 17,9 | 11,838 | 0,1642 | 0,241 | 2,85 | | | | | |
| 24,4 | 12,639 | -2,4671 | 0,284 | 4,04 | | | | | |

## Synchroniczność cykli liczb Wolfa i cyrkulacji atmosferycznej

Aktywność Słońca cechuje się okresowością ok. 8-, 11- i 100-letnią. W rozdziale tym zostały porównane cykle, indeksu NAO Jonesa (180 lat) oraz typów cyrkulacji Osuchowskiej-Klein (95 lat) z cyklami liczb Wolfa (254 lat) o h długościach zbliżonych do 8, 11 i 100 lat. Cykle istotne statystycznie na poziomie 5% zaznaczono tłustym drukiem.

## Okresowość około 8-letnia cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca

Okresy około 8-letnie zmian typów cyrkulacji Wangenheima, indeksu NAO i typów cyrkulacji Osuchowskiej-Klein przedstawiono w tabela 5, 6, 7.

**Tabela 5**. Cykle około 8-letnie typów cyrkulacji Wangenheima ($\Theta$ – okres, $2b$ – amplituda, $R$ – współczynnik korelacji wielokrotnej)

| | Zachodnia | | | Wschodnia | | | Południkowa | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $2b$ | $R$ | $\Theta$ | $2b$ | $R$ | $\Theta$ | $2b$ | $R$ |
| Zima | 9,0 | 8,77 | 0,220 | 7,5 | 11,62 | 0,262 | 7,6 | 10,12 | **0,325** |
| Wiosna | 7,8 | 5,41 | 0,216 | 7,8 | 8,52 | 0,234 | 8,9 | 9,40 | **0,299** |
| Lato | 7,9 | 7,57 | 0,183 | 6,5 | 10,11 | 0,192 | 6,9 | 5,95 | 0,209 |
| Jesień | 8,1 | 12,0 | **0,266** | 8,1 | 13,73 | **0,312** | 6,5 | 9,08 | 0,253 |
| Rok | 8,1 | 19,88 | 0,226 | 8,0 | 23,86 | 0,223 | 7,8 | 16,27 | 0,257 |

Wszystkie typy cyrkulacji atmosferycznej Wangenheima wykazują w każdym sezonie i w roku okresowość ok. 8-letnią. Większa zbieżność z okresem 8 lat (dominujące cykle o długości 7,8-8,1 roku) występuje w typach: zachodnim i wschodni niż południkowym.

Indeks NAO cechuje się cyklicznością ok. 8-letnią w każdym miesiącu, sezonie i w roku, z wyjątkiem kwietnia i lipca. Okresowość jest istotna statystycznie na poziomie 5% w miesiącach styczeń-luty, sierpień-październik, zimą, wiosną, jesienią oraz w wartościach rocznych. Niemal wszystkie cykle mają długość bardzo zbliżoną do 8 lat (7,7-8,3 roku).

Większość typów cyrkulacji atmosferycznej Osuchowskiej-Klein charakteryzuje się cyklicznością ok. 8-letnią w większości sezonów i roku. Najbardziej istotne statystycznie są okresy typów F (południowo-wschodniego cyklonalnego), CB (północno-zachodniego cyklonalnego) i BE (południowego pośredniego między cyklonalnym a antycyklonalnym) oraz B (południowego cyklonalnego) i cyklonalnych.

**Tabela 6** Cykle około 8-letnie indeksu NAO Jonesa ($\Theta$ – okres, $2b$ – amplituda, $R$ – współczynnik korelacji wielokrotnej)

| | $\Theta$ | $2b$ | $R$ | | $\Theta$ | $2b$ | $R$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Styczeń | 7,8 | 0,97 | **0,223** | Październik | 7,7 | 0,98 | **0,238** |
| Luty | 7,8 | 1,24 | **0,211** | Listopad | 8,0 | 0,84 | 0,171 |
| Marzec | 8,2 | 0,86 | 0,148 | Grudzień | 7,9 | 0,87 | 0,181 |
| Kwiecień | - | - | - | Zima | 7,8 | 0,85 | **0,284** |
| Maj | 8,3 | 0,63 | 0,166 | Wiosna | 6,5 | 0,51 | **0,206** |
| Czerwiec | 8,2 | 0,55 | 0,159 | Lato | 7,8 | 0,35 | 0,152 |
| Lipiec | - | - | - | Jesień | 7,7 | 0,43 | **0,193** |
| Sierpień | 7,8 | 0,78 | **0,188** | Rok | 7,8 | 0,41 | **0,285** |
| Wrzesień | 8,8 | 1,24 | 0,269 | | | | |

Porą roku, w której występuje najwięcej okresów ok. 8-letnich jest lato, a najmniej wiosna. Najwięcej cykli ok. 8-letnich, niezależnie od ich istotności statystycznej, wykazują typy F, D (południowo-zachodni cyklonalny), $E_2C$ (północno-zachodni antycyklonalny), G (centralny antycyklonalny) i BE, a najmniej X (nieokreślony) oraz $E_0$ (północno-wschodni i wschodni cyklonalny), $D_2C$ (południowy i południowo-zachodni antycy-

klonalny) i antycyklonalne. Największą zbieżnością z długością okresu 8 lat cechują się typy F i D.

**Tabela 7**. Cykle około 8-letnie typów cyrkulacji Osuchowskiej-Klein ($\Theta$ – okres, $R$ – współczynnik korelacji wielokrotnej)

| | $E_0$ | | F | | B | | D | | A | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
| Zima | 7,9 | 0,357 | 7,7 | 0,308 | - | - | 7,7 | 0,203 | - | - |
| Wiosna | - | - | 7,6 | 0,254 | - | - | 7,8 | 0,192 | 9,5 | 0,303 |
| Lato | 9,0 | 0,206 | 8,7 | 0,314 | 6,5 | 0,167 | 7,9 | 0,223 | 9,2 | 0,246 |
| Jesień | - | - | 7,8 | 0,202 | 7,8 | 0,347 | 7,3 | 0,250 | 7,2 | 0,188 |
| Rok | - | - | 7,7 | 0,245 | 7,3 | 0,313 | 7,1 | 0,159 | 9,3 | 0,189 |
| | CB | | Cyklonalna | | E | | $E_1$ | | $D_2C$ | |
| | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
| Zima | 8,5 | 0,297 | 7,3 | 0,354 | 7,4 | 0,234 | 8,3 | - | - | - |
| Wiosna | 6,6 | 0,259 | - | - | - | - | 8,9 | - | - | - |
| Lato | - | - | 7,8 | 0,284 | 8,6 | 0,194 | 8,3 | 0,310 | 6,8 | - |
| Jesień | 7,6 | 0,268 | 9,5 | 0,219 | 9,4 | 0,208 | - | 0,245 | - | 0,194 |
| Rok | 6,5 | 0,221 | - | - | - | 0,234 | - | 0,188 | 7,1 | 0,259 |
| | $C_2D$ | | $E_2C$ | | G | | Antycykl. | | BE | |
| | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
| Zima | 9,5 | 0,207 | 7,4 | 0,215 | 8,9 | 0,249 | 7,3 | 0,312 | 8,5 | 0,315 |
| Wiosna | 8,6 | 0,214 | 7,5 | 0,276 | 7,5 | 0,231 | - | - | 8,2 | 0,231 |
| Lato | 7,7 | 0,221 | 8,9 | 0,229 | 6,7 | 0,215 | 7,8 | 0,249 | 6,9 | 0,260 |
| Jesień | 7,6 | 0,249 | 7,9 | 0,190 | 8,5 | 0,175 | - | - | 8,7 | 0,249 |
| Rok | - | - | 8,5 | 0,206 | 8,6 | 0,189 | - | - | 8,6 | 0,304 |

## Okresowość ok. 11-letnia cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca

Okresy około11-letnie zmian cyrkulacji zostały przedstawione w tabelach 8, 9, 10.

**Tabela 8.** Cykle około 11-letnie typów cyrkulacji Wangenheima ($\Theta$ – okres, $R$ – współczynnik korelacji wielokrotnej)

| Typ cyrkulacji | Zachodni | | | Wschodni | | | Południkowy | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $2b$ | $R$ | $\Theta$ | $2b$ | $R$ | $\Theta$ | $2b$ | $R$ |
| Zima | 9,8 | 10,21 | 0,230 | 9,7 | 8,89 | 0,210 | - | - | - |
| Wiosna | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Lato | 11,9 | 5,92 | 0,198 | 12,1 | 6,96 | 0,207 | - | - | - |
| Jesień | 10,9 | 7,59 | 0,235 | - | - | - | 11,4 | 6,52 | 0,237 |
| Rok | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Największą liczbą cykli około 11-letnich (zimą, latem i jesienią) cechuje się typ zachodni cyrkulacji, a najmniejszą (tylko jesienią) południkowy. Najliczniejsze okresy ok. 11-letnie występują jesienią, brak ich natomiast wiosną i w wartościach rocznych. Jedynie

cykle jesienne (typ zachodni i południkowy) są istotne statystycznie na poziomie 10%. Są one również najbardziej zbliżone (10,9 i 11,4 roku) do 11 lat.

**Tabela 9.** Cykle około 11-letnie indeksu NAO Jonesa ($\Theta$ – okres, $2b$ – amplituda, $R$ – współczynnik korelacji wielokrotnej)

| | $\Theta$ | $2b$ | $R$ | | $\Theta$ | $2b$ | $R$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Styczeń | - | - | - | Październik | - | - | - |
| Luty | **11,3** | **1,18** | **0,185** | Listopad | - | - | - |
| Marzec | - | - | - | Grudzień | - | - | - |
| Kwiecień | - | - | - | Zima | - | - | - |
| Maj | 10,9 | 0,71 | **0,189** | Wiosna | - | - | - |
| Czerwiec | 10,2 | 0,81 | **0,192** | Lato | 10,4 | 0,45 | **0,187** |
| Lipiec | 9,9 | 0,80 | 0,179 | Jesień | - | - | - |
| Sierpień | - | - | - | Rok | 11,2 | 0,22 | 0,165 |
| Wrzesień | 11,2 | 0,74 | 0,166 | | | | |

Indeks NAO wykazuje cykliczność ok. 11-letnią w miesiącach maj-lipiec, lutym i wrześniu oraz latem i w wartościach rocznych. Wszystkie cykle są istotne statystycznie, spośród których 4 na poziomie 5%. Okresy najbardziej zbliżone do 11-letniego (10,9-11,3 roku) obserwowane są w lutym, maju, wrześniu i wartościach rocznych.

**Tabela 10**. Cykle około 11-letnie typów cyrkulacji Osuchowskiej-Klein ($\Theta$ – okres, $2b$ – amplituda, $R$ – współczynnik korelacji wielokrotnej)

| | $E_0$ | | F | | B | | D | | A | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
| Zima | - | - | - | - | 10,1 | 0,238 | - | - | - | - |
| Wiosna | - | - | - | - | - | - | - | - | **9,5** | **0,303** |
| Lato | 10,6 | 0,217 | - | - | - | - | **10,1** | **0,264** | - | - |
| Jesień | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Rok | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | CB | | Cyklonalna | | E | | $E_1$ | | $D_2C$ | |
| | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
| Zima | **12,5** | **0,276** | 10,3 | 0,225 | - | - | - | - | - | - |
| Wiosna | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Lato | - | - | - | - | 11,6 | 0,229 | **10,6** | **0,261** | 12,0 | 0,208 |
| Jesień | - | - | 11,1 | 0,189 | **10,9** | **0,267** | - | - | - | - |
| Rok | - | - | - | - | 11,3 | 0,216 | 10,7 | 0,226 | - | - |
| | $C_2D$ | | $E_2C$ | | G | | Antycykl. | | BE | |
| | $\Theta$ | R | $\Theta$ | R | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
| Zima | **11,7** | **0,258** | **9,9** | **0,289** | - | - | 10,2 | 0,223 | - | - |
| Wiosna | - | - | 11,6 | 0,213 | - | - | - | - | - | - |
| Lato | **10,4** | **0,327** | - | - | 11,3 | 0,196 | - | - | 9,5 | 0,214 |
| Jesień | 11,9 | 0,209 | - | - | - | - | 11,4 | 0,202 | 11,6 | 0,207 |
| Rok | 11,7 | 0,205 | **12,0** | **0,253** | 10,9 | 0,155 | - | - | - | - |

Najbardziej istotna statystycznie okresowość około 11-letnią występuje w przypadku typów $C_2D$ (zachodniego antycyklonalnego) i $E_2C$ (północno-zachodniego antycyklonalnego) oraz E (północno-wschodniego antycyklonalnego) i $E_1$ (wschodniego i południowo-wschodniego antycyklonalnego). Największą liczbą cykli około 11-letnich, niezależnie od ich istotności statystycznej, charakteryzują się typy $C_2D$, E, $E_2C$ i X (nieokreślony). Lato jest porą najbardziej rozpowszechnionej okresowości około 11-letniej, a wiosna – najmniej. Typy $E_0$ (północno-wschodni i wschodni cyklonalny), E, $E_1$ i G (centralny antycyklonalny) cechują się największą zbieżnością długości cykli z okresem 11-letnim aktywności Słońca.

## Okresowość ok. 100-letnia cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca

W widmach typów cyrkulacji atmosferycznej wyznaczonych metodą sinusoid regresji są obecne minima wariancji resztkowej w przedziale 70-130 lat. Okresy około 100-letnie zmian cyrkulacji zostały przedstawione w tabelach 11, 12, 13.

**Tabela 11.** Cykle około 100-letnie indeksu NAO Jonesa ($\Theta$ – okres, $2b$ – amplituda, $R$ – współczynnik korelacji wielokrotnej)

| | $\Theta$ | $2b$ | $R$ | | $\Theta$ | $2b$ | $R$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Styczeń | - | - | - | Październik | - | - | - |
| Luty | 95,6 | 0,71 | 0,149 | Listopad | - | - | - |
| Marzec | 78,7 | 0,88 | 0,181 | Grudzień | - | - | - |
| Kwiecień | - | - | - | Zima | 73,8 | 0,65 | **0,185** |
| Maj | - | - | - | Wiosna | - | - | - |
| Czerwiec | 94,8 | 0,85 | **0,200** | Lato | - | - | - |
| Lipiec | - | - | - | Jesień | 74,2 | 0,38 | 0,159 |
| Sierpień | - | - | - | Rok | - | - | - |
| Wrzesień | 81,1 | 0,74 | **0,186** | | | | |

Indeks NAO charakteryzuje się cyklicznością około 100-letnią w lutym, marcu, czerwcu, wrześniu oraz zimą i jesienią. Okresy w czerwcu, wrześniu i zimą są istotne statystycznie na poziomie 5%.

Do typów cyrkulacji atmosferycznej Osuchowskiej-Klein, o cykliczności około 100-letniej, należą: CB (północno-zachodni cyklonalny), B (południowy cyklonalny), A (zachodni cyklonalny), $E_1$ wschodni i południowo-wschodni antycyklonalny), $E_2C$ (północno-zachodni antycyklonalny) i BE (południowy pośredni między cyklonalnym antycyklonalnym). Wszystkie wykryte okresy są istotne statystycznie, z czego 5 na poziomie 5%. Mała liczba wykrytych okresów około 100-letnich może wynikać z małej długości serii danych (95 lat).

**Tabela 12.** Cykle około 100-letnie typów cyrkulacji Osuchowskiej-Klein ($\Theta$ – okres, $R$ – współczynnik korelacji)

| | $E_0$ | | F | | B | | D | | A | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
| Zima | - | - | - | - | 80,0 | 0,303 | - | - | - | - |
| Wiosna | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Lato | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Jesień | - | - | - | - | - | - | - | - | 93,2 | 0,369 |
| Rok | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | CB | | Cyklonalna | | E | | $E_1$ | | $D_2C$ | |
| | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
| Zima | 82,9 | 0,223 | - | - | - | - | 91,7 | 0,229 | - | - |
| Wiosna | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Lato | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Jesień | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Rok | 91,3 | 0,324 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | $C_2D$ | | $E_2C$ | | G | | Antycykl. | | BE | |
| | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
| Zima | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Wiosna | - | - | 83,8 | 0,279 | - | - | - | - | - | - |
| Lato | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Jesień | - | - | - | - | - | - | | | 2,38 | 0,313 |
| Rok | - | - | - | - | - | - | | | - | - |

## Związki korelacyjne cyrkulacji atmosferycznej z aktywnością słoneczną

W celu określenia zależności cyrkulacji atmosferycznej od aktywności Słońca obliczono współczynniki korelacji Pearsona. Ich istotność statystyczną badano za pomocą testu t-Studenta (tab. 13, 14, rys. 5).

**Tabela 13.** Współczynniki korelacji średnich miesięcznych indeksu NAO Jonesa i liczb Wolfa

| | R | | $R$ |
|---|---|---|---|
| Styczeń | 0,015 | Październik | 0,047 |
| Luty | 0,111 | Listopad | 0,047 |
| Marzec | 0,041 | Grudzień | -0,050 |
| Kwiecień | -0,022 | Zima | 0,059 |
| Maj | -0,071 | Wiosna | -0,003 |
| Czerwiec | 0,101 | Lato | 0,077 |
| Lipiec | 0,114 | Jesień | 0,087 |
| Sierpień | -0,037 | Rok | 0,070 |
| Wrzesień | 0,041 | | 0,047 |

Największe dodatnie współczynniki charakteryzują lipiec (0,114), luty (0,111) i czerwiec (0,101), a największe ujemne maj (-0,071), grudzień (-0,050) i sierpień (-0,037).

**Tabela 14.** Współczynniki korelacji liczby dni z typami cyrkulacji atmosferycznej Osuchowskiej-Klein z liczbami Wolfa

| Typ | Zima | Wiosna | Lato | Jesień | Rok |
|---|---|---|---|---|---|
| $E_0$ | -0,064 | -0,112 | 0,147 | 0,041 | 0,045 |
| F | 0,012 | 0,084 | -0,002 | -0,074 | 0,051 |
| B | 0,022 | 0,024 | 0,116 | 0,037 | 0,115 |
| D | -0,148 | -0,195 | 0,052 | -0,122 | -0,184 |
| A | -0,037 | -0,116 | 0,023 | -0,027 | -0,024 |
| CB | 0,060 | 0,105 | -0,076 | -0,007 | -0,016 |
| Cyklonalne | -0,107 | -0,112 | 0,090 | -0,068 | -0,038 |
| E | 0,093 | 0,148 | 0,111 | 0,135 | **0,233** |
| $E_1$ | -0,089 | 0,035 | 0,037 | -0,177 | -0,135 |
| $D_2C$ | 0,131 | 0,097 | 0,094 | -0,016 | 0,099 |
| $C_2D$ | 0,111 | -0,092 | -0,169 | **0,232** | -0,045 |
| $E_2C$ | -0,154 | -0,092 | -0,090 | 0,071 | -0,149 |
| G | **0,212** | 0,140 | 0,011 | 0,199 | **0,218** |
| Antycyklonalne | 0,126 | 0,120 | -0,012 | 0,151 | 0,121 |
| BE | -0,128 | 0,090 | 0,101 | -0,164 | -0,077 |
| X | 0,008 | -0,103 | **-0,239** | **-0,238** | -0,197 |

Jedynie typ E (północno-wschodniego antycyklonalnego) w wartościach rocznych ($R$=0,233), typu $C_2D$ (zachodniego antycyklonalnego) jesienią ($R$=0,232), typu G (centralnego antycyklonalnego) zimą ($R$=0,212) i w wartościach rocznych ($R$=0,218) oraz typu X (nieokreślonego) latem ($R$=-0,239) i jesienią ($R$=-0,238) są istotne na poziomie 5%.

## Podsumowanie i wnioski

W pracy wykazano, że aktywność słoneczna charakteryzuje się cyklicznością od 8,1 do 106 lat. Najsilniejszy jest cykl 11-letni, obecny we wszystkich sezonach i roku. Wykryto również liczne cykle 8,1-9,5-letnie, w większości istotne na poziomie 5%. Ponadto obecne są cykle wiekowe (103,9-106-letnie), istotne na poziomie 5%.

Typy cyrkulacji Wangenheima cechują się okresowością od 2,4 do 76,5 lat. Wyróżnia się cykliczność 14,2-17,6-letnia charakterystyczna dla wszystkich typów, około 31-letnia dla typu zachodniego i wschodniego, 6,3-8,9-letnia dla typu zachodniego i południkowego oraz 45,9-58,6-letnia dla typu wschodniego i południkowego.

Indeks NAO Jonesa wykazuje cykliczność 2,3-156,4-letnią. Dominujące okresy mają długość 7,7-7,8 lat i występują w styczniu, lutym, sierpniu, październiku, jesienią, zimą i w wartościach rocznych. Zwraca uwagę okresowość około 150-letnia obecna w ciągach NAO w styczniu, sierpniu, października i zimą.

Typy cyrkulacji Osuchowskiej-Klein charakteryzują się obecnością wielu cykli o różnej długości. Okresy 3,9-6,4-letnie obecne są w przypadku typów cyklonalnych, E, $D_2C$, antycyklonalnych i BE. Cykle 7,6-8,7-letnie cechują typy F (południowo-wschodni cy-

klonalny) i BE, a 14-16,8-letnie $E_0$ i B (południowy cyklonalny). Okresowość 17,9-22,6-letnią wykazują typy CB, $D_2C$, $E_2C$ (północno-zachodni antycyklonalny), G (centralny antycyklonalny) i antycyklonalne. Długookresowa cykliczność (39,8-48,9-letnia) charakteryzuje typy $E_0$, B, D, $C_2D$ i X (nieokreślony).

Zestawienie cykli o zbliżonej długości pozwoliło na znalezienie okresów synchronicznych zmian aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej. W pracy brano pod uwagę cykle około 8-letnie, 11-letnie i 100-letnie, charakteryzujące zmienność aktywności słonecznej.

Okresy około 8-letnie cechują wszystkie typy cyrkulacji atmosferycznej Wangenheima we wszystkich sezonach i roku. Największą zbieżność długości cykli (7,8-8,1 lat) wykazują typy zachodni i wschodni. Oscylacja Północnoatlantycka charakteryzuje się cyklicznością około 8-letnią we wszystkich miesiącach, sezonach i roku, z wyjątkiem kwietnia i lipca. Większość okresów jest istotna statystycznie na poziomie 5%. Niemal wszystkie cykle mają długość 7,7-8,3 lat. Okresowość zbliżoną do 8 lat wykazuje większość typów cyrkulacji Osuchowskiej-Klein w większości sezonów i roku. Najwięcej cykli występuje latem, a najmniej wiosną. Największa liczba okresów cechuje typy F (południowo-wschodni cyklonalny), D (południowo-zachodni cyklonalny), $E_2C$ (północno-zachodni antycyklonalny), G (centralny antycyklonalny) i BE (południowy pośredni między cyklonalnym a antycyklonalnym). Największa istotność statystyczna znalezionych cykli około 8-letnich charakteryzuje typy F, CB (północno-zachodni cyklonalny), BE, B (południowy cyklonalny) i cyklonalne. Typy F i D wykazują największą zbieżność długości okresów do 8 lat.

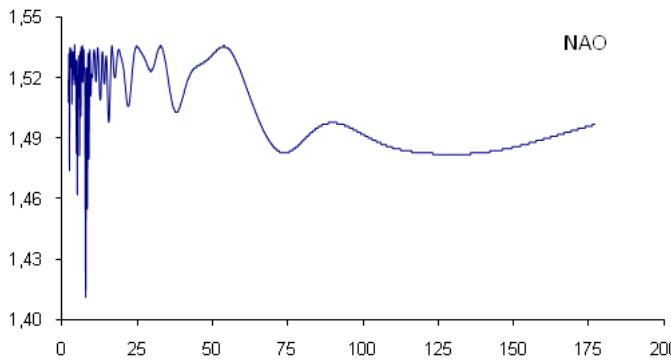
Najwięcej okresów ok. 11-letnich charakteryzuje typ zachodni cyrkulacji Wangenheima, a najmniej typ południkowy. Cykle te najliczniej reprezentowane są jesienią, brak ich natomiast wiosną i w wartościach rocznych. Tylko cykle jesienne typów zachodniego i południkowego są istotne statystycznie na poziomie 10%. Są one również najbardziej zbliżone (10,9-11,4 roku) do 11 lat. Indeks NAO wykazuje okresowość ok. 11-letnią w lutym, maju, czerwcu, lipcu, wrześniu, latem i w wartościach rocznych. Wszystkie te okresy są istotne statystycznie. Cykle w lutym, maju, wrześniu i roku są najbardziej zbliżone długością (10,9-11,3 roku) do 11 lat. Okresowość ok. 11-letnią wykazuje część typów cyrkulacji Osuchowskiej-Klein w niektórych sezonach i niektórych ciągach wartości rocznych. Najwięcej cykli cechuje typy $C_2D$ (zachodni antycyklonalny), E (północno-wschodni antycyklonalny), $E_2C$ (północno-zachodni antycyklonalny) i X (nieokreślony), a najbardziej istotne statystycznie – typy $C_2D$, $E_2C$, E i $E_1$ (wschodni i południowo-wschodni antycyklonalny). Najwięcej okresów występuje latem, a najmniej wiosną. Największą zbieżność z długością cyklu 11 lat wykazują cykle typów $E_0$ (północno-wschodniego i wschodniego cyklonalnego), E, $E_1$ i G (centralnego antycyklonalnego).

Cykliczność około 100-letnia występuje w ciągach wartości indeksu NAO w lutym, marcu, czerwcu, wrześniu, jesienią i zimą. W przypadku typów cyrkulacji Wangenheima i Osuchowskiej-Klein nie wykryto okresowości około 100-letniej, co wynika z małej długości ciągów danych.

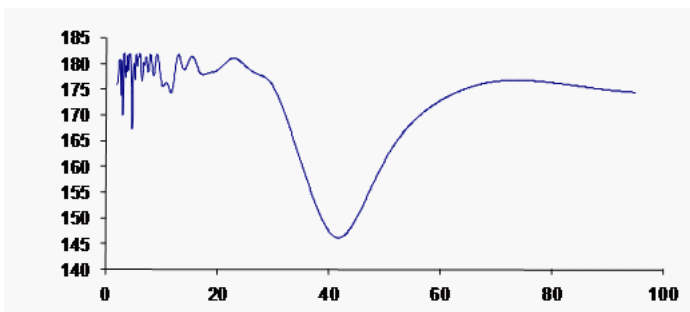
Przebieg roczny zależności korelacyjnej indeksu NAO od liczb Wolfa jest nieregularny, a wyznaczone współczynniki korelacji nieistotne statystycznie. Ich wartości są dodatnie latem, jesienią i zimą. W przypadku typów cyrkulacji Osuchowskiej-Klein dodatnie

współczynniki korelacji cechują typy E (północno-wschodni antycyklonalny), G (centralny antycyklonalny), $D_2C$ (południowy i południowo-zachodni antycyklonalny) zimą, wiosną i latem oraz B (południowy cyklonalny) latem, a ujemne – typy X (nieokreślony) i D (południowo-zachodni cyklonalny). W okresie zwiększonej aktywności słonecznej we wszystkich porach roku z wyjątkiem lata wzrasta udział cyrkulacji antycyklonalnych kosztem cyklonalnych.

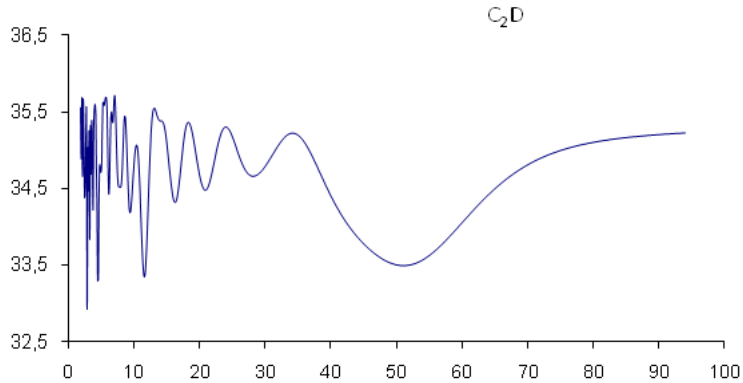
Wzrost liczby plam słonecznych warunkuje zaburzenia strefowego przepływu powietrza nad Europą, skutkując częstszym występowaniem południkowych form cyrkulacji. W szczególności, częściej tworzą się wyże blokujące nad Skandynawią i środkową Europą. Wzrasta również częstość napływu powietrza znad Morza Śródziemnego.



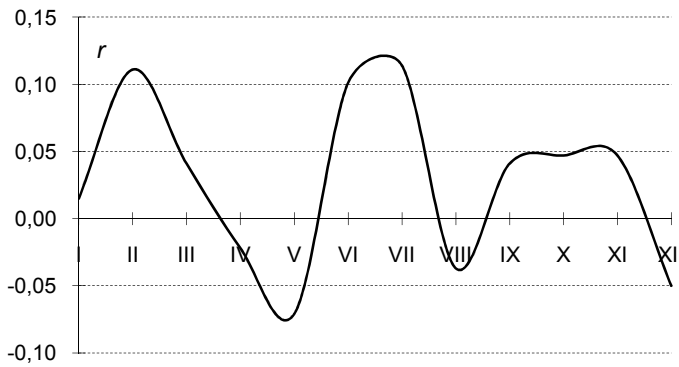

**Rys. 1.** Widmo średnich wartości indeksu NAO Jonesa w latach 1823-2000 – Zima




**Rys 2.** Widmo liczby dni typu A cyrkulacji Osuchowskiej-Klein w latach 1902-1995 – Zima




**Rys. 3.** Widmo liczby dni typu $C_2D$ cyrkulacji Osuchowskiej-Klein w latach 1902-1995 – Zima




**Rys. 4.** Przebieg roczny współczynnika korelacji indeksu NAO Jonesa z liczbami Wolfa

### 7.2.2. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Paryżu w XIX-XX wieku

Autor: Krzysztof B A C Z Y Ń S K I
Opiekun naukowy: Jerzy B O R Y C Z K A

Celem pracy jest określenie zmian klimatu w Paryżu w XVIII-XX wieku z uwzględnieniem ich przyczyn na podstawie zmian temperatury powietrza. W pracy zbadano wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na okresowe zmiany temperatury powietrza w ostatnich stuleciach, zależnej od dopływu energii słonecznej do Ziemi – od aktywności słonecznej.

O wpływie aktywności Słońca na cyrkulację powietrza świadczy zbliżona cykliczność: temperatury powietrza, wskaźnika NAO i liczb Wolfa. Wskaźnik NAO w latach 1825-2000 cechuje się okresowością 8-letnią, kilkuletnią i około 106-letnią, a temperatura powietrza w Europie około 8-, 11-, 100-, 180-letnią.

Oryginalną część pracy stanowią porównania przebiegów temperatury powietrza, wskaźnika NAO, a także liczb Wolfa, w poszczególnych miesiącach, porach roku i roku, widma, oraz zależności korelacyjne poszczególnych parametrów.

J. Boryczka, M. Stopa-Boryczka, E.Błażek, J. Skrzypczuk (1997) w X tomie „*Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* pt. *Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie*", badając zmiany aktywności słonecznej, wykazali cykliczność od 8,1 do 192,1 lat, (z najsilniejszym cyklem około 11-letnim) i rosnącą tendencję 11,4/100 lat liczb Wolfa.

A. Marsz, (1999) stwierdza silną (wysoce istotną) korelację między wskaźnikiem NAO Hurela a temperaturą okresu zimowego. W przebiegu wskaźnika NAO, oprócz obecnych okresów np. 7,76-letniego, wyróżniają się cztery „epoki" cyrkulacyjne. Zmienność wskaźnika NAO w ostatniej epoce cyrkulacyjnej (1971-1995) wynika ze zmian pola temperatury wody na Północnym Atlantyku.

A. Marsz i A. Styszyńska (2001) badali zależność temperatury powietrza nad Polską od współczynnika NAO Hurrela. Stwierdzili występowanie czterech epok cyrkulacyjnych NAO oraz silne i istotne statystycznie zależności. Z badań wynika pokrywanie się głównego około 8-letniego okresu.

M. Miętus (2002) analizował wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na warunki termiczne w rejonie Północnego Atlantyku i Europy w latach 1811-1990. Przy dodatnich wartościach indeksu NAO temperatura powietrza jest znacznie wyższa od przeciętnej, a przy ujemnych zazwyczaj było chłodniej niż normalnie. Oscylacja Północnoatlantycka (jako układ telekoneksji) dominuje w kształtowaniu cyrkulacji atmosferycznej w rejonie północnego Atlantyku i Europy. Jest ona jednym z podstawowych układów telekoneksji w cyrkulacji atmosferycznej na półkuli północnej.

K. Kożuchowski i J. Degirmendžić (2002) zajmują się związkami korelacyjnymi między średnią temperaturą powietrza w Polsce w latach 1951-1998 i cyrkulacją: wskaźnikiem NAO, wskaźnikiem cyrkulacji strefowej (ZI) i południkowej (MI) w Europie Środkowej.

J. Filipiak (2003) stwierdził dominujący wpływ cyrkulacji atmosferycznej w rejonie północnego Atlantyku i Europy – Oscylacja Północnoatlantyckiej w latach 1851-2000 na

warunki termiczne w strefie brzegowej Bałtyku (współczynnik korelacji tych zmiennych $R=0{,}64$) oraz cykliczność około 8-letnią.

R. Przybylak, G. Wójcik, K. Marciniak (2005) na podstawie istniejących rekonstrukcji wartości wskaźników NAO (Hurela) i AO (Oscylacja Arktyczna – cyrkulacja powyżej 20°N) badali wpływ cyrkulacji na temperaturę w latach 1500-1990.

## Opis materiałów źródłowych i zastosowanych metod badań

Widma i okresy temperatury powietrza w Paryżu, wskaźnika NAO i aktywności Słońca wyznaczono metodą sinusoid regresji J. Boryczki (1998) – o zmiennym okresie $\Theta$ co 0,1 roku. Wyznaczono parametry sinusoid regresji tj. amplitudę $b$ i fazę $c$:

$$y=a_0+b\sin(2\pi t\Theta^{-1}+c)$$

Prognozy temperatury powietrza w Paryżu do roku 2100 otrzymano ekstrapolując wartości funkcji trendu czasowego: $T=a_0+at+\Sigma b_j\sin(2\pi t\Theta_j^{-1}+c_j)$, uwzględniając składnik liniowy i interferencję istotnych cykli. Istotność statystyczną wyznaczonych cykli zbadano stosując test Fishera-Snedecora o *2* i *n - 3* stopniach swobody.

Tendencje badanych zmiennych określają współczynniki regresji ($A$) równań prostych regresji: $y=At+B$. Miarą zależności jest współczynnik korelacji Pearsona ($R$).

W pracy wykorzystano serię średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w Paryżu w latach 1757-1995 oraz wartości wskaźnika NAO Jonesa z lat 1825-2000, a także roczne wartości liczb Wolfa z lat 1749-2002.

## Okresowość zmian aktywności Słońca i Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO)

Najbardziej rozpowszechnionym wskaźnikiem aktywności Słońca w badaniach statystycznych są liczby Wolfa (liczby względne): $W=k(g+f)$, gdzie: $g$ – liczba grup plam, $f$ – liczba pojedynczych (wyodrębnionych) plam słonecznych, $k$ – współczynnik korygujący różne serie obserwacyjne.W latach 1749-2002 stwierdzono cykliczność aktywności Słońca od 8,1 do 101,5 lat. W widmie aktywności słonecznej jest obecny najsilniejszy cykl 11-letni o współczynniku korelacji wielokrotnej $R=0{,}523$ i cykl 101,5-letni o współczynniku korelacji $R=0{,}252$. Na podstawie dłuższej serii od 1700 $R$. (Boryczka, Stopa-Boryczka i in., 1997) otrzymano istotny statystycznie okres 192,1 lat ($R=0{,}223$).

Na klimat Europy środkowej i zachodniej ma największy wpływ północna część Oceanu Atlantyckiego. Istotę Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) stanowi występowanie telekoneksji między ciśnieniem atmosferycznym w dwóch głównych ośrodkach barycznych: Niżu Islandzkiego i Wyżu Azorskiego (Marsz, 2003). Ciśnienie powietrza w Wyżu Azorskim jest ujemnie skorelowane z ciśnieniem w Niżu Islandzkim. Największe wartości wskaźników NAO występują w miesiącach zimowych.

W pracy wykorzystano wskaźnik *NAO* Jonesa z lat 1825-1995 (Jones i inni, 1997). Indeks ten stanowi znormalizowaną średnią miesięczną różnicę ciśnienia atmosferycznego między Gibraltarem a Stykkisholmur (Islandia).

Parametry cykli liczb Wolfa (1749-2002) i NAO (1825-2000), wyznaczone metodą sinusoid regresji (okresy w paśmie 2-200 lat z odstępem $\Delta\Theta=0{,}1$ roku.) zestawiono w tabelach 1 i 2.

**Tabela 1**. Okresy $\Theta$, mplitudy $b$ i fazy $c$ liczb Wolfa w latach 1749-2002 ($\varepsilon^2$ – wariancja resztkowa, $R$ – współczynnik korelacji, $F_{obl}$ – statystyka Fishera-Snedecora)

| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 8,1 | 2,028 | -2,8779 | 91,338 | 0,168 | 3,63 |
| 8,5 | 1,793 | 0,5138 | 90,792 | 0,184 | 4,41 |
| 8,8 | 1,582 | 1,3173 | 91,628 | 0,158 | 3,22 |
| 9,2 | 1,456 | -1,3835 | 91,291 | 0,169 | 3,70 |
| 10,0 | 4,878 | 2,4174 | 81,039 | 0,371 | 20,04 |
| 11,0 | 7,853 | 0,8661 | 68,240 | **0,523** | **47,34** |
| 11,7 | 4,078 | 1,4751 | 88,519 | 0,241 | 7,75 |
| 55,8 | 2,138 | 2,1105 | 91,922 | 0,148 | 2,81 |
| 68,0 | 2,522 | 0,2310 | 91,254 | 0,170 | 3,75 |
| 101,5 | 3,727 | 0,5445 | 88,023 | 0,252 | 8,50 |

**Tabela 2.** Parametry cykli wskaźnika *NAO* w latach 1826-1997 – Zima

| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,4 | 0,350 | 0,1695 | 1,474 | 0,202 | 3,59 |
| 4,7 | 0,310 | -0,8782 | 1,492 | 0,171 | 2,53 |
| 5,0 | 0,386 | -2,9635 | 1,462 | 0,220 | 4,32 |
| 5,8 | 0,285 | 0,8836 | 1,487 | 0,180 | 2,82 |
| **7,8** | 0,409 | -0,1148 | 1,423 | **0,272** | **6,75** |
| 8,3 | 0,323 | 2,3144 | 1,450 | 0,237 | 5,05 |
| 8,8 | 0,269 | -0,1197 | 1,478 | 0,195 | 3,35 |
| 11,3 | 0,199 | -1,0851 | 1,509 | 0,134 | 1,55 |
| 71,5 | 0,317 | 1,8937 | 1,492 | 0,171 | 2,53 |
| 105,1 | 0,317 | 0,9163 | 1,498 | 0,159 | 2,18 |

Zimowe wartości wskaźnika *NAO* ulegają cykliczności od 2,4 do 105,1 lat. Najbardziej istotny statystycznie jest cykl 7,8 lat o dużym współczynniku korelacji $R=0{,}272$. Istotne statystycznie są także cykle zimowe wskaźnika NAO: 8,3 lat ($R=0{,}237$), 5,0 lat ($R=0{,}220$) oraz 8,8 lat ($R=0{,}195$).

## Okresowość zmian teperatury powietrza w Paryżu w XIX-XX wieku

Do zbadania okresowości zmian temperatury powietrza w Paryżu w XIX i XX wieku posłużono się danymi z lat 1757-1995. Cykle wyznaczono z wyodrębnieniem kolejnych miesięcy – od stycznia do grudnia Parametry cykli w poszczególnych miesiącach oraz dla zimy i lata zestawiono w tabelach 3, 4, 5 (widmo – rys. 1).

**Tabela 3.** Okresy $\Theta$, amplitudy $b$ i fazy $c$ temperatury powietrza w Paryżu w latach 1757-1995 ($\varepsilon^2$ – wariancja resztkowa, $R$ – współczynnik korelacji, $F_{obl}$ – statystyka Fishera-Snedecora) – Styczeń-Czerwiec

| Styczeń | | | | | | Luty | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
| 2,6 | 0,615 | -2,6789 | 6,649 | 0,160 | 3,12 | 3,8 | 0,575 | 1,1665 | 4,927 | 0,182 | 4,06 |
| 3,1 | 0,592 | -2,9263 | 6,651 | 0,160 | 3,08 | 6,1 | 0,585 | 1,4720 | 4,920 | 0,186 | 4,24 |
| 3,5 | 0,553 | -0,6159 | 6,668 | 0,152 | 2,77 | 6,9 | 0,410 | 0,9098 | 4,982 | 0,150 | 2,71 |
| 5,5 | 0,580 | -1,6591 | 6,658 | 0,156 | 2,95 | 7,4 | 0,520 | -2,9026 | 4,936 | 0,178 | 3,84 |
| 7,7 | 0,697 | -1,4023 | 6,624 | 0,171 | 3,57 | 7,9 | 0,377 | 1,7840 | 5,028 | 0,116 | 1,61 |
| 9,3 | 0,587 | -1,1727 | 6,666 | 0,152 | 2,81 | 11,3 | 0,504 | -0,8227 | 4,969 | 0,158 | 3,03 |
| 10,9 | 0,196 | 2,5307 | 6,788 | 0,073 | 0,64 | 14,3 | 0,544 | -1,0072 | 4,959 | 0,164 | 3,27 |
| 11,6 | 0,581 | 2,6150 | 6,654 | 0,158 | 3,03 | 15,5 | 0,556 | -1,0277 | 4,980 | 0,151 | 2,76 |
| 17,0 | 0,572 | 1,3996 | 6,658 | 0,156 | 2,95 | 25,4 | 0,431 | -2,1389 | 4,986 | 0,147 | 2,62 |
| 62,4 | 0,492 | 2,8888 | 6,627 | 0,170 | 3,52 | 114,0 | 0,138 | -2,4512 | 5,079 | 0,059 | 0,41 |
| Marzec | | | | | | Kwiecień | | | | | |
| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
| 3,0 | 0,347 | 0,5092 | 3,153 | 0,143 | 2,45 | 7,4 | 0,364 | 2,7622 | 2,311 | 0,161 | 3,13 |
| 4,2 | 0,477 | 2,8936 | 3,096 | 0,195 | 4,66 | 8,4 | 0,166 | -0,8960 | 2,358 | 0,077 | 0,71 |
| 4,4 | 0,344 | -0,1934 | 3,151 | 0,145 | 2,52 | 10,1 | 0,354 | -1,2086 | 2,305 | 0,168 | 3,44 |
| 6,2 | 0,417 | 1,1714 | 3,141 | 0,155 | 2,91 | 11,7 | 0,176 | -1,7248 | 2,350 | 0,097 | 1,12 |
| 7,7 | 0,506 | -0,3338 | 3,089 | 0,200 | 4,94 | 16,7 | 0,461 | -1,7185 | 2,254 | 0,223 | 6,19 |
| 9,9 | 0,404 | 1,1873 | 3,152 | 0,144 | 2,48 | 25,2 | 0,447 | 0,2410 | 2,270 | 0,208 | 5,31 |
| 10,6 | 0,410 | -2,7325 | 3,155 | 0,140 | 2,37 | 36,0 | 0,348 | 2,6437 | 2,296 | 0,179 | 3,92 |
| 16,7 | 0,595 | -1,0176 | 3,042 | 0,234 | 6,84 | 61,9 | 0,417 | -0,8387 | 2,269 | 0,209 | 5,37 |
| 56,9 | 0,480 | 1,0791 | 3,102 | 0,190 | 4,43 | 87,9 | 0,316 | 0,7177 | 2,290 | 0,186 | 4,24 |
| 87,2 | 0,170 | 0,8768 | 3,188 | 0,097 | 1,12 | 159,7 | 0,139 | 0,2204 | 2,351 | 0,095 | 1,07 |
| Maj | | | | | | Czerwiec | | | | | |
| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
| 2,6 | 0,458 | 0,8971 | 2,418 | 0,201 | 4,99 | 3,2 | 0,319 | -2,1707 | 2,205 | 0,146 | 2,58 |
| 3,7 | 0,377 | -2,0154 | 2,450 | 0,167 | 3,39 | 3,9 | 0,376 | 0,2655 | 2,187 | 0,171 | 3,57 |
| 8,1 | 0,063 | -0,1874 | 2,518 | 0,030 | 0,11 | 5,9 | 0,312 | 2,2451 | 2,204 | 0,148 | 2,63 |
| 8,7 | 0,407 | -1,7733 | 2,437 | 0,182 | 4,03 | 7,8 | 0,295 | -0,0275 | 2,209 | 0,140 | 2,36 |
| 11,1 | 0,078 | -0,4008 | 2,517 | 0,036 | 0,15 | 10,5 | 0,328 | 2,4443 | 2,195 | 0,161 | 3,13 |
| 20,6 | 0,339 | -2,7730 | 2,438 | 0,181 | 3,98 | 11,2 | 0,071 | 0,0055 | 2,242 | 0,070 | 0,59 |
| 26,5 | 0,465 | -0,3875 | 2,399 | 0,219 | 5,97 | 14,5 | 0,353 | -0,7175 | 2,184 | 0,175 | 3,74 |
| 46,4 | 0,278 | 0,9553 | 2,458 | 0,157 | 2,99 | 16,6 | 0,081 | 2,2586 | 2,197 | 0,158 | 3,02 |
| 85,6 | 0,422 | -1,2858 | 2,407 | 0,212 | 5,55 | 59,0 | 0,461 | 1,5561 | 2,046 | 0,303 | 11,95 |
| 144,7 | 0,477 | -1,0561 | 2,401 | 0,218 | 5,86 | 86,2 | 0,542 | -1,1784 | 1,992 | 0,340 | 15,47 |

**Tabela 4.** Okresy $\Theta$, mplitudy $b$ i fazy $c$ temperatury powietza w Paryżu w latach 1757-1995 – Lipiec-grudzień

| Lipiec | | | | | | Sierpień | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
| 3,1 | 0,397 | -2,1988 | 2,583 | 0,169 | 3,45 | 7,0 | 0,367 | 0,4861 | 2,257 | 0,155 | 2,92 |
| 3,9 | 0,402 | -0,6920 | 2,575 | 0,177 | 3,83 | 7,4 | 0,370 | -3,1321 | 2,248 | 0,167 | 3,41 |
| 5,9 | 0,392 | 2,0997 | 2,580 | 0,172 | 3,59 | 7,8 | 0,131 | 0,7065 | 2,293 | 0,093 | 1,02 |
| 8,0 | 0,187 | 2,2051 | 2,644 | 0,074 | 0,65 | 10,7 | 0,254 | -0,3665 | 2,280 | 0,119 | 1,70 |
| 11,0 | 0,200 | 1,2380 | 2,635 | 0,094 | 1,06 | 15,4 | 0,440 | -0,5490 | 2,210 | 0,211 | 5,49 |
| 23,7 | 0,485 | 0,3727 | 2,537 | 0,214 | 5,65 | 19,2 | 0,390 | 3,1411 | 2,232 | 0,187 | 4,28 |
| 44,7 | 0,280 | -1,6850 | 2,578 | 0,174 | 3,69 | 35,3 | 0,337 | 1,4424 | 2,250 | 0,165 | 3,30 |
| 57,7 | 0,446 | -2,3686 | 2,487 | 0,254 | 8,14 | 44,4 | 0,258 | 3,0854 | 2,242 | 0,175 | 3,73 |
| 81,8 | 0,331 | -2,1643 | 2,542 | 0,209 | 5,41 | 57,0 | 0,421 | 1,0950 | 2,171 | 0,248 | 7,71 |
| 119,3 | 0,180 | -3,0073 | 2,627 | 0,109 | 1,42 | 79,5 | 0,272 | 0,1398 | 2,208 | 0,213 | 5,60 |
| Wrzesień | | | | | | Październik | | | | | |
| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
| 2,9 | 0,296 | -0,6044 | 2,229 | 0,138 | 2,28 | 3,0 | 0,293 | -0,6356 | 2,259 | 0,135 | 2,19 |
| 5,0 | 0,308 | 1,5314 | 2,219 | 0,153 | 2,82 | 6,7 | 0,245 | -2,7226 | 2,258 | 0,137 | 2,24 |
| 5,3 | 0,276 | -2,8657 | 2,224 | 0,146 | 2,55 | 7,4 | 0,376 | -2,5906 | 2,228 | 0,178 | 3,86 |
| 7,7 | 0,298 | 0,1456 | 2,228 | 0,139 | 2,34 | 7,9 | 0,161 | -1,3294 | 2,287 | 0,078 | 0,72 |
| 10,4 | 0,266 | -0,8492 | 2,231 | 0,135 | 2,17 | 8,7 | 0,341 | -0,4670 | 2,246 | 0,154 | 2,89 |
| 11,1 | 0,114 | -0,6823 | 2,260 | 0,073 | 0,63 | 11,1 | 0,312 | 0,3219 | 2,249 | 0,150 | 2,72 |
| 32,3 | 0,280 | 2,9696 | 2,224 | 0,146 | 2,55 | 27,0 | 0,316 | -2,3983 | 2,213 | 0,195 | 4,69 |
| 43,6 | 0,244 | -1,7497 | 2,232 | 0,133 | 2,12 | 31,7 | 0,283 | 2,5370 | 2,233 | 0,172 | 3,59 |
| 59,1 | 0,337 | 2,1570 | 2,158 | 0,224 | 6,24 | 43,6 | 0,318 | -2,6065 | 2,232 | 0,173 | 3,64 |
| 87,8 | 0,213 | 0,6190 | 2,207 | 0,169 | 3,48 | 182,0 | 0,691 | 2,3933 | 2,043 | 0,335 | 14,90 |
| Listopad | | | | | | Grudzień | | | | | |
| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
| 2,7 | 0,330 | -3,0943 | 2,665 | 0,146 | 2,57 | 3,9 | 0,602 | 1,4682 | 6,204 | 0,164 | 3,27 |
| 3,4 | 0,467 | -2,0882 | 2,606 | 0,207 | 5,30 | 4,8 | 0,596 | 1,6446 | 6,206 | 0,163 | 3,23 |
| 3,7 | 0,416 | 0,7467 | 2,629 | 0,186 | 4,22 | 5,1 | 0,593 | 0,8140 | 6,182 | 0,174 | 3,70 |
| 4,6 | 0,354 | 2,3351 | 2,657 | 0,156 | 2,93 | 5,8 | 0,519 | 2,7157 | 6,242 | 0,145 | 2,53 |
| 8,0 | 0,236 | 0,2299 | 2,692 | 0,107 | 1,36 | 6,1 | 0,591 | -0,6350 | 6,211 | 0,161 | 3,13 |
| 10,8 | 0,380 | -1,8208 | 2,637 | 0,178 | 3,85 | 8,0 | 0,334 | 0,1894 | 6,314 | 0,099 | 1,16 |
| 13,4 | 0,309 | 1,9686 | 2,663 | 0,149 | 2,66 | 10,8 | 0,333 | 2,1203 | 6,32 | 0,094 | 1,05 |
| 33,0 | 0,344 | -2,7326 | 2,672 | 0,137 | 2,26 | 81,5 | 0,555 | -1,3997 | 6,226 | 0,153 | 2,84 |
| 57,5 | 0,532 | 3,0323 | 2,612 | 0,202 | 5,02 | 152,3 | 0,544 | 2,5824 | 6,259 | 0,135 | 2,21 |
| 172,3 | 0,467 | -1,4170 | 2,637 | 0,178 | 3,85 | | | | | | |

**Tabela 5.** Okresy $\Theta$, mplitudy $b$ i fazy $c$ temperatury powietza w Paryżu w latach 1757-1995 – Zima i Lato

| Zima | | | | | | Lato | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
| 3,5 | 0,424 | -0,8036 | 2,490 | 0,185 | 4,17 | 2,4 | 0,252 | -0,3182 | 1,357 | 0,154 | 2,88 |
| 5,5 | 0,334 | -1,3489 | 2,518 | 0,153 | 2,81 | 7,8 | 0,221 | 0,3086 | 1,368 | 0,126 | 1,90 |
| 5,8 | 0,380 | 1,2961 | 2,502 | 0,172 | 3,58 | 11,2 | 0,078 | 1,7530 | 1,386 | 0,054 | 0,35 |
| 7,4 | 0,441 | -2,9175 | 2,484 | 0,191 | 4,46 | 12,4 | 0,234 | 1,6211 | 1,361 | 0,145 | 2,52 |
| 8,8 | 0,386 | -0,5747 | 2,504 | 0,169 | 3,49 | 15,5 | 0,285 | -2,1415 | 1,341 | 0,188 | 4,32 |
| 10,9 | 0,167 | -2,2400 | 2,559 | 0,086 | 0,87 | 23,6 | 0,258 | -1,5116 | 1,351 | 0,168 | 3,41 |
| 12,5 | 0,322 | 2,4557 | 2,522 | 0,147 | 2,62 | 34,5 | 0,298 | 0,4933 | 1,338 | 0,194 | 4,59 |
| 15,5 | 0,326 | -1,4542 | 2,506 | 0,167 | 3,39 | 44,4 | 0,254 | 3,0650 | 1,329 | 0,210 | 5,42 |
| 18,4 | 0,308 | -0,0632 | 2,519 | 0,151 | 2,76 | 57,9 | 0,448 | -1,9799 | 1,224 | 0,346 | 16,01 |
| 81,4 | 0,249 | -1,8553 | 2,540 | 0,121 | 1,76 | 82,6 | 0,358 | -0,7532 | 1,239 | 0,330 | 14,39 |

## Okresowość około 8- i 11-letnie temperatury powietrza, cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca

Okresowość około 8-letnia dominuje w wartościach temperatury powietrza, Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) i aktywności Słońca (tab. 6).

**Tabela 6** Okresowość około 8-letnia temperatury powietrza (1757-1997), NAO (1825-1997) i aktywności Słońca (1749-2002)

| | Temperatura | | | NAO | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\Theta$ | $R$ | $F_{obl}$ |
| Wiosna | 8,1 | 0,074 | 0,64 | 8,0 | 0,145 | 1,84 |
| Lato | 7,8 | 0,126 | 1,90 | 7,8 | 0,170 | 2,53 |
| Jesień | 7,9 | 0,070 | 0,59 | 7,7 | 0,207 | 3,81 |
| Zima | 7,4 | 0,191 | 4,46 | 7,8 | 0,272 | 6,75 |
| Rok | 7,8 | 0,172 | 3,61 | 7,8 | 0,296 | 8,15 |
| Liczby Wolfa | 8,1 | 0,168 | 3,63 | | | |

Cykl 11,2 lat wartości rocznych wskaźnika NAO jest istotny statystycznie na poziomie istotności 0,10. Pozostałe cykle nie są istotne statystycznie (tab.7).

**Tabela 7** Okresowość około 11-letnia temperatury powietrza (1757-1997), NAO (1825-1997) i aktywności Słońca (1749-2002)

| | Temperatura | | | NAO | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\Theta$ | $R$ | $F_{obl}$ |
| Wiosna | 11,2 | 0,090 | 0,97 | 11,1 | 0,131 | 1,48 |
| Lato | 11,2 | 0,054 | 0,35 | 11,1 | 0,098 | 0,83 |
| Jesień | 11,3 | 0,087 | 0,91 | 11,1 | 0,063 | 0,34 |
| Zima | 10,9 | 0,086 | 0,87 | 11,3 | 0,134 | 1,55 |
| Rok | 11,2 | 0,086 | 0,87 | 11,2 | 0,160 | 2,23 |
| Liczby Wolfa | **11,0** | **0,523** | **47,34** | | | |

## Cykle około 100-200 letnie

Cykliczność około stuletnią temperatury powietrza, Oscylacji Północnoatlantyckiej i aktywności Słońca charakteryzuje tab. 8. Istotne statystycznie cykle temperatury powietrza w Paryżu wystąpiły: wiosną – cykl 87,7 lat ($R$=0,212), w lecie – cykl 82,6 lat ($R$=0,330), średniej rocznej – 81,9 lat ($R$=0,245). Aktywność Słońca cechuje się istotnym statystycznie cyklem 101,5 lat ($R$=0,245). Cykl 83,6 lat w lecie ($R$=0,170), oraz cykl 74,6 lat jesienią ($R$=0,165) wskaźnika NAO są istotne statystycznie na poziomie istotności 0,10. Pozostałe cykle temperatury powietrza: 100,0 lat ($R$=0,126) jesienią, 81,4 lat ($R$=0,121) zimą, oraz wskaźnika NAO: 106,4 lat ($R$=0,088) wiosną, 105,1 lat ($R$=0,095) zimą, nie są istotne statystycznie. Nie ma cykliczności około stuletniej rocznych wartości wskaźnika NAO.

**Tabela 8**. Okresowość około 100-letnia temperatury powietrza, cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca

| | Temperatura | | | NAO | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\Theta$ | $R$ | $F_{obl}$ |
| Wiosna | 87,7 | 0,212 | 5,54 | 106,4 | 0,088 | 0,67 |
| Lato | 82,6 | 0,330 | 14,39 | 83,6 | 0,170 | 2,53 |
| Jesień | 100,0 | 0,126 | 1,89 | 74,6 | 0,165 | 2,39 |
| Zima | 81,4 | 0,121 | 1,76 | 105,1 | 0,095 | 0,78 |
| Rok | 81,9 | 0,245 | 7,52 | - | - | - |
| Liczby Wolfa | 101,5 | 0,252 | 8,50 | | | |

Cykle około dwustuletnie, oraz dłuższe niż stuletnie występują w wartościach temperatury powietrza w Paryżu, wskaźnika NAO oraz aktywności Słońca. Spośród istotnych statystycznie cykli około dwustuletnich temperatury powietrza w Paryżu występują: w maju – cykl 144,7 lat ($R$)=0,218), październiku – cykl 182,0 lat ($R$=0,335), listopadzie – cykl 172,3 lat ($R$=0,178).

Prognozę temperatury powietrza w Paryżu w lecie i w zimie do roku 2100 przedstawiono na wykresach (rys. 2 i 3).

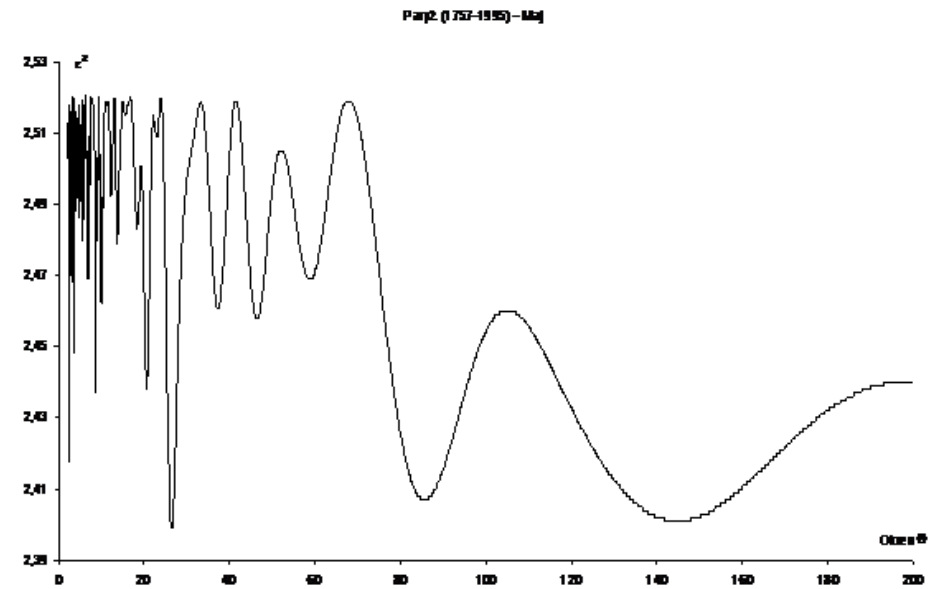
## Zależność korelacyjna temperatury powietrza w Paryżu od wskaźnika *NAO*

W celu określenia wpływu Oscylacji Północnoatlantyckiej na zmiany temperatury powietrza w Paryżu wyznaczono współczynnik korelacji – w poszczególnych miesiącach i roku (tab.9, rys.4).

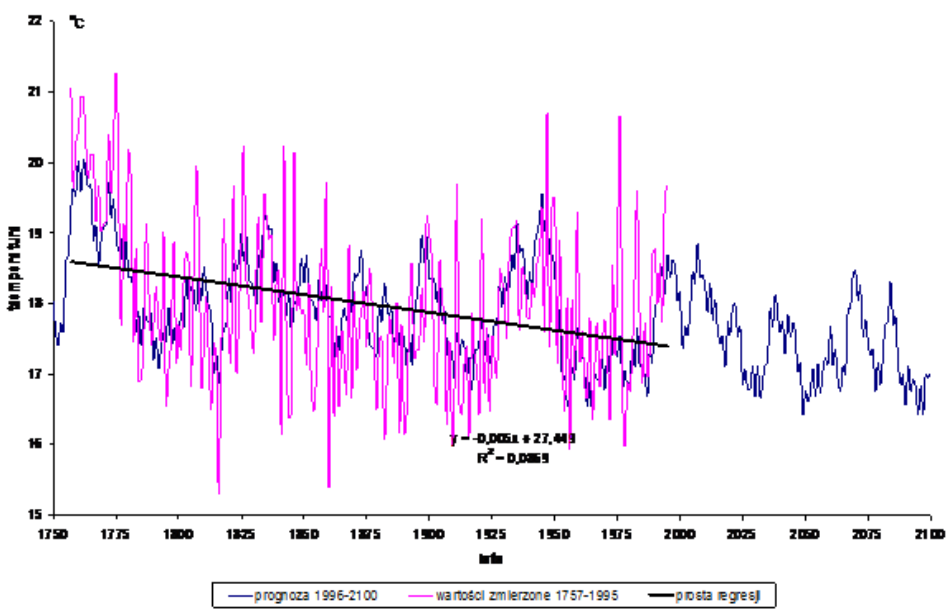
Największe wartości współczynnika $R$ występują od listopada do marca – z maksimum ($R$=0,64) w lutym. Świadczy to o największym wpływie NAO na temperaturę powietrza w Paryżu w chłodnej porze roku, powodujący znaczne ocieplenie. Współczynnik korelacji średnich rocznych wartości temperatury powietrza i wskaźnika jest niewielki, ale istotny statystycznie ($R$=0,17).

**Tabela 9** Współczynniki korelacji miesięcznych wartości temperatury powietrza w Paryżu ze wskaźnikiem NAO w latach 1825-1995

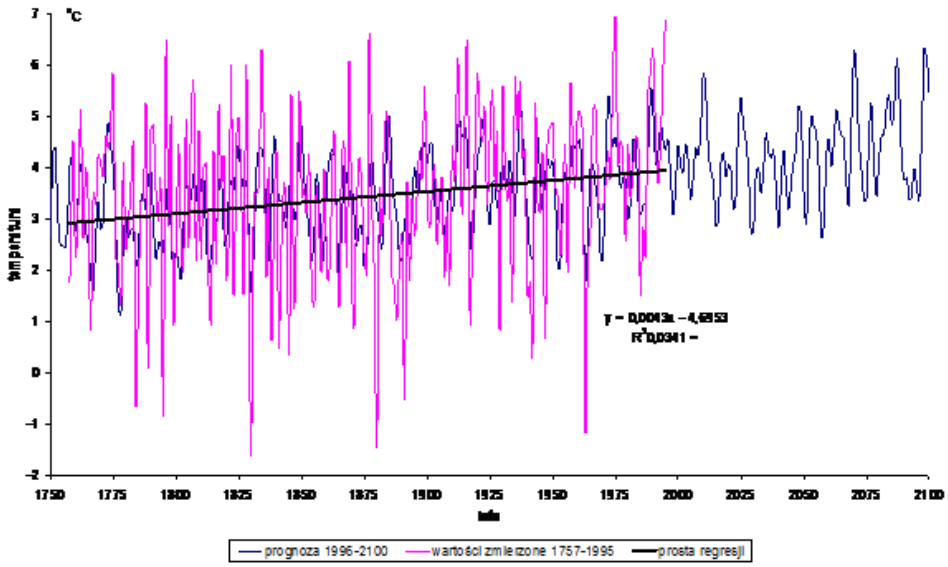
| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | I-XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,60 | 0,64 | 0,60 | 0,34 | 0,28 | 0,14 | 0,16 | 0,19 | 0,21 | 0,31 | 0,54 | 0,50 | 0,17 |



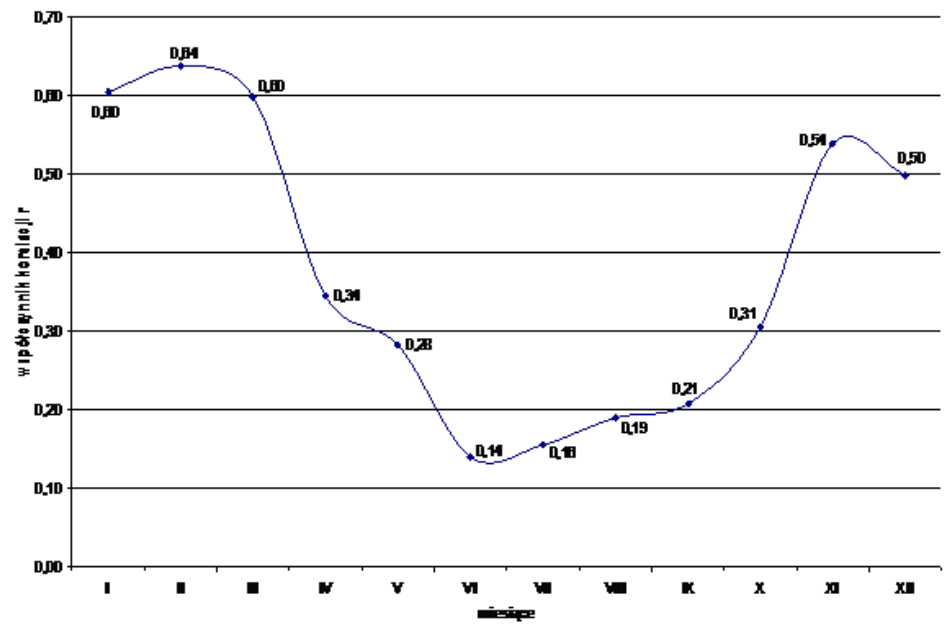

**Rys. 1.** Widmo temperatury powietrza w Paryżu w latach 1757-1995 – Maj




**Rys. 2.** Zmiany temperatury powietrza w Paryżu w latach 1757-1995, prognoza temperatury do 2100 roku – Lato (VI-VIII)




**Rys. 3.** Zmiany temperatury powietrza w Paryżu w latach 1757-1995, prognoza temperatury do 2100 roku – Zima (XII-II)




**Rys. 4.** Współczynniki korelacji średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w Paryżu z wskaźnikiem NAO w latach 1825-1995

### 7.2.3. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Polsce w XIX-XX wieku

Autor: H a n n a G O Ł D O W S K A
Opiekun naukowy: J e r z y B O R Y C Z K A

Celem pracy jest określenie wpływu Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na pole temperatury powietrza w Polsce na przykładzie trzech miast: Krakowa, Warszawy i Wrocławia. Zależność temperatury powietrza od wskaźnika *NAO* określono dwoma sposobami, tj. przez wyznaczenie współczynnika korelacji ($r$) i badanie synchroniczności cykli *NAO* i temperatury powietrza. Dlatego też wyznaczono widma wskaźnika *NAO* i temperatury powietrza w trzech miastach, wyodrębniając przedziały czasu: zimę, styczeń, wiosnę, lato, lipiec, jesień i rok. Wzięto pod uwagę wskaźnik Jonesa, Jonssona i Wheelera (1997), który charakteryzuje różnicę ciśnienia atmosferycznego między Gibraltarem, znajdującym się w strefie oddziaływania Antycyklonu Azorskiego, a południowo-zachodnią Islandią (Stykkishofmur/Reykjavik). Wskaźnik ten tworzy najdłuższy ciąg, oparty na pomiarach instrumentalnych, rozpoczynający się od roku 1821.Wyniki własnych obliczeń na podstawie dłuższych serii pomiarów wskaźnika *NAO* (1825-1999) i temperatury powietrza w Krakowie (1826-1997), Warszawie (1779-2006) i Wrocławiu (1792-2006) odniesiono do obszernej literatury dotyczącej badanych problemów.

#### Badania cykliczności i tendencji zmian Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) oraz temperatury powietrza

W pracy zastosowano metodę sinusoid regresji J. Boryczki (1998), umożliwiającą wykrywanie wszystkich cykli: wskaźnika *NAO* i temperatury powietrza przez aproksymację wyników pomiarów sinusoidami regresji:

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

gdzie : $\Theta$ – okres, $a_0$ – wyraz wolny, $b$ – amplituda, $c$ – przesunięcie fazowe.

Okres sinusoidy $\Theta$ zmieniano z krokiem $\Delta\Theta$=0,1 roku, co pozwoliło na wyznaczenie widm i okresów. Parametry $a_0$, $b$ i $c$ zostały wyznaczone tak, aby suma kwadratów odchyleń zmierzonych wartości wskaźnika *NAO* lub temperatury powietrza ($y$) od wykresu sinusoidy była najmniejsza (wariancja resztkowa $\varepsilon^2$). Im mniejsza jest wariancja resztkowa $\varepsilon^2$, tj. większa amplituda $2b$ zmian wskaźnika *NAO* lub temperatury powietrza oraz większy współczynnik korelacji wielokrotnej $R$ – tym silniejszy jest cykl.

W celu określenia istotności statystycznej wyznaczonych cykli sezonowych, rocznych i miesięcznych wartości wskaźnika *NAO* i temperatury powietrza posłużono się testem Fishera-Snedecora. Istotność statystyczną określono na poziomie 5% i 10%. Cykl przyjęto jako istotny statystycznie, gdy wartość obliczona $F_{obl}$ jest większa od wartości krytycznej $F_{kr}$. W tym celu wyznaczono współczynnik determinacji $R^2$ i $F_{obl}$ z wzorów:

$$R^2 = 1\text{-}\varepsilon^2/s^2$$

$$F_{obl} = 0{,}5(n\text{-}3)R^2/(1\text{-}R^2)$$

gdzie $\varepsilon^2$ jest wariancją resztkową, $s^2$ wariancją zmiennej $y$.

Współczynnik determinacji $R^2$ określa, jaki procent zmienności temperatury powietrza lub wskaźnika *NAO* (wariancji $s^2$) jest wyjaśniony równaniem cyklu o określonej długości.

Zmienność wieloletnią temperatury powietrza oraz Oscylacji Północnoatlantyckiej zbadano, wyznaczając proste regresji i średnie konsekutywne 11-letnie.

Ogólną tendencję temperatury powietrza ($y$) lub wskaźnika *NAO* w badanych przedziałach czasu określają równania prostych regresji $y$ względem czasu $t$

$$y = at + b$$

Współczynnik regresji $a$ wyraża średnią (dodatnią lub ujemną) tendencję temperatury powietrza (lub wskaźnika *NAO*) wyrażoną w °C na jednostkę czasu (np. na 10 lat) w badanym przedziale czasu.

Oceniono istotność statystyczną cykli temperatury powietrza i wskaźnika *NAO*. Na ogół w literaturze problem weryfikacji większości cykli był pomijany.

## Cykle Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO)

Wskaźnik Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* charakteryzuje się okresowością około 8-letnią, kilkunastoletnią i 106,3-letnią (J. Boryczka i in, 2005). Również E. Leszczyńska (2006) w swojej pracy magisterskiej wykazała, że wskaźnik *NAO* odznacza się cyklicznością około 8-letnią, 11-letnią oraz około 100-letnią.

W ciągach czasowych wskaźnika *NAO* wykryto cykle o długościach: 2,4-3,3; 3,6-6,6; 7,3-10,0; 10,5-12,5; 13,1-15,5; 16,6-45,5; 67,6-136,5 lat. W styczniu wykryto najwięcej cykli istotnych statystycznie (aż osiem na poziomie 5%). W lipcu tylko sześć cykli wskaźnika *NAO* jest istotnych statystycznie (dwa na poziomie 5%). Widmo wskaźnika *NAO* w latach 1825-1999 w zimie przedstawiono na rys. 1, a parametry cykli w tab. 1.

**Cykle 7,3-10,0 lat**

Latem i w lipcu wykryto jeden, w roku dwa, jesienią i zimą po trzy cykle o długościach 7,3-10,0 lat. Najwięcej takich cykli jest w styczniu (cztery). Jedynie wiosną nie wykryto cykli o tej długości. W lipcu cykl 8,2 lat o amplitudzie 0,13 nie jest istotny statystycznie. Zimą, w styczniu i w roku wystąpiły silne cykle 7,8-letnie istotne statystycznie na poziomie 5% i były one najbardziej zdeterminowane: $R = 0{,}279$ zimą, $R = 0{,}209$ w styczniu, $R = 0{,}282$ w roku. Zimą wykryto silne cykle 8,3 i 8,8 lat o amplitudach 0,29 i 0,24. Każdy z nich jest istotny statystycznie na poziomie 5%.

**Cykle 10,5-12,5 lat**

Cykli o długościach z przedziału 10,5-12,5 lat nie wykryto wiosną, jesienią, w zimie oraz w styczniu. Najsilniejszy jest cykl 10,4 lat (lato) o amplitudzie zmian 0,23 i współczynniku korelacji równym 0,206. Istotny statystycznie na poziomie 10% jest cykl 12,2 lat (lato). Inne cykle, tj. 11,2 i 12,2 lat w lipcu oraz 11,2 lat w roku, nie są istotne statystycznie na żadnym z obranych poziomów istotności.

**Cykle 67,6-136,5 lat**

Są to najdłuższe cykle, jakie wykryto w ciągach chronologicznych wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej. Najdłuższy cykl wykryto w styczniu – 150,3 lat (amplituda 0,37; $R = 0{,}165$). Długi cykl wykryto zimą – 136,6 lat. Ma on amplitudę zmian wynoszącą 0,33 i jest istotny statystycznie na poziomie 10%. Maksymalna wartość współczynnika korelacji wynosi 0,206 w styczniowym cyklu 67,6 lat, cykl ten jest istotny statystycz-

nie na poziomie 5%. Cykle 73,2 na jesieni, 74,1 lat zimą i 150,3 lat w styczniu są istotne statystycznie na poziomie 10%.

W ciągach czasowych wskaźnika *NAO* w latach 1825-1999 wykryto cykle 2,4-136,5 lat. Najkrótsze cykle obecne są w ciągach czasowych współczynnika *NAO* we wszystkich porach roku i w roku, a także w styczniu i w lipcu. Cykle około 8-letnie nie występują jedynie wiosną. Zimą, w styczniu i w roku wystąpiły istotne statystycznie cykle 7,8-letnie. Są one najbardziej zdeterminowane zimą $R=0{,}279$ i w roku $R=0{,}282$. Wykryto także 11,1 i 11,2-letnie cykle *NAO*, które występują w roku, wiosną i zimą, jednak nie są one istotne statystycznie. Są to cykle zbliżone do 11-letniego cyklu aktywności Słońca. Wskaźnik *NAO* charakteryzuje się także cyklicznością kilkunastoletnią (cykl 13,1 lat w roku, 13,5 lat wiosną, 12,2 lat latem oraz 14,2 lat w styczniu) oraz około 100-letnią (w roku występuje cykl 118-letni). Najdłuższy cykl 136,6 lat, który wykryto w ciągach czasowych Oscylacji Północnoatlantyckiej zimą (współczynnik korelacji $R=0{,}182$), jest istotny statystycznie.

## Cykle temperatury powietrza w: Krakowie, Warszawie i Wrocławiu

Z dotychczasowych badań długich ciągów pomiarów temperatury powietrza wynika, że w miastach europejskich (w tym polskich) występuje kilka cykli temperatury powietrza. Są to cykle: 3-5, 7-8, 10-13, 73-113 lat i cykl planetarny 178,9 lat (Boryczka, Stopa-Boryczka i in., 1997, 1999, 2000). Cykliczność ta jest cechą pola temperatury w Europie (także w Polsce).

Zbliżoną cykliczność wyznaczono na podstawie nieco dłuższych serii pomiarowych temperatury powietrza w badanych miastach: Kraków (1826-1997), Warszawa (1779-2006), Wrocław (1792-2006).

**Cykle 6,7-9,3 lat**

W Krakowie amplituda cykli temperatury powietrza o tej długości zawiera się w przedziale od 0,12 do 0,97°C; największą amplitudą charakteryzuje się cykl 9,3 lat w styczniu. Największe amplitudy występują we Wrocławiu: od 0,16°C w cyklu 7,1 lat w lecie do 1,12°C dla cyklu 9,3 lat w styczniu. W Warszawie amplitudy temperatury powietrza wahają się od 0,14°C w cyklu 7,4-letnim w roku do 0,96°C w cyklu 9,2-letnim w styczniu. Najbardziej zdeterminowane cykle występują w styczniu. W cyklu 9,3-letnim, jaki wykryto w styczniu w Krakowie, współczynnik korelacji wynosi $R=0{,}246$. Również duży współczynnik korelacji obliczono w styczniowym cyklu 9,3-letnim we Wrocławiu ($R=0{,}235$). W Warszawie zimą w cyklu 8,3-letnim obliczono największy współczynnik korelacji równy 0,232. W Krakowie największą liczbę istotnych statystycznie cykli wykryto zimą. Cykle 7,7 lat i 8,2 lat są istotne statystycznie na poziomie 5%, a cykle 8,8 lat i 9,4 lat na poziomie 10%. W Warszawie zimą i w styczniu wykryto po trzy istotne statystycznie cykle temperatury powietrza. Zimą cykle 7,8 lat i 8,3 lat są istotne statystycznie na poziomie 5%, w styczniu jedynie cykl 9,2 lat jest istotny na tym poziomie.

**Cykle 10,5-28,6 lat**

W Krakowie amplituda cykli temperatury powietrza w paśmie 10,5-28,6 lat zawiera się w przedziale od 0,16 do 0,74°C; największą amplitudą cechuje się cykl 10,5 lat w styczniu, a najmniejszą cykle 11,3 i 16,0 lat w roku. Amplitudy występujące w Warszawie zawierają się w przedziale: od 0,14°C w cyklu 11,1 lat w lecie do 0,60°C w cyklu

11,4 lat w styczniu. We Wrocławiu amplitudy temperatury powietrza wahają się od 0,16 wcyklu 10,8 i 12,2-letnim w roku do 0,71°C w cyklu 22,4-letnim w styczniu.Cyklem o największym współczynniku korelacji w Krakowie jest cykl 15,5-letni w zimie ($R$=0,224), w Warszawie cykl 16,0-letni latem ($R$=0,186), we Wrocławiu cykl 12,9-letni w zimie ($R$=0,203).

**Cykle 66,1-88,6 lat**

Amplitudy cykli w Krakowie zawierają się w przedziale od 0,07 w roku (cykl 84,4 lat) do 0,36°C w lipcu (cykl 68,6 lat). W Warszawie największą amplitudą zmian 0,51°C odznacza się cykl 70,2-letni w lipcu, natomiast we Wrocławiu cykl 69,1-letni w styczniu (amplituda wynosi 0,75°C). Największym współczynnikiem korelacji wyróżnia się cykl 74,3-letni temperatury powietrza obecny latem w Warszawie ($R$=276). Cykl 88,6-letni w lecie w Krakowie ma współczynnik korelacji równy 0,239, natomiast cykl 69,1 lat w styczniu we Wrocławiu współczynnik $R$=0,203.

**Cykle 101,3-182,0 lat**

Długookresowa cykliczność, jakiej podlega temperatura powietrza, wywołana jest przez aktywność słoneczną. Cykle temperatury tej długości są obecne w Krakowie latem i jesienią, a także w styczniu i w lipcu. W Warszawie po jednym takim cyklu wykryto w roku, zimą i w styczniu. We Wrocławiu, wszystkie wykryte długie cykle (124,7 lat w roku, 118,8 lat na wiosnę, 135,6 lat w lecie, 123,5 lat zimą, 129,9 lat w styczniu i 135,6 lat w lipcu) są istotne statystycznie na poziomie 5%. W Warszawie również wszystkie cykle są istotne statystycznie, ale tylko cykl 116,0 lat w styczniu jest istotny na poziomie 5%. W Krakowie jedynie cykl styczniowy (101,3 lat) nie jest istotny statystycznie nawet na poziomie istotności 0,10. Cykl o największym współczynniku korelacji $R$ równym 0,331 wykryto na jesieni w Krakowie (cykl 182,0 lat). Dużym współczynnikiem korelacji cechuje się także cykl 135,6 lat wykryty w lecie we Wrocławiu ($R$=0,287). W Warszawie najbardziej zdeterminowany jest cykl 116,0-letni o współczynniku korelacji równym 0,175.

Największe amplitudy temperatury powietrza mają długie cykle we Wrocławiu. W mieście tym amplitudy wahają się od 0,28°C (cykl 135,6 lat w lecie) do 1,06°C (cykl 129,9 lat w styczniu). W Warszawie największa amplituda temperatury powietrza występuje w przypadku cyklu 116,0 lat (styczeń), natomiast najmniejsza 0,17°C w cyklu 111,2 lat (rok). W Krakowie amplitudy mają wartość od 0,23°C w cyklu 180,7 lat w lipcu do 0,63°C w cyklu 182,0 lat na jesieni.

W Krakowie, Warszawie i Wrocławiu wykryto długie i krótkie cykle temperatury powietrza. W widmach temperatury powietrza w trzech miastach występują cykle około 4-letnie, około 8-letnie i około 11-letnie. Jak wykazali J. Boryczka i inni (2005), w Europie (i w Polsce) dominują około 8-letnie okresy temperatury powietrza o dużych amplitudach. W styczniu wykryto 8,3-letnie istotne statystycznie cykle w Krakowie, Warszawie i Wrocławiu. W widmach temperatury powietrza w Krakowie, Warszawie i Wrocławiu w nieco dłuższych przedziałach czasu obecne są także cykle kilkunastoletnie, około 30-letnie, około 85-letnie oraz najdłuższe około 100-letnie oraz planetarne 180-letnie. Dużą role w kształtowaniu klimatu odgrywają długie cykle: 102,0 i 187,0-letnie aktywności Słońca (Boryczka i in., 2005). Analogiczne okresy obecne są w seriach pomiarowych temperatury powietrza. Okres około 100-letni temperatury powietrza w styczniu wykryto w Krakowie (101,3 lat), w Warszawie (116,0 lat) i we Wrocławiu (129,9 lat). We

Wrocławiu w roku wykryto cykl 124,7 lat, wiosną 118,8 lat, latem 135,6 lat, zimą 123,5 lat oraz w lipcu 135,6 lat. W najdłuższych seriach pomiarowych są obecne także okresy prawie dwuwiekowe zbliżone do okresu planetarnego 178,9 lat, po upływie którego powtarzają się wartości parametrów Układu Słonecznego. Cykl 182,0-letni temperatury powietrza obecny jesienią w Krakowie cechuje się największym ze wszystkich cykli współczynnikiem korelacji wynoszącym $R = 0{,}331$. W Warszawie długie cykle 100-180 lat wykryto w roku, zimą i w styczniu. We Wrocławiu cykle takie nie są obecne jedynie jesienią.

### Synchroniczność cykli *NAO* i temperatury powietrza w Polsce

W ciągach czasowych temperatury powietrza zarówno w Krakowie, w Warszawie jak i we Wrocławiu wykryto cykl około 4-letni. Takie same bądź bardzo zbliżone cykle wykryto w przebiegu Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO*.

Na podstawie sezonowych oraz wybranych miesięcznych wartości poszczególnych zmiennych we wszystkich badanych seriach pomiarowych wykryto cykl około 8-letni. Najbardziej zbliżone cykle około 8-letnie wskaźnika *NAO* i temperatury powietrza w Krakowie, Warszawie i Wrocławiu występują zimą i w roku oraz w styczniu. Cykl 7,8 lat wykryto w ciągach średnich rocznych wartości temperatury powietrza we wszystkich miastach, a także w widmie wskaźnika *NAO*. Cykle te charakteryzują się dużymi współczynnikami korelacji ($R$). Synchroniczne są również cykle około 11-letnie wskaźnika *NAO* i temperatury powietrza (szczególnie w roku oraz w lipcu). Niewielka jest zbieżność długich cykli (istotnych statystycznie) temperatury powietrza i wskaźnika *NAO*.

Podsumowując, na podstawie przeprowadzonych badań należy stwierdzić, że Oscylacja Północnoatlantycka (*NAO*) warunkuje okresowe zmiany temperatury powietrza w Polsce. Wpływ *NAO* na temperaturę powietrza jest większy we Wrocławiu niż w Krakowie czy w Warszawie. Wpływ ten maleje w miarę przesuwania się na wschód. Wynika to z napływu stosunkowo cieplejszych i wilgotnych mas powietrza znad Atlantyku nad wychłodzone podłoże środkowej Europy, które powodują wzrost temperatury powietrza.

Dotychczasowy stan badań długich ciągów pomiarów temperatury powietrza wykazał, że w miastach europejskich (w tym polskich) występuje kilka cykli temperatury powietrza. Są to cykle: 3-5, 7-8, 10-13, 73-113 lat i cykl planetarny 178,9 lat (Boryczka, Stopa-Boryczka i in., 1997, 1999, 2000). Cykliczność ta jest cechą pola temperatury w Europie (także w Polsce). Wskazuje na to obecność wcześniej wspomnianych cykli w prawie wszystkich ciągach chronologicznych (miesięcznych, sezonowych i rocznych).

W celu zbadania okresowości zmian temperatury powietrza, podobnie jak przy wyznaczaniu cykli Oscylacji Północnoatlantyckiej o nieco dłuższych przedziałach czasu, wykorzystano metodę „sinusoid regresji" J. Boryczki (1998). Umożliwia ona wyznaczenie widm i okresów zmiennych meteorologicznych. Widma temperatury powietrza w Krakowie, Warszawie i we Wrocławiu przedstawiono na wykresach (rys.2-4), a parametry poszczególnych cykli zamieszczono w tabelach 2-4. Istotność statystyczna wyznaczonych cykli została oceniona za pomocą testu Fishera-Snedecora na poziomach istotności 5% i 10%. Cykl przyjęto jako istotny statystycznie, gdy wartość obliczona $F_{obl}$ jest większa od wartości krytycznej $F_{kr}$.

## Zależność korelacyjna temperatury powietrza od Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO)

Przebieg średniej rocznej wartości wskaźnika *NAO* w latach 1825-1999 charakteryzuje się tendencją dodatnią 0,01/100 lat – zbliżoną do zera. Dodatnia tendencja wskaźnika *NAO* wskazuje na rosnącą rolę napływających znad Atlantyk mas powietrzau, w kształtowaniu warunków klimatycznych w Europie (i w Polsce). Zima charakteryzuje się największą tendencją ujemną -0,15/100 lat, a jesień największą tendencją dodatnią (0,15/100 lat). Z przebiegu średnich konsekutywnych 11-letnich wartości wynika, że w badanym okresie dominowała dodatnia faza *NAO*.

Zależność zmian temperatury powietrza zbadano, wyznaczając współczynniki korelacji w Krakowie, Warszawie i we Wrocławiu od wskaźnika *NAO* w latach 1825-1997. Uwzględniono średnie roczne, sezonowe i miesięczne wartości temperatury powietrza i wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (rys.5-7, tab.5).

Stosując test *t*-Studenta, określono istotność statystyczną współczynników korelacji. Obrano dwa poziomy istotności statystycznej 5% i 10%. Współczynnik korelacji uznano jako istotny statystycznie, gdy wartość obliczona $t_{obl}$ jest większa od wartości krytycznej $t_{kr}$=1,658 (poziom istotności 10%), $t_{kr}$=1,980 (poziom istotności 5%):

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

Temperatura powietrza zarówno w Krakowie, jak i w Warszawie i Wrocławiu jest najsilniej skorelowana ze wskaźnikiem *NAO* w chłodnej porze roku (szczególnie w styczniu). Współczynnik korelacji między wskaźnikiem *NAO* a temperaturą powietrza jest największy: $r$=0,62 we Wrocławiu w styczniu, przy czym w Warszawie w styczniu wynosi $r$=0,56; a w Krakowie $r$=0,52. W Warszawie współczynnik korelacji w styczniu jest wyższy niż w Krakowie i wynosi 0,56 (jest największy spośród wszystkich miesięcy i istotny statystycznie na poziomie istotności 5%). W Krakowie istotne statystycznie na poziomie 5% zależności wykryto oprócz stycznia także w marcu $r$=0,44; w grudniu $r$=0,38; w lutym $r$=0,36; w listopadzie $r$=0,31 oraz we wrześniu $r$=0,27. W Krakowie istotny statystycznie na poziomie 10% jest współczynnik korelacji w kwietniu, wynoszący 0,13. Największy współczynnik korelacji temperatury powietrza i wskaźnika *NAO* jest we Wrocławiu w styczniu. Jest on największy spośród wszystkich miast i wynosi $r$=0,62 (istotny statystycznie na poziomie 5%). Duże współczynniki korelacji między temperaturą powietrza a wskaźnikiem *NAO* występują także w Warszawie: w lutym $r$=0,55; w marcu $r$=0,50; w grudniu $r$=0,40; w listopadzie $r$=0,37; wrześniu $r$=0,28; październiku $r$=0,22 oraz w maju i czerwcu $r$=0,15. Wszystkie wymienione współczynniki korelacji są istotne statystycznie na poziomie 5%. Istotny statystycznie na poziomie 10% jest współczynnik korelacji w lipcu, wynoszący 0,13. Reszta współczynników korelacji nie jest istotna statystycznie na żadnym z obranych poziomów istotności. Największa zależność temperatury powietrza od Oscylacji Północnoatlantyckiej występuje we Wrocławiu. Istotne statystycznie na poziomie 5% zależności występują we wszystkich miesiącach oprócz czerwca i lipca. Silna korelacja zachodzi we wspomnianym wcześniej styczniu, w lutym $r$=0,58; w grudniu $r$=0,49; w marcu $r$=0,47 oraz w listopadzie $r$=0,41.

Podsumowując należy zauważyć, że największe zależności temperatury powietrza od wskaźnika *NAO* we wszystkich trzech polskich miastach występują w chłodnej porze roku

od listopada do marca, a najmniejsze od czerwca do sierpnia. We wrześniu też występują stosunkowo duże wartości współczynnika korelacji między badanymi zmiennymi (Kraków $r=0{,}27$; Warszawa $r=0{,}28$; Wrocław $r=0{,}36$). Korelacja między średnimi rocznymi i średnimi w porach roku wartościami wskaźnika *NAO* i temperaturą powietrza jest największa we Wrocławiu.

Zarówno w Krakowie, Warszawie, jak i we Wrocławiu w badanych okresach czasu tendencja temperatury powietrza we wszystkich porach roku, w roku oraz w styczniu i w lipcu jest dodatnia. Największą tendencją dodatnią w tych trzech miastach charakteryzuje się styczeń (Kraków 1,7°C/100 lat, Warszawa 1,3°C/100 lat, Wrocław 1,1°C/100 lat).

Jak wynika z badań J. Boryczki i innych (2002), w Polsce (tak jak w całej Europie) coraz cieplejsze są zimy, np. w Warszawie o 1°C/100lat, a w Krakowie o 1,4°C/100 lat. Część tego postępującego ocieplenia klimatu w latach 1779-1990, np. w Warszawie o 0,6°C/100 lat, wynika ze wzrostu aktywności Słońca. Wyznaczona w pracy tendencja temperatury powietrza zimą w Krakowie wynosi 1,5°C/100 lat, w Warszawie 1,1°C/100 lat, we Wrocławiu 0,7°C/100 lat. Tendencje temperatury powietrza w sezonie letnim wynoszą: w Krakowie 0,3°C/100 lat, w Warszawie około 0,0°C/100 lat, a we Wrocławiu 0,3°C/100 lat.

Na podstawie przebiegów średnich konsekutywnych wartości temperatury powietrza w trzech polskich miastach oraz wskaźnika *NAO* można także stwierdzić, iż w miesiącach zimowych temperatura powietrza w Krakowie, w Warszawie i we Wrocławiu jest dodatnio skorelowana ze wskaźnikiem *NAO* (rys. 8-10). Wynika to z napływu zimą stosunkowo cieplejszych i wilgotnych mas powietrza nad wychłodzone podłoże.

**Tabela. 1.** Cykle wskaźnika *NAO* w latach 1825-1999 – zima

| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ | istotność |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,4 | 0,35 | 0,216 | 1,475 | 0,196 | 3,420 | 0,05 |
| 4,7 | 0,31 | -0,947 | 1,484 | 0,181 | 2,881 | 0,10 |
| 5,0 | 0,38 | -2,919 | 1,455 | 0,227 | 4,642 | 0,05 |
| 5,7 | 0,31 | 2,158 | 1,483 | 0,182 | 2,940 | 0,10 |
| 7,8 | 0,42 | -0,051 | 1,415 | 0,279 | 7,190 | 0,05 |
| 8,3 | 0,29 | 2,286 | 1,456 | 0,225 | 4,580 | 0,05 |
| 8,8 | 0,24 | -0,263 | 1,480 | 0,188 | 3,120 | 0,05 |
| 11,2 | 0,18 | 1,895 | 1,512 | 0,120 | 1,240 | nieistotny |
| 15,5 | 0,26 | -0,501 | 1,496 | 0,157 | 2,172 | nieistotny |
| 74,1 | 0,33 | 1,833 | 1,487 | 0,175 | 2,702 | 0,10 |
| 136,6 | 0,33 | 2,239 | 1,483 | 0,182 | 2,940 | 0,10 |

**Tabela. 2.** Cykle temperatury powietrza w Krakowie w latach 1826-1997 – zima

| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ | istotność |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3,3 | 0,61 | -1,548 | 5,251 | 0,181 | 2,831 | 0,10 |
| 4,6 | 0,56 | -1,052 | 5,256 | 0,178 | 2,749 | 0,10 |
| 5,6 | 0,52 | 0,472 | 5,276 | 0,167 | 2,420 | 0,10 |
| 7,7 | 0,63 | -1,187 | 5,184 | 0,212 | 3,954 | 0,05 |
| 8,2 | 0,56 | 2,627 | 5,130 | 0,234 | 4,880 | 0,05 |
| 8,8 | 0,28 | -0,439 | 5,269 | 0,171 | 2,535 | 0,10 |
| 9,4 | 0,40 | 0,983 | 5,271 | 0,170 | 2,502 | 0,10 |
| 11,3 | 0,33 | -0,467 | 5,134 | 0,145 | 1,802 | nieistotny |
| 15,5 | 0,63 | -1,513 | 5,155 | 0,224 | 4,448 | 0,05 |
| 17,5 | 0,54 | -2,526 | 5,274 | 0,168 | 2,453 | 0,10 |
| 56,7 | 0,46 | 3,006 | 5,236 | 0,188 | 3,080 | 0,05 |

**Tabela. 3.** Cykle temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2006 - zima

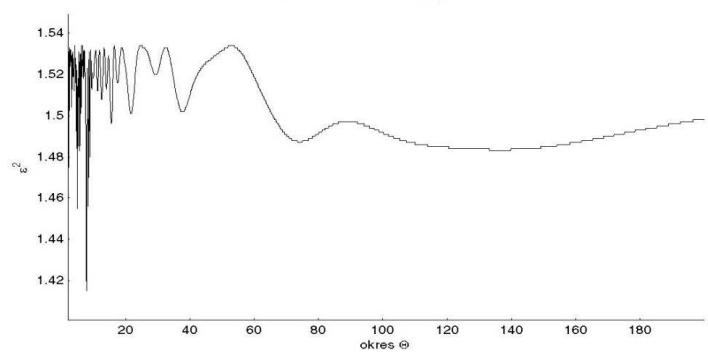
| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ | istotność |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3,1 | 0,52 | -2,726 | 5,392 | 0,150 | 2,576 | 0,10 |
| 3,3 | 0,53 | -1,217 | 5,375 | 0,160 | 2,938 | 0,10 |
| 3,5 | 0,52 | -1,368 | 5,399 | 0,146 | 2,427 | 0,10 |
| 5,2 | 0,59 | -0,679 | 5,312 | 0,192 | 4,301 | 0,05 |
| 5,5 | 0,30 | -1,674 | 5,400 | 0,145 | 2,406 | 0,10 |
| 5,7 | 0,41 | 1,720 | 5,388 | 0,152 | 2,661 | 0,10 |
| 7,8 | 0,57 | 0,154 | 5,320 | 0,189 | 4,126 | 0,05 |
| 8,3 | 0,72 | 1,777 | 5,220 | 0,232 | 6,351 | 0,05 |
| 8,7 | 0,50 | 2,938 | 5,381 | 0,156 | 2,810 | 0,10 |
| 12,9 | 0,46 | 0,841 | 5,378 | 0,158 | 2,874 | 0,10 |
| 15,3 | 0,48 | 0,736 | 5,385 | 0,154 | 2,725 | 0,10 |
| 73,8 | 0,26 | 1,903 | 5,390 | 0,151 | 2,618 | 0,10 |
| 114,8 | 0,49 | -1,879 | 5,389 | 0,157 | 2,830 | 0,10 |

**Tabela. 4.** Cykle temperatury powietrza we Wrocławiu w latach 1792-2006 – zima

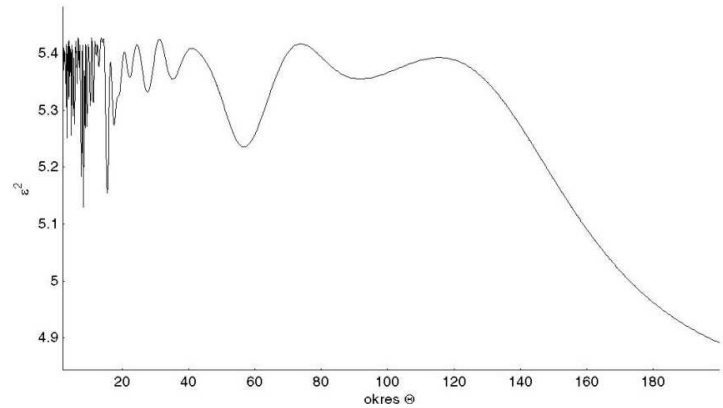
| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ | istotność |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3,1 | 0,51 | -2,643 | 5,494 | 0,150 | 2,420 | 0,10 |
| 5,2 | 0,46 | -0,364 | 5,495 | 0,149 | 2,400 | 0,10 |
| 5,5 | 0,43 | -1,435 | 5,466 | 0,166 | 2,972 | 0,10 |
| 5,7 | 0,44 | 1,730 | 5,471 | 0,163 | 2,873 | 0,10 |
| 7,5 | 0,50 | 0,586 | 5,485 | 0,155 | 2,597 | 0,10 |
| 7,8 | 0,59 | 0,195 | 5,373 | 0,210 | 4,850 | 0,05 |
| 8,3 | 0,64 | 1,697 | 5,342 | 0,222 | 5,490 | 0,05 |
| 8,8 | 0,48 | -0,310 | 5,499 | 0,147 | 2,321 | nieistotny |
| 11,4 | 0,30 | 3,111 | 5,554 | 0,108 | 1,250 | nieistotny |
| 12,9 | 0,52 | 0,719 | 5,388 | 0,203 | 4,543 | 0,05 |
| 14,0 | 0,40 | 0,694 | 5,419 | 0,189 | 3,913 | 0,05 |
| 15,4 | 0,50 | -0,252 | 5,431 | 0,183 | 3,671 | 0,05 |
| 69,3 | 0,45 | -2,923 | 5,437 | 0,180 | 3,551 | 0,05 |
| 123,5 | 0,76 | -0,876 | 5,316 | 0,233 | 6,033 | 0,05 |

**Tabela. 5.** Wartości współczynnika korelacji ($r$) temperatury powietrza w Krakowie, Warszawie i Wrocławiu z wskaźnikiem *NAO* w latach 1825-1997

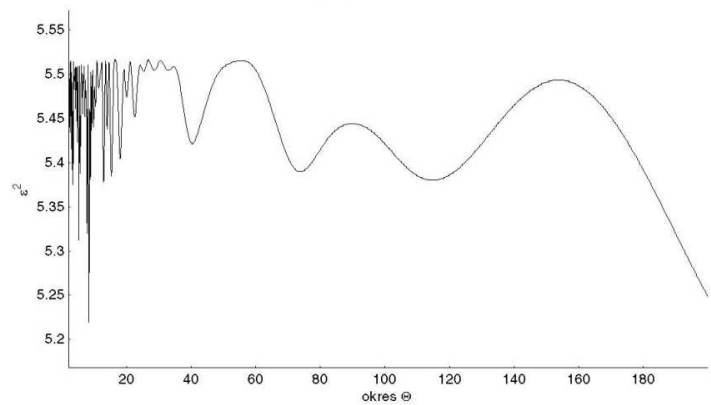
| | Kraków | Warszawa | Wrocław |
|---|---|---|---|
| zima | 0,42 | 0,50 | 0,56 |
| styczeń | 0,52 | 0,56 | 0,62 |
| wiosna | 0,23 | 0,26 | 0,30 |
| lato | 0,07 | 0,13 | 0,13 |
| lipiec | 0,12 | 0,13 | 0,11 |
| jesień | 0,23 | 0,29 | 0,32 |
| rok | 0,24 | 0,30 | 0,33 |



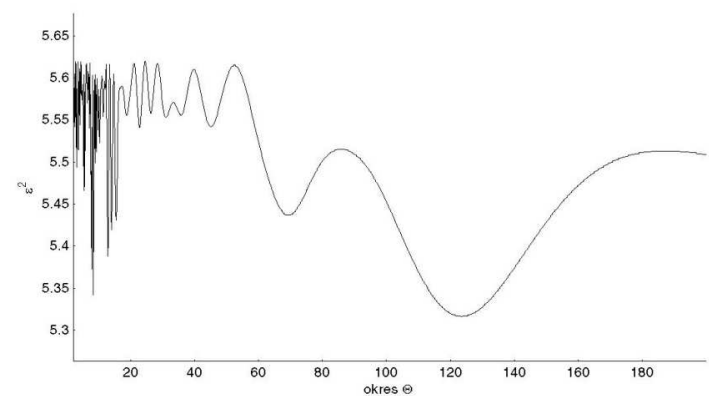

**Rys. 1.** Widmo wskaźnika *NAO* w latach 1825-1999 – zima




**Rys. 2.** Widmo temperatury powietrza w Krakowie w latach 1826-1997 – zima




**Rys. 3.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2006 – zima

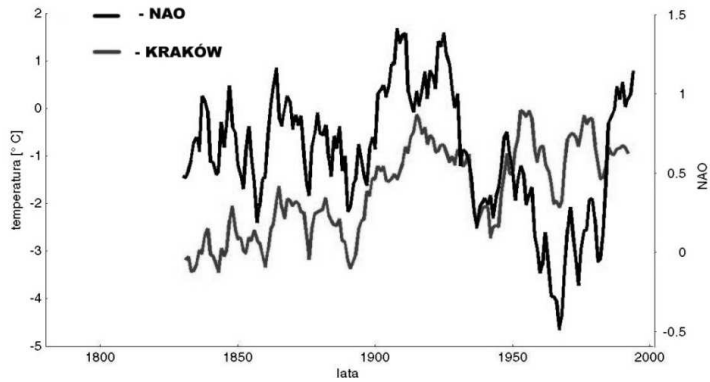



**Rys. 4.** Widmo temperatury powietrza we Wrocławiu w latach 1792-2006 – zima

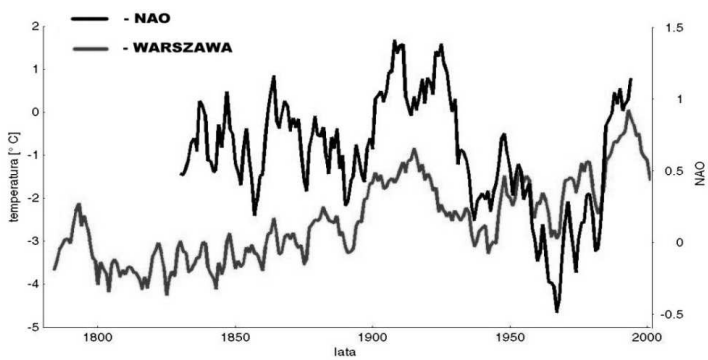
**Rys. 5.** Przebieg roczny współczynnika korelacji (*r*) temperatury powietrza w Krakowie i wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (1825-1997)

**Rys. 6.** Przebieg roczny współczynnika korelacji (*r*) temperatury powietrza w Warszawie i wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (1825-1997)

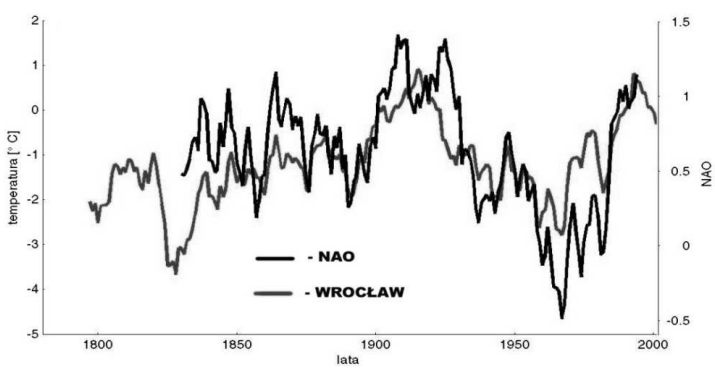
**Rys. 7.** Przebieg roczny współczynnika korelacji (*r*) temperatury powietrza we Wrocławiu i wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (1825-1997)




**Rys. 8.** Średnie 11-letnie konsekutywne wartości temperatury powietrza w Krakowie (1826-2006) i wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (1825-1999) – zima




**Rys. 9.** Średnie 11-letnie konsekutywne wartości temperatury powietrza w Warszawie (1779-2006) i wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (1825-1999) – zima




**Rys. 10.** Średnie 11-letnie konsekutywne wartości temperatury powietrza we Wrocławiu (1792-2006) i wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (1825-1999) – zima

### 7.2.4. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX-XX wieku (na przykładzie Wrocławia i Marsylii)

Autor: Ewa L E S Z C Z Y Ń S K A
Opiekun naukowy: Jerzy B O R Y C Z K A

Celem pracy jest zbadanie wpływu Oscylacji Północnoatlantyckiej na okresowe zmiany temperatury powietrza we Wrocławiu i w Marsylii w XIX i XX wieku. Jest nim również określenie synchroniczności zmian temperatury powietrza, wskaźnika NAO i aktywności Słońca.

Najpierw przedstawiono charakterystykę dotychczasowego stanu badań zmian temperatury powietrza, cyrkulacji atmosferycznej i Oscylacji Północnoatlantyckiej NAO oraz materiały źródłowe i metody badań wykorzystane w pracy. Następnie zamieszczono opis zjawisk zachodzących na Słońcu – aktywności słonecznej i jej okresowych wahań, a także jej wpływu na cyrkulację atmosferyczną na Ziemi. Obszerna część zawiera opis zjawiska Oscylacji Północnoatlantyckiej i próbę wykrycia krótko i długookresowych zmian a także tendencji temperatury powietrza we Wrocławiu w latach 1792-1997 i w Marsylii w latach 1813-1997. Zbadano też synchroniczność zmian temperatury powietrza, Oscylacji Północnoatlantyckiej NAO i aktywności Słońca, porównując cykle i wyznaczając współczynniki korelacji temperatury powietrza i NAO (ich przebieg roczny).W końcowym podsumowanie zamieszczono najważniejsze wyniki badań.

## Stan dotychczasowych badań

J. Boryczka, M. Stopa-Boryczka i inni (1998, 1999) w tomach XI i XII *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* wyznaczono okresy zmian i tendencje wiekowe temperatury powietrza w Europie. Zbadano synchroniczność cykli temperatury powietrza, cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca (8-, 11-letnich i dłuższych).

K. Kożuchowski i K. Marciniak (1990), badając skumulowane odchylenie średnich rocznych wartości temperatury powietrza w Europie Środkowej od średniej 100 – letniej (1880-1980), wyznaczyli kilka okresów w przebiegu temperatury i częstości makrotypów cyrkulacji według Wangenheima-Girsa.

D. Baranowski (2001) badał odchylenia średniej miesięcznej i rocznej wartości temperatury powietrza w latach 1971-1995 w zależności od typu cyrkulacji według klasyfikacji Osuchowskiej Klein. Stwierdził że najmniejsze średnie wartości temperatury powietrza występują przy typach Eo oraz E (składowa północno-wschodnia), a najwyższe przy D, $D_2C$ i A (składowa południowo – zachodnia).

J. Wibig, J. Degirmendzić, K. Kożuchowski (2000), okres 1901-1998 podzielili na 7 epok cyrkulacyjnych. Wyniki wykazały znaczną przewagę zachodnich typów cyrkulacji zwłaszcza w ostatnich epokach (1987-1998) i (1911-1927) głównie w sezonie zimowym co potwierdza wzrost przenosu zachodniego.

K. Kożuchowski i E. Żmudzka (2002) wykazali duży wpływ wiatru geostroficznego na transport powietrza nad Polskę, który zimą o kierunku zachodnim jest najsilniejszy, a adwekcja zachodnia przynosi ocieplenie.

J. Degirmendzić, K. Kożuchowski i E. Żmudzka (2002) na podstawie danych z lat 1951-2000 także badali zależność temperatury od kierunków wiatru geostroficznego.

A. Marsz, (1999) jest prekursorem badań nad zjawiskiem Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO). Stwierdza występowanie stosunkowo silnych i wysoce istotnych korelacji między wskaźnikiem NAO a temperaturą okresu zimowego. Wysunięto tezę, że zmienność wskaźnika NAO w ostatniej epoce cyrkulacyjnej (1971-1995) wynika ze zmian pola temperatury wody na Północnym Atlantyku.

A. Marsz, A. Styszyńska (2001) badali wpływ Oscylacją Północnoatlantycką na temperaturę powietrza w Europie i Polsce.

J. Wibig (2000) zbadała telekoneksje między współczynnikiem NAO a zmiennością poszczególnych elementów meteorologicznych Polsce. Przy wyższych wartościach wskaźnika NAO występuje wyższa temperatura w Europie środkowej i wschodniej, a niższa na Grenlandii.

M. Miętus (2002) analizował wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na warunki termiczne w rejonie Północnego Atlantyku i Europy w okresie 1811-1990. W okresie występowania dodatnich wartości indeksu oscylacji północnoatlantyckiej temperatura powietrza na obszarze objętym analizą jest normalna bądź znacznie wyższa od przeciętnej. Tymczasem, gdy indeks NAO przyjmuje wartości ujemne w rejonie objętym analizą zazwyczaj jest chłodniej niż normalnie.

T. Niedźwiedź (2002) badał również relacje między NAO a wskaźnikami cyrkulacji nad Polską": W – wskaźnik cyrkulacji strefowej (różnice ciśnienia między równoleżnikami 50°N i 55°N), S – zachodniej, C – południkowej (różnice ciśnienia między południkami 30°E i 10°E) Wykorzystując dane J. Jonesa i in. zawierające wartości ciśnienia w Europie w punktach węzłowych pięciostopniowej siatki geograficznej odtworzono dynamikę cyrkulacji nad Polską w niemal całym XIX wieku.

A. Styszyńska (2002) zajęła się analizą wskaźników NAO a typami cyrkulacji atmosferycznej według Osuchowskiej-Klein w latach 1901-1990**.** Z przeprowadzonej analizy wynika silna korelacja między miesięcznymi wartościami wskaźnikami NAO Jonesa i in. (1997) oraz J.Rogersa (1984) a niektórymi typami cyrkulacji według Osuchowskiej-Klein.

## Materiały źródłowe i zastosowane metody badań

Materiały źródłowe wykorzystane w niniejszej pracy zostały udostępnione przez Zakład Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego. Dane pochodzą z różnych okresów badawczych: temperatura powietrza we Wrocławiu (1792-1997) i w Marsylii (1838-1997). Do scharakteryzowania Oscylacji Północnoatlantyckiej użyto indeksu NAO Jonesa z lat 1925-1997. Natomiast do zbadania zmian aktywności Słońca wykorzystano liczby Wolfa z lat 1749-2002.

Cykliczność temperatury powietrza, Oscylacji Północnoatlantyckiej NAO i aktywności Słońca zbadano posługują się metodą sinusoid regresji J. Boryczki (1998). Cykle wyznaczono zmieniając okres sinusoidy regresji $\Theta$ z odstępem $\Delta\Theta = 0{,}1$ roku:

$$y = a_0 + b\sin(2\pi t/\Theta + c)$$

gdzie: $\Theta$ – okres, $a_0$ – wyraz wolny, $b$ – amplituda, $c$ – przesunięcie fazowe. Istotność statystyczną wyznaczonych cykli (w sezonach i roku) na poziomie 5% oceniono testem Fishera-Snedecora: $F_{obl} = 0{,}5(n\text{-}3)R^2(1\text{-}R^2)^{-1}$ o 2 i $n$-3 stopniach swobody.

Zmienność wieloletnią temperatury powietrza, Oscylacji Północnoatlantyckiej i aktywności Słońca zbadano wyznaczając średnie 11-letnie konsekutywne i proste regresji $y = At + B$, gdzie: $A$ – współczynnik regresji tj. tendencja określająca e zmiany: temperatury powietrza, Oscylacji Północnoatlantyckiej i aktywności Słońca na jednostkę czasu $t$ (na 1 rok lub 100 lat). W celu określenia istotności statystycznej (na poziomie 5%) obliczonych tendencji (sezonowych i rocznych) posłużono się testem $t$ – Studenta: $t_{obl} = (n\text{-}2)^{0,5} \left| r \right| (1\text{-}r^2)^{-0,5}$.

## O wpływie aktywności Słońca na cyrkulację atmosferyczną w Europie

Cykle aktywności słonecznej – zmiany promieniowania krótkofalowego Słońca mają wpływ na klimat Ziemi. Na przykład grubość słoi niektórych drzew wykazuje zmiany z okresem 11 lat (Boryczka 1997). Na przykład w latach 1650-1715 prawie nie obserwowano plam – zanik aktywności słonecznej. W Europie wystąpiło wówczas znaczące ochłodzenie klimatu. Liczby Wolfa opisują liczbę pojedynczych plam ($l$) i grup ($g$): $W = k(10g + l)$, gdzie $k$ – to współczynnik korygujący różne serie obserwacji. Cykle liczb Wolfa wyznaczone z odstępem okresu sinusoidy regresji $\Delta\Theta = 0{,}1$ roku, w paśmie 2,1-254 lat, zestawiono w tab. 1.

**Tabela 1.** Okresy $\Theta$, amplitudy $b$ i fazy $c$ cykli aktywności Słońca w latach (1749-2002) – Rok ($\varepsilon^2$ – wariancja resztkowa, $R$ – współczynnik korelacj, $F_{obl}$ – statystyka testu Fishera-Snedecora)

| $\Theta$ | $2b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 5,3 | 3,67 | -1,315 | 1721,256 | 0,077 | 0,640 |
| 5,5 | 4,79 | 1,776 | 1721,480 | 0,076 | 0,627 |
| 5,7 | 4,45 | 0,633 | 1722,240 | 0,073 | 0,584 |
| 8,5 | 8,83 | 0,239 | 1656,368 | **0,208** | **3,417** |
| 8,9 | 5,60 | -2,781 | 1685,313 | 0,163 | 2,349 |
| 9,5 | 5,91 | 0,310 | 1682,666 | 0,168 | 2,455 |
| 10,0 | 23,05 | 2,397 | 1420,614 | **0,423** | 7,483 |
| 11.0 | 28,44 | 1,082 | 1310,946 | **0,492** | 7,840 |
| 54,0 | 9,32 | 1,328 | 1677,946 | 0,176 | 2,641 |
| 69,9 | 8,05 | -1,371 | 1695,819 | 0,143 | 1,903 |
| 105,0 | 16,85 | -2,968 | 1614,035 | **0,260** | 4,659 |

## Cykliczne wahania i tendencje zmian Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997

Ciśnienie atmosferyczne w Wyżu Azorskim leżącym w okolicach wysp Azorskich i w Niżu Islandzkim, położonym na południowy-wschód od Grenlandii są ujemnie skorelowane. Przyczyną Oscylacji Północnoatlantyckiej jest oddziaływanie Oceanu Atlantyckiego na atmosferę – największe w miesiącach zimowych (ocean jest źródłem ciepła). W badaniach uwzględniono wskaźnik NAO Joensa, Jonsona i Whellera (1997), który jest różnicą ciśnienia między Gibraltarem a SW Islandią – miarą równoleżnikowego transpor-

tu mas powietrza: w kierunku wschodnim (NAO > 0, faza pozytywna) i południkowym (NAO < 0, faza negatywna).

## Okresowe zmiany NAO

Parametry cykli Oscylacji Północnoatlantyckiej w latach 1825-1997 w zimie i lecie zamieszczono w tabelach 2 i 3.

**Tabela 2.** Okresy $\Theta$, amplitudy $b$ i fazy $c$ cykli wskaźnika NAO w latach 1825-1997 – Zima ($\varepsilon^2$ – wariancja resztkowa, $R$ – współczynnik korelacji, $F_{obl}$ – statystyka testu Fishera-Snedecora)

| $\Theta$ | $2b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,2 | 0,24 | -3,022 | 1,298 | 0,129 | 1,074 |
| 4,6 | 0,26 | -0,831 | 1,290 | 0,150 | 1,688 |
| 7,8 | 0,43 | 0,107 | 1,206 | 0,294 | 3,660 |
| 8,3 | 0,24 | 2,512 | 1,262 | 0,210 | 2,333 |
| 8,8 | 0,27 | 0,096 | 1,262 | 0,210 | 2,333 |
| 11,2 | 0,13 | 1,907 | 1,308 | 0,095 | 0,632 |
| 15,5 | 0,21 | -0,350 | 1,292 | 0,146 | 1,316 |
| 21,6 | 0,21 | -0,089 | 1,295 | 0,138 | 1,197 |
| 71,2 | 0,26 | 1,270 | 1,282 | 0,170 | 1,687 |
| 108,8 | 0,30 | -1,558 | 1,287 | 0,158 | 1,506 |

**Tabela 3.** Okresy $\Theta$, amplitudy $b$ i fazy $c$ cykli wskaźnika NAO w latach 1825-1997 – Lato ($\varepsilon^2$ – wariancja resztkowa, $R$ – współczynnik korelacji, $F_{obl}$ – statystyka testu Fishera-Snedecora)

| $\Theta$ | $2b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,3 | 0,22 | -0,164 | 0,964 | 0,128 | 1,056 |
| 2,5 | 0,25 | -0,857 | 0,958 | 0,150 | 1,379 |
| 4,7 | 0,26 | 0,489 | 0,953 | 0,166 | 1,629 |
| 5,5 | 0,24 | 2,825 | 0,963 | 0,132 | 1,112 |
| 7,8 | 0,20 | -0,070 | 0,959 | 0,146 | 1,327 |
| 10,3 | 0,25 | 0,275 | 0,947 | 0,184 | 1,908 |
| 39,4 | 0,18 | 2,288 | 0,968 | 0,111 | 0,823 |
| 83,7 | 0,11 | -0,184 | 0,959 | 0,146 | 1,327 |

**Cykl 7,8 lat.**

Cechuje się największą amplitudą spośród wszystkich wykrytych cykli. Zakres wahań mieści się w przedziale 0,18-0,44. W zimie i w roku wystąpiły cykle 7,8 letnie istotne statystycznie na poziomie istotności 5%, i były one również najbardziej zdeterminowane $R = 0{,}294$ zimą i $R = 0{,}301$ w roku. Latem również wystąpił cykl 7,8 letni – nieistotny statystycznie.

**Cykle 83,7 i 108,8 lat**

Są to najdłuższe cykle jakie wykryto w ciągach wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej. Zakres wahań wskaźnika NAO w tym cyklu jest dość duży – 0,30 zimą. Żaden z tych długich cykli nie jest istotny statystycznie na poziomie 5%.

## Tendencje Oscylacji Północnoatlantyckiej

Tendencję zmian Oscylacji Północnoatlantyckiej w latach 1825-2002 w zimie i lecie określają równania prostych regresji w tab. 4.

**Tabela 4.** Równania prostej regresji i współczynnik determinacji $R^2$

| NAO | Równania | $R^2$ |
|---|---|---|
| Zima | $NAO = -0{,}00001 + 0{,}5186$ | 0,0000 |
| Lato | $NAO = -0{,}0068t + 13{,}422$ | 0,1166 |

**Lato** charakteryzuje się największą tendencja ujemną, w latach 1825-1997. Współczynnik regresji liniowej wynosi $A = -0{,}68/100$ lat. W przebiegu wieloletnim wyróżnia się jedno maksimum o wartości 3,81 w roku 1836 a i trzy minima o wartości poniżej – 2, w latach 1828 i 1987, i najmniejszą wartością -2,35 w roku 1995.

**W zimie** charakterystyczna jest duża dominacja fazy dodatniej, a więc napływ wilgotnego i ciepłego powietrza znad Atlantyku. Największe wahania wartości wskaźnika NAO charakteryzują porę zimową. Współczynnik regresji w zimie wynosi $A = -0{,}001/100$ a więc zima charakteryzuje się nieistotną tendencją ujemną.

Za pomocą średniej 11-letniej konsekutywnej wskaźnika NAO przedstawiono w jaki sposób w badanym wieloleciu zmieniała się intensywność Oscylacji Północnoatlantyckiej (rys. 1). W roku 1868 wystąpiło maksimum o średniej wartości 1,78 wskaźnika NAO natomiast minimum -1,13 wystąpiło w roku 1996.

## Cykliczne wahania i tendencje zmian temperatury powietrza we Wrocławiu i Marsylii

Parametry cykli temperatury powietrza we Wrocławiu i w Marsylii w lecie i zimie zestawiono w tabelach 4 i 5 (widma – rys. 2 i 3).

**Cykle 7-8 letnie**

Cykli o tej długości zarówno we Wrocławiu jak też w Marsylii wykryto tylko klika. Najsilniejsze cykle występują we Wrocławiu zimą – 7,8 lat ($R = 0{,}231$) i 8,3 lat ($R = 0{,}248$) i oba są istotne statystycznie na poziomie istotności 5%. Maksymalna amplituda temperatury wynosi zimą 0,66°C a minimalna latem 0,16°C. W Marsylii wykryto 4 zbliżone cykle 7,6 lat zimą. Amplituda temperatury w zimie jest największa – 0,33°C.

**Tabela 4.** Cykle temperatury powietrza we Wrocławiu i w Marsylii(1825-1997) – Lato

| Marsylia | | | | | | Wrocław | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ | $2b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\Theta$ | $2b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
| 3,9 | 0,21 | -0,277 | 0,932 | 0,092 | 0,533 | 3,1 | 0,21 | -0,935 | 0,935 | 0,148 | 1,650 |
| 7,9 | 0,17 | 0,139 | 0,935 | 0,112 | 0,102 | 3,9 | 0,29 | -0,758 | 0,905 | 0,231 | 3,265 |
| 9,6 | 0,23 | -1,164 | 0,921 | 0,142 | 1,130 | 5,4 | 0,25 | 2,840 | 0,924 | 0,183 | 2,313 |
| 10,5 | 0,07 | -2,687 | 0,93 | 0,133 | 1,023 | 7,1 | 0,16 | 1,761 | 0,939 | 0,133 | 1,382 |
| 16,9 | 0,13 | 0,147 | 0,929 | 0,108 | 0,707 | 11,5 | 0,16 | -0,627 | 0,936 | 0,145 | 1,584 |
| 23,9 | 0,32 | -1,760 | 0,892 | 0,226 | 2,325 | 31,0 | 0,18 | -1,045 | 0,926 | 0,177 | 2,199 |
| 33,5 | 0,14 | -1,681 | 0,916 | 0,160 | 1,370 | 47,1 | 0,31 | -0,754 | 0,890 | 0,263 | 3,884 |
| 44,7 | 0,25 | -2,057 | 0,895 | 0,219 | 2,220 | 75,2 | 0,17 | 2,905 | 0,930 | 0,165 | 1,963 |
| 65,8 | 0,22 | -0,442 | 0,905 | 0,193 | 1,843 | 139,6 | 0,29 | -1,630 | 0,907 | 0,226 | 3,175 |

**Tabela 5.** Cykle temperatury powietrza we Wrocławiu i w Marsylii (1825-1997) – Zima

| Marsylia | | | | | | Wrocław | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ | $2b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ | $\Theta$ | $2b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
| 2,6 | 0,29 | -1,755 | 1,49 | 0,180 | 1,637 | 4,2 | 0,39 | 2,274 | 5,671 | 0,120 | 1,150 |
| 3,9 | 0,31 | -0,357 | 1,489 | 0,181 | 2,282 | 5,7 | 0,40 | 1,750 | 5,599 | 0,186 | 2,364 |
| 5,8 | 0,39 | 1,033 | 1,462 | 0,225 | 2,281 | 7,5 | 0,54 | 0,524 | 5,626 | 0,173 | 2,112 |
| 7,6 | 0,33 | 3,056 | 1,468 | 0,216 | 2,154 | 7,8 | 0,60 | 0,277 | 5,491 | 0,231 | 3,247 |
| 10,8 | 0,27 | 0,326 | 1,504 | 0,153 | 1,258 | 8,3 | 0,61 | 1,639 | 5,442 | 0,248 | 3,591 |
| 15,8 | 0,34 | 0,711 | 1,470 | 0,213 | 2,110 | 10,3 | 0,40 | 1,087 | 5,636 | 0,168 | 2,015 |
| 18,6 | 0,38 | 0,427 | 1,434 | 0,262 | 2,809 | 12,9 | 0,52 | 0,651 | 5,486 | 0,233 | 3,283 |
| 125,5 | 0,45 | 1,518 | 1,425 | 0,273 | 2,958 | 15,4 | 0,52 | -0,113 | 5,567 | 0,200 | 2,645 |

## Cykle około 100-200 letnie temperatury powietrza we Wrocławiu i Marsylii

We Wrocławiu charakterystyczny dla pory letniej cykl 139,6 lat jest istotny statystycznie na poziomie istotności 5%, o dużym współczynniku korelacji $R=0{,}226$. W tym cyklu maksimum temperatury powietrza 17,2°C wystąpiło w 1888 roku, natomiast w latach 1817 i 1958 wystąpiły minima temperatury powietrza.

W zimie istotne są cykle: 123,2 lat – we Wrocławiu o współczynniku korelacji $R=0{,}250$ i cykl 125,9 lat – w Marsylii z $R=0{,}273$ Amplituda zmian $2b$ temperatury powietrza w cyklu zimowym około 100-letnim wynosi 0,78°C. W Marsylii w cyklu zimowym o 125,5 lat. maksimum 8,8°C wystąpiło w roku 1884, a kolejne będzie w 2010, a minimum 7,82°C w 1942.

## Tendencje zmian temperatury powietrza we Wrocławiu i w Marsylii

Wyznaczono równania prostej regresji określające tendencje zmian temperatury powietrza w wieloleciu 1838-1997 (tab. 6, rys. 4 i 5).

**Tabela 6.** Równania prostej regresji i wartości współczynnika determinacji $R^2$

| Marsylia | Równanie | $R^2$ |
|---|---|---|
| Lato | $T=0{,}0108t+1{,}1765$ | 0,61 |
| Zima | $T=0{,}0007t+8{,}5945$ | 0,00 |
| Wrocław | | |
| Lato | $T=-0{,}0019t+21{,}201$ | 0,07 |
| Zima | $T=0{,}0005-1{,}9569$ | 0,00 |

We Wrocławiu w lecie wystąpiła ujemna tendencja $A=-0{,}19$°C/100lat. Największym dodatnim współczynnikem regresji charakteryzuje się temperatura powietrza latem w Marsylii $A=1{,}08$°C/100 lat.

## Synchroniczność krótkich i długich cykli temperatury powietrza we Wrocławiu i Marsylii, wskaźnika NAO i aktywności Słońca

### Cykle 8 lat

Porównano cykle około 8-letnie: wskaźnika NAO,i temperatury powietrza w Marsylii i w Wrocławiu oraz liczb Wolfa (tab.7 i 8).

**Tabela. 7.** Cykle około 8-letnie wskaźnika NAO i temperatury powietrza w Marsylii i we Wrocławiu oraz liczb Wolfa

| | Wrocław (1792-1997) | | | Marsylia (1838-1997) | | | NAO (1749-2002) | | | Liczby Wolfa (1749-2002) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $\Delta T$ | $R$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $R$ | $\Theta$ | $2b$ | $R$ | $\Theta$ | $2b$ | $R$ |
| Lato | 7,8 | 0,128 | 0,093 | 7,9 | 0,17 | 0,112 | 7,8 | 0,20 | 0,146 | 8,5 | 10,71 | 0,229 |
| Zima | 8,3 | 0,61 | 0,248 | 7,9 | 0,17 | 0,150 | 7,8 | 0,20 | 0,146 | 8,5 | 8,83 | 0,208 |

Cykl 8,3-letni jest obecny przede wszystkim w zimie w ciągach czasowych temperatury powietrza we Wrocławiu ($R=0{,}248$) i wskaźnika NAO ($R=0{,}146$).

### Cykl około 11-letni temperatury powietrza i aktywności Słońca

Największą amplitudą wahań temperatury zarówno w Marsylii jak i we Wrocławiu charakteryzują się cykle zimowe odpowiednio 10,5 lat ($\Delta T=0{,}27$°C) i 10,3 lat o amplitudzie $\Delta T=0{,}40$°C, jednak nie są one zbyt silne, charakteryzują się niewielkimi współczynnikami korelacji.

**Tabela 8.** Cykle około 11-letnie temperatury powietrza we Wrocławiu i w Marsylii oraz liczb Wolfa

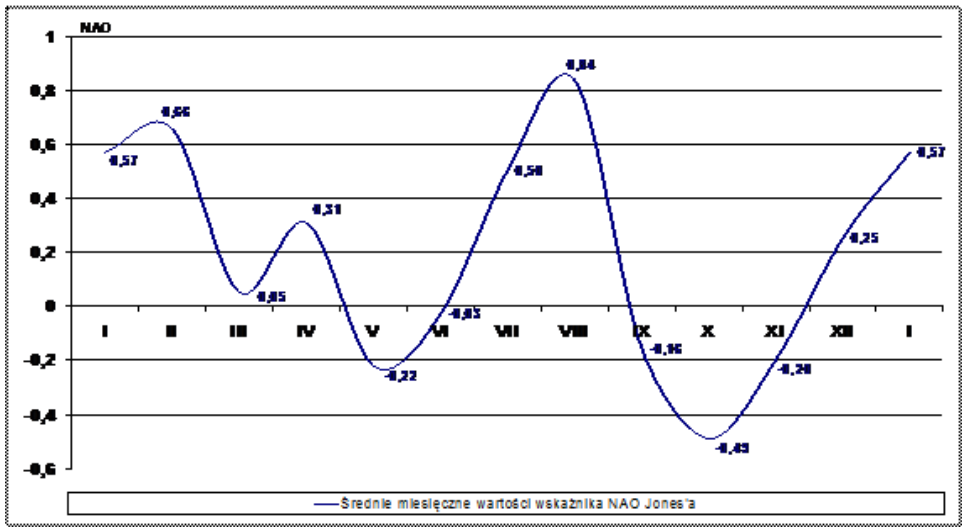
| | Wrocław (1792-1997) | | | Marsylia (1838-1997) | | | Liczby Wolfa (1749-2002) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $\Delta T$ | $R$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $R$ | $\Theta$ | $2b$ | $R$ |
| Lato | 10,5 | 0,07 | 0,102 | 11,5 | 0,16 | 0,145 | **11,0** | 32,05 | 0,489 |
| Zima | 10,8 | 0,27 | 0,153 | 10,3 | 0,40 | 0,168 | **11,0** | 30,90 | 0,492 |

## Zależność korelacyjna temperatury powietrza we Wrocławiu i Marsylii od wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej NAO

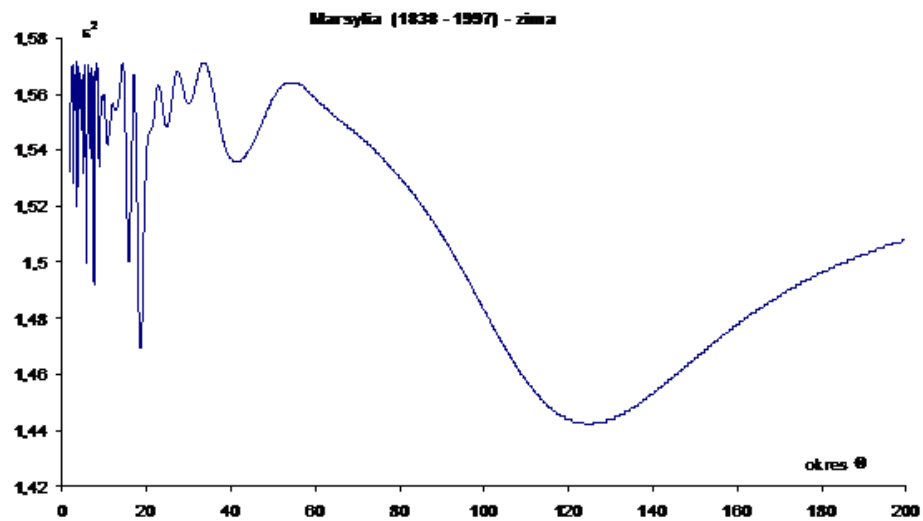
Większa zależność zmian temperatury powietrza od Oscylacji Północnoatlantyckiej występuje we Wrocławiu niż w Marsylii (tab. 9, rys. 6, 7 i 8). Najsilniejsza korelacja zachodzi w chłodnej porze roku od listopada do marca przy czym maksimum przypada na styczeń ze współczynnikiem korelacji $R=0{,}627$. W Marsylii wpływ NAO jest znacznie słabszy.

**Tabela 9**. Wartości współczynnika korelacji między temperaturą powietrza we Wrocławiu i w Marsylii ze wskaźnikiem NAO

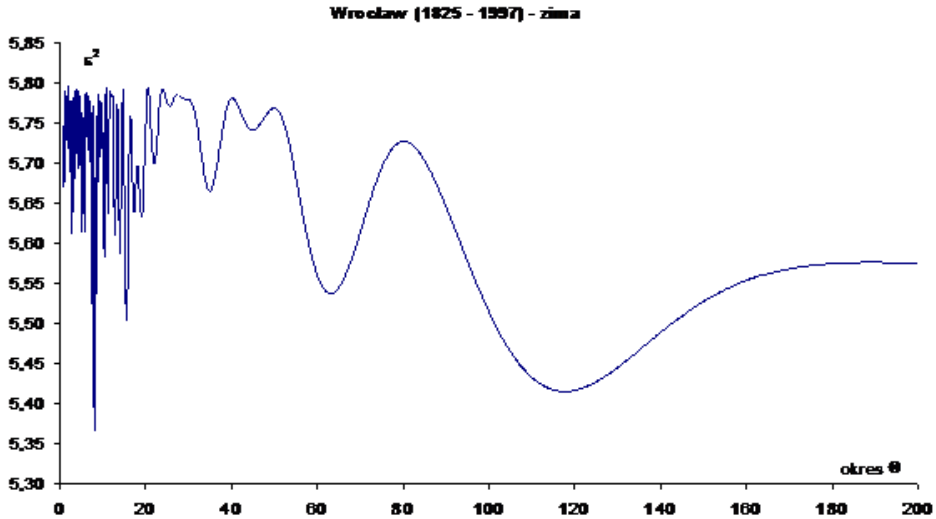
| Pory roku | Wrocław-NAO (1927-1997) | Marsylia-NAO (1838-1997) |
|---|---|---|
| | R | R |
| Lato | 0,140 | -0,221 |
| Jesień | 0,278 | 0,090 |
| Zima | 0,498 | 0,269 |
| Rok | 0,412 | 0,119 |



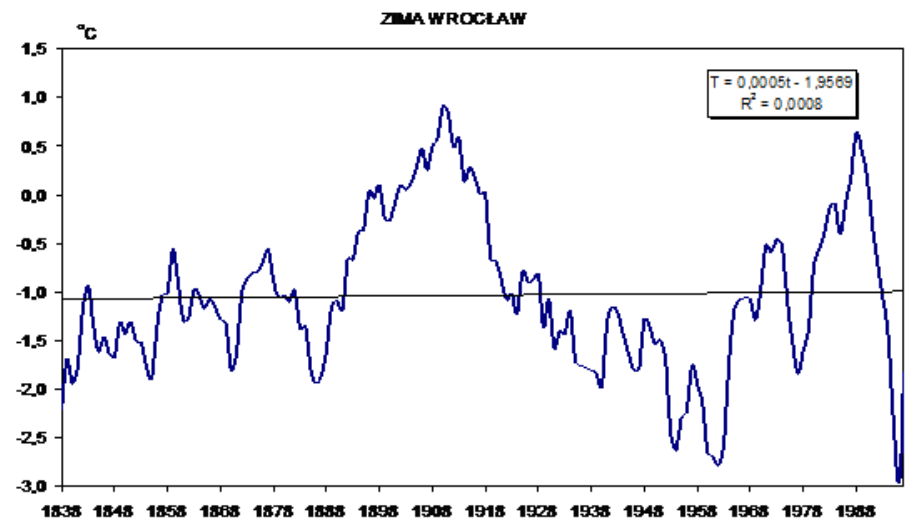

**Rys. 1.** Przebieg roczny wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach (1825-1997)



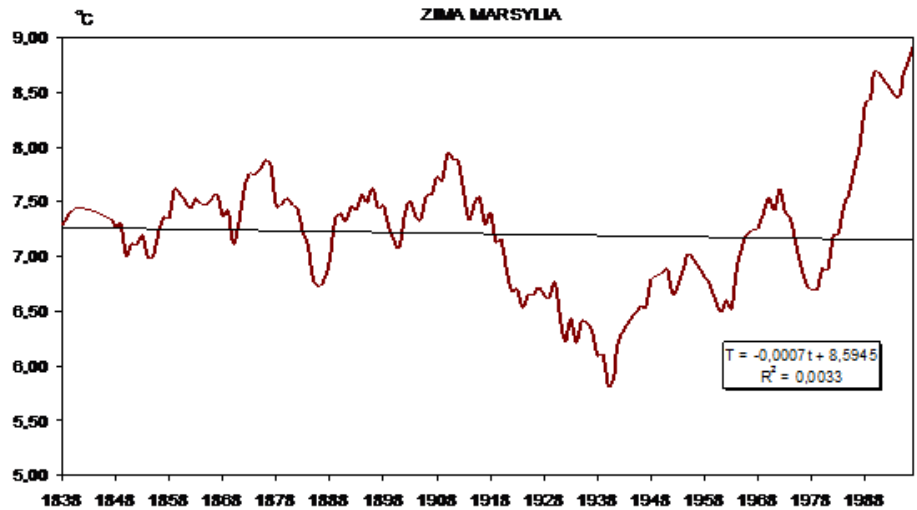

**Rys. 2.** Widmo temperatury powietrza w Marsylii w latach (1838-1997) -Lato



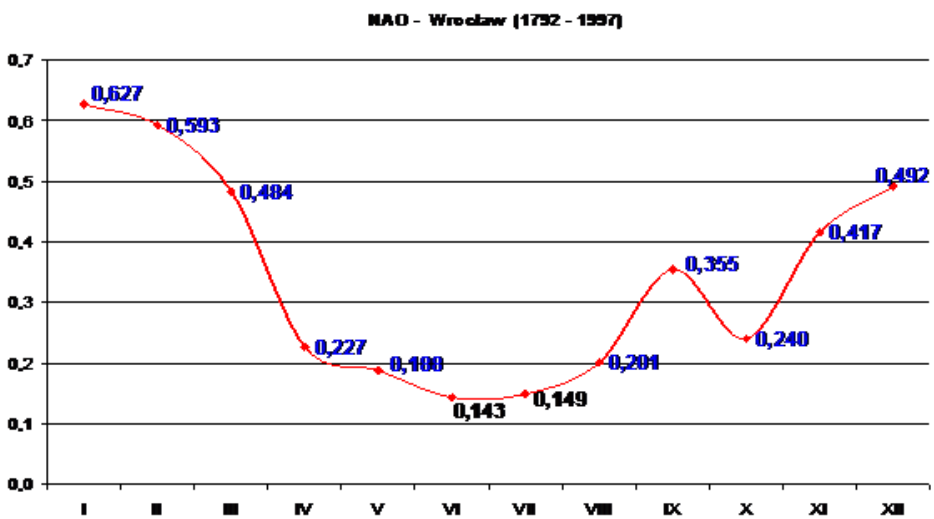

**Rys. 3.** Widmo temperatury powietrza we Wrocławiu (1792-1997) – Zima



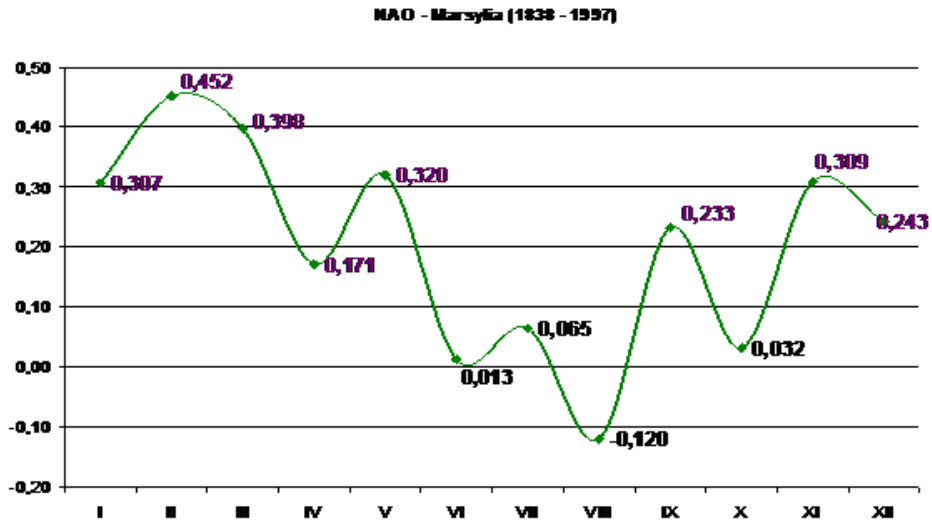

**Rys. 4.** Tendencje zmian temperatury powietrza w zimie we Wrocławiu w latach 1838 -1997



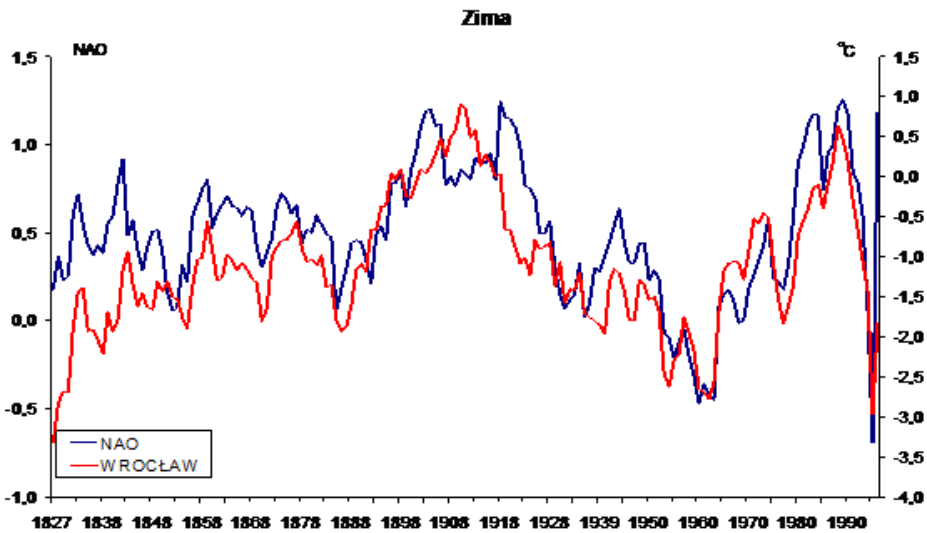

**Rys. 5.** Tendencje zmian temperatury powietrza w zimie w Marsylii w latach 1838 -1997




**Rys. 6.** Zmiany roczne współczynnika korelacji (*R*) temperatury powietrza we Wrocławiu i wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej NAO (1827-1997)




**Rys. 7.** Zmiany roczne współczynnika korelacji (R) temperatury powietrza w Marsylii i wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej NAO (1838-1997)




**Rys. 8.** Średnie 11-letnie konsekutywne wartości temperatury powietrza we Wrocławiu i wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (1827– 1997) – Zima

## 7.2.5. Rola Oscylacji Północnoatlantyckiej w kształtowaniu opadów atmosferycznych we Wrocławiu w XX wieku

Autor: Andrzej T O M A S Z E W S K I
Opiekun naukowy: Elwira Ż M U D Z K A

### Cel pracy i zarys treści

Celem niniejszej pracy jest określenie wpływu Oscylacji Północnoatlantyckiej na opady atmosferyczne we Wrocławiu w latach 1900–2000. W pracy uwzględniono sumy opadów oraz liczbę dni z opadem (z lat 1955-1980). Do charakterystyki Oscylacji Północnoatlantyckiej wykorzystano wskaźnik NAO Jonesa.

Ujemna korelacja między ciśnieniem atmosferycznym w dwóch głównych ośrodkach barycznych atlantycko-europejskiego sektora cyrkulacyjnego – Niżu Islandzkiego oraz Wyżu Azorskiego (Oscylacja Północnoatlantycka) kształtuje pola zmiennych meteorologicznych na obszarze Europy Zachodniej i Środowej. Po ogólnej charakterystyce opadów we Wrocławiu w latach 1900-2000 i analizie przebiegu wieloletniego sum opadów, liczby dni z opadem podjęto próbę określenia wpływu Oscylacji Północnoatlantyckiej na opady atmosferyczne we Wrocławiu w XX wieku. Obliczono współczynniki korelacji miesięcznych, sezonowych i rocznych sum opadów i liczb dni z opadem z wartościami indeksu NAO. Prześledzono stabilność związków w poszczególnych epokach cyrkulacyjnych.

Liczną grupę prac stanowią opracowania dotyczące przebiegu rocznego opadów, opadów o dużym natężeniu które wystąpiły we Wrocławiu (Kosiba,1957).

Z. Kaczorowska (1962) na podstawie sum opadów z 8 stacji meteorologicznych w Polsce, z lat 1851-1958 i z 28 stacji z 1900-1958,wyznaczyła składowe harmoniczne (cykle) i analizowała ich zależność od liczby plam słonecznych. Ponadto określono tendencje zmian opadów w latach 1900-1958 – spadek o 69 mm/100lat na obszarze całego kraju.

K. Kożuchowski (1982) na podstawie danych z lat 1931–1980 z 38 stacji otrzymał równanie prostej regresji rocznych sum opadów: $R = 0{,}81x + 603{,}6$. W kolejnej publikacji (1983) wykazał istnienie tendencji rosnącej sum opadów m. in. we Wrocławiu w latach 1881-1980.

L. Suryjak (1974) wykazał, że największe opady w Europie Środkowej wiążą się z panowaniem form cyrkulacji W i E według klasyfikacji Girsa, najniższe natomiast występują podczas makrotypu *C*. M. Dubicka (1991) opisuje związek opadów atmosferycznych we Wrocławiu z cyrkulacją atmosferyczną. Wg klasyfikacji Osuchowskiej-Klein. Sz. Mrugała (2001) obliczył współczynniki korelacji między miesięcznymi (i rocznymi) sumami opadów w Polsce i częstością cyklonalnych typów cyrkulacji atmosferycznej nad Polską wg klasyfikacji Osuchowskiej-Klein. We Wrocławiu związki były najsilniejsze (listopad, $r = 0{,}47$).

Bezpośredni wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na warunki opadowe w Polsce (w 26 stacjach meteorologicznych) w latach 1951-1995 badany był przez A. Styszyńską (2001). Istotny statystycznie wpływ NAO (zimowy wskaźnik Hurrella) na sumę opadów (XII-III) stwierdzono jedynie na stacjach położonych w północnej części Polski.

## Materiały źródłowe i metody opracowań

Sumy opadów atmosferycznych we Wrocławiu w latach 1900-2000 pochodzą ze stacji meteorologicznej we Wrocławiu. Uzupełniono je 25-letnią serią liczby dni z opadem (1955-1980). Do scharakteryzowania Oscylacji Północnoatlantyckiej w latach 1900-2000 użyto indeksu NAO Jonesa z lat 1900-2000. Określono także częstości występowania sum opadów i liczby dni z opadem w poszczególnych przedziałach w ujęciu sezonowym i rocznym. Zmienność wieloletnią opadów w XX wieku opisano prostą regresji oraz średnimi konsekutywnymi 11-letnimi. Obliczono współczynniki regresji miesięcznych, sezonowych i rocznych sum opadów i liczb dni z opadem. W każdej z epok cyrkulacyjnych obliczono wartość współczynnika zmienności opadów.

Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na opady atmosferyczne (ich sumy, liczbę dni z opadem, wskaźniki oceanizmu) opisano współczynnikiem korelacji.

## Zmiany Oscylacji Północnoatlantyckiej w XX wieku

Istotę NAO stanowi występowanie telekoneksji między ciśnieniem atmosferycznym w Niżu Islandzkim i Wyżu Azorskim (Marsz, 2003).

W okresie, w którym Niż Islandzki jest głęboki i rozległy oraz jednocześnie wzrasta ciśnienie w Wyżu Azorskim, zwiększa się gradient baryczny między tymi ośrodkami i ośnie prędkość wiatrów zachodnich – jest to pozytywna faza NAO. Wraz ze wzrostem ciśnienia w Niżu Islandzkim, Wyż Azorski ulega osłabieniu zmieniając jednocześnie swoje położenie – negatywna faza NAO.

W pracy wykorzystano wskaźnik zdefiniowany przez Jonesa, Jonssona i Wheelera (1997) tj. znormalizowaną średnią miesięczną różnicę ciśnienia atmosferycznego między Gibraltarem a Stykkisholmur (Islandia).

## Trend zmiany NAO

W XIII tomie Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce (1999) wyznaczono równania prostych regresji indeksu Jonesa z lat 1825-1997 względem czasu (miesięcznych, sezonowych i rocznych). Natomiast w tomie XVI Atlasu (2002) przedstawiono prognozę wskaźnika NAO Jonesa w XXI wieku.

J. Degirmendźić'a i in. (2000), posługując się opisem warunków cyrkulacyjnych (cyrkulacji Wangenheima-Girsa, zonal index, NAO i innych) określili tzw. epoki cyrkulacyjne w XX wieku, wskazując na istotne zmiany cyrkulacji w latach: 1930, 1970 i 1995. Szczególnie dobrą zgodność z tymi datami wykazują okresy nasilenia i osłabienia Oscylacji Północnoatlantyckiej wydzielone przez Marsza (1999). Lata 1900–1929 to dominacja fazy dodatniej NAO, 1930-1970 – ujemnej.

Przebiegi wieloletnie indeksu NAO Jonesa w latach 190 0-2000 w zimie, lecie i całym roku (rys. 1) charakteryzują równania prostych regresji ($x$ – czas, $y$ – NAO):

- Zima $y = 0{,}0019x - 3{,}5921$
- Lato $y = -0{,}0097x + 19{,}523$
- Rok $y = -0{,}0015x + 0{,}1861$

o współczynnikach determinacji $R^2$ odpowiednio; 0,1031, 0,2545,0,0087.

Zima cechuje się tendencją rosnącą 0,19/100lat, a lato – malejącą -0, 97/100 lat. Średnia roczna wartość indeksu NAO Jonesa malała o 0,15/100lat. Wartości były najniż-

sze w roku 1996 (-1,01). Małe wartości wskaźnik NAO były także w latach 1915, 1941 i 1955.Maksimum natężenia Oscylacji Północnoatlantyckiej wystąpiło w roku 1990 (*NAO*=1,23). Wysokie wartości wskaźnika NAO wystąpiły także w latach 1943, 1961 i 1992. Wartości tego wskaźnika mieszczą się w przedziale od -0,5 do 0,5 (rys. 2).

## Zmiany wieloletnie sum opadów atmosferycznych w latach 1900-2000

We Wrocławiu w latach 1900-2000, najmniejsza średnia miesięczna suma opadów atmosferycznych (23 mm) wystąpiła w lutym, a największa (90 mm) – w lipcu. Średnia roczna suma opadów wyniosła 560 mm (rys. 3, 4).

Tendencja zmian średniej rocznej sumy opadów była ujemna (-47 mm/100 lat, tab. 1, rys. 5). Zmniejszeniu uległy sumy opadów w zimie (-29 mm/100 lat). Sumy letnie opadów w XX wieku cechują się dodatnią tendencją zmian wysokości opadów (18 mm/100 lat). Największy spadek sum opadów w XX stuleciu wystąpił w styczniu (-17 mm/100 lat). Największa tendencja dodatnia wystąpiła w czerwcu (18 mm/100 lat).

**Tabela 1.** Współczynniki kierunkowe prostych regresji miesięcznych, sezonowych i rocznych sum opadów we Wrocławiu w XX wieku (pogrubiono istotne na poziomie 0,05)

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -0,167 | -0,073 | -0,091 | -0,113 | 0,018 | 0,177 | 0,079 | -0,073 | 0,037 |
| X | XI | XII | Zima | Wiosna | Lato | Jesień | Rok | |
| -0,114 | -0,057 | -0,097 | **-0,291** | -0,186 | 0,183 | -0,134 | **-0,475** | |

Odchylenia rocznych sum opadów od średniej z lat 1900-2000 we Wrocławiu przedstawia rys. 6. Przebieg zimowych, letnich i rocznych sum opadów we Wrocławiu w latach 1900-2000 charakteryzują wykresy na rysunkach 7,8,9, a liczby dni z opadami rys. 10.

## Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na opady atmosferyczne we Wrocławiu w XX wieku

### Związek wysokości opadów atmosferycznych ze wskaźnikiem NAO

W celu określenia oddziaływania Oscylacji Północnoatlantyckiej na opady atmosferyczne we Wrocławiu posłużono się współczynnikiem korelacji między miesięcznymi, sezonowymi i rocznymi sumami opadów i indeksem NAO Jonesa (tab. 2, rys. 11, 12, liczba dni z opadami – rys. 13).

**Tabela 2.** Współczynniki korelacji (*r*) miesięcznych, sezonowych i rocznych sum opadów we Wrocławiu w XX wieku z indeksem NAO Jonesa (pogrubiono współczynniki istotne na poziomie 0,05)

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,17 | 0,03 | -0,11 | 0,06 | 0,00 | **0,22** | -0,11 | **-0,22** | **-0,25** |
| X | XI | XII | Zima | Wiosna | Lato | Jesień | Rok | |
| -0,11 | -0,09 | 0,19 | 0,10 | -0,10 | -0,19 | -0,05 | **-0,26** | |

Istotne statystycznie korelacje miesięcznych sum opadów z indeksem NAO Jonesa występują w czerwcu, sierpniu i we wrześniu. Współczynniki determinacji $r^2$ objaśniają odpowiednio 5%, 5% i 6% zmienności sum opadów. Współczynniki korelacji w tych

miesiącach mają znak ujemny tak więc nasileniu przenosu zachodniego towarzyszy zmniejszenie sum opadów. W lecie intensywne opady w Polsce wynikają głównie z silnej konwekcją. Przy dodatniej fazie NAO w tej części roku i częstym napływie morskich mas powietrza występują niezbyt intensywne opady (Styszyńska, 2001). W miesiącach zimowych znak współczynnika korelacji zmienia się na dodatni. Najsilniejszy pozytywny wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na opady jest w grudniu ($r = 0{,}19$).

Tylko zimą (XII-II) wzrost NAO powoduje niewielki wzrost ilości opadów. Należy dodać, że w przebiegu rocznym okres zimowy charakteryzuje się największymi wartościami indeksu NAO, a więc najsilniejszym przenosem strefowym. Najsilniejszy wpływ NAO na opady atmosferyczne we Wrocławiu uwidacznia się w przypadku średnich sum rocznych ($r = -0{,}26$ – istotny statystycznie). O korelacji między sumami miesięcznymi opadów we Wrocławiu i średnimi miesięcznymi wartościami indeksu NAO informuje tab. 3.

**Tabela 3**. Współczynniki korelacji ($r$) miesięcznych sum opadów we Wrocławiu w XX wieku z indeksem NAO Jonesa (pogrubiono $R$ istotne na poziomie 0,05)

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | 0,17 | | | | | | | | | | | |
| II | 0,01 | 0,03 | | | | | | | | | | |
| III | -0,03 | -0,02 | 0,03 | | | | | | | | | |
| IV | -0,16 | -0,04 | -0,02 | 0,06 | | | | | | | | |
| V | -0,02 | -0,03 | -0,04 | **-0,20** | 0,06 | | | | | | | |
| VI | 0,07 | 0,00 | -0,03 | 0,05 | **-0,20** | -0,22 | | | | | | |
| VII | -0,17 | 0,12 | 0,00 | -0,17 | 0,05 | -0,02 | -0,11 | | | | | |
| VIII | -0,17 | -0,05 | 0,12 | 0,10 | -0,17 | -0,03 | 0,10 | **-0,22** | | | | |
| IX | -0,01 | 0,05 | -0,05 | -0,16 | 0,10 | 0,01 | -0,05 | -0,14 | -0,25 | | | |
| X | 0,05 | -0,03 | 0,05 | -0,19 | -0,16 | 0,07 | 0,07 | 0,01 | -0,14 | -0,11 | | |
| XI | -0,04 | 0,01 | -0,03 | 0,18 | -0,19 | 0,05 | 0,00 | 0,09 | 0,01 | -0,12 | -0,09 | |
| XII | 0,02 | -0,02 | 0,01 | 0,17 | 0,18 | 0,07 | 0,04 | 0,02 | 0,09 | **-0,26** | 0,06 | 0,19 |

## Stabilność związków sum opadów z NAO

A. Styszyńska (2001) badając wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na sumę opadów atmosferycznych w Polsce w latach 1951–1995 wskazała na potrzebę analizy tych związków w poszczególnych epokach cyrkulacyjnych.

W badaniach stabilności wpływu Oscylacji Północnoatlantyckiej na sumy opadów w XX wieku uwzględniono epoki cyrkulacyjne wydzielone przez Marsza (1999) tj. 1900-1929, 1930-1970, 1971-1995. W każdej z nich obliczono wartość współczynników korelacji w miesiącach, sezonach i roku (tab. 4).

W okresach pozytywnej fazy Oscylacji Północnoatlantyckiej (1900–1929 i 1971–1995) uwidacznia się negatywny wpływ NAO na roczną sumę opadów atmosferycznych. Współczynnik korelacji w tych epokach wynosi odpowiednio -0,34 oraz -0,50. Najsłabszy ujemny związek (-0,18) wystąpił w okresie ujemnej fazy NAO w latach 1930–1970. Prawdopodobnie jest to związane z faktem, że indeks ten nie opisuje wówczas cyrkulacji nad obszarem Polski w sposób jednoznaczny.

**Tabela 4**. Współczynniki korelacji (*r*) miesięcznych, sezonowych i rocznych sum opadów we Wrocławiu w epokach cyrkulacyjnych XX wieku z indeksem NAO Jonesa (pogrubiono *R* istotne na poziomie 0,05)

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1900-1929 (+) | 0,06 | -0,13 | -0,33 | 0,03 | -0,12 | **-0,43** | -0,10 | -0,08 | -0,23 |
| 1930-1970 (-) | 0,24 | 0,07 | -0,09 | -0,05 | -0,01 | -0,11 | -0,19 | -0,29 | **-0,31** |
| 1971-1995 (+) | -0,09 | 0,14 | 0,24 | 0,10 | 0,10 | -0,30 | -0,16 | -0,32 | -0,11 |
| 1900-2000 | 0,17 | 0,03 | -0,11 | 0,06 | 0,00 | -0,22 | -0,11 | **-0,22** | **-0,25** |
| | X | XI | XII | Zima | Wiosna | Lato | Jesień | Rok | |
| 1900-1929 (+) | -0,23 | -0,15 | 0,14 | 0,07 | -0,05 | -0,06 | **-0,54** | **-0,34** | |
| 1930-1970 (-) | -0,13 | -0,10 | -0,03 | 0,04 | -0,23 | -0,23 | 0,12 | -0,18 | |
| 1971-1995 (+) | -0,02 | 0,02 | **0,32** | -0,16 | 0.04 | -0,39 | 0,08 | **-0,50** | |
| 1900-2000 | -0,11 | -0,09 | 0,19 | 0,10 | -0,10 | -0,19 | -0,05 | **-0,26** | |

W przypadku wartości miesięcznych i sezonowych trudno znaleźć prawidłowość rządzącą zmiennością sum opadów w zależności od wartości wskaźnika NAO. W dwóch epokach o tym podobnym charakterze warunków cyrkulacyjnych wpływ NAO na opady zmienia często nie tylko siłę, ale i kierunek oddziaływania.

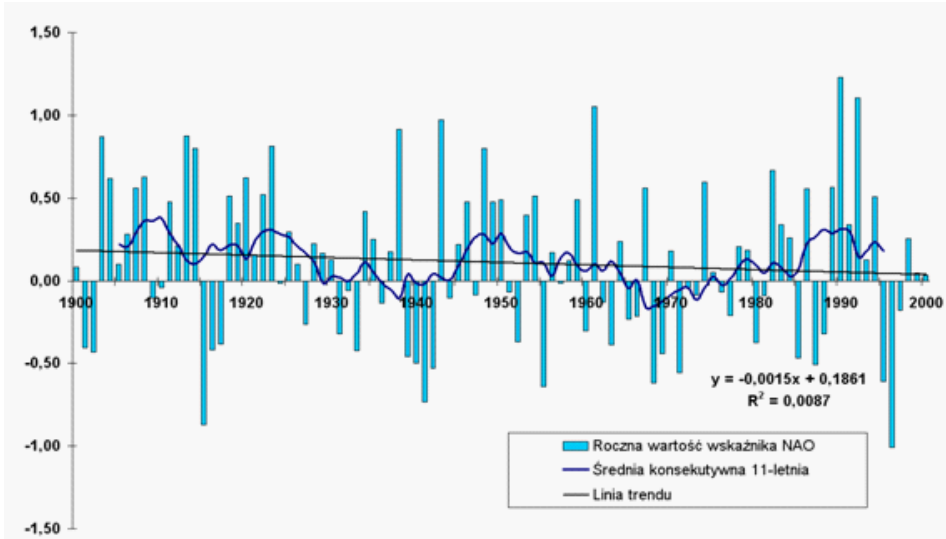
**Tabela 5.** Współczynniki korelacji miesięcznej, sezonowej i rocznej liczby dni z opadem we Wrocławiu w latach 1955-1980 z indeksem NAO Jonesa

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -0,01 | -0,03 | 0,11 | 0,36 | -0,01 | **-0,10** | -0,37 | -0,26 | 0,11 |
| X | XI | XII | Zima | Wiosna | Lato | Jesień | Rok | |
| -0,07 | 0,07 | 0,18 | 0,01 | 0,07 | -0,08 | **0,31** | -0,10 | |

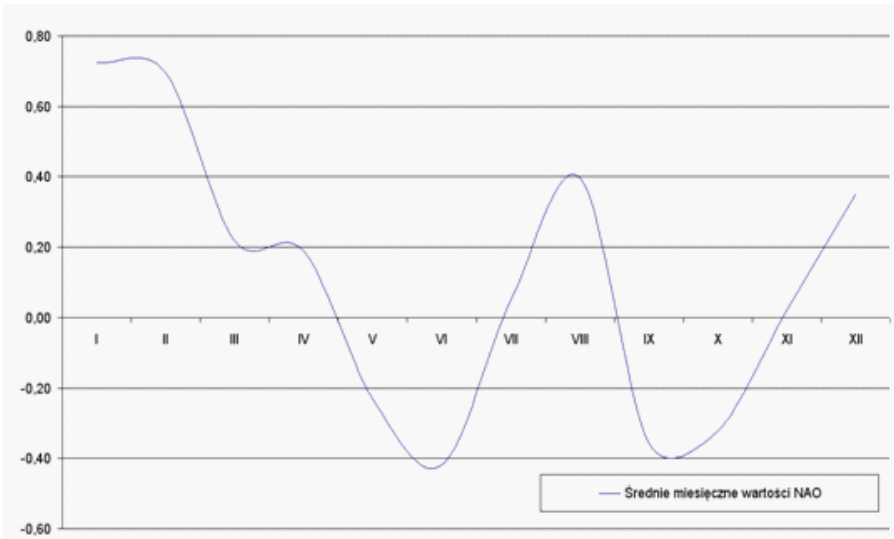
## Najważniejsze wyniki

W pracy wykazano, że nasilenie przenosu zachodniego powoduje we Wrocławiu w latach 1900-2000 znaczące zmniejszenie rocznych sum opadów atmosferycznych ($r$=0,26) oraz nieistotne zmniejszenie rocznej liczby dni z opadem ($r$=-0,10). W ciągu roku Oscylacja Północnoatlantycka opisana indeksem NAO Jonesa wywiera istotny wpływ na sumy opadów w czerwcu, sierpniu i we wrześniu.

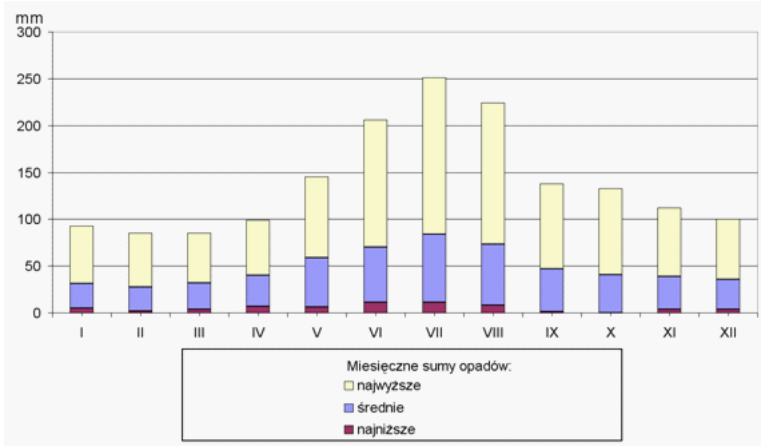
Oscylacja Północnoatlantycka wywiera szczególnie silny wpływ na opady we Wrocławiu w okresach dodatniej fazy (1900-1929, 1971-1995) w ciągu roku. Jest to wpływ negatywny ($r$=-0,34 do -0,50). W ujemnej fazie wpływ NAO na opady jest słabszy ($r$=-0,18). Ponadto w okresach nasilonego przenosu zachodniego roczne sumy opadów charakteryzowały się mniejszą zmiennością. W przypadku pozytywnej fazy NAO przeważa napływ powietrza z sektora zachodniego, tak podczas fazy negatywnej masy powietrzne mogą napływać nad obszar Polski zarówno z północy, jak i południa.



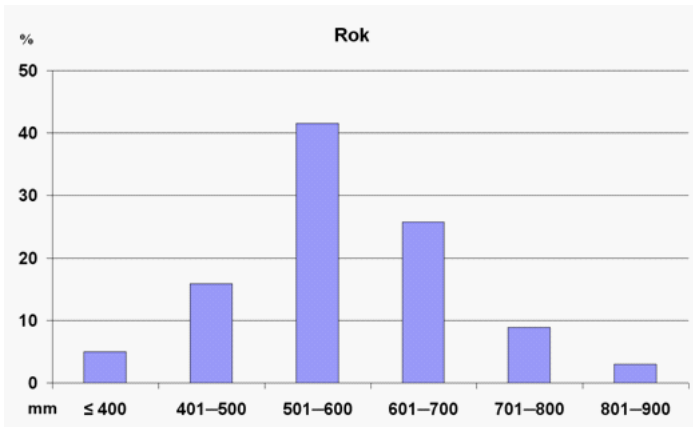

**Rys. 1.** Przebieg średnich rocznych wartości indeksu NAO Jonesa w latach 1900-2000 wraz z tendencją liniową



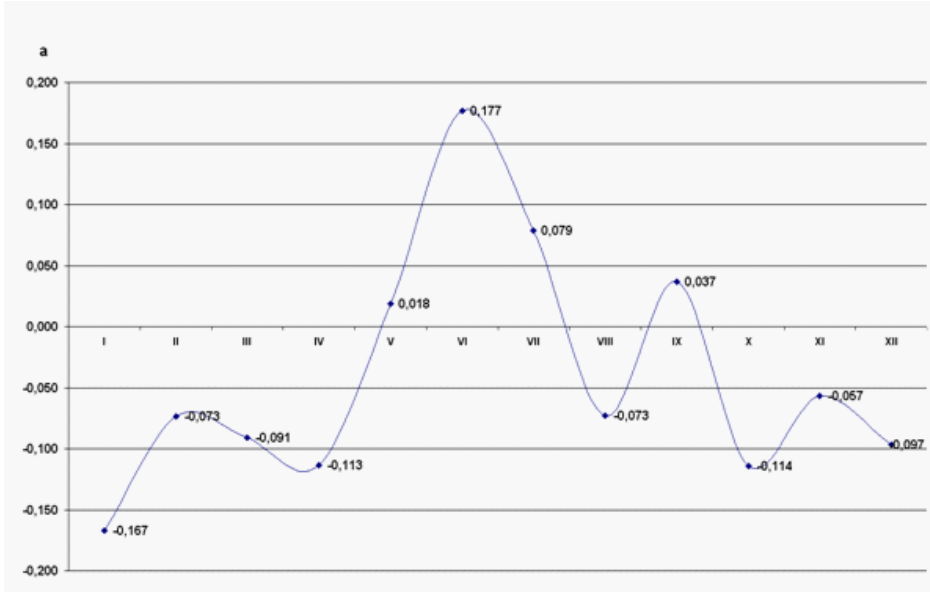

**Rys. 2.** Przebieg roczny wartości indeksu NAO Jonesa w latach 1900-2000



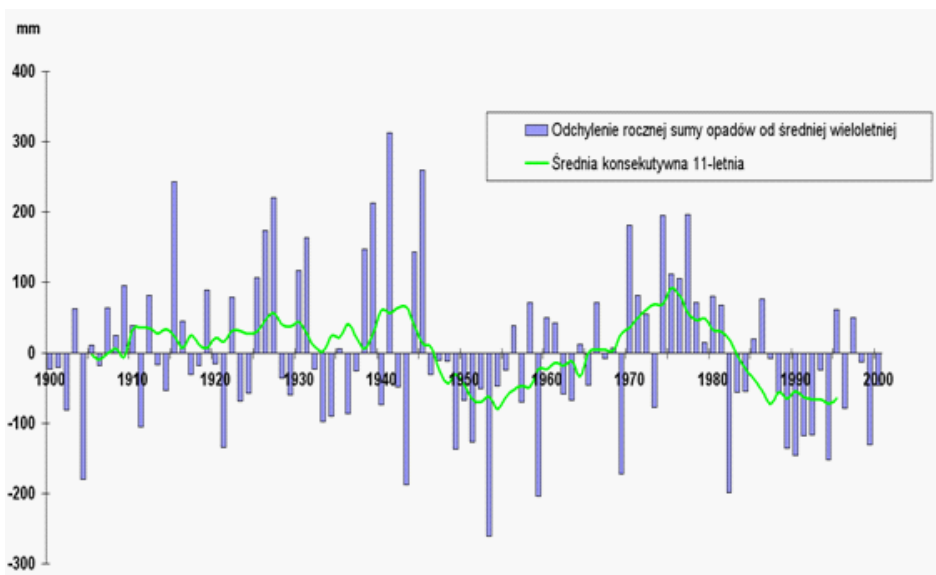

**Rys. 3.** Przebieg roczny miesięcznych sum opadów oraz wartości ekstremalne (1900–2000)



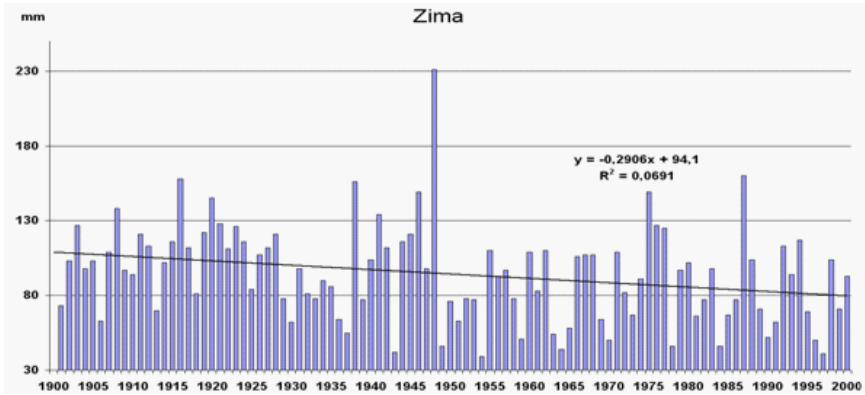

**Rys. 4.** Częstość (%) rocznych sum opadów we Wrocławiu w XX wieku



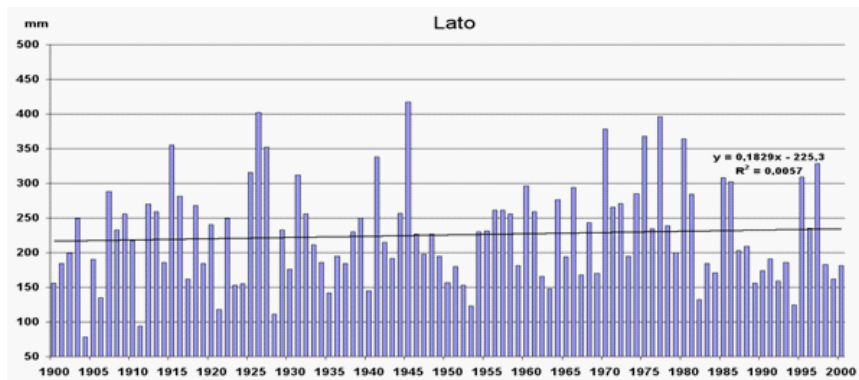

**Rys. 5.** Współczynniki kierunkowe prostych regresji miesięcznych sum opadów we Wrocławiu w XX wieku



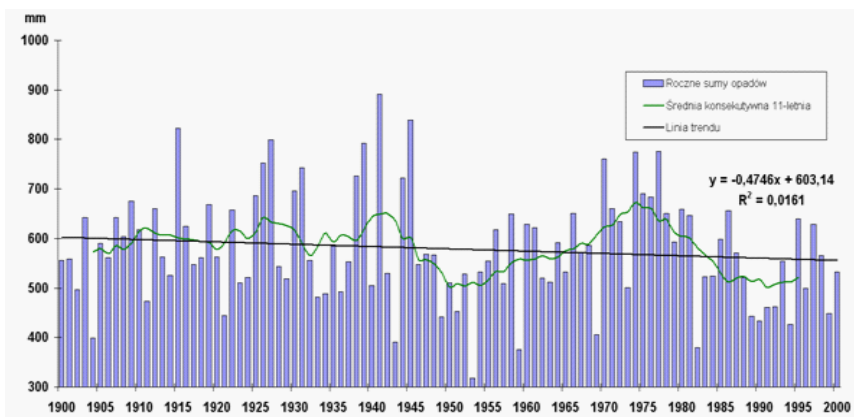

**Rys. 6.** Odchylenia rocznych sum opadów od średniej z lat 1900-2000 we Wrocławiu



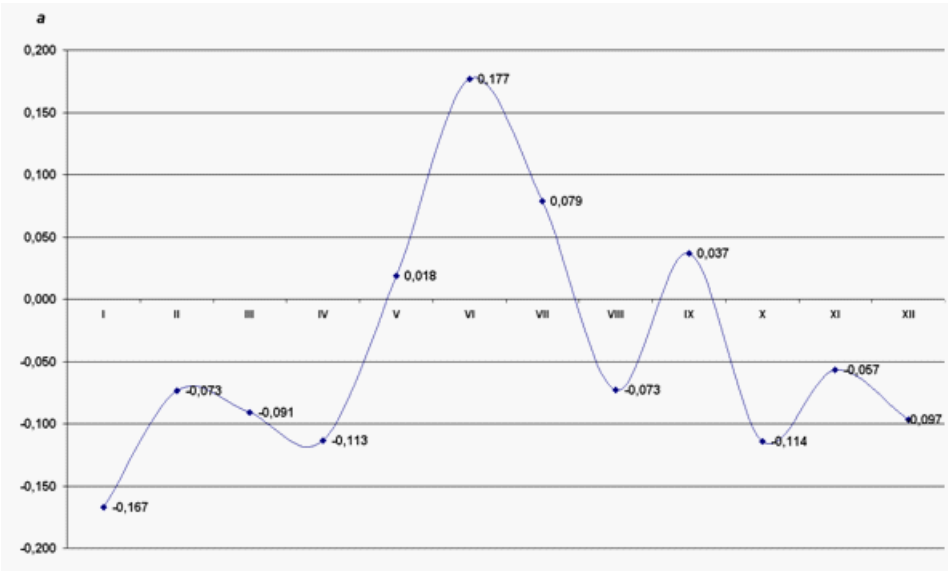

**Rys. 7.** Przebieg sum zimowych opadów we Wrocławiu w latach 1900-2000 – z tendencją malejącą: -29,1mm/100 lat



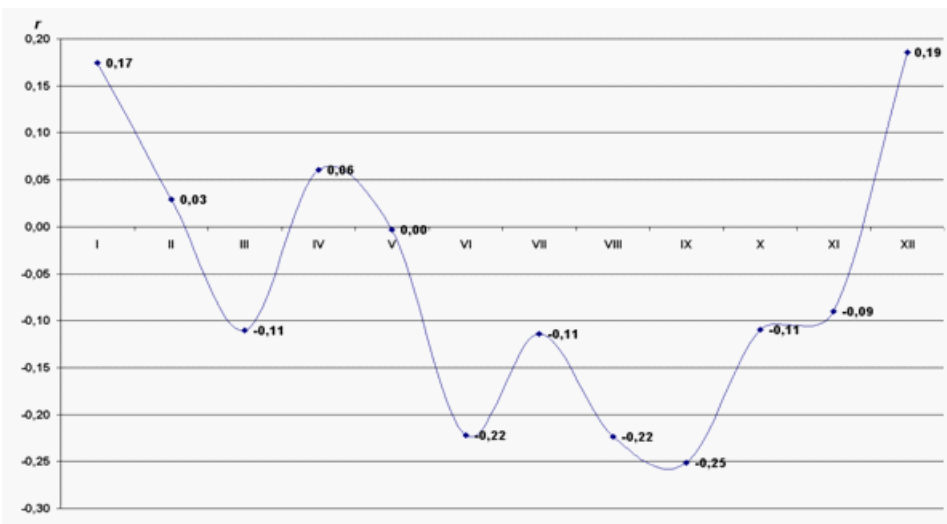

**Rys. 8.** Przebieg sum letnich opadów we Wrocławiu w latach 1900-2000 – z tendencją rosnącą: 18,3 mm/100 lat



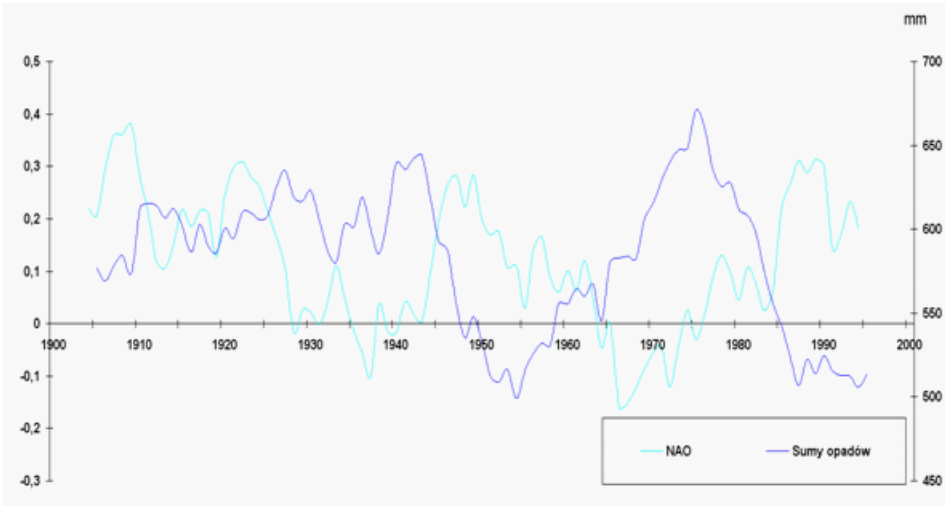

**Rys. 9.** Przebieg sum rocznych opadów we Wrocławiu w latach 1900-2000 – z tendencją malejącą: -47,5 mm/100 lat



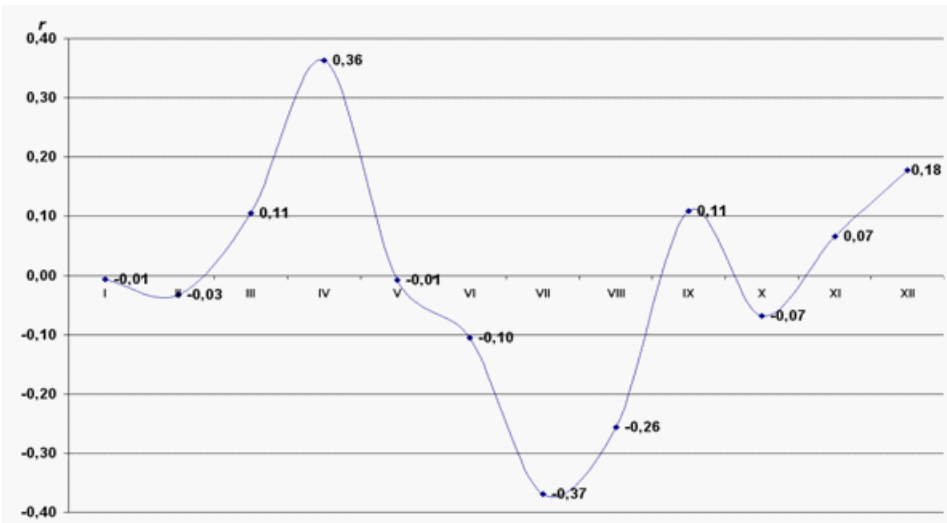

**Rys. 10.** Współczynniki regresji miesięcznych liczb dni z opadem we Wrocławiu w latach 1955-1980




**Rys. 11.** Współczynniki korelacji miesięcznych sum opadów we Wrocławiu w XX wieku z indeksem NAO Jonesa




**Rys. 12.** Przebieg rocznych sum opadów atmosferycznych we Wrocławiu oraz indeksu NAO Jonesa w XX wieku wygładzony średnią konsekutywną 11-letnią




**Rys. 13.** Współczynniki korelacji miesięcznej liczby dni z opadem we Wrocławiu w latach 1955-1980 z indeksem NAO Jonesa

## 7.2.6. Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX i XX wieku i ich przyczyny

Autor: Katarzyna B R A K O N I E C K A
Opiekun naukowy: Jerzy B O R Y C Z K A

### Wstęp

Celem pracy jest określenie zmian temperatury powietrza w pięciu wybranych miastach europejskich w 120-leciu 1881-2000 w odniesieniu do zmian aktywności Słońca (liczb Wolfa) oraz cyrkulacji strefowej, opisanej wskaźnikiem NAO w tym samym czasie. Zbadano wahania roczne i cykliczność temperatury powietrza w zależności od położenia geograficznego na profilach: południkowym (Sztokholm, Warszawa, Ateny) i równoleżnikowym (Paryż, Warszawa, Moskwa). Określono wzajemną synchroniczność zmian aktywności Słońca, wskaźnika NAO i temperatury powietrza w Europie. Podobnie zbadano siłę zależności temperatury powietrza od wskaźnika NAO i liczb Wolfa.

### Materiały źródłowe i metody badań

Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza w pięciu miastach europejskich, wskaźnika NAO i roczne liczby Wolfa zostały udostępnione przez Zakład Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego. Uzupełniono je na podstawie danych dostępnych w serwisie www.tutiempo.net.

Żeby zachować jednorodność i całkowitą kompletność serie zostały skrócone do jednakowego ($n$=120 lat) przedziału czasu 1881-2000. Dlatego też możliwe jest porównanie uzyskanych wyników, w tym także tendencji zmian.

Miasta europejskie dobrano tak, aby można było zbadać zależność cykli temperatury powietrza od szerokości i długości geograficznej. Warszawę ($\varphi$=52°13'N, $\lambda$=21°02'E, $H$=110 m n.p.m.) reprezentującą Europę Środkową przyjęto jako punkt odniesienia dla miast zlokalizowanych na osiach północ-południe oraz wschód-zachód. Europę Północną reprezentuje Sztokholm ($\varphi$=59°34'N, $\lambda$=18°06'E, $H$=44 m n.p.m.), Europę Południową – Ateny ($\varphi$=37°58'N, $\lambda$=23°43'E, $H$=107 m n.p.m.), Europę Zachodnią – Paryż ($\varphi$=48°58'N, $\lambda$=2°27'E, $H$=65 m n.p.m.), a Europę Wschodnią – Moskwa ($\varphi$=55°50'N, $\lambda$=37°37'E, $H$=156 m n.p.m.). Rozbieżność wzdłuż południka nie przekracza 3° szerokości geograficznej, a wzdłuż równoleżnika – 4° długości geograficznej. Możliwa więc jest analiza zróżnicowania temperatury powietrza zarówno na profilu południkowym jak i równoleżnikowym.

W tej pracy zastosowano przede wszystkim metodę sinusoid regresji badania cykliczności zmiennych, opracowaną przez J. Boryczkę (1998). Wykorzystano program BOR (dostępny w Zakładzie Klimatologii UW). Ponadto zastosowano standardowe metody statystyczne: analizę korelacji liniowej i analizę regresji.

Wyznaczono wszystkie parametry: okres $\Theta$, amplitudę $b$ i fazę $c$ sinusoidalnych cykli:

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

Wykresy widm (ciągów wariancji resztkowych $\varepsilon_i^2$) przedstawiono na rysunkach. Otrzymane parametry wybranych cykli (minimów widm) zestawiono w tabelach. W każ-

dym z przypadku wyznaczono również wartość współczynnika korelacji wielokrotnej $R$, a także zbadano istotność otrzymanych cykli – testem Fishera-Snedecora (pogrubiono cykle istotne na poziomie 5%).

Aktywność Słońca charakteryzują liczby Wolfa: $W=k(10g+f)$, które zależą od liczby pojedynczych plam słonecznych ($f$) i liczby grup plam ($g$) oraz współczynnika korygującego obserwacje($k$). Plamy słoneczne – to obszary o niższej temperaturze niż otoczenie (heliosfera). Jednak, im większa jest liczba plam na Słońcu tym większa jest ilość wypromieniowywanej energii.

Tendencję zmian liczb Wolfa (4,37/10 lat) w latach 1881-2000 określa równanie prostej regresji w tab. 1 (rys. 1).

**Tabela 1**. Równanie prostej regresji rocznych liczb Wolfa w latach 1881-2000 ($R^2$ – współczynnik determinacji, $F_{obl}$ – statystyka Fishera-Snedecora)

| Równanie | $R^2$ | $F_{obl}$ |
|---|---|---|
| $W=0{,}4371t-790{,}18$ | 0,1101 | **14,599** |

## Zmiany Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1881-2000

Oscylacja Północnoatlantycka (NAO, North Atlantic Oscillation) warunkuje cyrkulację atmosferyczną w Europie – najsilniej w zachodniej i środkowej części kontynentu. Istota zjawiska Oscylacji Północnoatlantyckiej wynika z istnienia ujemnej korelacji między dwoma głównymi centrami barycznymi zlokalizowanymi nad Północnym Atlantykiem tj. Wyżem Azorskim i Niżem Islandzkim.

W pracy badano wskaźnik NAO, zdefiniowany przez: Jonesa, Jonssona i Wheelera (1997), jako różnica ciśnienia między Gibraltarem a Islandią południowo-zachodnią.

Okresy wskaźnika NAO wyznaczone na podstawie danych z lat 1881-2000 zestawiono w tab.2 (pogrubiono cykle istotne na poziomie 0,05).

**Tabela 2.** Okresy ($\Theta$) zmian wskaźnika NAO w latach 1881-2000 w porach roku i w roku ($R$ – współczynnik korelacji wielokrotnej)

| Zima | | Wiosna | | Lato | | Jesień | | Rok | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
| **2,4** | **0,320** | **3,3** | **0,229** | 3,2 | 0,186 | 3,4 | 0,189 | 2,7 | 0,188 |
| 2,9 | 0,188 | 4,2 | 0,195 | 3,6 | 0,186 | **3,6** | **0,239** | **4,0** | **0,250** |
| **4,6** | **0,244** | **5,7** | **0,232** | 4,0 | 0,178 | 4,4 | 0,192 | **5,0** | **0,291** |
| 5,3 | 0,191 | 6,1 | 0,192 | **4,7** | **0,326** | 4,6 | 0,215 | 6,0 | 0,211 |
| 5,6 | 0,220 | 6,4 | 0,185 | 5,6 | 0,190 | **5,7** | **0,236** | 7,2 | 0,176 |
| **7,7** | **0,304** | 7,4 | 0,205 | **6,0** | **0,248** | 6,7 | 0,192 | **7,8** | **0,378** |
| 8,4 | 0,198 | 8,1 | 0,205 | 7,8 | 0,173 | **7,9** | **0,234** | 8,6 | 0,176 |
| 9,8 | 0,195 | 8,7 | 0,202 | 10,6 | 0,178 | 10,8 | 0,105 | 9,0 | 0,176 |
| 11,0 | 0,129 | 10,8 | 0,158 | 12,1 | 0,190 | 24,7 | 0,218 | 10,9 | 0,176 |
| 39,1 | 0,176 | **22,5** | **0,309** | **13,7** | **0,290** | 31,8 | 0,189 | **13,5** | **0,306** |
| **96,3** | **0,305** | **46,3** | **0,243** | 47,2 | 0,182 | **84,8** | **0,239** | 36,0 | 0,176 |
| | | 107,6 | 0,040 | 91,2 | 0,104 | | | | |

Jeżeli wskaźnik NAO przyjmuje wartości dodatnie występuje przemieszczanie mas powietrza z zachodu na wschód, a gdy wskaźnik NAO jest ujemny – z północy lub południa.

W zimie okresy istotne statystycznie na poziomie 5% to kolejno według malejącej wartości $R$: 96,3-, 7,7-, 4,6-letni, Wiosną zdecydowanie najsilniej zaznacza się cykl 22,5-letni wskaźnika NAO Jonesa. Ponadto istotne statystycznie są okresy: 46,3-, 5,7-, 3,3-, 7,4-, 8,1- i 8,7-letni. W lecie występują także cykle istotne statystycznie na poziomie 5% – najsilniejszy jest cykl krótki 4,7-letni, a następnie 13,7- i 6,0-letni. Przykładowo przedstawiono widmo wskaźnika NAO w zimie (rys. 2)

## Tendencje zmian wskaźnika NAO

Trendy czasowe wskaźnika NAO Jonesa w latach 1881-2000 wyznaczone dla pór roku i roku ($R^2$ współczynnik determinacji, $F_{obl}$ – statystyka Fishera-Snedecora.) zestawiono w tab. 3 (rys. 3).

**Tabela 3**. Równania prostych regresji wskaźnika NAO Jonesa w latach 1881-2000 ($R^2$ – współczynnik determinacji, $F_{obl}$ – statystyka FIshera-Snedecora)

| NAO | $NAO = at + b$ | $R^2$ | $F_{obl}$ |
|---|---|---|---|
| Zima | $NAO = -0{,}0049t + 10{,}109$ | 0,0186 | 2,236 |
| Wiosna | $NAO = 0{,}0003t - 0{,}5389$ | 0,0001 | 0,012 |
| Lato | $NAO = -0{,}0024t + 4{,}6806$ | 0,0107 | 1,276 |
| Jesień | $NAO = -0{,}0009t + 1{,}5906$ | 0,0012 | 0,142 |
| Rok | $NAO = -0{,}0018t + 3{,}5729$ | 0,0169 | 2,028 |

## Zmiany roczne temperatury powietrza na profilu południkowym

Przebiegi roczne średniej miesięcznej temperatury powietrza w badanych miastach europejskich w latach 1881-2000 ilustrują wykresy na rys. 4. W położonym najdalej na północ Sztokholmie najwyższa średnia temperatura powietrza 17,3°C występuje w lipcu, a najniższa -2,9°C w lutym. W wysuniętej dalej na południe Warszawie najwyższa średnia miesięczna temperatura powietrza 18,7°C występuje także w lipcu, ale jest zaledwie o 1,4°C wyższa. Najzimniejszym miesiącem jest styczeń, ze średnią temperaturą -2,8°C. W Atenach także najcieplejszy jest lipiec (27,4°C) a najchłodniejszy styczeń (9,3°C).

## Cykliczne zmiany temperatury powietrza na profilu południkowym

Porównano cykle temperatury powietrza na profilu południkowym (Sztokholm, Warszawa, Ateny) w porach roku i w roku, wyznaczone na podstawie serii danych z lat 1881-2000. Wykresy widm przedstawiono na rysunkach, a parametry cykli o największych amplitudach ($2b$) zestawiono w tabelach: 4, 5, 6 (pogrubiono okresy istotne na poziomie 0,05).

**Tabela 4.** Okresy (*Θ*) i amplitudy (*b*) cykli temperatury powietrza (*T*) w Sztokholmie (1881-2000)

| Zima | | Wiosna | | Lato | | Jesień | | Rok | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Θ* | *b* | *Θ* | *b* | *Θ* | *b* | *Θ* | *b* | *Θ* | *b* |
| **2,4** | 0,806 | 3,3 | 0,359 | 2,4 | 0,333 | 2,7 | 0,256 | 2,4 | 0,271 |
| 2,7 | 0,439 | 3,7 | 0,388 | 3,3 | 0,279 | **3,4** | 0,347 | 3,9 | 0,277 |
| 3,9 | 0,603 | 3,9 | 0,402 | 4,2 | 0,281 | **4,1** | 0,319 | 4,9 | 0,285 |
| 5,0 | 0,547 | 4,9 | 0,357 | 4,9 | 0,284 | 4,7 | 0,267 | 5,5 | 0,181 |
| 5,8 | 0,563 | 5,8 | 0,362 | 7,1 | 0,343 | 5,1 | 0,319 | 5,8 | 0,250 |
| **7,7** | 0,871 | **7,9** | 0,542 | 11,9 | 0,268 | 5,5 | 0,279 | **7,7** | 0,446 |
| 9,5 | 0,439 | **8,8** | 0,484 | 14,3 | 0,208 | 7,7 | 0,258 | 8,8 | 0,208 |
| 12,8 | 0,736 | 10,8 | 0,140 | **19,8** | 0,282 | 10,0 | 0,156 | **12,8** | 0,357 |
| 14,8 | 0,523 | 13,7 | 0,448 | **25,3** | 0,294 | 12,8 | 0,234 | **20,1** | 0,319 |
| **21,2** | 0,912 | 24,9 | 0,293 | **33,2** | 0,452 | 17,2 | 0,199 | 32,1 | 0,165 |
| 73,8 | 0,331 | 65,7 | 0,138 | 71,1 | 0,409 | 21,2 | 0,236 | 45,9 | 0,134 |
| | | | | | | 33,2 | 0,159 | | |

**Tabela 5.** Okresy (*Θ*) i amplitudy (*b*) cykli temperatury powietrza (*T*) w Warszawie (1881-2000)

| Zima | | Wiosna | | Lato | | Jesień | | Rok | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Θ* | *b* | *Θ* | *b* | *Θ* | *b* | *Θ* | *b* | *Θ* | *b* |
| 2,6 | 0,652 | 2,4 | 0,321 | 2,4 | 0,196 | 2,6 | 0,323 | 2,4 | 0,192 |
| 3,1 | 0,582 | 3,3 | 0,317 | 3,1 | 0,306 | 3,1 | 0,239 | 3,6 | 0,205 |
| 4,6 | 0,464 | 4,0 | 0,407 | **3,9** | 0,247 | 3,4 | 0,277 | 4,0 | 0,207 |
| **5,7** | 0,965 | 5,2 | 0,311 | **4,1** | 0,266 | **4,8** | 0,411 | 5,2 | 0,189 |
| 6,4 | 0,492 | **5,8** | 0,445 | 5,2 | 0,252 | 5,2 | 0,390 | **5,6** | 0,303 |
| **7,6** | 0,793 | **7,9** | 0,525 | 6,1 | 0,196 | 5,6 | 0,386 | **7,7** | 0,357 |
| 10,9 | 0,452 | 8,7 | 0,193 | 7,7 | 0,130 | **6,4** | 0,368 | 12,8 | 0,254 |
| 12,9 | 0,606 | 10,2 | 0,100 | 11,0 | 0,161 | 8,3 | 0,284 | 19,5 | 0,194 |
| 15,2 | 0,450 | **13,4** | 0,483 | 14,6 | 0,156 | 10,3 | 0,249 | 42,7 | 0,096 |
| 18,7 | 0,528 | 25,2 | 0,363 | 19,5 | 0,224 | 18,0 | 0,302 | 67,2 | 0,079 |
| **40,3** | 0,577 | **71,0** | 0,278 | 29,9 | 0,200 | 34,9 | 0,321 | | |
| 77,6 | 0,581 | | | **67,8** | 0,509 | 2,6 | 0,323 | | |

**Tabela 6.** Okresy ($\Theta$) i amplitudy ($b$) cykli temperatury powietrza ($T$) w Atenach (1881-2000)

| Zima | | Wiosna | | Lato | | Jesień | | Rok | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ | $b$ | $\Theta$ | $b$ | $\Theta$ | $b$ | $\Theta$ | $b$ | $\Theta$ | $b$ |
| **2,4** | 0,387 | 2,6 | 0,249 | **5,2** | 0,270 | 3,4 | 0,297 | 3,9 | 0,147 |
| 3,9 | 0,314 | **3,5** | 0,368 | 5,9 | 0,218 | 4,7 | 0,244 | **4,8** | 0,200 |
| 4,2 | 0,258 | **4,8** | 0,323 | **7,0** | 0,307 | **6,3** | 0,261 | **5,2** | 0,151 |
| 4,9 | 0,280 | 5,5 | 0,248 | 9,1 | 0,170 | 6,8 | 0,235 | 5,5 | 0,096 |
| 7,7 | 0,220 | **7,8** | 0,321 | 10,0 | 0,195 | 7,5 | 0,203 | 7,6 | 0,161 |
| 8,4 | 0,271 | 10,2 | 0,205 | 11,0 | 0,071 | 8,2 | 0,211 | 9,2 | 0,142 |
| 10,0 | 0,236 | 11,4 | 0,208 | 12,1 | 0,167 | **9,5** | 0,323 | 10,1 | 0,117 |
| 12,1 | 0,280 | **12,5** | 0,246 | 13,7 | 0,130 | 10,8 | 0,142 | 11,0 | 0,069 |
| 16,6 | 0,250 | 14,6 | 0,211 | **18,0** | 0,227 | 17,8 | 0,225 | **12,3** | 0,182 |
| 20,8 | 0,314 | 19,7 | 0,211 | **34,8** | 0,204 | **35,9** | 0,359 | **35,2** | 0,194 |
| 50,5 | 0,169 | 64,4 | 0,286 | **69,7** | 0,603 | **81,8** | 0,537 | **75,8** | 0,388 |

W Sztokholmie zimowe cykle temperatury powietrza: krótki 2,4-letni, 7,7-letni oraz 21,2-letni (o największą amplitudzie zmian ($2b = 1{,}8$°C) są istotne na poziomie 5%. W lecie w Sztokholmie wyróżniają się trzy okresy: 19,8-, 25,3- oraz 33,2-letni (o największej amplitudzie zmian ($2b = 0{,}9$°C). istotne statystycznie na poziomie 5%.

Najistotniejszym zimowym okresem zmian temperatury powietrza w Warszawie jest okres 5,7-letni (o amplitudzie zmian 2,0°C). W lecie najistotniejszy jest okres 67,8-letni temperatury powietrza z amplitudą wahań 1,0°C. W Atenach w zimie najistotniejszy jest cykl krótki 2,4-letni (o amplitudzie zmian, dochodzącej do 0,8°C).

## Wpływ Oceanu Atlantyckiego na okresowość temperatury powietrza w Europie w XIX i XX wieku

Strefowość pola temperatury powietrza w Europie deformowana jest przez oddziaływanie termiczne wód Oceanu Atlantyckiego spowodowane różnicą temperatury wody i lądu. Problem ten zbadano na podstawie trzech miast europejskich położonych prawie na jednym równoleżniku 52°N (±4°).

## Zmiany roczne temperatury powietrza na profilu równoleżnikowym

Na podstawie średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w latach 1881-2000 porównano przebiegi roczne temperatury powietrza na profilu równoleżnikowym: Paryż, Warszawa, Moskwa (rys. 5). Najmniejsze i największe wartości średniej miesięcznej temperatury powietrza w badanym 120-leciu we wszystkich trzech miastach występują w tych samych miesiącach – maksima w lipcu, a minima – w styczniu. Na przykład w Paryżu w styczniu (3,2°C) jest cieplej niż w Warszawie (-2,8°C), a znacznie cieplej niż dalej na wschód – w Moskwie (-9,7°C). Amplitudy temperatury powietrza dochodzące prawie do 30°C w ciągu roku występują w Moskwie.

## Cykliczne zmiany temperatury powietrza na profilu równoleżnikowym

Cykliczność temperatury powietrza na profilu równoleżnikowym (Paryż, Warszawa, Moskwa) w latach 1881-2000 charakteryzują tabele 7 i 8. Przykładowo przedstawiono widma temperatury powietrza w tych miastach na rysunkach 6, 7, 8.

W Paryżu najbardziej typowe okazały się okołowiekowe okresy zmian, temperatury powietrza. W Warszawie uwidacznia się, zwłaszcza zimą spadek istotności cykli długich – około 100-letnich i 20-50-letnich na rzecz grup cykli 5 i 7-letnich. W Moskwie najistotniejsze statystycznie wiosną, latem i jesienią są cykle około 5 i 7-letnie. W Moskwie w zimie najbardziej zaznacza się zróżnicowanie amplitud cykli w zależności od odległości od Oceanu Atlantyckiego. Prawie trzykrotnie większe są amplitudy zmian w cyklach krótkich w Moskwie niż Paryżu – odpowiednio 2,2°C i 0,8°C, a w Warszawie amplituda ta wynosi 1,3°C.

Cykle o długości 7-8 lat są istotne statystycznie w przypadku średniej temperatury zimy i roku w Paryżu i Warszawie.

**Tabela 7**. Okresy (*Θ*), amplitudy (*b*), fazy (*c*) cykli temperatury powietrza (*T*) w Paryżu (1881-2000)

| Zima | | Wiosna | | Lato | | Jesień | | Rok | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Θ* | *b* | *Θ* | *b* | *Θ* | *b* | *Θ* | *b* | *Θ* | *b* |
| 2,6 | 0,395 | 3,7 | 0,288 | **2,4** | 0,358 | 2,7 | 0,236 | 2,4 | 0,189 |
| **4,6** | 0,411 | 4,0 | 0,222 | 4,1 | 0,159 | **3,1** | 0,344 | 4,6 | 0,139 |
| 4,8 | 0,257 | 4,2 | 0,235 | 6,9 | 0,276 | 3,5 | 0,235 | 5,5 | 0,193 |
| **5,6** | 0,548 | 7,8 | 0,266 | 7,5 | 0,246 | 4,4 | 0,266 | **7,6** | 0,317 |
| **7,6** | 0,642 | 9,6 | 0,273 | 8,0 | 0,274 | 6,9 | 0,314 | 10,5 | 0,149 |
| 10,6 | 0,342 | 10,7 | 0,254 | 10,8 | 0,093 | 9,9 | 0,245 | 12,6 | 0,215 |
| 12,7 | 0,481 | **16,9** | 0,302 | 12,3 | 0,247 | 12,1 | 0,082 | **16,6** | 0,180 |
| **19,3** | 0,498 | **24,9** | 0,353 | 16,2 | 0,224 | **17,3** | 0,275 | **19,8** | 0,150 |
| 24,1 | 0,297 | **44,1** | 0,377 | **24,2** | 0,290 | **31,1** | 0,234 | **24,3** | 0,210 |
| 41,9 | 0,253 | **71,6** | 0,593 | **31,8** | 0,231 | 46,0 | 0,130 | **31,2** | 0,127 |
| **68,4** | 0,476 | 3,7 | 0,288 | **49,3** | 0,436 | **66,4** | 0,310 | **43,9** | 0,179 |
| | | | | **63,9** | 0,409 | | | **69,2** | 0,368 |

**Tabela 8**. Okresy (*Θ*) i amplitudy (*b*) temperatury powietrza (*T*) w Moskwie w latach 1882-2000

| Zima | | Wiosna | | Lato | | Jesień | | Rok | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Θ* | *b* | *Θ* | *b* | *Θ* | *b* | *Θ* | *b* | *Θ* | *b* |
| **2,4** | 1,076 | 3,3 | 0,496 | 2,4 | 0,327 | **3,4** | 0,471 | 2,4 | 0,252 |
| 2,8 | 0,691 | 3,8 | 0,338 | 3,4 | 0,327 | 4,1 | 0,304 | 3,9 | 0,219 |
| 4,7 | 0,652 | 4,0 | 0,431 | 3,9 | 0,317 | **4,3** | 0,320 | **4,7** | 0,350 |
| 5,7 | 0,659 | 4,2 | 0,368 | 5,0 | 0,265 | 4,9 | 0,382 | 5,7 | 0,306 |
| 8,0 | 0,462 | **4,7** | 0,584 | 5,7 | 0,305 | **5,1** | 0,412 | 7,8 | 0,325 |
| 9,5 | 0,642 | **5,8** | 0,669 | **7,0** | 0,480 | **5,6** | 0,556 | 8,6 | 0,263 |
| 12,2 | 0,665 | **7,8** | 0,693 | **8,4** | 0,384 | **6,5** | 0,494 | 12,3 | 0,282 |
| 15,0 | 0,667 | 8,8 | 0,443 | 11,8 | 0,100 | 7,2 | 0,159 | 19,6 | 0,196 |
| 18,8 | 0,620 | 11,0 | 0,322 | 15,1 | 0,279 | 9,5 | 0,401 | 30,6 | 0,093 |
| **40,2** | 0,621 | 14,6 | 0,531 | 19,9 | 0,294 | 10,7 | 0,085 | **62,2** | 0,120 |
| 67,3 | 0,261 | **61,9** | 0,173 | 32,7 | 0,173 | 14,1 | 0,315 | | |
| | | | | **66,9** | 0,550 | 56,4 | 0,229 | | |

## Cykle aktywności Słońca i wskaźnika NAO

W latach 1881-2000 średnie roczne liczby Wolfa i wskaźnika NAO są zbliżone w cyklach około 4-5-letnich. Maksima aktywności Słońca (liczb Wolfa) w okresie 5,3 lat występują w tych samych latach co maksima średnich rocznych wartości wskaźnika NAO w cyklu 5,0 lat. Mimo zbliżonych długości trwania porównywanych okresów zmian (liczby Wolfa – $\Theta$=8,1; NAO – $\Theta$=7,8 lat) nie zachodzi zbieżność w występowaniu ekstremów aktywności Słońca i cyrkulacji zachodniej.

Cykle około 30-letnie badane pod względem synchroniczności występowania maksimów liczb Wolfa i zmienności wskaźnika NAO to odpowiednio 37,3 oraz 36,0 lat. Maksima w porównywanych cyklach o dużym współczynniku determinacji wystąpiły w latach: 1916, 1952-1953, 1988-1991. Cyrkulacja strefowa w Europie jest silnie skorelowana z aktywnością Słońca w przypadku cykli około 30-letnich.

## Cykle aktywności Słońca i temperatury powietrza

W badaniach synchroniczności zmian aktywności Słońca i temperatury powietrza w cyklach około 4-5-letnich jest możliwe porównanie okresu 5,3-letniego zmian liczb Wolfa z cyklami temperatury powietrza w Paryżu ($\Theta$=5,5 lat) i w Warszawie ($\Theta$=5,6 lat). Temperatura powietrza w Paryżu jest wysoce synchroniczna ze zmianami aktywności Słońca w pierwszej połowie badanego przedziału czasu – różnice w występowaniu maksimów nie przekraczają dwóch lat. Jednakże w drugiej połowie XX wieku różnica czasu między maksimami wzrosła do lat czterech, czyli w czasie maksimów aktywności Słońca występują minima średniej rocznej temperatury powietrza w Paryżu. Można stwierdzić synchroniczność liczb Wolfa (6.64 lat) i temperatury powietrza w Warszawie (6.66-6.70 lat).

Synchroniczność maksimów średniej rocznej liczb Wolfa i temperatury powietrza w cyklach 4-5-letnich zaznaczyła się w Warszawie, a w cyklach około 7-8-letnich – w Atenach, Paryżu, Sztokholmie i Warszawie. W cyklach około 30-letnich zbieżność czasowa maksimów liczb Wolfa i temperatury powietrza uwidoczniła się tylko w Warszawie.

## Cykle wskaźnika NAO i temperatury powietrza

Z zimowym wskaźnikiem NAO w cyklu 7,7-letnim (widmo – rys. 9) związane są cykle zimowe temperatury powietrza w Paryżu i Moskwie (widma – rys. 10-11). Cykl 39,1-letni wskaźnika NAO można porównać z 40,2-letnim cyklem zmian temperatury powietrza w Moskwie i 40,4-letnim – w Warszawie o maksimach występujących kolejno w latach: 1914-1915, 1954-1955, 1993-1995. Tak duża zbieżność to dowód synchroniczności i prawdopodobnie związku przyczynowo-skutkowego między temperaturą powietrza w tych miastach a cyrkulacją strefową w zimie. Temperatura powietrza w trzech miastach wykazuje synchroniczność około 70-letnią, maksima temperatury we wszystkich pięciu miastach występują w bardzo zbliżonych latach 1936-1947.

## Związki korelacyjne temperatury powietrza w Europie ze wskaźnikiem NAO i aktywnością Słońca

Synchroniczność zmian i współwystępowanie w czasie ekstremów w zbliżonych cyklach badanych zmiennych świadczą o prawdopodobnym istnieniu związku przyczynowo-

skutkowego między nimi. Związki korelacyjne również mogą być dowodem na istnienie fizycznych zależności między poszczególnymi zmiennymi. Najpierw zostaną opisane tendencje zmian temperatury powietrza a później jej związki korelacyjne z aktywnością Słońca i cyrkulacją strefową w Europie.

## Tendencje zmian temperatury powietrza

Tendencje temperatury powietrza wyznaczone na podstawie serii danych z lat 1881-2000 przedstawiono w tab. 9 i na rys. 12-21.

**Tabela 9.** Tendencje zmian średniej temperatury powietrza podczas zimy, wiosny, lata, jesieni i roku w: Atenach, Moskwie, Paryżu, Sztokholmie i Warszawie w latach 1881-2000 ($R^2$ – współczynnik determinacji, $F_{obl}$ – statystyka Fishera-Snedecora)

| **Sztokholm** | °C/100lat | $R^2$ | $F_{obl}$ | **Paryż** | °C/100lat | $R^2$ | $F_{obl}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zima | 0,22 | 0,0014 | 0,165 | Zima | 1,26 | 0,0798 | **10,233** |
| Wiosna | 1,70 | 0,1716 | **24,443** | Wiosna | 0,80 | 0,0761 | **9,719** |
| Lato | 1,26 | 0,1328 | **18,070** | Lato | 0,91 | 0,0838 | **10,793** |
| Jesień | 0,86 | 0,0794 | **10,177** | Jesień | 1,40 | 0,2185 | **32,992** |
| Rok | 1,06 | 0,1444 | **19,915** | Rok | 1,11 | 0,2540 | **40,177** |
| **Warszawa** | °C/100lat | $R^2$ | $F_{obl}$ | **Moskwa** | °C/100lat | $R^2$ | $F_{obl}$ |
| Zima | 0,97 | 0,0229 | 2,766 | Zima | 2,94 | 0,1325 | **18,023** |
| Wiosna | 0,92 | 0,0599 | **7,519** | Wiosna | 2,77 | 0,2517 | **39,691** |
| Lato | 0,88 | 0,1044 | **13,755** | Lato | 1,01 | 0,0745 | **9,499** |
| Jesień | 0,57 | 0,0318 | 3,876 | Jesień | 1,20 | 0,0845 | **10,891** |
| Rok | 0,86 | 0,1334 | **18,164** | Rok | 1,99 | 0,3504 | **63,650** |
| **Ateny** | °C/100lat | $R^2$ | $F_{obl}$ | | | | |
| Zima | 0,47 | 0,0220 | 2,654 | | | | |
| Wiosna | 0,24 | 0,0089 | 1,060 | | | | |
| Lato | 0,61 | 0,0607 | **7,625** | | | | |
| Jesień | -0,37 | 0,0165 | 1,980 | | | | |
| Rok | 0,24 | 0,0209 | 2,519 | | | | |

Tylko w Atenach zaznacza się ujemna tendencja temperatury powietrza w przypadku średniej temperatury powietrza jesienią (-0,37°C/100 lat), ale nie jest istotna statystycznie. W pozostałych porach roku tendencje temperatury powietrza wynoszą: zima – 0,47°C/100lat, wiosna – 0,24°C/100 lat, średnie roczne – 0,24°C/100 lat.

Największe wartości tendencji zmian temperatury powietrza w badanym 120-leciu są w Moskwie, gdzie we wszystkich porach roku jak i w przypadku średnich rocznych wartości są one istotne statystycznie na poziomie 5%. Średnia temperatura zimy wzrasta w Moskwie prawie o 3°C na 100 lat.

Przyczyną ocieplenia może być tendencja wzrostowa aktywności Słońca (tj. stałej słonecznej) w XIX i XX wieku. Ponadto malała w tym czasie zawartość pyłów wulkanicznych w atmosferze (wskaźnik *DVI*) oraz wydłużał się odstęp czasu między erupcjami. Duże wartości zimowych współczynników kierunkowych prostych regresji temperatury powietrza w miastach europejskich mogą wynikać ze wzrostu efektu miejskiej wyspy ciepła, uwidaczniającego się szczególnie w chłodnej porze roku (Stopa-Boryczka, 2001).

## Zmiany roczne współczynnika korelacji temperatury powietrza i wskaźnika NAO

Współczynniki korelacji średniej miesięcznej temperatury powietrza w wybranych miastach europejskich i wartości wskaźnika NAO w latach 1881-2000 przedstawiono na wykresach: profil południkowy rys. 22. i profil równoleżnikowy rys. 23. Przedstawiono wartości współczynnika *R* w: Sztokholmie, Warszawie i Atenach – co umożliwia porównanie przebiegów rocznych na profilu południkowym. Natomiast zestawienie wartości współczynnika korelacji temperatury powietrza w Paryżu, Warszawie i Moskwie – charakteryzuje profil równoleżnikowy.

W półroczu chłodnym są istotne zależności – większa wartość współczynnika korelacji występuje w przypadku Sztokholmu niż Warszawy. Największa zależność liniowa temperatury powietrza od cyrkulacji strefowej w Europie zaznacza się w przypadku średnich wartości temperatury powietrza w styczniu i lutym. Współczynnik korelacji przekracza wówczas zarówno w przypadku Sztokholmu jak i Warszawy wartość 0,6.

Znacznie mniejsze rozbieżności wartości współczynnika korelacji temperatury powietrza z wskaźnikiem NAO występują w Paryżu, Warszawie i Moskwie. Wartości współczynnika *R* na profilu równoleżnikowym, podobnie jak na południkowym są bliskie zera w miesiącach pory ciepłej – co świadczy o braku silnych zależności między temperaturą powietrza a cyrkulacją atmosferyczną w wybranych miastach europejskich. W Moskwie w żadnym przypadku wartość współczynnika korelacji nie przekracza wartości 0,5, ale wartości w miesiącach pory chłodnej są odpowiednio większe niż w miesiącach pory ciepłej. Podobnie jest w przypadku zależności temperatury powietrza w Paryżu i Warszawie od wskaźnika NAO. W Paryżu również znacznie większe wartości współczynnika korelacji występują w miesiącach zimowych niż letnich – przy czym najwyższe, wahające się w granicach 0,6 wartości współczynnika *R* dotyczą średnich stycznia, lutego i marca.

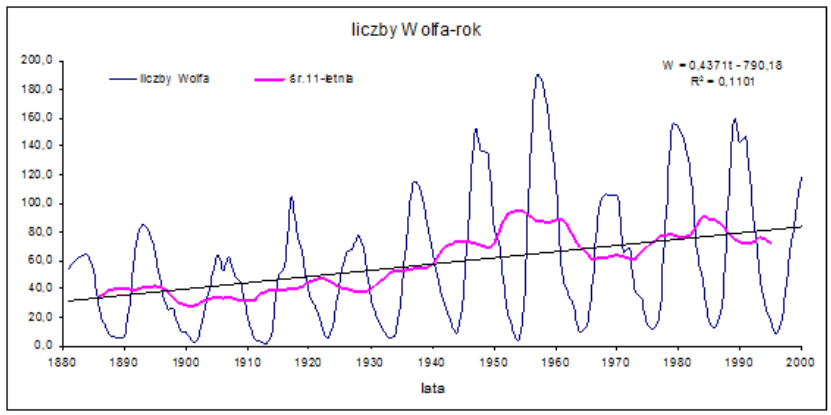
## Równania prostych regresji temperatury powietrza względem liczb Wolfa

Wyznaczone na podstawie serii 120-letniej liniowe zależności średniej rocznej temperatury powietrza w pięciu miastach europejskich od aktywności Słońca przedstawia tabela 10. W Moskwie, Paryżu i Warszawie temperatura powietrza jest istotnie skorelowana ze zmianami aktywności Słońca (na poziomie 5%). Najsilniejsze zależności od aktywności Słońca występują w przypadku temperatury powietrza w Moskwie.

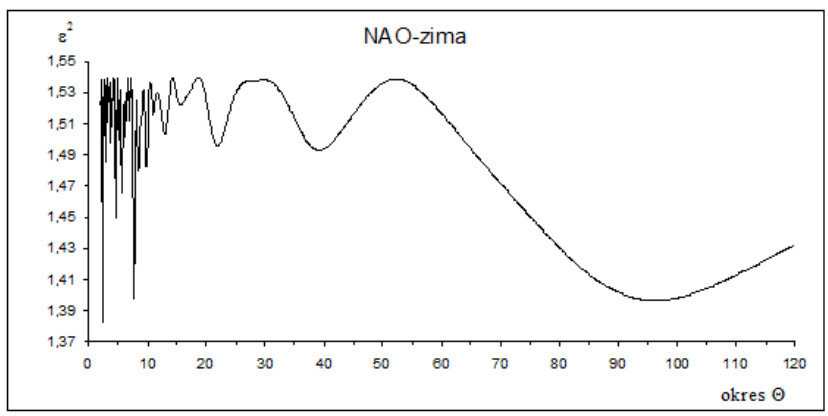
**Tabela 10.** Równania prostych regresji temperatury powietrza względem liczb Wolfa w wybranych miastach europejskich w latach 1881-2000 ($R^2$ – współczynnik determinacji, $F_{obl}$ – statystyka Fishera-Snedecora)

| | Proste regresji | $R^2$ | $F_{obl}$ |
|---|---|---|---|
| Ateny | $T$=0,0007$W$+17,792 | 0,0034 | 0,403 |
| Moskwa | $T$=0,0068$W$+3,7297 | 0,0801 | **10,275** |
| Paryż | $T$=0,0039$W$+10,321 | 0,0738 | **9,402** |
| Sztokholm | $T$=0,0032$W$+6,062 | 0,0236 | 2,852 |
| Warszawa | $T$=0,0032$W$+7,7759 | 0,0346 | **4,229** |

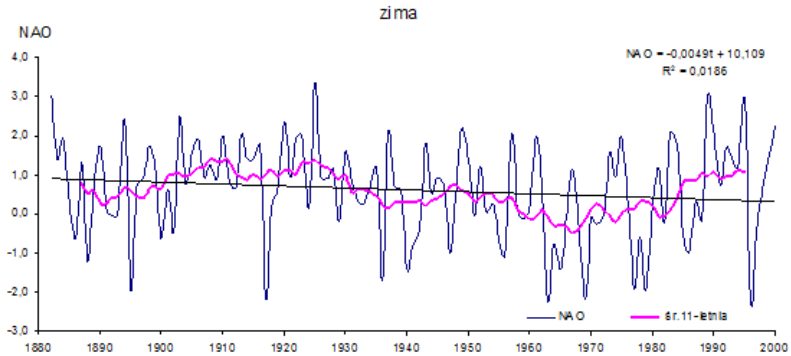
Wyniki badań synchroniczności zmian: temperatury powietrza (w pięciu miastach europejskich), liczb Wolfa i Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w tym samym przedziale czasu 1881-2000 świadczą o znaczącej roli aktywności Słońca w kształtowaniu klimatu Europy. Podobne wnioski wynikają z analizy korelacji i regresji temperatury powietrza względem liczb Wolfa i wskaźnika NAO.



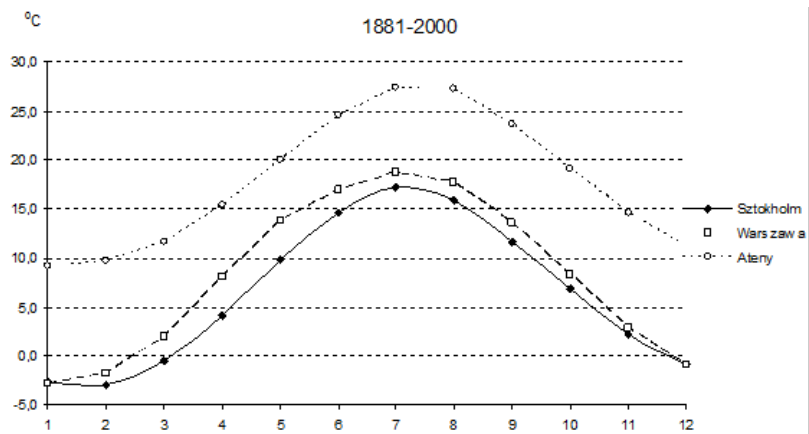

**Rys. 1.** Zmiany aktywności Słońca w latach 1881-2000 na podstawie rocznych wartości liczb Wolfa i średniej 11-letniej konsekutywnej wraz z trendem liniowym



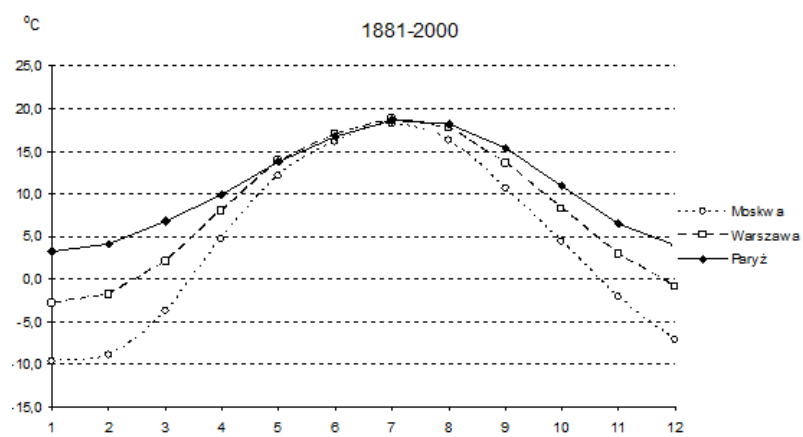

**Rys. 2.** Widmo wskaźnika NAO Jonesa w latach 1882-2000 – Zima



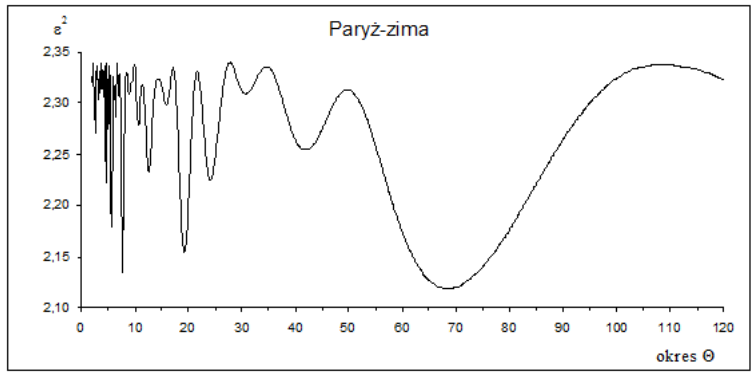

**Rys. 3.** Zmiany wskaźnika NAO Jonesa w latach 1881-2000 wraz ze średnią 11-letnią konsekutywną i trendem liniowym – w zimie



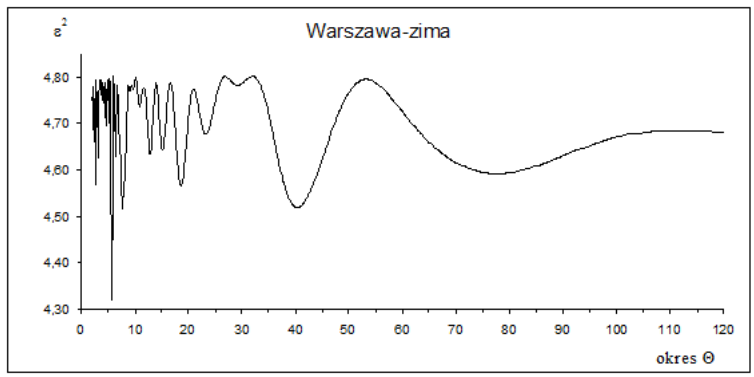

**Rys. 4.** Zmiany roczne temperatury powietrza na profilu południkowym: Sztokholm, Warszawa, Ateny w latach 1881-2000



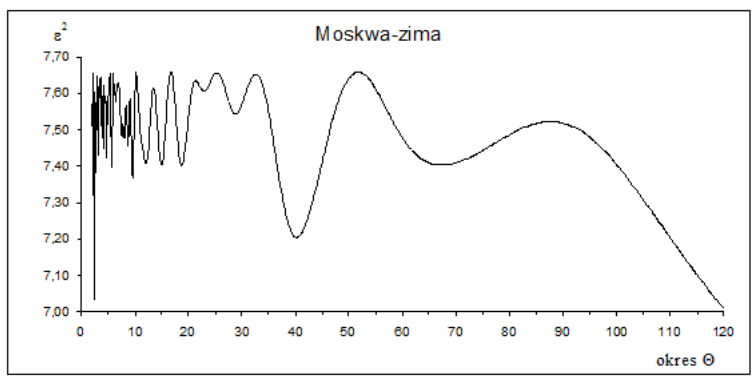

**Rys. 5.** Zmiany roczne temperatury powietrza w latach 1881-2000 na profilu równoleżnikowym: Paryż, Warszawa, Moskwa



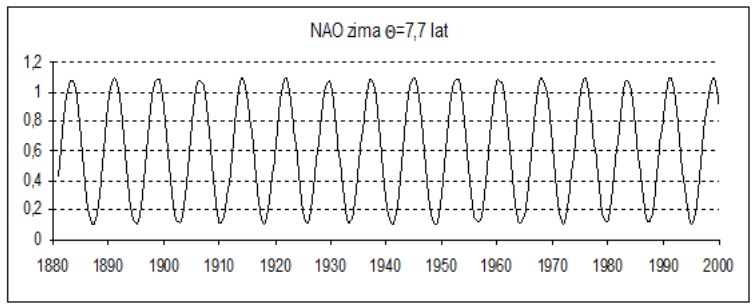

**Rys. 6.** Widmo temperatury powietrza w Paryżu w latach 1881-2000 – Zima



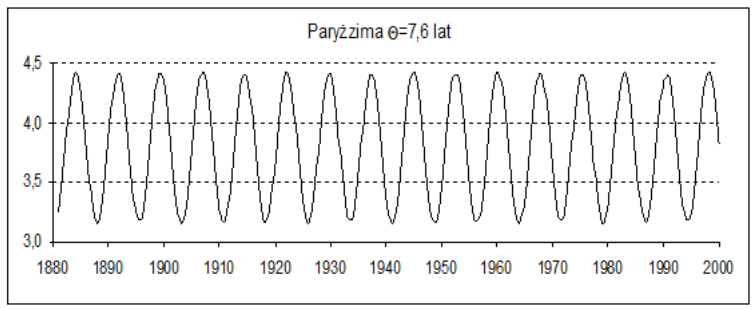

**Rys. 7.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w latach 1881-2000 – Zima



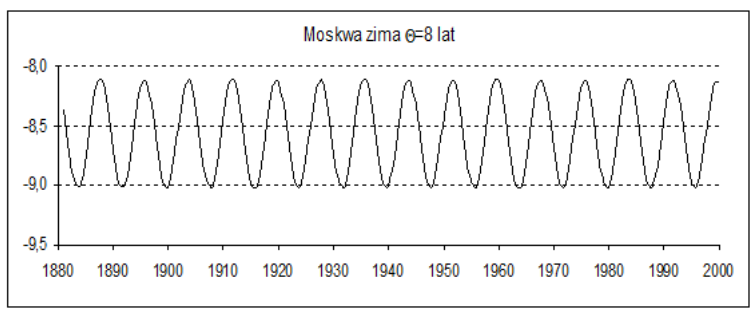

**Rys. 8.** Widmo temperatury powietrza w Moskwie w latach 1881-2000 – Zima



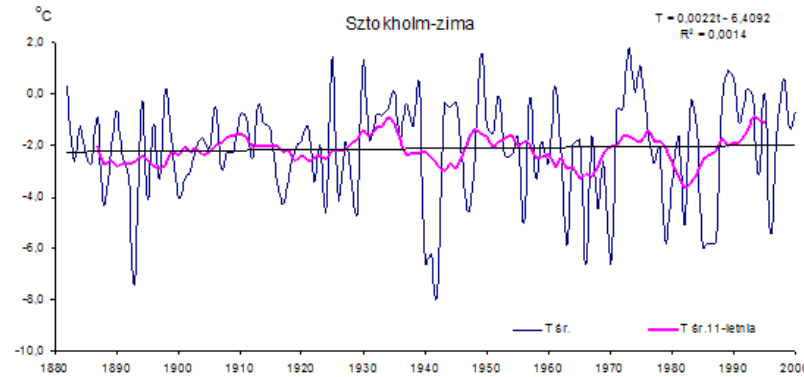

**Rys. 9.** Cykl 7,7-letni wskaźnika NAO w latach 1881-2000 – Zima



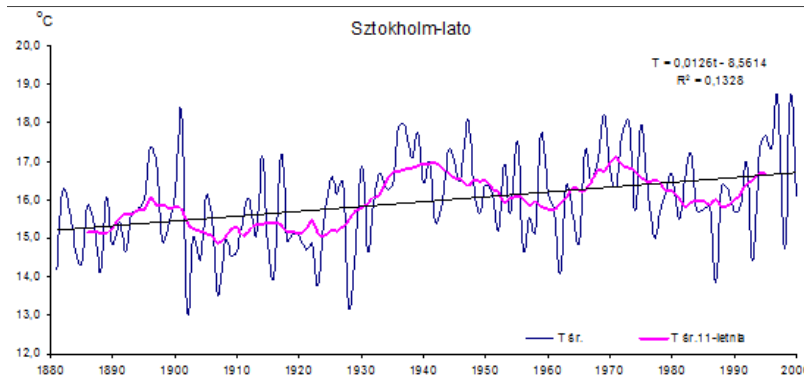

**Rys. 10.** Cykl 7,6-letni temperatury powietrza w Paryżu w latach 1881-2000 – Zima



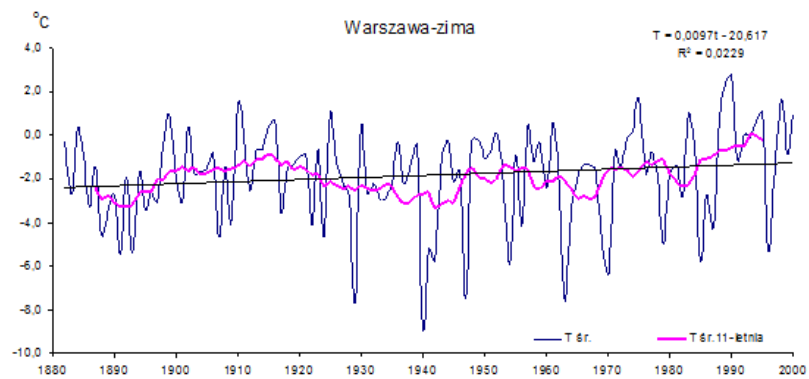

**Rys. 11.** Cykl 8-letni temperatury powietrza w Moskwie w latach 1881-2000 -Zima



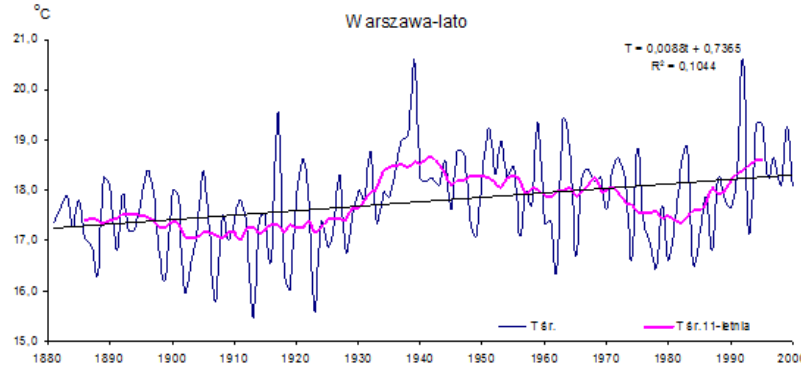

**Rys. 12.** Zmiany temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1881-2000 wraz ze średnią 11-letnią konsekutywną i trendem liniowym – Zima



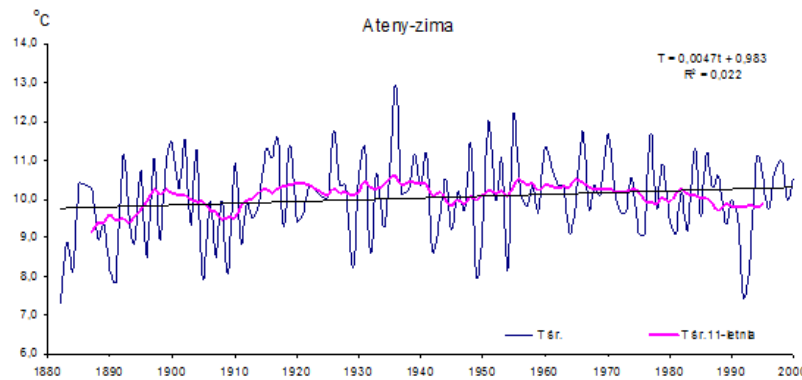

**Rys. 13.** Zmiany temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1881-2000 wraz ze średnią 11-letnią konsekutywną i trendem liniowym – Lato



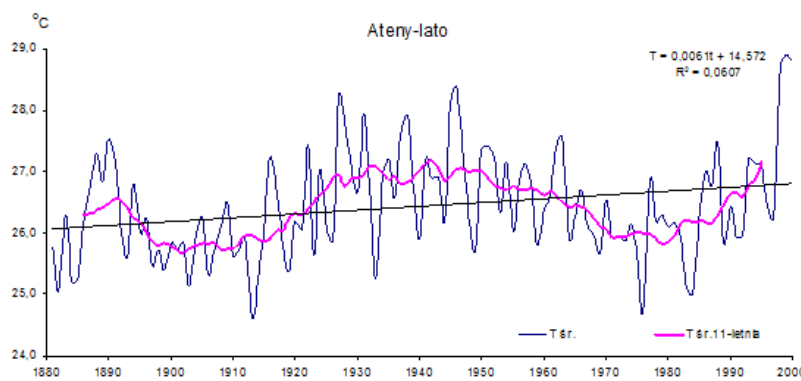

**Rys. 14.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1881-2000 wraz ze średnią 11-letnią konsekutywną i trendem liniowym – Zima



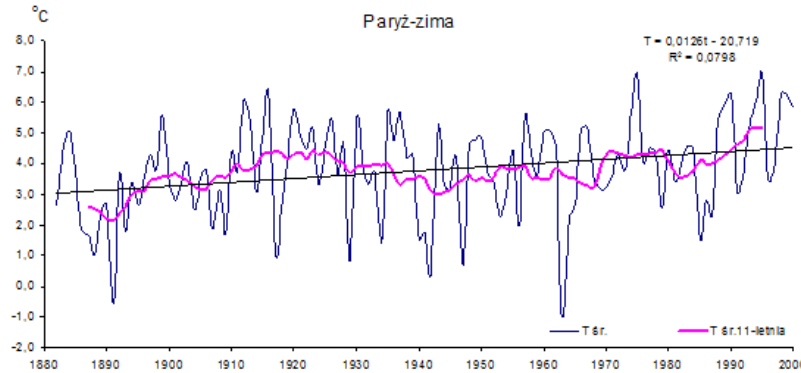

**Rys. 15.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1881-2000 wraz ze średnią 11-letnią konsekutywną i trendem liniowym – Lato



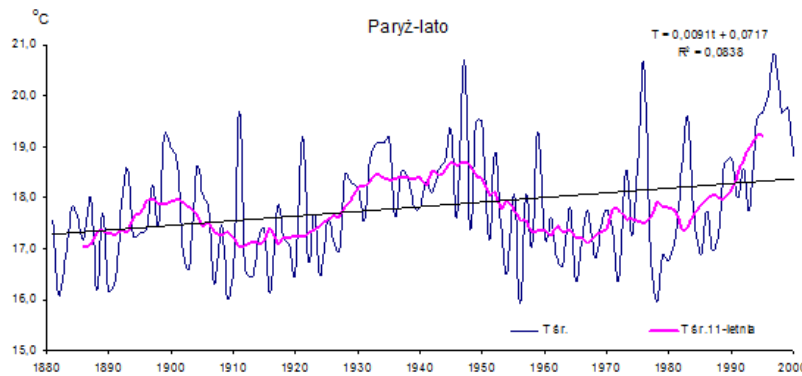

**Rys. 16.** Zmiany temperatury powietrza w Atenach w latach 1881-2000 wraz ze średnią 11-letnią konsekutywną i trendem liniowym – Zima



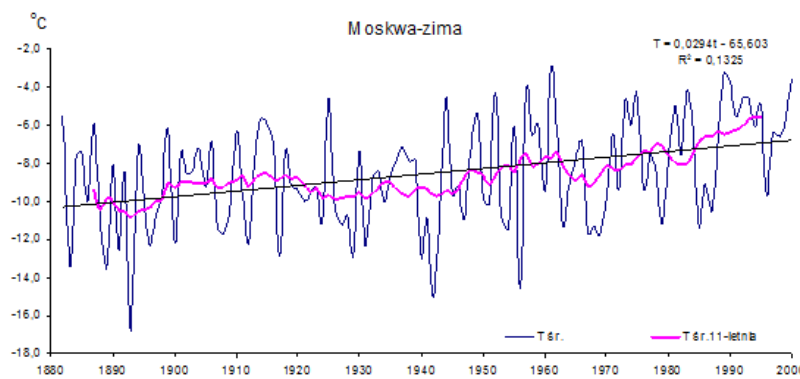

**Rys. 17.** Zmiany temperatury powietrza w Atenach w latach 1881-2000 wraz ze średnią 11-letnią konsekutywną i trendem liniowym – Lato



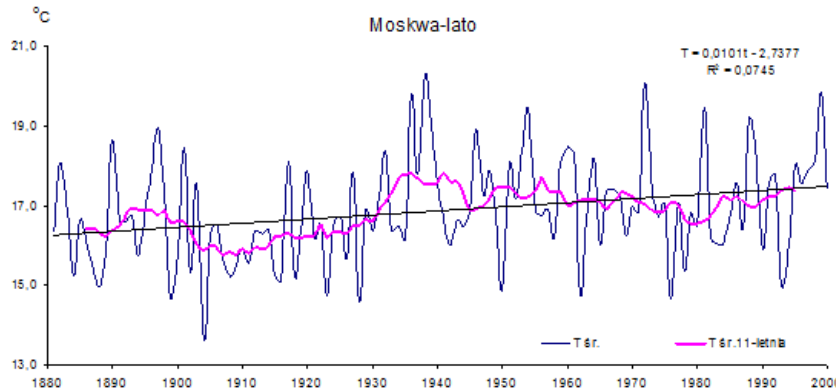

**Rys. 18.** Zmiany temperatury powietrza w Paryżu w latach 1881-2000 wraz ze średnią 11-letnią konsekutywną i trendem liniowym – Zima



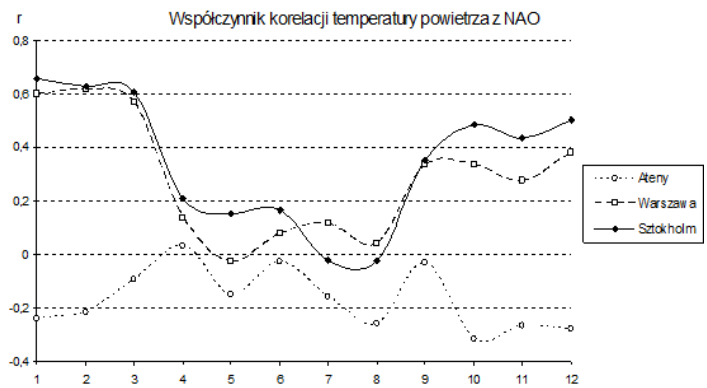

**Rys. 19.** Zmiany temperatury powietrza w Paryżu w latach 1881-2000 wraz ze średnią 11-letnią konsekutywną i trendem liniowym – Lato



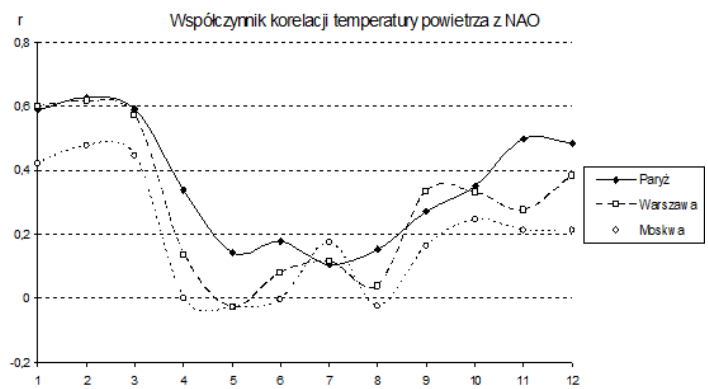

**Rys. 20.** Zmiany temperatury powietrza w Moskwie w latach 1881-2000 wraz ze średnią 11-letnią konsekutywną i trendem liniowym – Zima




**Rys. 21.** Zmiany temperatury powietrza w Moskwie w latach 1881-2000 wraz ze średnią 11-letnią konsekutywną i trendem liniowym – Lato




**Rys. 22.** Przebieg roczny współczynnika korelacji *r* temperatury powietrza w: Atenach, Warszawie i Sztokholmie z wskaźnikiem *NAO* (1881-2000)




**Rys. 23.** Przebieg roczny wartości współczynnika korelacji *r* temperatury powietrza w Paryżu, Warszawie i Moskwie z wskaźnikiem *NAO* (1881-2000)

### 7.2.7. Zmiany klimatu Szwecji według danych dendrologicznych

Autor: Łukasz P A W Ł O W S K I
Opiekunowie naukowi: Jerzy B O R Y C Z K A,
Maria S T O P A - B O R Y C Z K A

Celem pracy jest określenie cykliczności w ciągach czasowych przyrostów rocznych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) w Szwecji – w odniesieniu do okresów temperatury powietrza tj. około 4, 8, 11, 100 i 180 lat. Jest nim też określenie tendencji zmian szerokości słoi sosny i wyznaczenie związków szerokości słoi sosny z temperaturą powietrza.

Według A. E. Douglassa (1933, 1937), przyrosty drzew w Europie północnej odzwierciedlają cykl słoneczny, szczególnie dobrze widoczny cykl 11-letni w północnej Szwecji. A. E. Douglass był również założycielem pierwszego na świecie laboratorium dendrochronologicznego. Pierwszą w Polsce pracę na temat związków przyrostu rocznego drzew z warunkami klimatycznymi opublikował W. Zinkiewicz (1946). A. Zielski badał relacje przyrostów radialnych sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) w Polsce północnej na podstawie wielowiekowej chronologii (1997). *R*. Przybylak, G. Wójcik i J. Majorowicz.(2001) wykorzystali chronologię liczącą około 500 lat z regionu kujawsko-pomorskiego w badaniach związków przyrostów drzew od temperatury. A. Cedro (2007) podjęła próbę oceny wykorzystania danych dendrologicznych – chronologii liczącej 226 lat (1777-2002) do rekonstrukcji wskaźnika NAO.

## Materiały źródłowe i metody badań

Zasadniczy materiał badawczy stanowią dane o przyrostach radialnych gatunku sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris*), pochodzące z dwóch stanowisk na terytorium Szwecji: Sztokholm (59°09'N, 18°00'E, wysokość 75 m n.p.m) z lat 1713-1996 i Muddus – z Parku Narodowego Muddus (66°51'N, 22°27'E, wysokość 450 m n.p.m) z lat 1572-1971. Standaryzowane wartości szerokości przyrostów rocznych pobrano ze strony The International Tree-Ring Data Bank: http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering. Serię pomiarową temperatury powietrza w Sztokholmie i wartości liczb Wolfa oraz wskaźnika NAO pochodzą z archiwum Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego.

Cykliczność zbadano stosując metodę *sinusoid regresji* wyznaczania widm i okresów, opracowaną przez J. Boryczkę (1998). Wykorzystano również analizę regresji i korelacji liniowej.

Widma i cykle wyznaczono zmieniając okres sinusoidy regresji z krokiem co $\Delta\Theta=0{,}1$ i $\Delta\Theta=1$ rok (w przypadku słoi sosny). Wyznaczono parametry: amplitudę $b$ i fazę $c$ sinusoid regresji

$$y=a_0+b\sin(2\pi t\Theta^{-1}+c)$$

Obliczono wartości współczynnika korelacji $R$ dla wybranych cykli oraz zbadano ich istotność testem Fishera-Snedecora: $F_{\mathrm{obl}}=0{,}5(n-3)R^2(1-R^2)^{-1}$. Wartości krytyczne statystyki dla poziomu istotności 5% rozkładu $F$ o 2 i $n-3$ stopniach swobody ($n=200$, $n=300$ i $n=400$) wynoszą odpowiednio: $F_{\mathrm{k}}=3{,}04$, $F_{\mathrm{k}}=3{,}03$ i $F_{\mathrm{k}}=3{,}02$.

Wyznaczono także równania prostych regresji $T=At+B$, gdzie $A$ jest współczynnikiem regresji określającym tendencję. Podano również wartość współczynnika determinacji $R^2$.

## Cykliczność i tendencje zmian temperatury powietrza w Szwecji w XVIII-XXI wieku

Długości okresów i parametry sinusoidalnych cykli średniej rocznej temperatury powietrza w Sztokholmie zestawiono w tabeli 1. Najsilniejsze cykle są istotne statystycznie na poziomie 5% ($F_k=3,02$).

**Tabela 1**. Parametry cykli temperatury powietrza w Sztokholmie (1756-1994) – Rok (okres $\Theta$, amplituda $b$, faza $c$, wariancja resztkowa $\varepsilon^2$, współczynnik korelacji $R$, statystyka Fishera-Snedecora $F_{obl}$)

| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 2,18 | 2,787 | 1633,43 | 0,037 | 0,21 |
| 8 | 8,66 | -2,544 | 1598,49 | 0,151 | 3,49 |
| 11 | 27,56 | -1,711 | 1269,35 | 0,473 | 43,29 |
| 17 | 3,48 | -0,928 | 1630,18 | 0,058 | 0,51 |
| 19 | 2,77 | 2,533 | 1632,40 | 0,045 | 0,30 |
| 21 | 5,47 | 2,892 | 1623,90 | 0,085 | 1,09 |
| 24 | 3,19 | -0,182 | 1628,78 | 0,065 | 0,64 |
| 28 | 5,84 | -1,457 | 1618,69 | 0,102 | 1,58 |
| 33 | 0,15 | -1,423 | 1629,98 | 0,059 | 0,53 |
| 37 | 1,94 | -1,698 | 1619,91 | 0,098 | 1,46 |
| 44 | 5,72 | -0,927 | 1607,62 | 0,131 | 2,62 |
| 53 | 10,55 | -2,210 | 1567,77 | 0,204 | 6,50 |
| 103 | 13,05 | 1,225 | 1501,57 | 0,286 | 13,40 |
| 189 | 8,00 | -1,077 | 1554,24 | 0,223 | 7,86 |

Cykle temperatury powietrza w Sztokholmie o największych współczynnikach korelacji: 11-letni ($R=0,473$) 103- letni ($R=0,286$) i 189-letni ($R=0,223$) świadczą, że na zmiany klimatu Szwecji mają największy wpływ cykle aktywności Słońca:11 lat i najdłuższe około 100- i 180- lat. Energia kumulowana w głębi oceanów i lądów w czasie maksimów aktywności słonecznej w tych cyklach wpływa na cyrkulację globalną atmosfery. Widma liczb Wolfa i średniej rocznej temperatury powierza w Sztokholmie przedstawiono na rys. 1 i 2.

## Tendencje temperatury powietrza w Sztokholmie w XVIII-XX wieku

Jako miary tendencji temperatury powietrza wykorzystano równanie prostej regresji $T=At+B$. Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Sztokholmie cechują się współczynnikiem regresji wynoszącym 0,46°C/100 lat. W przebiegu krzywej można wyróżnić trzy okresy (rys.3). Systematyczny spadek temperatury jest widoczny do lat 30. XIX wieku, po czym następuje okres cieplejszy w połowie wieku, a następnie ochłodzenie utrzymujące się do pierwszych dekad XX wieku. Od roku 1960 występowało ochłodzenie.

## Prognozy zmian temperatury powietrza w Szwecji do roku 2100

Prognozy zmian średniej rocznej temperatury powietrza w Sztokholmie, opracowano za pomocą programu BOR – z uwzględnieniem składnika liniowego (*at*):

$$y = a_0 + at + \Sigma b_j \sin (2\pi t \Theta_j^{-1} + c_j)$$

Przyjęto założenie, że wykryte w minionych wiekach cykle będą się nadal powtarzać. Stały wzrost średniej rocznej temperatury powietrza jest dobrze widoczny. Wahania krótkookresowe temperatury powietrza w Sztokholmie wskazują na wystąpienie do roku 2100 trzech okresów cieplejszych z maksimami około lat 2027, 2052, 2080, oraz minimów okresów chłodniejszych w latach 2034 i 2074 (rys. 4).

## Zmiany okresowe klimatu Szwecji na podstawie przyrostów rocznych sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris)

Do określenia zmian klimatu Szwecji wykorzystano standaryzowane wskaźniki przyrostów słoi drzew sosny zwyczajnej, określające średni roczny przyrost w miejscu, z którego pochodzą użyte w chronologii dane.

Sprawdzono, czy w widmach (rys. 5-6) przyrostów rocznych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) są obecne – podobnie jak w przypadku temperatury powietrza – cykle około 8-, 11-, 100- i 180 – letnie. Parametry cykli szerokości słoi sosny (*Pinus sylvestris*) w Sztokholmie w latach 1713-1996 i w Muddus w latach 1532-1972 zestawiono w tabelach 2 i 3. Do oceny istotności statystycznej wyników wykorzystano test Fishera-Snedecora. Wyznaczono wartości krytyczne dla poziomu istotności 5%, dla próby $n = 300$ ($F_k = 3{,}03$) i $n = 400$ $F_k = 3{,}02$).

**Tabela 2.** Parametry cykli szerokości słoi sosny (*Pinus sylvestris*) w Sztokholmie w latach 1713-1996 (okres $\Theta$, amplituda $b$, faza $c$, wariancja resztkowa $\varepsilon^2$, współczynnik korelacji $R$, statystyka Fishera-Snedecora $F_{obl}$)

| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 0,199 | 2,965 | 10,85 | **0,041** | 0,23 |
| 7 | 0,217 | -2,890 | 10,84 | 0,045 | 0,29 |
| **11** | 0,776 | -2,350 | 10,53 | 0,176 | **4,46** |
| 15 | 0,695 | -1,734 | 10,71 | 0,118 | 1,96 |
| **17** | 1,010 | -1,461 | 10,25 | 0,239 | **8,45** |
| **19** | 0,869 | -0,739 | 10,44 | 0,198 | **5,70** |
| **23** | 1,834 | 0,671 | 8,98 | 0,417 | **29,45** |
| **29** | 0,836 | -1,041 | 10,27 | 0,233 | **8,04** |
| 37 | 0,848 | 1,301 | 10,65 | 0,139 | 2,77 |
| **49** | 0,660 | -1,915 | 10,56 | 0,167 | **4,03** |
| 70 | 0,744 | -2,046 | 10,65 | 0,142 | 2,87 |
| 169 | 0,476 | -2,073 | 10,77 | 0,095 | 1,26 |

**Tabela 3**. Parametry cykli szerokości słoi sosny (*Pinus sylvestris*) w Muddus w latach 1532-1972 (okres $\Theta$, amplituda $b$, faza $c$, wariancja resztkowa $\varepsilon^2$, współczynnik korelacji $R$, statystyka Fishera-Snedecora $F_{obl}$)

| $\Theta$ | $b$ | $c$ | $\varepsilon^2$ | $R$ | $F_{obl}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **9** | 0,395 | 1,714 | 5,21 | 0,119 | **3,16** |
| 13 | 0,344 | 2,162 | 5,22 | 0,107 | 2,52 |
| 16 | 0,369 | -0,441 | 5,22 | 0,106 | 2,47 |
| **19** | 0,364 | 2,787 | 5,21 | 0,118 | **3,07** |
| **23** | 0,620 | -1,761 | 5,11 | 0,182 | **7,46** |
| **33** | 1,025 | -0,240 | 4,79 | 0,305 | **22,50** |
| **41** | 0,524 | -0,610 | 5,16 | 0,154 | **5,35** |
| 49 | 0,263 | 1,163 | 5,22 | 0,104 | 2,39 |
| **60** | 0,795 | -0,233 | 4,87 | 0,280 | **18,58** |
| **89** | 0,514 | 3,037 | 5,00 | 0,232 | **12,45** |
| **120** | 0,301 | -1,063 | 5,16 | 0,153 | **5,27** |
| **182** | 0,646 | -3,117 | 5,00 | 0,231 | **12,35** |

## Cykle około 8-, 11-, 100 i 180-letnie szerokości słoi sosny

W widmach szerokości słoi sosny występują cykle będące wielokrotnością 11-letniego cyklu aktywności Słońca. Cykliczność około 22 – letnia cechuje się największymi amplitudami w przyrostach sosny w Sztokholmie – współczynnik korelacji wynosi $R = 0{,}417$.

Najdłuższe cykle o długościach około 100 lat i około 180-letnie są obecne w widmach przyrostowych słoi sosny zwyczajnej w Szwecji. Cykle te są związane z długookresowymi zmianami aktywności Słońca i występują w cykliczności temperatury powietrza. Przyrosty roczne sosny Muddus wykazują cykliczność 89-letnią, ($R = 0{,}232$). Najdłuższy z cykli jest obecny w widmach sosny w Sztokholmie (169 lat) i Muddus. Przyrosty radialne sosny z Parku Narodowego Muddus odznaczają się cyklicznością 182-letnią, ze współczynnikiem korelacji $R = 0{,}231$.

## Zmiany szerokości słoi sosny w XVI-XX wieku

Standaryzacja wartości zmierzonych przyrostów radialnych, pozwala uchwycić zmiany z roku na rok w odniesieniu do średniego przyrostu całej populacji użytej w chronologii. Na podstawie otrzymanych wyników można wyodrębnić okresy podwyższonej i obniżonej aktywności drewna, interpretowane jako optima termiczne, bądź lata chłodniejsze. Należy jednak zauważyć, że poza czynnikami klimatycznymi, na rozwój drzew mają wpływ warunki biochemiczne siedliska, oraz stres wywołany działalnością szkodników.

Zmiany przyrostów rocznych sosny w punktach badawczych (Sztokholm, Park Narodowy Muddas) przedstawiono na rysunkach 7 i 8. Krzywe na ogół są podobne, co wskazuje na zbliżony typ reakcji drewna w tym czasie, nawet w miejscach znacznie od siebie odległych.

Na wykresie obrazującym zmiany przyrostów radialnych sosny z Muddus od roku 1532, widoczny jest okres o znacznie większych przyrostach w pierwszej połowie XVI

wieku (jest to absolutne maksimum całej serii), po nim pojawia się jedno z trzech głównych minimów. Następnie wartości współczynnika przyrostu wzrastają i utrzymują się nieznacznie powyżej średniej, po czym obserwuje się lokalne minimum na początku XVII wieku. Lata około 1775 roku były okresem o największych przyrostach sosny z okolic Sztokholmu. Połowa wieku XIX – to czas kiedy wzrost grubości słoi sosen był nieznacznie większy niż w latach poprzednich (największa zmiana jest widoczna w przyrostach sosny Sztokholm i Muddus). Przełom XIX i XX wieku jest okresem spadku przyrostów, postępującym mniej więcej od połowy wieku XIX.

## Synchroniczność cykli aktywności Słońca i zmiennych klimatologicznych oraz dendrologicznych

### Cykle aktywności Słońca i szerokości słoi sosny zwyczajnej

Okres od minimum do minimum liczby plam słonecznych trwa około 11 lat. Jest to dobrze znany 11 letni cykl aktywności Słońca. Należy jednak zaznaczyć ze okres ten faktycznie zmienia się w przedziale od 9 do 14 lat. Aktywność słoneczna wywiera wpływ na zmiany przyrostów rocznych drzew, zarówno bezpośredni, związany z dopływem energii promienistej od Słońca, jak i pośredni, polegający na wpływie aktywności Słońca na temperaturę oraz intensywność cyklu hydrologicznego.

Do porównań cykli wzięto okresy istotne statystycznie, o największych współczynnikach korelacji. Cykl 11-letni aktywności Słońca pojawił się jedynie w widmie sosny w Sztokholmie. Cykl około 89- letni szerokości słoi występuje w przypadku sosny w Muddus. Okresowość aktywności Słońca charakteryzuje cykl 189-letni. W widmach przyrostów sosny Muddus. wykryto okres 182-letni. Ekstrema cyklu słonecznego wystąpiły w latach:1781 i 1971, cyklu sosny Muddus w latach: 1778 i 1964.

### Synchroniczność cykli NAO i szerokości słoi sosny

Znaczący wpływ na klimat Europy ma cyrkulacja strefowa nad północną częścią Atlantyku warunkowana południkowym gradientem ciśnienia atmosferycznego. Oscylacja Północnoatlantycka (NAO – North Atlantic Osciyllation) jest charakteryzowana przez wskaźnik P. D. Jonesa jako różnica ciśnienia na poziomie morza w zimie (XII-III) między Gibraltarem i Południow-zachodznią Islandią (Jones, 1997). Duża różnica ciśnienia między Wyżem Azorskim a Niżem Islandzkim (faza pozytywna NAO) sprzyja przepływowi mas powietrza w kierunku wschodnim. Kiedy Wyż Azorski jest słabo zaznaczony a Niż Islandzki wypełnia się (faza negatywna) gradient baryczny przyjmuje kierunek równoleżnikowy, co powoduje napływ mas powietrza w kierunku południkowym.

Cykle temperatury powietrza wykazują zbliżoną okresowość do cykli Oscylacji Północnoatlantyckiej. Do analizy wybrano niektóre cykle o zbliżonych okresach spośród widm wskaźnika NAO i szerokości słoi sosny. Cykl o okresie 11 lat wystąpił w widmie sosny Sztokholm ($R=0{,}176$). Natomiast okresowością około 33-letnią charakteryzuje się zmienność przyrostów sosny Muddus. Zbieżnością odznaczają się cykle 13 letnie sosny Muddus i wskaźnika NAO. Ekstrema tych cykli są widoczne w tych samych latach. Maksima wystąpiły w latach 1831, 1844 itd., natomiast minima w latach 1825, 1838 itd.

Najdłuższy porównywany cykl wskaźnika NAO o okresie 118 lat ma sobie podobny w widmie przyrostów sosny Muddus, $\Theta=120$.

## Synchroniczność cykli temperatury powietrza i szerokości słoi sosny

Długa seria pomiarów instrumentalnych w Sztokholmie daje możliwość prześledzenia zmian przyrostów rocznych sosny i zmian temperatury powietrza na przestrzenie 237 lat. Standaryzowane wartości temperatury powietrza, wygładzone średnią konsekutywną 11-letnią, podobnie jak wartości wskaźnika przyrostu, przedstawiono na rysunkach. Najwyższy współczynnik korelacji otrzymano porównując wartości przyrostu ze średnią roczną temperaturą powietrza, $R = 0{,}255$.

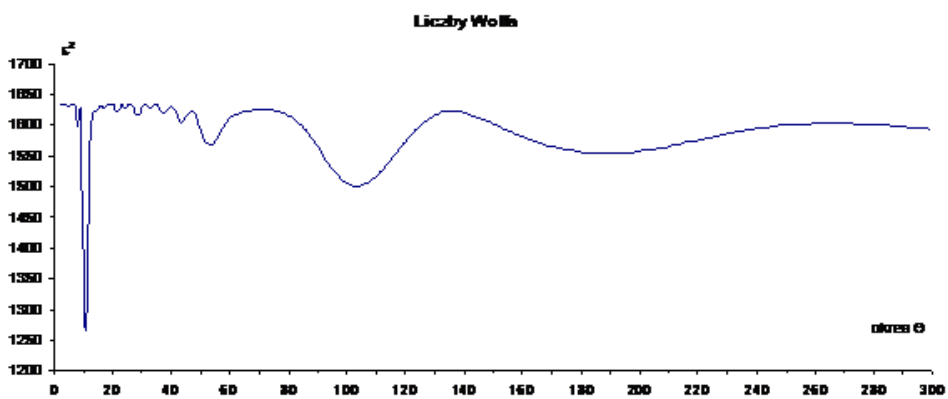
Nieco mniejszym współczynnikiem korelacji ($R = 0{,}237$) charakteryzuje się zależność przyrostu od średniej temperatury okresu, od czerwca roku poprzedzającego przyrost, do wrześnie roku w którym nastąpił podział komórek. Najsłabszy związek ($R = 0{,}160$) wykryto miedzy średnią temperaturą powietrza okresu zimowego a wartościami przyrostu.

## Synchroniczność cykli zmiennych dendrologicznych

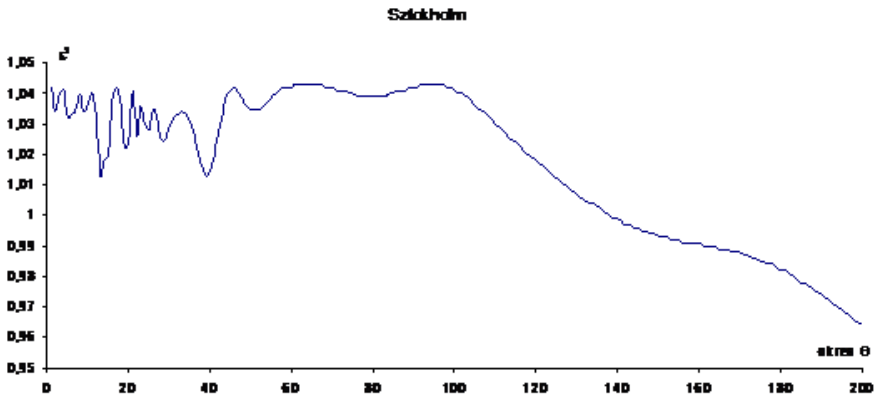
Synchroniczność cykli przyrostów rocznych sosny zwyczajnej z dwóch stanowisk badawczych przedstawiono na przykładzie okresów około 100-letnich. Cykl 70 letni sosny Sztokholm cechują minima w pobliżu lat: 1757, 1827, 1897, 1967, 2037 i maksima w latach: 1722, 1792, 1862, 1932, 2002, 2072.

## Korelacja rocznych przyrostów sosny

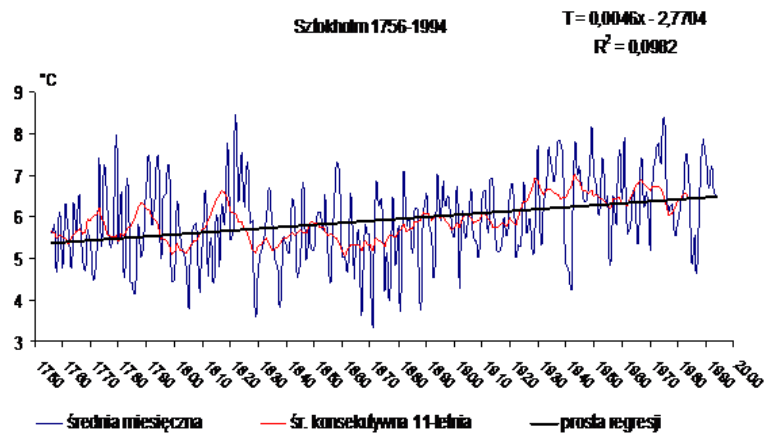
Porównano zmiany temperatury powietrza i rocznych przyrostów sosny w Sztokholmie (zima, rok, VI-IX) – rys. 9,10,11. W celu zbadania, czy dynamika przyrostów sosny zwyczajnej na analizowanych stanowiskach, ma podobną tendencję wyznaczono liniową korelację przyrostów rocznych. Pomiędzy przyrostami radialnymi w Sztokholmie i w Parku Narodowym Muddus wystąpiła korelacja ujemna, $R = -0{,}012$ (prawie zerowa).



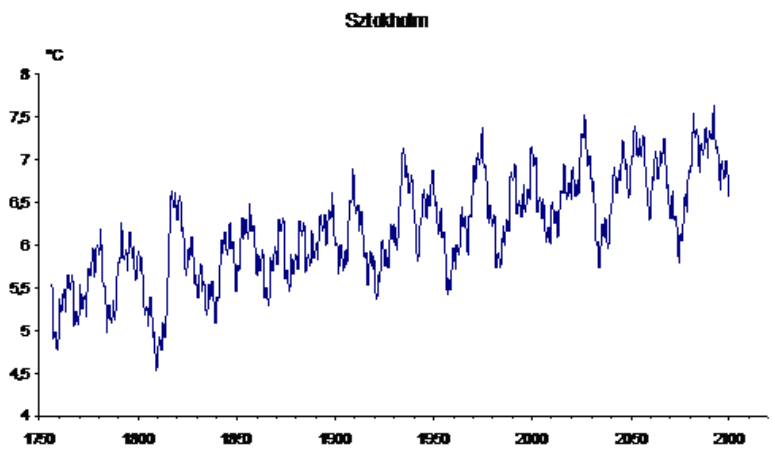

**Rys. 1.** Widmo liczb Wolfa w latach 1700-2002



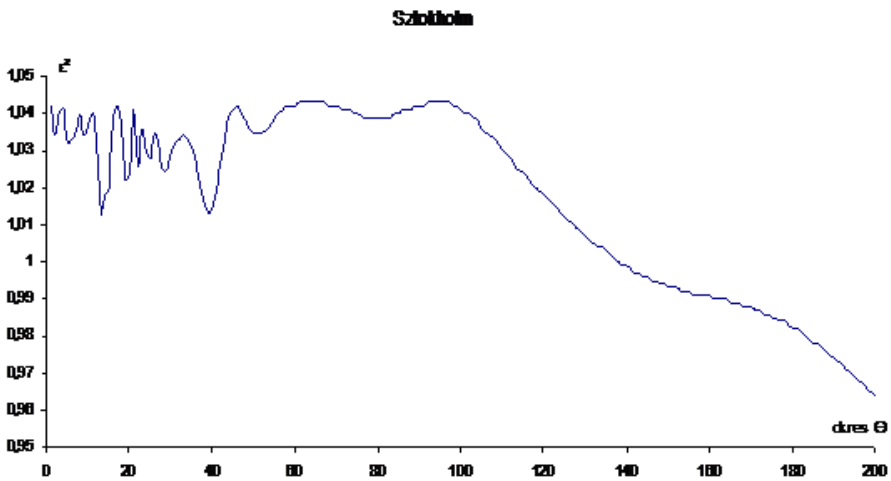

**Rys. 2.** Widmo temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1756-1994 – Rok



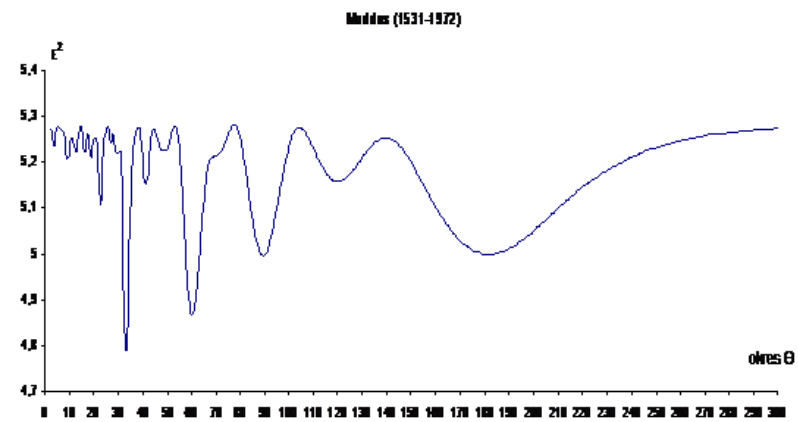

**Rys. 3.** Zmiany temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1756-1994 – Rok



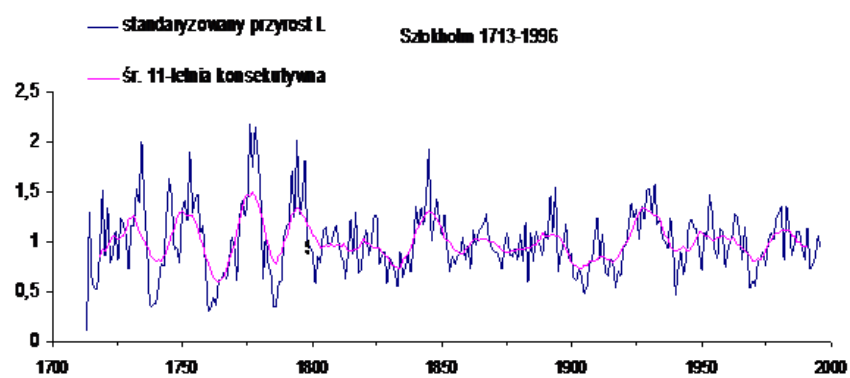

**Rys. 4.** Prognoza temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1756-2100 – Rok



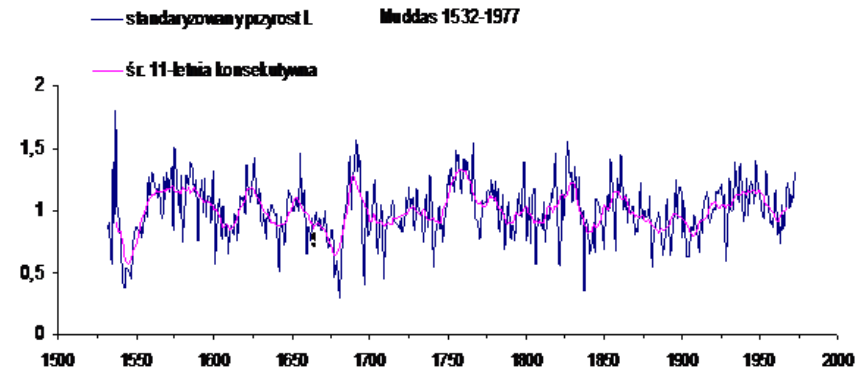

**Rys. 5.** Widmo szerokości słoi sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) w Sztokholmie (1713-1996)



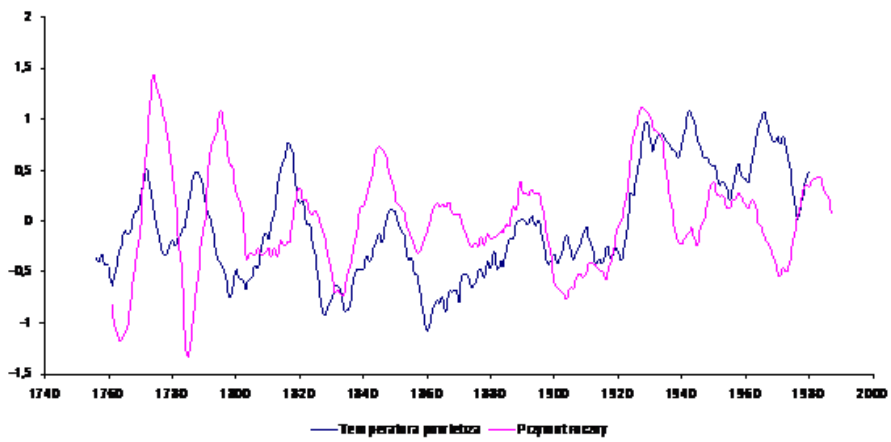

**Rys. 6.** Widmo szerokości słoi sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) w Muddus (1531-1972)



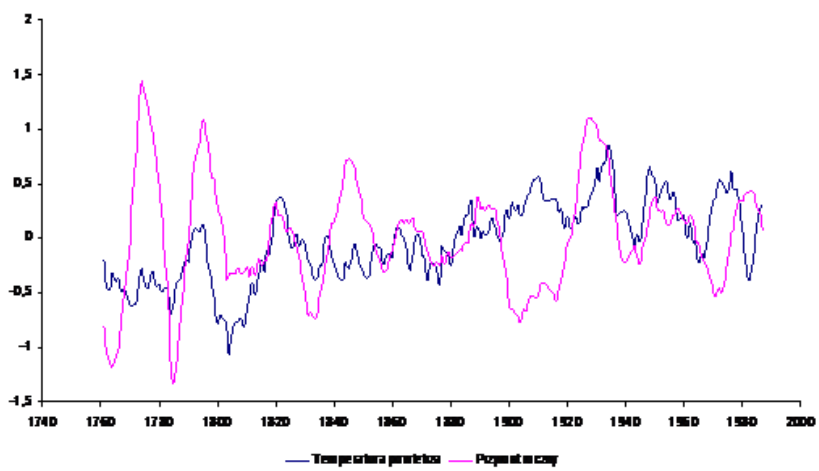

**Rys. 7.** Zmiany szerokości słoi sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) w Sztokholmie w latach 1713-1996



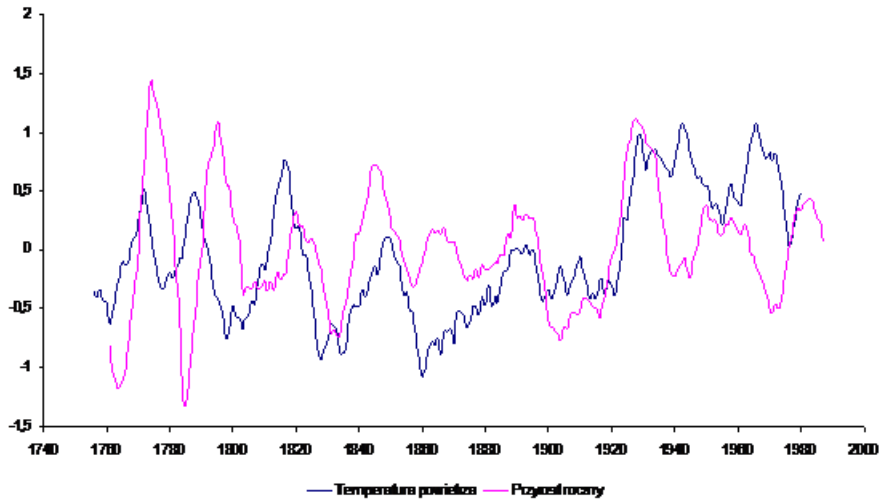

**Rys. 8.** Zmiany szerokości słoi sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) w Muddus w latach 1531-1972




**Rys. 9.** Zmiany temperatury powietrza i rocznych przyrostów sosny w Sztokholmie – **Zima**




**Rys. 10.** Zmiany temperatury powietrza i rocznych przyrostów sosny w Sztokholmie – Rok




**Rys. 11.** Zmiany temperatury powietrza i rocznych przyrostów sosny w Sztokholmie (VI-IX)

# VIII. WSPÓŁCZESNE ZMIANY KLIMATU W PUBLIKACJACH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO

## 8.1. Ocieplenie klimatu miast Europy w XVII-XX wieku i jego przyczyny

Jerzy B O R Y C Z K A, Maria S T O P A - B O R Y C Z K A,
Elżbieta B Ł A Ż E K, Jan S K R Z Y P C Z U K

### Tendencje wiekowe temperatury powietrza

Zmiany wiekowe temperatury powietrza w strefach: umiarkowanej, polarnej i okołorównikowej określono w *Atlasie współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*:

- Tom XI – *Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie* (Boryczka J, Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1998)
- Tom XVII – *Mroźne zimy i upalne lata w Polsce* (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Kirschenstein M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2003)
- Tom XIX – *Cechy termiczne klimatu Europy* (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Pietras K., Bijak S., Błażek E., Skrzypczuk J., 2005)
- Tom XX-XXI – *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych* (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Bijak Sz., Cebulski R., Błażek E., Skrzypczuk J., 2007).

Badano najdłuższe ciągi chronologiczne temperatury powietrza, najpierw w 8 miejscowościach, zlokalizowanych w Europie Środkowej i Zachodniej (t. XI). Długość serii pomiarowych sięga ponad 300lat w Anglii Środkowej (1659-1973, 315 lat), ponad 200 lat w Genewie (1768-1980), Warszawie (1779-1990), i Pradze (1771-1980), ponad 100 lat w Krakowie (1826-1990, Wrocławiu (1851-1980), Zurychu (1864-1980) i Poczdamie (1893-1992, 100 lat).

Postępem badań tendencji klimatu miast Europy w pierwszej dekadzie XXI wieku w odniesieniu do drugiej połowy XX wieku jest wyznaczenie współczynników regresji temperatury powietrza względem czasu ($T=A_0+At$) dla 40 miejscowości w Europie w zimie i lecie (t. XVII), w styczniu i lipcu (t. XIX) i roku (t. XX-XXI).

Badano także (Boryczka, 1993) serie pomiarowe temperatury powietrza w innych szerokościach geograficznych – na Spitsbergenie (1912-1985) i w Colombo (1869-1980).

### Charakterystyka najdłuższych ciągów chronologicznych

Dokładniej scharakteryzowano tylko najdłuższą serię pomiarów **w Anglii Środkowej tzw. „Manley'a"** opracowaną przez profesora Uniwersytetu Londyńskiego Gordona Manley'a. Posługując się tak długą i niejednorodną serią pomiarów wskazane jest podanie – za autorem – miejscowości (rys. 1) i przedziałów czasu oraz metod na podstawie których powstał ten najdłuższy ciąg chronologiczny. Pierwsza wersja tej serii ukazała się w 1953 roku i zawierała dane z lat 1699-1952. Dwadzieścia lat później została ona wydłużona zarówno o lata wcześniejsze jak te późniejsze do przedziału czasu 1659-1973 r.

Niejednorodność serii polega na złożeniu danych z różnych miejscowości i lat i utworzeniu jednego ciągu pomiarów temperatury powietrza. G. Manley (1974) uważał, że

wczesne lata tej serii tj. sześć dekad do 1720 roku należy traktować bardzo ostrożnie, gdyż są one przybliżone. Autor uzupełnił niepełne serie innymi, a także danymi z diariuszy opisów stanu pogody. Odmienne też były ekspozycje instrumentów pomiarowych i czułości ówczesnych termometrów. Różne terminy wykonywania pomiarów przez obserwatorów nie ułatwiały też ujednolicenia danych. Dlatego też obliczone średnie wartości temperatury powietrza z pierwszych 12 lat zaokrąglone są do 1°C, a, następne (do 1720 roku) – do 0,5°C.

Podstawą do opracowania tej serii były średnie miesięczne wartości temperatury powietrza z lat 1815-1952, otrzymane na podstawie obserwacji z Obserwatorium Rad cliffe'a w Oxford i z Lancashire (skąd wzięto pod uwagę dane z 4-7 stacji, sprowadzone do wspólnego poziomu). Serie z lat 1815-1952 ujednolicono poprzez proste uśrednienie (średnie arytmetyczne) wartości temperatury powietrza z tych dwóch ośrodków (Oxford-Lancashire).

| | |
|---|---|
| 1815-1973 | Średnie miesięczne z Oxford (Obserwatorium Radcliffe'a) i Lancasthire (z 4-5 stacji w płn-zach. części hrabstwa) |
| 1799-1814 | Średnie miesięczne z Londynu, Sulford (od 1807 r. Stroud, Derby, South Kyme oraz Lancashire i Edynburga |
| 1793-1798 | dane ze stacji powyższych uzupełnione przez obserwacje z Lyndon |
| 1786-1792 | Powyższe stacje, oprócz Stroud i Derby |
| 1771-1785 | Te same stacje, uzupełnione przez Stroud oraz Greenwich |
| 1764-1770 | Edynburg, Greenwich, Exeter i Lancashire – wartości otrzymane z pomiarów z pomiarów, poprawione do średnich z Oxford – Lancashire – nazwanych przez autora „RL" |
| 1754-1763 | Średnie miesięczne z Londynu, Exeter (od 1775 r) oraz Lancashire poprawione do średnich „RL" |
| 1753 | Średnie miesięczne z Londynu 748-1752 Londyn i Plymouth (po zredukowaniu większych błędów dane sprowadzono do średnich„ RL") |
| 1748-1752 | Londyn i Plymouth (pozredukowaniu wiekszych błędów dane sprowadzane do średnich „RL" |
| 1745-1747 | Powyższe stacje i Londyn (tylko średnie ekstremalne) |
| 1728-1744 | Średnie z Londynu, Plymouth i Lyndon (tylko średnie ekstremalne) sprowadzone do serii„ RL" i przystosowane do kalendarza Gregoriańskiego |
| 1723-1728 | Londyn, Halifax i Plymouth (dane liczbowe częściowo oparte opisami stanów pogody z diariuszy) |
| 1707-1722 | Utrecht (dane te poparto zapiskami o stanach pogody, datach rozpoczęcia różnych prac polowych, zjawiskach ekstremalnych itp.) |
| 1699-1706 | Upminster i Greenwich (dane z tych stacji zostały porównane między sobą) |
| 1670-1698 | Z tego okresu zachowało sic bardzo niewiele serii pomiarowych, są one na ogół krótkie i często z brakami: do najważniejszych tu wykorzystanych należą serie pomiarowe Downersa (1680-1694) i Conyersa (1673-1680) z Londynu. Zostały one uzupełnione przez nieinstrumentalne obserwacje stanów pogody, głównie z Londynu. |
| 1659-1669 | Są to wykonane przez Manley'a obliczenia i porównania ich z obserwacjami Hooke'a wykonanymi między kwietniem 1672 a majem 1673. Okres ten częściowo tylko pokrywa się z serią pomiarów z Oxford wykonanych przez J. Locke'a (marzec 1666) |
| Kwiecień 1667 | Do obliczenia średnich wartości temperatury powietrza autor wykorzystał te obserwacje nieinstrumentalne z Gadbury, Stockwell o Oxford oraz innych miejscowości (rys. 1) |

**Rys. 1.** Obszar pomiarów meteorologicznych ciągu chronologicznego Manley'a

W latach 1659-1669 są to wykonane przez Manley'a obliczenia i porównania ich z obserwacjami Hooke'a wykonanymi między kwietniem 1672 a majem 1673. Okres ten częściowo tylko pokrywa sic z serią pomiarów z Oxford wykonanych przez J. Locke'a (marzec 1666, kwiecień 1667), Do obliczenia średnich wartości temperatury powietrza autor wykorzystał te obserwacje nieinstrumentalne z Gadbury, Stockwell o Oxford oraz innych miejscowości. Manley ujednolicił te serie poprzez poprawianie poszczególnych krótszych ciągów – do serii Oxford-Lancashire.

Polegało to głównie na porównywaniu danych z poszczególnych ciągów z ciągiem„ RL" i obliczaniu średnich odchyleń od tej serii (średnie arytmetyczne). Następnie tak obliczoną średnią różnicę dodano do fragmentów serii„ RL" z różnych okresów, mających podobne cechy termiczne do badanego ciągu.

Podsumowując należy podkreślić, że seria Manley'a jest niejednorodna. Szczególnie pierwsze jej kilkadziesiąt lat stanowią dane często wprowadzane na podstawie obserwacji nieinstrumentalnych, poparte tylko w części przez pomiary instrumentalne. Mimo to, ciąg chronologiczny Manley'a, jako najdłuższa seria pomiarów temperatury powietrza (od 1659 r.) jest wartościowym materiałem w badaniach długookresowych zmian klimatu. Ze względu na wykorzystanie w pracy serii opracowanej przez Manley'a – nie pochodzącej z jednej miejscowości – przedstawiono rozmieszczenie punktów pomiarowych na terenie Anglii Środkowej. Pomimo, ze wykorzystane były pomiary również z takich miast, jak Plymuth i Exeter w Devonshire, Edynburga w Szkocji i Utrechtu w Holandii, to jednak większość stacji pomiarowych skupionych było w obrębie Anglii Środkowej.

Pierwsze instrumentalne **pomiary temperatury w Polsce rozpoczęto w Warszawie w grudniu 1654 r. lub na początku 1655 r. w ramach florentyńskiej sieci meteorologicznej.** Przypuszcza się, iż były one wykonywane na terenie klasztoru Ojców Jezuitów lub w pobliżu niego na Starym Mieście (Rojecki,1968).Do naszych czasów zachował się tylko fragment tej serii pomiarów, obejmującej zaledwie kilka dni tj. od 10 do 16 maja 1655 r. (odnaleziony na początku lat sześćdziesiątych bieżącego wieku we Florencji).

Następną serię pomiarów temperatury powietrza zawdzięczamy Francuzom. J. E. Guettard (przyrodnik, członek Królewskiej Akademii Nauk w Paryzu) prowadził obserwacje od 1 lipca 1760 r. do 5 maja 1762 r., a ks. J. Delsuc – od 6 maja 1762 r. do 31 marca 1763 r. (Rojecki, 1968). Pełną serię pomiarów temperatury powietrza publikował J. E. Guettard w Paryżu w 1768 r.

Wyniki późniejszych pomiarów temperatury powietrza (rozpoczętych prawdopodobnie w 1776 r. – Michalczewski, 1979) zachowały się do naszych czasów od 1 stycznia 1779 r. Zawdzięczamy je ks. Jowinowi Fryderykowi Bończy-Bystrzyckiemu (1737-1821), wychowankowi Akademii Wileńskiej, astronomowi nadwornemu Króla Stanisława Augusta. Prowadzili je codziennie od 31 grudnia 1778 r. przez 21 lat. Pomiary te były początkiem serii systematycznych pomiarów temperatury powietrza w Warszawie – najdłuższej w Polsce, trwających z małymi przerwami do chwili obecnej. Kontynuatorem pomiarów temperatury powietrza w Warszawie (przy ul. Piwnej 47) był Antoni Szeliga-Magier (1762-1837) – profesor Liceum Warszawskiego (Rojecki, 1968). Prowadził on te pomiary z wielkim zamiłowaniem i bezinteresownie przez 26 lat tj. od 1 stycznia 1803 r. do 31 grudnia 1828 r.

Oryginalne zapisy wyników pomiarów prowadzonych przez F. Bystrzyckiego i A. Magierę znajdują sic obecnie w archiwum IMGW w Warszawie. Po przerwaniu obserwacji przez A. Magierę, pomiary temperatury powietrza prowadził K. J. Skrodzki, profesor fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

W dniu 20 listopada 1825 r. (jeszcze w okresie, kiedy pomiary wykonywał Magiera) rozpoczęto w Obserwatorium Astronomicznym w Warszawie ciągle pomiary temperatury powietrza, które prowadzone są do dnia dzisiejszego (w tym samym miejscu).

Rozpoczął je Jan Baranowski (i prowadził do 1835 r.), a kontynuował Adam Pramowski do roku 1850 i Berkiewicz (Parczewski, 1948). Od 1886 r. W Warszawie funkcjonowała druga stacja meteorologiczna przy Muzeum Przemysłu i Rolnictwa (Lipska, 1988) – jednoczesnych pomiarów. Obszerną informację o warszawskiej serii pomiarów temperatury powietrza można znaleźć w publikacji K. Kożuchowskiego (1990). Średnie mie-

sięczne wartości temperatury powietrza w Warszawie w lat ach 1779-1990 (serię homogenizowaną od 1901 roku przez H. Lorenc) zawiera załącznik 2 w XIV t. Atlasu.

## Tendencje temperatury powietrza w miastach Europy

Tendencje wiekowe temperatury powietrza $\partial T/\partial t = A$ – średnie w przedziałach czasu $0 < t < t_n$ określają współczynniki regresji $A$ trendów liniowych $T = A_0 + At$. Oprócz równań prostych regresji, wyznaczono wartości współczynnika korelacji $r$ (Pearsona), z wzoru: $r = (1 - \varepsilon^2 s^{-2})^{0,5}$, gdzie: $s^2$ — wariancja temperatury powietrza, $\varepsilon^2 = n^{-1}\sum\varepsilon^2_i$ – wariancja resztkowa, $\varepsilon_i = T_i - A_0 - At_i$. Jeżeli $A < 0$, to należy współczynnikom korelacji ($r$) przyporządkować znak,, minus". Weryfikacji współczynników korelacji $r$ dokonano testem Fishera-Snedecora o 1 i $n - 2$ stopniach swobody na poziomie istotności 0,05. Trzeba też zachować ostrożność w porównaniach tendencji $A$ z różnych przedziałów czasu. (tab. 1).

**Tabela 1.** Tendencje wiekowe $A$ temperatury powietrza w miastach Europy

| | Poczdam. | Warszawa | Kraków | Wrocław | Praga | Zurych | Genewa | Anglia |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | 1,15 | 1,72 | -0,61 | 0,44 | 0,84 | 0,74 | 0,38 | 0,38 |
| II | 0,50 | 1,14 | -0,07 | 0,05 | 0,25 | 0,29 | -0,36 | 0,27 |
| III | 1,01 | 1,45 | 0,61 | 0,50 | 0,87 | 0,37 | 0,35 | 0,30 |
| IV | 0,79 | 0,85 | 0,35 | -0,01 | -0,77 | -0,20 | 0,40 | 0,22 |
| V | 0,43 | 0,69 | 0,13 | -0,44 | -0,57 | -0,53 | 0,66 | 0,11 |
| VI | 0,26 | 0,07 | -0,51 | -0,09 | -1,00 | -0,23 | 0,63 | 0,00 |
| VII | 0,19 | 0,34 | -0,73 | -0,16 | -1,08 | -0,08 | 0,64 | 0,03 |
| VIII | -0,04 | 0,46 | -0,74 | -0,40 | -0,47 | -0,24 | 1,40 | -0,02 |
| IX | 0,18 | 0,43 | -0,55 | -0,41 | -0,11 | 0,06 | 1,03 | 0,12 |
| X | 0,58 | 0,32 | -0,72 | -0,25 | 0,70 | 0,00 | 1,00 | 0,24 |
| XI | 1,11 | 1,64 | 1,44 | 0,40 | 0,60 | 0,32 | 1,25 | 0,20 |
| XII | 1,36 | 1,96 | 1,00 | 0,26 | 1,05 | 0,47 | 0,62 | 0,32 |
| Zima | 1,03 | 1,38 | 0,12 | 0,25 | 0,64 | 0,51 | 0,10 | 0,32 |
| Wiosna | 0,79 | 0,99 | 0,37 | 0,00 | -0,15 | -0,12 | 0,50 | 0,21 |
| Lato | 0,13 | 0,32 | -0,70 | -0,25 | -0,90 | -0,19 | 0,92 | 0,01 |
| Jesień | 0,66 | 0,81 | 0,05 | -0,11 | 0,38 | 0,14 | 1,11 | 0,19 |
| X-III | 1,00 | 1,37 | 0,29 | 0,22 | 0,65 | 0,37 | 0,53 | 0,29 |
| IV-IX | 0,31 | 0,48 | -0,37 | -0,27 | -0,70 | -0,20 | 0,81 | 0,08 |
| I-X1I | 0,66 | 0,93 | -0,04 | -0,03 | 0,03 | 0,08 | 0,66 | 0,18 |

Tendencji wiekowych wyznaczonych na podstawie danych z rożnych przedziałów czasu $0 < t \leq t_n$ nie można porównywać. Można jednak ogólnie stwierdzić, ze są one dodatnie prawie we wszystkich miejscowościach. Świadczy to o postępującym ociepleniu klimatu Europy (i Polski). Szczególnie zimy są coraz cieplejsze: w Warszawie o 1,03°C/100 lat, Krakowie o 1,38°C, Wrocławiu o 0,12°C, Pradze o 0,2°C, Zurychu o 0,64°C, Genewie o 0,51°C, Poczdamie o 0,10°C i Anglii środkowej o 0,32°C/100 lat.

Inaczej jest w lecie. Tendencja wiekowa temperatury powietrza w porze letniej jest w niektórych miejscowościach dodatnia $A > 0$ a w innych ujemna $A < 0$. Lata są coraz cieplejsze: w Warszawie o 0,13°C/100 lat, Krakowie o 0,32°C, Poczdamie o 0,92°C a coraz chłodniejsze – we Wrocławiu o 0,70°C/100 lat, Pradze o 0,25°C, Zurychu o 0,90°C

i Genewie o 0, 19°C/100 lat. Średnia tendencja wiekowych zmian temnperatury powietrza w lecie jest zerowa ($A = 0{,}01$ – nieistotna statystycznie na poziornie istotności 0,05).

Średnia roczna temperatura powietrza wzrasta: w Warszawie – o 0,66°C/100 lat, Krakowie – o 0,93°C, Poczdamie – o 0,66°C i Anglii środkowej – o 0, 18°C/100 lat. W pozostałych rniejscowościach, współczynniki regresji $A$ są bliskie zera i nieistotne statystycznie. Klimat Warszawy w latach 1779-1990 ocieplał się średnio o 0,66°C/100 lat. Tendencję rosnącą temperatury powietrza w Warszawie określa równanie prostej regresji $T = 6{,}915 + 0{,}006572t$ – o współczynniku korelacji $r = 0{,}57$.

Na przykład półrocza ciepłe (IV-IX) są coraz cieplejsze: w Warszawie – o 0,31°C/100 lat, Krakowie – o 0,48°C/100 lat, Poczdamie – o 0,81°C/100 lat, Anglii Środkowej – o 0,08°C/100 bat (nieistotne statystycznie). Natomiast są one coraz chłodniejsze: we Wrocławiu – o 0,37°C/100 lat, w Pradze o 0,27°C/100 lat, w Zurychu – o 0,70°C/100 lat, Genewie o 0,20°C/100 lat.

O globalnym ociepleniu świadczy najlepiej przewaga dodatnich tendencji ($A > 0$) zmian temperatury powietrza w 40 miejscowościach w Europie (styczeń, zima, lipiec, lato, rok) – tab. 2.

Na przykład tendencje temperatury powietrza w Moskwie w latach 1880-2002 wynoszą: styczeń – $A = 3{,}54$°C/100 lat, zima – $A = 3{,}11$°C/100 lat, lipiec – $A = 0{,}92$ C/100 lat, lato – $A = 1{,}15$°C/100 lat, rok – $A = 0{,}68$°C/100 lat.

Podobnie jest w innych szerokościach geograficznych – w strefie polarnej (Spitsbergen, 1912-1985) i okołorównikowej (Colombo, 1869-1980). Tendencje wiekowe temperatury powietrza w tych szerokościach geograficznych zestawiono w tab. 3.

W strefie równikowej efekt cieplarniany powinien być największy, ze względu na ogromne i1ości energii słonecznej, dochodzącej do powierzchni Ziemi. Jednakże w Colombo w latach 1869-1980 obserwuje się na ogol postępujące ochłodzenie zwłaszcza na wiosnę – o 0,26°C/100 lat i jesieni – o 0,17°C/100 lat.

Średnia roczna temperatura powietrza prawie nie uległa zmianie ($A = -0{,}09$°C/100 lat). Mimo krótkiej serii pomiarów, na Spitsbergenie (97 lat) także współczynnik regresji $A$ zmienia znak w ciągu roku – od $A = 5{,}88$°C/100 lat (w marcu) do $A = -1{,}55$°C/l00 lat (w czerwcu).

Globalne ocieplenie klimatu w ostatnich stuleciach jest prawdopodobnie wywołane wzrostem aktywności Słońca i spadkiem aktywności wulkanicznej na Ziemi (mniejsza absorpcja promieniowania słonecznego w atmosferze przez pył wulkaniczny).

Tendencje aktywności Słońca (liczb Wolfa, $W$), aktywności wulkanicznej ($I = DVI/\Delta t$, $DVI$ – dust veil index H.Lamba), odstępu czasu między kolejnymi erupcjami $\Delta t$ i dyspersji masy w Układzie Słonecznym $Bz$ (względem płaszczyzny ekliptyki) w tym samym przedziale czasu (od 1779 r.) opisują równania prostych regresji w tab. 4.

Aktywność Słońca zależy od wypadkowej siły grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce. Jej wzrost w latach 1779-1993 o 15,3/100 lat może być spowodowany coraz większą koncentracją masy (planet) w płaszczyźnie ekliptyki (maleje dyspersja masy $B_z$) – ujemny współczynnik regresji.

Aktywność Słońca w latach 1779-1993 wzrastała średnio 15,3 na 100 lat, a aktywność wulkaniczna – malała o 49 $DVI$/rok 100 lat. Ponadto odstępy czasu $\Delta t$ między kolejnymi erupcjami wulkanicznymi wydłużyły się. Wiadomo, ze minimum absolutne temperatury

powietrza przypada na najsłabszy cykl jedenastoletni aktywności Słońca (1811-1823) i na maksimum aktywności wulkanicznej.

**Tabela 2.** Tendencje zmian temperatury powietrza $\partial T/\partial t = A$ w 40 miastach Europy (°C/100 lat)

| Miejscowość | Okres | Styczeń | Zima | Lipiec | Lato | Rok |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Akureyri | 1882-2002 | 1,27 | 1,31 | 0,30 | 0,60 | 1,08 |
| Anglia Środkowa | 1660-1973 | 0,38 | 0,32 | 0,33 | 0,01 | 0,18 |
| Ateny | 1858-2002 | 0,64 | 0,65 | 0,19 | 0,32 | 0,18 |
| Bazylea | 1755-1980 | 0,90 | 0,75 | 0,00 | 0,07 | 0,38 |
| Berlin | 1769-1990 | 1,12 | 0,32 | 0,33 | -0,39 | 0,13 |
| Budapeszt | 1780-1991 | 0,59 | 0,70 | -0,46 | -0,52 | 0,07 |
| Genewa | 1768-1980 | 1,23 | 0,51 | 0,08 | -0,40 | 0,51 |
| Greenwich | 1763-1969 | 1,23 | 0,78 | 0,28 | 0,23 | 0,52 |
| Innsbruck | 1777-2000 | 2,03 | 1,29 | 0,79 | 0,60 | -0,38 |
| Kijów | 1812-2000 | 1,10 | 1,83 | 0,44 | 0,47 | 0,73 |
| Kopenhaga | 1768-1991 | 1,10 | 1,08 | 0,01 | 0,36 | 0,,53 |
| Kraków | 1827-1997 | 1,71 | 1,48 | 0,33 | 0,31 | 0,85 |
| Kremsnuenster | 1767-198 I | 1,26 | 0,65 | -0,51 | -0,47 | 0,10 |
| Lwów | 1824-2002 | 0,53 | 0,53 | 0,20 | -0,22 | 0,20 |
| Marsylia | 1838-2002 | -0,32 | -0,20 | 1,28 | 1,10 | 0,16 |
| Mińsk | 1891-2002 | 1,96 | 1,58 | -0,15 | 0,58 | 1,02 |
| Monachium | 1781-1991 | 0,09 | 0,04 | -0,08 | -0,17 | 0,05 |
| Moskwa | 1880-2002 | 3,54 | 3,11 | 0,92 | 1,15 | 0,68 |
| Odessa | 1821-2002 | 1,65 | 1,84 | -0,42 | -0,16 | 0,40 |
| Oksford | 1828-1980 | 0,73 | 0,47 | 0,35 | 0,41 | 0,57 |
| Oslo | 1816-1991 | 0,62 | 0,26 | 0,53 | 0,44 | 0,48 |
| Paryż | 1757-1995 | 0,83 | 0,40 | -0,38 | -0,50 | 0,09 |
| Poczdam | 1884-1992 | 0,38 | 0,10 | 0,64 | 0,29 | 0,66 |
| Praga | 1771-2002 | 0,04 | -0,35 | -1,13 | -1,17 | -0,80 |
| Ryga | 1795-1990 | 0,32 | 0,10 | 0,57 | 0,57 | -0,62 |
| Rzym | 1811-1991 | 0,36 | 0,35 | -0,08 | -0,10 | 0,09 |
| Saentis | 1883-1988 | 0,31 | 0,80 | 0,13 | 0,23 | 0,50 |
| Sonnblick | 1921-1980 | -0,35 | 0,93 | -1,70 | -0,32 | 0,34 |
| Stambul | 1839-2002 | -0,42 | 0,99 | -0,35 | 1,46 | -0,18 |
| Sztokholm | 1756-1994 | 1,12 | 0,86 | -0,11 | -0,08 | 0,43 |
| TaIlinn | 1779-2002 | 1,36 | 1,18 | 0,06 | 0,03 | 0,58 |
| Trondhejm | 1761-1981 | 0,70 | 0,60 | 0,60 | -0,48 | 0,12 |
| Uppsala | 1739-1970 | -0,04 | -0,36 | 0,63 | 0,67 | 0,28 |
| Vestman. | 1884-1981 | -0,26 | 0,04 | -2,48 | -2,26 | -0,95 |
| Warszawa | 1779-1998 | 1,36 | 1,12 | 0,15 | 0,06 | 0,55 |
| Wiedcń | 1775-2002 | 0,84 | 0,69 | -0,03 | -0,08 | 0,26 |
| Wilno | 1777-2002 | 0,51 | 0,42 | -0,63 | -0,55 | -0,05 |
| Wrocław | 1792-2002 | 1,10 | 0,69 | 0,34 | 0,25 | 0,52 |
| Zagrzeb | 1862-2002 | 1,40 | 1,36 | -0,25 | 0,16 | 0,60 |
| Zurich | 1864-1980 | 1,28 | 0,98 | -1,38 | -1,08 | 0,01 |

**Tabela 3.** Tendencje temperatury powietrza w strefie polarnej(Spitsbergen, 1920-1985) i okołorównikowej (Colombo, 1869-1980)

| | Spitsbergen | Colombo |
|---|---|---|
| I | 2,77 | 0,02 |
| II | 4,26 | -0,17 |
| III | 5,88 | -0,26 |
| IV | 4,40 | -0,32 |
| V | 2,58 | -0,17 |
| VI | -1,55 | 0,29 |
| VII | 0,10 | 0,06 |
| VIII | -0,06 | 0,17 |
| IX | 1,68 | 0,00 |
| X | 1,87 | -0,17 |
| XI | 3,61 | -0,29 |
| XII | 0,04 | -0,07 |
| Zima | 1,74 | -0,10 |
| Wiosna | 3,75 | -0,26 |
| Lato | -0,68 | 0,17 |
| Jesień | 1,96 | -0,17 |
| X-III | 2,79 | -0,18 |
| IV-IX | 0,84 | 0,00 |
| I-XII | 1,60 | -0,09 |

**Tabela 4.** Równania prostych regresji: $W$, $I$, $\Delta t$, $B_Z$ względem czasu $t$ ($r$ – współczynnik korelacji)

| | |
|---|---|
| $W=24{,}23+0{,}15296t$ | $r=0{,}31$ |
| $I=258{,}31-0{,}49066t$ | $r=-0{,}21$ |
| $\Delta t=1{,}72+0{,}019t$ | $r=0{,}22$ |
| $B_z=0{,}123-0{,}0001105t$ | $r=0{,}25$ |

Tendencje wiekowe (rosnące i malejące) temperatury powietrza w tych miejscowościach Europy nie wspierają hipotezy o globalnym ociepleniu klimatu jako efektu cieplarnianego, wynikającego ze wzrostu zawartości gazów szklarniowych w atmosferze (głównie $CO_2$). Hipotezie tej przeczą cykl roczny i przestrzenne zróżnicowanie tendencji wiekowych ($A$) temperatury powietrza w Europie.

Tendencje wiekowe ($A$) są przede wszystkim efektem interferencji naturalnych cykli temperatury powietrza w przedziałach obserwacyjnych $0<t\leq t_n$ – o długościach od kilku do ok. 200 lat.

Dość duże wartości współczynników regresji $A$ w miesiącach zimowych mogą być uwarunkowane czynnikami lokalnymi –„ miejskimi wyspami ciepła”. Mogą wynikać z coraz większej akumulacji ciepła przez zabudowę (tj. powierzchnie sztuczne o znacznie mniejszym albedo, głównie w zimie).

## 8.2. The influence of the north Atlantic Oscillations (NAO) on the climate of Warsaw and Lviv*

Jerzy B O R Y C Z K A, Bohdan M U C H A,
Maria S T O P A - B O R Y C Z K A, Jolanta W A W E R

### Abstract

The objective of the work is to determine the periodicity and trends of change in air temperature in Warsaw, and in Lviv in the time period of the 18th-20th centuries, together with the forecast for the years 2000-2100. There are interesting diagrams of the temporal changes of North Atlantic Oscillation (NAO) indicator and air temperature, with the forecast reaching the year 2100. The forecasts were obtained on the basis of interpretations of the Suns activity and NAO indicator cycles, determined with the method of "regression sinusoids". The fluctuations of the air temperature and North Atlantic Oscillation during winter in Warsaw and in Lviv are closely correlated.

The dominating influence on the climate of Europe is exerted by two primary centres of the atmospheric pressure field: the Azores High and the Icelandic Low. These two pressure centres, associated with the difference of temperature between the waters of the North Atlantic and the continent, are negatively correlated with one another. This is the so-called North Atlantic Oscillation, NAO. In the situations of a high meridional pressure difference, that is – a significant gradient of pressure directed towards the North, the air from above the Atlantic moves along the parallels from the West to the East – over the territory of Poland and Ukraine. The study referred to the NAO indicator as defined by P. D. Jones et al. (1997), that is – the standardised pressure difference at the sea level between Gibraltar and the South-West Iceland.

The strength of the correlation between the winter air temperature in Warsaw, in Lviv and the NAO indicator is demonstrated by the comparison of their correlation coefficients (Table 1).

**Table 1.** Correlation coefficients between of air temperature in Warsaw, in Lviv and the North Atlantic Oscillation (NAO) in 1825-2000 years

| | Warsaw | Lviv | | Warsaw | Lviv |
|---|---|---|---|---|---|
| January | 0,57 | 0,49 | July | 0,13 | 0,15 |
| February | 0,55 | 0,44 | August | 0,08 | 0,16 |
| March | 0,49 | 0,40 | September | 0,27 | 0,22 |
| April | 0,12 | 0,12 | October | 0,25 | 0,05 |
| May | 0,13 | -0,02 | Noveber | 0,38 | 0,20 |
| June | 0,13 | 0,05 | December | 0,41 | 0,33 |

The changes of North Atlantic Oscillation and air temperature in Warsaw, and in Lviv are shown in Fig. 1.

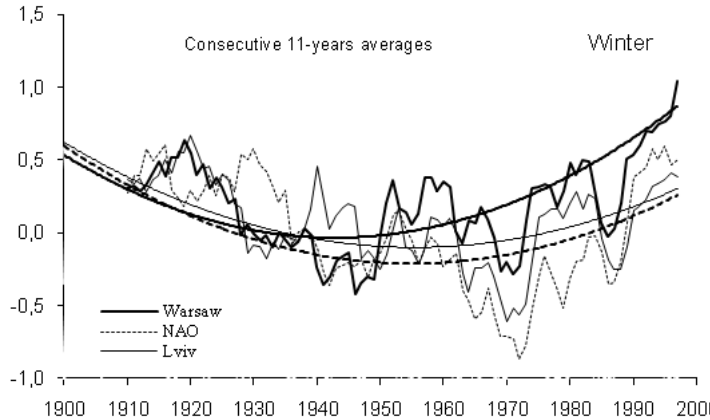



**Fig. 1**. The changes of air temperature in Warsaw, Lviv and NAO indicator in the years 1900-2000

The tendencies in the air temperature and NAO in years 1900-2000: $A(t)=\partial T/\partial t=A_1+2A_2t$ are defined by the regression equations ($t$ – time):

| $y=A_0+A_1t+A_2t^2$ | $t_{\min}$ |
|---|---|
| $T_W=0{,}00030897t^2-1{,}2006t+1166{,}2$ | 1942 |
| $T_L=0{,}00023464t^2-0{,}9177t+897{,}15$ | 1956 |
| $NAO=0{,}00026727t^2-1{,}045t+1021{,}3$ | 1955 |

In general, the air temperature in Warsaw and Lviv cities tends to decrease in the years 1900-1942, 1900-1956 ($A(t)<0$) and increase in the years 1943-2000, 1957-2000 ($A(t)>0$).

The North Atlantic Oscillation cities tends to decrease in the years 1900-1955 and increase in the years 1956-2000 ($A(t)>0$). The NAO indicator in the winter in years 1825-2000 is characterised by the periodicity with the cycle equal to a few, around 8 and around 100 years: 7.8, 105.2 years. It is interesting to compare the spectra: the air temperature during the winters in Warsaw, and in Lviv in the years 1900-2000 The spectra are characterised by a similar periodicity, with the dominant period of about 7.8 years. The similarity between the two spectra indicates that winters in Warsaw are shaped by periodic fluctuations of the NAO index (zonal circulation).

Their presence in almost all of the chronological series (of the monthly and seasonal values) witnesses to the fact that this periodicity is the property of the temperature field in Europe. The periods of the NAO indicator in winter is dominated, similarly as the periods of air temperature in Warsaw (8.3, 98.5 years), and Lviv (8.3, 19.3, 109,9 years).

The spectra and the cycles of air temperature (Fig. 2 and Fig. 3) and the NAO indicator were determined with the method of the "regression sinusoids": The "regression sinusoid" method developed by J. Boryczka (1998) consists in adjusting the results of the $y_1, \ldots, y_n$ measurements performed in time $t_1, \ldots, t_n$ (using the smallest square values) of consecutive sinusoids with presumed cycles, e.g. $\Theta=1, 2, \ldots, n$ (or 0,1; 0,2;.. ; $n$). the regression sinusoid equation (as termed by the author) with the cycle $\Theta$, amplitude $b$ and phase $c$:

$$y=a+b\sin(\omega t+c), \qquad \omega=2\pi\Theta^{-1}$$

The spectrum is a sequence of the values of residual variance $\varepsilon^2$, corresponding to the presumed cycles $\Theta$=0,1; 0,2;.. ; $n$. The cycles denote the local minimums $\Theta_{min}$ of the residual variance $\varepsilon^2_{min}$.

The changes of the air temperature in winter in Warsaw and Lviv are shown in Fig. 4. In the measurement intervals these are the values of the function approximating the function $T=f(t)$, while outside these intervals prediction values are given. The tendencies in the air temperature are defined by the linear regression equations $T=A_0+At$ (Warsaw – $A$=1.1°C/100 years, Lviv – $A$=0.7°C/100 years). The coefficients are usually positive ($A>0$, increasing tendencies).

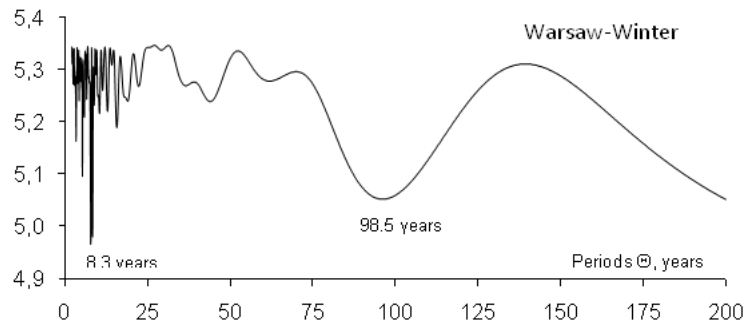



**Fig. 2.** The spectrum of air temperature in Warsaw in the years 1779-2000 (in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta$=0.1) – winter

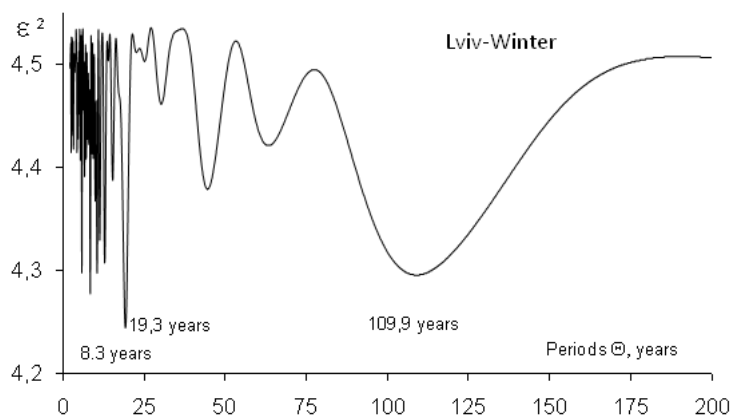



**Fig. 3** The spectrum of air temperature in Lviv in the years 1824-2002 (in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta$=0.1) – winter

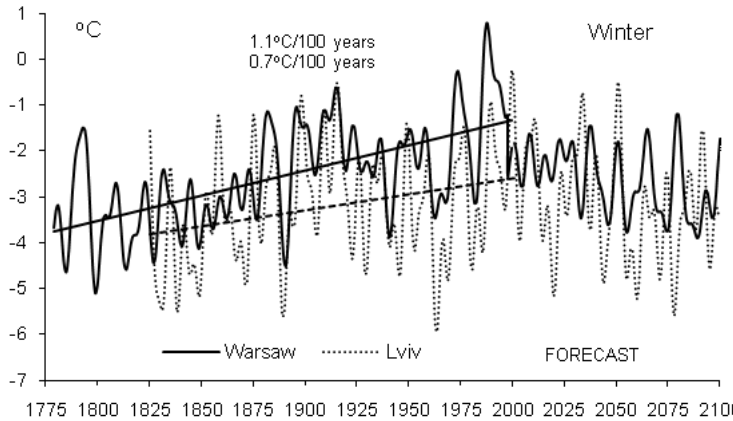



**Fig. 4**.The changes of air temperature in Warsaw in years 1779-2100, and in Lviv in years1824-2100. The forecast for 21st centuries

The forecast of air tepeperature in Warsaw, and Lviv, were obtained on the basis of interference of they cycles:

$$T=f(t)=a_0+\Sigma_j b_j \sin(2\pi t/\Theta_j+c_j),$$

where: $\Theta_j$ - periods, $b_j$- amplitudes, $c_j$ – phase.

The coldest winters in Warsaw, and in Lviv will occur most likely in the middle of this century: around the year 2050. They will be slightly milder than those in the beginning of the 19th century, because of the gradually larger contribution of the anthropogenic factors.

The progressing warming of the Earth's climate is mainly caused by natural factors, that is, the increasing solar activity. The aspects which testify to the predominance of natural factors include: synchronous changes in the average air temperature in the Europe: Paris, Berlin, Stockholm, Warsaw, Cracow, Prague,Vienna, Tallinn, Bazylea, Oxford in the years 1856-2000 (Fig. 5), the average consecutive 11-year Wolf numbers (Fig. 6).

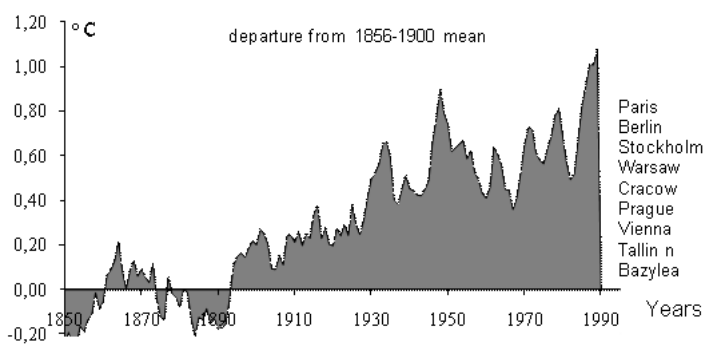



**Fig. 5.** Changes of air temperature in Europe (Paris, Berlin, Stockholm, Warsaw, Cracow, Prague,Vienna, Tallinn, Bazylea) in years1856-2000 (deviations from the average value for the years 1856-1900)

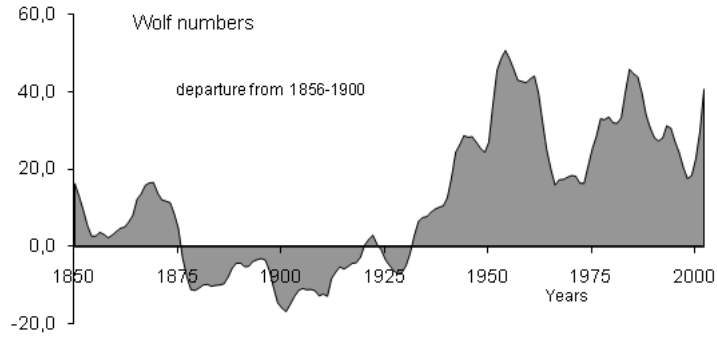



**Fig. 6.** Changes in solar activity (Wolf numbers) in years1856-2002 (deviations from the average value for the years 1856-1900)

Synchronous changes in the average air temperature in the Europe in the years 1856-2000and the average consecutive 11-year cycle Wolf numbers testify to the significant role that solar activity plays in the shaping of the Earth's climate.

Deviations from the average air temperature in the Europe in the years 1856-1900 until 1920 are as a rule negative, and after 1920 – positive. The years 1920-2000 are characterised by a significant warming, with the local minimum in the 1960s. The situation is similar in the case of average consecutive deviations relating to the Wolf numbers for 11-year cycles from the average value for 1856-1900. They are negative until 1925, and positive after 1925. The main local minimum of the temperature in the 1960s. is matched by the main local minimum for the Wolf numbers; the solar activity in 1925-2002 is also significantly greater than before 1925.

**References**

Bernes C., 2003, A Warmer World. The Greenhouse Effect and Climate Change, monitor 18, Swedish Environmental Protection Agency, SWE CLIM.

Boryczka J., 2003, Trends in Climate Change in Europe and Their Causes, in: Man and Climate in the 20th Century, (ed. J. L. Pyka et al.), Studia Geograficzne 75, Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.

Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski B., Kirschenstein M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2003, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce [Atlas of the Interrelationships of the Meteorological and Geographical Parameters in Poland; in Polish], v. XVII, Mroźne zimy i upalne lata w Polsce [Very Cold Winters and Very Hot Summers in Poland; in Polish], Wyd. UW, Warszawa.

Petit J. R., Jouzel J., Raynaud D. et al., 1999, Climate and Atmospheric History of the Past 420 000 Years from the Vostok Ice Core, Antarctica, Nature 399, p. 429.

*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 vol. 12, pp. 75-80 (przedruk)

## 8.3. Tendencje zmian klimatu Polski i Ukrainy w ostatnich stuleciach i ich przyczyny*

Jerzy B O R Y C Z K A, Bohdan M U C H A, Maria S T O P A - B O R Y C Z K A

### Wstęp

Celem pracy jest określenie tendencji zmian temperatury powietrza w Europie w XVIII-XX wieku ze szczególnym uwzględnieniem Polski i Ukrainy. Celem jest też określenie zależności temperatury powietrza od Oscylacji Północnoatlantyckiej i aktywności Słońca oraz prognozy zmian klimatu w XXI wieku.

Ostatnie największe ochłodzenia klimatu Europy wystąpiły w latach: 1600, 1700, 1830 tj. podczas minimów wiekowych aktywności Słońca i maksimów aktywności wulkanicznej. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu są kształtowane wahaniem dopływu energii słonecznej do powierzchni Ziemi, zależnej od stałej słonecznej i zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze – pochłaniających i rozpraszających promieniowanie słoneczne.

Na klimat Europy dominujący wpływ mają dwa ujemnie skorelowane centra pola ciśnienia atmosferycznego: Niż Islandzki i Wyż Azorski, związane z rocznymi wahaniami różnicy temperatury między wodą Atlantyku Północnego i lądem Europy (Oscylacja Północnoatlantycka – North Atlantic Oscillation, NAO). Jako miarę południkowego gradientu ciśnienia przyjęto wskaźnik NAO, zdefiniowany przez P. D. Jonesa i in. (1997). Jest to standaryzowana różnica ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza między Gibraltarem i południowo–zachodnią Islandią. Wartości wskaźnika NAO określają równoleżnikowy transport mas powietrza: w kierunku wschodnim – NAO > 0 i południkowym – NAO < 0.

### Uwarunkowania cyrkulacyjne klimatu Polski i Ukrainy

O dużej zależności pól temperatury powietrza w Polsce i Ukrainie od Oscylacji Północnoatlantyckiej w miesiącach zimowych świadczą duże wartości współczynnika korelacji *r*. Temperatura powietrza w latach 1825-2000 jest skorelowana dodatnio ($r>0$) ze zmianami NAO (tab. 1, podkreślono wartości istotne na poziomie 0,05 według testu Studenta).

**Tabela 1.** Współczynniki korelacji (*r*) temperatury powietrza w Europie i wskaźnika NAO w latach 1825-2000

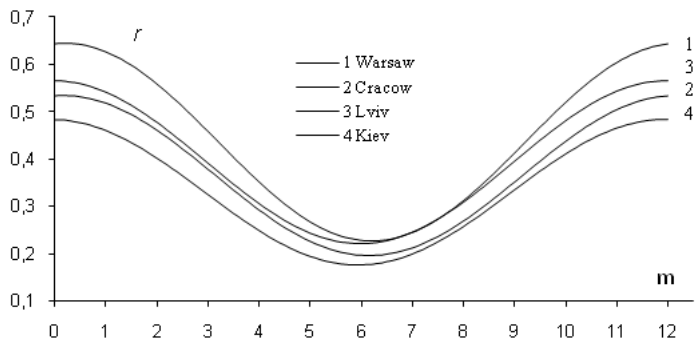
| Stations | I | II | IIII | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Warsaw | 0,57 | 0,55 | 0,49 | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,08 | 0,27 | 0,25 | 0,30 | 0,41 |
| Cracow | 0,52 | 0,38 | 0,44 | 0,11 | 0,16 | 0,12 | 0,12 | 0,10 | 0,30 | 0,19 | 0,31 | 0,38 |
| Lviv | 0,49 | 0,44 | 0,40 | 0,12 | -0,02 | 0,05 | 0,15 | 0,16 | 0,22 | 0,05 | 0,20 | 0,33 |
| Kiev | 0,40 | 0,35 | 0,34 | 0,05 | 0,01 | 0,02 | 0,06 | 0,04 | 0,14 | 0,08 | 0,17 | 0,17 |

Współczynniki korelacji *r* są znacznie większe w miesiącach zimowych niż letnich i maleją ze wzrostem odległości od Oceanu Atlantyckiego: Styczeń (Warszawa – $r=0{,}57$, Kraków – $r=0{,}52$, Lwów – $r=0{,}49$, Kijów – $r=0{,}40$); lipiec (Warszawa – $r=0{,}13$, Kraków – $r=0{,}12$, Lwów – $r=0{,}15$, Kijów – $r=0{,}06$).

Przebiegi roczne współczynnika korelacji *r* temperatury powietrza (*T*) z wskaźnikiem NAO w Polsce i Ukrainie dobrze są opisane równaniami sinusoid regresji ($0 \geq t \leq 1$):

| | |
|---|---|
| Warsaw | $r = 0{,}435 + 0{,}209\sin(2\pi t + 1{,}4636$ |
| Cracow | $r = 0{,}365 + 0{,}169\sin(2\pi t + 1{,}4924)$ |
| Lviv | $r = 0{,}393 + 0{,}173\sin(2\pi t + 1{,}6364$ |
| Kiev | $r = 0{,}330 + 0{,}154\sin(2\pi t + 1{,}6575)$ |

o amplitudach: 0,209, 0,169, 0,173, 0,154 i odpowiednich współczynnikach korelacji wielokrotnej $R$: 0,928, 0,889, 0,847, 0,928. Wykresy tych sinusoid o okresie 1 rok (rys. 1) cechują się maksimami w miesiącach zimowych i głębokimi minimami – w lecie.



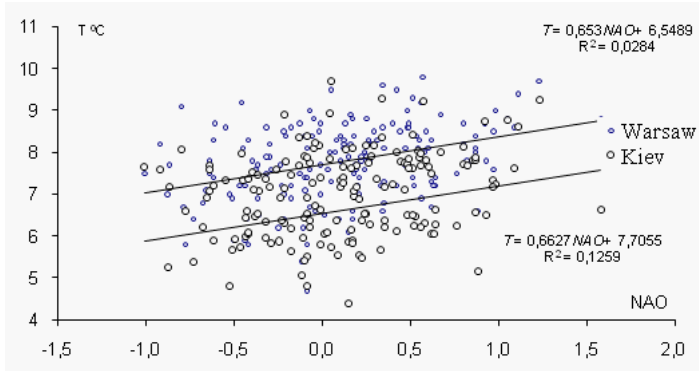

**Rys. 1**. Przebieg roczny współczynnika korelacji temperatury powietrza w Warszawie, Krakowie, Lwowie, Kijowie z wskaźnikiem Oscylacją Północnoatlantyckiej (NAO)
**Fig. 1**. The annual course of the correlation coefficient of air temperature in Warsaw, Cracow, Lviv and Kiev with the Atlantic Oscillation index (NAO)

Dodatnie wartości współczynnika korelacji ($r > 0$) świadczą, że zimy są cieplejsze przy większych gradientach południkowych ciśnienia, a chłodniejsze — przy mniejszych. Podczas intensywniejszej cyrkulacji strefowej (zachodniej) więcej ciepła akumulowanego w wodach Północnego Atlantyku jest przekazywana atmosferze.

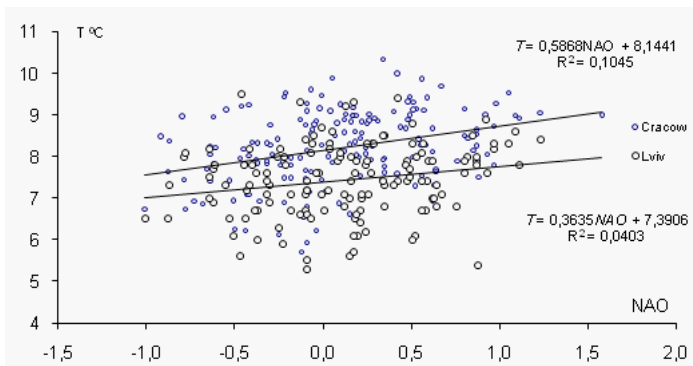
Związek pola średniej rocznej temperatury powietrza w Polsce i Ukrainie z wskaźnikiem NAO w latach 1825-2002 charakteryzują równania prostych regresji:

| | |
|---|---|
| Warsaw | $T = 0{,}663\ NAO + 7{,}706$ |
| Cracow | $T = 0{,}587\ NAO + 8{,}144$ |
| Lviv | $T = 0{,}366\ NAO + 7{,}391$ |
| Kiev | $T = 0{,}496\ NAO + 6{,}963$ |

o współczynnikach determinacji $R^2$: 12,59, 10,45, 4,03, 5,98 %. Ich wykresami są proste regresji na rys. 2a i 2b. Największymi współczynnikami regresji cechuje się temperatura powietrza w Warszawie (0,66) i Krakowie (0,59), a najmniejszymi w Kijowie (0,50) i Lwowie (0,37).




**Rys. 2a.** Zależność średniej rocznej temperatury powietrza w Warszawie i Kijowie od wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej NAO w latach 1825-2002
**Fig. 2a**. The interrelatioship between the mean annual air temperature in Warsaw and in Kiev and the North Atlantic Oscillation NAO in 1825-2002




**Rys. 2b**. Zależność średniej rocznej temperatury powietrza w Krakowie i Lwowie od wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej NAO w latach 1825-2002
**Fig. 2b.** The interrelatioship between the mean annual air temperature in Cracow and In Lviv and the North Atlantic Oscillation NAO in 1825-2002

## Okresowe zmiany temperatury powietrza w XVIII-XX wieku

Temperatura powietrza w Europie w XIX-XX wieku cechuje się okresowością około 8-, 11-, 100- i 180-letnią.

Cykle temperatury powietrza: okresy $\Theta$, amplitudy $b$, fazy $c$, wyznaczono metodą „sinusoid regresji" J. Boryczki (1998), zmieniając okres z odstępem $\Delta\Theta=0{,}1$ roku w przedziale 2,0–200 lat:

$$y=a+b\,\sin(2\pi t/\Theta+c)$$

Okresy ($\Theta$) – to minima lokalne ciągu wariancji resztkowej $\varepsilon^2$ (widma) tj. maksima współczynnika korelacji $R$.

W Europie dominuje około 8-letni okres temperatury powietrza o dużych amplitudach $\Delta T=2b$ (tab. 2).

**Tabela 2.** Okres 8-letni temperatury powietrza w Europie

| Stations | Winter | | Summer | | Year | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ |
| Warsaw | 8,3 | 1,59 | 7,1 | 0,66 | 7,8 | 0,56 |
| Cracow | 8,3 | 1,87 | 7,8 | 0,33 | 7,8 | 0,45 |
| Lviv | 8,3 | 1,30 | 7,9 | 0,56 | 7,9 | 0,45 |
| Kiev | 7,8 | 1,30 | 7,0 | 0,78 | 7,8 | 0,55 |

Amplitudy temperatury powietrza w cyklu około 8-letnim są prawie dwukrotnie większe w zimie (Warszawa – 8,3 (1,6°C), Kraków – 8,3 (1,9°C), Lwów – 8,3 (1,3°C), Kijów – 7,8 (1,3°C niż w lecie (Warszawa – 7,1 (0,7°C), Kraków – 7,8 (0,3°C), Lwów – 7,9 (0,6°C), Kijów – 7,0 (0,8°C). Amplitudy średniej rocznej temperatury powietrza w tych miejcowościach w cyklu 8-letnim są zbliżone do 0,5°C.

Od dawna znana jest cykliczność około 11-letnia temperatury powietrza, związana z cyklem 11-letnim plam słonecznych. Okresy około 11-letnie temperatury powietrza i amplitudy $\Delta T$ (°C) w wybranych miejscowościach w zimie, lecie i roku zestawiono w tab. 3.

**Tabela 3.** Okres 11-letni temperatury powietrza w Europie

| Stations | Winter | | Summer | | Year | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ |
| Warsaw | 11,6 | 0,53 | 11,3 | 0,22 | 11,3 | 0,34 |
| Cracow | 11,3 | 0,84 | 11,4 | 0,26 | 11,3 | 0,39 |
| Lviv | 11,2 | 1,11 | 10,7 | 0,06 | 11,2 | 0,32 |
| Kiev | 11,2 | 1,32 | 11,4 | 0,08 | 11,1 | 0,54 |

Zakres wahań temperatury powietrza w tym około 11-letnim cyklu jest także o połowę mniejszy w lecie niż w zimie.

W seriach pomiarowych temperatury powietrza w Europie są obecne również okresy około 100- i 180-letni (tab. 4 i 5).

**Tabela 4.** Okres 100-letni temperatury powietrza w Europie

| Stations | Winter | | Summer | | Year | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ |
| Warsaw | 113,4 | 1,22 | 75,0 | 0,88 | 106,1 | 0,32 |
| Cracow | 90,1 | 0,54 | 88,6 | 0,60 | 84,4 | 0,16 |
| Lviv | 108,8 | 1,20 | 74,1 | 1,44 | 125,0 | 0,58 |
| Kiev | 91,8 | 1,28 | 70,2 | 0,72 | 95,1 | 0,20 |

**Tabela 5.** Okres około 180-letni temperatury powietrza w Europie

| Stations | Winter | | Summer | |
|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ |
| Warsaw | 218,3 | 0,44 | 208,2 | 0,66 |
| Cracow | 168,3 | 0,43 | - | - |
| Lviv | - | - | 195,3 | 1,10 |
| Kiev | - | - | - | - |

Temperatura powietrza w Europie cechuje się cyklicznością zbliżoną do Oscylacji Północnoatlantyckiej NAO z dominującym zimowym okresem 7,8 lat (tab. 6).

**Tabela 6.** Okresy Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-2000

| Winter | | Summer | | Year | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ |
| 7,8 | 0,27 | 7,8 | 0,17 | 7,8 | 0,29 |
| 11,3 | 0,13 | 10,3 | 0,20 | 11,2 | 0,18 |
| 105,1 | 0,17 | 83,2 | 0,17 | 119,9 | 0,12 |

W ciągach czasowych: wskaźnika *NAO* (zima – 11,3 lat, $R=0{,}14$, lato – 10,3 lat, $R=0{,}20$, rok – 11,2, $R=0{,}18$) występuje również cykliczność około 11–letnia synchroniczna z cyklem 11,0–letnim plam słonecznych.

Dopływ energii słonecznej do powierzchni Ziemi zależy od aktywności Słońca, gdyż w cyklu 11-letnim zmienia się stała słoneczna. Jest ona największa w pobliżu maksimów plam słonecznych (Kondratiev i Nikolski 1970). Krótkookresowe zmiany aktywności Słońca nie odgrywają dużej roli w kształtowaniu klimatu, ze względu na bardzo powolne przenikanie ciepła do głębszych warstw Ziemi. Większe znaczenie mają długie cykle aktywności Słońca: 102- i 187-letni (tab. 7).

**Tabela 7.** Okresy około 100- i 180- letnie: aktywności Słońca i stałej słonecznej (lata)

| Solar activity | Periods (years) | |
|---|---|---|
| Wolf's numbers (1700-2000) | 102,0 | 187,3 |
| Solar constant (1700-2000) | 102,0 | 187,0 |

W otoczeniu maksimów w tych cyklach kumulowane są w głębszych warstwach Ziemi duże ilości energii.

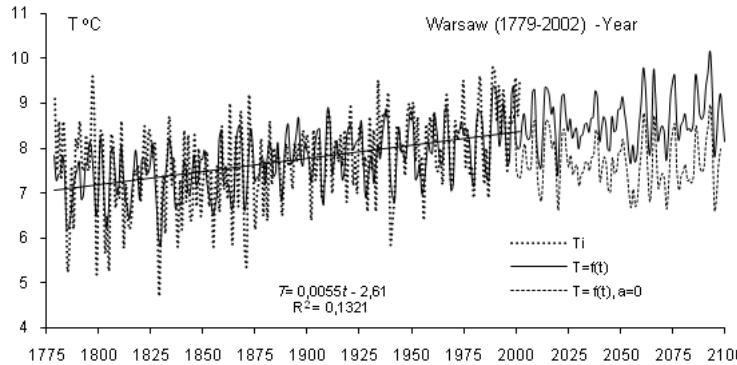
## Tendencje zmian klimatu Polski i Ukrainy w XVIII-XX wieku

Zmiany temperatury powietrza w: Warszawie, Krakowie, Lwowie i Kijowie wraz prostymi regresji i prognozami do roku 2100 przedstawiono na wykresach rys. 3-6. Tendencje temperatury powietrza ($A$) w tych miejscowościach, określone na podstawie równań prostych regresji $T=A_0+At$, wyrażone w°C/100 lat podano w tab. 8. Charakteryzują one średni przyrost temperatury powietrza na 100 lat w odpowiednich przedziałach czasowych. Na ogół tendencja temperatury powietrza w miastach europejskich w zimie są rosnąca ($A>0$), a w lecie malejące ($A<0$).

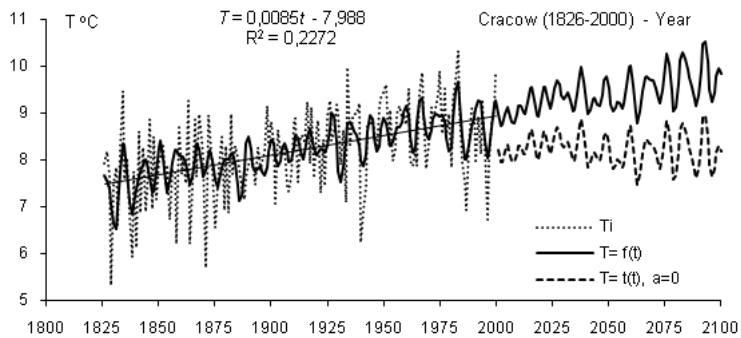
**Tabela 8.** Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce i Ukrainie (°C/100 lat)

| Stations | Period | Winter | Summer | Year |
|---|---|---|---|---|
| Warsaw | 1779-1998 | 1,12 | -0,06 | 0,55 |
| Cracow | 1827-1997 | 1,48 | 0,31 | 0,85 |
| Lviv | 1824-2002 | 0,04 | -0,57 | 0,16 |
| Kiev | 1812-2002 | 1,83 | 0,47 | 0,73 |

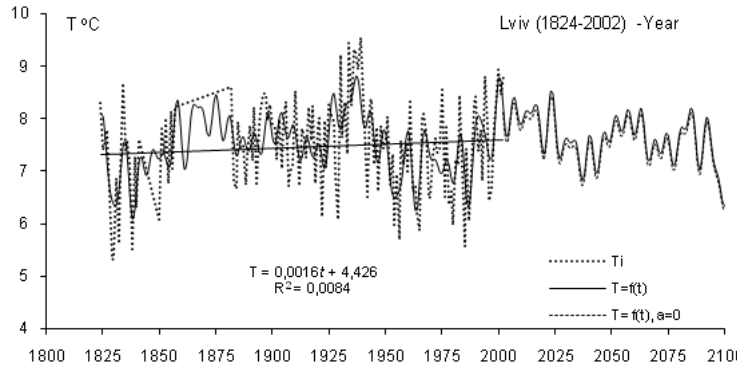
W Polsce i Ukrainie zimy są coraz cieplejsze. Na przykład, w Warszawie w latach 1779-2000 zimy są cieplejsze o 1,1°C na 100 lat, a lata chłodniejsze prawie o 0,1°C. Jeszcze większy wzrost temperatury powietrza podczas zimy występuje w Krakowie – 1,5°C/100 lat i Kijowie – 1,8°C/100 lat. Średnia roczna temperatura powietrza wzrasta w Warszawie o 0,6, Krakowie o 0,9 i Kijowie o 0,8°C na 100 lat.




**Rys. 3**. Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2100 – prognoza w latach 2001-2100
**Fig.3**. Changes In the mean annual air temperaturebin Warsaw Turing the years 1779-2100 – forecast for the years 2001-2100

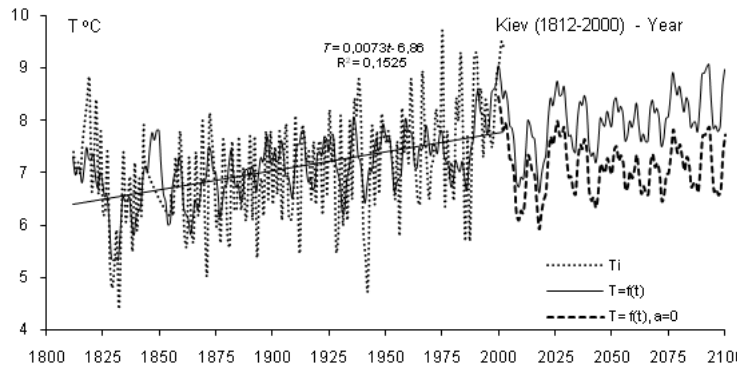



**Rys. 4.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Krakowie w latach 1826-2100 – prognoza w latach 2001-2100
**Fig. 4.** Changes In the mean annual air temperature in Cracow during the years 1826-2100 – forecast for the years 2001-2100




**Rys. 5**. Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza we Lwowie w latach 1824-2100 – prognoza w latach 2001-2100

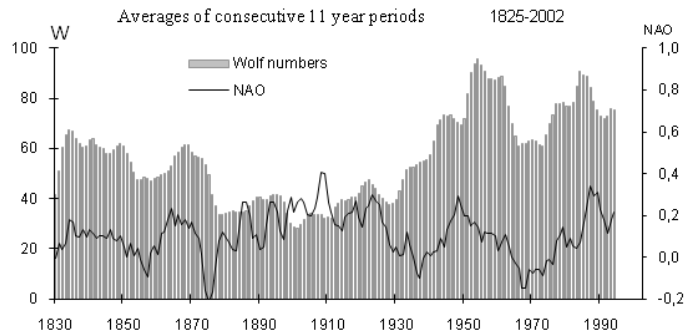
**Fig. 5**. Changes In the mean annual air temperature in Lviv during the years 1824-2100 – forecast for the years 2001-2100




**Rys. 6**. Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Kijowie w latach 1812-2100 – prognoza w latach 2003-2100

**Fig. 6**. Changes In the mean annual air temperature in Kiev during the years 1812-2100 – forecast for the years 2001-2100

Tendencja rosnąca aktywności Słońca (natężenia promieniowania) w ostatnich dwóch stuleciach może powodować znaczną część postępującego ocieplenia klimatu Ziemi – przez zmiany ogólnej cyrkulacji atmosferycznej. O dominującym udziale aktywności Słońca w kształtowaniu klimatu Ziemi w postępującym ociepleniu klimatu w XIX-XX wieku świadczą synchroniczne wahania liczb Wolfa i wskaźnika NAO w latach 1825-2000 (rys. 7).




**Rys. 7**. Synchroniczne zmiany liczb Wolfa i wskaźnika NAO w latach 1825-2000
**Fig.7**. Synchronic oscillations of the Wolf number and the NAO index In 1825-2000

Jedną z przyczyn ocieplenia klimatu w XIX-XXI wieku jest wzrost aktywności Słońca. Synchroniczność zmian sum promieniowania słonecznego dochodzącego do powierzchni Ziemi ($\varphi = 65°$), zawartości w lodach Antarktydy izotopów tlenu $O^{16}$ i koncentracji $CO_2$ w atmosferze sprzed 40 000 lat upoważnia do wnioskowania, że stężenie $CO_2$ w atmosferze jest większe w latach o większym dopływie promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi. Po prostu koncentracja $CO_2$ w atmosferze jest większa wtedy, gdy cieplejsza jest woda w oceanach, tzn. jest w ogóle cieplej (Boryczka 2004).

## Prognozy zmian temperatury powietrza w Polsce i Ukrainie w XXI wieku

W identyfikacji naturalnych przyczyn zmian klimatu Ziemi fundamentalne znaczenie ma sprawdzenie czy cykle przyczyn i skutków są zbliżone. Istotne jest wykazanie analogicznej cykliczności domniemanych przyczyn tj. zmiennych: astronomicznych (aktywności Słońca, parametrów Układu Słonecznego) i skutków tj. zmiennych klimatologicznych (cyrkulacji atmosferycznej, temperatury powietrza).

W prognozach przyjęto założenie, że ekstrema wyznaczonych cykli o dość dużych amplitudach (istotnych statystycznie) będą się powtarzać nadal, tak jak w XVIII-XX wieku. Do takiego założenia upoważniają analogiczne okresy aktywności Słońca i innych zmiennych astronomicznych. Pozatem, okresowością około 100- i 180-letnią cechuje się: paleotemperatura – koncentracja izotopu $^{18}O$ w osadach morskich i w rdzeniach lodowych, zawartość substancji organicznych w osadach jeziornych sprzed kilkunastu tysięcy lat oraz ciągi dendrochronologiczne – szerokość słoi drzew (sosny, świerka, modrzewia, dębu) rosnących w Europie sprzed kilkuset lat.

Funkcje prognostyczne $T=f(t)$ – to wypadkowe interferencji istotnych statystycznie cykli: $T=a_0+at+\Sigma b\sin(2\pi t/\Theta+c)$. Na przykład funkcja prognostyczna średniej rocznej temperatury powietrza w Kijowie ma postać ($a=0$):

$$T=7{,}098+0{,}191\sin(2\pi t/3{,}2+1{,}0898)+0{,}273\sin(2\pi t/7{,}8+0{,}2372)+$$
$$+0{,}297\sin(2\pi t/11{,}1\text{-}1{,}2975)+0{,}292\sin(2\pi t/12{,}8-0{,}3359)+$$
$$+0{,}241\sin(2\pi t/25{,}6+0{,}9773)+0{,}230\sin(2\pi t/30\text{-}2{,}0333)+$$
$$+0{,}218(2\pi t/36{,}5-2{,}8467)+0{,}161\sin(2\pi t/46{,}7+3{,}0150)+$$
$$+0{,}104\sin(2\pi t/95+1{,}1891)$$

Oceną dokładności tej funkcji prognostycznej temperatury powietrza są: współczynnik korelacji wielokrotnej $R=0{,}626$ i błąd standardowy $\delta=0{,}84$°C. Na rys. 3-6 przedstawiono wartości funkcji aproksymującej $T=f(t)$ i wartości ekstrapolowane poza przedział pomiarów – wartości prognozowane. Najchłodniejsze lata w Warszawie, o średniej rocznej temperaturze około 6,5°C wystąpią w pobliżu dat 2012, 2020 i 2057. We Lwowie można oczekiwać, że w latach 2038-2044 może być chłodno – średnia roczna temperatura powietrza wyniesie około 6,7-6,9°C, a w Kijowie znaczny spadek temperatury wystąpi prawdopodobnie już w latach 2009 (6,1°C) i 2018 (5,9°C). Prognozowane wartości z uwzględnieniem składnika liniowego *at* ($a>0$, częściowo antropogenicznego) na ogół są większe.

### Literatura


Bernes C., 2003. *A Warmer World. The Greenhouse Effect and Climate* Change, monitor 18, Swedish Environmental Protection Agency, SWE CLIM

Boryczka J.,Mucha B., Stopa-Boryczka M., Wawer J., 2006, *The influence of the North Atlantic Oscillation (NAO) on the climate of Warsaw and Lviv*, Miscellanea Geographica, vol.12, pp.75-80

Boryczka J., 2004, *Mit efektu cieplarnianego*, Prz. Geof. XLIX, z.1-2.

Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski B., Kirschenstein M., Błażek E., Skrzypczuk J.,2003. *Atlas współzależności parametrow meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t.XVII, *Mroźne zimy i upalne lata w Polsce*, Wyd. UW, Warszawa.

Hays J. D., Imbrie J., Shackleton N. J., 1976, *Variation in the Earth's orbit*: Pacemaker of the ice ages, Science, 194, nr 4270.

Kondratiev K.J., Nikolski G.A, 1970. Solar radiation and solar activity. *Θ*uart. J. Royal. Meteor. Soc., no 96.

Petit J.R., Jouzel J., Raynaud D. i in., 1999. Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core, Antarrctica, Nature 399. p.429.


## Summary


### Tendencies in climate changes in Poland and Ukraine during the last centuries and their causes

The paper describes tendencies in changes of air temperature in Poland and Ukraine on the basis of a long series of measurements made in Warsaw (1779-2000), Cracow (1826-2000), Lviv (1824-2002) and Kiev (1812-2002). Air temperature in these cities in the years 1825-2002 is positively correlated with the North Atlantic Oscillation (NAO) Index. Values of the *r* correlation coefficient are much higher in winter months than duri ng the summer and they decrease with distance from the Atlantic Ocean. Of interest are air temperature changes in Warsaw, Cracow, Lviv and Kiev in the XIX$^{th}$-XX$^{th}$ centuries together with forecasts until the year 2100. Significant dependence of the climate of Poland and Ukraine on the NAO index stems from similar temperature cycles and the eight-year, eleven-year and one-hundred-year NAO index. Forecast credibility results from the similar periodicity of air temperature, the NAO index and solar activity. The forecast mean ann ual temperature values for 2001-2100 were obtained from the interference of statistically important temperature cycles, determined by the sinusoidal regression method.



*Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Mucha B, 2008, Tendencies in climate changes in Poland and Ukraine during the last centuries and their causes, Miscellanea Geographica vol. 13, pp. 77-88 (j. ang.)

# IX. ZMIANY KLIMATU WARSZAWY W XVIII-XXI WIEKU I ICH PRZYCZYNY

Jerzy B O R Y C Z K A, Maria S T O P A - B O R Y C Z K A, Halina L O R E N C,
Bożena K I C I Ń S K A, Elżbieta B Ł A Ż E K, Jan S K R Z Y P C Z U K

Dotychczasowe badania długich ciągów pomiarów wykazały, że w Warszawie, podobnie jak w innych miastach Polski (Kraków 1826-1990, Wrocław 1851-1980), czy też europejskich (Praga 1771-1980, Genewa 1768-1980, Zurych 1864-1980, Poczdam 1893-1992), występuje kilka cykli temperatury powietrza o znaczących amplitudach. Są to cykle około 3-5, 7-8, 10-13, 73-113 lat i planetarny 178,9 lat. Ich obecność prawie we wszystkich ciągach chronologicznych (miesięcznych i sezonowych wartości) i synchroniczność wahań (zbliżone daty ekstremów), głównie 8, 10-13, 180-letniego, wskazują, że cykliczność ta jest cechą pola temperatury powietrza w Polsce i Europie.

Wyniki badań krótszych serii pomiarów temperatury powietrza z lat 1951-1990 w Polsce (Żmudzka, 1998) potwierdziły częściowo tę tezę o cykliczności pola temperatury powietrza. Rozszerzeniem są krótkie i średnie cykle temperatury powietrza oraz ich przestrzenne zróżnicowanie (okresów, amplitud i faz) na terenie Polski. Synchroniczność krótkich i średnich cykli temperatury powietrza w latach 1951-1990 autorka wykazała na podstawie map izarytm, uwzględniających dane z 58 stacji meteorologicznych reprezentujących wszystkie jednostki fizycznogeograficzne Polski. Nie bez znaczenia jest wyznaczenie parametrów cykli: okresów, amplitud i faz z zastosowaniem tej samej metody badań „sinusoid regresji" (Boryczka, 1993).

## Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Warszawy i ich uwarunkowania

W ostatnich 400 latach wystąpiły trzy główne ochłodzenia klimatu Ziemi o najmniejszej średniej globalnej temperaturze na półkuli północnej w pobliżu dat: 1600, 1700, 1830 (Groveman i Landsberg, 1979, Schönwiese, 1992).

Najbardziej poznane na podstawie danych instrumentalnych jest to ostatnie, największe ochłodzenie w Europie (Genewa - Boryczka, 1998, Berlin – Wójcik i inni, 1999) i Polsce (wg serii warszawskiej i krakowskiej). Trzeba zauważyć, że wystąpiło ono podczas trzech najsłabszych, wydłużonych (12-13- letnich) cykli aktywności Słońca (1798-1833). Ochłodzenie to pojawiło się w czasie najsłabszego 13-letniego cyklu plam słonecznych (1811-1823), podczas absolutnego minimum wiekowego (od 1700 r.).

Rok 1811 był szczególny pod względem stanu Układu Słonecznego, kiedy to odległość Słońca od środka masy Układu była najmniejsza (0,14 część promienia Słońca), a przyspieszenie Słońca – największe. Wtedy stała słoneczna zmniejszyła się o 0,5%.

To ostatnie globalne ochłodzenie klimatu (także w Polsce) wystąpiło podczas wzmożonej aktywności wulkanicznej, po największych eksplozywnych erupcjach wulkanów: 1803 – Cotopaxi (*DVI*=1100), 1815 – Tambora (*DVI*=3000), 1835 – Cosequina (*DVI*=4000, maksimum absolutne).

W Polsce podczas ostatniego ochłodzenia klimatu (1798-1833) średnia roczna temperatura powietrza spadła, np. w Warszawie do 4,6°C w roku 1779 i do 4,8°C w 1829 r. Najmroźniejsze zimy wystąpiły w Polsce w latach 1779 i 1830 o średniej temperaturze -8,9 i -9,3°C.

Okazało się, że ochłodzenia i ocieplenia klimatu w ostatnich stuleciach są efektem nakładania się długich i krótkich cykli temperatury powietrza, skorelowanych z okresowymi zmianami aktywności Słońca (stałej słonecznej) – zależnych od parametrów Układu Słonecznego.

W rekonstrukcji i prognozach ochłodzeń i ociepleń klimatu fundamentalne znaczenie ma wykrycie prawdziwych (realnych) okresów zmiennych klimatologicznych (skutków) i zmiennych astronomicznych (domniemanych przyczyn). Identyfikacja przyczyn polega na sprawdzeniu, czy „cykliczność skutków i przyczyn jest taka sama". W tym celu zastosowano metodę J. Boryczki „sinusoid regresji" (1998) wyznaczania prawdziwych cykli. Metoda ta polega na aproksymacji wyników pomiarów (także niekompletnych), wykonanych w dowolnych odstępach czasu kolejnymi sinusoidami regresji:

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

gdzie: $\Theta$ – okres, $b$ – amplituda, $c$ – faza.

Kluczowe znaczenie w identyfikacji przyczyn ochłodzeń i ociepleń klimatu ma planetarny 178,9-letni okres zmian parametrów Układu Słonecznego, aktywności Słońca (liczb Wolfa) i stałej słonecznej. Na przykład wykresy zmian: przyspieszenia Słońca (względem środka masy US), liczb Wolfa i stałej słonecznej z lat 1700-1879 i 1879-1993 (po upływie 178,9 lat) prawie pokrywają się (rys. 1).

Ten prawie dwuwiekowy okres wykryto (metodą „sinusoid regresji") w ciągach czasowych temperatury powietrza w Warszawie i innych miastach Europy (tab. 1).

**Tabela 1.** Okresy około 200-letnie temperatury powietrza w Europie

| Miasto | Zima | | Lato | | Rok | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $\Delta t$ | $\Theta$ | $\Delta t$ | $\Theta$ | $\Delta t$ |
| Warszawa (1779-1990) | 218,3 | 1,8 | 208,2 | 0,3 | 223,9 | 1,1 |
| Genewa (1768-1980) | 216,6 | 1,0 | 147,4 | 0,7 | 166,3 | 0,7 |
| Anglia (1659-1973) | 170,2 | 0,6 | 220,8 | 0,4 | 175,6 | 0,4 |

Analogiczna cykliczność występuje w ciągach czasowych: aktywności Słońca (liczb Wolfa), erupcji wulkanów ($DVI$, $\Delta VI = DVI/\Delta t$, $\Delta t$ – odstęp między erupcjami) i parametrów Układu Słonecznego (siła pływowa na Słońcu $\Delta G$, dyspersja masy w Układzie Słonecznym $B$) – tab. 2.

**Tabela 2.** Okresy około 200-letnie: aktywności Słońca (1700-1993), aktywności wulkanicznej (1680-1980) i parametrów Układu Słonecznego (1700-2000)

| Zmienne | Okres (lata) |
|---|---|
| Aktywność Słońca (1700-1993) | 187,3 |
| Stała słoneczna (1700-1993) | 187,0 |
| *DVI* (dust veil index) | 257,0 |
| $\Delta VI$ | 206,7 |
| Siły pływowe na Słońcu (DG) | 170,1 |
| Dyspersja masy (B) | 175,1 |

Należy zaznaczyć, że okresy długie wyznaczane metodami statystycznymi ($f(t+\Theta)=f(t)+\varepsilon_i$ gdzie $\varepsilon_i$ – składnik losowy) cechują się znaczną dyspersją (szerokość połówkowa pasma widma jest dość duża).

Dużym zakresem wahań charakteryzują się również około 100-letnie cykle temperatury powietrza w Europie i Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO)(tab. 3).

**Tabela 3.** Okresy około 100-letnie temperatury powietrza w Europie i Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO)

| Miejscowość | Zima | | Lato | | Rok | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ |
| Warszawa (1779-1990) | 113,1 | 0,7 | 91,2 | 0,4 | 104,7 | 0,2 |
| Praga (1771-1980) | 98,5 | 0,5 | 76,9 | 0,8 | 80,9 | 1,0 |
| Genewa (1768-1980) | 93,4 | 0,4 | 76,6 | 1,0 | 76,0 | 0,6 |
| Anglia (1659-1973) | 99,1 | 0,6 | 101,9 | 0,3 | 102,5 | 0,5 |
| *NAO* (1825-1997) | 105,1 | 0,6 | 83,2 | 0,5 | - | - |

Te długie okresy temperatury powietrza skorelowane są z podobnymi cyklami zmiennych astronomicznych i geologicznych (tab. 4).

**Tabela 4.** Okresy około 100-letnie: aktywności Słońca, aktywności wulkanicznej i parametrów Układu Słonecznego

| Zmienne | Okres (lata) |
|---|---|
| Aktywność Słońca (1700-1993) | 102,0 |
| Aktywność Słońca (1749-1993) | 100,8 |
| Stała słoneczna (1700-1993) | 102,0 |
| *DVI* (dust veil index) | 91,8 |
| $\Delta VI$ | 90,5 |
| $\Delta t$ | 118,6 |
| Siły pływowe na Słońcu (D*G*) | 91,4 |
| Dyspersja masy (*B*) | 84,1 |
| Odległość środka masy US od Słońca (*S*) | 101,3 |
| Okres obiegu Urana | 84,0 |

O realności tych okresów: planetarnego 178,9-letniego i około 100-letnigo świadczy też ich obecność w ciągach chronologicznych zmiennych sedymentologicznych: paleotemperatury – stosunku izotopów tlenu $^{18}O/^{16}O$ (Johnsen i inni, 1970) i substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych (Boryczka, Wicik, 1994).

**Tabela 5.** Okresy około 200-letnie zmiennych sedymentologicznych

| Zmienne sedymentologiczne | Okres (lat) | |
|---|---|---|
| Paleotemperatura $^{18}O/^{16}O$ | 180 | 78 |
| Gościąż (substancje organiczne) | 206 | 103 |
| Gościąż (węglany wapnia) | 180 | 87 |
| Wikaryjskie (substancje organiczne) | 200 | - |
| Wielki Staw (warstewki piasku) | 180 | 138 |

Stała słoneczna ($s$), warunkująca dopływ energii słonecznej do powierzchni Ziemi, zmienia się o 0,2% w cyklu 187,8-letnim i o 0,4% – w cyklu 102-letnim (w stosunku do $s_{śr}$=1,94 cal×cm$^{-2}$×min$^{-1}$):

$$s = 1{,}9433 + 0{,}002084 \sin\left(\frac{2\pi}{187{,}8}t - 1{,}0{,}349\right)$$

$$s = 1{,}9435 + 0{,}004154 \sin\left(\frac{2\pi}{102{,}0}t - 2{,}1359\right)$$

Zakres zmian energii słonecznej w poszczególnych cyklach stałej słonecznej wynosi: cykl 187,8 lat – 5490 MJ×m$^{-2}$, cykl 102,0 lat – 5950 MJ×m$^{-2}$. Nadwyżka energii słonecznej w czasie 0,5$\Theta$ (gdy $s > a_0$) jest akumulowana głównie w głębszych warstwach oceanów.

Tym najdłuższym okresem stałej słonecznej, wywołującym wahania energii słonecznej ±2745 MJ×m$^{-2}$ i ±2975 MJ×m$^{-2}$, odpowiadają dwa najdłuższe cykle temperatury powietrza w Europie i Polsce.

W Polsce (i Europie) dominuje w zimie około 8-letni cykl temperatury powietrza:

| | |
|---|---|
| Warszawa (1779-1990) | $T = -2{,}65 + 0{,}756 \sin\left(\frac{2\pi}{7{,}7}t - 0{,}6870\right)$ |
| Wrocław (1851-1980) | $T = -0{,}72 + 0{,}983 \sin\left(\frac{2\pi}{7{,}6}t + 0{,}4152\right)$ |
| NAO (1825-1997) | $NAO = 0{,}1315 + 0{,}4778 \sin\left(\frac{2\pi}{7{,}8}t - 0{,}1266\right)$ |
| Liczby Wolfa (1700-1993) | $W = 51{,}93 + 10{,}40 \sin\left(\frac{2\pi}{8{,}1}t + 2{,}8659\right)$ |
| Przyspieszenie Słońca (1700-2000) | $s = 0{,}667 + 1{,}130 \sin\left(\frac{2\pi}{7{,}8}t + 1{,}21\right)$ |

Maksima tych zimowych cykli: temperatury powietrza, Oscylacji Północnoatlantyckiej (*NAO*), aktywności Słońca i przyspieszenia Słońca przypadają na te same lata (rys. 2).

Okresy temperatury powietrza w Warszawie w poszczególnych miesiącach zawierają się w przedziałach: 4-8, 9-14, 15-18, 20-24, 27-35, 38-44, 47-66, 73-101, 147-207 lat.

Temperatura powietrza w obu półroczach: chłodnym (X-III) i ciepłym (IV-IX) ulega podobnej periodyczności (tab. 6).

**Tabela 6.** Okresy ($\Theta$) i amplitudy ($b$) temperatury powietrza w Warszawie

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X-III | $\Theta$ | 4 | 13 | 18 | 22 | 67 | 98 | 205 | lat |
| | $b$ | 0,25 | 0,30 | 0,26 | 0,22 | 0,30 | 0,18 | 0,86 | °C |
| IV-IX | $\Theta$ | 4 | 14 | 18 | 23 | 54 | 83 | 172 | lat |
| | $b$ | 0,13 | 0,14 | 0,18 | 0,18 | 0,23 | 0,29 | 0,29 | °C |
| I-XII | $\Theta$ | 4 | 13 | 17 | 60 | . | 89 | 194 | lat |
| | $b$ | 0,16 | 0,20 | 0,13 | 0,13 | . | 0,20 | 0,56 | °C |

Według oscylogramu korelacji (maksima lokalne współczynnika korelacji wielokrotnej) najdłuższy cykl średniej rocznej temperatury powietrza jest równy 217 lat.

Cykle rocznych wartości temperatury – 60 lat, aktywności Słońca – 59 lat i cyrkulacji południkowej – 61 lat są synchroniczne (tab. 7).

| | |
|---|---|
| $T = 7{,}45 + 0{,}133 \sin\left(\frac{2\pi}{60}t + 1{,}363\right)$ | 1778 ($t$=0) |
| $W = 50{,}17 + 12{,}8 \sin\left(\frac{2\pi}{59}t - 1{,}901\right)$ | 1748 ($t$=0) |
| $C = 95{,}09 + 19{,}68 \sin\left(\frac{2\pi}{61}t + 1{,}525\right)$ | 1890 ($t$=0) |

**Tabela 7.** Maksima sinusoid regresji 60, 59 i 61 lat

| $T_{max}$ | $W_{max}$ | $C_{max}$ |
|---|---|---|
| 1780 | 1781 | 1768 |
| 1840 | 1840 | 1829 |
| 1900 | 1899 | 1890 |
| 1960 | 1958 | 1951 |
| 2020 | 2017 | 2012 |

Synchroniczne są także cykle średnich rocznych wartości temperatury powietrza – 89 lat i aktywności Słońca – 91 lat (tab. 8).

$$T = 7{,}46 + 0{,}199 \sin\left(\frac{2\pi}{89}t + 2{,}474\right)$$

$$W = 48{,}09 + 19{,}84 \sin\left(\frac{2\pi}{91}t + 0{,}012\right)$$

**Tabela 8.** Minima sinusoid regresji 89 i 91 lat

| $T_{min}$ | $W_{min}$ |
|---|---|
| 1632 | 1634 |
| 1721 | 1725 |
| 1810 | 1816 |
| 1898 | 1907 |
| 1988 | 1988 |
| 2077 | 2089 |

Minimum średniej rocznej temperatury powietrza w cyklu 194 lat:

$$T = 7{,}457 + 0{,}557 \sin\left(\frac{2\pi}{194}t + 3{,}042\right)$$

występuje w latach: 1636, 1830, 2024 – znacznie różniących się od dat minimów wiekowych aktywności Słońca w cyklu 179 lat: 1698, 1872, 2051.

Cykle około 200-letnie temperatury powietrza w Warszawie w poszczególnych miesiącach zestawiono w tab. 9.

**Tabela 9.** Okresy $\Theta$ i amplitudy $b$ cykli około 200-letnich temperatury powietrza w Warszawie (miesiące)

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ | 187 | 177 | 207 | 199 | 162 | 90 | 158 | 147 | 180 | 98 | 100 | 101 lat |
| $b$ | 1,40 | 0,75 | 1,05 | 0,62 | 0,60 | 0,53 | 0,38 | 0,22 | 0,24 | 0,40 | 0,30 | 0,36°C |

Minima tych cykli o dość dużych amplitudach 2$b$, od 0,44°C (sierpień) do 2,8°C (styczeń), zawiera tabela 10.

**Tabela 10.** Minima cykli około 200 letnich temperatury powietrza w Warszawie

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1825 | 1829 | 1820 | 1832 | 1848 | 1846 | 1845 | 1867 | 1832 | 1799 | 1807 | 1797 |
| 2013 | 2005 | 2027 | 2031 | 2010 | 1996 | 2003 | 2014 | 2012 | 1995 | 2007 | 1999 |

## Okresowa zmienność opadów atmosferycznych w Warszawie

Cykliczność miesięcznych, sezonowych, półrocznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1813-1980 przedstawiono w tomie VII *Atlasu* (Boryczka, Stopa-Boryczka i inni, 1992).

Okresy miesięcznych sum opadów są zawarte w przedziałach: 3-6, 9-13, 15-23, 30-44, 51-67, 74-100, 113-124 lat.

**Tabela 11.** Okresy $\Theta$ i amplitudy $b$ cykli około 100-letnich opadów atmosferycznych w Warszawie

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ (lata) | 100 | 93 | 139 | 64 | 133 | 80 | 74 | 100 | 100 | 129 | 115 | 113 |
| $b$ (mm) | 2,1 | 7,9 | 6,7 | 2,5 | 3,8 | 8,1 | 8,3 | 4,2 | 4,5 | 7,5 | 4,4 | 4,0 |

We wszystkich miesiącach (z wyjątkiem października) występuje okres 9-13 lat, zbliżony do 11-letniego cyklu aktywności Słońca (tab. 12).

**Tabela 12.** Okresy $\Theta$ i amplitudy $b$ cykli około 11-letnich opadów atmosferycznych w Warszawie

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Theta$ (lata) | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 9 | 11 | 13 | 10 | - | 10 | 11 |
| $b$ (mm) | 3,9 | 3,2 | 4,0 | 5,8 | 5,7 | 9,8 | 8,2 | 9,5 | 7,9 | - | 7,2 | 7,0 |

Na przykład w miesiącach I kwartału maksima cykli 10-letnich opadów atmosferycznych (tab. 13) występują w latach, o maksymalnej aktywności Słońca $W_{max}$: 1817, 1830, 1837, 1848, 1860, ... , 1917, 1927, 1937, 1947, 1957.

**Tabela 13.** Maksima cykli 10-letnich opadów atmosferycznych w Warszawie

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | 1817 | 1827 | 1837 | 1847 | 1857 | ... | 1917 | 1927 | 1937 | 1947 | 1957 |
| II | 1818 | 1828 | 1838 | 1848 | 1858 | ... | 1918 | 1928 | 1938 | 1948 | 1958 |
| III | 1818 | 1828 | 1838 | 1848 | 1858 | ... | 1918 | 1928 | 1938 | 1948 | 1958 |
| IV | 1818 | 1828 | 1838 | 1848 | 1858 | ... | 1918 | 1928 | 1938 | 1948 | 1958 |

W drugiej połowie XIX wieku i na początku XX wieku maksima opadów atmosferycznych występują podczas minimów aktywności Słońca $W_{min}$: 1867, 1878, 1889, 1901, 1913, 1923.

Roczne sumy opadów atmosferycznych w Warszawie (1813-1980) ulegają okresowym zmianom.

**Tabela 14.** Okresy $\Theta$ i amplitudy $2b$ cykli sum rocznych opadów atmosferycznych w Warszawie

| $\Theta$ (lata) | 6 | 16 | 19 | 58 | 112 |
|---|---|---|---|---|---|
| $2b$ (mm) | 28,4 | 36,0 | 31,6 | 30,9 | 30,0 |

Dwa najdłuższe cykle opisują równania sinusoid regresji:

$$P = 569{,}3 + 30{,}86 \sin\left(\frac{2\pi}{58}t - 2{,}930\right)$$

$$P = 565{,}0 + 30{,}00 \sin\left(\frac{2\pi}{112}t - 0{,}861\right)$$

Istnieje zbieżność czasowa ekstremów cykli: opadów atmosferycznych – 58 lat, temperatury powietrza – 60 lat i aktywności Słońca – 59 lat (tab. 15).

**Tabela 15.** Daty ekstremów cykli: $P_{max}$, $T_{max}$, $W_{max}$

| $P_{max}$ | $T_{max}$ | $W_{max}$ |
|---|---|---|
| 1796 | 1780 | 1781 |
| 1853 | 1840 | 1840 |
| 1912 | 1900 | 1899 |
| 1970 | 1960 | 1958 |
| 2028 | 2020 | 2017 |

Ekstrema cyklu 112 lat opadów o amplitudach $2b = 60$ mm przypadają na lata: maksima – 1631, 1743, 1855, 1967, 2079, a minima – 1687, 1799, 1911, 2023.

Krzywa wiekowych zmian sum rocznych opadów atmosferycznych w latach 1700-2100 ma kilka głównych maksimów ($P_{max}$) i minimów ($P_{min}$) (tab. 16).

**Tabela 16.** Maksima i minima zmian sum rocznych opadów atmosferycznych w latach 1700-2100

| Data | $P_{max}$ | Data | $P_{min}$ |
|---|---|---|---|
| 1756 | 654 (mm) | 1764 | 468 (mm) |
| 1852 | 684 | 1824 | 466 |
| 1965 | 690 | 1938 | 457 |
| 2025 | 641 | 2017 | 486 |

Maksimum opadów $P_{max} = 690$ mm przypada w Warszawie na rok 1965, a minimum $P_{min} = 486$ mm wystąpi w roku 2017.

Opady atmosferyczne w Warszawie są uwarunkowane przede wszystkim periodycznymi zmianami cyrkulacji zachodniej. Świadczą o tym analogiczne oscylogramy koleracji $R(\Theta)$ cyrkulacji zachodniej ($C_W$) i opadów ($P$) w latach 1891-1976, które otrzymano na podstawie ciągów chronologicznych średnich konsekutywnych 12-miesięcznych (o liczebności $n = 1021$).

Istotnym rozszerzeniem badań okresowości opadów atmosferycznych w Polsce jest praca A. Michalskiej (1998). Stosując tę samą metodę "sinusoid regresji" wyznaczania cykli (Boryczka, 1993) poddano analizie statystycznej 130-letnie ciągi chronologiczne (1861-1990) sezonowych i rocznych sum opadów w 6 miejscowościach w Polsce (Koszalin, Bydgoszcz, Poznań, Wrocław, Kraków i Warszawa).

Istotną statystycznie okresowością około 11-letnią cechują się sezonowe sumy opadów atmosferycznych w Polsce. Amplitudy $\Delta P = P_{max} - P_{min}$ w stosunku do średnich sezonowych ($\Delta P \times P^{-1}$ w %) są duże (tab. 17).

**Tabela 17.** Amplitudy względne (%) sum opadów atmosferycznych w Polsce ($\Delta P \times P^{-1}$)

| Miejscowość | Wiosna | | Lato | | Jesień | | Zima | | Rok | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | % | $\Theta$ | % | $\Theta$ | % | $\Theta$ | % | $\Theta$ | % |
| Koszalin | 11,9 | 16,6 | 9,9 | 9,7 | 11,1 | 22,8 | 10,1 | 17,6 | 11,1 | 10,6 |
| Bydgoszcz | 10,9 | 22,4 | 11,3 | 17,7 | 12,2 | 23,9 | 10,0 | 24,7 | 11,6 | 12,4 |
| Poznań | 10,5 | 21,0 | 9,9 | 23,4 | 10,7 | 19,3 | 10,0 | 24,7 | 10,7 | 15,2 |
| Warszawa | 12,0 | 23,7 | 11,2 | 13,8 | 10,2 | 10,6 | 10,1 | 25,9 | 11,3 | 9,5 |
| Wrocław | 10,2 | 27,4 | 9,7 | 16,7 | 9,9 | 13,2 | 9,9 | 17,4 | 9,8 | 13,9 |
| Kraków | 10,2 | 18,7 | 10,3 | 12,9 | 10,9 | 17,1 | 9,8 | 12,3 | 9,8 | 5,4 |

Zakres zmienności sezonowych sum opadów w niektórych porach roku (wiosna, zima) przekracza 25%.

W przypadku Warszawy wyniki tych badań potwierdzają omówioną już cykliczność opadów atmosferycznych (z lat 1813-1980). Podobnie jest w przypadku opadów we Wrocławiu (1859-1980) i Krakowie (1850-1987), których cykliczność określono wcześniej (np. Boryczka, 1993).

Istnieje zbieżność prawdziwych okresów opadów atmosferycznych w Warszawie (1813-1980) z okresami otrzymanymi metodą autokorelacji (Kożuchowski, 1990), w paśmie dużych częstości zmian. Oto porównanie okresów opadów w Warszawie (1881-1980) z obliczonymi metodą autokorelacji (tab. 18).

**Tabela 18.** Okresy opadów atmosferycznych, obliczone metodami: sinusoid regresji $\Theta$ i autokorelacji

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Autorzy Atlasu | 39,3 | 10,7 | 6,0 | 4,8 | 3,5 | 2,5 | 2,3 | lat |
| K. Kożuchowski | 39,9 | 11,0 | 6,7 | 4,7 | 3,4 | 2,7 | 2,4 | lat |

Roczne sumy opadów w Warszawie ulegają m.in. okresowości 39,3 lat, znacznie różniącemu się od cyklu 35-letniego, stwierdzonego przez E. Brücknera (1890).

Niedoskonałość metody autokorelacyjnej występuje w pasmach średnich częstości, a szczególnie małych częstości zmian (długich okresów).

Interesujące są też wyniki badań A. Ewerta (1984), dotyczące przestrzenno-czasowych zmienności opadów atmosferycznych w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem północno-zachodniej części Polski. Wyrównując np. ciągi chronologiczne opadów (1891-1980), cyrkulacji atmosferycznej (1891-1976), zachodniej składowej wiatru geostroficznego na poziomie 500 hPa w sektorze atlantycko-europejskim (1881-1976) autor wyjaśnia mechanizm występowania ekstremów wiekowych.

Innym wskaźnikiem opadów atmosferycznych są odpływy rzek. Istotne znaczenie w określeniu wiekowych odpływów rzek mają wcześniejsze prace J. Stachy (1968, 1970) oraz J. Jokiela i K. Kożuchowskiego (1989). J. Stachy stwierdza istotną statystyczną zależność między cyklami odpływów rzek i cyklami aktywności Słońca oraz zmianami wiekowymi cyrkulacji zachodniej, wschodniej, południowej wg klasyfikacji Wangenheima.

Natomiast J. Jokiel i K. Kożuchowski dokonali analizy spektralnej (autokorelacyjnej) odpływów rzek. Trzeba zaznaczyć, że tylko okresy krótkie (do kilkunastu lat), wyznaczone tą metodą, są wiarygodne.

Wcześniej zmienność opadów atmosferycznych w Polsce była badana przez Z. Kaczorowską (1962) z zastosowaniem analizy harmonicznej. Wyznaczanie jednak kolejnych wyrazów szeregu Fouriera jest mało „precyzyjną" metodą wykrywania okresów opadów atmosferycznych. Okazuje się, że tylko niektóre z przyjętych *a priori* harmonik są przypadkowo równe prawdziwym okresom (np. cykl 70 lat).

## Tendencje zmian klimatu Warszawy

Średnia globalna temperatura powietrza w latach 1890-1985 wzrosła od 0,2°C w strefie okołorównikowej do 5°C w strefie polarnej w czasie zim. Wzrost średniej globalnej temperatury, obliczonej na podstawie pomiarów temperatury powietrza i powierzchni mórz w atach 1861-1991, wynosi średnio 0.5°C (IPCC, 1990).

W Europie i Polsce są coraz cieplejsze przede wszystkim zimy: w Warszawie o 1°C/100 lat, Krakowie – o 1,4°C, Pradze – o 0,25°C, Genewie – o 0,5°C, Anglii Środkowej – o 0,3°C (tab. 19).

**Tabela 19.** Tendencje temperatury powietrza w Europie (i Polsce) w°C/100 lat

| Miejscowość | Wiosna | Lato | Jesień | Zima | Rok |
|---|---|---|---|---|---|
| Warszawa (1779-1990) | 0,79 | 0,13 | 0,66 | 1,03 | 0,66 |
| Kraków (1826-1990) | 0,99 | 0,32 | 0,81 | 1,38 | 0,93 |
| Wrocław (1851-1980) | 0,37 | -0,70 | 0,05 | 0,12 | -0,04 |
| Praga (1771-1980) | 0,00 | -0,25 | -0,11 | 0,25 | -0,03 |
| Zurych (1864-1980) | -0,15 | -0,90 | 0,38 | 0,65 | 0,03 |
| Genewa (1768-1980) | -0,12 | -0,19 | 0,14 | 0,51 | 0,08 |
| Poczdam (1893-1992) | 0,50 | 0,92 | 1,11 | 0,10 | 0,66 |
| Anglia (1659-1973) | 0,21 | 0,01 | 0,19 | 0,32 | 0,18 |

Inaczej jest w sezonie letnim – coraz chłodniejszym w niektórych miejscowościach: w Pradze – o 0,25°C/100 lat, Genewie – o 0,19°C/100 lat. Średnie roczne wartości temperatury w: Wrocławiu, Pradze, Zurychu, Genewie mają prawie zerowe tendencje.

Wraz ze wzrostem średniej globalnej temperatury powietrza obserwuje się podnoszenie poziomu oceanów – średnio o 10-15 cm w ostatnim stuleciu.

Poziom Morza Bałtyckiego wg stanów wody w Świnoujściu w latach 1811-1990 podnosi się średnio o 4,5 cm/100 lat: wiosna – 1,4, lato – 3,8, jesień – 6,8, zima – 5,7 cm/100 lat (Kożuchowski, Boryczka, 1997). Ekwiwalentem obecnej pokrywy lodowej (lody Antarktydy, Arktyki i lodowce górskie) jest różnica poziomu oceanów 59,1-83,3 m (Boryczka, 1998). Obecnie pokrywa lodowa na Ziemi stanowi 43,8-61,7% masy lodu sprzed 18000 lat, kiedy to poziom Atlantyku obniżył się o 135 m (rekonstrukcje linii brzegowych w III fazie würm, Lamb, 1972-77, zob. Schönwiese, 1992). Średnie tempo wzrostu poziomu oceanów w ciągu tych 18 000 lat wynosi zatem 75 cm/100 lat.

Nie wiadomo, jaka część postępującego ocieplenia klimatu w XIX-XX wieku jest wywołana przyczynami naturalnymi, a jaka czynnikami antropogenicznymi. Istnieje jednak możliwość oszacowania składnika naturalnego $T'(t)$ trendu czasowego temperatury powietrza. Składnik naturalny $T'(t)$ – to wypadkowa nakładających się cykli naturalnych, skorelowanych ze zmiennymi astronomicznymi.

Jeżeli przez punkty empiryczne ($t_i$, $T_i$) poprowadzimy prostą regresji $T = A_0 + At$, a przez punkty „naturalne" ($t_i$, $T'_i$) prostą $T' = B_0 + Bt$, to różnica $a = A - B$ wskazuje tendencję antropogeniczną.

Postępujące ocieplenie klimatu Europy (i Polski) jest przede wszystkim efektem interferencji naturalnych cykli temperatury synchronicznych z cyklami zmiennych astronomicznych i geologicznych. Na przykład tendencja rosnąca temperatury powietrza podczas zim w Warszawie $A = 1°C/100$ lat jest wynikiem nakładania się kilku wykrytych cykli. Uwzględnienie tylko najdłuższych okresów: 38,3, 66,7, 113,1, 218,3 lat wyjaśnia część $B = 0{,}89°C/100$ lat postępującego ocieplenia. Na czynniki antropogeniczne przypada zaledwie 0,1°C/100 lat. Podobnie jest podczas zim w Genewie, gdzie tendencję rosnącą $A = 0{,}5°C/100$ lat wyjaśnia nakładanie się dłuższych okresów: 28,8, 46,7, 93,7, 216,6 lat ($B = 0{,}48$, $a = 0{,}02°C/100$ lat).

Tendencje sezonowych, półrocznych i rocznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1813-1990, określone równaniami prostych regresji $P = A_0 + At$ (współczynniki regresji $A$ w mm/100 lat), zawiera tab. 20.

**Tabela 20.** Tendencje temperatury powietrza w Europie (i Polsce) w°C/100 lat

| Zima | Wiosna | Lato | Jesień | P. Chłodne | P. Ciepłe | Rok |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5,6 | -7,2 | -3,1 | 0,9 | 3,3 | -6,7 | -4,2 |

Sumy wiosenne i letnie opadów w Warszawie maleją średnio o 7,2 mm/100 lat i 3,1 mm/100 lat, sumy zimowych opadów są coraz większe – o 5,6 mm/100 lat. Tendencja rocznych sum opadów jest w Warszawie malejąca – $C = -4{,}2$ mm/100 lat.

Postępujące ocieplenie klimatu np. Warszawy o $0{,}66^oC/100$ lat może być wywołane wzrostem aktywności Słońca (stałej słonecznej) w latach 1779-1993 – o 16,8/100 lat:

$T = 6{,}915 + 0{,}006572t$

$W = 20{,}80 + 0{,}168364t$

Natomiast obserwuje się spadek aktywności wulkanicznej na Ziemi w ostatnich dwóch stuleciach (1680-1980); tendencję malejącą wskaźnika *DVI* (-49/100 lat), a rosnącą – odstępów czasu między erupcjami $\Delta t$ (1,9 lat/100 lat).

Nie bez znaczenia jest coraz większa koncentracja masy w Układzie Słonecznym względem płaszczyzny ekliptyki (dyspersja masy maleje).

## Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku

W prognozach zmian klimatu Polski przyjęto założenie, że ekstrema wykrytych cykli temperatury powietrza będą się powtarzać nadal, tak jak w XVIII-XX wieku. Do przyjęcia takiego założenia upoważnia obecność analogicznych cykli w ciągach czasowych: aktywności Słońca (stałej słonecznej) i parametrów Układu Słonecznego. Najdłuższe okresy około 100- i 200-letni powtarzają się wielokrotnie w ciągach chronologicznych paleotemperatury ($^{18}O/^{16}O$) i zawartości substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych.

Sprawdziły się dotychczasowe prognozy temperatury powietrza w Warszawie na podstawie danych z lat 1799-1980 – prognozowane minimum wiekowe średniej rocznej temperatury w roku 1980 (Boryczka, 1993). Średnia roczna temperatura 6,6°C w roku 1980, wg pomiarów ze stacji Warszawa-Okęcie, jest najmniejszą wartością w 30-leciu 1966-1995.

Prognozy temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie w XXI wieku na podstawie danych: średnich miesięcznych, sezonowych i rocznych z lat 1779-1990 i 1813-1990 przedstawiają wykresy (rys. 3-21) trendów czasowych $T=T(t)$, $P=P(t)$.

Są to wypadkowe z nakładania się (interferencji) zimowych i letnich cykli temperatury powietrza, wykrytych na podstawie danych z lat 1779-1990.

Najmroźniejsze zimy, o średniej temperaturze -7°C, wystąpią prawdopodobnie w połowie przyszłego stulecia – około roku 2050. Według wypadkowej letnich cykli temperatury powietrza chłodne lata wystąpią w pierwszych dwóch dekadach XXI wieku.

Postępującego globalnego ocieplenia nie można przypisać jedynie czynnikom antropogenicznym – antropogenicznej części efektu cieplarnianego, wywołanego wzrostem zawartości $CO_2$ w atmosferze. Wzrosty i spadki temperatury powietrza są skorelowane ze wzrostami i spadkami zmierzonej masy $CO_2$ w atmosferze (ppm), a nie ze wzrostami i spadkami $CO_2$ (wyrażonymi w Gt), pochodzącymi ze spalania paliw. Około 125 000 lat temu, podczas globalnego ocieplenia wystąpił wzrost koncentracji $CO_2$ w atmosferze podobny jak teraz. Świadczą o tym krzywe zmian stężenia $CO_2$ i paleotemperatury w ciągu ostatnich 160000 lat odtworzone na podstawie izotopu tlenu z rdzeni lodowych na stacji Wostok (WMO, 1990). Zmiany stężenia $CO_2$ w atmosferze (w ppm) i paleotemperatury (w °C) są synchroniczne. Maksimum sprzed 125 000 lat – to naturalne ocieplenie klimatu Ziemi, spowodowane wzrostem promieniowania słonecznego. Jest to maksimum promieniowania na krzywej M. Milankowicza (1938), otrzymanej z nakładania się okresów zmian parametrów orbity Ziemi.

Tak więc „równoległość" krzywych zmian stężenia $CO_2$ i paleotemperatury nie jest dowodem, że postępujące ocieplenie jest wywołane antropogenicznym efektem cieplarnianym. Wspiera to tezę, że zawartość dwutlenku węgla (zmierzona masa $CO_2$, ppm) zależy od temperatury wód oceanów.

Na podstawie widma oscylacji sum rocznych opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1813-1990 prognozowano również tendencję zmian opadów, sięgając po rok 2100 (Boryczka, 1993). Opady prognozowano ekstrapolując wartości trendu czasowego superpozycji cykli od 3,5 do 112,5 lat o współczynniku korelacji wielokrotnej $R=0{,}67$.

Według prognozy z 1993 roku w ostatniej dekadzie XX wieku opady będą mniejsze od normy $\overline{P}=568{,}9$ mm. W pierwszych dwóch dekadach XXI wieku będą oscylować wokół średniej $\overline{P}$. Maksimum wiekowe opadów 720 mm wystąpi mniej więcej w latach 2030, 2063, 2068. Najmniejsze sumy roczne, rzędu 400 mm, wystąpią prawdopodobnie w pobliżu dat: 2033, 2040.

O istnieniu realnych (deterministycznych) okresów opadów atmosferycznych o poprawności modeli statystycznych świadczy sprawdzalność prognoz zmian klimatu Polski w XX wieku. Dobra jest także zgodność z wynikami pomiarów (na Okęciu) prognozowanych rocznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie (1813-1980) przedstawionych w pracy J. Boryczki (1993). Krzywej sum rocznych o tendencji malejącej w latach 1981-1990 odpowiada spadek zmierzonych sum opadów: od 656 mm – w roku 1981 do 456 mm – w roku 1990, a następnie wzrost do 652 mm w 1993.

Dość dobra zgodność prognozowanych wartości temperatury i opadów atmosferycznych ze zmierzonymi – poza przedziałem aproksymacji – świadczy, iż istnieją przyczynowo-skutkowe związki między okresami zmiennych klimatologicznych i astronomicznych.

Postępem w badaniach wiekowych zmian klimatu jest także wyodrębnienie dwóch składników trendu czasowego: naturalnego i antropogenicznego. Obserwowane zmiany wiekowe np. temperatury powietrza można traktować jako wypadową zmian naturalnych uwarunkowanych aktywnością Słońca i zmian antropogenicznych wynikających z wpływu takich czynników, jak rozbudowa miasta, wzrost zawartości $CO_2$ (efekt cieplarniany) i pyłów (absorpcja promieniowania słonecznego) w atmosferze i innych. Autorzy wyszli z założenia, że składnik naturalny jest wynikiem nakładania się tych sinusoidalnych cykli. Natomiast składnik antropogeniczny cechuje się stałą tendencją zmian. Trzeba jednak pamiętać, że wyodrębnione przyrosty antropogeniczne temperatury i opadów atmosferycznych (i ich prognoza na lata 2000-2100) nie zawsze wynikają z wpływu czynników antropogenicznych. Mogą to być również zmiany naturalne o bardzo długich nieznanych okresach, nie stwierdzonych na podstawie istniejących ciągów chronologicznych.

Tego rodzaju trendy czasowe elementów klimatu umożliwiły autorom dokonanie rekonstrukcji (od roku 1700) i prognozy (po rok 2100) klimatu Warszawy przez zwykłą eksplorację funkcji aproksymujących (rys. 3-21).

Trzeba zauważyć, że krzywa wiekowych zmian temperatury powietrza w stuleciu XXI znajduje się poniżej średniej rocznej z dwóch ostatnich stuleci. Biorąc jednak pod uwagę przyrosty antropogeniczne temperatury, które złagodzą jej naturalne spadki, może nie wystąpić zbytnie ochłodzenie klimatu w przyszłym stuleciu. Oczywiście prognozy te – sondaż przyszłości – otrzymano przy założeniu, że ekstrema wykrytych cykli, które wystąpiły w XVIII-XX wieku, powtarzać się będą nadal.

Antropogeniczne przyrosty temperatury $\Delta t = at$ ulegają rocznym zmianom. Wartości współczynnika liniowego $a$ (w °C/100 lat) w poszczególnych miesiącach zawiera tabela 21.

**Tabela 21.** Wartości współczynnika liniowego $a$ (w °C/100 lat) temperatury powietrza w Warzawie

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *A* | 0,59 | 0,01 | 0,21 | 0,21 | 0,07 | 0,03 | 0,01 | -0,26 | 0,08 | 0,20 | 1,16 | 1,48 |

Antropogeniczne przyrosty temperatury $\Delta T = at$ w odniesieniu do roku 1778 ($t = 0$, $\Delta T = 0$) mają wartości (°C), podane w tabeli 22.

**Tabela 22.** Antropogeniczne przyrosty temperatury $\Delta T = aT$ w Warszawie

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1900 | 0,72 | 0,01 | 0,26 | 0,26 | 0,01 | 0,04 | 0,01 | -0,32 | 0,10 | 0,10 | 1,42 | 1,81 |
| 2000 | 1,31 | 0,02 | 0,47 | 0,47 | 0,16 | 0,07 | 0,02 | -0,58 | 0,18 | 0,44 | 2,57 | 3,28 |
| 2100 | 2,91 | 0,03 | 0,08 | 0,68 | 0,23 | 0,10 | 0,03 | -0,84 | 0,26 | 0,64 | 3,74 | 4,46 |

Składniki liniowe $a_0 + at$ trendu temperatury powietrza w półroczach chłodnym (X-III) i ciepłym (IV-IX) oraz w roku (I-XII) podano w tabeli 23.

**Tabela 23.** Składniki liniowe $a_0 + at$ trendu temperatury powietrza w Warszawie

| | |
|---|---|
| X-III | $T = -0{,}1385 + 0{,}00483t + \ldots$ |
| IV-IX | $T = 14{,}52 + 0{,}00041t + \ldots$ |
| I-XII | $T = 7{,}263 + 0{,}00181t + \ldots$ |

Antropogeniczne przyrosty temperatury powietrza w miesiącach półrocza chłodnego są dodatnie ($a>0$, dominacja efektu cieplarnianego wynikającego ze wzrostu zawartości $CO_2$ w atmosferze), a w miesiącach półrocza ciepłego – bardzo małe lub ujemne ($a<0$, dominacja absorpcji promieniowania słonecznego przez pyły naturalne lub przemysłowe pochodzące z emisji wtórnej).

Antropogeniczne przyrosty temperatury ($\Delta T$) są największe w grudniu: $a=1{,}48$°C/100 lat, a spadki w sierpniu: $a=-0{,}26$°C/100 lat. Średnie wartości stałej tendencji zmian wynoszą: półrocze chłodne – $a=0{,}48$°C/100 lat, półrocze ciepłe – $a=0{,}04$°C/100 lat, rok – $a=0{,}19$°C/100 lat.

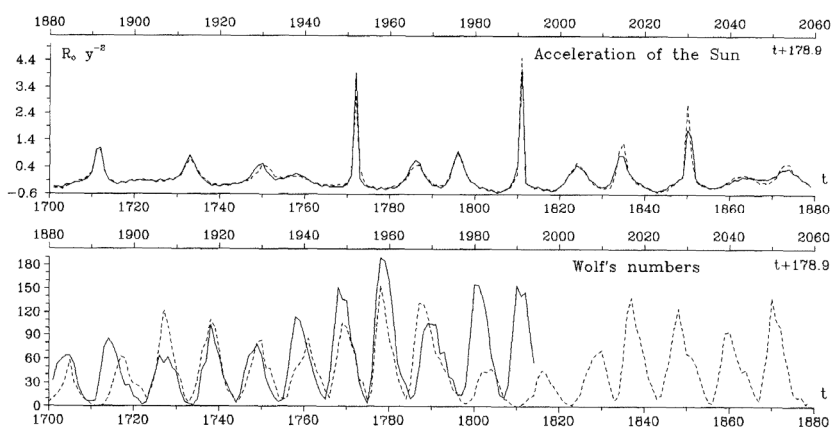
Przyrosty ($\Delta T$ w °C) średniej rocznej temperatury powietrza nie są zbyt duże: 1900 – 0,23, 2000 – 0,42, 2100 – 0,61.

W latach 2000, 2100 wyniosą one odpowiednio 0,4 i 0,6°C. Tendencja rosnąca temperatury powietrza może też wynikać, ze wzrostu akumulacji ciepła przez zabudowę (w dzień) – rozbudowy miast.

Te małe wartości przyrostów antropogenicznych $\Delta T$ temperatury powietrza w niektórych miesiącach wynikają prawdopodobnie z przeciwnego oddziaływania na pole temperatury powietrza pyłów – absorbujących promieniowanie słoneczne i dwutlenku węgla – wywołującego efekt cieplarniany atmosfery.

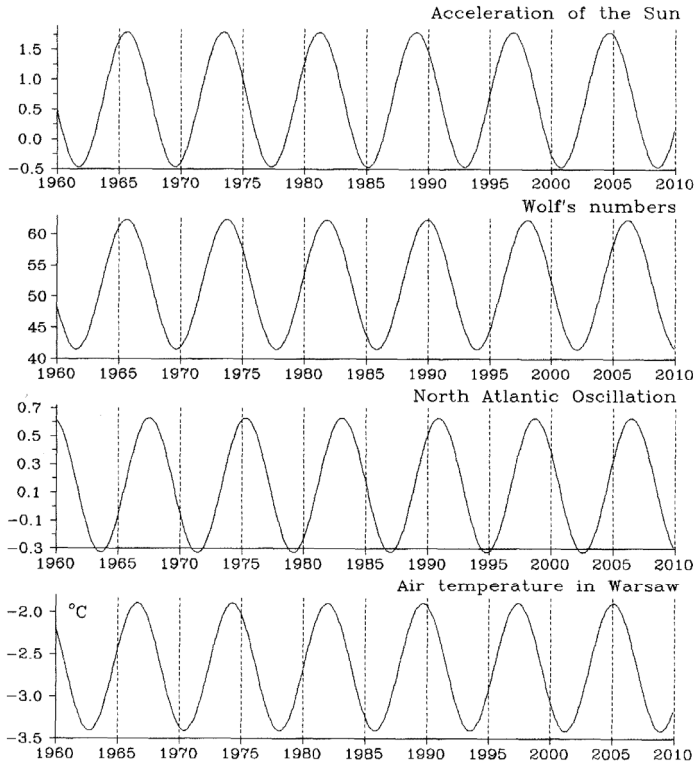
Ekstremalne wartości temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie w 30-leciu 1966-1995 (średnie miesięczne, średnie maksymalne, średnie minimalne, absolutne maksima, absolutne minima) zestawiono w tab. 32- 33. Uzupełnieniem informacji są ekstremalne wartości ciśnienia atmosferycznego w latach 1966-1995, podane w tab. 34-35.

Jeszcze bardziej wiarygodne są prognozy średnich konsekutywnych 11-letnich wartości temperatury powietrza (°C) i sum opadów atmosferycznych (P mm) w Warszawie w latach 1991-2100, przedstawione na wykresach – na rys. 22-40. Są to krzywe średnich ruchomych 11-letnich ekstrapolowanych wartości trendów czasowych temperatury $T(t)$ i opadów $P(t)$.



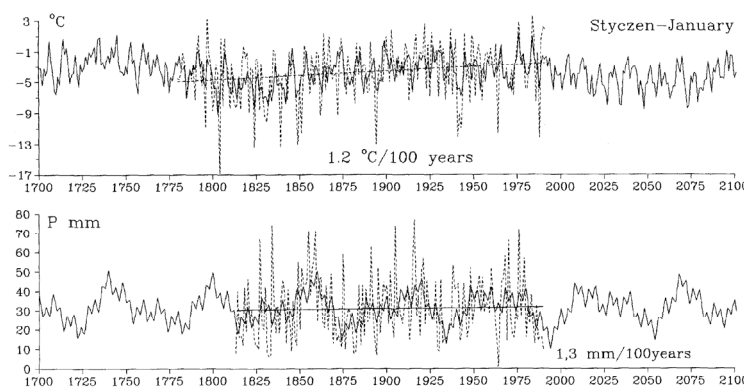

**Rys. 1.** Przyspieszenie Słońca i liczby Wolfa w latach 1700-1878,9 (krzywa przerywana) i1879-2057,8 (krzywa ciągła – tj. po 178,9 latach. Stała słoneczna w latach 1749-1815 i 1927,8-1993 (po 178,9 latach)

**Fig. 1.** Acceleration of the sun and Wolf's numbers in the years 1700-1878,9 (broken curve) and 1879-2057,8 (solid curve) – i. e. after 178,9 years. Solar constant in the years 1749-1815 and 1927,8-1993 (after 178,9 years)



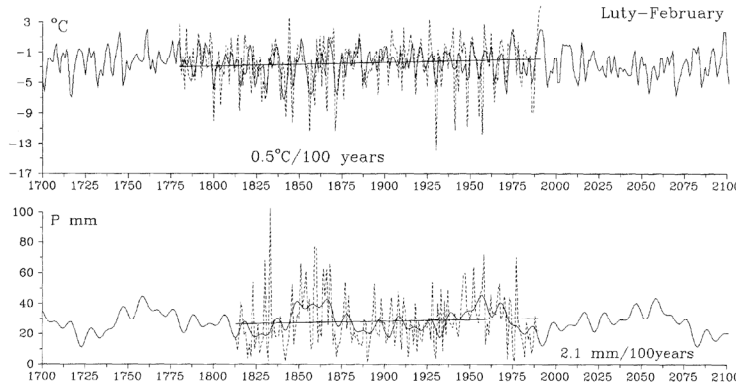

**Rys. 2.** Cykle około 8-letnie przyspieszenia Słońca**.** Liczb Wolfa, wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* i temperatury powietrza podczas zim w Warszawie

**Fig. 2.** The close-to-8-tear cycles of the acceleration of the sun, and of Wolf's number, and of North Atlantic Oscillation index *NAO*, and of air temperature in Warsaw during winters

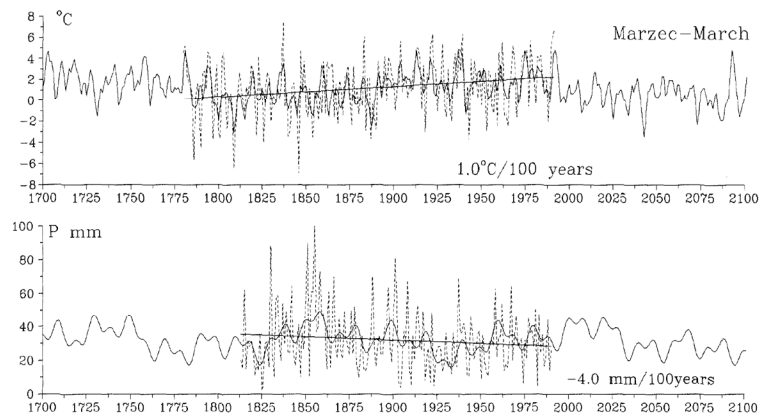



**Rys. 3.** Zmiany temperatury powietrza *T* i opadów atmosferycznych *P* w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Styczeń

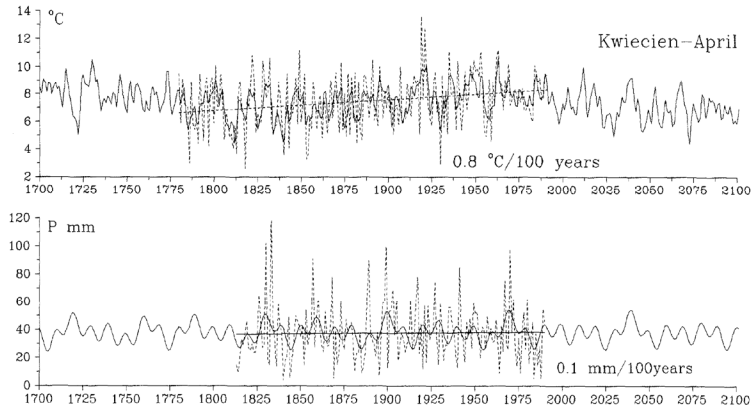
**Fig. 3.** Changes of air temperature *T* and precipitation *P* in Warsaw in 18th-21th centuries – January



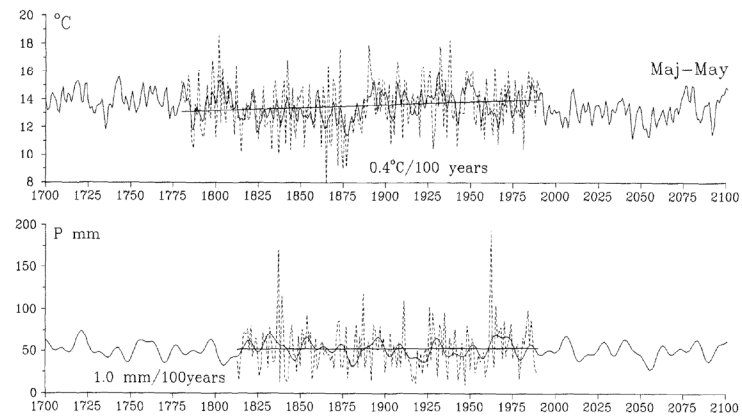

**Rys. 4.** Zmiany temperatury powietrza T i opadów atmosferycznych P w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Luty
**Fig. 4.** Changes of air temperature T and precipitation P in Warsaw in 18th-21th centuries – February



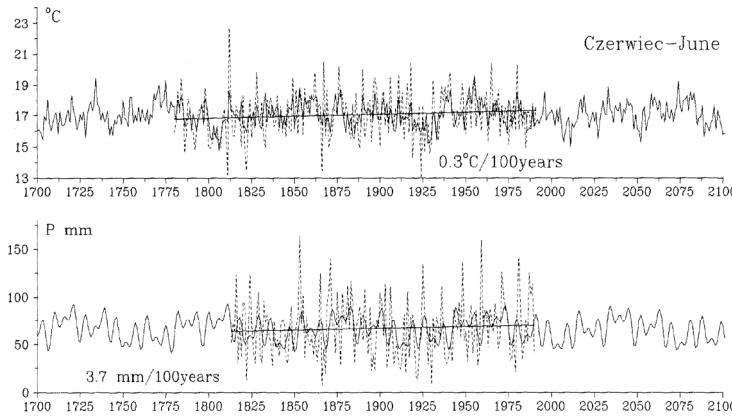

**Rys. 5.** Zmiany temperatury powietrza *T* i opadów atmosferycznych *P* w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Marzec
**Fig. 5.** Changes of air temperature *T* and precipitation *P* in Warsaw in 18th-21th centuries – March



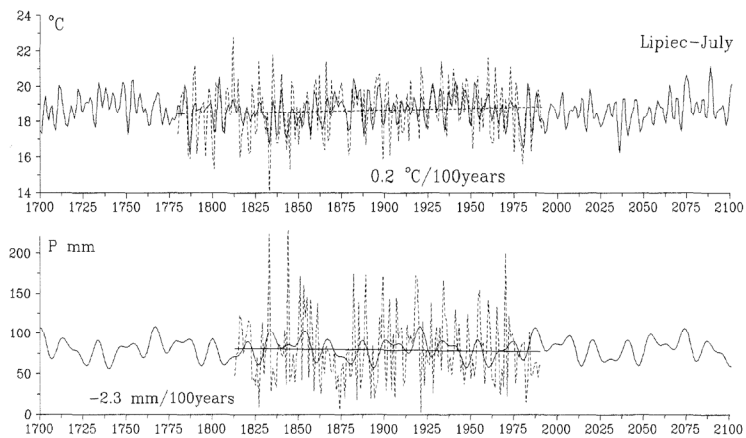

**Rys. 6.** Zmiany temperatury powietrza *T* i opadów atmosferycznych *P* w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Kwiecień
**Fig. 6** Changes of air temperature *T* and precipitation *P* in Warsaw in 18th-21th centuries – April



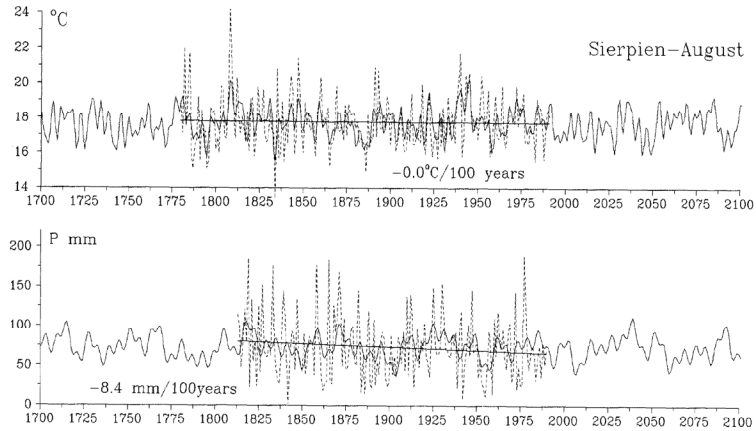

**Rys. 7.** Zmiany temperatury powietrza *T* i opadów atmosferycznych *P* w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Maj
**Fig. 7.** Changes of air temperature *T* and precipitation *P* in Warsaw in 18th-21th – May



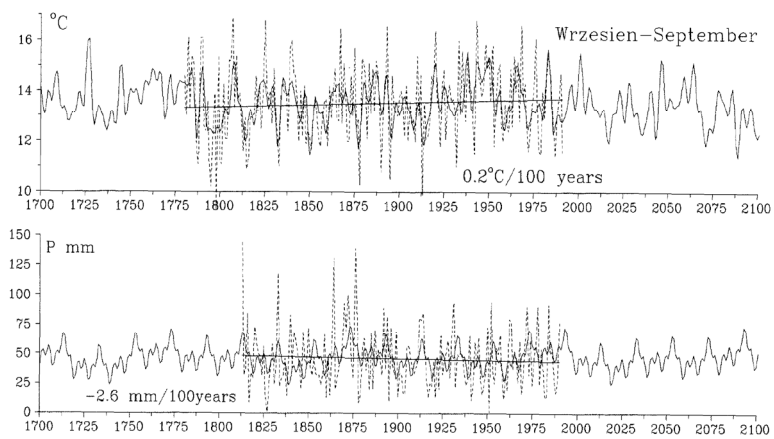

**Rys. 8.** Zmiany temperatury powietrza *T* i opadów atmosferycznych *P* w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Czerwiec
**Fig. 8.** Changes of air temperature *T* and precipitation *P* in Warsaw in 18th-21th centuries – June



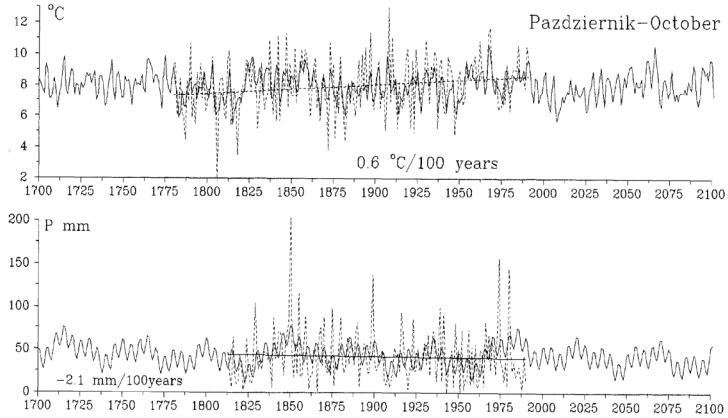

**Rys. 9.** Zmiany temperatury powietrza *T* i opadów atmosferycznych *P* w Warszawie w XVIII-XXI wieku –Lipiec
**Fig. 9.** Changes of air temperature *T* and precipitation *P* in Warsaw in 18th-21th centuries – July



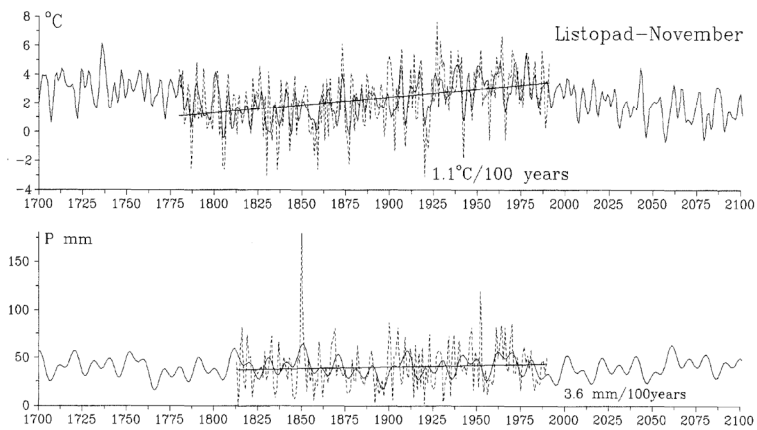

**Rys. 10.** Zmiany temperatury powietrza *T* i opadów atmosferycznych *P* w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Sierpień
**Fig. 10.** Changes of air temperature *T* and precipitation *P* in Warsaw in 18th-21th centuries – August



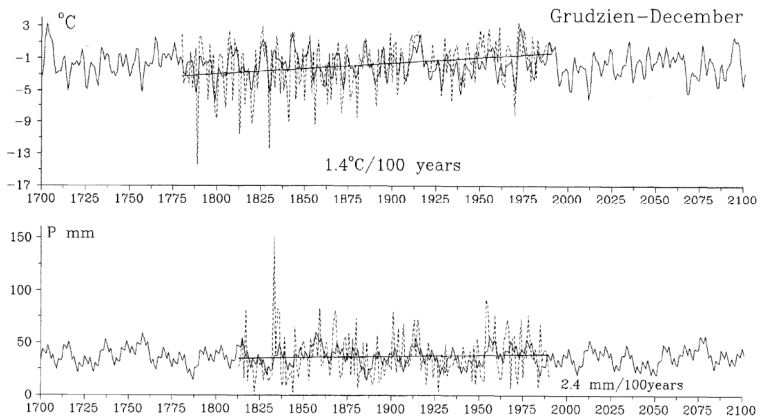

**Rys. 11** Zmiany temperatury powietrza *T* i opadów atmosferycznych *P* w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Wrzesień
**Fig. 11.** Changes of air temperature *T* and precipitation *P* in Warsaw in 18th-21th centuries – September



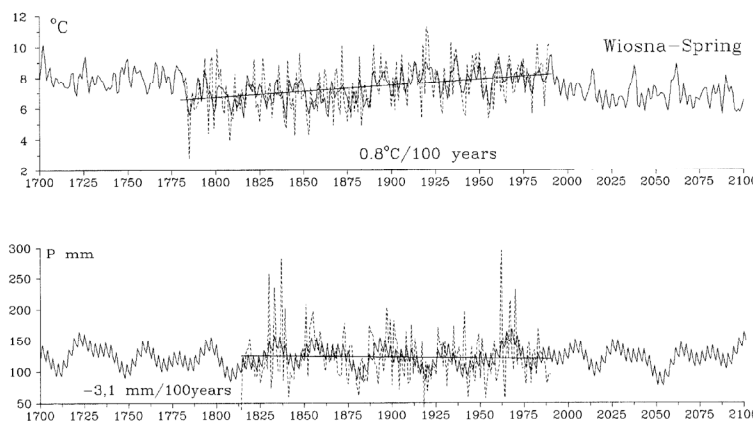

**Rys. 12.** Zmiany temperatury powietrza *T* i opadów atmosferycznych *P* w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Październik
**Fig. 12.** Changes of air temperature *T* and precipitation *P* in Warsaw in 18th-21th centuries – October



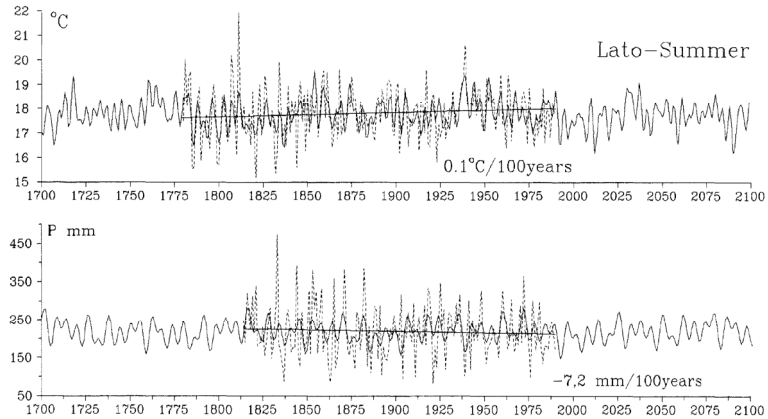

**Rys. 13.** Zmiany temperatury powietrza *T* i opadów atmosferycznych *P* w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Listopad
**Fig. 13.** Changes of air temperature *T* and precipitation *P* in Warsaw in 18th-21th centuries – November



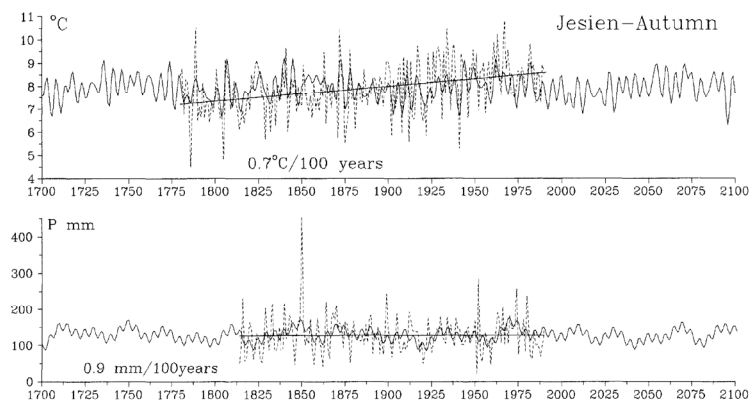

**Rys. 14.** Zmiany temperatury powietrza *T* i opadów atmosferycznych *P* w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Grudzień
**Fig. 14.** Changes of air temperature *T* and precipitation *P* in Warsaw in 18th-21th centuries – December



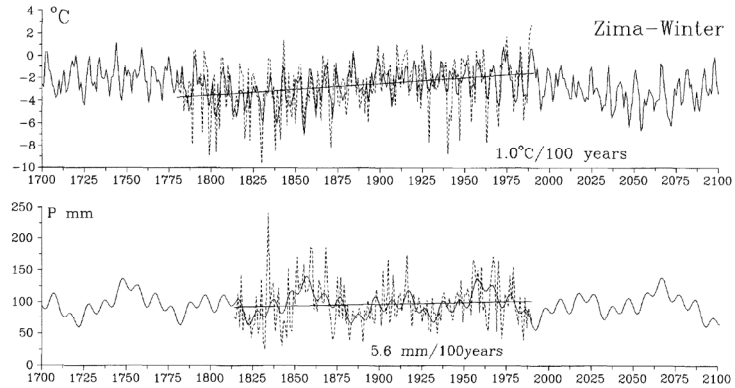

**Rys. 15.** Zmiany temperatury powietrza *T* i opadów atmosferycznych *P* w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Wosna
**Fig. 15.** Changes of air temperature *T* and precipitation *P* in Warsaw in 18th-21th centuries – Spring



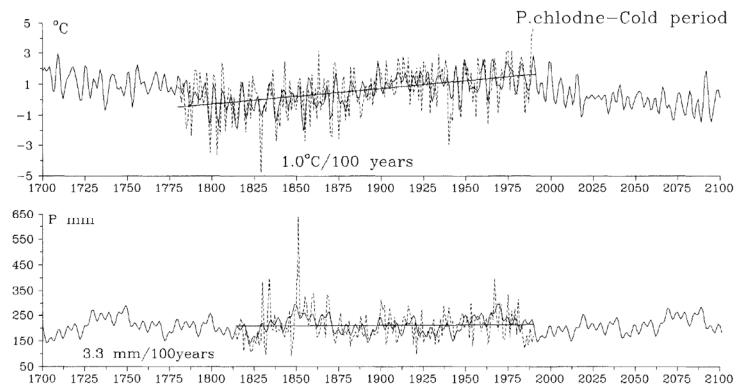

**Rys. 16.** Zmiany temperatury powietrza *T* i opadów atmosferycznych *P* w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Lato
**Fig. 16.** Changes of air temperature *T* and precipitation *P* in Warsaw in 18th-21th centuries – Summer



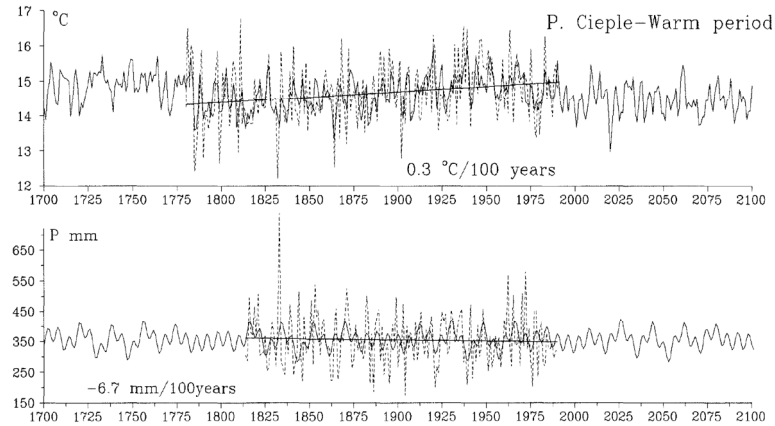

**Rys. 17.** Zmiany temperatury powietrza *T* i opadów atmosferycznych *P* w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Jesień
**Fig. 17.** Changes of air temperature *T* and precipitation *P* in Warsaw in 18th-21th centuries – Autumn



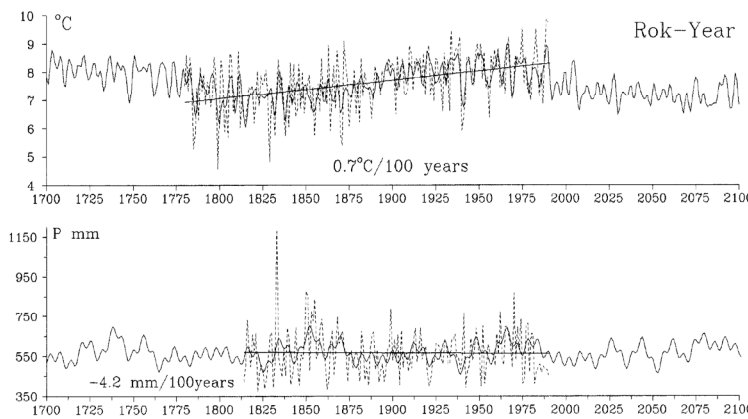

**Rys. 18.** Zmiany temperatury powietrza *T* i opadów atmosferycznych *P* w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Zima
**Fig. 18.** Changes of air temperature *T* and precipitation *P* in Warsaw in 18th-21th centuries – Winter



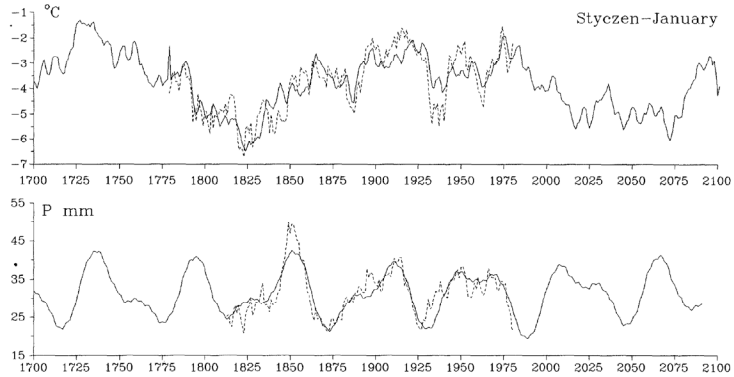

**Rys. 19.** Zmiany temperatury powietrza *T* i opadów atmosferycznych *P* w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Półrocze chłodne
**Fig. 19.** Changes of air temperature *T* and precipitation *P* in Warsaw in 18th-21th centuries – Cold period



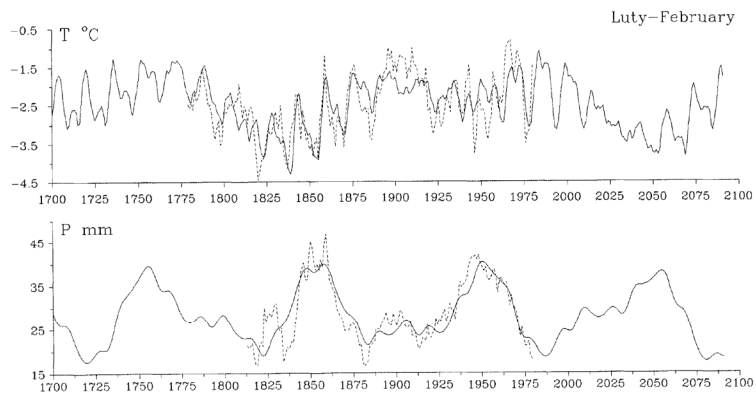

**Rys. 20.** Zmiany temperatury powietrza *T* i opadów atmosferycznych *P* w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Półrocze ciepłe
**Fig. 20.** Changes of air temperature *T* and precipitation *P* in Warsaw in 18th-21th centuries – Warm period



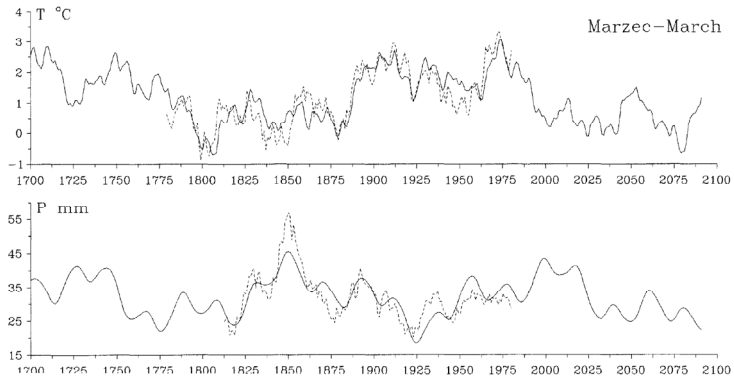

**Rys. 21.** Zmiany temperatury powietrza *T* i opadów atmosferycznych *P* w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Rok
**Fig. 21.** Changes of air temperature *T* and precipitation *P* in Warsaw in 18th-21th centuries – Year



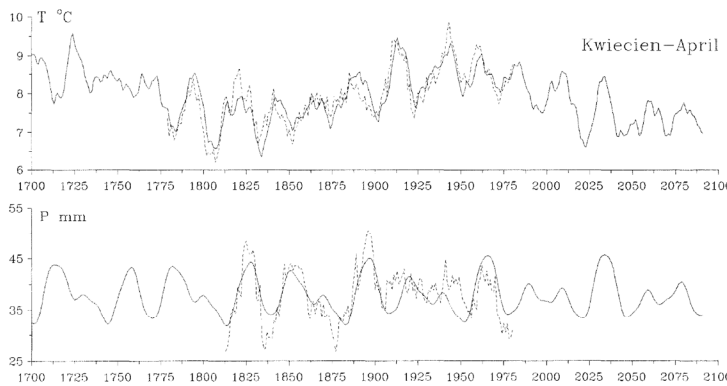

**Rys. 22.** Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T* [°C]) i opadów atmosferycznych (*P* [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – Styczeń
**Fig. 22.** Consecutive 11-years averages of the air temperature values (*T* [°C]), and precipitation (*P* [mm])in Warsaw in the years 1700-2100 – January



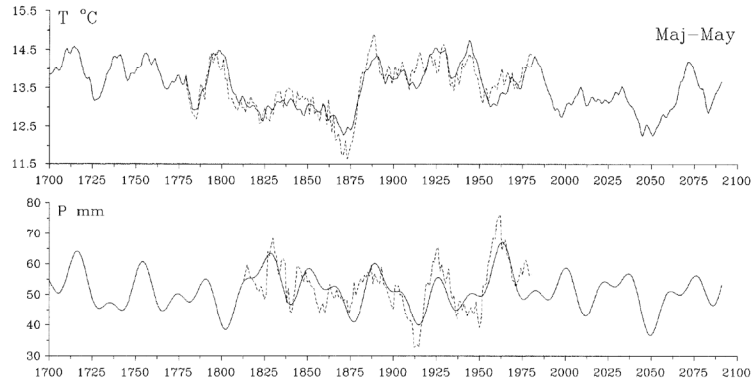

**Rys. 23.** Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T* [°C]) i opadów atmosferycznych (*P* [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – Luty
**Fig. 23.** Consecutive 11-years averages of the air temperature values (*T* [°C]), and precipitation (*P* [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – February



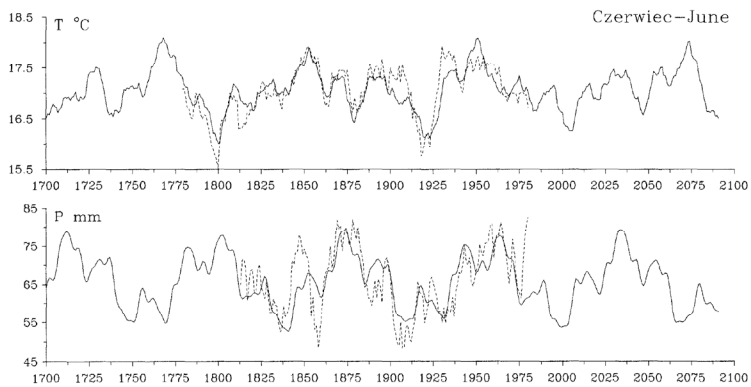

**Rys. 24.** Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T* [°C]) i opadów atmosferycznych (*P* [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – Marzec
**Fig. 24.** Consecutive 11-years averages of the air temperature values (*T* [°C]), and precipitation (*P* [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – March



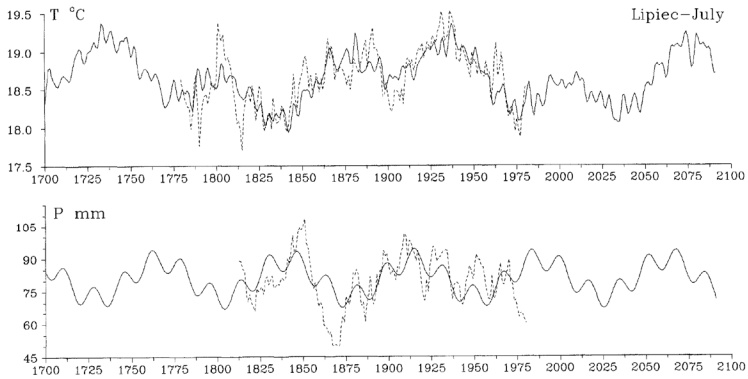

**Rys. 25.** Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T* [°C]) i opadów atmosferycznych (*P* [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – Kwiecień
**Fig. 25.** Consecutive 11-years averages of the air temperature values (*T* [°C]), and precipitation (*P* [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – April



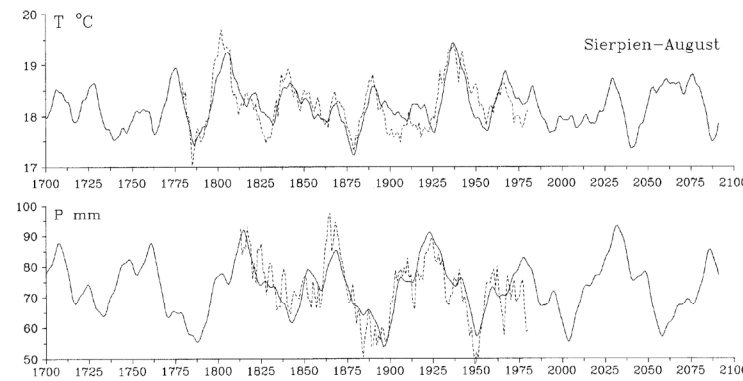

**Rys. 26.** Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T* [°C]) i opadów atmosferycznych (*P* [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – Maj
**Fig. 26.** Consecutive 11-years averages of the air temperature values (*T* [°C]), and precipitation (*P* [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – May



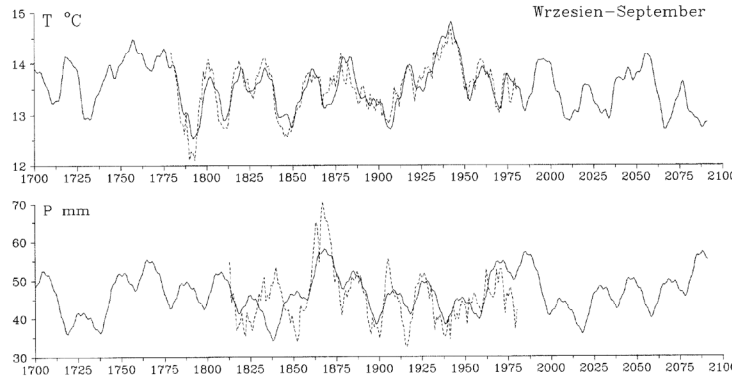

**Rys. 27.** Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T* [°C]) i opadów atmosferycznych (*P* [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – Czerwiec
**Fig. 27.** Consecutive 11-years averages of the air temperature values (*T* [°C]), and precipitation (*P* [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – June



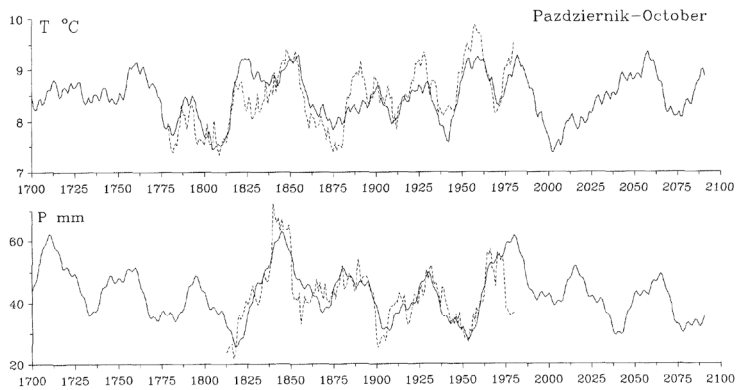

**Rys. 28.** Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T* [°C]) i opadów atmosferycznych (*P* [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – Lipiec
**Fig. 28.** Consecutive 11-years averages of the air temperature values (*T* [°C]), and precipitation (*P* [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – July



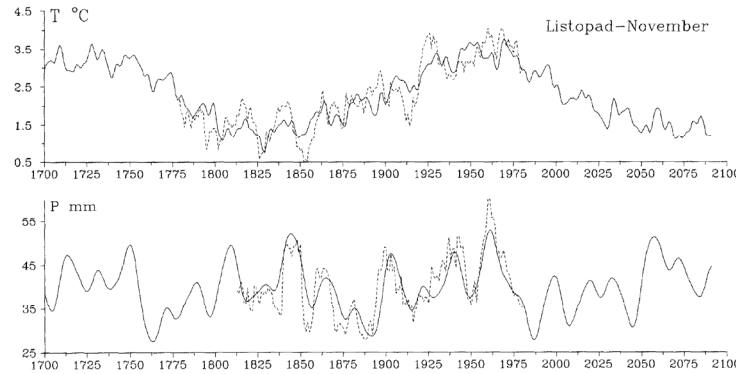

**Rys. 29.** Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T* [°C]) i opadów atmosferycznych (*P* [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – Sierpień
**Fig. 29.** Consecutive 11-years averages of the air temperature values (*T* [°C]), and precipitation (*P* [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – August




**Rys. 30.** Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T* [°C]) i opadów atmosferycznych (*P* [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – Wrzesień
**Fig. 30.** Consecutive 11-years averages of the air temperature values (*T* [°C]), and precipitation (*P* [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – September

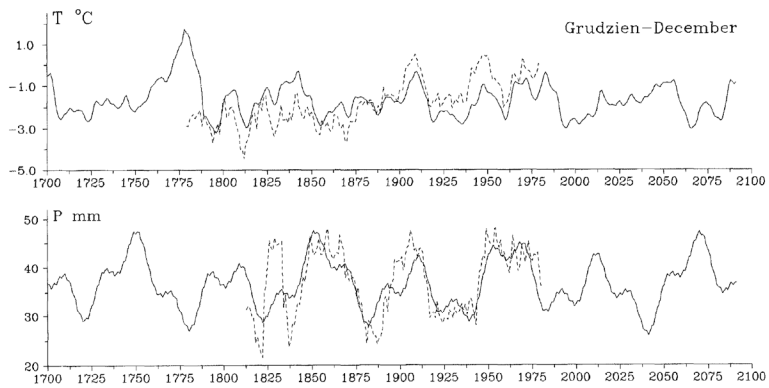



**Rys. 31.** Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T* [°C]) i opadów atmosferycznych (*P* [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – Październik
**Fig. 31.** Consecutive 11-years averages of the air temperature values (*T* [°C]), and precipitation (*P* [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – October



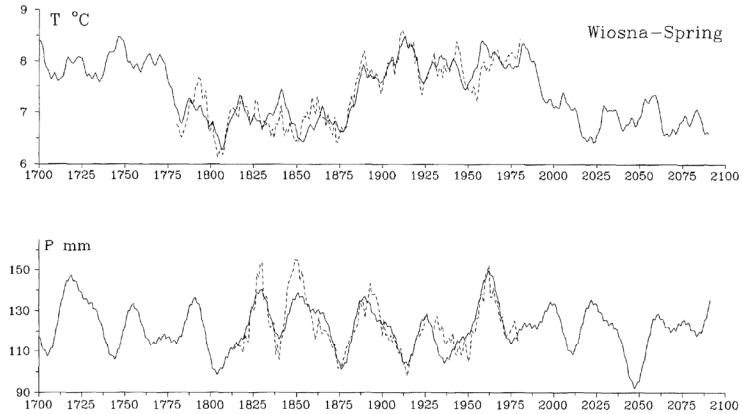

**Rys. 32.** Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T* [°C]) i opadów atmosferycznych (*P* [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – Listopad

**Fig. 32.** Consecutive 11-years averages of the air temperature values (*T* [°C]), and precipitation (*P* [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – November

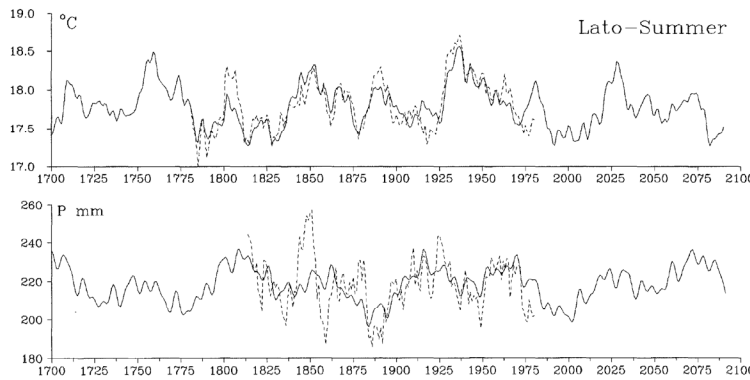



**Rys. 33.** Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T* [°C]) i opadów atmosferycznych (*P* [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – Grudzień

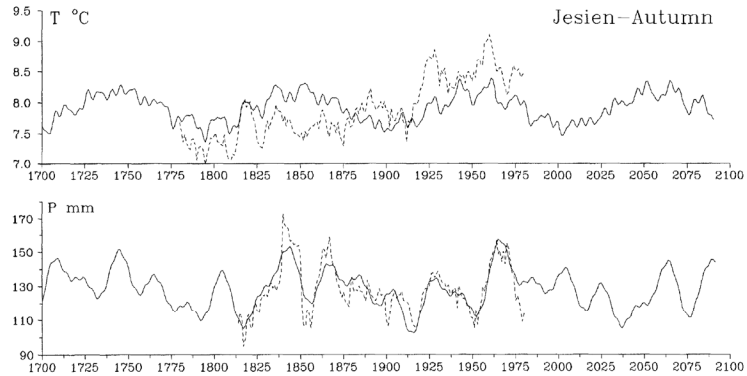
**Fig. 33.** Consecutive 11-years averages of the air temperature values (*T* [°C]), and precipitation (*P* [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – December



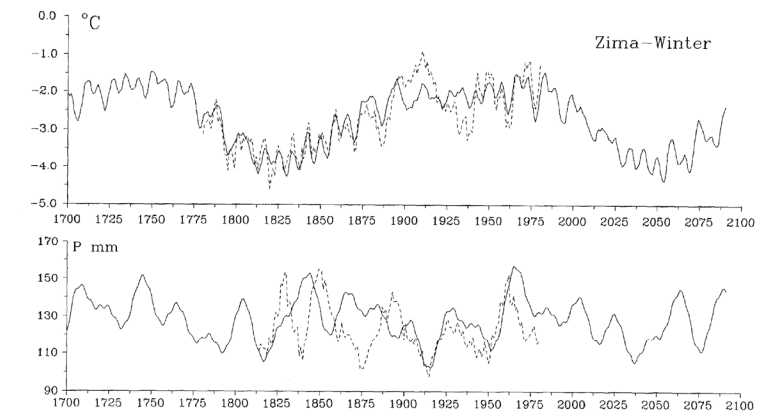

**Rys. 34.** Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T* [°C]) i opadów atmosferynych (*P* [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – Wiosna
**Fig. 34.** Consecutive 11-years averages of the air temperature values (*T* [°C]), and precipitation (*P* [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – Spring



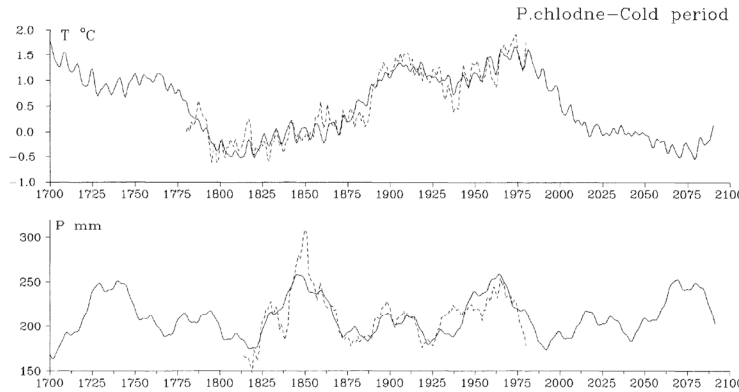

**Rys. 35.** Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T* [°C]) i opadów atmosferycznych ([mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 –Lato
**Fig. 35.** 11-years averages of the air temperature values (*T* [°C]), and precipitation (*P* [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – Summer



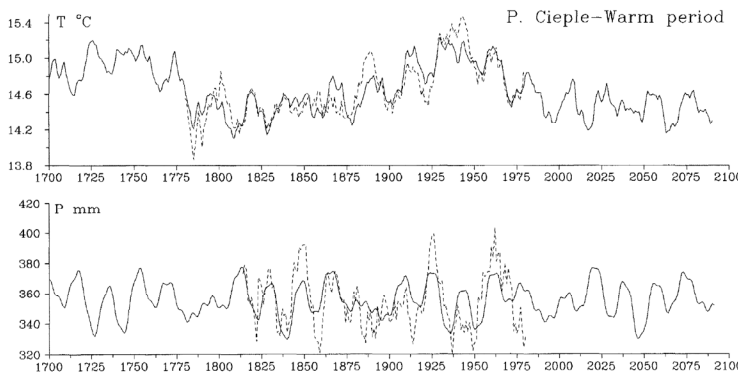

**Rys. 36.** Śr. ednie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T* [°C]) i opadów atmosferycznych (*P* [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – Jesień
**Fig. 36.** Consecutive 11-years averages of the air temperature values (*T* [°C]), and precipitation (*P* [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – Autumn



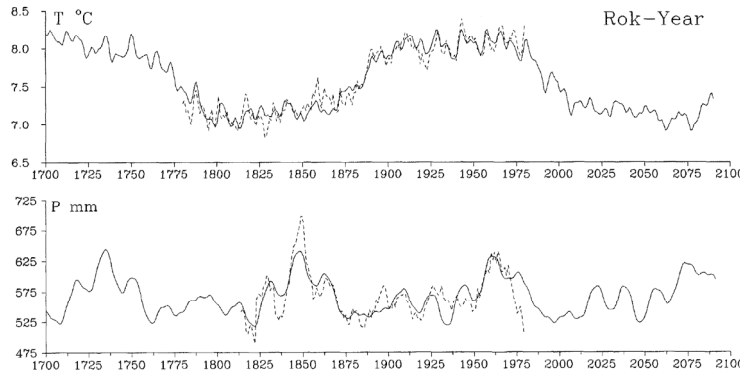

**Rys. 37.** Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T* [°C]) i opadów atmosferycznych (*P* [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – Zima
**Fig. 37.** Consecutive 11-years averages of the air temperature values (*T* [°C]), and precipitation (*P* [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – Winter




**Rys 38.** Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T* [°C]) i opadów atmosferycznych (*P* [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – Półrocze chłodne
**Fig. 38.** Consecutive 11-years averages of the air temperature values (*T* [°C]), and precipitation (*P* [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – Cold period




**Rys. 39.** Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T* [°C]) i opadów atmosferycznych (*P* [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – Półrocze ciepłe
**Fig. 39.** Consecutive 11-years averages of the air temperature values (*T* [°C]), and precipitation (*P* [mm]) in Warsaw – Warm period




**Rys. 40.** Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza (*T*°C) i opadów atmosferycznych *P* (mm) w Warszawie w latach 1700-2100- Rok
**Fig. 40.** Consecutive 11-years averages of the air temperature values (*T*°C), and precipitation (*P* [mm]) in Warsaw – Year

**Tabela 24.** Największe wartości temperatury powietrza w Warszawie: średnie miesięczne, sezonowe i roczne w latach: 1779-1800, 1801-1900, 1901-2000, 2001-2100

| | 1779-1800 | | 1801-1900 | | 1901-2000 | | 2001-2100 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Max | Rok | Max | Rok | Max | Rok | Max | Rok |
| I | 3,2 | 1796 | 1,4 | 1863 | 3,6 | 1983 | -1,0 | 2095 |
| II | 2,7 | 1779 | 3,6 | 1843 | 5,1 | 1990 | 2,0 | 1991 |
| III | 5,2 | 1780 | 7,5 | 1836 | 6,7 | 1990 | 4,8 | 1991 |
| IV | 10,1 | 1800 | 11,2 | 1848 | 13,6 | 1918 | 10,0 | 2011 |
| V | 16,8 | 1797 | 18,7 | 1801 | 18,2 | 1837 | 15,0 | 2076 |
| VI | 19,4 | 1783 | 22,7 | 1811 | 20,5 | 1917 | 19,2 | 2073 |
| VII | 21,1 | 1789 | 22,8 | 1811 | 21,6 | 1959 | 21,1 | 2088 |
| VIII | 22,0 | 1781 | 24,2 | 1807 | 21,7 | 1939 | 19,3 | 2084 |
| IX | 16,1 | 1781; 88; 89 | 16,9 | 1806 | 16,8 | 1942 | 15,5 | 2000 |
| X | 10,7 | 1789 | 11,4 | 1896 | 13,0 | 1907 | 10,6 | 2065 |
| XI | 4,8 | 1789 | 6,1 | 1872 | 7,6 | 1926 | 4,5 | 2042 |
| XI | 1,9 | 1779 | 3,0 | 1825 | 3,4 | 1971 | 1,7 | 2094 |
| XII-II | 0,5 | 1796 | 1,4 | 1843 | 2,7 | 1990 | -0,1 | 2098 |
| III-V | 9,4 | 1798 | 10,1 | 1872, 90 | 11,3 | 1920 | 8,9 | 2062 |
| VI-VIII | 20,0 | 1781 | 21,9 | 1811 | 20,6 | 1939 | 19,1 | 2037 |
| IX-XI | 10,5 | 1789 | 10,5 | 1872 | 10,8 | 1967 | 9,0 | 2055 |
| I-XII | 8,6 | 1781; 83 | 9,1 | 1872 | 9,9 | 1989 | 8,4 | 2005 |

**Tabela 25.** Najmniejsze wartości temperatury powietrza w Warszawie: średnie miesięczne, sezonowe i roczne w latach: 1779-1800, 1801-1900, 1901-2000, 2001-2100

| | 1779-1800 | | 1801-1900 | | 1901-2000 | | 2001-2100 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Max | Rok | Max | Rok | Max | Rok | Max | Rok |
| I | -10,9 | 1795 | -16,9 | 1803 | -12,1 | 1940 | -8,5 | 2047 |
| II | -10,0 | 1799 | -11,4 | 1855 | -13,9 | 1929 | -6,8 | 2069 |
| III | -5,6 | 1785 | -6,9 | 1845 | -3,7 | 1942 | -3,5 | 2042 |
| IV | 3,0 | 1785 | 2,6 | 1817 | 2,9 | 1929 | 4,4 | 2072 |
| V | 10,5 | 1786 | 7,9 | 1864 | 10,4 | 1980 | 11,2 | 2044 |
| VI | 14,6 | 1785 | 13,1 | 1810 | 13,0 | 1923 | 15,0 | 2010 |
| VII | 15,3 | 1800 | 14,1 | 1832 | 15,6 | 1979 | 16,2 | 2035 |
| VIII | 15,1 | 1786; 1994 | 13,4 | 1833 | 15,5 | 1982 | 16,0 | 2043 |
| IX | 9,3 | 1797 | 10,3 | 1877 | 9,3 | 1912 | 11,4 | 2088 |
| X | 4,5 | 1786 | 1,8 | 1805 | 4,8 | 1946 | 5,7 | 2007 |
| XI | -2,5 | 1786 | -3,0 | 1829 | -3,1 | 1919 | -0,7 | 2056 |
| XII | -14,3 | 1788 | -12,3 | 1829 | -8,2 | 1969 | -6,2 | 2011 |
| XII-II | -8,9 | 1799 | -9,6 | 1830 | -8,8 | 1940 | -6,7 | 2054 |
| III-V | 2,8 | 1785 | 3,9 | 1808 | 5,4 | 1955 | 5,6 | 2088 |
| VI-VIII | 15,5 | 1785 | 15,2 | 1821 | 15,8 | 1923 | 16,2 | 2012 |
| IX-XI | 4,5 | 1786 | 4,8 | 1805 | 5,3 | 1941 | 6,3 | 2096 |
| I-XII | 4,6 | 1799 | 4,8 | 1829 | 5,9 | 1940 | 6,5 | 2030 |

**Tabela 26.** Największe i najmniejsze sumy opadów w Warszawie: średnie miesięczne, sezonowe i roczne w latach: 1813-1900, 1901-1990

| | 1813-1900 | | | | 1901-1990 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Max | Rok | Min | Rok | Max | Rok | Min | Rok |
| I | 74 | 1834 | 6 | 1832 | 77 | 1916 | 1 | 1964 |
| II | 103 | 1833 | 1 | 1890 | 72 | 1958 | 2 | 1976 |
| III | 100 | 1825 | 2 | 1855 | 81 | 1901 | 4 | 1904 |
| IV | 118 | 1833 | 4 | 1840 | 98 | 1970 | 5 | 1984 |
| V | 169 | 1837 | 13 | 1838 | 194 | 1962 | 10 | 1947 |
| VI | 164 | 1853 | 8 | 1866 | 159 | 1959 | 8 | 1930 |
| VII | 229 | 1844 | 6 | 1874 | 200 | 1970 | 3 | 1921 |
| VIII | 185 | 1819 | 2 | 1842 | 188 | 1977 | 8 | 1942 |
| IX | 144 | 1813 | 1 | 1827 | 94 | 1852 | 1 | 1951 |
| X | 203 | 1850 | 2 | 1866 | 156 | 1974 | 0 | 1943 |
| XI | 179 | 1850 | 0 | 1814 | 119 | 1952 | 2 | 1920 |
| XII | 150 | 1833 | 3 | 1822 | 92 | 1954 | 4 | 1927 |
| XII-II | 241 | 1834 | 25 | 1832 | 174 | 1916 | 40 | 1985 |
| III-V | 281 | 1837 | 40 | 1814 | 295 | 1962 | 43 | 1918 |
| VI-VIII | 473 | 1833 | 86 | 1863 | 366 | 1972 | 84 | 1921 |
| IX-XI | 454 | 1850 | 43 | 1862 | 285 | 1952 | 20 | 1951 |
| I-XII | 1184 | 1833 | 372 | 1822 | 867 | 1970 | 391 | 1942 |

**Tabela 27.**Największe i najmniejsze wartości średnie miesięczne i sezonowe temperatury powietrza (1779-2000) i opadów atmosferycznych (1813-2000) w Warszawie

| | Temperatura powietrza (1779-2000) | | | | Opad atmosferyczny (1813-2000) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Max | Rok | Min | Rok | Max | Rok | Min | Rok |
| I | 3,6 | 1983 | -16,9 | 1803 | 77 | 1916 | 1 | 1964 |
| II | 5,1 | 1990 | -13,5 | 1929 | 103 | 1833 | 1 | 1890 |
| III | 7,5 | 1836 | -6,9 | 1845 | 100 | 1825 | 2 | 1855 |
| IV | 13,6 | 1918 | 2,6 | 1817 | 118 | 1833 | 4 | 1840 |
| V | 18,7 | 1801 | 7,9 | 1864 | 194 | 1962 | 10 | 1947 |
| VI | 22,7 | 1811 | 13,0 | 1923 | 164 | 1853 | 8 | 1860; 1930 |
| VII | 22,8 | 1811 | 14,1 | 1832 | 229 | 1844 | 3 | 1921 |
| VIII | 24,2 | 1807 | 13,4 | 1933 | 188 | 1977 | 2 | 1842 |
| IX | 16,9 | 1806 | 9,3 | 1797; 1912 | 144 | 1813 | 1 | 1827; 1951 |
| X | 13,0 | 1907 | 1,8 | 1805 | 203 | 1850 | 0 | 1943 |
| XI | 7,6 | 1926 | -3,1 | 1919 | 179 | 1850 | 0 | 1814 |
| XI | 3,4 | 1971 | -14,3 | 1788 | 150 | 1833 | 3 | 1822 |
| XII-II | 2,7 | 1990 | -9,6 | 1830 | 241 | 1834 | 25 | 1832 |
| III-V | 11,3 | 1920 | 2,8 | 1785 | 295 | 1962 | 40 | 1814 |
| VI-VIII | 21,9 | 1811 | 15,2 | 1821 | 473 | 1833 | 84 | 1921 |
| IX-XI | 10,8 | 1967 | 4,5 | 1786 | 454 | 1850 | 20 | 1951 |
| I-XII | 9,9 | 1989 | 4,6 | 1793 | 1184 | 1833 | 372 | 1822 |

**Tabela 28.** Największe i najmniejsze wartości: średnie miesięczne, sezonowe i roczne temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie

| | Temperatura powietrza | | | | Opad atmosferyczny | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Max | Rok | Min | Rok | Max | Rok | Min | Rok |
| I | -1,0 | 2095 | -8,5 | 2047 | 48 | 2068 | 10 | 1994 |
| II | 2,0 | 1991 | -6,8 | 2069 | 44 | 2058 | 12 | 20083 |
| III | 4,8 | 1991 | -3,5 | 2042 | 45 | 2020 | 17 | 2095 |
| IV | 10,0 | 2011 | 4,4 | 2072 | 54 | 2039 | 26 | 2025 |
| V | 15,0 | 2076 | 11,2 | 2044 | 68 | 2007 | 28 | 2056 |
| VI | 19,2 | 2073 | 15,0 | 2010 | 91 | 2034 | 44 | 2073 |
| VII | 21,1 | 2088 | 16,2 | 2035 | 107 | 2074 | 59 | 2014 |
| VIII | 19,3 | 2084 | 16,0 | 2043 | 112 | 2039 | 40 | 2007 |
| IX | 15,5 | 2000 | 11,4 | 2088 | 73 | 2093 | 25 | 2019 |
| X | 10,6 | 2065 | 5,7 | 2007 | 65 | 2020 | 16 | 2043 |
| XI | 4,5 | 2042 | -0,7 | 2056 | 63 | 2061 | 21 | 1995 |
| XI | 1,7 | 2094 | -6,2 | 2011 | 57 | 2079 | 20 | 2051 |
| XII-II | -0,1 | 2098 | -6,7 | 2054 | 139 | 2067 | 55 | 1992 |
| III-V | 8,9 | 2062 | 5,6 | 2088 | 163 | 2100 | 77 | 2054 |
| VI-VIII | 19,1 | 2037 | 16,2 | 2012 | 274 | 2026 | 148 | 1993 |
| IX-XI | 9,0 | 2055 | 6,3 | 2096 | 162 | 2069 | 88 | 2042 |
| I-XII | 8,4 | 2005 | 6,5 | 2030 | 662 | 2080 | 463 | 2053 |

**Tabela 29.** Największe i najmniejsze wartości: średnie miesięczne, sezonowe i roczne temperatury powietrza w Warszawie w 30-leciu 1966-1995

| | Średnie miesięczne | | | | Średnie maksymalne | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Max | Rok | Min | Rok | Max | Rok | Min | Rok |
| I | 3,2 | 1983 | -12,3 | 1987 | 5,8 | 1983 | -7,7 | 1987 |
| II | 4,7 | 1990 | -9,6 | 1986 | 9,1 | 1990 | -5,7 | 1986 |
| III | 6,6 | 1990 | -2,2 | 1987 | 11,5 | 1990 | 1,2 | 1969 |
| IV | 9,5 | 1068 | 5,6 | 1982 | 15,4 | 1983 | 10,5 | 1982 |
| V | 16,5 | 1993 | 9,9 | 1980 | 22,7 | 1993 | 15,2 | 1980 |
| VI | 19,8 | 1979 | 14,4 | 1984 | 26,0 | 1979 | 19,1 | 1984 |
| VII | 22,0 | 1994 | 15,0 | 1979 | 26,5 | 1992 | 19,8 | 1979 |
| VIII | 19,5 | 1971 | 15,2 | 1987 | 28,6 | 1992 | 20,3 | 1987 |
| IX | 16,4 | 1967 | 11,1 | 1971; 79; 90 | 21,9 | 1967 | 15,0 | 1978 |
| X | 11,3 | 1967 | 5,7 | 1993 | 16,1 | 1967 | 9,2 | 1992 |
| XI | 5,4 | 1969 | -2,7 | 1993 | 8,3 | 1986 | 0,1 | 1993 |
| XII | 3,1 | 1971 | -8,5 | 1969 | 4,9 | 1971 | -5,5 | 1969 |
| I-XII | 3,5 | 1989 | 6,6 | 1980 | 13,9 | 1989 | 10,4 | 1980 |

**Tabela 30.** Największe i najmniejsze wartości: średnie miesięczne i średnie minimalne temperatury powietrza w Warszawie w 30-leciu 1966-1995

| | Średnie miesięczne | | | | Średnie maksymalne | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Max | Rok | Min | Rok | Max | Rok | Min | Rok |
| I | 3,2 | 1983 | -12,3 | 1987 | 1,0 | 1983 | -16,4 | 1987 |
| II | 4,7 | 1990 | -9,6 | 1986 | 1,2 | 1989 | -13,4 | 1986 |
| III | 6,6 | 1990 | -2,2 | 1987 | 2,0 | 1990 | -5,9 | 1987 |
| IV | 9,5 | 1968 | 5,6 | 1982 | 4,9 | 1983 | 0,7 | 1983 |
| V | 16,5 | 1993 | 9,9 | 1980 | 10,6 | 1983 | 4,8 | 1980 |
| VI | 19,8 | 1979 | 14,4 | 1984 | 13,0 | 1979 | 8,8 | 1976 |
| VII | 22,0 | 1994 | 15,0 | 1979 | 15,5 | 1972 | 10,8 | 1979 |
| VIII | 19,5 | 1971 | 15,2 | 1987 | 14,5 | 1992 | 9,4 | 1976 |
| IX | 16,4 | 1967 | 11,1 | 1971; 79; 90 | 11,6 | 1967 | 6,7 | 1972 |
| X | 11,3 | 1967 | 5,7 | 1993 | 7,3 | 1966 | 1,0 | 1979 |
| XI | 5,4 | 1969 | -2,7 | 1993 | 2,8 | 1969; 77 | -5,5 | 1993 |
| XII | 3,1 | 1971 | -8,5 | 1969 | 1,1 | 1971 | -11,9 | 1969 |
| I-XII | 9,5 | 1989 | 6,6 | 1980 | 5,1 | 1989 | 2,2 | 1969 |

**Tabela 31.** Największe i najmniejsze wartości: średnie miesięczne i ekstremalne temperatury powietrza w Warszawie w 30-leciu 1966-1995

| | Średnie miesięczne | | | | Ekstremalne | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Max | Rok | Min | Rok | Max | Data | Min | Data |
| I | 3,2 | 1983 | -12,3 | 1987 | 13,8 | 12.01.1993 | -30,7 | 8.01.1987 |
| II | 4,7 | 1990 | -9,6 | 1986 | 17,2 | 25.02.1990 | -27,6 | 1.02. 970 |
| III | 6,6 | 1990 | -2,2 | 1987 | 22,9 | 21.03.1974 | -21,6 | 5.03.1971 |
| IV | 9,5 | 1968 | 5,6 | 1982 | 18,2 | 30.04.1972 | -5,6 | 12.04.1986 |
| V | 16,5 | 1993 | 9,9 | 1980 | 31,6 | 31.051979 | -3,1 | 1.05. 1971 |
| VI | 19,8 | 1979 | 14,4 | 1984 | 33,1 | 1.06.1979 | 1,8 | 2.06. 1975 |
| VII | 22,0 | 1994 | 15,0 | 1979 | 35,9 | 30.07.1994 | 4,8 | 6.07. 1976 |
| VIII | 19,5 | 1971 | 15,2 | 1987 | 36,4 | 1.08. 1994 | 3,0 | 27.08 1977 |
| IX | 16,4 | 1967 | 11,1 | 1971; 1979; 1980 | 29,7 | 4.09.1967 | -1,6 | 28.091977 |
| X | 11,3 | 1967 | 5,7 | 1993 | 25,9 | 5.10. 1966 | -9,6 | 31.10.1988 |
| XI | 5,4 | 1969 | -2,7 | 1993 | 18,2 | 1.11. 1968 | -17,0 | 29.111989 |
| XII | 3,1 | 1971 | -8,5 | 1969 | 14,2 | 19.12.1989 | -24,8 | 21.121969 |
| I-XII | 9,5 | 1989 | 6,6 | 1980 | 36,4 | 1.08. 1994 | -30,7 | 8.01. 1987 |

**Tabela 32.** Największe i najmniejsze wartości: średnie maksymalne i absolutne maksima temperatury powietrza w Warszawie w 30-leciu 1966-1995

| | Średnie maksymalne | | | | Absolutne maksimum | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Max | Rok | Min | Rok | Max | Data | Min | Data |
| I | 5,8 | 1983 | -7,7 | 1987 | 13,8 | 12.01.1993 | 1,7 | 26.01.1987 |
| II | 9,1 | 1990 | -5,7 | 1986 | 17,2 | 25.02.1990 | 0,5 | 1.02.1986 |
| III | 11,5 | 1990 | 1,2 | 1969 | 22,9 | 21.031974 | 5,9 | 31.031969 |
| IV | 15,4 | 1983 | 10,5 | 1982 | 28,2 | 30.041977 | 17,2 | 28.041980 |
| V | 22,7 | 1993 | 15,2 | 1980 | 31,6 | 31.051979 | 22,2 | 11.051991 |
| VI | 26,0 | 1979 | 19,1 | 1984 | 33,1 | 1.06.1979 | 25,3 | 3.06.1984 |
| VII | 26,5 | 1992 | 19,8 | 1979 | 33,9 | 30.071994 | 24,4 | 14.071979 |
| VIII | 28,6 | 1990 | 20,3 | 1987 | 36,4 | 1.08.1994 | 26,2 | 9.08.1977 |
| IX | 21,9 | 1967 | 15,0 | 1978 | 29,7 | 4.09.1967 | 20,8 | 17.091978 |
| X | 16,1 | 1967 | 9,2 | 1992 | 25,9 | 5.10.1966 | 13,6 | 8.10.1974 |
| XI | 8,3 | 1986 | 0,1 | 1993 | 18,2 | 1.11.1968 | 7,5 | 19.111988 |
| XII | 4,9 | 1971 | -5,5 | 1969 | 14,2 | 19.121989 | 0,5 | 4.12.1969 |
| I-XII | 13,9 | 1989 | 10,5 | 1980 | 36,4 | 1.08.1994 | 26,8 | 5.08.1980 |

**Tabela 33.** Największe i najmniejsze wartości: średnie minimalne i absolutne minima temperatury powietrza w Warszawie w 30-leciu 1966-1995

| | Średnie minimalne | | | | Absolutne minimum | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Max | Rok | Min | Rok | Max | Data | Min | Data |
| I | 1,0 | 1983 | -16,4 | 1987 | -4,7 | 21.01.1983 | -30,7 | 8.01.1987 |
| II | 1,2 | 1989 | -13,4 | 1986 | -4,0 | 14.02.1990 | -27,6 | 1.02.1970 |
| III | 2,0 | 1990 | -5,9 | 1987 | -3,3 | 14.03.1990 | -21,6 | 5.03.1971 |
| IV | 4,9 | 1983 | 0,7 | 1983 | -1,5 | 5.04.1970 | -5,6 | 12.04.1986 |
| V | 10,6 | 1983 | 4,8 | 1980 | 5,6 | 1.05.1988 | -3,1 | 1.05.1971 |
| VI | 13,3 | 1979 | 8,8 | 1976 | 8,1 | 23.06.1968 | 1,8 | 2.06.1975 |
| VII | 15,5 | 1972 | 10,8 | 1979 | 10,5 | 9.07.1975 | 4,8 | 6.07.1976 |
| VIII | 14,5 | 1992 | 9,4 | 1976 | 9,3 | 15.08.1982 | 3,0 | 27.08.1973 |
| IX | 11,6 | 1967 | 6,7 | 1972 | 6,1 | 24.09.1984 | -1,6 | 28.09.1977 |
| X | 7,3 | 1966 | 1,0 | 1979 | 2,2 | 6.10.1989 | -9,6 | 31.10.1988 |
| XI | 2,8 | 1969; 1977 | -5,5 | 1969 | -1,1 | 13.11.1978 | -17,0 | 29.11.1989 |
| XII | 1,1 | 1971 | -11,9 | 1969 | -3,9 | 9.12.1971 | -24,8 | 21.12.1969 |
| I-XII | 5,1 | 1989 | 2,2 | 1969 | -10,4 | 8.01.1990 | -30,7 | 8.01.1987 |

**Tabela 34.** Największe i najmniejsze wartości: średnie miesięczne i ekstremalne ciśnienia atmosferycznego w Warszawie w 30-leciu 1966-1995

| | Średnie | | | | Ekstremalne | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Max | Rok | Min | Rok | Max | Data | Min | Data |
| I | 1013 | 1989 | 994 | 1986 | 1035 | 2.01.1993 | 965 | 15.01.1981 |
| II | 1013 | 1976 | 995 | 1970 | 1032 | 14.02.1994 | 958 | 26.02.1989 |
| III | 1009 | 1974 | 995 | 1973; 1988 | 1031 | 12.03.1972 | 860 | 1.03.1990 |
| IV | 1005 | 1984 | 996 | 1983 | 1022 | 9.04.1969 | 971 | 19.04.1980 |
| V | 1007 | 1992 | 997 | 1983; 1984 | 1023 | 15.05.1992 | 976 | 13.05.1995 |
| VI | 1004 | 1973; 1976; 1972; 1984 | 997 | 1980 | 1017 | 1.06.1982 | 982 | 1.06.1980 |
| VII | 1006 | 1969 | 997 | 1980 | 1014 | 1.07.1991 | 980 | 19.07.1970 |
| VIII | 1007 | 1973 | 999 | 1089 | 1019 | 4.08.1981 | 976 | 9.08.1978 |
| IX | 1007 | 1971; 1977 | 997 | 1984 | 1024 | 27.09.1977 | 977 | 24.09.1984 |
| X | 1011 | 1985; 1987 | 994 | 1974 | 1029 | 18.10.1993 | 996 | 22.10.1974 |
| XI | 1013 | 1993 | 994 | 1969 | 1031 | 18.11.1985 | 965 | 28.11.1983 |
| XII | 1005 | 1972; 1991 | 994 | 1994 | 1033 | 20.12.1972 | 959 | 3.12.1976 |
| I-XII | 1005 | 1972; 1991 | 1000 | 1966 | 1035 | 2.01.1993 | 958 | 26.02.1989 |

**Tabela 35.** Największe i najmniejsze wartości: średnie miesięczne i maksima ciśnienia atmosferycznego w Warszawie w 30-leciu 1966-1995

| | Ciśnienie | | | | Maksymalne | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Max | Rok | Min | Rok | Max | Data | Min | Data |
| I | 1013 | 1989 | 994 | 1986 | 1035 | 2.01.1993 | 1011 | 29.01.1986 |
| II | 1013 | 1976 | 995 | 1970 | 1032 | 14.02.1994 | 1011 | 3.02.1977 |
| III | 1009 | 1974 | 995 | 1973; 1988 | 1031 | 12.03.1972 | 1009 | 10.031978 |
| IV | 1005 | 1984 | 996 | 1983 | 1022 | 9.04.1969 | 1006 | 4.04.1986 |
| V | 1007 | 1992 | 997 | 1983; 1984 | 1023 | 15.05.1992 | 1007 | 7.05.1983; 10.05.1984; 1.05.1987 |
| VI | 1004 | 1973; 1976; 1972; 1964 | 997 | 1980 | 1017 | 1.06.1982 | 1003 | 12.06.1988 |
| VII | 1006 | 1969 | 997 | 1980 | 1014 | 1.07.1991 | 1006 | 2.07.1966; 15.07.1974 |
| VIII | 1007 | 1973 | 999 | 1989 | 1019 | 4.08.1981 | 1009 | 16.08.1977; 1.08.1980; 29.08.1982; 5.08.1984 |
| IX | 1007 | 1971; 1977 | 997 | 1984 | 1024 | 27.09.1977 | 1005 | 2.09.1984 |
| X | 1011 | 1985; 1987 | 994 | 1974 | 1029 | 18.101993 | 1006 | 12.101974 |
| XI | 1013 | 1993 | 994 | 1969 | 1031 | 18.111985 | 1009 | 7.11.1977 |
| XII | 1005 | 1972; 1991 | 994 | 1994 | 1033 | 20.121972 | 1010 | 1.12.1993 |
| I-XII | 1005 | 1972; 1991 | 1000 | 1966 | 1035 | 2.01.1993 | 1023 | 6.01.1966; 7.11.1968 |

## Summary

The purpose of the report is to present the account on the identification of the deterministic (periodical) components in the variability of the climate of Poland in time in the 18th20th centuries. Along with this, the subject of the paper is constituted by the identification of the natural causes of the coolings and warmngs of the climate in Pol and, as well as the forecast of air temperature and precipitation in Warsaw in the 2 l century. It was assumed in the forecasts of climate of Poland that the extremes of the identified cycles of temperature and precipitation will be repeated in the same way as in the 18th20th centuries. Adoption of this assumption is justified by the presence of the analogous cycles in the time series of solar activity (solar constant) and the parameters of the solar system, as well as their svnchronicity (coincidence of the extrema). The longest periods, of about 100 and 200 years. are repeated many times over in the chronological series of the palaeotemperatures **(**$^{18}O/^{16}O$**)** and the organic matter cont ent of the lake deposits. The coldest winters, with average temperatures of approximately – 7°C will most probably occur in the middle of the next century, at about the year 2050. According to the resultant of the summer cycles of temperature cool summers will occur in the first two decades of the next century. The secular maximum of – 720 mm per annum – will occur more or less in the years 2030, 2063, 2068. The lowest annual precipitation, of the order of 400 mm, will most probably take place at around the years 2033 and 2040.

The global warming and the regional phenomena – disadvantageous for the in habitants of the Earth – are usually attributed to human activity. They are first of all attributed to the anthropogenic part of the greenhouse effect in the atmosphere – the increase of the carbon dioxide (C02) content in the atmosphere. originating from the combustion of coal and other fuels.

The IPCC (1990) report, forecasting the increase of air temperature on the Earth in the year 2030 by 1.5-4.5°C, was too pessimistic. Soon afterwards. the catastrophic fore casts of the melting of Arctic and Antarctic ice caps. as well as the mountain glaciers, leading to the inundation of a part of continents by the ocean waters, appeared. The history of the Earth's climate and the simple calculations (Borvczka. 1988) indicate that such a process would have lasted for a least a dozen thousand years.

Analogously, the cooling of climate in the l940s. motivated to the undertaking of the studies on the influence of volcanic dust on climate. At that time, the catastrophic forecasts appeared of the complete glaciation of the Earth. It was forecasted that the drop in the global radiation sum by 1.5-1.6% would lead to the irreversible glaciation. proceeding from the poles towards the equator.

The subsequent report of the IPCC (1995) is more optimistic, the forecasted ant hropogenic increments of temperature attain from 1 to 3.5°C by the year 2100 (i.e. the increase has been cut by half), after the dispersion of the solar radiation by the sulphate aerosols, originating from the emission of the sulphur dioxide, $SO_2$. had been acc ounted for.

The circulation models – the $2\cdot CO_2$, scenarios (i.e. the course of events after the doubling of the pre-industrial concentration of carbon dioxide – 280 ppm) have nowad ays rather methodological significance. The numerical solutions to the equations of motion of the atmosphere. with consideration of the more important forces acting on the revolving Earth, the physical and chemical states of the air up to the level of the

stratosphere, constitute a significant advance in the development of the physics of atmosphere.

Yet, attribution of the progressing climate warming solely to the anthropogenic part of the greenhouse effect is an uncertain, poorly justified assumption. It is namely not known what part of the increasing trend in the air temperature is due to the natural factors, and what – to the anthropogenic ones. Little is known about the tendencies of atmospheric concentration of the natural trace gases (water vapour, natural $CO_2$), which are responsible for the essential part of the greenhouse effect – amounting to +33°C in the pre-industrial years (the difference between the then temperature and the planetary one).

An essential role in the shaping of the Earth's climate will still be played, also in the 21st century, by the explosive volcanic eruptions, bringing about the appearance of the layer of volcanic sulphate aerosols in the stratosphere. This fact is being demons trated through the long time series of the measurements of total radiation and air temp erature, correlated with the indicators of concentration of volcanic dusts in the atmosp here. The inflow of solar energy to the surface of the Earth depends first of all on the solar constant, whose variability will condition the fluctuations of climate in the next century.

The results of the studies presented in this part of the Atlas indicate that one should interpret the contemporaiy changes of climate in the light of climate changes in the Quaternary and especially in the Holocene. These results point out also the need of elaborating the forecasts of both natural and anthropogenic tendencies of climate changes in the 21st century.

Changes of climate, its fluctuations and trends, and the respective forecasts, have high significance in planning of development of all the sectors of economy: agricult ure. construction, energy, transport, etc.

That is also why it is most important to study the longest measurement series in Poland, serving as the basis for determining the range of variation of climate, air temp erature and precipitation, and for probing into the future. It is still essential to identify the long-term changes and to elaborate the forecasts of climate with the use of the methods of modelling, due account being taken of the connections with the human activity. The global warming and the anomalies of climate in various zones of the globe threaten the life on Earth. The most disadvantageous changes include hurricanes, storms, as well as floods, landslides, avalanches, which bring altogether 85% of economic losses. Other extreme phenomena include earthquakes and volcanic eruptions. Large losses are also caused by droughts. heat waves (forest fires), and frosts.

The highest significance in the forecasts of climate changes and of the extreme phenomena in the 21st century must be attributed to the identification of the determi nistic (periodical) components of the temporal trends in the meteorological variables. It is most important to determine the role of the fluctuations in the solar activity (solar constant) in the shaping (by the intermediary of the atmospheric circulation) of climate changes – including the extreme phenomena. The key problem is to better demonstrate that the fluctuations of the solar constant are conditioned by the changes in the parameters of the solar system, as evidenced by the statistical studies to date. This will make it possible to separate the natural shifts (warmings and coolings) of climate in Europe and in Poland. It will become possible to answer the question: what part of the increasing trend of air

temperature (progressing warming) can be attributed to natural factors (volcanic eruptions included), and what part – to anthropogenic factors (the proper greenhouse effect).

Thus, it is important to identify the short- and long-term cycles of: air temperature, precipitation. Baltic Sea level, and in particular – of the extreme phenomena. which intensify during the climate warmings: storms, floods. droughts. heat and frost waves. hurricanes, tornadoes, etc.

More detailed studies should also be conducted of the periodicitv of the catastrophic volcanic eruptions and earthquakes. dangerous to life.

All these problems iill still be studied at the Laboratory of Chmatology of the University of Warsaw. both in the framework of own research projects and of the diploma works.

*Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce t. XIV, *Prognozy zmian klimatu Warszawy*, 2000 – Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Lorenc H., Kicińska B., Błażek E., Skrzypczuk J. (zmieniony rozdz. VI).

# X. ZMIANY WARUNKÓW TERMICZNYCH I OPADOWYCH W WARSZAWIE OKREŚLONE NA PODSTAWIE POWOJENNEJ SERII OBSERWACYJNEJ Z OKĘCIA (1947-2009)

## Changes of thermic and precipitation conditions in Warsaw described on the basis of the past-war observation series from Okęcie (1947-2009)

Urszula KOSSOWSKA-CEZAK

Stacja synoptyczna Warszawa-Okęcie została uruchomiona jesienią 1932 roku, a po przerwie spowodowanej działaniami wojennymi i Powstaniem Warszawskim ponownie pod koniec 1946 roku. Stacja ta ($\varphi$=52°09', $\lambda$=20°58', $h$=108 m) znajduje się na południowo-zachodnich peryferiach miasta, na terenie lotniska i pomimo powiększenia się obszaru zabudowy miejskiej Warszawy, a także rozwoju otaczających miejscowości podmiejskich, wciąż leży na rozległym terenie, nieobciążonym oddziaływaniem zabudowy. Istnienie tej długiej, 63-letniej oryginalnej serii obserwacyjnej pochodzącej ze stacji, która pozostaje w tym samym miejscu (były tylko nieznaczne przesunięcia) i niezmienionym otoczeniu, stanowi bodziec do podjęcia analizy zmian warunków termicznych i opadowych na jej podstawie. Ze względu na położenie stacji wyniki tej analizy można uznać za reprezentatywne dla większego obszaru – środkowego Mazowsza.

Celem opracowania jest określenie zmian warunków termicznych i opadowych, jakie zaszły na Okęciu w ciągu powojennego okresu działalności stacji. Podstawą opracowania są wartości średnie miesięczne i sezonowe temperatury powietrza oraz sumy miesięczne i sezonowe opadów atmosferycznych z lat 1947-2009, przy czym najwcześniejszą uwzględnioną zimą jest ta z przełomu lat 1946/7, a ostatnią 2008/9. Rozpatrzono wartości średnie wieloletnie i tendencje zmian obu elementów klimatu w porach roku, zakres zmian wartości temperatury i sum opadów w miesiącach i porach roku oraz występowanie miesięcy i sezonów anomalnych ze względu na temperaturę (zimne i ciepłe) i wielkość opadów (suche i mokre).

## Warunki termiczne

**Charakterystyka ogólna**. W okresie 1947-2009 średnia wieloletnia temperatura powietrza w Warszawie wahała się od -2,6°C w styczniu do 18,5°C w lipcu i w każdym miesiącu była wyższa niż w zawartym w nim „klasycznym" 50-leciu 1951-2000 o 0,1-0,3°C (tab. 1). Największy wzrost temperatury, związany z uwzględnieniem jej wartości po 2000 roku, zaznaczył się w kwietniu, maju i lipcu (o 0,3°C).

Średnia temperatura w porach roku zmieniała się od -1,7°C w zimie do 17,7°C w lecie; średnia roczna wyniosła 8,1°C i w każdym przypadku była wyższa o 0,2°C niż w 50-leciu, z wyjątkiem zimy, kiedy różnica ta wyniosła tylko 0,1°C.

**Tabela 1**. Wartości średnie miesięczne, sezonowe i roczne temperatury powietrza (°C). Warszawa-Okęcie, 1947-2009 i 1951-2000
**Table 1.** Mean monthly, seasonal and yearly values of the air temperature. Warsaw-Okęcie, 1947-2009 and 1951-2000

| | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1947-2009 | $t_{śr}$ | -2,6 | -1,9 | 1,9 | 8,1 | 13,7 | 16,9 | 18,5 | 17,8 | 13,4 | 8,3 | 3,2 | -0,6 |
| | $\sigma$ | 3,4 | 3,6 | 2,4 | 1,6 | 1,6 | 1,3 | 1,7 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,9 | 2,5 |
| 1951-2000 | $t_{śr}$ | -2,7 | -2,0 | 1,8 | 7,8 | 13,4 | 16,8 | 18,2 | 17,6 | 13,2 | 8,2 | 3,0 | -0,7 |

| | | Zima | Wiosna | Lato | Jesień | Rok |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1947-2009 | $t_{śr}$ | -1,7 | 7,9 | 17,7 | 8,3 | 8,1 |
| | σ | 2,4 | 1,3 | 1,0 | 1,0 | 0,9 |
| 1951-2000 | $t_{śr}$ | -1,8 | 7,7 | 17,5 | 8,1 | 7,9 |

**Tendencje zmian temperatury powietrza**. Badanie tendencji zmian temperatury w porach roku w 63-leciu w Warszawie (rys. 1) wykazało, że w zimie wystąpił wzrost o 0,3°C/10 lat i na wiosnę o 0,25°C/10 lat (wzrosty istotne statystycznie na poziomie 5%). W lecie wzrost był mniejszy – o 0,1°C/10 lat (istotny na poziomie 10%). W rzeczywistości wzrost ten w ostatnich 20 latach był zdecydowanie większy, niewielka wartość tendencji jest jednak wynikiem tego, że dość ciepłe lata były na początku rozpatrywanego okresu, a najchłodniejsze były w latach 1960. i 1970. Temperatura średnia w jesieni praktycznie nie zmieniała się; najzimniejsze jesienie wystąpiły w latach 1990. Temperatura średnia roczna wzrastała o 0,2°C/10 lat (wzrost istotny statystycznie na poziomie 5%).

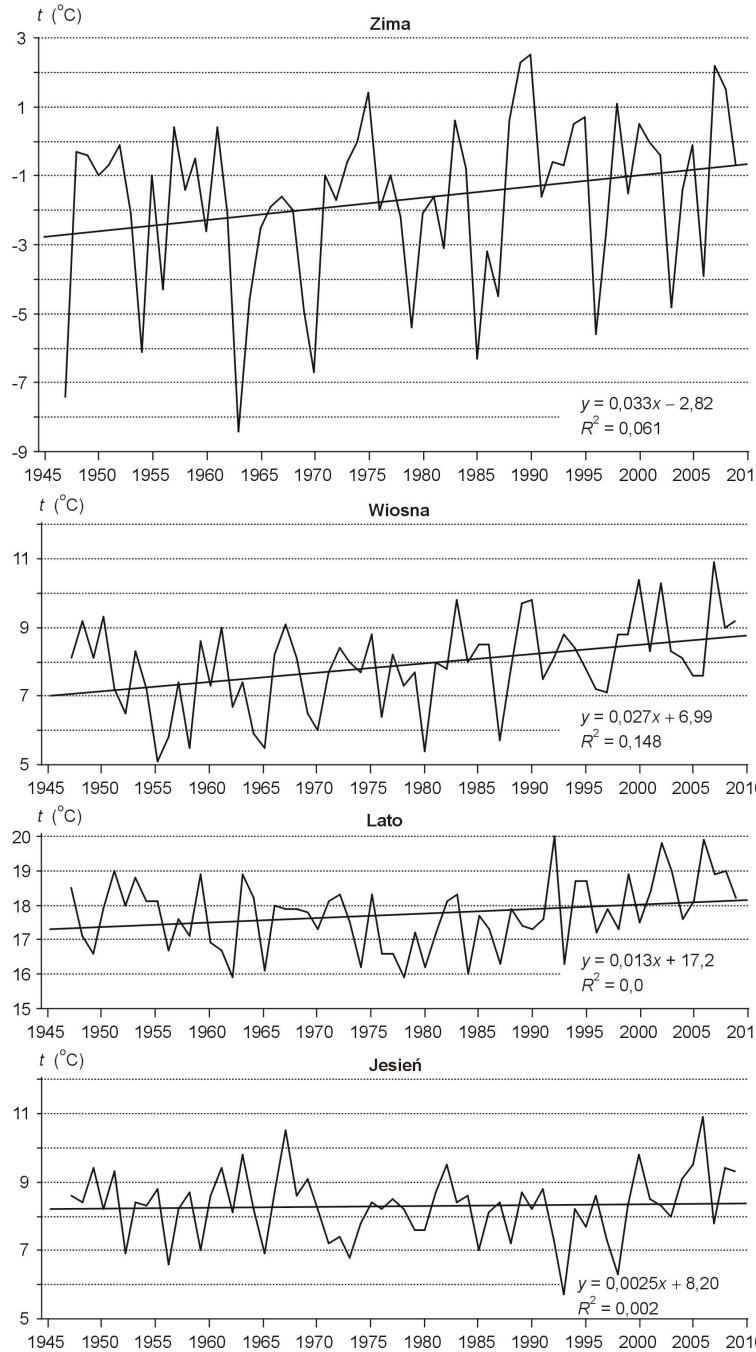
Rozpatrywany okres charakteryzował się zatem stopniowym wzrostem temperatury powietrza, zachodzącym głównie zimą i wiosną, aczkolwiek w ostatnich latach zaznaczyło się również ocieplenie latem i jesienią.

**Miesiące i sezony anomalne pod względem termicznym**. Za miesiące i sezony normalne przyjęto takie, w których średnia temperatura *t* różniła się od średniej 63-letniej ($t_{śr}$) nie więcej niż równowartość odchylenia standardowego (tab. 1), tj. o temperaturze *t*: $t_{śr} - \sigma \le t \le t_{śr} + \sigma$. Pozostałe miesiące i sezony uznano za anomalne, przy czym wyróżniono klasy.

| | | |
|---|---|---|
| $t < t_{śr} - 3\sigma$ | skrajnie zimne | *sz* |
| $t_{śr} - 3\sigma \le t < t_{śr} - 2\sigma$ | bardzo zimne | *bz* |
| $t_{śr} - 2\sigma \le t < t_{śr} - \sigma$ | zimne | *z* |
| $t_{śr} - \sigma \le t \le t_{śr} + \sigma$ | normalne | *n* |
| $t_{śr} + \sigma < t \le t_{śr} + 2\sigma$ | ciepłe | *c* |
| $t_{śr} + 2\sigma < t \le t_{śr} + 3\sigma$ | bardzo ciepłe | *bc* |

Miesięcy ani sezonów skrajnie ciepłych nie stwierdzono.

Liczbę poszczególnych kategorii miesięcy i sezonów w latach 1947-2009 podano tab. 2, a kalendarz miesięcy, sezonów i lat anomalnych zawiera tab. 9.




**Rys. 1.** Tendencja zmian temperatury powietrza w porach roku i w roku, Warszawa-Okęcie, 1947-2009

**Fig. 1.** Trends of air temperature in the seasons and in the year, Warszawa-Okęcie, 1947-2009

**Tabela 2.** Liczba miesięcy, pór roku i lat poszczególnych klas termicznych w Warszawie, 1947-2009
**Table 2**. Numbers of months, seasons and years of particular thermic classes in Warsaw, 1947-2009

| | Miesiące | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *sz* | *bz* | *z* | *n* | *c* | *bc* |
| I | – | 2 | 10 | 42 | 9 | – |
| II | – | 4 | 6 | 44 | 9 | – |
| III | – | – | 13 | 42 | 7 | 1 |
| IV | – | 2 | 8 | 45 | 7 | 1 |
| V | – | 2 | 7 | 44 | 9 | 1 |
| VI | – | – | 10 | 43 | 8 | 2 |
| VII | – | 1 | 10 | 42 | 8 | 2 |
| VIII | – | – | 12 | 42 | 6 | 3 |
| IX | – | – | 10 | 43 | 9 | 1 |
| X | – | – | 10 | 42 | 9 | 2 |
| XI | 1 | 2 | 4 | 47 | 9 | – |
| XII | 1 | 1 | 9 | 44 | 8 | – |
| Suma | 2 | 14 | 109 | 520 | 98 | 13 |
| % | 0,3 | 1,8 | 14,4 | 68,8 | 13,0 | 1,7 |

| | Pory roku i rok | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | *bz* | *z* | *n* | *c* | *bc* |
| Zima | 3 | 9 | 45 | 6 | – |
| Wiosna | 1 | 9 | 46 | 6 | 1 |
| Lato | – | 11 | 41 | 8 | 3 |
| Jesień | 2 | 8 | 42 | 9 | 2 |
| Suma | 6 | 37 | 174 | 29 | 6 |
| % | 2,4 | 14,7 | 69,0 | 11,5 | 2,4 |
| Rok | 1 | 11 | 42 | 9 | – |
| % | 1,6 | 17,4 | 66,7 | 14,3 | – |

Miesięcy o ujemnej anomalii termicznej było 125 (16,5%): zimnych 109, bardzo zimnych 14 i skrajnie zimnych 2; miesiące o anomalii dodatniej zdarzały się rzadziej, było ich 111 (14,7%): ciepłych 98 i bardzo ciepłych 13. Miesiące zimne i ciepłe występowały w ciągu całego roku, natomiast bardzo i skrajnie zimne głównie w chłodniejszej części roku (od listopada do maja), a bardzo ciepłe – w cieplejszej (od marca do października).

Podobna prawidłowość zaznacza się w przypadku pór roku: zimnych i bardzo zimnych było 43 (17%), ciepłych i bardzo ciepłych 35 (13,9%); nie zdarzyło się bardzo zimne lato ani bardzo ciepła zima. Rok także częściej bywał zimny lub bardzo zimny (12, tzn. 19%) niż ciepły lub bardzo ciepły (9, tzn. 14,3%).

Średnio w roku występują 2 miesiące o ujemnej anomalii termicznej i prawie tyle samo (1,8) o anomalii dodatniej. W rzeczywistości w ciągu 63 lat udział miesięcy zimnych

i ciepłych w roku był bardzo zmienny, nie było jednak roku w ogóle bez miesięcy anomalnych (tab. 9). „Najbardziej normalne" – tylko z jednym miesiącem anomalnym pod względem termicznym – były 4 lata: 1966, 1973, 1988 i 2004; ponadto w 13 latach 63-lecia było tylko po dwa miesiące anomalne. Najwięcej w roku miesięcy anomalnych pod względem termicznym stwierdzono 8; tak było w latach 1963 (po 4 zimne i ciepłe) oraz 2006 (2 zimne i 6 ciepłych). Ponadto po 7 miesięcy anomalnych było w latach 1961 i 1974 (4 zimne i 3 ciepłe).

Najwięcej zimnych miesięcy w roku zdarzyło się 6 – w 1965 roku (średnia temperatura 6,5°C) i 1978 (7,0°C) lub 5 – w 1956, 1962 i 1996 (odpowiednio 6,1, 7,1 i 6,8°C); Każdy rok z wymienionych był zimny, a 1956 bardzo zimny (najzimniejszy w całym okresie).W takiej samej liczbie pojawiały się miesiące ciepłe: 6 w 2006 roku (9,0°C) i 5 w 2002 i 2008 (odpowiednio 9,3 i 9,8°C, ten ostatni najcieplejszy w całym 63-leciu).

W ciągu 5 lat „powinno" wystąpić 10 miesięcy zimnych (wraz z bardzo i skrajnie zimnymi) oraz 9 ciepłych (wraz z bardzo ciepłymi). W rozpatrywanym wieloleciu najwięcej miesięcy zimnych pojawiło się w 5-leciach 1961-1965 i 1976-1980 – po 21, najmniej zaś w XXI wieku: w 5-leciu 2000-2005 – 4 i w 4-leciu 2006-2009 – zaledwie 2. Miesięcy ciepłych najwięcej było w XXI wieku: w ostatnim 4-leciu 18 i w 5-leciu 2001-2005 – 13, a najmniej w 5-leciach 1956-1960 i 1976-1980 – zaledwie po 3. 5-lecie 1976-1980 było więc okresem o największej częstości miesięcy o ujemnej anomalii termicznej i zarazem o najmniejszej anomalii dodatniej (21+3), natomiast ostatnie 4 lata – odwrotnie (2+18). Okresem o największej częstości miesięcy anomalnych, które stanowiły połowę wszystkich miesięcy 5-lecia, było wspomniane już 5-lecie 1961-1965 (21 miesięcy zimnych i bardzo zimnych, 9 ciepłych i bardzo ciepłych). Najbardziej „normalne" pod względem termicznym było natomiast 5-lecie 1966-1970, w którym wystąpiło tylko po 6 miesięcy o anomalii tak ujemnej, jak i dodatniej. W tym 5-leciu jednak zdarzył się jedyny przypadek dwóch kolejnych miesięcy bardzo ciepłych (wrzesień i październik 1967) i jeden z dwóch miesięcy skrajnie zimnych (grudzień 1969).

Miesiące anomalne występują w większości pojedynczo, na przemian z miesiącami normalnymi lub – dużo rzadziej – o anomalii przeciwnej, niekiedy zaś tworzą dłuższe ciągi. Miesiące o termicznej anomalii ujemnej wystąpiły 66 razy pojedynczo oraz utworzyły 14 ciągów 2-miesięcznych, 8 ciągów 3-miesięcznych i 2 ciągi 4-miesięczne (grudzień 1962 – marzec 1963 i czerwiec-wrzesień 1978). Ostatni ciąg 3-miesięczny wystąpił na przełomie lat 1978/1979. Miesiące o anomalii dodatniej wystąpiły pojedynczo 62 razy oraz utworzyły 19 ciągów 2-miesięcznych, 2 ciągi 3-miesięczne i jeden 5-miesięczny (wrzesień 2006 – styczeń 2007, poprzedzony ciepłym czerwcem i lipcem 2006). Najwcześniejszy ciąg 3-miesięczny pojawił się w roku 1989.

Jak wspomniano, niekiedy sąsiadują ze sobą miesiące o anomalii przeciwnej. Stwierdzono 18 takich przypadków w ciągu 63 lat: 6 razy po miesiącu zimnym nastąpił ciepły i dwa razy częściej (12) po ciepłym – zimny.

Jak dalece nierównomierny w czasie jest rozkład miesięcy anomalnych, może świadczyć długość najdłuższych ciągów: miesięcy normalnych – 14 (od czerwca 1950 do lipca 1951 i od września 1987 do października 1988), rekordowo długi, bo 50-miesięczny (od listopada 1984 do grudnia 1988) czy 37-miesięczny (od lipca 1979 do lipca 1982) ciąg bez miesięcy ciepłych lub – przeciwnie – wielomiesięczne ciągi bez miesięcy zimnych:

36 miesięcy (od grudnia 1965 do listopada 1968) i 45 miesięcy (od kwietnia 2006 do grudnia 2009; styczeń 2010 był zimny).

Aczkolwiek pojawianie się lub brak miesięcy o ujemnej lub dodatniej anomalii termicznej ma pozornie charakter przypadkowy, wynikający ze stale zmieniającej się cyrkulacji atmosferycznej, wyłaniają się jednak pewne prawidłowości. I tak najchłodniejsze okazują się 5-lecia 1961-1965 i 1976-1980 (obydwa ze średnią roczną temperaturą powietrza 7,2°C), a najcieplejszy początek XXI stulecia (8,9°C), zwłaszcza zaś lata po roku 2005 (9,3°C).

Znajduje to w pełni potwierdzenie w częstości anomalnych pór roku: w latach 1965-1970 na 20 sezonów aż 7 było zimnych i 3 ciepłe, 1976-1980 – również 7 zimnych i całkowity brak ciepłych. W ciągu 9 lat 2001-2009 na 36 sezonów tylko jeden był zimny i aż 13 ciepłych, w tym 4 bardzo ciepłe (spośród 6 w całym 63-leciu). W latach 2006-2009 było 9 sezonów o anomalii dodatniej, w tym 3 bardzo ciepłe. Ostatnim zimnym sezonem była zima 2002/3.

Rok o ujemnej anomalii termicznej wystąpił 12 razy, ostatni był rok 1996 (z 5 zimnymi miesiącami oraz z zimną zimą); o anomalii dodatniej był 9 razy – po raz pierwszy w 1975 roku, a 5 z nich było w XXI wieku, w tym 2006 – z bardzo ciepłym latem i jesienią, 2007 – z ciepłą zimą, latem i bardzo ciepłą wiosną oraz 2008 – z ciepłą zimą, latem i jesienią (tab. 9).

**Zakres zmienności temperatury powietrza**. Zachodzące obecnie ocieplenie wyraża się nie tylko malejącą częstością miesięcy, pór roku i lat o ujemnej anomalii termicznej i zwiększającą się częstością miesięcy, sezonów i lat o anomalii dodatniej, lecz także zmniejszaniem się wielkości anomalii ujemnych i wzrostem anomalii dodatnich. W tabelach 3 i 4 podano zestawienie najchłodniejszych i najcieplejszych miesięcy, pór roku i lat w 63-leciu; wybrano po 10%, tzn. po 6 przypadków, z kolejnych miesięcy, sezonów i lat. W każdym przypadku podano, do jakiej klasy termicznej został zaliczony.

Spośród tak wyłonionych 75 najchłodniejszych miesięcy (tab. 3) najwięcej (16) wystąpiło w latach 1961-1970, w tym najzimniejszy w wieloleciu styczeń (-12,4°C), maj (9,8°C) i grudzień (-8,5°C). Styczeń 1963 był najzimniejszym miesiącem w całym 63-leciu. W następnych 10-leciach 1971-1980 i 1981-1990 tych najchłodniejszych miesięcy było niewiele mniej (odpowiednio 15 i 14), a ze skrajnie zimnych miesięcy wystąpiły wówczas czerwiec (14,4°C), lipiec (15,0°C) i sierpień (15,2°C). Najzimniejszy luty (-12,2°C), marzec (-3,0°C) i kwiecień (4,5°C) były w latach 1951-1960. Zdecydowanie najmniej spośród 75 najchłodniejszych miesięcy wystąpiło po roku 2000 (4), ale wśród nich znalazł się najzimniejszy w wieloleciu październik (5,4°C).

**Tabela 3.** Najchłodniejsze miesiące, pory roku i lata w Warszawie, 1947-2009
**Table 3.** The coldest months, seasons and years in Warsaw, 1947-2009

| Grudzień | | | Styczeń | | | Luty | | | Zima | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok |
| -8,5 | *sz* | 1969 | -12,4 | *bz* | 1963 | -12,2 | bz | 1956 | -8,4 | *bz* | 1963 |
| -6,6 | *bz* | 2002 | -12,3 | *bz* | 1987 | -10,7 | *bz* | 1947 | -7,4 | *bz* | 1947 |
| -5,4 | z | 1963 | -8,3 | *z* | 1985 | -9,6 | *bz* | 1954 | -6,7 | *bz* | 1970 |
| -5,4 | *z* | 1996 | -8,3 | *z* | 2006 | -9,6 | *bz* | 1986 | -6,3 | *z* | 1985 |
| -5,3 | *z* | 1995 | -7,8 | z | 1947 | -9,2 | *z* | 1985 | -6,1 | z | 1954 |
| -4,6 | *z* | 1962 | -7,7 | *z* | 1954 | -8,1 | *z* | 1963 | -5.6 | *z* | 1996 |
| Marzec | | | Kwiecień | | | Maj | | | Wiosna | | |
| *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok |
| -3,0 | *z* | 1952 | 4,5 | *bz* | 1958 | 9,8 | *bz* | 1965 | 5,1 | *bz* | 1955 |
| -3,0 | *z* | 1958 | 4,7 | *bz* | 1955 | 9,9 | *bz* | 1980 | 5,4 | *z* | 1980 |
| -2,9 | *z* | 1964 | 5,0 | *z* | 1997 | 10,8 | *z* | 1991 | 5,5 | *z* | 1958 |
| -2,2 | *z* | 1987 | 5,2 | *z* | 1954 | 11,0 | *z* | 1957 | 5,5 | *z* | 1965 |
| -2,0 | *z* | 1969 | 5,6 | *z* | 1982 | 11,0 | *z* | 1962 | 5,7 | *z* | 1987 |
| -1,7 | *z* | 1962 | 5,9 | *z* | 1956 | 11,3 | *z* | 1974 | 5,8 | *z* | 1956 |
| -1,7 | *z* | 1963 | 5,9 | *z* | 1981 | | | | | | |
| Czerwiec | | | Lipiec | | | Sierpień | | | Lato | | |
| *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok |
| 14,4 | *z* | 1984 | 15,0 | *bz* | 1979 | 15,2 | *z* | 1987 | 15,9 | *z* | 1962 |
| 14,6 | *z* | 1962 | 15,7 | *z* | 1984 | 15,5 | *z* | 1956 | 15,9 | *z* | 1978 |
| 14,7 | *z* | 1974 | 15,8 | *z* | 1974 | 15,7 | *z* | 1965 | 16,0 | *z* | 1984 |
| 14,8 | *z* | 1985 | 16,1 | *z* | 1961 | 15,8 | *z* | 1976 | 16,1 | *z* | 1965 |
| 15,2 | *z* | 1949 | 16,2 | *z* | 1962 | 15,9 | *z* | 1978 | 16,2 | *z* | 1974 |
| 15,2 | *z* | 1976 | 16,2 | *z* | 1978 | 16,1 | *z* | 1977 | 16,2 | *z* | 1980 |
| 15,2 | *z* | 2001 | | | | | | | | | |
| Wrzesień | | | Październik | | | Listopad | | | Jesień | | |
| *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok |
| 10,6 | *z* | 1996 | 5,4 | *z* | 2003 | -2,7 | *sz* | 1993 | 5,7 | *bz* | 1993 |
| 11,1 | *z* | 1971 | 5,7 | *z* | 1992 | -1,9 | *bz* | 1998 | 6,3 | *z* | 1998 |
| 11,1 | *z* | 1978 | 5,9 | *z* | 1947 | -1,2 | *bz* | 1965 | 6,6 | *z* | 1956 |
| 11,1 | *z* | 1990 | 6,1 | *z* | 1972 | -0,6 | *z* | 1956 | 6,8 | *z* | 1973 |
| 11,2 | *z* | 1977 | 6,1 | *z* | 1979 | -0,2 | *z* | 1995 | 6,9 | *z* | 1952 |
| 11,2 | *z* | 1986 | 6,1 | *z* | 1997 | 0,1 | *z* | 1988 | 6,9 | *z* | 1965 |

| Rok | | |
|---|---|---|
| *t* (°C) | klasa | rok |
| 6,1 | *bz* | 1956 |
| 6,5 | *z* | 1965 |
| 6,6 | *z* | 1980 |
| 6,6 | *z* | 1987 |
| 6,7 | *z* | 1985 |
| 6,8 | *z* | 1996 |

Klasyfikacja miesięcy/pór roku/roku: *sz* – skrajnie zimne, *bz* – bardzo zimne, *z* – zimne

Postępujące ocieplenie jeszcze dobitniej ujawniło się w częstości najchłodniejszych sezonów: w kolejnych 10-leciach okresu 1951-1980 było ich po 5-6, w tym bardzo zimna zima 1963 (-8,4°C), bardzo zimna wiosna 1955 (5,1°C) i zimne lata 1962 i 1978 (15,9°C). W następnych 10-leciach (1981-2000) takich najchłodniejszych sezonów było tylko po 3, a szczególnie niską temperaturą wyróżniły się tylko bardzo zimne jesienie 1993 i 1998 (5,7 i 6,3°C). Spośród pór roku w XXI wieku żadna nie zakwalifikowała się do 10% najchłodniejszych w swojej grupie.

Najchłodniejszy był rok 1956 (6,1°C, jedyny rok bardzo zimny), drugi z kolei był rok 1965 (6,5°C). Rok jeden z 10% najchłodniejszych zdarzał się w każdym 10-leciu badanego okresu, z wyjątkiem jednak XXI wieku.

W grupie 75 najcieplejszych miesięcy znalazło się aż 22 z okresu po roku 2000, w tym najcieplejsze w 63-leciu styczeń (3,6°C), marzec (7,2°C), maj (17,5°C), lipiec (23,5°C) i grudzień (3,9°C). Lipiec 2006 był najcieplejszym miesiącem w całym badanym okresie. We wcześniejszym 10-leciu 1991-2000 tych najcieplejszych miesięcy było o połowę mniej (11), ale na to 10-lecie przypadły najcieplejsze w wieloleciu kwiecień (12,4°C), sierpień (21,5°C) i październik (11,6°C). W kolejnych 10-leciach lat 1951-1990 udział najcieplejszych miesięcy był wyrównany (po 8-9 na 10 lat). Warto dodać, że ciepłe miesiące dość częste były też pod koniec lat 1940. – w latach 1947-1950 było aż 6 spośród 75, chociaż żaden z nich nie był skrajnie ciepły.

Nieco inaczej przedstawia się rozkład czasowy wyłonionych 24 najcieplejszych pór roku. Do roku 1980 było ich tylko po 1-2 na 10 lat; w 10-leciu 1981-1990 – 6, w tym 2 najcieplejsze w wieloleciu zimy (1989 – 2,3°C i 1990 – 2,5°C); w 10-leciu 1991-2000 – 4, w tym najcieplejsze lato (1992 – 20,0°C) i po roku 2000 – 10, w tym najcieplejsza wiosna i jesień (odpowiednio 2007 – 10,9°C i 2006 – 10,9°C).

Najwcześniejszym rokiem spośród 10% najcieplejszych był 1989, a połowa z nich (tzn. 3) przypadła na XXI wiek. Najcieplejszy ze wszystkich był rok 2008 (9,8°C).

Reasumując, należy stwierdzić, że w świetle wszystkich przedstawionych charakterystyk współczesne ocieplenie wyraźnie zaznaczyło się od początku ostatniej dekady XX wieku (po chłodniejszych pierwszej połowie lat 1960. i drugiej połowie lat 1970.) i nasiliło się w wieku XXI. Początkowo wyraziło się ono wystąpieniem bardzo łagodnych zim (i brakiem ostrych), później również ciepłych pozostałych pór roku, w tym zwłaszcza sezonów letnich.

**Tabela 4.** Najcieplejsze miesiące, pory roku i lata w Warszawie, 1947-2009
**Table 4.** The warmest months, seasons and years in Warsaw, 1947-2009

| Grudzień | | | Styczeń | | | Luty | | | Zima | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok |
| 3,9 | *c* | 2006 | 3,7 | *c* | 2007 | 4,7 | *c* | 1990 | 2,5 | *c* | 1990 |
| 3,1 | *c* | 1971 | 3,2 | *c* | 1983 | 4,0 | *c* | 1989 | 2,3 | *c* | 1989 |
| 2,9 | *c* | 1960 | 2,6 | *c* | 1975 | 3,6 | *c* | 2002 | 2,2 | *c* | 2007 |
| 2,7 | *c* | 1954 | 2,0 | *c* | 1989 | 3,2 | *c* | 1995 | 1,5 | *c* | 2008 |
| 2,4 | *c* | 1949 | 2,0 | *c* | 1994 | 3,2 | *c* | 1998 | 1,4 | *c* | 1975 |
| 2,3 | *c* | 1974 | 1,8 | *c* | 1990 | 3,1 | *c* | 2008 | 1,1 | *c* | 1998 |
| Marzec | | | Kwiecień | | | Maj | | | Wiosna | | |
| *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok |
| 7,2 | *bc* | 2007 | 12,4 | *bc* | 2000 | 17,5 | *bc* | 2002 | 10,9 | *bc* | 2007 |
| 6,6 | *c* | 1990 | 11,3 | *c* | 2009 | 16,5 | *c* | 1993 | 10,4 | *c* | 2000 |
| 5,5 | *c* | 1989 | 10,8 | *c* | 1952 | 15,8 | *c* | 1947 | 10,3 | *c* | 2002 |
| 5,4 | *c* | 1977 | 10,7 | *c* | 1962 | 15,7 | *c* | 1950 | 9,8 | *c* | 1983 |
| 5,2 | *c* | 1961 | 10,1 | *c* | 1948 | 15,7 | *c* | 2003 | 9,8 | *c* | 1990 |
| 5,0 | *c* | 1967 | 9,9 | *c* | 1961 | 15,7 | *c* | 2007 | 9,7 | *c* | 1989 |
| | | | 9,9 | *c* | 1998 | | | | | | |
| Czerwiec | | | Lipiec | | | Sierpień | | | Lato | | |
| *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok |
| 19,8 | *bc* | 1964 | 23,5 | bc | 2006 | 21,5 | *bc* | 1992 | 20,0 | *bc* | 1992 |
| 19,8 | *bc* | 1979 | 22,0 | *bc* | 1994 | 20,7 | *bc* | 2002 | 19,9 | *bc* | 2006 |
| 19,2 | *c* | 1954 | 21,1 | *c* | 2002 | 20,4 | *bc* | 1951 | 19,8 | *bc* | 2002 |
| 19,0 | *c* | 2007 | 21,0 | *c* | 1959 | 19,5 | *c* | 1971 | 19,0 | *c* | 1951 |
| 18,9 | *c* | 1947 | 20,7 | *c* | 1972 | 19,3 | *c* | 1982 | 19,0 | *c* | 2003 |
| 18,9 | *c* | 2008 | 20,7 | *c* | 1999 | 19,3 | *c* | 2001 | 19,0 | *c* | 2008 |
| | | | 20,7 | *c* | 2001 | | | | | | |
| Wrzesień | | | Październik | | | Listopad | | | Jesień | | |
| *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok | *t* (°C) | klasa | rok |
| 16,4 | *bc* | 1967 | 11,6 | bc | 2000 | 6,4 | *c* | 1963 | 10,9 | *bc* | 2006 |
| 16,1 | *c* | 2006 | 11,3 | *bc* | 1967 | 6,0 | *c* | 1996 | 10,5 | *bc* | 1967 |
| 15,9 | *c* | 2005 | 11,0 | *c* | 1966 | 5,9 | *c* | 2000 | 9,8 | *c* | 1963 |
| 15,8 | *c* | 1947 | 10,9 | *c* | 2001 | 5,9 | *c* | 2006 | 9,8 | *c* | 2000 |
| 15,6 | *c* | 1951 | 10,7 | *c* | 2006 | 5,8 | *c* | 1951 | 9,5 | *c* | 1982 |
| 15,6 | *c* | 1975 | 10,3 | *c* | 1984 | 5,6 | *c* | 2009 | 9,5 | *c* | 2005 |
| | | | 10,3 | *c* | 1989 | | | | | | |

| Rok | | |
|---|---|---|
| *t* (°C) | klasa | rok |
| 9,8 | *c* | 2008 |
| 9,6 | *c* | 2000 |
| 9,6 | *c* | 2007 |
| 9,5 | *c* | 1989 |
| 9,4 | *c* | 1990 |
| 9,3 | *c* | 2002 |

Klasyfikacja miesięcy/pór roku/roku: *bc* – bardzo ciepłe, *c* – ciepłe

## Warunki opadowe

**Charakterystyka ogólna**. W powojennym okresie pomiarów meteorologicznych na Okęciu (1947-2009) średnia roczna suma opadów wyniosła 518 mm i była o 7 mm (1%) wyższa niż w „klasycznym" 50-leciu 1951-2000 zawartym w tym okresie (tab. 5). W przebiegu rocznym najniższymi opadami odznaczały się miesiące od stycznia do marca (25-26 mm), a najwyższe opady występowały w lipcu (74 mm). W większości miesięcy średnie opady w 63-leciu były takie same lub bardzo podobne (różniły się tylko o 1 mm) jak w 50-leciu 1951-2000. Większe różnice niż o 1 mm wystąpiły tylko w styczniu, lutym i sierpniu (w 63-leciu były wyższe), przy czym największa różnica wystąpiła w sierpniu (więcej o 6 mm, tzn. o 11%).

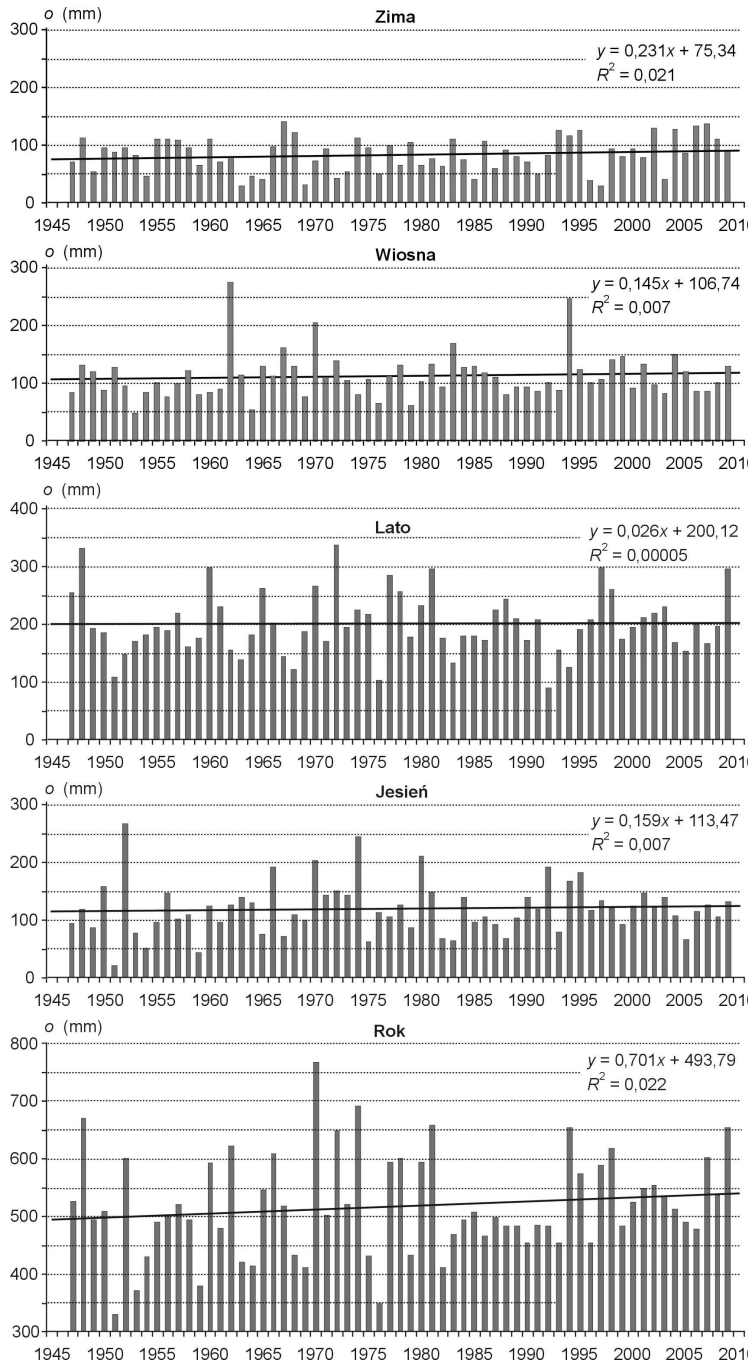
**Tabela 5**. Wartości średnie miesięczne, sezonowe i roczne sumy opadów atmosferycznych (mm). Warszawa-Okęcie, 1947-2009 i 1951-2000
**Table 5**. Mean monthly, seasonal and yearly values of precipitation (mm). Warsaw-Okęcie, 1947-2009 and 1951-2000

| | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1947-2009 | $o_{śr.}$ | 25 | 26 | 26 | 35 | 52 | 67 | 74 | 62 | 44 | 36 | 39 | 33 |
| | $\sigma_-$ | 11 | 12 | 11 | 16 | 18 | 28 | 36 | 23 | 20 | 22 | 15 | 17 |
| | $\sigma_+$ | 17 | 17 | 15 | 22 | 34 | 38 | 46 | 44 | 28 | 35 | 24 | 21 |
| 1951-2000 | $o_{śr.}$ | 22 | 24 | 26 | 35 | 53 | 68 | 73 | 56 | 45 | 36 | 39 | 34 |

| | | Zima | Wiosna | Lato | Jesień | Rok |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1947-2009 | $o_{śr.}$ | 83 | 113 | 203 | 119 | 518 |
| | $\sigma_-$ | 30 | 27 | 46 | 38 | 77 |
| | $\sigma_+$ | 28 | 50 | 63 | 52 | 98 |
| 1951-2000 | $o_{śr.}$ | 80 | 114 | 197 | 120 | 511 |

Spośród pór roku (tab. 5) najniższymi opadami charakteryzowała się zima (83 mm, tzn. 16% sumy rocznej), a najwyższymi lato (203 mm, 39%), przy zbliżonych wielkościach na wiosnę i w jesieni (odpowiednio 113 i 119 mm, tzn. 22 i 23% sumy rocznej). W 63-leciu w zimie i w lecie opady były nieznacznie wyższe niż w 50-leciu (odpowiednio o 3 i 6 mm, tzn. o 4 i 3%), natomiast na wiosnę i w jesieni praktycznie takie same.

**Tendencje zmian ilości opadów w porach roku**. Sumy opadów, zarówno miesięczne jak i sezonowe, wykazują duże wahania z roku na rok. Wahania te jednak nie przejawiają regularności, która by wskazywała na istnienie określonej tendencji zmian ilości opadów w rozpatrywanym okresie. Bardzo słaba tendencja wzrostowa (nieistotna statystycznie) zaznaczyła się tylko w sumach z okresu zimowego i rocznych (rys. 2).




**Rys. 2.** Tendencja zmian opadów w porach roku i w roku, Warszawa-Okęcie, 1947-2009
**Fig. 2**. Trends of precipitation amount in the seasons and in the year, Warszawa-Okęcie, 1947-2009

**Miesiące i sezony anomalne pod względem opadowym**. Podobnie jak w przypadku temperatury, podstawą do wyróżnienia miesięcy normalnych jest wielkość odchylenia sumy miesięcznej/sezonowej ($o$) w danym roku od odpowiedniej sumy wieloletniej $o_{śr}$. Dolną granicą normy jest wielkość odchylenia standardowego z odchyleń ujemnych ($o - \sigma_-$), górną granicą – wielkość odchylenia standardowego z odchyleń dodatnich ($o + \sigma_+$, tab. 5). Pozostałe sumy opadów, które wykraczają poza ten przedział, uznano za anomalne, a granicę między klasami miesięcy/sezonów anomalnych wyznaczono również na podstawie odpowiedniego odchylenia standardowego. W wyniku dało się wyróżnić miesiące i pory roku:

| | | |
|---|---|---|
| $o < o_{śr} - 2\sigma_-$ | bardzo suche | *bs* |
| $o_{śr} - 2\sigma_- \le o < o_{śr} - \sigma_-$ | suche | *s* |
| $o_{śr} - \sigma_- \le o < o_{śr} - \sigma_+$ | normalne | *n* |
| $o_{śr} + \sigma_+ \le o \le o_{śr} + 2\sigma_+$ | mokre | *m* |
| $o_{śr} + 2\sigma_+ < o \le o_{śr} + 3\sigma_+$ | bardzo mokre | *bm* |
| $o_{śr} + 3\sigma_+ < o$ | skrajnie mokre | *sm* |

Zastosowana metoda wyznaczania normy opadowej nie jest często stosowana (Kossowska-Cezak, 1993; Koczorowska, 1980), została jednak tutaj użyta z tego względu, żeby metody wyznaczania normy w odniesieniu do obydwu elementów klimatu były analogiczne, którego to warunku nie spełnia np. odchylenie określone w procentach średniej sumy wieloletniej. Ponadto przyjęta metoda ma tę zaletę, że jest w niej uwzględniona asymetria wieloletnich szeregów sum opadowych, w których odchylenia ujemne od średniej są mniejsze (najwięcej o 100%, tzn. całkowity brak opadów) od odchyleń dodatnich (np. w Warszawie nawet ponad 400%). Słuszność przyjęcia takiej metody potwierdza fakt, że liczba miesięcy anomalnych tak pod względem termicznym, jak i opadowym w ciągu 63 lat okazała się prawie taka sama (odpowiednio 236 i 238).

Kalendarz miesięcy, pór roku i lat anomalnych zawiera tab. 9.

Podobnie jak w przypadku średniej temperatury, miesiące i sezony o anomalii ujemnej były częstsze niż te o anomalii dodatniej i przewaga liczebności miesięcy i sezonów suchych nad mokrymi i bardzo mokrymi była większa niż zimnych nad ciepłymi. I tak, w wieloleciu 1947-2009 miesięcy o ujemnej anomalii opadowej (tab. 6) było 152 (20%) – 147 suchych i 5 bardzo suchych; ich częstość nie wykazała regularnego przebiegu rocznego. Miesięcy o dodatniej anomalii opadowej było zdecydowanie mniej, bo 86 (11%), w tym 67 mokrych, 14 bardzo mokrych i 5 skrajnie mokrych. Ich rozkład w ciągu roku był również nieregularny, choć miesiące skrajnie mokre w większości przypadły na cieplejszą część roku (4 spośród 5 od maja do października).

Podobne prawidłowości zaznaczyły się w przypadku pór roku: więcej (48, tzn. 19%) było tych o ujemnej anomalii opadowej (42 suche i 6 bardzo suchych) niż o dodatniej (29, tzn. 12%; 23 mokre, 5 bardzo mokrych i 1 skrajnie mokra). Nie stwierdzono żadnej zimy bardzo suchej ani bardzo mokrej, a jedynie skrajnie mokrym sezonem było lato (1962).

Rok również częściej (12, tzn.19%) bywał suchy niż mokry (9, tzn. 14%). Duże odchylenia sum rocznych od średniej sumy wieloletniej zdarzały się rzadko, bowiem bardzo suchy rok zdarzył się tylko 2 razy (1951 i 1976) i bardzo mokry jeden raz (1970).

W rozpatrywanym wieloleciu średnio w roku występowało 2-3 (2,4) miesiące o ujemnej anomalii opadowej i 1-2 (1,4) o anomalii dodatniej. W rzeczywistości częstość mie-

sięcy poszczególnych klas w roku była bardzo zmienna: zdarzył się rok bez miesięcy anomalnych (1958) lub tylko z jednym (1949, 1971, 1978 i 1991), a także 10 lat z dwoma miesiącami anomalnymi pod względem opadowym. Największa liczba miesięcy anomalnych w roku wyniosła 7 (1959 i 1964 – po 6 miesięcy suchych i jednym mokrym, 1993 – 4 suche i 3 mokre, 1994 – 3 suche, 4 mokre).

**Tabela 6.** Liczba miesięcy, pór roku i lat poszczególnych klas opadowych w Warszawie, 1947-2009
**Table 6.** Number of months, seasons and years of particular precipitation classes in Warsaw, 1947-2009

| | Miesiące | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *bs* | *s* | *n* | *m* | *bm* | *sm* |
| I | 1 | 9 | 47 | 4 | 1 | 1 |
| II | 1 | 10 | 43 | 8 | 1 | – |
| III | – | 14 | 41 | 6 | 2 | – |
| IV | – | 11 | 46 | 4 | 2 | – |
| V | 1 | 11 | 46 | 4 | – | 1 |
| VI | – | 12 | 41 | 9 | 1 | – |
| VII | – | 15 | 42 | 4 | 1 | 1 |
| VIII | 1 | 11 | 45 | 4 | 2 | – |
| IX | 1 | 11 | 41 | 9 | – | 1 |
| X | – | 16 | 44 | 1 | 1 | 1 |
| XI | – | 12 | 44 | 5 | 2 | – |
| XII | – | 15 | 38 | 9 | 1 | – |
| Suma | 5 | 147 | 518 | 67 | 14 | 5 |
| % | 0,7 | 19,4 | 68,5 | 8,9 | 1,8 | 0,7 |

| sm | Pory roku i rok | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | *bs* | *s* | *n* | *m* | *bm* |
| Zima | – | 12 | 42 | – | – |
| Wiosna | 2 | 10 | 47 | 1 | 1 |
| Lato | 3 | 9 | 42 | 2 | – |
| Jesień | 1 | 11 | 44 | 2 | – |
| Suma | 6 | 42 | 175 | 5 | 1 |
| % | 2,4 | 16,7 | 69,4 | 2,0 | 0,4 |
| Rok | 2 | 10 | 42 | 1 | – |
| % | 3,2 | 15,9 | 66,6 | 1,6 | – |

Najwięcej miesięcy suchych w roku stwierdzono 6 – w roku 1959 i 1964 (sumy roczne opadów odpowiednio 379 i 413 mm) lub 5 – w latach 1953, 1963 i 1976 (odpowiednio 371, 420 i 348 mm); wszystkie wymienione lata były suche, a 1976 bardzo suchy. Warto jednak zwrócić uwagę, że w najsuchszym roku (1951, 330 mm) były tylko 3 miesiące suche i jeden bardzo suchy. Miesięcy mokrych nie zdarzyło się w roku więcej niż 4.Tak było w latach 1967, 1970 i 1994 (518, 767 i 653 mm) – pierwszy z nich był normalny, drugi bardzo mokry (najwyższe opady w wieloleciu), a trzeci mokry.

W ciągu 5-lecia należy oczekiwać średnio 12 miesięcy łącznie suchych i bardzo suchych oraz 7 miesięcy mokrych, bardzo i skrajnie mokrych. W rzeczywistości ich liczba w kolejnych 5-leciach zmieniała się w szerokich granicach (aczkolwiek w mniejszym stopniu niż miesięcy anomalnych pod względem termicznym). Największą częstością miesięcy o ujemnej anomalii opadowej wyróżniły się 5-lecia 1961-1965 (19 miesięcy, średnia suma roczna 496 mm) i 1951-1955 (17, 444 mm), najmniejszą zaś 1966-1970 (7 miesięcy, 547 mm). Miesiące o dodatniej anomalii opadowej najczęściej zdarzały się w 5-leciu 1966-1970 (11, 547 mm) i 1991-1995 (10, 530 mm), a najrzadziej 1976-1980 (4 miesiące, 514 mm) oraz (po 5 miesięcy) 1956-1960 (497 mm), 1961-1965 (496 mm) i 1986-1990 (477 mm).

Jak widać, w 5-leciach ze znaczną częstością miesięcy suchych lub małą miesięcy mokrych opady były na ogół mniejsze niż w tych z małą liczbą suchych lub dużą mokrych, czego należało się spodziewać, nie jest to jednak ścisła zależność. Wynika to ze zmienności sum miesięcznych opadów w przebiegu rocznym (np. mokry bądź suchy styczeń ma mniejszy wpływ na sumę roczną opadów niż taki lipiec o średnio 3-krotnie wyższych opadach), jak i ogromnej zmienności opadów miesięcznych i sezonowych w wieloleciu, co zmusza do przyjęcia szerokiego przedziału normy.

Udział sezonów o anomalii opadowej ujemnej i dodatniej był 63-leciu bardzo zmienny, a ich udział również tylko luźno nawiązywał do sumy rocznej opadów, a tym samym do klasy opadowej całego roku. Co prawda, najwięcej pór roku suchych i bardzo suchych było w najsuchszym 5-leciu 1951-1955 (8 sezonów, średnia suma roczna 444 mm), a zupełnie ich nie było w najbardziej deszczowym 4-leciu 2006-2009 (567 mm), ale w pozostałych okresach trudno zauważyć taki związek.

Jak podano wcześniej, rok suchy zdarzył się 12 razy; wszystkie przypadki wystąpiły w latach 1951-1982, w tym bardzo suche 1951 i 1976. W tym też okresie było 5 lat mokrych, w tym najobfitszy w opady rok 1970. Po roku 1982 nastąpiła pozorna stabilizacja opadów – do roku 2009 wystąpiły tylko 3 lata anomalne – wszystkie deszczowe. W rzeczywistości fakt, że sumy roczne utrzymywały się w granicach normy, wynikał z tego, że miesiące suche i deszczowe występowały na przemian, a znaczna częstość miesięcy suchych była rekompensowana większą częstością miesięcy bardzo i skrajnie mokrych.

Miesiące anomalne pod względem opadowym znacznie częściej niż te o anomalii termicznej występują pojedynczo i rzadko kiedy tworzą ciągi dłuższe niż 2-miesięczne. I tak, miesiące suche i bardzo suche wystąpiły pojedynczo 85 razy oraz utworzyły 27 ciągów 2-miesięcznych, 3 ciągi 3-miesięczne i tylko jeden 4-miesięczny (wrzesień-listopad 1951, sierpień-listopad 1959, luty-kwiecień 1976 i lipiec-wrzesień 1999). Miesiące mokre, skrajnie i bardzo mokre pojawiły się pojedynczo 70 razy oraz utworzyły tylko 5 ciągów 2-miesięcznych i dwa 3-miesięczne (luty-kwiecień 1967 i marzec-maj 1994). Oznacza to, że bardziej długotrwałe są sytuacje z niedostatkiem opadów niż z ich nadmiarem (te jednak bywają bardzo wysokie).

Znajduje to potwierdzenie w długości okresów bez miesięcy o określonej anomalii opadowej. I tak, okresy bez miesięcy mokrych tworzyły ciągi nawet 2-letnie; ciągów 15-miesięcznych i dłuższych było 16, w tym 25-miesięcznych i dłuższych było 4, a najdłuższy z nich objął aż 26 miesięcy (lipiec 1948 – sierpień 1950, październik 1962 – październik 1964, styczeń 1975 – styczeń 1977 i wrzesień 1978 – wrzesień 1980). Warto dodać, że wielomiesięczne ciągi bez miesięcy mokrych niekiedy występowały jeden za drugim, rozdzielone tylko jednym miesiącem mokrym. Tak było w okresie od lipca 1948

do stycznia 1952, kiedy to ciąg 26 miesięczny był oddzielony od 16-miesięcznego tylko mokrym wrześniem 1950. Podobnie było od października 1962 do października 1966, kiedy ciągi 25- i 23-miesięczny rozdzielał tylko mokry listopad 1964 roku.

Ze względu na większą częstość miesięcy suchych długotrwałe okresy beż ich udziału zdarzają się rzadziej i są krótsze. Stwierdzono 12 ciągów 12-miesięcznych i dłuższych, a 15-miesięcznych i dłuższych tylko 4. Najdłuższe ciągi bez miesięcy suchych trwały 20 i 22 miesiące (listopad 1965 – czerwiec 1967 i wrzesień 1997 – czerwiec 1999).

Najdłuższe okresy miesięcy wyłącznie normalnych pod względem opadowym trwały 14 i 13 miesięcy (grudzień 1957 – styczeń 1959 i sierpień 1960 – sierpień 1961).

Miesiące o anomalii opadowej częściej „przeplatają się" z miesiącami normalnymi, ale częściej niż te o anomalii termicznej sąsiadują też ż miesiącami o anomalii przeciwnej (32 przypadki), przy czym równe często po miesiącu suchym następuje mokry (15), jak i po mokrym suchy (17).

Przedstawiony przegląd dotyczący występowania miesięcy anomalnych pod względem opadowym wykazuje, że miesiące suche (również i sezony) są częstsze i mogą tworzyć dłuższe ciągi niż mokre, ale pojawianie się jednych i drugich jest bardziej zmienne w czasie niż miesięcy anomalnych pod względem termicznym – rzadziej tworzą ciągi kilkumiesięczne i częściej sąsiadują ze sobą miesiące o anomalii przeciwnej. O tym, że niektóre okresy okazują się bardziej suche lub mokre decyduje nie tylko zwiększona częstość miesięcy o takich właśnie cechach, lecz także zmniejszona (lub całkowity brak) o cechach przeciwnych. Dlatego też nieznaczny wzrost opadów pod koniec badanego okresu wyraża się w częstszym po roku 1993 występowaniu miesięcy bardzo i skrajnie mokrych, a także od roku 1983 brakiem lat suchych.

**Zakres zmienności sum opadów atmosferycznych**. Wielka zmienność opadów wyraża się nie tylko w nierównomiernym rozkładzie czasowym, lecz również w zakresie ich sum miesięcznych, sezonowych i rocznych. W tabelach 7 i 8 podano sumy w 6 (tzn. po 10% przypadków) najsuchszych i najobfitszych w opady miesiącach, sezonach i latach. Przy każdej sumie podano klasę, do jakiej zalicza się dany przypadek. Warto zwrócić uwagę, że 10% miesięcy, pór roku i lat o najniższych sumach zalicza się do suchych, ale do 10% najbardziej deszczowych należą niekiedy miesiące i sezony o opadach sklasyfikowanych jako normalne.

Rozkład czasowy tak wyłonionych najsuchszych 73 miesięcy (tab. 7) był w 63-leciu dość równomierny (10-13 na 10 lat), tylko większą ich częstością wyróżniło się 10-lecie 1951-1960 (16 miesięcy). W tym 10-leciu wystąpił najsuchszy wrzesień (1 mm), październik (0 mm) i listopad (12 mm). Najmniej wśród tych najsuchszych miesięcy (8) było w latach 1991-2000, a w tych latach wystąpił najsuchszy styczeń (1 mm) i czerwiec (20 mm). 3 rekordowo suche miesiące przypadły ponadto na 10-lecie 1971-1980: luty (0 mm), marzec (5 mm) i kwiecień (4 mm).

Spośród 76 najbardziej mokrych miesięcy (tab. 8) najwięcej było w latach 1961-1970 i 2001-2009 (odpowiednio 15 i 14) i niewiele mniej w 1991-2000 (13); w pozostałych latach po 9-10 na 10 lat. Rekordowo wysokie sumy miesięczne wystąpiły jednak w większości w ostatnich dwóch dekadach: 1991-2000 – najbardziej deszczowy marzec (65 mm), kwiecień (93 mm), lipiec (214 mm) i wrzesień (138 mm), a 2001-2009 – styczeń (79 mm), luty (72 mm), czerwiec (149 mm) i grudzień (81 mm).

**Tabela 7.** Miesiące, pory roku i lata o najniższych opadach w Warszawie, 1947-2009
**Table 7.** Months, seasons and years with lowest the precipitation in Warsaw, 1947-2009

| Grudzień | | | Styczeń | | | Luty | | | Zima | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok |
| 3 | *s* | 2002 | 1 | *bs* | 1997 | 0 | *bs* | 1976 | 28 | *s* | 1997 |
| 6 | *s* | 1996 | 3 | *s* | 1963 | 5 | *s* | 1972 | 29 | *s* | 1963 |
| 7 | *s* | 1984 | 4 | *s* | 1964 | 5 | *s* | 1982 | 31 | *s* | 1969 |
| 8 | *s* | 1968 | 5 | *s* | 1996 | 5 | *s* | 2003 | 38 | *s* | 1996 |
| 9 | *s* | 1953 | 8 | *s* | 1972 | 6 | *s* | 1975 | 39 | *s* | 2003 |
| 9 | *s* | 1972 | 9 | *s* | 1969 | 7 | *s* | 1986 | 40 | *s* | 1965 |
| | | | | | | | | | 40 | *s* | 1985 |
| Marzec | | | Kwiecień | | | Maj | | | Wiosna | | |
| *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok |
| 5 | *s* | 1974 | 4 | *s* | 1976 | 8 | *bs* | 1947 | 49 | *bs* | 1953 |
| 5 | *s* | 1982 | 5 | *s* | 1984 | 16 | *s* | 1979 | 55 | *bs* | 1964 |
| 8 | *s* | 1953 | 5 | *s* | 1988 | 19 | *s* | 1953 | 62 | *s* | 1979 |
| 9 | *s* | 1952 | 6 | *s* | 2009 | 23 | *s* | 1990 | 65 | *s* | 1976 |
| 9 | s | 1954 | 11 | *s* | 1974 | 25 | *s* | 1992 | 77 | *s* | 1956 |
| 10 | *s* | 1965 | 12 | *s* | 1964 | 26 | *s* | 1989 | 78 | *s* | 1969 |
| Czerwiec | | | Lipiec | | | Sierpień | | | Lato | | |
| *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok |
| 14 | *s* | 2000 | 15 | *s* | 1982 | 4 | bs | 1968 | 90 | *bs* | 1992 |
| 15 | *s* | 2006 | 17 | *s* | 1967 | 19 | *s* | 1959 | 103 | *bs* | 1976 |
| 19 | *s* | 1951 | 20 | *s* | 2006 | 22 | *s* | 1954 | 109 | *bs* | 1951 |
| 20 | *s* | 1994 | 22 | *s* | 1962 | 22 | *s* | 2005 | 122 | *s* | 1968 |
| 22 | *s* | 2008 | 23 | *s* | 1952 | 23 | *s* | 1997 | 125 | *s* | 1994 |
| 24 | *s* | 1977 | 23 | *s* | 1971 | 24 | *s* | 1955 | 134 | *s* | 1983 |
| | | | 23 | *s* | 2002 | | | | | | |
| Wrzesień | | | Październik | | | Listopad | | | Jesień | | |
| *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok |
| 1 | *bs* | 1951 | 0 | *s* | 1951 | 12 | *s* | 1954 | 20 | *bs* | 1951 |
| 13 | *s* | 1947 | 3 | *s* | 1949 | 13 | *s* | 1956 | 43 | *s* | 1959 |
| 13 | *s* | 1983 | 4 | *s* | 1965 | 13 | *s* | 1975 | 51 | *s* | 1954 |
| 13 | *s* | 2009 | 4 | *s* | 1988 | 16 | *s* | 1983 | 62 | *s* | 1975 |
| 14 | s | 1982 | 5 | *s* | 2000 | 17 | s | 1953 | 63 | *s* | 1983 |
| 16 | *s* | 1961 | 5 | *s* | 2005 | 18 | *s* | 1957 | 66 | *s* | 2005 |

| Rok | | |
|---|---|---|
| *o* (mm) | klasa | rok |
| 330 | *bs* | 1951 |
| 348 | *bs* | 1976 |
| 371 | *s* | 1953 |
| 379 | *s* | 1959 |
| 411 | *s* | 1969 |
| 411 | *s* | 1982 |

Klasyfikacja miesięcy/pór roku/roku: *bs* – bardzo suche, *s* – suche

**Tabela 8.** Miesiące, pory roku i lata o najwyższych opadach w Warszawie, 1947-2009
**Table 8.** Months, seasons and years with highest the precipitation in Warsaw, 1947-2009

| Grudzień | | | Styczeń | | | Luty | | | Zima | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok |
| 81 | *bm* | 2005 | 79 | *sm* | 2007 | 72 | *bm* | 2002 | 139 | *m* | 1967 |
| 76 | *m* | 1954 | 68 | *bm* | 2008 | 56 | *m* | 1977 | 135 | *m* | 2007 |
| 67 | *m* | 1985 | 48 | *m* | 1993 | 56 | *m* | 2004 | 132 | *m* | 2006 |
| 66 | *m* | 1993 | 46 | *m* | 1948 | 51 | *m* | 1967 | 129 | *m* | 2002 |
| 65 | *m* | 1994 | 43 | *m* | 1953 | 50 | *m* | 1952 | 127 | *m* | 2004 |
| 63 | *m* | 1955 | 43 | *m* | 1968 | 50 | *m* | 1974 | 125 | *m* | 1995 |
| 63 | *m* | 1974 | | | | | | | | | |
| Marzec | | | Kwiecień | | | Maj | | | Wiosna | | |
| *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok |
| 65 | *bm* | 1994 | 93 | *bm* | 1994 | 183 | *sm* | 1962 | 274 | *sm* | 1962 |
| 57 | *bm* | 1967 | 85 | *bm* | 1970 | 99 | *m* | 1984 | 247 | *bm* | 1994 |
| 51 | *m* | 1981 | 76 | *m* | 1999 | 89 | *m* | 1970 | 206 | *m* | 1970 |
| 47 | *m* | 1983 | 64 | *m* | 1967 | 89 | *m* | 1994 | 170 | *m* | 1983 |
| 46 | *m* | 1962 | 61 | *m* | 2001 | 87 | *m* | 1986 | 161 | *n* | 1967 |
| 44 | *m* | 1988 | 57 | *m* | 2004 | 86 | *n* | 1968 | 150 | *n* | 2004 |
| 44 | *m* | 2009 | | | | | | | | | |
| Czerwiec | | | Lipiec | | | Sierpień | | | Lato | | |
| *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok |
| 149 | *bm* | 2009 | 214 | *sm* | 1997 | 179 | *bm* | 1977 | 338 | *bm* | 1972 |
| 142 | *m* | 1981 | 193 | *bm* | 1970 | 165 | *bm* | 2006 | 332 | *bm* | 1948 |
| 134 | *m* | 2007 | 159 | *m* | 1960 | 141 | *m* | 2002 | 298 | *m* | 1960 |
| 126 | *m* | 1987 | 139 | *m* | 2001 | 138 | *m* | 1947 | 298 | *m* | 1997 |
| 122 | *m* | 1999 | 133 | *m* | 2003 | 121 | *m* | 1972 | 297 | *m* | 2009 |
| 114 | *m* | 1948 | 122 | *m* | 1954 | 109 | *m* | 1978 | 296 | *m* | 1981 |
| 114 | *m* | 1989 | | | | | | | | | |
| 114 | *m* | 1998 | | | | | | | | | |
| Wrzesień | | | Październik | | | Listopad | | | Jesień | | |
| *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok | *o* (mm) | klasa | rok |
| 138 | *sm* | 1995 | 148 | *sm* | 1974 | 108 | *bm* | 1952 | 265 | *bm* | 1952 |
| 92 | *m* | 1984 | 140 | *bm* | 1980 | 94 | *bm* | 1970 | 243 | *bm* | 1974 |
| 88 | *m* | 1952 | 80 | *m* | 1956 | 75 | *m* | 1947 | 210 | *m* | 1980 |
| 85 | *m* | 1972 | 71 | *n* | 1966 | 74 | *m* | 1966 | 202 | *m* | 1970 |
| 79 | *m* | 1950 | 69 | *n* | 1952 | 72 | *m* | 1961 | 190 | *m* | 1966 |
| 79 | *m* | 1992 | 69 | *n* | 1994 | 71 | *m* | 1964 | 190 | *m* | 1992 |

| Rok | | |
|---|---|---|
| *o* (mm) | klasa | rok |
| 767 | *bm* | 1970 |
| 691 | *m* | 1974 |
| 670 | *m* | 1948 |
| 657 | *m* | 1981 |
| 654 | *m* | 2009 |
| 653 | *m* | 1994 |

Klasyfikacja miesięcy/pór roku/roku: *sm* – skrajnie mokre, *bm* – bardzo mokre, *m* – mokre, *n* – normalne

Podobny rozkład w czasie jak miesiące wykazały najsuchsze sezony: najwięcej (6) w latach 1951-1960 (w tym skrajnie sucha wiosna – 49 mm i jesień – 20 mm, tab. 7) oraz 1961-1970, poza tym po 2-4 na 10 lat, przy czym najsuchsza zima (28 mm) i lato (90 mm) były w latach 1990. Najbardziej deszczowych sezonów najwięcej było w latach 2001-2009 (6) i 1961-1970 (5, w tym najbogatsza w opady zima – 139 mm i wiosna – 244 mm), a najmniej (2) w latach 1981-1990.

Najsuchszy był rok 1951 (330 mm, 65% średniej sumy rocznej), a najbardziej deszczowy 1970 (767 mm, 148%). Lata zaliczone do 10% najsuchszych zdarzały się tylko do roku 1982, a zaliczone do 10% najbardziej deszczowych były dość równomiernie rozłożone w czasie (tab. 7 i 8).

Czas występowania tych skrajnie suchych i skrajnie mokrych miesięcy, sezonów i lat potwierdza wcześniejsze wnioski dotyczące przebiegu opadów w 63-leciu: najsuchsza była pierwsza połowa lat 1950., najbardziej deszczowy początek XXI wieku.

## Warunki termiczno-opadowe

Przedstawiona charakterystyka dotyczyła osobno miesięcy, pór roku i lat anomalnych pod względem termicznym i opadowym. W rzeczywistości większość spośród nich wykazywała anomalie ze względu na tylko jeden z elementów klimatu. I tak, w ciągu 63 lat stwierdzono miesięcy i lat:

- normalnych – 393 (48,0%); 27 (42,8%),
- anomalnych tylko pod względem termicznym – 153 (20,2%); 15 (23,8%),
- anomalnych tylko pod względem opadowym – 157 (20,8%); 15 (23,8%),
- anomalnych zarazem pod względem termicznym i opadowym – 83 (11,0%); 6 (9,6%).

Wśród tych ostatnich było miesięcy i lat:

- o ujemnej anomalii termicznej i opadowej – 30 (3,9%); 3 (4,8%),
- o ujemnej anomalii termicznej i dodatniej anomalii opadowej – 10 (1,3%); 2 (3,2%),
- o dodatniej anomalii termicznej i ujemnej anomalii opadowej – 27 (3,6%); 1 (1,6),
- o dodatniej anomalii termicznej i opadowej – 16 (2,1%); 0.

Kalendarz anomalnych miesięcy, pór roku i lat podano w tab. 9.

Występowanie miesięcy o zgodnym znaku obu anomalii (zimne i suche oraz ciepłe i mokre) jest typowe dla okresu zimy: od grudnia do lutego w ciągu 63 lat (tzn. w ciągu 189 miesięcy) było ich odpowiednio 13 i 10 (6,9 i 5,3%), podczas gdy o anomalii przeciwnej zaledwie po jednym miesiącu (0,5%). W miesiącach pozostałych pór roku udział poszczególnych rodzajów anomalii był mniej zróżnicowany, ale miesiące wiosenne suche prawie równe często bywały zimne (7, tzn. 3,7%), jak i ciepłe (6, tzn. 3,2%). W okresie letnim zdecydowanie przeważały miesiące ciepłe i suche (11, tzn. 7,8%), przy wyrównanej częstości pozostałych kombinacji anomalii termicznych i opadowych (po 2-3 miesiące). Miesiące ciepłe i suche również najczęstsze były w jesieni (9, tzn. 4,8%), ale już, podobnie jak w zimie, zwiększył się udział miesięcy zimnych i suchych (7, tzn. 3,7%), natomiast znacznie rzadziej pojawiające się miesiące o dodatniej anomalii opadowej częściej okazały się zimne (5) niż ciepłe (tylko 1).

**Tabela 9**. Kalendarz miesięcy, pór roku i lat anomalnych pod względem termicznym i opadowym, Warszawa-Okęcie, 1947-2009
**Table 9.** Calendar of the months, seasons and years anomalous considering of air temperature and precipitation in Warsaw, 1947-2009

| | I | | II | | III | | IV | | V | | VI | | VII | | VIII | | IX | | X | | XI | | XII | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1946 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | z | *s* |
| 47 | z | | bz | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 48 | c | m | | | | | c | | | | | m | | | | | | | | | s | | | *s* |
| 49 | | | | | z | | | | c | | z | | | | | | c | | | s | | | c | |
| 1950 | z | | | | | s | | | c | s | | | | | | | | m | | | | | | |
| 51 | | | | | | | | | | | | s | | | bc | | bc | | z | s | c | s | c | |
| 51 | | | | m | z | s | c | | z | | | | | s | | | z | m | | | | bm | | *s* |
| 53 | | m | | | | s | | | | s | c | | c | | | s | | | | s | | | | *s* |
| 54 | z | | bz | | | s | z | | | | c | | | m | | s | | | | | | s | c | *m* |
| 55 | | | | | z | | bz | | z | | | | | | c | s | | | | s | | | | *m* |
| 56 | | | bz | | z | | z | | | | | | | | z | | | | | m | z | s | | |
| 57 | | | c | m | | | | | z | | | | | | z | | z | m | | s | | s | | |
| 58 | | | | | z | | bz | | | | z | | | | | | | | | | | | | |
| 59 | | | | s | | | | | | s | | n | c | | | s | z | s | | s | | s | | |
| 1960 | | | | | | | | | | s | | | | m | z | | | | | | | | c | |
| 61 | | | | | c | | c | | z | | | | z | | z | | | s | c | s | | m | z | |
| 62 | | | | | z | m | c | | z | sm | z | | z | s | | | | n | | s | | | z | *s* |
| 63 | bz | s | z | | z | s | | | c | | | s | c | s | c | | | | | | c | | z | *s* |
| 64 | | s | | | z | | | s | | s | bc | | | s | z | | | s | | | | m | | *s* |
| 65 | | | z | s | | s | z | | bz | | | | z | | z | | | | | s | bz | | | |
| 66 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | c | | | m | | *m* |
| 67 | | | | m | c | bm | | m | | | | | | s | | | bc | s | bc | | | | | *m* |
| 68 | | m | | | | | | | | | c | | | | | bs | | | | | | | z | s |
| 69 | z | s | | | z | | | | | | | | | s | | | | | | | c | | sz | |
| 1970 | z | | z | | | | | bm | | m | | | | bs | | s | | | | | | bm | | |
| 71 | | | | | | | | | c | | | | | s | c | | z | | | | | | c | |
| 72 | z | s | | s | | | | | | | | m | c | | | m | z | m | z | | | | | *s* |
| 73 | | s | | | | | | | | | | | | | | s | | | z | | | | | |
| 74 | | | c | m | c | s | | s | z | | z | | z | | | | | | z | sm | | | c | m |
| 75 | c | | | s | | | | | | | | | | | | | c | | | | | s | | *s* |
| 76 | | | | bs | z | s | | s | | | z | s | | s | z | | | | | | | | | |
| 77 | | | | m | c | | z | | | | s | | z | | z | bm | z | | | s | c | | | |
| 78 | | | | | | | z | | | | z | | z | | z | m | z | | | | | | z | |
| 79 | z | | z | | | | | | | s | bc | s | bz | | | | | | z | s | | | | |
| 1980 | z | s | | s | | | | | bz | s | | | z | | z | | | | | bm | | | | |
| 81 | | | | | | m | z | s | | | | m | | | | | | | | | | | z | |
| 82 | | | | s | | s | z | | | | | | | s | c | | c | s | | | | | | |
| 83 | c | | | | | m | | | c | | | s | | s | | | | s | | | | s | | |
| 84 | | | | | | | | s | | m | z | | z | | | s | | m | c | | | | | *s* |
| 85 | z | | z | | | | | | | | z | | | | | | | | | | z | s | | *m* |
| 86 | | | bz | s | | | | s | | m | | | | | | | z | | | | | s | | |
| 87 | bz | | | s | z | | | | | | | m | | | z | | | | | | | | | |
| 88 | | | | | | m | | s | | s | | | | | | | | s | | s | z | | | |
| 89 | c | | c | | c | s | | | | s | | m | | | | | | | c | | | | | |
| 1990 | c | s | c | | c | | | | | s | | | | | | | z | m | | s | | | | *s* |
| 91 | | | | | | s | | | z | | z | | | | | | | | | | | | | |
| 92 | | s | | | | m | | | | s | c | | | s | bc | s | | m | z | | | | | *m* |
| 93 | | m | | | | | | | c | | | | | | | | | | | | sz | s | c | *m* |
| 94 | c | | | s | | bm | | bm | | m | | s | bc | s | | | | | z | | | | | m |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 95 | | | c | | | | | | | | | | | | | | | m | c | | z | | z | *s* |
| 96 | | s | z | | z | s | | | | | | s | z | | | | z | | | | c | | z | *s* |
| 97 | | bs | | | | | z | | | | | | | sm | c | s | | | z | | | | | |
| 98 | | | c | m | | | c | | | | | m | | | z | | | | | | bz | | | |
| 99 | | | | | | | c | m | | | | m | c | s | | s | c | s | | | | | | |
| 2000 | | | c | | | | bc | s | | | | s | z | | | | | | bc | s | c | m | | |
| 01 | | | | | | | | m | | | z | s | c | m | c | | | m | c | | | | z | |
| 02 | | | c | bm | c | | | s | bc | | | | c | s | bc | m | | | | | | | bz | *s* |
| 03 | | | | s | | s | | | c | | | | | n | | | | | z | | | s | | |
| 04 | | | | m | | | | m | | | | | | | | | | s | c | | | | | |
| 05 | c | | | | | | | | | | | | c | | | s | c | | | s | | | | *bm* |
| 06 | z | | | | z | s | | | | | c | s | bc | s | | bm | c | | c | | c | | c | |
| 07 | c | sm | | | bc | | | s | c | | c | m | | | | | | | | | | | | *s* |
| 08 | c | bm | c | | | | | | | | c | s | | | | | | | c | | c | | | |
| 09 | | | | | | m | c | s | | | | bm | | | | | c | s | | | c | | | |
| 2010 | z | | | | | | | | | | | m | c | | c | m | | | | | | | | |

| | Zima | | Wiosna | | Lato | | Jesień | | Rok | | | Zima | | Wiosna | | Lato | | Jesień | | Rok | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1946 | | | | | | | | | | | 1980 | | | z | | z | | | m | z | |
| 47 | bz | | | s | | | | | | | 81 | | | | | | m | | | | m |
| 48 | | | | | | bm | | | | *m* | 82 | | | | | | | c | s | | *s* |
| 49 | | | | | z | | c | | | | 83 | | | c | m | | s | | s | c | |
| 1950 | | | c | | | | | | | | 84 | | | | | z | | | | | |
| 51 | | | | | c | bs | c | bs | | *bs* | 85 | z | s | | | | | z | | z | |
| 51 | | | z | | | s | z | bm | | | 86 | | | | | | | | | | |
| 53 | | | | bs | c | | | s | | *s* | 87 | z | | z | | z | | | | z | |
| 54 | z | s | | s | | | | s | | *s* | 88 | | | s | | | | z | s | | |
| 55 | | | bz | | | | | | | | 89 | c | | c | | | | | | c | |
| 56 | z | | z | s | | | z | | bz | | 1990 | c | | c | | | | | | c | |
| 57 | | | | | | | | | | | 91 | | | | s | | | | | | |
| 58 | | | z | | | | | | | | 92 | | | | | bc | bs | | m | | |
| 59 | | | | s | c | | z | s | | *s* | 93 | | m | | | z | s | bz | s | | |
| 1960 | | | | | | m | | | | | 94 | | m | | bm | | s | | | | *m* |
| 61 | | | | | | | c | | | | 95 | | m | | | | | | m | | |
| 62 | | | | sm | z | s | | | z | *m* | 96 | z | s | | | | | | | z | |
| 63 | bz | s | | | c | s | c | | z | *s* | 97 | | s | | | | m | | | | |
| 64 | z | s | z | bs | | | | | | *s* | 98 | c | | | | | | bz | | | *m* |
| 65 | | s | z | | z | | z | s | z | | 99 | | | | | c | | | | | |
| 66 | | | | | | | m | | | | 2000 | | | c | | c | | | | c | |
| 67 | | m | | | | s | bc | s | | | 01 | | | | | | | | | | |
| 68 | | m | | | | s | | | | *s* | 02 | | m | c | | bc | | | | c | |
| 69 | z | s | z | s | | | | | z | *s* | 03 | z | s | | s | c | | | | | |
| 1970 | bz | | | m | | m | | m | z | *bm* | 04 | | m | | | | | | | | |
| 71 | | | | | | | z | | | | 05 | | | | | | s | c | s | | |
| 72 | s | | | | | bm | | | | *m* | 06 | | m | | | bc | | bc | | c | |
| 73 | | | | | | | z | | | | 07 | c | m | bc | | c | m | | | c | |
| 74 | | | | s | z | | | bm | | *m* | 08 | c | | | | c | | c | | c | |
| 75 | c | | | | | | | s | c | *s* | 09 | | | | | | m | c | | | *m* |
| 76 | | s | z | s | z | bs | | | z | *bs* | 2010 | | | | m | bc | m | | | | |
| 77 | | | | | z | m | | | | | | | | | | | | | | | |
| 78 | | | | | z | | | | z | | | | | | | | | | | | |
| 79 | z | | | s | | | | | | s | | | | | | | | | | | |

Objaśnienia skrótów jak w tab. 3, 4, 7 i 8

Podobne prawidłowości zarysowują się w przypadku sezonów, przy czym w zimie i na wiosnę nie stwierdzono ani jednego przypadku jednoczesnej anomalii termicznej i opadowej o znaku przeciwnym, tzn. brak zim i wiosen ciepłych i suchych oraz zimnych i mokrych. Kategorie takie pojawiają się dopiero w lecie i na jesieni, ale są one równie częste jak zimne i suche. Ten rodzaj związków jest oczywistym wynikiem w ogóle większej częstości sezonów suchych niż mokrych.

Nieco inaczej kształtują się anomalie termiczno-opadowe dotyczące całego roku. Przede wszystkim zwraca uwagę mniejszy udział normalnych lat (42,3%) niż miesięcy (48,0%) i sezonów (50,4%) oraz anomalnych jednocześnie ze względu na obydwa elementy (9,6%, miesiące 11,0%, sezony 12,0%), większy zaś anomalnych ze względu tylko na temperaturę lub opady (po 23,8%). Rok odznacza się też mniejszym stopniem anomalii: brak roku skrajnie zimnego i tylko jeden bardzo zimny, brak też roku bardzo ciepłego, zaledwie 2 lata bardzo suche i tylko jeden bardzo mokry. To zmniejszanie się stopnia anomalii w ciągu roku wynika z ciągłej naprzemienności miesięcy zimnych i ciepłych oraz suchych i mokrych, z rzadka tylko układających się w dłuższe ciągi, a więc w pewnym stopniu „znoszenie" się anomalii miesięcznych. Jeśli zaś cały rok okazuje się anomalny, częściej niż w przypadku miesięcy, dotyczy to tylko temperatury lub opadów.

W uzupełnieniu warto dodać, że taki sam rodzaj klasyfikacji miesięcy pod względem termicznym i opadowym obejmujący okres 1951-2000 był wcześniej wykonany przez autorkę (Kossowska-Cezak, 2000/2001). Wzrost temperatury i opadów na początku XXI wieku sprawił, że wiele miesięcy z drugiej połowy XX wieku w klasyfikacji na podstawie okresu 1947-2009 zostało zaliczonych do innej klasy niż poprzednio. W klasyfikacji pod względem termicznym klasę zmieniło aż 46 miesięcy spośród 600 (tzn. 7,7%); w każdym przypadku było to przejście do klasy niższej: miesiąc bardzo zimny stał się skrajnie zimny (1 miesiąc), zimny – bardzo zimny (2 miesiące), miesiąc uprzednio zaliczony do normalnych stał się zimny (19 miesięcy), a zaliczony do ciepłych – normalny (22), do bardzo ciepłych zaś – ciepły (2). Na przykład, mroźny (-2,7°C) listopad 1993 we wcześniejszej klasyfikacji był uznany za bardzo zimny, a późniejszej za skrajnie zimny, a łagodne (5,1°C) listopady 1978 i 1992 zmieniły klasę z ciepłych na normalne, podobnie jak jedne z cieplejszych (20,1°C) lipce 1992 i 1995.

Miesiące, które obecnie zostały zaliczone do klasy chłodniejszej, są rozłożone w roku bardzo nierównomiernie: 39 z nich (85%) przypada na półrocze od kwietnia do września, a pozostałe 7 (15%) na półrocze od października do marca, przy czym w grudniu i styczniu nie stwierdzono takich przypadków.

Zmiana kategorii opadowej objęła mniej miesięcy (32) i zmiany te polegały na przesunięciu zarówno do klasy niższej (21), jak i wyższej (11). Wzrost opadów w zimie i w lecie sprawił, że przesunięcie do klasy niższej (miesiąc suchy stał się bardzo suchy, normalny – suchy, mokry – normalny, bardzo mokry – mokry, i skrajnie mokry – bardzo mokry) dotyczy tylko miesięcy od grudnia do marca (zwłaszcza stycznia – 7 miesięcy) oraz od czerwca do sierpnia. Przesunięcie do klasy wyższej obejmuje pojedyncze przypadki od marca do września, ale szczególnie wyróżnił się wrzesień (5), który w XXI wieku był suchszy niż w poprzednich latach.

Za najbardziej anomalne można uznać te miesiące, pory roku i lata, które symbolicznie można oznaczyć jako „$>3\sigma$", tzn. anomalne ze względu na temperaturę albo opady w stop-

niu „skrajnie" lub ze względu na obydwa elementy, w tym jeden w stopniu „bardzo". Stwierdzono 26 takich miesięcy, wśród których 4 stanowią nawet kategorię „$>4\sigma$" (zimny i skrajnie mokry maj 1962 i październik 1977, skrajnie zimny i mokry listopad 1993 oraz ciepły i skrajnie mokry styczeń 2007 – tab. 9). Pór roku „$>3\sigma$" było 10, w tym 4 jesienie, a lato zdarzyło się klasy „$>4\sigma$" – 1992, bardzo ciepłe i bardzo suche (aczkolwiek nie było miesiąca takiej klasy). Rok klasy „$>3\sigma$" był tylko 2 razy, w obydwu przypadkach zimny. Zestawienie tych wszystkich najbardziej anomalnych miesięcy, pór roku i lat podano w tab. 9. Warto zwrócić uwagę, że wszystkie one znalazły się w zbiorze 10% najzimniejszych i najcieplejszych oraz/lub najsuchszych i najbardziej mokrych (tab. 3, 4, 7 i 8).

**Tabela 10.** Miesiące, sezony i lata o skrajnie anomalne („$>3\sigma$"), Warszawa-Okęcie, 1947-2009
**Table 10.** Months, seasons and years extremely anomalous („$>3\sigma$"), Warszawa-Okęcie, 1947-2009

| | Rok | Klasa | *t* (°C) | *o* (mm) | | Rok | Klasa | t (°C) | *o* (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Miesiące | | | | | Październik | 1974 | *zsm* | 6,7 | 148 |
| Styczeń | 1963 | *bzs* | -12,4 | 3 | | 2000 | *bcs* | 11,6 | 5 |
| | 2007 | *csm* | 3,7 | 79 | Listopad | 1993 | *szs* | -2,7 | 19 |
| | 2008 | *cbm* | 1,1 | 68 | Grudzień | 1969 | *sz* | -8,5 | 23 |
| Luty | 1947 | *bzm* | -10,7 | 44 | | 2002 | *bzs* | -6,6 | 3 |
| | 1986 | *bzs* | -9,6 | 7 | Pory roku | | | | |
| | 2002 | *cbm* | 3,6 | 72 | Zima | 1963 | *bzs* | -8,4 | 29 |
| Marzec | 1967 | *cbm* | 5,0 | 57 | Wiosna | 1962 | *sm* | 6,7 | 274 |
| Kwiecień | 2000 | *bcs* | 12,4 | 14 | | 1964 | *zbs* | 5,9 | 55 |
| Maj | 1947 | *cbs* | 15,8 | 8 | Lato | 1951 | *cbs* | 19,0 | 109 |
| | 1962 | *zsm* | 11,0 | 183 | | 1976 | *zbs* | 16,6 | 103 |
| | 1980 | *bzs* | 9,9 | 33 | | 1992 | *bcbs* | 20,0 | 90 |
| Czerwiec | 1979 | *bcs* | 19,8 | 28 | Jesień | 1951 | *cbs* | 9,3 | 20 |
| Lipiec | 1994 | *bcs* | 22,0 | 32 | | 1952 | *zbm* | 6,9 | 265 |
| | 1997 | *sm* | 17,9 | 214 | | 1967 | *bcs* | 10,5 | 72 |
| | 2006 | *bcs* | 23,5 | 20 | | 1993 | *bzs* | 5,7 | 79 |
| Sierpień | 1977 | *zbm* | 16,1 | 179 | Rok | | | | |
| | 1992 | *bcs* | 21,5 | 25 | Rok | 1970 | *zbm* | 7,1 | 767 |
| | 2002 | *bcm* | 20,7 | 141 | | 1976 | *zbs* | 7,1 | 348 |
| Wrzesień | 1951 | *cbs* | 15,6 | 1 | Objaśnienia skrótów jak w tab. 3, 4, 7 i 8 | | | | |
| | 1967 | *bcs* | 16,4 | 18 | | | | | |
| | 1995 | *sm* | 13,4 | 138 | | | | | |

Rozkład w czasie tych 26 najbardziej anomalnych miesięcy był bardzo nierównomierny – połowa z nich wystąpiła w ciągu ostatnich 17 lat; względnie częste były one również w latach 1960. (5). Najbardziej anomalne pory roku natomiast najczęściej występowały w latach 1950. i 1960.; należy tu wymienić bardzo zimną i suchą zimę 1963 roku czy bardzo ciepłe i suche lato i jesień 1951 roku. W ostatnich dwóch dekadach skrajnie anomalnych pór roku było mało, choć było dużo takich miesięcy. Ta pozorna sprzeczność wynika stąd, że zwykle były to tylko pojedyncze miesiące, które nie decydowały o klasie termiczno-opadowej całej pory roku. Wyjątkiem było wspomniane już lato 1992, z cie-

płym czerwcem, suchym lipcem i bardzo ciepłym i suchym sierpniem, które złożyły się na jedyne w 63-leciu lato bardzo ciepłe i bardzo suche, oraz jesień 1993, ze skrajnie zimnym i suchym listopadem, który wraz z normalnym wrześniem i październikiem dał bardzo zimną i suchą jesień.

Wynika stąd, że współczesnemu ociepleniu towarzyszy zwiększona zmienność warunków pogodowych z miesiąca na miesiąc, w tym zwłaszcza miesięcy i sezonów anomalnie ciepłych i/lub mokrych.

## Podsumowanie

Przedstawiona charakterystyka miesięcznych i sezonowych warunków termicznych i opadowych, oparta na wynikach obserwacji prowadzonym po II wojnie światowej na Okęciu, ze względu na położenie tej stacji może być odniesiona do większego obszaru środkowego Mazowsza.

Warunki termiczne tego obszaru charakteryzują się typowym dla klimatu całej Polski przebiegiem rocznym, z najniższą średnią temperaturą powietrza w styczniu i najwyższą w lipcu (tab. 1) oraz dużą zmiennością temperatury z roku na rok, zwłaszcza w zimie (zakres wahań w lutym 16,9°C, w styczniu 16,1°C – tab. 3 i 4). Typowy jest również przebieg roczny opadów, z najniższymi sumami od stycznia do marca (oraz w zimie) i największymi w lipcu (oraz w lecie – tab. 5), jak również z bardzo dużymi wahaniami sum miesięcznych. Jeśli chodzi o wartości bezwzględne, to największą zmiennością odznacza się lipiec – od 15 do 214 mm (od 20 do 293% średniej sumy wieloletniej), natomiast w wartościach względnych „rekord bije" październik – od 0 do 148 mm, tzn. od 0 do 411% średniej sumy rocznej (tab. 7 i 8).

W ciągu całego roku przeważają miesiące normalne tak pod względem termicznym, jak i opadowym (48%), ale część miesięcy odznacza się anomalią termiczną (20%) albo opadową (21%), lub też obydwoma jednocześnie (11%). Dotyczy to również pór roku. Anomalne miesiące i sezony występowały w różnych latach rozpatrywanego okresu, ale ostatnie dwie dekady odznaczały się zwiększoną częstością miesięcy i pór roku ciepłych i bardzo ciepłych oraz bardzo nielicznymi miesiącami i porami roku zimnymi, co jest wyraźnym przejawem współczesnego ocieplenia. Pozorna przypadkowość dotyczy również pojawiania się miesięcy i pór roku anomalnych pod względem opadowym, tym niemniej największą częstością miesięcy i sezonów suchych odznaczały się lata 1950., a szczególnie ich pierwsza połowa, które też były najsuchszym okresem w badanym wieloleciu. Ostatnie 20 lat natomiast charakteryzuje się znacznym udziałem miesięcy tak suchych, jak i mokrych, w tym bardzo i skrajnie mokrych; tu zwłaszcza zwraca uwagę pojawienie się anomalnie mokrych miesięcy zimowych i całych zim (tab. 8). Zaznacza się to w bardzo słabej tendencji wzrostowej rocznych sum opadów, które jednak pozostają w zakresie wartości normalnych.

Uzyskane wyniki nie stanowią żadnej podstawy do prognozowania warunków termicznych i opadowych na przyszłość – w pierwszym półroczu 2010 roku przeważały miesiące normalne, jedynie styczeń był zimny (-8°C), a maj mokry (116 mm – drugi pod względem ilości opadów w wieloleciu); ciepłe były lipiec i sierpień. Wydaje się to potwierdzać wniosek o pojawianiu się w ostatnich latach miesięcy o skrajnych cechach termicznych lub opadowych.

**Literatura**

Koczorowska R., 1980, *Miesiące i lata ze średnią normalną temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Poznaniu*. Przegląd Geofizyczny, t. 25, nr 2.

Kossowska-Cezak U., 1993, *Lato roku 1992 w Polsce na tle sezonów letnich ostatnich 120 lat*. Przegląd Geofizyczny, t. 38, nr 1.

Kossowska-Cezak U,. 2000/2001, *Miesięczne i sezonowe anomalie temperatury i opadów*. [w:] Problematyka pomiarów i opracowań elementów meteorologicznych. Annales UMCS, sectio B, tom 45/46.

# XI. ZAKOŃCZENIE

Celem pracy jest określenie składników deterministycznych (okresowych) czasowej zmienności klimatu Europy w XVII-XXI wieku. Jest nim też identyfikacja naturalnych przyczyn ochłodzeń i ociepleń klimatu Europy a także prognozy temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie i innych miastach Europy do końca XXI wieku.

W prognozach zmian klimatu Europy przyjęto założenie, że ekstrema wykrytych cykli temperatury, opadów i rocznych przyrostów drzew rosnących w Europie będą się powtarzać nadal. Do przyjęcia takiego założenia upoważnia obecność analogicznych cykli w ciągach czasowych: aktywności Słońca (stałej słonecznej) i parametrów Układu Słonecznego oraz ich synchroniczność (koincydencja ekstremów). Najdłuższe okresy około 100- i 200-letni powtarzają się wielokrotnie w ciągach chronologicznych słoi np. sosny (Pinus sylvestris w Forfjorddalen, 877-1994, Norwegii), paleotemperatury tj. zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}O$ w rdzeniach lodowych i zawartości substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych. Najmroźniejsze zimy, o średniej temperaturze -7°C, wystąpią prawdopodobnie w połowie obecnego stulecia – około roku 2050.

Globalne ocieplenie i zjawiska regionalne – niekorzystne dla mieszkańców Ziemi – są przeważnie przypisywane działalności człowieka. Przypisywane są one przede wszystkim antropogenicznej części efektu cieplarnianego atmosfery – wzrostowi zawartości dwutlenku węgla ($CO_2$) w atmosferze, pochodzącemu ze spalania węgla i innych paliw.

Raport IPCC (1990), prognozujący wzrost temperatury powietrza na Ziemi w roku 2030 o 1,5-4,5°C, był zbyt pesymistyczny. Pojawiły się później katastrofalne prognozy o stopieniu lodów Antarktydy i Arktyki, a także lodowców wysokogórskich i zatopieniu części kontynentów przez wody oceanów. Historia klimatu Ziemi i proste obliczenia (Boryczka, 1998) wskazują, że taki proces trwałby co najmniej kilkanaście tysięcy lat.

Analogicznie, ochłodzenie klimatu w latach czterdziestych przyczyniło się do podjęcia badań nad wpływem pyłów wulkanicznych na klimat. Pojawiły się wówczas katastrofalne prognozy o całkowitym zlodowaceniu Ziemi. Prognozowano, że spadek globalnego promieniowania całkowitego o 1,5-1,6% prowadzi do nieodwracalnego zlodowacenia, postępującego od biegunów ku równikowi.

Raport IPCC (1995) jest bardziej optymistyczny, prognozowane są przyrosty antropogeniczne temperatury powietrza o 1-3,5°C w roku 2100 (o połowę mniejsze), po uwzględnieniu rozproszenia promieniowania słonecznego przez areozole siarczanowe, pochodzące z emisji do atmosfery $SO_2$.

Modele cyrkulacji – scenariusze $2 \times CO_2$ (po podwojeniu przedindustrialnej koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze – 280 ppm) mają obecnie raczej znaczenie metodyczne. Rozwiązania numeryczne równań ruchu atmosfery, z uwzględnieniem ważniejszych sił działających na obracającej się Ziemi, stanów fizycznego i chemicznego powietrza aż do stratosfery, są znaczącym postępem w rozwoju fizyki atmosfery.

Kolejny raport IPCC (2001) dotyczy głównie ekstremalnych (rzadko występujących) zjawisk pogodowych. Wskazuje na istotne statystycznie zmiany warunków termicznych i opadowych oraz wzrost liczby rejestrowanych katastrof naturalnych. Obecnie nie moż-

na jednak statystycznie uzasadnić schematu tzw. efektu „ciepłej pogody", ze względu na krótkie przedziały czasu danych empirycznych. Nie wiadomo, czy wraz ze wzrostem średniej globalnej temperatury powietrza występuje także istotna statystycznie tendencja rosnąca jej wariancji.

W publikacji Klein Tang A. i in., 2002. European Climate Assessment 2000 (ECA) objęto analizą serie dobowych (z lat 1901-2000) wartości temperatury powietrza; maksymalnej, minimalnej i średniej z 144 stacji w Europie oraz dobowych sum opadów atmosferycznych – z 152. Z badań tych wynika także wzrost temperatury, liczby dni ciepłych, czasu trwania okresu wegetacyjnego, a spadek dni chłodnych.

Według raportu IPCC (2007) w najbliższych latach będzie postępować ocieplenie klimatu oraz wzrost częstości ekstremalnych zjawisk pogodowych, także fal upałów. Ten wzrost liczby ekstremalnych zjawisk wynika prawdopodobnie z tendencji rosnącej temperatury powietrza na Ziemi.

Przypisywanie jednak postępującego ocieplenia tylko antropogenicznej części efektu cieplarnianego jest niepewnym, słabo uzasadnionym założeniem. Nie wiadomo bowiem, jaka część tendencji rosnącej temperatury powietrza przypada na czynniki naturalne, a jaka na antropogeniczne. Mało znane są tendencje koncentracji w atmosferze naturalnych gazów śladowych (pary wodnej, naturalnego $CO_2$), które powodują zasadniczą część naturalną efektu cieplarnianego – w latach przedindustrialnych + 33°C (różnica między temperaturą ówczesną a planetarną).

Znaczącą rolę w kształtowaniu klimatu Ziemi będą nadal odgrywały (także w XXI wieku) eksplozywne erupcje wulkanów, powodujące powstanie warstwy wulkanicznych aerozoli siarczanowych w stratosferze. Wskazują na to długie serie wyników pomiarów promieniowania całkowitego i temperatury powietrza, skorelowane ze wskaźnikami koncentracji pyłów wulkanicznych w atmosferze. Dopływ energii słonecznej do powierzchni Ziemi zależy przede wszystkim od stałej słonecznej, której zmienność warunkować będzie wahania klimatu w przyszłym stuleciu.

Wyniki badań przedstawione w tej części Atlasu wskazują, by współczesne zmiany klimatu interpretować w odniesieniu do zmian klimatu w czwartorzędzie, a szczególnie w holocenie. Wskazują również potrzebę opracowania prognoz zarówno naturalnych, jak też antropogenicznych tendencji zmian klimatu w XXI wieku.

Zmiany klimatu, jego wahania i tendencje, a w szczególności prognozy mają duże znaczenie w planowaniu rozwoju wszystkich działów gospodarki: rolnictwa, budownictwa, energetyki, komunikacji itp.

Dlatego też najważniejsze jest zbadanie najdłuższych serii pomiarów w Europie, na podstawie których określa się zakres wahań klimatu, temperatury powietrza i opadów atmosferycznych i dokonuje się sondaży przyszłości.

Nadal aktualne jest poznanie wieloletnich zmian i opracowanie prognozy klimatu przy wykorzystaniu metod modelowania z uwzględnieniem powiązań z działalnością człowieka. Globalne ocieplenie i anomalie klimatu w różnych strefach kuli ziemskiej zagrażają życiu na Ziemi.

Do najbardziej niekorzystnych zjawisk można zaliczyć wichury i sztormy oraz powodzie, osuwiska ziemi i lawiny, które wywołują 85% strat ekonomicznych. Do innych zjawisk ekstremalnych należą trzęsienia ziemi i erupcje wulkaniczne. Duże straty powo-

dują susze, fale upałów (pożary lasów) i mrozów. Do katastrof najgroźniejszych dla ludzi i gospodarki w roku 1998 można zaliczyć (*Zmiany klimatu*, 1999):

- Tajfun w Indiach, który w czerwcu spowodował śmierć 10 000 osób;
- Huragan, który spustoszył Amerykę Środkową na przełomie października i listopada, powodując śmierć około 9200 osób;
- Huragan Georges, który przeszedł nad Karaibami i Zatoką Meksykańską na przełomie września i października i przyczynił się do śmierci ponad 4000 osób;
- Letnią powódź w Bangladeszu, Indiach i Nepalu, na skutek której liczba ofiar śmiertelnych wyniosła 4750;
- Letnią powódź w Chinach, która przyczyniła się do liczby ofiar szacowanej na 3656;
- Burze śnieżne w styczniu oraz silne gradobicie w maju 1998 r. w Ameryce Północnej, które spowodowały straty liczone w miliardach dolarów amerykańskich.

W roku 1997 zjawisko El Niño spowodowało długotrwałe susze w Azji Południowo-Wschodniej. Natomiast w 1998 r. prawie cały ten obszar został zatopiony przez nadzwyczaj ulewne deszcze monsunowe, wywołane zjawiskiem El Niño. Zjawisko El Niño oddziałuje na warunki pogodowe w wielu regionach świata, a spowodowane jest nagłym ochłodzeniem się wód wschodniego Pacyfiku, nawet o 2°C poniżej średniej wieloletniej temperatury. Ulewne deszcze związane z tym zjawiskiem wystąpiły również w północnej i wschodniej Australii i Nowej Zelandii, południowej części Afryki, północno-wschodniej części Ameryki Południowej oraz Ameryce Środkowej. Natomiast susze spowodowane przez El Niño wystąpiły m.in. na zachodnim wybrzeżu Ameryki Południowej oraz w południowo-zachodnich stanach USA.

Oceniając straty na świecie powstałe w wyniku zjawisk ekstremalnych w 1998 r., można stwierdzić, że były one największe w Azji i Ameryce Północnej oraz Środkowej.

Nie można wykluczyć, iż w przyszłości niektóre zjawiska ekstremalne, np. powodzie, susze, wystąpią w Europie. Dlatego też z inicjatywy Polskiego Komitetu Narodowego ds. Międzynarodowego Programu „Zmiany Globalne Geosfery i Biosfery" przy Prezydium PAN wspólnie z Instytutem Ochrony Środowiska i Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej z udziałem licznych Zakładów Klimatologii w Polsce powstał projekt „Narodowego Programu Klimatycznego".

Uznano, że badania naukowe w zakresie prognoz zmian klimatu, głównie zjawisk ekstremalnych, powinny w przyszłości koncentrować się wokół następujących problemów:

- Miniony, obecny i przewidywany klimat Polski w aspekcie jego zmian i zmienności.
  - Zmiany klimatu Polski w okresie holocenu, w tym zwłaszcza ostatniego tysiąclecia, w aspekcie zmian opadowych i bilansu wodnego.
  - Współczesne tendencje zmian klimatu z uwzględnieniem ekstremalnych zjawisk klimatycznych i towarzyszących klęsk żywiołowych oraz zmian poziomu Morza Bałtyckiego.
  - Projekcja zmian klimatu Polski na tle najnowszych symulacji.
  - System monitoringu i okresowych ocen klimatu Polski.
- Wpływ zmian klimatu na ekosystemy i systemy społeczno-gospodarcze oraz sposoby przeciwdziałania negatywnym skutkom ich zmian.

- Ocena zmian ekosystemów lądowych i wodnych pod wpływem zmian klimatycznych i antropopresji oraz sposoby ochrony przed negatywnymi skutkami tych wpływów.
- Metody adaptacji systemów wodno-gospodarczych do zmieniających się warunków klimatycznych.
- Ocena zmian w produkcji roślinnej i zwierzęcej w zmienionych warunkach klimatycznych oraz mechanizmy adaptacji rolnictwa do zmian klimatu.
- Podstawy adaptacji gospodarki leśnej do zmienionych warunków klimatycznych.

- Strategie redukcji emisji i pochłaniania i ich skutki społeczno-gospodarcze.
  - Systemowa metodologia obliczania emisji i wychwytu gazów cieplarnianych na potrzeby tworzenia sektorowych strategii redukcji emisji i zwiększenia pochłaniania tych gazów.
  - Makroekonomiczne i sektorowe strategie redukcji emisji i zwiększenia pochłaniania gazów cieplarnianych oraz skutki społeczno-gospodarcze ich wdrażania.
  - Opracowanie zasad działania i wdrażania mechanizmów ekonomicznych i finansowych przewidzianych przez Ramową Konwencję Narodów Zjednoczonych w Sprawie Zmian Klimatu i Protokół z Kioto oraz strategii finansowania wdrożenia postanowień Protokołu z Kioto.
  - Zmiany koncentracji gazów cieplarnianych i ozonu w atmosferze na terenie Polski.

Największe znaczenie w prognozach zmian klimatu i zjawisk ekstremalnych w XXI wieku ma wykrycie składników deterministycznych (okresowych) trendów czasowych zmiennych meteorologicznych. Najważniejsze jest określenie roli wahań aktywności Słońca (stałej słonecznej) w kształtowaniu (poprzez cyrkulację atmosferyczną) zmian klimatu – w tym zjawisk ekstremalnych. Kluczowym problemem jest lepsze wykazanie, że wahania stałej słonecznej są uwarunkowane zmianami parametrów Układu Słonecznego, o czym informują dotychczasowe badania statystyczne. Umożliwi to wyodrębnienie naturalnych wahań (ociepleń i ochłodzeń) klimatu w Europie i w Polsce. Można będzie odpowiedzieć na pytanie, jaką część tendencji rosnącej temperatury powietrza (postępującego ocieplenia) można przypisać czynnikom naturalnym (wraz z erupcjami wulkanów), a jaką – czynnikom antropogenicznym (efektowi cieplarnianemu).

Ważne jest zatem określenie cykli krótkich i długich: temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, poziomu Morza Bałtyckiego, a w szczególności zjawisk ekstremalnych, nasilających się podczas ociepleń klimatu: sztormów, powodzi, susz, fal upałów i mrozów, burz, trąb powietrznych itp.

Dokładniejszych badań wymaga także okresowość katastrofalnych erupcji wulkanicznych i trzęsień ziemi, zagrażających życiu.

Problemy te są rozwiązywane nadal w Zakładzie Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego w ramach badań własnych i prac dyplomowych.

## Postęp badań zmian klimatu w pierwszej dekadzie XXI wieku w odniesieniu do drugiej połowy XX wieku

Na pierwszym miejscu należy wymienić **Tom XVII:** ***Mroźne zimy i upalne lata w Polsce*** **(Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Kirschenstein M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2003), ss. 297**.

Wciągu ostatniego miliarda lat wystąpiło 6 wielkich epok lodowych: 950, 750, 620, 444, 280, 3-2 (zlodowacenie czwartorzędowe) – średnio co 190 milionów lat. Są to tzw. „zimy kosmiczne", których przyczyną może być obieg Układu Słonecznego dookoła środka naszej galaktyki (rok galaktyczny jest równy około 226 milionów lat). Zlodowacenia Ziemi były efektem nakładania sic trzech długich cykli: 100 000 lat – mimośrodu (ekscentryczności) orbity, 42 000 lat – nachylenia płaszczyzny ekliptyki do równika, 21 000 lat – położenia peryhelium względem punktu równonocy wiosennej (według teorii Milankovicia, 1930). W ciągu ostatniego miliona lat wystąpiło 10 głównych ochłodzeń i 10 ociepleń klimatu.

Chronologiczne ciągi czasowe substancji organicznych zdeponowanych w osadach polskich jezior informują o holoceńskich wahaniach klimatu. Za datę holoceńskiego ochłodzenia klimatu Polski można przyjąć minimum substancji organicznej 11 000- 9 000 w Jez. Gościąż. W przedziale czasu od -20 000 do -12 540 lat temu rekonstruowano zawartość substancji organicznych w osadach na podstawie interferencji cykli: 50, 230, 360, 390, 540, 590, 1120, 1 380, 1 770, 2 970, 6 080, 12 380 lat.

Rekonstrukcje temperatury powietrza w warstwie przyziemnej w różnych miejscach Ziemi w ostatnim tysiącleciu wskazuje trzy zasadnicze przedziały czasu: „optimum średniowieczne" – 800-1200, „mała epoka lodowa" – 1400-1900 i współczesne ocieplenie – od 1900 roku W ostatnich 400 latach wystąpiły trzy główne ochłodzenia klimatu Ziemi, o najmniejszej średniej globalnej temperaturze powietrza na półkuli północnej w pobliżu dat: 1600, 1700, 1830. Najbardziej poznane (na podstawie danych instrumentalnych) jest to ostatnie, największe ochłodzenie w Europie i Polsce (wg serii warszawskiej i krakowskiej). Trzeba zauważyć, ze wystąpiło ono podczas trzech najsłabszych, wydłużonych (12-13-letiiich) cykli aktywności Słońca (1798-1833).

Ochłodzenie to pojawiło się w czasie najsłabszego 13-letniego cyklu plam słonecznych (1811-1823), podczas absolutnego minimum wiekowego (od 1700 r.) To ostatnie globalne ochłodzenie klimatu (także w Polsce) wystąpiło podczas wzmożonej aktywności wulkanicznej, po największych wybuchach wulkanów: 1803 – Cotopaxi, 1815 – Tambora, 1835 – Cosequina.

Ochłodzenia i ocieplenia klimatu są kształtowane wahaniem dopływu energii słonecznej do powierzchni Ziemi, zależnej od stałej słonecznej i zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze – pochłaniających i rozpraszających promieniowanie słoneczne.

Cyrkulacja atmosferyczna warunkuje transport magazynowanej głównie w strefie międzyzwrotnikowej, energii słonecznej w stronę biegunów.

Temperatura powietrza w Europie (i Polsce) cechuje sic cyklicznością około 8-, 11-, 100- i 180-letnią. Cykle wyznaczono metodą, „sinusoid regresji" J. Boryczki

$$T = a + b\sin(2\pi t/\Theta + c),$$

gdzie: $\Theta$ - okres, $b$ – amplituda, $c$ – przesunięcie fazowe).

W Europie (i w Polsce) dominują okolo 8-letnie okresy temperatury powietrza o dużych amplitudach $\Delta T = 2b = T_{max} - T_{min}$ (°C).

Na przykład w zimie wynoszą one:

| Miejscowość | Okres | $\Delta T$°C | Miejscowość | Okres | $\Delta T$°C | Miejscowość | Okres | $\Delta T$°C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Warszawa | 8,3 | 1,59 | Praga | 8,3 | 1,06 | Rzym | 7,9 | 7,9 |
| Kraków | 8,3 | 1,87 | Berlin | 7,7 | 1,54 | Sztokholm | 7,8 | 7,8 |
| Wrocław | 8,3 | 1,53 | Genewa | 7,7 | 7,7 | Kopenhaga | 7,8 | 7,8 |
| Lwów | 8,3 | 1,30 | Wiedeń | 8,3 | 8,3 | Moskwa | 7,9 | 0,76 |

W lecie okresowość jest zbliżona, lecz amplitudy są prawie o połowę mniejsze.

Dużą rolę w kształtowaniu klimatu odgrywają długie cykle: 102- i 187-letni aktywności Słońca. Analogiczne okresy są obecne w seriach pomiarowych temperatury powietrza: Oto zimowe okresy około 100-letnie temperatury powietrza w Europie:

| Miejscowość | Zima | Lato | Miejscowość | Zima | Lato | Miejscowość | Zima | Lato |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Warszawa | 113,4 | - | Praga | 116,3 | 118,3 | Anglia | 99,3 | 102,5 |
| Kraków | 90,0 | 88,0 | Bazylea | 85,5 | 87,6 | Sztokholrn | 86,3 | 89,4 |
| Wrocław | 123,0 | 75,0 | Kopenhaga | 80,5 | 89,6 | Uppsala | 102,8 | 94,0 |
| Lwów | 108,8 | 74,1 | Wiedeń | 89,8 | - | Insbruk | - | 84,6 |

Zbliżona okresowość około 100-lemia występuje również w lecie.

W najdłuższych seriach pomiarowych są obecne także okresy prawie dwuwiekowe, zbliżone do okresu planetarnego 178,9 lat, po upływie którego powtarzają się wartości pararnetrów Układu Słonecznego. Na przykład: Warszawa (zima – 218,3, lato – 208,2); Kraków (zima – 168,3); Lwów (lato – 195,3); Berlin (zima – 218,8); Kopenhaga (lato – 211,6); Anglia środkowa (zima – 166,9, lato – 204,6); Sztokholrn (zima – 184,2); Uppsala (zima – 182,3, lato – 92,8); Insbruck (zima – 169,9).

Tendencje temperatury powietrza ($a$), określone równaniami prostych regresji $T = a_0 + at$, w zimie są na ogół rosnące: Warszawa (1779-1998) – zima (1,12°C/100 lat), lato (-0,06°C/100 lat); Kraków (1827-1997) – zima (1,48°C), lato (0,3 1°C);Lwów (1824- 2002) zima (0,53°C), lato (-0,22°C); Praga (1771-1990) – zima (0,25°C), lato (-0,25°C); Berlin (1769-1990) – zima (0,32°C), lato (-0,39°C); Genewa – zima (0,51°C), lato (-0,40°C), Wiedeń –zima (0,69°C),lato (-0,08°C); Rzym (1811-1969) – zima (0,04°C), lato (-0,10°C); Sztokholrn (1756-1994) – zima (0,86°C), lato (-0,08°C); Kopenhaga – zima (0,94°C), lato (0,05°C); Moskwa – zima (1,65°C), lato (-0,15°C).

Tendencje zmian temperatury powietrza w niektórych miastach Europy z rozszerzeniem na miesiące : styczeń, lipiec i rok zestawiono w tab. 1.

W Europie (i Polsce) przede wszystkim zimy są coraz cieplejsze. Nie wiadomo, jaka część postępującego ocieplenia klimatu jest efektem oddziaływania czynników naturalnych, a jaka – czynników antropogenicznych. Ocieplenie klimatu w XIX-XX wieku może być wywołane wzrostem aktywności Słońca i spadkiem aktywności wulkanicznej na Ziemi.

Na klimat Europy (i Polski) dominujący wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego: Niż Islandzki i Wyż Azorski. Te dwa centra ciśnienia związane z różnicą temperatury między wodą Atlantyku Północnego i lądem są w ciągu roku ze

sobą ujemnie skorelowane (North Atlantic Oscillation, NAO). Wskaźnik NAO w latach 1825-2000 cechuje okresowość 8-letnia, kilkunastoletnia i 106,3-letnia.

**Tabela 1.** Tendencje zmian temperatury powietrza w niektórych miastach Europy (°C/100 lat)

| Stacje | Okres | Styczeń | Zima | Lipiec | Lato | Rok |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Warszawa | 1779-1998 | 1,36 | 1,12 | 0,15 | -0,06 | 0,58 |
| Kraków | 1827-1997 | 1,71 | 1,48 | 0,33 | 0,31 | 0,82 |
| Wrocław | 1792-2002 | 1,10 | 0,69 | 0,34 | 0,25 | 0,52 |
| Lwów | 1824-2002 | 0,53 | 0,53 | 0,20 | -0,22 | 0,20 |
| Praga | 1771-1990 | 0,04 | 0,25 | -1,13 | -0,25 | -0,02 |
| Berlin | 1769-1990 | 1,12 | 0,32 | 0,33 | -0,39 | 0,13 |
| Genewa | 1769-1980 | 1,23 | 0,51 | 0,08 | -0,40 | 0,51 |
| Wiedeń | 1775-2002 | 0,84 | 0,69 | 0,02 | -0,08 | 0,27 |
| Rzym | 1811-1989 | 0,36 | 0,04 | 0,08 | -0,10 | 0,09 |
| Sztokholm | 1756-1994 | 1,12 | 0,86 | 0,11 | -0,08 | 0,46 |
| Kopenhaga | 1768-1991 | 1,13 | 0,94 | 0,01 | 0,05 | 0,55 |
| Moskwa | 1881-2002 | 3,54 | 1,65 | 0,92 | -0,15 | 0,68 |

Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na klimat Polski, także na dobową amplitudę temperatury powietrza (1971-1995), dobrze charakteryzuje częstość typów cyrkulacji według klasyfikacji Osuchowskiej-Klein. Typy cyrkulacji o charakterze cyklonalnym charakteryzują się przeważnie mniejszymi dobowymi wahaniami temperatury powietrza niż antycyklonalne. Największe dobowe amplitudy temperatury powietrza wciągu całego roku występują w antycyklonalnych typach cyrkulacji: G, $D_2C$. Najmniejsze dobowe amplitudy temperatury powietrza w Polsce obserwuje się najczęściej przy napływie do Polski powietrza z północy w typach: E, CB, $E_2C$ oraz E.

Zmienność wiekową zim i lat w 40 miejscowościach europejskich scharakteryzowano, zestawiając po 10 najmroźniejszych i najłagodniejszych zim (średnich z XII, I, II) oraz po 10 najcieplejszych i najchłodniejszych lat (średnich z VI, VII, VIII). Najmroźniejsza zima w Polsce wystąpiła w roku 1830 (Warszawa – 9,8°C, Kraków – -10,3; Wrocław – -10,3). Do mroźnych można za1iczyć także zimy: 1963 (Warszawa – -9,5*;* Kraków – -6,9; Wrocław – -8,4), 1929 (Warszawa – -7,9; Kraków – -7,7; Wrocław – -7,1) i 1940 (Warszawa – -8,8; Kraków – -7,4;; Wrocław – -7,1). Najłagodniejsze zimy wystąpiły w ostatniej dekadzie XX wieku: Warszawa – 1990 (2,3°C), 1989 (1,9°C), Kraków – 1975 (2,2°C), 1990 (1,9°C), Wrocław – 1990 (3,2°C), 1998 (2,8°C). Najcieplejsze pory letnie wystąpiły: w 1811 r. – 21,4°C, 1992 r. – 20,0°C i 2002 r. – 19,8°C.

Rekonstrukcje i prognozy otrzymano na podstawie interferencji wykrytych cykli temperatury powietrza $y=a_0+\sum b_j \sin(2\pi t/\Theta_j+c_j)$, gdzie: $\Theta_j$, $b_j$, $c_j$ – to parametry istotnych statystycznie cykli (na poziomie istotności 0,05). W prognozach przyjęto założenie, że ekstrema wyznaczonych cykli o dość dużych amplitudach (istotnych) będą nadal, takie jak w XVIII-XX wieku. Według tych prognoz, w XXI wieku można oczekiwać ochłodzenia – zwłaszcza więcej mroźnych zim.

Na drugim miejscu należy wymienić tom XX-XXI: **Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Bijak Sz., Cebulski R., Błażek E., Skrzypczuk J., 2007, ss. 226).**

W tomie XX-XXI *Atlasu* określono tendencje zmian cech termicznych klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu (ze szczególnym uwzględnieniem stuleci XVIII-XXI) z wyeksponowaniem ich naturalnych przyczyn.

Na początku (rozdz. II) przedstawiono cechy termiczne klimatu Europy, wynikające z jej położenia w umiarkowanych szerokościach geograficznych. Badania przeprowadzono na podstawie średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w 30-leciach 1931-1960 i 1961-1990. Pole temperatury powietrza opisano empirycznymi modelami – wielomianami regresji pierwszego, drugiego, trzeciego i czwartego stopnia $T=f(\varphi, \lambda, H)$ względem trzech współrzędnych: szerokości $\varphi$ i długości geograficznej $\lambda$ oraz wysokości nad poziomem morza $H$. Symulują one zarówno zmienność strefową temperatury powietrza (uwarunkowaną dopływem promieniowania słonecznego), jak też oddziaływanie Oceanu Atlantyckiego i wpływ wysokości nad poziomem morza.

Oryginalną część pracy stanowi rozdział III pt. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w XIX-XXI wieku. Zawiera on wykresy widm i przebiegów wieloletnich temperatury powietrza wraz z prostymi regresji na przykładzie średnich rocznych w 40 miejscowościach europejskich. Widma (i okresy) temperatury powietrza wyznaczono metodą J. Boryczki „sinusoid regresji" (1998), a tendencje zmian określono równaniami prostych regresji. Szczególne znaczenie mają jednak prognozy temperatury powietrza do 2100 roku na podstawie interferencji silniejszych cykli zawartych w widmach. Prognozy wskazują na naturalne ochłodzenie klimatu Europy w XXI wieku. Według tych prognoz w XXI wieku można oczekiwać ochłodzenia, które częściowo może być złagodzone przez czynniki antropogeniczne (efekt cieplarniany i miejskie wyspy ciepła). W prognozach przyjęto założenia, że ekstrema wykrytych cykli (obecnych w widmach temperatury powietrza) o dość dużych amplitudach (istotnych statystycznie) będą nadal, takie jak w XVIII-XX wieku.

W tabelach zestawiono po 10 najchłodniejszych lat i po 10 najcieplejszych lat w XVIII-XX wieku. W kolejnych tabelach zestawiono krótkie, średnie i długie cykle temperatury powietrza w 40 miejscowościach europejskich reprezentujących prawie wszystkie jednostki fizycznogeograficzne.

Ochłodzenia i ocieplenia klimatu są kształtowane wahaniem dopływu energii słonecznej do powierzchni Ziemi, zależnej od aktywności Słońca (stałej słonecznej) i zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze – pochłaniających i rozpraszających promieniowanie słoneczne.

Temperatura powietrza w Europie w XVIII-XX wieku. cechuje się cyklicznością około 8., 11., 100. i 180-letnią. W zimie dominują około 8-letnie okresy temperatury powietrza o dużym zakresie wahań: w Warszawie – 8,3 (1,6°C), Krakowie – 8,3 (1,9), Sztokholmie – 7,8 (1,3), Moskwie – 7,9 (0,8). W widmach temperatury powietrza są obecne także cykle około 11-letnie np. w zimie: Warszawa – 11,6 (0,5°C), Kraków – 11,3 (0,8), Moskwa – 11,4 (1,6).

Nowość stanowią cykle klimatu określone na podstawie danych dendrologicznych z Europy (i Polski) w ostatnim 1000-leciu oraz prognozy po rok 2100 (rozdz. IV i V).

Zbliżone okresy są obecne w dendrologicznych ciągach szerokości pierścieni (słoi) dębów rosnących w Polsce (tab. 2).

**Tabela 2.** Okresy ($\Theta$ lat) około 8. i 11- letnie szerokości pierścieni dębów rosnących w Polsce (XVIII-XX w.) $R$ – współczynnik korelacji
**Table. 2.** 8-year and 11-year cycles ($\Theta$ years) of ring widths of oaks growing in Poland ($18^{th}$-$20^{th}$ c.) $R$ – correlation coefficient

| Miejsce | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | Miejsce | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gdańsk | 8,0 | 0,127 | 11,6 | 0,219 | Roztocze | 7,6 | 0,147 | 11,2 | 0,194 |
| Gołdap | 7,8 | 0,154 | 10,8 | 0,130 | Suwałki | 7,5 | 0,278 | 11,8 | 0,172 |
| Hajnówka | 7,9 | 0,144 | 11,2 | 0,258 | Toruń | 7,7 | 0,161 | 11,4 | 0,181 |
| Koszalin | 8,6 | 0,193 | 11,1 | 0,127 | Warszawa | 7,7 | 0,175 | 11,1 | 0,124 |
| Kraków | 7,7 | 0,235 | 11,5 | 0,137 | Wrocław | 8,3 | 0,206 | 11,6 | 0,162 |

Dużą rolę w kształtowaniu klimatu odgrywają długie cykle około 100. i 180-letni aktywności Słońca. Warunkują one okresy około 100. i 180-letni temperatury powietrza w Europie. Okresy prawie dwuwiekowe są zbliżone do okresu planetarnego 178,9 lat, po upływie którego powtarzają się wartości parametrów Układu Słonecznego.

**Tabela 3.** Okresy około 100. i 180-letnie temperatury powietrza w Europie
**Table 3.** Approximately 100-year and 180-year cycles of air temperature in Europe

| Miejscowość | Zima | | Lato | | Zima | | Lato | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ |
| Warszawa | 113,4 | 1,22 | 75,0 | 0,88 | 179,0 | 0,44 | 208,2 | 0,66 |
| Bazylea | 85,5 | 0,14 | 87,6 | 0,64 | - | - | 227,4 | 0,26 |
| Kopenhaga | 80,5 | 0,22 | 89,6 | 0,27 | - | - | 211,6 | 1,19 |
| Anglia | 99,3 | 0,44 | 102,5 | 0,20 | 166,9 | 0,48 | 204,6 | 0,34 |
| Sztokholm | 86,3 | 0,55 | 89,4 | 0,51 | 184,6 | 0,49 | - | - |
| Uppsala | 102,7 | 1,48 | 94,0 | 0,79 | 182,3 | 2,50 | 192,8 | 0,39 |
| Innsbruck | 69,9 | 0,80 | 84,6 | 0,50 | 169,8 | 1,45 | - | - |

Zbliżonymi okresami około 100. i 180-letnimi cechują się ciągi chronologiczne szerokości pierścieni drzew: sosny, świerka i modrzewia w Europie (tab. 4).

**Tabela 4**. Okresy (Θ lat) około 100. i 180- letnie szerokości pierścieni drzew (sosna, świerk, modrzew) rosnących w Europie
**Table 4.** Approximately 100-year and 180-year cycles (Θ years) of ring widths of trees growing in Europe (pine, spruce and larch)

| Drzewo | Przedział czasu | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ | $\Theta$ | $R$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Sosna** | | | | | | | |
| Forfiorddalen (Norwegia) | 877-1994 | 112 | 0,178 | 189 | 0,121 | - | - |
| Kola (Rosja) | 1577-1997 | 109 | 0,394 | 186 | 0,277 | - | - |
| **Świerk** | | | | | | | |
| Stonngrandes (Norwegia) | 1403-1997 | 114 | 0,191 | 201 | 0,243 | - | - |
| Falkenstein (Niemcy) | 1540-1995 | 110 | 0,298 | 189 | 0,414 | 429 | 0,399 |
| Fodara Vedla (Włochy) | 1578-1990 | 99 | 0,083 | 191 | 0,718 | - | - |
| **Modrzew** | | | | | | | |
| Pinega 1 (Rosja) | 1598-1990 | 103 | 0,184 | 217 | 0,286 | - | - |

Prognozy otrzymano na podstawie interferencji wykrytych cykli metodą „sinusoid regresji" J. Boryczki (1998)): $y=f(t)=a_0+\sum b_j \sin(2\pi t/\Theta_j+c_j)$, gdzie: $\Theta$ – okres, $b$ – amplituda, $c$ – przesunięcie fazowe. Wykresy funkcji prognostycznych $y=f(t)$ rocznych przyrostów niektórych drzew cechują się głównymi minimami w połowie XXI wieku. W przypadku np. świerka z Falkenstein (1540-1995) prognozy uwzględniają silne cykle: 110, 189 i 429 lat (o współczynnikach korelacji $R=0{,}30$, 0,42 i 0,40).

Na klimat Europy dominujący wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego: Niż Islandzki i Wyż Azorski. Te dwa centra ciśnienia związane z różnicą temperatury między wodą Atlantyku Północnego i lądem są w ciągu roku ze sobą ujemnie skorelowane. O wpływie aktywności Słońca na cyrkulację atmosfery (na dystrybucję ciepła na Ziemi) świadczą analogiczne cykle cyrkulacji atmosfery i liczb Wolfa, a także temperatury powietrza.

Wskaźnik NAO w latach 1825-2000 cechuje się okresowością 8-letnią, kilkunastoletnią i 106,3-letnią, a temperatura powietrza w Europie cechuje się okresowością 8-, 11-, 100- i 180-letnią.

Istotny jest również ostatni rozdział VI – autoreferat pracy doktorskiej R. Cebulskiego pt. *Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu opadów atmosferycznych i stanów wody rzeki górskiej*. Dużą wartość poznawczą mają zbliżone widma i okresy, wyznaczone metodą „sinusoid regresji", badanych zmiennych tj. stanów wody w rzece górskiej, opadów atmosferycznych, wskaźników cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca.

Na trzecim miejscu należy wymienić tom XXIII: ***Klimat Warszawy i innych miast Polski, Studia porównawcze*** **(Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2009, ss.383).**

W XXIII tomie *Atlasu* dominują nowe wyniki badań uzyskane na podstawie krótszych serii pomiarowych – z ostatniego 35-lecia 1966-2000. Dotyczą one podstawowych elementów meteorologicznych: temperatury wilgotności powietrza, zachmurzenia i opadów atmosferycznych, ciśnienia i prędkości wiatru oraz groźnych zjawisk pogodowych – liczby dni z burzą, maksymalnych dobowych sum opadów atmosferycznych, częstości dobowych sum $\geq 10$ mm i liczby dni z pokrywa śnieżną. Najpierw przedstawiono przebiegi czasowe badanych zjawisk w poszczególnych miesiącach i roku. Tendencje ($A$) zmian określają proste regresji i ich równania $y=A_0+At$ oraz wartości współczynnika determinacji $R^2$ zamieszczone na odpowiednich rysunkach. Tendencje liczby dni z burzą w Warszawie i Krakowie w latach 1966-2000 są według testu t-Studenta nieistotne statystycznie na poziomie istotności 0,05 (wartości $R^2$ są zbliżone do zera). Po prostu przebieg czasowy liczby dni z burzą lepiej opisuje równanie wielomianu 2-go stopnia: $y=0{,}020719t^2-82{,}1217t+81396{,}83$ – z minimum $y_{min}=22{,}6$ dni w roku 1982. Istotna jest tendencja rosnąca 4,1 dni/10 lat – w przedziale 1982-2000, gdyż równanie prostej $y=0{,}4088t-787{,}71$ opisuje część paraboli od $y_{min}=22{,}6$ (w 1982 r.) do $y_{max}=29{,}4$ dni (w 2000 r.).

Interesujące są widma, charakteryzujące okresowość tych groźnych zjawisk pogodowych. Największą amplitudą cechują się cykle liczby dni z burzą o okresach 5,7- ($R=0{,}43$) i 3,7-letni ($R=0{,}49$):

$y = 26{,}1 + 3{,}453\sin(2\pi t/5{,}7 + 0{,}4498)$, (Warszawa)

$y = 28{,}3 + 2{,}941\sin(2\pi t/3{,}7 - 3{,}062)$, (Kraków)

Liczba dni z pokrywą śnieżną w Warszawie i Krakowie wyróżnia się taką samą okresowością 8,6-letnią ($R = 0{,}48$, $R = 0{,}48$):

$y = 53{,}8 + 14{,}105\sin(2\pi t/8{,}6 + 1{,}5555)$, (Warszawa)

$y = 61{,}7 + 13{,}034\sin(2\pi t/8{,}6 + 1{,}4709)$, (Kraków)

Okresowość liczby dni z dobową sumą opadów atmosferycznych $\geq 10$ mm opisują równania sinusoid regresji ($R = 0{,}45$, $R = 0{,}50$):

$y = 12{,}2 + 2{,}684\sin(2\pi t/7{,}6 - 1{,}8624)$, (Warszawa)

$y = 17{,}2 + 3{,}178\sin(2\pi t/10{,}2 + 2{,}5206)$, (Kraków)

Istotne znaczenie poznawcze i praktyczne ma porównanie empirycznych histogramów i dystrybuant z rozkładem teoretycznym (normalnym). Na ogół empiryczne rozkłady prawdopodobieństwa: liczby dni z burzą, maksymalnych dobowych sum opadów, częstości dobowych sum $\geq 10$ mm i liczby dni z pokrywą śnieżną, dotyczące roku, są zbliżone do rozkładu normalnego (wg testu Kołmogorowa-Smirnowa $^{+}D_{\mathrm{n}} = \max |F_{\mathrm{emp}} - F_{\mathrm{teor}}|$ na poziomie 0,05). Upoważnia to do wyznaczania prawdopodobieństwa przekroczenia wartości progowych np. $x_{\acute{s}r} + s$, $x_{\acute{s}r} + 2s$, $x_{\acute{s}r} + 3s$, które wynoszą 16,0 %, 2,3 %, 0,14 % ($x_{\acute{s}r}$ – średnia arytmetyczna, s – odchylenie standardowe). W przypadku liczby dni z burzą w ciągu roku w Warszawie: $x_{\acute{s}r} = 26{,}1$dni, $s = 5{,}2$ dni.

Na czwartym miejscu należy wymienić prezentowany tom XXV: ***Zmiany klimatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku*** **(Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wawer J., Grabowska K., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2010, ss. 432).**

Oryginalne wyniki badań studenckich zawiera rozdział VII pt. „W*spółczesne zmiany klimatu miast Europy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego”*. Z kilkunastu prac magisterskich, dotyczących wiekowych zmian klimatu Europy Zachodniej, Środkowej i Wschodniej przedstawiono najważniejsze wyniki badań w odniesieniu do literatury klimatologicznej. Każdy problem badawczy scharakteryzowano, wybierając 1 lub 3 prace magisterskie.

Najważniejsze wyniki badań studenckich dotyczą cykliczności, tendencji i prognoz klimatu na przykładzie niektórych miast reprezentujących Europę. 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)

Zmiany klimatu miast nizinnych Europy można scharakteryzować na podstawie trzech prac magisterskich.

W pracy J. Skrzypczuka (1993) pt. *Wiekowe zmiany temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach 1659-1973* określono cykliczność w wiekowym przebiegu temperatury powietrza w Środkowej Anglii w powiązaniu ze zmianami aktywności Słońca.

Tak długi ciąg wyników pomiarów temperatury powietrza w latach 1659-1973 (ponad trzystuletni) pozwolił wyznaczyć, metodą „sinusoid regresji”, nie tylko okresy o długości

do 100 lat, ale także dłuższe. Okresy te były pomocne w późniejszej rekonstrukcji i prognozie zmian temperatury powietrza w Środkowej Anglii.

Okresy temperatury powietrza pogrupowano w zależności od czasu trwania na okresy o długości: 3-8, 9-14, 15-20, 21-28, 29-50, 51-89 l i 90-110 lat i ponad 110-letnie. W każdym z badanych sezonów, miesięcy i roku stwierdzono po kilkanaście cykli temperatury powietrza, z których kilka jest istotnych statystycznie.

Na uwagę zasługują cykle 9-14 letnie, zbliżone do cyklu 11-letniego aktywności Słońca. Są, to okresy zimowe (9- i 11-letni) i wiosenne (9 i 13-letni) oraz w lecie i jesieni, o długości 10 lat. Największe zmiany temperatury powietrza(przekraczające 0,3°C) występują w cyklu 10- letnim (lato).

Maksymalne wahania temperatury powietrza (0,7°C) cechują cykl jesienny o długości trwania 105 lat, istotny na poziomie ufności 99%.

Dużą zmiennością temperatury powietrza (do 0.6°C) charakteryzują się także cykle: 99-letni zimowy oraz 103-letni wiosenny – istotne na poziomach ufności 95 i 99%.

W Środkowej Anglii stwierdzono także 169-letni cykl zimowy o amplitudzie 0,6°C i cykl wiosenny trwający177 lat, o amplitudzie (poniżej 0,5°C).

Prognoza zmian temperatury do 2100 roku pozwoliła wyznaczyć ekstrema lokalne w latach minimum 1994 (8,8°C) i 2097 (8,8°C); maksimum zaś wystąpi w 2035 i 2096 roku i będzie równe 9,4°C.

W pracy K. Kalecińskiej (2005) pt. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Warszawy w XVIII-XX wieku* określono ekstrema (minima i maksima), wyróżniono przedziały czasu o tendencji spadkowej lub wzrostowej względem średniej z całego okresu badawczego oraz tendencji w przebiegu temperatury powietrza w Warszawie od XVIII do XX wieku. Tendencja średniej rocznej temperatury powietrza ma charakter wzrostowy i wynosi 0,58°C na 100 lat. Tendencja wzrostowa temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 występuje w przebiegu średnich wartości temperatury w obu półroczach, a także podczas zimy, wiosny i jesieni oraz w poszczególnych miesiącach tych sezonów. Wyróżniającą się porą roku jest natomiast lato. Charakteryzuje się ono niewielką tendencją malejącą temperatury powietrza (0,04°C na 100 lat). Spośród wszystkich miesięcy na szczególną uwagę zasługuje miesiąc grudzień z największą tendencją rosnącą -średnio o 1,41°C na 100 lat oraz sierpień o największej tendencji malejącej – średnio o 0,16°C na 100 lat.

Rozkłady dystrybuanty empirycznej, zbliżone do rozkładu normalnego, umożliwiły określenie prawdopodobieństwa występowania: chłodnych i ciepłych zim, wiosen, lat i jesieni oraz przekroczenia wartości progowych. Na przykład w zimie średnia wartość temperatury powietrza w wieloleciu 1779-2000 wynosi -2,5°C. Jej wahania wykazują jednak duży zakres od -9,2°C do 2,7°C - największe spośród wszystkich sezonów. W zimie, prawdopodobieństwo wystąpienia średniej temperatury $\leq$-10, $\leq$-5, $\leq$0°C wynosi 0,08, 14,92, 85,99 %.

W pracy A. Misiewicz (2005) pt. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Moskwy w XVIII-XX wieku* określono cykliczne wahania i tendencje zmian temperatury powietrza w Moskwie w XVIII-XX wieku. Przedstawiono też prognozy temperatury powietrza w Moskwie w XXI wieku i obliczono prawdopodobieństwo występowania chłodnych i ciepłych: zim, wiosen, lat i jesieni.

Istotne znaczenie poznawcze mają widma i okresy obecne w seriach pomiarowych temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2002. Są to okresy około 8-letnie, kilkunastoletnie, około i ponad 100-letnie W zimie, największymi amplitudami cechują się cykle o okresach: 2,4 (0,993°C), 59,9 (0,829°C), 46 (0,761°C) oraz 133 lat – najistotniejszy (0,741°C). Największym zakresem wahań 1,99°C cechuje się cykl najkrótszy 2,4-letni. Wiosną najbardziej istotne są cykle najdłuższe: 176,1, 80,2 oraz 56,6-letni. Latem, do najistotniejszych należą cykle: 159 i 51,3-letni. Duże wartości amplitud b mają cykle: 159-letni (0,638°C) i 51,3-letni (0,493°C. Cykle średniej rocznej temperatury o największych amplitudami (*b*) to: 152,3-letni (0,628°C), 2,4-letni (0,285°C) oraz 12,6-letni (0,262°C).

Tendencją wzrostową temperatury powietrza charakteryzują się : zima, wiosna i jesień, a lato spadkową. Zaznaczająca się przewaga ciepłych zim i wiosen pod koniec XX i na początku XXI wieku świadczy o ociepleniu klimatu. Prawdopodobieństwo wystąpienia lat cieplejszych jest większe niż chłodniejszych.

W celu określenia prognoz zmian klimatu w Moskwie na lata 2002-2100 wyznaczono funkcje uwzględniające nakładanie się cykli $\Theta_j$ temperatury powietrza.

Prognozy na lata 2003-2100 na podstawie okresowości wskazują na spadek temperatury w najbliższych latach. Prognozy przewidują w zimie ochłodzenie o kilka stopni Celsjusza w ciągu kilkudziesięciu lat, w lecie przewiduje się spadek temperatury powietrza o około 1-1,5°C do 2100 roku.

## Wiekowe zmiany klimatu miast górskich Europy (Genewa, Zurych, Saentis, Sonnblick)

W pracy M. Kierzkowskiej (1994) pt. *Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Alpach (XIX-XX wiek)* określono prawidłowości w przebiegu temperatury powietrza w terenach górskich w powiązaniu ze zmianami aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej. Ważnym rozwiązanym problemem jest wyznaczenie cykli temperatury powietrza dla półroczy i roku metodą J. Boryczki (1993) dla Genewy – $H=416$ m (1768-1980), Zurychu – $H=569$ m (1864-1980), Saentis – $H=2500$ m (1883-1980) i Sonnblick – $H=3100$ m (1821-1980).

Na uwagę zasługują cykle około wiekowe i dwuwiekowe temperatury powietrza w Genewie – półrocze ciepłe: 93 lat ($b=0,182$°C, $R=0,131$), 202 lat ($b=0,428$, $R=0,314$), – rok: 165,3 ($b=0,341$, $R=0,340$). Najwyżej położona miejscowość Sonnblick wyróżnia się cyklicznością około 8- i 11-letnią: półrocze chłodne – 8 lat ($b=0,277$, $R=0,227$), 10 lat ($b=0,299$, $R=0,245$), półrocze ciepłe – 8 lat ($b=0,222$, $R=0,285$), 11 lat ($b=0,256$, $R=0,328$), rok – 7,9 lat ($b=0,240$, $R=0,309$), 9,7 lat ($b=0,157$°C, $R=0,2850$).

W półroczu chłodnym w Zurychu (1864-1980) występują cykle: 9, 11, 34, 67 i 127 lat, a w półroczu ciepłym: 9, 11, 31, 41 i 73 lat. Wszystkie cykle są istotne statystycznie. Większymi wahaniami temperatury charakteryzuje się półrocze chłodne (są one w granicach od 0,3°C do ponad 0,9°C) niż półrocze ciepłe (wahania przyjmują wartości od 0,2°C do 0,8°C). W przebiegu rocznym temperatury powietrza w Zurychu wyróżniono m.in. okresy: 8,4, 10,2, 11,4, 29,5 i 84,3 lat.

Prognozę zmian temperatury powietrza w Alpach wykonano na podstawie stacji Genewa, Zurych i Saentis. Zmiany te będą kształtowane przez następujące cykle rzeczywiste: w Genewie – 165,3-letni, 75,8-letni, 40,6-letni, w Saentis – 2,3-letni i 87-letni, w Zurychu – 2,7-letni, 7,7-letni oraz 84,3-letni. Można przypuszczać, że w Genewie znaczne ochło-

dzenie wystąpi w latach 1999-2020 oraz w latach 2040-2050. Antropogeniczne przyrosty temperatury powietrza w roku 2050 wyniosą: Genewa 0,1°C/100 lat, Saentis 0,38°C/100 lat i Zurych 0,056°C/100 lat. Składnik antropogeniczny na terenie Alp ma mały udział w kształtowaniu klimatu.

## Solarne i cyrkulacyjne uwarunkowania klimatu miast Europy (liczby Wolfa, typy Wangenheima, wskaźnik NAO Jonesa i typy Osuchowskiej-Klein)

W pracy M. Łopackiego (2008) pt. *Wpływ aktywności Słońca na okresowe zmiany cyrkulacji atmosferycznej w Europie* określono wpływ aktywności Słońca na częstość występowania różnych typów cyrkulacji atmosferycznej. W tym celu wyznaczono widma liczb Wolfa, dni z typami cyrkulacji atmosferycznej Wangenheima, indeksu NAO Jonesa oraz typów Osuchowskiej-Klein we wszystkich porach roku i roku. Zbadano synchroniczność cyklicznych zmian oraz związki korelacyjne między cyrkulacją atmosferyczną a aktywnością słoneczną. Ponadto sporządzono prognozy wszystkich zmiennych do roku 2100. Porównano cykle około 8-letnie, 11-letnie i 100-letnie, charakteryzujące zmienność aktywności słonecznej. Tendencję rosnącą liczb Wolfa (11,42/100lat) w latach 1749-2002 określa równanie prostej regresji $W = 0{,}1142t\text{-}161{,}3$, o współczynniku korelacji $r = 0{,}201$.

Aktywność słoneczna w latach 1749-2002 charakteryzuje się cyklicznością od 8,1 do 105 lat ($b = 32{,}8$, $R = 0{,}261$). Najsilniejszy jest cykl 11-letni ($b = 63{,}5$, $R = 0{,}493$), obecny we wszystkich sezonach i roku. Wykryto również liczne cykle 8,1-9,5-letnie, w większości istotne na poziomie 5%. Ponadto obecne są cykle wiekowe (103,9-106-letnie), istotne na poziomie 5%.

Typy cyrkulacji Wangenheima cechują się okresowością od 2,4 do 76,5 lat. Wyróżnia się cykliczność 14,2-17,6-letnia charakterystyczna dla wszystkich typów, około 31-letnia dla typu zachodniego i wschodniego, 6,3-8,9-letnia dla typu zachodniego i południkowego oraz 45,9-58,6-letnia dla typu wschodniego i południkowego.

Indeks NAO Jonesa wykazuje cykliczność 2,3-156,4-letnią. Dominujące okresy mają długość 7,7-7,8 lat i występują w styczniu, lutym, sierpniu, październiku, jesienią, zimą ($\Theta = 7{,}8$ lat, $R = 0{,}384$) i w wartościach rocznych. Zwraca uwagę okresowość około 150-letnia obecna w ciągach NAO w styczniu, sierpniu, październiku i zimą.

Typy cyrkulacji Osuchowskiej-Klein charakteryzują się obecnością wielu cykli o różnej długości. Okresy 3,9-6,4-letnie obecne są w przypadku typów cyklonalnych, E, $D_2C$, antycyklonalnych i BE. Cykle 7,6-8,7-letnie cechują typy F (południowo-wschodni cyklonalny) i BE, a 14-16,8-letnie $E_0$ i B (południowy cyklonalny). Okresowość 17,9-22,6-letnią wykazują typy CB, $D_2C$, $E_2C$ (północno-zachodni antycyklonalny), G (centralny antycyklonalny) i antycyklonalne. Długookresowa cykliczność (39,8-48,9-letnia) charakteryzuje typy $E_0$, B, D, $C_2D$ i X (nieokreślony).

Okresowość ok. 11-letnią wykazuje część typów cyrkulacji Osuchowskiej-Klein w niektórych sezonach i niektórych ciągach wartości rocznych. Najwięcej cykli cechuje typy $C_2D$ (zachodni antycyklonalny), E (północno-wschodni antycyklonalny), $E_2C$ (północno-zachodni antycyklonalny) i X (nieokreślony), a najbardziej istotne statystycznie – typy $C_2D$, $E_2C$, E i $E_1$ (wschodni i południowo-wschodni antycyklonalny). Najwięcej okresów występuje latem, a najmniej wiosną. Największą zbieżność z długością cyklu 11 lat wy-

kazują cykle typów $E_0$ (północno-wschodniego i wschodniego cyklonalnego), E, $E_1$ i G (centralnego antycyklonalnego).

Cykliczność około 100-letnia występuje w ciągach wartości indeksu NAO w lutym, marcu, czerwcu, wrześniu, jesienią i zimą.

Przebieg roczny współczynnika korelacji indeksu NAO z liczbami Wolfa wskazuje nieistotną zależność. Częstość występowania zachodniego typu cyrkulacji Wangenheima jest ujemnie skorelowana z aktywnością Słońca. W przypadku typów cyrkulacji Osuchowskiej-Klein dodatnie współczynniki korelacji cechują typy E (północno-wschodni antycyklonalny), G (centralny antycyklonalny), $D_2C$ (południowy i południowo-zachodni antycyklonalny) zimą, wiosną i latem oraz B (południowy cyklonalny) latem, a ujemne – typy X (nieokreślony) i D (południowo-zachodni cyklonalny). W okresie zwiększonej aktywności słonecznej we wszystkich porach roku z wyjątkiem lata wzrasta udział cyrkulacji antycyklonalnych kosztem cyklonalnych.

## Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na zróżnicowanie cech termicznych klimatu miast Europy (Paryż, Marsylia, Wrocław, Kraków, Warszawa)

Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na klimat miast Europy charakteryzują trzy prace magisterskie.

1. W pracy K. Baczyńskiego (2007) pt. *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Paryżu w XIX-XX wieku* zbadano okresowe zmiany temperatury powietrza w ostatnich stuleciach, zależnej od dopływu energii słonecznej do Ziemi – od aktywności słonecznej. Oryginalną część pracy stanowią porównania przebiegów temperatury powietrza, wskaźnika NAO i liczb Wolfa, w poszczególnych miesiącach, porach roku i roku. Stanowią ją też widma i zależności korelacyjne poszczególnych parametrów.

Do zbadania okresowości zmian temperatury powietrza w Paryżu w XIX i XX wieku posłużono się danymi z lat 1757-1995. Widma i okresy temperatury powietrza w Paryżu, wskaźnika NAO i aktywności Słońca wyznaczono metodą sinusoid regresji J. Boryczki (1998) – o zmiennym okresie $\Theta$ co 0,1 roku. Cykle wyznaczono z wyodrębnieniem kolejnych miesięcy – od stycznia do grudnia.

Zimowe wartości wskaźnika NAO ulegają cykliczności od 2,4 do 105,1 lat. Najbardziej istotny statystycznie jest cykl 7,8 lat o dużym współczynniku korelacji $R=0{,}272$. Istotne statystycznie są także cykle zimowe wskaźnika NAO: 8,3 lat ($R=0{,}237$), 5,0 lat ($R=0{,}220$) oraz 8,8 lat ($R=0{,}195$).

Stwierdzono cykliczność około stuletnią temperatury powietrza, Oscylacji Północnoatlantyckiej i aktywności Słońca (istotną statystycznie – podkreślono). Temperatura powietrza w Paryżu cechuje się cyklicznością około 11-letnią: wiosna – 87,7 lat ($R=0{,}212$), lato – 82,6 lat ($R=0{,}330$), jesień – 81,9 lat ($R=0{,}121$), Rok – 81,9 lat ($R=0{,}245$). Zbliżonej cykliczności ulega wskaźnik NAO: wiosna – 106,4 lat ($R=0{,}088$), lato -83,6 lat ($R=0{,}170$), jesień – 74,6 lat ($R=0{,}165$), zima- 105,1 lat ($R=0{,}075$), a liczby Wolfa – 101,5 ($R=0{,}245$).

Cykle około dwustuletnie, oraz dłuższe niż stuletnie występują w wartościach temperatury powietrza w Paryżu, wskaźnika NAO oraz aktywności Słońca. Spośród istotnych

statystycznie cykli około dwustuletnich temperatury powietrza w Paryżu występują: w maju – cykl 144,7 lat ($R=0{,}218$), październiku – cykl 182,0 lat ($R=0{,}335$), listopadzie – cykl 172,3 lat ($R=0{,}178$).

W celu określenia wpływu Oscylacji Północnoatlantyckiej na zmiany temperatury powietrza w Paryżu wyznaczono współczynnik korelacji ($r$) – w poszczególnych miesiącach i roku. Największe wartości współczynnika $r$ występują od listopada do marca – z maksimum ($r=0{,}64$) w lutym. Świadczy to o największym wpływie NAO na temperaturę powietrza w Paryżu w chłodnej porze roku, powodujący znaczne ocieplenie. Współczynnik korelacji średnich rocznych wartości temperatury powietrza i wskaźnika jest niewielki, ale istotny statystycznie ($r=0{,}17$).

2. W pracy E. Leszczyńskiej (2006) pt. *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX-XX wieku* (*na przykładzie Wrocławia i Marsylii*) określono krótko i długookresowe zmiany oraz tendencje temperatury powietrza we Wrocławiu w latach 1792- 1997 i w Marsylii w latach 1813-1997. Zbadano synchroniczność cykli: temperatury powietrza we Wrocławiu, w Marsylii, wskaźnika NAO i aktywności Słońca oraz ich korelację.

Cykle badanych zmiennych wyznaczono, posługując się metodą sinusoid regresji J. Boryczki (1998) – zmieniając okres sinusoidy regresji $\Theta$ z odstępem 0,1 roku.

Cykl 7,8-letni zmian wskaźnika NAO cechuje się największą amplitudą spośród wszystkich wykrytych cykli (0,18-0,44). W zimie i roku wystąpiły cykle 7,8 letnie istotne statystycznie na poziomie istotności 5%, i były one również najbardziej zdeterminowane ($R=0{,}294$ – zima i $R=0{,}301$ – rok). Cykle 83,7 i 108,8 lat są najdłuższe z wykrytych w ciągach wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej.

Cykl 8,3 - letni jest obecny przede wszystkim w zimie w ciągach czasowych temperatury powietrza we Wrocławiu ($R=0{,}248$). Największą amplitudą wahań temperatury zarówno w Marsylii jak i we Wrocławiu charakteryzują się cykle zimowe odpowiednio 10,5 lat ($\Delta T=0{,}27$°C) i 10,3 lat o amplitudzie $\Delta T=0{,}40$°C, jednak nie są one zbyt silne, charakteryzują się niewielkimi współczynnikami korelacji.

Cykle około 100-200 letnie są obecne w ciągach zmierzonych wartości temperatury powietrza we Wrocławiu i Marsylii. We Wrocławiu charakterystyczny dla pory letniej cykl 139,6, o dużym współczynniku korelacji $R=0{,}226$ lat (jest istotny statystycznie na poziomie 5%). W tym cyklu maksimum temperatury powietrza 17,2°C wystąpiło w 1888 roku, natomiast w latach 1817 i 1958 wystąpiły minima temperatury powietrza. W zimie istotne są cykle :123,2 lat – we Wrocławiu o współczynniku korelacji $R=0{,}250$ i cykl 125,9 lat – w Marsylii z $R=0{,}273$ Amplituda zmian *2b* temperatury powietrza w cyklu zimowym około 100-letnim wynosi 0,78°C. W Marsylii w cyklu zimowym 125,5 lat, maksimum 8,8°C wystąpiło w roku 1884, a kolejne będzie w 2010.

Większa zależność korelacyjna temperatury powietrza od Oscylacji Północnoatlantyckiej występuje we Wrocławiu niż w Marsylii. Najsilniejsza korelacja zachodzi w chłodnej porze roku od listopada do marca przy czym maksimum przypada na styczeń ze współczynnikiem korelacji $r=0{,}627$. W Marsylii wpływ NAO jest znacznie słabszy.

Dodatnia korelacja temperaturą powietrza we Wrocławiu ze wskaźnikiem NAO wynika z napływu cieplejszych mas powietrza z zachodu nad wychłodzone podłoże. Marsylia natomiast cechuje się klimatem śródziemnomorskim.

3. W pracy H. Gołdowskiej (2007) pt. *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Polsce w XIX-XX wieku* określono wpływ NAO (1825-1999) na pole temperatury powietrza w Polsce na przykładzie trzech miast: Kraków (1826-1997), Warszawa (1779-2006) i Wrocław (1792-2006).

Zależność temperatury powietrza od wskaźnika Jonesa *NAO* określono dwoma sposobami tj. przez wyznaczenie współczynnika korelacji ($r$) i badanie synchroniczności cykli wskaźnika Jonesa NAO i temperatury powietrza. Dlatego też wyznaczono widma (i okresy) wskaźnika *NAO* i temperatury powietrza, wyodrębniając pory roku.

W pracy zastosowano metodą sinusoid regresji J. Boryczki (1997), umożliwiającą wykrycie wszystkich cykli wskaźnika NAO i temperatury powietrza.

W ciągach czasowych wskaźnika *NAO* w latach 1825-1999 wykryto cykle 2,4-136,5 lat. Zimą, w styczniu i w roku wystąpiły istotne statystycznie cykle 7,8 letnie. Są one najbardziej zdeterminowane zimą ($R=0{,}279$) i w roku ($R=0{,}282$). Wskaźnik NAO charakteryzuje się także cyklicznością kilkunastoletnią (cykl 13,1 lat w roku, 13,5 lat wiosną 12,2 lat latem oraz 14,2 lat w styczniu) oraz około 100- letnią (w roku występuje cykl 118- letni). Najdłuższy cykl 136,6 lat który wykryto w ciągach czasowych Oscylacji Północnoatlantyckiej w zimie (współczynnik korelacji $R=0{,}182$) jest istotny statystycznie).

W ciągach czasowych temperatury powietrza zarówno w Krakowie, w Warszawie jak i we Wrocławiu wykryto także cykl około 8 - letni. Cykl 7,8 lat wykryto w ciągach średnich rocznych wartości temperatury powietrza we wszystkich miastach. Cykle te charakteryzują się dużymi współczynnikami korelacji ($R$). Niewielka jest zbieżność długich cykli (istotnych statystycznie) temperatury powietrza i wskaźnika NAO.

Podsumowując, na podstawie przeprowadzonych badań, należy stwierdzić, że Oscylacja Północnoatlantycka (NAO) warunkuje okresowe zmiany temperatury powietrza w Polsce. Wpływ NAO na temperaturę powietrza jest większy we Wrocławiu niż w Krakowie czy w Warszawie.

Zależność zmian temperatury powietrza w Krakowie, Warszawie i we Wrocławiu od wskaźnika NAO w latach 1825-1997 zbadano wyznaczając współczynniki korelacji. Temperatura powietrza zarówno w Krakowie jak i w Warszawie i Wrocławiu jest najsilniej skorelowana ze wskaźnikiem NAO w chłodnej porze roku (szczególnie w styczniu). Współczynnik korelacji między temperaturą powietrza i wskaźnikiem NAO jest największy w styczniu: Wrocław – $r=0{,}62$, Warszawa – $r=0{,}56$, Kraków – $r=0{,}52$. Duże współczynniki korelacji między temperaturą powietrza a wskaźnikiem NAO występują także w Warszawie w lutym – $r=0{,}55$, marcu – $r=0{,}50$ i w grudniu – $r=0{,}40$. W Krakowie istotne statystycznie na poziomie 5% zależności wykryto oprócz stycznia także w marcu – $r=0{,}44$, grudniu – $r=0{,}38$ i lutym – $r=0{,}36$.

Największa zależność temperatury powietrza od Oscylacji Północnoatlantyckiej występuje we Wrocławiu. Silna korelacja zachodzi, oprócz stycznia, w lutym – $r=0{,}58$, grudniu – $r=0{,}49$.

## Wpływ NAO na zróżnicowanie cech opadowych klimatu miast środkowej Europy (Wrocław, Warszawa)

Wpływ NAO na opady atmosferyczne w środkowej Europie charakteryzują dwie prace magisterskie.

1. W pracy A. Tomaszewskiego (2006) pt. *Rola Oscylacji Północnoatlantyckiej w kształtowaniu opadów atmosferycznych we Wrocławiu w XX wieku* określono zależność sum opadów atmosferycznych we Wrocławiu od wskaźnika NAO (Jonesa) w latach 1900-2000. Sumy opadów atmosferycznych pochodzą ze stacji meteorologicznej we Wrocławiu. Uzupełniono je 25-letnią serią liczby dni z opadem (1955-1980).

We Wrocławiu w latach 1900-2000, najmniejsza średnia miesięczna suma opadów atmosferycznych (23 mm) wystąpiła w lutym, a największa (90 mm) – w lipcu. Średnia roczna suma opadów wyniosła 560 mm.

Tendencja zmian średniej rocznej sumy opadów była ujemna – -47 mm/100 lat. Zmniejszeniu uległy sumy opadów w zimie – -29 mm/100 lat. Największy spadek sum opadów w XX stuleciu wystąpił w styczniu (-17 mm/100 lat).Sumy letnie opadów w XX wieku cechują się dodatnią tendencją zmian (18 mm/100 lat). Największa tendencja dodatnia wystąpiła w czerwcu (18 mm/100 lat).

W celu określenia oddziaływania Oscylacji Północnoatlantyckiej na opady atmosferyczne we Wrocławiu wyznaczono współczynniki korelacji między miesięcznymi, sezonowymi i rocznymi sumami opadów i indeksem NAO Jonesa.

Istotne statystycznie korelacje miesięcznych sum opadów z indeksem NAO Jonesa występują w czerwcu, sierpniu i we wrześniu. Współczynniki determinacji $r^2$ objaśniają odpowiednio 5%, 5% i 6% zmienności sum opadów. Współczynniki korelacji w tych miesiącach mają znak ujemny, tak więc nasileniu przenosu zachodniego powietrza towarzyszy zmniejszenie sum opadów. W lecie intensywne opady w Polsce wynikają głównie z silnej konwekcji. W miesiącach zimowych znak współczynnika korelacji zmienia się na dodatni. Tylko w zimie (XII-II) wzrost NAO powoduje niewielki wzrost ilości opadów. Należy dodać, że w przebiegu rocznym okres zimowy charakteryzuje się największymi wartościami indeksu NAO, a więc najsilniejszym przenosem strefowym. Najsilniejszy jest wpływ NAO na sumy roczne opadów we Wrocławiu ($r = -0{,}26$ – istotny statystycznie).

W okresach pozytywnej fazy Oscylacji Północnoatlantyckiej (1900-1929 i 1971-1995) uwidacznia się silna korelacja ujemna sum opadów we Wrocławiu z wskaźnikiem NAO. Współczynnik korelacji w tych epokach wynosi odpowiednio -0,34 oraz -0,50. Najsłabszy ujemny związek (-0,18) wystąpił w okresie ujemnej fazy NAO w latach 1930-1970.

2. W pracy G. Maksymiuka (2009) pt. *Długookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w XVIII-XX wieku* określono wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na opady atmosferyczne w Warszawie w latach 1825-1998 i liczbę dni z opadem w latach 1955-1980. Wyznaczono równania prostych regresji miesięcznych, sezonowych i rocznych sum opadów oraz liczby dni z opadem. względem wskaźnika *NAO* i odpowiednie współczynniki korelacji.

W pracy wykorzystano miesięczne sumy opadów atmosferycznych w Warszawie z lat 1825-1998 – z Obserwatorium Astronomicznego. Dane te zostały uzupełnione o 25-letnią serię liczby dni z opadem z lat 1955-1980. Do analizy Oscylacji Północnoatlantyckiej wykorzystano wartości indeksu NAO Jonesa z lat 1825-1998.

Przebieg roczny opadów atmosferycznych w Warszawie zbadano na podstawie miesięcznych sum opadów oraz miesięcznej liczby dni z opadem. Wyznaczono też przedziały częstości występowania sum opadów i liczby dni z opadem w sezonach i roku. Zmien-

ność wieloletnią w badanym okresie przedstawiono za pomocą 11-letnich średnich konsekutywnych oraz prostych regresji.

Zmiany roczne średnich miesięcznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1825-1998, mają typowy dla Polski, przebieg sinusoidalny. Poczynając od lutego (29 mm) opady z miesiąca na miesiąc osiągały coraz większe sumy, aż do lipca, gdzie ich średnia wartość wyniosła 79 mm, a potem spadała.

Średnia roczna suma opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1825-1998 wyniosła 565 mm. W ciągu całego okresu tendencja zmian średniej rocznej sumy opadów była nieznacznie ujemna i wyniosła -15 mm/100 lat. Wszystkie sezony wykazały nieznaczny spadek sumy opadów, który najsilniej zaznaczył się wiosną i latem (-6 mm/100 lat).

Tendencje sezonowych sum opadów wynoszą: zima – -1,4 mm/100lat, wiosna – -6 mm/100lat, jesień – -1,7 mm/100 lat.

W latach 1825-1998 w Warszawie widoczna była duża zmienność rocznych sum opadów z roku na rok. Pojawiło się kilka krótkich okresów z niedoborem lub nadwyżką opadów atmosferycznych w stosunku do średniej z całego okresu. Najdłuższe z nich wystąpiły w latach: 1849-1860 – nadwyżka opadów, 1960-1974 – nadwyżka opadów 1982-1993 – niedobór opadów.

Najsilniejsza ujemna korelacja opadów atmosferycznych w Warszawie z Oscylacją Północnoatlantyckąj wystąpiła we wrześniu ($r$=-0,24). Ujemne współczynniki korelacji (nieistotne statystycznie) są w innych miesiącach letnich. Napływ morskich mas powietrza przy pozytywnej fazie NAO, przejawia się częstymi, lecz niezbyt intensywnymi opadami. Od późnej jesieni do połowy wiosny (XI-IV) korelacja opadów z NAO jest dodatnia. Współczynnik korelacji osiągnął największe wartości w kwietniu ($r$=0,13), styczniu i grudniu ($r$=0,12). Od wiosny do jesieni korelacja jest ujemna. Jedynie w zimie współczynnik korelacji był dodatni i wyniósł 0,07.

## Badanie cykliczności i tendencji zmian temperatury powietrza w Europie na profilach: południkowym (Sztokholm, Warszawa, Ateny) i równoleżnikowym (Paryż, Warszawa, Moskwa)

Cykle i tendencje zmian temperatury powietrza w Europie na profilach południkowym i równoleżnikowym przedstawiono w pracy magisterskiej: K. Brakonieckiej (2009) pt. *Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX i XX wieku i ich przyczyny.*

W pracy zbadano zmiany temperatury powietrza w pięciu wybranych miastach europejskich w 120-leciu 1881-2000 w odniesieniu do zmian aktywności Słońca (liczb Wolfa) oraz cyrkulacji strefowej, opisanej wskaźnikiem NAO w tym samym czasie. Wahania roczne i cykle długie zmian temperatury powietrza określono w zależności od położenia geograficznego – na profilach: południkowym (Sztokholm, Warszawa, Ateny) i równoleżnikowym (Paryż, Warszawa, Moskwa). Wykazano synchroniczność niektórych cykli zmian aktywności Słońca, wskaźnika NAO i temperatury powietrza w Europie. Zastosowano metodę sinusoid regresji badania cykliczności zmiennych, opracowaną przez J. Boryczkę (1998). Wykorzystano program BOR (dostępny w Zakładzie Klimatologii UW). Zbadano też zależność temperatury powietrza od wskaźnika NAO i liczb Wolfa.

Ciągi pomiarowe temperatury powietrza zostały skrócone do jednakowego ($n=120$ lat) przedziału czasu 1881-2000, by porównać zarówno okresy jak też tendencje zmian.

Miasta europejskie dobrano tak, aby można było zbadać zależność cykli temperatury powietrza od szerokości i długości geograficznej. Warszawę ($\varphi=52°13'$N, $\lambda=21°02'$E, $H=110$ m n.p.m.) reprezentującą Europę Środkową przyjęto jako punkt odniesienia dla miast zlokalizowanych na osiach północ-południe oraz wschód-zachód. Europę Północną reprezentuje Sztokholm ($\varphi=59°34'$N, $\lambda=18°06'$E, $H=44$ m), Europę Południową – Ateny ($\varphi=37°58'$N, $\lambda=23°43'$E, $H=107$ m), Europę Zachodnią – Paryż ($\varphi=48°58'$N, $\lambda=2°27'$E, $H=65$ m.), a Europę Wschodnią – Moskwa ($\varphi=55°50'$N, $\lambda=37°37'$E, $H=156$ m.). Rozbieżność wzdłuż południka ($\varphi$) nie przekracza 3°, a równoleżnika ($\lambda$) – 4°.

**Profil południkowy.** W położonym najdalej na północ Sztokholmie najwyższa średnia temperatura powietrza 17,3°C występuje w lipcu, a najniższa -2,9°C w lutym. W Warszawie położonej dalej na południe, najwyższa średnia miesięczna temperatura powietrza 18,7°C występuje także w lipcu, ale jest zaledwie o 1,4°C wyższa. Najzimniejszym miesiącem (-2,8°C) jest styczeń. W Atenach także najcieplejszy jest lipiec (27,4°C) a najchłodniejszy styczeń (9,3°C).

W Sztokholmie zimowe cykle temperatury powietrza: krótki 2,4-letni, 7,7-letni oraz 21,2-letni (o największej amplitudzie zmian $2b=1,8$°C) są istotne na poziomie 5%. W lecie w Sztokholmie wyróżniają się trzy okresy: 19,8-, 25,3- oraz 33,2-letni (o największej amplitudzie zmian $2b=0,9$°C), istotne statystycznie na poziomie 5%.

Najistotniejszym zimowym okresem zmian temperatury powietrza w Warszawie jest okres 5,7-letni (o amplitudzie zmian 2,0°C). W lecie najistotniejszy jest okres 67,8-letni temperatury powietrza z amplitudą wahań 1,0°C. W Atenach w zimie najistotniejszy jest cykl krótki 2,4-letni (o amplitudzie zmian, dochodzącej do 0,8°C).

**Profil równoleżnikowy.** Najmniejsze i największe wartości średniej miesięcznej temperatury powietrza w badanym 120-leciu we wszystkich trzech miastach występują w tych samych miesiącach – maksima w lipcu, a minima – w styczniu. Na przykład w Paryżu w styczniu (3,2°C) jest cieplej niż w Warszawie (-2,8°C), a znacznie cieplej niż dalej na wschód – w Moskwie (-9,7°C). Amplitudy temperatury powietrza dochodzące prawie do 30°C w ciągu roku występują w Moskwie.

Na profilu równoleżnikowym (Paryż, Moskwa) w latach 1881-2000, najbardziej typowe w Paryżu okazały się okołowiekowe okresy zmian, temperatury powietrza.

W Warszawie uwidacznia się, zwłaszcza w zimie spadek istotności cykli długich – około 100-letnich i 20-50-letnich na rzecz grup cykli 5 i 7-letnich. W Moskwie w zimie najbardziej zaznacza się zróżnicowanie amplitud cykli w zależności od odległości od Oceanu Atlantyckiego. Prawie trzykrotnie większe są amplitudy zmian w cyklach krótkich w Moskwie niż Paryżu – odpowiednio 2,2°C i 0,8°C, a w Warszawie amplituda ta wynosi 1,3°C.

Cykle o długości 7-8 lat są istotne statystycznie w przypadku średniej temperatury zimy i roku w Paryżu i Warszawie. Cykle około 30-letnie badane pod względem synchroniczności występowania maksimów liczb Wolfa i zmienności wskaźnika NAO to odpowiednio 37,3 oraz 36,0 lat. Cyrkulacja strefowa w Europie jest silnie skorelowana z aktywnością Słońca w przypadku cykli około 30-letnich.

**Korelacja temperatury powietrza i NAO.** W półroczu chłodnym są istotne zależności – większa wartość współczynnika korelacji występuje w przypadku Sztokholmu niż Warszawy. W Sztokholmie i Warszawie, największa zależność temperatury powietrza od cyrkulacji strefowej w Europie jest w styczniu i lutym (współczynnik korelacji ma wartość 0,6).

Wartości współczynnika *r* na profilu równoleżnikowym, podobnie jak na południkowym są bliskie zera w miesiącach pory ciepłej. W Moskwie w żadnym przypadku wartość współczynnika korelacji nie przekracza 0,5, ale wartości w miesiącach pory chłodnej są odpowiednio większe niż w miesiącach pory ciepłej. W Paryżu również znacznie większe wartości współczynnika korelacji występują w miesiącach zimowych niż letnich – przy czym najwyższe, wahające się w granicach 0,6 wartości współczynnika *r* dotyczą średnich stycznia, lutego i marca.

W Moskwie, Paryżu i Warszawie temperatura powietrza jest istotnie skorelowana ze zmianami aktywności Słońca (na poziomie 5%). Najsilniejsze zależności temperatury powietrza od aktywności Słońca występują w Moskwie.

## Badanie cykliczności i tendencji zmian temperatury powietrza w Europie (Szwecja) na podstawie danych dendrologicznych

W pracy magisterskiej Ł. Pawłowskiego (2009) pt. *Zmiany klimatu Szwecji według danych dendrologicznych* przedstawiono cykle obecne w ciągach czasowych przyrostów rocznych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) w Szwecji – w odniesieniu do okresów temperatury powietrza o długościach około 4, 8, 11, 100 i 180 lat. Wyznaczono też tendencje zmian szerokości słoi sosny i wykazano związki szerokości słoi sosny z temperaturą powietrza. Zasadniczy materiał badawczy stanowią dane o przyrostach radialnych gatunku sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris*), pochodzące z dwóch stanowisk na terytorium Szwecji: Sztokholm (59°09'N, 18°00'E, wysokość 75 m n.p.m) z lat 1713-1996 i Muddus – z Parku Narodowego Muddus (66°51'N, 22°27'E, wysokość 450 m n.p.m) z lat 1572 -1971. Cykliczność zbadano stosując metodę *sinusoid regresji* J. Boryczki (1998), wyznaczania widm, zmieniając okres sinusoidy regresji z krokiem co 0,1 i 1 rok (w przypadku słoi sosny).

Cykle temperatury powietrza w Sztokholmie o największych współczynnikach korelacji: 11- letni ($R=0{,}473$) 103- letni ($R=0{,}286$) i 189-letni ($R=0{,}223$) świadczą, że na zmiany klimatu Szwecji mają największy wpływ cykle aktywności Słońca:11lat i najdłuższe około 100- i 180- lat.

Prognozy zmian średniej rocznej temperatury powietrza w Sztokholmie, opracowano za pomocą programu BOR 3 – z uwzględnieniem składnika liniowego (*at*). Wahania krótkookresowe temperatury powietrza w Sztokholmie wskazują na wystąpienie do roku 2100 trzech okresów cieplejszych z maksimami około lat 2027, 2052, 2080, oraz minimów okresów chłodniejszych w latach 2034 i 2074.

**Cykle szerokości słoi sosny (*Pinus sylvestris*).** W widmach szerokości słoi sosny występują cykle będące wielokrotnością 11-letniego cyklu aktywności Słońca. Cykliczność około 22 – letnia cechuje się największymi amplitudami w przyrostach sosny w Sztokholmie – współczynnik korelacji wynosi $R=0{,}417$. Najdłuższe cykle o długościach około 100 lat i około 180-letnie są obecne w widmach przyrostowych słoi sosny

zwyczajnej w Szwecji. Cykle te są związane z długookresowymi zmianami aktywności Słońca i występują w cykliczności temperatury powietrza. Przyrosty roczne sosny Muddus wykazują cykliczność 89-letnią, ($R$=0,232). Najdłuższy z cykli jest obecny w widmach sosny w Sztokholmie (169 lat) i Muddus. Przyrosty radialne sosny z Parku Narodowego Muddus odznaczają się cyklicznością 182-letnią, ze współczynnikiem korelacji $R$=0,231.

Cykle temperatury powietrza wykazują zbliżoną okresowość do cykli Oscylacji Północnoatlantyckiej. Do analizy wybrano niektóre cykle o zbliżonych okresach spośród widm wskaźnika NAO i szerokości słoi sosny. Cykl o okresie 11 lat wystąpił w widmie sosny Sztokholm ($R$=0,176). Natomiast okresowością około 33-letnią charakteryzuje się zmienność przyrostów sosny Muddus. Zbieżnością odznaczają się cykle 13 letnie sosny Muddus i wskaźnika NAO. Ekstrema tych cykli są widoczne w tych samych latach. Maksima wystąpiły w latach 1831, 1844 itd., natomiast minima w latach 1825, 1838 itd. Najdłuższy porównywany cykl wskaźnika NAO o okresie 118 lat ma sobie podobny w widmie przyrostów sosny Muddus, $\Theta$=120.

## Upały w Europie (koniec XX - początek XXI wieku)

O znaczącym globalnym ociepleniu świadczy wzrost średniej globalnej temperatury powietrza w stuleciu 1906-2005 o 0,74°C (IPCC, 2007). Największy wzrost nastąpił w ostatnich 25 latach XX wieku i początku wieku XXI.

Europa (w tym Polska) również doświadcza ocieplenia w tempie 0,5° na 100 lat. Wzrost temperatury zaznacza się najsilniej w sezonie letnim (zwłaszcza w latach 1992, 1994, 2003, 2006, 2007). Występujące fale upałów i powodzie są dużym zagrożeniem dla zdrowia i życia człowieka. Ich skutkiem jest wzrost śmiertelności na Ziemi. Rekordowo wysoką liczbę zgonów stwierdzono w lecie 2003 r. w Paryżu, szczególnie w dniu 13 sierpnia, przekroczyła ona o 600% średnią dzienną liczbę zgonów.

W czasie tego ekstremalnie gorącego lata 2003r. w Europie Zachodniej i Południowej zmarło ponad 35 000 osób, z czego 14 000 we Francji. Upały z 2006 roku objęły większy obszar Europy niż te z roku 2003. Wystąpiły one głównie w Europie Środkowej oraz Skandynawii (Twardosz, 2009).

W Polsce ocieplenie klimatu zaznacza się szczególnie w ostatnich 20 latach, a liczba dni gorących (z $t_{max}$>25°C) i upalnych (z $t_{max}$>30°C) znacznie wzrosła w tym czasie i częściej tworzą one ciągi dni. W Warszawie upalne lata były w: 1992, 1994, 2000, 2006 i 2007 roku. Ciągi co najmniej 3 dni z $t_{max}$>30° zostały nazwane *falami upałów*. Najczęściej zdarzają się fale 3-4 dniowe, ale są i dłuższe nawet powyżej 8-10 dni. Najdłuższe fale upałów w Warszawie zdarzyły się w 1994 roku – 10 dni, w 1971 i 2006 roku – 9 dni oraz w 1963 roku – 8 dni. I tak w czasie 10-dniowej fali upałów trwającej od 24 lipca do 2 sierpnia 1994 roku średnia temperatura powietrza wyniosła 26,4°C, a temperatura maksymalna 34,0°C (najwyższe maksimum osiągnęło wartość 36,4°C). Zaś w czasie 9-dniowej fali upałów trwającej od 5 do 13 lipca 2006 roku średnia temperatura powietrza wyniosła 25,6°C, a temperatura maksymalna 33,0°C (najwyższe maksimum osiągnęło wartość 35,3°C) (Kossowska-Cezak, 2010).

Ciekawe jest również to, że po roku 1990 wzrosła też częstość nocy ciepłych ($t_{min}$>15°C) i bardzo ciepłych ($t_{min}$>18°C), a są to sytuacje pogodowe najbardziej ob-

ciążające organizm człowieka i prowadzą do wzrostu liczby zgonów. Wzrost liczby nocy „tropikalnych" jeszcze bardziej się nasilił po 2000 roku.

## Spodziewane konsekwencje globalnego ocieplenia klimatu

W publikacji zespołowej Zakładu Klimatologii pt. Klimat Europy. Przeszłość – Teraźniejszość – Przyszłość ([w]: Materiały … z VIII Pikniku,2004) M. Kopacz-Lembowicz przedstawiła przewidywane następstwa postępującego ocieplenia:

**Atmosfera**

- Wzrost temperatury oznacza większe zasoby energii → zwiększenie intensywności parowania, intensywniejsze procesy konwekcyjne i cyrkulacja powietrza.
- Konsekwencje: częstsze i potężniejsze cyklony, wiatry → falowanie, niszczenie linii brzegowej (giną ludzie, zniszczenie infrastruktury).
- Zmiany układu warunków opadowych → wpłynie to na zasięg i częstość występowania susz i powodzi, a w konsekwencji ograniczy dostęp do zasobów wodnych w niektórych rejonach czy też zwiększy ryzyko powodziowe. Zmienią się warunki dla rozwoju rolnictwa.

**Obszary wodne-Oceany**

- Wzrost poziomu oceanów. Konsekwencje: zalewanie nisko położonych terenów przybrzeżnych, infiltracja słonych wód w głąb lądu i zasolenie wód gruntowych.
- Zwiększenie ilości pływających gór lodowych.
- Konsekwencje: zmniejszenie zasolenia wód w wyższych szerokościach geograficznych, powodujące osłabienie wymiany wód głębinowych (osłabienie globalnego oceanicznego „taśmociągu", którego częścią jest Prąd Zatokowy).
- W cieplejszych wodach następują zmiany w składzie planktonu, giną brunatnice, giną glony żyjące w symbiozie z koralowcami. Wymieranie koralowców (niszczenie raf koralowych) to utrata naturalnych „falochronów" dla wybrzeży.

**Lądy**

- Wzrost temperatury powietrza, szczególnie w chłodnej porze roku → zmiana pór roku, okresu wegetacyjnego.
- Topnienie lodowców górskich → lawiny błotne.
- Podniesienie wysokości, na której utrzymuje się stała pokrywa śnieżna → konsekwencje dla turystyki zimowej.
- Zmniejszenie się obszarów wiecznej zmarzliny.
- Zmiany w składzie gatunkowym wielu ekosystemów → wyginięcie wielu gatunków nie mogących przystosować się do nowych warunków klimatycznych.

**Wpływ na człowieka**

- Zwiększająca się liczba ofiar intensywnych klęsk żywiołowych, w tym ofiar epidemii.
- Coraz większe straty materialne.
- Wzrastające koszty budowy urządzeń zabezpieczających przed działaniem żywiołów oraz koszty dostosowania gospodarki do nowych warunków, np. rolnictwo → nowe odmiany roślin uprawnych.
- Emigracja ekologiczna.

Dotychczasowe scenariusze globalnych zmian klimatu uwzględniają tylko ocieplenie klimatu Ziemi. Z badań cyklicznych zmian klimatu Ziemi (cykli: zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}O$ w rdzeniach lodowych, substancji organicznych, zdeponowanych w osadach głębokomorskich i jeziornych oraz danych dendrologicznych), uwarunkowanych zmianami aktywności Słońca i erupcji wulkanicznych można oczekiwać w najbliższej przyszłości dużego ochłodzenia. Prognozy temperatury powietrza do 2100 roku, na podstawie interferencji silniejszych cykli zawartych w widmach, wskazują na naturalne ochłodzenie klimatu Europy w XXI wieku. W scenariuszach globalnych zmian klimatu należy także brać pod uwagę **gwałtowne ochłodzenie** i jego konsekwencje dla mieszkańców Ziemi.

## XII. LITERATURA


*Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, Wyd. UW, Warszawa:

- t. I, 1974, Stopa-Boryczka M., Boryczka J., *Związki korelacyjne między elementami meteorologicznymi i czynnikami geograficznymi w Polsce* (bez podtytułu na okładce), ss. 276
- t. II, 1976, Stopa-Boryczka M., Boryczka J., *Zależność elementów meteorologicznych od czynników geograficznych w Polsce* (bez podtytułu na okładce), ss. 455
- t. III, 1980, Stopa-Boryczka M., Boryczka J., *Geograficzne gradienty parametrów wilgotności powietrza w Polsce*, ss. 322
- 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. VI, 1990, Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E., *Wpływ Oceanu Atlantyckiego i ukształtowania powierzchni Ziemi na pole temperatury powietrza w Polsce*, ss. 334
- t. VII, 1992, Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kicińska B., Żmudzka E., *Zmiany wiekowe klimatu Polski*, ss. 439
- t. VIII, 1994, Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wągrowska M., Śmiałkowski J., *Cechy oceaniczne klimatu Europy*, ss. 406
- t. IX, 1995, Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Błażek E., Skrzypczuk J., *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy*, ss. 322
- t. X, 1997, Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., *Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie*, ss. 220
- 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., Wągrowska 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. XV, 2001, Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Błażek E., Skrzypczuk J., *Prognozy zmian klimatu miast Europy*, ss. 249
- 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. 226
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., Grabowska K., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., *Zmiany klimatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku*, ss. 417

*Atlas klimatu Polski (1971-2000)*, 2005, Lorenc H. (red.), opracowanie komputerowe map Kowalewski M., IMGW, Warszawa

Berger A., 1988, *Milankocich theory and climate*, Rewiews of Geophysics, 26

Bernes C., 2003, *A Warmer World. The Greenhouse Effect and Climate Change*, Monitor 18

Bijak Sz., 2005, *Wahania temperatury powietrza w Warszawie i Tallinie w latach 1779-2000*, w: *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne*, (red. E. Bogdanowic, U. Kossowska-Cezak, J. Szkutnicki) PTGeof, IMGW, Warszawa

Brevier J. R., Jouzel J., Raynaud D. et. al., 1999, *Climate and atmospheric history of the of pastes 420 000 years from the Vostok ice core*, Antarrctica, Nature 399. p.429

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, Warszawa, vol. 12, pp. 75-80

Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Mucha B, 2008, *Tendencies in climate changes in Poland and Ukraine during the last centuries and their causes*, Miscellanea Geographica, Warszawa, vol. 13, pp. 77-88

Boryczka J. 1992, *Naturalny i antropogeniczny trend temperatury i opadów w Warszawie,* Prace i Studia Geograficzne, t. 11

Boryczka J., Wicik B., 1994. *Record of holocene climatic cycles in Lake sediments in Central Poland*, Miscellanea Geographyca, t.6, Wyd. UW, Warszawa

Boryczka J., 1998. *Zmiany klimatu Ziemi*, Wyd. Akademickie DIALOG, Warszawa

Boryczka J., 2001, *Zmiany klimatu Warszawy w XVIII-XX wieku i ich prognozy,* Prace Geograficzne IG PAN nr 180

Boryczka J., 2003, *Trends in Climate Change in Europe and Their Causes*, in: *Man and Climate in the 20$^{th}$ Century*, (ed. J. L. Pyka et al.), Studia Geograficzne 75, Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław

Boryczka J., 2004. *Mit efektu cieplarnianego*, Przegl Geof. XLIX, z. 1-2

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 vol. 12, pp. 75-80

Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Mucha B, 2008, *Tendencies in climate changes in Poland and Ukraine during the last centuries and their causes*, Miscellanea Geographica vol. 13, pp. 77-88

Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Unton-Pyziołek A., Gieszcz P., 2010, *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Północnej Półkuli Ziemi (na podstawie wahań izotopu tlenu $d^{18}O$ i danych dendrologicznych)*, Miscellanea Geographica vol. 14, pp. 47-58

Brückner E., 1890, *Klimaschwankungen seit 1700 nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluviazeit*, Geogr. Abh., H. 4/2, Wien

Budyko M. I., 1971, *Klimat i żizn*, Gidromietieoizdat, Leningrad

Budyko M. I., 1974, *Izmienienija klimata*, Gidromietieoizdat, Leningrad

Budyko M. I., Piwowarowa Z. I., 1967, *Wlijanije wulkaniczeskich izwierżenij na prichodziaszczuju k powierchnosti Ziemli sołniecznuju radiacju*, Mietieorologija i Gidrołogija, nr 10

Fisher D. A., 1979, *Comparison of 100.000 years of oxygen isotope and insoluble impurity profiles from the Devon Island and Camp Century ice cores*. Quaternary Research 11

Gieszcz P., 2008, *Okresowość i tendencje zmian klimatu Arktyki, Klimat wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007*, Warszawa (Materiały na XII Piknik Naukowy Polskiego Radia i Centrum Nauki Kopernik, 14.06. 2008)

Hays J. D., Imbrie J., Shackleton N. J., 1976, *Variation in the Earth's orbit*: *Pacemaker of the ice ages, Science*, 194, nr 4270

IPCC, 1990, *Scientific Assessment of Climate Change – Report of Working Group I*, Cambridge University Press, 365 pp

IPCC, 1995, *Climate change 1995. The Scientific of Climate Change*, Cambridge University Press, 572 pp

IPCC, 2001. *Climate change 2001. The Scientific Basis*, Cambridge University Press, 944 pp

IPCC, 2007, *Climate change 2007.The physical science basis* [w:] Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M., Miller H. L. (ed.) *Contrbution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambrige

Johnsen S. J., Dansgaard W., Clausen H. B., Longway C. C., 1970, *Climatic oscillations 1200-2000 A.D.*, Nature, nr 227, London

Jones P. D., Jonsson T., Wheeler D., 1997, *Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland*, Int. J. Climatol., 17, s. 1433-1450

Kaczorowska Z., 1962, *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*, Prace Geogr. PAN, Nr 33

Klein Tang A. M. G., Wijgard J. B. et al., 2002, *Daily data set of 20th century surface air temperature and precipitaton series for European Climate Assement (ECA)*, Int. J. Climatology, 22, 1441-1453

*Klimat Europy. Przeszłość – Teraźniejszość – Przyszłość,* 2004, (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Materiały Zakładu Klimatologii, Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego z VIII Pikniku Naukowego Polskiego

Radia BIS zorganizowanego w dniu 22.05.2004 r. w Warszawie pod hasłem *Nauka bez granic*

*Klimat Wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007,* 2008, Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego na XII Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS i Centrum Nauki Kopernik, Warszawa

Kożuchowski K., 1989, *Makrotypy cyrkulacji atmosferycznej a temperatura powietrza w Polsce*, Przeg. Geofiz., R. XXXIV, z. 4

Kożuchowski K. (red.), 1990, *Materiały do poznania historii klimatu w okresie obserwacji instrumentalnych*, Wyd. Uniw. Łódzkiego, Łódź

Kożuchowski K., Stolarczuk, Wibig J., 1994, *Wskaźniki cyrkulacji atmosferycznej na poziomie 500 hPa nad Polską i południowym Bałtykiem w latach 1951-1990* [w:] *Współczesne zmiany klimatyczne. Klimat Polski i regionu Morza Bałtyckiego na tle zmian globalnych*, Rozprawy i Studia Uniw. Szczecin., (226) 152

Kożuchowski K., Boryczka J., 1997, Cykliczne wahania i trendy czasowe zmian poziomu morza w Świnoujściu (1811-1990), Przegl. Geof. t. 42, z.1

Kossowska-Cezak U., 1995, *Lato w Polsce na tle sezonów letnich ostatnich 120 lat,* Materiały konferencji „Klimat i bioklimat miast", Wyd, U. Ł.

Kossowska-Cezak U., 2005, *Współczesne ocieplenie a codzienne wartości temperatury średniej dobowej w Warszawie* [w:] *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne* (red. E Bogdanowicz, U. Kossowska-Cezak, J. Szkutnicki) PTGeof, IMGW, Warszawa

Kondratiev K.J., Nikolski G. A, 1970, *Solar radiation and solar activity*, Quart. J. Royal. Meteor. Soc., no 96

Lamb H. H., 1974, *Volcanic dust in the atmosphere with a chronology and assessment of meteorological*, Phil. Transactions Roy. Soc., ser.A, 226

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

Manley G., 1974, *Central England temperatures: monthly means 1659 to 1973*, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., no 100

Malcher J., Schönwiese Ch. D., 1987, *Homogenity, spatial correlation and spectral variance analysis of long European and North American air temperature records*, Theor. Appl. Climat., 38

Maksimow E. W., 1972, *Problemy oledienienij Ziemli i ritmy w prirodie*, Izd. Nauka, Leningrad

Marsz A.A. (red.), 1999, *Wpływ stanu termicznego powierzchni oceanu na modyfikacje cyrkulacji atmosferycznej w wymiarze klimatologicznym*, Materiały Konferencji, Gdynia 6 V 1999.

Marsz A.A., 2001, *Długoterminowa prognoza warunków termicznych okresu zimowego w Polsce. Postęp badań zmian klimatu i ich znaczenie dla życia i gospodarczej działalności człowieka*, Wyd. WGSR UW, Warszawa

Marsz A. A., 2005, *Prognoza występowania w okresie zimy typów cyrkulacji atmosferycznej Osuchowskiej-Klein związanych z ekstremalnym zlodzeniem Bałtyku*, [w:]: *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne* (red. E Bogdanowicz, U. Kossowska-Cezak, J. Szkutnicki) PTGeof, IMGW, Warszawa

Miętus M., 2005, *Ekstremalne zjawiska klimatyczne z perspektywy IPCC* [w:] *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne* (red. E Bogdanowicz, U. Kossowska-Cezak, J. Szkutnicki) PTGeof, IMGW, Warszawa

Milankovich, 1930. *Mathematiche Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen*

Miłanković M., 1938, *Matematiczeskaja klimatołogija i astronomiczeskaja teoria kolebanij klimata*, ONTU, Moskwa

Niedźwiedź T.,1994, *Charakterystyka synoptyczna klimatu* [w:] *Atlas Rzeczpospolitej Polskiej*, Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Warszawa

Okołowicz W., 1947, *Rekonstrukcja klimatu i jego zmian na podstawie morfologii terenu*, „Przegląd Geograficzny", t. XXI, z.1-2, s. 83-91

Paszyński J., Niedźwiedź T., 1991, *Klimat*, [w:]: Starkel L. (red.), *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*, PWN Warszawa.

Petit J.R., Jouzel J., Raynaud D. i in., 1999, *Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core*, Antarctica, *Nature* 399, p. 429

Rakipowa L. R., 1960, *O wozdiejstwie sołniecznoj aktiwnosci na obszczuju cirkulacju atmosfiery*, Astronom. sbornik, III i IV

Reznikow A. P., 1982, *Priedskazanije jestiestwiennych processow obuczajuszczijejsja sistiemoj*, Nowosybirsk

Rogers J. C., 1984, *A comparison of the mean winter pressure distribution in the extremes of the North Atlantic Oscillation and Southern Oscillation* [w:] H. Van Loon (red.), Studies in Climate, NCAR Technical Note, February 1984, Boulder, Colorado, s. 208-241

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

Stopa-Boryczka M. (ed.), 2003, *Studies on the Climate of Warsaw*, Warsaw University, Faculty of Geography and Regional Studies

Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2009, *Wpływ czynników geograficznych na klimat Europy*, Prace i Studia Geogrficzne, T. 41, ss. 191-208

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

Trepińska J., 2001, *Fluktuacje termiczne w Europie od małej epoki lodowej do końca XX wieku*, Prace i Studia Geograficzne, t. 29, Warszawa, s. 73-77

Twardosz R., 2009, *Fale niezwykłych upałów w Europie na początku XXI wieku. Extraodinary heat waves In the beginning of the 21 st century in Europe*, Przegl. Geof., r. LIV, z. 3-4, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa

Wolf R., 1869-72, *Handbuch der Mathematik, Physik*, Geodesie und Astronomie, t. 1-2
Woś A., 2010, *Klimat Polski w drugiej połowie XX wieku*, Wyd. Nauk. UAM, ss. 489, Poznań
*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., 2007, *Zmienność zachmurzenia nad Polską i jej uwarunkowania cyrkulacyjne (1951-2000)*, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa

## WYKAZ PRAC MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO, DOTYCZĄCYCH OKRESOWYCH ZNIAN KLIMATU EUROPY I ICH PRZYCZYN

1. Porowska A., 1992, *Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Warszawie i Pradze w latach 1779-1976* (opiekun naukowy: J. Boryczka)
2. Skrzypczuk J., 1993, *Wiekowe zmiany temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach 1659-1973* (opiekun naukowy: Jerzy Boryczka)
3. Kierzkowska M. 1994, *Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Alpach (XIX-XX* wiek)(opiekun naukowy: J. Boryczka)
4. Szarek A., 2001, *Zmiany temperatury powietrza na Helu w okresie 1851-1995* (opiekun naukowy: J. Wawer)
5. Bijak Sz., 2004, *Klimat Estonii* (piekun naukowy: D. Martyn)
6. Kalecińska K., 2005, *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Warszawy w XVIII-XX wieku* (opiekun naukowy: J. Boryczka)*
7. Misiewicz A., 2005*, Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Moskwy w XVIII-XX wieku* (opiekun naukowy: J. Boryczka)*
8. Leszczyńska E., 2006, *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX-XX wieku (na przykładzie Wrocławia i Marsylii))* (opiekun naukowy: Jerzy Boryczka)
9. Tomaszewski A., 2006, *Rola Oscylacji Północnoatlantyckiej w kształtowaniu opadów atmosferycznych we Wrocławiu w XX wieku* (opiekun naukowy: E. Żmudzka)
10. Gołdowska H., 2007, *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Polsce w XIX-XX wieku* (opiekun naukowy: J. Boryczka)
11. Baczyński K., 2007, *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Paryżu w XIX-XX wieku* (opiekun naukowy: J. Boryczka)
12. Łopacki M., 2008,*Wpływ aktywności Słońca na okresowe zmiany cyrkulacji atmosferycznej w Europie* (opiekun naukowy: J. Boryczka)
13. Maksymiuk G., 2009, *Długookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w XVIII-XX wieku* (opiekun naukowy: K. Grabowska)
14. Brakoniecka K., 2009, *Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX i XX wieku i ich przyczyny* (opiekun naukowy: J. Boryczka)
15. Pawłowski Ł, 2009, *Zmiany klimatu Szwecji według danych dendrologicznych* (opiekunowie naukowi: Jerzy Boryczka, Maria Stopa-Boryczka)

## WYKAZ PRAC DYPLOMOWYCH UZUPEŁNIAJĄCYCH

1. Olech D., 1991, *Cechy oceaniczne i kontynentalne klimatu Polski* (opiekun naukowy: M. Stopa-Boryczka)
2. Śmiałkowski J., 1991, *Klimat Polski na tle klimatu strefy umiarkowanej półkuli północnej* (opiekun naukowy: M. Stopa-Boryczka)
3. Puczyńska J., 1991, *Klimat Polski w ujęciu historycznym – druga połowa XVIII wieku* (opiekun naukowy: D. Martyn)
4. Morawska K., 1992, *Charakterystyka klimatu Włoch* (opiekun naukowy: D. Martyn)
5. Barańska A., 1994, *Klimat Polski na tle klimatu Europy* (opiekun naukowy: M. Stopa-Boryczka)
6. Kowalewski M., 1998, *Zimowe szlaki cyklonów nad Europą (1993/94-1997/98)* (opiekun naukowy: K. Olszewski)
7. Szumska U., 1998, *Klimat Islandii* (opiekun naukowy: D. Martyn)
8. Kołodziejek J., 2001, Klimat Norwegii (opiekun naukowy: D. Martyn)
9. Wieczorek T., 2001, Usłonecznienie rzeczywiste i względne w Europie w latach 1961-1990 (opiekun naukowy: D. Martyn)
10. Pawłowski Ł., 2007, *Klimat Sztokholmu* (opiekun naukowy: M. Stopa-Boryczka)*
11. Piech Ł., 2008, *Zmienność cyrkulacji atmosferycznej nad środkową częścią Europy w II połowie XX wieku* (opiekun naukowy: E. Żmudzka)
12. Sawicka K., 2008, *Termiczne pory roku i okres wegetacyjny w krajach nadbałtyckich* (opiekun naukowy: J. Wawer)
13. Wojciechowska B., 2008, *Globalne zmiany klimatu – skutki przyrodnicze, gospodarcze i społeczne w Europie* (opiekun naukowy: K. Olszewski)*
14. Rylska K., 2008, *Miejska wyspa ciepła w Lublanie w różnych warunkach radiacyjnych i wietrznych* (opiekun naukowy: J. Wawer)*
15. Kozoń J., 2008, *Warunki wiatrowe na wybrzeżu Norwegii Północnej* (opiekun naukowy: E. Żmudzka)*
16. Kolasa M., 2008, *Miejska wyspa ciepła w Atenach w różnych warunkach radiacyjnych i wiatrowych* (opiekun naukowy: K. Błażejczyk)*
17. Konarska J., 2008, *Miejska wyspa ciepła w Sztokholmie w różnych warunkach radiacyjnych i wiatrowych* (opiekun naukowy: K. Błażejczyk)*
18. Jasiński B., 2008, *Tendencje zmian temperatury powietrza w klimacie śródziemnomorskim w XIX i XX wieku na przykładzie Aten* (opiekun naukowy: K. Grabowska)*
19. Rudzińska M., 2009, T*ermiczne pory roku w środkowej części Europy* (opiekun naukowy: J. Wawer)*
20. Rylska K., 2010, *Bioklimat Kotliny Lublańsiej* (opiekun naukowy: J. Wawer)
21. Konarska J., 2010, *Bioklimat Sztokholmu* (opiekun naukowy: K. Błażejczyk)
22. Kolasa M., 2010, *Bioklimat Aten* (opiekun naukowy: K. Błażejczyk)
23. Galicki Z., 2010, *Oscylacja Północnoatlantycka – istota zjawiska i jego wpływ na warunki klimatyczne, hydrologiczne i fenologiczne w Europie* (opiekun naukowy: E. Żmudzka)*

*Prace licencjackie