

**UNIWERSYTET WARSZAWSKI  
WYDZIAŁ GEOGRAFII I STUDIÓW REGIONALNYCH**

**MARIA STOPA-BORYCZKA, JERZY BORYCZKA**

**INFORMATOR  
O KOLEJNYCH 43 TOMACH ATLASU  
I (1974) – XLIII (2021)**

# **atlas**

**WSPÓŁZALEŻNOŚCI  
PARAMETRÓW  
METEOROLOGICZNYCH  
I GEOGRAFICZNYCH  
W POLSCE**

**Warszawa 2021**

UNIVERSITY OF WARSAW  
FACULTY OF GEOGRAPHY AND REGIONAL STUDIES

MARIA STOPA-BORYCZKA, JERZY BORYCZKA

INFORMANT  
FOR THE NEXT 43 VOLUMES ATLAS  
I (1974) –XLIII (2021)

# atlas

OF INTERDEPENDENCE  
OF METEOROLOGICAL  
AND GEOGRAPHICAL  
PARAMETERS  
IN POLAND

Warsaw 2021

## SPIS TREŚCI

I.	WPROWADZENIE	5
II.	CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA WYDAWNICZEJ SERII ATLASU ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO	7
III.	ATLAS WSPÓLZALEŻNOŚCI PARAMETRÓW METEOROLOGICZNYCH I GEOGRAFICZNYCH W POLSCE (TOM I, 1974, XLII , 2020) TOMY I-X	15
I	Związki korelacyjne między elementami meteorologicznymi i czynnikami geograficznymi w Polsce (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1974), ss. 276	15
II	Zależność elementów meteorologicznych od czynników geograficznych w Polsce (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1976), ss. 455	17
III	Geograficzne gradienty parametrów wilgotności powietrza w Polsce (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1980), ss. 322	19
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	20
V	Z badań klimatu Polski (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E., 1989), ss. 284	21
VI	Wpływ Oceanu Atlantyckiego i rzeźby terenu na klimat Polski (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E., 1990), ss.334.	23
VII	Zmiany wiekowe klimatu Polski (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kicińska B., Żmudzka E., 1992), ss. 439	24
VIII	Cechy oceaniczne klimatu Europy (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wągrowa M., Śmiałkowski J., 1994), ss. 405	25
IX	Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Błażek E., Skrzypczuk J., 1995), ss. 321	27
X	Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1997), s. 220 TOMY X I–XX-XXI	29
XI	Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1998), ss. 258	31
XII	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu miast w Europie (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wągrowa M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1999), ss.255	32
XIII	Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1999), ss. 283)	34
XIV	Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Lorenc H., Kicińska B., Błażek E., Skrzypczuk J., 2000), ss. 209	36
XV	Prognozy zmian klimatu miast Europy (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Błażek E., Skrzypczuk J., 2001), ss. 249	38
XVI	Prognozy zmian klimatu Polski (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Grabowska K., Błażek E., Skrzypczuk J., 2002), ss. 212	40
XVII	Mroźne zimy i upalne lata w Polsce (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Kirschenstein M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2003), ss. 297	41
XVIII	Groźne zjawiska pogodowe w Polsce (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2004), ss. 217	44
XIX	Cechy termiczne klimatu Europy (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Pietras K., Bijak S., Błażek E., Skrzypczuk J., 2005), ss. 184	45
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. 266 TOMY XXII-XXX	48
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	53
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	57

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	59
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	62
XXVI- XXXVII	Z badań klimatu Mazowsza (z uwzględnieniem większych miast) (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Grabowska K., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., Grzęda M., 2012), ss. 596	65
xxviii	Stan zanieczyszczenia atmosfery w Warszawie i innych miastach Polski (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., Grzęda M., 2012), ss. 470	69
xxix	Ocena klimatu na potrzeby lotnictwa w Warszawie i innych miastach Polski (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., Grzęda M., 2013), ss. 443	73
xxx	Klimat północno wschodniej Polski według podziału fizycznogeograficznego J. Kondrackiego i J. Ostrowskiego (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Grabowska K., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., Grzęda M., 2013), ss. 550	76
<b>TOMY XXX I–XXXIX</b>		
XXXI- XXXII	Modele empiryczne przestrzennych i czasowych zmian klimatu Europy z wyodrębnieniem Polski (ważniejsze wyniki badań)(Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2014), ss. 422	80
XXXIII	Zmiany wiekowe klimatu Europy z uwzględnieniem prognoz w XXI wieku i ich weryfikacja (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2015), ss. 444	84
XXXIV	Klimat Europy, przeszłość, teraźniejszość, przyszłość (w kolejnych 33 tomach Atlasu I, 1974 – XXXIII, 2015) ( Stopa-Boryczka M., Boryczka J. 2016, ss. 462	88
XXXV	Badania klimatu Europy w różnych skalach przestrzennych (w publikacjach Zakładu Klimatologii UW, 1952-2016) (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2016), ss. 415	92
XXXVI	Postęp badań zmian klimatu Ziemi w ostatnim tysiącleciu (XI-XXI) (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2017), ss. 407	95
XXXVII	Postęp badań zmian klimatu Polski i ich znaczenie dla życia i gospodarczej działalności człowieka, 100 lat geografii w Uniwersytecie Warszawskim (Stopa-Boryczka M., Boryczka J.), 2017, ss. 444	99
XXXVIII -XXXIX	Postęp badań zmian klimatu Warszawy w ostatnich stuleciach (XVIII-XXI), (Stopa-Boryczka M., Boryczka J.), 2018), ss. 428	103
<b>TOMY XL-XLIII</b>		
XL	Anomalie klimatu w Europie w ostatnim tysiącleciu (X-XXI), (Boryczka J., Stopa-Boryczka M.), 2018, ss. 510	106
XLI	Anomalie temperatury powietrza w Europie w ostatnich stuleciach (XVIII-XXI) (Boryczka J., Stopa-Boryczka M.), 2020, ss. 606	110
XLII	<i>Anomalie temperatury powietrza w Europie w tysiącleciu 1500-2500</i> (Stopa-Boryczka M., Boryczka J.), 2020, ss. 406	113
XLIII	<i>Anomalie klimatu Ziemi w ostatnich tysiącleciach (-110 00 BP- 2020 AD)</i> (Stopa-Boryczka M.), Boryczka J.), 2021, ss. 312	5
IV.	<b>METODY STATYSTYCZNE ZASTOSOWANE W MODELACH PRZESTRZENNYCH ZMIAN KLIMATU ZIEMI</b>	121
4.1.	Aproksymacja pól zmiennych meteorologicznych wielomianami regresji względem $\varphi$ , $\lambda$ , $H$	121
4.2.	Aproksymacja pól zmiennych klimatologicznych hiperplaszczyną główną i elipsoidą prawdopodobieństwa	130
V.	<b>METODY STATYSTYCZNE ZASTOSOWANE W BADANIACH CZASOWYCH ZMIAN KLIMATU ZIEMI</b>	134
5.1.	Metoda „sinusoid regresji” J. Boryczki wyznaczania okresów zmiennych przyrodniczych, interferencja cykli, modulacja	135
5.2.	Weryfikacja prognoz zmian klimatu Europy w XXI wieku	150
5.3.	Rekonstrukcja i prognozy temperatury powietrza w Polsce w tysiącleciu 1500-2500	158

VI.	METODY BADAŃ ASTRONOMICZNYCH PRZYCZYŃ ZMIAN KLIMATU ZIEMI	161
6.1.	Wyznaczenie sum dobowych promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^\circ\text{N}$ według zmian eliptycznej orbity Ziemi	161
6.2.	Wyznaczenie parametrów Układu Słonecznego	164
VII.	PRAWDOPODOBIENSTWO ANOMALII KLIMATU W EUROPIE	176
7.1.	Identyfikacja anomalii termicznych (Atlas XL)	170
7.2.	Anomalie klimatu według grubości słoju drzew (IX- XX)	174
7.3.	Rozkład prawdopodobieństwa – histogram, dystrybuanta (Atlas XLI)	176
7.4.	Profile równoleżnikowe, południkowe i hipsometryczne temperatury powietrza w latach 1900-2018 – wielomiany regresji 3-go stopnia $T$ względem $\varphi, \lambda, H$	180
VIII..	PROMOCJA WYNIKÓW BADAŃ PRZEZ PROFESORÓW RÓŻNYCH SPECJALIZACJI	182
IX.	PROMOCJA METODY SINUSOID REGRESJI J. BORYCZKI W KATEDRZE INŻYNIERII LEŚNEJ AKADEMII IM. AUGUSTA CIESZKOWSKIEGO W POZNANIU	191
9.1.	Opracowanie strategii ochrony obszarów mokradlowych na terenie leśnych kompleksów promocyjnych na przykładzie LKP Lasy Rychtałskie. . .	191
9.2.	Kompleksowa metodyka oceny stosunków wodnych w lasach	193

## I. WPROWADZENIE

*Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* (42 tomy; I – 1974 i XLII, 2020) należy traktować jako podsumowanie ważniejszych wyników badań w zakresie modeli empirycznych przestrzennych i czasowych zmian klimatu Europy, ze szczególnym uwzględnieniem Polski. Kolejne tomy Atlasu ukazujące się w druku od ponad 45 lat: tom I, 1974) – opublikowany w roku 1974, a tom XLII w 2020) różnią się między sobą zarówno problematyką badań, jak też zastosowaniem oryginalnych metod statystycznych modelowania zmian klimatu.

W rozdziale III. pt. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce (kolejne tomy T.I, 1974 – T. XII, 2020)* przedstawiono zarysy problemów badawczych, spisy treści z numerami stron i ważniejsze wyniki badań klimatu. Szczególne znaczenie mają modele przestrzenne aproksymacji pól zmiennych meteorologicznych równaniem hiperpłaszczyzny regresji i wielomianem regresji 4-go stopnia względem szerokości geograficznej ( $\varphi$ ), długości ( $\lambda$ ) i wysokości nad poziomem morza ( $H$ ).

Najpierw opisano empirycznymi wzorami pola zmiennych meteorologicznych w Polsce w tomach I (1974) -VI (1990), a później na obszarze całej Europy w VIII (1994) i t. XIX (2005). Nowością w badaniach przestrzennych zmian klimatu Europy (i Polski) stanowią mapy izogradientów horyzontalnych  $\vec{\Gamma} = \left[ \frac{\partial T}{\partial \varphi}, \frac{\partial T}{\partial \lambda} \right]$  składowych południkowej  $\frac{\partial T}{\partial \varphi}$  i równoleżnikowej  $\frac{\partial T}{\partial \lambda}$  (wyrażonych także w  $^\circ\text{C}/100\text{ km}$ ) oraz hipsometrycznych  $\frac{\partial T}{\partial H}$  wyznaczonych z wielomianów regresji 4. stopnia  $T = f(\varphi, \lambda, H)$ . Gradienty horyzontalne na poziomie morza  $\vec{\Gamma}$  na poziomie rzeczywistym  $\vec{\gamma}$  są wektorami – o odpowiednich kierunkach i zwrotach (na mapach strzałki) oraz długości. Wprowadzenie

do wzorów empirycznych trzeciej współrzędnej położenia – wysokości nad poziomem morza  $H$  pozwala na wyodrębnienie stref oddziaływania Oceanu Atlantyckiego i Morza Bałtyckiego.

O przejściowości klimatu Polski świadczy m.in. zmiana znaku gradientu równoleżnikowego ( $\frac{\partial T}{\partial \lambda} = a_2$ ) temperatury powietrza w ciągu roku, z ujemnego zimą ( $a_2 < 0$ ) na dodatni latem ( $a_2 > 0$ ) – w równaniu hiperpłaszczyzny regresji (1)

$$T = a_0 + a_1 \varphi + a_2 \lambda + a_3 H \quad (1)$$

Wielomiany regresji 4. stopnia umożliwiają również oszacowanie z dużą dokładnością wartości np. temperatury, opadów tam, gdzie nigdy nie prowadzono pomiarów. Aproksymacja pól zmiennych meteorologicznych przede wszystkim wielomianami wyższych stopni względem współrzędnych geograficznych, które są jednocześnie czynnikami geograficznymi determinującymi klimat, okazały się dobrym narzędziem badań klimatu.

O aktywności naukowej w zakresie zmian klimatu Polski i Europy, cykliczności, tendencji i prognoz w XXI wieku informują inne tomy (VII, IX, XX-XXI, XXIII, XXV, XXXI-XXXII, XXXIII, XXXVI, XXXVII, XXXVIII-XXXIX) opublikowane w latach 1992, 1995-2010, 2014, 2015, 2017, 2017, 2018.

Prace identyfikujące przyczyny naturalnych ochłodeń i ociepleń klimatu w XVIII-XX wieku przyniosły postęp w badaniach zmian klimatu Ziemi. Wykazanie analogicznej cykliczności skutków i domniemanych przyczyn umożliwiło opracowanie prognoz zmian klimatu Europy, z wyodrębnieniem Polski.

Na uwagę zasługują przede wszystkim modele wiekowych zmian klimatu, będące wypadkową interferencji cykli obecnych w widmach zmiennych meteorologicznych, dendrologicznych i innych, wyznaczonych metodą *sinusoid regresji* (Boryczka, 1998), które umożliwiły rekonstrukcję i prognozę zmian klimatu do końca XXI wieku, a także w przyszłych stuleciach.

Prognozowano według wypadkowej  $F(t)$  interferencji  $k$  najistotniejszych statystycznie („najsilniejszych”) cykli o okresie  $\theta_j$ , amplitudzie  $b_j$  i fazie  $c_j$ , gdzie składnik liniowy  $at$  charakteryzuje na ogół antropogeniczną część trendu czasowego (2)

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

Prognozy zmian temperatury powietrza w 40 miejscach Europy, opracowane na podstawie długich serii pomiarów, opublikowano w 3 tomach *Atlasu*: zima i lato (t. XVII, Boryczka i in., 2003), styczeń i lipiec (t. XIX, Boryczka i in., 2005) oraz rok (t. XX-XXI, Stopa-Boryczka i in., 2007) oraz prognozy w Warszawie w kolejnych miesiącach według danych z lat 1779-2015 (t. XXXVI, Boryczka i in., 2017).

Prognozy temperatury powietrza w Europie na podstawie interferencji wykrytych cykli (składników deterministycznych) są dość wiarygodne. Zweryfikowano najwcześniejsze prognozy temperatury powietrza w Warszawie (z roku 1984) i późniejsze w innych miejscach Europy: środkowa Anglia, Greenwich, Paryż, Berlin, Moskwa, Sztokholm i Rzym. Wykazano na ogół synchroniczność przebiegów (koincydencję ekstremów) wartości temperatury zmierzonych  $T$  i prognozowanych dawniej  $F(t)$  (ekstrapolowanych poza przedział aproksymacji) oraz istotną korelację (według testów Fishera-Snedecora i t-Studenta).

Istotnym ogniwem w badaniach naukowych i kształceniu klimatologów w zakresie naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu w różnych skalach przestrzennych

i czasowych są również prace magisterskie, a skróty kilkudziesięciu z nich zamieszczono w tomach od XXII (2008) do XXX (2013).

W rozdziale IV. *Metody statystyczne zastosowane w modelach przestrzennych zmian klimatu Ziemi* zdefiniowano równania prostych, płaszczyzn, hiperpłaszczyzn i wielomianów regresji 4. stopnia, aproksymujące pola zmiennych meteorologicznych i podano algorytmy ich wyznaczania (Excel 2007) – z zastosowaniem rachunku macierzowego (4.1). Zdefiniowano też hiperpłaszczyznę główną, aproksymującą punkty empiryczne (wg minimum sumy kwadratów odległości) oraz elipsoidę prawdopodobieństwa wielowymiarowego rozkładu normalnego (4.2).

W rozdziale V. *Metody statystyczne zastosowane w badaniach czasowych zmian klimatu Ziemi* (5.1. *Wyznaczenie okresów zmiennych przyrodniczych metodą sinusoid regresji J. Boryczki*) podano przykłady jej zastosowania, także w przypadkach serii pomiarów o różnych odstępach czasu. Ponadto zweryfikowano np. prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie sprzed 35 lat i późniejsze w innych miastach Europy (5.2).

Istotne znaczenie ma także rozdz. VI. *Metody badań astronomicznych przyczyn zmian klimatu Ziemi* (6.1. *Wyznaczenie sum dobowych sum promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ N$  według zmian eliptycznej orbity Ziemi* i 6.2. *Wyznaczenie parametrów Układu Słonecznego*).

Promocji wyników badań w *Przedmowach Atlasu* (rozdz. VII) dokonali profesorowie różnych specjalizacji: prof. dr Wincenty Okołowicz, prof. dr hab. Zdzisław Mikulski i prof. dr Jerzy Kondracki. Wyniki badań ocenione zostały również pozytywnie w pracy habilitacyjnej dr hab. Jerzego Cyberskiego (1995) oraz w publikacjach prof. dr hab. Krzysztofa Kożuchowskiego, prof. dr hab. Andrzeja A. Marsza i prof. dr hab. Bogusława M. Kaszewskiego

## **II. CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA WYDAWNICZEJ SERII ATLASU ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO**

*Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, którego kolejne tomy ukazują się w druku od około 50 lat, można już traktować jako zakładową serię wydawniczą. Tom I opublikowano w roku 1974, a tom XLIII w 2021. 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 aktywności naukowej w zakresie zmian klimatu Polski i Europy, cykliczności, tendencji i prognoz w XXI wieku informują pozostałe tomy (VII, IX - XX-XXI, XXIII, XXV, XXXI-XXXIII i XXXVI) opublikowane w latach 1992, 1995-2007, 2009, 2010 i 2014-2017.

Prace identyfikujące przyczyny naturalnych ochłódzeń i ociepleń klimatu w XVIII-

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
- Weryfikacja prognoz okresowych zmian klimatu Europy

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 ponad 150 prac magisterskich dotyczących poszczególnych elementów klimatu, z wyróżnieniem warunków termicznych, opublikowanych w kolejnych tomach : XXII-XXX *Atlasu* w latach 2008-2013. Ponadto Atlasy zawierają wyniki badań prowadzonych przez pracowników i studentów Zakładu Klimatologii w różnych skalach przestrzennych i czasowych: Europa, Polska, Mazowsze, Kotlina Warszawska, Równina Warszawska, Warszawa.

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 (2009) – *Klimat Warszawy i innych miast Polski, Studia porównawcze*. XXV (2010) – *Zmiany klimatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku*, XXXI-XXXII (2014) – *Modele empiryczne przestrzennych i czasowych zmian klimatu Europy z wyodrębnieniem Polski (ważniejsze wyniki badań)*. XXXIII (2015) – *Zmiany wiekowe klimatu Europy z uwzględnieniem prognoz w XXI wieku i ich weryfikacja*, XXXVI (2017) – *Postęp badań zmian klimatu Ziemi w ostatnim tysiącleciu (XI-XXI)*.

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*).



## Materiały źródłowe

Przed przystąpieniem do prezentacji kolejnych 39 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 1-9.

**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.** Stacje meteorologiczne dla których sporządzono 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	Poczdami	1893-1992	100
Anglia	1659-1973	315	Colombo	1869-1980	111
Genewa	1768-1980	213	Spistbegen	1912-1975	63

**Tabela 3.** Zmiany długookresowe opadów atmosferycznych w Polsce (XIX-XX w.) – Tom: VII, 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 4.** Stacje meteorologiczne w Europie, ich współrzędne : szerokość geograficzna  $\varphi$ , długość  $\lambda$  i wysokość nad poziomem morza  $H$

Miejscowość	Okres	$\varphi$	$\lambda$	$H$	
Strefa I, $\varphi \geq 60^\circ N$					
1	Akureyri	1882-018	65°41' N	18°5' W	27
2	Trondheim	1761-2018	63°24' N	10°30' E	133
Strefa II, $55^\circ N \leq \varphi \leq 60^\circ N$					
3	Oslo	1816-2018	59°57' N	10°43' E	96
4	Sztokholm	1756-2018	59°34' N	18°06' E	44
5	Tallinn	1779-2018	59°23' N	24°35' E	34
6	Kopenhaga	1768-2018	55°37' N	12°39' E	5
7	Moskwa	1779-2018	55°50' N	37°37' E	156
Strefa III, $N \leq \varphi \leq 55^\circ N$					
8	Londyn	1660-2018	51,5	-0,08	27
9	Greenwich	1763-2018	51°30' N	0°00	312
10	Berlin	1769-2018	52°28' N	13°18' E	58
11	Warszawa	1779-2018	52°13' N	21°02' E	110
12	Wilno	1778-2018	54,63	25,1	112
13	Praga	1771-2018	50°06' N	14°15' E	365
14	Wrocław	1792-2018	51°08' N	16°59' E	116
15	Kraków	1827-2018	50°04' N	19°57' E	221
16	Kijów	1812-2018	50°24' N	30°34' E	167
Strefa IV, $45^\circ N \leq \varphi \leq 50^\circ N$					
17	Paryż	1757-2018	48°58' N	2°27' E	65
18	Wiedeń	1761-2018	48°15' N	16°22' E	200
19	Innsbruck	1777-2018	48°24' N	17°09' E	207
20	Lwów	1824-2018	49°49' N	23°57' E	323
21	Bazylea	1755-2018	47,60°	7,60° W	245
22	Zurych	1864-2018	47°23' N	8°34' E	569
23	Budapeszt	1780-2018	47°31' N	19°02' E	129
24	Genewa	1768-2018	46°15' N	6°08' E	416
25	Odessa	1821-2018	46,43`	30°46' E	42
Strefa V, $\varphi \leq 45^\circ N$					
26	Marsylia	1838-2018	43°27' N	5°14' E	36
27	Rzym	1798-2018	41°48' N	12°36' E	46
28	Madryt	1880-2018	40,378° N	3,789° W	667
29	Tbilisi	1881-2018	41,68	44,95	491
30	Ateny	1858-2018	37°58' N	23°43' E	107

**bela 5.** 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 6.** Rozmieszczenie badanych drzew w Europie w różnych przedziałach czasu

Rodzaje drzew (miejsce)	Przedział czasu	Rodzaje drzew (miejsce)	Przedział czasu
<b>Sosna</b>		<b>Modrzew</b>	
<i>Pinus sylvestris</i>		Berchtesgaden (Niemcy)	1339-1947
Forfjordalen (Norwegia)	877-1994	Les Merveilles 1 (Francja)	1187-1974
Karhupesakivi (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	<b>Jodla</b>	
Siete, Picos ( Hiszpania)	1527-1988	Fodara Vedla (Włochy)	1474-1990
Vikran (Norwegia)	1599-1992	Prayo Magno (Włochy)	1540-1973
<b>Pinus nigra</b>		<b>Dąb</b>	
Puerto Llano (Hiszpania)	1585-1985	<i>Quercus robur</i>	
Riscopal (Hiszpania)	1523-1988	Hamburg (Niemcy)	1340-1967
Tajo (Hiszpania)	1610-1988	<i>Quercus petraea</i>	
Torretton, (Hiszpania)	1485-1988	Ardeny (Belgia)	1118-1986
<b>Świerk</b>		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 7.** 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)

**Tabela 8.** 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

Wyniki pomiarów temperatury powietrza w Warszawie (1779-1979 – Obserwatorium Astronomiczne, 1951-2015 – Okęcie) pochodzą z archiwum Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Średnie miesięczne wartości z pozostałych stacji z lat 1951-2012 (tylko z Paryża do 2011) wzięto z bazy danych ze strony internetowej European Climate Assessment and Dataset (ECA&D). Niektóre dane zebrane do *Atlasu* pochodzą ze strony internetowej National Climatic Data Center stanowiącego część sieci GHCN. pod adresem: <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/ghcn/v2/v2.mean> (notatnik).

Natomiast niektóre dane z lat wcześniejszych pobrano ze strony [http://data.giss.nasa.gov/gistemp/station\\_data/](http://data.giss.nasa.gov/gistemp/station_data/).

W weryfikacji prognoz zmian temperatury powietrza w Europie (zima, lato, styczeń, lipiec, rok) wykorzystano późniejsze wyniki pomiarów – średnie miesięczne wartości temperatury powietrza w 10 miejscowościach (tab. 9).

**Tabela 9.** Stacje meteorologiczne w Europie oraz przedziały czasu średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza według których weryfikowano dotychczasowe prognozy

	Miasto	Przedział czasu		Miasto	Przedział czasu
1	Londyn (Gatwick),	1951-2012	6	Sztokholm	1951-2012
2	Paryż	1951-2011	7	Zurych	1951-2012
3	Berlin (Dahlem)	1951-2012	8	Rzym	1951-2012
4	Warszawa (Okęcie)	1951-2016	9	Wiedeń	1951-2012
5	Moskwa	1951-2012	10	Kijów	1951-2012

Zmiany aktywności Słońca w latach 1700-2010 określono na podstawie średnich miesięcznych liczb Wolfa w latach 1749-2010 (Royal Observatory of Belgium, 2011) i rocznych liczb Wolfa z lat 1700-1748 (Reznikov, 1982).

Dane o zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniach lodowych z półkuli północnej pochodzą z odwiertów: Greenland Ice Sheet Project, GISP, rdzeń B i D, Devon Ice Cap, National Climatic Data oraz Center National Snow and Ice Data Center. Dane dendrologiczne pochodzą ze strony internetowej: <http://www.noaa.gov/paleo/treering.htm>.

W weryfikacji prognoz temperatury powietrza w Warszawie w zimie wzięto także po uwagę modele globalnego ocieplenia w XXI wieku (ENSEMBLE, 2012).

### Metody 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 „sinusoid regresji” J. Boryczki (1998)
- 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: izokorelat, 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 konsekwentne 11-letnie wartości zmiennych klimatologicznych i astronomicznych

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, XXVI-XXVII – 2012, XXVIII – 2012, XXIX – 2013, XXX – 2013, XXXI-XXXII – 2014, XXXIII – 2015, XXXIV – 2016, XXXV – 2016 i XXXVI – 2017, XXXVII – 2017, XXXVIII-XXXIX – 2018, XL – 2018, XLI – 2020, XLII – 2020, XLIII – 2021.

Największy odstęp czasu między kolejnymi pozycjami wynosi 6 lat (między III i IV), a najmniejszy pół roku (między datami wydania tomów XII i XIII, XXIV i XXV oraz XXIX i XXX w tym samym roku. Kolejne tomy były wydawane średnio co 1-2 lata. Liczbę stron kolejnych tomów od t. I (1974) do t. XL (2018) podano w tab. 10.

**Tabela 10.** Charakterystyka poszczególnych tomów *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* (1974-2017)

**Table 10.** Characteristic of *Atlas of independence of meteorological and geographical parameters in Poland* (1974-2017)

Tom	Rok	Stron	Tom	Rok	Stron	Tom	Rok	Stron
Tom I	1974	276	Tom XIII	1999	283	Tom XXVI-XXVII	2012	596
Tom II	1976	455	Tom XIV	2000	209	Tom XXVIII	2012	470
Tom III	1980	322	Tom XV	2001	249	Tom XXIX	2013	443
Tom IV	1986	510	Tom XVI	2002	212	Tom XXX	2013	550
Tom V	1989	284	Tom XVII	2003	297	Tom XXXI-XXXII	2014	422

Tom VI	1990	334	Tom XVIII	2004	217	Tom XXXIII	2015	444
Tom VII	1992	439	Tom XIX	2005	184	Tom XXXIV	2016	462
Tom VIII	1994	406	Tom XX-XXI	2007	266	Tom XXXV	2016	415
Tom IX	1995	322	Tom XXII	2008	332	Tom XXXVI	2017	407
Tom X	1997	220	Tom XXIII	2009	383	Tom XXXVII	2017	444
Tom XI	1998	258	Tom XXIV	2010	333	Tom XXXVIII-XXXIX	2018	428
Tom XII	1999	255	Tom XXV	2010	418	Tom XL	2018	510
						Tom XLI	2020	606
						Tom XLII	2020	406
						Tom XLIII	2021	312

• Promocji kolejnych tomów *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* w *Przedmowach* dokonali: Prof. **Wincenty Okolowicz** (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, przed 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 wnioskuje 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 sondáže 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.

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.

### III. ATLAS WSPÓŁZALEŻNOŚCI PARAMETRÓW METEOROLOGICZNYCH I GEOGRAFICZNYCH W POLSCE (TOMY I, 1974 – XLIII, 2021)

#### I. Związki korelacyjne między elementami meteorologicznymi i czynnikami geograficznymi w Polsce

**Tom I.** Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1974, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce **pt. Związki korelacyjne między elementami meteorologicznymi i czynnikami geograficznymi w Polsce** (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, ss. 276 (brak podtytułu na okładce)

Praca zawiera mapy izarytm podstawowych elementów meteorologicznych (półroczne 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.

**Tabela 1** Parametry meteorologiczne, ich symbole i jednostki  
Meteorological parameters, their notation and units used

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 <sup>3</sup>
10	$S$	Entropia	J/gK
11	$e$	Ciśnienie pary wodnej	hPa
12	$\rho'$	Wilgotność bezwzględna	g/m <sup>3</sup>
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 <sup>2</sup> s
19	$M'$	Poziomy strumień pary wodnej	kg/m <sup>2</sup> s
20	$N$	Zachmurzenie	1/10
21	$O$	Opady atmosferyczne	mm
22	$L_{\text{cz}}$	Dni pogodne	liczba dni
23	$L_{\bullet}$	Dni pochmurne	liczba dni
24	$L_0$	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	$L_c$	Liczba cisz	l.p.

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).

## SPIS TREŚCI (I)

PRZEDMOWA	5
I. WSTĘP	7
II. ZALEŻNOŚĆ PARAMETRÓW METEOROLOGICZNYCH OD WSPÓŁRZĘDNYCH GEOGRAFICZNYCH NA OBSZARZE POLSKI	23
1. Temperatura powietrza	25
2. Dobowa amplituda temperatury powietrza	30
3. Maksymalna temperatura powietrza	35
4. Minimalna temperatura powietrza	40
5. Energia wewnętrzna powietrza	45
6. Enthalpia	50
7. Ciśnienie atmosferyczne	55
8. Temperatura potencjalna	60
9. Gęstość powietrza	65
10. Entropia	70
11. Ciśnienie pary wodnej	75
12. Wilgotność bezwzględna	80
13. Wilgotność właściwa	85
14. Wilgotność względna	90
15. Niedosyt wilgotności	95
16. Temperatura ekwiwalentna	100
17. Prędkość wiatru	105
18. Poziomy strumień powietrza	110



19.	Poziomy strumień pary wodnej	115
20.	Zachmurzenie	120
21.	Opad atmosferyczny	125
22.	Dni pogodne	130
23.	Dni pochmurne	135
24.	Dni z opadem	140
25.	Dni z mgłą	145
26.	Dni z wiatrem silnym	150
27.	Liczba cisz	155
III.	ZWIĄZKI KORELACYJNE MIĘDZY PARAMETRAMI METEOROLOGICZNYMI NA OBSZARZE POLSKI	167
1.	Temperatura powietrza i ciśnienie atmosferyczne	169
2.	Temperatura powietrza i prędkość wiatru	172
3.	Temperatura i wilgotność względna powietrza	175
4.	Temperatura i niedosyt wilgotności powietrza	178
5.	Temperatura powietrza i zachmurzenie	181
6.	Temperatura powietrza i opad	184
7.	Dobowa amplituda temperatury i ciśnienie atmosferyczne	189
8.	Dobowa amplituda temperatury i prędkość wiatru	192
9.	Dobowa amplituda temperatury i wilgotność względna	195
10.	Dobowa amplituda temperatury i niedosyt wilgotności	198
11.	Dobowa amplituda temperatury i zachmurzenie	201
12.	Dobowa amplituda temperatury i opad	204
13.	Wilgotność względna i niedosyt wilgotności powietrza	209
14.	Wilgotność względna powietrza i zachmurzenie	212
15.	Wilgotność względna powietrza i opad	215
16.	Niedosyt wilgotności powietrza i zachmurzenie	218
17.	Niedosyt wilgotności powietrza i opad	221
18.	Zachmurzenie i opad	230
19.	Ciśnienie atmosferyczne i prędkość wiatru	237
20.	Ciśnienie atmosferyczne i wilgotność względna powietrza	240
21.	Ciśnienie atmosferyczne i niedosyt wilgotności powietrza	243
22.	Ciśnienie atmosferyczne i zachmurzenie	246
23.	Ciśnienie atmosferyczne i opad	249
24.	Prędkość wiatru i wilgotność względna powietrza	252
25.	Prędkość wiatru i niedosyt wilgotności powietrza	259
26.	Prędkość wiatru i zachmurzenie	262
27.	Prędkość wiatru i opad	265
	LITERATURA	273

## II. Zależność elementów meteorologicznych od czynników geograficznych w Polsce

**Tom II.** Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1976, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Zależność elementów meteorologicznych od czynników geograficznych w Polsce** (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, 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	3
I.	WSTĘP	5
II.	GEOGRAFICZNE GRADIENTY PARAMETRÓW METEOROLOGICZNYCH I ICH ZMIANY ROCZNE	27
1.	Temperatura powietrza	29
2.	Maksymalna temperatura powietrza	44
3.	Minimalna temperatura powietrza	59
4.	Dobowa amplituda temperatury powietrza	74
5.	Energia wewnętrzna powietrza	69
6.	Entalpia	104
7.	Ciśnienie atmosferyczne	119
8.	Temperatura potencjalna	134
9.	Gęstość powietrza	149
10.	Entropia	164
11.	Ciśnienie pary wodnej	179
12.	Wilgotność bezwzględna	194
13.	Wilgotność właściwa	209
14.	Wilgotność względna	224
15.	Niedosyt wilgotności	239
16.	Temperatura ekwiwalentna	254
17.	Prędkość wiatru	269
18.	Poziomy strumień powietrza	284
19.	Poziomy strumień pary wodnej	299
20.	Zachmurzenie	314
21.	Opad atmosferyczny	329
22.	Dni z wiatrem silnym	344
23.	Liczba cisz	359
24.	Dni pogodne	374

25.	Dni pochmurne	389
26.	Dni z mgłą	404
27.	Dni z opadem	419
28.	Dni z burzą	434
29.	Dni z gradem	437
30.	Dni z opadem $\geq 10,0$ mm	440
III.	ZAKOŃCZENIE	443

### III. Geograficzne gradienty parametrów wilgotności powietrza w Polsce

**Tom III.** Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1980, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Geograficzne gradienty parametrów wilgotności powietrza w Polsce** (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, 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 przecięcia w pobliżu średnich arytmetycznych, co wskazuje na rozkład zbliżony do normalnego.

Największe, znaczenie praktyczne mają równania prostych, płaszczyzn i hiperpłaszczyzn regresji  $e, \rho, q, \Delta, f$  względem współrzędnych geograficznych  $\varphi, \lambda, H$  – wzory zestawione pod mapami. Równania hiperpłaszczyzn regresji

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

można wykorzystać w prognozach klimatologicznych. Wstawiając do nich współrzędne  $(\varphi_0, \lambda_0, H_0)$  danej miejscowości można określić dość dokładnie wartości ciśnienia pary wodnej  $e$ , wilgotności bezwzględnej  $\rho$ , właściwej  $q$ , niedosytu wilgotności  $\Delta$  i wilgotności względnej  $f$  w poszczególnych miejscowościach. Współczynniki regresji wielokrotnej  $\frac{\partial y}{\partial \varphi} = a_1, \frac{\partial y}{\partial \lambda} = a_2, \frac{\partial y}{\partial H} = a_3$  – to geograficzne gradienty parametrów wilgotności  $y$ . Gradienty horyzontalne  $\frac{\Delta y}{\Delta \varphi}$  i  $\frac{\Delta y}{\Delta \lambda}$  wyrażają zmiany badanych parametrów wilgotności powietrza, ze wzrostem szerokości i długości geograficznej  $\Delta \varphi, \Delta \lambda$  o  $1^\circ$ . Gradienty zaś hipsometryczne  $\frac{\Delta y}{\Delta H}$  określają wzrost lub spadek (zależnie od znaku) danego parametru wilgotności o 100 m. Na przykład zależność wilgotności bezwzględnej od  $\varphi, \lambda, H$  na obszarze Polski w lipcu przedstawia równanie

$$\rho = -0,181978 \varphi + 0,062250 \lambda - 0,294758 H + 20,441$$

Prof. Zdzisław Mikulski w *Przedmowie* z kwietnia 1978 r. stwierdza, że *jest to kompendium wiedzy o wilgotności powietrza w Polsce*. Ocenia 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	3
I. WSTEP	7
II. ZALEŻNOŚĆ PARAMETRÓW WILGOTNOŚCI POWIETRZA OD WSPÓŁRZĘDNYCH GEOGRAFICZNYCH W	31
1. Ciśnienie pary wodnej	33
2. Wilgotność bezwzględna	85
3. Wilgotność właściwa	143
4. Niedosyt wilgotności powietrza	198
5. Wilgotność względna	253
III. ZAKOŃCZENIE	398

### IV. Klimat północno-wschodniej Polski

**Tom IV.** Stopa-Boryczka M., Martyn D., Boryczka J., Wawer J., Ryczywolska E., Kopacz-Lembowicz M., Kossowska-Cezak U., Lenart W., Danielak D., Styś K., 1986), Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Klimat północno-wschodniej Polski** (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, 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 dobową, roczną, daty początku i czas trwania termicznych pór roku, okres wegetacyjny, liczba dni z przymrozkami, okres bezprzymrozkowy, 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 izarytm. Równania hiperpłaszczyzn regresji względem szerokości ( $\varphi$ ) i długości ( $\lambda$ ) geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza ( $H$ ) określają gra-

dienty 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 100m 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. Zasluguje też na uwagę próba regionalizacji klimatycznej metodą izogradientów, analogiczną do zastosowanej w swoim czasie przez Eugeniusza Romera, oraz liczbową charakterystyką wydzielonych regionów.*

#### SPIS TREŚCI (IV)

PRZEDMOWA	3
I. WSTĘP	5
II. ROZKŁAD GEOGRAFICZNY ZMIENNYCH METEOROLOGICZNYCH – IZARYTMY, RÓWNIANIA REGRESJI	14
1. Pole temperatury powietrza	17
2. Pole wilgotności powietrza	144
3. Zachmurzenie	229
4. Pole opadów atmosferycznych	311
5. Pole prędkości wiatru	418
6. Fenologia	464
III. ZAKOŃCZENIE	490
SUMMARY	497
LITERATURA	503

#### V. Z badań klimatu Polski

**Tom V.** Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E., 1989, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Z badań klimatu Polski** (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, ss. 284

Za syntezę dotychczasowych 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  $\varphi = 52^\circ$ .*

## SPIS TREŚCI (V)

PRZEDMOWA	3
I. Z BADAŃ KLIMATU POLSKI ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO	5
II. ZMIANY ROCZNE PRZECIĘTNEGO STANU ATMOSFERY W POLSCE NA TLE STREF KLIMATYCZNYCH PÓŁKULI PÓŁNOCNEJ	15
1. Przebieg roczny zmiennych meteorologicznych	15
1.1. Promieniowanie i usłonecznienie rzeczywiste	16
1.2. Temperatura powietrza	18
1.3. Wilgotność powietrza	20
1.4. Zachmurzenie	21
1.5. Opad atmosferyczny	22
1.6. Ciśnienie atmosferyczne i gęstość powietrza	23
1.7. Prędkość wiatru	23
2. Zależność zmiennych meteorologicznych od szerokości geograficznej na półkuli północnej	24
III. TREND CZASOWY PÓŁ ZMIENNYCH METEOROLOGICZNYCH W POLSCE	50
1. Przebieg roczny zmiennych meteorologicznych w dziesięcioleciu 1951-1960 na tle trzydziestolecia 1951-1980	50
2. Pola zmiennych meteorologicznych w Polsce w latach 1951-1960 i 1951-1980	51
2.1. Pole temperatury powietrza	54
2.2. Pole wilgotności powietrza	56
2.3. Pole zachmurzenia	56
2.4. Pole opadów atmosferycznych	57
2.5. Pole prędkości wiatru	60
3. Wiekowe zmiany temperatury powietrza w latach 1779-1980 i opadów atmosferycznych w latach 1813-1980 w Warszawie	63
IV. GEOGRAFICZNE GRADIENTY PÓŁ ZMIENNYCH METEOROLOGICZNYCH W POLSCE I INNYCH SZEROKOŚCIACH PÓŁKULI PÓŁNOCNEJ	194
1. Sinusoidy roczne gradientów południkowych, równoleżnikowych i hipsometrycznych zmiennych meteorologicznych w latach 1951-1960 i 1951-1980	194
2. Zależność gradientów południkowych zmiennych meteorologicznych od szerokości geograficznej na półkuli północnej	212
V. ZAKOŃCZENIE	213
SUMMARY	258

LITERATURA	270
Wykaz prac z zakresu klimatu Polski opublikowanych przez pracowników Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego w latach 1952-1987.	273
Wykaz prac magisterskich dotyczących klimatu Polski wykonanych w Zakładzie Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego w latach 1952-1987	280

## VI. Wpływ Oceanu Atlantyckiego i ukształtowania powierzchni Ziemi na pole temperatury powietrza w Polsce

**Tom VI.** Stopa-Boryczka M, Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E., 1990, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Wpływ Oceanu Atlantyckiego i ukształtowania powierzchni Ziemi na pole temperatury powietrza w Polsce** (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, 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 (kąąt padania promieni słonecznych, długość dnia), równoleżnikowej – wywołanej cyrkulacją mas powietrza polarnego morskigo 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 morskigo 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  $0,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ) 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	3
I. WSTĘP	5
II. METODY BADAŃ KLIMATU POLSKI WPROWADZONE PRZEZ ZAKŁAD KLIMATOLOGII UW	7
III. MATEMATYCZNY MODEL POLA TEMPERATURY POWIETRZA W POLSCE	29
1. Aproksymacja pola temperatury powietrza wielomianami	30
2. Profile horyzontalne i hipsometryczny temperatury powietrza	33
a. Pole średnie temperatury	33
b. Pole gradientu temperatury	34
IV. ZALEŻNOŚĆ POLA TEMPERATURY POWIETRZA W POLSCE OD POŁOŻENIA GEOGRAFICZNEGO I WYSOKOŚCI NAD POZIOMEM MORZA	105
1. Gradienty południkowe temperatury powietrza w Polsce	106
2. Gradienty równoleżnikowe temperatury powietrza w Polsce	108
3. Gradienty hipsometryczne temperatury powietrza w Polsce	108
4. Nowe mapy izoterm w Polsce - z zastosowaniem wielomianów n-stopnia	110
5. Wpływ czynników lokalnych na pole temperatury powietrza według reszt wielomianowych	177
V. ASTREFOWOŚĆ POLA TEMPERATURY POWIETRZA W POLSCE – ODDZIAŁYWANIE OCEANU ATLANTYCKIEGO I UKSZTAŁTOWANIA POWIERZCHNI ZIEMI	182
1. Gradient horyzontalny temperatury powietrza w Polsce	183
2. Gradient horyzontalny temperatury powietrza w Polsce na poziomie rzeczywistym	186
3. Deformacja pola temperatury powietrza przez rzeźbę terenu	186
4. Lokalne spadki hipsometryczne temperatury powietrza (poprawki redukcyjne)	190
VI. ZAKOŃCZENIE	316
LITERATURA	324
SUMMARY	326

## VII. Zmiany wiekowe klimatu Polski

**Tom VII.** Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E., 1992, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Zmiany wiekowe klimatu Polski** (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, 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 Wolfą) – 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, a składnik antropogeniczny – to część liniowa  $at$  trendu czasowego. Współczynnik regresji cząstkowej  $a \geq 0$  wskazuje tendencję rosnącą zmian antropogenicznych.

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	5
I. WSTĘP	9
II. METODY BADAŃ ZMIAN KLIMTU WPROWADZONE PRZEZ ZAKŁAD KLIMATOLOGII UNWERSYTETU WARSZAWSKIEGO	11
1. Teoria analizy oscylacji i rzeczywistych okresów	13
2. Modelowanie naturalnych zmian klimatu	17
3. Modelowanie antropogenicznych zmian klimatu	18
III. CYKLICZNE ZMIANY AKTYWNOŚCI SŁOŃCA	29
1. Chronologiczny ciąg liczb Wolfa	29
2. Rzeczywiste cykle liczb Wolfa	32
3. Trend wiekowy aktywności Słońca	35
IV. ZMIANY OKRESOWE CYRKULACJI ATMOSERYCZNEJ	96
1. Cyrkulacja wschodnia	97
2. Cyrkulacja zachodnia	100
3. Cyrkulacja południkowa	103
V. TREND WIEKOWY TEMPERATURY POWIETRZA W POLSCE	280
1. Widma oscylacji temperatury powietrza	282
2. Naturalna i antropogeniczne zmiany temperatury powietrza	285
3. Prognoza temperatury powietrza w stuleciu XXI	287
VI. TREND WIEKOWY OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W POLSCE	349
1. Widma oscylacji opadów atmosferycznych	352
2. Naturalne i antropogeniczne zmiany opadów atmosferycznych	353
3. Prognoza opadów atmosferycznych w stuleciu XXI	356
VII. ZAKOŃCZENIE	416
SUMMARY	426
LITERATURA	434

## VIII. Cechy oceaniczne klimatu Europy

**Tom VIII.** Stopa-Boryczka M, Boryczka J., Wągrowaska M., Śmiałkowski J., 1994, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Cechy oceaniczne klimatu Europy** (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, 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:  $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $H$ ). Okazały się one dobrym narzędziem badań klimatu. W odróżnieniu od hiperpłaszczyzn regresji określają one nie tylko średnie cechy pola, lecz także zmienność regionalną i lokalną. Równanie hiperpłaszczyzny regresji (współczynniki regresji cząstkowej) określają średnie gradienty: południkowe, równoleżnikowe, hipsometryczne na badanym obszarze. Natomiast wielomiany regresji wyższych stopni określają lokalne gradienty: południkowe, równoleżnikowe, hipsometryczne w każdym punkcie badanego obszaru.

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  $0,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  (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 potraktowano 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	5
I. WSTĘP	7
II. METODY APROKSYMACJI POLA I WYZNACZANIA GRADIENTU	10
III. ZALEŻNOŚĆ TEMPERATURY POWIETRZA OD POŁOŻENIA GEOGRAFICZNEGO W EUROPIE	17
26	

1.	Profil południkowy temperatury powietrza	18
2.	Profil równoleżnikowy temperatury powietrza	19
3.	Profil hipsometryczny temperatury powietrza	19
4.	Profile amplitudy rocznej temperatury powietrza	20
IV.	EMPIRYCZNE RÓWNANIA POLA TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE	69
1.	Wielomiany regresji względem współrzędnych geograficznych	69
2.	Wielomiany regresji względem współrzędnych wyrażonych w kilometrach	72
V.	NOWE MAPY GRADIENTÓW TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE	122
1.	Średnie pole temperatury powietrza	123
2.	Izogradienty południkowe temperatury powietrza	124
3.	Izogradienty równoleżnikowe temperatury powietrza	126
4.	Izogradienty hipsometryczne temperatury powietrza	127
VI.	GRADIENTY HORYZONTALNE TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE	231
1.	Gradienty horyzontalne temperatury powietrza zredukowane do poziomu morza	233
2.	Strefy oddziaływania Oceanu Atlantyckiego na klimat Europy	235
3.	Gradienty horyzontalne temperatury powietrza na poziomie rzeczywistym	236
VII.	RESZTY WIELOMIANÓW REGRESJI JAKO MIARA WPŁYWU CZYNNIKÓW LOKALNYCH	336
1.	Deformacja pola temperatury przez rzeźbę terenu	337
2.	Deformacja pola temperatury przez miasta	339
VIII	ZAKOŃCZENIE	386
	SUMMARY	394
	LITERATURA	401

## IX. Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy

**Tom IX.** Stopa-Boryczka M, Boryczka J., Błażek E., Skrzypczuk J., 1995, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy** (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, ss. 322

Celem pracy jest określenie zakresu oddziaływania czynników naturalnych i sztucznych na pole temperatury powietrza w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem Warszawy.

Badania przeprowadzono pod kątem wpływu czynników geograficznych i antropogenicznych na pole temperatury powietrza w różnych skalach przestrzennych i czasowych. Najpierw opisano empirycznymi wzorami rozkłady temperatury powietrza w Europie w trzydziestoleciu 1931-1960, potem w Polsce w dziesięcioleciu 1951-1960. W ten sposób zbadano zależności temperatury powietrza od szerokości i długości geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza. Empiryczne wzory to wielomiany 4. stopnia, które umożliwiły wyznaczenie średnich gradientów w profilach południkowym, równoleżnikowym i hipsometrycznym.

Dynamikę zmian (tendencję czasową) pola temperatury powietrza wskazują różnice między średnimi z poszczególnych punktów (32 miast) i całej Polski obliczone dla poszczególnych miesięcy w dziesięcioleciach 1951-1960 i 1981-1990. Intensywność procesów cieplnych zachodzących w różnych porach doby i roku w pobliżu powierzchni Ziemi w wybranych miejscowościach Polski odzwierciedlają podstawowe charakterystyki temperatury powietrza: średnia dobowa ( $T$ ), maksymalna ( $T_{\max}$ ), minimalna ( $T_{\min}$ ) i dobowa amplituda temperatury ( $A$ ). Wpływ czynników lokalnych na pole temperatury powietrza w Polsce obrazują przebiegi roczne różnic zmierzonych i wyznaczonych z

równań sinusoid aproksymujących dane z poszczególnych stacji położonych w pobliżu większych miast.

Szczegółowe badania pod kątem wpływu czynników antropogenicznych na klimat lokalny przeprowadzono na przykładzie Warszawy, miasta nizinnego (85-110 m n.p.m.), położonego średnio na równoleżniku  $\varphi = 52^\circ\text{N}$ , umiarkowanej odległości ( $\lambda = 21^\circ\text{E}$ ) od Oceanu Atlantyckiego.

Miarami oddziaływania miasta na klimat lokalny są różnice między wartościami temperatury zmierzonymi w mieście i poza miastem oraz ich zależności od stanu atmosfery. Różnice takie wyznaczono w odniesieniu do całego miasta i wybranych fragmentów ze szczególnym uwzględnieniem Śródmieścia. Istotne znaczenie poznać ma określenie tempa nagrzewania i wychładzania terenów zabudowanych oraz terminów pojawiania i zanikania miejskiej wyspy ciepła. Ważne są także wartości progowe takich elementów, jak temperatura powietrza, zachmurzenie i prędkość wiatru, przy których deformacja pola temperatury powietrza jest największa.

Wpływ miasta na pole temperatury powietrza zależy głównie od pory doby i pory roku. Opisują go przebiegi dobowe i roczne oraz sinusoidy regresji wyznaczone z danych wszystkich stacji meteorologicznych całego miasta, fragmentów miasta o zabudowie zwartej i luźnej oraz terenów zieleni parkowej w latach 1961-1965. Najwięcej przykładów pochodzi z 1992 r., a dotyczą one zmian dobowych intensywności śródmiejskiej wyspy ciepła albo inaczej warunków meteorologicznych sprzyjających powstawaniu miejskiej wyspy ciepła w śródmieściu Warszawy (rys. 99-193). Materiałami źródłowymi w przypadku badań klimatu Warszawy są dane nie tylko ze stacji Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, lecz także wyniki pomiarów prowadzonych przez Zakład Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego w latach 1961-1965, 1969 i 1992. Poznane prawidłowości oddziaływania czynników geograficznych i antropogenicznych na pole temperatury powietrza w Polsce oraz próba ich oddzielenia mają istotne znaczenie w modelowaniu i prognozach przestrzenno-czasowych zmian warunków termicznych.

Innym istotnym problemem jest identyfikacja przyczyn naturalnych zmian klimatu, przedstawiona w rozdziale pt. „Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu miast w Europie w XVII-XXI wieku”. W tym celu porównano tzw. gęste widma oscylacji zmiennych astronomicznych (parametrów Układu Słonecznego, aktywności Słońca), zmiennych geologicznych (erupcji wulkanów) i zmiennych klimatologicznych (cyrkulacji atmosferycznej, temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, odpływów rzek).

W identyfikacji przyjęto zasadę, że widma oscylacji (rzeczywiste okresy) przyczyn i skutków powinny być zbliżone. Stwierdzono dwojakiego rodzaju wpływ parametrów Układu Słonecznego na klimat Ziemi:

1. parametry US – aktywność Słońca – cyrkulacja atmosferyczna
2. parametry US – erupcje wulkanów – promieniowanie

Wyodrębniono także składniki antropogeniczne (liniowe) trendów czasowych: temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, oddzielając zmienność naturalną (okresów). Dokonano tego na podstawie dostatecznie długich ciągów chronologicznych (200-300-letnich) rys. 202-207. Nowością są dwojakiego rodzaju prognozy tendencji zmian klimatu w XXI wieku: klimatologiczne – na podstawie gęstych widm oscylacji i astronomiczne wg zmian wiekowych parametrów Układu Słonecznego (rys. 206).

Obliczenia komputerowe były wykonane w Centrum Informatycznym Uniwersytetu Warszawskiego na maszynie elektronicznej IBM-3090 przez zespół pracowników: mgr Annę Górąj, mgr Teresę Desperat i mgr Grażynę Woźniakowską pod kierunkiem mgr Hanny Złomaniec. Autorzy serdecznie dziękują za modyfikację programów i poprawne wykonanie wszystkich obliczeń.

## SPIS TREŚCI (IX)

PRZEDMOWA	5
I. WSTĘP	9
II. ZASTOSOWANE METODY BADAŃ KLIMATU MIAST	12
1. Badanie zależności miejskiej wyspy ciepła od stanu atmosfery	13
2. Ekstrema roczne miejskiej wyspy ciepła i daty ich występowania	15
3. Oddzielenie deformacji pola temperatury powietrza przez ukształtowanie powierzchni Ziemi i miasta	16
III. WPLYW CZYNNIKÓW GEOGRAFICZNYCH NA POLE TEMPERATURY POWIETRZA	18
1. Profile temperatury powietrza w Europie	18
2. Profile temperatury powietrza w Polsce	20
IV. CECHY TERMICZNE KLIMATU MIAST W POLSCE	48
1. Zmiany roczne temperatury powietrza w latach 1951-1990	48
2. Przestrzenne zróżnicowanie temperatury powietrza w Polsce	50
V. DEFORMACJA POLA TEMPERATURY POWIETRZA PRZEZ MIASTO	106
1. Wpływ zabudowy na różnice temperatury powietrza między miastem i otoczeniem	107
2. Zależność różnic temperatury powietrza od stanu atmosfery	108
3. Wpływ miejskiej wyspy ciepła na procesy przewietrzania Warszawy	110
VI. ZMIANY DOBOWE MIEJSKIEJ WYSPY CIEPŁA W WARSZAWIE	165
1. Terminy powstawania i zaniku miejskiej wyspy ciepła	166
2. Intensywność miejskiej wyspy ciepła w godzinach wieczornych i nocnych	168
3. Warunki meteorologiczne sprzyjające powstawaniu miejskiej wyspy ciepła	170
VII. NATURALNE I ANTROPOGENICZNE ZMIANY KLIMATU MIAST W EUROPIE W XVII-XXI WIEKU	272
1. Metody identyfikacji przyczyn zmian klimatu	272
2. Wpływ parametrów Układu Słonecznego na aktywność Słońca, erupcje wulkanów i klimat Ziemi	275
3. Antropogeniczne zmiany klimatu w XVII-XXI wieku	282
VIII. ZAKOŃCZENIE	301
LITERATURA	309
SUMMARY	313

## X. Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie

**Tom X.** Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1997, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie** (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, ss. 220

Celem pracy jest określenie zakresu oddziaływania aktywności Słońca na cyrkulację atmosferyczną w Europie. Analizie statystycznej poddano ciągi chronologiczne: aktyw-

ności 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 przeniesienia nie jest obecnie dobrze znany. Hipotezy B. Haurwitza (1946) – o roli ozonu w strefie międzyzwrotnikowej w kształtowaniu ogólnej cyrkulacji atmosferycznej i L.R. Raki-powej (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	5
I. STAN BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU	7
1. Antropogeniczne zmiany klimatu	7
2. Naturalne zmiany klimatu	9
3. Prognoza zmian klimatu	11
II. NOWA METODA BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU	15
1. Teoretyczne podstawy analizy oscylacji i rzeczywistych cykli	15

2.	Ocena realności cykli w tzw. eksperymencie Monte Carlo	18
III.	CYKLICZNE WAHANIA I TENDENCJE AKTYWNOŚCI SŁOŃCA (1700-1993)	20
1.	Średnie i długie cykle liczb Wolfa	23
2.	Tendencja wiekowa aktywności Słońca	26
IV.	CYKLICZNE WAHANIA I TENDENCJE CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ W EUROPIE (wg klasyfikacji Wangenheima i Osuchowskiej-Klein)	72
1.	Cyrkulacja wschodnia (1891-1976)	73
2.	Cyrkulacja zachodnia (1891-1976)	76
3.	Cyrkulacja południkowa (1891-1976)	78
4.	Cyrkulacja cyklonalna (1901-1975)	80
5.	Cyrkulacja strefowa (1899-1984)	83
V.	ZAKOŃCZENIE	205
	LITERATURA	211
	SUMMARY	214

## XI. Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie

**Tom XI.** Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1998, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie** (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, 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<sub>2</sub>). 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	6
I	PROBLEMY BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU	7
II	ZASTOSOWANE METODY BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH WAHAŃ KLIMATU	16
1.	Wyznaczanie okresów metoda "sinusoid regresji"	17
2.	Modulacja cykli krótkich	19
3.	Zastosowania liczb losowych do ocen realności okresów	20
4.	Modelowanie naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu	22
III	WIELOOKRESOWE WAHANIA TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE	28
1.	Ogólne cechy pola temperatury powietrza w Europie	28
2.	Synchroniczność cykli temperatury powietrza, cyrkulacji atmosferycznej, aktywności Słońca i erupcji wulkanicznych	31
IV	OCIEPLENIE KLIMATU MIAST EUROPY W XVII-XX WIEKU I JEGO PRZYCZYNY	153
1.	Tendencje wiekowe temperatury powietrza	153
1.1.	Charakterystyka najdłuższych ciągów chronologicznych	153
1.2.	Trendy liniowe temperatury powietrza	157
V	ZAKOŃCZENIE	222
	LITERATURA	232
	SUMMARY	235
	ZAŁĄCZNIKI	240

## XII. Ocieplenia i ochłodzenia klimatu miast w Europie

**Tom XII.** Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wągrowaska M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1999, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Ocieplenia i ochłodzenia klimatu miast w Europie** (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, 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. Tendencji 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 styczeń jest cieplejszy 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. Lipiec są np. coraz cieplejszy: 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  $A = 0,01^\circ\text{C}/100$  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<sub>2</sub> 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: wyznaczenia 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 termicz-

nych w porach roku, półroczach i roku, w drugiej zaś w poszczególnych miesiącach.

## SPIS TREŚCI (XII)

I	PROFESOR JERZY KONDRACKI – WAŻNIEJSZE OPINIE	7
II	OCIEPLENIA I OCHŁODZENIA KLIMATU EUROPY W OSTATNICH STULECIACH	12
1.	Zarys klimatu minionych 2500 lat	12
2.	Coraz cieplejsze zimy w Europie w XIX i XX wieku	13
3.	Miejska wyspa ciepła jako przyczyna postępującego ocieplenia klimatu	16
III	TENDENCJE TEMPERATURY POWIETRZA MIAST W EUROPIE W XVII-XX WIEKU	19
1.	Postępujące ocieplenie jest większe zimą niż latem	20
2.	Postępujące ocieplenie i jego uwarunkowania	22
IV	CYKLICZNOŚĆ JAKO CECHA POLA TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE	96
1.	Cykl 8-letni i jego uwarunkowania	96
2.	Cykl 11-letni temperatury powietrza i plam słonecznych	99
3.	Planetarny 178,9-letni cykl temperatury powietrza	101
V	ZAKOŃCZENIE	243
	LITERATURA	248
	SUMMARY	252

### XIII. Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie

**Tom XIII.** Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1999, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie** (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, 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 tezę, 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.

necznego. 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  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  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	7
II	CYKLICZNE ZMIANY AKTYWNOŚCI SŁOŃCA W OSTATNICH STULECIACH (1700-1993)	14
1.	Daty minimów i maksimów plam słonecznych w cyklu 11-letnim	14
2.	Okresy liczb Wolfa wyznaczone metodą "sinusoid regresji"	17
3.	Okresy wiekowe i dwuwiekowe aktywności Słońca	18
III	CYKLICZNE WAHANIA OSCYLACJI PÓŁNOCNOATLANTYCKIEJ (NAO) W LATACH 1825-1997	21
1.	Okresowe zmiany Oscylacji Północnoatlantycznej	21
2.	Tendencje Oscylacji Północnoatlantycznej	24
IV	CYKLICZNE WAHANIA CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ W EUROPIE (1891-1984)	55
1.	Cykle cyrkulacji wschodniej	56
2.	Cykle cyrkulacji zachodniej	58
3.	Cykle cyrkulacji południkowej	59
		35

4.	Cykle cyrkulacji cyklonalnej	61
5.	Cykle cyrkulacji strefowej	63
V	OKRESOWE ZMIANY CIŚNIENIA ATMOSFERYCZNEGO W WARSZAWIE W TRZYDZIESTOLECIU 1966-1995	67
1.	Cykl roczny ciśnienia atmosferycznego	87
2.	Tendencje ciśnienia atmosferycznego	68
3.	Cykliczne zmiany ciśnienia atmosferycznego	69
VI.	OKRESOWE ZMIANY TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE W OSTATNICH STULECIACH (1659-1990)	133
1.	Cykle około 4-5-letnie temperatury powietrza	134
2.	Cykle około 7-8-letnie temperatury powietrza	135
3.	Cykle około 10-12-letnie temperatury powietrza	135
4.	Cykle około 100-200-letnie temperatury powietrza	138
VII.	OKRESOWE ZMIANY TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE W 30-LECIU (1966-1995) i 210-LECIU (1779-1990)	141
1.	Cykl roczny temperatury powietrza w Warszawie w latach 1966-1995 i 1779-1979	142
2.	Tendencja temperatury powietrza w 30-leciu 1966-1995 i 210-leciu 1779-1990	145
3.	Cykliczne zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1966-1995 i 1779-1990	146
VIII.	OKRESOWE ZMIANY OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W POLSCE (1850-1990)	248
1.	Wielookresowa zmienność opadów atmosferycznych	250
2.	Krótkookresowa zmienność opadów atmosferycznych (3,4-5,3 lat)	252
3.	Okres 11-letni sezonowych sum opadów	253
4.	Okresowość 28,5-43,5-letnia opadów (cykl Brücknera)	254
IX.	SYNCHRONICZNOŚĆ KRÓTKICH CYKLI KLIMATU MIAST W EUROPIE	256
1.	Okresowość około 4-letnia temperatury powietrza, opadów i cyrkulacji atmosferycznej	256
2.	Okresowość około 8-letnia temperatury powietrza, cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca	257
3.	Cykl około 11-letni temperatury powietrza, opadów i aktywności Słońca	259
4.	Nakładanie się cykli aktywności Słońca, cyrkulacji atmosferycznej, temperatury powietrza i opadów	261
X.	ZAKOŃCZENIE	265
	LITERATURA	272
	SUMMARY	276

#### **XIV. Prognozy zmian klimatu Warszawy**

**Tom XIV.** Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Lorenc H., Kicińska B. Błażek E., Skrzypczuk J., 2000, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Prognozy zmian klimatu Warszawy** (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, 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 ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) i zawartości substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych.

Najmroźniejsze zimy, o średniej temperaturze  $-7^{\circ}\text{C}$ , 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  $6,6^{\circ}\text{C}$  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 konsekwentnych 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  $\text{CO}_2$  (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 zbyt duże 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	7
II	POSTĘP BADAŃ ZMIAN KLIMATU W OSTATNICH DZIESIĘCIOLECIACH	11
III	ZMIANY AKTYWNOŚCI SŁOŃCA I STAŁEJ SŁONECZNEJ W XVIII-XX WIEKU	17
IV.	CYKLICZNE WAHANIA I TENDENCJA ZMIAN OSCYLACJI PÓŁNOCNOATLANTYCKIEJ (NAO) W XIX-XX WIEKU	40
V	WARSZAWSKA SERIA POMIARÓW TEMPERATURY POWIETRZA NA STACJI OBSERWATORIUM ASTRONOMICZNE W LATACH 1779-1997	66
1.	Dokumentacja historyczna prowadzonych pomiarów temperatury powietrza w Warszawie od 1779 roku	66
2.	Poprawki korygujące dotychczasową "serię warszawską" temperatury powietrza w latach 1779- 1997	70
3.	Zakres wahań temperatury powietrza w Warszawie (Obserwatorium) w latach 1779-1997	73
VI.	ZMIANY KLIMATU WARSZAWY W XVIII-XXI	97
1.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Warszawy i ich uwarunkowania	97
2.	Okresowa zmienność opadów atmosferycznych w Warszawie	102
3.	Tendencje zmian klimatu Warszawy	104
4.	Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku	106
VII.	STAN AEROSANITARNY WARSZAWY W ODNIESIENIU DO INNYCH MIAST POLSKI	176
1.	Przestrzenny rozkład stężenia dwutlenku siarki w Polsce	178
2.	Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na stężenia zanieczyszczeń powietrza (SO <sub>2</sub> )	179
3.	Rozkład prawdopodobieństwa stężenia zanieczyszczeń przy różnych kierunkach adwekcji powietrza	180
4.	Synchroniczne wahania stężeń zanieczyszczeń powietrza w Polsce	181
5.	Podobieństwo stanu zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki w poszczególnych regionach Polski przy różnych kierunkach adwekcji mas powietrza	188
6.	Zanieczyszczenie atmosfery a zdrowie i zgony mieszkańców Warszawy	193
VIII	ZAKOŃCZENIE	198
	LITERATURA	202
	SUMMARY	207

### **XV. Prognozy zmian klimatu miast Europy**

**Tom XV.** Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Błażek E., Skrzypczuk J., 2001, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Prognozy zmian klimatu miast Europy** (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, 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 cykle 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 .	7
II.	MODELOWANIE NATURALNYCH I ANTROPOGENICZNYCH ZMIAN KLIMATU W ATLASIE WSPÓLZALEŻNOŚCI PARAMETRÓW METEOROLOGICZNYCH I GEOGRAFICZNYCH W POLSCE (1974-2001)	9
III.	WPLYW CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ NA KLIMAT EUROPY	39
1.	Cykliczne wahania i tendencje cyrkulacji atmosferycznej w Europie (wg klasyfikacji Wangenheima i Osuchowskiej-Klein)	39
2.	Wpływ Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO) na klimat Polski	43
3.	Prognozy zmian Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO) w XXI wieku	44
3.1.	Widma wskaźnika <i>NAO</i> w latach 1825-1997	45
3.2.	Zmiany wskaźnika <i>NAO</i> w XVIII-XXI wieku	46
		39

IV.	OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU EUROPY ŚRODKOWEJ KSZTAŁTOWANE PRZEZ NIŻ ISLANDZKI I WYŻ AZORSKI .	82
1.	Widma temperatury powietrza w latach 1659-1998	82
2.	Prognozy temperatury powietrza w miastach Europy Środkowej (Warszawa, Kraków, Praga, Genua) w XXI wieku .	86
V.	POLE TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE A TYPY CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ	179
1.	Typy cyrkulacji atmosferycznej w Europie i kierunki adwekcji mas powietrza	179
2.	Typy cyrkulacji atmosferycznej w Polsce wg klasyfikacji Osuchowskiej-Klein	181
3.	Cechy termiczne klimatu Polski a typy cyrkulacji atmosferycznej .....	183
4.	Deformacja pola temperatury powietrza przez Ocean Atlantycki – odchylenia gradientów horyzontalnych od południków lokalnych	185
VI.	ZAKOŃCZENIE	239
	LITERATURA	241
	SUMMARY	248

## **XVI. Prognozy zmian klimatu Polski**

**Tom XVI.** Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Grabowska K., Błażek E., Skrzypczuk J., 2002, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Prognozy zmian klimatu Polski** (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, ss. 212

Celem XVI tomu *Atlasu* p.t. *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 prognozowania zmian klimatu pojawiła się po wykryciu synchronicznych cykli zmiennych klimatologicznych, astronomicznych i geologicznych. Analogiczna cykliczność skutków i domniemyanych 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 p.t. *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	7
II	STAN BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU	9
1.	Antropogeniczne zmiany klimatu	9
2.	Naturalne zmiany klimatu	11
3.	Prognozy zmian klimatu	13
III	PROGNOZY ZMIAN KLIMATU W PRACACH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIwersYTETU WARSZAWSKIEGO	17
1.	Początki badań zmian klimatu i prognoz (1984)	17
2.	Postęp badań zmian klimatu i prognoz (1992-2000)	19
3	Wpływ Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO) na klimat Polski	26
4.	Prognozy zmian Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO) w XXI wieku	27
4.1.	Widma wskaźnika NAO w latach 1825-1997	27
4.2.	Zmiany wskaźnika NAO w XVIII-XXI wieku	28
IV	ZMIANY KLIMATU POLSKI NA TLE EUROPY W XVIII-XXI WIEKU	30
1.	Cykliczne zmiany klimatu Europy (XVIII-XX)	30
2.	Coraz cieplejsze zimy w Europie i Polsce	32
3.	Prognoza klimatu Warszawy w XXI wieku	33
V	POLE TEMPERATURY POWIETRZA W POLSCE A TYPY CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ	35
1.	Geograficzny rozkład temperatury maksymalnej i minimalnej w Polsce.	39
2.	Maksymalna temperatura powietrza w Polsce a typy cyrkulacji atmosferycznej	40
3.	Minimalna temperatura powietrza a typy cyrkulacji atmosferycznej	41
4.	Zróznicowanie wartości temperatury maksymalnej i minimalnej na obszarze Polski w dominujących typach cyrkulacji atmosferycznej	42
5.	Zmienność temperatury maksymalnej i minimalnej w przebiegu rocznym w dominujących typach cyrkulacji	43
6.	Temperatura maksymalna i minimalna w zależności od makrotypu cyrkulacji atmosferycznej	44
VI	Z BADAŃ OKRESOWOŚCI I TENDENCJI ZMIAN BURZ W POLSCE	164
1.	Zmiany roczne liczby dni z burzą	164
2.	Zmiany cykliczne liczby dni z burzą	166
3.	Zależność dni z burzą od typów cyrkulacji atmosferycznej	167
4.	Tendencje zmian aktywności burzowej w Polsce	169

## **XVII. Mroźne zimy i upalne lata w Polsce**

**Tom XVII.** Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Kirchenstein M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2003, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Mroźne zimy i upalne lata w Polsce** (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, 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 całe 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 zamrożone 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 pokrywą lodową znajdującą się na obu biegunach (na Antarktydzie i Arktyce).

Według zawartości substancji organicznych w osadach polskich jezior za datę holocenijskiego ochłodzenia klimatu Polski można przyjąć 12 000 BP (Jez. Wikaryjskie). Największe holocenijskie 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 miejscowo-

ściach europejskich. Widma temperatury powietrza i tendencje zmian, określone równaniami prostych regresji omówiono wcześniej – w rozdziale III – „Przeszłość i terażniejszość 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 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	7
II	EKSTREMALNE ZJAWISKA POGODOWE W X-XVI WIEKU (wg kronik)	9
III	PRZESZŁOŚĆ I TERAŻNIEJSZOŚĆ KLIMATU ZIEMI	15
1.	Zarys klimatu minionych epok geologicznych	15
2.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu w ostatnich stuleciach	17
3.	Tendencje zmian klimatu w XVII-XX wieku	20
IV.	ROLA CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ W KSZTAŁTOWANIU KLIMATU EUROPY	23
1.	Wpływ Niżu Islandzkiego i Wyżu Azorskiego na klimat Europy	23
2.	Kierunki adwekcji mas powietrza przy różnych typach cyrkulacji	24
3.	Dominujące kierunki i prędkości wiatru w Polsce	26
V.	MROŻNE ZIMY I UPALNE LATA W EUROPIE W XVIII-XXI WIEKU ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM POLSKI.	29
1.	Mroźne i łagodne zimy oraz ciepłe i chłodne lata	30
2.	Widma temperatury powietrza w Europie	31
3.	Zmiany temperatury powietrza w Europie w XVIII-XX wieku. Prognozy po rok 2100	31
VI	DOBOWE AMPLITUDY TEMPERATURY POWIETRZA W POLSCE I ICH ZALEŻNOŚĆ OD TYPÓW CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ (1971-1995)	171
1.	Dobowe wahania temperatury powietrza na obszarze Polski	178
2.	Zależność dobowej amplitudy temperatury od typów cyrkulacji atmosferycznej	181
3.	Zmienność dobowej amplitudy temperatury powietrza w przebiegu rocznym	182
VII	ZMIANY ROCZNE POLA OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W POLSCE I ICH UWARUNKOWANIA (1951-1995)	237
1.	Roczne sumy opadów w Polsce	239
2.	Miesięczne sumy opadów	245
3.	Maksima i minima roczne sum opadów	246

4.	Amplituda roczna opadów	247
5.	Sumy opadów w porach roku	248
6.	Iloraz sezonowych sum opadów	251
VII	ZAKOŃCZENIE	285
	LITERATURA	289
	SUMMARY	295

## XVIII. Groźne zjawiska pogodowe w Polsce

**Tom XVIII.** Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2004, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Groźne zjawiska pogodowe w Polsce** (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, 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 utratą 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, zasy i gołoledź paraliżują ruch kołowy.

## SPIS TREŚCI (XVIII)

I.	WPROWADZENIE	7
II.	CYKLICZNE WAHANIA TEMPERATURY I OPADÓW W POLSCE W XIX-XXI WIEKU	9
1.	Synchroniczność cykli temperatury powietrza, opadów, cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca w Polsce	9
2.	Wpływ oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na klimat Warszawy i Krakowa	13
3.	Prognozy zmian klimatu Warszawy i Krakowa w XXI wieku	14
III.	OKRESOWE ZMIANY TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE W 30-LECIU (1966-1995) I 210-LECIU (1779-1990)	19
1.	Cykl roczny temperatury powietrza w Warszawie w latach 1966-1995 i 1779-1979	21
2.	Cykliczne zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1966-1995 i 1779-1990	23
3.	Tendencja temperatury powietrza w 30-leciu 1966-1995 i 210-leciu 1779-1990	26
IV.	ZMIANY OKRESOWE I TENDENCJE BURZ W POLSCE W LATACH 1951-990 i 1966-2000	31
1.	Tendencje zmian aktywności burzowej w Polsce	31
2.	Zmiany roczne liczby dni z burzą	38
3.	Zmiany cykliczne liczby dni z burzą (widma)	39
4.	Zależność dni z burzą od typów cyrkulacji atmosferycznej	46
5.	Prawdopodobieństwo występowania burz w Warszawie w Krakowie w latach 1966-2000	47
V.	MAKSYMALNE DOBOWE SUMY OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH I CZĘSTOŚĆ OPADÓW $\geq 10$ mm W WARSZAWIE I KRAKOWIE W LATACH 1966-2000	59
VI.	LICZBA DNI Z POKRYWĄ ŚNIEŻNĄ W WARSZAWIE I KRAKOWIE W LATACH 1966-2000	167
VII	ZAKOŃCZENIE	195
	SUMMARY	197
	LITERATURA	199
	KALENDARZ WAŻNIEJSZYCH WYDARZEŃ W ZAKŁADZIE KLIMATOLOGII UNIwersYTETU WARSZAWSKIEGO (2001-2004)	203

## XIX. Cechy termiczne klimatu Europy

**Tom XIX.** Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Pietras K., Bijak S., J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2005, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Cechy termiczne klimatu Europy** (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, 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 lat 1700-2002 a potem okresowość Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-2000 (rozd. 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 regresjami, 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 wahaniami 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 dystrybu-

cję 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 Północnoatlantycznej 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.

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:  $15^{\circ}\text{N} < \varphi < 85^{\circ}\text{N}$ ,  $15^{\circ}\text{W} < \lambda < 180^{\circ}\text{E}$  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  $-0,5^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\varphi$ . To znaczy, że temperatura powietrza spada ze wzrostem szerokości geograficznej – średnio o  $0,5^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\varphi$ .

Gradient równoleżnikowy temperatury powietrza charakteryzuje zmienność z zachodu na wschód – wzrost w  $^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\lambda$ . Natomiast gradient hipsometryczny temperatury powietrza opisuje jej spadek o  $0,6^{\circ}\text{C}/100$  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 –  $0,6^{\circ}\text{C}/100$  m jest zbliżony do gradientu wilgotnoadiabatyicznego 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/](http://data.giss.nasa.gov/gistemp/station_data/).

## SPIS TREŚCI (XIX)

I. WPROWADZENIE	7
II OKRESOWE ZMIANY AKTYWNOŚCI SŁOŃCA W LATACH 1700-2002	11
1. Daty minimów i maksimów plam słonecznych w cyklu 11-letnim	11
2. Okresy aktywności Słońca wyznaczone metodą "sinusoid regresji.	14
3. Okresy wiekowe i dwuwiekowe aktywności Słońca	15
III OKRESOWE ZMIANY OSCYLACJI PÓŁNOCNOATLANTYCKIEJ (NAO) W LATACH 1825-2000	21
1. Okresowe zmiany Oscylacji Północnoatlantycznej	23
2. Tendencje zmian Oscylacji Północnoatlantycznej	25
IV. OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU EUROPY W OSTATNICH STULECIACH	29
1. Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie	30
2. Mroźne i łagodne zimy oraz ciepłe i chłodne lata	34
3. Zmiany temperatury powietrza w Europie w XVIII-XXI wieku	35
V. CECHY OCEANICZNE I KONTYNENTALNE KLIMATU EUROPY	131
1. Profile temperatury powietrza (południkowy, równoleżnikowy i hipsometryczny)	131
2. Gradienty horyzontalne w°C/100 km	137
VI ZAKOŃCZENIE.	175
SUMMARY	179
LITERATURA	181

### **XX-XXI. Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych**

**Tom XX-XXI.** Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Bijak S., Cebulski R., Błażek E., Skrzypczuk J., 2007, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych** (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, 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 regresjami 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 wahaniami 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).

Nowością 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. 2).

**Tabela 2.** Okresy ( $\Theta$  lat) około 8. i 11-letnie szerokości pierścieni dębów (*Quercus robur*) rosnących w Polsce (XVIII-XX wieku),  $R$  – współczynnik korelacji  
**Table 2.** Close-to-8 and 11-years cycles ( $\Theta$  years) of English oak (*Quercus robur*) tree ring widths from Poland (XVIII-XX century);  $R$  – 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
Goldap	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. 3)

**Tabela 3.** Okresy ( $\Theta$  lat) około 35., 100. i 200-letnie szerokości pierścieni drzew (sosna, świerk, modrzew) rosnących w Europie  
**Table 3.** Approximately 35-, 100- and 180-year cycles ( $\Theta$  years) of ring widths of trees growing in Europe (pine, spruce and larch)

Drzewo	Przedział czasu	$\Theta$	$R$	$\Theta$	$R$	$\Theta$	$R$
<b>Sosna</b>							
Forfjordalen (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
<b>Świerk</b>							
Stonngrandes (Norway)	1403-1997	35	0,165	114	0,191	-	-
Falkenstein (Germany)	1540-1995	46	0,225	110	0,298	189	0,414
<b>Modrzew</b>							
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 Niedźwiedz, 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 Północnoatlantycznej (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	7
	ACADEMIC AND RESEARCH ACTIVITY OF PROFESSOR JERZY BORYCZKA	25
I.	WPROWADZENIE	33
II.	CECHY TERMICZNE KLIMATU EUROPY	37
1.	Zmiany roczne gradientów temperatury powietrza	37
2.	Profile gradientów rocznej amplitudy temperatury powietrza	41
3.	Przestrzenny rozkład gradientów temperatury powietrza	43
4.	Gradientsy horyzontalne temperatury powietrza w °C/100 km	45
5.	Deformacja pola temperatury powietrza przez czynniki lokalne	48
III.	OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU EUROPY W XIX-XXI WIEKU	67
1.	Wpływ aktywności Słońca na temperaturę powietrza w Europie	67
2.	Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na temperaturę powietrza w Europie	69
3.	Mroźne i łagodne zimy oraz ciepłe i chłodne lata w Europie	71
4.	Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie	72
5.	Tendencje zmian temperatury powietrza w Europie w XIX-XX wieku. Prognozy do roku 2100	74
IV.	CYKLICZNE ZMIANY KLIMATU EUROPY W OSTATNIM TYSIĄCLECIU WEDŁUG CIĄGÓW DENDROLOGICZNYCH	127
1.	Zarys badań dendroklimatycznych	127
2.	Synchroniczność cykli klimatycznych i dendrologicznych w Europie	129
2.1.	Cykl 4-letni temperatury powietrza, opadów i cyrkulacji atmosferycznej	130
2.2.	Cykl 8-letni temperatury, cyrkulacji atmosferycznej, aktywności Słońca i rocznych przyrostów drzew	131
2.3.	Cykl 11-letni temperatury powietrza, opadów, aktywności Słońca i rocznych przyrostów drzew	133
2.4.	Cykle 100. i 180-letni temperatury powietrza, aktywności Słońca i rocznych przyrostów drzew	135
3.	Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na klimat Europy	137
4.	Prognozy zmian klimatu Europy w XXI wieku	138
V.	ZMIANY KLIMATU POLSKI W OSTATNICH STULECIACH WEDŁUG ROCZNYCH PRZYROSTÓW DĘBÓW	177
1.	Największe ochłodzenia i ocieplenia w kronikach z X-XVI wieku nawiązujące do osobliwości rocznych przyrostów dębów w Polsce	177
2.	Zależność szerokości słoje dębów od miesięcznych wartości temperatury i sum opadów atmosferycznych w Polsce	183
3.	Lata wskaźnikowe dębów w Polsce	197
4.	Widma i parametry cykli rocznych przyrostów dębów w Polsce	200
5.	Prognozy zmian rocznych przyrostów dębów w Polsce w XXI wieku	211
VI.	ROLA CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ W KSZTAŁTOWANIU OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH I STANÓW WODY RZEKI GÓRSKIEJ	219
1.	Cel, tezy i zakres pracy	219
2.	Cechy fizyczno-geograficzne badanej zlewni karpackiej	220
2.1.	Położenie geograficzne zlewni, układ dorzecza	220
2.2.	Warunki klimatyczne zlewni	221
2.3.	Dane empiryczne	222
3.	Empiryczne i teoretyczne rozkłady prawdopodobieństwa opadów atmosferycznych i stanów wody w rzece karpackiej	223
3.1.	Wybór teoretycznych rozkładów prawdopodobieństwa	223
	52	

3.2.	Porównanie dystrybuant empirycznych i teoretycznych	223
3.3.	Wyznaczenie sum opadów o prawdopodobieństwie przewyższenia	224
4.	Ekstrema i tendencje zmian opadów atmosferycznych i stanów wody w przekrojach wodowskazowych oraz ich uwarunkowania	225
4.1.	Przyczyny tendencji malejącej zmian stanów wody w rzece Skawie	225
5.0.	Okresowe zmiany opadów atmosferycznych i stanów wody w rzece górskiej oraz ich przyczyny	228
5.1.	Metoda badania okresowości ciągów chronologicznych	228
5.2.	Wyniki analizy okresowej zmienności elementów klimatologicznych i hydrologicznych	230
5.3.	Synchroniczność cykli badanych zmiennych	233
6.	Zależność opadów atmosferycznych oraz średnich i ekstremalnych stanów wody w rzece górskiej od cyrkulacji atmosferycznej	234
6.1.	Wybór metod analizy regresji	234
6.2.	Próba uwzględnienia zmian koryta rzeki w ciągach chronologicznych stanów wody	234
6.3.	Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na pole opadów w zlewni Skawy	235
6.4.	Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na stany wody w przekrojach wodowskazowych Skawy	236
6.5.	Zależność stanów wody Skawy od opadów atmosferycznych	236
6.6.	Zależność częstości ekstremalnych stanów wody w przekrojach wodowskazowych zlewni karpackiej od cyrkulacji atmosferycznej	240
7.0.	Prognoza zmian opadów atmosferycznych oraz średnich i ekstremalnych stanów wody w rzece karpackiej do roku 2025	242
7.1.	Przyjęte metody prognozowania oraz jego statystycznej oceny	242
7.2.	Prognoza sum rocznych opadów atmosferycznych do roku 2025	243
7.3.	Prognoza rocznych wartości stanów wody do roku 2025	243
8.	Podsumowanie	247
VII.	ZAKOŃCZENIE. .	251
	SUMMARY	255
	LITERATURA	259
	WYKAZ PRAC MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII DOTYCZĄCYCH CYKLICZNOŚCI I TENDENCJI ZMIAN KLIMATU W EUROPIE	265

## **XXII. Wpływ zabudowy i zieleni osiedlowej na zróżnicowanie klimatu lokalnego w Warszawie**

**Tom XXII.** Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2008, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Wpływ zabudowy i zieleni osiedlowej na zróżnicowanie klimatu lokalnego w Warszawie** (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, 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 p.t. „*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 szczególnych zainteresowań stały się osiedla mieszkaniowe położone w różnych dzielnicach miasta, w przybliżeniu na profilu północ-południe: Białoleka 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
- 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 Białolece Dworskiej, w ramach realizowanego programu rządowego PR-5 (*Kompleksowy rozwój budownictwa mieszkaniowego*) w zadaniu 02.02.03 6 – eksperyment *Białoleka 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 Białolece Dworskiej potrzebna była dotychczasowa wiedza pracowników Zakładu Klimatologii UW, zdobyta podczas prowadzenia badań klimatu Warszawy, zwłaszcza w pracach magisterskich.

## SPIS TREŚCI (XXII)

I.	WPROWADZENIE	9
II.	STAN BADAŃ KLIMATU WARSZAWY W PUBLIKACJACH I PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIwersYTETU WARSZAWSKIEGO	13
III.	CHARAKTERYSTYKA I OCENA WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH BIAŁOLEKI DWORSKIEJ ORAZ OKREŚLENIE WPŁYWU ZABUDOWY NA ICH ZMIANY – Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ, Andrzej GÓRKA, Ewa RYCYWOLSKA, Jerzy BORYCZKA, Jolanta WAWER	21
IV.	WARUNKI KLIMATYCZNE OSIEDLA SZWOLEŻERÓW – WYNIKI BADAŃ ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIwersYTETU WARSZAWSKIEGO	43
V.	WPŁYW ZABUDOWY NA ZRÓŻNICOWANIE WARUNKÓW MIKROKLIMATYCZNYCH W OSIEDLACH SADY ŻOLIBORSKIE I SZWOLEŻERÓW – Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ, Ewa RYCYWOLSKA	65
VI.	DZIENNE ZMIANY RÓŻNIC TEMPERATURY POWIETRZA MIĘDZY OSIEDLEM Z DUŻYM UDZIAŁEM ZIELENI I TERENEM POZAMIEJSKIM – Bohdan MIERZWIŃSKI	81
VII.	DEFORMACJA PÓL ELEMENTÓW METEOROLOGICZNYCH POD WPŁYWEM ZABUDOWY – Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ, Urszula KOSSOWSKA-CEZAK, Bohdan MIERZWIŃSKI, Jolanta WAWER	89
VIII.	ZRÓŻNICOWANIE KLIMATU LOKALNEGO W WARSZAWIE NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH PRAC MAGISTERSKICH DOTYCZĄCYCH OSIEDLI	95
8.1.	Osiedle Białoleka Dworska	95
8.1.1.	Zmiany dobowe temperatury powietrza w 1977 roku na przykładzie Białoleki Dworskiej (1978) – Małgorzata PANASZ (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)	95
8.1.2.	Zmiany dobowe i roczne wilgotności powietrza w Białolece Dworskiej w 1977 r. (1979) – Elżbieta KOWALCZYK-GUTOWSKA (opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA)	100
8.1.3.	Wpływ podłoża na temperaturę powietrza na przykładzie Białoleki Dworskiej (1979) – Krystyna BAŃCZYK (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)	106
8.1.4.	Wpływ podłoża na warunki wilgotnościowe w Białolece Dworskiej (1979) – Celina BOUŻYK (opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA)	111
8.1.5.	Wpływ pogody na zróżnicowanie warunków odczuwalnych osiedla mieszkaniowego na przykładzie Białoleki Dworskiej (1979) – Wiesława DYBCZYŃSKA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	116
8.1.6.	Ocena warunków odczuwalnych dla potrzeb budownictwa w Białolece Dworskiej (1979) – Anna PIORUŃSKA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	118
8.1.7.	Ogólna charakterystyka bioklimatu okolic Białoleki Dworskiej za okres 1961-1970 (1979) – Krystyna KOWALIK-BIAŁOWOLSKA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	122
8.2.	Osiedle Chomiczówka	132
8.2.1.	Warunki termiczne osiedla Chomiczówka w Warszawie (1994) – Anna KAZUBEK (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	132
8.3.	Osiedle Sady Żoliborskie	141
8.3.1.	Warunki bioklimatyczne w osiedlu Sady Żoliborskie (1989) – Irma KIJOWSKA, (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	141
8.3.2.	Warunki odczuwalne osiedli warszawskich o dużym udziale i strukturze zieleni (1991) – Grażyna DUDZICKA, (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	147
8.4.	Osiedle Stawki	155
		55

8.4.1.	Mikroklimat osiedla „Stawki” w Warszawie (1986) – Walentyna LEONIUK, (opiekun naukowy: Maria STOPA- BORYCZKA)	155
8.4.2.	Warunki odczuwalne w osiedlach warszawskich o wysokiej zabudowie (1988) – Anna ANDRZEJEWSKA - MAMCZAREK (opiekun naukowy: Maria KOPACZ- LEMBOWICZ)	164
8.5.	Osiedle Szwoleżerów	169
8.5.1.	Mikroklimat osiedla Szwoleżerów w Warszawie (1988) – Urszula SZCZĘŚNIAK (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)	169
8.6.	Osiedle Wyględów-Olimpijska	174
8.6.1.	Warunki odczuwalne w osiedlach warszawskich Sady Żoliborskie i Olimpijska (1988) – Barbara GAWRYŚ (opiekun naukowy: Maria KOPACZ- LEMBOWICZ)	174
8.7.	Osiedle Służew nad Dolinką	182
8.7.1.	Mikroklimat osiedla Służew nad Dolinką w Warszawie (1988) – Maria WACŁAWSKA (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)	182
8.7.2.	Warunki termiczne w osiedlach warszawskich o wysokiej zabudowie (1987) – Monika ŻOŁNIEROWICZ-KASPRZYK (opiekun naukowy: Maria STOPA- BORYCZKA)	186
8.7.3.	Wpływ wysokiej zabudowy na kierunek i prędkość wiatru w osiedlach warszawskich (1988) – Grzegorz GRABOWSKI (opiekun naukowy: Maria. STOPA- BORYCZKA)	193
8.8.	Osiedle Kabaty	197
8.8.1.	Wpływ zabudowy na warunki termiczno-wilgotnościowe (2007) – Aleksandra BŁASZCZYK, (opiekun naukowy: Jolanta WAWER)	197
8.9.	Osiedle Przyjaźń – Jelonki	205
8.9.1.	Wpływ warunków meteorologicznych na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń powietrza w porze zimowej i wiosennej w 1969/70 roku (1971) – Witold HUCULAK (opiekunowie naukowcy: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Jerzy BORYCZKA)	205
8.9.2.	Wpływ warunków meteorologicznych na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń powietrza w porze letniej i jesiennej w 1970 roku (1971) – Barbara KLEMENTYŚ (opiekunowie naukowcy: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Jerzy BORYCZKA)	213
8.10	Śródmieście Warszawy	221
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	221
8.10.2	Warunki odczuwalne w Śródmieściu Warszawy w latach 1966-1970 (1992) – Bożena MOSAKOWSKA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	225
8.10.3	Wpływ zabudowy na warunki odczucia ciepła w centrum Warszawy (1990) – Lesław KIJOWSKI (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	229
8.10.4	Wpływ zabudowy na pola zmiennych meteorologicznych w Warszawie (1989) – Hanna KRAJEWSKA (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)	233
IX	ZRÓŻNICOWANIE KLIMATU LOKALNEGO W WARSZAWIE W ZALEŻNOŚCI OD LOKALIZACJI OSIEDLI	245
9.1.	Zróżnicowanie klimatu lokalnego Warszawy w miesiącach letnich (1994) – Renata ROMAŃSKA, (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	245
9.2.	Zróżnicowanie klimatu lokalnego Warszawy na profilu wschód-zachód (1994) – Dorota PRZYBYŁKOWSKA, (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	254
9.3.	Dobowy przebieg warunków odczuwalnych w Warszawie (1997) – Katarzyna GULA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	260
9.4.	Warunki odczucia termicznego w Warszawie (1990) – Robert WAKER (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	270
X	KLIMAT LOKALNY ULIC I PLACÓW W WARSZAWIE	277
56		



10.1.	Kształtowanie się wybranych elementów meteorologicznych w Warszawie w latach 1969 i 1971, cz. I. Temperatura (1972) – Grażyna KORCYL (opiekunowie naukowci: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Urszula KOSSOWSKA)	277
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 naukowci: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA)	286
10.3.	Wpływ zieleni na warunki termiczno-wilgotnościowe na przykładzie obserwacji w Warszawie w lipcu 1972 r. (1977) – Tomasz ŻUŁKOWSKI (opiekunowie naukowci: Wincenty OKOŁOWICZ, Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)	290
XI.	INFLUENCE OF THE CITY ON FIELD OF METEOROLOGICAL VARIABLE – Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ, Jerzy BORYCZKA	293
XII.	POSITIVE AND NEGATIVE EFFECTS OF THE URBAN HEAT ISLAND IN WARSAW – Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ, Jerzy BORYCZKA	299
XIII.	THE APPLICATION-ORIENTED CHARACTER OF THE REPORTS ELABORATED AT THE DEPARTMENT OF CLIMATOLOGY CONCERNING URBAN CLIMATE – Maria KOPACZ-LEMBOWICZ	309
XIV.	ZAKOŃCZENIE	319
	LITERATURA	329

### XXIII. Klimat Warszawy i innych miast Polski, Studia porównawcze

**Tom XXIII.** Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2009, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Klimat Warszawy i innych miast Polski, Studia porównawcze** (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, 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 ( $\varphi = 52,1^\circ$ ,  $\lambda = 21,0^\circ$ ,  $H = 106$  m n. p. m) i Krakowa – miasta położonego w Kotlinie Podkarpackiej – Bramie Krakowskiej ( $\varphi = 50,1^\circ$ ,  $\lambda = 20,0^\circ$ ,  $H = 206$  m n.p.m).

Z tytułów publikacji i prac magisterskich wynika, że dotyczą one głównie naturalnych zmian klimatu, ze szczególnym uwzględnieniem cyklu rocznego. Do elementów uprzywilejowanych pod względem liczby opracowań należy z całą pewnością temperatura powietrza, traktowana, jako efekt intensywności obiegu ciepła w systemie Ziemia-atmosfera. Temperatura powietrza jest bowiem elementem najważniejszym, który determinuje stan pozostałych elementów klimatu. Badania przeprowadzono w różnych skalach przestrzennych i czasowych. Najwięcej prac dotyczy Mazowsza i całej Polski. Podstawą tych opracowań były głównie dane Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej z drugiej połowy XX wieku.

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

Warszawa na tle otoczenia wyróżnia się przede wszystkim wyższą temperaturą minimalną (w nocy jest znacznie cieplejsza); dłuższym okresem bezprzymrozkowym i wegetacyjnym, mniejszą wilgotnością względną i większym niedosytem wilgotności,

większym zachmurzeniem nieba i mniejszą liczbą dni pogodnych, większymi sumami opadów atmosferycznych, mniejszą liczbą dni z mgłą (mniej inwersji termicznych) oraz znacznie mniejszą prędkością wiatru, mniejszą liczbą dni z wiatrem silnym, większą liczbą dni z wiatrem bardzo słabym i większym udziałem dni bezwietrznych (Stopa-Boryczka, Boryczka i inni, 1995).

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

Oryginalną część pracy stanowi rozdział pt. „Przeszłość i terażniejszość 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 .

### SPIS TREŚCI (XXIII)

I	WPROWADZENIE	9
II	KLIMAT POLSKI W PUBLIKACJACH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO – Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA	13
III	CYKLICZNE WAHANIA TEMPERATURY I OPADÓW W POLSCE W XIX-XXI WIEKU – Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA, Katarzyna GRABOWSKAN, Jolanta WAWER, Elżbieta BŁAŻEK, Jan SKRZYPCZUK	43
IV	ZMIANY OKRESOWE I TENDENCJE NIEKTÓRYCH ZJAWISK POGODO WYCH W POLSCE ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM WARSZAWY I KRAKOWA – Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA, Katarzyna GRABOWSKAN, Jolanta WAWER, Elżbieta BŁAŻEK, Jan SKRZYPCZUK	53
V	PRZESZŁOŚĆ I TERAŻNIEJSZOŚĆ KLIMATU MIAST POLSKI W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO	76
5.1.	Długookresowe zmiany klimatu miast Polski	77
5.1.1.	Wielookresowe zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1979 (1984) – Bogumiła DĄBROWSKA (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA).	77
5.1.2.	Wielookresowe zmiany temperatury powietrza w Krakowie w latach 1826-1985 (1989) – Konrad KLECHTA (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA).	85
5.1.3.	Wielookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1813-1980 (1986) – Dorota DĘBSKA (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA).	91
5.1.4.	Wielookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Krakowie w latach 1850-1987 (1989) – Katarzyna GRZĘDA (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA).	100
5.1.5.	Długookresowe zmiany temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie (1990) – Małgorzata TOMASIK, (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA).	109
5.1.6.	Synchroniczne wahania temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w XIX-XX wieku (2002) – Mariusz TOMASZEWSKI (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)	118
5.1.7.	.Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Polsce w zależności od erupcji wulkanicznych i aktywności Słońca - Robert DUMA (1999) (opiekun naukowy: Jerzy. BORYCZKA).	126

5.2.	Cyrkulacyjne uwarunkowania klimatu miast Polski	133
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).	133
5.2.2.	.Cyrkulacja atmosferyczna nad Polską według typologii B. Osuchowskiej-Klein i J. Lityńskiego (2005) – Mariusz CEBULA (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA - CEZAK)	146
5.2.3.	Okresowe zmiany ciśnienia atmosferycznego w Warszawie i Krakowie w latach 1966-1995 (2005) – Marta MACIEJAK (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)	164
5.2.4.	Typy cyrkulacji atmosferycznej a prędkość wiatru w Warszawie i Krakowie (2005) – Paulina PIĄTKOWSKA (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)	173
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)	183
5.2.6.	Maksima dobowe opadów atmosferycznych w Warszawie i Krakowie (2009) – Joanna MAROSZEK (opiekun naukowy: Jolanta WAWER)	191
5.2.7.	Cyrkulacja atmosferyczna a zmiany pokrywy śnieżnej w Warszawie i Krakowie (2005)– Ewa KANIEWSKA (opiekun naukowy: Elwira ŻMUDZKA)	204
5.3.	Cechy solarne i termiczne klimatu miast Polski	216
5.3.1.	Promieniowanie całkowite w Warszawie w okresie 1966-1970 (1972) – Elżbieta DRZEWIECKA (opiekunowie naukowci: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA)	216
5.3.2.	Zmiany roczne promieniowania słonecznego na Mazowszu (1997) – Elżbieta BOGDAN (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA- CEZAK)	229
5.3.3.	Zmienność temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX wieku (2005) – Przemysław SZANIAWSKI (opiekun naukowy: Elwira ŻMUDZKA)	238
5.3.4.	Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce (2006) – Urszula CITKO (opiekun naukowy: Jolanta WAWER)	249
5.3.5.	Termiczne pory roku i okres wegetacyjny w Polsce, Urszula CITKO, Jolanta WAWER (artykuł)	258
5.4.	Cechy wilgotnościowe klimatu miast	268
5.4.1.	Tendencje zmian wilgotności powietrza w Polsce w latach 1966-1995 (2005) – Małgorzata Maciejak (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)	268
5.4.2.	Zmiany roczne zachmurzenia w Polsce (2006) – Monika ZIENOWICZ (opiekun naukowy: Maria. STOPA-BORYCZKA)	281
5.4.3.	Tendencje rocznych zmian zachmurzenia w Warszawie i Krakowie w latach 1966-1995 (2006) – Karol STYŚ (opiekun naukowy: Katarzyna GRABOWSKA)	292
5.4.4.	Tendencje zmian opadów atmosferycznych w Polsce w latach 1951-1990 (2008) – Magdalena GOZDECKA (opiekun naukowy: Jolanta WAWER)	304
5.5.	Stan aerosanitarny miast w Polsce	314
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)	314
5.5.2.	Wpływ warunków meteorologicznych na stężenie zanieczyszczeń powietrza na przykładzie Krakowa i Warszawy (2004) – Agata KIELMER (opiekun naukowy; Bożena KICIŃSKA)	324
5.5.3.	Zanieczyszczenie powietrza dwutlenkiem azotu w Warszawie i Krakowie w latach 1994-1998 (2006) – Izabela GOŁĘBCZYK (opiekun naukowy; Bożena KICIŃSKA)	335
VI	DEFORMACJA PÓL ZMIENNYCH METEOROLOGICZNYCH W POLSCE PRZEZ CZYNNIKI NATURALNE I ANTROPOGENICZNE	346
6.1.	Empiryczne równania przebiegów rocznych temperatury powietrza (na przykładzie 32 miast Polski)	346
6.2.	Cechy charakterystyczne klimatu miast Polski z wyodrębnieniem Warszawy i Krakowa (1997) – Iwona CIEŚLA (opiekunowie naukowci : Maria. STOPA-BORYCZKA, Jolanta WAWER)	364
VII	ZAKOŃCZENIE	369
VIII	LITERATURA	377
		59

## XXIV. Klimat Warszawy i miejscowości strefy podmiejskiej

**Tom XXIV.** Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błazek E., Skrzypczuk J., 2010, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Klimat Warszawy i miejscowości strefy podmiejskiej**, (red.: K. Błazejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, ss. 360

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 Bielanych, 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 uzdrowskich 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) 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 zawartość 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 przezroczystości) i zachmurzenia.

## SPIS TREŚCI (XXIV)

I.	WPROWADZENIE – Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA	7
II.	WKŁAD ZAKŁADU KLIMATOLOGII W BADANIA KLIMATU WARSZAWY – Urszula KOSSOWSKA-CEZAK, Jolanta WAWER	13
III.	KLIMAT MIASTA I MIEJSCOWOŚCI PODWARSZAWSKICH W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIwersYTETU WARSZAWSKIEGO	31
3.1.	Klimat i bioklimat Konstancina	31
3.1.1.	Charakterystyka warunków bioklimatycznych Śródmieścia Warszawy i uzdrowiska Konstancin (1972) – Urszula OKRASA (opiekunowie naukowcy: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Maria KOPACZ)	31
3.1.2.	Klimat lokalny uzdrowiska Konstancin (1977) – Marta KIELAK (opiekunowie naukowcy: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	41
3.1.3.	Warunki klimatoterapii w uzdrowisku Konstancin (1977) - Barbara MATEJA (opiekunowie naukowcy: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	52
3.1.4.	Warunki termiczno-wilgotnościowe pomieszczeń sanatoryjnych o ekspozycji południowej w Konstancinie (1977) – Stanisław STUCZYK (opiekunowie naukowcy: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ, Jerzy BORYCZKA)	62
3.1.5.	Warunki termiczno-wilgotnościowe pomieszczeń sanatoryjnych o ekspozycji północnej w Konstancinie (1977) – Anna JĘDRYSZCZAK (opiekunowie naukowcy: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ, Jerzy BORYCZKA)	72
3.2.	Klimat i bioklimat Otwocka	84
3.2.1.	Wpływ cyrkulacji na ciśnienie atmosferyczne w Warszawie w latach 1981-2000 (2006) – Paweł WYRZYKOWSKI (opiekun naukowy: Jolanta WAWER)	84
3.2.2.	Wpływ cyrkulacji nad Polską na ciśnienie atmosferyczne (na przykładzie Świdra, 1981-1990) (2002) – Jarosław BOCHENSKI (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA -CEZAK)	93
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)	101
3.2.4.	Ogólna charakterystyka klimatu Świdra (1980) – Władysław DULCZEWSKI (opiekunowie naukowcy: Maria STOPA - BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	113
3.2.5.	Bioklimat Otwocka (1966) – Maria KOPACZ (opiekun naukowy: Zofia KACZOROWSKA)	122
3.2.6.	Zmiany odczucia termicznego w Otwocku w latach 1991-1995 (2001) - Patrycja KOLBE-SOKOLIK (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ) (artykuł)	127
3.3.	Klimat Wesołej k. Warszawy	136
3.3.1.	Charakterystyka klimatu lokalnego Wesołej k. Warszawy (1990) – Anna KIRYLUK (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	136
3.4.	Klimat Legionowa	145
3.4.1.	Charakterystyka klimatu Legionowa (1971-1980) (1989) – Ewa WIJAS (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)	145
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)	155
3.5.	Bioklimat Dziekanowa Leśnego	168
3.5.1.	Bioklimat Dziekanowa Leśnego (1969) – Małgorzata GNIADK (opiekunowie naukowcy)	168

	ukowi: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Maria STOPA)	
3.6.	Klimat w Morach	176
3.6.1.	Charakterystyka termiczna sezonu grzewczego 1976/77 na przykładzie stacji w Morach (1978) –Bożena GROCHULSKA (opiekunowie naukow: Maria STOPA - BORYCZKA, Krzysztof OLSZEWSKI) .	176
3.6.2.	Charakterystyka warunków wilgotnościowych sezonu grzewczego 1976/77 na przykładzie stacji w Morach (1979) – Zofia KRAWCOW, (opiekunowie naukow: Maria STOPA - BORYCZKA , Krzysztof OLSZEWSKI)	184
3.7.	Klimat Brwinowa	191
3.7.1.	Promieniowanie całkowite w Warszawie w okresie 1966-1970 (1972) – Elżbieta DRZEWIECKA (opiekunowie naukow: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA)	191
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)	204
3.8.	Klimat i bioklimat Okęcia	211
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)	211
3.8.2	Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza w Warszawie w 10-leciu 1951-1960 (1994) – Iwona BIRULA (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)	221
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 MARTYŃ)	231
3.8.4.	Ostrość i śnieżność zim w Warszawie w latach 1965-1995 (2005) – Rafał PŁAŻEWSKI (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)	244
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)	254
3.8.6.	Klimat lotniska Warszawa-Okęcie (1951-1960) (1963) - Józef OSOS (opiekunowie naukow: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA)	261
IV.	WPŁYW URBANIZACJI NA WARUNKI KLIMATYCZNE W WARSZAWIE - Bożena KICIŃSKA, Jolanta WAWER	279
V.	WARUNKI NEFOLOGICZNE AGLOMERACJI WARSZAWSKIEJ -Elwira ŻMUDZKA	299
VI.	ZAKOŃCZENIE	309
VII.	LITERATURA	326

## XXV. Zmiany klimatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku

**Tom XXV.** Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wawer J., Grabowska K., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2010, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Zmiany klimatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku** (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, ss. 417

Prezentowany XXV tom *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* z wyodrębnionym tytułem *Zmiany klimatu 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 para-*”

*metrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce (1974-2010)*” zawiera najważniejsze wyniki badań w zakresie czasowych i przestrzennych zmian klimatu, przeprowadzonych przez Zakład Klimatologii w ciągu ostatnich 40 lat. Trzeci p.t. *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  $\delta^{18}\text{O}$  i danych dendrologicznych)* przedstawia naturalne zmiany klimatu w różnych skalach czasowych wraz z prognozami na najbliższe stulecia na podstawie cyklicznych zmian zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  i sum promieniowania słonecznego. Piąty: *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według ciągów dendrologicznych* 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 *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 miesiące (suche, normalne, mokre).

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

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

- Wiekowe zmiany klimatu miast nizinnych Europy
- Wiekowe zmiany klimatu miast górskich Europy
- Solarne i cyrkulacyjne uwarunkowania klimatu miast Europy
- Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na zróżnicowanie cech termicznych klimatu miast Europy
- Wpływ NAO na zróżnicowanie cech opadowych klimatu miast środkowej Europy
- Badanie cykliczności i tendencji zmian temperatury powietrza w Europie na profilach: południkowym i równoleżnikowym.
- Badanie cykliczności i tendencji zmian temperatury powietrza w Europie na podstawie danych dendrologicznych

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	7
II.	MODELOWANIE NATURALNYCH I ANTROPOGENICZNYCH ZMIAN KLIMATU W ATLASIE WSPÓLZALEŻNOŚCI PARAMETRÓW METEOROLOGICZNYCH I GEOGRAFICZNYCH W POLSCE (1974-2010) – Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA	13
III.	BADANIE CYKLICZNOŚCI ZMIENNYCH PRZYRODNICZYCH METODĄ J. BORYCZKI „SINUS OID REGRESJI” – Jerzy BORYCZKA	71
IV.	OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU PÓŁNOCNEJ PÓŁKULI ZIEMI (NA PODSTAWIE WAHAŃ IZOTOPU TLENU $\delta^{18}\text{O}$ I DANYCH DENDROLOGICZNYCH) – Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA, Arleta UNTON-PYZIOŁEK, Piotr GIESZCZ	88
V.	CYKLICZNE ZMIANY KLIMATU EUROPY W OSTATNIM TYSIĄCLECIU WEDŁUG CIĄGÓW DENDROLOGICZNYCH – Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA, Szymon BIJAK, Robert CEBULSKI, Elżbieta BŁAŻEK, Jan SKRZYPCZUK	99
VI.	PROBLEMY BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU – Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA, Elżbieta BŁAŻEK, Jan SKRZYPCZUK	123
VII.	WSPÓŁCZESNE ZMIANY KLIMATU MIAST EUROPY W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEG	131
7.1.	Długookresowe zmiany klimatu miast Europy	133
7.1.1.	Wiekowe zmiany temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach 1659-1973 (1993) – Jan SKRZYPCZUK (opiekun naukowy : Jerzy BORYCZKA)	133
7.1.2.	Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Alpach (XIX-XX wiek)(1994) – Małgorzata KIERZKOWSKA (opiekun naukowy : Jerzy BORYCZKA)	145
7.1.3.	Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Warszawie i Pradze w latach 1779-1976 (1992) – Anna POROWSKA (opiekun naukowy : Jerzy BORYCZKA).	156
7.1.4.	Zmiany temperatury powietrza na Helu w okresie 1851-1995 (2001) – Anna SZAREK (opiekun naukowy : Jolanta WAWER)	167
7.1.5.	Wahania temperatury powietrza w Warszawie i Tallinie w latach 1779-2000 – Szymon Bijak	176
7.1.6.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Warszawy w XVIII-XX wieku (2005) – Katarzyna KALECIŃSKA (opiekun naukowy : Jerzy BORYCZKA).	183
7.1.7.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Moskwy w XVIII-XX wieku (2005) – Anna. MISIEWICZ (opiekun naukowy : Jerzy BORYCZKA)	194
7.1.8.	Długookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w XVIII-XX wieku (2009) – Grzegorz MAKSYMIOUK (opiekun naukowy Katarzyna GRABOWSKA)	204
7.2.	Solarne i cyrkulacyjne uwarunkowania klimatu miast Europy	213
7.2.1.	Wpływ aktywności Słońca na okresowe zmiany cyrkulacji atmosferycznej w Europie (2008) – Michał ŁOPACKI (opiekun naukowy : Jerzy BORYCZKA)	213
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)	229
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)	238
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)	250
7.2.5.	Rola Oscylacji Północnoatlantyckiej w kształtowaniu opadów atmosferycznych we Wrocławiu w XX wieku (2006) – Andrzej TOMASZEWSKI (opiekun naukowy: Elwira ŻMUDZKA)	261



7.2.6	Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX i XX wieku i ich przyczyny – Katarzyna BRAKONIECKA (opiekun naukowy : Jerzy BORYCZKA)	272
7.2.7.	Zmiany klimatu Szwecji według danych dendrologicznych (2009) – Łukasz PAWŁOWSKI (opiekunowie naukowci: Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA)	289
VIII.	WSPÓŁCZESNE ZMIANY KLIMATU W PUBLIKACJACH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIwersYTETU WARSZAWSKIEGO	299
8.1	Ocieplenie klimatu miast Europy w XVII-XX wieku i ich przyczyny – Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA, Elżbieta BŁAŻEK, Jan SKRZYPCZUK	299
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	307
8.3	Tendencje zmian klimatu Polski i Ukrainy w ostatnich stuleciach i ich przyczyny – Jerzy BORYCZKA, Bohdan MUCHA, Maria STOPA-BORYCZKA	312
IX.	ZMIANY KLIMATU WARSZAWY W XVIII-XXI WIEKU I ICH PRZYCZYNY – Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA, Halina LORENC, Bożena KICIŃSKA, Elżbieta BŁAŻEK, Jan SKRZYPCZUK	321
X.	ZMIANY WARUNKÓW TERMICZNYCH I OPADOWYCH W WARSZAWIE OKREŚLONE NA PODSTAWIE POWOJENNEJ SERII OBSERWACYJNEJ Z OKĘCIA (1947-2009)-Urszula KOSSOWSKA-CEZAK	363
XI.	ZAKOŃCZENIE	387
	LITERATURA	411

## **XXVI-XXVII. Z badań klimatu Mazowsza (z uwzględnieniem większych miast)**

**Tom XXVI-XXVII.** Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Grabowska K., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., Grzęda M., 2012, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Z badań klimatu Mazowsza (z uwzględnieniem większych miast)** (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, ss. 596

Tom XXVI-XXVII stanowi szóstą część studenckich badań klimatu w różnych skalach przestrzennych: Europa, Polska, Mazowsze, Kotlina Warszawska, Równina Warszawska, Warszawa.

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

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

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

części Niziny Mazowieckiej (na przykładzie Warszawy-Okęcia i Siedlec) autorstwa U. Kossowskiej-Cezak i J. Skrzypczuka.

Do ważniejszych problemów rozwiązywanych w pracach magisterskich należą:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## SPIS TREŚCI (XXVI-XXVII)

I.	WPROWADZENIE	7
II.	NATURALNE I ANTROPOGENICZNE ZMIANY KLIMATU WARSZAWY W PUBLIKACJACH ZAKŁADU KLIMATOLOGII	9
III.	WPLYW CZYNNIKÓW GEOGRAFICZNYCH NA KLIMAT EUROPY – Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA	15
IV.	CECHY TERMICZNE KLIMATU EUROPY – Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA, Elżbieta BŁAŻEK, Jan SKRZYPCZUK	31
V.	FALE CHŁODU I CIEPŁA W PRZEBIEGU ROCZNYM TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE (1951-2010) – Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA, Urszula KOSSOWSKA-CEZAK, Jolanta WAWER	43
VI.	ZMIANY KLIMATU MAZOWSZA W ODNIESIENIU DO OBSZARU POLSKI W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIwersYTETU WARSZAWSKIEGO	54
6.1.	Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Mazowsza (2006) – Magdalena NOWAKOWSKA (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)	64
6.2.	Cechy termiczne klimatu województwa mazowieckiego (2010) – Anna DZIOBAN (opiekun naukowy: Jolanta WAWER)	82
6.3.	Zachmurzenie w Polsce i jego związek z typami cyrkulacji atmosferycznej (2010) – Magdalena PAWLAK (opiekun naukowy: Elwira ŻMUDZKA)	109
6.4.	Zależność zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki od typów cyrkulacji atmosferycznej w Środkowej Polsce (2005) – Kamila PYŁKA (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	138
VII.	WPLYW UKSZTAŁTOWANIA I RZEŻBY TERENU NA ZRÓŻNICOWANIE KLIMATU MAZOWSZA WEDŁUG PODZIAŁU FIZYCZNOGEOGRAFICZNEGO J. KONDRACKIEGO	172
7.1.	Klimat Niziny Środkowomazowieckiej	172
7.1.1.	Zachmurzenie i wilgotność powietrza w województwie warszawskim w latach 1951-1960 (1968) – Maria KRUK (opiekunowie naukowci: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Maria STOPA)	172
7.1.2.	Klimat Stołecznego Województwa Warszawskiego (1977) – Jolanta WAWER, (opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA)	178
7.1.3.	Charakterystyka klimatu Kotliny Warszawskiej (1971-1980) (1991) – Anna SZTABOWSKA (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)	184
7.1.4.	Zmiany roczne kierunku i prędkości wiatru w Kotlinie Warszawskiej (1978) – Aleksandra ŚLĘZAK (opiekunowie naukowci: Maria STOPA-BORYCZKA, Danuta MARTYN)	213
7.1.5.	Klimat Kotliny Warszawskiej i terenów przyległych położonych nad dolnym Bugiem i Narwią, cz. III. Stosunki opadowe (1963) – Elżbieta TCHÓRZEWSKA (opiekunowie naukowci: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA)	219
7.1.6.	Przyczynki do poznania klimatu Doliny Środkowej Wisły w okolicy Wyszogrodu, cz. I. Stosunki termiczne (1971) – Barbara WALCZAK (opiekunowie naukowci: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Maria STOPA-BORYCZKA)	230

7.1.7.	Przyczynę do poznania klimatu Doliny Środkowej Wisły w okolicy Wyszogrodu, cz. II. Stosunki wilgotnościowe i anemometryczne (1970) – Barbara WIERZCHOWSKA (opiekunowie naukowcy: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Maria STOPA-BORYCZKA)	237
7.1.8.	Przyczynę do poznania klimatu Doliny Środkowej Wisły w okolicy Wyszogrodu, cz. III. Stosunki nefologiczne i opadowe (1971) – Jolanta RÓŻYCKA (opiekunowie naukowcy: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Maria STOPA-BORYCZKA)	243
7.1.9.	Wpływ warszawskiej skarpy wiślanej na warunki termiczno-wilgotnościowe (1990) – Beata WOLSZCZAK (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)	250
7.1.10.	Charakterystyka klimatu Równiny Łowicko-Błońskiej w latach 1951-1965 (1992) – Beata NIEDŹWIEDŹ-GOSTOMSKA (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)	261
7.2.	Klimat Kotliny Płockiej	273
7.2.1.	Klimat województwa Płockiego (1979) – Małgorzata DASZKIEWICZ (opiekunowie: Maria STOPA-BORYCZKA, Witold LENART)	273
7.2.2.	Zmiany czasowo-przestrzenne pola opadów atmosferycznych w województwie płockim w latach 1951-1970 (1984) – Marianna KUBICKA (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)	283
7.2.3.	Ogólna charakterystyka klimatu Płocka (1979) – Ryszard WÓJCIKOWSKI (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA, Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)	290
7.2.4.	Związki korelacyjne parametrów meteorologicznych w Płocku (1951-1965) (1979) – Helena SIEREDZIŃSKA (opiekunowie naukowcy: Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA)	306
7.2.5.	Wpływ wiatru na temperaturę powietrza w Płocku (1980) – Leszek ŁAPA (opiekunowie naukowcy: Maria STOPA-BORYCZKA, Witold LENART)	316
7.2.6.	Cechy charakterystyczne klimatu lokalnego Płocka (1988) – Stefan NOWICKI (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)	319
7.2.7.	Wstępna charakterystyka klimatu lokalnego Mazowieckich Zakładów Petrochemicznych w Płocku (1980) – Marek KROŚKIEWICZ (opiekunowie naukowcy: Maria STOPA-BORYCZKA, Witold LENART)	328
7.2.8.	Charakterystyka warunków odczuwalnych Płocka w ciepłej porze roku – Anna OSET (opiekunowie naukowcy: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	338
7.2.9.	Charakterystyka warunków odczuwalnych Płocka w półroczu chłodnym (1980) – Barbara BELI (opiekunowie naukowcy: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	347
7.2.10.	Wpływ zabudowy na klimat lokalny Płocka (1988) – Eżbieta BŁAŻEK (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)	357
7.2.11.	Zależność temperatury i wilgotności powietrza od rzeźby terenu na przykładzie okolic Płocka (1987) – Lidia ROMANIEC (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)	366
7.2.12.	Zależność temperatury i wilgotności powietrza od rodzaju upraw (1981) – Maria JARZYNA (opiekunowie naukowcy: Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA)	373
7.2.13.	Wpływ rzeźby i pokrycia terenu na warunki termiczne na przykładzie transektu położonego w okolicy Płocka (1987) – Maciej JAWOREK (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)	384
7.2.14.	Bilans radiacyjny zlewni eksperymentalnej w Murzynowie (1990) – Janusz KOSIŃSKI (opiekun naukowy: Witold LENART)	393
7.3.	Klimat Niziny Północnomazowieckiej	398
7.3.1.	Ogólna charakterystyka klimatu Mławy (1951-1965) (1981) – Ireneusz PRUSINOWSKI (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)	398
7.3.2.	Opady atmosferyczne na Wzniesieniach Mławskich i Równinie Raciąskiej (2000) – Andrzej BOJANOWSKI (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)	409
7.3.3.	Zróżnicowanie warunków termiczno-wilgotnościowych w Sierpcu (1976) – Danuta DANIELAK (opiekunowie naukowcy: Maria STOPA-BORYCZKA, Witold LENART)	313

7.3.4.	Zróżnicowanie warunków bioklimatycznych na terenie Sierpca w miesiącach letnich (1977) – Monika ŻYROMSKA-STARZYK (opiekunowie naukow: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	421
7.3.5.	Klimat województwa Ostrołęckiego (1977) – Ewa JASŁOWSKA (opiekunowie: Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA)	429
7.3.6.	Charakterystyka klimatu Ostrołęki (1993) – Janina KURPIEWSKA (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)	437
7.3.7.	Zróżnicowanie warunków klimatycznych na terenie Makowa Mazowieckiego (na podstawie obserwacji z lipca 1972 i 1973 roku) (1974) – Katarzyna STAROSTA (opiekunowie naukow: Witold LENART, Urszula KOSSOWSKA, Maria STOPA -BORYCZKA)	443
7.3.8.	Zróżnicowanie warunków bioklimatycznych na terenie Makowa Mazowieckiego (na podstawie obserwacji z lipca 1972 i 1973 roku)(1974) – Barbara GABRYL (opiekunowie naukow: Wincenty OKOŁOWICZ, Maria KOPACZ)	450
7.4.	Klimat Niziny Południowopodlaskiej	459
7.4.1.	Klimat Województwa Siedleckiego (1977) – Małgorzata ROGOWIEC (opiekunowie naukow: Maria STOPA-BORYCZKA, Krzysztof OLSZEWSKI)	459
7.4.2.	Charakterystyka klimatu Wysoczyzny Siedleckiej (1995) – Urszula MAKA (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)	471
7.4.3.	Charakterystyka klimatu Siedlec (1986) – Grażyna DĄBROWSKA (opiekunowie naukow: Maria STOPA-BORYCZKA, Urszula KOSSOWSKA-CEZAK, Jerzy BORYCZKA)	479
7.4.4.	Charakterystyka fizycznogeograficzna okolic Żelechowa ze szczególnym uwzględnieniem topoklimatu (2001) – Dariusz DOROBISZ (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)	489
7.5.	Klimat Wzniesień Południowomazowieckich	496
7.5.1.	Klimat województwa Skierniewickiego (1977) – Jolanta MATUSIAK (opiekunowie: Maria STOPA-BORYCZKA, Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)	496
7.5.2.	Zmiany roczne promieniowania słonecznego na Mazowszu (1997) – Elżbieta BOGDAN (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)	503
7.5.3.	Ogólna charakterystyka klimatu Radomia (1979) – Krystyna GÓRSKA (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)	509
7.5.4.	Wpływ warunków atmosferycznych na wypadki drogowe w Radomiu (1995) – Magdalena ŚMIETANKA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ )	518
7.5.6.	Klimat lotniska Sadków w Radomiu (2008) – Paweł PARZUCHOWSKI (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)	530
VIII.	OPADY ATMOSFERYCZNE WE WSCHODNIEJ CZĘŚCI NIZINY MAZOWIECKIEJ (NA PRZYKŁADZIE WARSZAWY I SIEDLEC (1949-2010) – Urszula KOSSOWSKA-CEZAK, Jan SKRZYPCZUK	540
IX.	OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA BADAŃ KLIMATU MAZOWSZA W PRA-CACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII	560
X.	ZAKOŃCZENIE	569
XI.	LITERATURA	585

## **XXVIII. Stan zanieczyszczenia atmosfery w Warszawie i innych miastach Polski**

**Tom XXVIII.** Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., Grzęda M., 2012, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Stan zanieczyszczenia atmosfery w Warszawie i innych miastach Polski** (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, ss. 470.

Tom XXVIII jest siódmą częścią syntezy prowadzonych badań w Zakładzie Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych UW (z udziałem studentów) w zakresie naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu Polski.

Spis treści koresponduje z wcześniej opublikowanymi częściami dotyczącymi badań klimatu Warszawy i innych miast Polski w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego. Najpierw, tj w rozdz. II *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy i innych miast Polski w publikacjach Zakładu Klimatologii* przedstawiano publikacje na podjęty temat, a potem prace archiwalne. Jedną z nich (rozdz. III) pt. *Wpływ warunków pogodowych na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń powietrza na terenie Warszawy – Początki badań Zakładu Klimatologii* zawiera wyniki najwcześniej prowadzonych pomiarów stężenia i opadu pyłu w Warszawie (z roku 1969).

W kolejnych rozdziałach IV, V, VI zamieszczono 3 artykuły: B. Kicińskiej p.t. *The aerosanitary conditions in the towns of Poland*, K. Olszewskiego pt. *The acidity of precipitation in Warsaw* i M. Śmietanki. p.t. *The influence of aerosanitary and biometeorological conditions on the health and mortality of the inhabitants of Warsaw* – dotyczący samej stolicy. Pozycje te opublikowane były w *Studies on the climate of Warsaw*, ed. M. Stopa-Boryczka, Warsaw 2003 (IV i VI jako obszerne fragmenty prac doktorskich).

Oryginalną część pracy stanowi rozdział VII p.t. *Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu zanieczyszczenia powietrza miast w Polsce w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii UW*. Wyróżniono w nim cztery podrozdziały dotyczące zmian zanieczyszczenia powietrza miast Mazowsza, ze szczególnym uwzględnieniem Warszawy, zmian zanieczyszczenia powietrza miast w południowej i północnej Polsce oraz miast w innych krajach.

Do najważniejszych problemów badawczych w pracach magisterskich należą:

- Rola cyrkulacji atmosferycznej w zmianach zanieczyszczenia powietrza związkami siarki (SO<sub>2</sub>) w miastach na Mazowszu i innych regionach Polski
- Wpływ warunków meteorologicznych na stężenie zanieczyszczeń powietrza (dwutlenku siarki SO<sub>2</sub> i dwutlenku azotu NO<sub>2</sub>) na przykładzie Warszawy
- Zależność stężenia dwutlenku azotu od natężenia ruchu drogowego i warunków pogodowych w Warszawie
- Zmiany okresowe (dobowe i roczne) stężenia ozonu troposferycznego i ich zależność od warunków pogodowych
- Zależność stężenia pyłu zawieszonego w powietrzu od warunków meteorologicznych w Warszawie i Krakowie
- Kwasowość opadów atmosferycznych na przykładzie Warszawy i Jarczewa

Na przykładzie pracy doktorskiej Bożeny Kicińskiej pt. *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na stężenie dwutlenku siarki w powietrzu w Polsce* (maszynopis 1999, promotor: Maria Stopa-Boryczka) określono wpływ adwekcji mas powietrza na przestrzenny rozkład dwutlenku siarki w Polsce z uwzględnieniem układów cyklonalnych i antycyklonalnych. Wyodrębniono także sytuacje pogodowe sprzyjające dużej koncentracji dwutlenku siarki w powietrzu, zwłaszcza na obszarach o dużym zagrożeniu środowiska naturalnego związkami siarki. Są to aktualne problemy związane z ochroną atmosfery przed zbyt dużą zawartością toksycznych substancji.

Stężenie dwutlenku siarki w Polsce opisują wyniki codziennych pomiarów z 54 stacji monitoringu zanieczyszczeń powietrza z lat 1993-1997. Stacje zlokalizowane są przeważnie w miastach w różnych jednostkach fizycznogeograficznych Polski. Serie obserwacyjne poszczególnych stacji liczą najczęściej 1400-1800 dni. Cyrkulację atmos-

feryczną w Polsce w tym samym okresie opisują kierunki adwekcji mas powietrza oraz układy baryczne. Określono je na podstawie codziennych map synoptycznych (z czterech terminów) Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

Okres 1993-1997 charakteryzował się w Polsce małymi zmianami rocznej emisji dwutlenku siarki: 2,7 mln ton w 1993 r. i 2,4 mln ton w 1996 r. Niezmienna była w tym czasie lokalizacja głównych źródeł emisji SO<sub>2</sub> w Polsce, głównie elektrowni i elektrociepłowni. Podobnie jak w Polsce tendencja spadkowa emisji związków siarki występowała również w całej Europie.

Z przeprowadzonych badań wynika, że:

- cyrkulacja atmosferyczna w istotny sposób wpływa na zanieczyszczenie powietrza w Polsce dwutlenkiem siarki, przy czym rola kierunku adwekcji mas powietrza jest znacznie silniejsza niż rola układu barycznego
- zależność zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki od kierunku adwekcji mas powietrza najsilniej zaznacza się na Górnym Śląsku oraz na wybrzeżu, zależność od rodzaju układu barycznego – na Górnym Śląsku
- w północnej części Polski oraz na Górnym Śląsku dużej koncentracji dwutlenku siarki w powietrzu sprzyja adwekcja mas powietrza z sektora południowo-wschodniego, a małe napływy mas z północo-zachodu
- w południowo-zachodniej i południowo-wschodniej części kraju rośnie negatywna rola adwekcji mas powietrza z południo-zachodu i zachodu oraz pozytywna – przy adwekcji mas powietrza z północo-wschodu
- średnie oraz maksymalne wartości stężenia dwutlenku siarki przy napływie mas powietrza z kierunków sprzyjających złym warunkom aerasanitarным mogą być nawet kilkakrotnie większe niż przy adwekcji z kierunków, przy których warunki aerasanitarne są najlepsze

Wyniki te mogą również posłużyć do prognozy stanu aerasanitarneego w poszczególnych regionach przy różnych sytuacjach synoptycznych.

Do nowych problemów rozwiązywanych w Zakładzie Klimatologii w pracach magisterskich należy ocena stanu zanieczyszczenia miast Polski nie tylko dwutlenkiem siarki, ale także dwutlenkiem azotu oraz ozonu troposferycznego i pyłu zawieszzonego w powietrzu. Głównym celem badań są zmiany dobowe i roczne oraz ich zależność od typów cyrkulacji. Najwięcej przykładów pochodzi z Warszawy i Krakowa.

W rozdziale VIII pt. *Stan badań współczesnych zmian klimatu z uwzględnieniem prognoz* omówiono ważniejsze problemy i wyniki badań w zakresie zmian klimatu. Rozdział IX pt. *Verification of forecasts concerning periodic changes in the climate of Warsaw in the period 1779-2010* poświęcono ocenie wiarygodności prognoz okresowych zmian klimatu Warszawy według interferencji cykli temperatury powietrza, wykrytych w serii pomiarów od 1779 roku (Warszawa-Observatorium Astronomiczne) metodą „sinusoid regresji” – przede wszystkim tych sprzed 30-lat (1980-2010) i 20 lat (1991-2010).

## SPIS TREŚCI (XXVIII)

I.	WPROWADZENIE	7
II.	NATURALNE I ANTROPOGENICZNE ZMIANY KLIMATU WARSZAWY W PUBLIKACJACH ZAKŁADU KLIMATOLOGII	9
III.	WPLÝW WARUNKÓW POGODOWYCH NA ROZPRZESTRZENIANIE SIĘ ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA NA TERENIE WARSZAWY – POCZĄTKI BADAŃ ZAKŁADU KLIMATOLOGII	17
IV.	THE AEROSANITARY CONDITIONS IN THE TOWNS OF POLAND – Bożena KICIŃSKA	47
V.	THE ACIDITY OF PRECIPITATION IN WARSAW – Krzysztof OLSZEWSKI	62
		71

VI.	THE INFLUENCE OF AEROSANITARY AND BIOMETEOROLOGICAL CONDITIONS ON THE HEALTH AND MORTALITY OF THE INHABITANTS OF WARSAW – Magdalena KUCHCIK	69
VII.	ROLA CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ W KSZTAŁTOWANIU ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA MIAST W POLSCE W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII	81
7.1.	Zmiany zanieczyszczenia powietrza miast Mazowsza ze szczególnym uwzględnieniem Warszawy	81
7.1.1.	Zależność zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki od typów cyrkulacji atmosferycznej w środkowej Polsce (2005) – Kamila PYŁKA (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	81
7.1.2.	Zależność stężenia siarczanów w powietrzu od cyrkulacji atmosferycznej (na przykładzie Warszawy (1988) – Piotr KOŁECKI (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	115
7.1.3.	Zależność stężenia dwutlenku azotu w Warszawie od warunków meteorologicznych i cyrkulacji atmosferycznej (2000) – Krzysztof KOCHAŃSKI (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	128
7.1.4.	Wpływ warunków meteorologicznych na rozkład zanieczyszczeń w Warszawie (2000) – Aleksandra CZERWONKA (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)	140
7.1.5.	Zmiany zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem azotu w Warszawie w latach 2004-2006 (2010) – Paweł SZCZEPAŃSKI (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	153
7.1.6.	Zmiana zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem azotu w Warszawie w latach 2006-2010 (2011) – Jacek KRYTWINSKI (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	166
7.1.7.	Wpływ warunków pogodowych na wzrost stężenia ozonu troposferycznego w śródmieściu Warszawy (2004) – Katarzyna JATCZAK (opiekun naukowy: Jolanta WAWER)	177
7.1.8.	Zmiany stężenia ozonu troposferycznego w Warszawie w latach 2004-2008 (2010) – Izabela ŻOCHOWSKA (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	181
7.1.9.	Wpływ warunków pogodowych na stężenie pyłu zawieszonego w powietrzu na przykładzie Warszawy (2010) – Urszula FRYDRYCHOWSKA (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	193
7.1.10.	Warunki opadowe a kwasowość opadu w Warszawie w latach 1993-1995 (2000) – Adam CIEŚLAK (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	202
7.1.11.	Wpływ cyrkulacji atmosfery na kwasowość opadu na przykładzie Jarczewa (2009) – Katarzyna ZDUŃCZYK (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	206
7.1.12.	Wpływ warunków meteorologicznych na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń powietrza w porze zimowej i wiosennej w 1969/1970 roku (1971) – Witold HUCULAK (opiekunowie naukowy: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Jerzy BORYCZKA)	217
7.1.13.	Wpływ warunków meteorologicznych na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń powietrza w porze letniej i jesiennej w 1970 roku (1971) – Barbara KLEMENTYS (opiekunowie naukowy: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Jerzy BORYCZKA)	225
7.1.14.	Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na zanieczyszczenia powietrza w Płocku (2005) – Jacek ZÓŁTOWSKI (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	232
7.2.	Zmiany zanieczyszczenia powietrza miast w południowej Polsce ze szczególnym uwzględnieniem Krakowa	244
7.2.1.	Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki w południowej Polsce (2009) – Anna SKUPIŃSKA (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	244
7.2.2.	Wpływ warunków meteorologicznych na stężenie zanieczyszczeń powietrza na przykładzie Krakowa i Warszawy (2004) – Agata KIELMER (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	254
7.2.3.	Zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem azotu w Warszawie i Krakowie w latach 1994-1998 (2006) – Izabela GOŁĘBCZYK (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	262
7.2.4.	Tendencje zmian zanieczyszczeń powietrza w Polsce na przykładzie wybranych miast (Gorzów Wielkopolski, Warszawa, Kraków) (2000) – Aneta WICHER VEL WICHROWSKA (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)	273



7.2.5.	Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na stężenie dwutlenku siarki i dwutlenku azotu w Krakowie w latach 1995-1997 (2003) – Marek HENZEL (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	283
7.2.6.	Zanieczyszczenie powietrza pyłem PM10 na terenie Warszawy i Krakowa w latach 2005-2009 (2011) – Anna FAFLAK (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	292
7.2.7.	Zmiany zanieczyszczenia powietrza w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym w latach 90. XX wieku (2003) – Aldona GIETKA (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	301
7.2.8.	Ocena stopnia zanieczyszczenia powietrza na terenie Parku Narodowego Gór Stołowych, (1998) – Łukasz PILARCZYK (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	312
7.3.	Zmiany zanieczyszczenia powietrza miast w północnej Polsce	327
7.3.1.	Zanieczyszczenie powietrza tlenkami azotu w północno-zachodniej Polsce (2012) – Agata WAWRZYSZCZUK (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	327
7.3.2.	Zależność stężenia dwutlenku siarki w atmosferze od warunków pogodowych na obszarze Północnej Polski w latach 1994-1997 (2003) – Izabella PRZYCZKA (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	333
7.3.3.	Wpływ warunków atmosferycznych na stężenie dwutlenku siarki w Łebie w latach 1994-1999, (2004) – Małgorzata SZYMAŃSKA (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	350
7.3.4.	Zależność dobowego stężenia jonów siarczanowych w atmosferze od typów cyrkulacji (na przykładzie Suwałk) (1993) – Jan SUCHOCKI (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	360
7.3.5.	Zależność dobowego stężenia dwutlenku siarki w atmosferze oraz typów cyrkulacji atmosferycznej (na przykładzie Suwałk) (1993) – Joanna DOWGIAŁŁO (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	371
7.4.	Zanieczyszczenia powietrza miast w innych krajach	382
7.4.1.	Wpływ topografii terenu na stężenie SO <sub>2</sub> w powietrzu na obszarze Sudetów Zachodnich i Pogórza Zachodniopomorskiego (2004) – Urszula RUDNICKA (opiekun naukowy: Danuta DOBAK)	382
7.4.2.	Zanieczyszczenia atmosfery dwutlenkiem siarki w Polsce i w Niemczech w latach 1993-1996, (1998) – Krzysztof PISKORSKI (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	394
7.4.3.	Warunki tworzenia się smogu fotochemicznego na przykładzie Meksyku (2010) – Maria CUEVAS-KOŚCISKA (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	406
VIII.	STAN BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU Z UWZGLĘDNIENIEM PROGNOZ – Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA, Elżbieta BŁAŻEK, Jan SKRZYPCZUK	416
IX.	VERIFICATION OF PERIODIC FORECASTS CONCERNING CHANGES IN THE CLIMATE OF WARSAW IN THE PERIOD 1779-2010 – Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA, Urszula KOSSOWSKA-CEZAK, Jolanta WAWER	431
X.	ZAKOŃCZENIE	452
XI.	LITERATURA	464

## **XXIX. Ocena klimatu na potrzeby lotnictwa w Warszawie i innych miastach Polski**

**Tom XXIX.** Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., Grzęda M., 2013, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Ocena klimatu na potrzeby lotnictwa w Warszawie i innych miastach Polski** (red.: K. Błażczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, ss. 451.

Prace dyplomowe w tym zakresie podejmowane były najczęściej z inicjatywy studentów specjalizacji klimatologicznej. Świadectwem tego niech będzie pierwsza praca

magisterska J. Ososa pt. *Klimat lotniska Warszawa-Okęcie*, wykonana przez czynnego pracownika LOT pod kierunkiem W. Okołowicza i Z. Kaczorowskiej w 1963 roku.

Przed przystąpieniem do zasadniczego tematu, w rozdz. II pt. *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy i innych miast Polski w publikacjach Zakładu Klimatologii* dokonano prezentacji kolejnych problemów badań klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych, zawartych w poszczególnych tomach Atlasu.

We współczesnym świecie daje się zaobserwować gwałtowny rozwój komunikacji lotniczej. Wzrosła liczba nowych połączeń, wydłużają się ich trasy i czas trwania lotu.

Komunikacja lotnicza stała się najbezpieczniejszym i najszybszym rodzajem transportu o szybko wzrastającej liczbie pasażerów. Gwałtownie rośnie też zainteresowanie zjawiskami atmosferycznymi, towarzyszącymi podróżom lotniczym i wywierającymi negatywny wpływ na organizm człowieka.

Tematy dotyczące bezpośrednio klimatu lotnisk najczęściej podejmowane były przez studentów specjalizacji w pierwszej dekadzie XXI wieku (Mrozek 2003, Błasiak 2007, Parzuchowski 2008, Olczak 2008, Szmyd 2008, Śmielak 2010, Tołoczko 2010).

Klimat lotniska Okęcie w Warszawie przedstawiony w rozdziałach III pt. *Klimat lotniska Okęcie w Warszawie w opublikowanych skrótach prac magisterskich Zakładu Klimatologii* i IV pt. *Klimat lotniska w Warszawie w archiwalnych pracach magisterskich Zakładu Klimatologii* jest potraktowany wyjątkowo, bo uwzględnia aż 15 prac związanych bezpośrednio lub pośrednio z tym problemem.

Druga część pracy dotyczy klimatu lotnisk położonych nie tylko na Mazowszu ale i w innych regionach geograficznych Polski:

- Nizina Mazowiecka – Warszawa (Okęcie), Radom (Sadków), Dęblin (Lotnisko)
- Pojezierze Mazurskie – Olsztyn (Dajtki)
- Pojezierze Wielkopolskie – Poznań (Ławica)
- Nizina Śląska – Wrocław (Strachowice)
- Karpaty Polskie – Krosno (Lotnisko), góry

Za najważniejsze wyniki badań tej zasadniczej części Atlasu należy uznać prace dotyczące bezpośrednio oceny klimatu badanych lotnisk wymienionych miast.

Lotniska zbadano pod względem: kierunku i prędkości wiatru, częstości występowania mgieł, burz, zamieci śnieżnych, szronu oraz intensywnych opadów atmosferycznych. Wydzielono też okresy, w których pogoda najbrdziej lub najmniej sprzyja komunikacji lotniczej. Na szczególną uwagę zasługuje rozdział VI pt. *Obciążenia organizmu ludzkiego powstałe na dalekich trasach lotniczych poświęcony obciążeniom organizmów ludzkich powstałym na dalekich trasach lotniczych po przekroczeniu stref klimatycznych i czasowych* (Buczyński 1990). Najwięcej miejsca poświęcono obciążeniom wynikającym ze zmiany strefy klimatycznej. Podjęto próbę określenia obciążeń klimatycznych, tj. stresu ciepła i stresu chłodu. Opisano zmiany odczuwalności cieplnej między portem docelowym a macierzystym za pomocą różnic temperatury efektywnej na trzech wybranych trasach:

- Warszawa-Singapur
- Warszawa-Kair
- Warszawa-Montreal

Badając częstość występowania w ciągu roku codziennych różnic  $\Delta$  NTE podzielonych w przedziały wyznaczono okresy występowania największych i najmniejszych ob-

ciążeń klimatycznych. I tak, dla tras Warszawa-Singapur i Warszawa-Kair najbardziej niekorzystny dla organizmu okres przypada między listopadem i lutym, a minimum obciążeń występuje między czerwcem i wrześniem (Singapur) lub kwietniem i październikiem (Kair). Analogiczne okresy dla trasy Warszawa-Montreal kształtują się następująco: maksimum obciążeń występuje od grudnia do lutego, a minimum od czerwca do września. Uzyskane wyniki mogą stanowić podstawę do planowania terminów lotów, jeżeli inne, ważniejsze uwarunkowania na to zezwalają.

Wydzielono też rozdział VII pt. *Wiatry silne i bardzo silne w Polsce i ich uwarunkowania cyrkulacyjne dotyczący wiatrów o dużych prędkościach*, traktując je jako najbardziej niebezpieczne zjawiska pogodowe w komunikacji lotniczej.

Rozdział VIII pt. *Zmiany okresowe i tendencje niektórych zjawisk pogodowych w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem Warszawy i Krakowa* obejmuje opublikowane przez zespół pracowników Zakładu Klimatologii niektóre zjawiska pogodowe w Polsce i ich niebezpiecznych skutki dla różnych dziedzin gospodarki narodowej.

W oryginalnym rozdziale IX pt. *Weryfikacja prognoz okresowych zmian opadów atmosferycznych w Polsce w latach 1980-2100* oceniono sprawdzalność prognoz opadów (według interferencji cykli) na przykładzie Warszawy i Wrocławia.

W rozdziale X pt. *O realności okresów i tendencji zmiennych klimatologicznych* zastosowano zasady identyfikacyjne w weryfikacji wyznaczanych cykli (metodą „sinusoid regresji”) w odniesieniu do ich przyczyn i liczb losowych.

## SPIS TREŚCI (XXIX)

I	WPROWADZENIE	7
II.	NATURALNE I ANTROPOGENICZNE ZMIANY KLIMATU WARSZAWY I INNYCH MIAST POLSKI W PUBLIKACJACH ZAKŁADU KLIMATOLOGII	9
III.	KLIMAT LOTNISKA OKĘCIE W WARSZAWIE W OPUBLIKOWANYCH SKRÓTACH PRAC MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII	18
3.1	Klimat lotniska Warszawa-Okęcie (1951-1960) (1963) – Józef OSOS (opiekunowie naukowci: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA)	18
3.2.	Wstępna ocena możliwości numerycznego prognozowania mgieł na lotnisku Warszawa-Okęcie (2007) – Karolina BŁASIAK (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	37
3.3	Okresowe zmiany ciśnienia atmosferycznego w Warszawie i Krakowie w latach 1966-1995 (2005) – Marta MACIEJAK (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)	47
3.4.	Typy cyrkulacji atmosferycznej a prędkość wiatru w Warszawie i Krakowie (2005) – Paulina PIĄTKOWSKA (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)	56
3.5	Tendencje rocznych zmian zachmurzenia w Warszawie i Krakowie w latach 1966-1995 (2006) – Karol STYŚ (opiekun naukowy: Katarzyna GRABOWSKA)	65
3.6.	Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1966-1995 (2003) – Mariola GÓRSKA (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)	79
3.7.	Warunki synoptyczne sprzyjające powstawaniu burz w Warszawie (1997) – Katarzyna WESOŁOWSKA (GRABOWSKA) (opiekun naukowy: Maria STOPA-BORYCZKA)	85
3.8.	Zmiana warunków meteorologicznych w Warszawie po przejściu burzy (2008) – Przemysław KOTYNIA, Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA	90
3.9.	Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na sumy dobowe opadów > 10 mm w Warszawie i Krakowie (2009) – Joanna MAROSZEK (opiekun naukowy: Jolanta WAWER)	99
3.10.	Ostrość i śnieżność zim w Warszawie w latach 1965-1995 (2005) – Rafał PŁAŻEWSKI (opiekun naukowy: Urszula KOSSOWSKA-CEZAK)	112
3.11.	Charakterystyka warunków odczuwalnych otoczenia Warszawy na przykładzie stacji Okęcie w latach 1966-1970 (1991) – Magdalena SZULC-BOMBA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	123
IV.	KLIMAT LOTNISKA W WARSZAWIE W ARCHIWALNYCH PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII	130
		75

4.1.	Rola mas powietrza w kształtowaniu warunków termicznych w Warszawie (2009) – Dominika PIĘTAK (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	130
4.2.	Częstość burz w różnych masach powietrza w Warszawie (2008) – Izabela ZABŁOCKA (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	142
4.3.	Cykliczność i tendencje zmian hydrometeorów w Warszawie – Monika MARKS (opiekun naukowy: Jolanta WAWER)	153
4.4.	Wpływ ruchu lotniczego Lotniska Warszawa-Okęcie na klimat akustyczny południowo-zachodniej części Warszawy (2011) – Grzegorz WIKTORSKI (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	165
V.	OCENA KLIMATU NA POTRZEBY KOMUNIKACJI LOTNICZEJ W INNYCH MIASTACH POLSKI (RADOM, DĘBLIN, OLSZTYN, POZNAŃ, WROCŁAW, KROSNO)	187
5.1.	Klimat lotniska Sadków w Radomiu (2008) – Paweł PARZUCHOWSKI (opiekun naukowy: Jerzy BORYCZKA)	187
5.2.	Meteorologiczne uwarunkowania działań lotniczych na obszarze Wyższej Szkoły Oficerskiej Sił Powietrznych w Dęblinie (2010) – Marzena SMIELAK (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	204
5.3.	Uwarunkowania klimatyczne lotniska Olsztyn-Dajtki (2003) – Anna MROZEK (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	221
5.4.	Warunki klimatyczne lotniska w Poznaniu-Ławicy (2008) – Emilia OLCZAK (opiekun naukowy: Katarzyna GRABOWSKA)	238
5.5.	Niebezpieczne zjawiska pogodowe zagrażające funkcjonowaniu Lotniska Wrocław Strachowice w latach 2006-2009 (2010) – Anna TOŁOCZKO (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	266
5.6.	Wpływ warunków meteorologicznych na funkcjonowanie lotniska w Krośnie – Jakub SZMYD (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	280
5.7.	Zjawisko fali górskiej w Karpatach Polskich (2008) – Jakub SZMYD (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	292
VI.	OBCIĄŻENIA ORGANIZMU LUDZKIEGO POWSTAŁE NA DALEKICH TRASACH LOTNICZYCH (1990) – Krzysztof BUCZYŃSKI (opiekunowie naukowcy: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	312
VII.	WIATRY SILNE I BARDZO SILNE W POLSCE I ICH UWARUNKOWANIA CYRKULACYJNE	339
7.1.	Warunki synoptyczne sprzyjające występowaniu silnych wiatrów w Polsce w latach 1951-1987 (1997) – Elżbieta FLISIAK (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	339
7.2.	Wiatry silne i bardzo silne w Polsce (1995) – Anna Beata ADAMCZYK (opiekun naukowy: Danuta MARTYN)	349
VIII.	ZMIANY OKRESOWE I TENDENCJE NIEKTÓRYCH ZJAWISK POGODOWYCH W POLSCE ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM WARSZAWY I KRAKOWA – Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA, Katarzyna GRABOWSKA, Jolanta WAWER, Elżbieta BŁAŻEK, Jan SKRZYPCZUK	359
IX.	WERYFIKACJA PROGNOZ OKRESOWYCH ZMIAN OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W POLSCE W LATACH 1980-2100 – Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA, Urszula KOSSOWSKA-CEZAK, Jolanta WAWER	382
X.	O REALNOŚCI OKRESÓW I TENDENCJI ZMIENNYCH KLIMATOLOGICZNYCH – Jerzy BORYCZKA	403
XI.	ZAKOŃCZENIE	416
XII.	LITERATURA	437

W *Zakończeniu* (rozdz. XI) przedstawiono najważniejsze wyniki badań, dotyczących oceny klimatu na potrzeby komunikacji lotniczej w miastach reprezentujących różne regiony geograficzne Polski.

### **XXX. Klimat północno- wschodniej Polski według podziału fizycznogeograficznego J. Kondrackiego i J. Ostrowskiego**

**Tom XXX.** Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., Grzęda M., 2013, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Klimat północno-wschodniej Polski według podziału fizycznogeograficznego J. Kondrackiego i J. Ostrowskiego** (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, ss. 450.

Tom XXX można uznać za syntezę dotychczasowych badań wpływu czynników geograficznych na klimat w różnych skalach przestrzennych.

Najpierw w rozdziale II przedstawiono najważniejsze wyniki badań z opublikowanego w 1986 roku t. IV Atlasu pt. *Klimat Północno-wschodniej Polski* (Opracowania Zespołowego). Zawiera on głównie opis wzorami empirycznymi poszczególnych elementów meteorologicznych i zjawisk atmosferycznych oraz faz fenologicznych roślin. W Zakończeniu wyodrębniono opis zróżnicowania klimatu w zależności od położenia geograficznego, rzeźby, pokrycia terenu i zbiorników wodnych.

Zasadniczą część pracy, oryginalną ale dotychczas archiwalną stanowi rozdział III pt. *Opracowanie pod względem klimatycznym oraz dokonanie analizy porównawczej jednostek fizycznogeograficznych (mezoregionów) północno wschodniej części Polski wg podziału J. Kondrackiego i J. Ostrowskiego* poświęcony szczegółowej charakterystyce klimatu północno-wschodniej części Polski. Za podstawę zróżnicowania klimatu w makroregionach posłużyły wcześniej wykonane mapy zawarte w t. IV Atlasu. Natomiast zróżnicowanie mezoregionalne udokumentowano głównie wynikami pomiarów meteorologicznych zestawionymi w tabeli ze stacji przypisanych tym mezoregionom.

Rozdziały II i III opracowano korzystając z wyników obserwacji prowadzonych na stacjach meteorologicznych w 15-letnim okresie (1951-1965). Jest to okres najbardziej reprezentatywny ze względu na jednorodność ciągów obserwacyjnych. Jednolite pomiary na odpowiednio zagęszczonej sieci stacji meteorologicznych w Polsce rozpoczęto w zasadzie w 1951 r. Od 1966 roku nastąpiła zmiana terminów obserwacji na stacjach synoptycznych, a w 1971 – na stacjach klimatologicznych. Dlatego też w opracowaniu przyjęto przedział czasu 1951-1965 jako okres podstawowy.

W rozdziale IV pt. *Postęp badań naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu Polski na przykładzie Niziny Mazowieckiej (w Atlasach tematycznych z lat 2008-2013)* przedstawiono najważniejsze wyniki badań klimatu Warszawy i okolic w ostatnich latach (początek XXI wieku) w odniesieniu do drugiej połowy XX wieku. Ponadto Atlasy zawierają wyniki badań prowadzonych przez pracowników i studentów Zakładu Klimatologii w różnych skalach przestrzennych i czasowych: Europa, Polska, Mazowsze, Kotlina Warszawska, Równina Warszawska, Warszawa.

W rozdziale V pt. *Badania eksperymentalne klimatu lokalnego na przykładzie terenów miejskich, leśnych, jeziornych i bagiennych w publikacjach Zakładu Klimatologii UW* wyróżniono najważniejsze opracowania syntetyczne – reprezentatywne tematy badań np. miejskiej wyspy ciepła na przykładzie Warszawy, wpływu zbiorowisk leśnych na zróżnicowanie klimatu lokalnego na przykładzie Puszczy Boreckiej, wpływ zbiorników wodnych na klimat na przykładzie Jeziora Śniardwy oraz wpływ terenów bagiennych na klimat lokalny na przykładzie Kotliny Biebrzańskiej.

Rozdział VI p.t. *Z badań eksperymentalnych klimatu lokalnego Północno-Wschodniej Polski w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii UW* uzupełnia wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych najwcześniej na Pojezierzu Litewskim i Mazurskim oraz na Nizinie Północnomazowieckiej i Północnopodlaskiej. Główny akcent położono na badania wpływu rzeźby i pokrycia terenu oraz jezior i bagien na klimat lokalny. Badania przeprowadzono w ramach kursowych ćwiczeń terenowych i zbierania materiałów do prac magisterskich.

Rozdział VII pt. *Ocena klimatu północno wschodniej części Polski na potrzeby człowieka* informuje, że nie pominięto też działań klimatologii stosowanej, czyli oceny warunków odczuwalnych w zależności od pory roku i pory dnia oraz warunków pogodowych. Podano też przykłady oceny warunków pogodowych dla potrzeb rolnictwa oraz sportu i turystyki.

Rozdział VIII pt. *Ogólna charakterystyka badań północno wschodniej części Polski w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii UW w latach 1952-2010 (przykłady)* obejmuje wykaz ważniejszych prac magisterskich dotyczących zróżnicowania klimatu północno-wschodniej części Polski w skali makroregionalnej i mezoregionalnej na przykładzie jednostek administracyjnych, geograficznych i większych miast.

Rozdziały IX. pt. *Ocena klimatu na potrzeby różnych dziedzin gospodarki narodowej* obejmuje tytuły prac magisterskich opublikowanych i archiwalnych w zakresie następujących problemów: bioklimat miast północno-wschodniej Polski ze szczególnym uwzględnieniem Warszawy i uzdrowisk w strefie podmiejskiej, stan aerosanitarny Warszawy i innych miast NE Polski, oceny klimatu na potrzeby rolnictwa, budownictwa, sportu i turystyki oraz lotnictwa w Warszawie i innych miastach Polski.

Rozdział X. pt. *Próba oceny kierunków rozwoju gospodarczego niektórych makroregionów i mezoregionów geograficznych Polski* znajduje się w końcowych rozdziałach prac dyplomowych dotyczących klimatu województw wg podziału administracyjnego z 1975 r. Na przykład J. Wiekł-Wawer (1977) w pracy pt. *Klimat stołecznego województwa warszawskiego* dokonuje oceny klimatu badanych mezoregionów na potrzeby rolnictwa, ogrodnictwa, turystyki i wypoczynku.

W *Zakończeniu* (rozd. XI) wyeksponowano opis zróżnicowania klimatu północno-wschodniej Polski w zależności od położenia geograficznego, rzeźby i pokrycia terenu oraz zbiorników wodnych. Ponadto przedstawiono charakterystykę klimatu najchłodniejszych mezoregionów Pojezierza Litewskiego i najcieplejszych mezoregionów Niziny Środkowomazowieckiej. Zwrócono też uwagę na wyróżniające się cechy klimatu lokalnego w badanych jednostkach fizycznogeograficznych.

Opracowanie warunków odczucia ciepła i charakterystyk dotyczących bodźcowości klimatu północno-wschodniej części Polski, pozwoliło na wyróżnienie dwóch grup stacji, charakteryzujących się odmiennymi warunkami odczuwalnymi.

Do pierwszej grupy należą: Siedlce, Warszawa, Płock i Ostrołęka – reprezentujące kolejno: Nizinę Południowopodlaską, Nizinę Środkowomazowiecką, Kotlinę Toruńsko-Eberswaldzką i Nizinę Północnomazowiecką.

Druga grupę stanowią stacje reprezentujące północne obszary Polski Północno-Wschodniej: Suwałki – Pojezierze Litewskie, Olsztyn – Pojezierze Mazurskie, Elbląg – Pobrzeże Gdańskie.

## SPIS TREŚCI (XXX)

I.	WPROWADZENIE	7
II.	KLIMAT PÓŁNOCNO-WSCHODNIEJ POLSKI W ATLASIE WSPÓŁZALEŻNOŚCI PARAMETRÓW METEOROLOGICZNYCH I GEOGRAFICZNYCH W POLSCE (T. IV, 1986) – Opracowanie Zespołowe	9
2.1.	Przedmowa Prof. Jerzego Kondrackiego	9
2.2.	Materiały źródłowe i metody opracowania	10
2.3.	Rozkład geograficzny zmiennych meteorologicznych (izarytmy i równania regresji)	15
2.4.	Wpływ czynników geograficznych na klimat północno- wschodniej części Polski w różnych skalach przestrzennych – Zakończenie	32
2.5.	Summary	40
III.	KLIMAT PÓŁNOCNO-WSCHODNIEJ CZĘŚCI POLSKI WEDŁUG MAKROREGIO- NÓW I MEZOREGIONÓW GEOGRAFICZNYCH J. KONDRACKIEGO I J. OSTROWSKIEGO Z UWZGLĘDNIENIEM BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH KLIMATU LOKALNEGO	43
3.1.	Klimat mezoregionów Pojezierza Litewskiego (832.2)	48
3.2.	Klimat mezoregionów Pojezierza Mazurskiego (832.1)	59
3.3.	Klimat mezoregionów Niziny Staropruskiej (831.1)	74
3.4.	Klimat mezoregionu Pojezierza Ławskiego (314.53)	78
3.5.	Klimat mezoregionów Pradoliny Toruńsko-Eberswalskiej (315.2)	83
3.6.	Klimat mezoregionów Pojezierza Chełmińskiego-Dobrzyńskiego (315.3)	96
3.7.	Klimat mezoregionów Niziny Północnomazowieckiej (319.6)	101
3.8.	Klimat mezoregionów Niziny Północnopodlaskiej (833.1)	114
3.9.	Klimat mezoregionów Niziny Południowopodlaskiej (318.9)	126
3.10.	Klimat mezoregionów Niziny Środkowomazowieckiej (319.7)	133
IV.	POSTĘP BADAŃ NATURALNYCH I ANTROPOGENICZNYCH ZMIAN KLIMATU POLSKI NA PRZYKŁADZIE NIZINY MAZOWIECKIEJ (w Atlasach tema- tycznych z lat 2008-2013)	154
4.1.	Klimat Wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007	154
4.2.	Wpływ zabudowy i zieleni osiedlowej na zróżnicowanie klimatu lokalnego w Warszawie	157
4.3.	Klimat Warszawy i innych miast Polski. Studia porównawcze	160
4.4.	Klimat Warszawy i miejscowości strefy podmiejskiej	162
4.5.	Zmiany klimatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku.	165
4.6.	Z badań klimatu Mazowsza z uwzględnieniem większych miast	168
4.7.	Stan zanieczyszczenia atmosfery w Warszawie i innych miastach Polski	172
4.8.	Ocena klimatu na potrzeby lotnictwa w Warszawie i innych miastach Polski	175
V.	WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH KLIMATU LOKALNEGO NA PRZYKŁADZIE TERENÓW MIEJSKICH, LEŚNYCH, JEZIORNÝCH I BAGIEN- NYCH W PUBLIKACJACH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UW	180
5.1.	Badania miejskiej wyspy ciepła w Warszawie – Maria Stopa-Boryczka, Jerzy Boryczka, Jolanta Wawer, Katarzyna Grabowska	180
5.2.	Ocena klimatu lokalnego do projektu zespołu osiedli mieszkaniowych w Białotęce Dworskiej w Warszawie – Maria Stopa-Boryczka, Maria Kopacz-Lembowicz, Ewa Ryczywolska, Jerzy Boryczka, Andrzej Górka	192
5.3.	Wpływ zbiorowisk leśnych na zróżnicowanie klimatu lokalnego w Puszczy Boreckiej (autoreferat pracy doktorskiej) – Katarzyna Pietras	204
5.4.	Klimat Krainy Wielkich Jezior Mazurskich ze szczególnym uwzględnieniem klimatu lokalnego jeziora Śniardwy oraz wyspy Szeroki Ostrów – Wincenty Okołowicz, Maria Stopa, Gabriela Przybylska, Maria Nowacka, Jerzy Boryczka, Jolanta Sitek	222
5.5.	<i>Klimat Kotliny Biebrzanskiej – Urszula Kossowska-Cezak, Krzysztof Olszewski, Gabryela Przybylska</i>	240
		79

VI.	<i>Z BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH KLIMATU LOKALNEGO PÓŁNOCNO-WSCHODNIEJ POLSKI W ARCHIWALNYCH PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UW</i>	276
6.1.	Pojezierze Litewskie	276
6.1.	Zależność wskaźników bioklimatycznych od ukształtowania terenu na Pojezierzu Suwalskim (1980) – Jolanta OKOŃSKA (opiekunowie naukowcy: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	276
6.1.	Próba wyznaczenia współczynnika turbulencyjnej wymiany ciepła w porze letniej na podstawie pomiarów temperatur ekstremalnych na Pojezierzu Suwalskim w latach 1964 i 1965 (1968) – Andrzej MALISZEWSKI (opiekunowie naukowcy: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Jerzy BORYCZA)	292
6.1.	Zróżnicowanie warunków termicznych i wilgotnościowych w wybranych typach siedlisk Puszczy Rominckiej (2008) – Zofia ŁOZIŃSKA (opiekun naukowy: Bożena KICIŃKA)	299
6.1.	Mikroklimat Doliny Czarnej Hańczy (2000) – Robert HADAM (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	309
6.2.	Pojezierze Mazurskie	320
6.2.	Wpływ zbiorników wodnych na warunki odczuwalne na przykładzie jeziora Śniardwy (1981) – Bohdan MIERZWIŃSKI (opiekunowie naukowcy: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	320
6.2.	Kształtowanie się wilgotności bezwzględnej w zależności od wybranych elementów meteorologicznych i charakteru podłoża w miesiącach letnich 1962-1965 na przykładzie fragmentów Pojezierza Mazurskiego (1968) – Krzysztof OLSZEWSKI (opiekunowie naukowcy: Wincenty OKOŁOWICZ, Zofia KACZOROWSKA, Maria STOPA)	329
6.2.	Zróżnicowanie klimatu lokalnego na Diablej Górze w Puszczy Boreckiej (2004) – Katarzyna PIETRAS (opiekun naukowy: Borżena KICIŃKA)	340
6.2.	Zróżnicowanie klimatu lokalnego okolic jeziora Żabinki (2004) – Karolina WOLSZCZAK (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	351
6.2.	Klimat lokalny okolic Kruklanek (2004) – Anna ODALSKA (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	362
6.3.	Nizina Północnomazowiecka	326
6.3.	Zróżnicowanie klimatu lokalnego Narwiańskiego Parku Narodowego (2007) – Agnieszka PETELCZYC (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	326
6.3.	Wykorzystanie technik GIS w badaniach klimatu lokalnego na przykładzie Narwiańskiego Parku Narodowego (2008) – Jan MUSIAŁ (opiekun naukowy: Krzysztof OLSZEWSKI)	384
6.4.	Nizina Północnopodlaska	398
6.4.	Warunki termiczne i wilgotnościowe na pograniczu lasu i terenu otwartego w Nadleśnictwie Browsk (Puszcza Białowiecka) (2009) – Anna KUNOWSKA (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	398
6.4.	Klimat lokalny Ciechanowca (2009) – Barbara OLSZEWSKA (opiekun naukowy: Katarzyna GRABOWSKA)	408
VII	<i>OCENA KLIMATU PÓŁNOCNO-WSCHODNIEJ CZĘŚCI POLSKI NA POTRZEBY CZŁOWIEKA</i>	421
7.1.	Charakterystyka bioklimatu północno-wschodniej części Polski (1977) – Alicja NOWICKA-WALCZYK (opiekunowie naukowcy: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	421
7.2.	Charakterystyka bioklimatu woj. suwalskiego w cieplej porze roku (1978) – Grażyna ROKOSZEWSKA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	438
7.3.	Warunki odczuwalne w Mikołajkach w pięcioleciu 1986-1990 (2001) – Maciej OKRASA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	449
7.4.	Ocena warunków odczuwalnych dla potrzeb sportu i turystyki zimowej w woj. suwalskim (1979) – Władysław REMISZEWSKI (opiekunowie naukowcy: Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	459
7.5.	Klimat jeziora Śniardwy dla potrzeb żeglarstwa (2001) – Joanna BEREŚ (opiekun naukowy: Bożena KICIŃSKA)	470



7.6.	Próba oceny warunków klimatycznych dla potrzeb rolnictwa w województwie białostockim na przykładzie ziemniaka – Wiesława JAKIMIUK-OLSZEWSKA (opiekun naukowy: Maria KOPACZ-LEMBOWICZ)	486
VIII.	OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA BADAŃ PÓŁNOCNO-WSCHODNIEJ CZĘŚCI POLSKI W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII W LATACH 1952-2010 (PRZYKŁADY)	497
IX.	OCENA KLIMATU NA POTRZEBY RÓŻNYCH DZIEDZIN GOSPODARKI NARODOWEJ	506
X.	PRÓBA OCENY KIERUNKÓW ROZWOJU GOSPODARCZEGO NIEKTÓRYCH MAKROREGIONÓW I MEZOREGIONÓW GEOGRAFICZNYCH NE POLSKI	511
XI.	ZAKOŃCZENIE	521
XII.	LITERATURA	547

### **XXXI-XXXII. Modele empiryczne przestrzennych i czasowych zmian klimatu Europy z wyodrębnieniem Polski (ważniejsze wyniki badań)**

**Tom XXXI-XXXII.** Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2014, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce **pt. Modele empiryczne przestrzennych i czasowych zmian klimatu Europy z wyodrębnieniem Polski (ważniejsze wyniki badań)** (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, Warszawa, ss. 421.

Podwójny Tom XXXI-XXXII *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*. **pt. Modele empiryczne przestrzennych i czasowych zmian klimatu Europy z wyodrębnieniem Polski** stanowi podsumowanie ważniejszych wyników badań w zakresie wpływu położenia geograficznego i wysokości nad poziomem morza na klimat w różnych skalach przestrzennych i czasowych. Główny akcent położono na modele empiryczne, aproksymujące pola zmiennych klimatologicznych i modele zmian czasowych klimatu. Szczególną uwagę zwrócono na cykliczne zmiany klimatu i ich przyczyny, tendencje wiekowe zmian klimatu i prognozy zmian klimatu w XXI wieku oraz ich sprawdzalność (weryfikację).

W rozdziale II. *Metody statystyczne wprowadzone do literatury przez Zakład Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego* przedstawiono teorię i przykłady konkretnego zastosowania metod aproksymacji pól zmiennych klimatologicznych (wielomianami regresji) w Polsce i Europie. Sporo miejsca poświęcono badaniom cykliczności zmiennych klimatologicznych metodą „sinusoid regresji” J. Boryczki. Przykłady dotyczą nie tylko Polski i Europy, ale także globalnych zmian klimatu. Podano też promocje wyników badań przedstawione przez specjalistów w przedmowach do niektórych tomów Atlasu.

W rozdziałach III. *Modele empiryczne przestrzennych zmian klimatu Polski*, IV. *Aproksymacja pól zmiennych meteorologicznych w Europie*, V. *Gradientsy geograficzne pola temperatury powietrza w Europie* i VI. *Deformacja pól zmiennych meteorologicznych przez miasto* przedstawiono aspekt poznawczy wyników badań w zakresie wpływu czynników geograficznych na klimat. Istotne znaczenie poznawcze ma określenie deformacji pól zmiennych meteorologicznych przez rzeźbę terenu. Wyeliminowanie wpływu wysokości terenu na klimat pozwoliło na wyodrębnienie strefy oddziaływania Atlantyku i Bałtyku. O przejściowości klimatu Polski świadczy między innymi

zmiana znaku gradientu równoleżnikowego temperatury powietrza w ciągu roku, z ujemnego zimą na dodatni latem.

Novum w literaturze klimatologicznej stanowią mapy izogradientów np. pola temperatury powietrza (wyznaczonego na podstawie wielomianów czwartego stopnia), tj. składowych południkowej, równoleżnikowej i hipsometrycznej. Gradienty horyzontalne na poziomie morza  $\vec{\Gamma}$  na poziomie rzeczywistym  $\vec{\gamma}$  o składowych południkowej i równoleżnikowej (wyrażone także w  $^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$ ) określone przez funkcje aproksymujące, tj. wielomiany regresji 4. stopnia  $T=f(\varphi, \lambda, H)$  i  $T=f(\varphi, \lambda)$  są wektorami – o odpowiednich kierunkach i długości (Boryczka, Stopa-Boryczka, Wawer 1984; Boryczka, Stopa-Boryczka 1986).

W praktyce najistotniejsze znaczenie mają równania hiperpłaszczyzn i wielomianów regresji, które można wykorzystać do prognozy poszczególnych zmiennych meteorologicznych – oszacowania wartości średnich, np. miesięcznych, sezonowych i rocznych, tam gdzie nigdy nie prowadzono pomiarów.

Celem rozdziałów VII. *Postęp badań przyczyn zmian klimatu Ziemi w drugiej połowie XX wieku – z zastosowaniem metody „sinusoid regresji”* J. Boryczki i VIII. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w XIX-XXI wieku* 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 (do końca XXI wieku) w 40 miastach Europy. O naturalnych przyczynach globalnego ocieplenia klimatu w ostatnich dwóch stuleciach, świadczą zbliżone widma (cykle) i synchroniczne wahania zmiennych klimatologicznych (skutków) i zmiennych astronomicznych (przyczyn). W widmach oscylacji cyrkulacji atmosferycznej, temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, odpływów rzek, poziomu Morza Bałtyckiego są obecne tej samej długości cykle, które występują w widmach oscylacji aktywności Słońca.

Wykazano synchroniczne wahania aktywności Słońca (liczb Wolfa) i momentu mas ( $\mu$ ) 4 największych planet (Jowisz, Saturn, Uran, Neptun) względem środka Układu Słonecznego oraz wskaźnika ( $-B_z$ ) koncentracji masy planet względem płaszczyzny ekliptyki.

Natomiast w rozdziale IX. *Wpływ aktywności Słońca (obserwowanej z Ziemi) na cykl roczny temperatury powietrza w Polsce (1951-2010)* określono cykl roczny aktywności Słońca (liczb Wolfa), związany z ruchem obiegowym Ziemi dookoła Słońca (365,25 dni) i ruchem obrotowym Słońca (25-31 dni). Wykazano synchroniczne wahania w przebiegach rocznych aktywności Słońca (jego powierzchni skierowanej ku Ziemi), wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej i temperatury powietrza w Warszawie.

W rozdziale X. *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych* dokonano identyfikacji przyczyn zmian klimatu, a kluczowe znaczenie mają synchroniczne cykle klimatyczne i dendrologiczne w Europie (cykle 8-, 11-, 100- i 180-letnie temperatury powietrza, aktywności Słońca i słoju drzew). Najdłuższe okresy około 100- i 180-letni powtarzają się wielokrotnie w ciągach chronologicznych np. słoju sosny *Pinus sylvestris* (Norwegia), zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniach lodowych (wyspa Devon – od 110 777 lat temu). Ponadto okres 180-letni zmiennych klimatologicznych jest zbliżony do cyklu planetarnego 178,9-letniego konfiguracji planet. Najmroźniejsze zimy, o średniej temperaturze  $< -7^{\circ}\text{C}$ , wystąpią prawdopodobnie w połowie obecnego stulecia – około roku 2050.

O poprawności zastosowanych metod świadczą pozytywne oceny sprawdzalności prognoz, opracowanych z wyprzedzeniem 30 lat (1980), na podstawie modeli progno-

stycznych w rozdz. XI. Weryfikacja prognoz okresowych zmian temperatury powietrza w Warszawie (1779-2010).

W rozdziale XII. Weryfikacja prognoz klimatu Półkuli Północnej na podstawie zmian orbity Ziemi, 12.1. Rekonstrukcja (od -1 000 000 BP) i prognoza (do 1 000 000 AD) klimatu według promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^{\circ}$  N obliczono sumy promieniowania słonecznego w lecie i miesiącach marzec-listopad na równoleżniku  $\varphi = 65^{\circ}$ . Następnie zweryfikowano je w podrozdziałach: 12.2. Rekonstrukcja (od -500 000 BP) i prognozy (do 500 000 AD) klimatu według zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon i 12.3. Rekonstrukcja (od 30 000 BP) i prognoza (do 1000 AD) klimatu Europy według substancji organicznych zdeponowanych w Jeiorze Gościąg. Ponadto (12.4 i 12.5) określono wpływ koncentracji masy planet w płaszczyźnie ekliptyki na aktywność Słońca i erupcje wulkanów – na klimat Ziemi.

W Zakończeniu (rozdz. XIII) oceniono Stan badań naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu z uwzględnieniem, nie tylko naturalnych, lecz także i antropogenicznych przyczyn zmian klimatu Ziemi. Na przykład globalne ocieplenie przypisywane jest przeważnie działalności człowieka – antropogenicznej części efektu cieplarnianego atmosfery (wzrostowi zawartości  $\text{CO}_2$  w atmosferze).

## SPIS TREŚCI (XXXI-XXXII)

I.	WPROWADZENIE	7
II.	METODY STATYSTYCZNE WPROWADZONE DO LITERATURY PRZEZ ZAKŁAD KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO	9
2.1.	Aproksymacja pól zmiennych meteorologicznych równaniami wielomianów regresji względem współrzędnych położenia geograficznego $\varphi, \lambda, H$	9
2.2.	Badania cykliczności zmiennych klimatologicznych metodą "sinusoid regresji" J. Boryczki	27
2.3.	Promocja wyników badań przez Profesorów różnych specjalizacji	42
III.	MODELE EMPIRYCZNE PRZESTRZENNYCH ZMIAN KLIMATU POLSKI	47
3.1.	Dynamika rocznych zmian pól elementów klimatu w Polsce	50
3.2.	Cechy termiczne klimatu Polski zdeterminowane położeniem geograficznym	61
3.3.	Strefy oddziaływania Oceanu Atlantyckiego na pole temperatury powietrza w Polsce	75
3.4.	Wpływ ukształtowania powierzchni Polski na pole temperatury powietrza – nowe mapy izoterm na poziomie rzeczywistym	80
3.5.	Wpływ czynników lokalnych na pole temperatury powietrza w Polsce	83
3.6.	Aspekt po znawczy wyników badań w zakresie wpływu czynników geograficznych na klimat Polski	88
IV.	APROKSYMACJA PÓL ZMIENNYCH METEOROLOGICZNYCH W EUROPIE	107
4.1.	Wpływ czynników geograficznych na klimat Europy według wielomianów regresji	107
4.2.	Gradyenty horyzontalne i hipsometryczne pól zmiennych klimatologicznych w Europie	109
4.3.	Profile południkowe, równoleżnikowe i hipsometryczne zmiennych klimatologicznych w Europie	112
4.4.	Cechy klimatu Polski w odniesieniu do równoleżnika $\varphi = 52^{\circ}\text{N}$	125
V.	GRADIENTY GEOGRAFICZNE POLA TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE	129
5.1.	Zmiany roczne gradientów temperatury powietrza	129
5.2.	Fale termiczne południkowe, równoleżnikowe i hipsometryczne w Europie (1961-990)	132
5.3.	Profile gradientów amplitudy rocznej temperatury powietrza	134
5.4.	Przestrzenny rozkład gradientów temperatury powietrza	136
5.5.	Gradyenty horyzontalne temperatury powietrza w $^{\circ}\text{C}/100\text{km}$	138
5.6.	Wpływ czynników lokalnych na pole temperatury powietrza	151
5.7.	Deformacja pola temperatury powietrza przez miasta	152
5.8.	Ważniejsze wyniki badań	161
		83

VI.	DEFORMACJA PÓL ZMIENNYCH METEOROLOGICZNYCH PRZEZ MIASTO	173
6.1.	Wpływ położenia geograficznego na klimat miast w Europie	173
6.2.	Deformacja pola temperatury przez czynniki lokalne	174
6.3.	Zmiany dobowe i roczne miejskiej wyspy ciepła w Warszawie	175
6.4.	Zależność cyklu rocznego temperatury powietrza w Warszawie od aktywności Słońca	180
6.5.	Cykliczność i tendencje zmian miejskiej wyspy ciepła	182
6.6.	Prawdopodobieństwo występowania miejskiej wyspy ciepła	183
6.7.	Ważniejsze wyniki badań	185
VII.	POSTĘP BADAŃ PRZYCZYŃ ZMIAN KLIMATU ZIEMI W DRUGIEJ POŁOWIE XX WIEKU – Z ZASTOSOWANIEM METODY „SINUSOID REGRESJI” J. BORYCZKI	199
7.1.	Początki badań okresowych zmian klimatu	199
7.2.	Metoda "sinusoid regresji" J. Boryczki wykrywania okresów	201
7.3.	Identyfikacja przyczyn zmian klimatu	203
7.4.	Ciepłe zimy w Europie i wzrost poziomu Morza Bałtyckiego	209
7.5.	Oddziaływanie Oceanu Atlantyckiego na klimat Europy w latach 1825-1997 (nasilające się w zimie i słabnące w lecie)	210
7.6.	Prognozy Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) i zim w Warszawie w XXI wieku – interferencja cykli	212
7.7.	Dominująca rola pyłów wulkanicznych w kształtowaniu klimatu Ziemi (XVII-XXI w.)	214
7.8.	Prognozy klimatu Europy w XXI wieku – według zmian: Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO), emisji pyłów wulkanicznych (DVI) i liczb Wolfa	216
VIII.	OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU EUROPY W XIX-XXI WIEKU	235
8.1.	Wpływ aktywności Słońca na temperaturę powietrza w Europie	235
8.2.	Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na temperaturę powietrza w Europie	239
8.3.	Mroźne i łagodne zimy oraz ciepłe i chłodne lata w Europie	241
8.4.	Zmiany okresowe temperatury powietrza w Europie	242
8.5.	Tendencje zmian temperatury powietrza w Europie w XIX-XX wieku (prognozy do roku 2100)	243
8.6.	Widma oscylacji – amplitudy i fazy cykli temperatury powietrza w Europie	248
8.7.	Prognozy temperatury powietrza w 16 miastach Europy w XXI wieku – według interferencji cykli	261
8.8.	Ważniejsze wyniki badań	272
IX.	WPŁYW AKTYWNOŚCI SŁOŃCA (OBSERWOWANEJ Z ZIEMI) NA CYKL ROCZNY TEMPERATURY POWIETRZA W POLSCE (1951-2010)	277
9.1.	Wpływ aktywności Słońca na wahania wiekowe temperatury powietrza na Ziemi	278
9.2.	Cykl roczny aktywności Słońca (liczb Wolfa) według obserwacji z Ziemi	281
9.3.	Ochłodzenia i ocieplenia w Warszawie w kolejnych latach 1951-2010	284
9.4.	Cykl roczny wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (1951-2010)	288
9.5.	Zależność cyklu rocznego temperatury powietrza w Warszawie od maksimów dobowych aktywności Słońca (1951-2010)	293
X.	ZMIANY CYKLICZNE KLIMATU EUROPY W OSTATNIM TYSIĄCLECIU WEDŁUG DANYCH DENDROLOGICZNYCH	303
10.1.	Zarys badań dendroklimatycznych	303
10.2.	Synchroniczność cykli klimatycznych i dendrologicznych w Europie (4, 8, 11, 100 i 180 lat temperatury powietrza, aktywności Słońca i słoju drzew)	304
10.3.	Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na klimat Europy	312
10.4.	Prognozy zmian klimatu Europy w XXI wieku	313
10.5.	Ważniejsze wyniki badań	325
XI.	WERYFIKACJA PROGNOZ OKRESOWYCH ZMIAN TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE (1779-2010)	329
11.1.	Wpływ aktywności Słońca i erupcji wulkanicznych na klimat Ziemi	330
11.2.	Sprawdzalność prognoz temperatury powietrza w Warszawie – według pomiarów w latach: 1779-1979, 1779-1990 i 1779-2002	335

11.3	Prognoza miejskiej wyspy ciepła w Warszawie w 2010 r. według pomiarów w latach 1951-2000	348
XII.	WERYFIKACJA PROGNOZ KLIMATU PÓŁKULI PÓŁNOCNEJ WEDŁUG ZMIAN ORBITY ZIEMI	355
12.1	Rekonstrukcja (od -1 000 000 BP) i prognoza (do 1 000 000 AD) zmian klimatu Ziemi według promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^{\circ}\text{N}$	355
12.2	Rekonstrukcja (od -500 000 BP) i prognozy (do 500 000 AD) klimatu według zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym z wyspy Devon	361
12.3	Rekonstrukcja (od 30 000 BP) i prognoza (do 1000 AD) klimatu Europy – według substancji organicznych zdeponowanych w Jeziorze Gościąg	364
12.4	Wpływ koncentracji masy planet Układu Słonecznego na aktywność Słońca i erupcje wulkanów – na klimat Ziemi	365
12.5	Synchroniczne wahania momentu mas 4 największych planet i aktywności Słońca (liczb Wolfa)	369
XIII.	ZAKOŃCZENIE – STAN BADAŃ NATURALNYCH I ANTROPOGENICZNYCH ZMIAN KLIMATU ZIEMI	375
XIV.	LITERATURA	403

### XXXIII. Zmiany wiekowe klimatu Europy z uwzględnieniem prognoz w XXI wieku i ich weryfikacja

**Tom XXXIII.** Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2015, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce **pt. Zmiany wiekowe klimatu Europy z uwzględnieniem prognoz w XXI wieku i ich weryfikacja** (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, Warszawa, ss. 444.

Tom XXXIII *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* pt. *Zmiany wiekowe klimatu Europy z uwzględnieniem prognoz w XXI wieku i ich weryfikacja* zawiera ważniejsze wyniki badań w zakresie naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu Europy.

Szczególne znaczenie mają cykliczne zmiany klimatu i ich przyczyny, tendencje wiekowe, rekonstrukcja i prognoza zmian w XXI wieku oraz ich sprawdzalność (weryfikacja).

W rozdziale II pt. *Problemy badań współczesnych zmian klimatu Ziemi* zwrócono uwagę na naturalną zmienność klimatu, wynikającą z przyczyn zewnętrznych (astronomicznych) i wewnętrznych (geologicznych) systemu Ziemia-atmosfera, na które nakładają się efekty oddziaływań antropogenicznych. Ten problemowy przegląd literatury stanowi ogólne tło do aktualnych własnych badań naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu Europy (i Polski).

W rozdziale III pt. *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Europy z wyodrębnieniem Polski (ważniejsze wyniki badań)* przedstawiono niektóre wyniki badań zawarte w tomach VII i IX-XV *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*:

- Tom VII. Zmiany wiekowe klimatu Polski, 1992
- Tom IX. Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy, 1995
- Tom X. Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie, 1997
- Tom XI. Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie, 1998
- Tom XII. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu miast w Europie, 1999

- Tom XIII. Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie, 1999
- Tom XIV. Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku, 2000
- Tom XV. Prognozy zmian klimatu miast Europy, 2001

Na przykład celem tomu X *Atlasu* jest określenie cykliczności i tendencji klimatu Europy i ich naturalnych przyczyn – wpływu aktywności Słońca i erupcji wulkanów. Z kolei tom XI jest znacznym rozszerzeniem badań podjętych w tomie VII, dotyczącym wiekowej tendencji klimatu Warszawy (Boryczka, Stopa-Boryczka i in., 1992). Rozwiązano w nim problemy *Naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu miast Europy w XVI-XXI wieku*, zawarte w tomie IX *Atlasu* (1995). Przedstawiono więcej dowodów dotyczących naturalnych przyczyn globalnego ocieplenia niż w książce pt. *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII-XXI wieku* (Boryczka 1993).

Istotne znaczenie poznawcze mają wyniki badań w zakresie cykliczności i tendencji zmian klimatu Europy przedstawione w 7 kolejnych tomach *Atlasu* IX-XV opublikowanych w latach 1995-2001.

Rozdział IV pt. *Postęp badań naturalnych zmian klimatu w pierwszej dekadzie XXI wieku w odniesieniu do drugiej połowy XX wieku* zawiera informacje o aktualnie rozwiązywanym problemach badawczych, a świadectwem tego są tomy XVII, XIX, XX-XXI i XXV *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* opublikowane w latach 2003-2010:

- Tom XVII. Mroźne zimy i upalne lata w Polsce, 2003
- Tom XIX. Cechy termiczne klimatu Europy, 2005
- Tom XX-XXI. Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych, 2007
- Tom XXV. Zmiany klimatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku, 2010

W tomach XVII, XIX i XX-XXI przedstawiono wykresy zmian temperatury powietrza w XVIII-XXI wieku w 40 miejscowościach europejskich podczas zimy i lata (XVII), w styczniu i lipcu (XIX) oraz roku (XX-XXI). Szczególne znaczenie mają prognozy klimatu do roku 2100 na podstawie interferencji silniejszych cykli zawartych w widmach temperatury powietrza – w wybranych 9 miejscowościach. Prognozy wskazują na naturalne ochłodzenie klimatu Europy (i Polski) w połowie XXI wieku, które częściowo może być złagodzone przez czynniki antropogeniczne (efekt cieplarniany i miejskie wyspy ciepła).

Dużą rolę w kształtowaniu klimatu odgrywają długie cykle: 102- i 187-letnie aktywności Słońca, które są obecne w widmach temperatury powietrza.

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

Ciągi chronologiczne szerokości pierścieni drzew: sosny, świerka i modrzewia w Europie cechują się również podobnymi okresami około 100- i 180-letnim.

Na uwagę zasługują prognozy po rok 2100 przyrostów rocznych 30 drzew, rosnących w Europie. Przebiegi czasowe ich rocznych przyrostów cechują się głównymi minimami w połowie XXI wieku. Słoję np. świerka *Picea abies* z Falkenstein (1540-1995) cechują się „silnymi” cyklami: 110, 189 i 429 lat.

Tom XXV pt. *Zmiany klimatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku* zawiera oryginalne wyniki badań studenckich, przedstawione w rozdziale *Współczesne zmiany klimatu miast Europy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii Uni-*

wersytetu Warszawskiego. Z kilkunastu prac magisterskich dotyczących wiekowych zmian klimatu Europy Zachodniej, Środkowej i Wschodniej (cykliczności, tendencji i prognoz klimatu) podano najważniejsze wyniki badań w odniesieniu do literatury klimatologicznej. Każdy problem badawczy scharakteryzowano wybierając 1 lub 3 prace magisterskie.

W rozdziale V. *Z badań zmian klimatu miast Europy w XXI wieku* sprawdzono prognozy klimatu powstałe w Zakładzie Klimatologii UW, na podstawie najdłuższych w danym czasie serii obserwacyjnych w Europie: Anglia środkowa, Paryż, Genewa, Berlin, Warszawa, Praga, Rzym, Sztokholm i Moskwa. Porównano zmierzone wartości temperatury powietrza ( $T$ ) w latach 1951-2012 z prognozowanymi  $f(t)$  z wyprzedzeniem wieloletnim (w Warszawie o 35 lat, 1951-2014).

W rozdziale VI. *Fale ciepła i chłodu w przebiegu rocznym temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010)* zbadano zależność cyklu rocznego temperatury powietrza w Warszawie (Okęcie) od cyklu rocznego aktywności Słońca, wynikającego z ruchu obrotowego Słońca (25-31 dni) wokół jego osi, nachylonej pod kątem  $82^{\circ}45'$  do ekliptyki. Fale chłodu ( $\Delta T < 0$ ) i ciepła ( $\Delta T \geq 0$ ) zdefiniowano jako odchylenia  $\Delta T$  średnich dobowych zmierzonych wartości temperatury ( $T$ ) od sinusoidy regresji  $f(t)$  o okresie 365,25 dni.

## SPIS TREŚCI (XXXIII)

I.	WPROWADZENIE	5
II.	PROBLEMY BADAN WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU ZIEMI	7
III.	NATURALNE I ANTROPOGENICZNE ZMIANY KLIMATU EUROPY Z WYODRĘBNIENIEM POLSKI (WAŻNIEJSZE WYNIKI BADAŃ)	17
3.1.	Zmiany wiekowe klimatu Polski	17
3.2.	Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy	38
3.3.	Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie	64
3.4.	Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie	80
3.5.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu miast w Europie	94
3.5.1.	Tendencje temperatury powietrza miast w Europie w XVII-XX wieku	94
3.5.2.	Cykliczność jako cecha pola temperatury powietrza w Europie	97
3.6.	Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie	114
3.6.1.	Synchroniczność krótkich cykli klimatu miast w Europie	114
3.7.	Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku	133
3.7.1.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Warszawy i ich uwarunkowania	133
3.7.2.	Okresowa zmienność opadów atmosferycznych w Warszawie	137
3.7.3.	Tendencje zmian klimatu Warszawy	140
3.7.4.	Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku	141
3.8.	Prognozy zmian klimatu miast Europy	149
3.8.1.	Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na klimat Europy	149
3.8.2.	Wpływ Oscylacji Północnoatlantycznej na klimat Polski	152
3.8.3.	Ochłodzenie i ocieplenie klimatu Europy Środkowej kształtowane przez Niż Islandzki i Wyż Azorski	160
3.8.4.	Prognozy temperatury powietrza w miastach Europy Środkowej (Warszawa, Kraków, Praga, Genewa) w XXI wieku	163
IV.	POSTĘP BADAŃ NATURALNYCH ZMIAN KLIMATU EUROPY W PIERWSZEJ DEKADZIE XXI WIEKU W ODNIESIENIU DO DRUGIEJ POŁOWY XX WIEKU	179
4.1.	Mroźne zimy i upalne lata w Polsce	179
4.1.1.	Przeszłość i teraźniejszość klimatu Ziemi	179
		87

4.1.2.	Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu klimatu Europy	186
4.1.3.	Mroźne zimy i upalne lata w Europie w XVIII-XXI wieku ze szczególnym uwzględnieniem Polski	191
4.1.4.	Widma temperatury powietrza w Europie	196
4.1.5.	Zmiany temperatury powietrza w Europie w XVIII-XX wieku. Rekonstrukcja i prognoza po rok 2100	206
4.2.	Cechy termiczne klimatu Europy	223
4.2.1.	Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie	226
4.2.2.	Zmiany temperatury powietrza w Europie w XVIII-XXI wieku. Prognozy po rok 2100	234
4.3.	Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych	258
4.3.1.	Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na temperaturę powietrza w Europie	258
4.3.2.	Synchroniczność cykli klimatycznych i dendrologicznych w Europie	263
4.3.3.	Prognozy zmian klimatu Europy w XXI wieku według szerokości słoju drzew	286
4.4.	Zmiany klimatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku	296
4.4.1.	Wiekowe zmiany klimatu miast nizinnych Europy (Londyn, Warszawa, Moskwa)	297
4.4.2.	Wiekowe zmiany klimatu miast górskich Europy (Genewa, Zurych, Saentis, Sonnblick)	298
4.4.3.	Solarne i cyrkulacyjne uwarunkowania klimatu miast Europy (liczby Wolfa, NAO, typy Wangenheima i Osuchowskiej-Klein)	299
4.4.4.	Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na zróżnicowanie cech termicznych klimatu miast Europy (Paryż, Marsylia, Wrocław, Kraków, Warszawa)	300
4.4.5.	Wpływ NAO na zróżnicowanie cech opadowych klimatu miast środkowej Europy (Wrocław, Warszawa)	303
4.4.6.	Badanie cykliczności i tendencji zmian temperatury powietrza w Europie na profilach : południkowym (Sztokholm, Warszawa, Ateny) i równoleżnikowym (Paryż, Warszawa, Moskwa)	305
4.4.7.	Badanie cykliczności i tendencji zmian temperatury powietrza w Europie (Szwecja) na podstawie danych dendrologicznych	306
V.	<b>Z BADAŃ ZMIAN KLIMATU MIAST EUROPY W XXI WIEKU</b>	310
5.1.	Weryfikacja prognoz okresowych zmian temperatury powietrza w Europie w XX-XXI wieku (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U. , Wawer J.)	310
5.1.1.	Prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie ( z 1984 r. i inne)	311
5.1.2.	Prognozy zmian temperatury powietrza w innych miastach Europy	319
5.2.	Weryfikacja prognoz okresowych zmian opadów atmosferycznych w Polsce w latach 1813-2010 (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U. , Wawer J.)	341
5.2.1.	Wpływ aktywności Słońca na opady atmosferyczne	343
5.2.2.	Sprawdzalność prognoz opadów atmosferycznych we Wrocławiu według pomiarów w latach 1859-1979	348
5.2.3.	Sprawdzalność prognoz opadów atmosferycznych w Warszawie według pomiarów w latach 1813-1979 i 1813-1990	353
VI.	<b>FALE CIEPŁA I CHŁODU W PRZEBIEGU ROCZNYM TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE (1951-2010)</b>	363
6.1.	Zależność przebiegu rocznego temperatury powietrza od aktywności Słońca (na przykładzie Warszawy, 1951-2010) (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U. , Wawer J.)	363
6.1.1.	Fale chłodu i ciepła w cyklu rocznym temperatury powietrza	364
6.1.2.	Cyrkulacyjne uwarunkowania fal chłodu i ciepła	367
6.1.3.	Wpływ aktywności Słońca na fale chłodu i ciepła	369
6.2.	The dependency between annual air temperature and solar activity. A case study of Warsaw in 1951-2010 (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U. , Wawer J.)	376
6.2.1.	Annual profiles of air temperature in cold and hot waves	377
6.2.2.	The impact of circulation on warm and cool waves	380
6.2.3.	The influence of solar activity on warm and cool waves	382



VII.	REKONSTRUKCJA I PROGNOZA ZMIAN KLIMATU ZIEMI W CZASIE OD -1 000 000 BP DO 1 000 000 AD	389
7.1.	Zmiany klimatu Ziemi (od -1 000 000 BP do 1 000 000 AD) według promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^\circ\text{N}$	389
7.2.	Zmiany klimatu Ziemi (od -500 000 BP do 500 000 AD) według izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym wyspy Devon (Arktyka Kanadyjska)	394
7.3.	Zmiany klimatu Ziemi (od -25 000 BP do 25 000 AD) według substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziora Gościąg	397
7.4.	Zależność aktywność Słońca i erupcji wulkanów od koncentracji masy planet w Układzie Słonecznym	400
VIII.	ZAKOŃCZENIE	403
IX.	LITERATURA	409
	ZAŁĄCZNIK 1. SPIS PUBLIKACJI (1960-2015) – Maria Stopa-Boryczka	417
	ZAŁĄCZNIK 2. SPIS PUBLIKACJI (1961-2015) – Jerzy Boryczka	431

#### XXXIV. Klimat Europy – przeszłość, teraźniejszość, przyszłość (w kolejnych 33 tomach Atlasu I, 1974 – XXXIII, 2015)

**Tom XXXIV.** Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2016, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce **pt. Klimat Europy – przeszłość, teraźniejszość, przyszłość (w kolejnych 33 tomach Atlasu I, 1974 – XXXIII, 2015)** (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, Warszawa, ss. 462.

Tom XXXIV *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. Klimat Europy – przeszłość, teraźniejszość, przyszłość (w kolejnych 33 tomach Atlasu I, 1974 – XXXIII, 2015)* należy traktować jako podsumowanie ważniejszych wyników badań w zakresie modeli empirycznych przestrzennych i czasowych zmian klimatu Europy, ze szczególnym uwzględnieniem Polski. Kolejne tomy Atlasu ukazujące się w druku od ponad 40 lat: tom I, 1974) – opublikowany w roku 1974, a XXXIII – w 2015) różnią się między sobą zarówno problematyką badań, jak też zastosowaniem oryginalnych metod statystycznych modelowania zmian klimatu.

W rozdziale III. pt. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce (kolejne tomy T.I - 1974 – T. XXXIII - 2015)* przedstawiono zarysy problemów badawczych, spisy treści z numerami stron i ważniejsze wyniki badań klimatu. Szczególne znaczenie mają modele przestrzenne aproksymacji pól zmiennych meteorologicznych równaniem hiperpłaszczyzny regresji i wielomianem regresji 4-ego stopnia względem szerokości geograficznej ( $\varphi$ ), długości ( $\lambda$ ) i wysokości nad poziomem morza ( $H$ ).

Najpierw opisano empirycznymi wzorami pola zmiennych meteorologicznych w Polsce w tomach I (1974) -VI (1990), a później na obszarze całej Europy w VIII (1994) i t. XIX (2005).

Nowością w badaniach przestrzennych zmian klimatu Europy (i Polski) stanowią mapy izogradientów horyzontalnych  $\vec{T} = \left[ \frac{\partial T}{\partial \varphi}, \frac{\partial T}{\partial \lambda} \right]$  o składowych południkowej  $\frac{\partial T}{\partial \varphi}$  i równoleżnikowej  $\frac{\partial T}{\partial \lambda}$  (wyrażonych także w  $^\circ\text{C}/100\text{ km}$ ) oraz hipsometrycznych  $\frac{\partial T}{\partial H}$  wyznaczonych z wielomianów regresji 4. stopnia  $T = f(\varphi, \lambda, H)$ . Gradienty horyzontalne na poziomie morza  $\vec{T}$  i na poziomie rzeczywistym  $\vec{\gamma}$  są wektorami – o odpowiednich kierunkach i zwrotach (na mapach strzałki) oraz długości. Wprowadzenie do wzorów empirycznych trzeciej współrzędnej położenia – wysokości nad poziomem morza  $H$

pozwała na wyodrębnienie stref oddziaływania Oceanu Atlantyckiego i Morza Bałtyckiego.

O przejściowości klimatu Polski świadczy m.in. zmiana znaku gradientu równoleżnikowego ( $\frac{\partial T}{\partial \lambda} = a_2$ ) temperatury powietrza w ciągu roku, z ujemnego zimą ( $a_2 < 0$ ) na dodatni latem ( $a_2 > 0$ ) – w równaniu hiperpłaszczyzny regresji:

$$T = a_0 + a_1 \varphi + a_2 \lambda + a_3 H.$$

Wielomiany regresji 4. stopnia umożliwiają również oszacowanie z dużą dokładnością wartości np. temperatury, opadów tam, gdzie nigdy nie prowadzono pomiarów. Aproksymacja pól zmiennych meteorologicznych przede wszystkim wielomianami wyższych stopni względem współrzędnych geograficznych, które są jednocześnie czynnikami geograficznymi determinującymi klimat, okazały się dobrym narzędziem badań klimatu.

O aktywności naukowej w zakresie zmian klimatu Polski i Europy, cykliczności, tendencji i prognoz w XXI wieku informują inne tomy (VII, IX –XX-XXI, XXIII, XXV, XXXI-XXXII i XXXIII) opublikowane w latach 1992, 1995-2010, 2014 i 2015.

Prace identyfikujące przyczyny naturalnych ochłodeń i ociepleń klimatu w XVIII-XX wieku przyniosły postęp w badaniach zmian klimatu Ziemi. Wykazanie analogicznej cykliczności skutków i domniemyanych przyczyn umożliwiło opracowanie prognoz zmian klimatu Europy, z wyodrębnieniem Polski.

Na uwagę zasługują przede wszystkim modele wiekowych zmian klimatu, będące wypadkową interferencji cykli obecnych w widmach zmiennych meteorologicznych, dendrologicznych i innych, wyznaczonych metodą „sinusoid regresji” (Boryczka, 1998), które umożliwiły rekonstrukcję i prognozę zmian klimatu do końca XXI wieku, a także w przyszłych stuleciach.

Prognozowano według wypadkowej  $f(t)$  interferencji  $k$  najistotniejszych statystycznie („najsilniejszych”) cykli o okresie  $\theta_j$ , amplitudzie  $b_j$  i fazie  $c_j$ , gdzie składnik liniowy  $at$  charakteryzuje na ogół antropogeniczną część trendu czasowego:

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

Prognozy zmian temperatury powietrza w 40 miejscach Europy, opracowane na podstawie długich serii pomiarów, opublikowano w 3 tomach *Atlasu zima i lato* (t. XVII, Boryczka i in., 2003), styczeń i lipiec (t. XIX, Boryczka i in., 2005) oraz rok (t. XX-XXI, Stopa-Boryczka i in., 2007).

Prognozy temperatury powietrza w Europie na podstawie interferencji wykrytych cykli (składników deterministycznych) są dość wiarygodne. Zweryfikowano najwcześniejsze prognozy temperatury powietrza w Warszawie (z roku 1984) i późniejsze w innych miejscach Europy: środkowa Anglia, Greenwich, Paryż, Berlin, Moskwa, Sztokholm i Rzym. Wykazano na ogół synchroniczność przebiegów (koincydencję ekstremów) wartości temperatury zmierzonych  $T$  i prognozowanych dawniej  $f(t)$  (ekstrapolowanych poza przedział aproksymacji) oraz istotną korelację (według testów F Fishera-Snedecora i t-Studenta).

Istotnym ogniwem w badaniach naukowych i kształceniu klimatologów w zakresie naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych są również prace magisterskie, a skróty kilkudziesięciu z nich zamieszczono w tomach od XXII (2008) do XXX (2013).

W rozdziale IV. *Metody statystyczne zastosowane w modelowaniu przestrzennych i czasowych zmian klimatu Europy* zdefiniowano równania prostych, płasz-

czyzn, hiperpłaszczyzn i wielomianów regresji 4. stopnia, aproksymujące pola zmien-nych meteorologicznych i podano algorytmy ich wyznaczenia – z zastosowaniem ra-chunku macierzowego (4.1). Podano przykłady wyznaczenia równań wielomianów regresji według programu REGLINP (Excel 2007). Zdefiniowano hiperpłaszczyznę główną, aproksymującą punkty empiryczne (wg minimum sumy kwadratów odległości) oraz elipsoidę prawdopodobieństwa i jej wykorzystanie w wielowymiarowym rozkładzie normalnym (4.2). Ponadto zdefiniowano metodę „sinusoid regresji” (Boryczka, 1998) badania okresowości zjawisk przyrodniczych. Podano przykłady jej zastosowa-nia, także w przypadkach serii pomiarów o różnych odstępach czasu (4.3).

Promocji wyników badań w *Przedmowach Atlasu* (rozdz. V) dokonali profesorowie różnych specjalizacji: prof. Wincenty Okołowicz, prof. dr hab. Zdzisław Mikulski, prof. dr Jerzy Kon-dracki, dr hab. Jerzy Cyberski (1995, praca habilitacyjna) i prof. Krzysztof Kożuchowski.

W ostatnim rozdziale VI. *Klimat Wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Kli-matologii w latach 1952-2007 (XII piknik naukowy, 2008)* – Suplement do t. XXX *Atlasu*, przedstawiono dodatkowo udział studentów w badaniach naukowych.

## SPIS TREŚCI (XXXIV)

I.	WPROWADZENIE	5
II.	CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA WYDAWNICZEJ SERII ATLASU ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO	7
III.	ATLAS WSPÓŁZALEŻNOŚCI PARAMETRÓW METEOROLOGICZNYCH I GEOGRAFICZNYCH W POLSCE ( kolejne tomy T.I ,1974 – T. XXXIII, 2015)	17
3.1.	Związki korelacyjne między elementami meteorologicznymi i czynnikami geogra-ficznymi w Polsce (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1974), ss. 276	17
3.2.	Zależność elementów meteorologicznych od czynników geograficznych w Polsce (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1976), ss. 455	25
3.3.	Geograficzne gradienty parametrów wilgotności powietrza w Polsce (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1980), ss. 322	31
3.4.	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	37
3.5.	Z badań klimatu Polski (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E.,1989), ss. 284	46
3.6.	Wpływ Oceanu Atlantyckiego i rzeźby terenu na klimat Polski (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E., 1990), ss.334.	57
3.7.	Zmiany wiekowe klimatu Polski (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kicińska B., Żmudzka E., 1992), ss. 439	69
3.8.	Cechy oceaniczne klimatu Europy (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wągrowka M., Śmiałkowski J., 1994), ss. 405	79
3.9.	Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Błażek E., Skrzypczuk J., 1995), ss. 321	93
3.10.	Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1997), s. 220	108
3.11.	Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E.,Skrzypczuk J., 1998), ss. 258	118
3.12.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu miast w Europie (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wągrowka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1999), ss.255	128
3.13.	Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E.,Skrzypczuk J., 1999), ss. 283)	143
3.14.	Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Lorenc H., Kicińska B., Błażek E., Skrzypczuk J., 2000), ss. 209	159
3.15.	Prognozy zmian klimatu miast Europy (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Błażek E., Skrzypczuk J., 2001), ss. 249	167
3.16.	Prognozy zmian klimatu Polski (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Grabowska K., Błażek E., Skrzypczuk J., 2002), ss. 212	189
		91

3.17.	Mroźne zimy i upalne lata w Polsce (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Kirschenstein M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2003) , ss. 297 Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2004), ss. 217	194
3.18.	Groźne zjawiska pogodowe w Polsce (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2004), ss. 217	207
3.19.	Cechy termiczne klimatu Europy (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Pietras K., Bijak S., Błażek E., Skrzypczuk J., 2005) , ss. 184	213
3.20/21	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. 266	233
3.22.	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	258
3.23.	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	271
3.24.	Klimat Warszawy i miejscowości strefy podmiejskiej (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2010), ss. 333	283
3.25.	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	284
3.26/27	Z badań klimatu Mazowsza (z uwzględnieniem większych miast) (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Grabowska K., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., Grzęda M., 2012), ss. 596	303
3.28.	Stan zanieczyszczenia atmosfery w Warszawie i innych miastach Polski (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., Grzęda M., 2012), ss. 470	317
3.29.	Ocena klimatu na potrzeby lotnictwa w Warszawie i innych miastach Polski (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., Grzęda M., 2013), ss. 443	332
3.30.	Klimat północno wschodniej Polski według podziału fizycznogeograficznego J. Kondrackiego i J. Ostrowskiego (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Grabowska K., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., Grzęda M., 2013), ss. 550.	353
3.31/32	Modele empiryczne przestrzennych i czasowych zmian klimatu Europy z wyodrębnieniem Polski (ważniejsze wyniki badań)(Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2014), ss. 422	367
3.33.	Zmiany wiekowe klimatu Europy z uwzględnieniem prognoz w XXI wieku i ich weryfikacja (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2015, ss. 444	387
IV.	METODY STATYSTYCZNE ZASTOSOWANE W MODELOWANIU PRZESTRZENNICH I CZASOWYCH ZMIAN KLIMATU EUROPY	397
4.1.	Aproksymacja pól zmiennych meteorologicznych wielomianami regresji	397
4.2.	Aproksymacja pól zmiennych meteorologicznych równaniami hiperpłaszczyzn głównych	409
4.3.	Badania okresowości zmiennych przyrodniczych metodą sinusoid regresji J. Boryczki	418
V.	PROMOCJA WYNIKÓW BADAN PRZEZ PROFESORÓW RÓŻNYCH SPECJALIZACJI	433
VI.	KLIMAT WIELKIEJ WARSZAWY W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII W LATACH 1952-2007 (XII Piknik Naukowy, 2008) – Suplement do T. XXX. Atlasu (2013)	445
VII.	LITERATURA	456

## **XXXV. Badania klimatu Europy w różnych skalach przestrzennych (w publikacjach Zakładu Klimatologii UW, 1951-2016)**

**Tom XXXV.** Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2016, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Badania klimatu Europy w różnych skalach przestrzennych (w publikacjach Zakładu Klimatologii UW, 1951-2016)** (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, Warszawa, ss. 415.

Tom 35 *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* p.t. *Badania klimatu Europy w różnych skalach przestrzennych (w publikacjach Zakładu Klimatologii UW, 1951-2016)* nawiązuje bezpośrednio do Jubileuszowych zeszytów p.t. *Prace i Studia Geograficzne – z lat 2001 i 2011*:

- *50 lat działalności naukowej i dydaktycznej Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego (1951-2000)*, t. 28, 2001, ss. 333
- *Postęp badań zmian klimatu i ich znaczenie dla życia i gospodarczej działalności człowieka*, t. 29, 2001, ss. 312
- *Badania klimatu w różnych skalach przestrzennych*, t. 47, 2011, ss. 528
- *60 lat działalności naukowej i dydaktycznej Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego (1951-2010)*, t. 47, Suplement, 2011, ss. 206

W rozdziale II. *66 lat działalności naukowej i dydaktycznej Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego (1951-2016)* wyeksponowano 2.1. *Złoty Jubileusz Zakładu Klimatologii (1951-2000)*, 2.2. *Postęp badań zmian klimatu Polski i Europy w pierwszej dekadzie XXI wieku w odniesieniu do drugiej połowy XX wieku* oraz 2.3. *Badanie klimatu w różnych skalach przestrzennych*.

Początki klimatologii w Uniwersytecie Warszawskim sięgają 1951 roku, kiedy została utworzona Katedra Klimatologii. Funkcje kierowników najpierw Katedry, a później Zakładu Klimatologii pełnili kolejno: Romuald Gumiński (1951-1952), Wincenty Okołowicz (1953-1974), Maria Stopa-Boryczka (1975-2003), Jerzy Boryczka (2004-2007), Krzysztof Błażejczyk (2008-2015), Elwira Żmudzka (od 2015).

Najlepszym świadectwem wkładu całego Zespołu pracowników Zakładu w badania naukowe klimatu Polski i Europy są wykazy publikacji indywidualnych w kolejnych trzech rozdziałach: III. *Kierownicy Katedry Klimatologii Instytutu Geograficznego Uniwersytetu Warszawskiego (1951-1974)*, IV. *Kierownicy Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego (1975-2015)*, V. *Działalność naukowa i dydaktyczna oraz organizacyjna pracowników Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych (1960-2016)*

Charakterystyki poszczególnych osób zawierają biogramy, ważniejsze ich osiągnięcia naukowe i dydaktyczne wraz ze spisem prac opublikowanych.

Informacyjną rolę spełnia rozdział: VI. *Wykaz rozpraw habilitacyjnych i doktorskich, pozycji książkowych, prac seryjnych i zleconych wykonanych w Zakładzie Klimatologii UW (1962-2016)*,

Ważnym ogniwem w kształceniu klimatologów są nadal prace magisterskie, które zwykle mają charakter oryginalnych opracowań cząstkowych. Przykładem takiej współpracy studentów z opiekunami naukowymi jest seria 9 tomów Atlasu, dotyczących naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu miast. Integralną część stanowi „dzieło” piknikowe p.t. *Klimat Wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1992-2016 (2008)*. Wyniki tych prac dyplomowych zostały wy-

korzystane w kolejnych tomach tematycznych *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, opublikowanych w latach 2008-2013:

- *Wpływ zabudowy i zieleni osiedlowej na zróżnicowanie klimatu lokalnego w Warszawie* (t. XXII, 2008)
- *Klimat Warszawy i innych miast Polski, Studia porównawcze* (t. XXIII, 2009)
- *Klimat Warszawy i miejscowości strefy podmiejskiej* (t. XXIV, 2010)
- *Zmiany klimatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku* (t. XXV, 2010)
- *Z badań klimatu Mazowsza (z uwzględnieniem większych miast)* (t. XXVI - XXVII, 2012)
- *Stan zanieczyszczenia atmosfery w Warszawie i innych miastach Polski* (t. XXVIII, 2012)
- *Ocena klimatu na potrzeby lotnictwa w Warszawie i innych miastach Polski* (t. XXIX, 2013)
- *Klimat północno wschodniej Polski według podziału fizycznogeograficznego J. Kondrackiego i J. Ostrowskiego* (t. XXX, 2013)

Problemy badań studenckich w ramach prac magisterskich udokumentowano w rozdziale VII. *Udział studentów w badaniach naukowych Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego: 7.1 Ważniejsze problemy badań naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu Polski i Europy, 7.2. Skrótów prac magisterskich opublikowanych w Atlasie współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce – w tomach XXII (2008) -XXX (2013)* oraz w dziele piknikowym (2008).

Ponadto w kolejnych rozdziałach zamieszczono:

- VIII. *Wykaz prac magisterskich wykonanych w Zakładzie Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego w latach 1952-2015*
- IX. *Wykaz prac licencjackich wykonanych w Zakładzie Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego w latach 2003-2015.*

Szczególne znaczenie mają syntezы wyników badań przedstawionych w rozdziale:

- X. *Globalne zmiany klimatu według parametrów orbity Ziemi, izotopu tlenu  $\delta^{18}O$  w rdzeniach lodowych, substancji organicznych w osadach jeziornych i słoju drzew:*
  - *Rekonstrukcja (od -1 000 000 BP) i prognoza (do 1 000 000 AD) zmian klimatu Ziemi według promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^{\circ}N$  (10.1)*
  - *Rekonstrukcja (od -500 000 BP) i prognoza (do 500 000 AD) klimatu Półkuli Północnej według zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}O$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon (10.2)*
  - *Rekonstrukcja (od -25 000 BP) i prognoza (do 25 000 AD) klimatu Europy według substancji organicznych zdeponowanych w osadach Jez. Gościąg (10.3)*
  - *Rekonstrukcja (od 0 n.e.) i prognoza (do 2500 r) klimatu Europy według danych dendrologicznych (10.4)*

Wykazano synchroniczność (koincydencję ekstremów) cykli temperatury powietrza, szerokości słoju drzew i aktywności Słońca.

W rozdziale XI. *Informacja o książce J. Boryczki pt. Zmiany klimatu Ziemi (wydanie drugie rozszerzone, 2015, ss. 280)* zamieszczono: Wstęp, Spis treści, Zakończenie, Summary oraz strony tytułowe. Jest to prezentacja i zarazem promocja wydania drugiego książki opublikowanej przez Wyd. Wydziału. Geografii i Studiów Regionalnych UW (wydanie pierwsze, Wyd. Akad. DIALOG, 1998, ss. 166)..

W końcowym rozdziale XII. *Zakończenie – Kierunki i ważniejsze wyniki badań naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu Polski i Europy w latach 1951-2016* wyeksponowano trzy problemy

- *Empiryczne modele przestrzennej i czasowej zmienności klimatu (12.1)*
- *Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu klimatu Europy (12.2)*
- *Problemy badań do rozwiązania w bieżącym stuleciu (12.3)*

## SPIS TREŚCI (XXXV)

I.	WPROWADZENIE	5
II.	66 LAT DZIAŁALNOŚCI NAUKOWEJ I DYDAKTYCZNEJ ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIwersYTETU WARSZAWSKIEGO (1951-2016)	9
2.1.	Złoty Jubileusz Zakładu Klimatologii (1951-2000)	9
2.2.	Postęp badań zmian klimatu Polski i Europy w pierwszej dekadzie XXI wieku w odniesieniu do drugiej połowy XX wieku	31
2.3.	Badanie klimatu w różnych skalach przestrzennych	42
2.4.	Ważniejsze wyniki badań Zakładu Klimatologii (2011-2016)	48
III.	KIEROWNICY KATEDRY KLIMATOLOGII INSTYTUTU GEOGRAFICZNEGO UNIwersYTETU WARSZAWSKIEGO (1951-1974) Biogramy: Romuald Gumiński (1951-1952), Wincenty Okołowicz (1953-1974), Zofia Kaczorowska (1951-1972)	69
IV.	KIEROWNICY ZAKŁADU KLIMATOLOGII WYDZIAŁU GEOGRAFII I STUDIÓW REGIONALNYCH UNIwersYTETU WARSZAWSKIEGO (1975-2015) Biogramy: Maria Stopa-Boryczka (1975-2003), Jerzy Boryczka (2004-2007), Krzysztof Błażejczyk (2008-2015), Elwira Żmudzka (od 2015)	95
V.	DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWA I DYDAKTYCZNA ORAZ ORGANIZACYJNA PRACOWNIKÓW ZAKŁADU KLIMATOLOGII WYDZIAŁU GEOGRAFII I STUDIÓW REGIONALNYCH UW (1960-2016) Biogramy: Danuta Martyn, Urszula Kossowska-Cezak, Maria Kopacz-Lembowicz, Krzysztof Olszewski, Jolanta Wawer, Bożena Kicińska, Katarzyna Grabowska, Katarzyna Lindner-Cendrowska, Joanna Popławska, Elżbieta Błazek, Jan Skrzypczuk, Monika Lisowska, Kamil Leziak, Kinga Nelken	149
VI.	WYKAZ ROZPRAW HABILITACYJNYCH I DOKTORSKICH, POZYCJI KSIĄŻKOWYCH, PRAC SERYJNYCH I ZLECONYCH WYKONANYCH W ZAKŁADZIE KLIMATOLOGII UW (1962-2016)	227
VII.	UDZIAŁ STUDENTÓW W BADANIACH NAUKOWYCH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIwersYTETU WARSZAWSKIEGO	277
7.1.	Ważniejsze problemy badań naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu Polski i Europy	277
7.2.	Skróty prac magisterskich opublikowanych w Atlasie współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce – w tomach XXII (2008) -XXX (2013) oraz w dziele piknikowym (2008)	292
VIII.	WYKAZ PRAC MAGISTERSKICH WYKONANYCH W ZAKŁADZIE KLIMATOLOGII UNI- wersYTETU WARSZAWSKIEGO W LATACH 1952-2015	309
IX.	WYKAZ PRAC LICENCJACKICH WYKONANYCH W ZAKŁADZIE KLIMATOLOGII UNIwersYTETU WARSZAWSKIEGO W LATACH 2003-2015	335
X	GLOBALNE ZMIANY KLIMATU WEDŁUG PARAMETRÓW ORBITY ZIEMI, IZOTOPU TLENU $\delta^{18}\text{O}$ W RDZENIACH LODOWYCH, SUBSTANCJI ORGANICZNYCH W OSADACH JEZIORNYCH I SŁOJÓW DRZEW	343
10.1	Rekonstrukcja (od -1 000 000 BP) i prognoza (do 1 000 000 AD) zmian klimatu Ziemi według promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^{\circ}\text{N}$	343
10.2	Rekonstrukcja (od -500 000 BP) i prognoza (do 500 000 AD) klimatu Półkuli Północnej według zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym z wyspy Devon	347
10.3	Rekonstrukcja (od -25 000 BP) i prognoza (do 25 000 AD) klimatu Europy według substancji organicznych zdeponowanych w osadach Jez. Gościąg	350
10.4	Rekonstrukcja (od 0 n.e) i prognoza (do roku 2 500) klimatu Europy według danych dendrologicznych	351
XI	INFORMACJA O KSIĄŻCE J. BORYCZKI PT <i>ZMIANY KLIMATU ZIEMI</i> (wydanie drugie rozszerzone), 2015, ss. 280	365
XII	ZAKOŃCZENIE – KIERUNKI I WAŻNIEJSZE WYNIKI BADAŃ NATURALNYCH I ANTROPOGENICZNYCH ZMIAN KLIMATU POLSKI I EUROPY W LATACH 1951-2016	381
12.1	Empiryczne modele przestrzennej i czasowej zmienności klimatu	386
12.2	Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu klimatu Europy	404
12.3	Problemy badań do rozwiązania w bieżącym stuleciu	411
XIII.	LITERATURA	413

## XXXVI. Postęp badań zmian klimatu Ziemi w ostatnim tysiącleciu (XI-XXI)

**Tom XXXVI.** Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2017, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Postęp badań zmian klimatu Ziemi w ostatnim tysiącleciu (XI-XXI)** (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Zakowski), Wyd. UW, Warszawa, ss. 407.

Prezentowany 36 tom *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* pt. *Postęp badań zmian klimatu Ziemi w ostatnim tysiącleciu (XI-XXI)* poświęcono głównie rekonstrukcji, prognozom i przyczynom zmian klimatu Ziemi, weryfikacji dotychczasowych prognoz zmian klimatu Europy i nowym prognozom temperatury powietrza w Warszawie na podstawie danych z lat 1779-2015.

W rozdziale II. *Zmiany klimatu Ziemi według cykli parametrów orbity eliptycznej (rekonstrukcja od 1 miliona lat temu i prognoza na przyszły 1 milion lat)* rekonstruowano od -1 mln lat BP i prognozowano do 1 mln lat AD) zmiany klimatu Ziemi według zmian parametrów jej orbity eliptycznej. W tym celu obliczono dobowe sumy promieniowania słonecznego  $I$  ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ) w lecie (VI-VIII) i w miesiącach marzec-wrzesień (III-IX) na górnej granicy atmosfery, wzdłuż równoleżnika  $\varphi = 65^\circ \text{N}$ . W obliczeniach sum promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ$  przyjęto długości cykli: mimośrodowi orbity Ziemi –100 000 lat (92 000 lat wg M. Milankoviča 1930), nachylenia osi Ziemi do płaszczyzny ekliptyki – 40 000 lat oraz długości ekliptycznej peryhelium względem punktu równonocy wiosennej ( $\Omega$ ) –21 000 lat.

Ostatnie głębokie minimum ( $t_{\min} = -22000$  lat temu) sum promieniowania słonecznego (w miesiącach marzec-wrzesień) spowodowało ostatnie zlodowacenie Ziemi. Natomiast ostatnie lokalne „rozległe” maksimum sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień określa holocenijskie ocieplenie klimatu, ponieważ przypada na datę -11 000 lat BP.

W rozdziale III. *Rekonstrukcja (od -500 000 lat temu) i prognoza (do 500 000 lat AD) zmian klimatu Ziemi według izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniach lodowych z wyspy Devon i Grenlandii środkowej* rekonstruowano i prognozowano klimat Półkuli Północnej. Interesujące jest porównanie zmian zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon według interferencji najsilniejszych 11 cykli  $\Theta$  (istotnych na poziomie 0,01), w tym najdłuższego  $\Theta = 86100$  lat z sumami promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$ . Na uwagę zasługuje ogólna zbieżność wahań (spadków i wzrostów) stężenia izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  i sum promieniowania słonecznego w czasie:  $-30\ 000 < t < 40\ 000$  lat ( $t = 0, 1900$  AD).

W rozdziale IV. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w holocenie i ich przyczyny według substancji organicznych, węglanów wapnia i tlenków żelaza zdeponowanych w osadach jeziornych (4.5. Holocenijskie ochłodzenia i ocieplenia klimatu i ich przyczyny według izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon oraz składu chemicznego osadów w Jez. Wikaryjskim i Jez. Gościąż)* stwierdzono, że przyczyną holocenijskiego ocieplenia klimatu był wzrost sum promieniowania słonecznego w miesiącach marzec-wrzesień, wywołany zmianami orbity Ziemi.

Maksima przebiegów wiekowych (od -12 000 lat temu) substancji organicznych (%), węglanów wapnia ( $-\text{CaCO}_3$ ) i tlenku żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) w osadach Jez. Gościąż po-



krywają się z „rozległym” maksimum sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień, wywołanego zmianami orbity Ziemi.

Teoria M. Milankoviča (1930) nie wyjaśnia jednak przyczyn holocenijskich ochłodzeń i ociepleń klimatu (od 11 700 lat temu), ze względu na bardzo długie cykle zmian parametrów orbity Ziemi (21 000, 40 000, 92 000 lat (lub 100 000 lat)).

Zmiany izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  50- (średnich konsekwentnych 50-warstwowych) w rdzeniu lodowym z wyspy Devon w przedziale czasu:  $-10\,000 < t < 0$  lat BP są podobne do zmian temperatury w Grenlandii w holocenie na podstawie stosunku izotopu tlenu ( $\delta^{16}$ ) w rdzeniu lodowym GISP2, wg R. B. Alley’a (2000).

Istotne znaczenie dla wyjaśnienia przyczyn ochłodzeń i ociepleń klimatu w holocenie ma wykrycie w widmach substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego i Jez. Gościąż oraz węglanów wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ) i tlenków żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) w osadach Jez. Gościąż (od 10 000 lat temu) zbliżonych okresów do cykli parametrów Układu Słonecznego.

W rozdziale V. *Rekonstrukcja zmian klimatu Europy w dwóch ostatnich tysiącletniach (0-XX) i prognoza w XXI-XXV według danych dendrologicznych* przedstawiono rekonstrukcje i prognozy zmian klimatu Europy na podstawie rocznych przyrostów (szerokości słoików) 13 drzew rosnących w Europie (3 sosny, 3 świerki, 1 modrzew, 1 jodła i 5 dębów) według interferencji cykli. Za wyjątkowy pod względem termicznym uznano ten rok, w którym grubość słoja danego drzewa ( $d$ ) różni się od średniej wszystkich jego słoików ( $d_{sr}$ ) (średniej wieloletniej) co najmniej o 2 odchylenia standardowe ( $\sigma$ ) według definicji  $d \leq d_{sr} - 2\sigma$  – wyjątkowo zimny,  $d \geq d_{sr} + 2\sigma$  – wyjątkowo ciepły.

W rozdziale VI *Anomalie termiczne w Europie według danych meteorologicznych, dendrologicznych i źródeł historycznych w dwóch tysiącletniach (0 n.e.-XXI)* stwierdzono m.in., że w Warszawie w latach 1779-2015) wystąpiło 39 mroźnych zim, jedenaście bardzo mroźnych zim i 4 najbardziej mroźne zimy w latach: 1799 (-8,6), 1830(-9,2), 1838 (-8,6), 1940 (-8,8 °C) (rys. 13). Są to zimy o temperaturze  $T$  mniejszej od średniej  $T_{sr} = -2,454$  °C co najmniej o jedno odchylenie standardowe  $\sigma$  ( $\sigma = 2,368$  C), o  $2\sigma$  i o  $2,5\sigma$ . według definicji:  $T \leq T_{sr} - \sigma$  – mroźne zimy,  $T \leq T_{sr} - 2\sigma$  – bardzo mroźne zimy,  $T \leq T_{sr} - 2,5\sigma$  – najbardziej mroźne zimy.

Kolejne rozdziały poświęcono ocenie sprawdzalności dotychczasowych (częściowo już weryfikowanych) prognoz na podstawie wyników późniejszych pomiarów (1951-2016, 1951-2010): Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO), temperatury powietrza w Warszawie (Boryczka i in., 2012), temperatury powietrza w innych miejscach Europy (Boryczka i in., 2015) i opadów atmosferycznych w Warszawie (Boryczka i in., 2013):

- Weryfikacja prognoz zmian Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1998-2100 według pomiarów z lat 1825-1997 (Atlas, t. XV, 2001) (rozdz. VII)
- Weryfikacja prognoz temperatury powietrza w Warszawie w miesiącach, porach roku i roku (w 35-leciu 1981-2015 (1984) i 25-leciu 1991-2015 (2000) (rozdz. VIII)
- Weryfikacja prognoz zmian temperatury powietrza w Europie w latach 1970- 2100 opublikowanych w Atlasie t. XVII (2003), t. XIX (2005), t. XX-XXI (2007)(rozdz. IX)
- Weryfikacja prognoz opadów atmosferycznych w Warszawie w 30-leciu 1981-2010 (1993) i 20-leciu 1991-2010 (2000) (rozdz. X).

W rozdziale XI. *Nowe prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie w XXI wieku według pomiarów z lat 1779-2015* opracowano rekonstrukcje (1700-1778) i nowe prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie w poszczególnych miesiącach, sezonach i roku w latach 2016-2100 na podstawie danych z lat 1779-2015. Jeżeli minimum lokalne widma oscylacji temperatury powietrza było poza przedzia-

łem  $\Theta \geq 250$  lat, to w prognozach temperatury powietrza uwzględniono dodatkowo najdłuższy okres  $\Theta = 179$  lat (cykl astronomiczny).

W *Zakończeniu* (rozdz. XII) podano niektóre wyniki badań z zakresu zmian klimatu Ziemi i ich przyczyn (jego rekonstrukcji, weryfikacji prognoz), przedstawione w poszczególnych rozdziałach II-XI.

## SPIS TREŚCI (XXXVI)

I.	WPROWADZENIE	5
II.	ZMIANY KLIMATU ZIEMI WEDŁUG CYKLI PARAMETRÓW ORBITY ELIPTYCZNEJ (REKONSTRUKCJA OD 1 MILIONA LAT TEMU I PROGNOZA NA PRZYSZŁY 1 MILION LAT)	9
2.1.	Ważniejsze zdarzenia na Ziemi – sprzed 3 miliardów lat	9
2.2.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Ziemi (od -1 mln temu) według teorii M. Milankoviča	11
2.3.	Rekonstrukcja (od -1 mln lat temu) i prognoza (do 1 mln lat AD) zmian klimatu Ziemi według promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^{\circ}$ N	13
2.4.	Zmiany sum promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^{\circ}$ N w kolejnych miesiącach marzec, ..., wrzesień	23
III.	REKONSTRUKCJA (OD -500 000 LAT TEMU) I PROGNOZA (DO 500 000 LAT AD) ZMIAN KLIMATU ZIEMI WEDŁUG IZOTOPU TLENU $\delta^{18}\text{O}$ W RDZENIACH LODOWYCH Z WYSPY DEVON I GRENLANDII ŚRODKOWEJ	31
3.1.	Rekonstrukcja (od -500 000 lat temu) i prognoza (do 500 000 lat AD) klimatu Półkuli Północnej według zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym z wyspy Devon	31
3.2.	Zmiany klimatu w ostatnich dwu tysiącleciach, z prognozą do roku 2500 według zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym z wyspy Devon	35
3.3.	Prognozy zmian klimatu w XXI-XXII wieku według zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniach lodowych z Grenlandii środkowej (1772-1986)	38
IV.	OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU EUROPY W HOLOCENIE I ICH PRZYCZYNY WEDŁUG SUBSTANCJI ORGANICZNYCH, WĘGLANÓW WAPNIA I TLENKÓW ŻELAZA ZDEPONOWANYCH W OSADACH JEZIORORNYCH	45
4.1.	Rekonstrukcja (od -25 000 BP) i prognoza (do 25 000 AD) klimatu Europy – według substancji organicznych zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego	45
4.2.	Rekonstrukcja (od -25 000 bp) i prognoza (do 25 000 ad) klimatu Europy – według substancji organicznych zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż	49
4.3.	Rekonstrukcja (od -25 000 BP) i prognoza (do 25 000 AD) klimatu Europy – według zawartości węglanu wapnia ( $\text{C}_a\text{CO}_3$ ) w osadach Jez. Gościąż (od -12 750 lat temu)	52
4.4.	Rekonstrukcja (od -25 000 BP) i prognoza (do 25 000 AD) klimatu Europy – według zawartości i tlenku żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) w osadach Jez. Gościąż (od -12 750 lat temu)	55
4.5.	Holocenские ochłodzenia i ocieplenia klimatu i ich przyczyny według izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym z wyspy Devon oraz składu chemicznego osadów w Jez. Wikaryjskim i Jez. Gościąż	58
V.	REKONSTRUKCJA ZMIAN KLIMATU EUROPY W DWÓCH OSTATNICH TYSIĄCLECIACH (0-XX) I PROGNOZA W XXI-XXV WEDŁUG DANYCH DENDROLOGICZNYCH	75
5.1.	Rekonstrukcja (od 0 n.e.) i prognoza (do roku 2 500) zmian klimatu Europy według przyrostów rocznych sosny <i>Pinus sylvestris</i> (3 drzew)	77
5.2.	Rekonstrukcja (od 0 n.e.) i prognoza (do roku 2 500) zmian klimatu Europy według przyrostów rocznych świerka <i>Picea abies</i> (3 drzew)	83
5.3.	Rekonstrukcja (od 0 n.e.) i prognoza (do roku 2 500) zmian klimatu Europy według przyrostów rocznych modrzewia <i>Larix decidua</i> i jodły <i>Abies alba</i>	89
5.4.	Rekonstrukcja (od 0 n.e.) i prognoza (do roku 2 500) zmian klimatu Europy według przyrostów rocznych 5 dębów <i>Quercus petraea</i> (4) i <i>Quercus robur</i> (1)	93
5.5.	Mroźne zimy w Europie w latach 681-2000 według minimów ( $d_{\min}$ ) grubości stojów drzew rosnących w Europie	103
5.6.	Zależność szerokości stojów dębów w Polsce od temperatury powietrza i opadów atmosferycznych	105
VI.	ANOMALIE TERMICZNE W EUROPIE WEDŁUG DANYCH METEOROLOGICZNYCH, DENDROLOGICZNYCH I ŹRÓDEŁ HISTORYCZNYCH W DWÓCH TYSIĄCLECIACH (0 n.e. – XXI)	107
98		

6.1.	Cykle 11, 100 i 180 lat temperatury powietrza, szerokości stojów drzew i aktywności Słońca	107
6.2.	.Synchroniczne wahania temperatury powietrza, NAO, szerokości stojów drzew w Europie i aktywność Słońca	111
6.3.	Synchroniczne wahania grubości stojów drzew w Europie, aktywności Słońca i momentu bezwładności $B_z$ planet Układu Słonecznego względem płaszczyzny ekliptyki	114
6.4.	Mroźne zimy w Warszawie w latach 1779-2015	119
6.5.	Mroźne zimy w Polsce w X-XVI wieku według źródeł historycznych	120
VII.	WERYFIKACJA PROGNOZ ZMIAN OSCYLACJI PÓŁNOCNOATLANTYCKIEJ (NAO) W LATACH 1998-2100 WEDŁUG POMIARÓW Z LAT 1825-1997 (ATLAS, T. XV, 2001)	125
7.1.	Kierunki adwekcji mas powietrza w Europie (typy cyrkulacji wg Wangenheima i Osuchowskiej-Klein)	125
7.2.	Zjawisko El Niño	129
7.3.	Prognozy zmian Oscylacji Północnoatlantycznej (NAO) w XXI wieku według pomiarów z lat 1825-1997	130
7.4.	Weryfikacja prognoz zmian Oscylacji Północnoatlantycznej (NAO) w latach 1998-2100 według pomiarów z lat 1998-2015	134
VIII.	WERYFIKACJA PROGNOZ ZMIAN TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE W MIESIĄCACH, PORACH ROKU I ROKU W 35-LECIU 1981-2015 (1984 ) I 25-LECIU 1991-2015 (2000 ).	173
8.1.	Weryfikacja prognoz przebiegu rocznego temperatury powietrza w Warszawie w latach 1980-2100 wg modelu rekonstrukcyjno-prognostycznego (w 30-leciu 1981-2015)	173
8.2.	Weryfikacja prognoz przebiegu rocznego temperatury powietrza w Warszawie w latach 1991-2100 (w miesiącach, sezonach i roku) (w 25-leciu 1991-2015)	175
IX.	WERYFIKACJA PROGNOZ ZMIAN TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE W LATACH 1970- 2100 OPUBLIKOWANYCH W ATLASIE T. XVII (2003), T. XIX (2005), T. XX-XXI (2007)	199
9.1.	Weryfikacja prognoz zmian temperatury powietrza w: Anglii środkowej (1659-1993), Greenwich (1659-1969), Paryżu (1767-1995), Berlinie (1769-1990) i Warszawie (1779-1998, 1779-2002)	201
9.2.	Weryfikacja prognoz zmian temperatury powietrza w: Moskwie (1780-2002), Sztokholmie (1756-1994) i Zurychu (1864-1970)	241
9.3.	Weryfikacja prognoz zmian temperatury powietrza w: Rzymie (1811-1989), Wiedniu (1775-2002) i Kijowie (1812- 2002)	266
X.	WERYFIKACJA PROGNOZ OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W WARSZAWIE W 30-LECIU 1981-2010 (1993) I 20- LECIU 1991-2010 ( 2000)	291
10.1.	Weryfikacja prognoz przebiegu rocznego opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1980-2100 według pomiarów z lat 1813-1979	291
10.2.	Weryfikacja prognoz opadów atmosferycznych w Warszawie na lata 1990-2100 – w 20-leciu 1990-2010 (z 2000)	297
XI.	NOWE PROGNOZY ZMIAN TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE W XXI WIEKU WEDŁUG POMIARÓW Z LAT 1779-2015	321
11.1.	Nowe prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie w kolejnych miesiącach w latach 2016-2100	322
11.2.	Nowe prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie w porach roku i roku w latach 2016-2100	358
XII.	ZAKONCZENIE	371
XIII.	LITERATURA	385
	ZJAWISKA POGODOWE W X-XVI WIEKU WEDŁUG KRONIK HISTORYCZNYCH	387
	WYKAZ PRAC MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII DOTYCZĄCYCH CYKLICZNOŚCI I TENDENCJI ZMIAN KLIMATU W EUROPIE (1984-2015)	393
	ZAŁĄCZNIK (SPIS PUBLIKACJI)	395

## XXXVII. Postęp badań zmian klimatu Polski i ich znaczenie dla życia i gospodarczej działalności człowieka, 100 lat geografii w Uniwersytecie Warszawskim

Tom XXXVII. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2017, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Postęp badań zmian klimatu Polski i ich znaczenie dla życia i gospodarczej działalności człowieka, 100 lat geografii w Uniwersytecie Warszawskim** (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, Warszawa, ss. 407.

Prezentowany 37 Tom *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* p.t. *Postęp badań zmian klimatu Polski i ich znaczenie dla życia i gospodarczej działalności człowieka* zawiera ważniejsze wyniki badań w zakresie groźnych zjawisk atmosferycznych w Polsce, stanu zanieczyszczenia atmosfery, oceny klimatu pod względem komunikacji lotniczej oraz oceny klimatu północno-wschodniej części Polski na potrzeby człowieka.

Najpierw, w rozdziale II. *Kierunki i ważniejsze wyniki badań naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu Polski w latach 1951-2017* (2.2 *Empiryczne modele przestrzennej i czasowej zmienności klimatu*) aproksymacja pól zmiennych meteorologicznych równaniami hiperpłaszczyzn regresji i wielomianami regresji, czwartego stopnia względem trzech współrzędnych: szerokości i długości geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $H$ ) okazała się doskonałym narzędziem badań klimatu na obszarach Polski i Europy. Równania te umożliwiają wyznaczenie np. wartości temperatury powietrza w miejscach, gdzie nigdy nie prowadzono pomiarów. Szczególne znaczenie mają mapy gradientów – wektorów wskazujących wzrosty lub spadki ( $^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$ ) temperatury powietrza na obszarze Polski.

W rozdziale III. *Groźne zjawiska atmosferyczne w Polsce z wyodrębnieniem Warszawy i Krakowa* przedstawiono ważniejsze wyniki badań dotyczące zmian czasowych i przestrzennych liczby dni z burzą oraz prawdopodobieństwa ich występowania w Polsce, zamieszczone w dwóch tomach *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*:

- *Prognozy zmian klimatu Polski* (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Grabowska K., Błażek E., Skrzypczuk J.), t. XVI, 2002, Wyd. UW, ss. 212 (rozdz. V i VI): (V. *Pole temperatury powietrza w Polsce a typy cyrkulacji atmosferycznej*, VI. *Z badań okresowości i tendencji zmian burz w Polsce*)
- *Groźne zjawiska pogodowe w Polsce* (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J.), t. XVIII, 2004, Wyd. UW, ss. 217

Szczególne znaczenie mają wyznaczone cykle liczby dni z burzą, tendencje, ich zależność od aktywności Słońca, od typów cyrkulacji oraz prognozy zmian do 2025 roku (według danych z 20 stacji meteorologicznych). Dystrybuanty empiryczne zbliżone do dystrybuant rozkładu normalnego umożliwiają wyznaczenia prawdopodobieństwa wystąpienia burzy w zależności od warunków meteorologicznych (od cyrkulacji atmosferycznej).

Ponadto, zamieszczono autoreferat rozprawy doktorskiej:

- Joanna Popławska, 2016, *Zastosowania wybranych metod detekcji tornad i trąb powietrznych na obszarze Polski – studia przypadków* (obrona 10 maja 2016 r., promotor Dr hab. Elwira Żmudzka, recenzenci: Prof. dr hab. Maria Stopa-Boryczka, Dr hab. Zuzanna Bielec-Bąkowska)

W pracy oceniono przydatność: wskaźników: konwekcyjnych i uskoku wiatru oraz obrazów radarowych i zdjęć satelitarnych w detekcji najgroźniejszych małoskalowych wirów powietrznych. Określono również przebiegi dobowy i roczny liczby tornad i trąb powietrznych na obszarze Polski .

Stan atmosfery podczas trwania niektórych trąb powietrznych i tornad na obszarze Polski (2006-2012) określono na podstawie obrazów radarowych, map synoptycznych Europy o godz. 12.00 UTC (IMGW) oraz diagramów aerologicznych w odpowiednich miejscowościach ( o godzinie 0.00 i 12.00 UTC) .

Szczególne znaczenie w badaniach uwarunkowań występowania tornad i trąb powietrznych nad obszarem Polski mają wskaźniki: LCL (m) – poziom kondensacji, CAPE ( $\text{Jkg}^{-1}$ ) – wartość energii potencjalnej w warstwach powietrza 0-6 km i 0-3 km, oraz wskaźniki charakteryzujące pionowy profil wiatru (tzw. uskok wiatru).

Maksyma liczebności tornad i trąb powietrznych na histogramach wskazują przebiegi wartości wskaźników konwekcyjnych o maksymalnym prawdopodobieństwie.

W rozdziale IV. *Maksymalne dobowe sumy opadów i pokrywa śnieżna w Polsce na przykładzie Warszawy i Krakowa przedstawiono* cykle, histogramy, dystrybuanty empiryczne i normalne oraz tendencje maksymalnych dobowych sum opadów atmosferycznych i pokrywy śnieżnej w Warszawie i Krakowie w latach 1966-2000 (rok). W rozdziale V. Stan zanieczyszczenia atmosfery w Warszawie i innych miastach Polski przedstawiono ważniejsze wyniki badań prowadzonych w Zakładzie Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych UW (z udziałem studentów) w zakresie stanu zanieczyszczenia atmosfery w Polsce opublikowane w *Atlasie współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*:

– *Stan zanieczyszczenia atmosfery w Warszawie i innych miastach Polski* (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., Grzęda M.), t. XXVIII, 2012, Wyd. UW, ss. 470.

Na przykład, przestrzenne zróżnicowanie stężenia dwutlenku siarki w atmosferze na terenie Polski i jego zależność od cyrkulacji atmosferycznej określono w skrótach prac magisterskich K. Pyłki (2005) p.t. *Zależność zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki od typów cyrkulacji atmosferycznej w środkowej Polsce* i A. Skupińskiej (2009) p.t. *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki w południowej Polsce. w latach 1993-1999*.

W rozdziale VI. *Ocena klimatu na potrzeby lotnictwa w Warszawie i innych miastach Polski* zamieszczono ważniejsze wyniki badań prowadzonych w Zakładzie Klimatologii. Są to skrótów prac magisterskich, dotyczące ocen klimatu lotnisk znajdujących się na obszarze Polski, opublikowane w *Atlasie współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*:

– *Ocena klimatu na potrzeby lotnictwa w Warszawie i innych miastach Polski*

(Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., Grzęda M.), t. XXIX, 2013., Wyd.UW, ss. 451.

W pracy np. J. Ososa (1993) p.t. *Klimat lotniska Warszawa-Okęcie (1951-1960)* przedstawiono analizę zjawisk atmosferycznych zachodzących na lotnisku Warszawa-Okęcie i nad nim, w warstwie, w której odbywa się początkowa i końcowa faza każdego lotu. W pracy K. Buczyńskiego (1990) p.t. *Obciążenia organizmu ludzkiego powstałe na dalekich trasach lotniczych* wyróżniono rodzaje obciążeń organizmu ludzkiego związanych z lotami długodystansowymi – przede wszystkim z dużymi zmianami temperatury powietrza.

Rozdział VII. *Ocena klimatu północno-wschodniej części Polski na potrzeby człowieka* zawiera skróty prac magisterskich (np. J. Bereś, 2001, *Klimat jeziora Śniardwy dla potrzeb żeglarsstwa*), opublikowane w t. XXX. *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce:*

– *Klimat północno-wschodniej Polski według podziału fizycznogeograficznego J. Kondrackiego i J. Ostrowskiego* (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błazek E., Skrzypczuk J., Grzęda M., t. XXX, 2013, Wyd. UW, ss. 450

W *Zakończeniu – Ważniejsze wyniki badań Zakładu Klimatologii UW w drugiej dekadzie XXI wieku (2011-2017)* (rozdz. VIII) przedstawiono syntezę ważniejszych wyników badań przestrzennych i czasowych zmian klimatu Ziemi.

## SPIS TREŚCI (XXXVII)

I.	WPROWADZENIE	5
II.	KIERUNKI I WAŻNIEJSZE WYNIKI BADAŃ NATURALNYCH I ANTROPOGENICZNYCH ZMIAN KLIMATU POLSKI I EUROPY W LATACH 1951-2017	9
2.1.	Z badań klimatu Polski w drugiej połowie XX wieku	9
2.2.	Empiryczne modele przestrzennej i czasowej zmienności klimatu	14
2.3.	Postęp badań naturalnych zmian klimatu Europy w pierwszej dekadzie XXI wieku w odniesieniu do drugiej połowy XX wieku	31
III.	GROŹNE ZJAWISKA ATMOSFERYCZNE W POLSCE Z WYODRĘBNIENIEM WARSZAWY I KRAKOWA	41
3.1.	Ekstrema (maksima i minima) temperatury powietrza w Polsce a typy cyrkulacji atmosferycznej	42
3.2.	Z badań okresowości i tendencji zmian burz w Polsce (1951-1990)	48
3.3.	Zmienność aktywności burzowej w niektórych regionach geograficznych Polski, Katarzyna GRABOWSKA	73
3.4.	Groźne zjawiska pogodowe w Polsce (1966-2000)	82
3.5.	Warunki synoptyczne sprzyjające powstawaniu burz w Warszawie, Katarzyna WESOŁOWSKA (GRABOWSKA)	87
3.6.	Zmiana warunków meteorologicznych w Warszawie po przejściu burzy, Przemysław KOTYNIA, Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA	92
3.7.	Zastosowanie wybranych metod detekcji tornad i trąb powietrznych na obszarze Polski – studia przypadków (autoreferat rozprawy doktorskie), Joanna POPLAWSKA	103
IV	MAKSYMALNE DOBOWE SUMY OPADÓW I POKRYWA ŚNIEŻNA W POLSCE NA PRZYKŁADZIE WARSZAWY I KRAKOWA	125
4.1.	Maksymalne dobowe sumy opadów atmosferycznych w Warszawie i Krakowie w latach 1966-2000	125
4.2.	Częstość opadów atmosferycznych $\geq 10$ mm w Warszawie i Krakowie w latach 1966-2000	130
4.3.	Maksima dobowe opadów atmosferycznych w Warszawie, Joanna MAROSZEK	134
4.4.	Sytuacje synoptyczne sprzyjające występowaniu wysokich opadów w aglomeracji warszawskiej w latach 1971-1980, Kamila HIPNAROWICZ, Jolanta WAWER	140
4.5.	Liczba dni z pokrywą śnieżną w Warszawie i Krakowie w latach 1966-2000	144
4.6.	Pokrywa śnieżna w Warszawie w latach 1965-1995, Piotr GAŁECKI	150
4.7.	Ostrość i śnieżność zim w Warszawie w latach 1965-95, Rafał PŁAŻEWSKI	153
4.8.	Warunki występowania susz atmosferycznych na Równinie Warszawskiej w latach 1951-1990 na przykładzie stacji Warszawa-Okęcie, Michał PRASZKIEWICZ	167
V.	STAN ZANIECZYSZCZENIA ATMOSFERY W WARSZAWIE I INNYCH MIASTACH POLSKI	183
5.1.	Zależność zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki od typów cyrkulacji atmosferycznej w Środkowej Polsce (2007), Kamila PYŁKA	189
5.2.	Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki w południowej Polsce (2009), Anna SKUPIŃSKA	202
5.3.	Wpływ warunków meteorologicznych na rozkład zanieczyszczenia w Warszawie (2000), Aleksandra CZERWONKA	209

5.4	Zmiany zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem azotu w Warszawie w latach 2004–2006 (2010), Paweł SZCZEPAŃSKI	215
5.5.	Wpływ warunków pogodowych na wzrost stężenia ozonu troposferycznego w śródmieściu Warszawy (1996-2000) (2004) , Katarzyna JATCZAK	221
5.6..	Zanieczyszczenie powietrza pyłem PM10 na terenie Warszawy i Krakowa w latach 2005-2009 (2012), Anna FAFLAK	223
5.7.	Wpływ warunków pogodowych na stężenie pyłu zawieszonego w powietrzu na przykładzie Warszawy (2010), Urszula FRYDRYCHOWSKA	227
5.8	Wpływ cyrkulacji atmosfery na kwasowość opadu na przykładzie Jarczewa (2009), Katarzyna ZDUŃCZYK	234
VI	OCENA KLIMATU NA POTRZEBY LOTNICTWA W WARSZAWIE I INNYCH MIASTACH POLSKI	239
6.1.	Klimat lotniska Warszawa-Okęcie (1951-1960) (1993), Józef OSOS	242
6.2.	Wstępna ocena możliwości numerycznego prognozowania mgieł na lotnisku Warszawa-Okęcie (2007), Karolina BŁASIAK	256
6.3.	Charakterystyka warunków odczuwalnych otoczenia Warszawy na przykładzie stacji Okęcie w latach 1966-1970 (1991), Magdalena SZULC-BOMBA	259
6.4.	Wpływ ruchu lotniczego Lotniska Warszawa-Okęcie na klimat akustyczny południowo-zachodniej części Warszawy (2011), Grzegorz WIKTORSKI	261
6.5	Klimat lotniska Sadków w Radomiu (2010), Paweł PARZUCHOWSKI	272
6.6	Uwarunkowania klimatyczne lotniska Olsztyn-Dajtki (2003), Anna MROZEK	284
6.7	Warunki klimatyczne lotniska w Poznaniu-Ławicy (2008) , Emilia OLCZAK	291
6.8	Zjawisko fali górskiej w Karpatach Polskich (2008) , Jakub SZMYD	304
6.9.	Obciążenia organizmu ludzkiego powstałe na dalekich trasach lotniczych (1990), Krzysztof BUCZYŃSKI	312
VII	OCENA KLIMATU PÓŁNOCNO-WSCHODNIEJ CZĘŚCI POLSKI NA POTRZEBY CZŁOWIEKA	325
7.1.	Charakterystyka bioklimatu północno-wschodniej części Polski (1977) , Alicja NOWICKA-WALCZYK	325
7.2.	Charakterystyka bioklimatu woj. suwalskiego w cieplej porze roku (1978) , Grażyna ROKOSZEWSKA	340
7.3.	Warunki odczuwalne w Mikołajkach w pięcioleciu 1986-1990 (2001) , Maciej OKRASA	353
7.4.	Ocena warunków odczuwalnych dla potrzeb sportu i turystyki zimowej w woj. suwalskim (1979) , Władysław REMISZEWSKI	363
7.5.	Klimat jeziora Śniardwy dla potrzeb żeglarstwa (2001) , Joanna BEREŚ	374
7.6	Próba oceny warunków klimatycznych dla potrzeb rolnictwa w województwie białostockim na przykładzie ziemniaka (1988), Wiesława JAKIMIUK - OLSZEWSKA	390
VIII	ZAKOŃCZENIE – WAŻNIEJSZE WYNIKI BADAŃ ZAKŁADU KLIMATOLOGII UW W DRUGIEJ DEKADZIE XXI WIEKU (2011-2017)	401
IX	LITERATURA	441

### **XXXVIII-XXXIX. Postęp badań zmian klimatu Warszawy w ostatnich stuleciach (XVIII-XXI)**

**Tom XXXVIII-XXXIX.** Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2018, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Postęp badań zmian klimatu Warszawy w ostatnich stuleciach (XVIII-XXI)** (red.: M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, Warszawa, ss. 428.

Prezentowany 38-39 tom *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce t.. Postęp badań zmian klimatu Warszawy w ostatnich*

*stuleciach (XVIII-XXI)* poświęcono głównie własnym wynikom badań klimatu Warszawy i okolic oraz ocenie dotychczasowych prognoz temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w XXI wieku.

W rozdziale II. *Wkład Zakładu Klimatologii w badania klimatu Warszawy* (U. Kossowska-Cezak, J. Wawer) podsumowano ponad 55-letnią pracę naukową w Zakładzie Klimatologii UW w zakresie badania zmian naturalnych i antropogenicznych klimatu miasta (głównie w Warszawie). Problemy badawcze dotyczyły zarówno ogólnych cech klimatu Warszawy, zróżnicowania między śródmieściem a okolicą zamiejską (podstawowych cech klimatu wielkomiejskiego) oraz badań mikroklimatycznych w wybranych częściach miasta. Wyniki różnorodnych badań są zawarte w pracach magisterskich i doktorskich, pracach zleconych i publikacjach.

Celem rozdziału III. *Deformacja pól zmiennych meteorologicznych przez miasto na przykładzie Warszawy* jest ocena wpływu położenia geograficznego na cechy termiczne miast w Europie – ze szczególnym uwzględnieniem Polski. Jest nim też określenie zakresu deformacji pola temperatury powietrza w Polsce przez miasta na przykładzie Warszawy – miasta nizinnego. Dobrym narzędziem badań klimatu Europy okazały się modele statystyczne – równania hiperpłaszczyzn i wielomianów regresji czwartego stopnia względem trzech współrzędnych: szerokości  $\varphi$  i długości geograficznej  $\lambda$  oraz wysokość nad poziomem morza  $H$ , które są jednocześnie czynnikami geograficznymi. Gradienty południkowe, równoleżnikowe i hipsometryczne wskazują, że w kształtowaniu klimatu miast (także największych) dominują czynniki naturalne.

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

W rozdziale IV. *Klimat Warszawy w publikacjach Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego* (Stopa-Boryczka, Kopacz-Lembowicz, Wawer, 2001, *Prace Geograficzne*, nr 180) wykazano, że Warszawa na tle otoczenia wyróżnia się przede wszystkim zmniejszonym dopływem promieniowania, wyższą temperaturą powietrza (zwłaszcza minimalną) i dłuższym okresem bez przymrozków, mniejszą wilgotnością względną i większym niedosytem wilgotności powietrza, większym zachmurzeniem oraz mniejszą liczbą dni pogodnych, większymi sumami opadu atmosferycznego, mniejszą prędkością wiatru. Przyczyny swoistego klimatu miasta przejawiają się w wyniku oddziaływania takich czynników, jak: sztuczne powierzchnie czynne, konfiguracja budynków i ulic zmieniające wymianę ciepła, sztuczne źródła ciepła, zmiana bilansu wodnego, zanieczyszczenia powietrza.

Celem badań w rozdziale V. *Wpływ zabudowy i zieleni osiedlowej na zróżnicowanie klimatu lokalnego w Warszawie* 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. Podano wyniki pomiarów zawarte w niektórych pracach magisterskich.

W rozdziale VI *Klimat Warszawy i miejscowości strefy podmiejskiej* określono cechy specyficzne klimatu i bioklimatu miejscowości podwarszawskich, w zależności od ich lokalizacji względem Warszawy. Podano też zasięg oddziaływania miasta na tereny otaczające.

Rozdział VII. *Klimat Warszawy i innych miast Polski* zawiera skróty wyników badań magisterskich w zakresie naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu miast Polski. Ich celem jest określenie cykliczności i tendencji zmian klimatu miast Polski np.



w pracy 7.2. *Wielookresowe zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1979* (Bogumiła Dąbrowska). W pracy zaś 7.8. *Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Polsce w zależności od erupcji wulkanicznych i aktywności Słońca* (Robert Duma) wykazano, że największy spadek temperatury powietrza (o 2,6°C) wystąpił w Warszawie, w zimie, po erupcji wulkanu Coseguina w 1835 roku. Podczas wzmożonej aktywności wulkanicznej (ponad 1000 DVI), stwierdzono, że pył wulkaniczny zawarty w atmosferze wpływa na średnią roczną temperaturę powietrza w Polsce (Warszawa, Kraków, Wrocław), a także w Anglii środkowej. Wykazano również synchronizację niektórych okresów (wyznaczonych metodą J. Boryczki sinusoid regresji) zmian klimatu (w Warszawie i Anglii środkowej), aktywności Słońca i erupcji wulkanicznych.

W rozdziale VIII. *Zmiany klimatu Warszawy od XVIII do XXI wieku* (Boryczka, Prace Geograficzne, nr 180, 2001) stwierdzono, że w Europie i Polsce coraz cieplejsze są przede wszystkim zimy: w Warszawie (1779-1990) o 1°C/100 lat, Krakowie (1826-1990) – o 1,4°C, Pradze (1771-1980) – o 0,25°C, Genewie (1768-1980) – o 0,5°C, Anglii Środkowej (1659-1973) – o 0,3°C.:

Celem rozdziału IX. *Zmiany wiekowe klimatu Polski. na przykładzie Warszawy* (*Atlas współzależności ...*, t. VII) jest określenie cyklicznych zmian i tendencji klimatu Polski na przykładzie Warszawy. Zbadano ciągi chronologiczne: aktywności Słońca (liczb Wolfa), cyrkulacji atmosferycznej (wschodniej, zachodniej, południkowej) wg klasyfikacji Wangerheima, temperatury powietrza (1779-1979) i opadów atmosferycznych (1813-1980) w Warszawie. Modelowano też naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu., wyodrębniając dwa składniki: naturalny – wypadkową  $f(t)$  interferencji cykli i antropogeniczny – część liniową *at* trendu czasowego. Ponadto, przedstawiono prognozy temperatury powietrza w Warszawie według danych z lat 1779-1979.

Duże znaczenie poznawcze mają wyniki badań w zakresie cykliczności, rekonstrukcji i prognoz zmian temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie oraz ocena ich sprawdzalności przedstawione w kolejnych rozdziałach: X. *Prognozy zmian klimatu Warszawy*, XI. *Ocena prognoz zmian temperatury powietrza w Warszawie według danych z lat 1779-1979, 1779-1998* (*Obserwatorium Astronomiczne*) i *Okecja (1951-2016)*, XII. *Prognozy zmian opadów atmosferycznych w Warszawie według danych z lat 1813 -1990* (*Obserwatorium Astronomiczne*) i *ich weryfikacja* oraz XIII. *Nowe prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie w XXI wieku według pomiarów z lat 1779-2015*.

Interesujące są również określenie zakresu zmian temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie i Krakowie w ostatnich dwóch stuleciach oraz prognoza – w rozdz. XIV. *Cykliczne wahania temperatury i opadów w Polsce w XIX-XXI wieku* (Jerzy Boryczka, Maria Stopa-Boryczka, *Acta Agrophisica*, vol.3, 2004) .

W rozdziale. XV. *Problemy badań współczesnych zmian klimatu Ziemi* przedstawiono ważniejsze wyniki badań zmian wiekowych klimatu Europy z uwzględnieniem prognoz w XXI wieku i ich weryfikacji. Omówiono też naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy, zamieszczając spis treści książki *Studies on the climate of Warsaw* oraz spis treści *Klimat wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007* (Piknik 2008). Na końcu ( rozdz. XVI) podano wykaz prac magisterskich dotyczących klimatu Warszawy i okolic wykonanych w Zakładzie Klimatologii w latach 1954-2015.

## SPIS TREŚCI (XXXVIII-XXXIX)

I.	WPROWADZENIE	5
II.	WKŁAD ZAKŁADU KLIMATOLOGII W BADANIA KLIMATU WARSZAWY, Urszula KOSSOWSKA-CEZAK, Jolanta WAWER	7
III.	DEFORMACJA PÓL ZMIENNYCH METEOROLOGICZNYCH PRZEZ MIASTO NA PRZYKŁADZIE WARSZAWY	27
3.1.	Wpływ położenia geograficznego na klimat miast w Europie	27
3.2.	Deformacja pola temperatury przez czynniki lokalne	28
3.3.	Zmiany dobowe i roczne miejskiej wyspy ciepła w Warszawie	29
3.4.	Zależność cyklu rocznego temperatury powietrza w Warszawie od aktywności Słońca	35
3.5.	Cykliczność i tendencje zmian miejskiej wyspy ciepła	36
3.6.	Prawdopodobieństwo występowania miejskiej wyspy ciepła	37
3.7.	Ważniejsze wyniki badań	39
IV.	KLIMAT WARSZAWY W PUBLIKACJACH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIwersytetu Warszawskiego, Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ, Jolanta WAWER	53
V.	WPŁYW ZABUDOWY I ZIELENI OSIEDLOWEJ NA ZRÓŻNICOWANIE KLIMATU LOKALNEGO W WARSZAWIE	63
5.1.	Zróżnicowanie klimatu lokalnego Warszawy w miesiącach letnich (1994), Renata ROMAŃSKA	75
5.2.	Zróżnicowanie klimatu lokalnego Warszawy na profilu wschód-zachód, Dorota PRZYBYŁKOWSKA	84
5.3.	Dobowy przebieg warunków odczuwalnych w Warszawie, Katarzyna GULA	90
5.4.	Warunki odczucia termicznego w Warszawie, Robert WAKER	100
VI.	KLIMAT WARSZAWY I MIEJSCOWOŚCI STREFY PODMIEJSKIEJ	107
6.1.	Wpływ urbanizacji na warunki klimatyczne w Warszawie, Bożena KICIŃSKA, Jolanta WAWER	119
6.2.	Warunki nefologiczne aglomeracji warszawskiej, Elwira ŻMUDZKA	139
VII.	KLIMAT WARSZAWY I INNYCH MIAST POLSKI	149
7.1.	Wielookresowe zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1979, Bogumiła DĄBROWSKA	161
7.2.	Wielookresowe zmiany temperatury powietrza w Krakowie w latach 1826-1985 Konrad KLECHTA	169
7.3.	Wielookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1813-1980, Dorota DĘBSKA	174
7.4.	Wielookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Krakowie w latach 1850-1987 Katarzyna GRZEŃDA	184
7.5.	Długookresowe zmiany temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie, Małgorzata TOMASIŁ	194
7.6.	Synchroniczne wahania temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w XIX-XX wieku, Mariusz TOMASZEWSKI	204
7.7.	Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Polsce w zależności od erupcji wulkanicznych i aktywności Słońca, Robert DUMA	211
VIII.	ZMIANY KLIMATU WARSZAWY OD XVIII DO XXI WIEKU, Jerzy BORYCZKA	217
IX.	ZMIANY WIEKOWE KLIMATU POLSKI. NA PRZYKŁADZIE WARSZAWY	227
9.1.	Prognozy cyrkulacji atmosferycznej: wschodniej ( $C_E$ ), zachodniej ( $C_W$ ) i południkowej (C) (wg klasyfikacji G. J. Wangenheima)	234
9.2.	Prognozy temperatury powietrza w Warszawie (1980-2100)	237
9.3.	Prognozy opadów atmosferycznych w Warszawie (1980-2100)	243
X.	PROGNOZY ZMIAN KLIMATU WARSZAWY	253
10.1.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Warszawy i ich uwarunkowania	253
10.2.	Okresowa zmienność opadów atmosferycznych w Warszawie	258
10.3.	Tendencje zmian klimatu Warszawy	261
10.4.	Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku	262

XI	OCENA PROGNOZ ZMIAN TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE WEDŁUG DANYCH Z LAT 1779-1979, 1779-1998 (OBSERWATORIUM ASTRONOMICZNE) I OKĘCIA (1951-2016)	273
11.1.	Ocena prognoz zmian temperatury powietrza w Warszawie według danych z lat 1779-1990 (Obserwatorium Astronomiczne) – t. XIV	273
11.2.	Ocena prognoz zmian temperatury powietrza w Warszawie według danych z lat 1779-1998 (Obserwatorium Astronomiczne) – t. XVII, XIX i XX-XXI	281
XII	PROGNOZY ZMIAN OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W WARSZAWIE WEDŁUG DANYCH Z LAT 1813 -1990 (OBSERWATORIUM ASTRONOMICZNE) I ICH WERYFIKACJA	295
12.1	Prognozy zmian opadów atmosferycznych w Warszawie na lata 1990-2100 i ocena ich sprawdzalności	295
XIII.	NOWE PROGNOZY ZMIAN TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE W XXI WIEKU WEDŁUG POMIARÓW Z LAT 1779-2015	305
13.1	Nowe prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie w kolejnych miesiącach w latach 2016-2100	306
13.2	Nowe prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie w porach roku i roku w latach 2016-2100	342
XIV	CYKLICZNE WAHANIA TEMPERATURY I OPADÓW W POLSCE W XIX-XXI WIEKU, Jerzy BORYCZKA, Maria STOPA-BORYCZKA	357
XV.	PROBLEMY BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU ZIEMI	369
15.1	Zmiany wiekowe klimatu Europy z uwzględnieniem prognoz w XXI wieku i ich weryfikacja	369
15.2.	Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy	379
15.3.	Studies on the climate of Warsaw	408
15.4.	Klimat wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007	411
XVI	PRACE MAGISTERSKIE DOTYCZĄCE KLIMATU WARSZAWY I OKOLIC WYKONANE W ZAKŁADZIE KLIMATOLOGII W LATACH 1954-2015	417
XVII	LITERATURA	425

## **XL. Anomalie klimatu w Europie w ostatnim tysiącleciu (X-XXI)**

**Tom XL.** Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2018, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. Anomalie klimatu w Europie w ostatnim tysiącleciu (X-XXI) (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. WGSR UW, Warszawa, ss. 510.

Prezentowany 40 tom *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* pt. *Anomalie klimatu w Europie w ostatnim tysiącleciu (X-XXI)* dotyczy głównie ekstremów wiekowych temperatury powietrza i rocznych przyrostów (słojów) drzew rosnących w Europie. Istotne znaczenie poznawcze mają także rekonstrukcje i nowe prognozy zmian temperatury powietrza w Polsce w tysiącleciu 1500-2500.

W rozdziale II. *Anomalie temperatury powietrza w Polsce w XVIII-XXI wieku* określono ekstrema temperatury powietrza w Polsce (minima i maksima) na podstawie wyników pomiarów wykonanych w trzech miastach: w Warszawie – w latach 1779-2017, Krakowie – 1826-2017 i Wrocławiu – 1792-2017.

Za wyjątkowe pod względem termicznym uznano te miesiące, pory roku i rok, w których średnia temperatura ( $T$ ) różni się od średniej wieloletniej ( $T_{sr}$ ) co najmniej o 2 odchylenia standardowe ( $\sigma$ ), np.:  $T_{inf} \leq T_{sr} - 2\sigma$  – bardzo mroźna zima (BMZ) i  $T_{sup} \geq T_{sr} + 2\sigma$  – bardzo ciepła zima (BCZ). O największych ochłodzeniach i ociepleniach klimatu informują daty ekstremów – minimów  $t_{inf}$ ,  $T_{inf}$  i maksimów  $t_{sup}$ ,  $T_{sup}$ .

W rozdziale III. *Anomalie temperatury powietrza w Europie w miastach w profilu południkowym (XVIII-XXI)* określono ekstrema temperatury powietrza na podstawie wyników pomiarów w trzech miastach: w Paryżu – w latach 1757-2011, Berlinie – 1769-2017 i Moskwie – 1780-2017.

W rozdziale IV. *Anomalie temperatury powietrza w Europie w miastach w profilu równoleżnikowym (XVIII-XXI)* – ekstrema temperatury powietrza (lokalne minima i maksima) wyznaczono na podstawie wyników pomiarów w czterech miastach: w Sztokholmie – w latach 1756-2012, Tallinie – 1779-2017, Wiedniu – 1775-2012 i Rzymie – 1811-2012. O anomaliach termicznych informują daty wieloletnich minimumów ( $t_{\text{inf}}$ ,  $T_{\text{min}}$ ) i maksimumów ( $t_{\text{sup}}$ ,  $T_{\text{sup}}$ ) temperatury powietrza.

Najbardziej mroźne zimy – o najniższych wartościach temperatury  $T_{\text{min}}$  (°C) w profilach południkowym  $T(\lambda)$  i równoleżnikowym  $T(\varphi)$  wystąpiły w latach:

$T(\lambda)$	$t_{\text{min}}$	$T_{\text{min}}$	$T(\varphi)$	$t_{\text{min}}$	$T_{\text{min}}$
Paryż	1830	-1,60	Sztokholm	1809	-8,67
Berlin	1830	-6,63	Tallin	1829	-11,83
Warszawa	1830	-9,20	Wiedeń	1929	-2,30
Kraków	1830	-10,30	Wrocław	1830	-10,30
Moskwa	1893	-16,83	Rzym	1929	5,20

Porównano też histogram i dystrybuantę empiryczną temperatury powietrza w zimie w Warszawie, Paryżu i Tallinie z rozkładem normalnym (Gausa) i dystrybuantą teoretyczną.

W rozdziale V. *Anomalie klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu X-XX według danych dendrologicznych* za wyróżniający się pod względem termicznym uznano ten rok, w którym grubość słoja danego drzewa ( $d$ ) różni się od średniej wszystkich jego słoików ( $d_{\text{sr}}$ ) (średniej wieloletniej) co najmniej o dwa odchylenia standardowe ( $\sigma$ ):  $d_{\text{inf}} \leq d_{\text{sr}} - 2\sigma$  – bardzo zimny (BZ),  $d_{\text{sup}} \geq d_{\text{sr}} + 2\sigma$  – bardzo ciepły (BC).

W podrozdziale. 5.2. *Mroźne zimy w Polsce w X-XVI wieku według źródeł historycznych* porównano minima grubości słoików 4 drzew ( $t_{\text{inf}}$ ,  $d_{\text{inf}}$ ) – bardzo zimny (BZ) z mroźnymi zimami od 940 roku według kronik historycznych. Natomiast w podrozdziałach 5.3. *Ekstrema szerokości słoików drzew rosnących w Europie (VII-XX)* i 5.4. *Ekstrema szerokości słoików dębów rosnących w Polsce (X-XX)* wzięto pod uwagę roczne przyrosty drzew badanych pod względem okresowości w tomie XX-XXI *Atlasu*. Analizie statystycznej poddano słoje 30 drzew – sosny, świerka, modrzewia, jodły i dębu rosnących w Europie oraz 14 dębów – z obszaru Polski.

W rozdziale VI. *Rekonstrukcja i nowe prognozy zmian temperatury powietrza w Polsce w tysiącleciu 1500-2500* przedstawiono rekonstrukcje (od roku 1500) i prognozy (do roku 2500) temperatury powietrza w poszczególnych miesiącach, porach roku i roku, według danych: w Warszawie – z lat 1779-2015, Krakowie – 1826-2017 i Wrocławiu – 1792-2017).

Wyznaczono dwie wypadkowe interferencji cykli:  $F(t)$ ,  $f(t)$  – ze składnikiem liniowym  $at$  i bez składnika liniowego ( $at = 0$ ), stosując metodę *sinusoid regresji* J. Boryczki (1998):

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

Uwzględniono  $k$  istotnych statystycznie („najsilniejszych”) cykli według testu Fishera-Snedecora  $F$ . Jeżeli minimum lokalne widma oscylacji temperatury powietrza było poza przedziałem  $\Theta \geq 250$  lat, to uwzględniono dodatkowo najdłuższy okres  $\Theta = 178,9$  lat (cykl astronomiczny).

W rozdziale VII. *Problemy badań współczesnych zmian klimatu Ziemi* szczególne znaczenie mają cykliczne zmiany klimatu Europy i ich przyczyny, tendencje wiekowe, rekonstrukcja i prognoza zmian w XXI wieku oraz ich sprawdzalność (weryfikacja) (podrozdz. 7.1). W kolejnym podrozdziale 7.2. *Postęp badań zmian klimatu Ziemi w ostatnim tysiącleciu (X-XXI)* omówiono zmiany klimatu Ziemi i ich przyczyny określone według promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ$ , izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon, substancji organicznych w polskich jeziorach, danych dendrologicznych, meteorologicznych, astronomicznych i historycznych (Atlas, t. XXXVI). Na początku przedstawiono zmiany klimatu Ziemi według cykli parametrów orbity eliptycznej (rekonstrukcję od 1 miliona lat temu i prognozę na przyszły 1 milion lat) według wyznaczonych dobowych sum promieniowania słonecznego  $I$  ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ) w lecie (VI-VIII) i w miesiącach marzec-wrzesień (III-IX) na górnej granicy atmosfery, wzdłuż równoleżnika  $\varphi = 65^\circ \text{N}$ .

Koincydencja dat ochłodzeń i ocieplenia klimatu w Holocenie i ekstremów izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon oraz składu chemicznego osadów w Jez. Wikaryjskim i Jez. Gościąż świadczy, że przyczyną holocenijskiego ocieplenia klimatu był wzrost sum promieniowania słonecznego w miesiącach marzec-wrzesień, wywołany zmianami orbity Ziemi.

Należy zauważyć też "równoległość" przebiegów wiekowych (od -12 000 lat temu): substancji organicznych (%), węglanów wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ) i tlenków żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż, z sumami promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ$  w okresie marzec-wrzesień.

Istotne znaczenie mają też wyniki badań przedstawione w podrozdziałach: 7.3. *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych* i 7.4. *Postęp badań naturalnych zmian klimatu Europy w pierwszej dekadzie XXI wieku w odniesieniu do drugiej połowy XX wieku*.

Na uwagę zasługują również rozdziały: VIII. *Promocja metody sinusoid regresji J. Boryczki w publikacjach Katedry Inżynierii Leśnej Akademii Rolniczej w Poznaniu* i IX. *Wykaz prac magisterskich Zakładu Klimatologii UW dotyczących cykliczności i tendencji zmian klimatu w Europie (1984-2015)*.

W rozdz. X. *Zakończenie* porównano dodatkowo na wykresach ( $T$   $^\circ\text{C}$ ,  $t$  – czas) daty 10 najzimniejszych i najcieplejszych zim (XII-II) i roku (I-XII) z wymienionych wyżej 10 miast w Europie. Ponadto minima rocznych przyrostów niektórych drzew porównano z mroźnymi zimami według kronik historycznych.

## SPIS TREŚCI (XL)

I.	WPROWADZENIE	5
II.	ANOMALIE TEMPERATURY POWIETRZA W POLSCE W XVIII-XXI WIEKU	9
2.1.	Ekstrema temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2017	11
2.2.	Ekstrema temperatury powietrza w Krakowie w latach 1826-2017	29
2.3.	Ekstrema temperatury powietrza we Wrocławiu w latach 1792-2017	47
III.	ANOMALIE TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE W MIASTACH W PROFILU POŁUDNIKOWYM (XVIII-XXI)	65
3.1.	Ekstrema temperatury powietrza w Paryżu w latach 1757-2011	67
3.2.	Ekstrema temperatury powietrza w Berlinie w latach 1769-2017	85
3.3.	Ekstrema temperatury powietrza w Moskwie w latach 1780-2017	103
IV.	ANOMALIE TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE W MIASTACH W PROFILU RÓWNOLEŻNIKOWYM (XVIII-XXI)	121
4.1.	Ekstrema temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1756-2012	123
4.2.	Ekstrema temperatury powietrza w Tallinie w latach 1779-2017	141

43.	Ekstrema temperatury powietrza w Wiedniu w latach 1775-2012	159
4.4.	Ekstrema temperatury powietrza w Rzymie w latach 1811-2012	177
V..	ANOMALIE KLIMATU EUROPY W OSTATNIM TYSIĄCLECIU X-XX WEDŁUG DANYCH DENDROLOGICZNYCH	195
5.1.	Zarys badań dendroklimatycznych	195
5.2.	Mroźne zimy w Polsce w X-XVI wieku według źródeł historycznych	196
5.3.	Ekstrema szerokości słoju drzew rosnących w Europie (VII-XX)	199
5.4.	Ekstrema szerokości słoju dębów rosnących w Polsce (X-XX)	231
VI.	REKONSTRUKCJA I NOWE PROGNOZY TEMPERATURY POWIETRZA W POLSCE W TYSIĄCLECIU 1500-2500	247
6.1.	Rekonstrukcja i prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie w ty- siącleciu 1500-2500 według pomiarów z lat 1779-2015	249
6.2.	Rekonstrukcja i prognozy zmian temperatury powietrza w Krakowie w tysiącle- ciu 1500-2500 według pomiarów z lat 1826-2017	317
6.3.	Rekonstrukcja i prognozy zmian temperatury powietrza we Wrocławiu w tysiącleciu 1500-2500 według pomiarów z lat 1792-2017	369
VII.	PROBLEMY BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU ZIEMI	421
7.1.	Zmiany wiekowe klimatu Europy z uwzględnieniem prognoz w XXI wieku i ich weryfikacja	424
7.2.	Postęp badań zmian klimatu Ziemi w ostatnim tysiącleciu (X-XXI)	433
7.3.	Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendro- logicznych	451
7.4.	Postęp badań naturalnych zmian klimatu Europy w pierwszej dekadzie XXI wie- ku w odniesieniu do drugiej połowy XX wieku	461
VIII.	PROMOCJA METODY SINUSOID REGRESJI J. BORYCZKI W PUBLIKACJACH KATEDRY INŻYNIERII LEŚNEJ AKADEMII ROLNICZEJ W POZNANIU	475
IX.	ZAKOŃCZENIE	479
X.	WYKAZ PRAC MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UW DOTYCZĄCYCH CYKLICZNOŚCI I TENDENCJI ZMIAN KLIMATU W EUROPIE (1984-2015)	505
XI.	LITERATURA	507

## **XLI. Anomalie temperatury powietrza w Europie w ostatnich stu latach (XVIII-XXI)**

**Tom XLI.** Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2020, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Anomalie temperatury powietrza w Europie w ostatnich stuleciach (XVIII-XXI)** (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. WGSR UW, Warszawa, ss. 606.

Prezentowany 41 tom *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* t. XLI. *Anomalie temperatury powietrza w Europie w ostatnich stuleciach (XVIII-XXI)* dotyczy głównie ekstremów wiekowych temperatury powietrza w 30 miastach Europy.

W rozdz. II. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Ziemi* przedstawiono ważniejsze wyniki dotychczasowych badań wahań promieniowania słonecznego na równoleżniku 65° N (od -1 mln lat), spowodowane zmianami eliptycznej orbity Ziemi. Omówiono ochłodzenia i ocieplenia według zawartości izotopu tlenu ( $\delta^{18}\text{O}$  ‰) w rdzeniu lodowym z wyspy Devon (Arktyka Kanadyjska). Ponadto scharakteryzowano ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w holocenie według substancji organicznych (%) w Jez. Wikaryjskim oraz według substancji organicznych (%), węglanów wapnia

(CaCO<sub>3</sub>) i tlenków żelaza (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąg (Atlas, t. XXXVI).

Omówiono też metody badań anomalii temperatury powietrza w Europie – rozkłady prawdopodobieństwa (histogram, dystrybuanta).

Za wyjątkowe pod względem termicznym uznano te miesiące, pory roku i lata, w których średnia temperatura ( $T$ ) różni się od średniej wieloletniej ( $T_{sr}$ ) co najmniej o 2 odchylenia standardowe ( $\sigma$ ):  $T_{inf} \leq T_{sr} - 2\sigma$ ,  $T_{sup} \geq T_{sr} + 2\sigma$ .

Na rysunkach przedstawiono ekstremalne wartości średniej temperatury powietrza w tych miastach, zaznaczając liniami prostymi  $T_{sr}$  i progi dolny  $T_{sr} - 2\sigma$  i górny  $T_{sr} + 2\sigma$ , minima  $T_{inf}$  i maksima  $T_{sup}$  oraz lata w których wystąpiły. O największych ochłodzeniach i ociepleniach klimatu informują daty ekstremów – minimów  $t_{inf}$ ,  $T_{inf}$  i maksimum  $t_{sup}$ ,  $T_{sup}$ , np.  $T_{inf} \leq T_{sr} - 2\sigma$  – bardzo zimna zima i  $T_{sup} \geq T_{sr} + 2\sigma$  – bardzo ciepła zima.

W rozdziałach III, IV, V, VI, VII zbadano anomalie temperatury powietrza na obszarze Europy w ostatnich stuleciach (XVIII-XXI). Wzięto pod uwagę wyniki pomiarów temperatury powietrza z 30 miast (stacji meteorologicznych) – średnie miesięczne wartości temperatury w miesiącach I, II, ..., XII, pory roku (wiosna, lato, jesień, zima) i rok.

Obszar Europy na którym są położone te miasta podzielono na 5 części (stref) wzdłuż równoleżników:

- Anomalie temperatury powietrza w Europie w strefie I ( $\varphi \geq 60^\circ$  N)  
(rozdz. III – 2 miasta)  
Akureyri (1882-018), Trondheim (1761-2018)
- Anomalie temperatury powietrza w Europie w strefie II ( $55^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$  N)  
(rozdz. IV – 5 miast)  
Oslo (1816-2018), Sztokholm (1756-2018), Tallinn (1779-2018), Kopenhaga (1768-2018), Moskwa (1779-2018)
- Anomalie temperatury powietrza w Europie w strefie III ( $50^\circ \leq \varphi \leq 55^\circ$  N)  
(rozdz. V – 9 miast)  
Anglia (Londyn) (1660-2018), Greenwich (1763-2015), Berlin (1769-2018), Warszawa (1779-2018), Praga (1771-2018), Wilno (1778-2018), Wrocław (1792-2018), Kraków (1827-2018), Kijów (1812-2018)
- Anomalie temperatury powietrza w Europie w strefie IV ( $45^\circ \leq \varphi \leq 50^\circ$  N)  
(rozdz. VI – 9 miast)  
Paryż (1757-2018), Wiedeń (1761-2018), Innsbruck (1777-2018), Lwów (1882-2018), Bazylea (1755-2018), Zurych (1864-2018), Budapeszt (1780-2018), Genewa (1768-2018), Odessa (1821-2018)
- Anomalie temperatury powietrza w Europie w strefie V ( $35^\circ \leq \varphi \leq 45^\circ$  N)  
(rozdz. VII – 5 miast)  
Marsylia (1838-2018), Rzym (1798-2018), Madryt (1880-2018), Tbilisi (1881-2018), Ateny 1858-2018

Na przykład, średnie arytmetyczne ( $T_{sr}$ ), odchylenia standardowe ( $\sigma$ ) oraz progi dolny  $T_{sr} - 2\sigma$  i górny  $T_{sr} + 2\sigma$  temperatury powietrza w Sztokholmie w zimie, lecie i roku w latach 1756-2018 wynoszą

	$T_{sr}$ °C	$\sigma$	$T_{sr} - 2\sigma$	$T_{sr} + 2\sigma$
XII-II	-2,645	2,257950	-7,16043	1,871371
VI-VIII	16,104	1,268609	13,56709	18,64153
I-XII	6,107	1,127723	3,85114	8,362036

O największych ochłodzeniach i ociepleniach klimatu informują daty ekstremów – minimum  $t_{inf}$ ,  $T_{inf}$  i maksimum  $t_{sup}$ ,  $T_{sup}$ .

Najchłodniejsze ( $t_{inf}$ ,  $T_{inf}$ ) i najcieplejsze ( $t_{sup}$ ,  $T_{sup}$ ) zimy, lata i rok w Sztokholmie (1756-2018) przedstawiono niżej:

Zima				Lato				Rok			
$t_{inf}$	$T_{inf}$	$t_{sup}$	$T_{sup}$	$t_{inf}$	$T_{inf}$	$t_{sup}$	$T_{sup}$	$t_{inf}$	$T_{inf}$	$t_{sup}$	$T_{sup}$
1809	-8,67	1973	1,83	1902	13,10	2006	19,00	1867	3,23	1975	8,36
1814	-8,23	2008	2,27	1928	13,23	1997	19,03	1829	3,50	2006	8,43
1871	-8,17			1832	13,43	1826	19,03	1871	3,69	2011	8,45
1942	-7,83			1862	13,53	1789	19,20			2000	8,48
1789	-7,70			1907	13,53	1819	19,20			2008	8,52
1893	-7,40					2002	19,33			2014	8,79
1805	-7,27					2018	19,63			2016	8,40
1767	-7,23									2018	8,81

W rozdziale. VIII. Profile równoleżnikowe i południkowe temperatury powietrza na obszarze Europy w latach 1900-2018 przestrzenne rozkłady średniej temperatury powietrza  $T_{sr}$ , odchylenia standardowego  $\sigma$ , progę dolnego  $T_{sr}-2\sigma$  i progę górnego  $T_{sr}+2\sigma$  temperatury powietrza w Europie w porach roku (wiosna, lato, jesień, zima) i roku w tym samym przedziale czasu – w latach 1900-2018 opisano wielomianami regresji 3- stopnia względem szerokości geograficznej ( $\phi$ ) – profil równoleżnikowy i długości geograficznej ( $\lambda$ ) – profil południkowy.

W przypadku średniej temperatury powietrza w zimie wielomiany te mają postać

$$T_{sr} = 0,000381\phi^3 - 0,032840 \phi^2 - 0,135738 \phi + 41,211835, \quad R^2 = 0,612026 \quad (1)$$

$$T_{sr} = 0,000332 \lambda^3 - 0,015027 \lambda^2 - 0,086485 \lambda + 4,314640, \quad R^2 = 0,320419 \quad (2)$$

gdzie  $R^2$  – jest wariancją resztkową ( $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej).

W rozdziale IX. *Zakończenie* omówiono niektóre ważniejsze wyniki badań, a na końcu X. *Literatura* podano niektóre daty bardzo zimnych i ciepłych zim, według kronik historycznych.

W *Załączniku* zamieszczono spisy treści i okładki publikacji książkowych: *Zmiany klimatu Ziemi*, 2019 (wydanie trzecie uaktualnione); *Atlas* t. XXXVI, 20017; *Atlas* t. XL, 2018; *VIII Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS*, 2004.

## SPIS TREŚCI (XLI)

I.	WPROWADZENIE	7
II.	OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU ZIEMI	9
2.1.	Zmiany klimatu w ciągu ostatnich tysięcy lat	9
2.1.1.	Wahania promieniowania słonecznego na równoleżniku 65°N (od -1 mln lat) spowodowane zmianami eliptycznej orbity Ziemi	9
2.1.	Ochłodzenia i ocieplenia według zawartości izotopu tlenu ( $\delta^{18}O$ ‰) w rdzeniu lodowym z wyspy Devon (Arktyka Kanadyjska)	10
2.1.3.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w holocenie według substancji organicznych (%) w Jez. Wikaryjskim	11
2.1.4.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w holocenie według substancji organicznych (%), węglanów wapnia ( $CaCO_3$ ) i tlenków żelaza ( $Fe_2O_3$ ) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąg	13
2.1.5.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu X-XX według stojów drzew	17
2.2.	Anomalie temperatury powietrza w Europie – metody badań	18
2.2.1.	Rozkład prawdopodobieństwa – histogram, dystrybuanta	18



2.2.2.	Profile równoleżnikowe i południkowe temperatury powietrza w latach 1900-2018 – wielomiany regresji względem $\phi$ i $\lambda$	24
III.	ANOMALIE TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE W STREFIE I ( $\phi \geq 60^\circ \text{N}$ )	25
3.1.	Ochłodzenia i ocieplenia w Akureyri w latach 1882-2018 ( $\phi=65^\circ 41' \text{N}$ , $\lambda=18^\circ 5' \text{W}$ , $H=27$ )	25
3.2.	Ochłodzenia i ocieplenia w Trondheim w latach 1761-2018 ( $\phi=63^\circ 24' \text{N}$ , $\lambda=10^\circ 30' \text{E}$ , $H=133$ )	43
IV.	ANOMALIE TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE W STREFIE II ( $55^\circ \leq \phi \leq 60^\circ \text{N}$ )	61
4.1.	Ochłodzenia i ocieplenia w Oslo w latach 1816-2018 ( $\phi=59^\circ 57' \text{N}$ , $\lambda=10^\circ 43' \text{E}$ , $H=96$ )	61
4.2.	Ochłodzenia i ocieplenia w Sztokholmie w latach 1756-2018 ( $\phi=59^\circ 34' \text{N}$ , $\lambda=18^\circ 06' \text{E}$ , $H=44$ )	79
4.3.	Ochłodzenia i ocieplenia w Tallinnie w latach 1779-2018 ( $\phi=59^\circ 23' \text{N}$ , $\lambda=24^\circ 35' \text{E}$ , $H=34$ )	97
4.4.	Ochłodzenia i ocieplenia w Kopenhadze w latach 1768-2018 ( $\phi=55^\circ 37' \text{N}$ , $\lambda=12^\circ 39' \text{E}$ , $H=5$ )	115
4.5.	Ochłodzenia i ocieplenia w Moskwie w latach 1779-2018, ( $\phi=55^\circ 50' \text{N}$ , $\lambda=37^\circ 37' \text{E}$ , $H=156$ )	133
V.	ANOMALIE TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE W STREFIE III ( $50^\circ \leq \phi \leq 55^\circ \text{N}$ )	151
5.1.	Ochłodzenia i ocieplenia w Anglii (Londynie) w latach 1660-2018	151
5.2.	Ochłodzenia i ocieplenia w Greenwich w latach 1763-2015 ( $\phi=51^\circ 30' \text{N}$ , $\lambda=0^\circ 00'$ )	169
5.3.	Ochłodzenia i ocieplenia w Berlinie w latach 1769-2018 ( $\phi=52^\circ 28' \text{N}$ , $\lambda=21^\circ 02' \text{E}$ , $H=58$ )	187
5.4.	Ochłodzenia i ocieplenia w Warszawie w latach 1779-2018 ( $\phi=52^\circ 13' \text{N}$ , $\lambda=21^\circ 02' \text{E}$ , $H=110$ )	205
5.5.	Ochłodzenia i ocieplenia w Wilnie w latach 1778-2018 ( $\phi=54,63 \text{N}$ , $\lambda=25,10 \text{E}$ )	223
5.6.	Ochłodzenia i ocieplenia w Pradze w latach 1771-2018 ( $\phi=51^\circ 08' \text{N}$ , $\lambda=14^\circ 15' \text{E}$ , $H=365$ )	241
5.7.	Ochłodzenia i ocieplenia we Wrocławiu w latach 1792-2018 ( $\phi=51^\circ 08' \text{N}$ , $\lambda=16^\circ 59' \text{E}$ , $H=116$ )	259
5.8.	Ochłodzenia i ocieplenia w Krakowie w latach 1827-2018 ( $\phi=50^\circ 04' \text{N}$ , $\lambda=19^\circ 57' \text{E}$ , $H=221$ )	277
5.9.	Ochłodzenia i ocieplenia w Kijowie w latach 1812-2018 ( $\phi=50^\circ 24' \text{N}$ , $\lambda=30^\circ 34' \text{E}$ , $H=167$ )	295
VI.	ANOMALIE TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE W STREFIE IV ( $45^\circ \leq \phi \leq 50^\circ \text{N}$ )	313
6.1.	Ochłodzenia i ocieplenia w Paryżu w latach 1757-2018 ( $\phi=48^\circ 58' \text{N}$ , $\lambda=2^\circ 27' \text{E}$ , $H=65$ )	313
6.2.	Ochłodzenia i ocieplenia w Wiedniu w latach 1761-2018 ( $\phi=48^\circ 15' \text{N}$ , $\lambda=16^\circ 22' \text{E}$ , $H=200$ )	331
6.3.	Ochłodzenia i ocieplenia w Innsbrucku w latach 1777-2018 ( $\phi=48^\circ 24' \text{N}$ , $\lambda=17^\circ 09' \text{E}$ , $H=207$ )	349
6.4.	Ochłodzenia i ocieplenia we Lwowie w latach 1882-2018 ( $\phi=49^\circ 49' \text{N}$ , $\lambda=23^\circ 57' \text{E}$ , $H=323$ )	367
6.5.	Ochłodzenia i ocieplenia w Bazylei w latach 1755-2018 ( $\phi=47,60^\circ$ , $\lambda=7,60^\circ \text{W}$ )	385
6.6.	Ochłodzenia i ocieplenia w Zurychu w latach 1864-2018 ( $\phi=47^\circ 23' \text{N}$ , $\lambda=8^\circ 34' \text{E}$ , $H=569$ )	403
6.7.	Ochłodzenia i ocieplenia w Budapeszcie w latach 1780-2018 ( $\phi=47^\circ 31' \text{N}$ , $\lambda=19^\circ 02' \text{E}$ , $H=129$ )	421
6.8.	Ochłodzenia i ocieplenia w Genewie w latach 1768-2018 ( $\phi=46^\circ 15' \text{N}$ , $\lambda=6^\circ 08' \text{E}$ , $H=416$ )	439
6.9.	Ochłodzenia i ocieplenia w Odessie w latach 1821-2018 ( $\phi=46^\circ 26' \text{N}$ , $\lambda=30^\circ 46' \text{E}$ , $H=42$ )	457
VII.	ANOMALIE TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE W STREFIE V ( $35^\circ \leq \phi \leq 45^\circ \text{N}$ )	475
7.1.	Ochłodzenia i ocieplenia w Marsylii w latach 1838-2018 ( $\phi=43^\circ 27' \text{N}$ , $\lambda=5^\circ 14' \text{E}$ , $H=36$ )	475
7.2.	Ochłodzenia i ocieplenia w Rzymie w latach 1798-2018 ( $\phi=40,378^\circ \text{N}$ , $\lambda=12^\circ 36' \text{E}$ , $H=46$ )	493
7.3.	Ochłodzenia i ocieplenia w Madrycie w latach 1880-2018 ( $\phi=40,378^\circ \text{N}$ , $\lambda=3,789^\circ \text{W}$ )	511
7.4.	Ochłodzenia i ocieplenia w Tbilisi w latach 1881-2018 ( $\phi=41,68 \text{N}$ , $\lambda=44,95 \text{E}$ )	529
7.5.	Ochłodzenia i ocieplenia w Atenach w latach 1858-2018 ( $\phi=37^\circ 58' \text{N}$ , $\lambda=23^\circ 43' \text{E}$ , $H=107$ )	547
VIII.	PROFILE RÓWNOLEŻNIKOWE I POŁUDNIKOWE TEMPERATURY POWIETRZA NA OBSZARZE EUROPY W LATACH 1900-2018	565
8.1.	Profil równoleżnikowy temperatury powietrza na obszarze Europy w latach 1900-2018	565
8.2.	Profil południkowy temperatury powietrza na obszarze Europy w latach 1900-2018	575
IX.	ZAKOŃCZENIE	585
X.	LITERATURA	587
	ZAŁĄCZNIK	591

## XLII. Anomalie temperatury powietrza w Europie w tysiącleciu 1500-2500

Tom XLII. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2020, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Anomalie temperatury powietrza w Europie w tysiącleciu 1500-2500** (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. WGSR UW, Warszawa, ss. 406

*Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce t. XLII. Anomalie temperatury powietrza w Europie w tysiącleciu 1500-2500* dotyczy ekstremów wiekowych temperatury powietrza w 30 miastach Europy w okresach obserwacji oraz w 4 miastach (Warszawa, Paryż, Genewa, Sztokholm) w latach 1500-2500 (wartości rekonstruowanych i prognozowanych).

W rozdz. II. *Zmiany klimatu Ziemi od -500 000 bp do 100 000 ad* przedstawiono ważniejsze wyniki dotychczasowych badań wahań promieniowania słonecznego na równoleżniku  $65^{\circ}$  N (od -500 tys. lat) spowodowane zmianami eliptycznej orbity Ziemi. W obliczeniach sum promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\phi = 65^{\circ}$  N posłużono się teorią M. Milankoviča (1930). W obliczeniach sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień (III-IX) przyjęto zakres zmian i długości cykli:

- 100 000 lat – mimośrodu orbity Ziemi w przedziale  $0 \leq e \leq 0,066$  (wydłużając cykl 92 000 lat M. Milankoviča 1930),
- 40 000 lat – nachylenia osi Ziemi do płaszczyzny ekliptyki  $21^{\circ}58' \leq \epsilon \leq 24^{\circ}36'$
- 21 000 lat – długości ekliptycznej peryhelium względem punktu równonocy wiosennej ( $\Omega$ ).

Omówiono ochłodzenia i ocieplenia według zawartości izotopu tlenu ( $\delta^{18}\text{O}^{\circ}/\text{‰}$ ) w rdzeniu lodowym z wyspy Devon (Arktyka Kanadyjska).

Ostatnie głębokie minimum ( $t_{\min} = -22000$  lat temu) sum promieniowania słonecznego (w miesiącach marzec-wrzesień) spowodowało ostatnie zlodowacenie Ziemi. Natomiast ostatnie lokalne „rozległe” maksimum sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień określa holocenijskie ocieplenie klimatu, ponieważ przypada na datę -11 000 lat BP. Na ogół zmiany i zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym (wyspa Devon) i promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\phi = 65^{\circ}$  N są synchroniczne, głównie w przedziale czasu  $t$  od -120 000 BP.

Ponadto scharakteryzowano ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w holoceenie według zawartości substancji organicznych (%) w osadach Jez. Wikaryjskiego oraz substancji, organicznych (%), węglanów wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ) i tlenków żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) zdeponowanych w Jez. Gościąż. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu – to minima i maksima lokalne przebiegów czasowych  $y_i$  koncentracji substancji organicznych (%) w osadach jeziora Wikaryjskiego. Holocenijskie ochłodzenia i ocieplenia klimatu w Polsce są znane przede wszystkim na podstawie badań substancji organicznych, zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż (Boryczka, Wicik, 1994). W laminowanych osadach jeziora Gościąż (w pobliżu Płocka) można było określić czas kalendarzowy (zliczając roczne przyrosty rdzenia osadów).

W widmie substancji organicznych zdeponowanych w Jez. Gościąż w ciągu ostatnich 12542 lat (wyznaczonym z odstępem czasu  $\Delta\Theta = 10$  lat) jest obecnych 10 istotnych okresów na poziomie 0,01.

W rozdz. III. *Zakres zmian temperatury powietrza w Europie ( $T_{sr}-2\sigma$   $T_{sr}+2\sigma$ ) w ostatnich stuleciach i latach 1900-2018* omówiono metody badań anomalii temperatury powietrza w Europie, Rozkłady prawdopodobieństwa (histogram, dystrybuanta) oraz profile równoleżnikowe i południkowe temperatury powietrza na obszarze Europy w latach 1900-2018. Za wyjątkowe pod względem termicznym uznano te miesiące, pory roku, lata, w których średnia temperatura ( $T$ ) różni się od średniej wieloletniej ( $T_{sr}$ ) co najmniej o 2 odchylenia standardowe ( $\sigma$ ). O największych ochłodzeniach i ociepleniach klimatu informują daty ekstremów – minimów  $t_{inf}$ ,  $T_{inf}$  i maksimów  $t_{sup}$ ,  $T_{sup}$ , np.:  $T_{inf} \leq T_{sr}-2\sigma$  – bardzo zimna zima i  $T_{sup} \geq T_{sr} + 2\sigma$  – bardzo ciepła zima..

Przedstawiono średnie wartości temperatury powietrza, ( $T_{sr}$ ), odchylenia standardowe ( $\sigma$ ) oraz progi dolny  $T_{sr}-2\sigma$  i górny  $T_{sr}+2\sigma$  w 30 miastach w Europie w ostatnich stuleciach XVI-XXI i w latach 1990-2018.

W rozdziałach IV. *Profile równoleżnikowe temperatury powietrza na obszarze Europy w latach 1900-2018* i V. *Profile południkowe temperatury powietrza na obszarze Europy w latach 1900-2018* pola średniej temperatury powietrza  $T_{sr}$ , odchylenia standardowego  $\sigma$ , progu dolnego  $T_{sr}-2\sigma$  i progu górnego  $T_{sr}+2\sigma$  temperatury powietrza w Europie w miesiącach I, II, ... XII i porach roku (wiosna, lato, jesień, zima) oraz roku w takim samym przedziale czasu – w latach 1900-2018 opisano wielomianami regresji 3-stopnia względem szerokości geograficznej ( $\phi$ ) – profil równoleżnikowy i długości geograficznej ( $\lambda$ ) – profil południkowy.

W przypadku średniej temperatury powietrza w zimie wielomiany te mają postać

$$T_{sr} = 0,000381 \phi^3 - 0,032840 \phi^2 - 0,135738 \phi + 41,211835 \quad (1)$$

$$T_{sr} = 0,000332 \lambda^3 - 0,015027 \lambda^2 - 0,086485 \lambda + 4,314640 \quad (2)$$

W rozdziałach VI *Anomalie temperatury powietrza w Warszawie w tysiącleciu 1500-2500* ( $\phi=52^{\circ}13'N$ ,  $\lambda=21^{\circ}02'E$ ,  $H=110$  m, 1779-2019) i VII. *Anomalie temperatury powietrza w Paryżu w tysiącleciu 1500-2500* ( $\phi=48^{\circ}58'N$ ,  $\lambda=2^{\circ}27'E$ ,  $H=65$  m, 1757-2019) określono ekstrema temperatury powietrza w miesiącach I, II, ... XII i porach roku (wiosna, lato, jesień, zima) oraz roku: w Warszawie – wartości zmierzonych (1779-2019), rekonstruowanych (1500-1778) i prognozowanych (2020-2500). w Paryżu – wartości zmierzonych (1757-2019), rekonstruowanych (1500-1757) i prognozowanych (1758-2500).

Rekonstrukcje i prognozy zmian temperatury powietrza w tych miastach opracowano, stosując metodę *sinusoid regresji* J. Boryczki (1998). Rekonstrukcji i prognoz temperatury dokonano według interferencji  $k$  najistotniejszych statystycznie („najsilniejszych”) cykli – okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$

$$f(t) = a_0 + \sum_{j=1}^k b_j \sin \left( \frac{2\pi}{\Theta_j} t + c_j \right) \quad (3)$$

W rozdziałach VIII. *Anomalie temperatury powietrza w Genewie w latach 1500-2500* ( $\phi=46^{\circ}15'N$ ,  $\lambda=6^{\circ}08'E$ ,  $H=416$  m, 1768-2019) i IX. *Anomalie temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1500-2500* ( $\phi=59^{\circ}34'N$ ,  $\lambda=18^{\circ}06'E$ ,  $H=44$  m, 1756-2019) rekonstrukcje i prognozy opracowano tylko dla pór roku i roku.

Na przykład, średnie arytmetyczne ( $T_{sr}$ ), odchylenia standardowe ( $\sigma$ ) oraz progi dolny  $T_{sr}-2\sigma$  i górny  $T_{sr}+2\sigma$  temperatury powietrza w Warszawie i Paryżu w zimie, lecie i roku w latach 1500-2500 (rekonstruowanych i prognozowanych wartości) wynoszą

Warszawa	$T_{sr}$ °C	$\sigma$	$T_{sr}-2\sigma$	$T_{sr}+2\sigma$
XII-II	-2,382	1,149141	-4,68074	-0,08417
VI-VIII	17,943	0,627133	16,68876	19,19729
I-XII	7,813	0,442537	6,927884	8,69803

Paryż	$T_{sr}$ °C	$\sigma$	$T_{sr}-2\sigma$	$T_{sr}+2\sigma$
XII-II	3,590	1,029263	1,530888	5,647939
VI-VIII	18,184	0,971446	16,24080	20,12658
I-XII	10,793	0,773501	9,246374	12,34038

W rozdziale X. *Zakończenie* omówiono niektóre ważniejsze wyniki badań, a w XI. *Literatura* zamieszczono niektóre pozycje publikacji.

W Załączniku przedstawiono promocję metody sinusoid regresji w Katedrze Inżynierii Leśnej Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu.

## SPIS TREŚCI (XLII)

	INICJATORZY, WSPÓŁAUTORZY I REDAKTORZY NAUKOWI SERII 42 TOMÓW ATLASU WSPÓŁZALEŻNOŚCI PARAMETRÓW METEOROLOGICZNYCH I GEOGRAFICZNYCH W POLSCE	7
	Maria Stopa-Boryczka	9
	Jerzy Boryczka	27
I.	WPROWADZENIE	47
II.	ZMIANY KLIMATU ZIEMI OD -500 000 BP DO 100 000 AD	49
2.1.	.Wahania promieniowania słonecznego na równoleżniku 65° N według zmian orbity Ziemi	49
2.2.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy według izotopu tlenu ( $\delta^{18}O$ ‰) w rdzeniu lodowym z wyspy Devon (Arktyka Kanadyjska)	50
2.3.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w holocenie według substancji organicznych (%) w Jez. Wikaryjskim	51
2.4.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w holocenie według substancji organicznych (%), węglanów wapnia ( $CaCO_3$ ) zawartych w osadach Jez. Gościąg	62
2.5.	. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu X-XX według stojów drzew	55
III.	ZAKRES ZMIAN TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE ( $T_{sr}-2\sigma$ $T_{sr}+2\sigma$ ) W OSTATNICH STULECIACH I LATACH 1900-2018	57
3.1.	Empiryczny i normalny (Gaussa) rozkład prawdopodobieństwa	57
3.2.	Progi dolny $T_{sr}-2\sigma$ i górny $T_{sr}+2\sigma$ temperatury powietrza w 30 miastach w Europie w ostatnich stuleciach XVI-XXI i w latach 1990-2018	64
IV.	PROFILE RÓWNOLEŻNIKOWE TEMPERATURY POWIETRZA NA OBSZARZE EUROPY W LATACH 1900-2018	109
V.	PROFILE POŁUDNIKOWE TEMPERATURY POWIETRZA NA OBSZARZE EUROPY W LATACH 1900-2018	143
VI.	ANOMALIE TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE W TYSIĄCLECIU 1500-2500 ( $\varphi=52^{\circ}13'N$ , $\lambda=21^{\circ}02'E$ , $H=110$ )	177
6.1.	Anomalie temperatury powietrza w Warszawie – według pomiarów (1779-2019), rekonstrukcji (1500-1778) i prognoz (2020-2500)	177
VII.	ANOMALIE TEMPERATURY POWIETRZA W PARYŻU W TYSIĄCLECIU 1500-2500 ( $\varphi=52^{\circ}13'N$ , $\lambda=21^{\circ}02'E$ , $H=110$ )	257
7.1.	Anomalie temperatury powietrza w Paryżu – według pomiarów (1757-2019), rekonstrukcji (1500-1757) i prognoz (1758-2500)	257
VIII.	ANOMALIE TEMPERATURY POWIETRZA W GENEWIE W TYSIĄCLECIU 1500-2500 ( $\varphi=46^{\circ}15'N$ , $\lambda=6^{\circ}08'E$ , $H=416$ m)	329
8.1.	Ochłodzenia i ocieplenia w Genewie w latach 1768-2019	329

8.2.	Anomalie temperatury powietrza w Genewie – rekonstrukcje w latach 1500-1767 i prognozy w 2020-2500	347
IX	ANOMALIE TEMPERATURY POWIETRZA W SZTOKHOLMIE W LATACH 1500-2500 ( $\varphi=59^{\circ}34'N$ , $\lambda=18^{\circ}06'E$ , $H=44$ M)	363
9,1	Ochłodzenia i ocieplenia w Sztokholmie w latach 1756-2019	363
9.2	Anomalie temperatury powietrza w Sztokholmie – rekonstrukcje w latach 1500-1778 i prognozy w 2020-2500	381
X	ZAKOŃCZENIE	397
XI	LITERATURA	399
	ZAŁĄCZNIK. PROMOCJA METODY S INUSOID REGRESJI W KATEDRZE INŻYNIERII LEŚNEJ AKADEMII ROLNICZEJ IM. AUGUSTA CIESZKOWSKIEGO W POZNANIU	.403

### XLIII. Anomalie klimatu Ziemi w ostatnich tysiącletniach (- 110 00 BP – 2020 AD)

**Tom XLIII.** [Stopa-Boryczka M.](#), Boryczka J., 2021, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce pt. **Anomalie klimatu Ziemi w ostatnich tysiącletniach (-110 00 BP- 2020 AD)** (red. J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. WGRS UW, Warszawa, ss. 312

*Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce t. XLIII. Anomalie klimatu Ziemi w ostatnich tysiącletniach (-110 00 BP- 2020 AD)* dotyczy ochłodzeń i ociepleń klimatu Ziemi.

W rozdz. II. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Ziemi (od -1 mln BP do 1 mln AD) według promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^{\circ} N$ , spowodowane zmianami orbity* przedstawiono: ważniejsze zdarzenia na Ziemi – sprzed 3 miliardów lat, ochłodzenia i ocieplenia klimatu Ziemi (od -1 mln temu) według teorii M. Milankoviča oraz rekonstrukcję (od -1 mln lat temu) i prognozę (do 1 mln lat AD) zmian klimatu Ziemi według sum promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^{\circ} N$  w miesiącach III-IX.

W obliczeniach sum promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^{\circ} N$  w okresie marzec-wrzesień (III-IX) posłużono się teorią M. Milankoviča (1930). Przyjęto zakres zmian i długości cykli

- 100 000 lat – mimośrod orbitalny Ziemi w przedziale  $0 \leq e \leq 0,066$  (wydłużając cykl 92 000 lat M. Milankoviča 1930),
- 40 000 lat – nachylenia osi Ziemi do płaszczyzny ekliptyki  $21^{\circ}58' \leq \epsilon \leq 24^{\circ}36'$
- 21 000 lat – długości ekliptycznej peryhelium względem punktu równonocy wiosennej ( $\Omega$ ).

W rozdz. III. *Zależność cyklu rocznego temperatury powietrza w Warszawie od aktywności Słońca obserwowanej z Ziemi* omówiono zależność przebiegu rocznego temperatury powietrza od liczby plam na obracającym się Słońcu (Warszawa 1951-2010).

W rozdz. IV. *Zmiany klimatu Ziemi według izotopu tlenu  $\delta^{18}O$  w rdzeniach lodowych Wyspy Devon i Crenlandii oraz osadów w Jez. Wikaryjskim i Jez. Gościąg* – na początku w 4.1. omówiono ochłodzenia i ocieplenia klimatu Ziemi (od -110 980 BP) według zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}O$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon

(Arktyka Kanadyjska). Ostatnie głębokie minimum ( $t_{\min} = -22$  000 lat temu) sum promieniowania słonecznego (w miesiącach marzec-wrzesień) spowodowało ostatnie zlodowacenie Ziemi. Na ogół zmiany zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym (wyspa Devon) i promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\phi = 65^\circ \text{N}$  są synchroniczne. Dodatkowych informacji o ochłodzeniach i ociepleniach klimatu Ziemi dostarczyły zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniach lodowych Grenlandii Środkowej.

Interesujące są ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy (od -10 360 BP) według zawartości substancji organicznych (%) w osadach Jez. Wikaryjskiego (Boryczka, Wicik, 1983). W pobranym rdzeniu osadów Jez. Wikaryjskiego (w okolicach Płocka) o wysokości 3,5 m znaleziono warstewkę torfów, których wiek określony metodą  $^{14}\text{C}$  wynosi  $10\ 360 \pm 200$  lat.

Dużą wartość poznawczą w badaniach ochłodzeń i ociepleń klimatu Europy (od -12 750 BP) ma zawartości substancji organicznych (%), węglanów wapnia  $\text{-CaCO}_3$  i tlenku żelaza  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  w osadach Jez. Gościąż (k/Płocka). Zliczając roczne przyrosty osadów laminowanych w Jez. Gościąż określono czas z dokładnością do jednego roku. W rdzeniu osadów tego jeziora, o długości 16 m zliczono 12300 warstewek rocznych sedymentacji, sięgając więc 12 300 lat wstecz..

W rozdz. V. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Ziemi w ostatnim tysiącleciu X-XX według słoju drzew przedstawiono ekstrema szerokości słoju drzew rosnących w Europie i dębów rosnących w Polsce.*

Skala czasu bezwzględnego do paru tysięcy lat wstecz ustalana jest również na podstawie rocznych przyrostów (słoju) niektórych gatunków drzew.. Długowieczne sosny (np. w Kalifornii) umożliwiają określenie czasu do kilku tysięcy lat wstecz. Czas ten jest niekiedy wydłużony, gdy zliczane są pierścienie dawno ściętych drzew.

Wzięto pod uwagę średnie wartości temperatury powietrza ( $T_{\text{sr}}$ ), odchylenia standardowe ( $\sigma$ ) oraz progi dolny  $T_{\text{sr}} - 2\sigma$  i górny  $T_{\text{sr}} + 2\sigma$  w 30 miastach w Europie w ostatnich stuleciach XVI-XXI i w latach 1990-2018.

O największych ochłodzeniach i ociepleniach klimatu informują daty ekstremów – minimów  $t_{\text{inf}}$ ,  $T_{\text{inf}}$  i maksimów  $t_{\text{sup}}$ ,  $T_{\text{sup}}$ , np.:  $T_{\text{inf}} \leq T_{\text{sr}} - 2\sigma$  i  $T_{\text{sup}} \geq T_{\text{sr}} + 2\sigma$ .

W rozdziałach VI, VII, VIII pola średniej temperatury powietrza  $T_{\text{sr}}$ , odchylenia standardowego  $\sigma$ , progu dolnego  $T_{\text{sr}} - 2\sigma$  i progu górnego  $T_{\text{sr}} + 2\sigma$  temperatury powietrza w Europie w miesiącach I, II... XII i porach roku (wiosna, lato, jesień, zima) oraz roku w takim samym przedziale czasu – w latach 1900-2018 opisano wielomianami regresji 3-stopnia względem szerokości geograficznej ( $\phi$ ) – profil równoleżnikowy, długości geograficznej ( $\lambda$ ) – profil południkowy i wysokości nad poziomem morza (H) – profil hipsometryczny.

VI. *Profile równoleżnikowe temperatury powietrza na obszarze Europy w latach 1900-2018*

VII. *Profile południkowe temperatury powietrza na obszarze Europy w latach 1900-2018*

VIII. *Profile hipsometryczne temperatury powietrza na obszarze Europy w latach 1900-2018*

W przypadku średniej rocznej temperatury powietrza wielomiany te mają postać

$$T_{sr} = -0,00060\phi^3 + 0,10894\phi^2 - 6,83229\phi + 153,53660, \quad R^2 = 0,86236 \quad (1)$$

$$T_{sr} = 0,00029\lambda^3 - 0,01334\lambda^2 + 0,03445\lambda + 11,06941, \quad R^2 = 0,18476 \quad (2)$$

$$T_{sr} = 2 \cdot 10^{-8} H^3 + 0,000010 H^2 - 0,007281 H + 9,697521, \quad R^2 = 0,09225 \quad (3)$$

W rozdz. IX. Profile trendu temperatury powietrza (oc/100 lat) w Europie w latach 1900-2018 (równoleżnikowe, południkowe, hipsometryczne) przedstawiono profile współczynników prostych regresji (a)

$$y = ax + b \quad (4)$$

Uzupełnieniem są profile najniższej i najwyższej temperatury powietrza w Europie w latach 2019-2020 w kolejnych rozdziałach:

X. Profile najniższej temperatury powietrza w Europie w latach 1900-2018 (równoleżnikowe, południkowe, hipsometryczne)

XI. Profile najwyższej temperatury powietrza w Europie w latach 1900-2018 (równoleżnikowe, południkowe, hipsometryczne)

W rozdz. XII. Anomalie temperatury powietrza w Europie w latach 2019-2020 (Paryż, Moskwa, Sztokholm, Madryt)

zamieszczono wykresy profili równoleżnikowych, południkowych i hipsometrycznych temperatury powietrza w Europie w latach 2019-2020.

### SPIS TREŚCI (XLIII)

I.	WPROWADZENIE	7
II.	OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU ZIEMI (OD -1 MLN BP DO 1 MLN AD) WEDŁUG PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO NA RÓWNOLEŻNIKU $\varphi = 65^\circ \text{N}$ , SPOWODOWANE ZMIANAMI ORBITY	9
2.1.	Ważniejsze zdarzenia na Ziemi – sprzed 3 miliardów lat	9
2.2.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Ziemi (od -1 mln temu) według teorii M. Milankoviča	11
2.3.	Rekonstrukcja (od -1 mln lat temu) i prognoza (do 1 mln lat AD) zmian klimatu Ziemi według promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^\circ \text{N}$	14
2.4.	Zmiany sum promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^\circ \text{N}$ w kolejnych miesiącach marzec, ..., wrzesień	18
III.	ZALEŻNOŚĆ CYKLU ROCZNEGO TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE OD AKTYWNOŚCI SŁOŃCA OBSERWOWANEJ Z ZIEMI)	35
3.1.	Zależność przebiegu rocznego temperatury powietrza od liczby plam na obracającym się Słońcu (Warszawa 1951-2010)	35
IV.	ZMIANY KLIMATU ZIEMI WEDŁUG IZOTOPU TLENU $\delta^{18}\text{O}$ W RDZENIACH LODOWYCH WYSPY DEVON I GRENLANDII ORAZ OSADÓW W JEZ. WIKARYJSKIM I JEZ. GOŚCIAŻ	45
4.1.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Ziemi (od -110 980 BP) według zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym z wyspy Devon	45
4.2.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Ziemi według zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniach lodowy Grenlandii Środkowej	48
4.3.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy (od -10 360 BP) według zawartości substancji organicznych (%) w osadach Jez. Wikaryjskiego	52
4.4.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy (od -12 750 BP) według zawartości substancji organicznych (%) w osadach Jez. Gościąg	54
4.5.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy (od -12 750 BP) według zawartości węglanów wapnia $-\text{CaCO}_3$ w osadach Jez. Gościąg	55
4.6.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy (od -12 750 BP) według zawartości tlenku żelaza $\text{Fe}_2\text{O}_3$ w osadach Jez. Gościąg	57
V.	OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU ZIEMI W OSTATNIM TYSIĄCLECIU X-XX WEDŁUG SŁOJÓW DRZEW	59
5.1.	Ekstrema szerokości słoików drzew rosnących w Europie	59
5.2.	Ekstrema szerokości słoików dębów rosnących w Polsce	92
5.3.	Mroźne zimy w Polsce w X-XVI wieku według źródeł historycznych	107

VI.	PROFILE RÓWNOLEŻNIKOWE TEMPERATURY POWIETRZA NA OBSZARZE EUROPY W LATACH 1900-2018	109
VII	PROFILE POŁUDNIKOWE TEMPERATURY POWIETRZA NA OBSZARZE EUROPY W LATACH 1900-2018	143
VIII	PROFILE HIPSOMETRYCZNE TEMPERATURY POWIETRZA NA OBSZARZE EUROPY W LATACH 1900-2018	177
IX.	PROFILE TRENDU TEMPERATURY POWIETRZA (°C/100 LAT) W EUROPIE W LATACH 1900-2018 (RÓWNOLEŻNIKOWE, POŁUDNIKOWE, HIPSOMETRYCZNE)	211
9.1.	Profile równoleżnikowe trendu temperatury powietrza (°C/100 lat) w Europie w latach 1900-2018	214
9.2.	Profile południkowe trendu temperatury powietrza (°C/100 lat) w Europie w latach 1900-2018	223
9.3.	Profile hipsometryczne trendu temperatury powietrza (°C/100 lat) w Europie w latach 1900-2018	232
X.	PROFILE NAJNIŻSZEJ TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE W LATACH 1900-2018 (RÓWNOLEŻNIKOWE, POŁUDNIKOWE, HIPSOMETRYCZNE)	241
10.1.	Profil równoleżnikowy najniższej średniej temperatury powietrza $T_{inf}(\varphi)$ w Europie w latach 1900-2018	243
10.2.	Profil południkowy najniższej średniej temperatury powietrza $T_{inf}(\lambda)$ w Europie	251
10.3.	Profil hipsometryczny najniższej średniej temperatury powietrza $T_{inf}(H)$ w Europie	260
XI	PROFILE NAJWYŻSZEJ TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE W LATACH 1900-2018 (RÓWNOLEŻNIKOWE, POŁUDNIKOWE, HIPSOMETRYCZNE)	269
11.1.	Profile równoleżnikowe najwyższej średniej temperatury powietrza $T_{sup}(\varphi)$ w Europie w latach 1900-2018	271
11.2.	Profil południkowy najwyższej średniej temperatury powietrza $T_{sup}(\lambda)$ w Europie	279
11.3.	Profil hipsometryczny najwyższej średniej temperatury powietrza $T_{sup}(H)$ w Europie	288
XII	ANOMALIE TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE W LATACH 2019-2020 (PARYŻ, MOSKWA, SZTOKHOLM, MADRYT)	297
12.1.	Anomalie przebiegu rocznego temperatury powietrza w Europie w latach 2019-2020	297
12.2.	Profile równoleżnikowe i południkowe temperatury powietrza w Europie w latach 2019-2020	305
XIII	ZAKOŃCZENIE	307
XIV	LITERATURA	309



## IV. METODY STATYSTYCZNE ZASTOSOWANE W MODELACH PRZESTRZENNYCH ZMIAN KLIMATU ZIEMI

### 4.1. Aproksymacja pól zmiennych meteorologicznych wielomianami regresji względem $\varphi, \lambda, H$

#### Wprowadzenie

Inicjatorem opisu pola temperatury powietrza w Polsce równaniem zastosowanym w interpolacji, przy kreśleniu mapy anomalii temperatury, był prof. Romuald. Gumiński. Metodę przedstawiono w publikacji *Próba wydzielenia dzielnic rolniczo-klimatycznych w Polsce*, Przegląd Meteorologiczny i Hydr., z.1, 1948 i [w:] *Prace i Studia Geograficzne, Z badań klimatu Polski*, t. 22, 1998, Wyd. UW. Wychodząc z założenia, że wartość średnia temperatury powietrza jest funkcją położenia geograficznego ( $\varphi, \lambda$ ) i wysokości nad poziomem morza ( $h$ ), obok których wywierają wpływ czynniki regionalny i lokalny ( $N$ ). Przyjęto, że średnia temperatury ( $t$ ) jest określona wzorem – str.77, mapa–str 80).

Trzeba zauważyć, że dwa pierwsze składniki w tym wzorze (1) są różniczką zupełną  $df$  funkcji dwóch zmiennych  $f(\varphi, h)$ .

$$t = \left(\frac{\partial f}{\partial \varphi}\right) \Delta \varphi + \left(\frac{\partial f}{\partial h}\right) \Delta h + N = df + N \quad (1)$$

Tereny na których różnice  $N$  przekroczyły  $+0,4^\circ$  uważano za tereny o dodatniej anomalii termicznej, zaś tereny gdzie różnice  $N$  spadły poniżej  $-0,4^\circ$  – o anomalii termicznej ujemnej. Wartości średnie temperatury w granicach od  $0,4$  do  $-0,4$  uważano za normalne.

Ten kierunek badań jest kontynuowany w Zakładzie Klimatologii UW, głównie w kolejnych 33 tomach *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* i innych publikacjach (M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka i in.).

Pola zmiennych (elementów) klimatologicznych ( $y, \varphi, \lambda, H$ ) w Polsce i Europie aproksymowano równaniami  $y = f(\varphi, \lambda, H)$  prostych, płaszczyzn i hiperpłaszczyzn regresji oraz wielomianami regresji 4 stopnia względem trzech współrzędnych: szerokości geograficznej ( $\varphi$ ), długości geograficznej ( $\lambda$ ) i wysokości nad poziomem morza ( $H$ ) (wg danych 1951-1960 oraz 1931-1960 i 1961-1990 (CLINO, 1962, 1971).

#### Gradient pola – składowe horyzontalne $\vec{\Gamma}$ i $\vec{\gamma}$

Gradient pola  $f(\varphi, \lambda, H)$  – to wektor, którego składowymi są pochodne cząstkowe funkcji  $f(\varphi, \lambda, H)$  względem  $\varphi, \lambda, H$  (2)

$$\text{grad } f(\varphi, \lambda, H) = \left[ \frac{\partial f}{\partial \varphi}, \frac{\partial f}{\partial \lambda}, \frac{\partial f}{\partial H} \right] \quad (2)$$

Przyjęto nazwy:

$\frac{\partial f}{\partial \varphi}$  – gradient południkowy,  $\frac{\partial f}{\partial \lambda}$  – równoleżnikowy,  $\frac{\partial f}{\partial H}$  – hipsometryczny

Jeżeli pole temperatury powietrza  $y = f(\varphi, \lambda, H)$  aproksymujemy równaniem hiperpłaszczyzny regresji (3)

$$T = a_0 + a_1\varphi + a_2\lambda + a_3H \quad (3)$$

to wtedy otrzymuje się stały (przestrzennie) średni na obszarze Europy (Polski) – gradient

$$\text{grad } T = \left[ \frac{\partial T}{\partial \varphi}, \frac{\partial T}{\partial \lambda}, \frac{\partial T}{\partial H} \right] = [a_1, a_2, a_3] \quad (4)$$

Jego składowe – to gradienty horyzontalne:  $a_1$  – południkowy ( $^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\varphi$ ) i  $a_2$  – równoleżnikowy ( $^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\lambda$ ) oraz  $a_3$  – gradient hipsometryczny (pionowy,  $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ).

Gradient horyzontalny  $\vec{\Gamma}$  temperatury powietrza ma współrzędne (5)

$$\vec{\Gamma} = \left[ \frac{\partial T}{\partial \varphi}, \frac{\partial T}{\partial \lambda} \right] = [a_1, a_2] \quad (5)$$

Jeżeli współrzędne geograficzne  $\varphi, \lambda$  wyrazimy w setkach km:  $\Phi = 1,111 \varphi^{\circ}$ ,  $\Lambda = 1,111 \lambda^{\circ} \cos \varphi^{\circ}$ , to funkcja aproksymująca  $y = f(\Phi, \Lambda, H)$  umożliwi wyznaczenie gradientu horyzontalnego (6)

$$\vec{\Gamma} = \left[ \frac{\partial f}{\partial \Phi}, \frac{\partial f}{\partial \Lambda} \right] \quad (6)$$

którego składowe  $\frac{\partial f}{\partial \Phi}, \frac{\partial f}{\partial \Lambda}$  i jego długość  $|\vec{\Gamma}| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial \Phi}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \Lambda}\right)^2}$  są wyrażone w  $^{\circ}\text{C}/100 \text{ km}$ .

Tak wyznaczony gradient horyzontalny  $\vec{\Gamma}$  jest „zredukowany” do poziomu morza – nie zależy od wysokości terenu.

Istotne znaczenie w badaniach oddziaływania Oceanu Atlantyckiego na klimat Europy ma azymut astronomiczny gradientu horyzontalnego  $\vec{\Gamma}$  – jego odchylenie  $a$  od południka miejscowego. Koniec wektora wskazuje wzrost temperatury powietrza. Jeżeli pole temperatury powietrza nie jest zdeformowane to gradient horyzontalny  $\vec{\Gamma}$  jest skierowany na południe  $a = 0^{\circ}$  (zasada strefowości klimatu).

Funkcja aproksymująca  $y = F(\Phi, \Lambda)$  – bez wysokości nad poziomem morza  $H$  umożliwi wyznaczenie gradientu horyzontalnego  $\vec{\gamma}$  – zależnego od wysokości  $H$  nad poziomem morza (7)

$$\vec{\gamma} = \left[ \frac{\partial F}{\partial \Phi}, \frac{\partial F}{\partial \Lambda} \right] \quad (7)$$

Azymut astronomiczny  $A$  tego wektora zależy od rzeźby terenu. Gradient horyzontalny  $\vec{\gamma}$  (jego zwrot) wskazuje kierunek wzrostu temperatury powietrza mierzonej na powierzchni Ziemi (Europy, Polski).

Gradient pola temperatury powietrza w każdym punkcie powierzchni Europy wyznaczono z wielomianu regresji czwartego stopnia  $T = f(\Phi, \Lambda, H)$  (8)

$$\text{grad } f(\Phi, \Lambda, H) = \left[ \frac{\partial T}{\partial \Phi}, \frac{\partial T}{\partial \Lambda}, \frac{\partial T}{\partial H} \right] \quad (8)$$

względem szerokości i długości geograficznej  $A$  oraz wysokości nad poziomem morza  $H$ . We wzorach  $\Phi$  i  $A$  wyrażono w setkach km, a wysokość  $H$  – w setkach m (hm). W tomie VI Atlasu (Stopa-Boryczka i in., 1990) zdefiniowano miary astrefowości i deformacji pola temperatury przez rzeźbę terenu:  $a$  – wskaźnik astrefowości oraz kątowny  $A$ - $a$  i wektorowy wskaźnik deformacji  $\vec{\gamma} - \vec{\Gamma}$ .

Jeżeli teren jest równiną, to wtedy  $\vec{\gamma} - \vec{\Gamma} = 0$  i  $A - a = 0$ .

Gradyenty horyzontalne  $\vec{\Gamma}$ ,  $\vec{\gamma}$  – średnie na całym obszarze Europy (Polski) są określone przez równania hiperpłaszczyzn regresji (9) i płaszczyzn regresji (10).

$$T = f(\Phi, A, H) = a_0 + a_1\Phi + a_2A + a_3H \quad (9)$$

$$T = F(\vec{\Phi}, A) = A_0 + A_1\vec{\Phi} + A_2A \quad (10)$$

Ich składowymi są współczynniki regresji wielokrotnej  $\vec{\Gamma} = [a_1, a_2]$ ,  $\vec{\gamma} = [A_1, A_2]$

Pola zmiennych klimatologicznych  $y = f(\varphi, \lambda, H)$  aproksymowano równaniami płaszczyzn i hiperpłaszczyzn regresji oraz wielomianami regresji 4. stopnia trzech współrzędnych położenia ( $\varphi, \lambda, H$ ) (wg danych 1931-1960 i 1961-1990, (CLINO, 1962, 1971).

### Przykład 1. Gradyenty horyzontalne i hipsometryczne temperatury powietrza w Polsce

Pole temperatury powietrza w Polsce w latach 1951-1960 aproksymowano równaniem hiperpłaszczyzny regresji

$$y = a_0 + a_1\varphi + a_2\lambda + a_3H \quad (11)$$

gdzie:  $\varphi$  – szerokość geograficzna,  $\lambda$  – długość geograficzna,  $H$  – wysokość nad poziomem morza (tab.1).

**Tabela 1.** Równania hiperpłaszczyzn regresji temperatury powietrza ( $T$ ) względem szerokości geograficznej  $\varphi$ , długości geograficznej  $\lambda$  i wysokości nad poziomem morza  $H$  w Polsce (1951-1960),  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora

**Table 1.** Equations of hiperplanes of regressions of air temperature variables ( $T$ ) with respect  $\varphi, \lambda, H$  in Poland (1951-1960),  $R$  – coefficient of the multiple correlation and  $F_{obl}$

	$T = a_0 + a_1\varphi + a_2\lambda + a_3H$	$R$	$F_{obl}$
Półrocze chłodne	$T = -0,339\varphi - 0,240\lambda - 0,435H + 24,27$	0,96	210,5
Półrocze ciepłe	$T = -0,531\varphi + 0,057\lambda - 0,632H + 41,28$	0,95	479,0
Rok	$T = -0,440\varphi - 0,093\lambda - 0,534H + 33,04$	0,99	692,2

Średnie pole temperatury powietrza ( $T$ ) w Polsce charakteryzują gradyenty horyzontalne: południkowy  $a_1$ , równoleżnikowy  $a_2$  i hipsometryczny  $a_3$ .

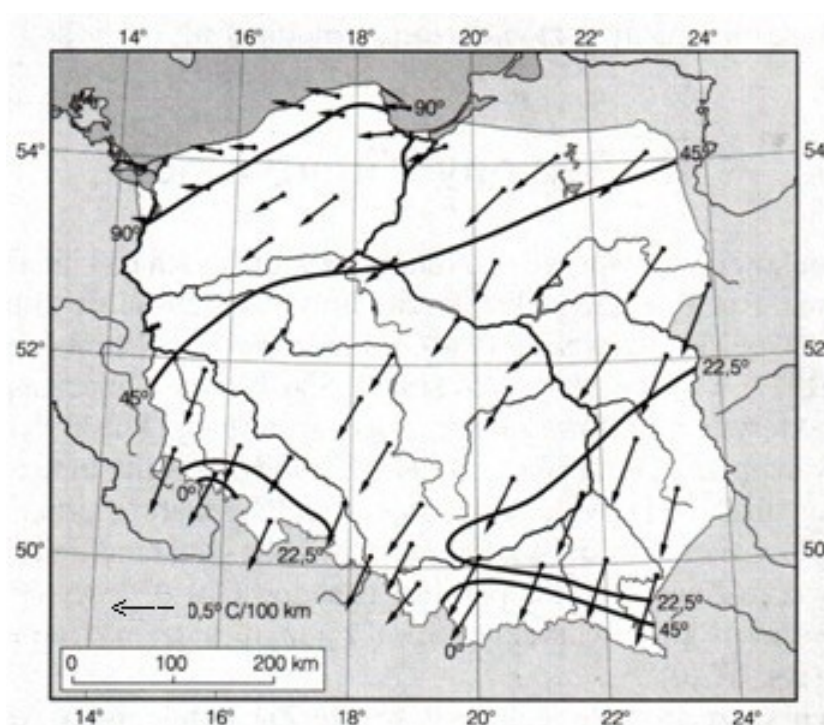
Równania sinusoid o częstości  $\omega = \frac{2\pi}{365,25}$ , które opisują przebieg roczny gradientów temperatury powietrza:  $a_1, a_2, a_3$  i wartości współczynnika korelacji  $R$  zestawiono w tab. 2.

**Tabela 2.** Sinusoidy przebiegu rocznego gradientów temperatury powietrza ( $T$ ): południkowego  $a_1$ , równoleżnikowego  $a_2$ , i hipsometrycznego  $a_3$

**Table 2.** The annual variation of gradients of air temperature: longitudinal ( $a_1$ ), latitudinal ( $a_2$ ) and hypsometric ( $a_3$ )

	$R$
$a_1 = -0,408 + 0,198 \sin(\omega t + 2,139)$	0,838
$a_2 = -0,047 + 0,219 \sin(\omega t - 1,777)$	0,940
$a_3 = -0,536 + 0,154 \sin(\omega t + 1,686)$	0,966

Na przykład średnie pole temperatury powietrza w zimie w Polsce (1951-1960) charakteryzują wektory  $\vec{\Gamma}$  na rys.1.



**Rys. 1.** Strefy oddziaływania mas powietrza polarnego-morskiego i kontynentalnego na pole temperatury powietrza w Polsce (półrocze chłodne X-III). Izarytmy odchyleń ( $\alpha$ ) gradientów horyzontalnych (wektorów wg wielomianów 4-go stopnia)  $\vec{\Gamma} = [a_1, a_2]$  od południków

**Fig. 1.** Zones of maritime polar air masses effects on the air temperature field in Poland (X-III). The horizontal gradients of air temperature  $\vec{\Gamma} = [a_1, a_2]$  in Poland

## Przykład 2. Gradienty horyzontalne i hipsometryczne temperatury powietrza w Europie

Średnie wartości gradientów: południkowego  $a_1$ , równoleżnikowego  $a_2$  i hipsometrycznego  $a_3$  w poszczególnych porach roku wraz z współczynnikiem determinacji (12)

$$R^2 = 1 - \frac{\varepsilon^2}{s^2} \quad (12)$$

gdzie  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $s^2$  – wariancja zmiennej  $y$ , zestawiono w tab. 3.

**Tabela 3.** Gradienty temperatury powietrza w Europie w latach 1961-1990: południkowy ( $a_1$  °C/1°φ), równoleżnikowy ( $a_2$  °C/1°λ) i hipsometryczny ( $a_3$  °C/100m), ( $R^2$  – współczynnik determinacji,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej)

**Table 3.** Gradients of air temperature in Europe in years 1961-1990: longitudinal ( $a_1$  °C/1°φ), latitudinal ( $a_2$  °C/1°λ) and hypsometric ( $a_3$  °C/100 m), ( $R^2$  – coefficient of the determination,  $R$  – coefficient of the multiple correlation)

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$R^2$ (%)	$R$
Zima	-0,660	-0,192	-0, 53	86,12	0,928
Wiosna	-0,559	-0,033	-0, 52	86,03	0,927
Lato	-0,526	0,087	-0, 49	84,86	0,921
Jesień	-0,624	-0,037	-0, 47	87,40	0,935
Rok	-0,592	-0,044	-0, 50	86,10	0,928

Tak zdefiniowane gradienty oddzielają w każdym miejscu wpływ szerokości geograficznej  $\varphi$  (lub  $\Phi$ ), długości geograficznej  $\lambda$  (lub  $A$ ) – odległości od Oceanu Atlantyckiego) i wysokości nad poziomem morza ( $H$ ). Szczególnym przypadkiem jest wielomian regresji pierwszego stopnia tj. równanie hiperpłaszczyzny regresji, które określa średnie gradienty poziome (w °C/100km): południkowy  $A_1$  i równoleżnikowy  $A_2$  oraz hipsometryczny  $A_3$  (°C/100m) (13)

$$T = A_0 + A_1\Phi + A_2A + A_3H \quad (13)$$

Składowe [ $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ] gradientu pola temperatury powietrza w Europie w poszczególnych porach roku i roku zestawiono w tabeli 4.

**Tabela 4.** Gradienty temperatury powietrza w Europie w latach 1961-1990: południkowy ( $A_1$  °C/100km), równoleżnikowy ( $A_2$  °C/100km) i hipsometryczny ( $A_3$  °C/100m) ( $R^2$  – współczynnik determinacji,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej)

**Table 4.** Gradients of air temperature in Europe in years 1961-1990: longitudinal ( $A_1$  °C/100km), latitudinal ( $A_2$  °C/100km and hypsometric ( $A_3$  °C/100m), ( $R^2$  – coefficient of the determination,  $R$  – coefficient of the multiple correlation)

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$R^2$ %	$R$
Zima	-0,682	-0,242	-0,5	83,68	0,92
Wiosna	-0,516	-0,033	-0,5	87,28	0,93
Lato	-0,431	0,1164	-0,5	86,21	0,93
Jesień	-0,578	-0,044	-0,5	88,15	0,94
Rok	-0,552	-0,051	-0,5	89,97	0,95

## Gradyenty horyzontalne

$$\vec{\Gamma} = \left[ \frac{\partial T}{\partial \Phi}, \frac{\partial T}{\partial \Lambda} \right] \quad (14)$$

– to wektory (14) na mapie (rys. 2), które określają kierunek wzrostu temperatury powietrza na obszarze Europy.

W przypadku zimy wyznaczono je z wielomianu regresji 4. tego stopnia (15)

$$T = f(\Phi, \Lambda, H) =$$

$$\begin{aligned} T = & -0,0003902\Phi + 0,003456\Lambda - 0,01662H - 0,03208\Phi^2 + 0,03972\Phi\Lambda - 0,01204\Lambda^2 + 0,0007182\Lambda H - \\ & 0003197H^2 + 0,0005909\Phi^3 - 0,001467\Phi^2\Lambda - 0,008975\Phi^2H + 0,0008215\Phi\Lambda^2 + 0,006083\Phi\Lambda H - \\ & 0,001445\Phi H^2 - 0,002473\Lambda^3 - 0,002251\Lambda^2H - 0,004735\Lambda H^2 + 0,001200H^3 - 0,00000326\Phi^4 + \\ & 0,00001205\Phi^3\Lambda + 0,00000870\Phi^3H - 0,00001955\Phi^2\Lambda^2 - 0,0001333\Phi^2\Lambda H + 0,00007796\Phi^2H^2 + \\ & 0,00004013\Phi\Lambda^3 + 0,0004342\Phi\Lambda^2H + 0,00006192\Phi\Lambda H^2 - 0,0001279\Phi H^3 + 0,00000351\Lambda^4 + \\ & 0,0001095\Lambda^3H + 0,00000174\Lambda^2H^2 + 0,00006381\Lambda H^3 + 0,00006402H^4 + 34,34 \end{aligned} \quad (15)$$

Istotne są odchylenia gradientów horyzontalnych  $\vec{\Gamma} = [a_1, a_2]$  (wektorów) od południka (S), tj. azymuty astronomiczne w poszczególnych miesiącach  $\alpha^o = \arctg\left(\frac{a_2}{a_1}\right)$



**Rys. 2.** Gradyenty horyzontalne temperatury powietrza  $\vec{\Gamma}$  w Europie (1961-1990) – Zima

**Fig. 2.** Horizontal gradients of air temperature  $\vec{\Gamma}$  in Europe – winter

## Wyznaczanie równań hiperpłaszczyzn i wielomianów regresji wyższego stopnia zmiennej $y$ względem $\varphi, \lambda, H$

Równanie hiperpłaszczyzny regresji (16) zmiennej zależnej ( $y$ ) względem  $k$  zmiennych niezależnych  $x_1, x_2, \dots, x_k$

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_k x_k \quad (16)$$

wyznacza się z układu równań normalnych (17)

$$\begin{aligned} s_{11}^2 a_1 + s_{12} a_2 + \dots + s_{1k} a_k &= s_{1y} \\ s_{21} a_1 + s_{22}^2 a_2 + \dots + s_{2k} a_k &= s_{2y} \\ \dots & \dots \\ s_{k1} a_1 + s_{k2} a_2 + \dots + s_{kk}^2 a_k &= s_{ky} \end{aligned} \quad (17)$$

Jego rozwiązaniem jest iloczyn macierzowy (18)

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11}^2 & s_{12} & \dots & s_{1k} \\ s_{21} & s_{22}^2 & \dots & s_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{k1} & s_{k2} & \dots & s_{kk}^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} s_{1y} \\ s_{2y} \\ \dots \\ s_{ky} \end{bmatrix} \quad (18)$$

gdzie  $S$  i  $S_y$  to macierze kowariancji (19)

$$S = \begin{bmatrix} s_{11}^2 & s_{12} & \dots & s_{1k} \\ s_{21} & s_{22}^2 & \dots & s_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{k1} & s_{k2} & \dots & s_{kk}^2 \end{bmatrix}, \quad S_y = \begin{bmatrix} s_{1y} \\ s_{2y} \\ \dots \\ s_{ky} \end{bmatrix} \quad (19)$$

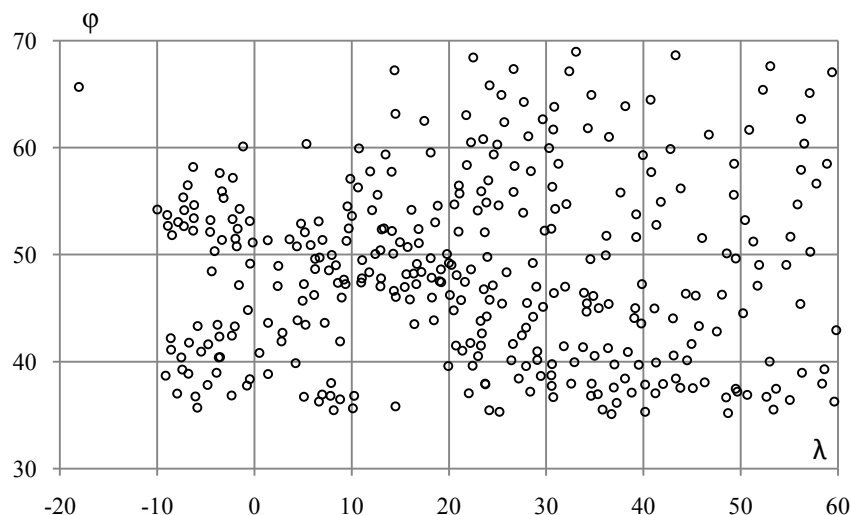
Wyraz wolny  $a_0$  otrzymuje się z równania, po wstawieniu do niego średnich arytmetycznych (20).

$$\bar{y} = a_0 + a_1 \bar{x}_1 + \dots + a_k \bar{x}_k \quad (20)$$

### Wyznaczanie równań hiperpłaszczyzn regresji z zastosowaniem macierzy odwrotnej kowariancji $S^{-1}$

#### **Przykład 3. Aproksymacja pola temperatury powietrza w Europie hiperpłaszczyzną regresji – gradient pola (1961-1990, VI-VIII)**

Równania hiperpłaszczyzn regresji przykładowo wyznaczono na podstawie wyników pomiarów temperatury powietrza z  $n=350$  stacji meteorologicznych w Europie (1961-1990) (rys. 3).



**Rys. 3.** Rozmieszczenie stacji meteorologicznych w Europie (1961-1990)  
**Fig. 3.** Location of meteorological station in Europe (1961-1990)

Najpierw obliczono elementy macierzy kowariancji  $S$  i macierzy jednokolumnowej  $S_y$  (21)

$$S = \begin{bmatrix} 69,98991 & 0,264401 & -1152,362906 \\ 0,264401 & 345,7169 & 816,774945 \\ -1152,362906 & 816,7749 & 207741,703 \end{bmatrix}, \quad S_y = \begin{bmatrix} -31,0605 \\ 25,77981 \\ -351,34 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Z iloczynu macierzy  $a = S^{-1} S_y$  otrzymano współczynniki regresji wielokrotnej (22)

$$S^{-1} = \begin{bmatrix} 0,01574047 & -0,00022037 & 0,00008818 \\ -0,00022037 & 0,00292275 & -0,00001271 \\ 0,00008818 & -0,00001271 & 0,00000535 \end{bmatrix}, \quad a = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,5255687 \\ 0,0866594 \\ -0,00494733 \end{bmatrix} \quad (22)$$

i obliczono wyraz wolny (23)

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x}_1 - a_2 \bar{x}_2 - \dots - a_k \bar{x}_k \quad (23)$$

gdzie  $\bar{y} = \bar{T} = 18,9052 \text{ } ^\circ\text{C}$  oraz

$$\bar{x} = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \bar{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\varphi} \\ \bar{\lambda} \\ \bar{H} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 48,32797143^\circ \\ 22,24088571^\circ \\ 273,0265714 \text{ m} \end{bmatrix} \quad (24)$$

Równanie hiperpłaszczyzny regresji ma postać (25)

$$T = -0,525568714\varphi + 0,086659413\lambda - 0,004947331 H + 43,72824 \quad (25)$$

Współczynnik korelacji wielokrotnej (26)



$$R = \left(1 - \frac{\varepsilon^2}{s^2}\right)^{0,5} \quad (26)$$

wynosi  $R = 0,928891$ , gdyż wariancja resztkowa  $\varepsilon^2 = 3, 226422199$ , a wariancja temperatury ( $y$ ):  $s^2 = 23,52309067$ .

Składowe gradientu pola temperatury powietrza w Europie w lecie wynoszą (27a-27c).

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = a_1 = -0,5255687 \text{ }^\circ\text{C}/1^\circ\varphi \text{ – południkowa} \quad (27a)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \lambda} = a_2 = 0,0866594 \text{ }^\circ\text{C}/1^\circ\lambda \text{ – równoleżnikowa} \quad (27b)$$

$$\frac{\partial T}{\partial H} = a_3 = -0,0049473 \text{ }^\circ\text{C}/1\text{m} \text{ – hipsometryczna} \quad (27c)$$

Równania hiperpłaszczyzn regresji  $T$  względem  $\varphi, \lambda, H$ , opisujące główne cechy średniego pola temperatury powietrza w Europie w poszczególnych porach roku, półroczach i roku (według programu REGLINP) zestawiono w tab. 5.

**Tabela 5.** Równania hiperpłaszczyzn regresji temperatury powietrza ( $T$ ) względem  $\varphi, \lambda, H$  w Europie (1961-1990)

**Table 5.** Equations of hiperplanes of regressions of air temperature variables in Europe ( $T$ ) with respect  $\varphi, \lambda, H$  (1961-1990)

	$T = a_1 \varphi + a_2 \lambda + a_3 H + a_0$						$R^2$	
Wiosna	-0,559109	$\varphi$	-0,03249	$\lambda$	-0,00516	$H$	+37,95501	0,8791
Lato	-0,525569	$\varphi$	0,08666	$\lambda$	-0,00495	$H$	+43,72824	0,8628
Jesień	-0,623743	$\varphi$	-0,03677	$\lambda$	-0,00469	$H$	+42,45324	0,8846
Zima	-0,660151	$\varphi$	-0,19220	$\lambda$	-0,00526	$H$	+37,89475	0,8690
Półrocze chłodne	-0,641247	$\varphi$	-0,13909	$\lambda$	-0,00503	$H$	+38,77597	0,8833
Półrocze ciepłe	-0,543047	$\varphi$	0,05166	$\lambda$	-0,00500	$H$	+42,2407	0,8886
Rok	-0,592160	$\varphi$	-0,04373	$\lambda$	-0,00501	$H$	+40,5104	0,9060

#### Wyznaczanie wielomianów regresji 4. stopnia zmiennej $y$ względem $\varphi, \lambda, H$ – z zastosowaniem macierzy odwrotnej kowariancji $S^{-1}$

Wielomian regresji czwartego stopnia (28) zmiennej  $y$  względem trzech współrzędnych położenia: szerokości geograficznej  $\varphi$ , długości geograficznej  $\lambda$  i wysokości nad poziomem morza  $H$  ma 34 wyrazów:

$$y = \begin{matrix} a_1 \varphi & +a_2 \lambda & +a_3 H & +a_4 \varphi^2 & +a_5 \varphi\lambda & +a_6 \lambda^2 \\ +a_7 \lambda H & +a_8 H^2 & +a_9 \varphi^3 & +a_{10} \varphi^2 \lambda & +a_{11} \varphi^2 H & +a_{12} \varphi \lambda^2 \\ +a_{13} \varphi \lambda H & +a_{14} \varphi H^2 & +a_{15} \lambda^3 & +a_{16} \lambda^2 H & +a_{17} \lambda H^2 & +a_{18} H^3 \\ +a_{19} \varphi^4 & +a_{20} \varphi^3 \lambda & +a_{21} \varphi^3 H & +a_{22} \varphi^2 \lambda^2 & +a_{23} \varphi^2 \lambda H & +a_{24} \varphi^2 H^2 \\ +a_{25} \varphi \lambda^3 & +a_{26} \varphi \lambda^2 H & +a_{27} \varphi \lambda H^2 & +a_{28} \varphi H^3 & +a_{29} \lambda^4 & +a_{30} \lambda^3 H \\ +a_{31} \lambda^2 H^2 & +a_{32} \lambda H^3 & +a_{33} H^4 & +a_0 & & \end{matrix} \quad (28)$$

W przypadku np. wielomianu czwartego stopnia (29), zależność nieliniowa sprawdzana jest do regresji liniowej – w przestrzeni 34 wymiarowej nowych zmiennych  $z_1, z_2, \dots, z_{33}$

$$y = \begin{matrix} a_1 z_1 & + a_2 z_2 & + a_3 z_3 & + a_4 z_4 & + a_5 z_5 & + a_6 z_6 \\ + a_7 z_7 & + a_8 z_8 & + a_9 z_9 & + a_{10} z_{10} & + a_{11} z_{11} & + a_{12} z_{12} \\ + a_{13} z_{13} & + a_{14} z_{14} & + a_{15} z_{15} & + a_{16} z_{16} & + a_{17} z_{17} & + a_{18} z_{18} \\ + a_{19} z_{19} & + a_{20} z_{20} & + a_{21} z_{21} & + a_{22} z_{22} & + a_{23} z_{23} & + a_{24} z_{24} \\ + a_{25} z_{25} & + a_{26} z_{26} & + a_{27} z_{27} & + a_{28} z_{28} & + a_{29} z_{29} & + a_{30} z_{30} \\ + a_{31} z_{31} & + a_{32} z_{32} & + a_{33} z_{33} & + a_0 & & \end{matrix} \quad (29)$$

#### 4.2. Aproxymacja pól zmiennych klimatologicznych hiperpłaszczyzną główną – elipsoidsa prawdopodobieństwa

##### Wyznaczanie równań hiperpłaszczyzn głównych

Hiperpłaszczyzna główna o równaniu :

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_k x_k + a_0 = 0 \quad (30)$$

aproxymuje zbiór punktów empirycznych tak, że suma kwadratów ich odległości od niej osiąga minimum.

Trzeba rozwiązać układ (31)  $k$  równań liniowych jednorodnych o niewiadomych  $a_1, \dots, a_k$

$$\begin{matrix} (s_{11}^2 - \lambda) a_1 + s_{12} a_2 + \dots + s_{1k} a_k = 0 \\ s_{21} a_1 + (s_{22}^2 - \lambda) a_2 + \dots + s_{2k} a_k = 0 \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ s_{k1} a_1 + s_{k2} a_2 + \dots + (s_{kk}^2 - \lambda) a_k = 0 \end{matrix} \quad (31)$$

w zapisie macierzowym (32)

$$\begin{bmatrix} s_{11}^2 - \lambda & s_{12} & \dots & s_{1k} \\ s_{21} & s_{22}^2 - \lambda & \dots & s_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{k1} & s_{k2} & \dots & s_{kk}^2 - \lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (32)$$

Układ tych równań ma rozwiązanie niezerowe, gdy wyznacznik macierzy współczynników (33) jest równy zeru ( $I$  – macierz jednostkowa).

$$\text{Det}(S - \lambda I) = \begin{vmatrix} s_{11}^2 - \lambda & s_{12} & \dots & s_{1k} \\ s_{21} & s_{22}^2 - \lambda & \dots & s_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{k1} & s_{k2} & \dots & s_{kk}^2 - \lambda \end{vmatrix} = 0, \quad I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (33)$$

Jest to wielomian (34)  $k$ . stopnia względem zmiennej  $\lambda$

$$a_k \lambda^k + a_{k-1} \lambda^{k-1} + \dots + a_0 = 0 \quad (34)$$

Jego pierwiastki charakterystyczne  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$  – to wartości własne macierzy kowariancji  $S$ . Odpowiada im  $k$  wektorów własnych (prostopadłych). Tylko jeden z wektorów własnych  $[a_1, a_2, \dots, a_k]$  spełnia warunek minimum odległości  $\lambda_{\min}$  punktów empirycznych, tj. przyporządkowany jest najmniejszemu pierwiastkowi  $\lambda_{\min}$ .

We współrzędnych  $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_k$  o początku w środku zbioru, równanie hiperpłaszczyzny głównej ma postać (35).

$$a_1 \Delta x_1 + a_2 \Delta x_2 + \dots + a_k \Delta x_k = 0 \quad (35)$$

Obracając układ współrzędnych tak, żeby osi nowego układu  $y_1, \dots, y_k$  były skierowane zgodnie z wektorami własnymi macierzy kowariancji  $S$ , otrzymuje się

Po przekształceniu, macierz kowariancji  $S$  przechodzi w macierz diagonalną  $\Lambda$  (36).

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_k \end{bmatrix} \quad (36)$$

Elementy głównej przekątnej  $\lambda_1, \dots, \lambda_k$  – to wariancje nowych zmiennych  $y_1, y_2, \dots, y_k$ .

Przekształcenie to bardzo upraszcza wielowymiarowy normalny rozkład gęstości prawdopodobieństwa. W nowych zmiennych niezależnych  $y_1, y_2, \dots, y_k$  rozkład ma postać (37)

$$f(y_1, \dots, y_k) = \frac{1}{(2\pi)^{0.5k} \sqrt{\lambda_1 \dots \lambda_k}} e^{-\frac{1}{2} \left[ \frac{(y_1 - m_1)^2}{\lambda_1} + \dots + \frac{(y_k - m_k)^2}{\lambda_k} \right]} \quad (37)$$

gdzie:  $m_1, \dots, m_k$  – to środek populacji we współrzędnych  $y_1, \dots, y_k$ .

Elipsoida prawdopodobieństwa zmiennych  $y_1, y_2, \dots, y_k$  ma równanie (38)

$$\frac{(y_1 - m_1)^2}{\lambda_1} + \dots + \frac{(y_k - m_k)^2}{\lambda_k} = const \quad (38)$$

Rozkład normalny gęstości prawdopodobieństwa zmiennych niezależnych  $y_1, y_2, \dots, y_k$  określa iloczyn (39)

$$f(y_1, y_2, \dots, y_k) = f(y_1) f(y_2) \dots f(y_k) \quad (39)$$

a rozkład jednej zmiennej  $f(y_j)$  i dystrybucję rozkładu normalnego  $F(y_M)$  – wzory (40) i (41)

$$f(y_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\lambda_j}} e^{-\frac{1}{2} \frac{(y_j - m_j)^2}{\lambda_j}} \quad (40)$$

$$F(y_M) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\lambda_j}} \int_{-\infty}^{y_M} e^{-\frac{1}{2} \frac{(y_j - m_j)^2}{\lambda_j}} dy_j \quad (41)$$

**Przykład 1. Równanie hiperpłaszczyzny głównej aproksymujące pole temperatury powietrza w Polsce**

Równania hiperpłaszczyzn głównych opisujących pole temperatury powietrza w poszczególnych miesiącach w Polsce przedstawiono w tab. 6. Ponadto zestawiono standaryzowane równania hiperpłaszczyzn głównych i hiperpłaszczyzn regresji charakteryzujących pole temperatury na obszarze Polski (tab. 7)

**Tabela 6.** Równania hiperpłaszczyzn głównych  $T$  względem  $\varphi, \lambda, H$

	Hiperpłaszczyzny główne $T=f(\varphi, \lambda, H)$
I	$T = -0,15960556\varphi - 0,28458460 \lambda - 0,41445702 H + 285,19877$
II	$T = -1,2879890 \varphi - 0,37430789 \lambda - 0,64808386 H + 344,93125$
III	$T = -0,59668689 \varphi - 0,29948406 \lambda - 0,51713999 H + 311,33250$
IV	$T = -0,68984199 \varphi + 0,012575619 \lambda - 0,66293783 H + 316,29681$
V	$T = -0,77229790 \varphi + 0,088179823 \lambda - 0,71291423 H + 324,59158$
VI	$T = -0,62992603 \varphi + 0,15821819 \lambda - 0,69302909 H + 320,11533$
VII	$T = -0,45425871 \varphi + 0,14183532 \lambda - 0,65258841 H + 312,81423$
VIII	$T = -0,42747951 \varphi + 0,10531354 \lambda - 0,61900451 H + 311,28481$
IX	$T = -0,41221127 \varphi + 0,11421114 \lambda - 0,59100912 H + 310,92410$
X	$T = -0,35018455 \varphi - 0,11097031 \lambda - 0,48194470 H + 302,28210$
XI	$T = -0,29803788 \varphi + 0,17554624 \lambda - 0,42174938 H + 295,71572$
XII	$T = -0,31991391 \varphi - 0,22405333 \lambda - 0,40501096 H + 295,13191$

**Tabela 7.** Równania standaryzowane hiperpłaszczyzn regresji i hiperpłaszczyzn głównych temperatury powietrza względem współrzędnych geograficznych  $\varphi, \lambda$ , i wysokości nad poziomem morza  $H$

	Hiperpłaszczyzny główne	Hiperpłaszczyzny regresji
I	$T' = -0,17083995 \varphi' - 0,49069136 \lambda' - 0,9139458 H'$	$T'' = -0,153068 \varphi' - 0,476334 \lambda' - 0,905013 H'$
II	$T' = -1,1410986 \varphi' - 0,53666413 \lambda' - 1,1886295 H'$	$T'' = -0,179825 \varphi' - 0,235058 \lambda' - 0,690161 H'$
III	$T' = -0,59849939 \varphi' - 0,48614928 \lambda' - 1,0738153 H'$	$T'' = -0,571583 \varphi' - 0,47521 \lambda' - 1,059948 H'$
IV	$T' = -0,5938968 \varphi' + 0,017439995 \lambda' - 1,1758007 H'$	$T'' = -0,559085 \varphi' - 0,0242123 \lambda' - 1,15734 H'$
V	$T' = -0,6031582 \varphi' + 0,11145366 \lambda' - 1,1526247 H'$	$T'' = -0,524504 \varphi' + 0,123077 \lambda' - 1,11116 H'$
VI	$T' = -0,4928700 \varphi' + 0,20034476 \lambda' - 1,1225315 H'$	$T'' = -0,438467 \varphi' + 0,205111 \lambda' - 1,09368 H'$
VII	$T' = -0,3758384 \varphi' + 0,18903312 \lambda' - 1,1117767 H'$	$T'' = -0,349235 \varphi' + 0,190667 \lambda' - 1,09759 H'$
VIII	$T' = -0,37477318 \varphi' + 0,14942335 \lambda' - 1,1234495 H'$	$T'' = 0,359694 \varphi' + 0,150777 \lambda' - 1,11542 H'$
IX	$T' = -0,361113294 \varphi' + 0,13921181 \lambda' - 1,1311279 H'$	$T'' = -0,360051 \varphi' + 0,149010 \lambda' - 1,104116 H'$
X	$T' = -0,39132855 \varphi' - 0,19975943 \lambda' - 1,1095366 H'$	$T'' = -0,358280 \varphi' - 0,188852 \lambda' - 1,092218 H'$
XI	$T' = -0,36032755 \varphi' - 0,34187956 \lambda' - 1,0538264 H'$	$T'' = -0,326353 \varphi' - 0,327159 \lambda' - 1,03616 H'$
XII	$T' = -0,38962649 \varphi' - 0,43196740 \lambda' - 1,0163967 H'$	$T'' = -0,342012 \varphi' - 0,409615 \lambda' - 0,991526 H'$

**Przykład 2. Równanie prostej głównej określającej zależność temperatury powietrza od szerokości geograficznej w Europie (1961-1990)**  
 $(35,13^\circ \leq \varphi \leq 68,97^\circ, -18,08^\circ \leq \lambda \leq 59,82^\circ)$

Wzięto pod uwagę średnie roczne wartości temperatury powietrza z 350 stacji meteorologicznych.

Dla dwóch otrzymuje się równanie prostej głównej  $a_1x_1 + a_2x_2 + a_0 = 0$  – układ dwóch równań (42)

$$\begin{pmatrix} s_{11}^2 - \lambda & s_{12} \\ s_{21} & s_{22}^2 - \lambda \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = 0 \quad (42)$$

a  $\lambda_{\min}$  jest jednym (mniejszym) z dwóch pierwiastków rzeczywistych  $\lambda_1, \lambda_2$  równania kwadratowego (43)

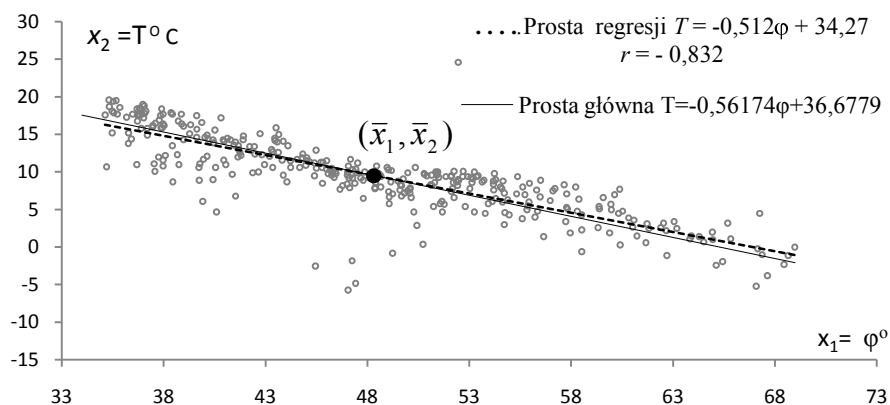
$$\lambda^2 - 96,466490 \lambda + 569,0495 = 0 \quad (43)$$

o pierwiastkach  $\lambda_{\min} = \lambda_1 = 6,311933$  i  $\lambda_2 = 90,15456$  i równanie prostej głównej (rys. 4).

$$\Delta x_2 = -0,56273 \Delta x_1 \quad (44a)$$

$$T = -0,56272\varphi + 36,72474 \quad (44b)$$

Miarą rozproszenia punktów empirycznych od prostej głównej jest, a miarą odchylenia punktów  $x_i$  od prostej regresji jest pierwiastek  $\sqrt{\lambda_{\min}} = 2,5124$



**Rys. 4.** Prosta główna i prosta regresji charakteryzujące zależność temperatury powietrza od szerokości geograficznej na Półkuli Północnej – między południkami:  $-18,08^\circ \leq \lambda \leq 59,82^\circ$  (1961-1990)

Metody wyznaczania równań prostych, płaszczyzn i hiperpłaszczyzn głównych oraz elipsoid prawdopodobieństwa z zastosowaniem rachunku krakowianowego i macierzewego oraz równania przedstawiono dokładnie w publikacjach M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka (1976) i J. Boryczka (1977).

## V. METODY STATYSTYCZNE ZASTOSOWANE W BADANIACH CZASOWYCH ZMIAN KLIMATU ZIEMI

### Wprowadzenie

Inicjatorem badań zmian klimatu był **Wincenty Okołowicz**, a świadczą o tym np. publikacje:

- Okołowicz W., 1947, *Rekonstrukcja klimatu i jego zmian na podstawie morfologii terenu*. Przegląd Geograficzny, t. XXI, z. 1-2, s. 83-91.
- Okołowicz W., 1947, *Z zagadnień zmian klimatu*, Przegląd Geograficzny, t. XXI, z. 3-4, s. 205-225.

Ten kierunek badań jest kontynuowany w Zakładzie Klimatologii UW, głównie w *Atlasie współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* i innych publikacjach (J. Boryczka, M. Stopa-Boryczka i in.)

Duże zainteresowanie wśród klimatologów wzbudziła publikacja E. Brücknera (1890) o 35-letnim okresie wahań klimatu – o dwóch fazach: ciepło-suchej i chłodno-wilgotnej (dających okres  $34,8 \pm 0,7$  lat). Jego tezy o 35-letnim cyklu klimatu znalazły się zarówno w podręcznikach akademickich jak też szkolnych.

Jednym z oponentów, oprócz Wagnera (1929) był **R. Gumiński (1949)** – w publikacji pt. *35-letnie „okresy” wahań klimatycznych Brücknera w świetle klimatologii dzisiejsze*, Wiad. Służby Hydr. i Meteor, t. I, z. 4, Warszawa. Dokumentują, to zamieszczone mapy różnic między dziesięcioleciaми 1911-1920 i 1886-1895 ciśnienia i opadów wg Wagnera (1929) oraz wykresy średnich pięcioletnich wartości tych elementów z lat 1700-1885 (sporządzone przez Brücknera). Według R. Gumińskiego współczynnik korelacji między opadami i temperaturą (średnimi 5-letnimi) wynosi zaledwie 0,12, a rozbieżność wynika z odmiennej cyrkulacji atmosferycznej.

Problem okresowości opadów atmosferycznych podjęty został w Zakładzie Klimatologii przez **Zofię Kaczorowską** w rozprawie habilitacyjnej *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*, Prace Geograficzne IG PAN, nr. 33, 1962, ss.112.

Analizie harmonicznej poddano serie pomiarów opadów atmosferycznych z lat 1864-1936 (Koszalin, Poznań, Warszawa, Wrocław, Kraków), z lat 1842-1936 (Warszawa, Wrocław) oraz liczb Wolfa. Oto amplitudy 1- i 2-giej składowych harmonicznych (spośród 10):

	Okres	Koszalin	Poznań	Warszawa	Wrocław	Kraków	Liczby Wolfa
1	73	35	28	26	25	46	6,8
2	36,5	22	4	21	19	5	2,4

Według tej autorki największe amplitudy 1-ej harmonicznej i zbliżone przesunięcia fazy na wszystkich stacjach mogą świadczyć o istnieniu 70-letniego okresu opadów. Należy zauważyć, że druga składowa harmoniczna (okres 36,5 lat) cechuje się także dość dużą amplitudą 19-22 mm (z wyjątkiem Poznania i Krakowa).

Dane z dłuższego przedziału czasu 1842-1936 (95) lat świadczą o 95-letniej okresowości, gdyż amplitudy pierwszych harmonicznych: Warszawa – 38 mm, Wrocław – 66 mm są większe niż w okresie 73-lat (Warszawa 26 mm, Wrocław 25 mm). Amplituda maksymalna 41 mm przypada w Warszawie na szóstą harmoniczną (okres 16 lat).

Z dalszych badań autorki wynika, że średnia suma opadów 658 mm w podokresach z maksimum piam ( $W > 50$ ) jest nieznacznie mniejsza niż w podokresach z minimum ( $W < 50$ ) – 661 mm.

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 dość rzadkie widmo z podziału długości ciągu czasowego na części:  $n, \frac{n}{2}, \frac{n}{3}, \dots$  – okresy fikcyjne, na ogół nie pokrywające się z prawdziwymi.

W kolejnej, lepszej metodzie współczynniki autokorelacji  $r_k$ , wyznaczone są na podstawie coraz krótszych danych o liczebności  $k - n$  lub przy ukrytym założeniu, że każda badana seria pomiarów  $n$ -letnia 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, włącznie z analizą falkową  $F_{CWT}(a,b)$ , można stosować jedynie wtedy, gdy odstęp 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 nieprawdziwych danych. W ten sposób większość najdłuższych serii pomiarowych została uzupełniona w „majestacie metod matematycznych” (różnic, stosunków, regresji liniowej itp.) na postawie 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, odstęp czasu między pomiarami np. zawartości pyłów w atmosferze, emitowanych podczas erupcji wulkanów lub pomiarami grubości osadów morskich i jeziornych są z natury różne. Ponadto dotychczas stosowane metody ograniczają się do wyznaczenia krótkookresowej części widma  $0-0,5N$  ( $N$  – długość serii pomiarowej, szerokość przedziału aproksymacji).

### **5.1. Metoda „sinusoid regresji” J. Boryczki wyznaczania okresów zmiennych przyrodniczych , interferencja cykli, modulacja**

W identyfikacji przyczyn wahań klimatu Ziemi największe znaczenie ma wykrycie cykli (składników deterministycznych) w seriach pomiarowych zmiennych klimatologicznych. Powinny być spełnione dwie zasady identyfikacyjne, tj. warunki:

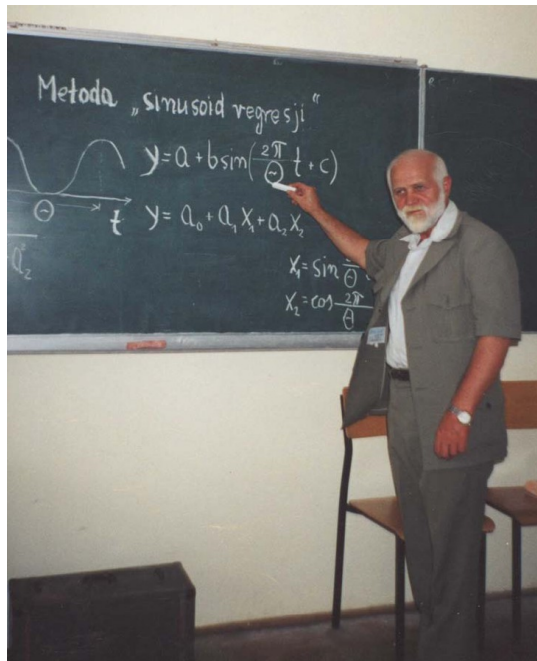
- Okresy domniemanych przyczyn i skutków są zbliżone
- Zmiany przyczyn i skutków są synchroniczne – ekstrema (maksima i minima) cykli przypadają na ogół na te same lata

Ze względu na samą naturę deterministyczno-stochastyczną procesów fizycznych zachodzących w układzie Ziemia – atmosfera nie można oczekiwać okresowości zmiennych klimatologicznych w sensie matematycznym  $f(t + \Theta) = f(t)$ . Okresy  $\Theta$  wykrywane metodami statystycznymi cechują się składnikami losowymi (resztami  $\varepsilon_i$ ) –  $f(t_i + \Theta) = f(t_i) + \varepsilon_i$

Dotyczy to również powszechnie uznanych okresów dobowych i rocznych, zdeterminowanych przez obrót Ziemi i jej obieg dookoła Słońca.

W badaniach okresowości zjawisk przyrodniczych – zmiennych: klimatologicznych, hydrologicznych, astronomicznych, geologicznych – dobre rezultaty otrzymuje się stosując metodę J. Boryczki „sinusoid regresji” (1998). Metodą „sinusoid regresji” wyznaczane jest całe widmo (0- $n$  – jego część krótkookresową 0-0,5 i długookresową 0,5-1 (okresy o długościach większych od zera do  $n$ , gdzie  $n$  – długość serii pomiarów). Metodę autora można stosować także wówczas, gdy odstępów czasu między wyrazami ciągu czasowego są różne. Metoda ta nie wymaga „uzupełniania” brakujących danych w seriach pomiarowych, które zniekształca prawdziwe informacje o zmianach klimatu.

W matematyce (statystyce matematycznej) są wprowadzone nazwy: prosta regresji, parabola regresji, hiperpłaszczyzna regresji, wielomiany regresji  $k$  stopnia. Nazwa **sinusoida regresji** została wprowadzona do literatury klimatologicznej przez autora (Boryczka 1998).



**Profesor Jerzy Boryczka (2007, Atlas t. XX-XXI)**

Metoda **sinusoid regresji** polega na aproksymacji ciągu czasowego (także nie-kompletnego) pomiarów  $y_1, \dots, y_n$  wykonanych w dowolnych odstępach czasu  $t_1, \dots, t_n$  kolejnymi sinusoidami regresji (1) o okresach  $\Theta_1, \dots, \Theta_k$

$$y = y(t) = a_0 + b \sin \left( \frac{2\pi}{\Theta} t + c \right) \quad (1)$$

gdzie:  $\Theta$  –okres,  $b$  – amplituda,  $c$  – faza.



Równanie **sinusoidy regresji** po przekształceniu:  $a_1 = b \cos c$ ,  $a_2 = b \sin c$  przyjmuje postać równania liniowego

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \quad (2)$$

względem dwóch zmiennych trygonometrycznych (3).

$$x_1 = \sin\left(\frac{2\pi}{\Theta} t\right), \quad x_2 = \cos\left(\frac{2\pi}{\Theta} t\right) \quad (3)$$

Amplitudę  $b$  i fazę  $c$  oblicza się z przekształcenia odwrotnego (4)

$$b = \sqrt{a_1^2 + a_2^2}, \quad \operatorname{tg} c = \frac{a_2}{a_1} \quad (4)$$

Parametry  $a_0$ ,  $b$ ,  $c$  sinusoidy regresji (cyklu) wyznacza się tak, by suma kwadratów odchyień  $\varepsilon_i = y_i - y(t_i)$  punktów empirycznych  $(t_i, y_i)$  od jej założonego wykresu była minimalna:

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i - y(t_i)]^2 - \min \quad (5)$$

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i - a_0 - b \sin\left(\frac{2\pi}{\Theta} t_i + c\right)]^2 - \min \quad (6)$$

Żeby wyznaczyć równanie „sinusoidy regresji” o okresie  $\Theta$  należy rozwiązać układ równań normalnych o niewiadomych  $a_1, a_2$  (6)

$$\begin{aligned} s_{11}^2 a_1 + s_{12}^2 a_2 &= S_{y1} \\ s_{21}^2 a_1 + s_{22}^2 a_2 &= S_{y2} \end{aligned} \quad (7)$$

gdzie:  $s_{11}^2, s_{22}^2, s_{12}^2 = s_{21}^2$  i  $s_{y1}, s_{y2}$  – to wariancje i kowariancje zmiennych  $x_1, x_2$  i  $y$ .

Wyraz wolny  $a_0$  otrzymuje się z równania, po wstawieniu do niego współrzędnych środka zbioru punktów empirycznych (średnich arytmetycznych  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{y}$ ) (6)

$$\bar{y} = a_0 + a_1 \bar{x}_1 + a_2 \bar{x}_2, \quad a_0 \approx \bar{y}. \quad (8)$$

Zmieniając okres sinusoidy  $\Theta$  z dowolnym odstępem czasu  $\Delta\Theta$ : 0,1 lub  $\frac{1}{12} = 0,0833$  roku czy też  $\Delta\Theta = 1$  rok a nawet  $\Delta\Theta = 100$  lat (izotop tlenu  $\delta^{18}\text{O}$ ) otrzymuje się ciągi liczbowe wariancji resztkowej  $\varepsilon_1^2, \dots, \varepsilon_m^2$  (widmo), gdzie  $\varepsilon_i = y_i - y(t_i)$  – odchylenie  $i$ -tego punktu  $y_i$  od sinusoidy regresji  $y(t_i)$

Okresy  $\Theta$  – to minima lokalne ciągu wariancji resztkowych  $\varepsilon_1^2, \dots, \varepsilon_m^2$  (maksima ciągu współczynnika korelacji wielokrotnej  $R_1, R_2, \dots, R_m$ )

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2, \quad R = \sqrt{1 - \frac{\varepsilon^2}{\sigma^2}} \quad (9)$$

gdzie  $\sigma^2$  – wariancja zmiennej  $y$

Zaproponowano dwa warianty wyboru okresów:

- **Wariant 1.** Okresy  $\Theta$  (optymalne, prawdziwe) – to minima lokalne wariancji resztkowej  $\varepsilon^2$  (widma  $\varepsilon^2_1, \dots, \varepsilon^2_m$ ), czyli maksima lokalne współczynnika korelacji  $R$  ( $R_1, R_2, \dots, R_m$ )

- **Wariant 2.** Okresy rzeczywiste – to maksima lokalne amplitudy  $b_1, b_2, \dots, b_m$ , gdzie

$$b = \sqrt{a^2_1 + a^2_2}$$

Istotność statystyczną okresów oceniano testem (10) Fishera-Snedecora o 2 i  $n-3$  stopniach swobody

$$F_{obl} = \frac{n-3}{2} \frac{R^2}{(1-R^2)} \quad (10)$$

Walorem zaproponowanej metody „sinusoid regresji” w badaniach okresowości zjawisk przyrodniczych jest możliwość wyznaczenia okresów, gdy odstęp czasu w serii pomiarowej nie są równe (zjawiska występują w różnych odstępach czasu lub są braki w pomiarach) oraz umożliwia porównania części długookresowej widma  $> 0,5n$ , serii krótkiej (kilkudziesięciu lat) z częścią krótkookresową  $< 0,5n$  – serii długiej (kilkaset lat).

Okresy rzeczywiste praktycznie nie różnią się od okresów optymalnych w części krótkookresowej widma  $0-0,5n$  ( $n$  – długość serii pomiarów). Są one dobrym przybliżeniem okresów optymalnych w przedziale widma  $0-0,7n$ . Rozbieżność między okresami optymalnymi i rzeczywistymi wzrasta, gdy  $\Theta \rightarrow n$ , maksymalnie do 8,0% dla teoretycznego przypadku  $\Theta = n$ . Można to udowodnić, aproksymując np. 500 wartości dyskretnej funkcji  $y = \sin 2\pi t$  „stabilizowanej” w przedziale  $0 \leq t \leq 1$  z odstępem  $\Delta t = 0,002$ , kolejnymi sinusoidami regresji ze zmiennym okresem co  $\Delta\Theta = 0,002$ . Maksymalna różnica w części długookresowej widma  $0,5n-1n$  między ostatnim minimum  $\Theta_{min} = 1$  wariancji resztkowej (maksimum współczynnika korelacji  $R$ ) i maksimum amplitudy  $\Theta = 0,920$  wynosi 0,080 (8,0%) (Boryczka 1998 s. 107-108)..

O równoważności tych obu wariantów ustalania okresów w części krótkookresowej widma  $0-0,5n$  i dobrym przybliżeniu w części długookresowej świadczy porównanie wykresów współczynnika korelacji ( $R$ ) i amplitudy ( $b$ ) w przypadku liczb Wolfa w latach 1700-1993 (Boryczka 1998 s. 50).

Metoda „sinusoid regresji” umożliwia także wyznaczanie lokalnych okresów  $\Theta_j$  wewnątrz serii pomiarowej, dzieląc dane pomiarowe z lat  $t_1, \dots, t_n$  na części.

### Interferencja cykli

W rekonstrukcji klimatu i prognozach ważne jest wyznaczenie wypadkowej interferencji  $k$  cykli (składnik naturalny), ze składnikiem  $at$  (liniowym – antropogenicznym):

$$F(t) = a_o + \underbrace{at}_{\substack{\uparrow \\ \text{Antropogeniczny}}} + \sum_{j=1}^k \underbrace{b_j \sin \left( \frac{2\pi}{\Theta_j} t + c_j \right)}_{\substack{\uparrow \\ \text{Naturalny}}} \quad (11)$$

i bez składnika liniowego ( $at=0$ ):

$$f(t) = a_0 + \sum_{j=1}^k b_j \sin\left(\frac{2\pi}{\theta_j} t + c_j\right) \quad (12)$$

gdzie:  $\theta_j, b_j, c_j$  – okres, amplituda i faza  $j$ -tego cyklu, przy minimalnym błędzie standardowym  $\delta$  i dużym współczynniku determinacji  $R^2$  trendu czasowego np.  $f(t)$ :

$$\delta = \sqrt{\frac{n\varepsilon^2}{n-2k-1}} \quad (13)$$

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i - f(t_i)]^2, \quad R^2 = 1 - \frac{\varepsilon^2}{\sigma^2} \quad (14)$$

gdzie  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $\sigma^2$  – wariancja zmiennej  $y$ .

Istotność statystyczną współczynnika korelacji wielokrotnej  $R$  w przypadku funkcji trendu czasowego  $f(t)$  (bez składnika liniowego) jest oceniana testem Fishera-Snedecora o  $2k$  i  $n-2k-1$  stopniach swobody ( $k$  – liczba cykli) (15)

$$F_{obl} = \frac{n-2k-1}{2k} \frac{R^2}{(1-R^2)} \quad (15)$$

Miarą dopasowania funkcji aproksymującej  $y=f(t)$  do wyników pomiarów mogą być również całkowity błąd kwadratowy  $CBK$  i specjalny współczynnik korelacji  $RS$ :

$$CBK = \frac{\varepsilon}{\bar{y}\sqrt{n}}, \quad RS = \left(2 \sum_{i=1}^n y_i y_i' - \sum_{i=1}^n y_i^2\right)^{0.5} \left(\sum_{i=1}^n y_i^2\right)^{-0.5} \quad (16)$$

gdzie:  $y_i$  – wartości zmierzone,  $y_i'$  – wartości obliczone z funkcji trendu czasowego  $y_i' = f(t_i)$ ,  $\bar{y}$  – średnia arytmetyczna,  $\varepsilon = \sqrt{\varepsilon^2}$ .

W przypadku interferencji cykli, tj. funkcji aproksymujących  $y=f(t)$  dobrze dopasowanych – współczynnik korelacji wielokrotnej  $R$  jest istotny na poziomie  $\leq 0,05$ , całkowity błąd kwadratowy  $CBK \leq 0,10$  ( $\leq 10\%$ ) oraz współczynnik korelacji  $RS \geq 0,9$ .

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

### Modulacja cykli

Uogólnieniem metody „sinusoid regresji” jest określenie modulacji amplitudy  $b_0$  i fazy  $c_0$  cyklu o częstości  $\omega_0 = \frac{2\pi}{\theta_0}$  przez cykl o częstości mniejszej  $\omega = \frac{2\pi}{\theta}$

Posługując się wzorami Eulera otrzymuje się trend czasowy (17), który wyznacza się wg najmniejszych kwadratów (Boryczka. 1993)

$$y = a_0 + b_0 \sin(\omega_0 t + c_0) + b_1 \sin[(\omega_0 + \omega)t + c_1] + b_2 \sin[(\omega_0 - \omega)t + c_2] \quad (17)$$

## Wyznaczanie okresów metodą „sinusoid regresji”. Instalacja programu

Tworzymy Folder o nazwie np. WOLF. Kopiujemy 3 części programu tj. pliki **BOR1.EXE** (24,2 kB), **BOR2.EXE** (22,4 kB), **BOR3.EXE** (18,8 kB) (łącznie 65,4 kB) i dane empiryczne przygotowane do obliczeń **WOLF.DAT**.



- Dane liczbowe np. **WOLF.TXT** z lat 1700-2010 o liczebności  $n = 311$  zestawiamy w 2 kolumnach , gdzie pierwsza kolumna – to czas ( $t$ ), a druga – to wartości zmierzone ( $y$ )
- W programie Excel (np. 2007) dwie kolumny liczbowe należy zapisać: „rozdzielane znakami tabulacji” . **WOLF.TXT** i zamienić przecinki (,) na kropki (.)
- Trzeba zmienić rozszerzenie pliku **WOLF.TXT** na **WOLF.DAT**, bez odstępów
- Na całej stronie nie może być żadnych innych znaków (kropek, przecinków)

### Przykład 1. Okresowe zmiany liczb Wolfa w latach 1700-2010, prognoza na lata 2011-2100

**WOLF.DAT**

1700	5.0
1701	11.0
...	...
2009	3.1
2010	16.5

### **BOR1.EXE. OTWÓRZ**

Kolejne odpowiedzi zatwierdzamy „ENTER” Plik: **WOLF**. liczba kolumn  
**2, Min 2.1, Max 300, Krok :0.1**

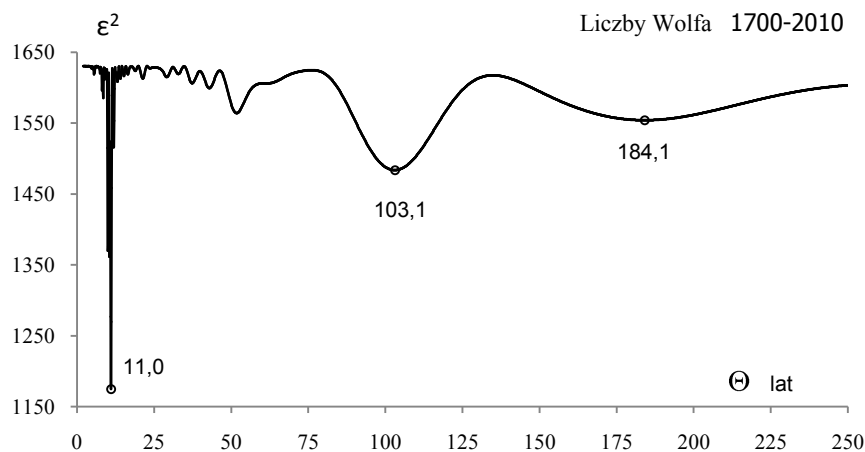
```

C:\WOLF\BOR1.EXE
Nazwa pliku wejsciowego [.dat]: WOLF
Liczba kolumn pliku wejsciowego (1,2):2
Min. okres: 2.1
Max. okres: 300
Krok: 0.1

```

- Jeżeli nie pojawią się Pliki WOLF.OPT i WOLF.OUT należy sprawdzić czy są tylko 2 kolumny liczb, czy zmieniono nazwę pliku WOLF.txt na WOLF.dat, czy nie pozostały przecinki, czy zbiór danych znajduje się w folderze z Programem

Widmo oscylacji np. średnich rocznych liczb Wolfa w latach 1700-2010 w paśmie 2,1-250 lat wyznaczone z odstępem  $\Delta\Theta = 0,1$  roku przedstawiono na rys. 1.



**Rys. 1.** Widmo liczb Wolfa w latach 1700-2010 w paśmie 2,1-250 lat  
**Fig. 1.** Spectrum of the Wolf numbers in the years 1700-2010 in the range 2.1-250 years

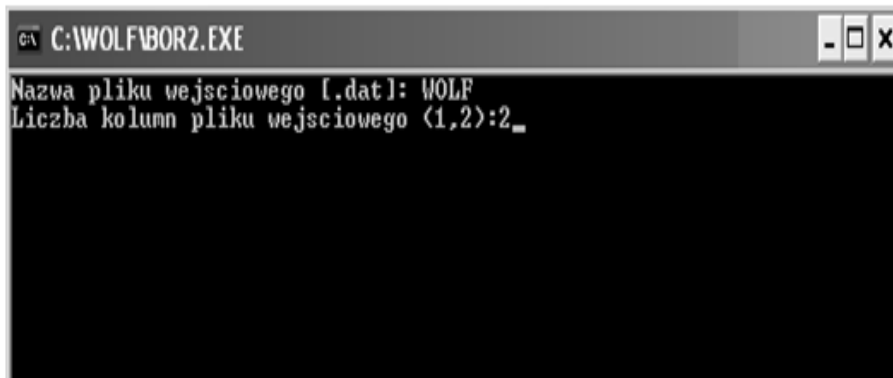
Widmo  $\varepsilon^2_1, \varepsilon^2_2, \dots, \varepsilon^2_m$  cechuje się 3 głównymi minimami wariacji resztkowej  $\varepsilon^2$ : 11,0, 103,1 i 184,1 lat o współczynnikach korelacji wielokrotnej ( $R$ ): 0,529, 0,300, 0,217.

- Niech plik WOLF.OPT zawiera okresy  $\Theta$  – np. o wariacji resztkowej  $\varepsilon^2 \leq 1614.894$

WOLF.OPT	
$\Theta$	$\varepsilon^2$
8.500	1585.375
10.500	1361.500
11.000	1174.717
11.900	1515.628
21.300	1612.640
29.100	1614.894
42.900	1599.332
51.800	1564.082
61.200	1605.929
103.100	1483.675
184.100	1554.071

**BOR2.EXE: OTWÓRZ.**

Wpisujemy **PLIK: WOLF**, Liczba kolumn < 1,2 > :2 i **ENTER**



Wtedy otrzymuje się Plik **WOLF.RES**

A0	B0	E <sup>2</sup>	R	CBK	RS
-79.519446	0.069253	534.384581	0.819932	2.648746	0.932211
Okres		A	B	C	f <sub>i</sub>
8.50000000		10.85895544	2.72175694	11.19485927	0.24558685
10.50000000		3.08836493	-17.34617497	17.61896093	-1.39459962
11.00000000		10.93247127	24.28427314	26.63165128	1.14778666
11.89999962		11.17067027	-5.46358848	12.43521907	-0.45489063
21.29999924		-2.94906431	5.03739536	5.83715104	2.10043694
29.10000038		4.57776287	0.49186080	4.60411120	0.10703504
42.90000153		-1.85228918	-6.08913165	6.36462877	-1.86609816
51.79999924		4.13151654	-8.26773164	9.24255460	-1.10737606
61.20000076		6.57135061	4.11902092	7.75557749	0.55990340
103.09999847		4.17695662	13.66138670	14.28567301	1.27407351
184.10000610		-6.92003797	-3.03433697	7.55606554	-2.72835526

- **Amplitudy i fazy sinusoid regresji można wyznaczyć programem BOR2.EXE, wpisując do WOLF.OPT tylko okresy (minima lokalne widma)**

: Wprowadzono nowe symbole

$$y = a + b \sin \left( \frac{2\pi}{\theta} t + c \right) \quad (18)$$

$$f(t) = a_0 + at + \sum_{j=1}^k b_j \sin \left( \frac{2\pi}{\theta_j} t + c_j \right) \quad (19)$$

Okres –  $\theta$ ,  $a_1 = A$ ,  $a_2 = B$ ,  $b = C$ ,  $c = \text{fi}$ ,  $b = C = \sqrt{A^2 + B^2}$  oraz  $a_0 = A0$ ,  $a = B0$  (składnik liniowy),  $\varepsilon^2 = E^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej.

Kolumny  $A = a_j$ ,  $B = b_j$  – to współczynniki regresji wielokrotnej, uwzględniające  $k = 11$  cykli tj.  $2k$  zmiennych :  $\sin\left(\frac{2\pi}{\theta_j} t\right)$ ,  $\cos\left(\frac{2\pi}{\theta_j} t\right)$ ,  $a_0 + at = A0 + B0t$  – składnik liniowy.

**\* Plik WOLF.RES po wpisaniu  $A0 = \bar{y}$  (średnia arytmetyczna) i  $B0 = 0,0$  daje obliczenia bez składnika liniowego ( $at = 0$ )**

Okresy  $\theta_j$ , amplitudy  $b_j$  i fazy  $c_j$  wyznaczonych cykli w latach 1700-2010 (minima lokalne widm) liczb Wolfa – z zastosowaniem programów BOR1.EXE: WOLF.OPT i BOR2.EXE: WOLF.RES, wraz z współczynnikiem korelacji wielokrotnej  $R$  i wartością  $F_{\text{obl}}$  testu Fishera-Snedecora zawiera tab. 1.

**Tabela 1.** Okresy  $\theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli liczb Wolfa w latach 1700-2010.  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{\text{obl}}$  – test Fishera-Snedecora

**Table 1.** Periods  $\theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of Wolf number cycles in the years 1700-2010R – multiple correlation coefficient,  $F_{\text{obl}}$  – Fisher-Snedecor F-test

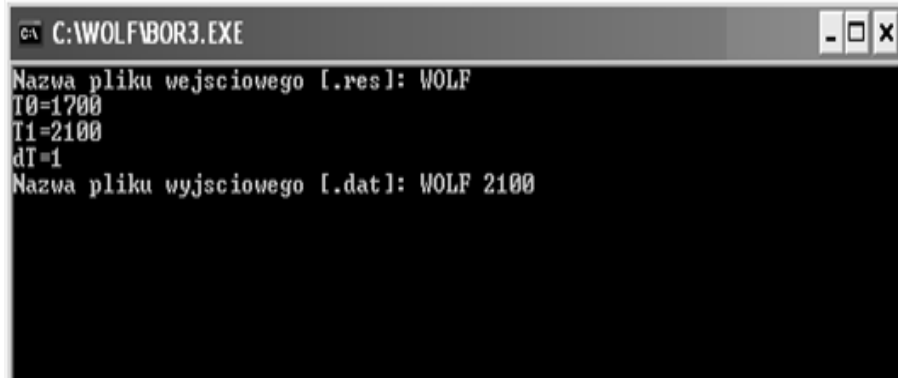
1700-2010					
$\theta$ lata	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{\text{obl}}$
8,5	11,196	0,2483	1585.375	0,167	4,398
10,5	17,558	-1,3896	1361.500	0,406	30,444
11,0	26,897	1,1350	1174.717	0,529	59,771
11,9	13,109	-0,5048	1515.628	0,266	11,687
21,3	5,642	2,0865	1612.640	0,105	1,720
29,1	4,498	0,1769	1614.894	0,098	1,503
42,9	6,322	-1,8996	1599.332	0,139	3,016
51,8	8,666	-1,1360	1564.082	0,202	6,555
61,2	7,619	0,6182	1605.929	0,123	2,371
103,1	13,937	1,2711	1483.675	0,300	15,256
184,1	7,398	-2,7499	1554.071	0,217	7,589

Największą rolę w zmianach temperatury odgrywa cykl 11-letni aktywności Słońca o największej amplitudzie  $b = 26,897$  ( $R = 0,529$ ) oraz istotne (na poziomie  $< 0,05$ )

cykle najdłuższe: 103,1 lat i 184,1 lat o amplitudach  $b = 13,937$  ( $R = 0,300$ ) i  $b = 7,398$  ( $R = 0,217$ ).

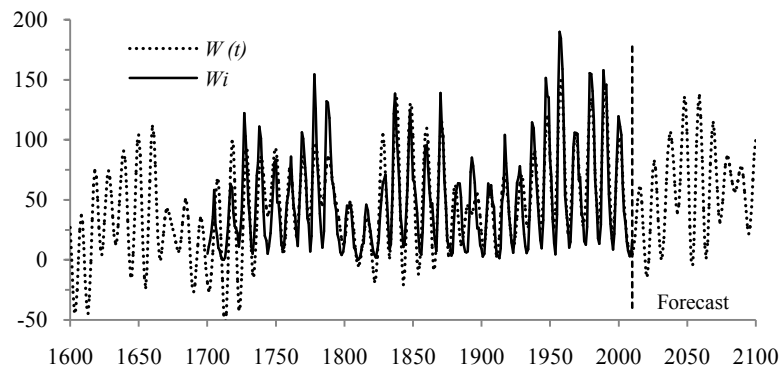
**Interferencja 11 cykli liczb Wolfa od  $T_0=1700$  do  $T_1=2100$ ,  $dT= 1$  rok  
(według plików WOLF.DAT i WOLF.RES)**

**BOR3.EXE: OTWÓRZ**



Zmiany aktywności Słońca w latach 1600-2100; 1600-1700 – rekonstrukcja, 2011-2100 – prognoza przedstawia rys.6. Aktywność Słońca w latach 1700-2010 cechuje się tendencją rosnącą 9,19/100 lat.

Zmiany aktywności Słońca w latach 1600-2100 – według programu BOR3.EXE, WOLF przedstawiono graficznie (Excel), gdzie  $W(t)$  – wartości obliczone wg interferencji cykli,  $W_i$  – liczby Wolfa z obserwacji (rys. 2).



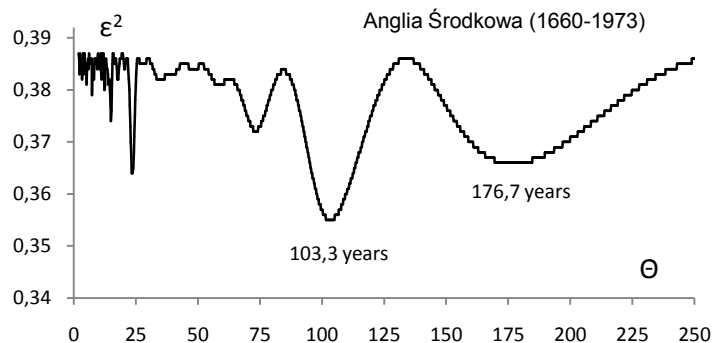
**Rys. 2.** Zmiany aktywności Słońca  $W$  (liczb Wolfa) w latach 1600-2100 – z rekonstrukcją w latach 1600-1748 i prognozą na lata 2011-2100 ( $W(t)$  – BOR3.EXE, WOLFpr)

**Fig. 2.** Changes of solar activity  $W$  (Wolf number) between 1600 and 2100, with a reconstruction for the period 1600-1748 and a forecast for 2011-2100 ( $W(t)$  – BOR3.EXE, WOLFpr)



## Przykład 2. Prognoza temperatury powietrza w Anglii Środkowej na podstawie danych z lat 1659-1973 (wg serii G. Manley'a)

Widmo średniej rocznej temperatury powietrza w Anglii Środkowej w latach 1660-1973 wyznaczone metodą „sinusoid regresji” zawiera dwa silne cykle 103,3 i 176,7 lat (rys. 3).



**Rys. 3.** Widmo średniej rocznej temperatury powietrza w Anglii Środkowej w latach 1660-19730 ( $2,0 < \Theta < 250$  lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**Fig. 3.** Spectrum of of air temperature in Central England in years 1660-1973 ( $2,0 < \Theta < 250$  lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

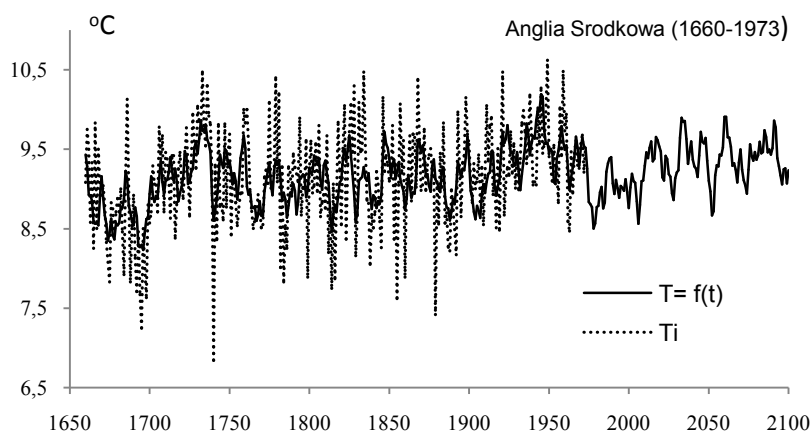
Minima lokalne widma temperatury powietrza w Anglii Środkowej – to okresy i parametry sinusoid regresji (wraz z oceną dokładności aproksymacji) zestawione w tab. 2.

**Tabela 2.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Anglii Środkowej (1660-1973),  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl.}$  – test Fishera-Snedecora – rok

**Table 2.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature cycles (1660-1973) in Central England,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl.}$  – Fisher-Snedecor F-test – year

$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl.}$
3,1	0,104	-2,4306	0,381	0,123	2,41
5,2	0,102	0,3497	0,381	0,123	2,41
7,4	0,131	-2,6816	0,379	0,143	3,24
11,1	0,098	-0,5946	0,382	0,113	1,99
12,5	0,118	3,0315	0,379	0,143	3,24
15,0	0,158	-1,3052	0,374	0,183	5,36
23,6	0,223	-0,7558	0,364	0,243	9,78
73,3	0,131	-1,8491	0,372	0,196	6,23
103,3	0,184	2,7980	0,355	0,287	13,97
176,7	0,107	1,9763	0,366	0,232	8,88

Interferencję 10 istotnych statystycznie cykli  $\Theta_j$  (tab. 2) w tym najdłuższych 103,3 lat i 176,7 lat ze składnikiem liniowym  $7,326083 + 0,000989t$ , (o współczynniku korelacji wielokrotnej  $R=0,574$ ,  $CBK=0,314639$ ,  $RS=0,998452$ ) przedstawia rys. 4.

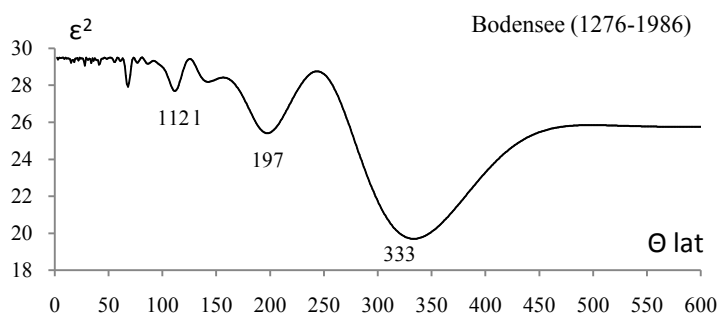


**Rys. 4.** Zmiany temperatury powietrza w Anglii Środkowej w latach 1660-2100 z prognozą na lata 1974-2100 (rok)

**Fig. 4.** Changes of air temperature in Central England between 1600 and 2100, with forecast for 1774-2100 (year)

**Przykład 3. Zmiany szerokości słoików dębu *Quercus petraea* (Bodensee – Holandia) w latach 1275-2100 (prognoza w XXI wieku)**

Widmo rocznych przyrostów dębu (*Quercus petraea*) w Bodensee (1275-1986, Holandia) przedstawiono na rys. 5. Parametry sinusoidalnych cykli jego rocznych przyrostów ( $\Theta$  – okres,  $b$  – amplituda,  $c$  – faza,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{\text{obl}}$  – statystyka testu Fishera-Snedecora) podano w tab. 3. Natomiast zmiany szerokości słoików drzew w latach 1275-1986, wraz z prognozą do roku 2200 przedstawiają wykresy na rys. 6.

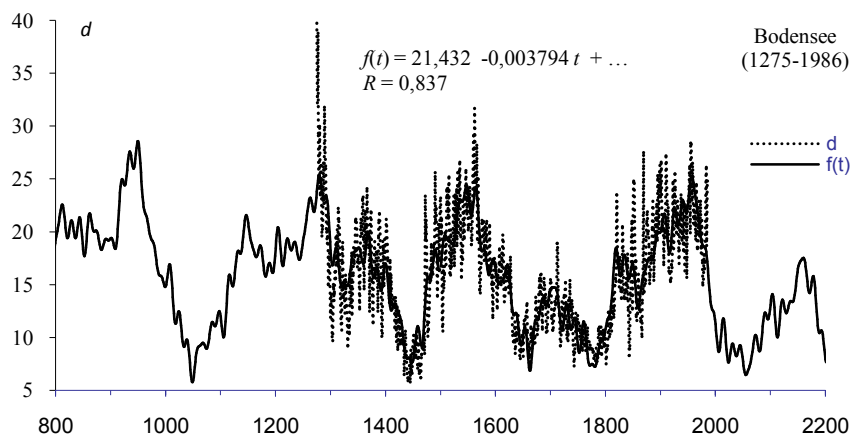


**Rys. 5.** Widmo szerokości słoików dębu (*Quercus petraea*) – Bodensee (1275-1986, Holandia)

**Fig. 5.** Spectrum of tree ring widths of Sessile oak (*Quercus petraea*) – Bodensee (1275-1986, Holland)

**Tabela 3.** Cykle szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Bodensee (1275-1986, Holandia)  
**Table 3.** The cycles of tree ring widths of Sessile oak (*Quercus petraea*) in Bodensee (1275-1986, Holland)

$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
15	0,7115	-0,2804	29,2160	0,099	3,48
18	0,6651	2,1025	29,2500	0,093	3,06
28	0,9042	1,9545	29,0630	0,122	5,36
68	1,5040	2,5454	27,9140	0,232	20,18
87	0,6214	2,9027	29,1600	0,108	4,17
112	1,5021	-0,6093	27,6920	0,248	23,18
143	1,8396	2,8253	28,1820	0,212	16,61
197	2,5943	2,7352	25,4010	0,373	57,24
333	4,4639	-2,9926	19,6880	0,577	176,72
594	1,6907	-0,3380	25,7500	0,357	51,66



**Rys. 6.** Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Bodensee (800-2200), Holandia);  
 $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej

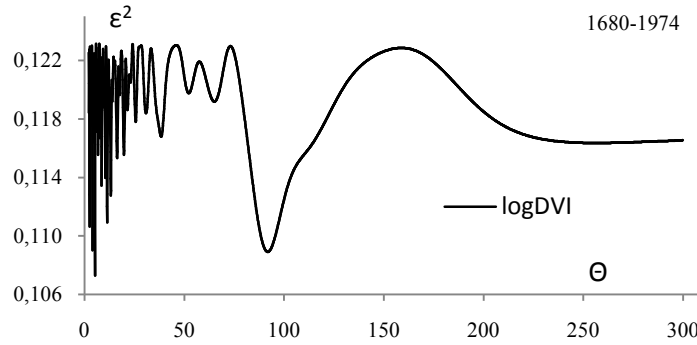
**Fig. 6.** Changes of Sessile oak (*Quercus petraea*) tree ring widths in Bodensee (800-2200), Holland);  
 $R$  – multiple correlation coefficient

#### Przykład 4. Okresowość erupcji wulkanów – wskaźnika $\log DVI$

Dane są daty erupcji wulkanów występujących w różnych odstępach czasu ( $t$ ) i wartości wskaźnika  $DVI$ , (Dust Veil Index H.Lamba) i np.:

Erupcje wulkanów	$t$	$DVI$
Krakatau	1680	400
Tangkogo	1680	1000
Hekla	1693	100
...	...	...
Tambora.	1815	3000
Eyjafjallaokull	1821	300
...	...	...
Cosiguina	1835	4000
Hekla	1845	250
...	...	...

Okresowość wskaźnika  $\log DVI$  można zbadać jedynie metodą „sinusoid regresji”. Widmo oscylacji wskaźnika  $\log DVI$  w paśmie 2,1-300 lat z odstępem 0.1 roku przedstawiono na rys. 7. Parametry cykli, tj. okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$ , fazy  $c$  oraz współczynniki korelacji  $R$  i charakterystyki testu Fishera-Snedecora podano w tab. 4.



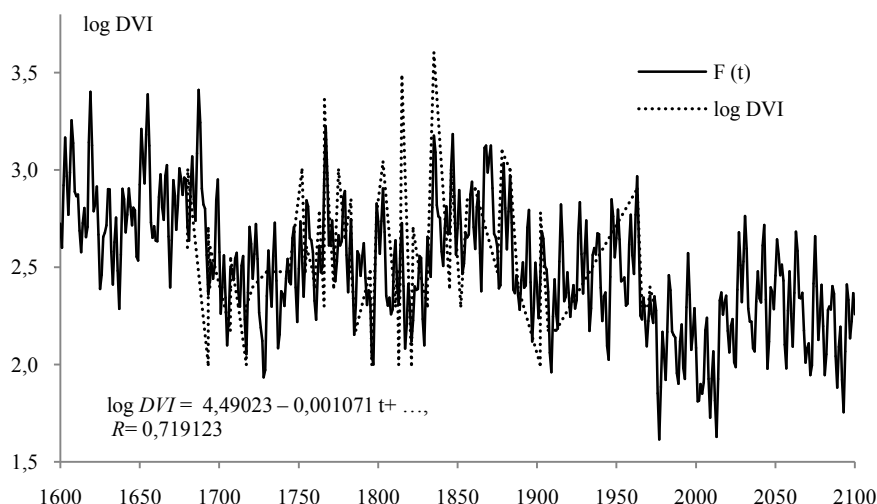
**Rys. 7.** Widmo wskaźnika Dust Veil Index ( $\log DVI$ ) w latach 1680-1974  
**Fig. 7.** Spectrum of) Dust Veil Index ( $\log DVI$ ) in years 1680-1974

**Tabela 4.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika  $\log DVI$ ,  $R$  - współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  - test Fishera-Snedecora

**Table 4.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of numerical cycles of the  $\log DVI$  index in the years 1680-1980, ( $R$  - multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  - F-test)

$\Theta$	$b$	$c$	$R$	$F_{obl}$
4.0	0,162671	-3,040142	0.339	4.15
5.3	0,107560	-1,197841	0.362	4.83
8.6	0,051511	1,225968	0.287	2.87
11.4	0,182529	-2,588705	0.314	3.50
13.2	0,019969	-0,604830	0.287	2.87
16.4	0,068467	-0,918059	0.257	2.27
30.8	0,081962	0,733304	0.205	1.40
38.4	0,069369	0,430531	0.223	1.68
91.8	0,173382	1,860319	0.339	4.15
<256.5	0,155512	-3,137547	0.241	1.97

Interferencję cykli  $F(t)$  zamieszczonych w tab. 4 o współczynniku korelacji  $R = 0,719$  i składniku liniowym  $\log DVI = 4,49023 - 0,001071t$  oraz wartości zmierzone  $\log DVI$  przedstawiają wykresy na rys. 8

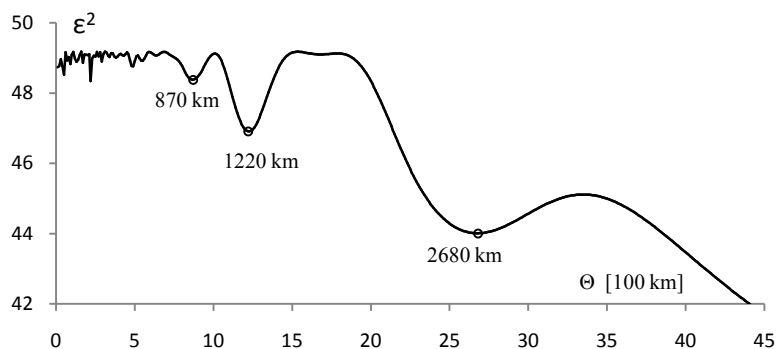


Rys. 8 Zmiany wskaźnika  $\log DVI$  w latach 1600-2100  
 Fig. 8. Changes of  $\log DVI$  index in 1600-2100 years

**Przykład 5. „Fale termiczne” równoleżnikowe w Europie (1961-1990)**

W zmianach temperatury powietrza w Europie (1961-1990) np. wzdłuż równoleżników można metodą sinusoid regresji określić tzw. fale termiczne, zastępując czas  $t$  współrzędną geograficzną  $A$  (uporządkowaną rosnąco), wyrażoną w setkach kilometrów:  $A = 1,111 \lambda^\circ \cos \varphi^\circ$ . Zmieniając długość geograficzną  $\Lambda$  co 0,1 tj. co 10 km otrzymano widmo równoleżnikowych zmian temperatury w zimie, które zawiera trzy najsilniejsze fale o długościach 870, 1220 i 2680 km i amplitudach 1,20, 1,48, i 2,73°C (rys. 9, tab. 5)

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



Rys. 9. Widmo (falogram) temperatury powietrza w zimie w Europie wzdłuż równoleżników  
 Fig. 9. Spectrum of the latitudinal of air temperature in winter in Europe (1960-1990)

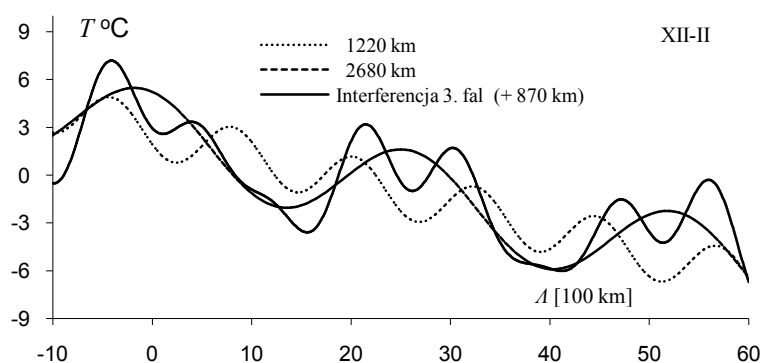
**Tabela 5.** Cykle zmian równoleżnikowych temperatury powietrza w zimie w Europie (1960-1990)  
**Table 5.** The cycles of the latitudinal changes of air temperature in winter in Europe (1960-1990)

$\Theta$ km	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
870	1,198910	-1,34645	48,381	0,127323	5,7509
1220	1,483423	-2,60995	46,910	0,214762	16,8752
2680	2,727748	1,732526	44,012	0,324116	40,9665

. Interferencję tych fal równoleżnikowych temperatury powietrza  $T=f(\Lambda)$  przedstawiono na rys. 10:

$$T = f(\Lambda) = 2,189958 - 0,12545 \Lambda + 1,198910 \sin\left(\frac{2\pi}{870} \Lambda - 1,34645\right) + 1,483423 \sin\left(\frac{2\pi}{1220} \Lambda - 2,60995\right) + 2,727748 \sin\left(\frac{2\pi}{2650} \Lambda + 1,732526\right)$$

Są to wykresy 2 fal termicznych wzdłuż równoleżników:  $\Theta_2 = 1220$  km i  $\Theta_3 = 2680$  km) oraz interferencja (wypadkowa) 3 fal – z  $\Theta_1 = 870$  km).



**Rys. 10.** Profil równoleżnikowy temperatury powietrza w zimie w Europie (interferencja fal termicznych :  $\Theta_1 = 870$  km ,  $\Theta_2 = 1220$  km,  $\Theta_3 = 2680$  km)

**Fig. 10.** Profile of the latitudinal of air temperature in winter in Europe (interference of waves of  $\Theta_1 = 870$  km ,  $\Theta_2 = 1220$  km,  $\Theta_3 = 2680$  km)

## 5.2. Weryfikacja prognoz zmian klimatu Europy w XXI wieku

Próby opracowania prognoz zmian temperatury w nadchodzących latach były podejmowane kilkakrotnie w Zakładzie Klimatologii UW przez zespół pod kierownictwem J. Boryczki i M. Stopy-Boryczki w latach 1984-2015. Upływający czas i wydłużanie się serii pomiarowych temperatury stwarzają możliwość dokonania weryfikacji opracowanych wcześniej prognoz. Ewentualne potwierdzenie ich prawidłowości umożliwi opracowanie prognoz temperatury powietrza na następne lata, co jest szczególnie istotne w okresie powszechnie obserwowanego ocieplenia klimatu.

W prognozach ważne jest wyznaczenie wypadkowej  $f(t)$  interferencji  $k$  najistotniejszych statystycznie („najsilniejszych”) cykli o okresie  $\Theta_j$ , amplitudzie  $b_j$  i fazie  $c_j$  ze składnikiem liniowym  $at$ :

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

**Przykład 1. Prognozy zmian temperatury powietrza na lata 1980-2100 według modelu rekonstrukcyjno-prognostycznego z 1984 r. (lipiec)**

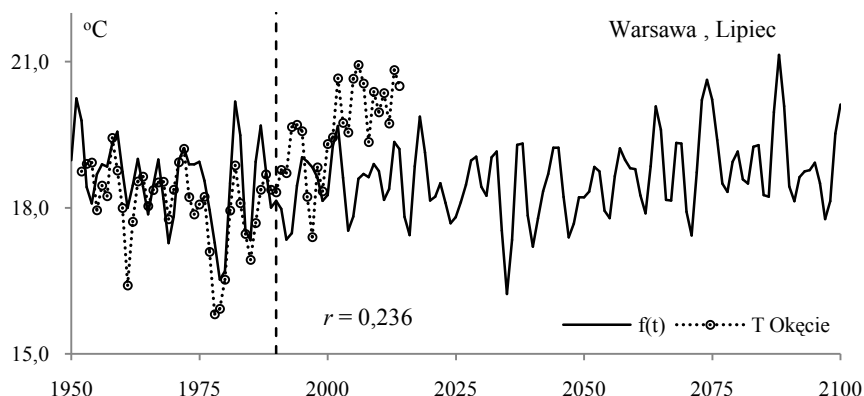
Prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie na lata 1980-2100 po raz pierwszy opracowano na podstawie danych z lat 1779-1979 (Obserwatorium Astronomiczne), posługując się tzw. modelem rekonstrukcyjno-prognostycznym (Boryczka 1984, s. 165, wzór 133).

$$y = f(t) = 7.467 + 11.45 \sin(2\pi t - 2.1290) + 0.1552 \sin(2\pi t / 11.2 + 0.791) + 0.1057 \sin(2\pi t / 22 + 1.557) + 0.08462 \sin(2\pi t / 18.6 - 0.8183) + 0.1203 \sin(2\pi t / 90 + 2.531) + 0.5211 \sin(2\pi t / 220 - 2.913) + 0.1429 \sin(6.568784t + 2.013) + 0.07714 \sin(5.997586t - 0.6456) + 0.1019 \sin(6.352998t - 1.830) + 0.1101 \sin(6.213372t + 2.820) + 0.3219 \sin(6.311745t + 2.830) + 0.2629 \sin(6.254625t - 1.178)$$

W modelu rekonstrukcyjno-prognostycznym, opisującym przebieg roczny temperatury powietrza w Warszawie (jednocześnie we wszystkich miesiącach) uwzględnia się interferencję 6 cykli:  $\Theta_1 = 1$  rok,  $\Theta_2 = 11,2$ ,  $\Theta_3 = 22$ ,  $\Theta_4 = 18,6$ ,  $\Theta_5 = 90$  i  $\Theta_6 = 220$  lat oraz dodatkowo modulację cyklu rocznego  $\Theta_1 = 1$  przez cykle dłuższe 22, 90 i 220 lat. Modulację amplitudy  $b_1$  i fazy  $c_1$  cyklu rocznego o częstości  $\Omega_1 = 2\pi$  przez cykl o częstości mniejszej  $\Omega = \frac{2\pi}{\Theta}$  określa suma dwóch sinusoid regresji o częstościach  $\Omega_1 + \Omega$  i  $\Omega_1 - \Omega$  (z wzorów Eulera).

Model rekonstrukcyjno-prognostyczny, otrzymany na podstawie średnich miesięcznych wartości ( $\Delta t = 0,0833$ ) temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1979, cechuje się dużym współczynnikiem determinacji  $R^2 = 0,929$  oraz małym błędem standardowym  $\delta = 2,255$  °C ( $n = 2400$ ) i statystyką Fishera-Snedecora  $F_{\text{obl}} = 1298$  o 24 i 2387 stopniach swobody (dla poziomu istotności 0,01,  $F_{\text{kr}} = 2,18$ ). Z modelu  $y = f(t)$  można obliczyć wartości temperatury powietrza w kolejnych miesiącach, wstawiając odpowiedni czas  $t$ , np. styczeń –  $t + 0,0833$ , lipiec –  $t + 0,5833$ , średnia roczna –  $t + \frac{c_1}{2\pi} = t + 0,3388$ , gdzie  $t = 0$  to rok 1778.

Weryfikując ten model, porównano 36-letnią serię (1980-2015) wyników pomiarów temperatury powietrza w lipcu ( $T$  – średnich konsekwentnych 3-letnich) w Warszawie (Okęcie) z obliczonymi wartościami  $f(t)$ , prognozowanymi na lata 1980-22100 (rys. 11).



**Rys. 11.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Warszawie (Okęcie, 1951-2015);  $T$  – średnie konsekwentne 3-letnie,  $f(t)$  – wartości obliczone wg wzoru (Observatorium Astronomiczne, 1779-1979, z prognozą na lata 1980-2100

**Fig. 11.** Changes of mean air temperature in July in Warsaw (Okęcie, 1951-2015);  $T$  – 3-year moving average,  $f(t)$  – values calculated after formula (Astronomical Observatory, 1779-1979), with a forecast for the years 1980-2100

### Przykład 2. Weryfikacja prognoz temperatury powietrza w Warszawie na lata 1991-2100 z 2000 r. (styczeń)

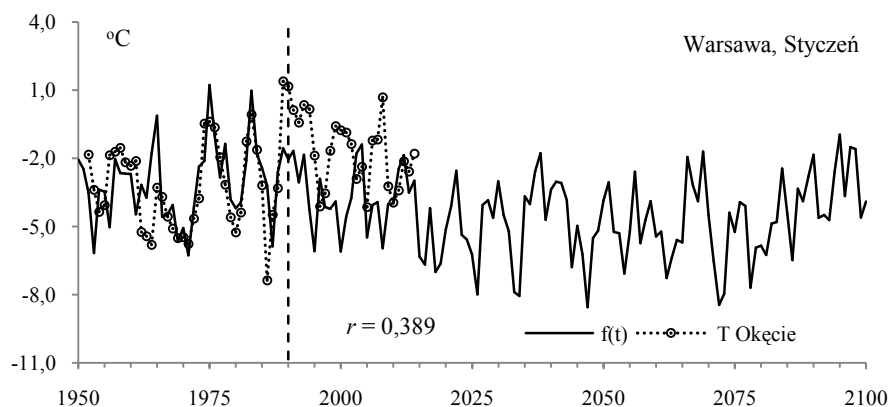
Najbardziej wiarygodne są prognozy tendencji temperatury powietrza w Warszawie na lata 1991-2100 opracowane na podstawie danych z Obserwatorium Astronomicznego z lat 1779-1990 (Boryczka i in., 2000, styczeń – s. 110, zima – s. 117). Dla przykładu porównano średnie wartości temperatury powietrza w styczniu i w zimie według pomiarów w Warszawie (Okęcie) z lat 1951-2015 z prognozowanymi na lata 1991-2100.

W styczniu funkcja trendu czasowego  $T = f(t)$  bez składnika liniowego ( $at = 0$ ) jest superpozycją 12 cykli obecnych w widmie oscylacji temperatury (Observatorium Astronomiczne), w tym najdłuższych okresów 122,7 i 204,7 lat:

$$\begin{aligned}
 T = f(t) = & -3,734 + 1,016 \sin(2\pi t / 2,6 + 2,426) + 0,6558 \sin(2\pi t / 3,5 - 0,6561) + 0,6535 \sin(2\pi t / 4,8 + 2,718) + \\
 & + 0,7148 \sin(2\pi t / 6,6 + 0,6532) + 0,8569 \sin(2\pi t / 7,7 - 1,821) + 1,056 \sin(2\pi t / 9,3 + 0,7635) + \\
 & + 0,5900 \sin(2\pi t / 13,0 + 0,5444) + 0,5849 \sin(2\pi t / 15,4 + 1,928) + 0,5959 \sin(2\pi t / 27,5 - 1,162) + \\
 & + 0,5427 \sin(2\pi t / 62,5 - 0,2586) + 0,5881 \sin(2\pi t / 122,7 + 2,761) + 1,166 \sin(2\pi t / 204,7 + 3,00)
 \end{aligned}$$

Zgodność wyników pomiarów temperatury powietrza w Warszawie w styczniu z prognozami na lata 1991-2015 według modelu  $T = f(t)$  bez składnika liniowego ( $at = 0$ ) jest na ogół dobra. Świadczą o tym synchroniczne wahania zmierzonych wartości temperatury powietrza ( $T_3$ ) na Okęciu i prognozowanych  $f(t)$  (rys. 12).





**Rys. 12.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Warszawie (Okęcie, 1951-2015);  $T$  – średnie konsekwtywne 3-letnie,  $f(t)$  – wartości obliczone wg wzoru (Observatorium Astronomiczne, 1779-1990), z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 12.** Changes of mean air temperature in January in Warsaw (Okęcie, 1951-2015);  $T$  – 3-year moving average,  $f(t)$  – calculated values after formula (Astronomical Observatory, 1779-1990), with forecast for the years 1991-2100

Potwierdzeniem tej oceny jest dość duży współczynnik korelacji  $r = 0,389$  między zmierzonymi średnimi ruchomymi 3-letnimi ( $T$ ) i prognozowanymi  $f(t)$ , który jest większy od wartości krytycznej  $r_{0,05} = 0,381$  na poziomie  $0,05$  ( $n = 25$ ).

Jednym z przykładów zastosowania metody J. Boryczki (1993) „sinusoid regresji” do wykrywania okresowości i wyznaczania trendów czasowych przez innych autorów 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).* Możliwości 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 określenia błędu standardowego

### Przykład 3. Weryfikacja prognoz temperatury powietrza w Warszawie na lata 1991-2100 z 2000 r. (zima)

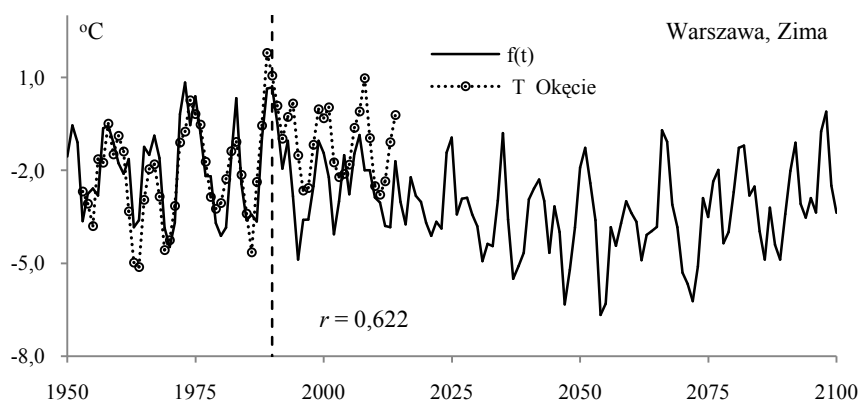
W zimie funkcja trendu czasowego  $T = f(t)$  bez składnika liniowego ( $at = 0$ ) jest superpozycją 12 cykli obecnych w widmie oscylacji temperatury (Observatorium Astronomiczne):

$$\begin{aligned}
 T = f(t) = & -2,634 + \\
 & +0,5148\sin(2\pi t/2,6-1,327) + 0,5715\sin(2\pi t/3,5+0,5523) + 0,6238\sin(2\pi t/5,2+0,05656) + \\
 & +0,4422\sin(2\pi t/5,7+2,486) + 0,7067\sin(2\pi t/7,7-0,7303) + 0,7836\sin(2\pi t/8,3-2,370) + \\
 & +0,4829\sin(2\pi t/8,7-0,3237) + 0,4078\sin(2\pi t/12,9+0,1328) + 0,4560\sin(2\pi t/15,2+2,318) + \\
 & +0,4940\sin(2\pi t/18,0-3,058) + 0,36459\sin(2\pi t/113,1+2,040) + 0,8946\sin(2\pi t/218,3+3,073)
 \end{aligned}$$

Wypadkową  $T=f(t)$  interferencji tych cykli temperatury powietrza w Warszawie w odniesieniu do wyników pomiarów ( $T$ ) w latach 1779-1990 przedstawiono na rys. 3

Coraz cieplejsze zimy w Warszawie (o  $1,04^{\circ}\text{C}/100$  lat w latach 1779-1990 są efektem nałożenia się 12 okresów o długości: 2,6, 3,5, 5,2, 5,7, 7,7, 8,3, 8,7, 12,9, 15,2, 18,0, 113,1, i 218,3 lat:

Na ogół synchroniczne są wahania średnich konsekwentnych 3-letnich zmierzonych wartości temperatury powietrza w Warszawie (Okęcie) w 25-leciu 1991-2015 w zimie (XII-II) z prognozowanymi według interferencji tych cykli, z równań  $f(t)$ . Współczynnik korelacji  $r = 0,622$  między średnimi konsekwentnymi 3-letnimi wartościami  $T$  i prognozowanymi  $f(t)$  jest istotny na poziomie 0,05 (rys. 12).



**Rys. 13.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Warszawie (Okęcie, 1951-2015);  $T$  – średnie konsekwentne 3-letnie,  $f(t)$  – wartości obliczone (Observatorium Astronomiczne, 1779-1990), z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 13.** Changes of mean air temperature in winter in Warsaw (Okęcie, 1951-201);  $T$  – 3-year moving average,  $f(t)$  – calculated values (Astronomical Observatory, 1779-1990), with forecast for the years 1991-2100

#### **Przykład 4. Prognozy zmian temperatury w Berlinie na lata 1991-2100 z 2003 r. (zima)**

Najpierw zweryfikowano prognozy temperatury powietrza w Berlinie w zimie (XII-II) w latach 1974-2100 (Boryczka i in., 2003, s. 54).

Prognozy temperatury powietrza w Berlinie w zimie otrzymano według interferencji cykli o okresach  $\theta$ , amplitudach  $b$  i fazach  $c$  (tab. 6).

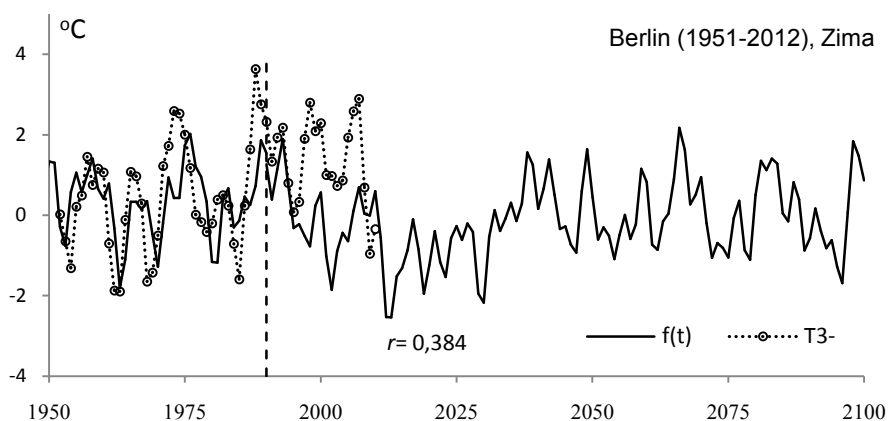
Prognozy temperatury powietrza w zimie i w lecie zweryfikowano na podstawie średnich wartości zmierzonych w Berlinie (Dahlem) w latach 1951-2012. O dość dobrej zgodności wyników pomiarów (średnich konsekwentnych 3-letnich ( $T_3$ )) z prognozowaną temperaturą powietrza  $f(t)$  w zimie z wyprzedzeniem 22 lat (1991-2012) świadczą synchroniczne wahania (koicydencja ekstremów) (rys. 14).

**Tabela 6.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Berlinie w zimie (1769-1990)

**Table 6.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Winter in Berlin (1769-1990)

Berlin (1769-1990), zima		
$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$
3,5	0,566	-0,909
5,5	0,490	-1,612
8,3	0,517	1,753
10,2	0,315	2,725
15,4	0,502	-0,284
18,3	0,299	2,962
22,5	0,271	-2,726
26,7	0,168	-0,117
32,0	0,071	2,753
41,1	0,331	-1,813
66,3	0,459	1,959
212,8	0,556	1,648

Współczynnik korelacji  $r = 0,384$  wartości zmierzonych  $T_3$  i prognozowanych  $f(t)$  jest istotny na poziomie 0,1 ( $r_{0,1} = 0,360$ ) i jest zbliżony do  $r_{0,05} = 0,423$ .



**Rys. 14.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Berlinie (1951-2012);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie,  $f(t)$  – wartości obliczone (1769-1990), z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 14.** Changes of mean air temperature in winter in Berlin (1951-2012);  $T_3$  – measured values, 3-year moving averages,  $f(t)$  – calculated values (1769-1990), with forecasts for the years 1991-2100

**Przykład 5. Prognozy zmian temperatury w Moskwie na lata 2003-2100 z 2005 i 2007 r. (styczeń).**

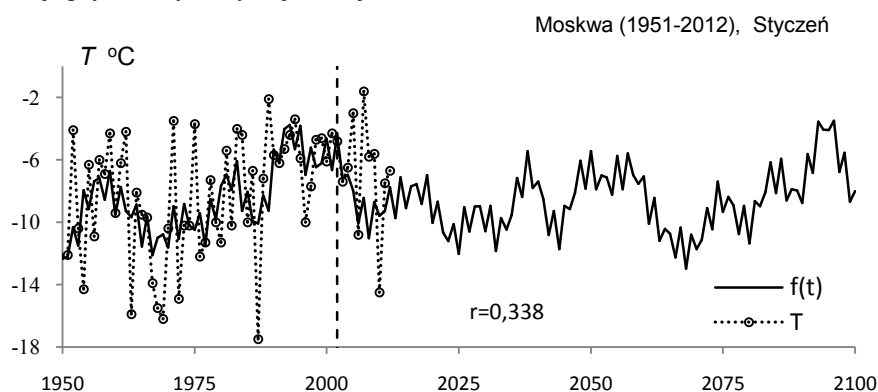
Poddano też weryfikacji prognozy średniej miesięcznej temperatury powietrza w styczniu w Moskwie na lata 2003-2100: (Boryczka i in., 2005, s. 69 – rys. 4.18a, s. 109 – rys. 4.58)

Temperaturę powietrza w Moskwie prognozowano na podstawie interferencji cykli o okresach  $\Theta$ , amplitudach  $b$  i fazach  $c$ ,  $f(t)$  – ze składnikiem liniowym  $at \neq 0$  (tab. 7, rys. 15).

**Tabela 7.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Moskwie (1780-2002)  
**Table 7.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Moscow (1780-2002)

Moskwa (1780-2002)		
$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$
2,4	1,2791	0,2538
9,3	0,7953	0,4555
11,4	0,8650	2,8932
19,5	1,0882	-1,0722
31,9	0,7486	-1,1346
45,5	1,0042	1,6836
59,9	0,8813	0,2365
85,4	0,4547	-1,1146
136,9	0,8426	-1,9512

O poprawności prognoz temperatury powietrza w Moskwie świadczą przede wszystkim synchroniczne wahania (koincydencja ekstremów – minimów i maksimów) w przebiegu wieloletnim (2003-2012) średniej miesięcznej wartości temperatury w styczniu i średniej rocznej ( $T$ ) w odniesieniu do wartości prognozowanych  $f(t)$ . Ze względu na małą liczbę przypadków  $n = 10$  nie można ocenić istotności statystycznej współczynnika korelacji  $r = 0,338$ . Traci też sens obliczanie średniej konsekwentnej 3-letniej, gdyż wtedy otrzymuje się ujemną wartość  $r$ .



**Rys. 15.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Moskwie (1951-2012);  $T$  – wartości zmierzony,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 15.** Changes of mean air temperature in January in Moscow (1951-2012);  $T$  – measured values,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100

**Przykład 6. Prognozy zmian temperatury w Rzymie na lata 1992-2100 z 2005 r. (lipiec)**

Najpierw zweryfikowano prognozy temperatury powietrza w w lipcu ( Boryczka i in., 2005, s. 77, rys. 4.26 b, s. 116, rys. 4.65 b).

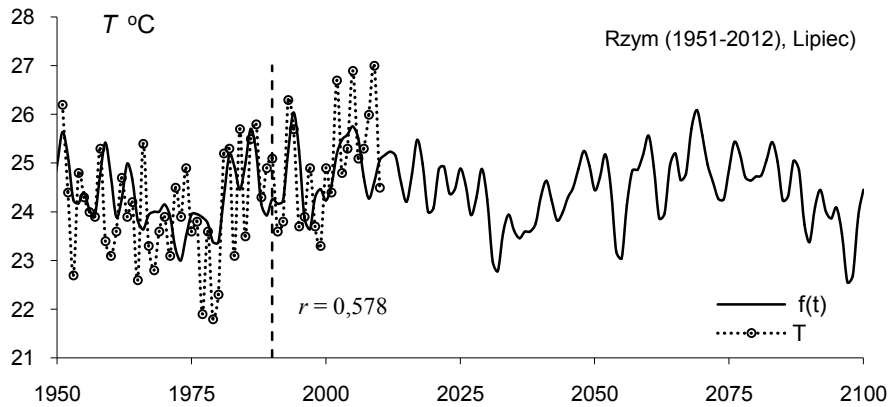
Temperaturę powietrza w Rzymie w latach 1992-2100 prognozowano na podstawie interferencji cykli o okresach  $\Theta$ , amplitudach  $b$  i fazach  $c$  (tab. 8

**Tabela 8.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Rzymie (1811-1991)  
**Table 8.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Rome (1811-1991)

Rzym (1811-1991), lipiec		
$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$
3,9	0,329	-0,347
4,4	0,234	-0,410
5,9	0,374	2,373
8,2	0,212	0,553
9,2	0,285	3,048
10,9	0,298	2,073
20,2	0,288	-0,104
30,7	0,229	-2,755
64,1	0,540	-0,170

**Prognozy te zweryfikowano na podstawie średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza zmierzonych w latach 1951-2012.**

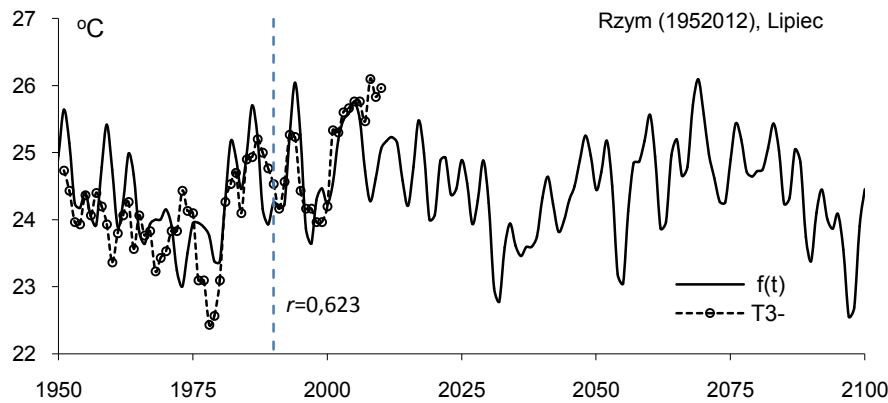
Wahania zmierzonych średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w lipcu ( $T$ ) i prognozowanych  $f(t)$  z wyprzedzeniem 23 lat (1990-2012) są na ogół zbieżne w czasie. Współczynnik korelacji  $r = 0,578$  wartości zmierzonych  $T$  i prognozowanych  $f(t)$  jest większy od wartości krytycznej  $r_{0,01} = 0,537$  na poziomie 0,01 (rys. 16).



**Rys. 16.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Rzymie (1951-2012);  $T$  – wartości zmierzone,  $f(t)$  – wartości obliczone (1811-1991), z prognozą na lata 1992-2100

**Fig. 16.** Changes of mean air temperature in July in Rome (1951-2012);  $T$  – measured values,  $f(t)$  – calculated values (1811-1991), with forecasts for the years 1992-2100

Jeszcze lepsza jest zbieżność ekstremów średnich konsekwentnych 3-letnich wartości temperatury powietrza w lipcu w Rzymie w latach 1990-2012 i prognozowanych  $f(t)$ . Współczynnik korelacji między  $T_3$  i  $f(t)$  wynosi  $r = 0,623$  i jest istotny prawie na poziomie 0,001 ( $r_{0,001} = 0,640$  (rys. 17)).



Rys. 17. Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Rzymie w lipcu (1951-2012);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie,  $f(t)$  – wartości obliczone (1811-1991), z prognozą na lata 1992-2100

Fig. 17. Changes of air temperature in Rome in July (1951-2012)  $T_3$  – measured values, 3-year moving average  $f(t)$  – calculated values (1811-1991), with forecasts for the years 1992-2100

### 5. 3. Rekonstrukcja i prognozy temperatury powietrza w tysiącleciu 1500-2500

#### Przykład 1. Rekonstrukcje i nowe prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie w zimie w latach 1500-2500

Utworzono nową serię średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza o liczebności  $n = 237$  lat, łącząc dane z lat 1779-1998 (Warszawa-Observatorium, seria homogeniczna, H. Lorenc) i 1999-2015 (Warszawa-Okęcie).

Rekonstrukcje i prognozy opracowano dla poszczególnych miesięcy, pór roku i roku na podstawie wyników pomiarów : w Warszawie – z lat 1779-2015

Uwzględniono okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza gdzie  $\epsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora.

Rekonstrukcje i prognozy otrzymano według interferencji  $k$  najistotniejszych statystycznie („najsilniejszych”):

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

Rekonstrukcje i prognozy zmian temperatury powietrza w latach 1500-2500 przeprowadzono według dwóch rodzajów wypadkowych interferencji cykli :

1. ze składnikiem liniowym  $F(t) = a_0 + at + \dots$  (rys. 19)
2. bez składnika liniowego –  $f(t)$ , ( $at=0$ ) (rys. 20)

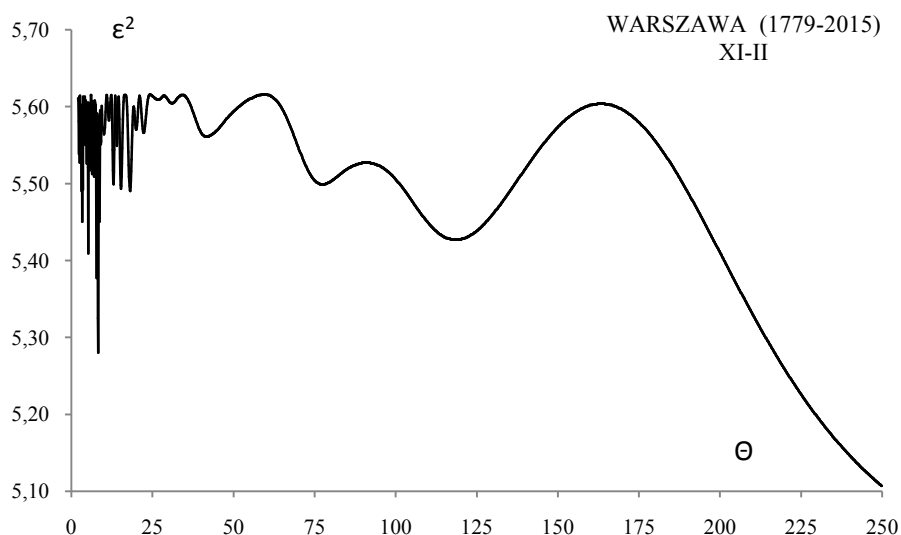
Okresy  $\Theta$  – to minima lokalne zamieszczonego widma temperatury powietrza w przedziale  $2.1 \leq \Theta \leq 250$  lat z odstępem  $\Theta$  co  $0,1$  roku (rys. 18). Na ogół, spadki wariancji resztkowej  $\epsilon^2$  przy  $\Theta \rightarrow 250$  lat świadczą, że istnieją cykle długie, które nie

są obecne w widmach temperatury, lecz występują w widmach danych dendrologicznych. Dlatego też w prognozach uwzględniono dodatkowo cykl 178.9 lat (astronomiczny) (tab. 9).

**Tabela 9.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie w zimie w latach 1779-2015 ( $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$ - współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

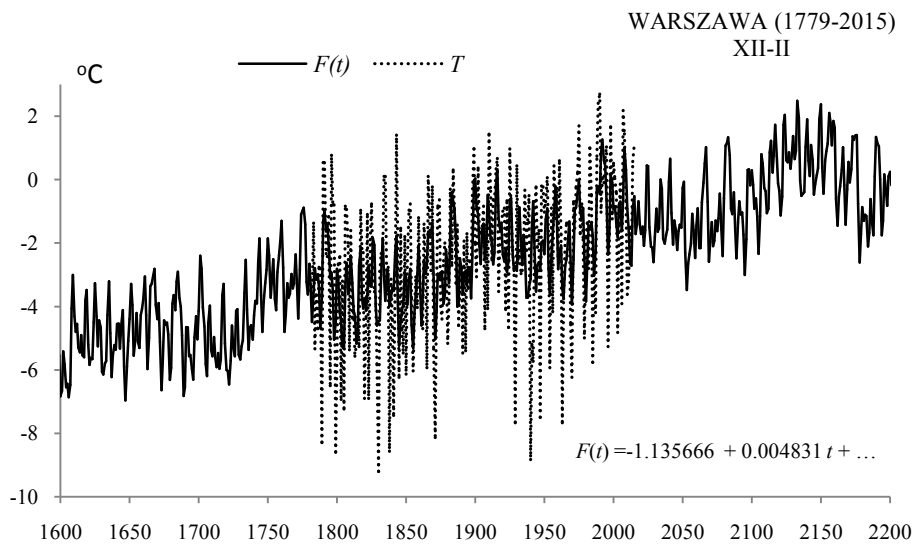
**Table 9.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in winter in n years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = -1.135666 + 0.004831 t + \dots$ $R=0.546270$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
3,3	0,572119	-1,333062	5,450	0,172	3,629
5,2	0,632682	-0,658662	5,409	0,192	4,555
8,3	0,830451	1,932767	5,280	0,245	7,561
15,3	0,463434	0,873822	5,493	0,149	2,673
18,1	0,421194	1,416745	5,490	0,150	2,739
22,3	0,306717	-1,492471	5,566	0,095	1,084
41,6	0,313256	1,783268	5,561	0,100	1,191
77,4	0,285585	-3,046547	5,499	0,145	2,541
118,5	0,532814	1,734579	5,427	0,184	4,147
178,9	0,290397	2,146905	5,561	0,100	1,191

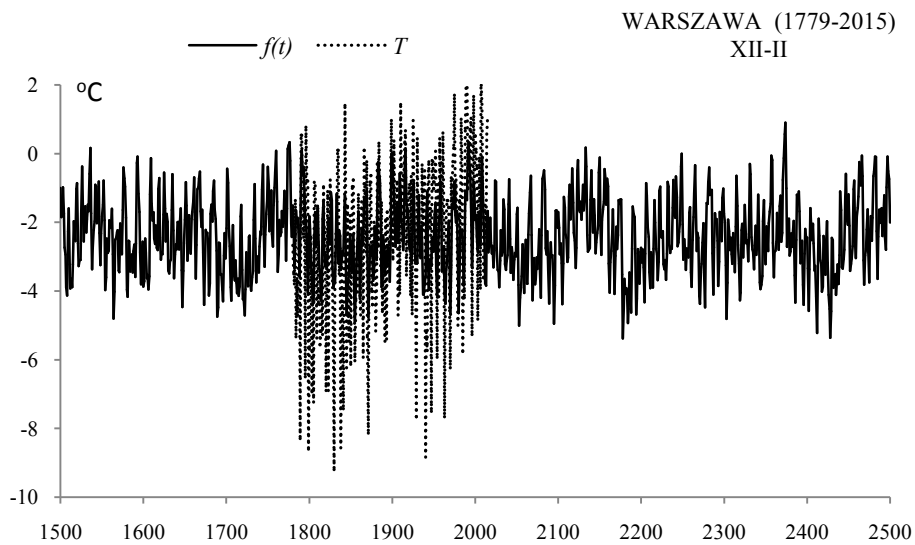


**Rys. 18.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w zimie w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**Fig. 18.** Spectrum of air temperature in Warsaw in winter in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)



**Rys. 19.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w zimie w latach 1600-2200,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2200);  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015).  
**Fig. 19.** Air temperature changes in Warsaw in Winter in the years 1600-2200.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2200);  $T$  – values measured (1779-2015)



**Rys. 20.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w zimie w latach 1500-2500,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2500);  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015).  
**Fig. 20.** Air temperature changes in Warsaw in Winter in the years 1500-2500.  $f(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2500);  $T$  – values measured (1779-2015)



## VI. METODY BADAŃ ASTRONOMICZNYCH PRZYCZYN ZMIAN KLIMATU ZIEMI

### 6.1. Wyznaczenie sum dobowych promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^\circ$ N według zmian eliptycznej orbity Ziemi

W celu określenia przyczyn wahań klimatu Ziemi obliczono dobowe sumy promieniowania słonecznego  $I$  ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ) w lecie (VI-VIII) i w miesiącach marzec-wrzesień (III-IX) na górnej granicy atmosfery, wzdłuż równoleżnika  $\varphi = 65^\circ$  N.

W miejscu o szerokości geograficznej  $\varphi$  w czasie lokalnym  $t$  (kąt godzinny) na  $1 \text{ m}^2$  płaszczyzny horyzontalnej (poza atmosferą) pada ilość energii, określona wzorem (1).

$$I_0 = s \sin h = s (\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t) \quad (1)$$

gdzie  $s = 1354 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  – tzw. stała słoneczna, tj. przy średniej odległości Ziemi od Słońca,  $\delta$  – deklinacja Słońca.

Dobowa suma energii słonecznej ( $I_D$ ) padająca na  $1 \text{ m}^2$  powierzchni horyzontalnej poza atmosferą można obliczyć z wzoru (2).

$$I_D = \frac{86400}{\pi} s (D \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos D) \quad (2)$$

gdzie  $D$  – czas połowy dnia (od wschodu  $t_E = -D$  do górowania, lub od górowania  $t = 0$  do zachodu  $t_W = D$ ), wyrażony w radianach.

Jeżeli stałą słoneczną  $s$  (strumień energii słonecznej przy średniej odległości Ziemi od Słońca  $r$ ) wyrażamy w jednostkach:  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ , to obliczone wartości sum dobowych energii słonecznej będą wyrażone w:  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$ .

Długość połowy dnia  $D$  określa czas lokalny wschodu  $t_E = -D$  lub zachodu  $t_W = D$  Słońca, znajdującego się w płaszczyźnie horyzontu  $h = 0$ , wtedy z wzoru (3).

$$\cos D = -\text{tg} \varphi \text{tg} \delta. \quad (3)$$

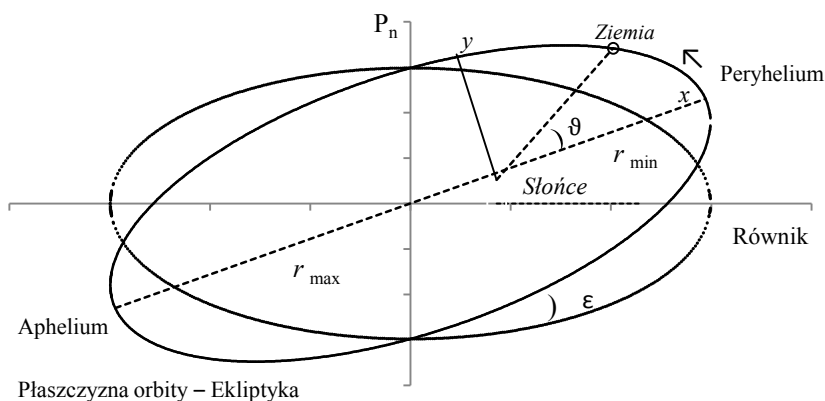
Efektom okresowych zmian mimośrod ( $e$ ) orbity Ziemi (co 100 000 lat) w przedziale 0-0,066 są zmiany stałej słonecznej ( $s$ ).

Równanie orbity eliptycznej Ziemi (krzywej stożkowej) we współrzędnych biegunowych ma postać (4).

$$r = \frac{b^2}{a(1+e \cos \vartheta)} \quad (4)$$

gdzie:  $a = 149\,598\,000 \text{ km}$  – duża półoś,  $b$  – mała półoś.

Ruch Ziemi po orbicie eliptycznej wokół Słońca (położonego w jednym z ognisk elipsy) przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Orbita Ziemi  
Fig. 1. The orbits of Earth

Okresy zbliżone, tj. 23 000, 42 000 i 100 000 lat, wykryto wcześniej w zmianach izotopu tlenu  $^{18}\text{O}$  zawartego w węglanach wapnia osadów głębokomorskich ( Hays i in. 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).

Najkrótsza ( $r_{\min}$  – peryhelium,  $\vartheta = 0$ ) i najdłuższa ( $r_{\max}$  – aphelium,  $\vartheta = \pi$ ) odległość Ziemi od Słońca wynoszą:

$$r_{\min} = (1 - e) a, \quad r_{\max} = (1 + e) a \quad (5)$$

Wartości stałej słonecznej  $s$  (6), wyrażone w  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ , przy wartościach mimośrodu:  $e = 0$ ,  $e = 0,017$  (stan obecny),  $e = 0,066$  obliczone z tych wzorów zestawiono w tab. 1.

$$s = \bar{s} \left( \frac{\bar{r}}{r} \right)^2 \quad (6)$$

gdzie:  $a = 149\,598\,000$  km,  $\bar{r}$  – średnia odległość Ziemi od Słońca (obecna),  $\bar{s} = 1354$   $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Przy obecnej ekscentryczności orbity Ziemi  $e = 0,017$  wartość stałej słonecznej zmienia się w ciągu roku o 6,57% (od  $s = 1309$   $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  – aphelium do  $s = 1401$   $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  - w peryhelium). Przy bardziej spłaszczonej orbicie ( $e = 0,066$ ) stała słoneczna w ciągu roku zmienia się od 1191  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  do 1552  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ , czyli o 23,3% – w wyniku zmiany odległości Ziemi od Słońca o 19 746 000 km (tab.1).

**Tabela 1.** Ekstremalne odległości Ziemi od Słońca ( $r_{\min}$  – peryhelium,  $r_{\max}$  – aphelium) i wartości stałej słonecznej ( $S$ ) przy różnych wartościach mimośrodu orbity Ziemi

**Table 1.** Extremum distances of the Earth from the sun ( $r_{\min}$  – petihelium,  $r_{\max}$  – aphelium) and the values of the solar constant ( $S$ ) for various values of the eccentricity ( $e$ ) of the Earth's orbit

Mimośród	Odległość od Słońca, km		Stała słoneczna, $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	
	$r_{\min}$	$r_{\max}$	$S_{\max}$	$S_{\min}$
0	149 598 000	149 598 000	1354	1354
0,017	147 055 000	152 141 000	1401	1309
0,066	139 725 000	159 471 000	1552	1191

Zmienia się więc ilość promieniowania krótkofalowego padającego na płaszczyznę poziomą (równoległą do płaszczyzny horyzontalnej) poza atmosferą – jego rozkład na Ziemi.

Należy zauważyć, że zmiany wielowiekowe kąta nachylenia płaszczyzny ekliptyki do równika ( $\varepsilon$ ), które opisane są wzorami: 1. – J. Witkowski (1953) i 2. – Astronomi-czeskiej Eziegodnik (1991):

$$\varepsilon = 23^{\circ}27'8''{,}28 - 0''{,}46844 t - 0''{,}0000006 t^2 \quad (7a)$$

$$\varepsilon = 23^{\circ}{,}452294 - 0^{\circ}{,}013125 t - 0^{\circ}{,}0000164 t^2 - 0^{\circ}{,}000000503 t^3 \quad (7b)$$

w których czas liczony jest inaczej: w 1. – w latach i 2. – w setkach lat ( $t = 0$  to rok 1950,0).

Wzór 1. po zamianie sekund na stopnie i wyrażeniu czasu w setkach lat, przyjmuje zbliżoną postać do wzoru 8.:

$$1. \quad \varepsilon = 23^{\circ}{,}4523 - 0^{\circ}{,}01301 t - 0^{\circ}{,}00000166 t^2 \quad (8)$$

Kąt nachylenia ekliptyki  $\varepsilon$  zmniejsza się od wielu tysięcy lat (potwierdzają to dawne obserwacje) i będzie nadal malał w ciągu najbliższych tysięcy lat. Z analiz teoretycznych wynika, że zmiany  $\varepsilon$  w czasie są okresowe - o bardzo dużym okresie.

Mimośród orbity Ziemi także maleje i osiągnie wartość najmniejszą  $e = 0$  po upływie 23 500 lat.

Najkrótsza odległość Ziemi od Słońca (perihelium) przypada obecnie na zimę (2 styczeń), a za 10 500 lat (połowa okresu 21 000 lat) przypadać będzie na lato.

Zmiany długości ekliptycznej perihelium Ziemi ( $\Omega$ ) można też zapisać (9).

$$\Omega = 101^{\circ}{,}220833 + 1{,}719175 t + 0{,}0004527 t^2 + 0{,}0000033 t^3 \quad (9)$$

gdzie jednostką czasu jest wiek juliański (100 lat = 36 525 dni).

Współrzędne ekliptyczne Ziemi ( $x, y, z$ ) wyznaczono, korzystając z wielomianów przedstawiających zmiany elementów orbity Ziemi:  $a$  – duża półoś elipsy,  $e$  – mimo-śród,  $i$  – nachylenie płaszczyzny orbity do płaszczyzny ekliptyki,  $\Omega$  – długość ekliptyczna perihelium,  $\omega$  – długość ekliptyczna węzła wstępującego planety,  $L$  – długość ekliptyczna planety (rys. 6) ( Reznikov, 1982).

W obliczeniach sum promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^{\circ}$  przyjęto zakres zmian i długości cykli: mimośrodu orbity Ziemi ( $0 \leq e \leq 0{,}066$ ) – 100 000 lat, nachylenia osi Ziemi do płaszczyzny ekliptyki ( $21^{\circ}58' \leq \varepsilon \leq 24^{\circ}36'$ ) – 40 000 lat oraz długości ekliptycznej perihelium względem punktu równonocy wiosennej ( $\Omega$ ) – 21 000 lat.

Obliczenia sum promieniowania słonecznego w poszczególnych miesiącach w przedziale czasu  $-10\ 000 < t < 10\ 000$  z odstępem 5 ( 500 lat, jednostką czasu  $t$  jest 100 lat) wykonano z zastosowaniem programu Excel 2007 korzystając z wzorów (10-14).

$$\delta = 23{,}28335 + 1{,}31665 \sin(3{,}02667 + 2\pi t/400) \quad (10)$$

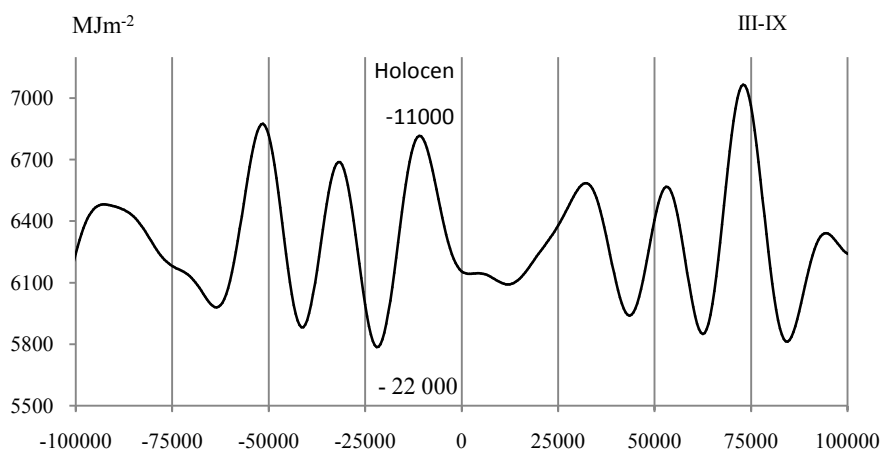
$$e = 0{,}033 + 0{,}033 \sin(3{,}65646 + 2\pi t/1000) \quad (11)$$

$$I_D = \frac{86400}{\pi} s(D \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos D), \quad \cos D = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta \quad (12)$$

$$r = 10^{-6} \cdot 149598000 (1 - e^2)(1 + e \cos(3{,}6652 + 2\pi t/210))^{-1} \quad (13)$$

$$I = I_0 (149{,}598 / r)^2 \quad (14)$$

Zmiany sum promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^{\circ}$  w okresie marzec-wrzesień (III-IX) w przedziale czasu  $-100\ 000 \leq t \leq 100\ 000$  lat przedstawiono na rys. 2.



**Rys. 2.** Zmiany sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich 100 000 lat, z prognozą do 100 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 2.** Changes in the sums of solar radiation in the period March-September at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last 100 000 years, with a forecast up 1 00,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )

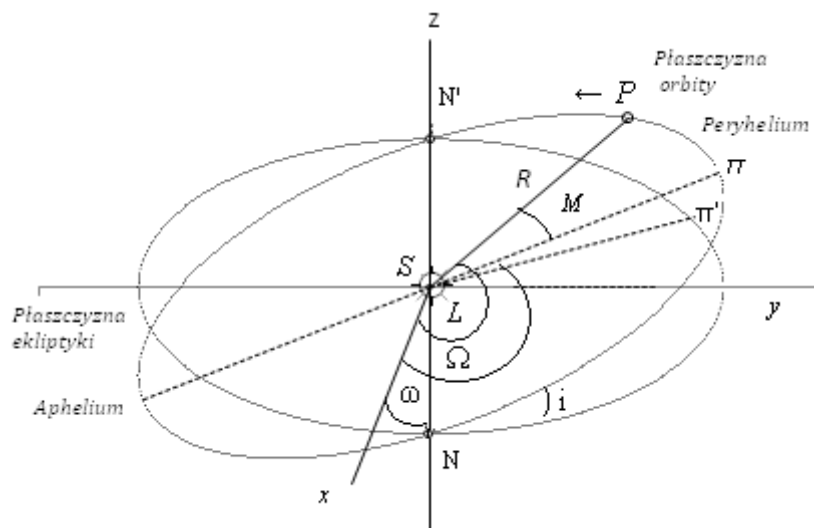
Najkrótsza odległość Ziemi od Słońca przypada na tę samą porę roku co 20 900 lat. Jeżeli Ziemia podczas zimy znajduje się np. w peryhelium orbity (o mimośrodzie 0,066) to wtedy dobowe sumy promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 60^\circ$  maleją o 44,4%, gdy nachylenie ekliptyki do równika rośnie od  $21^\circ 58'$  do  $24^\circ 36'$ .

Ostatnie głębokie minimum sum promieniowania słonecznego (w miesiącach marzec-wrzesień  $5784,871 \text{ MJm}^{-2}$ ) wystąpiło w czasie ostatniego zlodowacenia ( $t_{\min} = -22000$  lat. Natomiast ostatnie lokalne (rozległe) maksimum sum promieniowania słonecznego („o wierzchołku  $t_{\max}, I_{\max}$ ”) określa holocenne ocieplenie klimatu: w okresie III-IX ( $6815,937 \text{ MJm}^{-2}$ ) – przypada na datę -11 000 lat BP.

## 6.2. Wyznaczania parametrów Układu Słonecznego

Istotne znaczenie dla wyjaśnienia przyczyn ochłodzeń i ociepleń klimatu w holocenie ma wykrycie w widmach zmiennych sedymentologicznych takich samych okresów, które są obecne w widmach parametrów Układu słonecznego.

Współrzędne planet wyznaczono przyjmując płaszczyznę orbity Ziemi (płaszczyznę ekliptyki) jako płaszczyznę główną ( $i = 0$ ) ekliptycznego heliocentrycznego układu współrzędnych ( $x, y$ ) (rys. 3).



Rys. 3. Parametry orbity planety (P), π – peryhelium  
 Fig. 3. Parameters of planet's orbit (P), π – peryhelium

Współrzędne orbitalne planet  $x', y'$  określają wzory (15)

$$x' = a(\cos E - e), \quad y' = a\sqrt{1 - e^2} \sin E \quad (15)$$

Anomalię ekscentryczną  $E$  oblicza się w sposób rekurencyjny z równania Keplera:  $E = M + e \sin E$ , przyjmując na początku  $E = M = L - \Omega$  ( $M$  – anomalia średnia).

Natomiast współrzędne heliocentryczne ekliptyczne planet obliczono z wzorów:

$$x = P_x x' + Q_x y', \quad y = P_y x' + Q_y y', \quad z = P_z x' + Q_z y' \quad (16)$$

Cosinusy kierunkowe  $P_x, P_y, P_z$  i  $Q_x, Q_y, Q_z$  z przekształcenia współrzędnych orbitalnych we współrzędne ekliptyczne – z wzorów trygonometrii sferycznej (17)

$$\begin{aligned} P_x &= \cos \Delta\Omega \cos \omega - \sin \Delta\Omega \sin \omega \cdot \cos i, & Q_x &= -\sin \Delta\Omega \cos \omega - \cos \Delta\Omega \sin \omega \cos i, \\ P_y &= \cos \Delta\Omega \sin \omega + \sin \Delta\Omega \cos \omega \cdot \cos i, & Q_y &= -\sin \Delta\Omega \sin \omega + \cos \Delta\Omega \cos \omega \cos i, \\ P_z &= \sin \Delta\Omega \sin i, & Q_z &= \cos \Delta\Omega \sin i \end{aligned} \quad (17)$$

gdzie:  $\Delta\Omega = \Omega - \omega$  – jest kątową odległością peryhelium od węzła wstępującego.

Współrzędne planet wyznaczano w jednostkach astronomicznych z dokładnością 0,00001 AU. Współrzędne planet obliczono z podwojoną precyzją – np.  $\pi = 3,141592653589793$  (anomalię ekscentryczną  $E$  – z dokładnością 0,00001).

W przypadku Ziemi (Boryczka 1998) są to wzory (18)

$$\begin{aligned} L &= 99^\circ 41' 48,04'' + 129602768,13'' t + 1,089'' t^2 \\ \Omega &= 101^\circ 13' 15,0'' + 6189,03'' t + 1,63'' t^2 + 0,012'' t^3 \\ \omega &= 0 \\ i &= 0 \\ \varepsilon &= 0,01675104 - 0,00004180 t + 0,000000126 t^2 \\ a &= 1,00000013 \end{aligned} \quad (18)$$

Są to empiryczne zależności elementów orbit od czasu  $t$  (wielomiany względem czasu  $t$ ). Data 1900 (styczeń 0,5) jest początkiem osi czasu  $t = 0$ , a wiek juliański (100 lat) jednostką czasu –  $t = \frac{1}{365,25} (t_j - 2415020)$ , gdzie  $t_j$  jest aktualną datą juliańską.

W obliczeniach przyjęto miesięczny odstęp czasu  $\Delta t = \frac{1}{1200}$  (miesiąc juliański). i czas  $t = \frac{1}{100} (Data - 1900) + \frac{14,5}{36525}$

Świadczy to, że okresowe zmiany substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego i Jez. Gościąż oraz węglanów wapnia ( $C_aCO_3$ ) i tlenków żelaza ( $Fe_aO_2$ ) w osadach Jez. Gościąż (od 10 000 lat temu) są spowodowane ruchem największych planet wokół Słońca. Podobnie okresy (krótkie) izotopu tlenu  $\delta^{18}O$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon także świadczą o astronomicznych przyczynach holocenijskich wahań klimatu (tab. 2-3).

**Tabela 2.** Okresy  $\Theta$  substancji organicznych (%), węglanów wapnia ( $C_aCO_3$ ) i tlenków żelaza ( $Fe_aO_2$ ) zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego i Jez. Gościąż w ciągu ostatnich 14 000 lat

**Table 2.** Periods  $\Theta$  (express in years) of organic substance (%), calcium carbonate ( $C_aCO_3$ ) and iron oxide content ( $Fe_aO_2$ ) deposited in the sediments of the lake Wikaryjskie, and the lake Gościąż during the last 14,000 years

Jez. Wikaryjskie	Jez. Gościąż		
Substancje organiczne %	Substancje organiczne %	Węglany wapnia $CaCO_3$	Tlenki żelaza $Fe_2O_2$
200	50	180	50
360	210	490	650
610	390	560	1110
890	1120	680	1240
1020	1380	960	1410
1200	1770	1370	1680
1690	2970	1740	1960
2490	3880	2100	2350
3460	6080	3200	3020
6420	12380	4110	4070
		6330	6210
		12540	14250

Jak już wspomniano, o cyklicznych wahań klimatu w holocenie świadczą nie tylko cykle ( $\Theta$ ) substancji organicznych (%), węglanów wapnia ( $C_aCO_3$ ) i tlenków żelaza ( $Fe_aO_2$ ) w osadach jeziornych, lecz także krótkie cykle ( $\Theta$ ) izotopu tlenu  $\delta^{18}O$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon. (od -110 977 lat temu), spośród okresów  $\Theta$ : 4500, 4700, 6200, 7300, 8700, 11300, 16700, 24700, 45900, 58700, 86100, które są zbliżone do cykli parametrów Układu Słonecznego,

Wzięto pod uwagę: siłę grawitacji planet  $G$ , siłę pływową planet na Słońcu  $\Delta G$ , moment pędu planet  $J$  i  $\cos\Gamma$  (kąt między promieniami wodzącymi środka masy  $\vec{s}$  i środka geometrycznego  $\vec{S}$  Układu Słonecznego) według definicji:

– Siła wypadkowa grawitacji planet ( $G = |\vec{G}|$ ,  $[G] = AU^{-2}$ )

$$\vec{G} = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{r_i^3} \vec{r}_i \quad (19)$$

– Siła pływowa planet na Słońcu  $\Delta G$  ( $[\Delta G] = 10^{-6} AU \cdot rok^{-2}$ )

$$\Delta G = k \sum_{i=1}^n m_i [(r_i - R_o)^{-2} - r_i^{-2}] |\cos\Gamma_i| \quad (20)$$

– Moment pędu planet (wypadkowy) –  $J = |\vec{j}|$ ,  $[J] = \text{AU}^2 \cdot \text{miesiąc}^{-1}$

$$\vec{j} = \sum_{i=1}^n m_i \left( \vec{r}_i \times \frac{d\vec{r}_i}{dt} \right) \quad (21)$$

–  $\cos \Gamma$  (kąta między promieniami wodzącymi: środka masy  $\vec{s}$  i środka geometrycznego  $\vec{S}$ )

$$\cos \Gamma = \frac{\vec{s} \cdot \vec{S}}{s S} \quad (22)$$

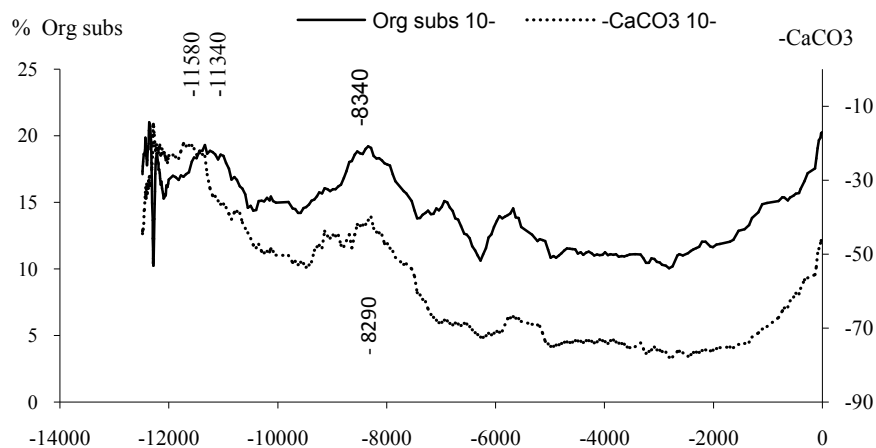
gdzie:  $k$  – stała grawitacji,  $\vec{r}_i$  – promień wodzący  $i$ -tej planety w układach heliocentrycznym,  $m_i$  – masa  $i$ -tej planety,  $\Gamma_i$  – kąt między promieniami wodzącymi  $\vec{r}_i$  i  $\vec{s}$  (środku masy),  $\frac{d\vec{r}_i}{dt}$  – prędkość  $i$ -tej planety,  $R_0$  – promień Słońca, AU – jednostka astronomiczna.

**Tabela 3.** Okresy parametrów Układu Słonecznego na podstawie ciągów czasowych średnich 10-letnich wartości w ciągu ostatnich 15 000 lat (wyrażone w latach juliańskich)

**Table 3.** Periods of the parameters of the solar system determined on the basis of temporal sequences of the 10-year average values Turing the last 15 thousand years (expressed in Julian years)

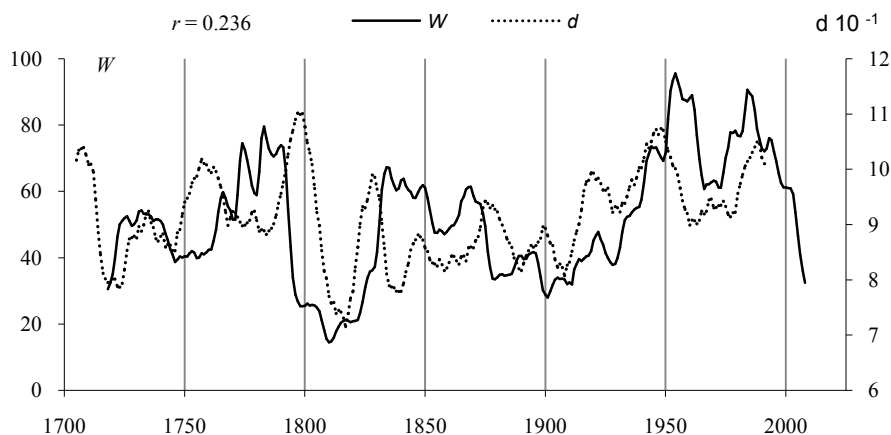
Siła grawitacji ( $G$ )	Siła pływowa na Słońcu ( $\Delta G$ )	Moment pędu planet ( $J$ )	$\cos \Gamma$
180	170	80	170
380	310	-	250
480	510	530	570
940	930	-	800
1010	1120	1100	1050
1370	1480	1410	1400
<u>1650</u>	<u>1670</u>	<u>1560</u>	<u>1600</u>
<u>2520</u>	<u>2280</u>	<u>2290</u>	<u>2350</u>
<u>3040</u>	2960	3270	.
3780	4000	4220	3940
5060	-	-	-
7750	7730	6040	5920

Holocenne ochłodzenia i ocieplenia określone według zmian substancji organicznych i węglanów wapnia ( $\text{-CaCO}_3$ ) w Jez. Gościąż przedstawiono na rys. 4. Są to zmiany średnich konsekwentnych 10-warstwowych od -10 380 lat temu do teraźniejszości (do  $t=0$  BP czyli do roku 1950 AD).



**Rys. 4.** Zmiany substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II,  $y_t$  – wartości zmierzone, 10- – średnie konsekwtywne (10- warstwowe) ( $-14\ 000 \leq t \leq 0$ )  
**Fig. 4.** Changes of organic substance (%) deposited in the sediments of the lake Gościąż II,  $y_t$  – measured values, 10- – moving averages ( $-14\ 000 \leq t \leq 0$ )

O wpływie aktywności Słońca na klimat Europy świadczą np. synchroniczne wahania średniej szerokości słoików ( $d$ ) pięciu drzew: sosny – *Pinus silvestris* (Fortfjordalen, Norwegia, 1877-1994); trzech świerków – *Picea abies* (Falkenstein, Niemcy, 1540-1995), Fodara Vedla, Włochy, 1598-1990), Stonnglandes, Norwegia, 1403-1997) i modrzewia – *Larix decidua* (Pinega, Rosja, 1578-1990). Współczynnik korelacji  $r = 0,236$  między średnią szerokością słoików tych drzew ( $d$ ) i liczbami Wolfa ( $W$ ) jest istotny na poziomie  $0,01 (r > r_{0,01})$  (rys. 5).



**Rys. 5.** Synchroniczne wahania średniej szerokości słoików 5 drzew rosnących w Europie i liczb Wolfa w latach 1700-2015 (średnie konsekwtywne 11-letnie), współczynnik korelacji  $r = 0.236$   
**Fig. 5.** Synchronous fluctuations of the average tree ring widths of trees growing in Europe and Wolf numbers in the years 1700-2015 (11-year moving average), correlation coefficient  $r = 0.236$

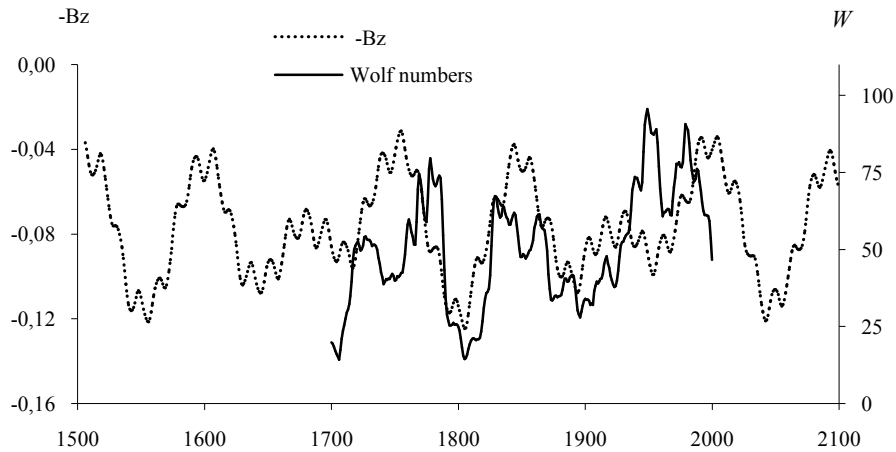


Na uwagę zasługują synchroniczne wahania w przebiegach wiekowych aktywności Słońca i momentu bezwładności  $B_z$  planet Układu Słonecznego względem płaszczyzny ekliptyki (wskaźnika koncentracji masy planet  $-B_z$ ). Jego wartości wyznaczono na podstawie wielomianów opisujących zmiany wiekowe parametrów orbity Ziemi (Reznikov, 1982) (23)

$$-B_z = -10^{-3} \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n m_j z_j^2 \quad (23)$$

gdzie:  $m_j$  – masa j-tej planety,  $z_j$  – odległość j-tej planety od płaszczyzny ekliptyki,  $m$  – masa planet US, a jednostką jest promień Słońca w potęgze drugiej ( $R_0^2$ ).

Aktywność Słońca jest większa przy większej koncentracji ( $-B_z$ ) masy wszystkich planet (mniejszym momencie bezwładności planet  $B_z$ ) względem płaszczyzny ekliptyki. Mało prawdopodobne jest, że synchroniczność wahań liczb Wolfa i  $-B_z$  jest przypadkowa (rys. 6).



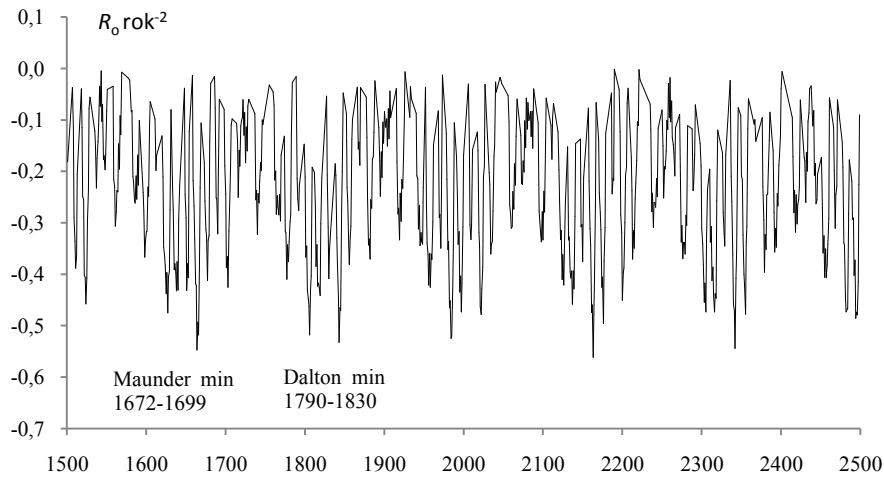
**Rys. 6.** Zmiany liczb Wolfa w latach 1700-2013) w odniesieniu do momentu bezwładności planet Układu Słonecznego względem ekliptyki ( $-B_z$ ) (1500-2100); (konsekwentne 11-letnie)

**Fig. 6.** Changes of Wolf numbers in 1700 and 2013, relative of inertia ( $-B_z$ ) of the planet mass in the Solar System in relation to the ecliptic (1500-2100),(average of 11consecutive)

Należy też zauważyć, że występuje zbieżność wahań wiekowych aktywności Słońca i średnich rocznych wartości przyspieszenia Słońca względem środka masy Układu Słonecznego  $\ddot{s}$ , obliczonych według definicji ( $[\ddot{s}] = R_0 \text{ mies}^{-2}$ ) (rys. 7):

$$\ddot{s} = \frac{d^2 s}{dt^2}, \quad \ddot{s}_i = v_{i+1} - v_i, \quad v_i = r_{i+1} - r_i, \quad t_{i+1} - t_i = 1 \text{ miesiąc}$$

Minima wiekowe aktywności Słońca : Maunder minimum i Daltona minimum pokrywają się z minimami przyspieszenia Słońca  $\ddot{s}$  (składowa radialna  $-R_0/r_0k^2$ ).



**Rys. 7.** Zmiany przyspieszenia Słońca  $\ddot{S}$  (składowa radialna –  $R_o/rok^2$ ) w latach 1500-2500  
**Fig. 7.** Changes of acceleration of the sun  $\ddot{S}$  (radial component –  $R_o/year^2$ ) in the years 1500-2500

## VII. PRAWDOPODOBIEŃSTWO ANOMALII KLIMATU W EUROPIE

### 7.1. Identyfikacja anomalii termicznych (Atlasy XL, XLI, XLII , XLIII)

Istotne znaczenie poznawcze ma porównanie histogramu i dystrybuanty empirycznej średnich wartości temperatury powietrza ( $T$ ) z rozkładem normalnym  $f(T)$  i  $f(t)$  i dystrybuantą rozkładu normalnego  $F(t_0)$ .

$$f(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{T-T_{sr}}{\sigma}\right)^2}, \quad f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}t^2} \quad (1)$$

$$F(t_0) = \int_{-\infty}^{t_0} f(t) dt \quad (2)$$

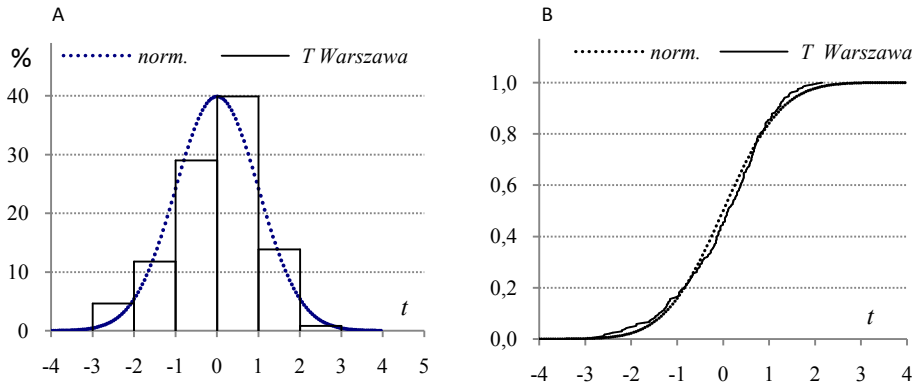
gdzie:  $T_{sr}$  – średnia arytmetyczna,  $\sigma$  – odchylenie standardowe,  $t = \frac{T-T_{sr}}{\sigma}$  – zmienna standaryzowana  $n$  – długość serii pomiarowej:

$$T_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i, \quad \sigma = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_i - T_{sr})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

#### Przykład 1. Ekstrema temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2017

Ekstrema temperatury powietrza (największe ochłodzenia i ocieplenia) w Warszawie w wieloleciu 1779-2017, w Atlasie XL, określono na podstawie wyników pomiarów w latach 1779-2017 (Obserwatorium Astronomiczne 1779-1998, Okęcie 1999-2017).

Histogram i dystrybuantę empiryczną standaryzowanych wartości temperatury powietrza ( $T$ ) w zimie w Warszawie w latach 1779-2017 porównano z rozkładem normalnym  $f(t)$  i dystrybuantą rozkładu normalnego  $F(t_0)$  (rys. 1).



**Rys. 1.** Histogram (A) i dystrybuanta (B) temperatury powietrza ( $T$ ) w zimie w Warszawie (1779-2017)  
**Fig. 1.** The histograms (A) and cumulative distribution (B) of air temperature) in winter in Warsaw (1779-201

Rozkład prawdopodobieństwa (%) wystąpienia temperatury powietrza ( $T$ ) w zimie w Warszawie (1779-2017) w przedziale  $T_{sr} - 4\sigma \leq T \leq T_{sr} + 4\sigma$  wynosi:

	$-4\sigma - -3\sigma$	$-3\sigma - -2\sigma$	$-2\sigma - -1\sigma$	$-1\sigma - 0$	$0 - 1\sigma$	$1\sigma - 2\sigma$	$2\sigma - 3\sigma$	$3\sigma - 4\sigma$
Emp. %	0,00	4,62	11,76	28,99	39,92	13,86	0,84	0,00
Norm. %	0,13	2,14	13,59	34,13	34,13	13,59	2,14	0,13

O zbliżonych dystrybuantach empirycznej  $\frac{m}{n}$  i normalnej  $F(t)$  (rys. 1) świadczy także test Kołmogorowa:

$$D_n = \max \left| \frac{m}{n} - F(t) \right| \quad (4)$$

gdzie:  $m$  – numer w szeregu rosnącym  $t_1, \dots, t_n$ .

Wartość  $y = \sqrt{n} D_n = 0,8993$  ( $n = 238, D_n = 0,0583$ ) jest mniejsza od krytycznej  $y < y_k = 1,40$  na poziomie istotności  $\alpha = 0,02$ ;  $K(y_k) = 1 - 2\alpha = 0,960318$  (Zieliński, 1972).

O anomaliami termicznych (największych ochłodzeniach i ociepleniach klimatu) informują daty ekstremów – minimów ( $t_{inf}, T_{inf}$ ) i maksimów ( $t_{sup}, T_{sup}$ ) temperatury powietrza.

Za wyjątkowe pod względem termicznym uznano te zimy i lata, w których średnia temperatura ( $T$ ) różni się od średniej wieloletniej ( $T_{sr}$ ) co najmniej o 2 odchylenia standardowe ( $\sigma$ ):  $T_{inf} \leq T_{sr} - 2\sigma, T_{sup} \geq T_{sr} + 2\sigma$ . Zdefiniowano skrajne przy padki zimy i lata, przyjmując kryteria:

$T_{inf} \leq T_{sr} - 2\sigma$	$T_{sup} \geq T_{sr} + 2\sigma$
Bardzo mroźna zima (BMZ), Bardzo zimne lato (BZL)	Bardzo ciepła zima (BCZ), Bardzo gorące lato (BGL)

gdzie:

	$T_{sr} \text{ } ^\circ\text{C}$	$\sigma$	$T_{sr} - 2\sigma$	$T_{sr} + 2\sigma$
XII-II	-2,425	2,37767	-7,18055	2,330122
VI-VIII	17,955	1,06240	15,82994	20,07956

W Warszawie bardzo mroźne zimy (BMZ) o temperaturze  $T_{inf} \leq -7,18 \text{ }^\circ\text{C}$  wystąpiły w latach:

1830	1940	1799	1838	1789	1871	1929	1963	1947	1841	1805
-9,20	-8,83	-8,60	-8,57	-8,30	-8,13	-7,67	-7,67	-7,50	-7,43	-7,23

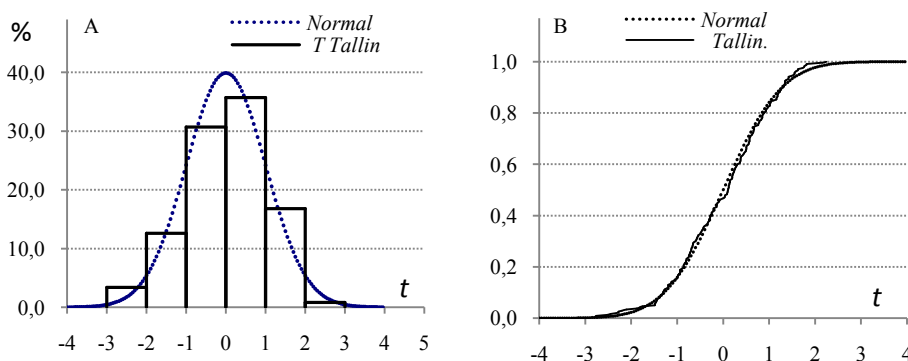
a bardzo gorące lata (BGL) o temperaturze  $T_{sup} \geq 20,079 \text{ }^\circ\text{C}$  – w latach

1784	2015	1939	1992	1781	1811
20,20	20,27	20,60	20,60	20,70	21,60

## Przykład 2. Ekstrema temperatury powietrza w Tallinie w latach 1779-2017

Ekstrema temperatury powietrza (lokalne minima i maksima) w zimie Tallinie (o szerokości geograficznej  $\varphi=59^\circ23'N$ , długości  $\lambda =24^\circ35'E$  i wysokości nad poziomem morza  $H=34 \text{ m}$ ) określono na podstawie wyników pomiarów w latach 1779-2017 (rys.1):

Porównano histogram i dystrybuantę empiryczną średnich wartości temperatury powietrza ( $T$ ) w Tallinie w zimie w latach 1779-2017 z rozkładem normalnym  $f(t)$  i dystrybuantą rozkładu normalnego  $F(t_0)$  (rys. 2):



**Rys. 2.** Histogram (A) i dystrybuanta (B) temperatury powietrza ( $T$ ) w zimie w Tallinie (1779-2017)  
**Fig. 2.** The histograms (A) and cumulative distribution (B) of air temperature) in winter in Tallin (1779-2017)

Prawdopodobieństwo (%) wystąpienia temperatury powietrza w zimie w Tallinie (według danych z lat 1779-2017) w przedziale  $T_{sr} - 4 \sigma \leq T \leq T_{sr} + 4 \sigma$  wynosi:

"	$-4 \sigma - 3 \sigma$	$-3 \sigma - 2 \sigma$	$-2 \sigma - 1 \sigma$	$-1 \sigma - 0$	$0 - 1 \sigma$	$1 \sigma - 2 \sigma$	$2 \sigma - 3 \sigma$	$3 \sigma - 4 \sigma$
Emp. %	0,00	3,36	12,61	30,67	35,71	16,81	0,84	0,00
Norm. %	0,13	2,14	13,59	34,13	34,13	13,59	2,14	0,13

O anomaliach termicznych (największych ochłodzeniach i ociepleniach klimatu) informują daty wieloletnich minimów ( $t_{inf}$ ,  $T_{inf}$ ) i maksimów ( $t_{sup}$ ,  $T_{sup}$ ) temperatury powietrza. Za wyjątkowe pod względem termicznym uznano te miesiące, pory roku, lata,

w których średnia temperatura ( $T$ ) różni się od średniej wieloletniej ( $T_{sr}$ ) co najmniej o 2 odchylenia standardowe ( $\sigma$ ):  $T_{inf} \leq T_{sr} - 2\sigma$ ,  $T_{sup} \geq T_{sr} + 2\sigma$ :

	$T_{sr}$ °C	$\sigma$	$T_{sr} - 2\sigma$	$T_{sr} + 2\sigma$
XII-II	-4,588	2,60871	-9,80533	0,62950
VI-VIII	15,264	1,13273	12,99847	17,52940

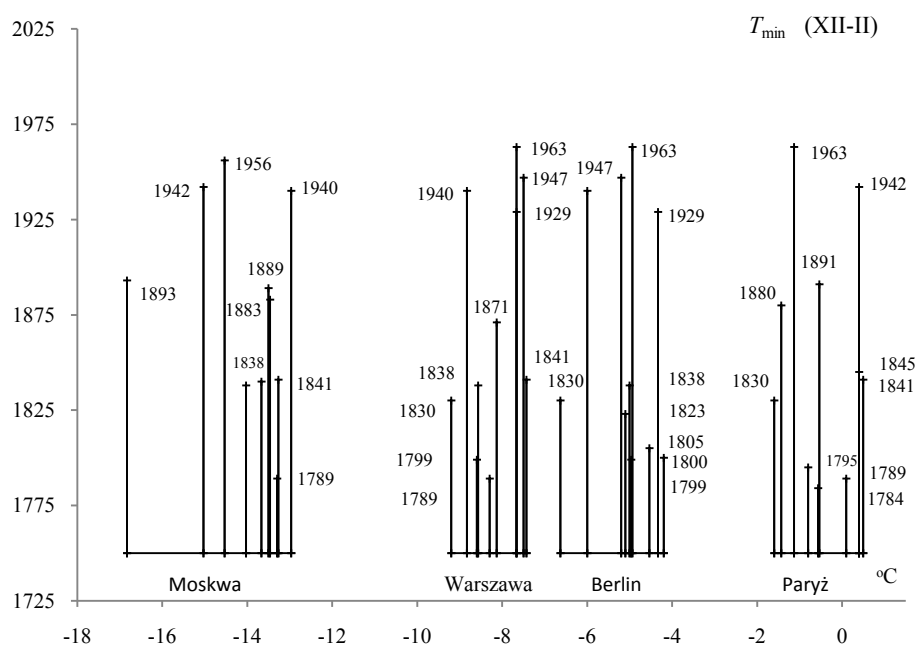
Na przykład w Tallinie bardzo mroźne zimy (BMZ) o temperaturze  $T_{inf} \leq -9,805$  °C wystąpiły w latach:

	1942	1871	1809	1820	1893	1789	1838
	-11,83	-11,80	-11,17	-10,97	-10,53	-10,53	-10,33
							-10,07

a bardzo gorące lata (BGL) o temperaturze  $T_{sup} \geq 17,529$  °C – w latach:

	1936	2006	2010	2011	1858	1826	1789	1834
	17,53	17,56	17,69	17,85	17,87	18,00	18,07	18,37

### Przykład 3. Najchłodniejsze zimy w profilu południkowym $T(\lambda)$ – w Paryżu, Berlinie, Warszawie i Moskwie



**Rys 3.** Najchłodniejsze zimy ( $t_{min}$ ,  $T_{min}$ ) w Paryżu (1757-2011), Berlinie (1769-2018), Warszawie (1779-2018) i Moskwie (1780-2017)

**Fig. 3.** The coldest winters ( $t_{min}$ ,  $T_{min}$ ) in Paris (1757-2011), Berlin (1769-2017), Warsaw (1779-2017) and Moscow (1780-2017)

## 7.2. Anomalie klimatu według grubości słoików drzew (IX-XX)

Za wyróżniający się pod względem termicznym uznano ten rok, w którym grubość słoika danego drzewa ( $d_{inf}$ ) różni się od średniej wszystkich jego słoików ( $d_{sr}$ ) (średniej wieloletniej) co najmniej o dwa odchylenia standardowe ( $\sigma$ ):

$$d_{inf} \leq d_{sr} - 2\sigma - \text{bardzo zimny (BZ)},$$

$$d_{sup} \geq d_{sr} + 2\sigma - \text{bardzo ciepły (BC)}$$

gdzie

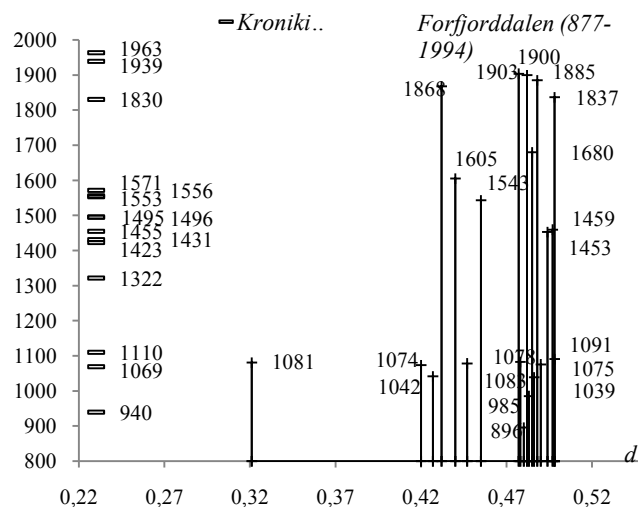
$$d_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad \sigma = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_i - d_{sr})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

### Przykład 1. Anomalie klimatu według słoików sosny *Pinus sylvestris* w Forfjorddalen (Norwegia, 877-1994)

W przypadku sosny *Pinus sylvestris* Forfjorddalen (Norwegia, 877-1994) kryteria anomalii klimatu – ekstrema grubości słoików poniżej lub powyżej średniej z wszystkich słoików ( $d_{sr} = 0,995$ ) o dwa odchylenia standardowe ( $\sigma = 0,2456$ ) – spełniające warunek  $d_{inf} \leq d_{sr} - 2\sigma$  lub  $d_{sup} \geq d_{sr} + 2\sigma$  są następujące:

Sosna	Lata	$d_s$	$\sigma$	$d_{sr} - 2\sigma$	$d_{sr} + 2\sigma$	$t_{min}$	$d_{min}$	$t_{max}$	$d_{max}$
Forfjorddalen (Norwegia)	877-1994	0,995	0,2476	0,4994	1,4898	1081	0,321	1135	2,397

Minima szerokości słoików sosny (*Pinus sylvestris*) w Forfjorddalen (877-1994, Norwegia) w porównaniu z mroźnymi zimami według kronik historycznych przedstawiono na rys.4 i zestawiono poniżej.



**Rys . 4.** Minima szerokości słoików sosny (*Pinus sylvestris*) w Forfjorddalen (877-1994, Norwegia);

$d_{sr} = 0,995$ ,  $\sigma = 0,2476$

**Fig. 4.** Minima width grain pine (*Pinus sylvestris*) in Forfjorddalen (877-1994, Norway);

$d_{sr} = 0,995$ ,  $\sigma = 0,2476$

$t_{inf}$	$d_{inf}$	$t_{inf}$	$d_{inf}$
1081	0,321	1900	0,482
1074	0,420	985	0,483
1042	0,427	1680	0,485
1868	0,432	1039	0,486
1605	0,440	1885	0,488
1078	0,447	1075	0,490
1543	0,455	1453	0,494
1903	0,477	1459	0,497
1083	0,478	1091	0,498
896	0,480	1837	0,498

**Przykład 2. Anomalie klimatu według słoju dębu *Quercus petraea* na Pomorzu wschodnim (Polska, 966-1985)**

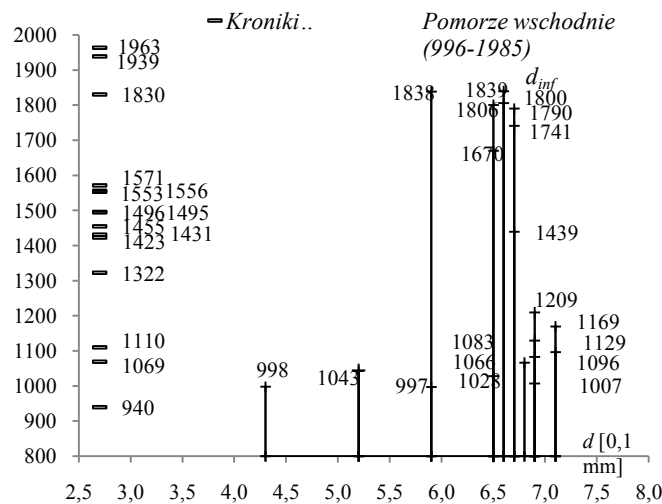
W przypadku dębu *Quercus petraea* Pomorze Wschodnie (966-1985, Polska) kryteria anomalii klimatu – ekstrema grubości słoju poniżej lub powyżej średniej z wszystkich słoju ( $d_{sr} = 9,999$ ) o dwa odchylenia standardowe ( $\sigma = 1,4018$ ) – spełniające warunek  $d_{inf} \leq d_{sr} - 2\sigma$  lub  $d_{inf} \geq d_{sr} + 2\sigma$  są następujące

	Lata	$d_s$	$\sigma$	$d_{sr} - 2\sigma$	$d_{sr} + 2\sigma$	$t_{min}$	$d_{min}$	$t_{max}$	$d_{max}$
Pomorze Wschodnie	966-1985	9,999	1,4018	7,1959	12,8031	998	4,3	1021	15,9

Minima szerokości słoju dębu *Quercus petraea* Pomorze Wschodnie (966-1985, Polska) wynoszą:

$t_{inf}$	$d_{inf}$	$t_{inf}$	$d_{inf}$
998	4,3	1439	6,7
1043	5,2	1741	6,7
1044	5,2	1790	6,7
997	5,9	1066	6,8
1838	5,9	1007	6,9
1028	6,5	1083	6,9
1670	6,5	1129	6,9
1800	6,5	1209	6,9
1806	6,6	1096	7,1
1839	6,6	1169	7,1

Zamieszczono też minima szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) na Pomorzu Wschodnim (966-1985);  $d_{sr} = 9,999$ ,  $\sigma = 1,4018$ , porównując je z mroźnymi zimami według kronik historycznych (rys. 5).



**Rys. 5.** Minima szerokości słoików dębu (*Quercus petraea*) na Pomorzu Wschodnim (966-1985);  $d_{sr} = 9,999$ ,  $\sigma = 1,4018$   
**Fig. 5.** Minima grain width oak (*Quercus petraea*) Eastern Pomerania (966-1985),  $d_{sr} = 9,999$ ,  $\sigma = 1,4018$

### 7.3. Rozkład prawdopodobieństwa – histogram, dystrybuanta (Atlas XLI)

W przygotowanym do druku *Atlasie XLI. Anomalie temperatury powietrza w miastach Europy w ostatnich stuleciach (XVIII-XXI)* ekstrema temperatury powietrza w Europie określono na podstawie wyników pomiarów wykonanych w 30 miastach: o szerokości geograficznej  $\varphi$ , długości  $\lambda$  i wysokości nad poziomem morza  $H$  (Spis treści), mapa rys. 13).

O anomaliiach termicznych (największych ochłodzeniach i ociepleniach klimatu) informują ekstrema – minima ( $t_{inf}$ ,  $T_{inf}$ ) i maksima ( $t_{sup}$ ,  $T_{sup}$ ) temperatury powietrza. Za wyjątkowe pod względem termicznym uznano te miesiące, pory roku, lata, w których średnia temperatura ( $T$ ) różni się od średniej wieloletniej ( $T_{sr}$ ) co najmniej o 2 odchylenia standardowe ( $\sigma$ ):  $T_{inf} \leq T_{sr} - 2\sigma$ ,  $T_{sup} \geq T_{sr} + 2\sigma$  (rys. b). Wyznaczono też równania prostych regresji  $y = ax + b$  temperatury powietrza  $y$  względem czasu  $x$  (rys. a).

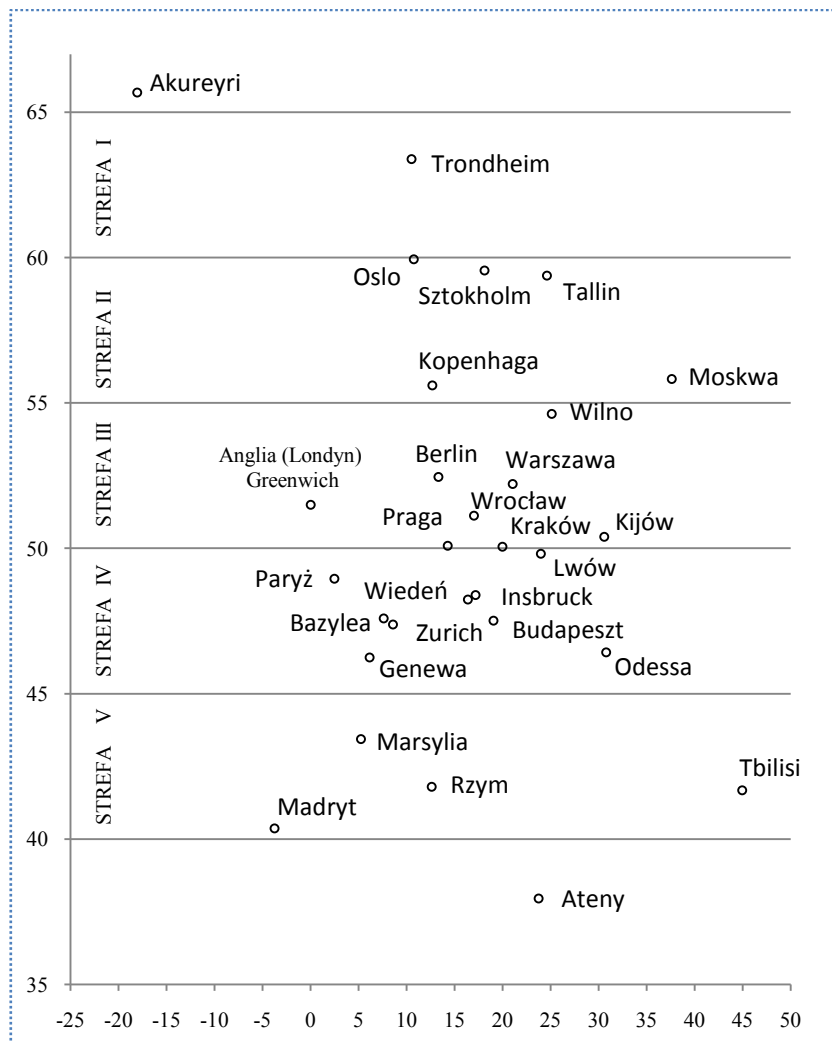
Obszar Europy podzielono na 5 części – stref wzdłuż równoleżników (rys. 6):

- Strefa I.  $\varphi \geq 60^\circ N$  – 2 miasta
- Strefa II.  $55^\circ N \leq \varphi \leq 60^\circ N$  – 5 miast
- Strefa III.  $50^\circ N \leq \varphi \leq 55^\circ N$  – 9 miast
- Strefa IV.  $45^\circ N \leq \varphi \leq 50^\circ N$  – 9 miast
- Strefa V.  $\varphi \leq 45^\circ N$  – 5 miast

W strefach miasta zestawiono w kolejności  $W \rightarrow E$  – ze wzrostem długości geograficznej  $\lambda$ . Zdefiniowano skrajne przypadki miesiąca, zimy, lata i roku, przyjmując kryteria:

$T_{inf} \leq T_{sr} - 2\sigma$	$T_{sup} \geq T_{sr} + 2\sigma$
Bardzo zimny miesiąc (BZ).	Bardzo ciepły miesiąc (BC)
Bardzo zimny rok (BZ)	Bardzo ciepły rok (BC)
Bardzo mroźna zima (BMZ),	Bardzo ciepła zima (BCZ),
Bardzo zimne lato (BZL)	Bardzo gorące lato (BGL)





Rys. 6. Rozmieszczenie stacji meteorologicznych w Europie  
 Fig. 6. Location of meteorological stations in Europe

Istotne znaczenie poznawcze ma porównanie histogramu i dystrybuanty empirycznej średnich wartości temperatury powietrza ( $T$ ) z rozkładem normalnym  $f(T)$  i  $f(t)$  i dystrybuantą rozkładu normalnego  $F(t_0)$ .

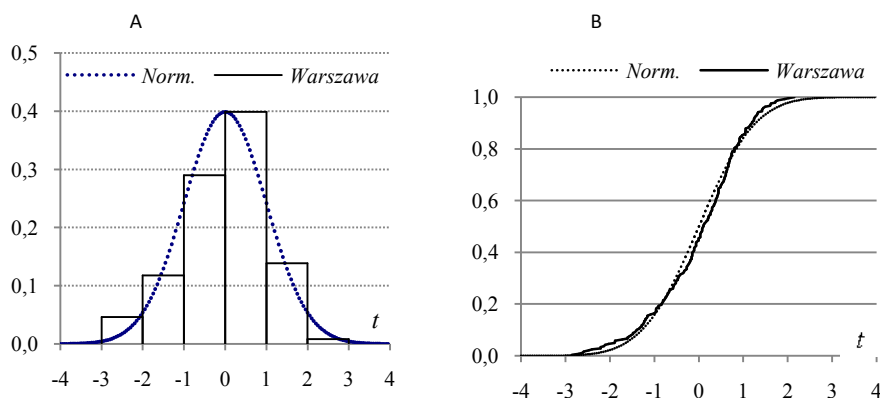
$$f(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{T-T_{sr}}{\sigma}\right)^2}; \quad f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}t^2} \quad (6)$$

$$F(t_0) = \int_{-\infty}^{t_0} f(t) dt \quad (7)$$

gdzie:  $T_{sr}$  – średnia arytmetyczna,  $t = \frac{T - T_{se}}{\sigma}$  – zmienna standaryzowana  $n$  – długość serii pomiarowej gdzie:  $T_{sr}$  – średnia arytmetyczna,  $\sigma$  – odchylenie standardowe

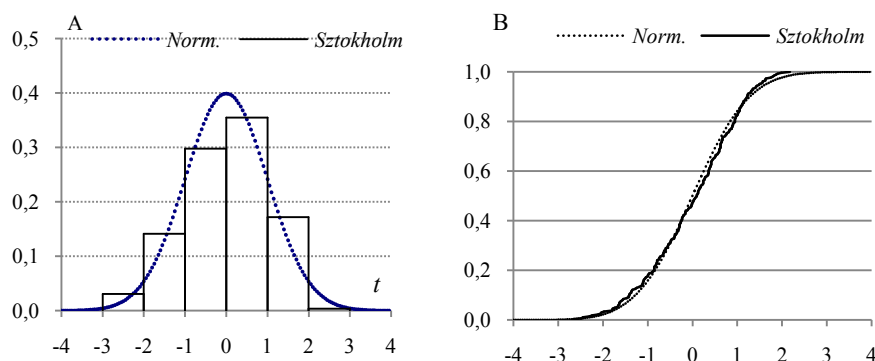
$$\sigma = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_i - T_{sr})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

8Przykładowo porównano histogramy i dystrybuanty empiryczne średniej temperatury powietrza w zimie w Warszawie w latach 1779-2018 i w Sztokholmie w latach 1756-2018 z rozkładem normalnym (Gausa) (rys. 7-8).



**Rys. 7.** Histogram (A) i dystrybuanta (B) temperatury powietrza (T) w zimie w Warszawie (1779-2018)

**Fig. 7.** The histograms (A) and cumulative distribution (B) of air temperature) in winter in Warsaw (1779-2018)



**Rys. 8.** Histogram (A) i dystrybuanta (B) temperatury powietrza (T) w zimie w Sztokholmie (1756-2018)

**Fig. 8.** The histograms (A) and cumulative distribution (B) of air temperature) in winter in Stockholm (1756-2018)

Rozkłady prawdopodobieństwa wystąpienia temperatury powietrza (T) w zimie w Warszawie (1779-2018) i w Sztokholmie (176-2018) są zbliżone z rozkładem normalnym (Gausa). Świadczą o tym częstotliwości w przedziałach  $T_{sr} - 4\sigma \leq T \leq T_{sr} + 4\sigma$ .

	-4 --3	-3 --2	-2 --1	-1 --0	0 --+1	+1 --+2	+2 --+3	+3 --+4
$n=238$	0	11	28	59	95	33	2	0
Warszawa	0	0,04622	0,11765	0,28992	0,39916	0,13866	0,00840	0
$n=262$	0	8	37	78	93	45	1	0
Sztokholm	0	0,03053	0,14122	0,29771	0,35496	0,17176	0,00382	0
Normalny	0,0013	0,0214	0,1359	0,3413	0,3413	0,1359	0,0214	0,0013

O zbliżonych dystrybuantach empirycznej  $\frac{m}{n}$  i normalnej  $F(t)$ , świadczy także test Kolmogorowa:

$$D_n = \max \left| \frac{m}{n} - F(t) \right| \quad (9)$$

gdzie:  $m$  – numer w szeregu rosnącym  $t_1, \dots, t_n$ .

Na przykład . w Warszawie (rys. 14) wartość  $y = \sqrt{n} D_n = 0,8993$  ( $n= 239$ ,  $D_n= 0,0583$ ) jest mniejsza od krytycznej  $y < y_k = 1,40$  na poziomie istotności  $\alpha = 0,02$ ;  $K(y_k) = 1 - 2\alpha = 0,960318$  (Zieliński, 1972).

Ekstremalne wartości średniej temperatury powietrza w Warszawie w zimie w latach 1779-2018 przedstawiono w tab. 1-2 i na rys. 9

**Tabela 1.** Średnie arytmetyczne ( $T_{sr}$ ) i odchylenia standardowe ( $\sigma$ ) temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2018

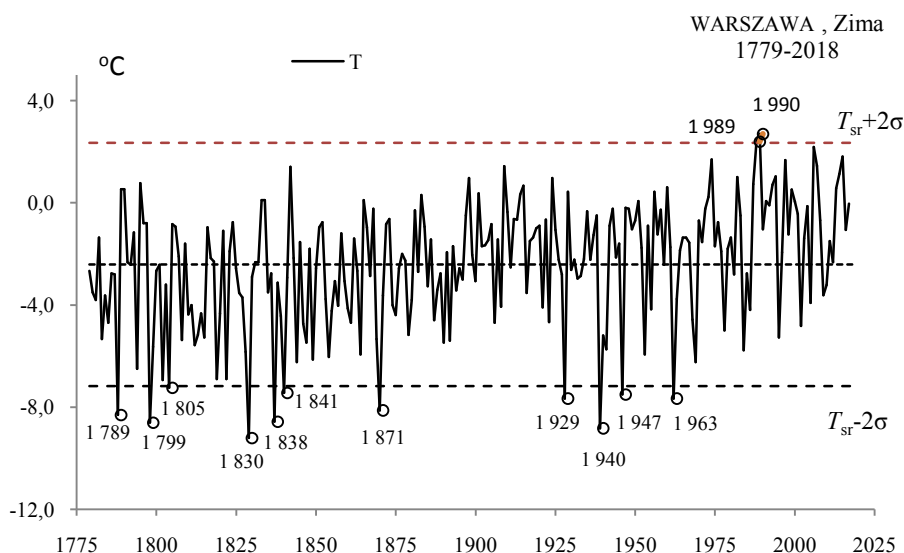
**Table 1.** Arithmetic means ( $T_{sr}$ ) and standard deviations ( $\sigma$ ) of the air temperature in Warsaw in years 1779-2018

	$T_{sr}$ °C	$\sigma$	$T_{inf} \leq T_{sr} - 2\sigma$	$T_{sup} \geq T_{sr} + 2\sigma$
XII-II	-2,415	2,37771	-7,17062	2,34021
VI-VIII	17,966	1,07555	15,81536	20,11756
I-XII	7,818	1,01638	5,78547	9,85099

**Tabela 2.** Najchłodniejsze ( $t_{inf}$ ,  $T_{inf}$ ) i najcieplejsze ( $t_{sup}$ ,  $T_{sup}$ ) zimy, lata i rok w Warszawie (1779-2018)

**Table 2.** The frosty ( $t_{inf}$ ,  $T_{inf}$ ) and hot ( $t_{sup}$ ,  $T_{sup}$ ) winters, summers, and years in Warsaw (1779-2018)

Zima				Lato				Rok			
$T_{inf}$		$T_{sup}$		$T_{inf}$		$T_{sup}$		$T_{inf}$		$T_{sup}$	
1830	-9,20	1990	2,70	1913	15,47	1784	20,20	1829	4,74	1989	9,82
1940	-8,83	1989	2,40	1832	15,57	2015	20,27	1799	5,21	2014	9,83
1799	-8,60			1923	15,57	1939	20,60	1785	5,28	2015	10,31
1838	-8,57			1844	15,70	1992	20,60	1805	5,32	2018	10,44
1789	-8,30			1907	15,77	1781	20,70	1871	5,37		
1871	-8,13			1913	15,47	1811	21,60	1838	5,75		
1929	-7,67			1832	15,57	2018	20,77	1803	5,75		
1963	-7,67										
1947	-7,50										
1841	-7,43										
1805	-7,23										



**Rys. 9.** Ekstremalne wartości średniej temperatury powietrza w Warszawie w zimie w latach 1779-2018  
**Fig. 9.** Extreme values of average air temperature in Warsaw in Winter in the 1779-2018 years.

Istotność statystyczną współczynnika regresji ( $a$ ) w równaniu  $y = ax + b$  ocenić można testem t-Studenta

$$t_{obl} = \sqrt{n-2} \frac{|r|}{\sqrt{1-r^2}} \quad (10)$$

gdzie;  $n$  – liczba pomiarów,  $r$  – współczynnik korelacji.

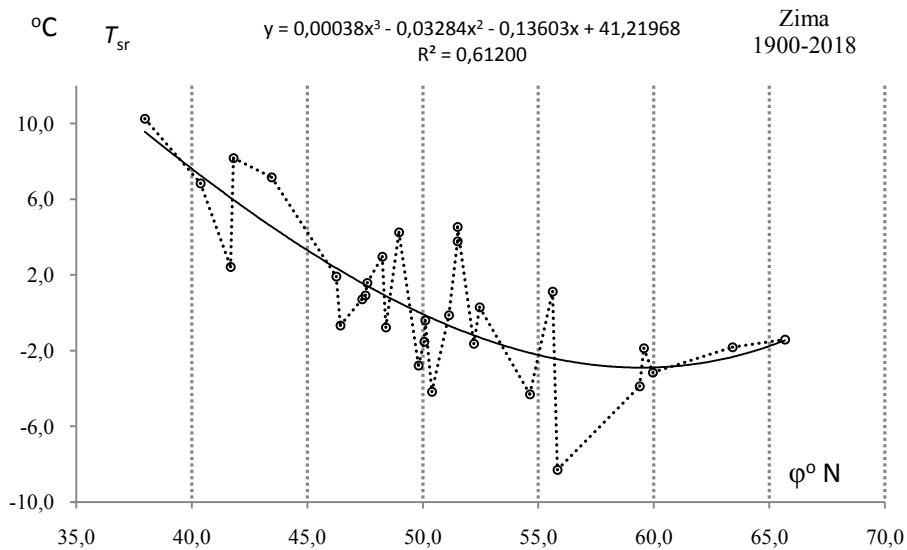
Na przykład w Warszawie (rozdz. V) w latach 1779-2018 w zimie równanie prostej regresji temperatury powietrza ( $y$ ) względem czasu ( $x$ ) ma postać

$$y = 0,01219 x - 25,55146, \quad R^2 = 0,12511 \quad (11)$$

Tendencja wzrostowa temperatury  $a = 1,219$  °C/100 lat jest istotna na poziomie 0,01, ponieważ  $n = 238$ ,  $r = 0,3537$ ,  $t_{obl} = 5,83547$ ,  $t_{kr} = 2,6006$ .

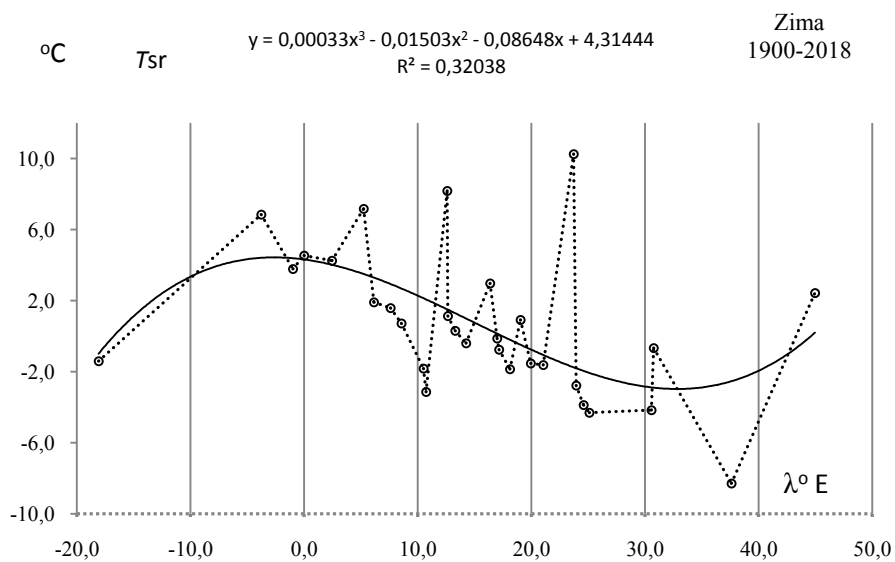
#### 7.4. Profile równoleżnikowe, południkowe i hipsometryczne temperatury powietrza w latach 1900-2018 – wielomiany regresji 3-go stopnia $T$ względem $\varphi, \lambda, H$

Pole temperatury powietrza  $T_{sr}(\varphi, \lambda)$  w Europie w latach 1900-2018 opisano wielomianami regresji 3-stopnia względem szerokości geograficznej ( $\varphi$ ) – profil równoleżnikowy (rys. 10), długości geograficznej ( $\lambda$ ) – profil południkowy (rys. 11), i wysokości nad poziomem morza ( $H$ ) – profil hipsometryczny (rys. 12).



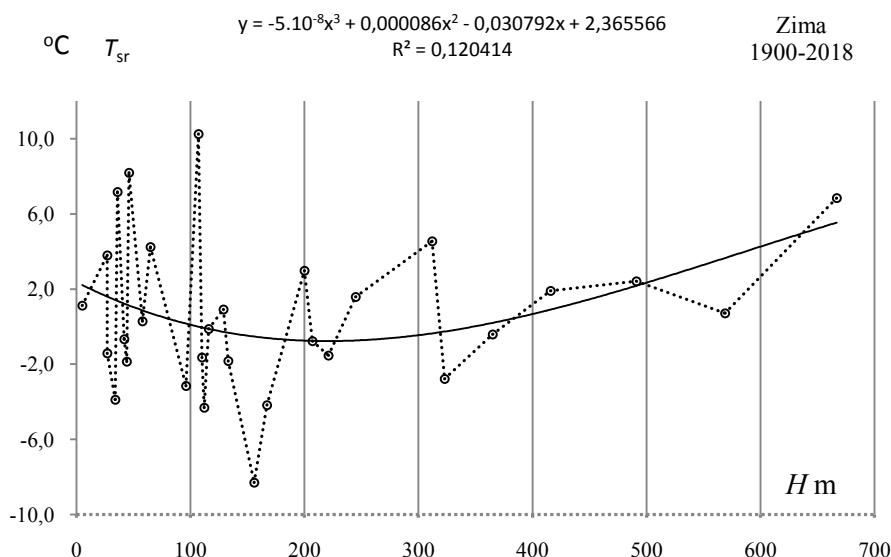
**Rys. 10.** Profil równoleżnikowy średniej temperatury powietrza  $T_{sr}(\varphi)$  powietrza w Europie w zimie w latach 1900-2018

**Fig. 10.** Latitudinal profile of average air temperature  $T_{sr}(\varphi)$  in Europe in Winter in the 1900-2018 years



**Rys. 11.** Profil południkowy średniej temperatury powietrza  $T_{sr}(\lambda)$  powietrza w Europie w zimie w latach 1900-2018

**Fig. 11.** Meridian profile of average air temperature  $T_{sr}(\lambda)$  in Europe in Winter in the 1900-2018 years.



Rys. 12. Profil hipsometryczny średniej temperatury powietrza  $T_{sr}(\varphi)$  powietrza w Europie w zimie w latach 1900-2018

Fig. 12. Hypsometric profile of average air temperature  $T_{sr}(\varphi)$  in Europe in Winter in the 1900-2018 years

### VIII. PROMOCJA WYNIKÓW BADAŃ PRZEZ PROFESORÓW RÓŻNYCH SPECJALIZACJI

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).

Największym zwolennikiem tego kierunku badań wśród klimatologów polskich był **prof. dr Wincenty Okołowicz**, długoletni kierownik Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego. W przedmowie do pierwszego tomu *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* (Stopa-Boryczka, Boryczka, 1974) tak pisał:

„Niniejsza praca posiada niewątpliwie wysoką wartość zarówno naukową, jak i praktyczną, np. przy prognozowaniu parametrów meteorologicznych zdeterminowanych przez czynniki geograficzne. Jej wyniki mogą być wykorzystane we wszystkich dziedzinach potrzebujących ogólnej informacji klimatologicznej. Jednak największe znaczenie ma, jak się wydaje, sam pionierski charakter pracy. W niej i we wcześniej ukończonej rozprawie habilitacyjnej dr Marii Stopy-Boryczki o cechach termicznych klimatu Polski pokazano po raz pierwszy w naszej literaturze możliwość tak szerokiego zastosowania metod matematycznych w opracowaniach klimatologicznych, i co więcej, znaczenie uzyskanych na tej drodze wyników”.

„Na zakończenie warto podkreślić, że sukces Autorów jest jednocześnie sukcesem Zakładu, w którym pracują. Zakład, poszczególni członkowie zatrudnionego w nim zespołu i jego kierownictwo od lat dążyli, przy skromnych niestety możliwościach, do ciągłego unowocześniania metod i kierunków badań. Pomoc maszyn matematycznych w pracy naukowej wykorzystwała swego czasu doc. Z. Kaczorowska do zbadania okre-

sowości sum opadu w rozprawie o opadach w Polsce w przekroju wieloletnim. Z pomocy takiej korzystali również Koledzy np. przy poszukiwaniu związku pomiędzy wskaźnikami meteorologicznymi i objawami chorobowymi (w badaniach bioklimatologicznych prowadzonych wspólnie z medykami), przy poszukiwaniu wpływu czynników geograficznych na rozkład opadu (na terenie województwa białostockiego), przy ustalaniu zależności temperatury w przygruntowej warstwie powietrza od właściwości termicznych gruntu (w okolicy bagien nadbiebrzańskich), w badaniach krótkookresowych zmian zawartości pary wodnej w powietrzu i związku jej ilości z innymi parametrami meteorologicznymi (w pracy o transformacji pary wodnej nad Polską itd.).”

Promocji III tomu *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* (Stopa-Boryczka, Boryczka, 1980) z wyodrębnionym podtytułem *Geograficzne gradienty parametrów wilgotności powietrza w Polsce* dokonał hydrolog, **prof. dr hab. Zdzisław Mikulski** – ówczesny Dziekan Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych. W swojej przedmowie do wymienionego tomu tak pisze: „Niniejsza trzecia część *Atlasu* dotyczy włącznie wilgotności powietrza, warunkującej prawie wszystkie procesy i zjawiska atmosferyczne. W celu określenia zawartości pary wodnej w powietrzu użyto pięciu wskaźników: ciśnienia pary wodnej, wilgotności względnej, wilgotności właściwej, wilgotności bezwzględnej i niedosytu wilgotności. Jest to pierwsze w literaturze polskiej kompendium wiedzy o wilgotności powietrza w Polsce. Istotne znaczenie np. dla celów rolnictwa, budownictwa, komunikacji mają mapy ilustrujące rozkład wilgotności bezwzględnej i właściwej powietrza na obszarze Polski w poszczególnych miesiącach, opracowane po raz pierwszy przez Autorów. Przestrzenne zróżnicowanie wskaźników wilgotności powietrza w Polsce charakteryzują histogramy i rozkłady dystrybuanty empirycznej porównane z rozkładem normalnym. Ich związek z innymi parametrami meteorologicznymi pokazują równania prostych regresji i współczynników korelacji”.

„Praca stanowi ważny wkład Autorów i Zakładu Klimatologii Instytutu Nauk Fizycznogeograficznych na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych UW do poznania klimatu Polski”.

Z geografów fizycznych na największą wdzięczność za uznanie tego kierunku badań zasługuje **prof. dr Jerzy Kondracki** – długoletni dyrektor Instytutu Geografii Uniwersytetu Warszawskiego, którego przedmowy do kolejnych tomów: II (1976), IV (1986), V (1989), VI (1990), VII (1992), VIII (1994) i IX (1995 r.) inspirowały do dalszych dociekań w zakresie wpływu czynników geograficznych na pola zmiennych meteorologicznych nie tylko w Polsce. W przedmowie do VIII tomu *Atlasu*, z wyodrębnionym podtytułem *Cechy oceaniczne klimatu Europy*, tak pisze na temat tych publikacji: „*Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, którego kolejne tomy ukazują się w druku od 20 lat, można potraktować jako serię wydawniczą. Pierwszy tom opublikowano w roku 1974, ósmy w 1994. Kolejne tomy *Atlasu* różniące się między sobą zarówno problematyką badań, jak też zastosowanymi oryginalnymi metodami statystycznych opracowań. W pięciu kolejnych tomach *Atlasu* opisano empirycznymi wzorami – równaniami prostych, płaszczyzn i hiperpłaszczyzn regresji – przestrzenne rozkłady podstawowych elementów klimatu w Polsce. Określono główne cechy termiczne i wilgotnościowe klimatu Polski, wynikające z jej położenia geograficznego w umiarkowanych szerokościach Europy Środkowej. Zbadano zależności poszczególnych elementów klimatu: temperatury powietrza, wilgotności, zachmurzenia, opadów atmosferycznych, prędkości wiatru (średnich z lat 1951-1960, 1951-1965, 1951-1980) od czynników geograficznych. Rolę czynników geograficznych

spełniają: szerokość i długość geograficzna oraz wysokość nad poziomem morza. Szerokość geograficzna w empirycznych wzorach jest miarą dopływu energii słonecznej do powierzchni Ziemi, determinującej intensywność procesów atmosferycznych (obieg ciepła, obieg wody i cyrkulacja). Długość geograficzna wyraża odległość od Oceanu Atlantyckiego kształtującego klimat Europy. Natomiast wysokość nad poziomem morza deformuje najbardziej pola zmiennych klimatologicznych. Empiryczne wzory, tj. równania hiperpłaszczyzn regresji, umożliwiły wyznaczenie jedynie średnich gradientów południkowych, równoleżnikowych i hipsometrycznych na obszarze Polski (w poszczególnych miesiącach, półroczach, roku). Okazało się, że poznane prawidłowości oddziaływania czynników geograficznych na klimat (średnie gradienty horyzontalne i hipsometryczne) określone na podstawie danych z dziesięciu lat (1951-1960) mało różnią się od analogicznych z trzydziestu lat (1951-1980). Współrzędne geograficzne (szerokość i długość) oraz wysokość nad poziomem morza spełniają podwójną rolę. Są one czynnikami geograficznymi i jednocześnie współrzędnymi położenia punktów w układzie trójwymiarowym – użytymi do opisu pola. Wprowadzenie przez autorów *Atlasu* wysokości nad poziomem morza do empirycznych wzorów ma ogromne znaczenie metodyczne, gdyż zwiększa ich dokładność. Po prostu wynika to z zależności wszystkich elementów klimatu od wysokości terenu. Matematyczne zdefiniowanie gradientu pola pozwoliło na wyodrębnienie poziomej zmienności temperatury powietrza w Europie (południkowej i równoleżnikowej) od pionowej (hipsometrycznej). Wylimitowanie wpływu wysokości nad poziomem morza na temperaturę powietrza umożliwiło wydzielenie stref oddziaływania Oceanu Atlantyckiego na klimat Europy. Jedną z miar tego oddziaływania jest odchylenie gradientów horyzontalnych (przedstawionych na mapach w postaci wektorów) od południków lokalnych. Wcześniej E. Romer (1949) i inni oceniali wpływ Oceanu Atlantyckiego na klimat na podstawie izoterm zredukowanych do poziomu morza przy założeniu stałego (w przestrzeni i czasie) spadku temperatury z wysokością, równego  $0,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ . *Atlas* zawiera 130 tabel i 204 ryciny wykonane za pomocą komputera, w tym 150 map demonstrujących bardzo szczegółowo różne aspekty termiczne Europy. Ciekawe są profile termiczne według szerokości i długości geograficznej oraz wzniesienia nad poziomem morza, przy czym dla geografów szczególnie przekonujące są profile dla poszczególnych miesięcy, pór roku i rocznej amplitudy ze wskazaniem na nich miejsca Warszawy (rys. 1-21), dające się wykorzystać na potrzeby dydaktyczne i popularyzacyjne”.

„Wprowadzenie przez Zakład Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego modeli statystycznych jako narzędzi badań wpływu czynników geograficznych na klimat jest znacznym postępem w rozwoju klimatologii”.

**Profesor Jerzy Kondracki** ustosunkował się także 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 postępowaniem 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  $1^{\circ}\text{C}/100$  lat, Genewie o  $0,5^{\circ}\text{C}/100$  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  $0,10-0,15^{\circ}\text{C}/100$  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 holocenie (stwierdzone również w XVIII-XX wieku) będą powtarzać się nadal i kształtować klimat Ziemi”.

Przedmowa **prof. dr 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.

Jednym z przykładów zastosowania metody J. Boryczki (1993) „sinusoid regresji” do wykrywania okresowości i wyznaczania trendów czasowych przez innych autorów 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).* *Możliwości jakie dało zastosowa-*

*nie 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 określenia błędu standardowego*

### **O zastosowaniu metody „sinusoid regresji” J. Boryczki w hydrologii (w pracy habilitacyjnej)**

Jednym z przykładów zastosowania metody J. Boryczki (1993) „sinusoid regresji” do wykrywania okresowości i wyznaczania trendów czasowych przez innych autorów jest praca **dr hab. Jerzego Cyberskiego** (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:

**Str. 137-138.** „Analizę zmian zasolenia wody morskiej w wybranych stacjach w wieloletnim przeprowadzono dwoma metodami: tradycyjną sprowadzającą się do wyliczania trendów, oraz nową, zastosowaną po raz pierwszy w oceanologii, polegającą na wykrywaniu optymalnych okresów zmian w niekompletnych ciągach chronologicznych. W tym drugim przypadku zaadaptowano metodę Boryczki. Metoda Boryczki została z powodzeniem wprowadzona do klimatologii, do wyznaczania trendu pól meteorologicznych (Boryczka 1981) przy wykrywaniu ukrytych okresów oraz modelowania deterministyczno-stochastycznego (Boryczka 1984), a także przy rekonstrukcji, aproksymacji i prognozie elementów bilansu wodnego (Gutry-Korycka, i Boryczka 1990). szczegółowy opis metody zawarty jest w monografii (Boryczka 1984), według którego opracowano program komputerowy\* wykorzystany w niniejszym opracowaniu.

\*Program opracował M. Kowalewski z Zakładu Oceanografii Fizycznej Instytutu Oceanografii UG

Wszystkie dotychczasowe metody wykrywania okresów stawiały ostre wymagania w stosunku do kompletności danych w przedziałach dyskretnych. Arbitralny podział ciągu danych, np. przez wyznaczanie wyrazów szeregu Fouriera w analizie harmonicznej był w pewnym stopniu źródłem informacji o fikcyjnych okresach np.  $n$ ,  $n/2$ ,  $n/3$  itd. Omawiana metoda jest wolna od tych usterek, bowiem dokonuje aproksymacji, także niekompletnego ciągu chronologicznego, w dowolnych odstępach czasu sinusoidami regresji (Boryczka 1993). Znalezienie ukrytego okresu optymalnej sinusoidy sprowadza do wyznaczenia równania płaszczyzny regresji (Gutry-Korycka, i Boryczka 1991, Boryczka 1993).”

**Str. 139.** „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). Swoista niezależność wyszukiwania ukrytych okresów w tej metodzie, w przeciwieństwie do dotychczas stosowanej analizy harmonicznej, pozwala na rzetelniejszą ich identyfikację’.

**Str. 141.** „Możliwości 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 określenia błędu standardowego estymacji z wariancji resztkowej. Wygenerowany tą metodą sekwencyjny ciąg danych historycznych, pod warunkiem uzyskania

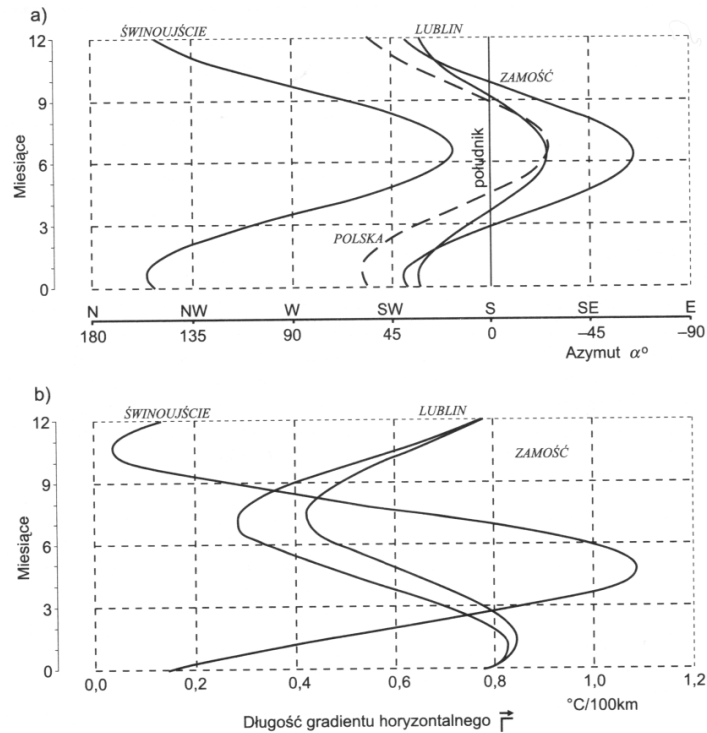
wysokich ocen kryterialnych, staje się wyjątkowo użytecznym zbiorem, pozwalającym w konsekwencji – w omawianym przypadku – na badanie wzajemnych powiązań zasolenia z moderatorami hydrologicznymi”

**Str. 141 cd.** „Zastosowanie modelu Boryczki umożliwiło wyliczenie wartości zasolenia z dowolnie zadanym krokiem dyskretności. Wygenerowanie wartości, na podstawie danych empirycznych ze stacji reprezentatywnych, dało wysoce prawdopodobną ich aproksymację w postaci przebiegów ciągłych w okresie 1901-1990 (rys. 6.12). Weryfikacja wartości modelowanych przeprowadzona z zastosowaniem miar statystycznych: współczynnika korelacji ( $R$ ), całkowitego błędu kwadratowego ( $CBK$ ), specjalnego współczynnika korelacji ( $RS$ ) i współczynnika zbieżności ( $R^2_z$ ) – współczynnika determinacji  $R^2$ )

### **O poziomych gradientach pól zmiennych meteorologicznych (w książce *Klimat Polski, Nowe Spojrzenie*)**

**Prof. dr hab. Krzysztof Kożuchowski** w książce *Klimat Polski, Nowe Spojrzenie* (2011, str. 47-48) napisał: „Specyficznym wyrazem kierunku i siły oddziaływania czynników astrefowych – kontynentu i oceanu na warunki klimatyczne (termiczne) są poziome gradienty temperatury. Zmiany sezonowe ich wartości (długości wektora gradientu) oraz azymutu (kierunku) względem południka pozwalają ocenić zasięg i nasilenie wpływów kontynentu i oceanu na pole temperatury w Polsce. Według M. Stopy-Boryczki i J. Boryczki (1998) o dominacji cech kontynentalnych we wschodniej Polsce – przede wszystkim w cieplej połowie roku – świadczą odchylenia gradientu temperatury na wschód. W Zamościu np. gradient jest skierowany na ESE w czerwcu i lipcu, co oznacza, że temperatura podnosi się w tym kierunku i że czynnik astrefowy (cieplejszy kontynent) przeważa nad strefowym, kształtującym przyrost temperatury na południe (rys. 1). W chłodnej połowie roku gradienty są skierowane na SSW i SW, a przy tym ich wartości są znacznie większe niż latem. Jest to odzwierciedlenie zimowego wzrostu znaczenia zarówno czynnika strefowego (szybko malejąca ku północy insolacja), jak i astrefowego (wzrost kontrastów termicznych między kontynentami i oceanem). Gradient nie odchyła się tak silnie od kierunku S jak latem (strefowość), natomiast jego wartość (wielkość kontrastów termicznych) znacznie wzrasta.

Znaczenie oceanicznych wpływów w zachodniej Polsce ilustrują gradienty w polu temperatury w Świnoujściu; tylko w lecie mamy tu kierunki zbliżone do S, w pozostałych porach roku temperatura wzrasta na zachód, a w zimie nawet na północny zachód. W przeciwieństwie do kontynentalnych stacji na wschodzie kraju, w Świnoujściu wartości gradientu temperatury silnie wzrastają w cieplej połowie roku, przy czym jest charakterystyczne, że maksimum długości skierowanego na SW wektora gradientu temperatury przypada na maj, tzn. w czasie, gdy zarówno Atlantyk, jak i Morze Bałtyckie stają się wyraźnie zimniejsze od wnętrza kontynentu europejskiego”.



Rys. 1. Średnie miesięczne azymuty gradientów horizontalnych temperatury (a) oraz ich wartości (b) w Świnoujściu, Lublinie i Zamościu, Źródło: M. Stopa-Boryczka i J. Boryczka, 1998

„Gradienty geograficzne temperatury i innych elementów klimatu na obszarze Polski obliczono, zakładając, że wartości tych elementów są funkcją szerokości ( $\varphi$ ) i długości geograficznej ( $\lambda$ ) oraz wysokości nad poziomem morza ( $h$ ). I tak, strefowy gradient temperatury wskazujący iż, w ciepłym półroczu temperatura między południowym i północnym krańcem Polski obniża się około  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  nie oznacza, że realne wartości temperatury w Zakopanem są wyższe niż na Helu. Podany wpływ długości geograficznej, a przede wszystkim wysokości nad poziomem morza, która powoduje, że w górach jest jednak chłodniej niż nad morzem.

Obliczone przez J. Boryczkę (1977) równania przestrzennych zmian temperatury na obszarze Polski mają postać:

$$\Delta T = -0,291770 \Delta\varphi - 0,255042 \Delta\lambda - 0,004211547 \Delta h \quad \text{dla sezonu chłodnego}$$

$$\Delta T = -1,050513 \Delta\varphi + 0,07529335 \Delta\lambda - 0,007614576 \Delta h \quad \text{dla sezonu ciepłego}$$

Analogiczne równania opisujące zmiany przestrzenne sum opadów są następujące:

$$\Delta O = 11,1315 \Delta\varphi - 1,99647 \Delta\lambda + 0,267289 \Delta h \quad (\text{półrocze chłodne})$$

$$\Delta O = -10,2813 \Delta\varphi + 2,29403 \Delta\lambda + 0,342861 \Delta h \quad (\text{półrocze ciepłe})$$

\*) J. Boryczka uznał, że pole temperatury lepiej opisują równania tzw. hiperpłaszczyzn głównych, a pole opadów – równania regresji. Formalnie obie pary równań nie są więc „analogiczne”, co jednak nie zmienia ich sensu fizycznego.

Z równań tych wynika, że w sezonie ciepłym sumy opadu (jako funkcja szerokości geograficznej) maleją ku północy a sezonie chłodnym wzrastają ku północy. Gradient -10,2813 odzwierciedla rolę orografii, kształtującej wysokie sumy opadowe na południu Polski w porze ciepłej, a także rolę konwekcji, która z kolei na północy jest ograniczona przez chłodne podłoże atmosfery w postaci wód Bałtyku. W porze chłodnej z kolei, gradient +11,1315 wyraża oddziaływanie względnie ciepłych wód Bałtyku, a także znaczenie szlaków niżowych, wiodących z zachodu przez Bałtyk – czynników sprzyjających opadom na północy Polski. W obu sezonach opady zmniejszają się ku wschodowi (ujemne współczynniki przy długości geograficznej), rosną zaś wraz z wysokością nad poziomem morza (dodatnie współczynniki przy  $h$ )”.

### O wektorach pola temperatury w Europie i Polsce (Przegląd Geofizyczny, 60, 3-4, 2015)

**Prof. dr hab. Andrzej A. Marsz** w publikacji *Cyrkulacja termohalinowa na Atlantyku Północnym a temperatura powietrza w Polsce (1961-2010)*, Prz. Geof, LX, z.3-4, Warszawa 2015, napisał:

**Str. 126-127.** Trzeba na zakończenie zauważyć, że zmienność południkowej cyrkulacji termohalinowej Atlantyku Północnego nie jest jedynym atlantyckim czynnikiem „oceanicznym” wywierającym wpływ na reżim termiczny Polski. Oczywiście silne, ale statyczne, działanie wielkiego rezerwuaru ciepła, jakim jest Atlantyk Północny, na klimat Polski, nie jest możliwe do określenia przez analizy zmienności. Można je badać metodami pośrednimi, takimi jak badania rozkładu izanomal temperatury powietrza (np. Chałubińska, 1949), stopnia kontynentalizmu lub oceanizmu klimatu Polski (np. Januszewski, 1963; Ewert, 1973, Kożuchowski, Marciniak, 1986; Marsz, Styszyńska, 2000) czy też np. za pomocą analizy odchyień wektorów pola temperatury od południka lokalnego, tak jak to robił zespół Stopa-Boryczka i in., 1994; Boryczka i in., 2001; Stopa-Boryczka, Boryczka, 2009). Wyniki takich badań są jednak bardzo trudne do jednoznacznej interpretacji, gdyż uzyskane w nich rezultaty zawsze zawierają również efekty działania cyrkulacji atmosferycznej, bez której wpływy termiczne oceanu nie mogłyby w ukięrnkowany sposób rozprzestrzeniać się i aktywnie oddziaływać na klimat Europy i Polski.

- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Błażek E., Skrzypczuk J., 2001, *Deformacja pola temperatury powietrza przez Ocean Atlantycki – odchylenia gradientów horyzontalnych od południków lokalnych*. [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, XV. *Prognozy zmian klimatu miast Europy*, Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, 187-188
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wągrowaska M., Śmiałkowski J., 1994, *Cechy oceaniczne klimatu Europy*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, 8, ss. 399.
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2009, *Wpływ czynników geograficznych na klimat Europy*. *Prace i Studia Geograficzne*, 41, 191-208.

**O zmianach klimatu Polski  
(Przegląd Geofizyczny, 60, 3-4, 2015)**

**Prof. dr hab. Bogusław M. Kaszewski** w publikacji *Zmiany klimatu Polski w pracach polskich klimatologów*, Prz. Geof, LX, z. 3-4, Warszawa 2015, napisał:

**Str. 221.** „Nową metodę rekonstrukcji klimatu w holocenie i jego prognozy na podstawie akumulacji substancji organicznych w jeziorach zaproponowali J. Boryczka i B. Wicik (1983)”.

**Str. 222 (1981-1990).** „W tym okresie niezmiernie ważną dla przyszłych badań zmian i wahań klimatu była praca J. Boryczki (1984), w której autor zaproponował stosowanie modeli symulujących cykliczność klimatu bez udziału składnika antropogenicznego, przy założeniu, że główną przyczyną wahań klimatu są cykle aktywności Słońca. Zastosowana metoda pozwoliła na przedstawienie prognozy m.in. mroźnych i ciepłych zim oraz upalnych i chłodnych lat do 2500 r., a także prognozy miesięcznych wartości temperatury i opadów atmosferycznych do roku 2001”.

**Str. 224.** „Próby określenia astronomicznych przyczyn naturalnych wahań klimatu Polski, badania wahań i zmian klimatu, zapoczątkowane przez J. Boryczkę w latach 1980., były kontynuowane przez autora i zespół klimatologów z Uniwersytetu Warszawskiego (prezentowane głównie w serii wydawniczej *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* po roku 1992). Autorzy tych prac uważają, że globalne ocieplenie klimatu, w tym i klimatu Polski, jest spowodowane głównie przyczynami naturalnymi, związanymi ze zmianami aktywności Słońca (zmiany stałej słonecznej), uwarunkowanymi parametrami Układu Słonecznego. Nowością było wyodrębnienie dwóch składników trendu czasowego: naturalnego, w postaci wypadkowej kilkunastu cykli razem z krótkimi paroletnimi rytmami, oraz antropogenicznego, wynikającego ze zmian w składzie chemicznym i fizycznym atmosfery, spowodowanego działalnością człowieka (m.in. nasilenie efektu cieplarnianego, rozbudowa miast). Wykryte okresy temperatury powietrza umożliwiły rekonstrukcję klimatu w XVII-XVIII wieku z prognozą na wiek XXI (Boryczka i in., 1992; Boryczka, 1993). W późniejszych rozszerzonych badaniach uwzględniono także wpływ działalności wulkanicznej na klimat (np. Boryczka, 1998; Boryczka, Stopa-Boryczka, 2000, 2014). Autorzy podkreślają, że nie wiadomo, jaka część postępującego ocieplenia wynika z przyczyn naturalnych, a jaka z intensyfikacji efektu cieplarnianego atmosfery (np. Boryczka, Stopa-Boryczka, 2014)”.

- Boryczka J., 1984, *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu*. Rozprawy UW, Nr 234, Warszawa.
- Boryczka J., 1993, *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII-XXI wieku*. UW, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Warszawa.
- Boryczka J., 1998, *Zmiany klimatu Ziemi*. Wyd. Akad. DIALOG, Warszawa.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kicińska B., Żmudzka E., 1992, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. 8, *Zmiany wiekowe klimatu Polski*. Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., Boryczka M., 2000, *Zmiany klimatu Polski w XVIII-XXI wieku*. Acta UNC Toruń, Nauki Mat. Przyrod., 106, Geografia 31, 65-89.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2014, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. 31-32, *Modele empiryczne przestrzennych i czasowych zmian klimatu Europy z wyodrębnieniem Polski (ważniejsze wyniki badań)*, Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., Wicik B., 1983, *Holoceneskie cykle klimatu w środkowej Polsce na podstawie statystycznej analizy osadów jeziornych*. Prz. Geof., 28, 3-4, 291-302.

**IX. PROMOCJA METODY SINUSOID REGRESJI W KATEDRZE INŻYNIERII  
LEŚNEJ AKADEMII ROLNICZEJ IM. AUGUSTA CIESZKOWSKIEGO  
W POZNANIU**


**9.1. Opracowanie strategii ochrony obszarów mokradłowych na  
terenie leśnych kompleksów promocyjnych na przykładzie LKP  
Lasy Rychtalskie**

**INTERNET** (wpis *Promocja metody sinusoid regresji J. Boryczki*)


[www.lasy.gov.pl](http://www.lasy.gov.pl) › pro › prace-naukowe › mokradla\_cale PDF

**KONFERENCJA NAUKOWA**

Leśne Kompleksy Promocyjne godzą cele gospodarcze z celami aktywnej ochrony ekosystemów,  
propagują ... **Metoda sinusoid regresji J. Boryczki. Metoda J.**



**Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego,**  
60-637 Poznań, ul. Wojska Polskiego 28,  
Katedra Inżynierii Leśnej, 60-623 Poznań, ul. Mazowiecka 41  
Tel./Fax. 061 848-7366, NIP 777-00-04-960



**SPRAWOZDANIE KOŃCOWE**

***Nr zadania: 18***  
***Tytuł: OPRACOWANIE STRATEGII OCHRONY  
OBSZARÓW MOKRADŁOWYCH NA TERENIE  
LEŚNYCH KOMPLEKSÓW PROMOCYJNYCH  
NA PRZYKŁADZIE LKP LASY RYCHTALSKIE***

*Opracowanie wykonane dla*  
**DYREKCJI GENERALNEJ LASÓW  
PAŃSTWOWYCH**  
**ul. WAWELSKA 52/54**  
**00-922 WARSZAWA**

**Autorzy:**  
Prof. dr hab. inż. ANTONI T. MILER – kierownik tematu  
Prof. nadzw. dr hab. inż. BOGUSŁAW KAMIŃSKI  
Dr hab. inż. ANDRZEJ CZERNIAK  
Dr inż. SYLWESTER GRAJEWSKI  
Dr inż. BERNARD OKOŃSKI  
Mgr inż. ANNA KRYSZTOFIAK  
Mgr inż. MALGORZATA SOBALAK  
Inż. KAMILA PRZYSIECKA  
MACIEJ KAMIŃSKI

Poznań 2007

Praca wykonana przez Zespół Pracowników Katedry Inżynierii Leśnej Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu (kierownik tematu prof. dr hab. inż. Antoni T. Miler):

- *Opracowanie strategii ochrony obszarów mokradłowych na terenie leśnych kompleksów promocyjnych na przykładzie LKP Lasy Rychtałskie*, ss. 150, Poznań 2007

W rozdziale 4. *Metody obliczania trendów i okresowości zmian klimatycznych (temperatur powietrza, opadów atmosferycznych)* (Str. 31-34, wzory 4.22 -27) omówiono trzy metody statystyczne

- *Metoda szeregu Fouriera*
- *Rangowa metoda oceny trendu Mann-Kendalla*
- *Metoda sinusoid regresji J. Boryczki* (str. 31-34)

### Metoda sinusoid regresji J. Boryczki

Metoda J. Boryczki (1984) pozwala na wykrywanie rzeczywistych (optymalnych) okresów. Te optymalne okresy  $T$  zmian sekularnych wyznacza się przez eliminację sinusoid regresji:

$$y = a_0 + b \sin \left( \frac{2\pi}{T} t + c \right) \quad (4.22)$$

spośród  $T = 1, 2, \dots, n$ , gdzie  $n$  – liczba pomiarów.

Poszukiwane okresy optymalne  $T_j$  to minima lokalne wariancji resztkowej  $\varepsilon^2$  odpowiadające maksimum współczynnika korelacji wielokrotnej, odpowiadające maksimum

współczynnika korelacji wielokrotnej  $R = \left( 1 - \frac{\varepsilon^2}{s^2} \right)^{\frac{1}{2}}$ , gdzie  $s$  jest odchyleniem standardowym zmiennej  $y$ . Model wykrywania optymalnych okresów jest weryfikowany za pomocą ostrego testu Fishera-Snedecora  $F_{obl} = \frac{n-3}{2} \frac{R^2}{(1-R^2)}$  o 2 i  $n-3$  stopniach swobody (Zieliński, 1972).

Znalezienie ukrytego okresu  $T_j$  – tj optymalnej sinusoidy regresji sprowadza się do wyznaczenia równania płaszczyzny regresji:

$$y = a_0 + \alpha x_1 + \beta x_2 \quad (4.23)$$

względem zmiennych  $x_1 = \sin \left( \frac{2\pi}{T} t \right)$ ,  $x_2 = \cos \left( \frac{2\pi}{T} t \right)$ . Amplituda ( $b$ ) elementu

hydroklimatycznego i przesunięcie fazowe ( $c$ ) określone są wzorami:

$$b = (\alpha^2 + \beta^2)^{\frac{1}{2}}, \quad \text{tg}(c) = \frac{\beta}{\alpha} \quad (4.24)$$

gdzie kąt spełnia warunki  $\alpha = b \cos(c)$ ,  $\beta = b \sin(c)$

Metodą optymalnych okresów można wyznaczyć odcinek sinusoidy regresji o okresie dłuższym niż długość ciągu pomiarowego ( $T > n$ ). Można ją także stosować w przypadku niekompletnych ciągów chronologicznych (braku danych obserwacyjnych w niektórych latach). Metoda ta jednak zakłada liniowość systemu (tylko wtedy można dokonywać stosownej superpozycji, czyli składania), co nie zawsze jest prawdziwe. Znając optymalne okresy  $T_j$  możemy wyznaczyć trend czasowy elementu hydroklimatycznego według równania:

$$y = f(t) = a_0 + \sum_{j=1}^k b_j \sin \left( \frac{2\pi}{T_j} t + c_j \right) \quad (4.25)$$



minimalizując wariancję resztkową:

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i - f(t_i)]^2 \quad (4.26)$$

gdyż okresy  $T_j$  są niewspółmierne.

Przez ekstrapolację funkcji trendu czasowego  $f(t)$  analizowanych zmiennych można dokonać ich rekonstrukcji ( $t < 0$ ), bądź uzyskać prognozę ( $t > 0$ ) z dowolnym wyprzedzeniem czasowym. Jeżeli do funkcji  $y = f(t)$ , aproksymującej okresowe (naturalne) zmiany wynikające z nakładania się rzeczywistych cykli, dodamy składnik liniowy  $\Delta y = a\Delta t$ , to model trendu czasowego  $F(t)$  rozdzielimy na dwa składniki:

$$y = F(t) = a_0 + at + \sum_{j=1}^k b_j \sin\left(\frac{2\pi}{T_j}t + c_j\right) \quad (4.27)$$

$a_0 + at$  – odpowiada za zmiany antropogeniczne,

$\sum_{j=1}^k b_j \sin\left(\frac{2\pi}{T_j}t + c_j\right)$  – odpowiada za zmiany naturalne wynikające z cykli rzeczywistych  $T$

Składnik liniowy o stałej tendencji  $a = \text{constans}$  może wykazywać wpływ sukcesywnie postępujących zmian pochodzenia antropogenicznego. Jeżeli współczynnik regresji  $a > 0$ , to zmiany antropogeniczne mają tendencję wzrostową a gdy zaś  $a < 0$  – tendencję spadkową.

### Cytowana literatura

- Boryczka J. (1984): *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu*. Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego, nr 234, Warszawa.
- Boryczka J. (1993): *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII-XXI wieku*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych.
- Gutry-Korycka M., Boryczka J. (1990): *Długookresowe zmiany elementów bilansu wodnego w Polsce i w zlewisku Bałtyku*. Przegląd Geofizyczny, zeszyt 3-4.
- Koźuchowski K., Żmudzka E. (2001): *Ocieplenie w Polsce. Skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku*. Przegląd Geofizyczny, zeszyt 1-2.

## 9. 2. Monografia prof. dr hab. inż. Antoniego T. Milera

zielski.osdw.pl > ksiazka > Antoni-T-Miler > Kompleksow...

### Kompleksowa metodyka oceny stosunków wodnych w lasach ...

Kompleksowa metodyka oceny stosunków wodnych w lasach, Antoni T. Miler, 23,1 zł. W monografii przedstawiono najważniejsze relacje, po części synergiczne ...

W monografii Prof. dr hab. inż., Antoniego T. Milera:

- Miler A. T., 2013, *Kompleksowa metodyka oceny stosunków wodnych w lasach*. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań, ISBN 978-83-7160-696-0. ss. 135

zamieszczono rozdział 4.7. *Metody obliczania trendów i okresowości zmian klimatycznych* (str. 67-76, wzory 58-63) w którym omówiono 4 metody statystyczne, w tym *metodę sinusoid regresji J. Boryczki* (s. 74-76):

- *Metoda szeregu Fouriera*

- *Rangowa metoda oceny trendu Mann-Kendalla*
- *Test Lombarda*
- *Metoda sinusoid regresji J. Boryczki* (s. 74-76)

Metodę sinusoid regresji omówiono t. XL w rozdziale VIII. PROMOCJA METODY SINUSOID REGRESJI J. BORYCZKI W PUBLIKACJACH KATEDRY INŻYNIERII LEŚNEJ AKADEMII ROLNICZEJ W POZNANIU, s. 475-477

- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2018, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XL.. *Anomalie klimatu w Europie w ostatnim tysiącleciu (X-XXI)* (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, Warszawa, ss. 510

\* \* \*

Opublikowanie kolejnych części tej 41 tomowej serii *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* było możliwe dzięki pomocy wielu życzliwych osób. Z okazji 100 lat geografii (1918-2018) w Uniwersytecie Warszawskim, 68 lat Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego (1951-2018) i ponad 40 lat tego wydawnictwa (1974-2018) 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.

Recenzentem ostatnich 19 tomów *Atlasu* jest prof. Bohdan Mucha – Lwowski Uniwersytet im. Iwana Franki, Ukraina.

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

Serdecznie dziękujemy kolejnym władzom Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych UW – Dziekanom: Prof. dr hab. Andrzejowi Richlingowi, Prof. dr hab. Marii Skoczek, Prof. dr hab. Andrzejowi Lisowskiemu i Prof. dr hab. Maciejowi Jędrusikowi oraz byłemu Kierownikowi Zakładu Klimatologii Prof. dr hab. Krzysztofowi Błazejczykowi 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*.

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

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

**INTERNET.** Pliki.pdf *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, od Tom I (1974) do Tom XLII (2020) są dostępne w Internecie: WGSR UW ; Czasopisma, książki; CZASOPISMA ARCHIWALNE ; [ATLAS](#)