

**ZMIANY WIEKOWE KLIMATU EUROPY
Z UWZGLĘDNIENIEM PROGNOZ W XXI WIEKU
I ICH WERYFIKACJA**

**UNIVERSITY OF WARSAW
FACULTY OF GEOGRAPHY AND REGIONAL STUDIES**

JERZY BORYCZKA, MARIA STOPA-BORYCZKA

**XXXIII. SECULAR CHANGES OF CLIMATE IN EUROPE
INCLUDING THE FORECAST IN THE 21ST CENTURIES
AND VERIFICATION**

atlas

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

Warszawa 2015

**UNIWEŚYTET WARSZAWSKI
WYDZIAŁ GEOGRAFII I STUDIÓW REGIONALNYCH**

JERZY BORYCZKA, MARIA STOPA-BORYCZKA

**XXXIII. ZMIANY WIEKOWE KLIMATU EUROPY
Z UGLĘDNIENIEM PROGNOZ W XXI WIEKU
I ICH WERYFIKACJA**

atlas

**WSPÓŁZALEŻNOŚCI
PARAMETRÓW
METEOROLOGICZNYCH
I GEOGRAFICZNYCH
W POLSCE**

Warszawa 2015

Komitet Redakcyjny

Krzysztof BŁAŻEJCZYK

Maria STOPA-BORYCZKA

Jerzy BORYCZKA

Jolanta WAWER

Władysław ŻAKOWSKI

Recenzent

Bohdan Mucha

Lwowski Uniwersytet im. Iwana Franki

Ukraina

© Copyright by Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW 2015

ISBN 978-83-63245-97-9

Druk i oprawa: Zakład Graficzny UW

SPIS TREŚCI

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 w Europie	149
3.8.1.	Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na klimat Europy	149
3.8.2.	Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej 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
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 dendrolo- gicznych	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 słoików 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 Północnoatlantycznej 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.	Z BADAŃ ZMIAN KLIMATU MIAST EUROPY W XXI WIEKU	310
5.1.	Weryfikacja prognoz okresowych zmian temperatury powietrza w Europie w XX-XXI wieku	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	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.	FALE CIEPŁA I CHŁODU W PRZEBIEGU ROCZNYM TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE (1951-2010)	363
6.1.	Zależność przebiegu rocznego temperatury powietrza od aktywności Słońca (na przykładzie Warszawy, 1951-2010)	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	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 000AD) 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	417
	ZAŁĄCZNIK 2	431

I. WPROWADZENIE

Prezentowany Tom XXXIII *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* pt. *Zmiany wiekowe klimatu Europy z uwzględnieniem prognoz w XXI wieku i ich weryfikacja* stanowi podsumowanie ważniejszych wyników 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.

Nowością 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 Uniwersytetu 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 ΔT średnich dobowych zmierzonych wartości temperatury (T) od sinusoidy regresji $f(t)$ o okresie 365,25 dni.

W rozdziale VII. *Rekonstrukcja i prognoza zmian klimatu Ziemi w czasie od -1 000 000 BP do 1 000 000 AD* przedstawiono zmiany wiekowe klimatu Ziemi według zmian promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^{\circ}$, izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowych wyspy Devon (od -500 000 BP do 500 000 AD) i zawartości substancji organicznych (%) w Jez. Gościąż. (od -25 000 BP do 25 000 AD).

Do ostatnich rozdziałów należą: VIII. *Zakończenie* i IX. *Literatura* oraz Załącznik 1 i Załącznik 2.

II. PROBLEMY BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU ZIEMI¹

Współczesne zmiany klimatu są jednym z ważniejszych problemów badawczych nauk przyrodniczych i społeczno-ekonomicznych. Istotne znaczenie dla ochrony życia na Ziemi ma znajomość tendencji zarówno naturalnych, jak też antropogenicznych zmian klimatu.

Na naturalną zmienność klimatu, wynikającą z przyczyn zewnętrznych (astronomicznych) i wewnętrznych (geologicznych) systemu Ziemia- atmosfera, nakładają się efekty oddziaływań antropogenicznych.

Postępującemu globalnemu ociepleniu klimatu przypisywany jest zwykle wzrost efektu cieplarnianego, wywołanego przez gazy szklarniowe – głównie dwutlenek węgla (CO₂). W modelach wg scenariuszy 2xCO₂ ocenia się, że po podwojeniu stężenia CO₂ w atmosferze (względem stanu początkowego 280 ppm) nastąpi wzrost temperatury powietrza o 0,1-4,0°C, w zależności od szerokości geograficznej. Według scenariusza emisji IPCC (1990) przewiduje się wzrost średniej globalnej temperatury powietrza do 2100 r. o blisko 6°C. Po uwzględnieniu ochładzającego działania aerozoli siarczanych prognozowany jest mniejszy wzrost temperatury powietrza o 1- 2°C w stosunku do 1990 r.

O istnieniu efektu cieplarnianego w atmosferze (wywołanego głównie przez parę wodną i CO₂) świadczy równanie bilansu promieniowania słonecznego padającego na oświetloną powierzchnię Ziemi (πR^2) i długofalowego Ziemi ($4\pi R^2$):

$$0,25(1-A)s = aT^4,$$

gdzie s – stała słoneczna, A – albedo Ziemi, a – stała Stefana-Boltzmana. Temperatura planetarna Ziemi $T = 254^\circ\text{K}$ jest znacznie mniejsza (o 2-4°C) od średniej temperatury wynikającej z pomiarów .

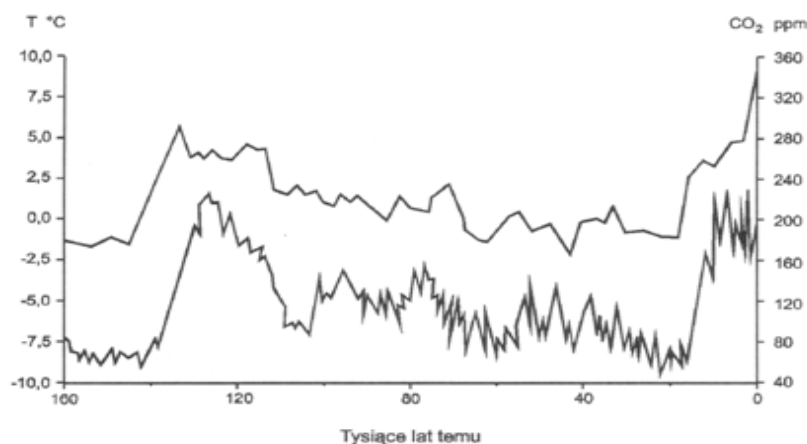
Ze względu na sprzężenie zwrotne między efektem cieplarnianym pary wodnej i temperatury powietrza wzrost stałej słonecznej powoduje dwukrotny przyrost temperatury (Wetherald i Manabe 1975). Zmiany ilości energii słonecznej dochodzącej do powierzchni Ziemi wynikają zarówno z długookresowych zmian parametrów orbity Ziemi (Milanković 1938), jak też zmiennej aktywności Słońca (Kondratiev i Nikolski 1974).

Interesujące są wyniki badań stężenia CO₂ i temperatury (wg izotopu deuteru) w ciągu ostatnich 160 000 lat na podstawie rdzeni lodowych na stacji Vostok (WMO 1990, rys. 1). Zgodność dat dwóch głównych maksimów stężenia CO₂ i temperatury (współczesnych i odległych 125 000 lat temu) świadczy, że zawartość dwutlenku węgla w atmosferze może wynikać ze wzrostu temperatury powietrza.

Ocieplenie klimatu 125 000 lat temu było prawdopodobnie spowodowane znacznym wzrostem promieniowania słonecznego (maksimum krzywej Milankoviča ok. 125 000 lat temu). Tak więc było to naturalne ocieplenie, wynikające z nałożenia się trzech okresów zmian parametrów orbity Ziemi (90 000, 40 000, 21 000 lat). Regulatorem zawartości CO₂ w atmosferze (skorelowanej z temperatura powietrza) są prawdopodobnie wody oceanów .Wzrostowi temperatury powietrza na Ziemi na ogół przypisywane jest podnoszenie się poziomu oceanów - średnio o 10-25 cm w ciągu ostatniego stulecia. Poziom Morza Bałtyckiego w latach 1811-1990 (w Świnoujściu) wzrasta średnio o 5,7 cm/100 lat (najszybciej jesienią – o 6,8 cm i zimą – o 5,7 cm/100 lat).

W prognozach przewidywany jest dalszy wzrost poziomu oceanów – ekspansja oceanów (objętości wód) ze wzrostem temperatury i topnienie lodowców. Według scena-

riusza emisji (IPCC 1995) poziom oceanów w roku 2100 podniesie się o prawie 50 cm (wg prognoz IPCC 1990 – o ponad 65 cm). Prognozuje się, że poziom oceanów podniesie się w roku 2100 o 15 cm – przy minimalnej emisji CO₂ i o 95 cm – przy emisji maksymalnej.



Rys. 1. Zmiany stężenia CO₂ w atmosferze (krzywa górna) i paleotemperatury (izotopu tlenu ¹⁸O, krzywa dolna) w ciągu ostatnich 160 000 lat na podstawie rdzeni lodowych na stacji Vostok (WMO, 1990)
Fig. 1. Changes of CO₂ concentration in the atmosphere (upper curve) and of the palaeotemperature (oxygen isotope ¹⁸O, lower curve) during the last 160,000 years on the basis of the ice cores from the Vostok station (WMO, 1990)

Istnieje też ujemne sprzężenie zwrotne wywołane wzrostem zawartości CO₂ w atmosferze (efektem cieplarnianym). Ze wzrostem temperatury powietrza wzrasta parowanie wód oceanów, powodując większe zachmurzenie. Zachmurzenie ogranicza dopływ promieniowania słonecznego (bezpośredniego) do powierzchni Ziemi, przeciwdziałając globalnemu ociepleniu.

Dopływ promieniowania słonecznego (bezpośredniego) do powierzchni Ziemi ograniczają pyły emitowane do atmosfery – pochodzenia antropogenicznego i naturalnego (z erupcji wulkanicznych). Pyły zmieniają istotnie bilans radiacyjny, powodując lokalne obniżenia temperatury powietrza.

Niepokojące jest systematyczne ocieplenie klimatu Ziemi w ostatnich dwóch stuleciach. Średnia globalna temperatura powietrza w dwudziestym wieku wzrosła o 0,3-0,6°C. Na przykład w Europie przede wszystkim zimy są coraz cieplejsze: w Warszawie (1779-1990) – co 1°C/100 lat, Pradze (1771-1980) – co 0,25°C/100 lat, Genewie (1768-1980) – co 0,5°C/100 lat, Anglii środkowej (1859-1973) – co 0,3°C/100 lat (rys. 2).

Tendencja rosnąca temperatury powietrza w XIX-XX wieku może częściowo wynikać z tzw. miejskich wysp ciepła – z coraz większej akumulacji ciepła przez zabudowę i inne powierzchnie sztuczne o małym albedo. Po prostu szare miasta pochłaniają więcej energii słonecznej w dzień niż ich otoczenie (szczególnie w zimie). Miasta, w których znajdują się stacje meteorologiczne, są znacznie cieplejsze (przede wszystkim w nocy) od otaczających terenów. Na przykład różnica temperatury powietrza między

śródmieściem Warszawy i peryferiami może osiągać nawet $9,1^{\circ}\text{C}$ (jak 30.07 i 17.08.1992 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 nakładających się cykli naturalnych. Na przykład coraz cieplejsze zimy w Warszawie – o $1,03^{\circ}\text{C}/100$ lat w latach 1779-1990 są efektem nałożenia się kilku okresów: 3,5; 5,5; 8,3; 12,9; 18,0; 38,3; 66,7; 113,1; 218,3 lat (rys. 3- 4). Ich wypadkowa (prosta regresji) wyjaśnia wzrost temperatury powietrza podczas zim o $0,93^{\circ}\text{C}/100$ lat. Na zmienność antropogeniczną przypada zaledwie $0,1^{\circ}\text{C}/100$ lat. Analogicznie, coraz cieplejsze zimy w Genewie – o $0,5^{\circ}\text{C}/100$ lat, Pradze – o $0,25^{\circ}\text{C}/100$ lat są efektem nakładania się cyklicznych wahań temperatury powietrza.

Globalne ocieplenie klimatu (w Warszawie w latach 1779-1990 – średnio o $0,67^{\circ}\text{C}/100$ lat) może być wywołane wzrostem aktywności Słońca. Aktywność Słońca (liczby Wolfa) w latach 1779-1993 wzrasta średnio o 17,2/ 100 lat (rys. 5-7). Wzrosła ona w ostatnich dwóch stuleciach średnio o 34,5, tj. o ponad 50% w stosunku do średniej wartości liczb Wolfa.

Okresowe wahania klimatu (ocieplenia i ochłodzenia) są analogiczne do okresów zmian aktywności Słońca – zbliżonych do okresów planetarnych P . (obiegu czterech największych planet i ich wzajemnego położenia): 11,7; 1,8; 13,8; 19,9; 29,5; 35,9; 45,4; 84,0; 164,0; 171,4 lat. Interesujący jest eksperyment polegający na wyznaczeniu trendu czasowego liczb Wolfa

$$W = a_0 + b_j \sin \left(\frac{2\pi}{P_j} t + c_j \right)$$

przy założeniu okresowości planetarnej P_j , z uwzględnieniem modulacji najkrótszego okresu 11,7 lat przez okresy najdłuższe 84 lat i 171,4 lat. Wypadkowa okresów planetarnych dobrze opisuje zmienność aktywności Słońca (wyniki obserwacji) w latach 1700-1993 (współczynnik korelacji $R = 0,8$).

Okresowe wahania temperatury powietrza skorelowane z okresami aktywności Słońca i okresami planetarnymi implikują tezę o chłodzeniu klimatu w przyszłym – XXI stuleciu. Wypadkowa okresów temperatury powietrza w Warszawie podczas zim (rys. 2.) cechuje się głębokim minimum w latach 2000-2100, kiedy to prognozowane jest kolejne wiekowe minimum aktywności Słońca.

Ochłodzenia klimatu wystąpiły podczas wiekowych minimów plam słonecznych: Maundera (1640-1710) i Daltona (1780-1830). Zauważono (Charvatova, Jestlik 1996), podczas minimów wiekowych aktywności Słońca (co 179 lat) ruch środka masy Układu Słonecznego odbywa się po innych orbitach (chaotycznych) niż podczas maksimów (po orbitach uporządkowanych). Podobne minimum wiekowe aktywności Słońca (i ochłodzenie klimatu) autorzy prognozują w połowie przyszłego stulecia.

Podobnie Sezanow i Malkentin (1996) sugerują, że anomalne ciepłe zimy są wywołane specyficznym układem największych planet (Saturn, Neptun, Uran, które znajdują się w koniunkcji ze Słońcem i Ziemią) deformujących heliosferę własnymi polami grawitacyjnymi.

Naturalne wahania klimatu są wywołane głównie zmiennością stałej słonecznej. Zmienia się ona w ciągu roku o $\pm 3,3\%$ w wyniku różnej odległości Ziemi od Słońca: styczeń (147 mm km) – $2,01 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$, lipiec (152 mm km) – $1,94 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$.

Stała słoneczna zależy od aktywności Słońca. Maksymalna jej wartość przypada na przedział 80-100 liczb Wolfa (Kondratiev 1965). Z wzoru K. Kondratieva i G. Nikol'skiego (1970):

$$s = 1,903 + 0,011W^{0,5} - 0,0006W, \quad \text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$$

wynika, iż w cyklu 11-letnim stała słoneczna waha się o 2,5%. Ciąg czasowy stałej słonecznej w latach 1700-1993 (otrzymany wg powyższego wzoru) cechuje się średnią okresowością: 11,1; 34,2; 102,0; 187,8 lat (minima wariancji resztkowej, metoda sinusoid regresji).

Tendencja stałej słonecznej w latach 1700-1993 jest rosnąca i może być przyczyną postępującego ocieplenia klimatu Ziemi.

Zmiany zachodzące na Słońcu są przenoszone na Ziemię nie tylko poprzez stałą słoneczną, ale także przez jonosferę (cyrkulację atmosferyczną).

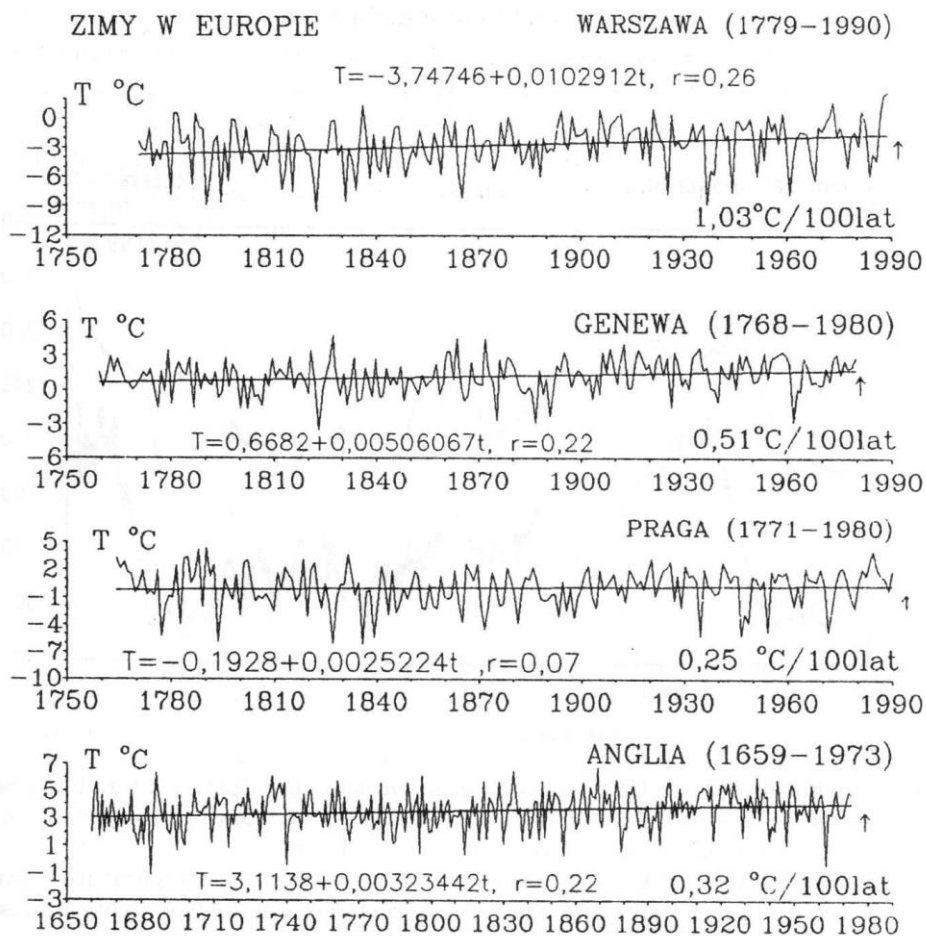
Znamienne jest, że minimum absolutne trendu czasowego temperatury powietrza w Europie w ostatnich dwóch stuleciach (1779-1990) przypada na minimum absolutne aktywności Słońca (na najsłabszy cykl 13-letni plam słonecznych 1811-1823) i jednocześnie na maksimum wiekowe aktywności wulkanicznej. Na początku XIX w. wystąpiły wybuchy wulkanów o największym wskaźniku zapylenia atmosfery *DVI* (dust veil index H. Lamba, 1974): Tambora – o *DVI* = 3000 w 1815 r., Coseguina – o *DVI* = 4000 w 1835 r.

Postępujące globalne ocieplenie może też wynikać z tendencji malejącej wskaźnika *DVI* w latach 1680-1980 i z większych odstępów czasu między kolejnymi wybuchami wulkanów. Na stałą słoneczną ma niewątpliwie wpływ drobny pył, pozostający w stratosferze przez wiele lat.

Okresowość zbliżoną do wiekowej (120 lat) i dwuwiekowej (190 lat), która najbardziej kształtuje współczesne wahania klimatu, występuje również w ciągach czasowych substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych sprzed 10 000 lat (w holocenie).

Te długie okresy: temperatury; aktywności Słońca i erupcji wulkanicznych (wiekowy i dwuwiekowy) powtarzają się wielokrotnie w przypadku akumulacji substancji organicznych.

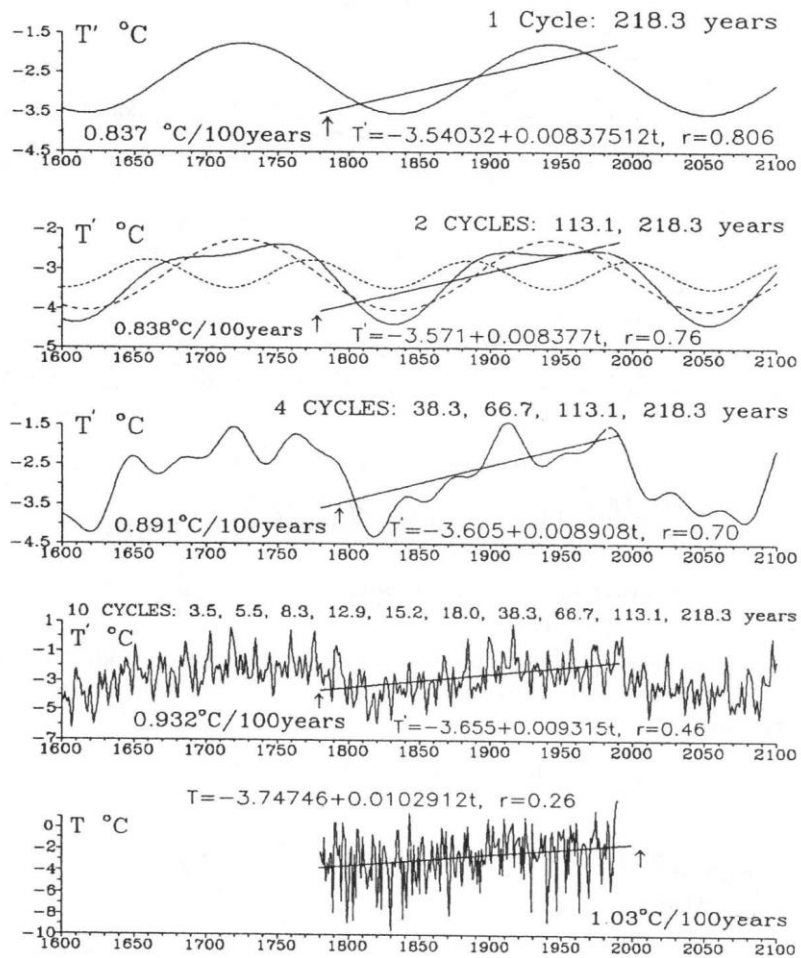
W prognozach zmian klimatu w XXI wieku można pominąć bardzo powolne zmiany, spowodowane długimi okresami wahań parametrów orbity Ziemi (90 000, 40 000, 21 000 lat; Milanković, 1938). Można również pominąć najdłuższe holocenijskie cykle klimatu (powyżej 1000 lat), wykryte w ciągach czasowych zdeponowanych substancji organicznych w osadach jezior – Wikaryjskie, Gościąż, Święte (Boryczka, Wicik 1994). Ich ekstrema (ochłodzenia i ocieplenia) prawdopodobnie będą się powtarzać, gdyż analogicznej okresowości ulegają parametry Układu Słonecznego. W prognozach nie można jednak zaniechać paruset letnich holocenijskich okresów, które kształtowały klimat Ziemi w ostatnich tysiącletniach. Być może, że współczesne ocieplenie jest efektem nałożenia się bardzo długiego holocenijskiego cyklu klimatu (jego fazy rosnącej) i zmienności antropogenicznej.



Rys. 2. Tendencje rosnące temperatury powietrza w zimie w Europie: Warszawa (1779-1990) – $0,0103^{\circ}\text{C}/100$ lat, Genewa (1768-1980) – $0,0051^{\circ}\text{C}/100$ lat, Praga (1771-1980) – $0,0025^{\circ}\text{C}/100$ lat, Anglia Środkowa (1659-1973) – $0,0032^{\circ}\text{C}/100$ lat

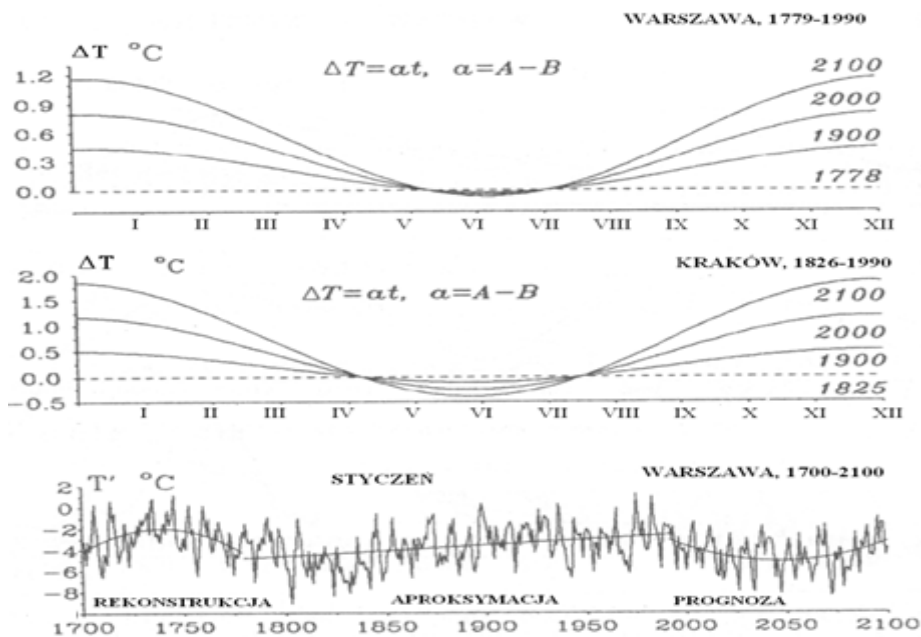
Fig.2. The increasing trend of air temperature in winter in Europe: in Warsaw (1779-1990) – by $1,03^{\circ}\text{C}/100$ years, in Geneva (1768-1980) – by $0,51^{\circ}\text{C}/100$ years, in Prague (1771-1980) – by $0,25^{\circ}\text{C}/100$ years and in Middle England (1659-1973) – by $0,32^{\circ}\text{C}/100$ years

AIR TEMPERATURE IN WARSAW – WINTERS (1779–1990)

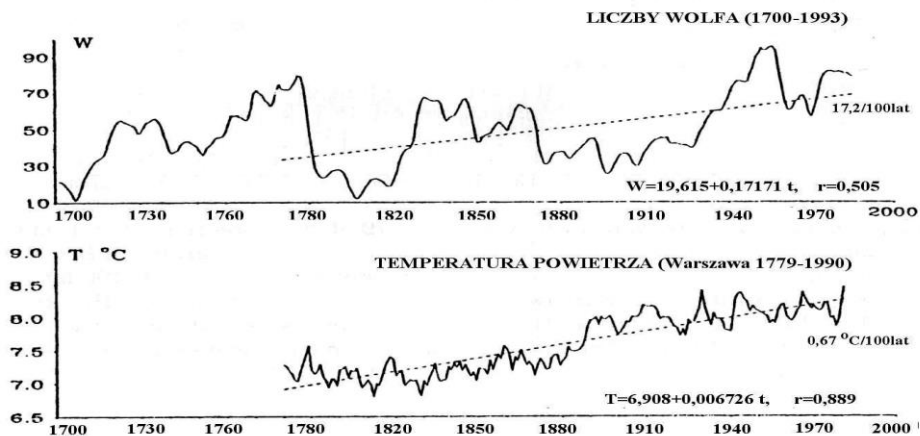


Rys. 3. Ciepłe zimy w Warszawie w latach 1779-1990 – średnio o $A = 1,03^{\circ}\text{C}/100$ lat – to efekt nakładania się (superpozycji) 10 cykli naturalnych $B = 0,93^{\circ}\text{C}/100$ lat. Składnik antropogeniczny jest równy $a = A - B = 0,1^{\circ}\text{C}/100$ lat

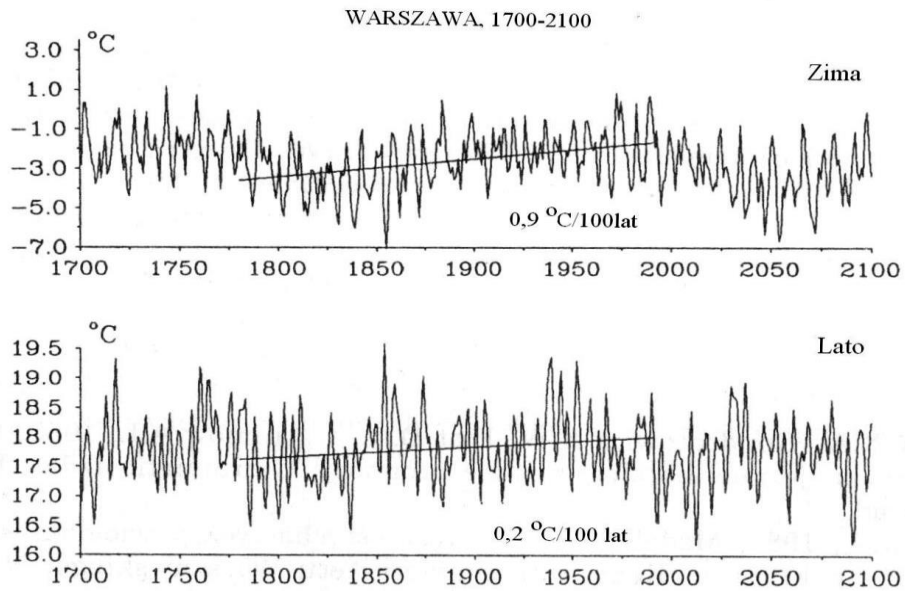
Fig.3. Warmer winters in Warsaw in the years 1779-1990 by, on the average, $A = 1,03^{\circ}\text{C}/100$ years, as the effect of superposition of 10 natural cycles; $B = 0,93^{\circ}\text{C}/100$ years. The anthropogenic component equals $a = A - B = 0,1^{\circ}\text{C}/100$ years



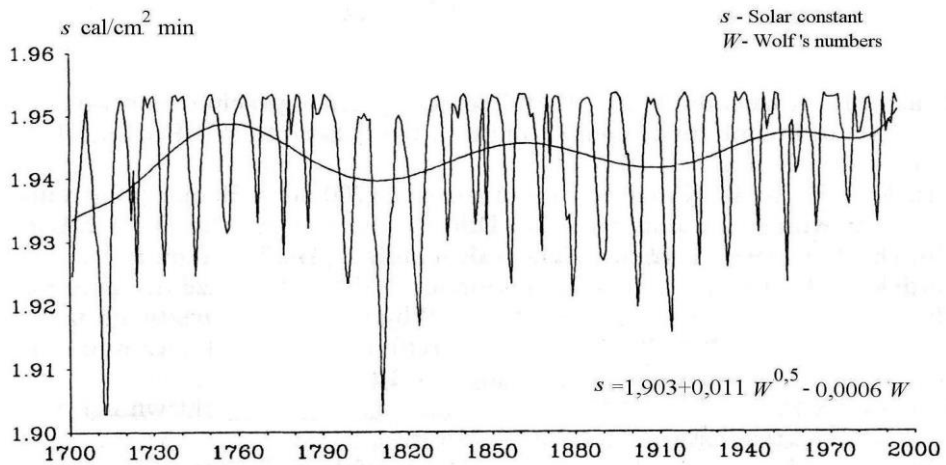
Rys. 4. Antropogeniczne przyrosty temperatury powietrza (ΔT) w latach 1900, 2000, 2100 (Warszawa, Kraków). Prognoza temperatury w styczniu do roku 2100
Fig. 4. Relative anthropogenic increments of air temperature (ΔT) in the years 1900, 2000, 2100 (Warsaw, Cracow). Forecast of temperature in January until the year 2100



Rys. 5. Tendencje wiekowe aktywności Słońca (1700-1993) i temperatury powietrza w Warszawie (1779-1990); średnie konsekwentne 10-letnie)
Fig. 5. The tendency of solar activity (1700-1993) and air temperature in Warsaw (1779-1990, 10- years moving averages)



Rys. 6. Naturalne, okresowe zmiany klimatu w latach 1700-2100 w Warszawie
Fig. 6. Natural, periodic climatic changes in Warsaw in the years 1700-2100



Rys. 7. Tendencje stałej słonecznej w latach 1700-1993
Fig. 7. Tendencies of the solar constant in the years 1700-1993

¹Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1998, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XI. pt. *Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, ss. 258

III. NATURALNE I ANTROPOGENICZNE ZMIANY KLIMATU EUROPY Z WYODRĘBNIENIEM POLSKI (WAŻNIEJSZE WYNIKI BADAŃ)

Wprowadzenie

Ten problemowy przegląd literatury (rozdz. II) stanowi ogólne tło do aktualnych własnych badań naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu Europy (i Polski) – w tomach VII, 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

Przykładowo podano, że 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 oraz rekonstrukcji i prognoz zmian klimatu Europy przedstawiono w 8 wymienionych tomach *Atlasu* VII i IX-XV opublikowanych w latach 1992-2001.

3.1. 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

Ważniejsze wyniki badań

W pracy określono naturalne i antropogeniczne zmiany wiekowe klimatu Polski wraz z prognozą sięgającą po rok 2100. Zbadano ciągi chronologiczne: plam słonecznych (liczb Wolfa, 1749-1980), cyrkulacji atmosferycznej (wschodniej, zachodniej, południkowej wg Wangenheima, 1891- 1976) oraz temperatury powietrza (1779-1979) i opadów atmosferycznych (1813-1980) w Warszawie. Analizie poddano miesięczne, sezonowe, półroczne i roczne wartości.

Metody statystyczne stosowane dotychczas: analiza harmoniczna – wyznaczanie kolejnych wyrazów szeregu Fouriera, analiza spektralna – metoda autokorelacyjna niezbyt nadają się do badań periodycznych zmian klimatu. Niedoskonałością analizy harmonicznej jest założenie fikcyjnych okresów: $n, \frac{n}{2}, \frac{n}{3}, \dots$. Okresy te, otrzymane z podziału arbitralnego długości ciągu chronologicznego na dwie, trzy itd. części, nie pokrywają się z okresami rzeczywistymi (prawdziwymi). Tylko niektóre z harmonik mogą przypadkowo być takie same jak okresy rzeczywiste. Metodą tą nie można wykryć okresów między: n i $\frac{n}{2}$; $\frac{n}{2}$ i $\frac{n}{3}$ itd..

Powszechnie zaś stosowaną metodą autokorelacyjną można wykrywać w zasadzie tylko okresy zmian bardzo krótkie (o dużej częstotliwości). Współczynniki autokorelacji między ciągiem chronologicznym pierwotnym i ciągami otrzymanymi z translacji osi czasu o 1, 2, 3, ..., k jednostek są obliczane na podstawie coraz to mniejszej liczby $n - k$ danych. Prowadzi to do ograniczeń jej stosowalności do okresów nie przekraczających $k = \frac{n}{2}$. Nowością w badaniach sekularnych zmian klimatu jest analiza oscylacji – wyznaczenie widma oscylacji i rzeczywistych okresów (metoda Boryczki). Nie ma ona żadnego z wymienionych ograniczeń stosowalności. Ciąg chronologiczny (także niekompletny) pomiarów wykonanych w dowolnych odstępach czasu jest aproksymowany kolejnymi sinusoidami regresji:

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

o zadanym paśmie oscylacji, np. $\Theta = \frac{1}{12}, \frac{2}{12}, \dots, N$, gdzie $N \geq n$.

Metodą tą otrzymuje się

$\vec{b} = b_1, \dots, b_N$ – empiryczne widmo oscylacji

$\vec{c} = c_1, \dots, c_N$ – fazy początkowe

$\vec{R} = R_1, \dots, R_N$ – oscylogram korelacji.

Poszukiwane okresy rzeczywiste Θ_j – to maksima lokalne widma oscylacji (ciągu amplitud). Odpowiadają im w przybliżeniu minima wariancji resztkowej i maksima współczynnika korelacji wielokrotnej R_j . Amplitudy b_j są weryfikowane testem Fishera-Snedecora o 2 i $n-3$ stopniach swobody.

Znalezienie ukrytego okresu Θ_j – sinusoidy regresji o amplitudzie b_j i przesunięciu fazowym c_j – sprowadza się do wyznaczenia równania płaszczyzny regresji:

$$y = a_0 + \alpha x_1 + \beta x_2$$

względem zmiennych czasowych $x_1 = \sin \frac{2\pi}{\Theta} t$, $x_2 = \cos \frac{2\pi}{\Theta} t$. Amplituda (b) zmian i przesunięcie fazowe (C) są określone wzorami

$$b = (\alpha^2 + \beta^2)^{0.5}, \quad \text{tg } c = \frac{\beta}{\alpha}$$

gdzie kąt c spełnia warunki $\alpha = b \cos c$, $\beta = b \sin c$.

Widma oscylacji \vec{b} i wektory faz wykorzystano do identyfikacji przyczyn zmian klimatu. Widma oscylacji \vec{b} przyczyn (aktywności Słońca, mechanizmu przenoszenia na Ziemię (cyrkulacji atmosferycznej) i elementów klimatu (temperatura powietrza, opady) powinny być identyczne. W tej samej epoce czasu $\langle 0, t \rangle$ powinny być także zbliżone wektory przesunięć fazowych \vec{c} , tj. cykle synchroniczne.

Okresy rzeczywiste Θ_j zastosowano do wyznaczania trendów czasowych:

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

składając (wg rachunku najmniejszych kwadratów (sinusoidy regresji o rzeczywistych okresach, zweryfikowanych testem Fishera-Snedecora o $2k$ i $n-2k-1$ stopniach swobody).

Innym rozwiązywanym w *Atlasie* problemem jest modelowanie naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu. Zmierzone wartości np. temperatury powietrza (y) są sumą składników naturalnego (y_0) i antropogenicznego (Δy). Istnieje możliwość wyodrębnienia składnika naturalnego, gdy ulega on periodycznym zmianom. Wypadkową tych naturalnych zmian można opisać kilkoma lub kilkunastoma sinusoidami o wykrytych rzeczywistych okresach.

Natomiast miarą antropogenicznych zmian jest składnik liniowy $\Delta y = at$ trendu czasowego

$$T = F(t) = a_0 + \underbrace{at}_{\text{Zmiany antropogeniczne}} + \underbrace{\sum_{j=1}^k b_j \sin\left(\frac{2\pi}{\theta_j} t + c_j\right)}_{\text{Zmiany naturalne}}$$

Współczynnik regresji cząstkowej a może wskazywać tendencję wzrostową ($a > 0$) lub spadkową ($a < 0$) zmian antropogenicznych. Może on także aproksymować zmiany naturalne – odcinek sinusoidy o bardzo długim nieznanym okresie.

Różnica między składnikami liniowymi $\Delta y_1 - \Delta y_2 = (a_1 - a_2) t$ trendów czasowych dwóch sąsiednich miejscowości (1 i 2) wynika z wpływu czynników antropogenicznych. Widma oscylacji, charakteryzujące naturalne zmiany są w sąsiednich miastach takie same

$$\vec{b}_1 \approx \vec{b}_2 .$$

Cykle rzeczywiste liczby plam słonecznych (W), cyrkulacji atmosferycznej (wschodniej C_E , zachodniej C_W , południkowej C), temperatury powietrza (T) i opadów atmosferycznych (P) i trendy czasowe, które są ich wypadkową, wskazują, iż zmiany klimatu Polski w XIX - XX wieku były kształtowane głównie przez aktywność Słońca. Minimum absolutne aktywności Słońca przypada na najslabszy cykl pojedynczy 1811 - 1823, a maksimum – na najmocniejszy cykl 1959 -1964. Maksimum absolutne aktywności Słońca 189,9 wystąpiło w roku 1957. Te ekstrema absolutne liczby plan słonecznych były wywołane nałożeniem się 4 głównych cykli:

$$W = 50,41 + 27,45 \sin\left(\frac{2\pi}{11} t + 1,071\right)$$

$$W = 50,17 + 12,80 \sin\left(\frac{2\pi}{59} t - 1,901\right)$$

$$W = 48,09 + 18,84 \sin\left(\frac{2\pi}{91} t + 0,012\right)$$

$$W = 46,51 + 9,856 \sin\left(\frac{2\pi}{79} t - 1,32\right), \text{ (dane 1700-1978)}$$

Oto daty minimów i maksimów tych sinusoid regresji:

Cykl	minima	maksima
11 lat	1810	1959
59 lat	1811	1959
91 lat	1817	1954
179 lat	1871	1960

Liczba plan słonecznych cechuje się stałą tendencją wzrostową $\frac{\partial W}{\partial t} = 8/100 \text{ lat}$.

Minimum absolutne średniej rocznej temperatury powietrza $T_{\min} = 6,5^{\circ}\text{C}$ (wg trendu $F(t)$ przypada na rok 1823, w którym wystąpiło minimum absolutne aktywności Słońca (1811- 1823 – najslabszy cykl). Maksimum zaś absolutne $T_{\max} = 8,5^{\circ}\text{C}$ nieco wyprzedza datę maksimum absolutnego aktywności Słońca (1957).

Temperatura powietrza, podobnie jak aktywność Słońca w ostatnich dwóch stuleciach, wzrastała o $0,6^{\circ}\text{C}/100$ lat:

$$W = 36,10 + 0,0803 t, \quad (1779 - 1979)$$

$$T = 6,88 + 0,0058 t, \quad (1700 - 1978)$$

Ten stały wzrost średniej rocznej temperatury powietrza w Warszawie jest wynikiem nakładania się naturalnych cykli – głównie 89 lat i 194 lat. To postępujące ocieplenie klimatu w XVIII-XX wieku jest prawdopodobnie uwarunkowane wzrostem aktywności Słońca. Temperatura powietrza jest dodatnio skorelowana z liczbą, plam słonecznych.

Cykle rocznych wartości temperatury powietrza – 60 lat, aktywności Słońca – 59 lat i cyrkulacji południkowej – 61 lat są synchroniczne:

$$T = 7,45 + 0,133 \sin\left(\frac{2\pi}{60}t + 1,363\right)$$

$$W = 50,17 + 12,8 \sin\left(\frac{2\pi}{59}t - 1,90\right)$$

$$C = 95,09 + 19,68 \sin\left(\frac{2\pi}{61}t + 1,525\right)$$

Maksima tych sinusoid regresji występują mniej więcej w tym samym czasie:

T_{\max}	1780	1840	1900	1960	2020
W_{\max}	1781	1840	1899	1958	2017
C_{\max}	1768	1829	1890	1951	2012

Synchroniczne są też cykle: 89 lat – średniej rocznej temperatury powietrza i 91 lat – aktywności Słońca:

$$P = 7,45 + 0,199 \sin\left(\frac{2\pi}{89}t + 2,474\right)$$

$$W = 48,09 + 18,84 \sin\left(\frac{2\pi}{91}t + 0,012\right)$$

Ich minima przypadają na lata:

T_{\min}	1632	1721	1810	1898	1988	2077
W_{\min}	1634	1725	1816	1907	1998	2089

Pewna zbieżność dat występuje także między ekstremami cykli: 58 lat – opadów atmosferycznych:

$$P = 569,3 + 30,86 \sin\left(\frac{2\pi}{58}t - 2,930\right)$$

oraz 60 lat – temperatury powietrza i 59 lat – aktywności Słońca. Najdłuższy cykl rocznych sum opadów wynosi 112 lat:

$$P = 565,0 + 30,0 \sin\left(\frac{2\pi}{112}t - 0,861\right)$$

Jest on znacznie dłuższy od cykli: 87-99 lat – cyrkulacji zachodniej, 89 lat – temperatury powietrza i 91 lat – aktywności Słońca.

Prawie we wszystkich miesiącach wykryto cykle 9-13 lat opadów atmosferycznych, zbliżone do cyklu 11-letniego aktywności Słońca.

Istnieje ogólna prawidłowość, że cyrkulacja wschodnia w latach 1891 - 1980 ma tendencję rosnącą ($a > 0$), a zachodnia – malejącą ($a < 0$). Natomiast składnik liniowy cyrkulacji południkowej ($\Delta C = at$) zmienia znak w ciągu roku.

Składnik liniowy $\Delta T = at$ trendu wiekowego temperatury powietrza jest uwarunkowany przyczynami (czynnikami) antropogenicznymi. Świadczą o tym jego zmiany roczne – od dużych (1,48°C/100 lat) dodatnich wartości w miesiącach zimowych do bardzo małych, bliskich zera, a nawet ujemnych w lecie.

Antropogeniczne przyrosty temperatury powietrza w Warszawie ($\Delta T = at$) w latach 2000, 2100 w odniesieniu do roku 1778 (°C, $t=0$, $\Delta T=0$) mogą osiągnąć wartości:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2000	1,31	0,47	0,16	0,02	0,18	2,57	0,02	0,47	0,07	0,58	0,44	3,28
2100	2,91	0,68	0,23	0,03	0,26	3,74	0,03	0,68	0,10	0,84	0,64	4,76

Wydaje się, że te duże przyrosty temperatury powietrza ($\Delta T > 0$) w miesiącach zimowych wynikają z rozbudowy miasta (coraz większej akumulacji ciepła w dzień przez liczniejszą wielokondygnacyjną zabudowę i emisji ciepła sztucznego) oraz dominacji efektu cieplarnianego atmosfery, wynikającego ze wzrostu zawartości CO₂ w atmosferze. Natomiast w lecie ($\Delta T \approx 0$) lub $\Delta T < 0$) dominuje absorpcja promieniowania słonecznego przez pyły naturalne i przemysłowe (z emisji wtórnej). To przeciwne oddziaływanie czynników antropogenicznych prowadzi do niewielkich przyrostów $\Delta T = 0,19$ °C/100 lat (średniej rocznej temperatury powietrza):

$$T = -0,1385 + 0,00483 t + \dots \quad \text{– półrocze chłodne (X-III)}$$

$$T = 14,52 + 0,00041 t + \dots \quad \text{– półrocze ciepłe (IV-IX)}$$

$$T = 7,263 + 0,00189 t + \dots \quad \text{– rok}$$

Antropogeniczne przyrosty miesięcznych sum opadów antropogenicznych ($\Delta P = at$) są rzędu kilku mm/100 lat. W niektórych miesiącach są one ujemne. Przyrosty ΔP półrocznych (X-III, IV- IX) i rocznych (I-XII) sum opadów atmosferycznych w Warszawie są nieistotne statystycznie.

Ekstrema absolutne krzywej trendu czasowego temperatury powietrza w Warszawie w stuleciach XVIII - XXI występują w latach:

	T_{\min}	Data	T_{\max}	Data
Styczeń	-7,5	1801	-0,9	1916
Lipiec	17,7	1822	19,6	1944
Rok	6,5	1823	8,5	1949

Minimum absolutne średniej rocznej temperatury powietrza $T_{\min} = 6,5$ °C przypada na rok 1823 – podczas minimum absolutnego aktywności Słońca (najsłabszego cyklu 1811- 1823). Maksimum absolutne temperatury $T_{\max} = 8,5$ °C nieco wyprzedza datę maksimum absolutnego plam słonecznych (1957). Analogiczne ekstrema wiekowe temperatury prawdopodobnie powtórzą się w XXI wieku:

	T_{\min}	Data	T_{\max}	Data
Styczeń	-6,8	2011	-1,2	2044
Lipiec	17,6	1977	19,5	2085
Rok	6,8	2088	8,3	2093

Można oczekiwać, iż na początku stulecia XXI w roku 2011 – wystąpią duże spadki temperatury w styczniu. Jeszcze przed rokiem 2000 mogą w lutym wystąpić bardzo niskie wartości temperatury powietrza.

W stuleciu XXI średnie roczne wartości temperatury powietrza w Warszawie będą na ogół niższe od normy $\bar{T} = 7,46$ °C (średniej z dwóch minionych stuleci). Nie wystąpi jednak zbyt duże ochłodzenie klimatu, ponieważ znaczne są antropogeniczne przyrosty temperatury powietrza.

Krzywa wiekowych zmian sum rocznych opadów w latach 1700 - 2100 ma kilka wyraźnych minimów (P_{\min}) i maksimów (P_{\max}), np.:

P_{\min} , mm	Data	P_{\max} , mm	Data
468	1764	654	1756
466	1824	684	852
457	1938	690	1965
486	2017	641	2025

Maksimum opadów $P_{\max} = 641$ mm przypada na rok 1965, a minimum $P_{\min} = 486$ mm wystąpi około roku 2017. Opady atmosferyczne w latach 1991- 2023 będą w zasadzie poniżej normy $\bar{P} = 569,2$ mm (średniej sumy rocznej z lat 1813-1980/ lub będą do niej zbliżone.

Przyczyną naturalnych zmian klimatu Polski w XVIII-XXI wieku są okresowe zmiany aktywności Słońca. Widma oscylacji temperatury powietrza w Warszawie i liczb Wolfa w latach 1779-1979 są prawie identyczne (rys. 1). Zgodność tych widm występuje we wszystkich pasmach częstości $\omega = \frac{2\pi}{\Theta}$ o maksimach, tj. okresach rzeczywistych Θ :

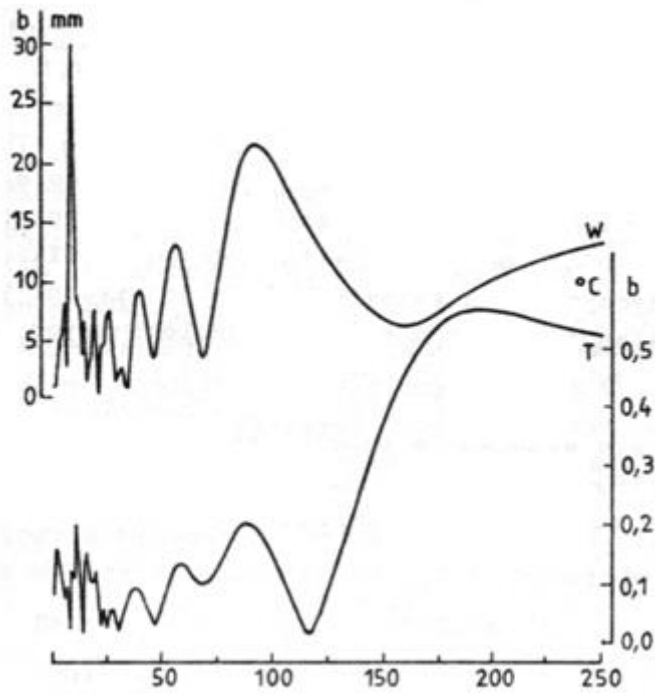
Lczby Wolfa	11	21	28	43	59	91	179	lat
Temperatura powietrza	13	22	28	41	60	90	194	lat

Mało prawdopodobne jest, by ta zgodność 7 pasm częstości oscylacji temperatury powietrza i aktywności Słońca była przypadkowa.

Opady atmosferyczne w Warszawie są uwarunkowane przede wszystkim okresowymi zmianami cyrkulacji zachodniej. Świadczą o tym analogiczne oscylogramy korelacji $R(\theta)$ cyrkulacji zachodniej (C_w) i opadów (P) w latach 1891-1976 (rys. 2), które otrzymano na podstawie ciągów chronologicznych – średnich konsekwentnych 12-miesięcznych (o liczebności $n = 1021$).

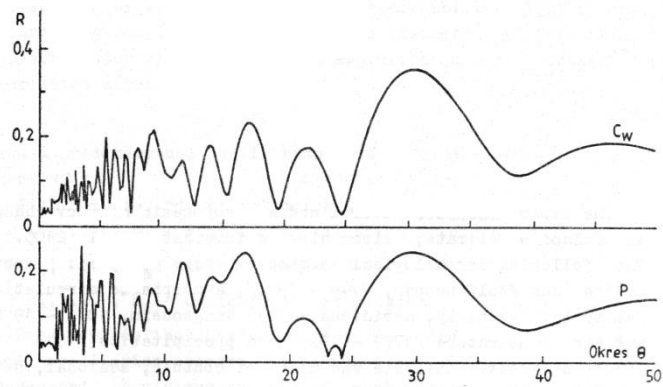
Zastosowaniem widm oscylacji m.in. do identyfikacji astronomicznych przyczyn zmian klimatu są poświęcone kolejne części *Atlasu Współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*.

Praca została wykonana w ramach konkursu Ministerstwa Edukacji Narodowej (1990) – wg projektu badawczego p.t. *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Polski*.



Rys. 1. Widma oscylacji temperatury powietrza w Warszawie (T) i aktywności Słońca (W) w latach 1779-1979

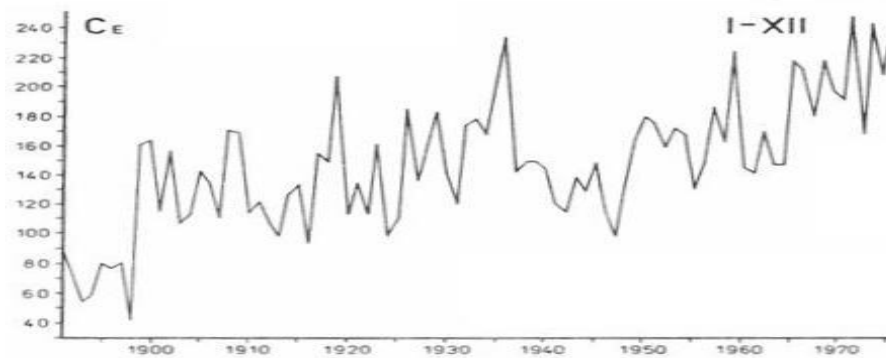
Fig. 1. Oscillation spectrum of air temperature in Warsaw (T) and Sun activity (W) in the period 1779-1979



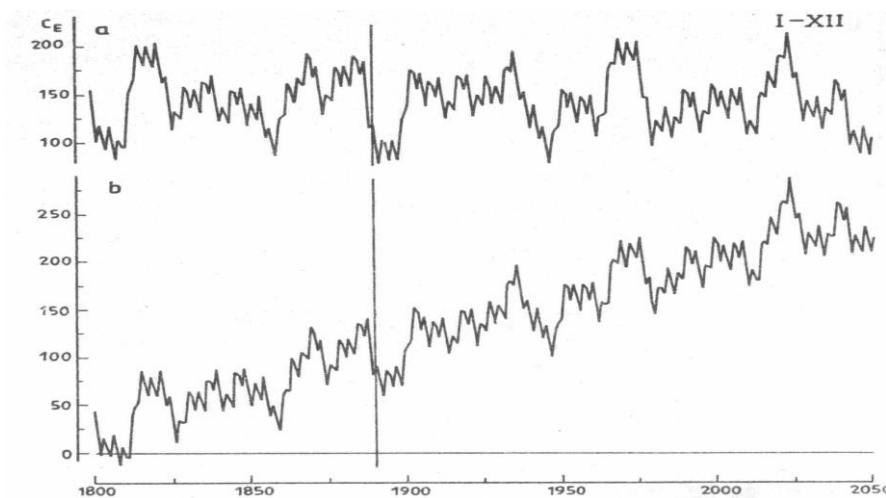
Rys. 2. Widma oscylacji opadów atmosferycznych w Warszawie (P) i cyrkulacji zachodniej (C_w) w latach 1891-1976

Fig. 2. Oscillation spectrum of precipitation in Warsaw (P) and the westerly circulation (C_w) in the period 1891-1976

**Prognozy cyrkulacji atmosferycznej: wschodniej (C_E), zachodniej (C_W)
i południkowej (C) (wg klasyfikacji G. J. Wangenheima)
(rys. 3-8)**



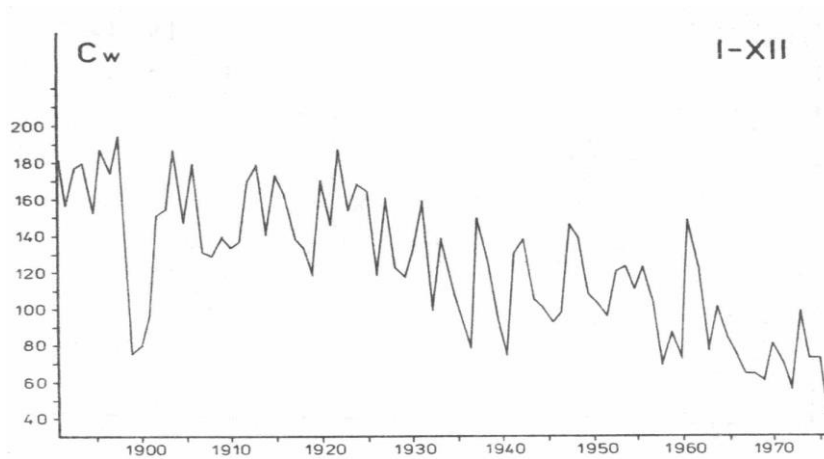
Rys. 3. Cyrkulacja atmosferyczna wschodnia (wg Wangenheima) w latach 1891-1976 – rok
Fig. 3. Easterly atmospheric circulation (after Wangenheim) in the period 1891-1976 - year



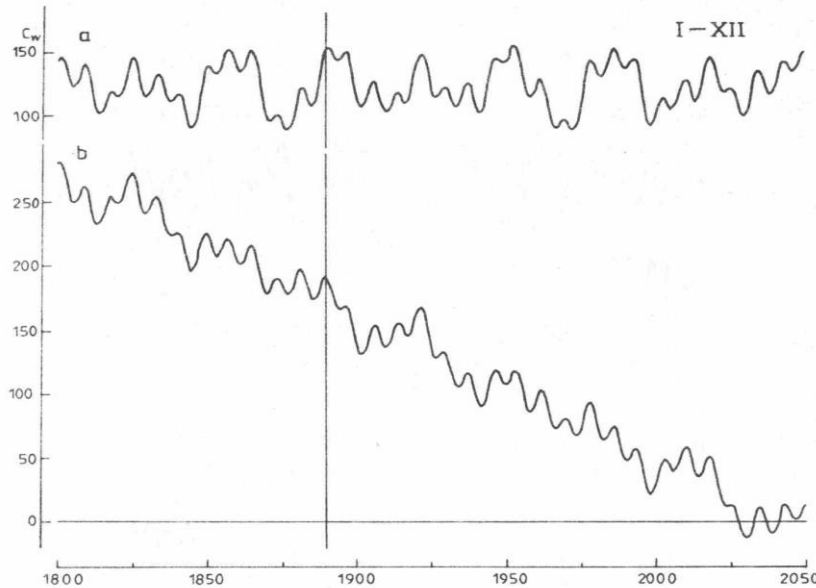
Rys. 4. Trend wiekowy cyrkulacji wschodniej w latach 1800-2050; a – wypadkowa rzeczywistych cykli, b – z uwzględnieniem tendencji stałej, wykresy funkcji $f(t)$ i $F(t)$ – rok
Fig. 4. Century trend of easterly circulation on the period 1800-2050; a – resultant of actual cycles, b – with stable tendency accounted for graphs of functions $f(t)$, $F(t)$ – year

$$C_E = f(t) = 146,0 + 13,42 \sin\left(\frac{2\pi}{3}t + 0,9632\right) + 12,51 \sin\left(\frac{2\pi}{8}t - 1,882\right) + 18,87 \sin\left(\frac{2\pi}{17}t - 2,928\right) + 14,17 \sin\left(\frac{2\pi}{22}t + 2,916\right) + 15,73 \sin\left(\frac{2\pi}{30}t - 1,998\right) + 20,99 \sin\left(\frac{2\pi}{48}t - 2,649\right)$$

$$C_E = F(t) = 1007,2 + 0,09031 t + 13,10 \sin\left(\frac{2\pi}{3}t + 0,9612\right) + 11,63 \sin\left(\frac{2\pi}{8}t - 1,843\right) + 18,21 \sin\left(\frac{2\pi}{17}t - 2,860\right) + 14,17 \sin\left(\frac{2\pi}{22}t + 2,916\right) + 15,73 \sin\left(\frac{2\pi}{30}t - 1,998\right) + 20,99 \sin\left(\frac{2\pi}{48}t - 2,649\right)$$



Rys. 5. Cyrkulacja atmosferyczna zachodnia (wg Wangenheima) w latach 1891-1976 – rok
Fig. 5. Westerly atmospheric circulation (after Wangenheim) in the period 1891-1976 - year



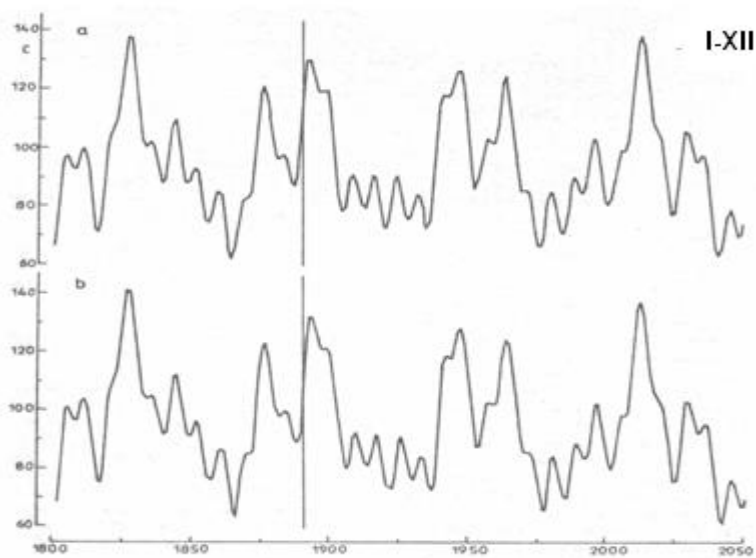
Rys. 6. Trend wiekowy cyrkulacji zachodniej w latach 1800-2050; a – wypadkowa rzeczywistych cykli, b – z uwzględnieniem tendencji stałej, wykresy funkcji $f(t)$ i $F(t)$ – rok
Fig. 6. Century trend of westerly circulation on the period 1800-2050; a – resultant of actual cycles, b – with stable tendency accounted for graphs of functions $f(t)$, $F(t)$ – year

$$C_w = f(t) = 123,4 + 10,43 \sin\left(\frac{2\pi}{8}t + 1,916\right) + 7,962 \sin\left(\frac{2\pi}{14}t - 0,0512\right) + 18,35 \sin\left(\frac{2\pi}{31}t + 1,297\right) + 10,73 \sin\left(\frac{2\pi}{45}t + 0,2201\right)$$

$$C_w = F(t) = 172,2 - 1,136 t + 9,941 \sin\left(\frac{2\pi}{8}t + 2,031\right) + 5,081 \sin\left(\frac{2\pi}{14}t + 0,2032\right) + 11,74 \sin\left(\frac{2\pi}{31}t + 1,759\right) + 5,490 \sin\left(\frac{2\pi}{45}t - 2,743\right)$$



Rys. 7. Cyrkulacja atmosferyczna południkowa (wg Wangenheima) w latach 1891-1976 – rok
Fig. 7. Meridional atmospheric circulation (after Wangenheim) in the period 1891-1976 - year



Rys. 8. Trend wiekowy cyrkulacji południkowej w latach 1800-2050; a – wypadkowa rzeczywistych cykli, b – z uwzględnieniem tendencji stałej, wykresy funkcji $f(t)$ i $F(t)$ – rok
Fig. 8. Century trend of meridional circulation on the period 1800-2050; a – resultant of actual cycles, b – with stable tendency accounted for graphs of functions $f(t)$, $F(t)$ – year

$$C = f(t) = 94,40 + 7,665 \sin\left(\frac{2\pi}{8}t + 0,2688\right) + 9,207 \sin\left(\frac{2\pi}{17}t + 0,1569\right) + 11,62 \sin\left(\frac{2\pi}{23}t - 0,2156\right) + 17,38 \sin\left(\frac{2\pi}{61}t + 1,515\right)$$

$$C = F(t) = 95,61 - 0,0280 t + 7,634 \sin\left(\frac{2\pi}{8}t + 0,2665\right) + 9,075 \sin\left(\frac{2\pi}{17}t + 0,1622\right) + 11,56 \sin\left(\frac{2\pi}{23}t - 0,2156\right) + 17,48 \sin\left(\frac{2\pi}{61}t + 1,517\right)$$

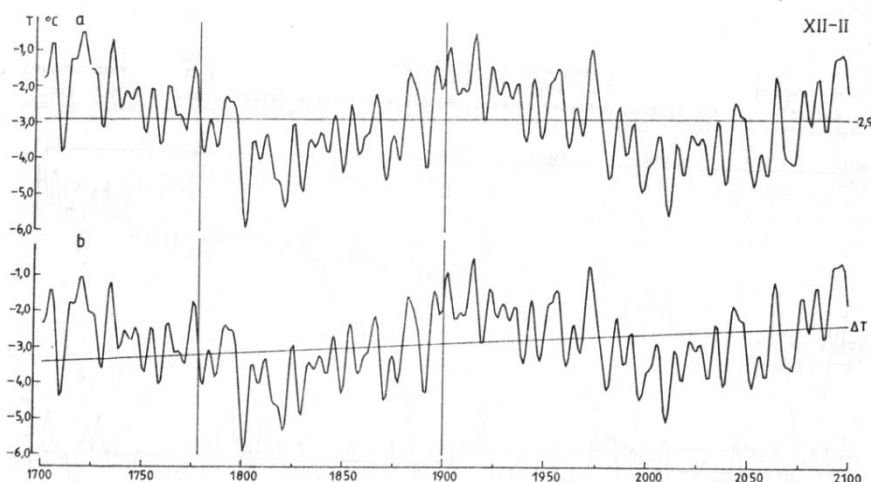
Prognozy temperatury powietrza w Warszawie (1980-2100)
(rys. 9-11)

Funkcja trendu czasowego $F(t)$ opisująca interferencję k cykli temperatury o okresie Θ_j , amplitudzie b_j i fazie c_j , zawiera składnik liniowy at , który określa zmiany antropogeniczne:

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

Przykładowo zamieszczono rekonstrukcje i prognozy średniej temperatury powietrza w zimie, lecie i roku w Warszawie, na podstawie danych z lat 1779-1979 bez składnikiem liniowego ($at=0$) i z składnikiem liniowym at

Zima (XII-II)



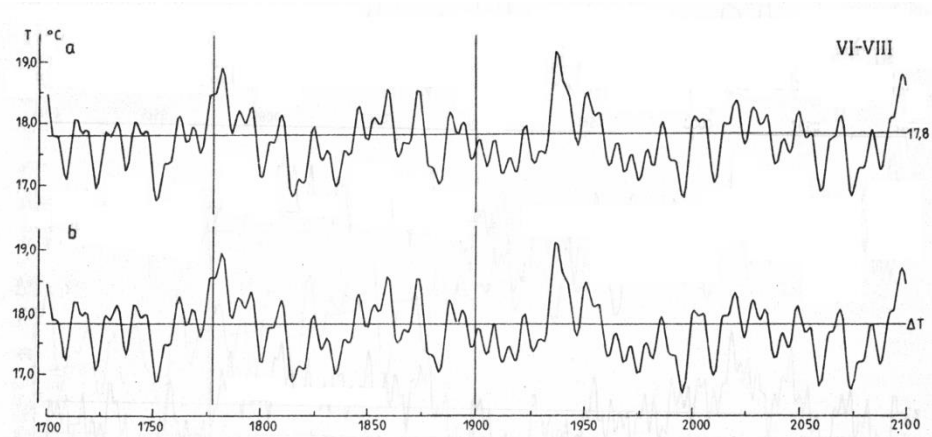
Rys. 9. Trend wiekowy temperatury powietrza w Warszawie w latach 1700- 2100; a – zmiany naturalne, b – z wyodrębnieniem składnika antropogenicznego, wykresy funkcji $f(t)$, $F(t)$ – zima

Fig. 9. Century trend of air temperature in Warsaw in the period 1700-2100; a – natural changes, b – anthropogenic component separated, graphs of functions $f(t)$, $F(t)$ – winter

$$T = f(t) = 0,3469 + \\ +0,2492 \sin \left(\frac{2\pi}{4} t - 3,025 \right) + 0,29485 \sin \left(\frac{2\pi}{13} t + 0,7026 \right) + 0,2642 \sin \left(\frac{2\pi}{18} t - 2,961 \right) + \\ + 0,2027 \sin \left(\frac{2\pi}{22} t + 2,461 \right) + 0,2868 \sin \left(\frac{2\pi}{67} t + 2,096 \right) + 0,1379 \sin \left(\frac{2\pi}{98} t + 2,2,786 \right) + \\ + 0,8480 \sin \left(\frac{2\pi}{205} t - 2,979 \right)$$

$$T = F(t) = -0,1385 + 0,00483 t + \\ + 0,2450 \sin \left(\frac{2\pi}{4} t - 3,001 \right) + 0,29345 \sin \left(\frac{2\pi}{13} t + 0,6950 \right) + 0,2642 \sin \left(\frac{2\pi}{18} t - 2,961 \right) + \\ + 0,1742 \sin \left(\frac{2\pi}{22} t + 2,418 \right) + 0,2508 \sin \left(\frac{2\pi}{67} t + 1,721 \right) + 0,0272 \sin \left(\frac{2\pi}{98} t + 1,284 \right) + \\ + 0,5453 \sin \left(\frac{2\pi}{205} t - 2,925 \right)$$

Lato (VI-VIII)



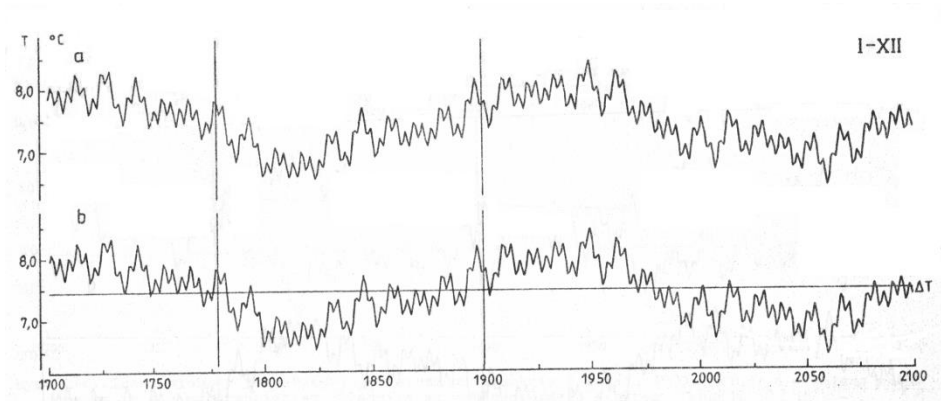
Rys. 10. Trend wiekowy temperatury powietrza w Warszawie w latach 1700 - 2100; a – zmiany naturalne, b – z wyodrębnieniem składnika antropogenicznego, wykresy funkcji $f(t)$, $F(t)$ – lato

Fig. 10. Century trend of air temperature in Warsaw in the period 1700-2100; a – natural changes, b – anthropogenic component separated, graphs of functions $f(t)$, $F(t)$ – summer

$$\begin{aligned}
 T = f(t) = & 17,74 + \\
 & + 0,2163 \sin \left(\frac{2\pi}{7} t - 2,594 \right) + 0,1565 \sin \left(\frac{2\pi}{13} t - 0,4477 \right) + 0,3191 \sin \left(\frac{2\pi}{16} t + 1,532 \right) + \\
 & + 0,2008 \sin \left(\frac{2\pi}{22} t - 0,0961 \right) + 0,1697 \sin \left(\frac{2\pi}{41} t + 1,742 \right) + 0,1834 \sin \left(\frac{2\pi}{52} t + 0,1453 \right) + \\
 & + 0,3599 \sin \left(\frac{2\pi}{81} t + 1,269 \right) + 0,0746 \sin \left(\frac{2\pi}{160} t + 1,9369 \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T = F(t) = & 17,79 + 0,00057 t + \\
 & + 0,2168 \sin \left(\frac{2\pi}{7} t - 2,594 \right) + 0,1562 \sin \left(\frac{2\pi}{13} t - 0,4448 \right) + 0,3184 \sin \left(\frac{2\pi}{16} t + 1,532 \right) + \\
 & + 0,1970 \sin \left(\frac{2\pi}{22} t - 0,0894 \right) + 0,1687 \sin \left(\frac{2\pi}{41} t + 1,791 \right) + 0,1530 \sin \left(\frac{2\pi}{52} t + 0,1256 \right) + \\
 & + 0,3618 \sin \left(\frac{2\pi}{81} t + 1,271 \right) + 0,0935 \sin \left(\frac{2\pi}{160} t + 2,019 \right)
 \end{aligned}$$

Rok (I-XII)



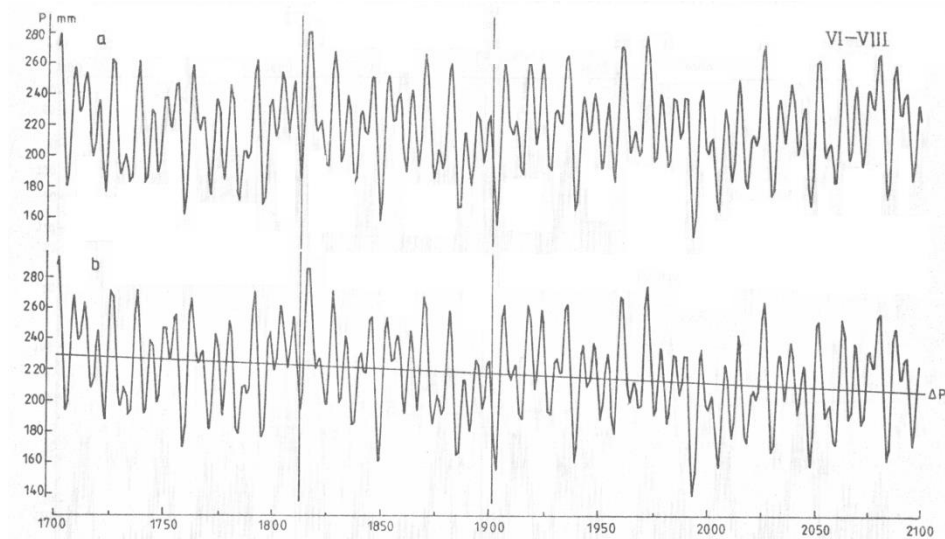
Rys. 11. Trend wiekowy temperatury powietrza w Warszawie w latach 1700-2100; a – zmiany naturalne, b – z wyodrębnieniem składnika antropogenicznego, wykresy funkcji $f(t)$, $F(t)$ – rok
Fig. 11. Century trend of air temperature in Warsaw in the period 1700-2100; a – natural changes, b – anthropogenic component separated, graphs of functions $f(t)$, $F(t)$ – year

$$T = f(t) = 7,453 + \\ + 0,1618 \sin \left(\frac{2\pi}{4} t + 2,8710 \right) + 0,1933 \sin \left(\frac{2\pi}{13} t - 0,7498 \right) + 0,1208 \sin \left(\frac{2\pi}{17} t + 1,842 \right) + \\ + 0,1185 \sin \left(\frac{2\pi}{60} t + 1,165 \right) + 0,1484 \sin \left(\frac{2\pi}{89} t + 2,570 \right) + 0,5403 \sin \left(\frac{2\pi}{194} t + 3,058 \right)$$

$$T = F(t) = 7,263 + 0,00189 t + \\ + 0,1591 \sin \left(\frac{2\pi}{22} t + 2,871 \right) + 0,1920 \sin \left(\frac{2\pi}{13} t + 0,7408 \right) + 0,1238 \sin \left(\frac{2\pi}{17} t + 1,768 \right) + \\ + 0,1122 \sin \left(\frac{2\pi}{60} t + 1,094 \right) + 0,1246 \sin \left(\frac{2\pi}{89} t + 2,617 \right) + 0,4269 \sin \left(\frac{2\pi}{194} t + 3,067 \right)$$

Prognozy opadów atmosferycznych w Warszawie (1980-2100)
(rys. 12-14)

Lato (VI-VIII)



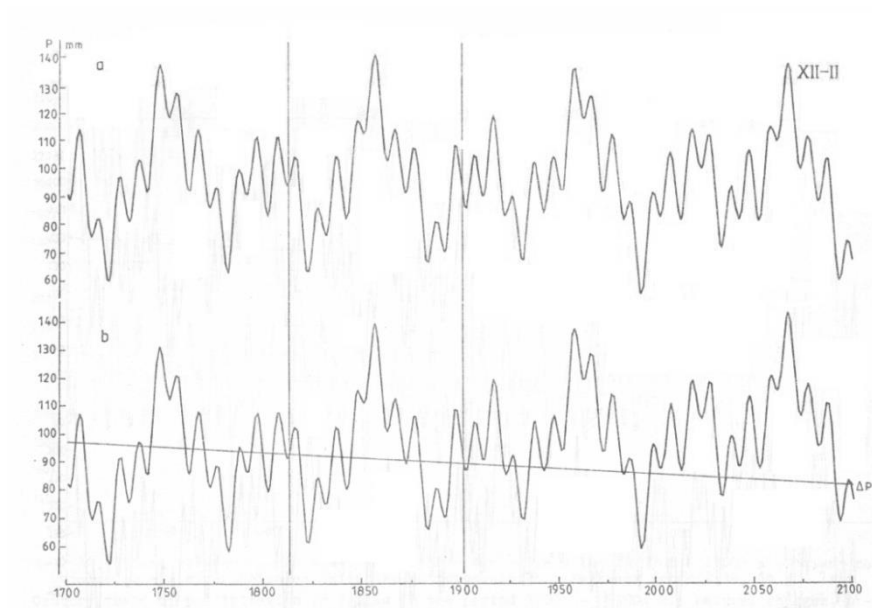
Rys. 12. Trend wiekowy opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1700 -2100; a – zmiany naturalne, b – z wyodrębnieniem składnika antropogenicznego, wykresy funkcji $f(t)$, $F(t)$ – lato

Fig. 12. Century trend of precipitation in Warsaw in the period 1700-2100; a – natural changes, b – anthropogenic component separated, graphs of functions $f(t)$, $F(t)$ – summer

$$P = f(t) = 218,0 + 25,22 \sin\left(\frac{2\pi}{6}t - 1,741\right) + 15,89 \sin\left(\frac{2\pi}{9}t - 1,716\right) + 19,14 \sin\left(\frac{2\pi}{13}t - 0,3370\right) + 8,843 \sin\left(\frac{2\pi}{54}t + 1,717\right) + 7,588 \sin\left(\frac{2\pi}{122}t + 1,003\right)$$

$$P = F(t) = 222,9 - 0,05795 t + 25,24 \sin\left(\frac{2\pi}{6}t - 1,746\right) + 15,04 \sin\left(\frac{2\pi}{9}t - 1,717\right) + 18,91 \sin\left(\frac{2\pi}{13}t - 0,3448\right) + 9,429 \sin\left(\frac{2\pi}{54}t + 1,822\right) + 8,035 \sin\left(\frac{2\pi}{122}t + 1,077\right)$$

Zima (XII-II)

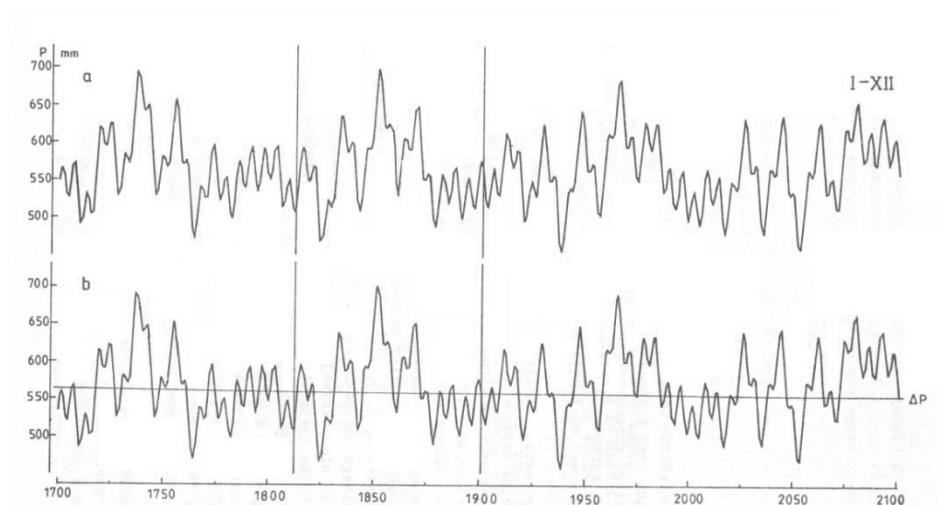


Rys. 13. Trend wiekowy opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1700 - 2100; a – zmiany naturalne, b – z wyodrębnieniem składnika antropogenicznego, wykresy funkcji $f(t)$, $F(t)$ – zima
Fig. 13. Century trend of precipitation in Warsaw in the period 1700-2100; a – natural changes, b – anthropogenic component separated, graphs of functions $f(t)$, $F(t)$ – winter

$$P = f(t) = 96,39 + 11,20 \sin\left(\frac{2\pi}{10}t - 1,030\right) + 8,665 \sin\left(\frac{2\pi}{21}t + 1,551\right) + 16,25 \sin\left(\frac{2\pi}{53}t + 2,623\right) + 10,01 \sin\left(\frac{2\pi}{100}t - 1,186\right)$$

$$P = F(t) = 93,11 - 0,03897t + 11,20 \sin\left(\frac{2\pi}{10}t - 1,024\right) + 8,672 \sin\left(\frac{2\pi}{21}t + 1,524\right) + 15,83 \sin\left(\frac{2\pi}{53}t + 2,623\right) + 0,643 \sin\left(\frac{2\pi}{100}t - 1,131\right)$$

Rok (I-XII)



Rys. 14. Trend wiekowy opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1700 - 2100; a – zmiany naturalne, b – z wyodrębnieniem składnika antropogenicznego, wykresy funkcji $f(t)$, $F(t)$ – rok

Fig. 14. Century trend of precipitation in Warsaw in the period 1700-2100; a – natural changes, b – anthropogenic component separated, graphs of functions $f(t)$, $F(t)$ – year

$$P = f(t) = 564,6 + 28,22 \sin\left(\frac{2\pi}{6}t - 1,450\right) + 32,02 \sin\left(\frac{2\pi}{16}t + 1,113\right) + 27,48 \sin\left(\frac{2\pi}{19}t + 0,8780\right) + 27,40 \sin\left(\frac{2\pi}{58}t - 3,015\right) + 26,75 \sin\left(\frac{2\pi}{112}t - 0,6919\right)$$

$$P = F(t) = 562,5 - 0,002481t + 28,22 \sin\left(\frac{2\pi}{6}t - 1,449\right) + 32,02 \sin\left(\frac{2\pi}{16}t + 1,113\right) + 27,59 \sin\left(\frac{2\pi}{19}t + 0,8765\right) + 26,99 \sin\left(\frac{2\pi}{58}t - 3,018\right) + 26,73 \sin\left(\frac{2\pi}{112}t - 0,6907\right)$$

Summary

The paper discusses natural and anthropogenic century changes in Poland's climate, along with a forecast until 2100. The following chronological sequences were examined: spots on the Sun (Wolf number, 1749 - 1980/, atmospheric circulation) easterly, westerly, meridional after i Vangenheim, 1891 - 1976/ and air temperature (1779 -1979) and precipitation /1813 - 1983/ in Warsaw. Analysis was made of monthly, seasonal, semi-annual and annual values.

The statistical methods used until now harmonic analysis – determination of consecutive terms in Fourier series, spectroanalysis – autocorrelation method, are not too well suited to study periodic changes of the climate. The deficiency of the harmonic analysis is assumption of fictional periods: $n, \frac{n}{2}, \frac{n}{3}, \dots$. The periods received by dividing arbitrarily the duration of a chronological sequence into two, three, etc. parts do not correspond to actual periods. Only some of the harmonics may by accident appear to be the same as actual periods. The method is useless to discover periods between: n and $n, \frac{n}{2}$ and $\frac{n}{3}$, etc.

The commonly used autocorrelation method can only be used to determine only very short periods of change (with high frequency). Autocorrelation coefficients between the original chronological sequence and sequences obtained in effect of time translation by 1, 2, 3, ... , k units are calculated basing on an increasingly smaller number of data $n-k$. This restricts the applicability of the method to periods not exceeding $k = \frac{n}{2}$.

An oscillation analysis is a novelty in secular examination of climate changes – determination of oscillation spectra and actual periods (Boryczka's method). The method is characterized by lack of all *above* applicability limitations. A chronological sequence (also an incomplete one) of measurements in any time intervals is approximated with consecutive regression sinusoids:

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

with a predetermined oscillation band, e.g. $\Theta = \frac{1}{12}, \frac{2}{12}, \dots, N$, where $N \geq n$

With this method the following are obtained:

$\vec{b} = b_1, \dots, b_N$ – empirical oscillation spectrum

$\vec{c} = c_1, \dots, c_N$ – initial phases

$\vec{R} = R_1, \dots, R_N$ – correlation oscillogram

Real periods that are sought for Θ_j – are maximum values of local oscillation spectra (a sequence of amplitudes). They correspond to minimum values of rest variances and maximum values of multiple correlation coefficient R . Amplitudes b_j verified with Fisher-Snadecor test with 2 and $n-3$ degrees of freedom.

Determination of a hidden period Θ_j – regression sinusoid with amplitude b_j and phase shift c_j requires the determination of a formula of a regression plane.

$$y = a_0 + \alpha x_1 + \beta x_2$$

in relation to time variables $x_1 = \sin \frac{2\pi}{\Theta} t$, $x_2 = \cos \frac{2\pi}{\Theta} t$.

Amplitude of changes (b) and phase shift (c) are determined with the following formulae:

$$b = (\alpha^2 + \beta^2)^{\frac{1}{2}}, \quad \operatorname{tg} c = \frac{\beta}{\alpha}$$

where angle c meets the following conditions: $\alpha = b \operatorname{cosec} c$, $\beta = b \operatorname{sinc} c$.

Oscillation spectra b and phase vectors were used to identify reasons for climate change. Oscillation spectra b of reasons (Sun activity), of the mechanism of transmission to the Earth (atmospheric circulation) and climate elements (air temperature, precipitation) should be identical. In the same time epoch 0 , t also the vectors of phase shifts c , i.e. synchronic cycles should be similar.

Real periods were used to determine time trends

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

composing (smallest square condition) regression sinusoids with actual periods, verified with the Fisher-Snedecor test with $2k$ and $n-2k-1$ degrees of freedom.

Another problem solved in the *Atlas* is modelling of natural and anthropogenic changes of climate. The measured values of e.g. air temperature (y) are a sum of natural (y_0) and anthropogenic (Δy) components. It is possible to separate the natural component since it undergoes periodic changes. The resultant of those natural changes can be described with a few or about a dozen sinusoids with discovered real periods. The measure of anthropogenic changes is a linear component $\Delta y = at$ of time trend

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

Partial regression coefficient a can indicate an upward ($a > 0$) or downward ($a < 0$) trend of anthropogenic changes. It can also approximate natural changes – a stretch of the sinusoid with a very long unknown period.

The difference between linear components $\Delta y_1 - \Delta y_2 = (a_1 - a_2) t$ of time trends of two neighbouring localities results from the impact of anthropogenic factors. Oscillation spectra, characterizing natural changes in neighbouring towns are the same ($\vec{b}_1 \approx \vec{b}_2$).

Real cycles of the number of Sun spots (W) atmospheric circulation (easterly C_E , westerly C_W , meridional (C), air temperature (T) and precipitation (P) and time trends, being their resultant, show that changes in Poland's climate in 19th and 20th centuries were mostly affected by Sun activity. An absolute minimum of Sun activity took place in the weakest single cycle 1811-1823, and maximum – in the strongest cycle 1959-1964. An absolute maximum of Sun activity of 189.9 occurred in 1957. The extreme absolute values of the number of sunspots resulted in effect of overlapping of four main cycles:

$$\begin{aligned} W &= 50,41 + 27,45 \sin \left(\frac{2\pi}{11} t + 1,071 \right) \\ W &= 50,17 + 12,80 \sin \left(\frac{2\pi}{59} t - 1,901 \right) \\ W &= 48,09 + 18,84 \sin \left(\frac{2\pi}{91} t + 0,012 \right) \\ W &= 46,51 + 9,856 \sin \left(\frac{2\pi}{79} t - 1,32 \right), \quad (1700 - 1978) \end{aligned}$$

Here are dates of the minimum and maximum values of the regression sinusoids:

Cycle	minimum	maximum
11 lat	1810	1959
59 lat	1811	1959
91 lat	1817	1954
179 lat	1871	1960

The number of sunspots is characterized by a stable growth $\frac{\partial W}{\partial t} = 8/100$ years. An absolute minimum of a mean annual air temperature $T_{\min} = 6.5^{\circ}\text{C}$ /according to $F(t)$ trend/ was in 1823 when there was an absolute minimum of Sun activity (1811 – 1923) – the weakest cycle/. And the absolute maximum $T_{\max} = 8.5^{\circ}\text{C}$ is slightly earlier than the maximum of Sun activity (1957). Air temperature, similarly to Sun activity, has been growing by $0.6^{\circ}\text{C}/100$ years over the last two centuries:

$$W = 36,10 + 0,0803 t, \quad (1779 - 1979)$$

$$T = 6,88 + 0,0058 t, \quad (1700 - 1978)$$

The regular increase of the average annual air temperature in Warsaw results from overlapping of natural cycles – primarily 89 years and 194. years. The progressing warming up of the climate in 18th-20th centuries is probably due to intensified Sun activity. Air temperature is positively correlated to the number of sunspots.

The cycles of annual air temperature values – 60 years, Sun activity – 59 years and meridional circulation – 61 years are synchronic:

$$T = 7,45 + 0,133 \sin\left(\frac{2\pi}{60}t + 1,363\right)$$

$$W = 50,17 + 12,8 \sin\left(\frac{2\pi}{59}t - 1,90\right)$$

$$C = 95,09 + 19,68 \sin\left(\frac{2\pi}{61}t + 1,525\right)$$

Maximum values of the regression sinusoids occur more or less at the same time:

T_{\max}	1780	1840	1900	1960	2020
W_{\max}	1781	1840	1899	1958	2017
C_{\max}	1768	1829	1890	1951	2012

Also the following cycles are synchronic: 89 years – of average annual air temperature and 91 years – of Sun activity.

$$P = 7,45 + 0,199 \sin\left(\frac{2\pi}{89}t + 2,474\right)$$

$$W = 48,09 + 18,84 \sin\left(\frac{2\pi}{91}t + 0,012\right)$$

Their minimum values are as follows:

T_{\min}	1632	1721	1810	1898	1988	2077
W_{\min}	1634	1725	1816	1907	1998	2089

A concurrence of dates also occurs among extremes of cycles: 58 years – precipitation.

$$P = 569,3 + 30,86 \sin\left(\frac{2\pi}{58}t - 2,930\right)$$

and so years – air temperature and 59 years – Sun activity. The longest cycle of annual precipitation is 112 years:

$$P = 565,0 + 30,0 \sin\left(\frac{2\pi}{112}t - 0,861\right)$$

It is much longer than the following cycles: 87- 99 years – westerly circulation and 89 years – air temperature and 91 years – Sun activity. Almost in all months, 9-13 year cycles of precipitation were discovered that were close to the 11-year cycle of Sun activity.

There is a general regularity that easterly circulation had a growing trend in the period 1891 - 1980 ($a > 0$) and the west early circulation – decreasing ($a < 0$). And the linear component of the southerly circulation would alternate within the year ($\Delta C = at$).

The linear component $\Delta T = at$ of the secular trend of air temperature depends on anthropogenic factors. This is shown in its annual changes – from high (1.48°C/100 years) positive values in winter to very low, close to zero, or even negative changes in the summer.

Anthropogenic growth of air temperature in Warsaw ($T = at$) in the years 2000, 2100 can reach the following values in reference to 1778 (in °C, $t=0$, $\Delta T=0$):

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2000	1,31	0,47	0,16	0,02	0,18	2,57	0,02	0,47	0,07	0,58	0,44	3,28
2100	2,91	0,68	0,23	0,03	0,26	3,74	0,03	0,68	0,10	0,84	0,64	4,76

The large growth of air temperature ($\Delta T > 0$) in winter seems to have resulted from expansion of the town (increasing heat accumulation during the day by an increased number of multistorey buildings and emission of artificial heat) and domination of the hot-house effect of the atmosphere due to an increased CO₂ content in the atmosphere. In the summer ($\Delta T \approx 0$ or $\Delta T < 0$) there is absorption of Sun radiation by natural and industrial dusts (from secondary emission). The contrary activity of anthropogenic factors produces small growths ($\Delta T = 0.19^\circ\text{C}/100$ years) of the average annual air temperature:

$$\begin{aligned} T &= -0,1385 + 0,00483 t + \dots && \text{– cool six months (X-III)} \\ T &= 14,52 + 0,00041 t + \dots && \text{– cool six months (IV-IX)} \\ T &= 7,263 + 0,00189 t + \dots && \text{– year} \end{aligned}$$

Anthropogenic growths of monthly sums of anthropogenic precipitation ($\Delta P = at$) are a few mm/100 years. In some months it is negative ΔP growths of semi-annual (X-III, IV-IX) and annual (I-XII) sums of precipitation in Warsaw are statistically insignificant.

Absolute extremes of the time trend curve of air temperature in Warsaw in 18th-21st centuries occur in the following years:

	T_{\min}	Year	T_{\max}	Year
January	-7,5	1801	-0,9	1916
July	17,7	1822	19,6	1944
Year	6,5	1823	8,5	1949

An absolute minimum value of the average annual air temperature $T_{\min} = 6.5^\circ\text{C}$ occurred in 1823 – at the time of an absolute minimum of Sun activity (the weakest cycle 1811- 1823). An absolute maximum value of temperature $T_{\max} = 8.5^\circ\text{C}$ occurred somewhat ahead of the date of an absolute maximum of sunspots (1957).

Corresponding secular extreme values of temperature will be probably repeated in 21st century:

	T_{\min}	Year	T_{\max}	Year
January	-6,8	2011	-1,2	2044
July	17,6	1977	19,5	2085
Year	6,8	2088	8,3	2093

Substantial temperature drops in January can be expected at the beginning of the next century – in 2011. Even before the year 2000 very low air temperatures can occur in February. In 21st century average annual air temperatures in Warsaw will generally be below standard $\bar{T} = 7.46^{\circ}\text{C}$ (an average of the two previous centuries). However, the climate will not be excessively cooled down due to substantial anthropogenic increase of air temperature.

The curve of secular changes in the sums of annual precipitation in the period 1700 - 2100 shows a few clear minimum values (P_{\min}) and maximum values (P_{\max}) e.g.:

$P_{\min, \text{mm}}$	Year	$P_{\max, \text{mm}}$	Year
468	1764	654	1756
466	1824	684	1852
457	1938	690	1965
486	2017	641	2025

A maximum of precipitation $P_{\max} = 641$ mm occurred in 1965 and. minimum $P_{\min} = 486$ will occur around the year 2017. In the period 1991- 2023, precipitation will be in principle below the standard $\bar{P} = 569.2$ mm !being the average annual sum from the period 1813 - 1980/ or will be close to the standard. Periodic changes in Sun activity are the reason for natural changes in Poland's climate in 18th - 21st centuries. Spectra of oscillation of air temperature in Warsaw and Wolf number in the period 1779-1979 are almost identical. The consistence of the spectra occurs in all frequency bands $\omega = \frac{2\pi}{\Theta}$ with maximum values or real periods Θ :

Wolf number	11	21	28	43	59	91	179	years
Air temperature	13	22	28	41	60	90	194	years

It is highly improbable that the consistence of seven frequency bands of oscillation of air temperature and Sun activity is accidental.

Precipitation in Warsaw depends primarily on periodic changes of westerly circulation. This is confirmed by corresponding correlation oscillograms $R(\Theta)$ of westerly circulation (C) and precipitation (P) in the period 1891- 1976, which were received basing on chronological sequences – average consecutive 12 – month values (with quantity $n = 1021$). The applications of oscillation spectra e.g. to identify astronomical reasons of climate changes will be discussed in part VIII of the geographical parameters in Poland.

3.2. 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

Ważniejsze wyniki badań

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

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

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

2. Warszawa na tle otoczenia wyróżnia się przede wszystkim wyższą temperaturą minimalną (w nocy jest znacznie cieplejsza); dłuższym okresem bezprzymrozkowym i wegetacyjnym, mniejszą wilgotnością względną i większym niedosytem wilgotności powietrza, większym zachmurzeniem nieba i mniejszą liczbą dni pogodnych, większymi sumami opadów atmosferycznych, mniejszą liczbą dni z mgłą (mniej inwersji termicznych) oraz znacznie mniejszą prędkością wiatru, mniejszą liczbą dni z wiatrem silnym, większą liczbą dni z wiatrem bardzo słabym i większym udziałem dni bezwietrznych (Stopa-Boryczka 1992).

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

Novum w literaturze stanowi wszechstronna charakterystyka zmian dobowych miejskiej wyspy ciepła w Warszawie przedstawiona na przykładzie anomalnego –

upalnego roku 1992. Istotne znaczenie poznawcze mają terminy pojawiania się i zaniku miejskiej wyspy ciepła, jak również jej intensywność zależnie od warunków pogodowych. Interesujące jest określenie przy jakiej cyrkulacji powietrza, różnice temperatury powietrza między miastem i otoczeniem są największe np. $> 3^{\circ}\text{C}$. Po prostu stwierdzono jakie sytuacje pogodowe sprzyjają dużej intensywności miejskiej wyspy ciepła.

Dni o maksymalnej różnicy temperatury powietrza (ΔT_{\max}) między śródmieściem Warszawy i peryferiami w roku 1992 i ich charakterystykę meteorologiczną zestawiono w tabeli, gdzie podano: godziny wystąpienia maksymalnej różnicy temperatury powietrza (ΔT_{\max}), typ cyrkulacji wg Lityńskiego, temperaturę powietrza na Okęciu (T), zachmurzenie (N), prędko wiatru (v) i jego kierunek.

Interesujące jest, że miejska wyspa ciepła w Warszawie o maksymalnej intensywności (największej różnicy dodatniej temperatury powietrza między centrum miasta i peryferiami) wystąpiła w dniach o cyrkulacji antycyklonalnej (wyżowej) – przy największej insolacji. Największe różnice temperatury powietrza $\Delta T = 9, 1^{\circ}\text{C}$ zanotowano w dniach 30 VII. i 17 VIII 1992 r. przy typie cyrkulacji SW_A. Kontrast termiczny między miastem i jego okolicami szczególnie nasila się przy frontach chłodnych w godzinach, późnowieczornych i nocnych (tab. 1).

Dzienna wyspa ciepła jest najintensywniejsza w zimie w śródmieściu (w zabudowie zwartej i zieleni parkowej). W nocy miasto wychładza się mniej niż jego otoczenie. Wskazują na to różnice temperatury powietrza (styczeń, kwiecień, lipiec, październik 1992). Miasto w nocy jest znacznie cieplejsze od otoczenia średnio temperatura minimalna jest do 2°C większa. Miejska wyspa ciepła w zimie występuje prawie przez całą dobę. Natomiast w lecie nasila się ona od wieczora do rana. W godzinach okołopołudniowych różnice temperatury powietrza między śródmieściem Warszawy i peryferiami są niewielkie (wyrównanie temperatury powietrza).

Tabela 1. Dni o maksymalnej różnicy temperatury powietrza (ΔT_{\max}) między śródmieściem Warszawy i jej peryferiami

Table 1. Days with highest air temperature differences (ΔT_{\max}) between downtown Warsaw and its peripheries.

1992	Godz,	ΔT_{\max}	Cyrkulacja	$T^{\circ}\text{C}$	N	v [m/s]	Kierunek	
23	I	5	6,8	OA	-16	0	1	W
26	11	24	4,4	OA	-1,1	2	1	S
2	111	4	8,4	WA	-1,7	2	0	C
6	IV	6	6,0	OC	-2,0	5	1	W
16	V	5	7,8	NA	5,8	1	1	SW
27	VI	5	8,5	OA	9,4	3	1	W
30	VII	1	9,1	SWA	9,2	0	1	S
17	VIII	6	9,1	SWA	8,1	2	2	S
10	IX	6	6,4	SWA	4,5	0	1	W
21	X	6	4,6	NW	-2,3	4	1	S
9	XI	20	5,1	OA	-3,8	0	1	S
26	XI	21	4,9	NA	-11,3	0	1	NW

3. Różnice temperatury powietrza między miastem i otoczeniem: średniej dobowej ΔT , maksymalnej ΔT_{\max} , minimalnej ΔT_{\min} i dobowej amplitudy ΔA – zależnie od rodzaju powierzchni zestawiono w tabeli 2.

W mieście wahania dobowe temperatury powietrza są mniejsze niż poza miastem. Różnice dobowej amplitudy zmieniają się w ciągu roku od $\Delta A = - 0,6^{\circ}\text{C}$ w styczniu do

$\Delta A = -2,1^{\circ}\text{C}$ w lipcu i sierpniu. Zabudowa luźna mniej zniekształca dobowe wahania temperatury powietrza: różnica ΔA zmienia się od $-0,4^{\circ}\text{C}$ do $-1,2^{\circ}\text{C}$ (w tych samych miesiącach). Najmniejsze jednak dobowe wahania temperatury powietrza ΔA występują w zieleni parkowej: od $-0,2^{\circ}\text{C}$ w lutym do $-0,9^{\circ}\text{C}$ w sierpniu i wrześniu.

Tabela 2. Różnice temperatury powietrza między miastem i otoczeniem dla różnego rodzaju powierzchni

Table 2. Temperature difference measurement for various kinds of surface

Powierzchnia	Ekstrema	ΔT		ΔT_{\max}		ΔT_{\min}		ΔA	
Miasto	max	1	VII	0,2	II	2	VII	-2	VII
	miii	1	I	-0,1	I	1	I	-0	II
Zabudowa zwarta	max	1	VII, VIII	0,3	II	2	VII, VIII	-0	VII, VIII
	miii	1	,II	-0,2	VIII	1	I	-1	I
Zabudowa luźna	max	1	VIII, IX	0,1,	VI, V	1	VII	-1	VII, VIII
	mm	0	III	-0,1	X	1	I	-0	-0,4(I)
Zieleń parkowa	Max	1	VI, VII	0,6	IV	1	VII	-1	VIII, IX
	mm	1	XII	0,3	IX	1	I	-0	II

Sinusoidy opisujące zmiany roczne różnic temperatury powietrza ($\omega = \frac{2\pi}{365,25}$)
 $\Delta T = a_0 + b \sin(\omega t + c)$

między zabudową zwartą, luźną, zielenią parkową i otoczeniem świadczą o zależności amplitudy miejskiej wyspy ciepła od rodzaju powierzchni czynnej. Temperatura powietrza w zabudowie zwartej i kompleksach zieleni parkowej w śródmieściu najbardziej odbiega od średnich warunków termicznych Warszawy. Zabudowa zwarta cechuje się najwyższą temperaturą minimalną (różnice ΔT do $1,9^{\circ}\text{C}$) i najmniejszą dobową amplitudą ΔA (do $-2,1^{\circ}\text{C}$) względem otoczenia. Z kolei zieleń miejska wyróżnia się najwyższą temperaturą maksymalną – różnice ΔT_{\max} sięgają $0,6^{\circ}\text{C}$ i największą amplitudą do $-0,9^{\circ}\text{C}$ względem otoczenia.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że zabudowa zwarta w śródmieściu Warszawy najbardziej deformuje pole temperatury powietrza, podwyższając średnią temperaturę powietrza, zwłaszcza minimalną, w 5-leciu 1961- 1965 do $1,9^{\circ}\text{C}$, w poszczególnych latach do $2,6^{\circ}\text{C}$, a w pojedynczych dniach do 9°C , zmniejszając dobowe wahania temperatury powietrza do $-2,1^{\circ}\text{C}$. Podczas upalnego lata 1992 r. średnie miesięczne różnice osiągały skrajne wartości od $-4,1^{\circ}\text{C}$ w sierpniu do $-0,4^{\circ}\text{C}$ w lipcu.

4. Istotny wpływ na pionowy i poziomy ruch powietrza w mieście ma stratyfikacja atmosfery. Nierównomierne ogrzewanie się miasta w ciągu dnia (zwłaszcza słonecznego) tj. silne nagrzewanie się oświetlonych ścian budynków, a powolne terenów zacienionych i zieleni parkowej sprzyja powstawaniu równowagi chwiejnej powietrza.

Równowaga chwiejna powietrza przy kontrastach termicznych podłoża sprzyja rozwojowi prądów konwekcyjnych i turbulencji – wzmaga pionową wymianę powietrza. Jest to proces samooczyszczania się miasta – odprowadzania pyłów i innych substancji gazowych na większe wysokości. Innym mechanizmem samooczyszczenia się miasta z pyłów przemysłowych jest poziomy ruch powietrza, wynikający z różnicy temperatury powietrza między centrum i peryferiami. Odgrywa on dużą rolę przy słabych wiatrach i ciszach (bryza miejska). Na peryferiach miasta – przy małych prędkościach wiatru i czystym niebie często występują inwersje temperatury powietrza (w nocy przy równowadze stałej powietrza), powodujące stagnację chłodnego powie-

trza przy gruncie. Miejska wyspa ciepła nie sprzyja inwersjom temperatury powietrza, którym towarzyszą mgły – duża koncentracja aerozoli. Miejska wyspa ciepła wzmacnia pionową turbulencyjną dyfuzję zanieczyszczenia powietrza, zmniejszając zawartość aerozoli w przyziemnej warstwie atmosfery (Stopa-Boryczka, 1992).

W aspekcie zanieczyszczeń powietrza, najbardziej niekorzystne są warunki równowagi stałej powietrza – silne inwersje temperatury powietrza.

Hamują one konwekcję i pionowy turbulencyjny ruch powietrza. Z radiosondaży atmosfery, wykonanych w Legionowie w latach 1954-1959 wynika, że średnio w roku jest 265 dni z inwersją temperatury powietrza, w tym jest 156 dni z inwersją przyziemną

i 109 dni z inwersją w swobodnej atmosferze, kiedy to temperatura wzrasta ku górze od pewnego poziomu (Nowosielski 1959).

.Liczba dni z inwersją zależy od pory roku:

Inwersje	Wiosna	Lato	Jesień	Zima
Przyziemne	39,2	51,2	38,4	27,2
Wysokie	28,4	13,2	26,8	40,6

Częstość inwersji przyziemnych (pochodzenia radiacyjnego) jest największa w lecie, a inwersji wysokich (pochodzenia frontowego) w zimie.

Inwersje przyziemne i wysokie występują przeważnie w masach powietrza kontynentalnego (PPk). Ponadto 50% inwersji przyziemnych jest obserwowanych przy niebie bezchmurnym, a połowa z nich – podczas pochmurnego nieba. Prawdopodobieństwo inwersji w ciągu nocy bezchmurnej jest bliskie 100%, a w dni o zachmurzeniu konwekcyjnym – zanikającym wieczorem lub przy chmurach wysokich, które nie hamują wypromieniowania Ziemi – ponad 50%.

Należy podkreślić, że inwersjom temperatury powietrza towarzyszą zwykle małe prędkości wiatru lub cisze, przy których poziomy i pionowy turbulencyjny ruch powietrza jest niewielki. Sprzyjają one więc dużej koncentracji pyłów i SO_2 w przyziemnej warstwie powietrza (aerozoli). Na przykład dwutlenek siarki SO_2 łącząc się z kropelkami mgły tworzy kwas siarkawy H_2SO_3 , a w tkankach roślin – kwas siarkowy H_2SO_4 .

Spadek częstości inwersji przyziemnych w miastach należy zatem do pozytywnych skutków miejskiej wyspy ciepła.

Na wyższych poziomach nad miastem mogą być odmienne dobowe i roczne zmiany wyspy ciepła. W godzinach popołudniowych, powietrze nad miastem ogrzewa się szybciej niż w jego otoczeniu. Wywołane jest to intensywniejszym odprowadzeniem ciepła do góry drogą wzmożonej konwekcji i turbulencji.

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

Na podstawie empirycznych wzorów – równań prostych, parabol, sinusoid i hiperpłaszczyzn regresji można ekstrapolować deformację pola temperatury powietrza przez miasto. Można oszacować różnice temperatury powietrza między miastem i otoczeniem wstawiając odpowiednie wartości zmiennych meteorologicznych. Istnieje więc możliwość prognozowania np. temperatury powietrza w dzielnicach miasta – przy projektowaniu nowej zabudowy. Można oszacować temperaturę powietrza tam, gdzie nigdy nie prowadzono żadnych pomiarów meteorologicznych. Przykładem może być opracowa-

nie prognozy projektowanego osiedla mieszkaniowego w Białoleśce Dworskiej – pracy wykonanej w ramach tematu rządowego (Stopa-Boryczka 1992).

Tego rodzaju empiryczne wzory wyznaczone dla różnego typu zabudowy i zieleni miejskiej częściowo już wykorzystano w interpolacji – przy konstrukcji izarytm w terenie zabudowanym Warszawy (Stopa- Boryczka, 1992).

5. Innym rozwiązywanym problemem są naturalne zmiany klimatu i identyfikacja ich przyczyn. Uzasadniono tezę, że współczesne wahania klimatu są wypadkową: aktywności Słońca (mającej wpływ na cyrkulację atmosferyczną) i erupcji wulkanów (absorpcji promieniowania słonecznego przez pył wulkaniczny). Wskazano dwa rodzaje pośredniego oddziaływania Układu Słonecznego na klimat Ziemi:

- parametry US → aktywno Słońca → cyrkulacja atmosferyczna
- parametry US → erupcje wulkanów → promieniowanie słoneczne

Wykazano, że erupcje wulkanów podobnie do aktywności Słońca są zjawiskiem periodycznym, kształtowanym przez zmiany parametrów Układu Słonecznego. Takimi parametrami m.in. są przyspieszenie Słońca względem środka masy US i wypadkowa sił przyptywowych na Słońcu, wywołanych przyciąganiem grawitacyjnym największych planet (olbrzymów).

Identyfikacji przyczyn naturalnych zmian klimatu dokonano zgodnie z zasadą „widma oscylacji – cykle zmian – przyczyn i skutków są zbliżone”. Postępu w identyfikacji przyczyn naturalnych zmian klimatu dokonano dzięki nowej metodzie badań okresowości, tj. metodzie „sinusoid regresji” J. Boryczki.

Okazało się, że widma oscylacji: temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, odpływów rzek Europy, cyrkulacji atmosferycznej są zbliżone, a także do widm oscylacji parametrów Układu Słonecznego (tab. 3). We wszystkich widmach oscylacji dominują okresy obiegu dookoła Słońca największych planet (Jowisz, Saturn, Uran, Neptun) i okresy ich wzajemnego takiego samego położenia (wyrażone w latach kalendarzowych):

Table 3. Okresy wzajemnego położenia największych planet (lat)
Table 3. Periods of mutual identical positions of the giants (years)

Planety	Jowisz	Saturn	Uran	Neptun
Jowisz	11,862			
Saturn	19,858	29,458		
Uran	13,812	45,364	84,015	
Neptun	12,782	35,87	171,4	164,7

Znamienne jest, że okresy te są obecne w widmach oscylacji temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1990 (średnie konsekwentne 12 miesięczne), aktywności Słońca w latach 1700-1980 (liczb Wolfa) i erupcji wulkanów w latach 1680-1980: wskaźnika zapylenia wulkanicznego $lg DVI$ (Dust Veil Index), wskaźnika aktywności wulkanicznej $lgI = lg(\frac{DVI}{\Delta t})$, gdzie Δt jest odstępem czasu między kolejnymi erupcjami. Oto najsilniejsze cykle (o największych amplitudach) widm oscylacji (R – współczynnik korelacji wielokrotnej)(tab. 4):

Tabela 4, Cykle najsilniejsze w ciągach czasowych temperatury powietrza, liczb Wolfa i erupcji wulkanów
Table 4, The strongest cycles in the time series of air temperature, Wolf number and volcanic eruptions

Temperatura		Liczby Wolfa		Erupcje wulkanów			
				lg <i>DVI</i>		lg <i>I</i>	
Okres	<i>R</i>	Okres	<i>R</i>	Okres	<i>R</i>	Okres	<i>R</i>
12,1	0,10	12,1	0,27	11,4	0,31	11,7	0,29
12,8	0,16	12,8	0,17	13,3	0,28	12,7	0,26
14,0	0,14	13,8	0,09	13,9	0,18	15,2	0,29
17,7	0,14	21,4	0,11	19,8	0,25	21,2	0,32
29,8	0,05	28,5	0,12	30,4	0,19	28,4	0,28
34,7	0,04	36,9	0,08	38,6	0,22	40,8	0,24
42,2	0,10	45,5	0,14	52,2	0,17	757	0,33
103,8	0,09	98,3	0,33	791,8	0,34	90,5	0,25
220,7	0,43	187,1	0,20	223,8	0,23	221,5	0,35

Istnieje też zbieżność krótszych silnych cykli (tab. 5)

Tabela 5, Charakterystyka krótkich cykli
Table 5, Characteristics of short strong cycles

	Okres	<i>R</i>	Okres	<i>R</i>	Okres	<i>R</i>
Temperatura powietrza	4,16	0,17	7,75	0,23	11,17	0,10
Aktywność Słońca	-	-	7,4	0,10	0,10	0,32
Aktywność wulkaniczna (lg <i>DVI</i>)	4,0	0,33	7,9	0,23	11,4	0,31
Aktywność wulkaniczna (lg <i>I</i>)	3,9	0,29	8,0	0,32	11,2	0,22
Przyspieszenie Słońca	3,9	0,28	7,8	0,27	-	-

Nie oczekiwano tak dużego podobieństwa między maksimumami lokalnymi gęstych widm oscylacji (cyklami): temperatury powietrza, aktywności Słońca, erupcji wulkanów i parametrów Układu Słonecznego ze względu na procesy deterministyczno-stochastyczne zachodzące na Słońcu i Ziemi (w atmosferze).

W ostatnich dwóch stuleciach (1779-1990), temperatura powietrza w Warszawie wzrastała średnio o 0, 6°C/100 lat:

$$T = 6,93 + 0,006460 t, \quad R = 0,42$$

Ta tendencja wzrostowa temperatury powietrza jest wypadkową nakładania się dwóch naturalnych cykli: 103,8 lat i 220,7 lat (na podstawie ciągu chronologicznego 1779– 1979 otrzymano trochę krótsze cykle: 89,7 lat i 195,2 lat, pozostałe – takie same).

Podczas maksimumów aktywności Słońca obserwuje się wyższą temperaturę powietrza niż w latach spokojnego Słońca. Minimum wiekowe temperatury powietrza przypada na najślabszy cykl 11- letni aktywności Słońca (1811-1823). Natomiast maksimum krzywej trendu czasowego temperatury przypada w pobliżu maksimum absolutnego aktywności Słońca (1957 r.). Minimum wiekowe temperatury powietrza wystąpiło podczas wzmożonej aktywności wulkanicznej Ziemi: 1815 – wybuch wulkanu Tambora (Indonezja) o *DVI* = 3000, 1835 Coseguina (Nicaragua) o *DVI* = 4000. Najdłuższe cykle temperatury powietrza: 103,8 i 220,7 lat są zbliżone do najdłuższych cykli aktywności Słońca: 96,3 i 187,1 lat oraz erupcji wulkanów: lg*DVI* – 91,8 i 223,8 lat, lg *I* – 90,5

i 221,5 lat. To ocieplenie się klimatu w ostatnich dwóch stuleciach o 0,6°C/100 lat jest wywołane głównie wzrostem aktywności Słońca i spadkiem aktywności wulkanicznej.

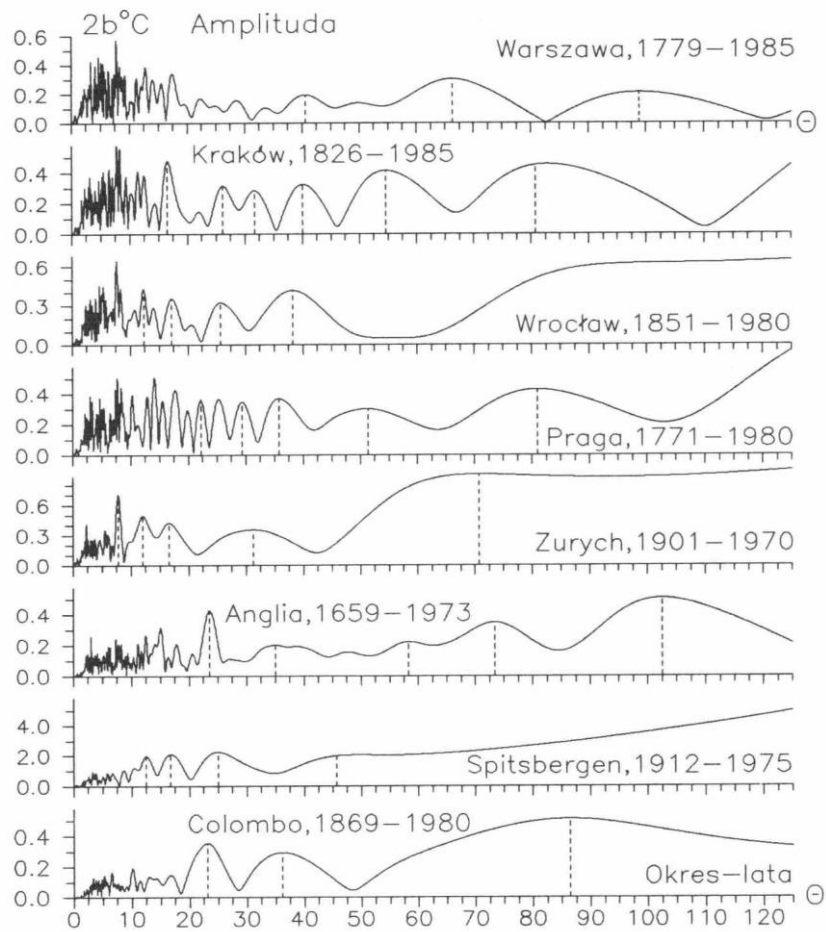
Aktywność Słońca w latach 1700–1980 wzrastała średnio o 9,5/100 lat:

$$W = 34,73 + 0,0948 t, \quad R = 0,20$$

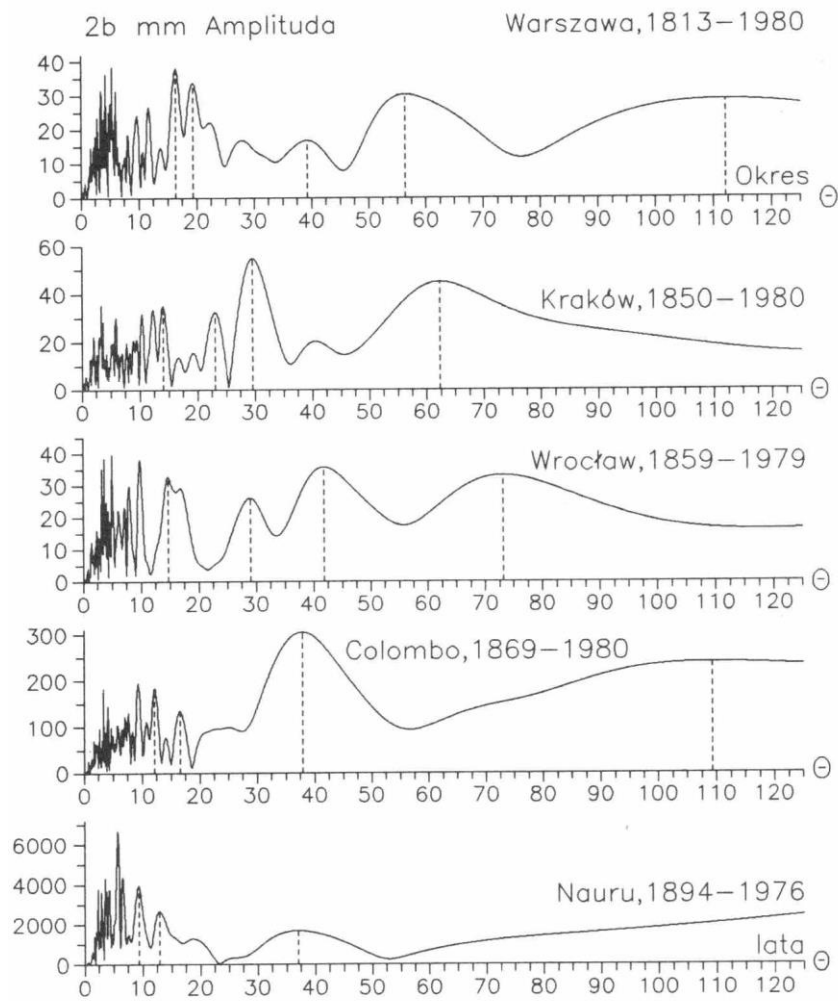
Ponadto tendencja wiekowych zmian erupcji wulkanów w latach 1680-1980 jest malejąca – zarówno wskaźnika Dust Veil Index, jak też wskaźnika aktywności wulkanicznej $I = \frac{DVI}{\Delta t}$. Natomiast średnio biorąc, wzrastają odstępy czasu między erupcjami

wulkanów Δt . Miarą antropogenicznych zmian temperatury powietrza w ostatnich dwóch stuleciach jest składnik liniowy $\Delta T = at$ trendu czasowego temperatury powietrza – część która pozostaje po eliminacji kilkunastu naturalnych cykli (rytmów) temperatury. Składnik antropogenicznych zmian temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1979 wynosi $a = 0,15^\circ\text{C}/100$ lat. Wynika on głównie z rozbudowy miasta – z miejskiej wyspy ciepła (większa akumulacja ciepła przez zabudowę, pyły przemysłowe i CO_2). O właściwej identyfikacji przyczyn naturalnych zmian klimatu świadczy zgodność prognoz klimatologicznych i astronomicznych na XXI wiek. W prognozach klimatologicznych $T = f(t)$ nałożono na siebie 15 cykli temperatury powietrza o największych amplitudach obecnych w widmie oscylacji. Natomiast w prognozach astronomicznych rozwinięto ciąg chronologiczny w szereg Taylora (wg najmniejszych kwadratów) względem czterech parametrów Układu Słonecznego $T = f(G, \cos \gamma, z, Z)$. Obydwie krzywe wiekowych zmian temperatury powietrza w Warszawie w stuleciu XXI znajdują się poniżej średniej z lat 1779-1979. W połowie tego wieku XXI można oczekiwać pewnego ochłodzenia klimatu. Nie będzie ono jednak zbyt duże (takie, jak na przełomie XVIII-XIX wieku) ze względu na składnik antropogeniczny wskazujący wzrost temperatury o 0,15°C/100 lat.

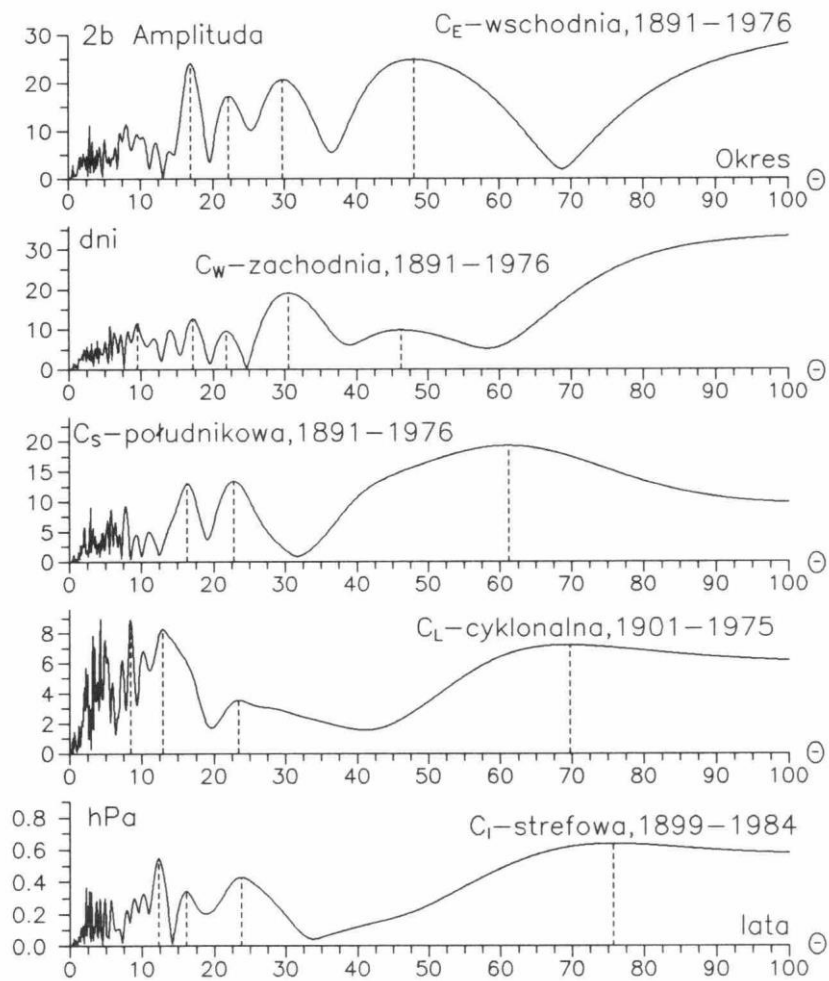
Wykresy (rys.1-14)



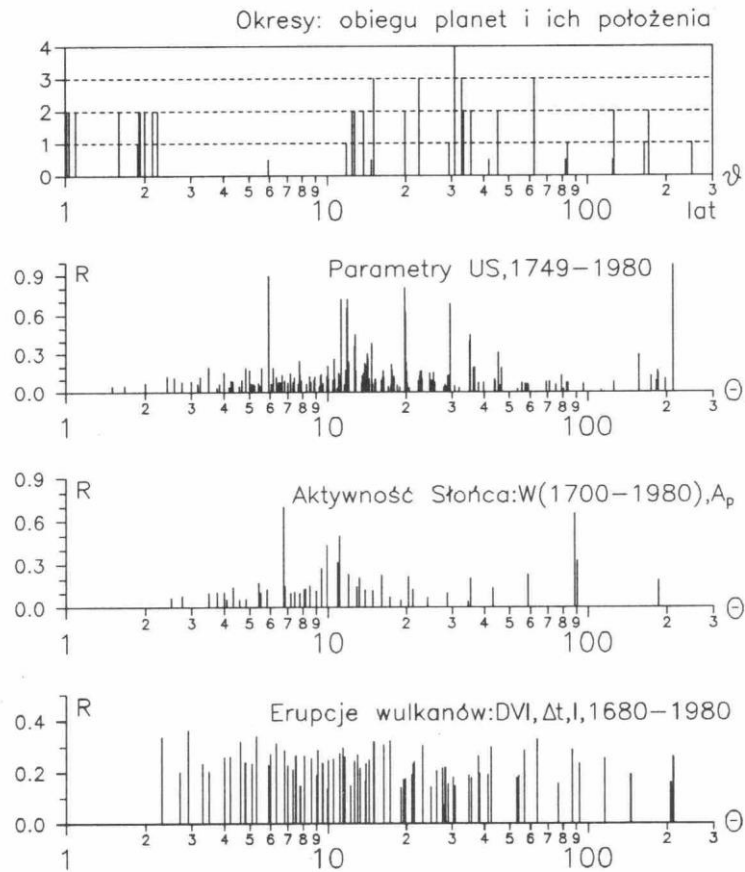
Rys. 1 Gęste widma oscylacji temperatury powietrza w Warszawie, Krakowie, Wrocławiu, Pradze, Zurychu, Anglii środkowej i Colombo – w paśmie 0,25-125 lat
Fig. 1. Dense spectra of oscillation of the air temperature in Warsaw, Cracow, Wrocław, Prague, Zurich, England and Colombo in the strip 0.25-125 years



Rys. 2. Gęste widma oscylacji opadów atmosferycznych w Warszawie, Krakowie, Wrocławiu, Colombo i Nauru – w paśmie 0,25-125 lat
Fig. 2. Dense spectra of oscillation of the precipitation in Warsaw, Cracow, Wrocław, Colombo and Nauru in the strip 0.25-125 years

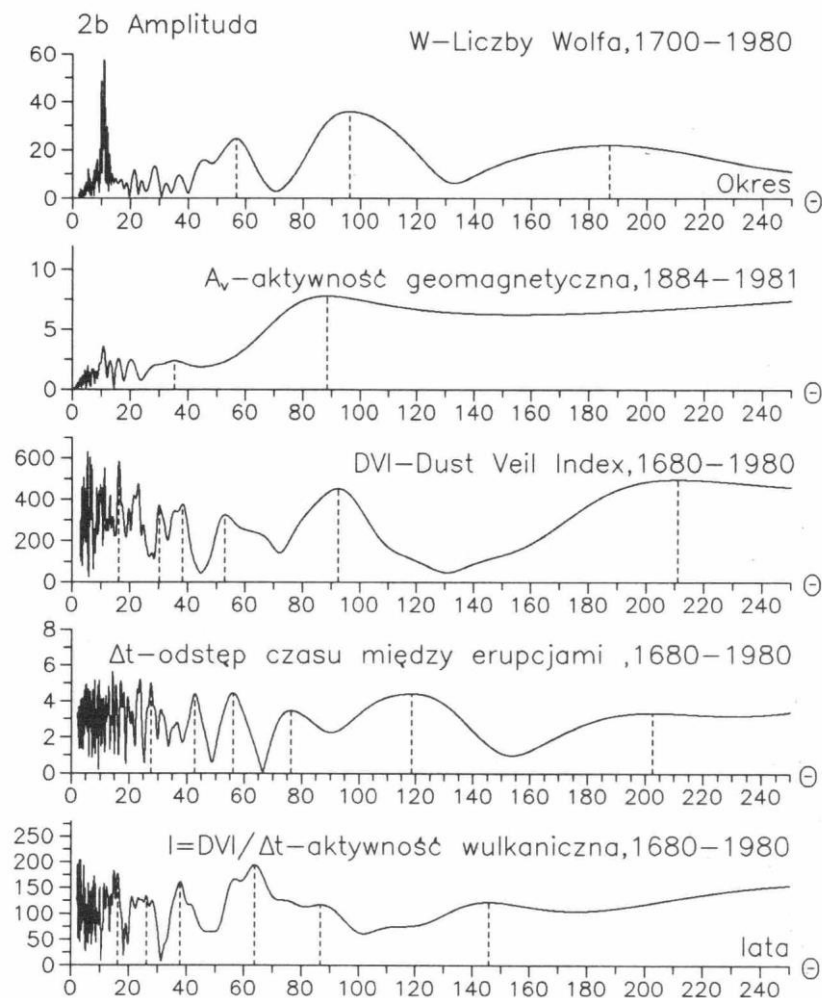


Rys. 3. Gęste widma oscylacji cyrkulacji atmosferycznej: wschodniej, zachodniej, południkowej, cyklonalnej i strefowej – w paśmie 0,25-125 lat
Fig. 3. Dense spectra of oscillation of the circulation eastern, western, meridional, cyclonal and sonal in the strip 0.25-125 years



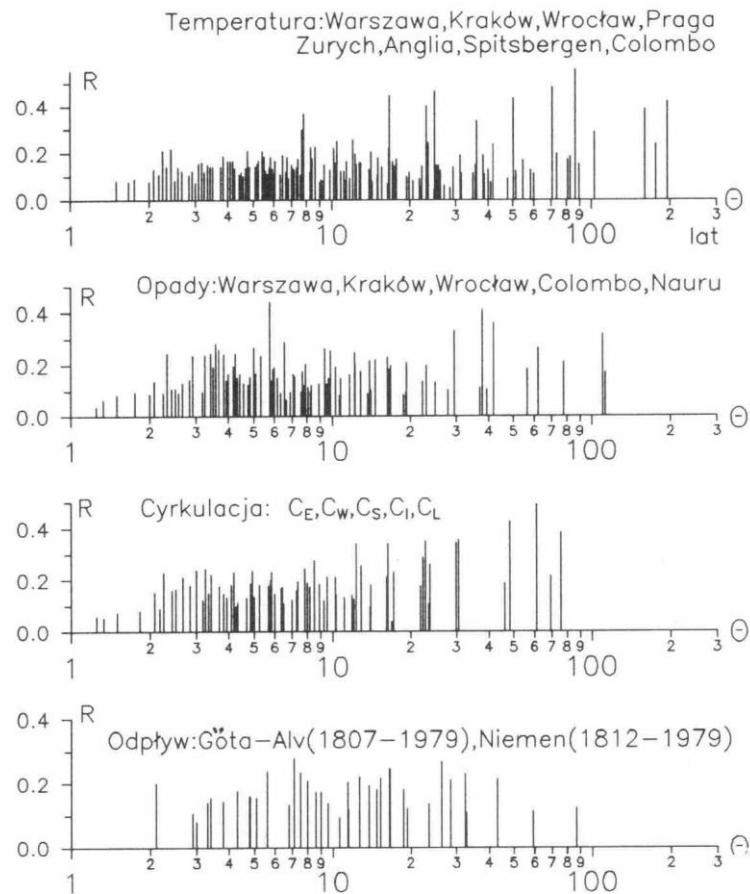
Rys. 4. Okresy obiegu planet i ich położenia, parametrów Układu Słonecznego, aktywności Słońca (liczb Wolfa W i A_p) i erupcji wulkanów (DVI – Dust Veil Index)

Fig. 4. The periods of planets and their position, the parameters of Solar System, the solar activity (Wolf numbers W and A_p) and volcanic eruption (DVI – Dust Veil Index)

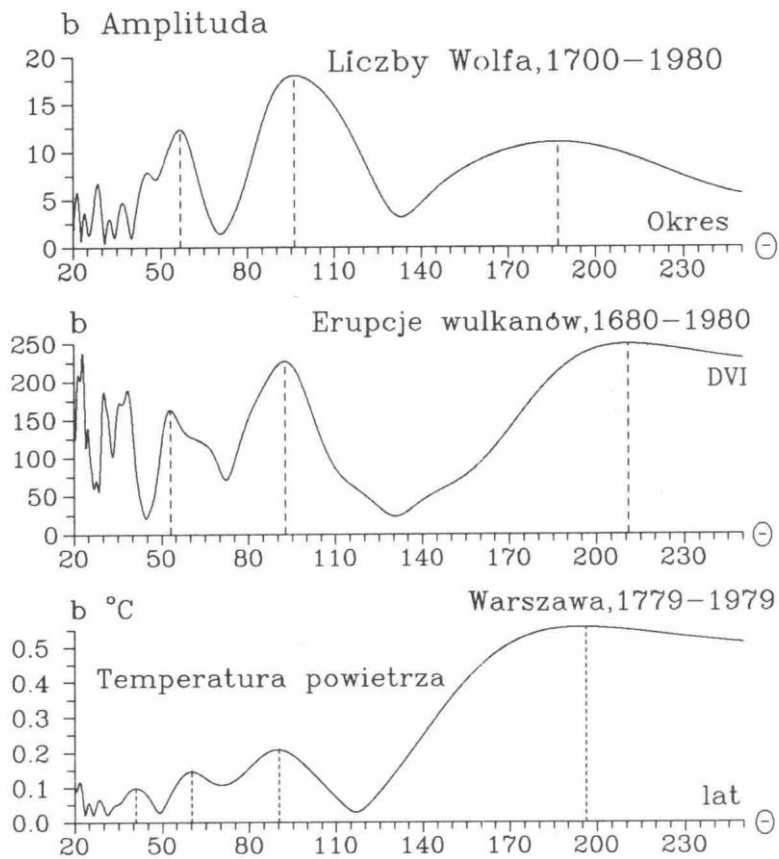


Rys. 5. Gęste widma oscylacji aktywności Słońca, aktywności geomagnetycznej, i erupcji wulkanów – wskaźnika zapylenia wulkanicznego Dust Veil Index (DVI), odstępów czasu między kolejnymi erupcjami (Δt) i aktywności wulkanicznej $I = DVI / \Delta t$ w paśmie 2,1-250 lat

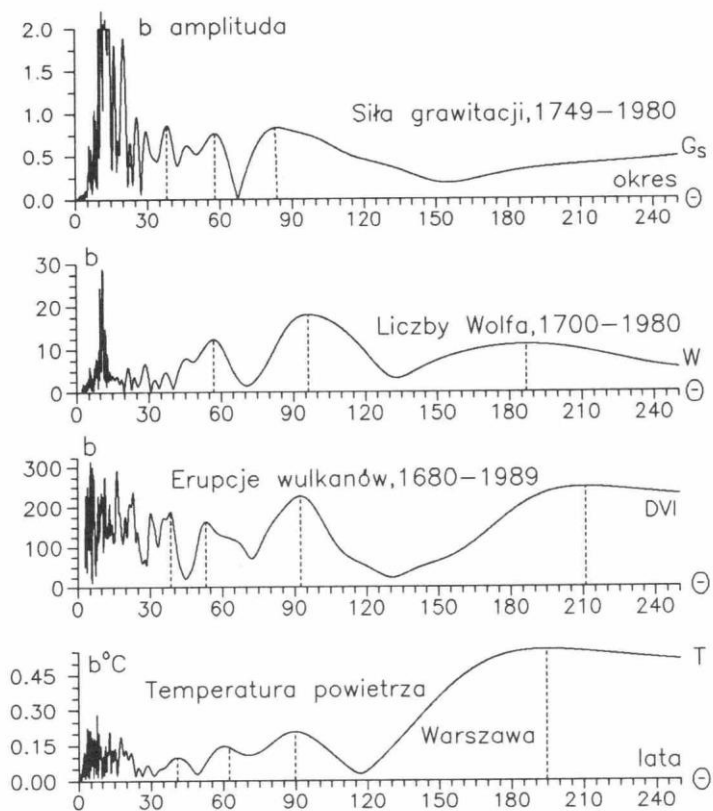
Fig. 5. Dense spectra of solar activity, geomagnetic activity and volcanic eruption (Dust Veil Index – DVI), the time interval between volcanic eruptions (Δt) and volcanic activity $I = DVI / \Delta t$ in the strip 2.1-250 years



Rys. 6. Okresy rzeczywiste Θ : temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, cyrkulacji atmosferycznej i odpływów rzek (Göta-Alv, Niemen) – w paśmie 0,25-250 lat
Fig. 6. True periods Θ of the air temperature, precipitation, atmospheric circulation and rives (Göta-Alv, Niemen) in the strip 0.25-250 years

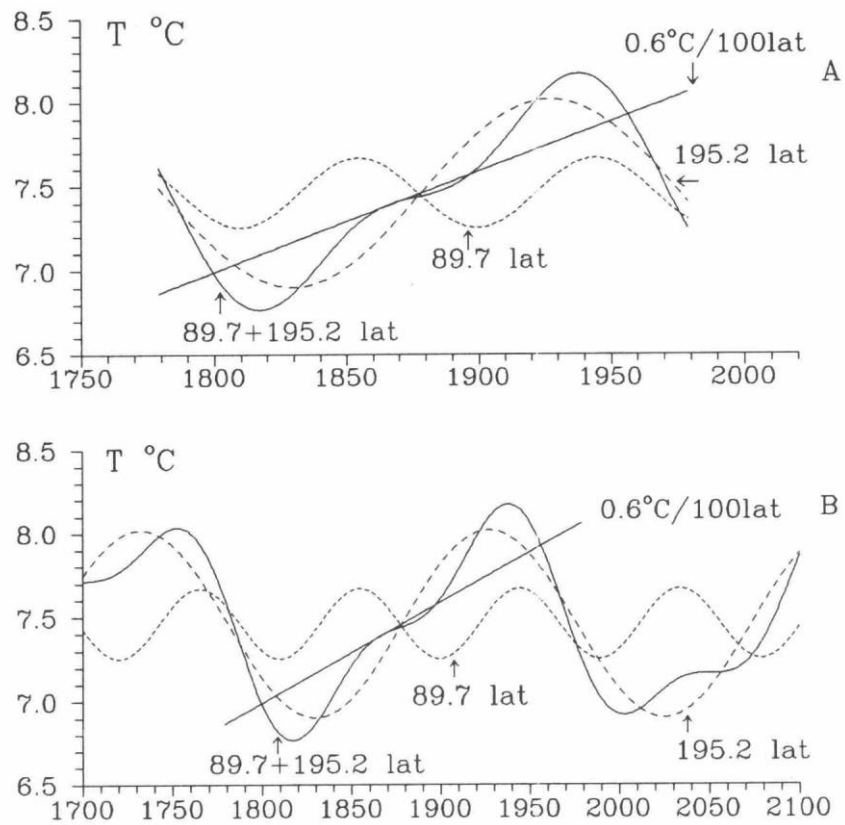


Rys. 7. Gęste widma oscylacji aktywności Słońca, erupcji wulkanów (Dust Veil Index) i temperatury powietrza w Warszawie (1779-1979) w paśmie 20-250 lat
Fig. 7. Dense spectra of solar activity, volcanic eruption (Dust Veil Index) and the air temperature in Warsaw (1779-1979) in the strip 20-250 years



Rys. 8. Gęste widma oscylacji: wypadkowej siły grawitacji planet (G_s) (składowej w kierunku środka masy), liczb Wolfa (W), erupcji wulkanów (DVI) i temperatury powietrza w Warszawie (1779-1979) w paśmie 20-250 lat

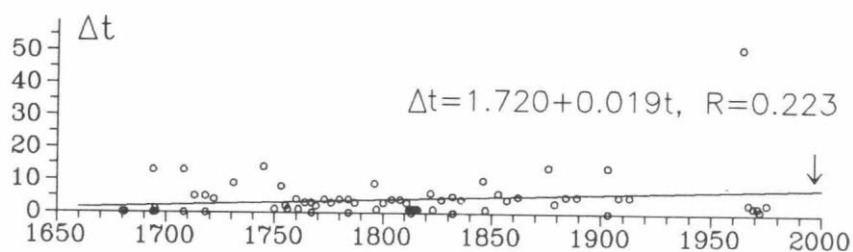
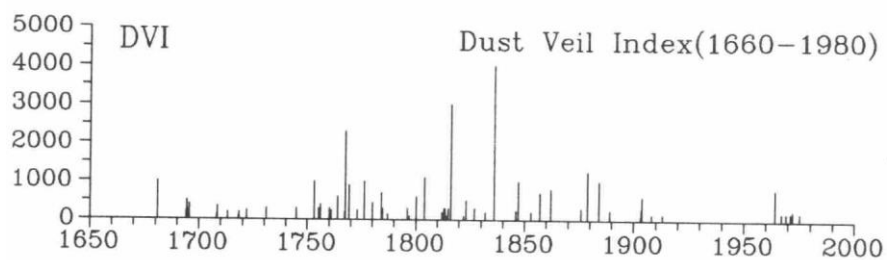
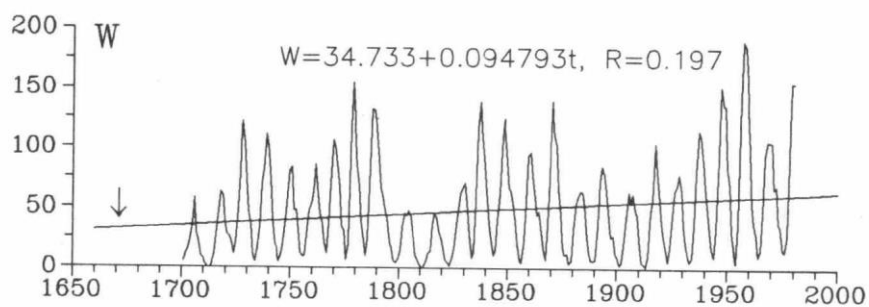
Fig. 8. Dense spectra of the resultant gravitation force of planets onto Sun (G_s – component into centre of mass) the Wolf numbers (W), volcanic eruption (DVI) and the air temperature in Warsaw (1779-1979)



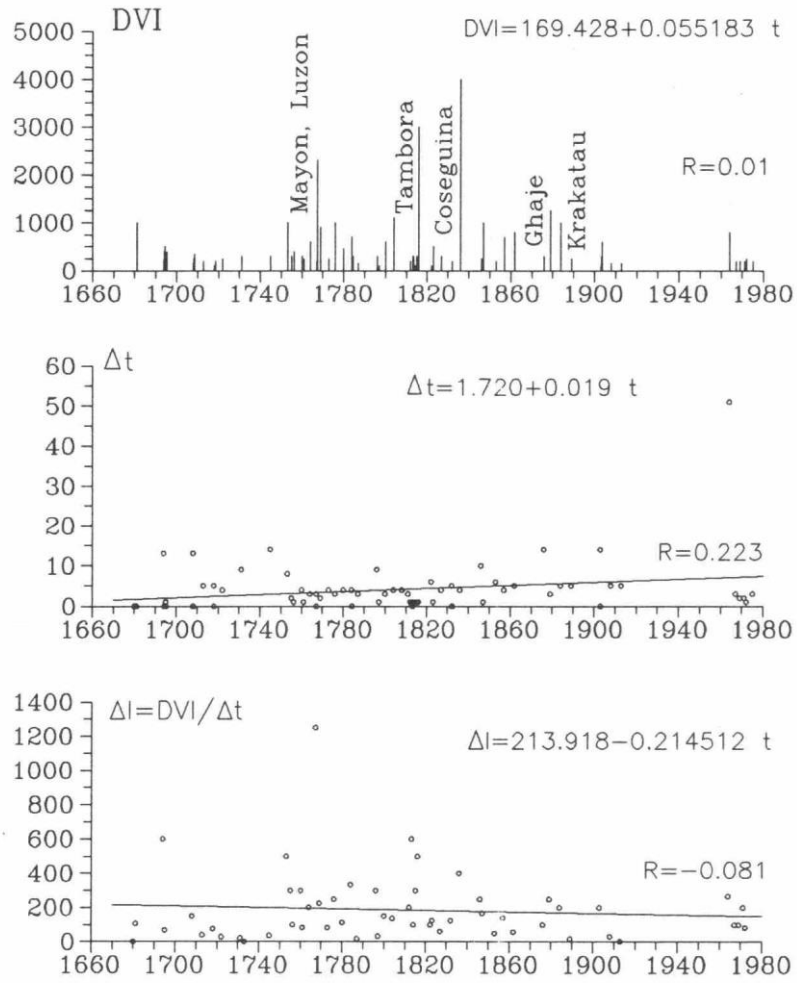
Rys. 9. Naturalne zmiany temperatury powietrza w Warszawie (1700-2100): cykl 89,7 lat, cykl 195,2 lat, ich wypadkowa (linia ciągła), prosta regresji o nachyleniu $0,6 \text{ } ^\circ\text{C}/100\text{lat}$

Fig. 9. Natural changes of the air temperature in Warsaw (1700-2100): cycle 89,7 years, cycle 195,2 years, its resultant (solid line) and line of regression with a slope of curve = $0,6 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ years}$

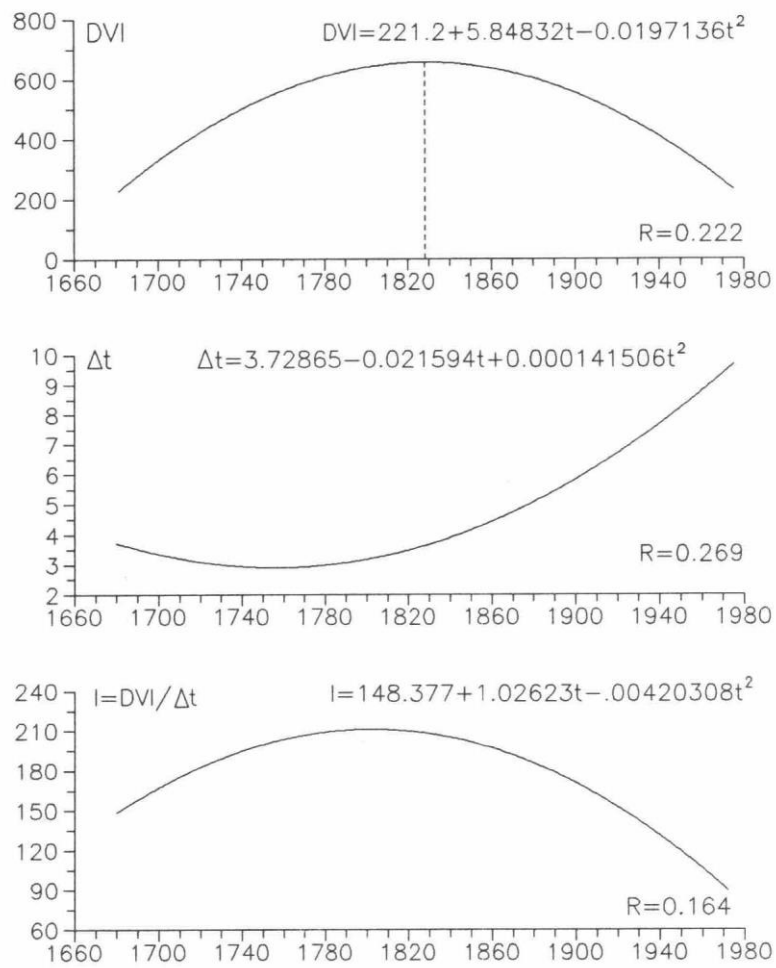
Liczby Wolfa(1700–1980)



Rys. 10. Zmiany wiekowe aktywności Słońca – jej wzrost o 9,5/100 lat i wybuchów wulkanów – wskaźnika Dust Veil Index i odstępów czasu między kolejnymi erupcjami (Δt)
Fig. 10. Secular changes of solar activity (increase of 9.5/100 years), eruption of volcanos (Dust Veil Index), and time interval between eruptions (Δt)

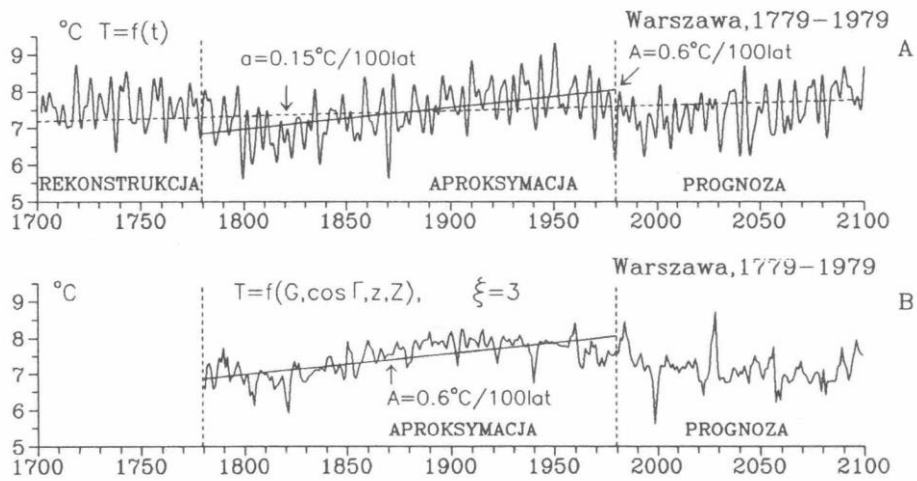


Rys. 11. Tendencja wiekowych zmian erupcji wulkanów: wskaźnika Dust Veil Index, odstępów czasu między erupcjami (Δt) i wskaźnika aktywności wulkanicznej $I = DVI/\Delta t$ w latach 1660-1980
Fig. 11. Secular tendency of changes of volcanic activity Dust Veil Index, time interval between eruptions (Δt) and index of volcanic activity $I = DVI/\Delta t$ in the years 1660-1980



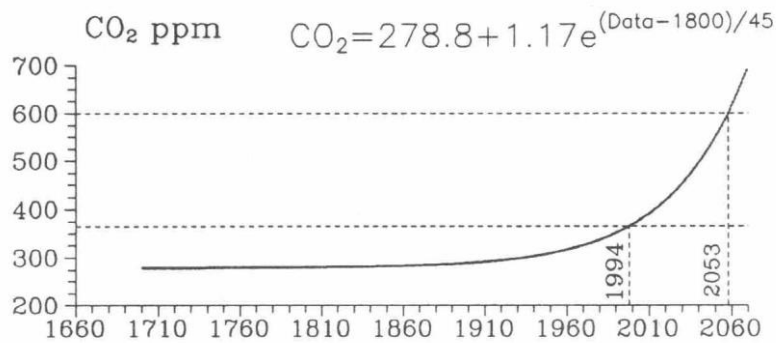
Rys. 12. Ekstrema wiekowe erupcji wulkanów na Ziemi w latach 1680-1980, wskaźnika *DVI*, odstępów czasu Δt i aktywności wulkanicznej $I = DVI / \Delta t$

Fig. 12. Secular extremes of volcanic eruptions in the years 1680-1980, the time interval (Δt) and volcanic activity ($I = DVI / \Delta t$)



Rys. 13. Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Warszawie w latach 1700-2100: A – prognoza wg naturalnych cykli $T = f(t)$, B – prognoza wg zmian parametrów Układu słonecznego $T = f(G, \cos \Gamma, z, Z)$. wypadkowy (naturalny i antropogeniczny) wzrost temperatury o $A = 0,6$ oC/100 lat. Składnik antropogeniczny $a = 0,15$ oC/100 lat

Fig. 13. Secular changes of the air temperature in Warsaw in years 1700-2100: A – forecast according to natural cycles $T = f(t)$, B – forecast according to changes parameters of Solar System $T = f(G, \cos \Gamma, z, Z)$. Resultant (natural and anthropogenic) increase of the air temperature when $A = 0,6$ oC/100 years. Anthropogenic component $a = 0,15$ °C/100 years



Rys. 14. Zmiany wiekowe koncentracji CO_2 w atmosferze w latach 1690-2070 (wg empirycznego wzoru H. Oeschgera i U. Siegenthalera, 1987)

Fig. 14. Secular changes of carbon (CO_2) in the atmosphere in the years 1690-2070 (according to H. Oeschger's and U. Siegenthalera's formula, 1987)

2007

Summary

The primary objective of the volume is to determine the scope of deformation of the air temperature field in Poland caused by towns. The proposal of a solution to this problem is presented on the example of Warsaw, a lowland town, located in central Europe within the Masovian Lowland ($\varphi = 52.1^\circ$, $\lambda = 21.0^\circ$, $H = 110$ m a.s.l.).

1. First, the assessment was made of the influence exerted by geographical location on the thermal features of towns in Europe, with special consideration of Poland. The statistical models of various scales: large scale (for Europe) and mesoscale (for Poland) give the results indicating that the natural factors dominate in formation of climate of towns. These factors are: latitude – decisive for the zonal nature of climate, distance from the Atlantic Ocean (the warming influence of masses of polar-maritime air in winter), and the height above the sea level. The zonal setting of climates is mainly being deformed by the Atlantic Ocean and the mountains. In the “lowland” towns of western Europe the influence of Atlantic Ocean on the field of air temperature dominates, while in eastern Europe – the influence of the Asian continent. The field of air temperature in towns located to the South and to the North of the belt of European plains is primarily deformed by their height a.s.l. It is most deformed in the intermontane valleys and dales in the Alps, Carpathians and Sudetes.

The models simulating the spatial variability of air temperature in Europe indicate also an important contribution of the anthropogenic factors in shaping of the climate of towns. The differences between air temperatures measured and calculated from the fourth order regression polynomials with respect to geographic factors, $T = f(\varphi, \lambda, H)$, witness to quite important role of the artificial surfaces, mainly in large towns. In the case of Warsaw this difference is of the order of 1°C , in spite of the fact that Masovian Lowland distinguishes itself as a warmer area.

2. Warsaw can be distinguished from the thermal background mainly through: higher minimum temperatures (the town being significantly warmer during the night), longer frost-free and growing season, lower relative humidity and greater air humidity deficiency, greater cloudiness and lower number of good weather days, higher total precipitation, lower number of foggy days (fewer thermal inversions) and much lower wind velocity (fewer days with strong winds, and more days with very weak winds and no wind at all), see Stopa-Boryczka (1992).

The measurements of the meteorological elements within the confines of town (in a couple of points) and in its peripheries made it possible to determine the annual and daily 313 changes of the urban heat island in Warsaw. The deformations of the air temperature field on the scale of the whole town, as well as for the fragments of compact and dispersed buildings, and greenery, were determined. Thus, quite a lot of space in the volume is devoted to differentiation of the thermal features on the local scale the influence exerted by the nature of buildings, their disposition in space, and by green areas on the urban island of heat.

A novelty in the literature is constituted by the comprehensive characterization of daily changes in the urban heat island in Warsaw, presented on the example of the anomalous hot year of 1992. An important cognitive significance must be attributed to the dates of appearance and disappearance of the urban heat island, as well as to its intensity, depending upon the weather conditions. It is interesting to know under what circulation of the air the differences of air temperature between the town and its surroundings are the biggest, e.g. $> 3^\circ\text{C}$. It was namely simply stated what kind of weather situations are conducive to high intensity of the urban heat island.

The days with the maximum difference of air temperature (T_{\max}) between downtown Warsaw and the town's peripheries in 1992 and their meteorological characteristics are given in Table 1.

It is interesting to note that the most pronounced urban heat island in Warsaw (i.e. the biggest positive difference of air temperature between downtown and peripheries) appeared on the days with anticyclonic (high pressure) circulation and the highest insolation. The biggest air temperature difference, $\Delta T = 9.1^\circ\text{C}$, occurred on the days of July 30th and August 17th, 1992, with the type of circulation SWA. The thermal contrast between the town and its surroundings intensifies particularly in the presence of cold fronts in late evening and night hours.

Table 1. Days with highest air temperature differences between downtown Warsaw and its peripheries.

1992		Godz.	ΔT_{\max}	Cyrkulacja	$T^{\circ}\text{C}$	N	v [m/s]	Kierunek
23	1	5	6.8	OA	-16	0	1	W
26	11	24	4.4	OA	-1.1	2	1	S
2	111	4	8.4	WA	-1.7	2	0	C
6	IV	6	6.0	OC	-2.0	5	1	W
16	V	5	7.8	NA	5.8	1	1	SW
27	VI	5	8.5	OA	9.4	3	1	W
30	VII	1	9.1	SWA	9.2	0	1	S
17	VIII	6	9.1	SWA	8.1	2	2	S
10	IX	6	6.4	SWA	4.5	0	1	W
21	X	6	4.6	NW	-2.3	4	1	S
9	XI	20	5.1	OA	-3.8	0	1	S
26	XI	21	4.9	NA	-11.3	0	1	NW

The table gives the hours of appearance of the maximum air temperature difference (ΔT_{\max}), circulation type according to Osuchowska-Klein, air temperature in Okęcie quarter (T), cloudiness (N), wind velocity (v) and its direction.

The daily heat island is most intensive in winter in downtown Warsaw (in compactly built up areas and parks). During the night the town cools down less than the surrounding areas. This is indicated by the differences in air temperature (January, April, July, October 1992). During the night the town is much warmer than its peripheries – the temperature is on the average higher by up to 2°C. The urban heat island persists in winter during almost the whole day. In summer, on the other hand, it intensifies from evening till morning. In the hours around noon the differences between air temperatures in downtown Warsaw and in peripheries are very small (evening up of air temperature).

3. Various measurement of difference of air temperature, noted between the town and its surroundings, namely daily average, T , maximum, ΔT_{\max} , minimum, ΔT_{\min} and daily amplitude, ΔA , depending upon the nature of surface, are presented in Table 2, together with months of occurrence of their extremal values (minimum and maximum), given in brackets.

Table 2. Temperature difference measurement for various kinds of surface

Powierzchnia	Ekstrema	ΔT		ΔT_{\max}		ΔT_{\min}		ΔA	
Miasto	max	1	VII	0.2	II	2	VII	-2	VII
	min	1	I	-0.1	I	1	I	-0	II
Zabudowa zwarta	max	1	VII. VIII	0.3	II	2	VII. VIII	-0	VII. VIII
	min	1	.II	-0.2	VIII	1	I	-1	I
Zabudowa luźna	max	1	VIII. IX	0.1	VI. V	1	VII	-1	VII. VIII
	min	0	III	-0.1	X	1	I	-0	-0.4(I)
Zieleń parkowa	Max	1	VI. VII	0.6	IV	1	VII	-1	VIII. IX
	min	1	XII	0.3	IX	1	I	-0	II

As can be easily seen from Table 2, daily oscillations of temperature are smaller in town than outside of it. The differences of the daily amplitudes change during the year from $\Delta A = -0.6^{\circ}\text{C}$ in January to $\Delta A = -2.1^{\circ}\text{C}$ in July and August. Sparse configuration of buildings deforms less the daily fluctuations of air temperature: the difference ΔA changes in the interval of -0.4°C to -1.2°C (in the same months as before). The lowest differences of the daily air temperature amplitudes are

observed, though, for the park areas, where they range from -0.2°C in February to -0.9°C in August and September.

The sinusoid model, describing the annual changes of air temperature differences, namely

$$\left(\omega = \frac{2\pi}{365,25}\right)$$

$$\Delta T = a_0 + b \sin(\omega t + c)$$

established for compactly built up areas, sparsely built up areas and parks, indicates the dependence of the amplitude of the urban heat island upon the nature of active surface. Air temperatures in the compactly built up areas and in parks of downtown Warsaw diverge the most from the average thermal conditions of the town. The compactly built up areas are characterized by the highest minimum temperatures (the differences ΔT_{min} reaching up to 1.9°C), and the lowest daily amplitude ΔA (down to -2.1°C), in relation to the surroundings. On the other hand, urban green areas feature the highest maximum temperatures, the differences ΔT_{max} reaching 0.6°C , and the highest amplitude difference – up to -0.9°C – with respect to the surrounding areas.

It can be concluded from the analysis performed that the compactly built up area in downtown Warsaw deforms the most the air temperature field, pushing up the average air temperature, and especially the minimum temperatures, over the five-year period 1961-1965 by 1.9°C (in particular years by up to 2.6°C , and on individual days even by 9°C), and decreasing the daily temperature fluctuations by 2.1°C . During the hot summer of 1992 the average monthly differences attained the extremum values of -4.1°C in August and -0.4°C in July.

4. An essential influence upon the vertical and horizontal movements of air masses in town is exerted by stratification of the atmosphere. The uneven warming of the town during the day (especially during the sunny days), namely strong temperature increase of the insolated walls of buildings, and much smaller increase of temperature of the shaded areas and parks is altogether conducive to appearance of the unstable equilibrium of the air.

The unstable equilibrium of the air, given the thermal contrasts of the surface, gives rise to the development of convection currents and turbulences – the vertical air exchange. This constitutes the process of self-purification of the town's atmosphere – carrying away of gaseous substances to greater heights. Another mechanism of self-purification of the town from the industrial dust is provided by the horizontal movement of air masses, resulting from the difference of temperatures between the centre and the peripheries. This latter mechanism plays an important role in periods of weak winds and calms (town breeze). Within the peripheries of towns – when wind velocities are low and sky is clean there often appear the inversions of air temperature (during the night in conditions of a stable equilibrium of the air masses), entailing stagnation of cool air near to the ground. The urban heat island hampers the occurrence of air temperature inversions, accompanied by fogs, i.e. high concentrations of aerosols. The urban heat island intensifies the vertical, turbulent diffusion of air pollution, thereby decreasing the content of aerosols in the ground adjacent layer of the atmosphere (Stopa-Boryczka, 1992).

In terms of air pollution the most disadvantageous are the conditions of stable equilibrium of the air masses strong inversions of air temperature. They slow down the convection and the vertical turbulent movement of the air. According to the radio probing of the atmosphere, carried out in Legionowo near Warsaw in the years 1954-1959 there have been on the average 265 days in a year with inversions of air temperature. This includes 156 days with the ground-adjacent inversions and 109 days with inversions in free atmosphere, when temperature increases along with height starting with a certain level (Nowosielski, 1959).

Numbers of days with inversions depend upon the season: Spring Summer Autumn Winter Ground-adjacent:

	Spring	Summer	Autumn	Winter
Ground-adjacent	39.2	51.2	38.4	27.2
High	28.4	13.2	26.8	40.

The frequency of the ground-adjacent inversions (of radiation origin) is the greatest in summer, while that of high inversions (of weather front origin) – in winter.

Both kinds of inversions appear most often in the masses of continental air (PPK). Besides this, 50% of the ground-adjacent inversions are observed in conditions of cloudless sky, and a half of them – when the sky is clouded. The probability of inversion taking place during a cloudless night is close to 100%, while on the days with convective clouds –disappearing in the evening, or with tall clouds, which do not stand in the way of radiation of the earth – more than 50%.

It should be emphasized that inversions of air temperature are usually accompanied by low velocities of wind or by calms, when the horizontal and vertical turbulent movement of the air is very limited. They are conducive, therefore, to high concentrations of dusts and SO₂ in the ground-adjacent layer of the air (aerosols). Thus, for instance, the sulphur dioxide SO₂, associating with the droplets of fog forms the sulphurous acid H₂SO₃, and in the plant tissues – the sulphuric acid H₂SO₄.

The decrease of frequency of the ground-adjacent inversions in towns is, therefore, a positive effect of the urban heat island.

At the higher levels above town there may exist different daily and annual changes of the heat island. In the afternoon hours the air above town warms up quicker than in its surroundings. This is caused by the more intensive carrying away of the heat upwards through intensified convection and turbulence.

The established regularities regarding the influences exerted by the artificial surfaces (town) on the state of the atmosphere during a day or a year can be made use of in the forecasts of anthropogenic climate changes. In the case of expansion of towns – they can be used in designing new housing estates.

On the basis of empirical formulae equations of straight lines, paraboles, sinusoids and hyperplanes of regression – the deformation of the field of air temperature by a town can be extrapolated. The differences of air temperature between the town and the surrounding areas can be estimated by substitution of appropriate values of meteorological variable. Thus, there exists a possibility of forecasting, e.g., the air temperature in the newly designed and constructed parts of town. Air temperature can be forecasted in places, where no meteorological measurements have been made before. An example can be provided by the elaboration of the forecast for the design of a housing estate in Białołęka Dworska by Warsaw, elaborated within the framework of the respective governmental program (Stopa-Boryczka, 1992).

The empirical formulae of this kind, determined for various types of built up and green areas, were already partly applied in interpolation, for construction of isotherms within the built up area of Warsaw (Stopa-Boryczka, 1992).

5. Another problem solved is constituted by the natural climate changes and identification of their causes. The proposition was proved stipulating that the modern fluctuations of the climate are the resultant of the solar activity (influencing atmospheric circulation) and the volcanic eruptions (absorption of solar radiation by volcanic dust). Two kinds of indirect influence of the Solar System (SS) on the earth's climate are indicated:

- the parameters of the SS → solar activity → atmospheric circulation;
- the parameters of the SS → volcanic eruptions → solar radiation.

It was also demonstrated that volcanic eruptions – similarly as solar activity – are periodic phenomena, shaped by the changes in the parameters of the solar system. The parameters in question are, in particular, acceleration of the sun with respect to the center of gravity of the SS and the resultant of the tidal forces on the sun, brought about by the gravitational attraction of the greatest planets (the giants).

Identification of the natural causes of climate changes was performed according to the principle: “the spectra of oscillations– the true cycles of causes and effects are similar”. An advance in identification of the causes of natural climate changes was made possible due to the new method of J.Boryczka of determining the dense spectra of oscillations the true cycles.

It turned out that the spectra of oscillations of air temperature, precipitation, outflow of European rivers and atmospheric circulation are alike, as are the spectra of oscillations of the parameters of the solar system. All these spectra are dominated by the periods of rotation of the biggest

planets (Jupiter, Saturn, Uranus and Neptune) around the sun and the periods of their mutual identical positions (expressed in years), see Table 3.

Table 3. Periods of mutual identical positions of the giants (years)

Planets	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptune
Jupiter	11.862			
Saturn	19.858	29.458		
Uranus	13.812	45.364	84.015	
Neptune	12.782	35.870	171.400	164.700

. It is quite telling that these periods are present in the spectra of oscillations of the air temperature in Warsaw in the years 1779-1990 (12-monthly moving averages), of

the solar activity in the years 1700-1980 (Wolf numbers), and of volcanic eruptions in the years 1680-1980: the indicator of volcanic dust, $\lg DVI$ (Dust Veil Index), along with the volcanic activity indicator $\lg I = \lg\left(\frac{DVI}{\Delta t}\right)$, where Δt is the time interval between two consecutive eruptions. Table 4 presents the strongest cycles (i.e. those with the greatest amplitudes) of the spectra of oscillations (R multiple correlation coefficient value).

Table 4. The strongest cycles in the time series of air temperature, Wolf number and volcanic eruptions

Temperature		Wolf numbers		Volcanic eruptions			
Period	R	Period	R	$\lg DVI$		$\lg I$	
				Period	R	Period	R
12.1	0.1	12.1	0.27	11.4	0.31	11.7	0.29
12.8	0.16	12.8	0.17	13.3	0.28	12.7	0.26
14	0.14	13.8	0.09	13.9	0.18	15.2	0.29
17.7	0.14	21.4	0.11	19.8	0.25	21.2	0.32
29.8	0.05	28.5	0.12	30.4	0.19	28.4	0.28
34.7	0.04	36.9	0.08	38.6	0.22	40.8	0.24
42.2	0.1	45.5	0.14	52.2	0.17	757	0.33
103.8	0.09	98.3	0.33	791.8	0.34	90.5	0.25
220.7	0.43	187.1	0.2	223.8	0.23	221.5	0.35

One can also observe similarity of the shorter strong cycles, as shown in Table 5 below.

Table 5. Characteristics of short strong cycles

	Period	R	Period	R	Period	R
Air temperature	4.16	0.17	7.75	0.23	11.17	0.1
Solar activity	-	-	7.4	0.10	0.10	0.32
Volcanic activity ($\lg DVI$)	4.0	0.33	7.9	0.23	11.4	0.31
Volcanic activity ($\lg I$)	3.9	0.29	8.0	0.32	11.2	0.22
Acceleration of the Sun	3.9	0.28	7.8	0.27	-	-

The thus important similarity between the local maxima of the dense spectra of oscillations (the true cycles) of air temperature, solar activity, volcanic eruptions and the parameters of the Solar System was not expected, in view of the deterministic – stochastic processes taking place in the sun and on the earth (in the atmosphere). 318

During the last two centuries (1779-1990) air temperature in Warsaw has been increasing by 0.6°C in 100 years on the average, i.e.

$$T = 6.93 + 0.006460 t, \quad R = 0.42$$

The upward tendency of the air temperature is the resultant of the overlapping of two natural cycles: 103.8 years and 220.7 years (on the basis of the chronological series for 1779—1979 somewhat shorter cycles were obtained: 89.7 years and 195.2 years, with the remaining ones being the same). During the maxima of solar activity higher temperature of the air is observed than in the years of calm sun. The secular minimum of air temperature coincides with the weakest 11-year cycle of solar activity (1811-1823). On the other hand, the maximum of the temporal trend curve of air temperature can be located some place near the absolute maximum of solar activity (1957). The secular minimum of air temperature occurred during the intensified volcanic activity of the earth: 1815 eruption of Tambora volcano (Indonesia) of $DVI = 3,000$, 1835 – Coseguina (Nicaragua), with $DVI = 4,000$.

The longest cycles of air temperature: 103.8 and 220.7 years, are similar to the longest cycles of solar activity: 96.3 and 187.1 years, and of volcanic eruptions: $\lg DVI = 91.8$ and 223.8 years, $\lg I = 90.5$ and 221.5 years. This warming of climate during the last two centuries by 0.6°C per 100 years is mainly caused by the increase of solar activity and the decrease of volcanic activity. Solar activity has been increasing in the years 1700-1980 by 9.5 per each 100 years:

$$W = 34.73 + 0.0948 t, \quad R = 0.20$$

Besides this, there is a downward tendency in the secular trend of volcanic eruptions, both in terms of the Dust Veil Index and of the volcanic activity indicator $I = \frac{DVI}{\Delta t}$. Simultaneously there has been, on the average, an increase of the time intervals, t , between consecutive volcanic eruptions (see the parabole of regression in Fig. 205). The measure of antropogenic changes of air temperature during the last two centuries is constituted by the linear component of $\Delta T = at$ of the temporal trend of air temperature – the part which remains after elimination of a dozen natural cycles (rhythms) of temperature. The antropogenic component of temperature changes in Warsaw in the years 1779-1979 amounted to $a = 0.15^\circ\text{C}$ per 100 years. This results primarily from the expansion and growth of the town and the related increase of the heat island (bigger accumulation of heat by the buildings, industrial dusts and CO_2).

The correctness of identification of the natural causes of climate changes was confirmed by the agreement between the climatological and astronomic forecasts for the 21st century. In the climatological forecast 15 true cycles of air temperature, having the highest amplitudes, contained in the dense spectrum of oscillations $T = f(t)$, were combined. In the astronomical forecasts, on the other hand, Taylor expansion of the chronological series was obtained according to the least squares with respect to four parameters of the Solar System, $T = f(G, \cos \gamma, z, Z)$. Both these curves of secular changes of air temperature in Warsaw in the 21st century are below the average for 1779-1979. Thus, in the 21st century one can expect a certain cooling down of climate. It will not be too big, though (like at the turn of 19th century), due to the presence of the antropogenic component, which forces the increase of temperature by 0.15°C per 100 years.

3.3. 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

Ważniejsze wyniki badań

Nie rozwiązany dotąd problemem jest ustalenie przyczyn współczesnych, holoceńskich i plejstoceńskich wahań klimatu Ziemi – ochłodzeń i ociepleń. Jest nim też wyjaśnienie ostatniego globalnego ocieplenia klimatu (w ostatnich stuleciach). Nie wiadomo, jaka część postępującego ocieplenia klimatu jest efektem oddziaływania czynników naturalnych, a jaka – czynników antropogenicznych (efektu cieplarnianego, wywołanego przez CO₂).

Hipoteza o antropogenicznych przyczynach globalnego ocieplenia klimatu jest na ogół uzasadniona:

- tendencja rosnąca stężenia CO₂ w atmosferze,
- podnoszeniem się poziomu oceanów,
- równoległości krzywych wielowiekowych zmian temperatury powietrza i koncentracji CO₂ w rdzeniach lodów w holocenie (od 10 tys. lat) i plejstocenie (od 160 tys. lat, np. na stacji Wostok),
- spadkiem temperatury w stratosferze.

Hipotezę tę przyjmuje się jako założenie w modelach: bilansu ciepła, radiacyjno-konwekcyjnym, statystyczno-dynamicznym i modelu ogólnej cyrkulacji (MOC), i w prognozach – scenariuszach 2xCO₂ (o podwojonym stężeniu CO₂). Należy zauważyć, że to globalne ocieplenie klimatu może być spowodowane:

- tendencją rosnącą aktywności Słońca (od 1700 r.),
- tendencją malejącą aktywności wulkanicznej (od 1680 r.), które s silnie skorelowane z silami grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce, z planetarnymi pływami na Słońcu – z koncentracją masy w Układzie Słonecznym.

Zależność liczb Wolfa (W) i temperatury powietrza (T) w Warszawie (1779-1979) od parametrów Układu Słonecznego wskazują równania regresji liniowej:

$$W = 83,94 - 3,389 G + 244,25 \gamma - 5,732 Z + 81,58 z, \quad R = 0,47$$

$$T = 8,026 - 0,0517 G - 0,0341 \gamma - 0,362 Z + 0,3455 z, \quad R = 0,38$$

względem G – wypadkowej siły grawitacji planet, γ – cosinusa kąta między promieniami wodzącymi środka masy i środka geometrycznego US; Z , z – odległości środka geometrycznego i środka masy US od płaszczyzny ekliptyki. Natomiast wielomian 3-go stopnia regresji liczb Wolfa (1749-1980) względem tych 4 parametrów Układu Słonecznego $W = f(G, \gamma, Z, z)$ cechuje się współczynnikiem korelacji wielokrotnej $R = 0,77$.

Obserwowany jest szybki wzrost aktywności Słońca, kształtującej cyrkulację atmosferyczną (ruch cyklonów i antycyklonów w ich zależkowych fazach poprzez jonosferę). Aktywność Słońca wzrasta średnio: w latach 1700-1993 – o 11,4/100 lat, w latach 1749-1993 – o 11,9/100 lat, a w latach 1779-1993 – o 15,3/100 lat.

Te rosnące tendencje aktywności Słońca opisują równania prostych regresji:

1700-1993	$W = 32,85 + 0,1143t$	$r = 0,24$
1749-1993	$W = 38,05 + 0,1186t$	$r = 0,20$
1779-1993	$W = 24,23 + 0,1530t$	$r = 0,31$

Trzeba zauważyć, że aktywność Słońca w latach 1700-1993 wzrosła dwukrotnie (w odniesieniu do daty 1700), a w latach 1779-1993 – 2, 3-krotnie (w odniesieniu do daty 1779). Najśłabszy 13-letni cykl 1811-1823 cechuje się średnią liczbą Wolfa 21,0, a najsilniejszy cykl 10-letni 1955-1964 – średnią 95,5.

Tendencja rosnąca średniej rocznej temperatury powietrza w latach 1779-1990 np. w Warszawie o 0,66 °C/100 lat:

$$T = 6,92 + 0,006572 t, r = 0,57$$

wywołana jest prawdopodobnie wzrostem aktywności Słońca.

Krzywe wiekowych zmian temperatury powietrza w Europie i na półkuli północnej (między równoleżnikami 30°N i 30°S, w warstwie atmosfery 850-350 hPa, Sazonow, Kłysik 1996) wykazują większe podobieństwo do krzywej wiekowych zmian liczby Wolfa niż do krzywej wiekowych zmian stężenia CO₂ w atmosferze (bez ekstremów). Minima wiekowe temperatury powietrza przypadają na lata minimów wiekowych aktywności Słońca – na najśłabszy cykl 13-letni 1811-1823 i na maksimum aktywności wulkanicznej. W ostatnich dziesięcioleciach o wzmożonej aktywności Słońca cykl 11-letni temperatury powietrza uwidacznia się coraz bardziej (np. Zamość w latach 1951-1990). Po prostu w latach o wzmożonej aktywności Słońca notowane są wyższe wartości temperatury powietrza (większe przyrosty drewna w lasach – grubsze pierścienie drzew).

Aktywność Słońca w latach 1700-1993 ulegała cykliczności:

Okres Θ lat	Amplituda $2b$	R
8,1	37,4	0,16
8,4	39,0	0,17
9,5	30,1	0,13
10,0	96,6	0,42
10,5	89,1	0,39
11,0	120,1	0,53
12,0	64,3	0,28
12,7	31,0	0,14
28,9	28,6	0,12
43,2	30,1	0,13
52,7	45,8	0,20
101,6	69,0	0,30
192,1	51,0	0,22

Dla ustalenia przyczyn globalnego ocieplenia klimatu ważna jest synchroniczność cyklicznych wahań temperatury powietrza i aktywności Słońca, a także erupcji wulkanicznych. Szkoda, że takiej kilkunastoletniej, kilkudziesięcioletniej cykliczności nie ulega stężenie CO₂ w atmosferze. Nie ma obecnie możliwości porównania ekstremów wiekowych zmian temperatury powietrza i stężenia CO₂

Cykle te wg testu Fishera-Snedecora są istotne na poziomie istotności 0,01 ($n = 924$). Prawdopodobieństwo, że określonej długości cykl może być przypadkowy, jest mniejsze od 1%.

Interesujące jest porównanie dat maksimum cyklu 11-letniego aktywności Słońca z cyklami 11, 25-letnimi parametrów Układu Słonecznego: składowej siły grawitacji G_s

(w kierunku środka geometrycznego US) i $\cos \gamma$ (cosinusa kąta między promieniami wodzącymi środka masy i środka geometrycznego):

Aktywność Słońca						
11,0 years cycle	1926	1936	1948	1959	1970	1981
Obserwacje	1928	1927	1948	1957	1968	1979
Parametry US						
G	1926	1937	1948	1960	1971	1982
$\cos \gamma$	1926	1937	1948	1960	1971	1982

Maksimum aktywności Słońca (w tym cyklu) odpowiadają maksima parametrów G , $\cos \gamma$ (minimum kąta γ). Podczas maksimumów siły grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce – składowej G_s , obserwuje się maksymalną aktywność Słońca. Maksymalna aktywność Słońca występuje w latach, których siły grawitacji planet i siły dynamicznego oddziaływania (związane z ruchem Słońca względem środka masy US) nakładają się (przy małym kącie γ).

Okres 192,1-letni aktywności Słońca jest zbliżony do okresów wiekowych parametrów Układu Słonecznego: składowej siły grawitacji planet G_s – 184,9 t, siły pływowej na Słońcu ΔG – 185,17 lat, odległości środka geometrycznego Z od ekliptyki – 211,8 lat. $\cos \gamma$ – 197,9 lat, przyspieszenia Słońca \dot{s} – 182,9 lat (Boryczka 1993).

Najsłabszy cykl 13-letni aktywności Słońca (1811-1823) od 1700 roku wystąpił podczas minimum absolutnych: składowej siły grawitacji planet G_s (w kierunku środka masy US, 1810 r.) i siły pływowej na Słońcu ΔG (1811). Data 1811 r. – to minimum absolutne odległości środka masy Układu Słonecznego od Słońca. Ekstrema absolutne aktywności Słońca: minimum (1823) i maksimum (1957) wystąpiły przy największej odległości z środka masy Układu Słonecznego od płaszczyzny ekliptyki: 1823 – $z < 0$, 1957 – $z > 0$.

Podobieństwo gęstych widm oscylacji aktywności Słońca i parametrów Układu Słonecznego wspiera hipotezę K. P. Butusowa (1972) o wzmożonej turbulencji na Słońcu, wywołanej różnicą przyspieszeń zewnętrznych warstw Słońca i jego środka w ruchu dookoła środka masy Układu Słonecznego. Efektem tej wzmożonej turbulencji jest zmienność plam słonecznych. Znaczną rolę w kształtowaniu aktywności Słońca mogą też odgrywać planetarne siły pływowe na Słońcu, związane przede wszystkim z ruchem Jowisza (o okresie obiegu dookoła Słońca równym 11,86 lat) i dalszych największych planet: Saturna (29,46 lat), Urana (84,02 lat) i Neptuna (164,79 lat). W widmie oscylacji aktywności Słońca są obecne okresy wzajemnego położenia czterech największych planet (olbrzymów): 12,8, 13,8, 19,9, 35,9, 45,4 lat.

Ogromne znaczenie dla wyjaśnienia współczesnych wahań klimatu ma synchroniczność – cykli cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca. Cyrkulacja atmosferyczna jest bowiem ogniwem przenoszenia zmian zachodzących na Słońcu na Ziemię. Sam mechanizm fizyczny tego przenoszenia nie jest obecnie dobrze znany. Hipotezy B. Haurwitza (1946) – o roli ozonu w strefie międzyzwrotnikowej w kształtowaniu ogólnej cyrkulacji atmosferycznej i L. R. Rakipowej (1960) – o wpływie cyklu 11-letniego aktywności Słońca na stan jonosfery – i ruch antycyklonów i cyklonów nie są wystarczające.

Hipotezy te potwierdza cykl 11,4-letni cyrkulacji południkowej (C):

$$C = 7,02 + 2,741 \sin\left(\frac{2\pi}{11,4} t - 0,8040\right), \quad R = 0,32 \quad - \text{Styczeń}$$

$$C = 6,21 + 1,98 \sin\left(\frac{2\pi}{11,4} t + 3,0608\right), \quad R = 0,24 \quad - \text{Listopad}$$

Silne są również (o dużych amplitudach) cykle o długościach 9,1-13,4 lat cyrkulacji strefowej (C_I):

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Θ	12,5	11,8	9,4	11,7	10,4	13,3	11,1	11,9	12,8	10,6	12,7	9,9
R	0,20	0,19	0,23	0,35	0,21	0,27	0,16	0,24	0,29	0,21	0,29	0,36

Cyrkulacja wschodnia (C_E) i zachodnia (C_w) ulega cykliczności ok. 30-letniej, zbliżonej do najsilniejszego cyklu koncentracji masy względem środka masy Układu Słonecznego $\Theta = 29,5$ lat, $R = 0,70$. 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 istotny statystycznie cykl 28,9-letni aktywności Słońca w latach 1700-1993 ($R = 0,124$).

Oto cykle ok. 30-letnie cyrkulacji wschodniej (C_E) i zachodniej (C_w):

	Cyrkulacja wschodnia		Cyrkulacja zachodnia		
	Θ	R		Θ	R
Wiosna	31	0,24	IV	35,5	0,37
Lato	30	0,29	VI	33,8	0,38
Jesień	31,3	0,40	VII	29,4	0,29
Zima	29,8	0,15	VIII	29,6	0,28
Półrocze chłodne (X-III)	30,3	0,27	X	31,5	0,38
Półrocze ciepłe (IV-IX)	30,5	0,30	XII	30,5	0,27

Wahania liczby dni z cyrkulacją zachodnią w tym cyklu o długościach 29,4- 35,3 lat wynoszą 5,1-8,3 dni, co stanowi ok. 25% wszystkich dni.

Analogicznej cykliczności ok. 30-letniej ulega cyrkulacja strefowa (wg innej klasyfikacji Osuchowskiej-Klein):

	Okres Θ	R
I	31,8	0,15
II	34,1	0,23
V	33,1	0,21
VI	27,6	0,34
IX	30,3	0,22
XI	30,8	0,18
XII	32,3	0,13

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 (C) i strefowej (C_I):

Cyrkulacja południkowa	Okres Θ	R
IX	77,4	0,24
XII	85,8	0,20
Cyrkulacja strefowa	Okres Θ	R
I	80,0	0,29
II	78,9	0,26
XI	62,5	0,34
XII	73,8	0,25
Zima	76,7	0,41
Półrocze chłodne	74,9	0,42
Rok	76,3	0,35

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. Tendencje średnie określają równania prostych regresji

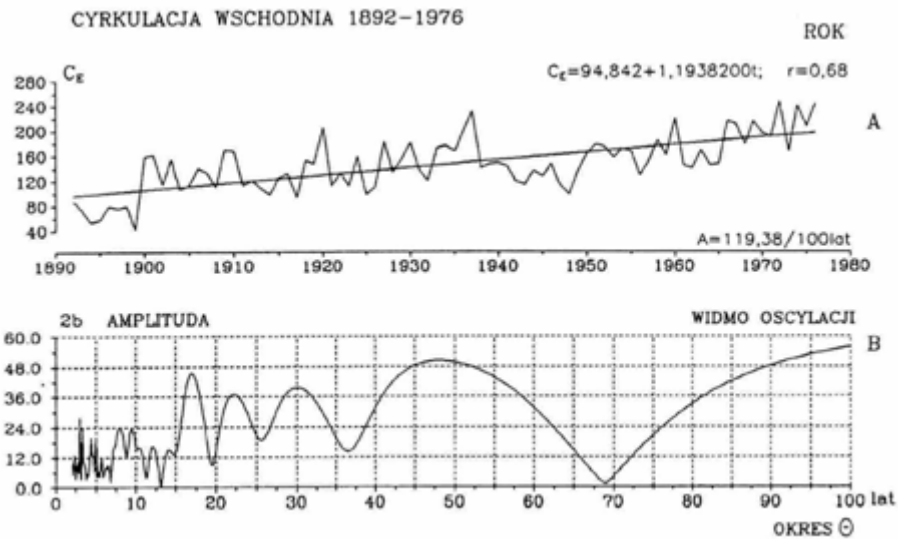
$$y = A_0 + At$$

Współczynniki regresji A wyrażone na 100 lat i współczynniki korelacji r wynoszą:

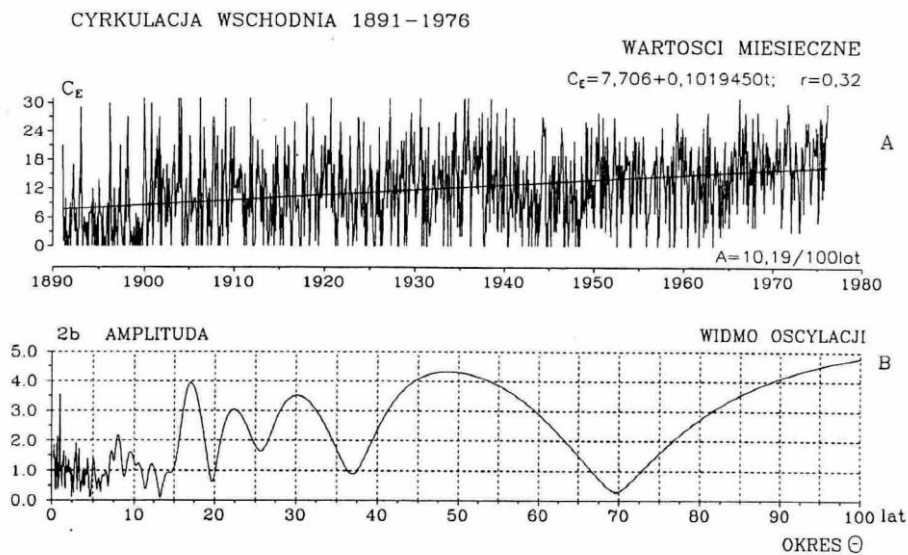
	Zima		lato		Rok	
	A	r	A	r	A	r
Wschodnia	21,1	0,30	51,2	0,71	119,4	0,68
Zachodnia	-24,0	-0,43	-39,3	-0,63	-112,5	0,73
Południkowa	3,3	0,07	-12,5	-0,26	-6,5	-0,06
Cyklonalna	-14,3	-0,25	-8,6	-0,03	-20,4	-0,20
Strefowa	-3,4	-0,28	-0,0	-0,01	-1,1	-0,23

Znamienny jest bardzo duży wzrost liczby dni z cyrkulacją wschodnią: w zimie 21,1 dni/100lat, w lecie aż 51,2 dni/100lat, a w roku 119,4 dni/100lat. Odpowiednio obserwuje się bardzo duży spadek liczby dni z cyrkulacją zachodnią: w zimie o 24dni/100lat, w lecie o 39,3 dni/100lat, a w roku – o 112,5 dni/100 lat. Maleje również liczba dni z cyrkulacją cyklonalną – o 14 dni/100 lat w zimie. Obserwuje się też spadek cyrkulacji strefowej (C_1) o 3,4 hPa/100lat – w zimie. Jedynie ciąg chronologiczny indeksu cyrkulacji strefowej (C_1) wg klasyfikacji Osuchowskiej-Klein sięga ostatnich lat (1899-1984). Temu osłabieniu cyrkulacji strefowej (równoleżnikowej), głównie w zimie, odpowiada coraz cieplejsze zimy w Europie (w Warszawie w latach 1779-1990 o 1°C/100 lat, Genewie w latach 1768-1980 – o 0,5°/100 lat.).

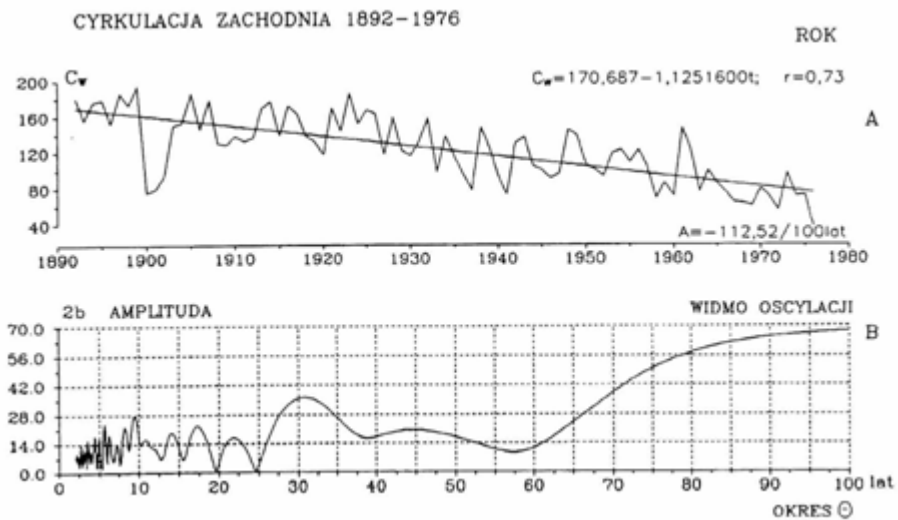
Zmiany czasowe cyrkulacji atmosferycznej (wg Wangenheima) w latach 1892-1976 i gęste widma oscylacji w paśmie 2,1-100 lat: wschodniej, zachodniej, południkowej (rok i miesiące) przedstawiono na rys. 1-6. Natomiast zmiany czasowe cyrkulacji cyklonalnej i strefowej (wg Osuchowskiej-Klein) w latach 1902-1986 i gęste widma oscylacji w paśmie 2,1-100 lat (zima, lato, rok i miesiące) opisują wykresy na rys. 1-14



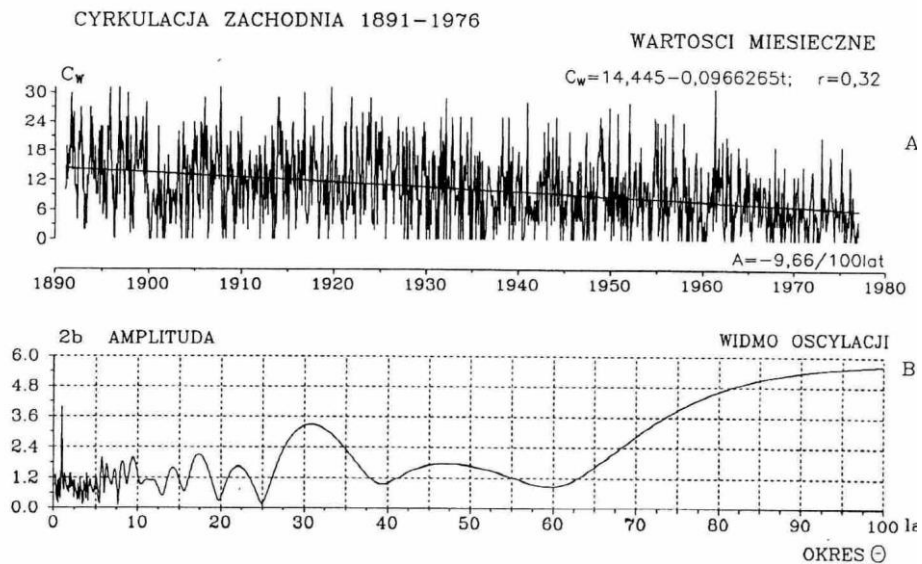
Rys. 1. Cyrkulacja atmosferyczna wschodnia (wg Wangenheima) w latach 1892-1976 – rok, A - Tendencje wiekowych zmian: rok A=119,38 dni/100lat, B - Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-100 lat
Fig. 1. Easterly atmospheric circulation (after Wangenheim) in the period 1892-1976- year, A - The tendency of secular: year A=119,38 days/100 years, B - Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-100 years



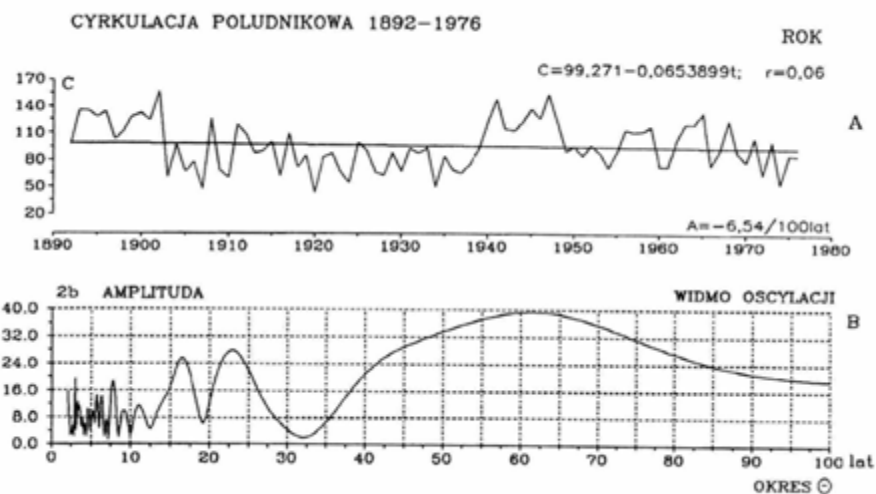
Rys. 2. Cyrkulacja atmosferyczna wschodnia (wg Wangenheima) w latach 1891-1976 – wartości miesięczne
 A Tendencje wiekowych zmian: A=10,20 dni/100lat, B. Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-100 lat
Fig. 2. Easterly atmospheric circulation (after Wangenheim) in the period 1891-1976 – monthly values month
 A The tendency of secular: A=10,20 days/100 years, B Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-100 years



Rys.3. Cyrkulacja atmosferyczna zachodnia (wg Wangerheima) w latach 1892-1976 – rok, A Tendencje wiekowych zmian: rok $A = -112,52$ dni/100lat, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-100 lat
Fig. 3. Westerly atmospheric circulation (after Wangerheim) in the period 1892-1976- year, A The tendency of secular: year $A = -112,52$ days/100 years, B Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-100 years

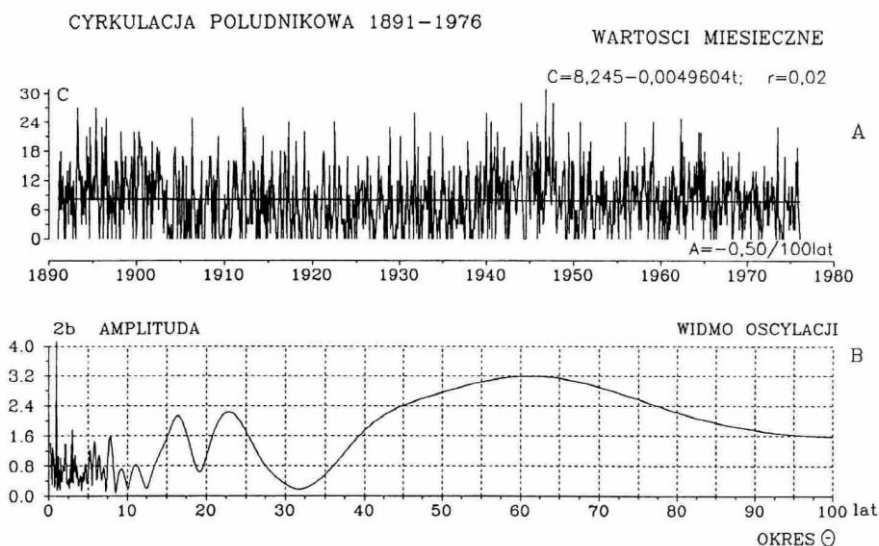


Rys. 4. Cyrkulacja atmosferyczna zachodnia (wg Wangerheima) w latach 1891-1976 – wartości miesięczne
 A. Tendencje wiekowych zmian: wartości miesięczne $A = 10,20$ dni/100lat, B. Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-100 lat
Fig. 4. Westerly atmospheric circulation (after Wangerheim) in the period 1891-1976 – monthly values month, A. The tendency of secular: year $A = 10,20$ days/100 years, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-100 years



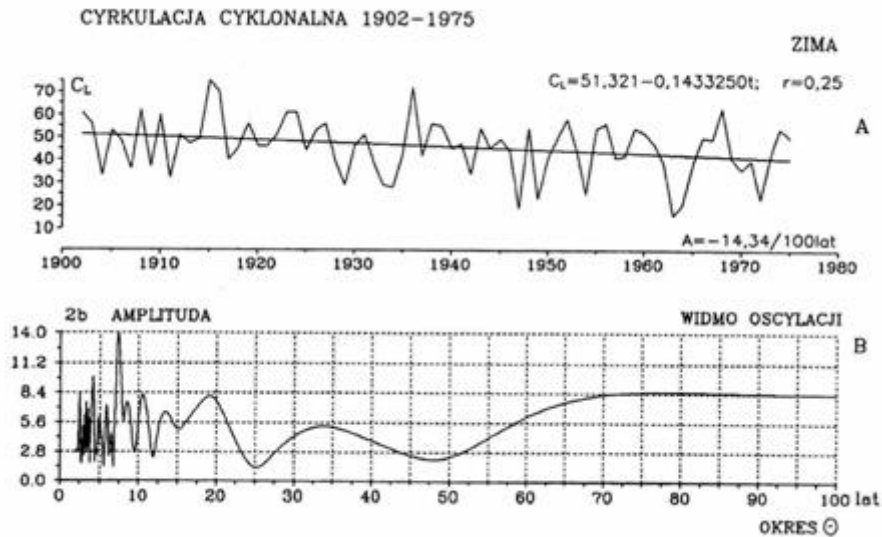
Rys. 5. Cyrkulacja atmosferyczna południkowa (wg Wangenheima) w latach 1891-1976 – rok, A Tendencje wiekowych zmian: rok $A=-6,54$ dni/100lat, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-100 lat

Fig. 5. Meridional atmospheric circulation (after Wangenheim) in the period 1891-1976- year, A The tendency of secular: year $A=-6,54$ days/100 years, B Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-100 years



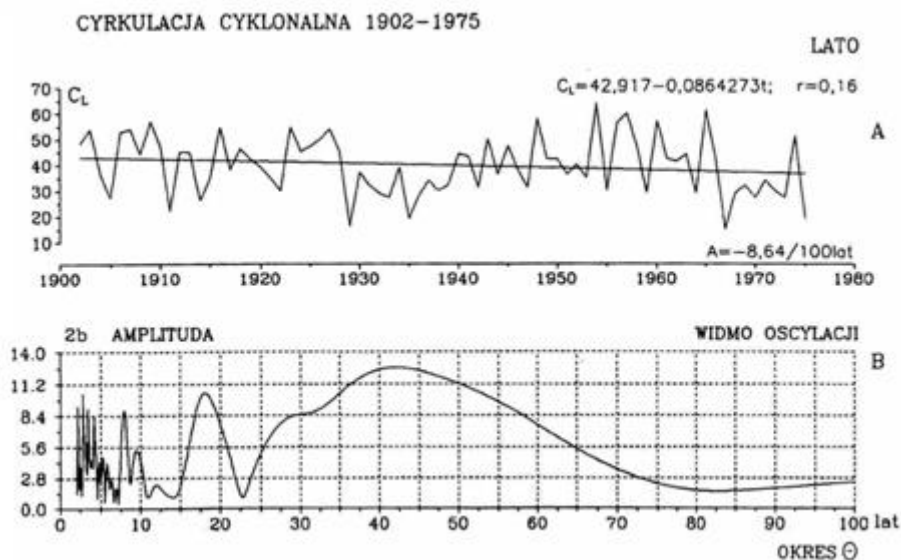
Rys. 6. Cyrkulacja atmosferyczna południkowa (wg Wangenheima) w latach 1891-1976 – wartości miesięczne, A Tendencje wiekowych zmian: wartości miesięczne $A=-0,50$ dni/100lat, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-100 lat

Fig. 6. Meridional atmospheric circulation (after Wangenheim) in the period 1891-1976 – monthly values month, A The tendency of secular: year $A=-0.50$ days/100 years, B Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-100 years



Rys. 7. Cyrkulacja cyklonalna (wg Osuchowska-Klein) w latach 1902-1975 – zima, A Tendencje wiekowych zmian: zima $A=-14,3$ dni/100lat, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-100 lat

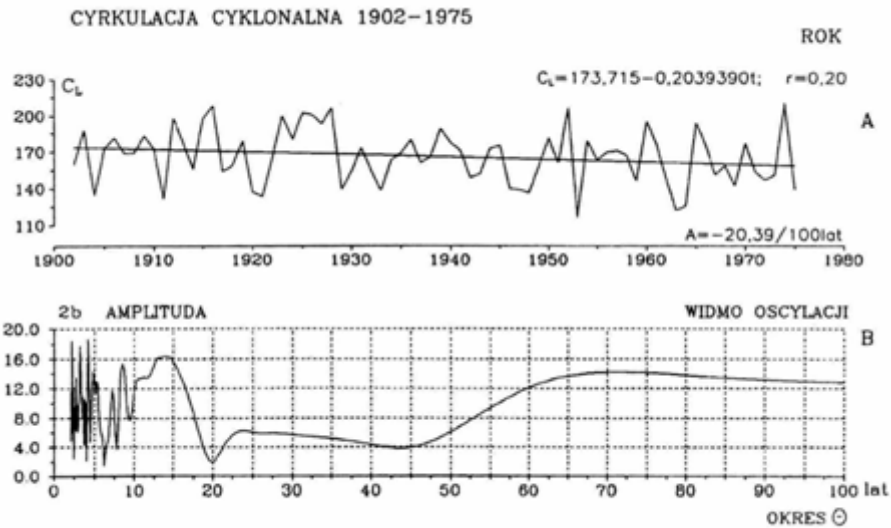
Fig. 7. Cyclonal atmospheric circulation (after Osuchowska-Klein) in the period 1902-1975 – winter
A The tendency of secular: winter $A=-14,33$ days/100 years, B Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-100 years



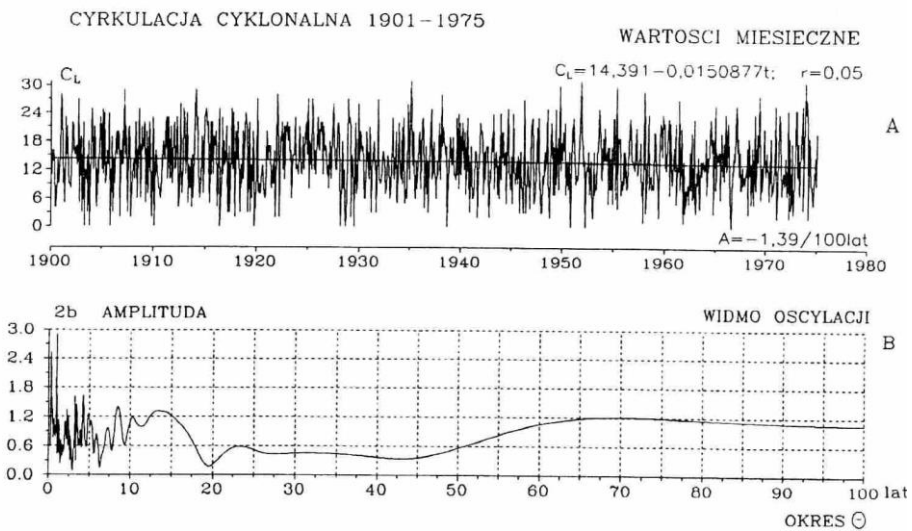
Rys. 8. Cyrkulacja cyklonalna (wg Osuchowska-Klein) w latach 1902-1975 – lato

A Tendencje wiekowych zmian: zima $A=-8,64$ dni/100lat, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-100 lat

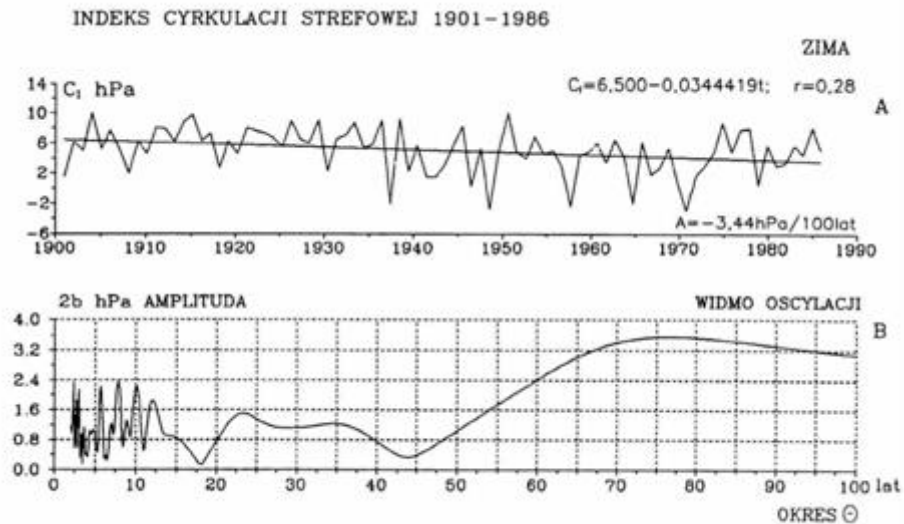
Fig. 8. Cyclonal atmospheric circulation (after Osuchowska-Klein) in the period 1902-1975 – summer
A The tendency of secular: summer $A=-8,64$ days/100 years, B Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-100 years



Rys. 9. Cyrkulacja atmosferyczna cyklonalna (wg Osuchowska-Klein) w latach 1902-1975 – rok, A Tendencje wiekowych zmian: rok $A = -20,39$ hPa/100lat, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-100 lat
Fig. 9. Cyclonal atmospheric circulation (after Osuchowska-Klein) in the period 1902-1975- year, A The tendency of secular: year $A = -20,39$ hPa/100 years, B Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-100 years

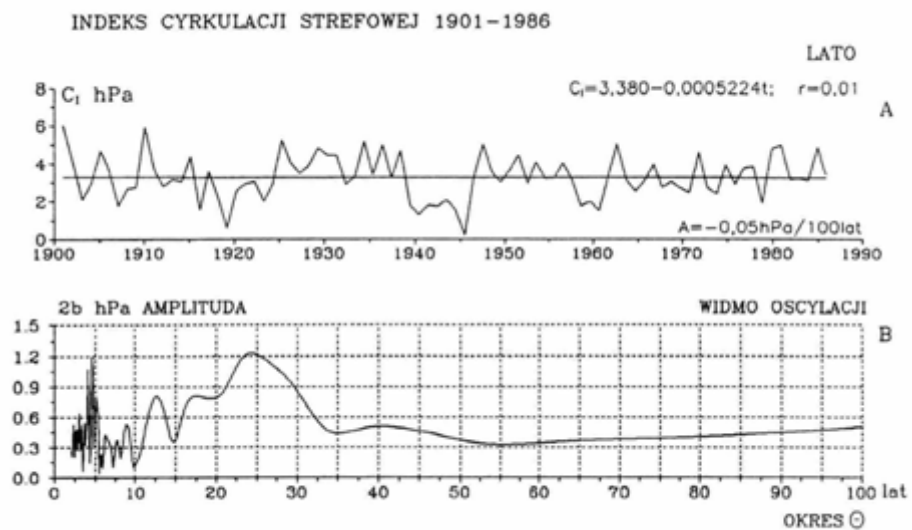


Rys. 10. Cyrkulacja atmosferyczna cyklonalna (wg Osuchowska-Klein) w latach 1901-1975 – wartości miesięczne, A Tendencje wiekowych zmian: $A = -1,39$ dni/100lat, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-100 lat
Fig. 10. Cyclonal atmospheric circulation (after Osuchowska-Klein) in the period 1901-1975– monthly values month, A The tendency of secular: $A = -1.39$ days/100 years, B Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-100 years



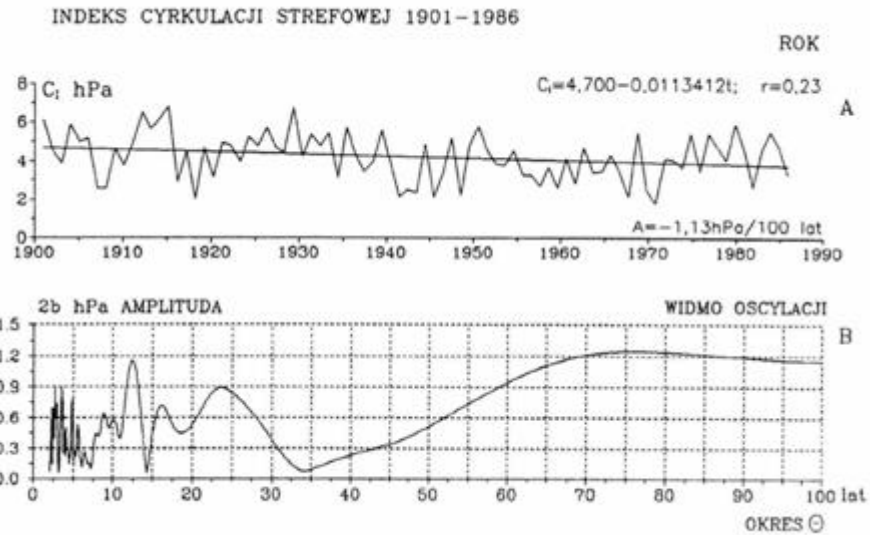
Rys. 11. Cyrkulacja strefowa (wg Osuchowska-Klein) w latach 1901-1986 – zima, A Tendencje wiekowych zmian: zima $A = -3.44$ dni/100lat, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-100 lat

Fig. 11. Zonal atmospheric circulation (after Osuchowska-Klein) in the period 1901-1986 – winter, A The tendency of secular: winter $A = -3.44$ days/100 years, B Dense spectra of oscillation in the strip 2.1-100 years

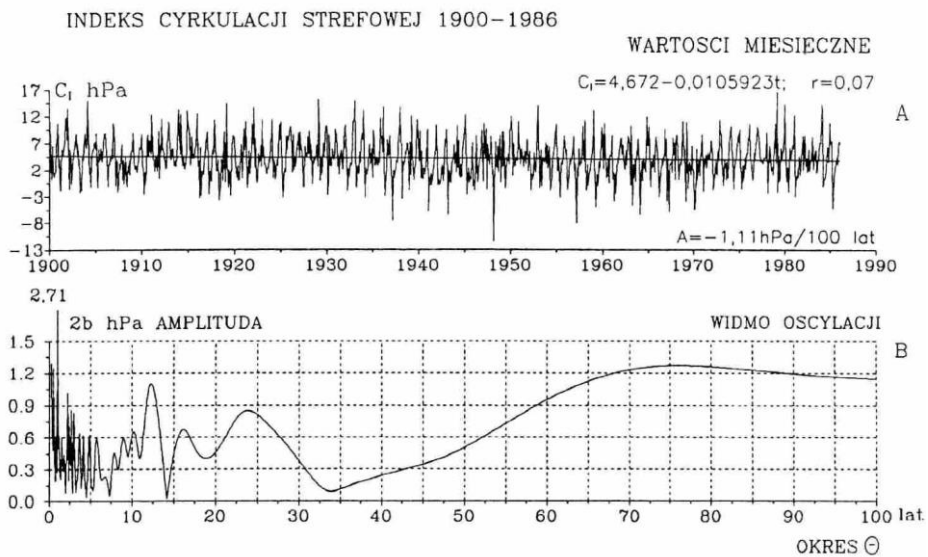


Rys. 12. Cyrkulacja strefowa (wg Osuchowska-Klein) w latach 1901-1986 – lato, A Tendencje wiekowych zmian: lato $A = -0.05$ hPa/100lat, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-100 lat

Fig. 12. Zonal atmospheric circulation (after Osuchowska-Klein) in the period 1901-1986 – summer
A The tendency of secular : summer $A = -0.05$ hPa/100 years, B Dense spectra of oscillation in the strip 2.1-100 years



Rys. 13. Cyrkulacja atmosferyczna strefowa (wg Osuchowska-Klein) w latach 1901-1986) – rok
 A tendencje wiekowych zmian: rok $A = -1,13$ hPa/100lat, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-100 lat
Fig. 13. Zonal atmospheric circulation (after Osuchowska-Klein) in the period 1901-1986- year
 A The tendency of secular $A = -1,13$ hPa/100 years, B Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-100 years



Rys. 14. Cyrkulacja atmosferyczna strefowa (wg Osuchowska-Klein) w latach 1900-1986 – średnie miesięcz-
 ne, A Tendencje wiekowych zmian: $A = -1,06$ hPa/100lat, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-100 lat
Fig. 14. Zonal atmospheric circulation (after Osuchowska-Klein) in the period 1900-1986 – monthly values
 month, A The tendency of secular: $A = -1,06$ hPa/100 years, B Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-100 years

Summary

One of the problems yet unsolved is the determination of the reasons of modern, holocene and pleistocene changes in the climate of the Earth – drops and rises of temperature. It includes the explanation of the last global warming up of the climate (during the last centuries). It is not known, what part of the progressing warming up of the climate results from the influence of natural factors and what γ of anthropogenic factors (greenhouse effect caused by CO_2).

Most often the hypothesis about anthropogenic reasons of the global warming of the climate is grounded with:

- the increasing tendency of CO_2 concentration in the atmosphere,
- the rise of the levels oceans,
- the parallel character of many centuries' air temperature and CO_2 concentration curves in the cores of ice in the holocene (for the last 10 thousand years) and in pleistocene (for the last 160 thousand years, for example at the Vostock station),
- temperature drop in stratosphere.

This hypothesis is accepted as the basic assumption in the warmth balance model, radiation-convection model, statistical-dynamic model and the general circulation model (GCM), in the $2\times\text{CO}_2$ prognoses (about double CO_2 concentration). It must be noticed that the reason for this global warming up of the climate may be caused by:

- increasing Sun activity tendency (since 1700)
- decreasing volcanic activity tendency (since 1680)

which are strongly correlated with the influence of gravitation forces of the planets on the Sun, planetary influence on the Sun – with the dispersion of matter in the Solar System. The dependence of Wolf numbers (W) and air temperature (T) in Warsaw (1779-1979) upon the parameters of the Solar System indicate the equations of hyperplanes regression:

$$\begin{aligned} W &= 83.94 \ 3.389 \ G + 244.25 \ \gamma - 5.732 \ Z + 8158 \ z, & R &= 0.47 \\ T &= 8.026 - 0.0517 \ G - 0.0341 \ \gamma - 0.362 \ Z + 0.3455 \ z, & R &= 0.38 \end{aligned}$$

in relation to G planets gravitation resultant force, γ – cosine of the angle between the radius vectors of the centre of mass and US geometrical centre; Z , z – distance of geometrical centre and US mass centre from the plane of the ecliptic. On the other hand 3rd degree polynomial of Wolf numbers regression (1749-1980) in relation to these 4 parameters of the Solar System $W = f(G, \gamma, Z, z)$ is characteristic of multiple correlation coefficient $R = 0,77$.

Rapid increase of Sun activity influencing atmospheric circulation (movement of cyclones and anticyclones in their initial stages through ionosphere) has been observed. Sun activity increased in the average: in the years 1700-1993 by 11.41/100 years, in the years 1749-1993 by 11.9/100 years and in the years 1779-1993 by 15.3/100 years.

Those increasing Sun activity tendencies are described by simple regressions equations:

1700-1993	$W = 32,85 + 0,1143t$	$r = 0,24$
1749-1993	$W = 38,05 + 0,1186t$	$r = 0,20$
1779-1993	$W = 24,23 + 0,1530t$	$r = 0,31$

It must be pointed out that Sun activity in the years 1700-1993 increased doubly (in comparison to the year 1700) and in the years 1779-1993 – 2, 3 times (in comparison to the year 1779). The increasing tendency of the average annual air temperature in the years 1779-1993, for example in Warsaw by 0.66 C/100 years:

$$T = 6.92 + 0.006572t, \quad r = 0.57$$

is probably caused by Sun activity increase.

The curves of many centuries' air temperature in Europe and in the northern hemisphere (between parallels 30N and 30S, in the atmospheric stratum 850-250 hPa, Sazonow, Kłysik 1996) show a closer similarity to the curve of Wolf numbers changes for particular than to the curve of CO_2 concentration changes (without the extremes). Minimum air temperatures for particular

centuries fall on the years of minimum Sun activity – on the weakest 13-year cycle 1811-1823 and on the maximum volcanic activity. During the last decades of increased Sun activity the 11-year air temperature cycle becomes more and more visible (for example Zamość in the years 1951-1990). Simply, during the years of increased Sun activity higher air temperature values have been observed (larger wood growth in the forests – thicker rings of growth).

The synchronic character of cyclic air temperature fluctuation, Sun activity and volcanic eruptions is important for determination of the reasons of the global warming of the climate. It is a pity that CO₂ concentration in the atmosphere does not undergo such several years, cyclic changes. At the present there is no possibility of comparing the extreme centenary values of air temperature and CO₂ concentration changes.

Sun activity underwent the following cyclic changes in the years 1700-1993:

Period Θ year	Amplitude $2b$	R
8,1	37,4	0,16
8,4	39,0	0,17
9,5	30,1	0,13
10,0	96,6	0,42
10,5	89,1	0,39
11,0	120,1	0,53
12,0	64,3	0,28
12,7	31,0	0,14
28,9	28,6	0,12
43,2	30,1	0,13
52,7	45,8	0,2
101,6	69,0	0,3
192,1	51,0	0,22

According to Fisher-Snedecor test those cycles are significant on significance level 0.01 ($n = 294$). Probability that a cycle of particular length is accidental is smaller than 1%.

It is interesting to compare the dates of maximums of the 11-year Sun activity cycle to the 11- and 25-year cycles parameters of the Solar System: the component of the resultant gravitation force G (towards the US geometrical centre) and $\cos \gamma$ (cosinus of the angle between the radius vector of the mass centre and the geometrical centre):

Sun activity						
11,0 year scycle	1926	1936	1948	1959	1970	1981
Observations	1928	1927	1948	1957	1968	1979
US parameters						
G	1926	1937	1948	1960	1971	1982
$\cos \gamma$	1926	1937	1948	1960	1971	1982

Maximum Sun activity values (in this cycle) correspond to maximum G_s and \cos parameters (minimum of γ angle). Maximum Sun activity is observed together with maximum values of gravitational influence of the planets – the G_s component. The maximum Sun activity occurs in the years when planetary gravitation forces and dynamic interaction forces (connected with the movement of the Sun in relation to US mass centre) superimpose on each other (at a small γ angle).

The 192.-year Sun activity period is similar to centenary periods of Solar System parameters: G component of the planetary gravitation force – 184.9 years tidal force ΔG on the Sun – 185.17 years, distance of the geometrical centre Z from the ecliptic – 211.8 years, $\cos \gamma$ – 197.9 years, Sun accelerations s' – 182.9 years (Boryczka 1993).

The weakest 13-year Sun activity cycle (1811-1823) since the year 1700 occurred during the absolute minima: G_s component of planetary gravitation force, (towards US mass centre, 1810) and the tidal force on the Sun ΔG (1811). The date 1811 is the absolute minimum of the distance

of the centre of s Solar System mass from the Sun. Absolute Sun activity extrema: minimum (1823) and maximum (1957) occurred at the largest distance from the Solar System mass centre from the ecliptic plane: 1823 – $z < 0$, 1957 – $z > 0$.

What supports the hypothesis of K.P. Butusow (1972) about the increased turbulence on the Sun, provoked by the difference of accelerations of the external strata of the Sun and its centre in the motion around the Solar System centre is the similarity of the dense spectra of Sun activity oscillation and of the parameters of the Solar System. The result of this increased turbulence is changeability of sun-spots. A significant role in the formation of Sun activity can also be played by planetary tidal forces on the Sun, connected, first of all, with the motion of Jove (with the circulation period around the Sun equal 11.86 years) and that of other largest planets: Saturnus (29.46 years), Uranus (84.02 years) and Neptune (164.79 years). Sun activity oscillation spectrum contains the periods of mutual location of the four largest planets (the giants): 12.8, 13.8, 19.9, 35.9, 45.4 years.

The synchronic character of atmospheric circulation cycles and Sun activity is of fundamental meaning for the explanation of the modern climatic changes. Atmospheric circulation is nonetheless but a link transferring the changes occurring in the Sun to the Earth. The very physical mechanism of this transfer is presently not well known.

The hypotheses of B. Haurwitz (1946) about the role of ozone in the intertropical zone in the formation of the general atmospheric circulation and that of DR. Rakipowa (1960) about the influence of the 11-year Sun activity cycle upon the condition of the ionosphere – as well as the move of cyclons and anticyclons – are not sufficient.

The hypotheses are confirmed by the 11.4-year of the meridional circulation cycle (C):

$$C = 7.02 + 2.741 \sin\left(\frac{2\pi}{11.4} t - 0.8040\right), \quad R = 0.32 - \text{January}$$

$$C = 6.21 + 1.981 \sin\left(\frac{2\pi}{11.4} t + 3.0608\right), \quad R = 0.24 - \text{November}$$

Zonal circulation cycles (CI) of the length of 9.1 and 13.4 years are also strong (of large amplitudes):

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Θ	12.5	12.0	9.4	11.7	10.4	13.4	11.1	11.9	12.8	10.6	12.7	9.9
R	0.20	0.19	0.23	0.35	0.21	0.27	0.16	0.24	0.29	0.21	0.29	0.40

The eastern (C_E) and the western (C_W) circulations undergo the about 30-year periodicity. Similar to the strongest cycle of mass dispersion in relation to Solar System mass centre – $\Theta = 29.5$ years, $R = 0.70$. This is, at the same time, a planetary cycle – the period of circulation of the second large planet Saturnus – 29.46 years and its location in relation to Uranus – 35.87 years. It is also statistically significant 28.9-year cycle of Sun activity in the years 1700-1993 ($R = 0.124$).

Below are the cycles of about 30-year eastern (C_E) and western (C_W) circulation:

	Eastern circulation			Western circulation		
	Θ	R		Θ	R	
Spring	31.0	0.24	IV	35.5	0.37	
Summer	30.0	0.29	VI	33.8	0.38	
Autumn	31.3	0.40	VII	29.4	0.29	
Winter	29.8	0.15	VIII	29.6	0.28	
Cold seasons (X-III)	30.3	0.27	X	31.5	0.38	
Warm seasons (IV-IX)	30.5	0.30	XII	30.5	0.27	

The changes in the number of days with western circulation in this cycle of the length of 29.4 and 35.3 years equal 5.1-8.3 days, what, that makes about 25% of all days.

The zonal circulation undergoes an analogous about 30-year periodicity after another classification, of Osuchowska-Klein:

	Period Θ	R
I	31.8	0.15
II	34.1	0.23
V	33.1	0.21
VI	27.6	0.34
IX	30.3	0.22
XI	30.8	0.18
XII	32.3	0.13

The about 30-year cycle of atmospheric circulation, formed probably by Sun activity cycles of the same length and the same parameters of the Solar System (planetary cycles) is supported by 35-year Brückner cycle of atmospheric precipitation.

Worth mentioning are the longest meridional circulation cycles (C) and zonal circulation cycles (C_1):

Meridional circulation	Period Θ	R
IX	77.4	0.24
XII	85.8	0.20
Zonal circulation	Period Θ	R
I	80.0	0.29
II	78.9	0.26
XI	62.5	0.34
XII	73.8	0.25
winter	76.7	0.41
Cold season year	74.9	0.42
year	76.3	0.35

Those cycles, of relatively large amplitudes, formed the climate of Europe during the last century Atmospheric circulations: eastern, western, meridional (1891-1976), cyclonal (1901-1975), zonal (1899-1984) in the sections of observation underwent systematic changes. Average tendencies are determined by equations of simple regressions...

„ A ” regression coefficients expressed for 100 years equal the following:

	Winter		Summer		Year	
	A	r	A	r	A	r
Eastern	21.10	0.30	51.20	0.71	119.40	0.68
Western	-24.00	-0.43	-39.30	-0.63	-112.50	0.73
Meridional	3.30	0.07	12.50	-0.26	-6.50	-0.06
Cyclonal	-14.30	-0.25	-8.60	-0.03	-20.40	-0.20
Zonal	-3.40	0.28:	0.00	-0.01	-1.10	-0.23

Very significant is a sharp increase of the numbers of the numbers of days with eastern circulation: in the winter 21.1 days/100 years, in the summer as many as 51.2 days/100 years and in the year 119.4 days/100 years. Respectively, a similarly a big drop in the number of days with western circulation is observed: in the winter by 24 days/100 years, in the summer by 39.3 days/100 years and in the year by 112,5 days/100 years. The number of days with cyclonal circulation is decreasing as well: by 14 days/100 years in the winter. The decrease of zonal circulation (C_1) by 3.4 hPa/100 years in the winter is observed as well. Only the chronological sequence of (C_1) zonal circulation index after the classification by Osuchowska-Klein reaches the last years (1899-1984). This weakening of zonal circulation (latitudinal), mainly in the winter, is mirrored by increasingly warmer winters in Europe (in Warsaw in the years 1779-1990 by 1°C/100 years, in Geneva in the years 1768-1980 by 0,5°C/100 years).

3.4. 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

Trendy liniowe temperatury powietrza

Tendencje wiekowe temperatury powietrza – średnie w przedziałach czasu $0 < t < t_n$ współczynniki regresji A trendów liniowych (górne części rysunków 1-15A):

$$T = A_0 + At, \quad \frac{dT}{dt} = A$$

Obok każdego równania prostej regresji podano wartości współczynnika korelacji r (Pearsona), obliczone z wzoru:

$$r = \sqrt{1 - \frac{\varepsilon^2}{s^2}}, \quad \varepsilon^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2$$

gdzie s^2 – wariancja temperatury powietrza, ε^2 – wariancja resztkowa.

Oczywiste jest, że w przypadkach ujemnych współczynników regresji $A < 0$ należy współczynnikom korelacji r przyporządkować znak „minus”.

Weryfikacji współczynników korelacji r dokonano testem Fishera-Snedecora o $n_1 = 1$ i $n_2 = n - 2$ stopniach swobody na poziomie istotności 0,05.

Tendencje wiekowe A temperatury powietrza w: Warszawie (1779-1990), Krakowie (1826-1990), Wrocławiu (1851-1980), Pradze (1771-1980), Zurychu (1864-1980), Genewie (1768-1980), Poczdamie (1893-1992) i Anglii środkowej (1659-1973), wyrażone w $^{\circ}\text{C}/100$ lat podano w zestawieniu tabelarycznym.

Tendencje wiekowych wyznaczonych na podstawie danych z różnych przedziałów czasu $0 < t < t_n$ nie można porównywać. Można jednak ogólnie stwierdzić, że są one dodatnie prawie we wszystkich miejscowościach. Świadczy to o postępującym ociepleniu klimatu Europy (i Polski). Szczególnie zimy są coraz cieplejsze: w Warszawie o $1,03^{\circ}\text{C}/100$ lat, Krakowie o $1,38^{\circ}\text{C}/100$ lat Wrocławiu o $0,12^{\circ}\text{C}/100$ lat, Pradze o $0,25^{\circ}\text{C}/100$ lat, Zurychu o $0,64^{\circ}\text{C}/100$ lat, Genewie o $0,51^{\circ}\text{C}/100$ lat, Poczdamie o $0,10^{\circ}\text{C}/100$ lat, Anglii środkowej o $0,32^{\circ}\text{C}/100$ lat. Inaczej jest w lecie. Tendencja wiekowa temperatury powietrza w porze letniej jest w niektórych miejscowościach dodatnia $A > 0$ a w innych ujemna $A < 0$.

Lata są coraz cieplejsze: w Warszawie o $0,13^{\circ}\text{C}/100$ lat, Krakowie, o $0,32^{\circ}\text{C}/100$ lat, Poczdamie o $0,92^{\circ}\text{C}/100$ lat a coraz chłodniejsze – we Wrocławiu o $0,70^{\circ}\text{C}/100$ lat, Pradze o $0,25^{\circ}\text{C}/100$ lat, Zurychu o $0,90^{\circ}\text{C}/100$ lat i Genewie o $0,19^{\circ}\text{C}/100$ lat. Średnia tendencja wiekowych zmian temperatury powietrza w lecie jest zerowa $A = 0,01$ – nieistotna statystycznie na poziomie istotności 0,05).

Średnia roczna temperatura powietrza wzrasta: w Warszawie – o $0,66^{\circ}\text{C}/100$ lat, Krakowie – o $0,93^{\circ}\text{C}/100$ lat, Poczdamie – o $0,66^{\circ}\text{C}/100$ lat i Anglii środkowej – o $0,18^{\circ}\text{C}/100$ lat. W pozostałych miejscowościach, współczynniki regresji A są bliskie zera i nieistotne statystycznie.

Klimat Warszawy w latach 1779-1990 ocieplał się średnio o $0,66^{\circ}\text{C}/100$ lat. Tą tendencję rosnącą temperatury powietrza w Warszawie określa równanie prostej regresji

$$T = 6,915 + 0,006572 t, \quad r = 0,57$$

Tendencje wiekowych zmian aktywności Słońca (liczb Wolfa), aktywności wulkanicznej $I = DVI/\Delta t$ (DVI – dust veil index H. Lamba), odstępu czasu między kolejnymi erupcjami Δt i dyspersji masy w Układzie Słonecznym B_z (względem płaszczyzny ekliptyki) w tym samym przedziale czasu (od 1779 r.) opisują równania prostych regresji:

$$\begin{aligned} W &= 24,23 + 0,15296 t, & r &= 0,31 \\ I &= 258,31 - 0,49066 t, & r &= -0,21 \\ \Delta t &= 1,72 + 0,019 t, & r &= 0,22 \\ B_z &= 0,123 - 0,0001105 t, & r &= 0,25 \end{aligned}$$

Trzeba zauważyć, że w latach 1779-1993 aktywność Słońca wzrastała średnio o 15,3 jednostek liczb Wolfa na 100 lat, a aktywność wulkaniczna – malała średnio o 49 DVI /rok 100 lat. Ponadto odstępy czasu Δt między kolejnymi erupcjami wulkanicznymi wydłużały się.

Wiadomo, że minimum absolutne temperatury powietrza przypada na najslabszy cykl jedenastoletni aktywności Słońca (1811-1823) i na maksimum aktywności wulkanicznej.

Sezony	Poczdám	Warszawa	Kraków	Wrocław	Praga	Zurych	Genewa	Anglia śr
I	1,15	1,72	-0,61	0,44	84,00	0,74	0,38	0,38
II	0,50	1,14	-0,07	0,05	0,25	0,29	-0,36	0,27
III	1,01	1,45	0,61	0,50	0,87	0,37	0,35	0,30
IV	0,79	0,85	0,35	-0,01	-0,77	-0,20	0,40	0,22
V	0,43	0,69	0,13	-0,44	-0,57	-0,53	0,66	0,11
VI	0,26	0,07	-0,51	-0,09	-1,00	-0,23	0,63	0,00
VII	0,19	0,34	-0,73	-0,16	-1,08	-0,08	0,64	0,03
VIII	-0,04	0,46	-0,74	-0,40	-0,47	-0,24	1,40	-0,02
IX	0,18	0,43	-0,55	-0,41	-0,11	0,06	1,03	0,12
X	0,58	0,32	-0,72	-0,25	0,70	0,00	1,00	0,24
XI	1,11	1,64	1,44	0,40	0,60	0,32	1,25	0,20
XII	1,36	1,96	1,00	0,26	1,05	0,47	0,62	0,32
XII-II	1,03	1,38	0,12	0,25	0,64	0,51	0,10	0,32
111-V	0,79	0,99	0,37	0,00	-0,15	-0,12	0,50	0,21
VI-VIII	0,13	0,32	-0,70	-0,25	-0,90	-0,19	0,92	0,01
IX-XI	0,66	0,81	0,05	-0,11	0,38	0,14	1,11	0,19
X-III	1,00	1,37	0,29	0,22	0,65	0,37	0,53	0,29
IV-IX	0,31	0,48	-0,37	-0,27	-0,70	-0,20	0,81	0,08
I-XII	0,66	0,93	-0,04	-0,03	0,03	0,08	0,66	0,18
Śr. miesięcz.	0,64	0,95	0,00	0,00	0,06	0,09	0,72	0,18
Konsekutywne 12-miesięcz.	0,64	0,93	-0,02	-0,01	0,01	0,09	0,64	0,19

Globalne ocieplenie klimatu w ostatnich stuleciach jest prawdopodobnie wywołane wzrostem aktywności Słońca i spadkiem aktywności wulkanicznej na Ziemi (mniejsza absorpcja promieniowania słonecznego przez pył wulkaniczny, zawarty w atmosferze). Aktywność Słońca zależy od wypadkowej siły grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce. Jej wzrost w latach 1779-1993 o 15,3/100 lat może być spowodowany coraz większą koncentracją masy (planet) w płaszczyźnie ekliptyki (maleje dyspersja masy B_z , ujemny współczynnik regresji).

Tendencje wiekowe (rosnące i malejące) temperatury powietrza w tych 8 miejscowościach Europy nie wspierają, a nawet przeczą hipotezie o globalnym ociepleniu kli-

matu jako efektu cieplarnianego, wynikającego ze wzrostu zawartości gazów szklarniowych w atmosferze (głównie CO₂). Hipotezie tej przeczą: cykl roczny i przestrzenne zróżnicowanie tendencji wiekowych (A) temperatury powietrza w Europie. Na przykład półrocza ciepłe (IV-IX) są coraz cieplejsze: w Warszawie – o 0,31°C/100 lat, Krakowie – o 0,48°C/100 lat, Poczdamie – o 0,81°C/100 lat, Anglii środkowej najslabszy cykl jedenastoletni aktywności Słońca (1811-1823) i na maksimum aktywności wulkanicznej. O 0,08°C/ 100 lat (nieistotne statystycznie). Natomiast są one coraz chłodniejsze: we Wrocławiu – o 0,37°C/100 lat, w Pradze – o 0,27°C/100 lat, w Zurychu – o 0,70°C/100 lat, Genewie – o 0,20 °C/100 lat. Podobnie jest w innych szerokościach geograficznych – w strefie polarnej (Spitsbergen, 1912-1985) i okołorównikowej (Colombo, 1869-1980). Tendencje wiekowe temperatury powietrza w tych szerokościach geograficznych zestawiono niej:

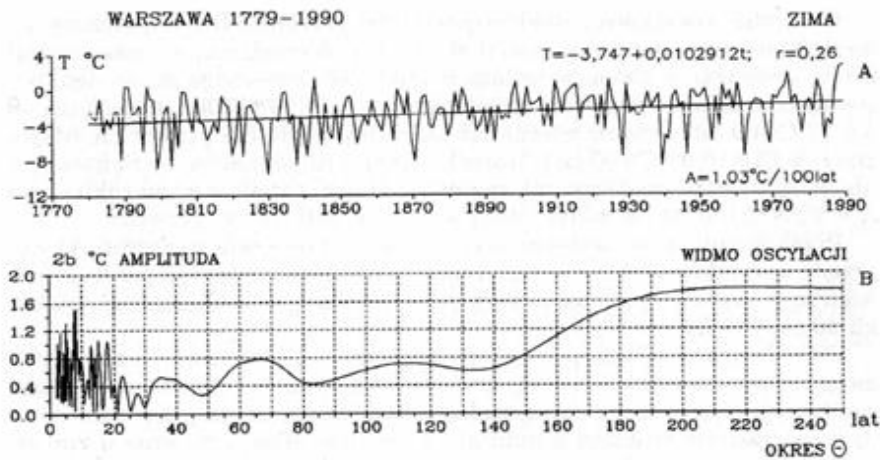
Sezony	Spitsbergen 1920-1985	Colombo 1869-1980
I	2,77	0,02
II	4,26	-0,17
III	5,88	-0,26
IV	4,4	-0,32
V	2,58	-0,17
VI	-1,55	0,29
VII	0,1	0,06
VIII	-0,06	0,17
IX	1,68	0
X	1,87	-0,17
XI	3,61	-0,29
XII	0,04	-0,07
XII - II	1,74	-0,1
III-V	3,75	-0,26
VI - VIII	-0,68	0,17
IX -XI	1,96	-0,17
X - III	2,79	-0,18
Iv - IX	0,84	0
I - XII	1,6	-0,09
Sr. miesieczne	2,27	-0,08
Sr. konseku-tywne		
12 mies.	1,92	-0,1

W strefie równikowej efekt cieplarniany powinien być największy, ze względu na ogromne ilości energii słonecznej, dochodzącej do powierzchni Ziemi. Jednakże w Colombo w latach 1869-1980 obserwuje się na ogół postępujące ochłodzenie zwłaszcza na wiosnę – o 0,26°C/100 lat i jesienią – o 0,17°C/100 lat. Średnia roczna temperatura powietrza prawie nie uległa zmianie ($A = -0,09°C/100$ lat). Mimo krótkiej serii pomiarów, na Spitsbergenie (97 lat) także współczynnik regresji A zmienia znak w ciągu roku – od $A = 5,88°C/100$ lat (w marcu) do $A = -1,55°C/100$ lat (w czerwcu). Przekonamy się w następnym rozdziale, że tendencja wiekowa (A) jest przede wszystkim efektem interferencji naturalnych cykli temperatury powietrza w przedziałach obserwacyjnych $0 < t < t_n$ – o długościach od kilku do ok. 200 lat. Dość duże wartości współczynników regresji A w miesiącach zimowych mogą też być uwarunkowane czynnikami lokalnymi – „miejskimi wyspami ciepła”. Mogą wynikać z coraz większej akumulacji ciepła przez zabudowę (tj. powierzchnie sztuczne o znacznie mniejszym albedo, głównie w zimie).

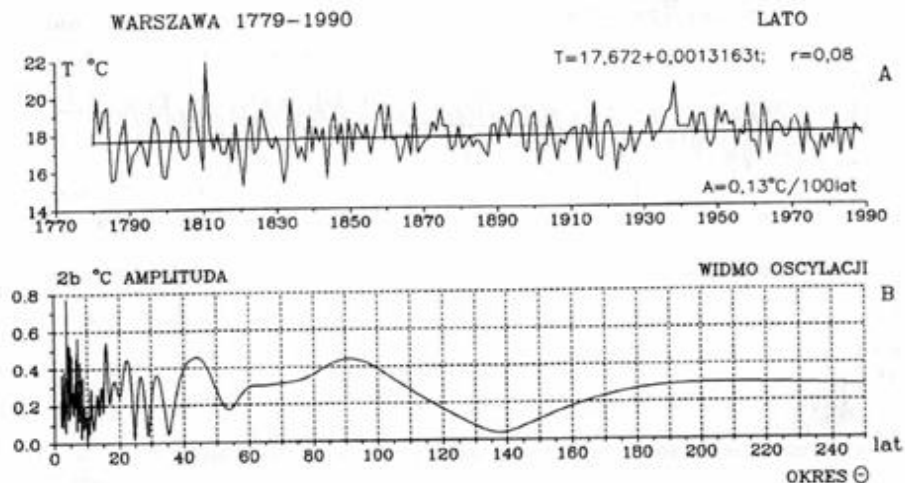
Skądinąd też wiadomo, że naturalne ochłodzenia i ocieplenia klimatu występowały od dawna – od kilkunastu tysięcy lat (w całym holocenie, sprzed 10 tys. lat). Świadczą o tym wahania zawartości substancji organicznych w osadach jeziornych i wahania

paleotemperatury – stosunku izotopów tlenu O^{18}/O^{16} w szkieletach dawnych organizmów żyjących w morzach i rdzeniach lodowców (Boryczka, Wicik, 1994).

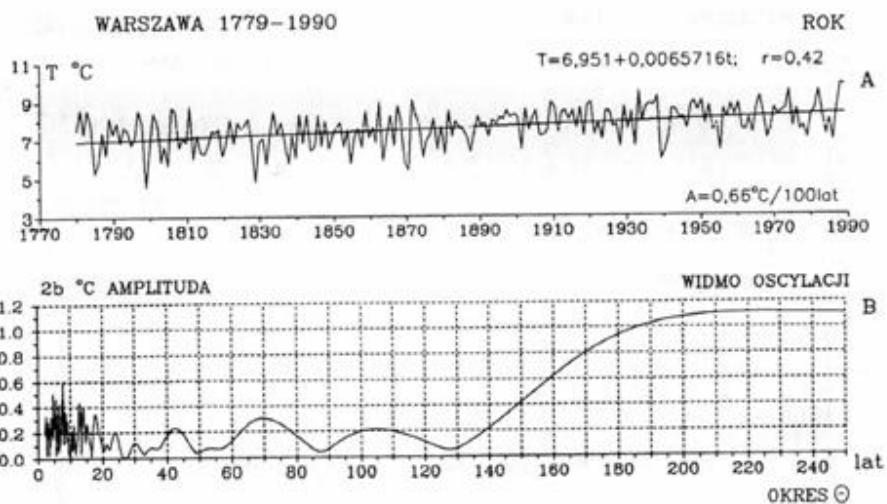
Tendencje wiekowych zmian (A) temperatura powietrza i gęste widma oscylacji w paśmie 2,1-250 lat w: Warszawie (1779-1990), Krakowie (1826-1990), Pradze (1771-1980), Genewie (1768-1980) i Środkowej Anglii (1659-1974) podczas zimy, lata i roku przedstawiono na rys. 1-15.



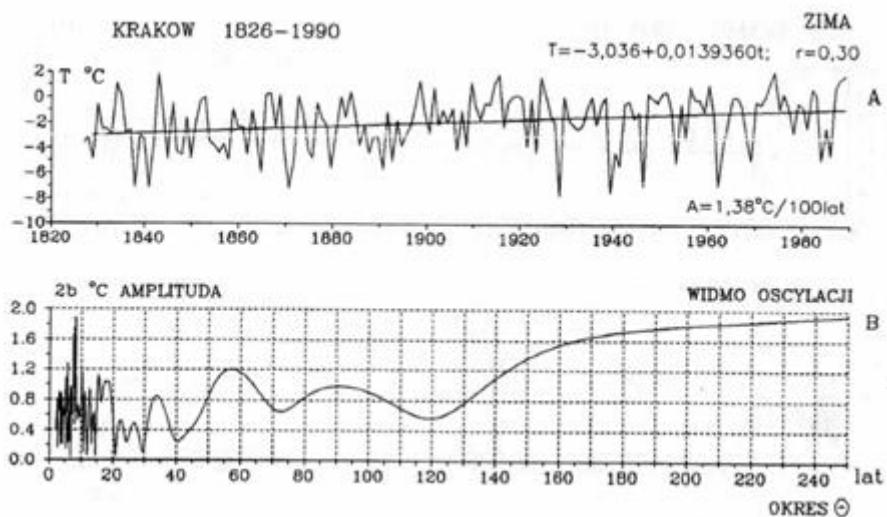
Rys. 1. Temperatura powietrza w Warszawie (1779-1990) – zima, A. Tendencje wiekowych zmian: $A = 1.03^{\circ}\text{C}/100$ lat, B Gęste widma oscylacji w paśmie 2,1-250 lat
Fig. 1. Air temperature in Warsaw (1779-1990) – winter, A. The tendency of secular: $A = 1.03^{\circ}\text{C}/100$ years, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2,1-250 years



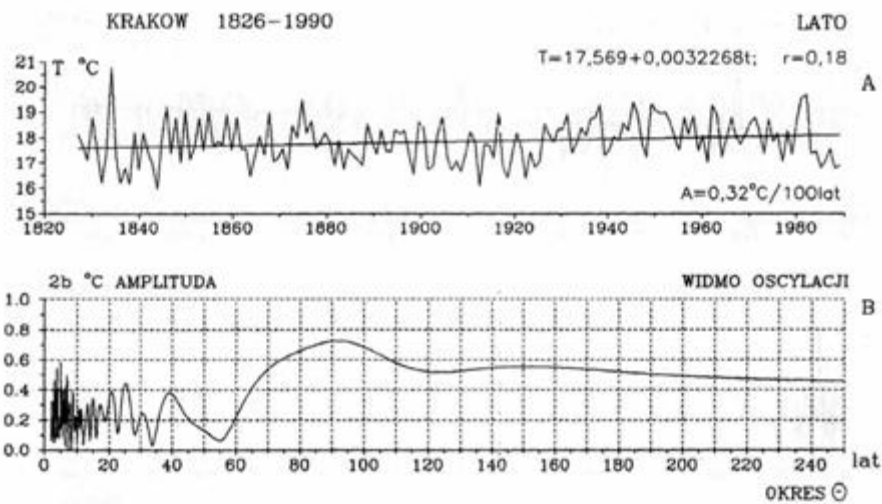
Rys. 2. Temperatura powietrza w Warszawie (1779-1990) – lato, A. Tendencje wiekowych zmian: $A = 1.03^{\circ}\text{C}/100$ lat, B Gęste widma oscylacji w paśmie 2,1-250 lat
Fig. 2. Air temperature in Warsaw (1779-1990) – summer, A. The tendency of secular: $A = 1.03^{\circ}\text{C}/100$ lat, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-250 years



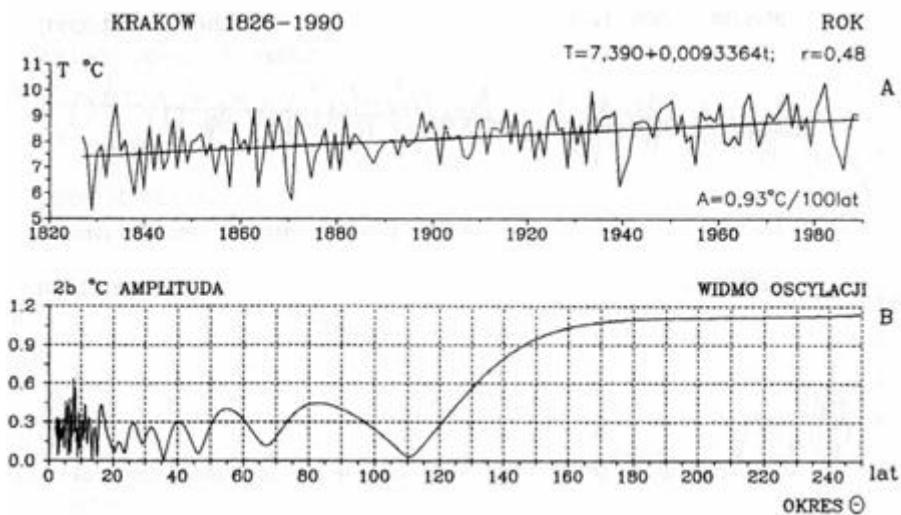
Rys. 3. Temperatura powietrza w Warszawie (1779-1990) – rok, A. Tendencje wiekowych zmian: $A = 0,66^{\circ}\text{C}/100\text{ lat}$, B Gęste widma oscylacji w paśmie 2,1-250, **Fig. 3.** Air temperature in Warsaw (1779-1990) – year, A. The tendency of secular: $A = 0.66, ^{\circ}\text{C}/100$ years, B. Dense spectrum of oscillation in the strip, 2.1-250



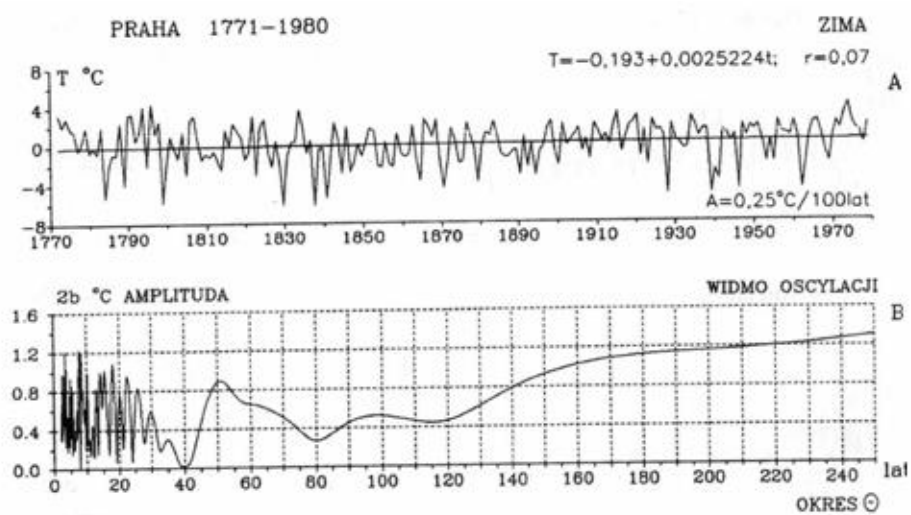
Rys. 4. Temperatura powietrza w Krakowie (1826-1990) – zima, A. Tendencje wiekowych zmian: $A = 1,38$, B Gęste widma oscylacji w paśmie 2,1-250 lat **Fig. 4.** Air temperature in Cracow (1826-1990) – winter, A. The tendency of secular: $A = 1.38, ^{\circ}\text{C}/100$ years, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-250 years



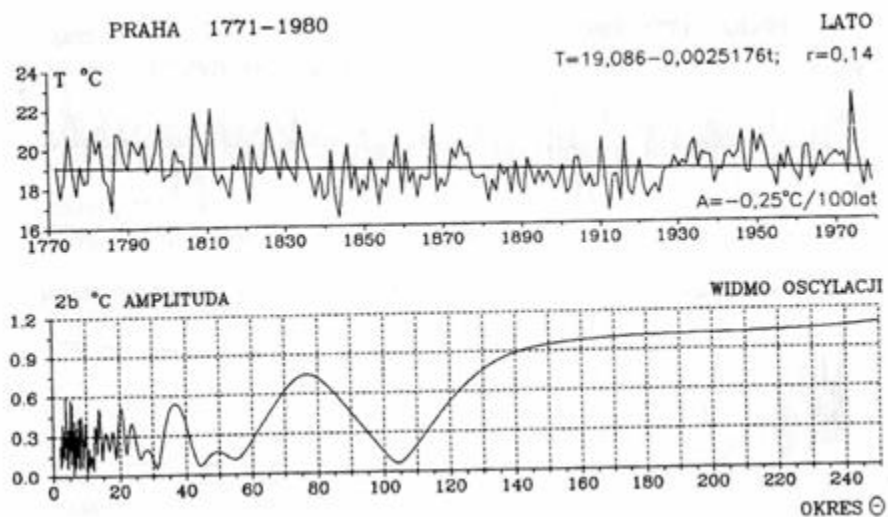
Rys. 5. Temperatura powietrza w Krakowie (1826-1990) – lato, A. Tendencje wiekowych zmian: $A=0,32\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ lat}$, B Gęste widma oscylacji w paśmie 2,1-250 lat
Fig. 5. Air temperature in Cracow ((1826-1990) – summer, A. The tendency of secular: $r A=0.32\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ lat}$, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-250 years



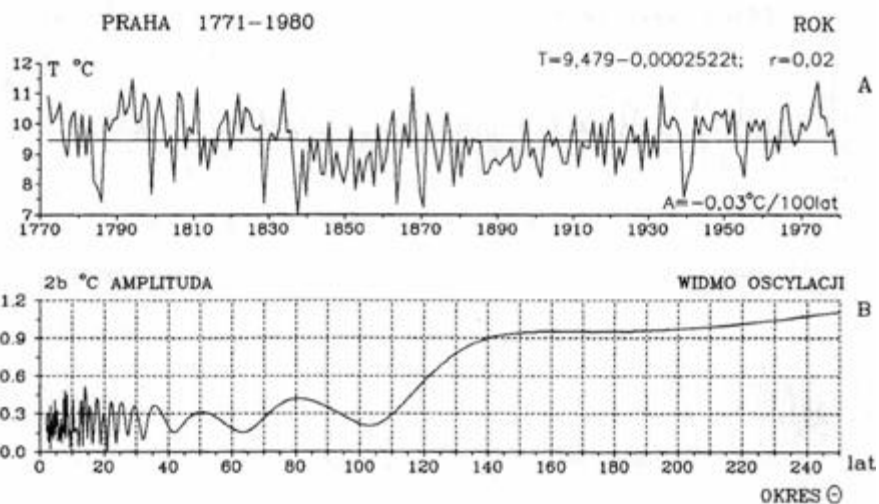
Rys. 6. Temperatura powietrza w Krakowie (1826-1990) – rok, A. Tendencje wiekowych zmian: $A=0,93\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ lat}$, B Gęste widma oscylacji w paśmie 2,1-250
Fig. 6. Air temperature in Cracow (1826-1990) – year, A. The tendency of secular: $A=0.93\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ years}$, B. Dense spectrum of oscillation in the strip, 2.1-250



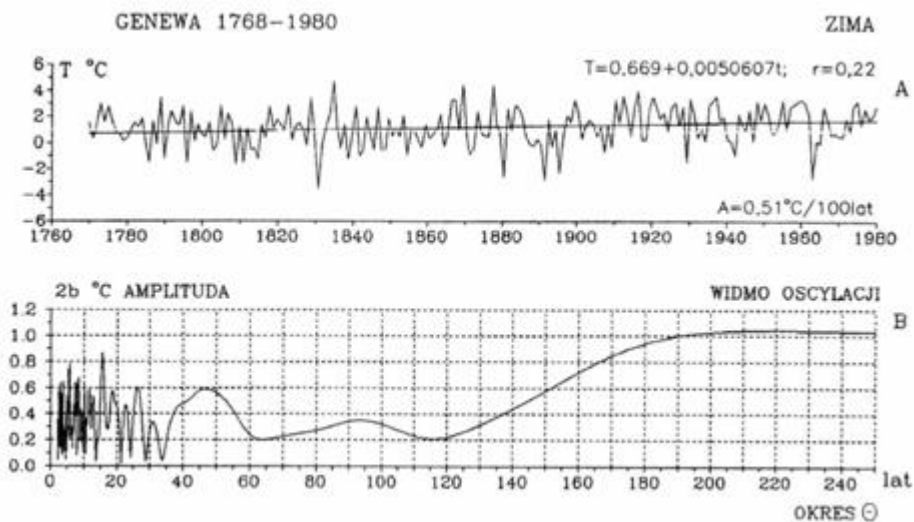
Rys.7. Temperatura powietrza w Pradze (1771-1980) – zima, A. Tendencje wiekowych zmian: $A = 0.25^{\circ}\text{C}/100$ lat, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-250 lat
Fig.7. Air temperature in Praha (1771-1980) – winter, A. The tendency of secular: $A = 0.25^{\circ}\text{C}/100$ years, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2,1-250 years



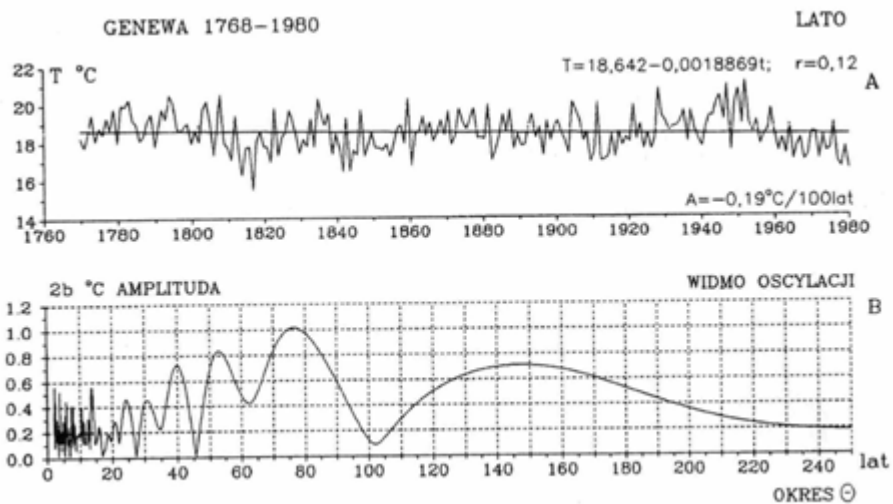
Rys. 8. Temperatura powietrza w Pradze (1771-1980) – lato, A. Tendencje wiekowych zmian: $A = -0.25^{\circ}\text{C}/100$ lat, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-250 lat
Fig. 8. Air temperature in Praha (1771-1980) – summer, A. The tendency of secular: $A = -0.25^{\circ}\text{C}/100$ lat, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-250 years



Rys. 9. Temperatura powietrza w w Pradze (1771-1980 – rok, A. Tendencje wiekowych zmian: $A = -0.03$ °C/100 lat, B Gęste widma oscylacji w paśmie 2,1-250
Fig. 9. Air temperature in in Praha (1771-1980) – year, A. The tendency of secular: $A = -0.03$ °C/100 years, B. Dense spectrum of oscillation in the strip, 2.1-250

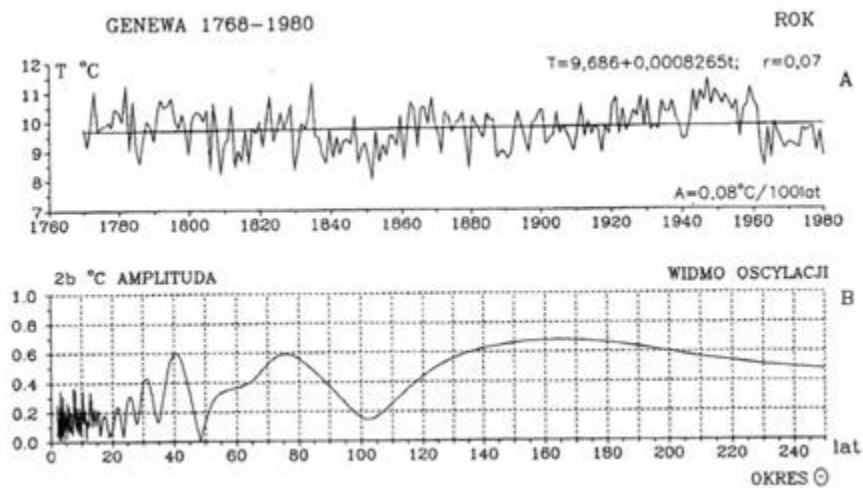


Rys. 10. Temperatura powietrza w Genewie (1768-1980) – zima, A. Tendencje wiekowych zmian: $A = 0.51$ °C/100 lat, B Gęste widma oscylacji w paśmie 2,1-250 lat
Fig. 10. Air temperature in Geneva (1768-1980) – winter A. The tendency of secular: $A = 0.51$, °C/100 years, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2,1-250 years



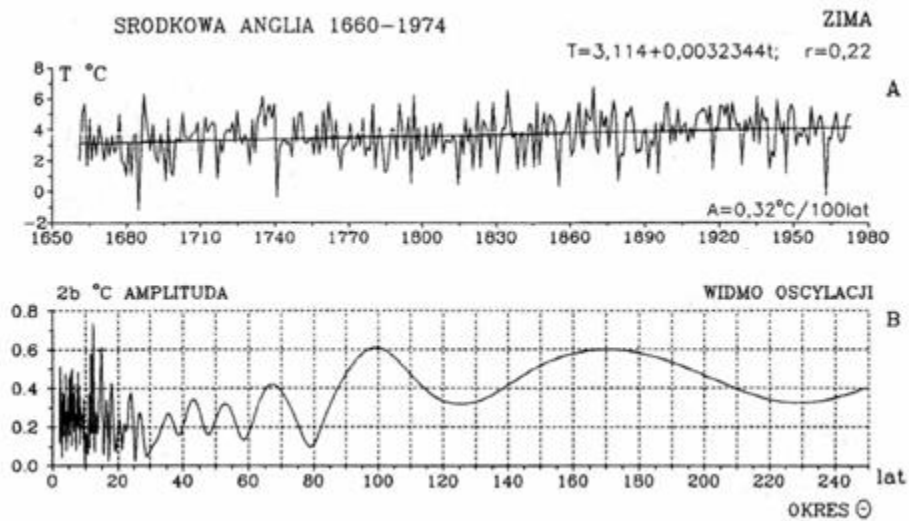
Rys. 11. Temperatura powietrza w Genewie (1768-1980) – lato, A. Tendencje wiekowych zmian: $A = -0,19^{\circ}\text{C}/100\text{ lat}$, B Gęste widma oscylacji w paśmie 2,1-250 lat

Fig. 11. Air temperature in Geneva (1768-1980) – summer, A. The tendency of secular: $A = -0,19^{\circ}\text{C}/100\text{ lat}$, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-250 years

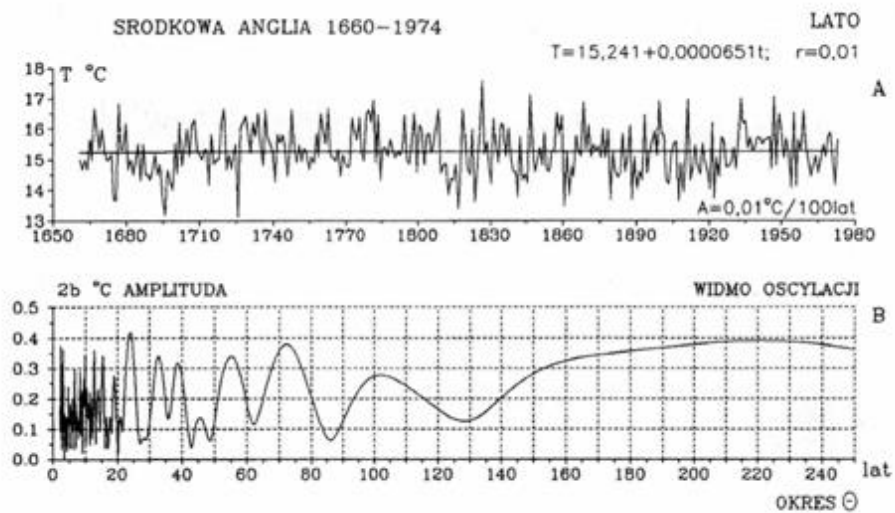


Rys. 12. Temperatura powietrza w Genewie (1768-1980) – rok, A. Tendencje wiekowych zmian: $A = 0,08^{\circ}\text{C}/100\text{ lat}$, B Gęste widma oscylacji w paśmie 2.1-250,

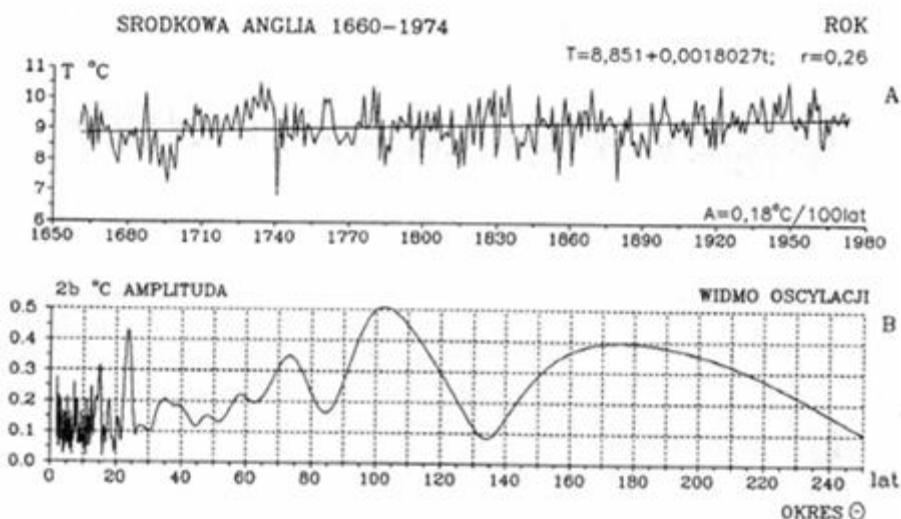
Fig. 12. Air temperature in Geneva (1768-1980) – year, A. The tendency of secular: $A = 0,08^{\circ}\text{C}/100\text{ years}$, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-250



Rys. 13. Temperatura powietrza w Środkowej Anglii (1659-1974) – zima, A. Tendencje wiekowych zmian: $A=0,32$ °C/100 lat, B. Gęste widma oscylacji w paśmie 2,1-250 lat
Fig. 13. Air temperature in Central England (1659-1974) – winter, A. The tendency of secular: winter $A=0,32$ °C/100 lat, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2,1-250 years



Rys. 14. Temperatura powietrza w Środkowej Anglii (1659-1974) – lato, A. Tendencje wiekowych zmian: $A=0,01$ °C/100 lat, B. Gęste widma oscylacji w paśmie 2,1-250
Fig. 14. Air temperature in Central England (1659-1974) – summer, A. The tendency of secular: $A=0,01$, °C/100 lat', B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-250



Rys. 15. Temperatura powietrza w Środkowej Anglii (1659-1974) – rok, A. Tendencje wiekowych zmian: $A = 0,18^{\circ}\text{C}/100$ lat, B. Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-250 lat
Fig. 15. Air temperature in Central England (1659-1974) – year, A. The tendency of secular: $A = 0.18^{\circ}\text{C}/100$ years, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2.1-250 years

Summary

The contemporary climate changes constitute one of the major research problems for natural as well as social and economic sciences. The forecasts of natural and man-made climate changes are of foremost importance for the protection of life on the Earth.

The natural climate variability, resulting from external (astronomical) and internal (geological) causes is modified by the effects of anthropogenic nature.

Apprehensions arise in view of the systematic warming of the Earth's climate over the last two centuries. The average global temperature of the air in the 20th century has increased by $0.3-0.6^{\circ}\text{C}$. Thus, for instance, in Europe, it is first of all winters that are increasingly warm: in Warsaw (over the period of 1779-1990) – by $1^{\circ}\text{C}/100$ years, in Prague (1771-1989) – by $0.25^{\circ}\text{C}/100$ years, in Geneva (1768-1980) – by $0.5^{\circ}\text{C}/100$ years, and in Middle England (1859-1973) – by $0.3^{\circ}\text{C}/100$ years.

The progressing global warming of the Earth's climate is usually associated with the increasing influence of the „greenhouse effect”, caused by the „greenhouse gases, mainly carbon dioxide (CO_2). The results from the models constructed according to the „ $2 \times \text{CO}_2$ ” scenario imply that when the concentration of carbon dioxide in the atmosphere is doubled (with respect to the initial point of 280 ppm) there will be an increase of air temperature by $0.1-4^{\circ}\text{C}$, depending upon latitude. According to the IPCC (1990) emission scenario the increase of the average global temperature until the year 2100 by almost 6°C is envisaged. After the chemical reactions due to presence of sulphate aerosols are taken into account a smaller temperature increase – by $1-2^{\circ}\text{C}$ – is forecasted with respect to that of 1990.

Existence of the greenhouse effect in the atmosphere, caused primarily by water vapour and CO_2 , is confirmed by the balance equation of the solar radiation on the irradiated surface of the Earth (πR^2) and the long wave radiation of the Earth ($4\pi R^2$): $0.25(1-A)s = \sigma T^4$, where s is the solar constant, A – albedo of the Earth, and σ – the Stefan-

Boltzmann constant. The planetary temperature of the Earth $T = 254^{\circ}\text{K}$ is much lower (by 2-4 degrees) than the average temperature resulting from actual measurements.

Due to the feedback existing between the greenhouse effect of water vapour and the air temperature, the increase of the solar constant value induces a twofold increase of temperature (Wetherald, Manabe, 1975). The changes in the volume of solar energy reaching the surface of the Earth result both from the long-term variations in the parameters of the Earth's orbit (Milankovič, 1938), and from the changes in solar activity (Kondratev and Nikolski, 1974).

There are interesting results of the analyses of CO_2 concentrations and temperature (according to Deuter contents) over the last 160,000 years, carried out on the basis of ice cores at the Vostok polar station (WMO, 1991). The coincidence of dates of the two main maxima of CO_2 and temperature (the contemporary one and the one from 125 000 years ago) would demonstrate that the carbon dioxide contents of the air is determined by the air temperature. The warming of climate some 125 000 years ago was most probably caused by a significant increase of solar radiation intensity (a definite maximum of the Milankovič curve approximately 125 000 years ago). Thus, it was a natural warming, resulting from the superposition of three periods of variation of the Earth's orbit parameters (90 000, 40 000 and 21 000 years, respectively). The CO_2 contents in the atmosphere is most probably regulated by ocean waters.

The increase of air temperature on the Earth is usually regarded as causing a rising of the ocean level – on the average by 10-25 cms over the last century. The level of Baltic Sea in the years 18 11-1990 (in Świnoujście, in Poland) is increasing on the average by 5.7 cms/100 years (with a quicker increase during autumn – by 6.8 cms, and winter – by 5.7 cms/100 years).

Forecasts indicate the possibility of a further rise of the ocean level – an expansion of the ocean (of the volume of water) as the temperature increases, as well as further melting of the glaciers. According to an emission scenario (IPCC, 1995) the ocean level in the year 2000 will be by almost 50 cms higher (while according to the IPCC, 1990, scenario – it will be higher by more than 65 cm). These forecasts claim that the ocean level would have risen as of the year 2100 by 15 cms given the minimum emissions of CO_2 , and by 95 cms in case of the maximum emissions. here are, however, also negative feedbacks caused by the increase of CO_2 contents in the atmosphere (by the greenhouse effect). Along with the increase of air temperature the evaporation of water from the ocean increases as well, causing increased cloudiness. This additional cloudiness limits the (direct) solar radiation brought to the Earth's surface, and so inhibits global warming.

The inflow of (direct) solar radiation to the Earth's surface is also limited by the dusts emitted to the atmosphere, of anthropogenic as well as natural (from volcanic eruptions) origins. Dusts alter significantly the radiation balance, causing local lowering of air temperature.

The increasing tendency of air temperature in the 19th-20th centuries may also partly result from the so called urban thermal islands – from the growing accumulation of heat by the buildings and other artificial surfaces featuring low albedo. Towns, where meteorological stations are located, are much warmer (first of all during the night) than the surrounding areas. Thus, for instance, the difference of air temperature between the Warsaw downtown and its peripheries may even reach $9,1^{\circ}\text{C}$ (this difference having actually occurred on July 30th and August 17th of 1992).

The time series of air temperature during the last centuries in Europe indicate that the contemporary climate warming may result from natural causes. The upward tenden-

cy of air temperature, especially during winter, is simply the resultant of the superimposed natural cycles. And so, for instance, the increasingly warm winters in Warsaw – by $1,03^{\circ}\text{C}/100$ years in the period 1779-1990 – are the effect of superposition of several cycles, namely of 3.5; 5.5; 8.3; 12.9; 18.0; 38.3; 66.7; 113.1 and 218.3 years of the cycle length. The resultant trend – in terms of the regression line – explains the increase of the air temperature during winters by $0.93^{\circ}\text{C}/100$ years. Thus, the variability assigned to anthropological origin is limited to just $0,1^{\circ}\text{C}/100$ years. Analogously, the warmer winters in Geneva (by $0,5^{\circ}\text{C}/100$ years), and in Prague (by $0,25^{\circ}\text{C}/100$ years) are the result of the superposition of cyclical variation of air temperature.

Global climate warming (in Warsaw in the years 1779-1990 on the average by $0.67^{\circ}\text{C}/100$ years) may have been caused by the increased solar activity. Solar activity (Wolf numbers) has been increasing in the period 1779- 1993 on the average by 17.2 /100 years. Over the last two centuries this activity increased on the average altogether by 34.5, that is – by more than 50% in relation to the average value of the Wolf numbers.

The periodical variations of climate (the warming and cooling periods) are analogous to the cycles of changes in solar activity – closely associated with the planetary periods P (periods of revolution of the biggest planets and of their mutual position), i.e. 11.7; 12.8; 13.8; 19.9; 29.5; 35.9; 45.4; 84.0; 164.0; 171.4 years. An interesting experiment consists in determination of the temporal trend of the Wolf numbers, expressed as

$$W = a_0 + b_j \sin \left(\frac{2\pi}{P_j} t + c_j \right)$$

under the assumption of the planetary periodicity P_j , with consideration of the modulation of the shortest cycle of 11.7 years by the longest cycles, of 84 and 171.4 years. The resultant of the planetary periods describes well the variation of the solar activity (as measured from observations) in the years 1700-1993 (correlation coefficient $R = 0.8$).

The periodical changes of air temperature, correlated with the periods of solar activity and with the planetary cycles, imply the hypothesis of a cooling of climate in the coming 21st century. The resultant of the cycles of air temperature in Warsaw during winters features a deep minimum in the years 2000-2100, when the consecutive secular minimum of solar activity is envisaged.

Climate cooled during secular sunspot minima of Maunder (1640-1710) and Dalton (1780-1830). It was observed, Charvatova, Jestlik (1996), that during the secular minima of solar activity (every 179 years) the movement of the mass center of the solar system takes place along different orbits (chaotic ones) than during the maxima (ordered orbits). A similar secular minimum of solar activity (and the associated climate cooling) is forecasted by the authors mentioned for the middle of the next century.

Similarly, natural climate fluctuations are mainly brought about by the variability of the solar constant. Its value changes during a year by 3.5% due to varying distance between the Earth and the Sun (January: 147 million kms – $2,01 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$, July: 152 million kms – $1,94 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$) The value of the solar constant depends upon the solar activity. Its maximum coincides with the Wolf numbers in the interval between 80 and 100 (Kondratev, 1965).

The formula of K.Kondratev and G.Nikolski (1970), i.e.

$$s = 1,903 + 0.011W^{0.5} - 0.0006W$$

($\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$), implies that in the 11-year cycle the solar constant varies by 1,5%. The time series of the values of the solar constant in the years 1700-1993 (obtained with the formula quoted) features on the average the periodicity of 11,1; 34,2; 102,0 and 187,8 years (minima of the residual variance, the method of regression sinusoids). The trend

of the solar constant in the years 1700-1993 is increasing and may be responsible for the progressing warming of the Earth's climate.

The changes which take place on the Sun are transmitted to the Earth not only through the intermediary of the solar constant value, but also via the ionosphere (atmospheric circulation).

It is certainly telling that the absolute minimum of the temporal trend of air temperature in Europe in the last two centuries (1779-1990) coincides with the absolute minimum of solar activity (the weakest 13-year cycle of sunspots – 1811-1823) and, simultaneously, with the secular maximum of volcanic activity. At the beginning of the 19th century volcanic eruptions occurred characterized by the greatest values of the dust measure, *DVI* (dust veil indicator, H. Lamb, 1974), namely Tambora, with *DVI* = 3,000, in 1815, and Coseguina, with *DVI* = 4,000, in 1835.

The progressing global warming might also result from the decreasing tendency of the *DVI* indicator in the years 1680-1980, and the growing intervals between consecutive volcanic eruptions. Solar constant is doubtless influenced by the fine dust which lingers in the atmosphere for many years.

The periodicity, which is close to that of the secular and bi-secular cycles, that are most evidently responsible for the contemporary fluctuations of the climate, is also observed in the temporal sequences of the organic substances of the lake sediments dated 10 000 years ago (holocene).

These long change periods of temperature, solar activity and volcanic eruptions (pen-secular and hi-secular) are repeated several times over in the accumulation of the organic matter.

When constructing the forecasts of climate changes for the 21st century we can neglect the very slow changes, brought about by the long periods of fluctuation in the parameters of the Earth's orbit (90 000, 40 000 and 21 000 years, Milankovič, 1938). Likewise, we can neglect the longest holocene cycles of climate (exceeding 1000 years), discovered in the time series of accumulation of the organic matter in the sediments of such lakes as Wikaryjskie, Gościąż and Święte (Boryczka, Wicik, 1994). Their extrema (of cooling and warming) will most probably get repeated, since the parameters of the solar system are subject to similar periodicity. Still, the forecasts can not omit the several hundred years long holocene cycles, which shaped the Earth's climate during the last thousands of years. It is possible that the contemporary climate warming is the effect of the superposition of a very long holocene climate cycle (its ascending phase) and the anthropogenic variability.

3.5. Ocieplenia i ochłodzenia klimatu miast w Europie

Tom XII. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wągrowa 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

3.5.1. Tendencje temperatury powietrza miast w Europie w XVII-XX wieku

Cechy termiczne klimatu miast w szerokościach umiarkowanych określono na podstawie długich ciągów czasowych średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza, zmierzonych w 8 miejscowościach Europy Środkowej i Zachodniej

Współrzędne geograficzne tych miejscowości (szerokość geograficzna φ , długość λ , wysokość nad poziomem morza H) oraz długość serii pomiarowych zestawiono w tabeli:

Miejscowości	φ°	λ°	H m	Lata
Warszawa	52,15	20,97	108	1779-1990
Kraków	50,08	19,98	213	1826-1990
Wrocław	51,13	16,98	124	1851-1980
Praga	50,07	14,43	263	1771-1980
Zurych	47,38	8,57	569	1864-1980
Poczdami	52,38	13,07	93	1893-1992
Genewa	46,20	6,15	405	1768-1980
Anglia środkowa	51,47	-32,00	5	1659-1974
Spitsbergen	78,07	13,63	9	1912-1975
Colombo	6,54	79,83	6	1869-1980

Do porównania tendencji zmian klimatu wykorzystano także serie wyników pomiarów temperatury powietrza z innych stref geograficznych: polarnej – Spitsbergen, równikowej – Colombo.

Dokładną charakterystykę najdłuższych ciągów chronologicznych (tzw. serię Manley'a z Anglii środkowej i serię warszawską) zamieszczono w XI tomie *Atlasu* (Boryczka, Stopa-Boryczka i inni, 1998).

Tendencji temperatury powietrza określonych równaniem prostych regresji

$$T=A_0+At$$

na podstawie danych z różnych przedziałów czasu nie należy porównywać. Można jednak ogólnie stwierdzić, czy są one rosnące ($A > 0$), czy malejące ($A < 0$) w badanych miejscowościach.

Postępujące ocieplenie jest większe zimą niż latem

Nachylenia ($\text{tg } \alpha = A$) prostych regresji wskazują w badanych przedziałach czasu postępujące ocieplenie lub ochłodzenie klimatu. Tendencje wiekowe temperatury po-

wietrza (A) w: Warszawie, Krakowie, Wrocławiu, Pradze, Zurychu, Genewie, Poczdamie i Anglii środkowej, wyrażone w °C/100 lat, podano w zestawieniu tabelarycznym:

Ogólnie można stwierdzić postępujące ocieplenie klimatu w Europie podczas miesięcy zimowych. Na przykład tendencje temperatury powietrza w styczniu są dodatnie: w Warszawie 1,15, Krakowie 1,72, Pradze 0,44, Genewie 0,74, Zurychu 0,84, Poczdamie 0,38 i Anglii środkowej 0,38°C/100 lat. Inaczej jest w miesiącach letnich. W niektórych miejscowościach tendencje temperatury powietrza są ujemne, np. w lipcu: we Wrocławiu – 0,73, Pradze – 0,16, Genewie – 0,08, Zurychu –1,08°C/100 lat. Świadczy to, że w miejscowościach tych lata są coraz chłodniejsze. Natomiast coraz cieplejsze lipce są w: Warszawie o 0,19, Krakowie o 0,34 i Poczdamie o 0,64°C/100 lat. W Anglii środkowej tendencja temperatury powietrza w lipcu jest prawie zerowa (A = 0,03).

	Warszawa	Kraków	Wrocław	Praga	Genewa	Zurych	Poczdam	Anglia
I	1,15	1,72	-0,61	0,44	0,74	0,84	0,38	0,38
II	0,50	1,14	.07	0,05	0,29	0,25	-0,36	0,27
III	1,01	1,45	0,61	0,50	0,37	0,87	0,35	0,30
IV	0,79	0,85	0,35	-0,01	-0,20	-0,77	0,40	0,22
V	0,43	0,69	0,13	.044	-0,53	-0,57	0,66	0,11
VI	0,26	0,07	-0,51	-0,09	-0,23	-1,00	0,63	0,00
VII	0,19	0,34	-0,73	-0,16	-0,08	-1,08	0,64	0,03
VIII	-0,04	0,46	.74	-0,40	-0,24	-0,47	1,40	-0,02
IX	0,18	0,43	.055	-0,41	0,06	-0,11	1,03	0,12
X	0,58	0,32	-0,72	-0,25	0,00	0,70	1,00	0,24
XI	1,11	1,64	1,44	0,40	0,32	0,60	1,25	0,20
XII	1,36	1,96	1,00	0,29	0,47	1,05	0,62	0,32
XII-II	1,03	1,38	0,12	0,25	0,51	0,64	0,10	0,32
III-V	0,79	0,99	0,37	0,00	-0,12	-0,15	0,50	0,21
VI-VIII	0,13	0,32	-0,70	.025	-0,19	-0,90	0,92	0,01
IX-XI	0,66	0,81	0,05	.011	0,14	0,38	1,11	0,19
X-III	1,00	1,37	0,29	0,22	0,37	0,65	0,53	0,29
IV-IX	0,31	0,48	-0,37	.027	.020	-0,70	0,81	0,08
I-XII	0,66	0,93	-0,04	-0,03	0,08	0,03	0,66	0,18

Podobnie jest w innych szerokościach geograficznych – w strefie polarnej (Spitsbergen, 1912-1985) i okołorównikowej (Colombo, 1869-1989). Tendencje temperatury powietrza (w °C/100 lat) w tych szerokościach geograficznych podano niżej:

	Spitsbergen	Colombo
I	2,77	0,02
II	4,26	-0,17
III	5,88	-0,26
IV	4,40	-0,32
V	2,58	.017
VI	1,55	0,29
VII	0,10	0,06
VIII	-0,06	0,17
IX	1,68	0,00
X	1,87	-0,17
XI	3,61	0,29
XII	0,04	0,07
XII-II	1,74	0,10
III-V	3,75	-0,26
VI-VIII	-0,68	-0,17
IX-XI	1,96	-0,17
X-III	2,79	-0,18
IV-IX	0,84	0,00
I-XII	1,60	-0,09

Największe ocieplenie na Spitsbergenie w latach 1912-1985 wystąpiło podczas miesięcy zimowych: styczeń 2,77, luty 4,26, grudzień 3,61°C/100 lat. Odmienne jest w Colombo, gdzie w latach 1869-1989 obserwowano na ogół postępujące ochłodzenie, zwłaszcza w miesiącach wiosennych (np. kwiecień - 0,32°C/100 lat) i jesiennych (np. listopad - 0,29°C/100 lat). Wyniki pomiarów temperatury w Colombo nie wskazują na globalne ocieplenie klimatu, mimo ogromnej ilości energii słonecznej docierającej do powierzchni Ziemi. Średnia roczna temperatura powietrza wzrasta w: Warszawie – o 0,66, Krakowie – o 0,93, Poczdamie – o 0,66 i Anglii środkowej – o 0,18°C/100 lat. W pozostałych miejscowościach tendencje średniej rocznej temperatury powietrza są zbliżone do zera. Średnia roczna temperatura powietrza w Colombo ma raczej tendencje malejącą ($A = -0,1^{\circ}\text{C}/100$ lat). Na Spitsbergenie tendencja temperatury zmienia znak w ciągu roku od 5,9°C/100 lat (w marcu) do -1,6°C/100 lat w czerwcu.

Postępujące ocieplenie i jego uwarunkowania

Postępujące ocieplenie klimatu większości miast Europy jest częściowo spowodowane przez czynniki naturalne i czynniki antropogeniczne. Znamienne jest, że minimum wiekowe temperatury powietrza przypada na najsłabszy 13-letni cykl (1811-1823) aktywności Słońca, a maksimum – w pobliżu daty (1957), maksimum absolutnego plam słonecznych (od 1700 roku).

Znacząca część tego ocieplenia może być wywołana wzrostem aktywności Słońca (stałej słonecznej) i spadkiem aktywności wulkanicznej w drugiej połowie XX wieku. Świadczą o tym tendencje rosnące liczb Wolfa w latach 1779-1993 i spadkowa wskaźnika $I = DVI/\Delta t$ (Δt – odstęp czasu między kolejnymi erupcjami):

$$W = 24,23 + 0,153 t, \quad r = 0,31$$

$$I = 258,3 - 0,4907 t, \quad r = -0,21$$

$$\Delta t = 1,72 + 0,019 t, \quad r = 0,22$$

Wzrost aktywności Słońca w ostatnich dwóch stuleciach może wynikać z mniejszej dyspersji masy w Układzie Słonecznym względem płaszczyzny ekliptyki:

$$B_z = 0,123 - 0,0001105 t, \quad r = -0,25$$

Prawdopodobnie aktywność Słońca jest kształtowana przez zmiany sił grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce i przyspieszenia Słońca w jego ruchu wokół środka masy Układu Słonecznego.

Tendencje wiekowe (rosnąca i malejąca) temperatury powietrza w tych 8 miejscowościach Europy nie wspierają, a nawet przeczą hipotezie o globalnym ociepleniu klimatu jako efektu cieplarnianego, wynikającego ze wzrostu zawartości gazów szklarniowych w atmosferze (głównie CO₂). Hipotezie tej przeczą: cykl roczny i przestrzenne zróżnicowanie tendencji wiekowych (A) temperatury powietrza miast w Europie. Na przykład półroczia ciepłe (IV-IX) są coraz cieplejsze w: Warszawie – średnio o 0,31°C/100 lat, Krakowie o 0,48°C/100 lat, Poczdamie o 0,81°C/100 lat, Anglii środkowej o 0,08°C/100 lat (nieistotnie statystycznie). Natomiast są one coraz chłodniejsze: we Wrocławiu o 0,37°C/100 lat, w Pradze o 0,27°C/100 lat, Zurychu o 0,70°C/100 lat, Genewie o 0,20°C/100 lat.

Dość duże wartości współczynników regresji A w miesiącach zimowych mogą też być uwarunkowane czynnikami lokalnymi – „miejskimi wyspami ciepła”. Mogą wynikać z coraz większej akumulacji ciepła przez zabudowę (tj. powierzchnie sztuczne o znacznie mniejszym albedo), głównie w zimie. Skądinąd też wiadomo, że naturalne

ochłodzenia i ocieplenia klimatu występowały od dawna – od kilkunastu tysięcy lat (w całym holocenie, sprzed 10 tys. lat). Świadczą o tym wahania zawartości substancji organicznych w osadach jeziornych i wahania paleotemperatury – stosunku izotopów tlenu O^{18}/O^{16} w szkieletach dawnych organizmów żyjących w morzach oraz w próbkach pobranych w rdzeniach lodowców (Boryczka, Wicik, 1994)

Tendencja wiekowa (A) jest przede wszystkim efektem interferencji naturalnych cykli temperatury powietrza w przedziałach obserwacyjnych $0 < t < t_n$ – o długościach od kilku do około 200 lat.

3.5.2. Cykliczność jako cecha pola temperatury powietrza w Europie

Na obszarze Europy występuje kilka cykli temperatury powietrza o znaczących zakresach wahań: około 4-5, 7-8, 10-13, 73-113 i planetarny 178,9-letni. Ich obecność prawie we wszystkich ciągach chronologicznych (sezonowych wartości) i synchroniczność na obszarze Europy (zbliżona okresowość i zgodność dat ekstremów), głównie około 8-, 10-13- i 180- letniego implikuje tezę, że cykliczność ta jest cechą pola temperatury powietrza w Europie.

Cykl 8-letni i jego uwarunkowania

We wszystkich sezonach (zima, wiosna, lato, jesień), głównie w zimie, w badanych miejscowościach Europy (i Polski) dominuje okresowość około 8-letnia. Zakres wahań temperatury powietrza (ΔT) w tym cyklu przedstawia tabela

Miejscowość	Zima		Wiosna		Lato		Jesień		Rok	
	Θ	Δt	Θ	Δt	Θ	Δt	Θ	Δt	Θ	Δt
Warszawa	8,3	1,52	7,8	0,81	7,1	57,00	6,5	0,62	7,7	0,59
Praga	7,7	1,23	6,9	0,71	8,4	0,45	7,5	0,43	7,8	0,48
Genewa	8,5	0,68	7,8	0,53	7,8	0,41	6,8	0,47	7,4	0,40
Anglia	7,7	0,49	6,9	0,31	8,3	0,29	7,3	0,36	7,4	0,26

Zakres wahań temperatury powietrza w cyklu 7,7-8,5 lat jest największy w zimie c – od $0,5^{\circ}\text{C}$ w Anglii środkowej do $1,5^{\circ}\text{C}$ w Warszawie. Natomiast w lecie w tym około 8-letnim cyklu (7,1-8,4 lat) wahania temperatur y są mniejsze – odpowiednio od $0,3$ do $0,6^{\circ}\text{C}$.

Analogiczna okresowość (około 8-letnia) występuje w ciągach chronologicznych cyrkulacji atmosferycznej: makrotypów *E*, *W*, *C* wg klasyfikacji Wangenheima oraz typów cyklonalnych i cyrkulacji strefowej wg klasyfikacji Osuchowskiej-Klein (Boryczka, 1998):

Cyrkulacja	Zima		Wiosna		Lato		Jesień		Rok	
	Θ	<i>R</i>	Θ	<i>R</i>	Θ	<i>R</i>	Θ	<i>R</i>	Θ	<i>R</i>
Makrotyp <i>E</i>	7,4	0,26	7,7	0,22	7,0	0,17	7,1	0,31	8,0	0,20
Makrotyp <i>W</i>	7,6	0,2	9,0	0,27	6,3	0,28	7,6	0,32	9,4	0,26
Poludnikowa <i>C</i>	7,6	0,32	8,9	0,30	6,9	0,21	6,5	0,25	7,8	0,26
Typy cyklonalne	7,4	0,41	5,4	0,31	7,9	0,28	6,9	0,18	8,5	0,24
Strefowa	7,8	0,28	8,3	0,29	8,9	0,16	7,7	0,21	9,9	0,19

Okresowość około 8-letnia temperatury powietrza w Europie (w zimie) kształtowana jest głównie zbliżoną cyklicznością 7,4-letni typów cyklonalnych ($R = 0,41$) i 7,6-letni4 cyrkulacji południkowej ($R = 0,32$).

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

W ciągach czasowych liczb Wolfa w latach 1749-1993 i 1700-1993 występują okresy: 8,1 i 8,5 lat o amplitudzie $\Delta W = 2b = 21,2$ i 23,5. Wskaźnik zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze (DVI) ma okres 7,9 lat.

Taki sam okres stwierdzono w zmienności parametrów Układu Słonecznego w latach 1700-000 – przyspieszenia Słońca – 7,8 lat oraz planetarnych sił pływowych na Słońcu.

Istotny wpływ na cyrkulację atmosferyczną może mieć 8,85-letni okres obiegu po orbicie Księżyca linii perygeum-apogeum. Składowa pozioma wypadkowej sił pływowych Księżyca i Słońca jest znacząca i prawdopodobnie powoduje cykliczność około 8-letnią cyrkulacji atmosferycznej.

Cykl około 8-letni temperatury powietrza (cyrkulacji atmosferycznej) dominuje dlatego, że nakładają się efekty planetarnych sił pływowych na Słońcu (poprzez zmienność aktywności Słońca – stałej słonecznej) ze znacznie większymi siłami pływowymi Księżyca i Słońca. Pływy atmosfery ziemskiej są dotychczas mało znane, ze względu na złożony ruch Księżyca (jego zmienną orbitę).

Składowa pionowa sił pływowych księżycowo - słonecznych jest mała w porównaniu z przyspieszeniem ziemskim i powoduje niewielkie zmiany grubości atmosfery (rozciąganie). Natomiast składowa pozioma, działająca przez dłuższy czas, odgrywa prawdopodobnie znaczną rolę w cyrkulacji wód oceanicznych (prądów morskich, w tym El Niño) i przemieszczaniu się wyżów i niżów (Boryczka, 1998).

Cykliczność 7,1-7,8-letnia temperatury powietrza dominuje również w latach 1951-1990 na całym terenie Polski (Żmudzka, 1998).

	Zima				Lato			
	Θ	Δt	R	Max	Θ	Δt	R	Max
Kołobrzeg	7,7	3,1	0,57	1958	7,8	0,8	0,42	1958
Suwałki	7,8	4,1	0,6	1957	7,1	0,3	0,11	1959
Warszawa	7,7	3,9	0,61	1958	7,4	0,5	0,19	1959
Wrocław	7,7	3,6	0,61	1958	7,5	0,7	0,32	1959
Zamowś	7,7	3,8	0,58	1958	7,1	0,4	0,14	1959
Kasprowy Wierch	7,6	1,8	0,41	1958	7,5	0,4	0,19	1958

Dyspersja okresu około 8-letniego na obszarze Polski jest najmniejsza w zimie — wynosi zaledwie 0,2 roku. Zakres wahań temperatury w tej porze roku zmienia się zależnie od wysokości n.p.m.: od 1,8°C (Kasprowy Wierch) do 4,1°C (Suwałki). Można wnioskować, że przyczyną 8-letniego cyklu temperatury powietrza, np. w zimie w Warszawie (1951-1990)

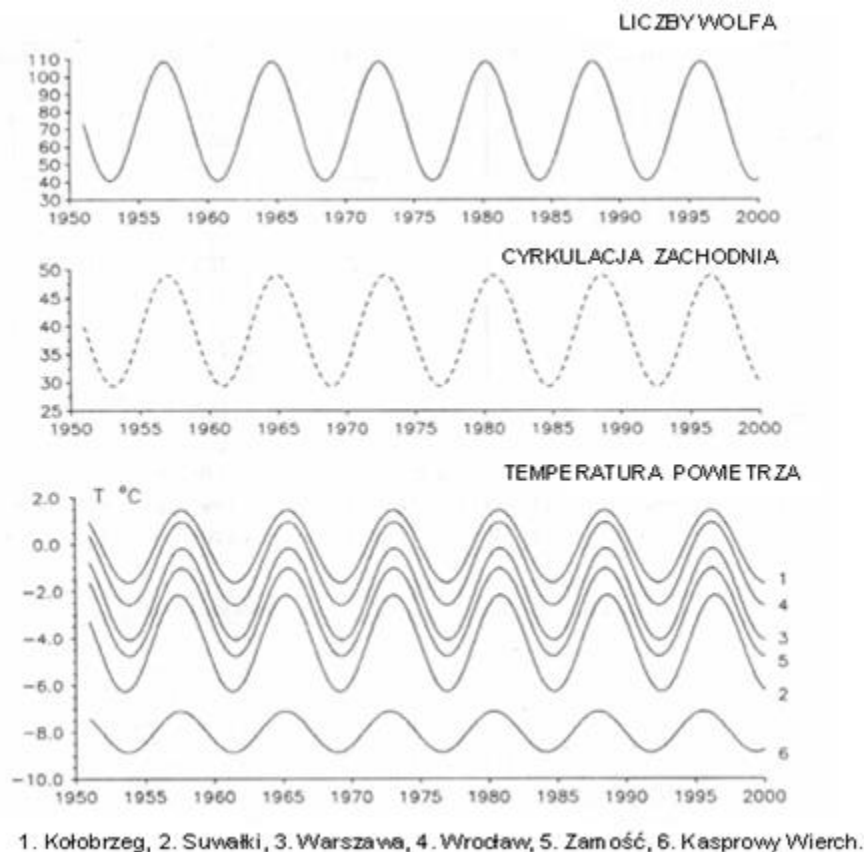
$$T = -2,12 + 1,96 \sin\left(\frac{2\pi}{7,7} t + 2,37\right), \quad R = 0,30$$

są analogiczne cykle: makrotypu [W] cyrkulacji atmosferycznej (wg klasyfikacji Osuchowskiej-Klein, 1951-1990) i liczb Wolfa W (1951-1990):

$$[W] = 39,20 + 9,84 \sin\left(\frac{2\pi}{7,7} t + 3,07\right), \quad R = 0,55$$

$$W = 744 + 3380 \sin\left(\frac{2\pi}{7,8} t - 3,100\right), \quad R = 0,42$$

Dowodem tego jest synchroniczność cykli 8-letnich temperatury powietrza, makrotypu [W] cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca W (w latach 1951-1990). Maksima temperatury powietrza, częstości cyrkulacji [W] i aktywności Słońca W przypadają na te same daty: 1958, 1965, 1973, 1981, 1988 (rys.1).



Rys. 1 Cykl około 8-letni aktywności Słońca (liczb Wolfa), cyrkulacji strefowej zachodniej i temperatury powietrza w zimie w latach 1951-2000 w wybranych miejscowościach w Polsce:

Cykl 11-letni temperatury powietrza i plam słonecznych

Od dawna znana jest cykliczność około 11-letnia temperatury powietrza, wiązana z cyklem 11-letnim plam słonecznych. Okresy 10-13-letnie temperatury powietrza i amplitudy (w °C) w wybranych miejscowościach w poszczególnych sezonach i w roku zestawiono w tabeli:

	Zima		Wiosna		Lato		Jesień		Rok	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	10,2	0,7	11,2	0,7	10,5	0,2	10,6	0,1	10,4	0,2
	11,9	0,5	12,1	0,4	11,3	0,3	11,4	0,0	11,1	0,3
	12,9	1,0	12,9	0,8	13,1	0,3	11,8	1,0	12,9	0,4
Praga	10,1	1,0	11,2	0,6	9,7	0,4	10,4	0,3	10,3	0,4
	11,8	0,5	12,1	0,3	11,7	0,2	11,1	0,2	11,4	0,2
	12,9	0,8	13,0	0,6	12,8	0,4	11,9	0,2	12,9	0,4
Genewa	11,1	0,4	10,3	0,8	10,6	0,4	10,4	0,4	10,3	0,3
	11,7	0,6	11,2	0,4	11,3	0,3	11,2	0,1	11,1	0,2
	12,4	0,7	12,0	0,2	12,0	0,1	12,5	0,1	11,9	0,1
Anglia	11,1	0,4	10,5	0,3	10,0	0,3	10,3	0,4	10,4	0,1
	11,7	0,6	11,1	0,2	11,1	0,2	11,2	0,2	11,1	0,2
	12,4	0,7	11,6	0,2	12,8	0,4	12,6	0,3	12,5	0,2

Zakres wahań temperatury powietrza w tym około 10-letnim cyklu jest na ogół ponad dwukrotnie większy w zimie (0,4-1,0 °C) niż w lecie (0,1- 0,4°C). Przyczyn okresów około 11-letnich temperatury powietrza jest niewątpliwie 11-letni cykl aktywności Słońca (i stałej słonecznej), o czym informuje kolejna tabela:

Liczby Wolfa		Stała słoneczna	
Θ	ΔW	Θ	$\frac{\Delta s}{s}$ %
10	48,3	10,1	0,32
10,5	44,7	10,5	0,51
11	60,1	11,1	0,94
12	32,2	11,9	0,29

Oto równanie cyklu 11,1-letniego (średniego w latach 1700-1993) stałej słonecznej:

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

o minimalnej wariancji resztkowej $\varepsilon^2 = 7,110^{-5}$ i współczynnika korelacji $R = 0,609$.

Zakres zmian stałej słonecznej w cyklu 11,1-letnim stanowi prawie 1% średniej wartości $1,94 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ w latach 1700-1993. W pojedynczych 11-letnich cyklach plam słonecznych stała słoneczna zmienia się maksymalnie o 2,5% (Kondratiev, Nikolski, 1987). Cykliczność 9-14-letnia aktywności Słońca jest prawdopodobnie związana z okresem 11,86 lat obiegu największej planety (Jowisza) dookoła Słońca. Okres ten dominuje w ciągach czasowych: wypadkowej siły grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce (ΔG , 11,8 lat, $R = 0,40$), całkowitego momentu pędu planet (J , 11,9 lat, $R = 0,75$) i dyspersji masy planet w Układzie Słonecznym (B , 11,9 lat, $R = 0,58$). Należy też podkreślić, że okresowość około 11-letnia występuje w ciągach czasowych (1680-1980) erupcji wulkanicznych: wskaźnika zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze ($\log DVI - \Theta = 11,4$ lat, $R = 0,31$), aktywności wulkanicznej ($\log \frac{DVI}{\Delta t} - \Theta = 11,7$ lat, $R = 0,29$) i odstępów czasu między kolejnymi erupcjami eksplozywnymi ($\Delta t - \Theta = 12,1$ lat, $R = 0,21$). Analogiczna okresowość zmiennych geologicznych, astronomicznych i klimatologicznych świadczy o grawitacyjnych uwarunkowaniach okresowości.

Planetary 178,9-letni cykl temperatury powietrza

Najdłuższe serie pomiarów meteorologicznych wskazują wahania długookresowe (73,1-113,1-letnie) temperatury powietrza w Europie (Warszawa, Praga, Genewa, Anglia). Zmienność temperatury powietrza w tych długich cyklach sięga 1°C. Długie okresy temperatury powietrza (73-113 lat) są skorelowane z podobnymi cyklami zmiennych astronomicznych i geologicznych (Boryczka, 1998).

Istnieje również około 200-letni okres temperatury powietrza, kształtujący klimat w Europie. Okresy około 200-letnie temperatury powietrza w Europie (9 w latach) i zakres ich wahań (ΔT w °C) przedstawia tabela:

	Zima		Wiosna		Lato		Jesień		Rok	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	218,3	1,8	217,5	1,4	208,2	0,3	.	.	223,9	1,1
Genewa	216,6	1,0	,	.	147,4	0,7	177,5	0,6	166,3	0,7
Anglia	170,2	0,6	175,7	0,5	220,8	0,4	197,9	0,5	175,0	0,4

Średni poziom Morza Bałtyckiego w Świnoujściu, wg danych z lat 1811- 1990 opisuje sinusoida o okresie $\Theta = 184,0$ lat, amplitudzie $2b = 6,45$ cm i współczynniku korelacji $R = 0,464$:

$$h = h_0 + 3,225 \sin \left(\frac{2\pi}{184,0} t - 3,1022 \right)$$

Okresowość około 200-letnia występuje również w ciągach czasowych aktywności Słońca, erupcji wulkanicznych i parametrów Układu Słonecznego. Cykl 187,8-letni stałej słonecznej opisany jest równaniem sinusoidy regresji o amplitudzie $2b = 0,004168$, co stanowi 0,2% wartości średniej:

$$s = 1,9433 + 0,002084 \sin \left(\frac{2\pi}{187,8} t - 1,0349 \right)$$

Sinusoidy regresji o tych długich, około 200-letnich okresach najlepiej aproksymują (spośród elementarnych funkcji) – oczywiście przy minimalnym błędzie standardowym ciągi chronologiczne.

W identyfikacji naturalnych przyczyn globalnych zmian klimatu ogromne znaczenie ma planetary okres 178,9 lat zmian parametrów Układu Słonecznego – powtarzalność wartości: odległości środka masy Układu Słonecznego od Słońca, przyspieszenia Słońca, wypadkowej siły grawitacyjnych, dyspersji masy w Układzie Słonecznym i innych. Okresy około 200-letnie zmiennych astronomicznych i geologicznych charakteryzuje poniższa tabela:

Zmienne	Okres (Θ)	R
Aktywność Słońca (1700—1993)	187,3	0,224
Stała słoneczna (s)	187,8	0,136
Erupcje wulkanów: $\log DVI/\Delta t$	206,7	0,348
Parametry Układu Słonecznego:	.	.
Siła pływowa na Słońcu (ΔG)	170,1	0,19
Moment pędu planet (J)	170,1	0,16
Dyspersja masy Układu Słonecznego (B)	175,7	0,24
Okres obiegu Neptuna	164,7	.
Okres położenia Uran-Neptun	171,5	.

Dla określenia astronomicznych przyczyn współczesnych ochłodzeń i ociepleń klimatu kluczowe znaczenie ma powtórzenie się (z małymi wyjątkami) rocznych wartości liczb Wolfa z lat 1700-1879 po upływie tego właśnie okresu – 178,9 lat. Pokrywają się dwa maksima główne, jedno z przedziału czasu 1700 -1878,9 (rok 1879, $W_{\max} = 154,4$), a drugie – z roku 1957 ($W_{\max} = 189,9$). Analogicznie, po upływie 178,9 lat powtarzają się wartości stałej słonecznej. Po roku 1879 są takie same, jakie były w latach 1700, 1701 Stała słoneczna zmienia się w cyklu rocznym o 6,6%, 11-letnim o 1%, 102-letnim o 0,4% i 187,3-letnim o 0,2%. W cyklu rocznym nadwyżka promieniowania krótkofalowego w zimie (perihelium) kompensowana jest spadkiem w lecie (aphelium). Ilość energii słonecznej padającej na płaszczyznę poziomą na górnej granicy atmosfery w cyklu o częstotliwości $\omega = \frac{2\pi}{\theta}$

$$s = a_0 + b \sin(\omega t + c)$$

zmienia się w przedziale $a_0 \Theta \pm 2b \omega^{-1}$, gdzie $a_0 = 1,94 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$, tj. $1356 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

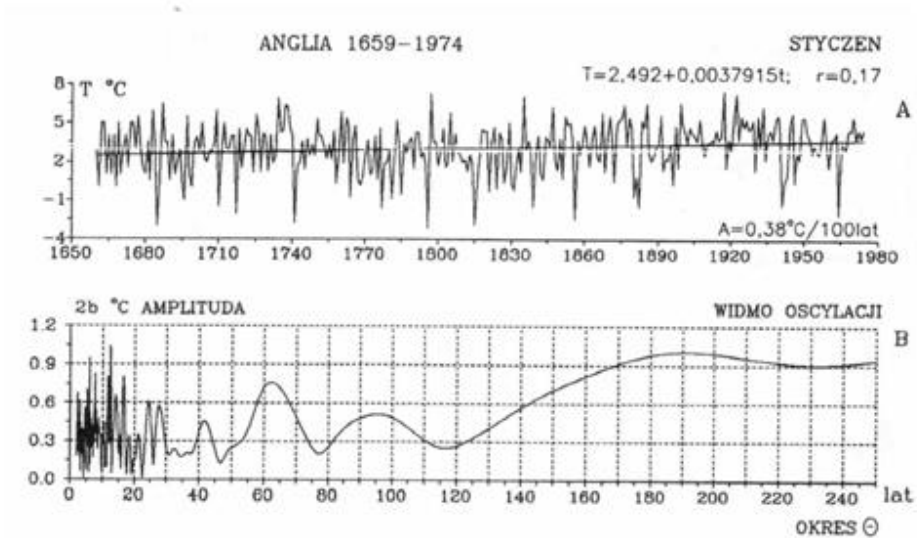
Zakres zmian energii słonecznej $4b \omega^{-1}$ w poszczególnych cyklach stałej słonecznej wynosi:

Okres (lata)	ΔI [$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$]
1,0	950
11,1	1425
102,0	5950
187,8	5490

Nadwyżka energii słonecznej, gdy $s > a_0$, jest akumulowana głównie w głębszych warstwach oceanów. Np. w cyklu 102-letnim jest to prawie półroczna suma promieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę poziomą na zwrotnikach poza atmosferą ($12\,000 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$). Na kuli ziemskiej nadwyżka energii słonecznej wynosi: $2\pi R_0^2 b \omega^{-1} = 3,810^{17}$ ($R_0 = 6367,5 \text{ km}$ – średni promień Ziemi). Tym najdłuższym okresem stałej słonecznej, wywołującym wahania energii słonecznej $\pm 2975 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \pm 2745 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, odpowiadają dwa najdłuższe cykle temperatury powietrza w Europie.

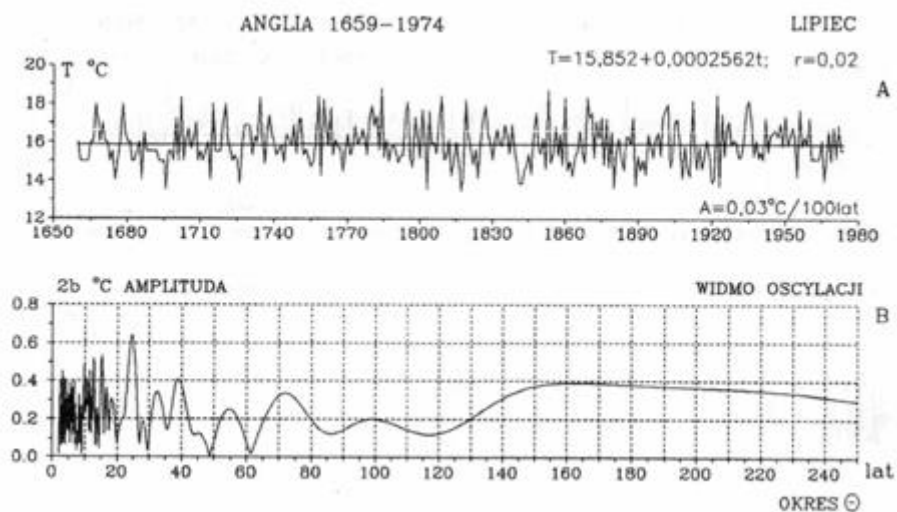
Na przykład w zimie w Warszawie najdłuższy cykl temperatury powietrza (218,3 lat) wyjaśnia 84% postępującego ocieplenia o $1^\circ\text{C}/100$ lat. Należy się liczyć z odstępstwami od tej regularności (z odstępem 178,9 lat) po największych zbliżeniach Słońca do środka masy Układu Słonecznego (dużych przyspieszeniach Słońca), takich jak w latach 1811 i $1811+178,9 = 1990$. Znane są dwa minima wiekowe aktywności Słońca: Maundera w latach 1640-1710 i Daltona w latach 1790-1830 – o wydłużonych pojedynczych cyklach 1214-letnich oraz dwa maksima z centrami w latach 1760 i 1940 – o skróconych cyklach. Ruch Słońca wokół środka masy Układu Słonecznego odbywa się po orbitach chaotycznych – podczas minimów i uporządkowanych – w czasie maksimów (Charvatova, Strestik, 1994). Według tych autorów pełny cykl wynosi 178,7 lat. Kolejne takie minimum aktywności Słońca wystąpi w połowie przyszłego stulecia i związane z nim będzie ochłodzenie klimatu.

Tendencje wiekowe temperatury powietrza w styczniu i lipcu i gęste widma oscylacji w paśmie 2,1-250 lat w 5 miejscowościach europejskich w styczniu i lipcu: Anglia (1659-1974), Genewa (1768-1980), Praga (1771-1980), Warszawa (1779-1990), Kraków (1826-1990) przedstawiono na rys. 2-11



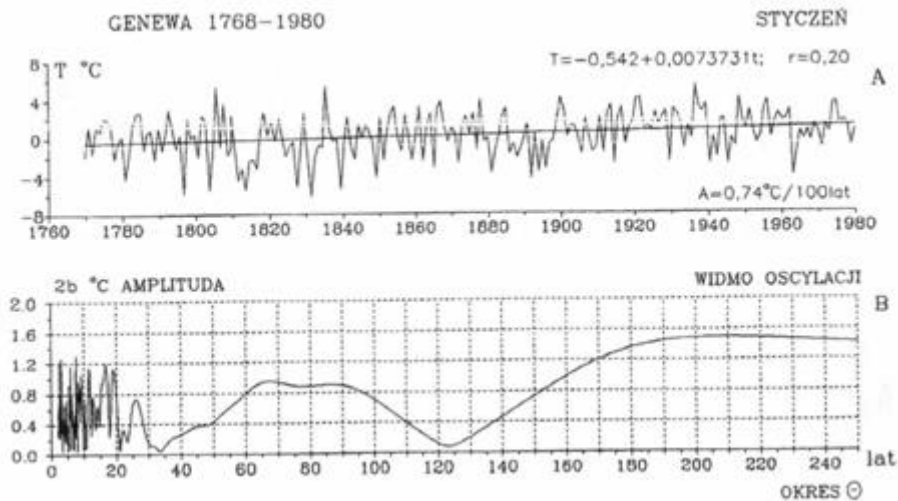
Rys. 2. Temperatura powietrza w Środkowej Anglii (1659-1974) – styczeń, A. Tendencje wiekowych zmian: $A=0,38, \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ lat}$, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-250 lat

Fig. 2. Air temperature in Central England (1659-1974) – January, A. The tendency of secular: $A=0,38 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ lat}$, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2,1-250 years

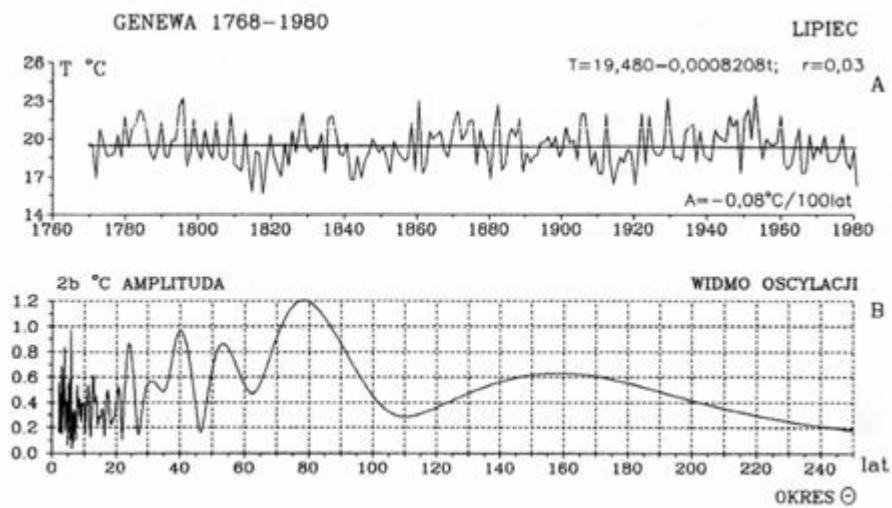


Rys. 3. Temperatura powietrza w Środkowej Anglii (1659-1974) – lipiec, A. Tendencje wiekowych zmian: $A=0,10 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ lat}$, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-250 lat

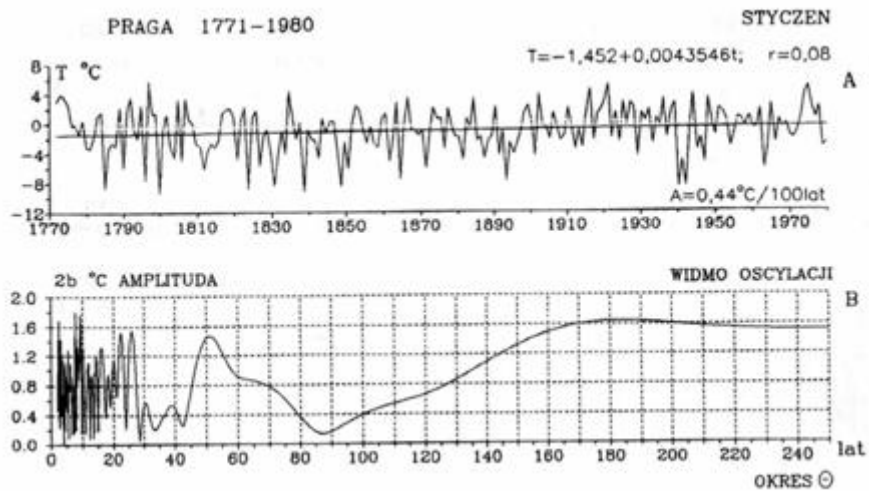
Fig. 3. Air temperature in Central England (1659-1974) – July, August
A. The tendency of secular: $A=0.10 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ years}$, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2,1-250 years



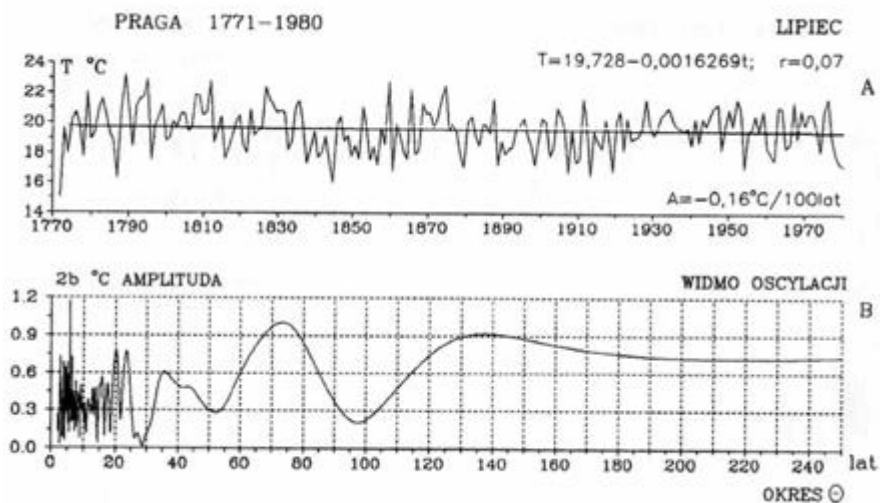
Rys. 4. Temperatura powietrza w Genewie (1768-1980) – styczeń, A. Tendencje wiekowych zmian: $A=0,74^{\circ}\text{C}/100\text{ lat}$, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-250 lat
Fig. 4. Air temperature in Geneva (1768-1980) – January, A. The tendency of secular: $A=0,74$, February $A = 0,29^{\circ}\text{C}/100\text{ years}$, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2,1-250 years



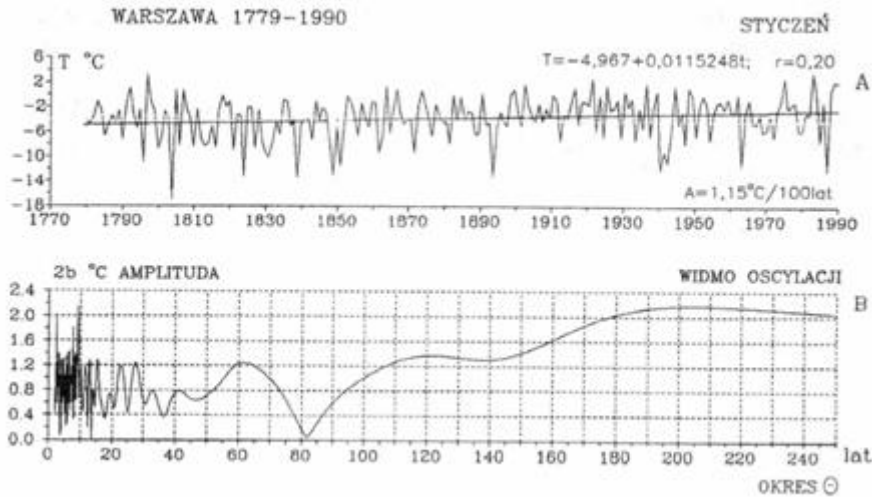
Rys. 5. Temperatura powietrza w Genewie (1768-1980) – lipiec, A. Tendencje wiekowych zmian: $A=0,64^{\circ}\text{C}/100\text{ lat}$, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-250 lat
Fig. 5. Air temperature in Geneva (1768-1980) – July, A. The tendency of secular: $A=0,64,^{\circ}\text{C}/100\text{ years}$, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2,1-250 years



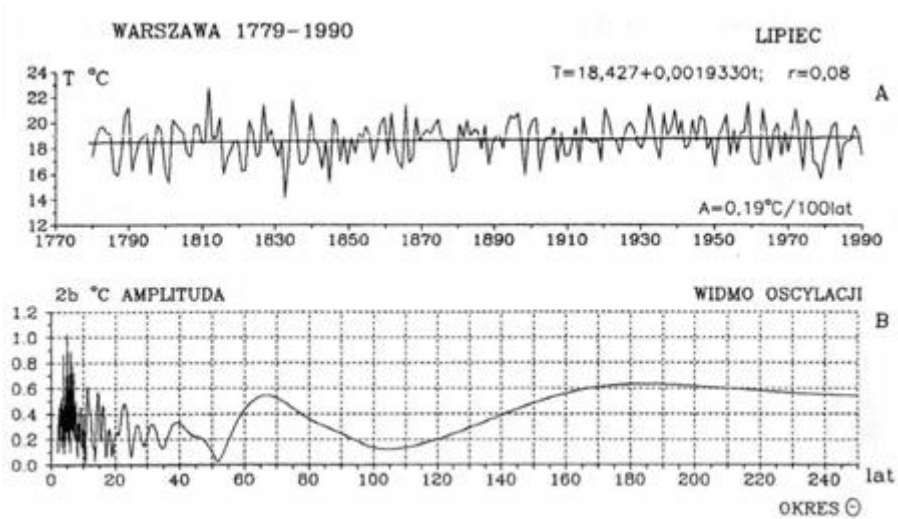
Rys. 6. Temperatura powietrza w Pradze (1771-1980) – styczeń, A. Tendencje wiekowych zmian: $A=0,44$ °C/100 lat, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-250 lat
Fig. 6. Air temperature in Praha (1771-1980) – January, A. The tendency of secular: $A=0.44$ °C/100 years, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2,1-250 years



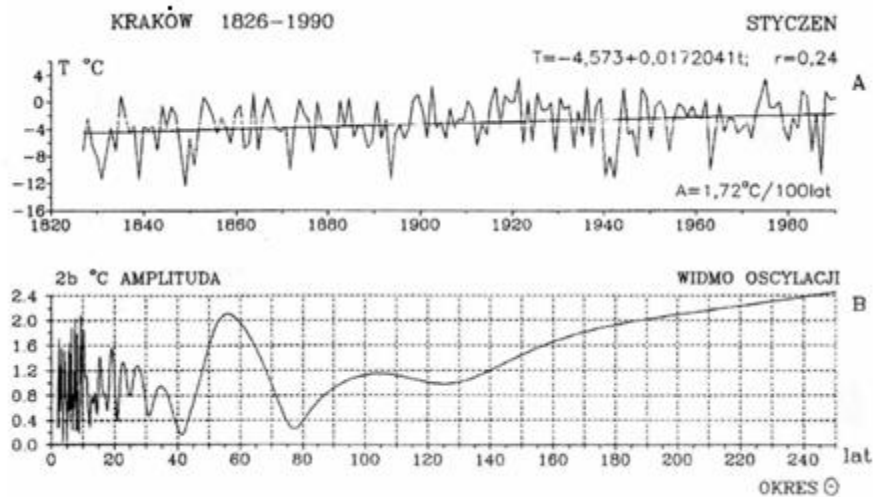
Rys. 7. Temperatura powietrza w Pradze (1771-1980) – lipiec, A. Tendencje wiekowych zmian: $A= -0,16$ °C/100 lat, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-250 lat
Fig. 7. Air temperature in Praha (1771-1980) – July, A. The tendency of secular: $A= 0.16$ °C/100 years, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2,1-250 years



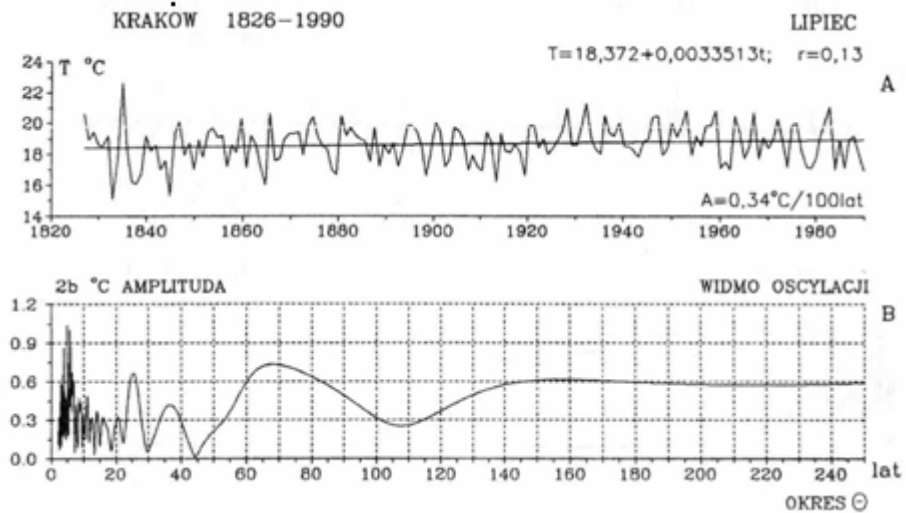
Rys. 8. Temperatura powietrza w Warszawie (1779-1990) – styczeń, A. Tendencje wiekowych zmian: $A=1.15^{\circ}\text{C}/100\text{ lat}$, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-250 lat
Fig. 8. Air temperature in Warsaw (1779-1990) – January, A. The tendency of secular: $A=1.15^{\circ}\text{C}/100\text{ years}$, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2,1-250 years



Rys. 9. Temperatura powietrza w Warszawie (1779-1990) – lipiec, A. Tendencje wiekowych zmian: $A=0.19^{\circ}\text{C}/100\text{ lat}$, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-250 lat
Fig. 9. Air temperature in Warsaw (1779-1990) – July, A. The tendency of secular: $A=0.19^{\circ}\text{C}/100\text{ years}$, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2,1-250 years



Rys. 10. Temperatura powietrza w Krakowie (1826-1990) – styczeń, A. Tendencje wiekowych zmian: $A=1,72^{\circ}\text{C}/100$ lat, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-250 lat
Fig. 10. Air temperature in Cracow (1826-1990) – January, A. The tendency of secular: $A=1.72^{\circ}\text{C}/100$ years, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2,1-250 years



Rys. 11. Temperatura powietrza w Krakowie (1826-1990) – lipiec, A. Tendencje wiekowych zmian $A=0,34^{\circ}\text{C}/100$ lat, B Gęste widmo oscylacji w paśmie 2,1-250 lat
Fig. 11. Air temperature in Cracow (1826-1990) – July, A. The tendency of secular: $A=0.34,^{\circ}\text{C}/100$ years, B. Dense spectrum of oscillation in the strip 2,1-250 years

Podsumowanie

Celem pracy jest określenie tendencji i zakresu 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 przeprowadzono analizę statystyczną ciągów chronologicznych średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza na Spitsbergenie (64 lata, 1912-1975) i w Colombo (112 lat, 1869-1980).

Tendencje wiekowe $\frac{\partial T}{\partial t} = A$ temperatury powietrza (w °C/100 lat) w wymienionych przedziałach czasu (średnie) wg trendów liniowych $T = A_0 + At$ podano na wykresach. Tendencji wiekowej wyznaczonej na podstawie danych z różnych przedziałów czasowych nie można bezpośrednio porównywać.

Ogólnie można jednak stwierdzić, że są one dodatnie 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 dodatnie lub ujemne. Lipce są np. coraz cieplejsze: w Warszawie o 0,19°C/100 lat, Krakowie o 0,34°C/100 lat, Poczdamie o 0,64°C/100 lat. Natomiast są one coraz chłodniejsze: we Wrocławiu o 0,73°C/100 lat, Pradze o 0,16°C/100 lat, Zurychu o 1,08°C/100 lat, a w Genewie o 0,08°C/100 lat.

Tendencja temperatury powietrza w Anglii środkowej w lecie $A = 0,01^\circ\text{C}/100$ lat jest prawie zerowa (nieistotna statystycznie na poziomie istotności 0,05).

Globalne ocieplenie klimatu w ostatnich dwóch stuleciach jest prawdopodobnie wywołane głównie wzrostem aktywności Słońca (stałej słonecznej) i spadkiem aktywności wulkanicznej na Ziemi – mniejszą absorpcją promieniowania słonecznego przez pył wulkaniczny zawarty w atmosferze (stratosferze). Aktywność Słońca jest skorelowana z wypadkową sił grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce. Wzrost aktywności w latach 1779-1993 o 15,3/100 lat może być spowodowany coraz większą koncentracją masy (planet) w płaszczyźnie ekliptyki (maleje dyspersja masy – ujemny współczynnik regresji).

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 CO₂ w atmosferze, który pochodzi ze spalania węgla i innych paliw. Hipotezie tej przeczą: cykl roczny i przestrzenne zróżnicowanie tendencji wiekowej (A) temperatury powietrza na obszarze Europy.

Dość duże wartości współczynnika regresji A w miesiącach zimowych mogą wynikać z uwarunkowań lokalnych, tj. „miejskich wysp ciepła”. Są one prawdopodobnie spowodowane coraz większą akumulacją ciepła przez zabudowę (powierzchnie sztuczne o małym albedo), głównie w zimie. Należy też zauważyć, że trendy liniowe aproksymują części rosnące planetarnego 178,9 – letniego cyklu temperatury powietrza (od daty minimum absolutnego aktywności Słońca, najslabszego cyklu 13-letniego plam słonecznych 1811-1823, do daty maksimum absolutnego 1957). Praca dotyczy ważnego nie rozwiązanego dotąd problemu klimatologii: wyznaczenia składników okresowych

(deterministycznych) zmienności klimatu. Cykliczność temperatury powietrza dłuższa 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.

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 zgodność ekstremów cykli), głównie 8-letniego i 11-letniego, implikuje tezę, że cykliczność ta jest cechą pola temperatury powietrza w Europie i Polsce.

Zbliżoną okresowością cechuje się cyrkulacja atmosferyczna. Cykl około 8-letni temperatury powietrza (i cyrkulacji atmosferycznej) dominuje dlatego, że prawdopodobnie nakładają się efekty planetarnych sił pływowych na Słońcu, które poprzez zmienność aktywności Słońca – stałej słonecznej – ze znacznie większymi siłami pływowymi Księżyca i Słońca na Ziemi. Pływy atmosfery ziemskiej są dotychczas mało znane ze względu na złożony ruch Księżyca (jego zmienną orbitę). Składowa pionowa sił pływowych księżycowo słonecznych jest mała w porównaniu z przyspieszeniem ziemskim i powoduje niewielkie zmiany grubości atmosfery (rozciąganie). Natomiast składowa pozioma, działająca przez dłuższy czas odgrywa prawdopodobnie znaczną rolę w cyrkulacji wód oceanicznych (prądów morskich, w tym El Nino) i przemieszczaniu się wyżów i niżów.

Od dawna znana jest cykliczność 11-letnia temperatury powietrza, wiązana z cyklem 11-letnim plam słonecznych. Zakres wahań temperatury powietrza w tym około 11-letnim cyklu jest na ogół ponad dwukrotnie większy w zimie ($0,41,0^{\circ}\text{C}$) niż w lecie ($0,1-0,4^{\circ}\text{C}$). Wahania temperatury są wywołane bezpośrednio cyklem 11,1-letnim stałej słonecznej, której zakres zmian wynosi 1% średniej wartości $1,94 \text{ cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ (w latach 1700-1993). W pojedynczych cyklach plam słonecznych stała słoneczna zmienia się maksymalnie o 2,5% (Konratiev, Nikolski, 1970).

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, $R = 0,40$), dyspersji masy planet (11,9 lat, $R = 0,58$).

Należy też podkreślić, że okresowość 11-letnia występuje w ciągach czasowych eksplozywnych erupcji wulkanicznych: wskaźnika zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze $\log DVI - 11,4$ lat ($R = 0,3$), aktywności wulkanicznej $\log \frac{DVI}{\Delta t} - 11,7$ lat ($R = 0,29$) odstepu czasu między kolejnymi erupcjami $-12,1$ lat ($R = 0,21$).

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

W identyfikacji naturalnych przyczyn globalnych zmian klimatu ogromne znaczenie ma planetarny okres 178,9-letni zmian parametrów Układu Słonecznego. Po upływie 178,9 lat powtarzają się wartości: odległości środka masy Układu Słonecznego od Słońca, przyspieszenia Słońca, wypadkowej sił grawitacyjnych, dyspersji masy Układu Słonecznego i innych.

Kluczowe znaczenie ma powtórzenie 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 czasu 1700-1878,9, a drugie (rok 1957, $W_{\max} = 189,9$) – po upływie 178,9 lat.

Cykliczność około dwuwiekowa występuje również w najdłuższych seriach pomiarów temperatury powietrza. Na przykład najdłuższy cykl 218,3 lat średniej temperatury w zimie wyjaśnia 84% postępującego ocieplenia klimatu w tym sezonie o $1^{\circ}\text{C}/100$ lat.

Dotychczasowe badania wykazują, że naturalne ochłodzenia i ocieplenia klimatu występowały od dawna – od kilkunastu tysięcy lat (w całym holocenie, sprzed 10 tys. lat). Świadczą o tym wahania paleotemperatury, tj. stosunku izotopów tlenu $\text{O}^{18}/\text{O}^{16}$ w osadach morskich i jeziornych oraz w rdzeniach lodowców. Wskazują na to także wahania zawartości substancji organicznych zdeponowanych w osadach polskich jezior (Boryczka, Wicik, 1994).

Miejscowość		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Warszawa 1779-1990	Θ	7,7	7,7	7,8	8,2	7,9	7,1	7,1	7,7	8,0	7,5	6,5	8,2
	Δt	1,8	2,0	1,8	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	1,0	1,6
	R	0,18	0,22	0,24	0,15	0,13	0,14	0,2	0,16	0,2	0,13	0,18	0,18
Kraków 1826-1990	Θ	7,7	8,3	7,8	9,7	7,5	6,9	7,7	7,9	7,1	8,4	8,1	8,2
	Δt	2,0	2,2	1,8	0,9	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5	0,8	0,8	1,7
	R	0,21	0,23	0,25	0,17	0,18	0,17	0,17	0,15	0,13	0,2	0,13	0,2
Wrocław 1851-1980	Θ	7,7	7,6	7,9	6,9	7,7	7,9	7,7	7,6	7,3	8,6	8,2	7,6
	Δt	2,2	2,6	1,2	0,9	0,8	0,6	0,6	0,8	0,5	1,3	0,8	1,4
	R	0,21	0,27	0,26	0,17	0,15	0,15	0,2	0,23	0,1	0,26	0,15	0,19
Praga 1777-1980	Θ	7,8	8,4	7,8	7,0	7,4	7,1	7,7	8,4	8,4	7,5	7,7	7,8
	Δt	1,8	1,7	1,3	0,9	0,8	0,7	0,5	0,8	0,6	0,8	0,7	1,2
	R	0,21	0,20	0,20	0,16	0,15	0,16	0,13	0,18	0,2	0,19	0,14	0,15
Zurych 1864-1980	Θ	7,7	7,8	7,9	6,8	7,6	7,8	8,0	7,5	6,8	8,5	8,0	7,0
	Δt	1,9	1,8	1,7	1,0	1,1	0,6	0,8	0,7	1,0	1,0	0,7	1,2
	R	0,28	0,25	0,31	0,22	0,23	0,15	0,2	0,18	0,2	0,3	0,16	0,2
Genewa 1768-1980	Θ	7,7	7,4	7,8	7,5	7,5	7,8	7,9	7,4	7,8	7,6	7,6	7,5
	Δt	1,3	0,8	1,1	0,6	0,7	0,7	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,8
	R	0,20	0,14	0,22	0,14	0,16	0,19	0,12	0,16	0,1	0,2	0,13	0,14
Poczdami 1893-1992	Θ	7,7	7,7	7,8	6,8	8,1	7,1	8,1	7,8	7,0	8,6	7,9	7,5
	Δt	2,8	3,2	2,5	1,1	0,6	0,5	0,9	1,1	1,0	1,1	1,2	1,2
	R	0,32	0,37	0,43	0,24	0,14	0,21	0,2	0,3	0,2	0,25	0,23	0,24
Anglia 1659-1973	Θ	7,7	6,8	7,7	7,9	8,7	7,3	7,1	7,5	7,9	7,4	8,1	8,1
	Δt	0,8	0,9	0,7	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6	0,7	0,6
	R	0,18	0,17	0,16	0,07	0,14	0,08	0,09	0,10	0,13	0,16	0,17	0,12
Spitsbergen 1912-1975	Θ	8,6	7,1	7,8	8,5	8,4	6,9	7,0	8,5	0,7	8,0	7,7	6,7
	Δt	1,5	2,8	1,7	3,2	0,8	0,7	0,8	0,4	0,2	0,8	0,9	3,3
	R	0,11	0,24	0,15	0,36	0,16	0,28	0,31	0,16	0,18	0,12	0,09	0,28
Colombo 1889-1980	Θ	8,1	7,2	8,2	7,6	6,5	6,5	6,8	7,7	7,5	7,8	8,4	6,7
	Δt	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,1	0,3	0,3
	R	0,14	0,09	0,15	0,15	0,24	0,23	0,22	0,17	0,23	0,13	0,24	0,23

Summary

The purpose of there search reported was to determine the tendencies in and the range of cyclical changes of air temperature in particular months of the year on the territory of Europe (in eight localities).

The measurement series considered have the following lengths: 315 years for Middle England (1659-973), 213 years for Geneva (1768-1980), 212 years for Warsaw (1779-1990), 210 years for Prague (1771-1980), 165 years for Cracow (1826-1990), 160 years for Wroclaw (1851 - 1980), 117 years for Zurich (1864 -1980), and 100 years for Potsdam (1893-1992). Besides, statistical analysis was applied to chronological series of monthly averages of air temperature values on Spitsbergen (164 years, 1912-1975) and in Colombo (112 years, 1869-1980).

The secular tendencies $\frac{\partial T}{\partial t} = A$ of air temperature (in °C per 100 years) in the time periods mentioned (for averages) according to linear trends $T = A_0 + At$ are shown in diagrams. The secular tendencies determined on the basis of data from various time intervals cannot, of course, be directly compared.

It can be generally stated, though, that these trends are positive for almost all months. This indeed is a witness to the progressing warming of climate of the European (and Polish) towns. Winters are in particular getting increasingly warmer in Europe. And so, for instance, in Warsaw, in the years 1779-1990 the month of January has been getting warmer on the average by 1.15°C per 100 years, in Cracow (1826-1990) – by 1.7°C/100 years, in Prague (1771-1980) – by 0.44°C/100 years, and in Geneva (1768-1980) – by 0.74°C/100 years.

The secular tendencies of the air temperature in the summer season are in individual towns either positive or negative. Thus, for example, the months of July are increasingly warm in Warsaw – by 0.19°C, in Cracow by 0.34°C, in Potsdam by 0.64°C per 100 years. On the other hand, they are getting cooler in: Wroclaw by 0.73°C, Prague – by 0.16°C, Zurich – by 1.08°C, and Geneva – by 0.08°C per 100 years. The air temperature trend in Middle England, expressed as $A = 0.01^\circ\text{C}/100$ years, is almost null (statistically insignificant at the level of significance of 0.05).

Global climate warming in the period of last two centuries is most probably caused by the increase of solar activity (of solar constant) and a decrease of volcanic activity on the Earth – lower absorption of solar radiation by volcanic dust, contained in the atmosphere (stratosphere). Solar activity is correlated with the resultant of the forces of gravitational influence of planets on the sun. Its increase in the years 1779-1993 by 15.3/100 years on the average might be caused by the increasing concentration of the planet mass in the ecliptic plane (dispersion of the mass is decreasing – the respective regression coefficient obtained is negative).

The decreasing or null tendencies in air temperatures in summer months do not support the hypothesis of the anthropogenic causes of the global climate warming. The progressing climate warming cannot be assigned solely to the greenhouse effect, resulting from the increase of CO₂ content, originating from combustion of coal and other fuels. This hypothesis is negated by the annual cycle and by the spatial differentiation of secular tendency (A) of the air temperature within Europe.

The quite high values of the regression coefficients A in winter months may result from local conditions of the so called „urban heat island”. These phenomena are most probably caused by the increasing accumulation of heat by the structures (artificial surfaces featuring low albedo, especially in winter). It should also be noted that the linear trends approximate the increasing portions of the planetary 178.9-year cycle of air

temperature (since the date of the absolute minimum of solar activity, the weakest 13-year cycle of solar spots of 1811-1823, until the date of the absolute maximum in 1957).

The study concerns an important problem of climatology, unsolved until today: determination of the cyclic (deterministic) components of climate variability. The cyclic nature of air temperature with periods exceeding one year was usually studied for single localities of Europe (and Poland), with measurement series of varying lengths, using a variety of methods, attention being limited in the majority of cases to the very periods. Dispersion of the periods, the amplitudes, and the dates of extrema of the cycles having lengths between one year and 200 years were not known, nor whether these cycles are synchronous within the area of Europe. Hence, the problem appeared of ascertaining whether the field of air temperature over a large area is homogeneous with respect to periodicity. This problem has until now been adequately comprehensively studied only for the annual cycle.

For this purpose the parameters of the cycles: periods, amplitudes, and phases, were determined with the method of „sinusoids of regression” (Boryczka, 1998). For each of the localities considered the spectra of air temperature in the band of 2.1 - 200 years were determined and compared.

There are several cycles of air temperature in Europe (and in Poland), having significant ranges of fluctuations: 3-4, 7-8, 10-14 years, and longer. Their presence in almost all chronological sequences (similar periods and coincidence of the extrema of the cycles), primarily of the 8-year and 11-year cycles, implies the proposition that this periodicity is the property of the air temperature field in Europe and in Poland.

Atmospheric circulation is characterized by a similar periodicity. The approximately 8-year cycle of air temperature (and of atmospheric circulation) dominates because there is probably an overlaying of the effects of planetary tidal forces on the sun, which, through the variability of solar activity (the solar constant) the much stronger tidal forces of the moon and the sun on the Earth. The tides of the Earth's atmosphere are until now little known because of the complex motion of the moon (its variable orbit). The vertical component of the lunar-solar tidal force is small in comparison with the Earth's own gravitational pull and causes only marginal changes in the thickness of the atmosphere (stretching). On the other hand the horizontal component, acting over a longer time interval, plays probably a significant role in the circulation of oceanic waters (sea currents, including El Niño) and the movement of high and low pressure are as.

The 11-year periodicity of air temperature, connected with the 11-year cycle of solar spots, has been known for a long time. The range of oscillations of air temperature in this approximately 11-year long cycle is usually two times bigger in winter (0.4- 1.0°C) than in summer (0.1- 0.4°C). The fluctuations of temperature are caused directly by the 11.1-year cycle of the solar constant, whose range of changes is 1% of the average value of $1.94 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ (in the years 1700-1993). In the individual cycles of solar spots the solar constant changes at most by 2.5% (Kondratiev, Nikolski, 1970).

The 9- to 14-year periodicity of the sun is most probably related to the 11.86—year period of revolution of the largest planet (Jupiter) around the sun. This period dominates in the time series of the resultant force of gravitational pull of the planets with respect to the sun (11.8 years, $R = 0.40$) and of dispersion of mass of the planets (11.9 years, $R = 0.58$).

It should also be emphasized that the 11-year periodicity appears in the time series of the explosive volcanic eruptions, i.e. of the values taken by the indicator of contents of the volcanic dusts in the atmosphere, log *DVI*, 11.4 years ($R = 0.31$), and of volcanic

activity, $\log(DVI/\Delta t)$, 11.7 years ($R = 0.29$), as well as of the time interval between two consecutive erupt ions, 12.1 years ($R = 0.21$).

An analogous periodicity of the geological, astronomic and climatologic al variables demonstrates that there is definite gravitational conditioning for the periodicity of climate.

In the identification of the natural causes of global climate changes an essential significance ought to be attached to the planetary 178.9-year period of changes in the parameters of the solar system. After 178.9 years the values are repeated of the distance between center of mass of the solar system and the sun, acceleration of the sun, the resultant of the gravitational forces, the dispersion of the mass in the solar system, and of other variables.

Key importance must be attributed to the repetitions of the Wolf numbers from the years 1700 -1878.9 after the interval of 178.9 years. Two absolute maxima coincide: the first one (the year 1778, $W_{\max} = 154.4$) from the period 1700-1879, and the second one (the year 1957, $W_{\max} = 189.9$) – occurring after 178.9 years.

The periodicity of about two hundred years appears also in the longest series of measurements of air temperature. Thus, for instance, the longest cycle of 218.3 years of the average temperature in winter explains 84% of the progressing warming of climate in this season of the year by $1^{\circ}\text{C}/100$ years.

The studies to date have shown that the natural events of cooling and warming of climate have been appearing since very long – since a dozen or so thousand years (during the whole of holocene of about 10 thousand years ago). This is corroborated by the fluctuations of palaeotemperatures, as seen through the ratio of shares of the oxygen isotopes $\text{O}^{18}/\text{O}^{16}$ in sea and lake sediments and in ice cores. Another source of evidence is constituted by the fluctuations in the organic matter content deposited in the sediments of Polish lakes (Boryczka, Wicik, 1994).

3.6. 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

3.6.1. Synchroniczność krótkich cykli klimatu miast w Europie

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

W badaniach współczesnych zmian klimatu ważnym problemem jest wykrycie prawdziwych, naturalnych okresów klimatycznych, astronomicznych i geologicznych.

Analogiczna okresowość „skutków” i domniemanych „przyczyn” umożliwia identyfikację naturalnych czynników wywołujących przy udziale składnika losowego (cyrkulacji atmosferycznej) głównie ochłodzenia i ocieplenia klimatu Ziemi.

Okresowość około 4-letnia temperatury powietrza, opadów i cyrkulacji atmosferycznej

Ciągi czasowe temperatury powietrza w Europie cechują się okresowością około 4-letnią o zakresie zmian $\Delta T = 2b$ (tab. 1).

Tabela 1. Okresy około 4-letnie temperatury powietrza w niektórych miastach Europy
Table 1. The close-to-4-year periods of air temperature in some European towns

	Zima		Wiosna		Lato		Jesień		Rok	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	3,5	1,18	4,0	0,75	3,9	0,78	4,7	0,66	4,7	0,51
Praga	3,5	1,21	4,4	0,55	3,9	0,61	4,7	0,65	4,7	0,41
Genew	3,8	0,65	3,9	0,48	3,9	0,53	3,7	0,47	3,9	0,29
Anglia	3,8	0,48	3,7	0,29	3,1	0,36	4,3	0,29	5,2	0,21

Analogiczna okresowość 3,0-4,8 -letnia występuje w seriach sezonowych i rocznych opadów atmosferycznych (tab. 2).

Tabela 2. Okresy 3,0-4,8-letnie opadów atmosferycznych w wybranych miejscowościach w Polsce (1861–1990)
Table 2. The 3,0-4,8 year long periods of atmospheric precipitation in selected localities in Poland (1861–1990)

	Zima		Wiosna		Lato		Jesień		Rok	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	4,8	21,00	3,6	25,00	3,4	40,00	2,6	21,80	3,6	68,60
Kraków	4,0	16,40	3,5	35,00	2,9	54,80	3,4	36,40	3,4	61,20
Wrocław	3,5	15,80	3,0	24,00	3,2	38,00	3,7	27,40	3,3	65,60

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

Taką samą okresowość ma cyrkulacja atmosferyczna i makrotyp *E*, południkowa (wg klasyfikacji Wangenheima-Girsa, 1891-1976) i typy cyklonalne (wg Osuchowskiej-Klein, 1901-1975). Okresy (Θ) i współczynniki korelacji (*R*) podano w tabeli 3

Tabela 3. Okresy 2,8–4,4-letnie cyrkulacji atmosferycznej
Table 3. The 2,8–4,4 year long periods of atmospheric circulation

Cyrkulacja	Zima		Wiosna		Lato		Jesień		Rok	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Makrotyp E	3,0	0,28	3,0	0,25	4,4	0,21	2,9	0,22	3,0	0,28
Południkowa	3,0	0,28	3,3	0,32	4,3	0,29	2,8	0,32	3,0	0,28
Cyklonalna	4,2	0,29	3,5	0,30	2,8	0,33	3,4	0,30	4,2	0,29

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

Okresowością 3,4-5,0-letnią wyróżniają się również odpływy rzeki Göty-Alv (1807–1979), odpływy Wisły (Jokieli, Kozuchowski, 1989, Gutry-Korycka, Boryczka, 1990), zlodzenia Bałtyku (Kozuchowski, 1994). Istnieje także 3,0-letni cykl erupcji wulkanów (*DVI*).

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

Okresowość około 8-letnia temperatury powietrza, cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca

W Europie (i w Polsce) dominują około 8-letnie okresy temperatury powietrza dużych amplitudach $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$ (tab. 4).

Tabela 4. Okresowość około 8-letnia temperatury powietrza w Europie (ΔT w $^{\circ}\text{C}$)
Table 4. The close-to-8-year periodicity of air temperature in some Europe (ΔT in $^{\circ}\text{C}$)

Miejscowości	Zima		Wiosna		Lato		Jesień		Rok	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	8,3	1,52	7,8	0,81	7,1	0,57	6,5	0,62	7,7	0,59
Praga	7,7	1,23	6,9	0,71	8,4	0,45	7,5	0,43	7,8	0,48
Genewa	8,5	0,68	7,8	0,53	7,8	0,41	6,8	0,47	7,4	0,4
Anglia	7,7	0,49	6,9	0,31	8,3	0,29	7,3	0,36	7,4	0,26

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

Zbliżoną okresowością cechuje się cyrkulacja atmosferyczna (tab. 5).

Tabela 5. Okresowość około 8-letnia makrotypów cyrkulacji *E*, *W*, południkowej *C*, typów cyklonalnych i indeksu cyrkulacji strefowej

Table 5. The close-to-8-year periodicity of the macrotypes of *E*, *W*, and meridional *C* circulation, the cyclonal types and the index of zonal circulation

Cyrkulacja	Zima		Wiosna		Lato		Jesień		Rok	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Makrotyp <i>E</i>	7,4	0,26	7,7	0,22	7,0	0,17	7,7	0,31	8,0	0,20
Makrotyp <i>W</i>	7,6	0,2	9,0	0,27	6,3	0,28	7,6	0,32	9,4	0,26
Południkowa <i>C</i>	7,6	0,32	8,9	0,3	6,9	0,21	6,5	0,25	7,8	0,26
Typy cyklonalne	7,4	0,41	5,4	0,31	7,9	0,28	6,9	0,18	8,5	0,24
Strefowa	7,8	0,28	8,3	0,29	8,9	0,16	7,7	0,21	8,9	0,19

Cykle 7,7-8,3-letnie temperatury w Europie (w zimie) są kształtowane głównie zbliżoną cyklicznością 7,4-letnią typów cyklonalnych ($R = 0,41$) i 7,6-letnią cyrkulacji południkowej ($R = 0,32$).

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

W ciągach czasowych liczb Wolfa w latach w latach 1749-1993 i 1700-1993 występują okresy: 8,1 i 8,5 lat, o amplitudzie $\Delta W = 2b = 21,2$ i 23,5. Wskaźnik zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze (*DVI*) ma okres 7,9 lat.

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

Istotny wpływ na cyrkulację atmosferyczną może mieć 8,85-letni okres obiegu po orbicie Księżyca linii perygeum–apogeum. Składowa pozioma wypadkowej sił pływowych Księżyca i Słońca jest znacząca i prawdopodobnie powoduje cykliczność około 8-letnią cyrkulacji atmosferycznej.

Cykl około 8-letni temperatury powietrza (cyrkulacji atmosferycznej) dominuje dlatego, że nakładają się efekty planetarnych sił pływowych na Słońcu (poprzez zmienność aktywności Słońca – stałej słonecznej) ze znacznie większymi siłami pływowymi Księżyca i Słońca. Pływy atmosfery ziemskiej są dotychczas mało znane ze względu na złożony ruch Księżyca (jego zmienną orbitę). Składowa pionowa sił pływowych księżycowo-słonecznych jest mała w porównaniu z przyspieszeniem ziemskim i powoduje niewielkie zmiany grubości atmosfery (rozciąganie). Natomiast składowa pozioma, działająca przez dłuższy czas, odgrywa prawdopodobnie znaczną rolę w cyrkulacji wód oceanicznych (prądów morskich, w tym El Niño) i przemieszczaniu się wyżów i niżów (Boryczka, 1998).

Cykl około 11-letni temperatury powietrza, opadów i aktywności Słońca

Od dawna znana jest cykliczność około 11-letnia temperatury powietrza, wiązana z cyklem 11-letnim plam słonecznych. Okresy 10-13-letnie temperatury powietrza i amplitudy (w °C) w wybranych miejscowościach, w poszczególnych sezonach i w roku zestawiono w tab. 6.

Tabela 6. Cykle około 11-letnie temperatury powietrza i amplitudy $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$ w wybranych miejscowościach Europy

Table 6. The close-to-11-year cycles of air temperature and amplitude $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$ in selected localities of Europe

Miejscowości	Zima		Wiosna		Lato		Jesień		Rok	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	10,2	0,7	11,2	0,7	10,4	0,2	10,6	0,4	10,5	0,2
	11,9	0,5	12,1	0,4	11,3	0,3	11,4	0,2	11,1	0,3
	12,9	1,0	12,9	0,8	13,3	0,3	11,8	0,2	12,9	0,4
Praga	10,1	1,0	11,2	0,6	9,7	0,4	10,4	0,5	10,3	0,4
	11,8	0,5	12,1	0,3	11,7	0,2	11,1	0,2	11,4	0,2
	12,9	0,8	13,0	0,6	12,8	0,4	11,9	0,2	12,9	0,4
Genewa	11,1	0,4	10,3	0,8	10,6	0,4	10,4	0,4	10,3	0,3
	11,7	0,6	11,2	0,4	11,3	0,3	11,2	0,1	11,1	0,2
	12,4	0,7	12	0,2	12	0,1	12,5	0,1	11,9	0,2
Anglia	11,1	0,4	10,5	0,3	10,0	0,3	10,3	0,4	10,1	0,1
	11,7	0,6	11,1	0,2	11,1	0,2	11,2	0,2	11,1	0,2
	12,4	0,7	11,6	0,2	12,8	0,4	12,6	0,3	12,5	0,2

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

Okazało się, że istotna statystycznie jest również okresowość około 11-letnia sezonowych sum opadów atmosferycznych w Polsce (tab. 7).

Tabela 7. Okresy około 11-letnie i amplitudy względne ($\Delta P = P \cdot \bar{P}^{-1}$, %) sezonowych i rocznych sum opadów atmosferycznych w wybranych miejscowościach w Polsce (1861-1990)

Table 7. The close-to-11-year cycles and relative amplitude ($\Delta P = P \cdot \bar{P}^{-1}$, %) of the seasonal and annual precipitation sums in selected localities in Poland (1861-1990)

Miejscowości	Zima		Wiosna		Lato		Jesień		Rok	
	Θ	ΔP	Θ	ΔP	Θ	ΔT	Θ	ΔP	Θ	ΔP
Warszawa	10,1	25,9	12,0	23,7	11,2	13,8	10,2	10,6	11,3	9,5
Kraków	9,8	12,3	10,2	18,7	10,3	12,9	10,9	17,1	9,8	5,4
Wrocław	9,9	17,4	10,2	27,4	9,7	16,7	9,9	13,2	9,8	13,9

Zakres zmienności sezonowych sum opadów atmosferycznych w cyklach 9,8-12,0 lat w stosunku do średnich wartości z lat 1861-1990 (\bar{P}) jest duży – w zimie przekracza 1/4 części sumy \bar{P} . Amplitudy względne ($(P_{\max} - P_{\min}) \cdot \bar{P}^{-1}$) na ogół są większe w zimie niż w lecie, w przypadku sum rocznych zawierają się w przedziale 5,4-13,9%. Przyczyną okresów około 11-letnich temperatury powietrza i opadów atmosferycznych jest niewątpliwie 11-letni cykl aktywności Słońca (i stałej słonecznej, tab. 8).

Tabela 8. Cykle około 11-letnie liczb Wolfa i stałej słonecznej w latach 1700–1993
Table 8. The close-to-11-year cycles of the Wolf numbers and the solar constant in the years 1700–1993

Liczby Wolfa		Stała słoneczna	
Θ	ΔW	Θ	$\frac{\Delta s}{s} \%$
10,0	48,3	10,1	0,32
10,5	44,7	10,5	0,51
11,0	60,1	11,1	0,94
12,0	32,2	11,9	0,29

Oto równanie cyklu 11,1-letniego (średniego w latach 1700–1993) stałej słonecznej.

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

o minimalnej wariancji resztkowej $\varepsilon^2 = 7,1 \cdot 10^{-5}$ i współczynnika korelacji $R = 0,609$.

Zakres zmian stałej słonecznej w cyklu 11,1-letnim stanowi prawie 1% średniej wartości $1,94 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ w latach 1700–1993. W pojedynczych 11-letnich cyklach plam słonecznych stała słoneczna zmienia się maksymalnie o 2,5% (Kondratiev, Nikolski, 1970).

Cykliczność 9–14-letnia aktywności Słońca jest prawdopodobnie związana z okresem 1,86 lat obiegu największej planety (Jowisza) dookoła Słońca. Okres ten dominuje w ciągach czasowych: wypadkowej siły grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce (11,8 lat, $R = 0,40$), całkowitego momentu pędu planet (11,9 lat, $R = 0,75$) i dyspersji masy planet w Układzie Słonecznym (11,9 lat, $R = 0,58$).

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

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

Nakładanie się cykli aktywności Słońca, cyrkulacji atmosferycznej, temperatury powietrza i opadów

Cykle liczby plam słonecznych (W), cyrkulacji atmosferycznej (wschodniej C_e , zachodniej C_w , południkowej C), temperatury powietrza (T) i opadów atmosferycznych (P) i trendy czasowe, które są ich wypadkową, wskazują, iż zmiany klimatu Europy (i Polski) w XIX i XX wieku były kształtowane głównie przez aktywność Słońca (Boryczka, Stopa–Boryczka i inni, 1992).

Minimum absolutne aktywności Słońca przypada na najsłabszy cykl pojedynczy 1811–1823, a maksimum – na najsilniejszy cykl 1959–1964. Maksimum aktywności Słońca 189,9 wystąpiło w roku 1957. Te ekstrema absolutne liczby plam słonecznych były wywołane nałożeniem się 4 głównych cykli:

$$W = 50,41 + 27,45 \sin\left(\frac{2\pi}{11} t + 1,071\right)$$

$$W = 50,17 + 12,80 \sin\left(\frac{2\pi}{59} t - 1,901\right)$$

$$W = 48,09 + 18,84 \sin\left(\frac{2\pi}{91} t + 0,012\right)$$

$$W = 46,51 + 9,856 \sin\left(\frac{2\pi}{178} t - 1,32\right), \quad \text{dane 1700–1978}$$

Oto daty minimów i maksimów tych sinusoid regresji:

	Minima	Maksima
Cykl 11 lat	1810	1959
Cykl 59 lat	1811	1959
Cykl 91 lat	1817	1954
Cykl 179 lat	1871	1960

Liczba plam słonecznych cechuje się stałą tendencją wzrostową $\frac{\partial W}{\partial t} = 8/100$ lat.

Minimum absolutne średniej rocznej temperatury powietrza $T_{\min} = 6,5$ °C (wg trendu $F(t)$) przypada na rok 1823, w którym wystąpiło minimum absolutne aktywności Słońca (1811-1823 – najslabszy cykl). Maksimum absolutne $T = 8,5$ °C nieco wyprzedza datę maksimum absolutnego aktywności Słońca (1957).

Temperatura powietrza, podobnie jak aktywność Słońca w ostatnich dwóch stuleciach wzrosła o $0,6$ °C/100 lat:

$$W = 36,10 + 0,0803 t \quad (1700–1978),$$

$$T = 6,88 + 0,0058 t \quad (1779–1979).$$

Ten stały wzrost średniej rocznej temperatury powietrza w Warszawie jest wynikiem nakładania się naturalnych cykli – głównie 89 lat i 194 lat. To postępujące ocieplenie klimatu w XVIII-XX wieku jest prawdopodobnie uwarunkowane wzrostem aktywności Słońca. Temperatura powietrza jest dodatnio skorelowana z liczbą plam słonecznych.

Cykle rocznych wartości: temperatury powietrza – 60 lat, aktywności Słońca – 59 lat i cyrkulacji atmosferycznej – 61 lat są synchroniczne: $t = 0$

$$T = 7,45 + 0,133 \sin\left(\frac{2\pi}{60} t + 1,363\right), \quad 1778$$

$$W = 50,17 + 12,80 \sin\left(\frac{2\pi}{59} t - 1,901\right), \quad 1748$$

$$C = 95,09 + 19,68 \sin\left(\frac{2\pi}{61} t + 1,525\right), \quad 1850$$

Maksima tych sinusoid regresji występują w tym samym czasie:

T_{\max}	W_{\max}	C_{\max}
1780	1781	1768
1840	1840	1829
1900	1899	1890
1960	1958	1951
2020	2017	2012

Synchroniczne są także cykle średnich rocznych wartości: temperatury powietrza – 89 lat i aktywności Słońca – 91 lat:

$$T = 7,46 + 0,199 \sin\left(\frac{2\pi}{89} t + 2,474\right)$$

Ich minima przypadają na lata:

T_{max}	W_{max}
1632	1634
1721	1725
1810	1816
1898	1907
1988	1998
2077	2089

Minimum średniej rocznej temperatury powietrza w cyklu 194 lat:

$$T = 7\,457 + 0\,557 \sin\left(\frac{2\pi}{194} t + 3,042\right)$$

występuje w latach: 1636, 1830, 2024 – znacznie różniących się od dat minimów wiekowych aktywności Słońca w cyklu 179 lat: 1693, 1872, 2051.

Najdłuższymi cyklami temperatury powietrza w Warszawie w poszczególnych miesiącach są

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Θ	187	177	207	199	162	90	158	147	180	98	100	101
b	1,40	0,75	1,05	0,62	0,60	0,53	0,38	0,22	0,24	0,40	0,30	0,36

Minima tych cykli o dość dużych amplitudach $2b$, od $0,44\text{ }^{\circ}\text{C}$ (sierpień) do $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (styczeń), przypadają na lata:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1825	1829	1820	1832	1848	1816	1845	1867	1832	1799	1807	1797
2013	2005	2027	2031	2010	1996	2003	2014	2012	1995	2007	1999

W drugiej połowie XIX i na początku XX wieku maksima opadów występują podczas minimów aktywności Słońca: 1878, 1889, 1901, 1913, 1923.

Roczne sumy opadów atmosferycznych w Warszawie (1813-1980) ulegają okresowym zmianom:

Θ	6	16	19	58	112
b	28,4	36,0	31,6	30,9	30,0

Dwa najdłuższe cykle opadów opisują równania sinusoid regresji:

$$P = 569,3 + 30,86 \sin\left(\frac{2\pi}{58} t - 2,939\right)$$

$$P = 565,0 + 30,00 \sin\left(\frac{2\pi}{112} t - 0,861\right)$$

Istnieje zbieżność czasowa ekstremów cykli: opadów atmosferycznych – 58 lat, temperatury powietrza – 60 lat i aktywności Słońca – 59 lat:

P_{max}	T_{max}	W_{max}
1796	1780	1781
1853	1840	1840
1912	1900	1899
1970	1960	1958
2028	2020	2017

Ekstrema cyklu 112 lat opadów o amplitudzie $2b = 60$ mm przypadają na lata: maksimum – 1631, 1743, 1855, 1967, 2079, a minima – 1687, 1799, 1911, 2023.

Jest on znacznie dłuższy od cykli: 87–99 lat – cyrkulacji zachodniej, 89 lat – temperatury powietrza i 91 lat – aktywności Słońca. Prawie we wszystkich miesiącach wykryto cykle 9-13 lat opadów atmosferycznych są zbliżone do cyklu 11-letniego aktywności Słońca.

Istnieje ogólna prawidłowość, że cyrkulacja wschodnia w latach 1891-1980 ma tendencję rosnącą ($a > 0$), a zachodnia – malejącą ($a < 0$). Natomiast składnik liniowy cyrkulacji południkowej ($\Delta C = at$) zmienia znak w ciągu roku.

Spór naukowy w literaturze klimatologicznej, czy rytmy są zdeterminowane, czy też są przypadkowe (ostatnio – wg teorii chaosu nieliniowych układów dynamicznych, modulacji – wg analizy falkowej Morleta, 1983), trwa nadal, zwłaszcza w ostatnim dziesięcioleciu.

Wbrew teorii chaosu uznano w klimatologii bardzo długie okresy temperatury: 90 000, 42 000, 21 000 lat, zdeterminowane wahaniami stałej słonecznej, wywołanymi zmianami parametrów orbity Ziemi (teoria Milankoviča, 1938). Później okresy te potwierdzone zostały na podstawie ciągów czasowych izotopów tlenu (^{16}O , ^{18}O), zawartych w osadach morskich i rdzeniach lodowców.

Okresowość ta spowodowała cztery zlodowacenia Ziemi od 1 000 000 lat, a także ochłodzenia i ocieplenia od 130 000 lat (Lockwood, 1979). Czy można te długie okresy temperatury ekstrapolować? – tak, bowiem są one zdeterminowane przez okresowe wahania orbity Ziemi.

Podobnie jest w przypadku 17-20-letniego okresu poziomu morza. Okres ten jest zdeterminowany przez 18,6-letni okres precesji luni-solarnej (pływy wód morskich). Okresy około wiekowy i dwuwiekowy powtarzają się wielokrotnie w ciągach czasowych dendrometrycznych (danych tysiącletnich) i sedymentologicznych.

Ważniejsze wyniki badań

W historii klimatu Europy ochłodzenia i ocieplenia były wywoływane zmianami promieniowania całkowitego, tj. stałej słonecznej i koncentracji pyłów wulkanicznych w stratosferze (Boryczka, 1998). O astronomicznych przyczynach współczesnych zmian klimatu Europy świadczy silna korelacja aktywności Słońca (stałej słonecznej) ze zmianami zachodzącymi w Układzie Słonecznym. Z parametrami Układu Słonecznego skorelowane są także zmienne charakteryzujące klimat: cyrkulacja atmosferyczna, temperatura powietrza, opady atmosferyczne, odpływy rzek, poziom morza, a nawet erupcje wulkaniczne.

Analogiczne okresy aktywności Słońca, zmiennych klimatologicznych i parametrów Układu Słonecznego wskazują na pośredni wpływ (poprzez stałą słoneczną) zmian Układu Słonecznego na klimat Ziemi. Poza tym planetarne siły pływowe na Słońcu są znacznie większe niż pływy atmosfery Ziemi. Silne przyciąganie grawitacyjne planet powoduje ruch Słońca (o tak dużej masie) dookoła środka Układu Słonecznego.

W widmie aktywności Słońca (i stałej słonecznej) dominują okresy planetarne obiegu czterech największych planet dookoła Słońca: Jowisza - 11,86 lat, Saturna – 29,46 lat, Urana – 84,02 lat i Neptuna – 164,79 lat. Jeszcze bardziej dominują okresy wzajemnego położenia par planet: 19,86 lat (Jowisz-Saturn), 13,8 lat (Jowisz-Uran), 12,78 lat (Jowisz-Neptun), 45,36 lat (Saturn-Uran), 35,87 lat (Saturn-Neptun), 171,47 lat (Uran-Neptun).

Planetarne okresy dominują również w kilkudziesięciu seriach pomiarowych różnych zmiennych w Europie. Mało prawdopodobne jest, by obecność kilku takich samych okresów w licznych ciągach chronologicznych np. temperatury powietrza w zimie, lecie, wiosną i jesienią była przypadkowa (mimo bardzo zmiennej lokalnej cyrkulacji powietrza). Prawdopodobieństwo takiego zdarzenia jest bliskie zera.

O zależności (w sensie fizycznym) aktywności Słońca od parametrów Układu Słonecznego najbardziej przekonuje wspólny okres 178,9-letni. Jak wykazano w pracach (Boryczka, 1993, 1998), co 178,9 lat powtarzają się wartości roczne: odległości środka masy, wypadkowej siły grawitacji planet, dyspersji masy w Układzie Słonecznymi innymi, a także – z wyjątkiem niektórych lat wartości liczb Wolfa (stałej słonecznej).

Podobną właściwość ma seria Manley'a średnich rocznych wartości temperatury powietrza w Anglii Środkowej w latach 1659-1973. W tym przypadku trudno było byznać ciąg y_i liczb losowych, by jego 50 wyrazów (1700-1750 i 1878-1928) po numerze $i = 178$ było zbliżone do pierwszych 50-ciu. Prawdopodobieństwo takiego zdarzenia jest w praktyce równe zeru. Należy podkreślić, że ten fundamentalny, grawitacyjny okres zmian układu Słonecznego jest wypadkową (superpozycją) wszystkich planetarnych okresów. Tak więc wykryte okresy w seriach pomiarów klimatologicznych (istotne wg testu Fishera-Snedecora), zbliżone do okresów parametrów Układu Słonecznego, realnie występują – nie są samowzbudne, losowe.

Nie są jeszcze poznane mechanizmy przenoszenia zmian Układu Słonecznego do układu Ziemia-atmosfera (poza stałą słoneczną). Mimo to wykryta okresowość zmiennych klimatologicznych – także około 100- i 200-letnia może być wykorzystywana do rekonstrukcji klimatu w ostatnich stuleciach oraz w prognozach na XXI wiek.

W prognozach naturalnych zmian klimatu w XXI wieku przyjęto założenie, że wykryte cykle w seriach pomiarowych z XVIII–XX wieku będą się nadal powtarzać. Do przyjęcia takiego założenia upoważnia również obecność okresów około 100– i 200–letnich w ciągach czasowych: paleotemperatury, określonej na podstawie stosunku izotopów tlenu $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (Johnsen i inni, 1970), substancji organicznych i węglanów wapnia zdeponowanych w jeziorach w Polsce (Boryczka, Wicik, 1994).

Okresy około 100– i 200–letnie powtarzają się wielokrotnie w ciągach czasowych zmiennych sedymentologicznych: paleotemperatury, substancji organicznych, węglanów wapnia i odległości między warstewkami piasku w jeziorze górskim Wielki Staw (wskaźnik obfitości opadów atmosferycznych).

W prognozach zmian klimatu w przyszłym wieku niezbędne jest uwzględnienie długookresowych części widm, gdyż okresy długie, a zwłaszcza około 200–letnie, cechują się dużą amplitudą w sezonach rzędu 2°C .

Trendy czasowe to składniki deterministyczne ciągów wyników pomiarów. W istocie służą one do interpolacji (w przedziale) i ekstrapolacji wartości poza przedział aproksymacji. Określają one ogólną tendencję zmian klimatu (minima i maksima wiekowe)– umożliwiają rekonstrukcję klimatu i jego prognozę. Ze względu na składniki losowe (reszty ε_i) nie można przewidzieć z wyprzedzeniem nawet jednego roku konkretnej wartości. Dotyczy to również cykli dobowego i rocznego.

Według teorii wnioskowania statystycznego trend hipotetyczny (w populacji) zawiera się w granicach $f(t) \pm 1,96 \delta$ – z prawdopodobieństwem 95%. Reszty $\varepsilon_i = T_i - f(t_i)$ mają rozkład prawdopodobieństwa zbliżony do rozkładu normalnego o parametrach $0, \delta$, gdzie δ – błąd standardowy.

Część globalnych zmian klimatu Ziemi jest niewątpliwie efektem nakładania się krótkich i długich naturalnych okresów temperatury powietrza; quasi okresowe zmiany klimatu w Warszawie w latach 1700 -2100 w zimie i w lecie przedstawiono na wykre-

sach w publikacjach wcześniejszych (Boryczka, 1993, 1998). Są to wypadkowe (superpozycje) istotnych statystycznie podanych już wcześniej okresów. Krzywe te dobrze aproksymują wyniki pomiarów temperatury powietrza w przedziale aproksymacji 1779–1980. Zgodne są daty ekstremów (głównych minimów i maksimów) z najchłodniejszymi i najcieplejszymi zimami i sezonami letnimi.

Proste regresji w przedziale aproksymacji 1779–1990 określają tendencje rosnące: w zimie – $0,9^{\circ}\text{C}/100$ lat, w lecie – $0,2^{\circ}\text{C}/100$ lat. Są to średnie tendencje naturalnych mian temperatury w latach 1779–1990, które mało różnią się od wyznaczonych na podstawie wyników pomiarów.

Najmroźniejsze zimy, o średniej temperaturze -7°C , wystąpią w połowie przyszłego stulecia około roku 2050. Będą one nieco łagodniejsze niż na początku XIX wieku, ze względu na coraz większy składnik antropogeniczny. Natomiast lata chłodniejsze wystąpią wcześniej, w pierwszych dwóch dekadach XXI wieku.

Na podstawie widma oscylacji sum rocznych opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1813–1990 prognozowano również tendencje zmian opadów, sięgając po rok 2100 (Boryczka, 1993). Opady prognozowano ekstrapolując wartości trendu czasowego – superpozycji cykli od 3,5 do 112,5 lat o współczynniku korelacji wielokrotnej $R = 0,67$.

Według prognozy z 1993 roku w ostatniej dekadzie XX wieku opady będą niższe od normy $\bar{P} = 568,9$ mm. W pierwszych dwóch dekadach XXI wieku będą oscylować wokół średniej sumy P . Maksimum wiekowe opadów 720 mm wystąpi mniej więcej w latach 2030, 2063, 2068. Najmniejsze sumy roczne, rzędu 400 mm, wystąpią prawdopodobnie w pobliżu dat: 2033, 2040.

O istnieniu realnych (deterministycznych) okresów temperatury powietrza i opadów atmosferycznych – o poprawności modeli statystycznych świadczy sprawdzalność prognoz zmian klimatu Polski w XX wieku. Sprawdziły się prognozy tendencji temperatury powietrza w Warszawie na lata 1980–1996, na podstawie danych z lat 1779–1979, przedstawione w publikacji *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVIII i XIX wieku* (Boryczka, 1993).

Prognozowane na rok 1980 minimum wiekowe temperatury powietrza wystąpiło w roku 1980. Średnia roczna temperatura $6,6^{\circ}\text{C}$ w roku 1980, wg pomiarów ze stacji Warszaw-Okęcie, jest najmniejszą wartością w 30-leciu 1966–1996. W roku 1991 wystąpiło drugorzędne prognozowane minimum temperatury, zgodnie z wynikami pomiarów w latach 1982–1992:

1989	1990	1991	1992
9,2	9,4	8,0	8,8 °C

Sprawdziły się też prognozowane zimy w Warszawie – wg danych z lat 1779–1990 i w Genewie – wg danych z lat 1768–1980 (Boryczka, 1993). Zgodnie z prognozą zimy w Warszawie w roku 1990 zakończyła się jedna z serii ciepłych zim. Zimy w Warszawie od 1991 roku są coraz chłodniejsze. Ekstrapolowanym wartościom trendu czasowego w latach 1987–1996 odpowiadają chłodniejsze zimy (na stacji Warszawa-Okęcie):

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

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

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

Prognozy tendencji zmian klimatu na podstawie trendów czasowych można będzie sprawdzić jedynie metodami statystycznymi dysponując małą próbą losową o liczebności co najmniej 30 lat. Prognozowane minimum wiekowe temperatury powietrza czy też opadów atmosferycznych – minimum krzywej trendu czasowego – może nie wystąpić w konkretnym roku, lecz w określonym przedziale czasu.

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

Ciągi czasowe temperatury powietrza w ostatnich stuleciach w Europie świadczą, że współczesne ocieplenie klimatu może w dużym stopniu wynikać z przyczyn naturalnych.

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

Globalne ocieplenie klimatu (w Warszawie w latach 1779–1990 – średnio w roku o $0,67^{\circ}\text{C}/100$ lat) może być wywołane wzrostem aktywności Słońca. Aktywność Słońca (liczby Wolfa) w latach 1779–1993 wzrasta średnio o $17,2/100$ lat. Wzrosła ona w ostatnich dwóch stuleciach średnio o 34,5, tj. o ponad 50% w stosunku do średniej wartości liczb Wolfa

Okresowe wahania klimatu (ocieplenia i ochłodzenia) są analogiczne do okresów zmian aktywności Słońca – zbliżonych do okresów planetarnych P_j (obiegu czterech największych planet i ich wzajemnego położenia): 11,7; 12,8; 13,8; 19,9; 29,5; 35,9; 45,4; 84,0; 164,0; 171,4 lat. Interesujący jest eksperyment polegający na wyznaczeniu trendu czasowego liczb Wolfa

$$W = a_0 + b \sin\left(\frac{2\pi}{P_j}t + c_j\right) + \dots$$

przy założeniu okresowości planetarnej P_j , z uwzględnieniem modulacji najkrótszego okresu 11,7 lat przez okresy najdłuższe 84 i 171,4 lat. Wypadkowa okresów planetarnych dobrze opisuje zmienność aktywności Słońca (wyniki obserwacji) w latach 1700–1993 (współczynnik korelacji $R = 0,8$).

Okresowe wahania temperatury powietrza skorelowane z okresami aktywności Słońca i okresami planetarnymi implikuje tezę o ochłodzeniu klimatu w XXI stuleciu. Wypadkowa okresów temperatury powietrza w Warszawie podczas zim cechuje się głębokim minimum w latach 2000–2100, kiedy to prognozowane jest kolejne wiekowe minimum aktywności Słońca. Ochłodzenia klimatu wystąpiły podczas wielkich minimum plam słonecznych: Maundera (1640–1710) i Daltona (1780–1830).

Zauważono (Charvatova, Strestik, 1984), że podczas minimów wiekowych aktywności Słońca (co 179 lat) ruch środka masy układu Słonecznego odbywa się po innych orbitach (chaotycznych) niż podczas maksimów – po orbitach uporządkowanych. Podobne minimum wiekowe aktywności Słońca (i ochłodzenia klimatu) autorzy prognozują w połowie przyszłego stulecia. Podobnie Sazonow i Malkentin (1994) sugerują, że anomalne ciepłe zimy są wywołane specyficznym układem największych planet (Saturna, Neptuna, Urana, które znajdują się w koniunkcji ze Słońcem i Ziemią), deformujących heliosferę własnymi polami grawitacyjnymi.

Naturalne wahania klimatu są wywołane głównie zmiennością stałej słonecznej. Zmienia się ona w ciągu roku o $\pm 3,3\%$ w wyniku różnej odległości Ziemi od Słońca: styczeń (147 mln) – $2,01 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$, lipiec (152 mln km) – $1,94 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$. Stała słoneczna zależy od aktywności Słońca. Maksymalna jej wartość przypada na przedział 80-100 liczb Wolfa (Kondratiev, Nikolski, 1970).

Z wzoru K. Kondratieva i G. Nikolskiego (1970):

$$s = 1,903 + 0,0110,5 \cdot W^{0,5} - 0,0006 \cdot W, \quad \text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$$

wynika, iż w cyklu 11-letnim stała słoneczna waha się o 2,5%.

Ciąg czasowy stałej słonecznej w latach 1700-1993 (otrzymany wg powyższego wzoru) cechuje się średnią okresowością: 11,1; 34,2; 102,0; 187,8 lat (minima wariacji resztkowej, metoda sinusoid regresji).

Tendencja stałej słonecznej w latach 1700-1993 jest rosnąca i może być przyczyną postępującego ocieplenia klimatu Ziemi.

Zmiany zachodzące na Słońcu są przenoszone na Ziemię nie tylko poprzez stałą słoneczną, ale także poprzez jonosferę (cyrkulację atmosferyczną).

Znamienne jest, że minimum absolutne trendu czasowego temperatury powietrza w Europie w ostatnich dwóch stuleciach (1779-1990) przypada na minimum absolutne aktywności Słońca (na najślabszy cykl 13-letni plam słonecznych 1811-1823) i jednocześnie na maksimum wiekowe aktywności wulkanicznej. Na początku XIX wieku wystąpiły wybuchy wulkanów o największym wskaźniku zapylenia atmosfery *DVI* (dust veil index H. Lamba, 1974): Tambora – o *DVI* = 3000 w 1815 r., Cosequina – o *DVI* = 4000 w 1835 r.

Postępujące globalne ocieplenie może też wynikać z tendencji malejącej wskaźnika *DVI* w latach 1680-1980 i większych odstępów czasu między kolejnymi wybuchami wulkanów. Na stałą słoneczną ma niewątpliwie wpływ drobny pył, pozostający w stratosferze przez wiele lat. Okresowość zbliżona do wiekowej (120 lat) i dwuwiekowej (180 lat), która najbardziej kształtuje współczesne wahania klimatu występuje również w ciągach czasowych substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych sprzed 10 000 lat (w holocenie).

Te długie okresy temperatury, aktywności Słońca i erupcji wulkanicznych (około wiekowe i dwuwiekowe) powtarzają się wielokrotnie w przypadku akumulacji substancji organicznych.

W prognozach zmian klimatu w XXI wieku można pominąć bardzo powolne zmiany, spowodowane długimi okresami wahań parametrów orbity Ziemi (90 000, 40 000, 21 000; Milankowić, 1938). Można również pominąć najdłuższe holocenijskie cykle klimatu (powyżej 1000 lat), wykryte w ciągach czasowych substancji organicznych zdeponowanych w osadach jezior: Wikaryjskie, Gościąż, Święte (Boryczka, Wikcik, 1994). Ich ekstrema (ochłodzenia i ocieplenia) prawdopodobnie będą powtarzać się, gdyż analogicznej okresowości ulegają parametry Układu Słonecznego. W prognozach nie można jednak zaniedbać parusetletnich holocenijskich okresów, które kształtowały klimat Ziemi w ostatnich tysiącletniach. Być może, że współczesne ocieplenie jest efek-

tem nałożenia się bardzo długiego holocenijskiego cyklu klimatu (jego fazy rosnącej) i zmienności antropogenicznej.

Cykliczne zmiany temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, cyrkulacji atmosferycznej, aktywności Słońca i parametrów Układu Słonecznego wykorzystane zbliżone rytmy (Boryczka, 1993):

Podobieństwo okresowości zmiennych klimatologicznych (temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, cyrkulacji atmosferycznej) i astronomicznych (aktywność Słońca, parametry Układu Słonecznego) świadczy o pośrednim – poprzez aktywność Słońca i cyrkulację atmosferyczną – lub bezpośrednim oddziaływaniu grawitacyjnym planet na klimat Ziemi.

Mało prawdopodobne jest, by obecność kilkunastu pasm częstości zmian (okresów) zarówno w widmach zmiennych klimatologicznych, jak też zmiennych astronomicznych była przypadkowa.

O bezpośrednim oddziaływaniu grawitacyjnym planet na cyrkulację atmosferyczną świadczy brak niektórych cykli temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, cyrkulacji atmosferycznej w gęstym widmie oscylacji, aktywności Słońca, a ich obecność w widmach oscylacji parametrów Układu Słonecznego.

Nowością jest wykazanie planetarnej 178,9-letniej okresowości (Boryczka, 1998): aktywności Słońca, stałej słonecznej, a także temperatury powietrza. Jest to przede wszystkim okres powtarzalności wartości parametrów Układu Słonecznego: odległości środka masy Układu Słonecznego od Słońca, przyspieszenia Słońca względem środka masy, wypadkowej siły grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce, planetarnych sił pływowych na Słońcu, dyspersji masy Układu Słonecznego i innych.

Problem cykliczności klimatu i jej przyczyn nie jest nadal rozwiązany w literaturze klimatologicznej. Nastąpił znaczny postęp jedynie w zakresie metod wykrywania rytmów klimatycznych: analiza harmoniczna, analiza autokorelacyjna, transformata Fouriera, metoda „sinusoid regresji”, a szczególnie w zakresie techniki obliczeniowej – komputerowej. Mało poznane są dotąd składniki deterministyczne (okresowe) i przyczyny wahań klimatu. Istotne znaczenie mają badania okresowości aktywności Słońca za równo w długich przedziałach czasu jak i w ostatnich dziesięcioleciach.

1 Temperatura powietrza (T):									
Warszawa									
.	3,42	4,17	4,75	5,17	7,75	8,42	9,25	11,17	12,83
13,92	15,08	17,50	21,75	24,83	28,50	40,92	60,08	89,67	195,17
Praga									
3,08	3,42	4,17	4,75	5,42	7,25	8,42	10,33	11,25	12,92
14,17	15,58	17,75	22,25	25,33	29,42	35,75	51,25	80,92	160,33
Anglia									
3,08	3,42	4,17	4,50	5,17	7,33	8,25	9,33	11,17	12,50
14,08	15,08	16,42	20,58	23,58	27,08	35,08	58,50	102,75	175,82
2 Opady atmosferyczne (P)									
Warszawa									
2,83	3,50	4,25	4,83	5,33	8,08	.	9,67	10,67	11,67
13,75	.	16,33	22,25	.	28,00	39,33	56,42	112,50	.
Kraków									
3,25	3,67	4,00	4,75	5,00	7,92	.	9,83	.	.
.	14,67	16,83	.	.	.	41,83	.	73,08	.
3 Cyrkulacja atmosferyczna									
Zachodnia (C _w)									
3,17	3,67	3,92	5,00	5,75	6,33	8,17	9,50	.	11,83
.	14,08	17,17	21,83	.	30,50	46,25	.	.	.
Południkowa (C)									
3,00	3,33	.	4,67	5,83	6,42	7,83	9,25	11,08	.
.	.	16,33	22,83	.	.	.	61,17	.	.
4 Aktywność Słońca									
.	.	4,08	4,83	5,75	7,75	8,50	9,92	11,08	12,00
13,92	14,83	17,33	21,25	24,08	28,75	43,17	58,75	80,75	186,00
5 Parametry układu Słonecznego									
Siła przyływowo-odpływowa (ΔG)									
3,17	3,50	4,25	4,83	5,58	7,00	8,83	9,92	11,00	11,92
14,00	15,17	17,52	19,92	23,00	29,17	35,42	45,33	69,25	185,17
Przyspieszenie Słońca (s ^{''})									
2,24	3,50	4,00	4,83	5,58	7,75	.	10,00	14,83	12,75
13,75	.	17,83	20,00	22,83	29,25	35,25	43,83	80,67	182,92

Summary

The warming and cooling episodes of the history of climate in Europe were caused by the changes in total radiation, i.e. of the solar constant and the concentration of volcanic dusts in the stratosphere (Boryczka, 1998). Strong correlation of solar activity (solar constant) with the changes taking place in the solar system constitutes an evidence for the astronomical causes of the contemporary climate changes in Europe. The parameters of the solar system are also correlated with the variables characterizing climate: atmospheric circulation, air temperature, precipitation, river outflow, sea level, and even volcanic eruptions.

The analogous periods of solar activity, climatological variables, and parameters of the solar system indicate the indirect influence (by the intermediary of the solar constant) exerted by the changes in the solar system on the earth's climate. Side by side with this, the planetary tidal forces on the sun are much greater than the tides of the earth's atmosphere. Strong gravitational attraction of planets causes movement of the sun (having such a large mass) around the center of the solar system.

The spectrum of solar activity (and of the solar constant) is dominated by the planetary periods of revolution of the four largest planets around the sun, i.e. of Jupiter – 11.86 years, Saturn – 29.46 years, Uranus – 84.02 years, and Neptune – 164.79 years.

The domination is even more pronounced in the case of mutual location of pairs of planets: 19.86 years (Jupiter–Saturn), 13.8 years (Jupiter–Uranus), 12.78 years (Jupiter–Neptune), 45.36 years (Saturn–Uranus), 35.87 years (Saturn–Neptune), 171.47 years (Uranus–Neptune).

The planetary periods dominate, as well, in several dozens of measurement series of different variables in Europe. It is little probable that the presence of several very same periods in numerous chronological sequences, like those of air temperature in winter, summer, spring and autumn, is an accidental occurrence (despite the highly variable local circulation of air temperature). Probability of such an occurrence is namely close to zero.

The dependence (in physical terms) of solar activity on the parameters of the solar system is best demonstrated by the common period of 178.9 years of length. As proven in Boryczka (1993–1998), every 178.9 years the annual values are repeated of: distance from the mass center, resultant gravitational force of the planets, mass dispersion in the solar system, and other variables, as well as – with exception of some years – the values of Wolf numbers (the solar constant).

A similar feature is displayed by the Manley's series of the average annual air temperature values in Middle England in the years 1659–1973. In this case it would have been quite difficult to find a sequence of random numbers y_i , such that its 50 elements (1700–1750 and 1878–1928) following the index value of $i = 178$ were similar to the first 50 numbers in the sequence. Probability of such an occurrence is, again, in practice equal zero.

It must be emphasized that this fundamental, gravitational period of changes in the solar system is the resultant (superposition) of all the planetary periods. Thus, the periods determined in the climatological time series (significant according to the Fisher–Snedecor test), which are close to the parameters of the solar system, exist in reality and dare not self-generated nor random.

The mechanisms of transmission of changes in the solar system to the Earth–atmosphere system are not known as yet (except for the solar constant). In spite of this, the periodicity identified of the climatological variables – including the ones of close to 100 and 200 years of length – can be used in reconstruction of climate during the last centuries, as well as in the forecasts for the 21st century.

In the forecasts of the natural changes of climate in the 21st century the assumption was made that the cycles identified in the time series of measurements from the 18th–20th centuries will be still repeated in the next century.

The adoption of such an assumption is justified, as well, by the presence of the periods close to 100 and 200 years in the time series of palaeotemperature, determined on the basis of the ratio of oxygen isotopes $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (Johnsen et al., 1970), organic substance and calcium carbonates, deposited in the lakes in Poland (Boryczka, Wicik, 1994).

The periods close to 100 and 200 years are repeated many times over in the time series of sedimentological variables: palaeotemperature, organic substances, calcium carbonates, and the distances between the layers of sand in the mountain lake of Wielki Staw (the indicator of abundance of precipitation).

It is necessary to account in the forecasts of climate change in the next century for the long-term parts of the spectra, since the longer periods, and especially the ones close to 200 years, are characterised by high amplitudes during the seasons, of the order of 2°C .

Temporal trends are the deterministic components in the sequences of measurement results. In fact, they serve to interpolate (within the interval), and to extrapolate, the values beyond the interval of approximation. They define the general tendency of climate change (secular minima and maxima), allowing for the reconstruction of climate and for its forecasting. In view of the random components (the rests ε_i) it is not possible to predict a concrete value even just a year ahead. This concerns, as well, anyway, the daily and the annual cycles.

According to the statistical inference theory the hypothetical trend (in a population) is contained in the interval of $f(t) \pm 1.96\delta$ with probability of 95%. The rests $\varepsilon_i = T_i - f(t_i)$ have the probability distribution close to normal, with parameters $0, \delta$, where δ is the standard error.

A part of the global earth's climate changes is undoubtedly the effect of superposition of the short and long natural periods of air temperature; the quasi-periodical changes of climate in Warsaw in the years 1700–2100 in winter and in summer have been presented on diagrams in the earlier publications (Boryczka, 1993, 1998). They are the resultants (superpositions) of the statistically significant periods, defined already before. These curves approximate well the results of

measurements of air temperature in the interval of approximation 1779–1980. The dates of the extrema (the primary minima and maxima) coincide with the coolest and the warmest winter and summer seasons.

Linear regressions identified in the interval of approximation of 1779–1990 define the increasing air temperature trends: for winters $-0.9^{\circ}\text{C}/100$ years, and for summers $-0.2^{\circ}\text{C}/100$ years. These are the mean trends of natural changes of temperature in the years 1779–1990, which differ only a little from the ones determined on the basis of measurements.

The coldest winters, with the average temperatures of -7°C , will occur in the middle of the next century, at around the year 2050. They will be slightly milder than at the beginning of the 19th century, in view of the increasing anthropogenic component. On the other hand, cooler summers will take place earlier, during the first two decades of the 21st century.

On the basis of the spectrum of oscillations of the annual sums of precipitation in Warsaw in the years 1813–1990 the trends of precipitation changes were forecasted, as well, up to the year 2100 (Boryczka, 1993). Precipitation was forecasted by extrapolating the values of the temporal trend – the superposition of cycles ranging from 3.5 to 112.5 years – characterised by the multiple correlation coefficient $R = 0.67$.

According to the forecast of 1993, precipitation in the last decade of the 20th century would have to be lower than the secular norm of $P = 568.9$ mm. In the first two decades of the 21st century precipitation will oscillate around the average P value. The secular maximum of precipitation, close to 720 mm, will occur more or less in 2030, 2063, 2068. The lowest annual precipitation sums, equal approximately 400 mm, will most probably occur at around the years 2033 and 2040.

Existence of the real (deterministic) periods of air temperature and precipitation, and therefore also correctness of the respective statistical models, is demonstrated by the verifiability of the forecasts of climate of Poland in the 20th century. Thus, the forecasts concerning air temperature trends in Warsaw in the years 1980–1996, elaborated on the basis of data from the years 1779–1979, presented in the publication *Natural and anthropogenic changes of the Earth's climate in the 17th–21st centuries* (in Polish, Boryczka, 1993), were positively verified.

The secular minimum of air temperature, forecasted for the year 1980, occurred in fact in the same 1980. The annual average of 6.6°C in 1980, as measured at the weather station of Warsaw–Okęcie, is the lowest value in the 30–year period of 1966–1996. Then, in 1991, a secondary forecasted air temperature minimum took place, according to the results of measurements for the years 1982–1992:

Years	1989	1990	1991	1992
Temperature, $^{\circ}\text{C}$	9.2	9.4	8.0	8.8

Likewise, the forecasts for winters in Warsaw, based on the data for 1779–1990, and in Geneva – based on the data for 1768–1980 (Boryczka, 1993), were also positively verified. In accordance with the forecast for winters in Warsaw one of the series of warm winters ended in 1990. Since 1991 the winters in Warsaw are getting cooler. The extrapolated values of the temporal trend in the years 1987–1996 correspond to the increasingly colder and colder winters in Warsaw (here: at the Warsaw–Okęcie weather station):

Years	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
$T, ^{\circ}\text{C}$	-4.2	0.6	2.4	2.1	2.0	-0.3	0.1	-0.3	-1.3	-1.6

Similarly, the agreement of the forecasted annual precipitation sums for Warsaw (1813–1980), presented in Boryczka (1993), with the measurements made at Warsaw–Okęcie weather station, is quite satisfactory. The curve of the annual precipitation sums featuring decreasing tendency in the years 1981–1990 finds its counterpart in the drop of the measured precipitation sums, from 656 mm in 1981 down to 456 mm in 1990, followed by the increase to 652 mm in 1993.

The relatively good agreement of the forecasted values of air temperature with the measured ones – beyond the interval of approximation – bears the witness to existence of the cause–and–effect relations between the periods of the climatological variables and of the astronomic ones.

It will be possible to verify the forecasts of tendencies in climate change, prepared on the basis of temporal trends only with the statistical methods on the basis of a small random sample for at least 30 years. The forecasted secular minimum of air temperature or of precipitation – the

minimum of the temporal trend curve – may not occur in a concrete year, but in a definite time interval.

The methods of forecasting were also tested on the example of a short, 30-year measurement series from the town of Zamość in south-eastern Poland, for the time period of 1951–1980 (Stopa-Boryczka, Boryczka, 1998). The extrapolated values of the temporal trend – the resultant of the cycles of 3.25, 7.75 and 12.6 years – for the time period 1981–1990 (beyond the interval of approximation, i.e. 1951–1980), are close to the air temperature measurement results for the decade of 1981–1990. Attention should especially be paid to the synchronicity of the extrema of the smoothed curve of air temperature in Zamość with the minima and maxima of solar activity in the 11-year cycle. The maxima of air temperature occur at the dates of maxima of the sun spots, i.e. 1957, 1968, 1979, 1989.

The time sequences of air temperature in the recent centuries in Europe witness to the proposition that the contemporary climate warming might result to a large extent from natural causes. The upward trend of air temperature, especially during winters, is simply a resultant of superposition of natural cycles. Hence, for instance, the increasingly warm winters in Warsaw – by 1.03°C/100 years in the period of 1779–1990 are the effect of superposition of several periods: 3.5, 5.5, 8.3, 12.9, 18.0, 38.3, 66.7, 113.1 and 218.3 years. Their resultant (the regression line) explains the increase of air temperature during winters by 0.93°C/100 years. The anthropogenic variability accounts for the mere 0.1°C/100 years. Analogously, the increasingly warm winters in Geneva – by 0.5°C/100 years, and in Prague – by 0.25°C/100 years are the effect of superposition of the cyclical changes in air temperature.

The global climate warming (in Warsaw in the period 1779–1990 – on the average by 0.67°C/100 years for the whole year) may be the effect of an increase in solar activity. Solar activity (Wolf numbers) has been increasing in the time interval 1779–1993 on the average by 17.2 per 100 years. During the last two centuries it increased on the average by 34.5, that is – by more than 50% with respect to the mean value of the Wolf numbers.

The periodical climate fluctuations (warmings and coolings) are analogous to the periods of changes in solar activity – which are similar to the planetary periods P_j (of the revolution around the sun of the four largest planets and of their mutual positions), namely: 11.7, 12.8, 13.8, 19.9, 29.5, 35.9, 45.4, 84.0, 164.0 and 171.4 years. There is an interesting experiment consisting in determination of the temporal trend of the Wolf numbers:

$$W = a_0 + b \sin\left(\frac{2\pi}{P_j} t + c_j\right) + \dots$$

given the assumption of the planetary periodicity P_j , accounting for the modulation of the shortest period of 11.7 years by the longest periods of 84 and 171.4 years. The resultant of the planetary periods describes well the variability of solar activity (results of observations) in the years 1700–1993 (correlation coefficient $R = 0.8$).

The periodical fluctuations of air temperature correlated with the periods of solar activity and the planetary periods imply the proposition of a cooling of climate in the future, 21st century. The resultant of the air temperature periods in Warsaw during winters features a deep minimum in the years 2000–2100, for which the subsequent secular minimum of solar activity is forecasted. Climate coolings occurred during the extreme minima of the sun spots, Maunder's (1640–1710) and Dalton's (1780–1830). It was noticed (Charvatova, Strestik, 1984), that during the secular minima of solar activity (occurring every 179 years) the motion of the mass center of the solar system takes place along different orbits (the chaotic ones) than during the maxima (movement along the ordered orbits). The authors mentioned forecast a similar secular minimum of solar activity (and the corresponding climate cooling) for the middle of the next century.

Similarly, Sazonov and Malkentin (1994) suggest that the abnormally warm winters are caused by the specific coincidence of the largest planets (Saturn, Neptune, Uranus, which are in conjunction with the sun and the earth), deforming the heliosphere with their gravitational fields.

The natural fluctuations of climate are caused primarily by the variability of the solar constant. It changes during a year by $\pm 3.3\%$ due to the differences in the distance between the earth and the sun, i.e. in January (147 million km) – 2.01 cal·cm⁻²·min⁻¹, and in July (152 million km)

– 1.94 cal/cm²min. The solar constant depends upon the solar activity. Its maximum value falls within the interval of the Wolf numbers of 80–100 (Kondratiev, Nikolski, 1970).

The formula of K. Kondratiev and G. Nikolski (1970):

$$s = 1.903 + 0.0110.5W^{0.5} - 0.0006W, \quad \text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$$

implies that in the 11–year cycle the solar constant varies by 2.5%. The time series of the solar constant in the years 1700–1993 (obtained according to the formula quoted) is characterised by the average periodicity of 11.1, 34.2, 102.0 and 187.8 years (the minima of the rest variance, the method of regression sinusoids).

The trend of the solar constant in the years 1700–1993 is increasing and it can be the cause of the progressing warming of the earth's climate.

The changes taking place on the sun are transmitted onto the earth not only by the solar constant, but also through the ionosphere (atmospheric circulation).

It is characteristic that the absolute minimum of the temporal trend of air temperature in Europe during the last two centuries (1779–1990) coincides with the absolute minimum of solar activity (i.e. the weakest 13–year cycle of sun spots, 1811–1823), and simultaneously – with the secular maximum of volcanic activity. Volcanic eruptions featuring the highest indicator values of atmospheric dust (*DVI*, the *dust veil index* of H. Lamb, 1974) took place at the beginning of the 19th century: Tambora, with *DVI* = 3000, in 1815, and Cosequina, with *DVI* = 4000, in 1835.

The progressing global warming may also result from the decreasing tendency of the *DVI* index noted in the years 1680–1980, and the increasing time intervals between the consecutive eruptions. The value of the solar constant is certainly influenced by the fine dust, which remains in the atmosphere for many years.

The periodicity close to the secular one (120 years) and to the two–century– periodicity (180 years), which bears the strongest impact on the contemporary fluctuations of climate, appears also in the time series of the organic substance deposited in the limnological sediments from 10,000 years ago (in Holocene).

These long–term periods of temperature oscillations, solar activity, and volcanic eruptions (close to one and two centuries) are repeated many times over in the case of accumulation of organic substance.

When forecasting the changes of climate in the 21st century we can neglect the very slow changes, caused by the long term periods of fluctuation of the earth's orbit parameters (90 000 years, 40 000 years, and 21 000 years; Milanković, 1938). Likewise, the longest Holocene climate cycles can be done without (exceeding 1000 years), the ones that have been identified in the time series of deposition of the organic substance in the sediments of such lakes as: Wikaryjskie, Gościąż, and Święte (Boryczka, Wicik, 1994).

Their extrema (coolings and warmings) will most probably be repeated, since the parameters of the solar system undergo a similar periodicity. Yet, the forecasts cannot overlook the several–hundred–years–long Holocene periods, which shaped the climate of the earth in the last millennia. It is quite plausible that the contemporary warming is the effect of superposition of a very long Holocene climate cycle (its upward phase) with the anthropogenic variability.

The cyclical changes of air temperature, precipitation, atmospheric circulation, solar activity, and the parameters of the solar system, made use of in the identification of the astronomic causes of natural fluctuations of climate display similar rhythmicity (see Boryczka, 1993):

1 Air temperature (T):									
Warsaw									
.	3,42	4,17	4,75	5,17	7,75	8,42	9,25	11,17	12,83
13,92	15,08	17,50	21,75	24,83	28,50	40,92	60,08	89,67	195,17
Praha									
3,08	3,42	4,17	4,75	5,42	7,25	8,42	10,33	11,25	12,92
14,17	15,58	17,75	22,25	25,33	29,42	35,75	51,25	80,92	160,33
Middle England									
3,08	3,42	4,17	4,50	5,17	7,33	8,25	9,33	11,17	12,50
14,08	15,08	16,42	20,58	23,58	27,08	35,08	58,50	102,75	175,82
2 Precipitation (P)									
Warsaw									
2,83	3,50	4,25	4,83	5,33	8,08	.	9,67	10,67	11,67
13,75	.	16,33	22,25	.	28,00	39,33	56,42	112,50	.
Cracow									
3,25	3,67	4,00	4,75	5,00	7,92	.	9,83	.	.
.	14,67	16,83	.	.	.	41,83	.	73,08	.
3 Atmospheric circulation									
Western (C_w)									
3,17	3,67	3,92	5,00	5,75	6,33	8,17	9,50	.	11,83
.	14,08	17,17	21,83	.	30,50	46,25	.	.	.
Meridional (C)									
3,00	3,33	.	4,67	5,83	6,42	7,83	9,25	11,08	.
.	.	16,33	22,83	.	.	.	61,17	.	.
4 Solar activity (W)									
.	.	4,08	4,83	5,75	7,75	8,50	9,92	11,08	12,00
13,92	14,83	17,33	21,25	24,08	28,75	43,17	58,75	80,75	186,00
5 Parameters fo solar system									
The tidal force (ΔG)									
3,17	3,50	4,25	4,83	5,58	7,00	8,83	9,92	11,00	11,92
14,00	15,17	17,52	19,92	23,00	29,17	35,42	45,33	69,25	185,17
Acceleration of the sun (s'''')									
2,24	3,50	4,00	4,83	5,58	7,75	.	10,00	14,83	12,75
13,75	.	17,83	20,00	22,83	29,25	35,25	43,83	80,67	182,92

3.7. Prognozy zmian klimatu Warszawy¹

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

3.7.1. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Warszawy i ich uwarunkowania

W ostatnich 400 latach wystąpiły trzy główne ochłodzenia klimatu Ziemi o najmniejszej średniej globalnej temperaturze na półkuli północnej w pobliżu dat: 1600, 1700, 1830 (Groverman i Landsberg, 1979, Schönwiese, 1992).

Najbardziej poznane na podstawie danych instrumentalnych jest to ostatnie, największe ochłodzenie w Europie (Genewa – Boryczka, 1998, Berlin – Wójcik i inni, 1999) i Polsce (wg serii warszawskiej i krakowskiej). Trzeba zauważyć, że wystąpiło ono podczas trzech najsłabszych, wydłużonych (12-13-letnich) cykli aktywności Słońca (1798-1833). Ochłodzenie to pojawiło się w czasie najsłabszego 13-letniego cyklu plam słonecznych (1811-1823), podczas absolutnego minimum wiekowego (od 1700 r.).

Rok 1811 był szczególny pod względem stanu Układu Słonecznego, kiedy to odległość Słońca od środka masy Układu była najmniejsza (0,14 część promienia Słońca), a przyspieszenie Słońca – największe. Wtedy stała słoneczna zmniejszyła się o 0,5%.

To ostatnie globalne ochłodzenie klimatu (także w Polsce) wystąpiło podczas wzmożonej aktywności wulkanicznej, po największych eksplozywnych erupcjach wulkanów: 1803 – Cotopaxi ($DVI = 1100$), 1815 – Tambora ($DVI = 3000$), 1835 – Coahuila ($DVI = 4000$, maksimum absolutne).

W Polsce podczas ostatniego ochłodzenia klimatu (1798-1833) średnia roczna temperatura powietrza spadła, np. w Warszawie do 4,6°C w roku 1779 i do 4,8°C w 1829 r. Najmroźniejsze zimy wystąpiły w Polsce w latach 1779 i 1830 o średniej temperaturze -8,9 i -9,3°C.

Okazało się, że ochłodzenia i ocieplenia klimatu w ostatnich stuleciach są efektem nakładania się długich i krótkich cykli temperatury powietrza, skorelowanych z okresowymi zmianami aktywności Słońca (stałej słonecznej) – zależnych od parametrów Układu Słonecznego.

W rekonstrukcji i prognozach ochłodzeń i ociepleń klimatu fundamentalne znaczenie ma wykrycie prawdziwych (realnych) okresów zmiennych klimatologicznych (skutków) i zmiennych astronomicznych (domniemanych przyczyn). Identyfikacja przyczyn polega na sprawdzeniu, czy „cykliczność skutków i przyczyn jest taka sama”. W tym celu zastosowano metodę J. Boryczki „sinusoid regresji” (1998) wyznaczania prawdziwych cykli. Metoda ta polega na aproksymacji wyników pomiarów (także niekompletnych), wykonanych w dowolnych odstępach czasu kolejnymi sinusoidami regresji:

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

gdzie: Θ – okres, b – amplituda, c – faza.

Kluczowe znaczenie w identyfikacji przyczyn ochłodzeń i ociepleń klimatu ma planetarny 178,9-letni okres zmian parametrów Układu Słonecznego, aktywności Słońca (liczb Wolfa) i stałej słonecznej. Na przykład wykresy zmian: przyspieszenia Słońca (względem środka masy US, liczb Wolfa i stałej słonecznej z lat 1700-1879 i 1879-1993 (po upływie 178,9 lat) prawie pokrywają się .

Ten prawie dwuwiekowy okres wykryto (metodą „sinusoid regresji”) w ciągach czasowych temperatury powietrza w Europie i Polsce:

Miejscowość	Zima		Lato		Rok	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa (1779-1990)	218,3	1,8	208,2	0,3	223,9	1,1
Genewa (1768-1980)	216,6	1,0	147,4	0,7	166,3	0,7
Anglia (1659-1973)	170,2	0,6	220,8	0,4	175,6	0,4

Analogiczna cykliczność występuje w ciągach czasowych: aktywności Słońca (liczb Wolfa), erupcji wulkanów (DVI , $\Delta VI = DVI/\Delta t$, Δt – odstęp między erupcjami) i parametrów Układu Słonecznego (siła pływowa na Słońcu ΔG , dyspersja masy w Układzie Słonecznym B).

Zmienne	Okres (lata)
Aktywność Słońca (1700-1993)	187,3
Stała słoneczna (1700-1993)	187,0
Erupcje wulkanów (1680-1980):	
DVI (dust veil index)	257,0
ΔVI	206,7
Parametry Układu Słonecznego (1700-2000):	
Siły pływowe na Słońcu (ΔG)	170,1
Dyspersja masy (B)	175,1

Należy zaznaczyć, że okresy długie wyznaczone metodami statystycznymi

$$f(t_i + \Theta) = f(t_i) + \varepsilon_i$$

gdzie ε_i – składnik losowy) cechują się znaczną dyspersją (szerokość połówkowa pasma widma jest dość duża).

Dużym zakresem wahań charakteryzują się również około 100-letnie cykle temperatury powietrza w Europie i Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO):

Miejscowość	Okres	Zima		Lato		Rok	
		Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	1779-1990	113,1	0,7	91,2	0,4	104,7	0,2
Praga	1771-1980	98,5	0,5	76,9	0,8	80,9	1,0
Genewa	1768-1980	93,4	0,4	76,6	1,0	76,0	0,6
Anglia	1659-1973	99,1	0,6	101,9	0,3	102,5	0,5
NAO	1825-1997	105,1	0,6	83,2	0,5	–	–

Te długie okresy temperatury powietrza skorelowane są z podobnymi cyklami zmiennych astronomicznych i geologicznych:

Zmienne	Okres (lata)
Aktywność Słońca	1700-1993
Aktywność Słońca	1749-1993
Stała słoneczna	1700-1993
Erupcje wulkanów	1680-1980:
DVI (dust veil index)	91,8
ΔVI	90,5
Δt	118,6
Parametry Układu Słonecznego):	1700-2000
Siły pływowe na Słońcu (ΔG)	91,4
Dyspersja masy (B)	84,1
Odległość środka masy US od Słońca (S)	101,3
Okres obiegu Urana	84,0

O realności tych okresów: planetarnego 178,9-letniego i około 100-letniego świadczy też ich obecność w ciągach chronologicznych zmiennych sedymentologicznych: paleotemperatura – stosunku izotopów tlenu $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (Johnsen i inni, 1970) i substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych (Boryczka, Wicik, 1994):

Zmienne sedymentologiczne	Okres (lat)	
Paleotemperatura $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	180	78
Gościąż (substancje organiczne)	206	103
Gościąż (węglany wapnia)	180	87
Wikaryjskie (substancje organiczne)	200	-
Wielki Staw (warstewki piasku)	180	138

Stała słoneczna (s), warunkująca dopływ energii słonecznej do powierzchni Ziemi, zmienia się o 0,2% w cyklu 187,8-letnim i o 0,4% – w cyklu 102-letnim (w stosunku do $s_{\text{sr}}=1,94 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$):

$$s = 1,9433 + 0,002084 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{187,8}t - 1,0349\right)$$

$$s = 1,9435 + 0,004154 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{102,0}t - 2,1359\right)$$

Zakres zmian energii słonecznej w poszczególnych cyklach stałej słonecznej wynosi: cykl 187,8 lat – 5490 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, cykl 102,0 lat – 5950 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$. Nadwyżka energii słonecznej w czasie $0,5\Theta$ (gdy $s > a_0$) jest akumulowana głównie w głębszych warstwach oceanów.

Tym najdłuższym okresem stałej słonecznej, wywołującym wahania energii słonecznej $\pm 2745 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ i $\pm 2975 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, odpowiadają dwa najdłuższe cykle temperatury powietrza w Europie i Polsce.

W Polsce (i Europie) dominuje w zimie około 8-letni cykl temperatury powietrza:

$$\text{Warszawa (1779-1990)} \quad T = -2,65 + 0,756 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 0,6870\right)$$

$$\text{Wrocław (1851-1980)} \quad T = -0,72 + 0,983 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,6}t + 0,4152\right)$$

$$\text{NAO (1825-1997)} \quad \text{NAO} = 0,1315 + 0,4778 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,8}t - 0,1266\right)$$

$$\text{Liczby Wolfa (1700-1993)} \quad W = 51,93 + 10,40 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,1}t + 2,8659\right)$$

$$\text{Przyspieszenie Słońca (1700-2000)} \quad \ddot{s} = 0,667 + 1,130 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,8}t + 1,21\right)$$

Maksima tych zimowych cykli: temperatury powietrza, Oscylacji Północnoatlantycznej (NAO), aktywności Słońca i przyspieszenia Słońca przypadają na te same lata.

Okresy temperatury powietrza w Warszawie w poszczególnych miesiącach zawierają się w przedziałach: 4-8, 9-14, 15-18, 20-24, 27-35, 38-44, 47-66, 73-101, 147-207 lat.

Temperatura powietrza w obu półroczach: chłodnym (X-III) i ciepłym (IV-IX) ulega podobnej periodyczności:

X-III	Θ	4,0	13,0	18,0	22,0	67,0	98,0	205,0	lat
	b	0,25	0,30	0,26	0,22	0,30	0,18	0,86	°C
IV-IX	Θ	4,0	14,0	18,0	23,0	54,0	83,0	172,0	lat
	b	0,13	0,14	0,18	0,18	0,23	0,29	0,29	°C
I-XII	Θ	4,0	13,0	17,0	60,0	.	89,0	194,0	lat
	b	0,16	0,20	0,13	0,13	.	0,20	0,56	°C

Według oscylogramu korelacji (maksima lokalne współczynnika korelacji wielokrotnej) najdłuższy cykl średniej rocznej temperatury powietrza jest równy 217 lat.

Cykle rocznych wartości temperatury – 60 lat, aktywności Słońca – 59 lat i cyrkulacji południkowej – 61 lat są synchroniczne:

$$T = 7,45 + 0,133 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{60}t + 1,363\right) \quad 1778 \quad (t = 0)$$

$$W = 50,17 + 12,8 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{59}t - 1,901\right) \quad 1748 \quad (t = 0)$$

$$C = 95,09 + 19,68 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{61}t + 1,525\right) \quad 1890 \quad (t = 0)$$

Maksima tych sinusoid regresji występują w tym samym czasie:

T_{\max}	W_{\max}	C_{\max}
1780	1781	1768
1840	1840	1829
1900	1899	1890
1960	1958	1951
2020	2017	2012

Synchroniczne są także cykle średnich rocznych wartości temperatury powietrza – 89 lat i aktywności Słońca – 91 lat:

$$T = 7,46 + 0,199 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{89}t + 2,474\right)$$

$$W = 48,09 + 19,84 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{91}t + 0,012\right)$$

Ich minima przypadają na lata:

T_{\min}	W_{\min}
1632	1634
1721	1725
1810	1816
1898	1907
1988	1988
2077	2089

Minimum średniej rocznej temperatury powietrza w cyklu 194 lat:

$$T = 7,457 + 0,557 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{194}t + 3,042\right)$$

występuje w latach: 1636, 1830, 2024 – znacznie różniących się od dat minimów wiekowych aktywności Słońca w cyklu 179 lat: 1698, 1872, 2051.

Najdłuższymi cyklami temperatury powietrza w Warszawie w poszczególnych miesiącach są:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Θ	187,0	177,0	207,0	199,0	162,0	90,0	158,0	147,0	180,0	98,0	100,0	101 lat
b	1,40	0,75	1,05	0,62	0,60	0,53	0,38	0,22	0,24	0,40	0,30	0,36oC

Minima tych cykli o dość dużych amplitudach $2b$, od $0,44^{\circ}\text{C}$ (sierpień) do $2,8^{\circ}\text{C}$ (styczeń), przypadają na lata:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1825	1829	1820	1832	1848	1846	1845	1867	1832	1799	1807	1797
2013	2005	2027	2031	2010	1996	2003	2014	2012	1995	2007	1999

3.7.2. Okresowa zmienność opadów atmosferycznych w Warszawie

Cykliczność miesięcznych, sezonowych, półrocznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1813-1980 przedstawiono w tomie VII *Atlasu* (Boryczka, Stopa-Boryczka i inni, 1992).

Okresy miesięcznych sum opadów są zawarte w przedziałach: 3-6, 9-13, 15-23, 30-44, 51-67, 74-100, 113-124 lat.

Długości najdłuższych cykli (Θ) i ich amplitudy (b) wynoszą:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Θ (lata)	100,0	93,0	139,0	64,0	133,0	80,0	74,0	100,0	100,0	129,0	115,0	113,0
b (mm)	2,10	7,90	6,70	2,50	3,80	8,10	8,30	4,20	4,50	7,50	4,40	4,00

We wszystkich miesiącach (z wyjątkiem października) występuje okres 9-13 lat, zbliżony do 11-letniego cyklu aktywności Słońca:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\Theta \square$ (lata)	10,0	10,0	10,0	10,0	11,0	9,0	11,0	13,0	10,0	-	10,0	11,0
b (mm)	3,90	3,20	4,00	5,80	5,70	9,80	8,20	9,50	7,90	-	7,20	7,00

Na przykład w miesiącach I kwartału maksima cykli 10-letnich występują w latach:

I	1817	1827	1837	1847	1857	...	1917	1927	1937	1947	1957
II	1818	1828	1838	1848	1858	...	1918	1928	1938	1948	1958
III	1818	1828	1838	1848	1858	...	1918	1928	1938	1948	1958
IV	1818	1828	1838	1848	1858	...	1918	1928	1938	1948	1958

o maksymalnej aktywności Słońca W_{\max} w latach:

1817, 1830, 1837, 1848, 1860, ..., 1917, 1927, 1937, 1947, 1957.

W drugiej połowie XIX wieku i na początku XX wieku maksima opadów atmosferycznych występują podczas minimów aktywności Słońca W_{\min} : 1867, 1878, 1889, 1901, 1913, 1923.
Roczne sumy opadów atmosferycznych w Warszawie (1813-1980) ulegają okresowym zmianom:

Θ (lata)	6	16	19	58	112
$2b$ (mm)	28,4	36	31,6	30,9	30

Dwa najdłuższe cykle opisują równania sinusoid regresji:

$$P = 569,3 + 30,86 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{58}t - 2,930\right)$$

$$P = 565,0 + 30,00 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{112}t - 0,861\right)$$

Istnieje zbieżność czasowa ekstremów cykli: opadów atmosferycznych – 58 lat, temperatury powietrza – 60 lat i aktywności Słońca – 59 lat:

P_{\max}	T_{\max}	W_{\max}
1796	1780	1781
1853	1840	1840
1912	1900	1899
1970	1960	1958
2028	2020	2017

Ekstrema cyklu 112 lat opadów o amplitudach $2b = 60$ mm przypadają na lata: maksima – 1631, 1743, 1855, 1967, 2079, a minima – 1687, 1799, 1911, 2023.

Krzywa wiekowych zmian sum rocznych opadów atmosferycznych w latach 1700-2100 ma kilka głównych maksimów (P_{\max}) i minimów (P_{\min}), np.:

Data	P_{\max} (mm)	Data	P_{\min} (mm)
1756	654	1764	468
1852	684	1824	466
1965	690	1938	457
2025	641	2017	486

Maksimum opadów $P_{\max} = 690$ mm przypada w Warszawie na rok 1965, a minimum $P_{\min} = 486$ mm wystąpi w roku 2017.

Opady atmosferyczne w Warszawie są uwarunkowane przede wszystkim periodycznymi zmianami cyrkulacji zachodniej. Świadczą o tym analogiczne oscylogramy korelacji $R(\Theta)$ cyrkulacji zachodniej (C_w) i opadów (P) w latach 1891-1976, które otrzymano na podstawie ciągów chronologicznych średnich konsekwentnych 12-miesięcznych (o liczebności $n = 1021$).

Istotnym rozszerzeniem badań okresowości opadów atmosferycznych w Polsce jest praca A. Michalskiej (1998). Stosując tę samą metodę "sinusoid regresji" wyznaczania cykli (Boryczka, 1993) poddano analizie statystycznej 130-letnie ciągi chronologiczne (1861-1990) sezonowych i rocznych sum opadów w 6 miejscowościach w Polsce (Koszalin, Bydgoszcz, Poznań, Wrocław, Kraków i Warszawa).

Istotną statystycznie okresowością około 11-letnią cechują się sezonowe sumy opadów atmosferycznych w Polsce. Amplitudy $\Delta P = P_{\max} - P_{\min}$ w stosunku do średnich sezonowych ($\Delta P \cdot P^{-1}$ w %) są duże:

Miejscowość	Wiosna		Lato		Jesień		Zima		Rok	
	Θ	%	Θ	%	Θ	%	Θ	%	Θ	%
Koszalin	11,9	16,6	9,9	9,7	11,1	22,8	10,1	17,6	11,1	10,6
Bydgoszcz	10,9	22,4	11,3	17,7	12,2	23,9	10,0	24,7	11,6	12,4
Poznań	10,5	21,0	9,9	23,4	10,7	19,3	10,0	24,7	10,7	15,2
Warszawa	12,0	23,7	11,2	13,8	10,2	10,6	10,1	25,9	11,3	9,5
Wrocław	10,2	27,4	9,7	16,7	9,9	13,2	9,9	17,4	9,8	13,9
Kraków	10,2	18,7	10,3	12,9	10,9	17,1	9,8	12,3	9,8	5,4

Zakres zmienności sezonowych sum opadów w niektórych porach roku (wiosna, zima) przekracza 25%.

W przypadku Warszawy wyniki tych badań potwierdzają omówioną już cykliczność opadów atmosferycznych (z lat 1813-1980). Podobnie jest w przypadku opadów we Wrocławiu (1859-1980) i Krakowie (1850-1987), których cykliczność określono wcześniej (np. Boryczka, 1993).

Istnieje zbieżność prawdziwych okresów opadów atmosferycznych w Warszawie (1813-1980) z okresami otrzymanymi metodą autokorelacji (Kozuchowski, 1990), w paśmie dużych częstości zmian. Oto porównanie okresów opadów w Warszawie (1881-1980) z obliczonymi metodą autokorelacji:

Autorzy Atlasu	39,3	10,7	6,0	4,8	3,5	2,5	2,3	lat
K. Kozuchowski	39,9	11,0	6,7	4,7	3,4	2,7	2,4	lat

Roczne sumy opadów w Warszawie ulegają m.in. okresowości 39,3 lat, znacznie różniącemu się od cyklu 35-letniego, stwierdzonego przez E. Brücknera (1890).

Niedoskonałość metody autokorelacyjnej występuje w pasmach średnich częstości, a szczególnie małych częstości zmian (długich okresów).

Interesujące są też wyniki badań A. Ewerta (1984), dotyczące przestrzenno-czasowych zmienności opadów atmosferycznych w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem północno-zachodniej części Polski. Wyrównując np. ciągi chronologiczne opadów (1891-1980), cyrkulacji atmosferycznej (1891-1976), zachodniej składowej wiatru geostroficznego na poziomie 500 hPa w sektorze atlantycko-europejskim (1881-1976) autor wyjaśnia mechanizm występowania ekstremów wiekowych.

Innym wskaźnikiem opadów atmosferycznych są odpływy rzek. Istotne znaczenie w określeniu wiekowych odpływów rzek mają wcześniejsze prace J. Stachy (1968, 1970) oraz J. Jokiela i K. Kozuchowskiego (1989). J. Stachy stwierdza istotną statystyczną zależność między cyklami odpływów rzek i cyklami aktywności Słońca oraz zmianami wiekowymi cyrkulacji zachodniej, wschodniej, południowej wg klasyfikacji Wangenheima.

Natomiast J. Jokiel i K. Kozuchowski dokonali analizy spektralnej (autokorelacyjnej) odpływów rzek. Trzeba zaznaczyć, że tylko okresy krótkie (do kilkunastu lat), wyznaczone tą metodą, są wiarygodne.

Wcześniej zmienność opadów atmosferycznych w Polsce była badana przez Z. Kaczorowską (1962) z zastosowaniem analizy harmonicznej. Wyznaczanie jednak kolejnych wyrazów szeregu Fouriera jest mało „precyzyjną” metodą wykrywania okre-

sów opadów atmosferycznych. Okazuje się, że tylko niektóre z przyjętych *a priori* harmonik są przypadkowo równe prawdziwym okresom (np. cykl 70 lat).

3.7.3. Tendencje zmian klimatu Warszawy

Średnia globalna temperatura powietrza w latach 1890-1985 wzrosła od 0,2°C w strefie okołorównikowej do 5°C w strefie polarnej w czasie zim. Wzrost średniej globalnej temperatury, obliczonej na podstawie pomiarów temperatury powietrza i powierzchni mórz w latach 1861-1991, wynosi średnio 0,5°C (IPCC, 1990).

W Europie i Polsce są coraz cieplejsze przede wszystkim zimy: w Warszawie o 1°C/100 lat, Krakowie – o 1,4°C, Pradze – o 0,25°C, Genewie – o 0,5°C, Anglii Środkowej – o 0,3°C (tab. 1).

Tabela 1. Tendencje temperatury powietrza w Europie (i Polsce) w °C/100 lat
Table.1. The tendency of air temperature in Europe (and Poland) in °C/100 years

Miejscowość		Wiosna	Lato	Jesień	Zima	Rok
Warszawa	1779-1990	0,79	0,13	0,66	1,03	0,66
Kraków	1826-1990	0,99	0,32	0,81	1,38	0,93
Wrocław	1851-1980	0,37	-0,70	0,05	0,12	-0,04
Praga	1771-1980	0,00	-0,25	-0,11	0,25	-0,03
Zurych	1864-1980	-0,15	-0,90	0,38	0,65	0,03
Genewa	1768-1980	-0,12	-0,19	0,14	0,51	0,08
Poczdami	1893-1992	0,50	0,92	1,11	0,10	0,66
Anglia	1659-1973	0,21	0,01	0,19	0,32	0,18

Inaczej jest w sezonie letnim – coraz chłodniejszym w niektórych miejscowościach: w Pradze – o 0,25°C/100 lat, Genewie – o 0,19°C/100 lat. Średnie roczne wartości temperatury w: Wrocławiu, Pradze, Zurychu, Genewie mają prawie zerowe tendencje.

Wraz ze wzrostem średniej globalnej temperatury powietrza obserwuje się podnoszenie poziomu oceanów – średnio o 10-15 cm w ostatnim stuleciu.

Poziom Morza Bałtyckiego wg stanów wody w Świnoujściu w latach 1811-1990 podnosi się średnio o 4,5 cm/100 lat: wiosna – 1,4, lato – 3,8, jesień – 6,8, zima – 5,7 cm/100lat (Kozuchowski, Boryczka, 1997). Ekwiwalentem obecnej pokrywy lodowej (lody Antarktydy, Arktyki i lodowce górskie) jest różnica poziomu oceanów 59,1-83,3 m (Boryczka, 1998). Obecnie pokrywa lodowa na Ziemi stanowi 43,8-61,7 % masy lodu sprzed 18000 lat, kiedy to poziom Atlantyku obniżył się o 135 m (rekonstrukcje linii brzegowych w III fazie würm, Lamb, 1972-77, zob. Schönwiese, 1992). Średnie tempo wzrostu poziomu oceanów w ciągu tych 18 000 lat wynosi zatem 75 cm/100 lat.

Nie wiadomo, jaka część postępującego ocieplenia klimatu w XIX-XX wieku jest wywołana przyczynami naturalnymi, a jaka czynnikami antropogenicznymi. Istnieje jednak możliwość oszacowania składnika naturalnego $T'(t)$ trendu czasowego temperatury powietrza. Składnik naturalny $T'(t)$ – to wypadkowa nakładających się cykli naturalnych, skorelowanych ze zmiennymi astronomicznymi.

Jeżeli przez punkty empiryczne (t_i, T_i) poprowadzimy prostą regresji $T = A_0 + At$, a przez punkty „naturalne” (t_i, T'_i) prostą $T' = B_0 + Bt$, to różnica $a = A - B$ wskazuje tendencję antropogeniczną.

Postępujące ocieplenie klimatu Europy (i Polski) jest przede wszystkim efektem interferencji naturalnych cykli temperatury synchronicznych z cyklami zmiennych astronomicznych i geologicznych. Na przykład tendencja rosnąca temperatury powietrza

podczas zim w Warszawie $A = 1^{\circ}\text{C}/100$ lat jest wynikiem nakładania się kilku wykrytych cykli. Uwzględnienie tylko najdłuższych okresów: 38,3, 66,7, 113,1, 218,3 lat wyjaśnia część $B = 0,89^{\circ}\text{C}/100$ lat postępującego ocieplenia. Na czynniki antropogeniczne przypada zaledwie $0,1^{\circ}\text{C}/100$ lat. Podobnie jest podczas zim w Genewie, gdzie tendencję rosnącą $A = 0,5^{\circ}\text{C}/100$ lat wyjaśnia nakładanie się dłuższych okresów: 28,8, 46,7, 93,7, 216,6 lat ($B = 0,48$, $a = 0,02^{\circ}\text{C}/100$ lat).

Tendencje sezonowych, półrocznych i rocznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1813-1990, określone równaniami prostych regresji $P = C_0 + Ct$ (współczynniki regresji C w mm/100lat), wynoszą:

Zima	Wiosna	Lato	Jesień	P. Chłodne	P. Ciepłe	Rok
5,6	-7,2	-3,1	0,9	3,3	-6,7	-4,2

Sumy wiosenne i letnie opadów w Warszawie maleją średnio o $7,2$ mm/100lat i $3,1$ mm/100lat, sumy zimowych opadów są coraz większe – o $5,6$ mm/100lat. Tendencja rocznych sum opadów jest w Warszawie malejąca – $C = -4,2$ mm/100lat.

Postępujące ocieplenie klimatu np. Warszawy o $0,66^{\circ}\text{C}/100$ lat może być wywołane wzrostem aktywności Słońca (stałej słonecznej) w latach 1779-1993 – o $16,8/100$ lat.

$$T = 6,915 + 0,006572 t$$

$$W = 20,80 + 0,168364 t$$

Natomiast obserwuje się spadek aktywności wulkanicznej na Ziemi w ostatnich dwóch stuleciach (1680-1980); tendencję malejącą wskaźnika DVI ($-49/100$ lat), a rosnącą – odstępów czasu między erupcjami Δt ($1,9$ lat/100 lat).

Nie bez znaczenia jest coraz większa koncentracja masy w Układzie Słonecznym względem płaszczyzny ekliptyki (dyspersja masy maleje).

3.7.4. Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku

W prognozach zmian klimatu Polski przyjęto założenie, że ekstrema wykrytych cykli temperatury powietrza będą się powtarzać nadal, tak jak w XVIII-XX wieku. Do przyjęcia takiego założenia upoważnia obecność analogicznych cykli w ciągach czasowych: aktywności Słońca (stałej słonecznej) i parametrów Układu Słonecznego. Najdłuższe okresy około 100- i 180-letni powtarzają się wielokrotnie w ciągach chronologicznych paleotemperatury ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) i zawartości substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych.

Sprawdziły się dotychczasowe prognozy temperatury powietrza w Warszawie na podstawie danych z lat 1799-1980 – prognozowane minimum wiekowe średniej rocznej temperatury w roku 1980 (Boryczka, 1993). Średnia roczna temperatura $6,6^{\circ}\text{C}$ w roku 1980, wg pomiarów ze stacji Warszawa-Okęcie, jest najmniejszą wartością w 30-leciu 1966-1995.

Prognozy temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie w XXI wieku na podstawie danych: średnich sezonowych i rocznych z lat 1779-1990 i 1813-1990 przedstawiają wykresy (rys. 1-3) trendów czasowych $T = T(t)$, $P = P(t)$.

Są to wypadkowe z nakładania się (interferencji) zimowych i letnich cykli temperatury powietrza, wykrytych na podstawie danych z lat 1779-1990.

Najmroźniejsze zimy, o średniej temperaturze -7°C , wystąpią prawdopodobnie w połowie przyszłego stulecia – około roku 2050. Według wypadkowej letnich cykli temperatury powietrza chłodne lata wystąpią w pierwszych dwóch dekadach przyszłego wieku.

Postępującego globalnego ocieplenia nie można przypisać jedynie czynnikom antropogenicznym – antropogenicznej części efektu cieplarnianego, wywołanego wzrostem zawartości CO₂ w atmosferze. Wzrosty i spadki temperatury powietrza są skorelowane ze wzrostami i spadkami zmierzonej masy CO₂ w atmosferze (ppm), a nie ze wzrostami i spadkami CO₂ (wyrażonymi w Gt), pochodzącymi ze spalania paliw. Około 125 000 lat temu, podczas globalnego ocieplenia wystąpił wzrost koncentracji CO₂ w atmosferze podobny jak teraz. Świadczą o tym krzywe zmian stężenia CO₂ i paleotemperatury w ciągu ostatnich 160000 lat odtworzone na podstawie izotopu tlenu z rdzeni lodowych na stacji Wostok (WMO, 1990). Zmiany stężenia CO₂ w atmosferze (w ppm) i paleotemperatury (w °C) są synchroniczne. Maksimum sprzed 125 000 lat – to naturalne ocieplenie klimatu Ziemi, spowodowane wzrostem promieniowania słonecznego. Jest to maksimum promieniowania na krzywej M. Milankoviča (1938), otrzymanej z nakładania się okresów zmian parametrów orbity Ziemi.

Tak więc „równoległość” krzywych zmian stężenia CO₂ i paleotemperatury nie jest dowodem, że postępujące ocieplenie jest wywołane antropogenicznym efektem cieplarnianym. Wspiera to tezę, że zawartość dwutlenku węgla (zmierzona masa CO₂, ppm) zależy od temperatury wód oceanów.

Na podstawie widma oscylacji sum rocznych opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1813-1990 prognozowano również tendencję zmian opadów, sięgając po rok 2100 (Boryczka, 1993). Opady prognozowano ekstrapolując wartości trendu czasowego superpozycji cykli od 6 do 112,5 lat o współczynniku korelacji wielokrotnej $R = 0,67$.

Według prognozy z 1993 roku w ostatniej dekadzie XX wieku opady będą mniejsze od normy $\bar{P} = 568,9$ mm. W pierwszych dwóch dekadach XXI wieku będą oscylować wokół średniej \bar{P} . Maksimum wiekowe opadów 720 mm wystąpi mniej więcej w latach 2030, 2063, 2068. Najmniejsze sumy roczne, rzędu 400 mm, wystąpią prawdopodobnie w pobliżu dat: 2033, 2040.

O istnieniu realnych (deterministycznych) okresów opadów atmosferycznych o poprawności modeli statystycznych świadczy sprawdzalność prognoz zmian klimatu Polski w XX wieku. Dobra jest także zgodność z wynikami pomiarów (na Okęciu) prognozowanych rocznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie (1813-1980) przedstawionych w pracy J. Boryczki (1993). Krzywej sum rocznych o tendencji malejącej w latach 1981-1990 odpowiada spadek zmierzonych sum opadów: od 656 mm – w roku 1981 do 456 mm – w roku 1990, a następnie wzrost do 652 mm w 1993.

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

Postępem w badaniach wiekowych zmian klimatu jest także wyodrębnienie dwóch składników trendu czasowego: naturalnego i antropogenicznego. Obserwowane zmiany wiekowe np. temperatury powietrza można traktować jako wypadową zmian naturalnych uwarunkowanych aktywnością Słońca i zmian antropogenicznych wynikających z wpływu takich czynników, jak rozbudowa miasta, wzrost zawartości CO₂ (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 nieznanymi okresach, nie stwierdzonych na podstawie istniejących ciągów chronologicznych.

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

Trzeba zauważyć, że krzywa wiekowych zmian temperatury powietrza w stuleciu XXI znajduje się poniżej średniej rocznej z dwóch ostatnich stuleci. Biorąc jednak pod uwagę przyrosty antropogeniczne temperatury, które złagodzą jej naturalne spadki, może nie wystąpić zbytne ochłodzenie klimatu w przyszłym stuleciu. Oczywiście prognozy te – sondaż przyszłości – otrzymano przy założeniu, że ekstrema wykrytych cykli, które wystąpiły w XVIII-XX wieku, powtarzać się będą nadal.

Antropogeniczne przyrosty temperatury $\Delta t = at$ ulegają rocznym zmianom. Oto wartości współczynnika liniowego a (w $^{\circ}\text{C}/100$ lat) w poszczególnych miesiącach:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
A	0,59	0,01	0,21	0,21	0,07	0,03	0,01	-0,26	0,08	0,2	1,16	1,48

Antropogeniczne przyrosty temperatury $\Delta T = at$ w odniesieniu do roku 1778 ($t = 0$, $\Delta T = 0$) mają wartości ($^{\circ}\text{C}$):

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1900	0,72	0,01	0,26	0,26	0,01	0,04	0,01	-0,32	0,1	0,1	1,42	1,81
2000	1,31	0,02	0,47	0,47	0,16	0,07	0,02	-0,58	0,18	0,44	2,57	3,28
2100	2,91	0,03	0,08	0,68	0,23	0,1	0,03	-0,84	0,26	0,64	3,74	4,46

Składniki liniowe $a_0 + aT$ trendu temperatury powietrza w półroczach chłodnym (X-III) i ciepłym (IV-IX) oraz w roku (I-XII) wynoszą:

$$\begin{aligned} \text{X-III} & T = -0,1385 + 0,00483t + \dots \\ \text{IV-IX} & T = 14,52 + 0,00041t + \dots \\ \text{I-XII} & T = 7,263 + 0,00181t + \dots \end{aligned}$$

Antropogeniczne przyrosty temperatury powietrza w miesiącach półrocza chłodnego są dodatnie ($a > 0$, dominacja efektu cieplarnianego wynikającego ze wzrostu zawartości CO_2 w atmosferze), a w miesiącach półrocza ciepłego – bardzo małe lub ujemne ($a < 0$, dominacja absorpcji promieniowania słonecznego przez pyły naturalne lub przemysłowe pochodzące z emisji wtórnej).

Antropogeniczne przyrosty temperatury (ΔT) są największe w grudniu: $a = 1,48^{\circ}\text{C}/100$ lat, a spadki w sierpniu: $a = -0,26^{\circ}\text{C}/100$ lat. Średnie wartości stałej tendencji zmian wynoszą: półrocze chłodne – $a = 0,48^{\circ}\text{C}/100$ lat, półrocze ciepłe – $a = 0,04^{\circ}\text{C}/100$ lat, rok – $a = 0,19^{\circ}\text{C}/100$ lat. Przyrosty (ΔT w $^{\circ}\text{C}$) średniej rocznej temperatury powietrza nie są zbyt duże:

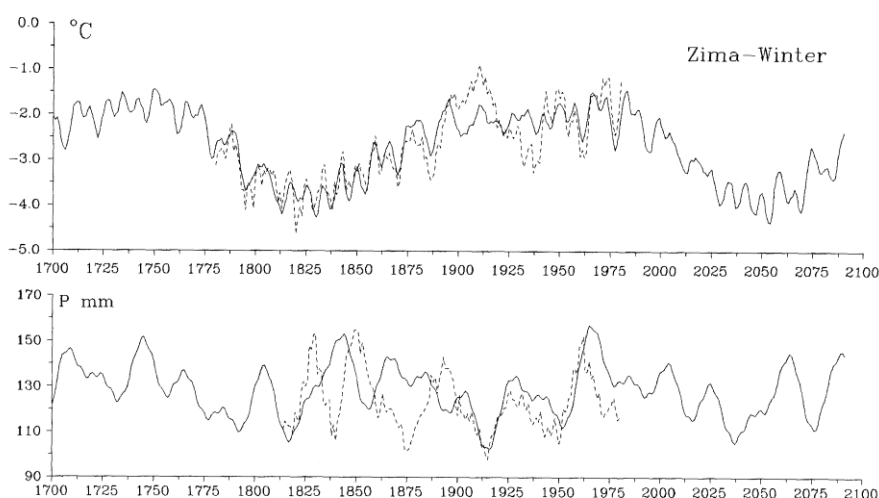
1900 – 0,23, 2000 – 0,42, 2100 – 0,61

W latach 2000, 2100 wyniosą one odpowiednio 0,4 i $0,6^{\circ}\text{C}$. Tendencja rosnąca temperatury powietrza może też wynikać, ze wzrostu akumulacji ciepła przez zabudowę (w dzień) – rozbudowy miast.

Te małe wartości przyrostów antropogenicznych ΔT temperatury powietrza w niektórych miesiącach wynikają prawdopodobnie z przeciwnego oddziaływania na pole temperatury powietrza pyłów – absorbujących promieniowanie słoneczne i dwutlenku węgla – wywołującego efekt cieplarniany atmosfery.

Prognozy temperatury powietrza i opadów atmosferycznych) w Warszawie w XXI wieku

Zima (XII-II)



Rys. 1. Zmiany temperatury powietrza T i opadów atmosferycznych P w Warszawie w XVIII-XXI wieku – zima

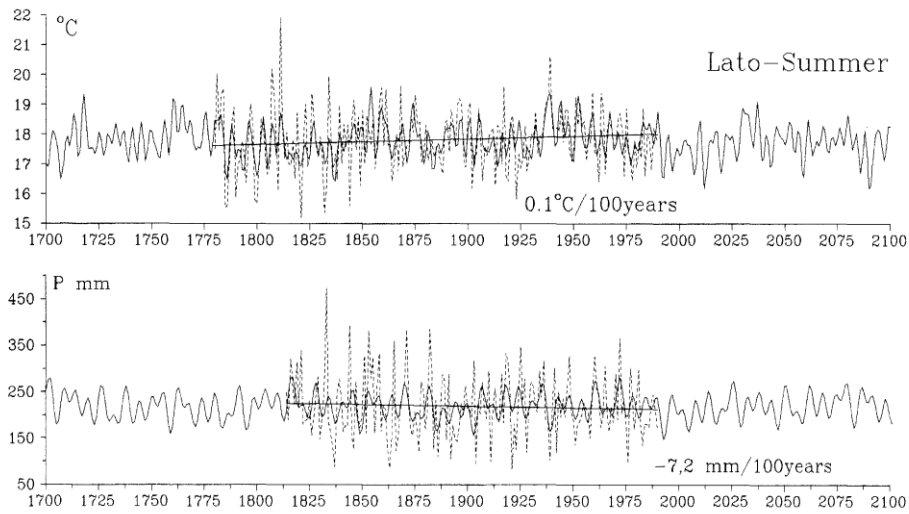
Fig. 1. Changes of air temperature T and precipitation P in Warsaw in 18th-21th centuries – winter

$$\begin{aligned}
 T = & -2,634 + \\
 & +0,5148\sin\left(\frac{2\pi}{2,6}t - 1,327\right) + 0,5715\sin\left(\frac{2\pi}{3,5}t + 0,5523\right) + 0,6238\sin\left(\frac{2\pi}{5,2}t + 0,05656\right) \\
 & + 0,4422\sin\left(\frac{2\pi}{5,7}t + 2,486\right) + 0,7067\sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 0,7303\right) + 0,7836\sin\left(\frac{2\pi}{8,3}t - 2,370\right) + \\
 & + 0,4829\sin\left(\frac{2\pi}{8,7}t - 0,3237\right) + 0,4078\sin\left(\frac{2\pi}{12,9}t + 0,1328\right) + 0,4560\sin\left(\frac{2\pi}{15,2}t + 2,318\right) + \\
 & + 0,4940\sin\left(\frac{2\pi}{18,0}t - 3,058\right) + 0,3645\sin\left(\frac{2\pi}{113,1}t + 2,040\right) + 0,8946\sin\left(\frac{2\pi}{218,3}t + 3,073\right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T = & -3,721 + 0,01025 t + \\
 & + 0,5218\sin\left(\frac{2\pi}{2,6}t - 1,332\right) + 0,5674\sin\left(\frac{2\pi}{3,5}t + 0,55448\right) + 0,6281\sin\left(\frac{2\pi}{5,2}t + 0,06189\right) \\
 & + 0,4266\sin\left(\frac{2\pi}{5,7}t + 2,484\right) + 0,7091\sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 0,7349\right) + 0,7349\sin\left(\frac{2\pi}{8,3}t - 2,368\right) + \\
 & + 0,4920\sin\left(\frac{2\pi}{8,7}t - 0,3439\right) + 0,4082\sin\left(\frac{2\pi}{12,9}t + 0,1191\right) + 0,4379\sin\left(\frac{2\pi}{15,2}t + 2,252\right) + \\
 & + 0,4685\sin\left(\frac{2\pi}{18,0}t - 3,097\right) + 0,50295\sin\left(\frac{2\pi}{113,1}t + 1,197\right) + 0,2097\sin\left(\frac{2\pi}{218,3}t + 2,497\right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P = & 93,11 - 0,03897 t + 11,20\sin\left(\frac{2\pi}{10}t - 1,024\right) + 8,672 \sin\left(\frac{2\pi}{21}t + 1,524\right) + 15,83 \sin\left(\frac{2\pi}{53}t + 2,623\right) + \\
 & + 0,643 \sin\left(\frac{2\pi}{100}t - 1,131\right)
 \end{aligned}$$

Lato (VI-VIII)



Rys. 2. Zmiany temperatury powietrza T i opadów atmosferycznych P w Warszawie w XVIII-XXI wieku – Lato

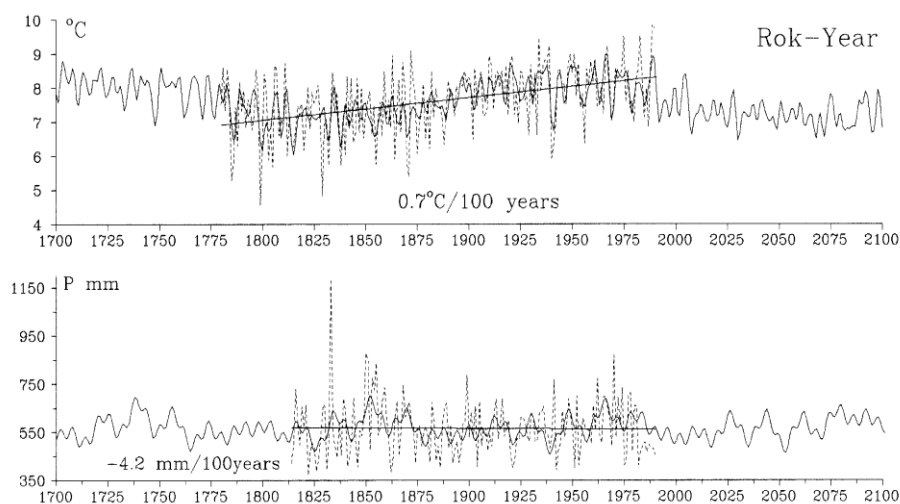
Fig. 2. Changes of air temperature T and precipitation P in Warsaw in 18th-21th centuries – Summer

$$\begin{aligned}
 T = & 17,810 + \\
 & +0,3927\sin\left(\frac{2\pi}{3,9}t + 0,1769\right) + 0,2666\sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 1,869\right) + 0,24845\sin\left(\frac{2\pi}{5,2}t - 1,224\right) + \\
 & +0,2253\sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t - 1,737\right) + 0,2747\sin\left(\frac{2\pi}{7,1}t - 1,389\right) + 0,08968\sin\left(\frac{2\pi}{7,4}t + 0,1413\right) + \\
 & +0,1762\sin\left(\frac{2\pi}{67,8}t - 0,2554\right) + 0,2644\sin\left(\frac{2\pi}{15,9}t + 1,476\right) + 0,2181\sin\left(\frac{2\pi}{22,5}t + 0,2921\right) + \\
 & +0,2304\sin\left(\frac{2\pi}{44,0}t - 3,034\right) + 0,2390\sin\left(\frac{2\pi}{91,2}t + 2,720\right) + 0,1317\sin\left(\frac{2\pi}{208,2}t - 2,804\right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T = & 17,690 - 0,00143t + \\
 & +0,3923\sin\left(\frac{2\pi}{3,9}t + 0,1814\right) + 0,2679\sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 1,875\right) + 0,2486\sin\left(\frac{2\pi}{5,2}t - 1,224\right) + \\
 & +0,2253\sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t - 1,737\right) + 0,2747\sin\left(\frac{2\pi}{7,1}t - 1,389\right) + 0,08944\sin\left(\frac{2\pi}{7,4}t + 0,1493\right) + \\
 & +0,1722\sin\left(\frac{2\pi}{67,8}t - 0,2480\right) + 0,2680\sin\left(\frac{2\pi}{15,9}t + 1,486\right) + 0,2183\sin\left(\frac{2\pi}{22,5}t + 0,3032\right) + \\
 & +0,2480\sin\left(\frac{2\pi}{44,0}t - 2,999\right) + 0,2500\sin\left(\frac{2\pi}{91,2}t + 2,264\right) + 0,2211\sin\left(\frac{2\pi}{208,2}t - 2,969\right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P = & 222,9 - 0,05795t + 25,24\sin\left(\frac{2\pi}{6}t - 1,746\right) + 15,04\sin\left(\frac{2\pi}{9}t - 1,717\right) + \\
 & + 18,91\sin\left(\frac{2\pi}{13}t - 0,3448\right) + 9,429\sin\left(\frac{2\pi}{54}t + 1,822\right) + 8,035\sin\left(\frac{2\pi}{122}t + 1,077\right)
 \end{aligned}$$

Rok (I-XII)



Rys. 3. Zmiany temperatury powietrza T i opadów atmosferycznych P w Warszawie w XVIII-XXI wieku – rok

Fig. 3. Changes of air temperature T and precipitation P in Warsaw in 18th-21th centuries – year

$$T = 7,606 +$$

$$+0,2652\sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 2,068\right) + 0,1975\sin\left(\frac{2\pi}{5,5}t + 1,195\right) + 0,1861\sin\left(\frac{2\pi}{5,7}t + 2,770\right) +$$

$$+0,1016\sin\left(\frac{2\pi}{56,5}t + 1,393\right) + 0,1769\sin\left(\frac{2\pi}{7,4}t - 0,6569\right) + 0,2681\sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 0,6979\right) +$$

$$+0,1601\sin\left(\frac{2\pi}{12,9}t + 0,3615\right) + 0,1532\sin\left(\frac{2\pi}{1214,0}t + 1,007\right) + 0,1676\sin\left(\frac{2\pi}{117,7}t - 3,014\right) +$$

$$+0,1229\sin\left(\frac{2\pi}{69,7}t + 2,516\right) + 0,5475\sin\left(\frac{2\pi}{223,9}t - 3,085\right)$$

$$T = 7,356 + 0,002366 t +$$

$$+0,2627\sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 2,059\right) + 0,1967\sin\left(\frac{2\pi}{5,5}t + 1,194\right) + 0,1822\sin\left(\frac{2\pi}{5,7}t + 2,775\right) +$$

$$+0,09961\sin\left(\frac{2\pi}{56,5}t + 1,378\right) + 0,1767\sin\left(\frac{2\pi}{7,4}t - 0,6535\right) + 0,2688\sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 0,7022\right) +$$

$$+0,1800\sin\left(\frac{2\pi}{12,9}t + 0,3563\right) + 0,1544\sin\left(\frac{2\pi}{1214,0}t + 0,9523\right) + 0,1561\sin\left(\frac{2\pi}{117,7}t - 3,010\right) +$$

$$+0,08633\sin\left(\frac{2\pi}{69,7}t + 2,265\right) + 0,38495\sin\left(\frac{2\pi}{223,9}t - 3,131\right)$$

$$P = 562,5 - 0,002481 t + 28,22\sin\left(\frac{2\pi}{6}t - 1,449\right) + 32,02\sin\left(\frac{2\pi}{16}t + 1,113\right) + 27,59\sin\left(\frac{2\pi}{19}t + 0,8765\right) +$$

$$+ 26,99\sin\left(\frac{2\pi}{58}t - 3,018\right) + 26,73\sin\left(\frac{2\pi}{112}t - 0,6907\right)$$

Summary

The purpose of the report is to present the account on the identification of the deterministic (periodical) components in the variability of the climate of Poland in time in the 18th-20th centuries. Along with this, the subject of the paper is constituted by the identification of the natural causes of the coolings and warmings of the climate in Poland, as well as the forecast of air temperature and precipitation in Warsaw in the 21st century. It was assumed in the forecasts of climate of Poland that the extremes of the identified cycles of temperature and precipitation will be repeated in the same way as in the 18th-20th centuries. Adoption of this assumption is justified by the presence of the analogous cycles in the time series of solar activity (solar constant) and the parameters of the solar system, as well as their synchronicity (coincidence of the extrema). The longest periods, of about 100 and 200 years, are repeated many times over in the chronological series of the palaeotemperatures ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) and the organic matter content of the lake deposits. The coldest winters, with average temperatures of approximately -7°C will most probably occur in the middle of the next century, at about the year 2050. According to the resultant of the summer cycles of temperature cool summers will occur in the first two decades of the next century. The secular maximum of -720 mm per annum – will occur more or less in the years 2030, 2063, 2068. The lowest annual precipitation, of the order of 400 mm, will most probably take place at around the years 2033 and 2040.

The global warming and the regional phenomena – disadvantageous for the inhabitants of the Earth – are usually attributed to human activity. They are first of all attributed to the anthropogenic part of the greenhouse effect in the atmosphere – the increase of the carbon dioxide (CO_2) content in the atmosphere, originating from the combustion of coal and other fuels.

The IPCC (1990) report, forecasting the increase of air temperature on the Earth in the year 2030 by 1.5 - 4.5°C , was too pessimistic. Soon afterwards, the catastrophic forecasts of the melting of Arctic and Antarctic ice caps, as well as the mountain glaciers, leading to the inundation of a part of continents by the ocean waters, appeared. The history of the Earth's climate and the simple calculations (Borvuczka, 1988) indicate that such a process would have lasted for at least a dozen thousand years.

Analogously, the cooling of climate in the 1940s, motivated to the undertaking of the studies on the influence of volcanic dust on climate. At that time, the catastrophic forecasts appeared of the complete glaciation of the Earth. It was forecasted that the drop in the global radiation sum by 1.5 - 1.6% would lead to the irreversible glaciation, proceeding from the poles towards the equator.

The subsequent report of the IPCC (1995) is more optimistic, the forecasted anthropogenic increments of temperature attain from 1 to 3.5°C by the year 2100 (i.e. the increase has been cut by half), after the dispersion of the solar radiation by the sulphate aerosols, originating from the emission of the sulphur dioxide, SO_2 , had been accounted for.

The circulation models – the $2 \times \text{CO}_2$, scenarios (i.e. the course of events after the doubling of the pre-industrial concentration of carbon dioxide – 280 ppm) have nowadays rather methodological significance. The numerical solutions to the equations of motion of the atmosphere, with consideration of the more important forces acting on the revolving Earth, the physical and chemical states of the air up to the level of the

stratosphere, constitute a significant advance in the development of the physics of atmosphere.

Yet, attribution of the progressing climate warming solely to the anthropogenic part of the greenhouse effect is an uncertain, poorly justified assumption. It is namely not known what part of the increasing trend in the air temperature is due to the natural factors, and what – to the anthropogenic ones. Little is known about the tendencies of atmospheric concentration of the natural trace gases (water vapour, natural CO₂), which are responsible for the essential part of the greenhouse effect – amounting to + 33°C in the pre-industrial years (the difference between the then temperature and the planetary one).

An essential role in the shaping of the Earth's climate will still be played, also in the 21st century, by the explosive volcanic eruptions, bringing about the appearance of the layer of volcanic sulphate aerosols in the stratosphere. This fact is being demonstrated through the long time series of the measurements of total radiation and air temperature, correlated with the indicators of concentration of volcanic dusts in the atmosphere. The inflow of solar energy to the surface of the Earth depends first of all on the solar constant, whose variability will condition the fluctuations of climate in the next century.

The results of the studies presented in this part of the Atlas indicate that one should interpret the contemporary changes of climate in the light of climate changes in the Quaternary and especially in the Holocene. These results point out also the need of elaborating the forecasts of both natural and anthropogenic tendencies of climate changes in the 21st century.

Changes of climate, its fluctuations and trends, and the respective forecasts, have high significance in planning of development of all the sectors of economy: agriculture, construction, energy, transport, etc.

That is also why it is most important to study the longest measurement series in Poland, serving as the basis for determining the range of variation of climate, air temperature and precipitation, and for probing into the future. It is still essential to identify the long-term changes and to elaborate the forecasts of climate with the use of the methods of modelling, due account being taken of the connections with the human activity. The global warming and the anomalies of climate in various zones of the globe threaten the life on Earth. The most disadvantageous changes include hurricanes, storms, as well as floods, landslides, avalanches, which bring altogether 85% of economic losses. Other extreme phenomena include earthquakes and volcanic eruptions. Large losses are also caused by droughts, heat waves (forest fires), and frosts.

The highest significance in the forecasts of climate changes and of the extreme phenomena in the 21st century must be attributed to the identification of the deterministic (periodical) components of the temporal trends in the meteorological variables. It is most important to determine the role of the fluctuations in the solar activity (solar constant) in the shaping (by the intermediary of the atmospheric circulation) of climate changes – including the extreme phenomena. The key problem is to better demonstrate that the fluctuations of the solar constant are conditioned by the changes in the parameters of the solar system, as evidenced by the statistical studies to date. This will make it possible to separate the natural shifts (warmings and coolings) of climate in Europe and in Poland. It will become possible to answer the question: what part of the increasing trend of air

temperature (progressing warming) can be attributed to natural factors (volcanic eruptions included), and what part – to anthropogenic factors (the proper greenhouse effect).

Thus, it is important to identify the short- and long-term cycles of: air temperature, precipitation, Baltic Sea level, and in particular – of the extreme phenomena, which in-

tensify during the climate warming: storms, floods, droughts, heat and frost waves, hurricanes, tornadoes, etc.

More detailed studies should also be conducted of the periodicity of the catastrophic volcanic eruptions and earthquakes, dangerous to life.

All these problems will still be studied at the Laboratory of Climatology of the University of Warsaw, both in the framework of own research projects and of the diploma works.

¹ Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Lorenc H., Kicińska B., Błażek E., Skrzypczuk J., 2000, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XIV, *Prognozy zmian klimatu* Warszawy, Wyd. WGRS UW, zmieniony rozdz. VI.

3.8 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

3.8.1. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na klimat Europy

Cyrkulacja atmosferyczna, warunkująca „dystrybucję” ciepła na Ziemi, jest głównym ogniwem mechanizmu przenoszenia zmian energii słonecznej. Kształtuje ona zmiany klimatu Ziemi od wielu tysięcy lat.

Cykliczne wahania i tendencje cyrkulacji atmosferycznej w Europie (wg klasyfikacji Wangerheima i Osuchowskiej-Klein)

Cykliczność i tendencje cyrkulacji atmosferycznej: wschodniej (C_E), zachodniej (C_W) i południkowej (C) zbadano na podstawie miesięcznych częstości ich występowania w latach 1891-1976 wg klasyfikacji Wangerheima. Ponadto analizie statystycznej poddano dwa ciągi chronologiczne wskaźnika cyrkulacji strefowej (C_I) – tj. różnicy ciśnienia (hPa) między równoleżnikami 35° i 65° na poziomie morza w latach 1899-1984 i liczby dni cyklonalnych typów cyrkulacji nad Polską (C_L) wg Osuchowskiej-Klein (w latach 1901-1975).

Cyrkulacja wschodnia wynika z ogólnej południkowej cyrkulacji atmosfery i jest związana z przemieszczaniem się antycyklonów dolnej atmosfery ze wschodu. Natomiast cyrkulacja zachodnia jest to strefowe równoleżnikowe przemieszczanie się układów barycznych nad Oceanu Atlantyckiego na kontynent Europy. Cyrkulacja południkowa zaś jest przede wszystkim uwarunkowana klinem wysokiego ciśnienia nad wschodnim Atlantykiem i Półwyspem Skandynawskim. Analogicznej klasyfikacji cyrkulacji atmosferycznej w sektorze Pacyfiku i Ameryki dokonał A.A. Girs (1948), wyodrębniając podobne makrotypy. Wskaźnik cyrkulacji strefowej jest miarą równoleżnikowego przepływu mas powietrza.

Cyrkulacja atmosferyczna (roczne liczby dni) ulega cykliczności od kilku do kilkudziesięciu lat. Najsilniejsze cykle – Θ o największych amplitudach ($2b$) zestawiono niżej:

Wschodnia	Θ	3,0	8,0	9,5	17,0	22,2	30,1	48,0		lat
	2b	25,1	24,1	23,5	45,6	37,1	39,6	50,3		dni
Zachodnia	Θ	5,7	8,2	9,4	17,3	30,8	44,6			lat
	2b	23,6	22,5	27,6	22,6	36,2	20,5			dni
Południkowa	Θ	3,0	5,7	7,8	11,0	16,5	22,9	61,4		lat
	2b	19,5	14,7	18,8	11,4	25,7	27,8	39,4		dni
Strefowa	Θ	2,7	3,6	4,9	8,9	12,4	16,2	23,6	76,3	lat
	2b	0,9	0,9	0,8	0,6	1,2	0,7	0,9	1,25	hPa
Cyklonalna	Θ	3,2	4,2	5,3	8,5	11,2	14,1	71,4		lat
	2b	17,8	18,7	13,1	15,3	13,5	16,3	14,2		dni

Wszystkie typy cyrkulacji ulegają cykliczności: 7,8-8,9 lat, 9,5-12,4 lat i 48,0-76,3 lat.

Cykliczność 7-8 letnią potwierdzają badania K. Kozuchowskiego (1989) korelacji między temperaturą powietrza i częstością makrotypów cyrkulacji – z przesunięciem czasowym ciągów chronologicznych.

Częstość (liczby dni w miesiącach) cyrkulacji wschodniej (C_E), zachodniej (C_W) i południkowej w kolejnych latach 1891-1967 – podane w publikacjach A.A. Girsy (1974) i L.A. Dydiny (1982) – zaczerpnięto z pracy K. Kozuchowskiego (1989). Miesięczne wartości wskaźnika cyrkulacji strefowej (C_E) i cyklonalnej pochodzą także z publikacji K. Kozuchowskiego (1989).

Na podstawie ciągów chronologicznych miesięcznych wartości badanych typów cyrkulacji wyznaczono gęste widma wyodrębniając poszczególne miesiące, sezony, półroczia i rok. Okresy Θ , wyznaczono z dokładnością 0,1 roku. Wyznaczono także cykle typów cyrkulacji na podstawie ciągów konsekwentnych 12-miesięcznych (sum dni lub średnich wartości), zmieniając okres sinusoid regresji co jeden miesiąc (0,0833 roku).

Tendencje wiekowych zmian tych typów cyrkulacji określają proste regresje względem czasu. Do oceny statystycznej istotności cykli posłużyły współczynniki korelacji wielokrotnej (R), a tendencji wiekowych – współczynniki korelacji r (Pearsona).

Cyrkulacja wschodnia w ciągu roku cechuje się cyklami od 2,4 do 64,5 lat. Maksimum w cyklu rocznym przypada na przełomie stycznia i lutego, a minimum – na przełomie sierpnia i września.

Cyrkulacja wschodnia w latach 1891-1976 ma tendencję rosnącą – wszystkie współczynniki regresji są dodatnie. Przyrosty liczby dni zmieniają się w ciągu roku od 1,6 – październik do 19,7 dni – sierpień.

Cyrkulacja zachodnia ulega periodycznym zmianom o długościach okresów od 2,3 do 88,0 lat. Interesujące są najdłuższe cykle cyrkulacji zachodniej, stwierdzone w maju i listopadzie, które są zbliżone do długich cykli aktywności Słońca. Na uwagę zasługują też cykle o długościach 29,4-35,3 lat, zbliżone do cykli Brücknera opadów atmosferycznych. We wszystkich porach roku występuje cykl o długości 30,3 lat (lato) do 43,7 lat (zima). Maksimum w cyklu rocznym przypada na początku stycznia, a minimum w lipcu.

Cyrkulacja zachodnia w latach 1891-1976 ma tendencję malejącą. Wszystkie współczynniki regresji są ujemne niezależnie od pory roku. Wahają się one od – 4,3 dni/100lat (w marcu) do – 18,8 dni/100lat (w sierpniu).

Cyrkulacja południkowa cechuje się okresowością od 2,3 lat do 85,8 lat. Najdłuższe cykle cyrkulacji południkowej mają długości od 58,4 do 85,8 lat. Ich średnia długość jest równa 57,7, a najdłuższy cykl rocznych liczb z cyrkulacji południkowej wynosi 61,4 lat. Jest on wypadkową cykli poszczególnych miesięcy z przedziału 39,9-85,8 lat.

Interesująca jest zbieżność długości cykli cyrkulacji południkowej w styczniu (58,4 lat) i aktywności Słońca (59,0 lat z lat 1749-1980). Cykle te są synchroniczne – ekstrema sinuso-

id występują w tych samych latach. Wspiera to hipotezę Haurwitza (1946) o wzmożonej cyrkulacji południkowej podczas maksimów aktywności Słońca. Zgodność występuje również w przypadku cykli 11-letnich cyrkulacji południkowej i aktywności Słońca.

Najdłuższymi cyklami cyrkulacji południkowej są: 77,4 lat (wrzesień) i 85,8 lat (grudzień). Najbardziej są one zbliżone od odpowiednich cykli aktywności Słońca (z lat 1749-1980: 92 lata, 93 lata).

Tendencja cyrkulacji południkowej w latach 1891-1976 zmienia znak w ciągu roku. Największy spadek liczby dni występuje w czerwcu (-5,9 dni/100lat) i lipcu (-5,2 dni/100lat). Natomiast największy wzrost liczby dni z cyrkulacją południkową występuje jesienią – we wrześniu (4,5 dni/100lat) i październiku (4,5 dni/100lat).

Cyrkulacja cyklonalna i jej cykliczne wahania oraz tendencje opracowano na podstawie liczby dni cyklonalnych typów cyrkulacji nad Polską (C_L) wg Osuchowskiej-Klein w latach 1901-1975. Materiały źródłowe pochodzą z pracy K. Kożuchowskiego (1989).

Cyrkulacja cyklonalna, podobnie jak wschodnia, zachodnia i południkowa (miesięczne, sezonowe, półroczne i roczne liczby dni), ulega cykliczności od kilku do kilkunastu lat. Najkrótszy cykl ma długość 2,2 lat, a najdłuższy – 63,5 lat (grudzień). Najdłuższe cykle są zbliżone do znanych cykli aktywności Słońca o długości 57,0 i 60,0 lat (z lat 1749-1980).

Duże znaczenie poznawcze, wyjaśniające cykl Brücknera opadów atmosferycznych, mają cykle o długości ok. 30-35 lat. Cyrkulacja cyklonalna ulega także cykliczności około 20-letniej takiej, jak najsilniejsze cykle niektórych parametrów Układu Słonecznego.

Przekonamy się później, że cykl około 8-letni (lato 7,9 lat i zima 7,4 lat) kształtuje okresowość 8-letnią temperatury powietrza w Europie (i Polsce). Najdłuższe cykle cyrkulacji cyklonalnej w porach roku mają długość od 31,3 lat (wiosną) do 78,7 lat (zimą). Maksimum tego typu cyrkulacji przypada w połowie stycznia, a minimum – w lipcu.

Cyrkulacja cyklonalna w latach 1901-1975 ma tendencję malejącą, z wyjątkiem maja, czerwca i października, kiedy to występuje tendencja rosnąca – nieistotna statystycznie. Największe spadki liczby dni z cyrkulacją cyklonalną występują w zimie (-13,3 dni/100lat) i w półroczu chłodnym (-18,5 dni/100lat). Roczne liczby dni z cyrkulacją cyklonalną malały w latach 1901-1975 średnio o 20,4 dni/100lat.

Cyrkulacja strefowa, czyli różnica ciśnienia (hPa) między równoleżnikami 35° i 65° na poziomie morza w latach 1899-1984. Gęste widma cyrkulacji strefowej zawierają cykle krótkie (paroletnie), średnie (kilkunastoletnie) i długie (kilkudziesięcioletnie). Długość cykli zmienia się od 2,2 do 80,0 lat (styczeń). Silne (o dość dużych amplitudach) są cykle o długościach 9,1-13,4 lat. Cykle te są zbliżone do cyklu 11-letniego aktywności Słońca, a także do cykli planetarnych: okresu obiegu Jowisza dookoła Słońca – 11,86 lat i jego wzajemnego położenia względem innych dużych planet: Urana – 13,81 lat i Neptuna – 12,78 lat.

Cyrkulacja strefowa cechuje się dużymi wahaniami rocznymi. Maksimum w cyklu rocznym przypada w grudniu, a minimum – w czerwcu.

Największymi spadkami indeksu cyrkulacji strefowej cechują się miesiące zimowe – od 1,88 do 4,64 hPa/100lat. Tendencja malejąca cyrkulacji strefowej w zimie wynosi średnio – 3,44 hPa/100lat. Średnia roczna wartość indeksu cyrkulacji strefowej maleje w latach 1899-1984 – średnio o 1,13 hPa/100lat.

Największą liczbę cykli wyznaczono na podstawie ciągów chronologicznych konsekwentnych 12-miesięcznych wartości (średnich ruchomych). Okresy Θ (lat) cyrkulacji wschodniej (C_E), zachodniej (C_W), południkowej (C), cyklonalnej (C_L) i strefowej (C_I) i odpowiadające im współczynniki korelacji wieloletniej przedstawiono poniżej:

C_E		C_W		C		C_L		C_I	
Θ	R	Θ	R	Θ	R	Θ	R	Θ	R
3	0,184	3,92	0,132	3	0,238	3,4	0,221	3,67	0,176
3	0,129	4,25	0,097	3	0,113	3,8	0,147	4,08	0,181
4	0,081	5,00	0,128	3	0,149	4,3	0,278	4,42	0,044
4	0,099	5,75	0,199	4	0,115	4,9	0,235	4,83	0,186
4	0,094	6,33	0,17	4	0,084	5,3	0,196	5,67	0,179
4	0,111	7,25	0,16	4	0,093	6,0	0,147	6,67	0,067
5	0,134	8,17	0,175	5	0,13	6,7	0,075	7,83	0,142
6	0,075	9,50	0,211	5	0,182	7,3	0,193	8,92	0,185
6	0,074	11,75	0,141	6	0,23	8,5	0,275	10,17	0,202
7	0,109	14,08	0,181	6	0,174	10,2	0,21	12,25	0,341
7	0,158	17,17	0,232	7	0,122	12,9	0,255	16,08	0,21
8	0,188	21,83	0,176	8	0,244	23,4	0,107	23,75	0,261
10	0,153	30,50	0,354	9	0,119	69,3	0,217	75,67	0,381
10	0,143	46,25	0,197	11	0,132				
12	0,124			16	0,339				
14	0,094			23	0,35				
17	0,393			61	0,491				
22	0,287								
30	0,344								
48	0,426								

Wyszczególnione cykle są istotne na poziomie ufności co najmniej 90% ze względu na dużą liczebność (C_E , C_W , $C - n = 1021$). Największymi amplitudami wahań cechują się cykle najdłuższe (46,25-75,67 lat). Współczynniki korelacji R sięgają 0,49 ($\Theta = 61,17$ lat) w przypadku cyrkulacji południkowej. Bardzo silne są cykle: 48-letni ($R = 0,43$) cyrkulacji wschodniej i 76-letni cyrkulacji strefowej ($R = 0,38$), a także 30-letni cyrkulacji zachodniej ($R = 0,35$), kształtujący opady atmosferyczne (cykl Brücknera).

Najważniejsze wyniki badań dotyczące cyklicznych wahań i tendencji cyrkulacji atmosferycznej w Europie pochodzą z tomu X *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* (Boryczka, Stopa-Boryczka i inni, 1987).

3.8.2. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na klimat Polski

Na klimat zachodniej i środkowej Europy (i Polski) dominujący wpływ mają dwa główne centra ciśnienia atmosferycznego: Wyż Azorski (antycyklon) i Niż Islandzki (cyklon). Te dwa centra baryczne uwarunkowane wymianą ciepła między wodami Atlantyku Północnego i lądem są ze sobą ujemnie skorelowane. Jeżeli ciśnienie w Wyżu Azorskim rośnie, to ciśnienie w Niżu Islandzkim – maleje i przeciwnie. Jest to tzw. Oscylacja Północnego Atlantyku (North Atlantic Oscillation, NAO), warunkująca oscylację strefową (równoleżnikową).

Jeżeli w Wyżu Azorskim ciśnienie rośnie (jednocześnie w Niżu Islandzkim maleje), to powstaje duża południkowa różnica ciśnienia atmosferycznego tj. duży gradient baryczny skierowany na północ. Wtedy powietrze znad Atlantyku przemieszcza się wzdłuż równoleżników z zachodu na wschód – nad obszar Polski.

Natomiast podczas spadku ciśnienia w Wyżu Azorskim (i jednocześnie wzroście ciśnienia w Niżu Islandzkim) gradient baryczny ma kierunek równoleżników (W lub E), to powietrze przemieszcza się wzdłuż południków (cyrkulacja południkowa) na północ lub południe. Wówczas nad obszar Polski napływa powietrze z południa lub północy.

Miarami natężenia Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) są różnice odchyleń od średniego ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza między Wyżem Azorskim a Niżem Islandzkim. Są nimi: wskaźnik Hurrela (1995) – różnica ciśnienia między Lizbo-

ną a Stykkisholmur i Rejkjavikiem podczas zimy morskiej XII-III, wskaźnik Rogersa (1984) – standaryzowane różnice ciśnienia między Ponta Delgata (Azory) i Akurcyri (Islandia) oraz wskaźnik Jonesa, Jonssona i Wheelera (1997) – różnice ciśnienia między Gibraltarem i południowo-zachodnią Islandią.

Badania nad wpływem Oscylacji Północnego Atlantyku na temperaturę powietrza w północno-zachodniej Polsce i na wybrzeżu Bałtyku zapoczątkowane zostały przez A.A. Marsza (1999) i rozszerzone w publikacjach A.A. Marsza (2001) i A. Styszyńskiej (2001).

Na dużą zależność pola temperatury powietrza w Polsce Północnej od wskaźnika *NAO* Hurrella w latach 1864-1995 wskazują współczynniki korelacji (np. Koszalin, I-III, $r = 0,70$). Wykazano też, że około 8-letnia okresowość temperatury powietrza jest spowodowana 8-letnim cyklem zmian natężenia i faz (dodatniej i ujemnej) wskaźnika *NAO*, zwłaszcza w zimie.

Wpływ Oscylacji Północnego Atlantyku na temperaturę powietrza w całej Polsce opisują zarówno proste regresji cechujące się znacznymi wartościami współczynników determinacji, jak też mapy izarytm współczynników regresji.

Dodatnie wartości współczynników regresji (i korelacji) świadczą, że zimy w Polsce są cieplejsze przy większych gradientach południkowych ciśnienia atmosferycznego, a chłodniejsze – przy mniejszych. Podczas intensywniejszej cyrkulacji strefowej (zachodniej) więcej ciepła w zimie znad Atlantyku Północnego jest przenoszone nad Polskę.

Nowością są prognozy zim w Polsce na podstawie temperatury wody w określonych akwenach Atlantyku Północnego (Marsz, 2001). Równania prognostyczne regresji średniego pola temperatury powietrza w Polsce (29 stacji) względem anomalii temperatury wody w trzech rejonach Atlantyku Północnego cechują się dużym wskaźnikiem determinacji R^2 prawie 80% (błędem standardowym estymacji 2,3°C). Umożliwia ono prognozę temperatury powietrza w zimie z około 6-miesięcznym wyprzedzeniem.

Prognozy zmian Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w XXI wieku

Klimat Europy Zachodniej i Środkowej (także Polski) jest kształtowany przez cyrkulację strefową (równoleżnikową), uwarunkowaną składową południkową poziomego gradientu pola ciśnienia atmosferycznego. ($-\frac{\partial p}{\partial \varphi}$). Jeżeli gradient baryczny $-\frac{\partial p}{\partial \varphi}$ jest dodatni (ciśnienie ku północy maleje) – to wiatr gradientowy ma kierunek równoleżników. Wtedy powietrze znad Oceanu Atlantyckiego napływa wzdłuż równoleżników nad kontynent Europy – z zachodu na wschód. W zimie napływa powietrze cieplejsze znad Oceanu, a w lecie chłodniejsze.

Równoleżnikowe przemieszczanie się mas powietrza znad Oceanu Atlantyckiego nad obszar Europy (i Polski) dobrze określa wskaźnik Oscylacji Północnego Atlantyku (North Atlantic Oscillation index, *NAO*), zdefiniowany przez P.D. Jonesa i innych (1997). *NAO* – to różnica ciśnienia (Δp) na poziomie morza między Gibraltarem i Islandią Południowo-Zachodnią. Jeżeli ciśnienie maleje ku północy ($NAO > 0$), to „transport” mas powietrza odbywa się w kierunku wschodnim (E), a gdy ciśnienie rośnie ku północy ($NAO < 0$) – w kierunku zachodnim (W).

Dotychczasowe wyniki badań autorów w tym zakresie przedstawiono w dwóch tomach *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*: w tomie XIII pt. *Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie* (1999) i tomie XIV pt. *Prognozy zmian klimatu Warszawy* (2000).

Widma wskaźnika NAO w latach 1825-1997

W tomie XV *Atlasu* rozszerzono badania okresowych zmian wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO) w latach 1825-1997, wyodrębniając także poszczególne miesiące. Widma wskaźnika NAO wyznaczono metodą „sinusoid regresji” w paśmie 2,1-175 lat (z odstępem $\Delta\Theta = 0,1$ roku):

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

Widma wskaźnika NAO w poszczególnych miesiącach, porach roku (wiosna – III-V, lato – VI-VIII, jesień – IX-XI, zima – XII-II i roku – I-XII przedstawiono na rys. 1a-3a.

Parametry cykli: okresy Θ , amplitudy b i fazy c oraz wariancje resztkowe ε^2 i współczynniki korelacji R zestawiono w tabeli. Są to cykle o najmniejszych wartościach wariancji resztkowej ε^2 (największych współczynnikach korelacji R). W widmach są obecne zarówno krótkie i średnie okresy, jak też bardzo długie:

Wiosna		Lato		Jesień		Zima		Rok	
Θ	R	Θ	R	Θ	R	Θ	R	Θ	R
5,7	0,23	4,7	0,19	3,6	0,17	5,0	0,22	5,0	0,20
6,5	0,22	7,8	0,17	7,3	0,22	7,8	0,27	7,8	0,29
11,1	0,13	10,3	0,20	8,8	0,17	8,3	0,24	9,0	0,17
13,4	0,21	11,1	0,09	16,6	0,24	11,3	0,13	11,2	0,16
23,9	0,19	13,8	0,14	24,2	0,20	15,5	0,17	13,1	0,20
45,5	0,16	39,5	0,14	29,9	0,20	37,1	0,16	29,3	0,13
106,3	0,09	83,2	0,17	75,3	0,16	71,5	0,17	37,0	0,09

Średnie roczne wartości wskaźnika NAO wykazują przede wszystkim cykliczność 7,8-letnią, cechującą się największym współczynnikiem korelacji $R = 0,29$.

Najdłuższe okresy obecne w seriach sezonowych wartości wskaźnika NAO wynoszą: wiosna – 106,3 lat, lato – 83,2 lat, jesień – 75,3 lat, zima – 105,2 lat. Natomiast średnie miesięczne wartości wskaźnika NAO cechują się okresowością od 77,1 lat w sierpniu do 144,2 w październiku.

Zmiany wskaźnika NAO w XVIII-XXI wieku

Najsilniejsze cykle wskaźnika NAO (o najmniejszej wariancji resztkowej) obecne w widmach zastosowano w prognozach Oscylacji Północnoatlantyckiej. Na podstawie interferencji tych cykli

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

z uwzględnieniem składnika liniowego at wyznaczono wartości wskaźnika NAO w latach 1700-2100: 1700-1824 – rekonstrukcja, 1825-1997 – aproksymacja, 1998-2100 – prognoza.

Wykresy zmian wskaźnika NAO w latach 1700-2100 w zimie, lecie i roku przedstawiono na rys. 1-3.

W prognozach tych przyjęto założenie, że w bieżącym stuleciu będzie występować analogiczna cykliczność jak w latach 1825-1997. Ponadto założono też, że składnik liniowy trendu czasowego at nie ulegnie zmianie w stuleciu XXI.

Wyniki obliczeń odniesiono do średnich konsekwentnych 11-letnich wskaźnika NAO w latach 1825-1997.

Opracowano również bardziej wiarygodne prognozy wskaźnika NAO, wynikające

z interferencji samych cykli (tab. 1):

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

bez składnika liniowego at .

Wykresy zmian wskaźnika NAO w latach 1700-2100 w poszczególnych sezonach i roku na podstawie tylko cykli przedstawiono na wykresach. Wykresy zmian wskaźnika NAO w przedziale aproksymacji 1825-1997 są takie same jak ze składnikiem liniowym.

Ocenami dokładności aproksymacji (dokładności trendów czasowych) są wariancje resztkowe ε^2 oraz współczynnik korelacji wielokrotnej R i współczynnik specjalny korelacji R_s określone wzorami:

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

$$R_s = \left(2 \sum_{i=1}^n y_i y_i' - \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)^{0,5} \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 \right)^{-0,5}$$

gdzie: y_i – wartości zmierzone, y_i' – wartości obliczone z funkcji trendu czasowego

$y_i' = f(t_i)$.

Oceny dokładności równań prognostycznych wskaźnika NAO wraz z wartościami średnich NAO_{sr} i wariancji s^2 zestawiono w tab. 1.

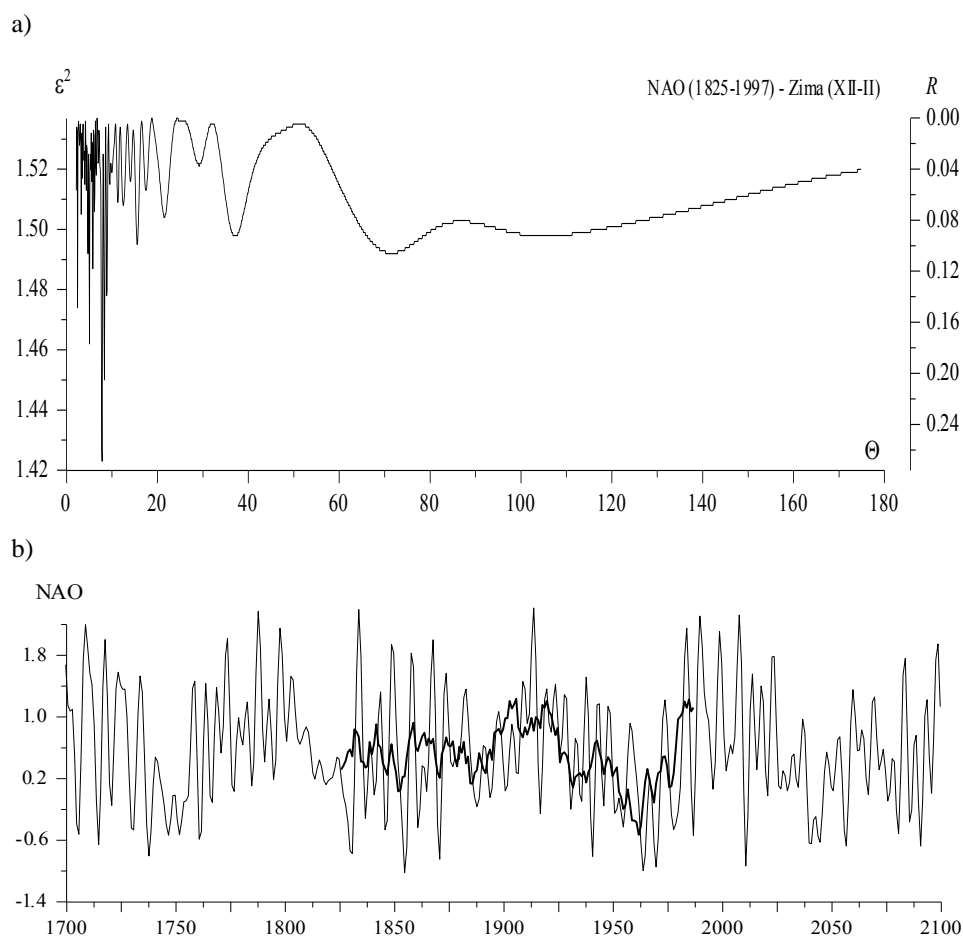
Coraz cieplejsze zimy są wywołane wzrostem cyrkulacji strefowej, tj. nasilającym się ocieplającym oddziaływaniem wód Oceanu Atlantyckiego (NAO rośnie średnio o 0,74/10 lat). Nieco cieplejsze lata są również uwarunkowane zmianami cyrkulacji strefowej. Po prostu słabnie ochładzający wpływ Oceanu Atlantyckiego na klimat Europy (NAO maleje średnio o 0,2/10 lat). Świadczą o tym porównania wykresów zmian wiekowych wskaźnika NAO i temperatury powietrza w Warszawie, Krakowie, Pradze i Genewie w tym samym przedziale czasu 1825-1997.

Prognozowane wartości wskaźnika NAO w zimie wykazują bardzo duże wahania na początku XXI wieku, głębokie minimum – w połowie stulecia i ponowny wzrost pod koniec XXI wieku. Można więc oczekiwać w najbliższych latach na przemian ciepłych i mroźnych zim i głębokiego naturalnego ochłodzenia w latach 2025-2050.

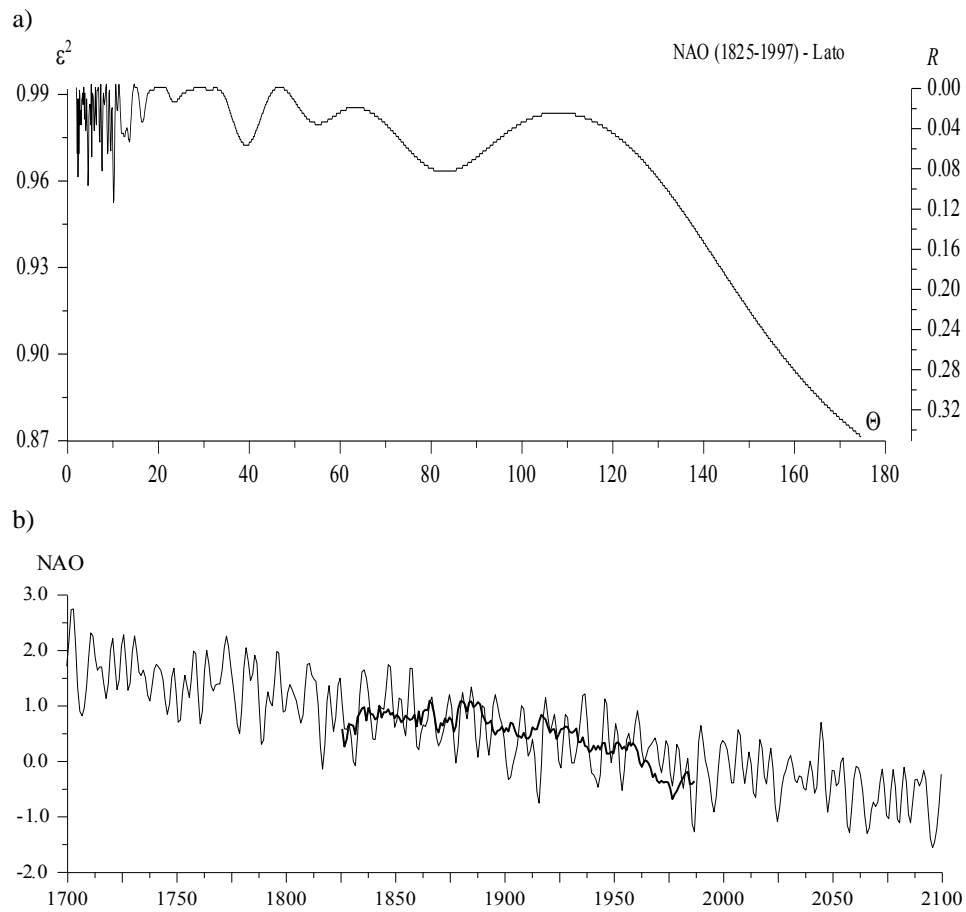
Natomiast prognozowane wartości wskaźnika NAO w lecie będą oscylować wokół średniej wiekowej. Zakres wahań temperatury powietrza w lecie z roku na rok będzie podobny jak w latach 1825-1997. Nie należy oczekiwać postępującego ocieplenia w lecie (tendencji malejącej wskaźnika NAO w lecie jak dotychczas, rys. 1-3).

Tabela 1. Okresy Θ , amplitudy b , fazy c wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku NAO w latach 1825-1997 (ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji) – wiosna-półrocze ciepłe
 The periods Θ , amplitudes b and phases c of the North Atlantic Oscillation index NAO in the years 1825-1997 (ε^2 - rest variance, R – coefficient of correlation) – spring-warm period
Table 1. Okresy Θ , amplitudy b , fazy c wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku NAO w latach 1825-1997 (ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji) – wiosna-półrocze ciepłe
 The periods Θ , amplitudes b and phases c of the North Atlantic Oscillation index NAO in the years 1825-1997 (ε^2 - rest variance, R – coefficient of correlation) – spring-warm period

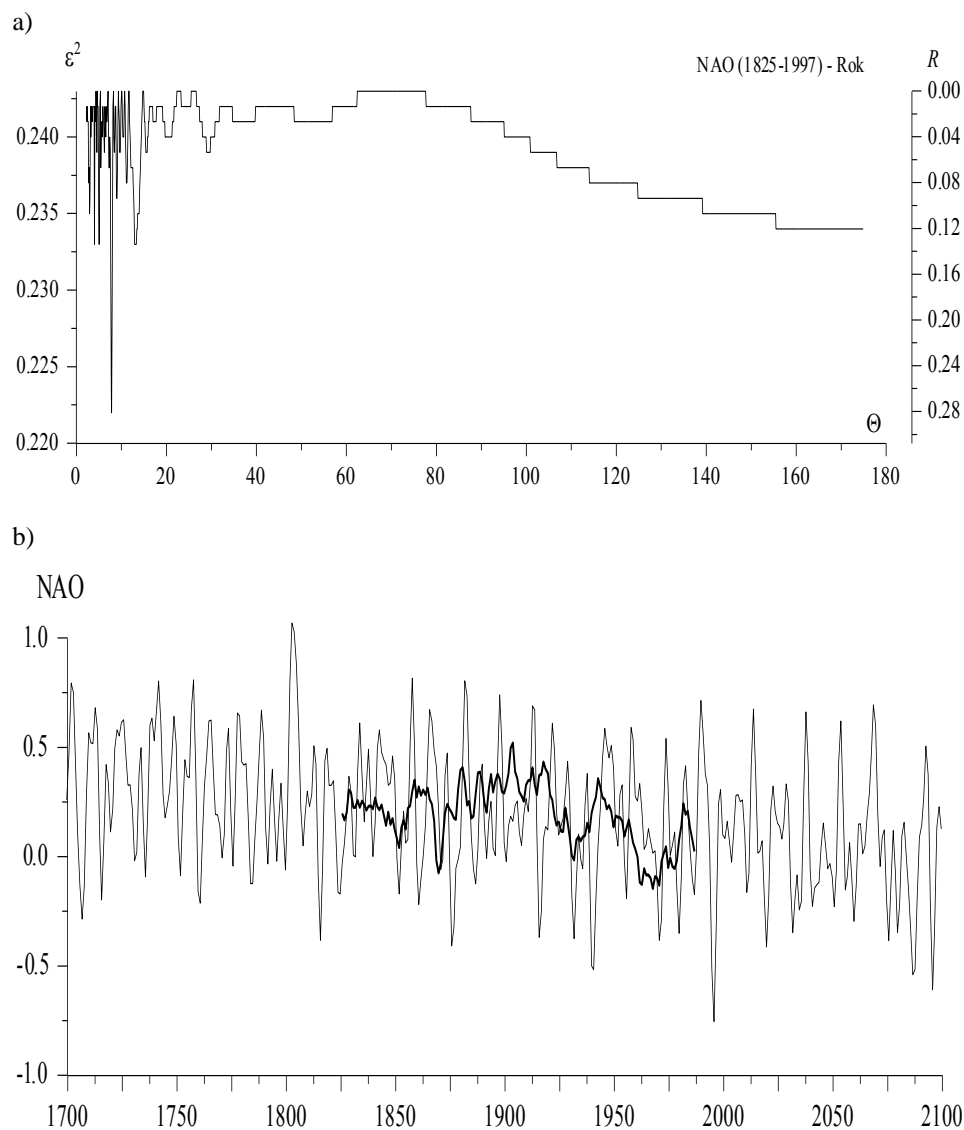
Zima (XII-II)					Lato (VI-VIII)				
Θ	b	c	ε^2	R	Θ	b	c	ε^2	R
4,7	0,306	-0,8877	1,492	0,170	4,7	0,264	0,4835	0,958	0,187
5,0	0,385	-2,9488	1,462	0,220	5,5	0,241	2,8063	0,968	0,157
5,8	0,291	0,8859	1,487	0,180	7,8	0,218	-0,2406	0,963	0,173
7,8	0,417	-0,1245	1,423	0,272	9,0	0,19	0,1523	0,969	0,154
8,3	0,316	2,3028	1,45	0,237	10,3	0,231	0,3288	0,952	0,202
8,8	0,26	-0,1067	1,478	0,195	11,1	0,048	-0,5951	0,984	0,093
11,3	0,167	-0,9475	1,509	0,134	12,2	0,177	-1,1792	0,976	0,129
12,5	0,217	2,6815	1,508	0,136	12,7	0,145	-1,2482	0,975	0,133
15,5	0,235	-0,6106	1,495	0,165	13,8	0,212	-0,0399	0,973	0,141
37,1	0,236	-2,145	1,498	0,158	39,5	0,163	2,9747	0,972	0,144
71,5	0,298	1,857	1,492	0,170	55,3	0,043	-0,3269	0,979	0,117
105,2	0,312	1,0075	1,498	0,158	83,2	0,107	-1,0707	0,963	0,173
Rok (I-XII)									
Θ	b	c	ε^2	R					
4	0,139	-1,4503	0,233	0,203					
5	0,137	-2,796	0,233	0,203					
8	0,209	-0,2000	0,222	0,294					
8	0,068	1,9571	0,239	0,128					
9	0,097	-0,3085	0,236	0,17					
11	0,097	2,6181	0,237	0,157					
13	0,139	3,0304	0,233	0,203					
16	0,087	-2,6204	0,239	0,128					
21	0,076	1,7585	0,24	0,111					
29	0,076	-2,6179	0,239	0,128					
37	0,063	2,8804	0,241	0,091					
53	0,064	0,3166	0,241	0,091					



Rys. 1. Wskaźnik Oscylacji Północnego Atlantyku (*NAO*) – zima (XII-II), a) Widmo wskaźnika *NAO* w latach 1825-1997, b) Zmiany wskaźnika *NAO* w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku
Fig. 1. The North Atlantic Oscillation index (*NAO*) – winter (XII-II), a) Spectrum of *NAO* index in the years 1825-1997, b) Secular changes of *NAO* index in the years 1700-2100 – forecasts in 21st centuries



Rys. 2. Wskaźnik Oscylacji Północnego Atlantyku (*NAO*) – lato, a) Widmo wskaźnika *NAO* w latach 1825-1997, b) Zmiany wskaźnika *NAO* w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku
Fig. 2. The North Atlantic Oscillation index (*NAO*) – summer, a) Spectrum of *NAO* index in the years 1825-1997, b) Secular changes of *NAO* index in the years 1700-2100 – forecasts in 21st centuries



Rys. 3. Wskaźnik Oscylacji Północnego Atlantyku (*NAO*) – rok, a) Widmo wskaźnika *NAO* w latach 1825-1997, b) Zmiany wskaźnika *NAO* w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku
Fig. 3. The North Atlantic Oscillation index (*NAO*) – year, a) Spectrum of *NAO* index in the years 1825-1997, b) Secular changes of *NAO* index in the years 1700-2100 – forecasts in 21st centuries

3.8.3. Ochłodzenie i ocieplenie klimatu Europy Środkowej kształtowane przez Niż Islandzki i Wyż Azorski

Z dotychczasowych badań długich ciągów pomiarów wynika, że w Polsce (Warszawa 1779-1998, Kraków 1826-1990), podobnie jak w innych miastach europejskich (Praga 1771-1980, Genewa 1768-1980), występuje kilka cykli temperatury powietrza o znaczących amplitudach. Są to cykle około 3-5, 7-8, 10-13, 73-113 lat i planetarny 178,9 lat. Ich obecność w większości ciągów chronologicznych (miesięcznych i sezonowych wartości) i synchroniczność wahań (zbliżone daty ekstremów), głównie 8, 10-13, 180-letniego, wskazuje, że cykliczność ta jest cechą pola temperatury powietrza w Europie (Boryczka, Stopa-Boryczka i inni, 2000).

Widma temperatury powietrza w latach 1659-1998

W ostatnich 400 latach wystąpiły trzy główne ochłodzenia klimatu Ziemi o najmniejszej średniej globalnej temperaturze na półkuli północnej w pobliżu dat 1600, 1700, 1830 (Groveman i Landsberg, 1979, Schönwiese, 1992).

Najbardziej poznane na podstawie danych instrumentalnych jest to ostatnie, największe ochłodzenie w Europie (Genewa – Boryczka, 1998, Berlin – Wójcik i inni, 1999) i Polsce (wg serii warszawskiej i krakowskiej). Trzeba zauważyć, że wystąpiło ono podczas najslabszych, wydłużonych (12-13-letnich) cykli aktywności Słońca (1798-1833). Ochłodzenie to pojawiło się w czasie najslabszego 13-letniego cyklu plam słonecznych (1811-1823), podczas absolutnego minimum wiekowego (od 1700 r.).

Rok 1811 był szczególny pod względem stanu Układu Słonecznego, kiedy to odległość Słońca od środka masy Układu była najmniejsza (0,13 część promienia Słońca), a przyśpieszenie Słońca – największe. Wtedy stała słoneczna zmniejszyła się o 0,5%.

To ostatnie globalne ochładzanie klimatu (także w Europie) wystąpiło podczas wzmożonej aktywności wulkanicznej, po największych eksplozywnych erupcjach wulkanów: 1803 – Cotopaxi ($DVI = 1100$), 1815 – Tambora ($DVI = 3000$), 1835 – Coseguina ($DVI = 4000$), maksimum absolutne.

Polsce podczas ostatniego ochłodzenia klimatu (1798-1833) średnia roczna temperatura powietrza spadła np. w Warszawie do $4,6^{\circ}\text{C}$ w roku 1779 i do $4,8^{\circ}\text{C}$ w 1829 r. Najmroźniejsze zimy wystąpiły w Polsce w latach 1779 i 1830 o średniej temperaturze powietrza $-8,9$ i $-9,3^{\circ}\text{C}$.

Okazało się, że ochłodzenia i ocieplenia klimatu w ostatnich stuleciach są efektem nakładania się długich i krótkich cykli temperatury powietrza, skorelowanych z okresowymi zmianami aktywności Słońca (stałej słonecznej) – zależnych od parametrów Układu Słonecznego.

W rekonstrukcji i prognozach ochłodzeń i ociepleń klimatu fundamentalne znaczenie ma wykrycie składników deterministycznych, tj. cykli zmiennych klimatologicznych (skutków) skorelowanych z cyklami zmiennych astronomicznych (domniemych przyczyn). Identyfikacja przyczyn polega na sprawdzeniu, czy „cykliczność skutków i przyczyn jest taka sama”. W tym celu zastosowano metodę J. Boryczki „sinusoid regresji” (1998) wyznaczania widm i okresów. Metoda ta polega na aproksymacji wyników pomiarów (także niekompletnych), wykonanych w dowolnych odstępach czasu kolejnymi sinusoidami regresji (ze zmiennym okresem $\Theta = 2,1, 2,2, \dots, n$):

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

gdzie: Θ – okres, b – amplituda, c – faza.

Okresy Θ – to minima lokalne wariacji resztkowej ε^2 .

Kluczowe znaczenie w identyfikacji przyczyn ochłodzeń i ociepleń klimatu ma planetarna 178,9 okres zmian parametrów Układu Słonecznego, aktywności Słońca (liczb Wolfa) i stałej słonecznej.

Ten prawie dwuwiekowy okres wykryto metodą „sinusoid regresji” w ciągach czasowych temperatury powietrza w Europie.

Miejscowość	Zima		Lato		Rok	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa 1779-1998)	-	-	171,6	0,30	-	-
Kraków (1826-1980)	-	-	168,3	0,34	-	-
Praga (1771-1980)	-	-	193,5	0,82	186,0	0,92
Genewa (1768-1980)	144,1	0,42	-	-	163,9	0,52
Anglia (1669-1973)	166,9	0,50	204,6	0,35	176,7	0,22

Analogiczna cykliczność występuje w ciągach czasowych: aktywności Słońca (liczb Wolfa), erupcji wulkanów (DVI , $\Delta VI = DVI/\Delta t$, Δt – odstęp między erupcjami) i parametrów Układu Słonecznego (siła pływowa na Słońcu, dyspersja masy w Układzie Słonecznym).

Dużym zakresem wahań charakteryzują się również około 100-letnie cykle temperatury powietrza w Europie i Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO).

Miejscowość	Zima		Lato		Rok	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa (1779-1990)	113,4	1,1	75,9	0,8	106,1	0,3
Kraków (1826-1995)	90,1	0,5	88,6	0,6	84,2	0,1
Praga (1771-1980)	99,3	0,6	76,7	0,5	81,4	0,3
Genewa (1768-1980)	93,1	0,2	72,3	0,6	75,8	0,4
Anglia (1659-1973)	99,3	0,5	102,5	0,2	103,3	0,2
NAO (1825-1997)	105,2	0,6	106,3	0,3	-	-

Te długie okresy temperatury powietrza skorelowane są z podobnymi cyklami zmiennych astronomicznych i geologicznych: np. z aktywnością Słońca (1700-1993) – 102,0 lat, stałą słoneczną (1700-1993) – 102,0 lata, odstępem czasu między erupcjami wulkanów (1680-1980) – 118,6 lat.

O „realności” tych okresów klimatycznych: planetarnego 178,9-letniego i około 100-letniego świadczy też ich obecność w ciągach chronologicznych zmiennych sedymentologicznych: paleotemperatury – stosunku izotopów tlenu $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (Johnsen i inni, 1970) i substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych (Boryczka, Wicik, 1994).

Stała słoneczna, warunkująca dopływ energii słonecznej do powierzchni Ziemi, zmienia się o 0,2% w cyklu 187,8-letnim i o 0,4% – w cyklu 102-letnim (w stosunku do średniej $\bar{s} = 1,94 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$).

Zakres zmian energii słonecznej w poszczególnych cyklach stałej słonecznej wynosi: cykl 187,8 lat – $5490 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, cykl 102,0 lat – $5950 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$. Nadwyżka energii słonecznej w czasie $\frac{\Theta}{2}$ (gdy $s > a_0$) jest akumulowana głównie w głębszych warstwach

lądów i oceanów.

Tym najdłuższym okresom stałej słonecznej, wywołującym wahania energii słonecznej $\pm 2745 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ i $\pm 2975 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, odpowiadają dwa najdłuższe cykle temperatury powietrza w Europie.

Najdłuższe okresy występujące w widmach temperatury powietrza w Warszawie (1779-1998), Krakowie (1826-1995), Pradze (1771-1980) i Genewie (1769-1980) w poszczególnych miesiącach, sezonach, półroczach i roku zestawiono niżej. Długość kilku cykli w seriach miesięcznych wartości temperatury powietrza jest zbliżona do cyklu planetarnego 178,9 lat (Warszawa: VII – 171,6 lat, Kraków: IV – 190,7 lat, VII – 180,7 lat, VIII – 182,9 lat, Praga: I – 192,6 lat, VI – 165,7 lat, X – 174,2 lat, Genewa: III – 199,4 lat, IX – 163,0 lat):

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XI
Warszawa	116,3	110,5	122,3	100,6	101,8	94,6	171,6	72,2	171,8	110,5	72,6	115,1
Kraków	101,3	87,0	90,0	190,7	72,4	98,4	180,7	182,9	150,5	114,6	79,7	80,2
Praga	192,6	95,7	74,4	157,1	137,9	165,7	142,5	79,0	70,1	174,2	166,5	72,8
Genewa	68,5	89,0	199,4	135,7	130,6	135,3	154,4	140,9	163,0	152,7	61,9	79,5
NAO	133,4	92,7	77,1	84,1	142,0	83,2	96,1	77,1	80,8	144,2	84,3	100,5

	III-V	VI-VIII	IX-XII	XII-II	X-III	IV-IX	I-XII
Warszawa	76,4	75,9	103,4	113,4	75,3	113,7	106,1
Kraków	82,6	168,3	191,5	90,1	86,5	174,0	84,2
Praga	158,9	193,5	163,9	99,3	87,6	183,8	186,5
Genewa	137,2	144,1	178,2	93,1	93,4	139,9	163,9
NAO	106,3	83,2	75,3	105,2	85,1	81,5	52,6

Cykl planetarny 178,9 lat najbardziej uwidacznia się w seriach średnich wartości temperatury powietrza w półroczu ciepłym (IV-IX): Kraków – 174,0 lat, Praga – 183,8 lat.

Interesujący jest około 8-letni cykl występujący we wszystkich widmach temperatury powietrza i wskaźnika NAO:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XI
Warszawa	7,7	7,7	7,8	8,2	8,3	8,0	7,7	7,7	8,0	7,7	8,1	8,3
Kraków	8,3	8,2	7,8	8,1	8,2	8,0	7,8	8,3	8,1	8,5	8,1	8,2
Praga	8,4	8,4	7,8	7,0	7,4	7,1	7,7	8,4	8,4	8,2	7,7	7,8
Genewa	8,4	8,4	7,8	7,5	7,5	7,8	7,9	7,4	7,8	7,6	7,6	7,5
NAO	7,8	7,7	7,5	6,4	7,7	8,2	6,5	8,3	7,3	7,7	8,1	7,9

	III-V	VI-VIII	IX-XII	XII-II	X-III	IV-IX	I-XII
Warszawa	7,8	7,8	8,0	8,3	8,1	8,3	7,8
Kraków	7,9	7,0	7,9	8,3	8,3	7,9	7,8
Praga	6,9	7,8	7,5	7,7	7,8	7,4	7,8
Genewa	7,8	7,8	7,6	7,7	7,8	7,4	7,8
NAO	8,0	7,8	7,7	7,8	7,7	7,3	7,8

Cykle około 8-letnie są najsilniejsze w widmach. To znaczy cechują się najmniejszymi wariacjami resztkowymi ε^2 (największymi współczynnikami korelacji R) i największym zakresem wahań $T_{\max} - T_{\min} = 2b$. Dotyczy to również cykli około 8-letnich wskaźnika NAO.

W widmach temperatury powietrza w: Warszawie, Krakowie, Pradze, Genewie i widmach

wskaźnika *NAO* w poszczególnych miesiącach, sezonach, półroczach i roku jest obecny także cykl około 11-letni, zbliżony do cyklu 11-letniego plam słonecznych (liczb Wolfa):

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XI
Warszawa	11,6	11,3	11,1	11,4	11,6	11,4	11,3	11,1	11,5	11,3	11,3	10,8
Kraków	11,4	11,1	11,0	11,4	11,4	11,7	11,1	11,5	11,6	11,0	10,8	11,0
Praga	10,2	11,5	10,4	10,7	11,3	10,1	–	10,9	12,4	11,0	10,6	10,2
Genewa	11,7	11,4	13,3	10,2	10,3	11,3	11,2	11,4	10,4	11,0	11,3	11,7
NAO	10,0	11,3	13,3	11,4	10,8	10,3	10,1	9,8	11,2	12,6	–	9,0

	III-V	VI-VIII	IX-XII	XII-II	X-III	IV-IX	I-XII
Warszawa	11,3	11,2	11,4	11,6	11,2	11,2	11,3
Kraków	11,2	11,4	10,8	11,3	11,2	11,4	11,3
Praga	11,2	9,7	10,4	10,1	10,3	9,7	10,3
Genewa	11,2	11,3	11,2	11,7	11,1	11,3	11,1
NAO	11,1	11,1	11,1	11,3	12,7	11,1	11,2

Są to jednak cykle znacznie słabsze od około 8-letnich. Świadczą one jednak o kształtowaniu temperatury powietrza poprzez wahania Oscylacji Północnego Atlantyku (*NAO*), warunkującej równoleżnikowy transport mas powietrza z nad ciepleszych (lub chłodniejszych) wód Oceanu Atlantyckiego nad obszar Europy (i Polski).

3.8.4. Prognozy temperatury powietrza w miastach Europy Środkowej (Warszawa, Kraków, Praga, Genewa) w XXI wieku

Końcowym „produktem” metody sinusoid regresji wyznaczania widm i okresów jest (tab. 2-9) funkcja aproksymująca $T = f(t)$ wyniki pomiarów:

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

uwzględniająca k – cykli, Θ_j – okresy, b_j – amplitudy, c_j – fazy.

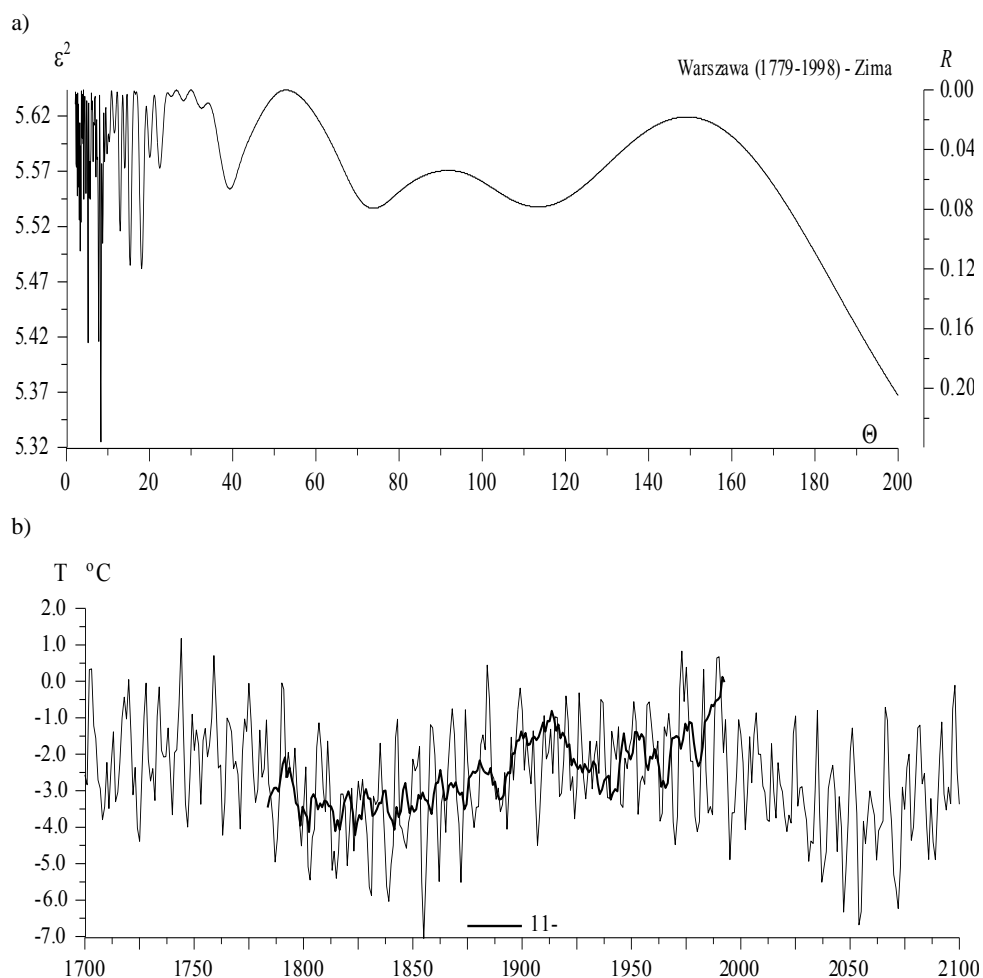
Interferencja już kilku najsilniejszych cykli (o najmniejszych wariancjach resztkowych ε^2 , największych współczynnikach korelacji R_j) dobrze opisuje zmiany temperatury powietrza w przedziale aproksymacji $0 \leq t \leq t_n$. Ekstrapolując jej wartości poza przedział aproksymacji ($t > t_n$) można prognozować zmiany temperatury powietrza w przyszłości – w stuleciu XXI. W prognozach tych przyjmuje się założenie, że cykle temperatury powietrza obecne w widmach z ostatnich dwóch stuleci będą się powtarzać nadal. Do przyjęcia takiego założenia upoważnia analogiczna cykliczność aktywności Słońca i zmian parametrów Układu Słonecznego. Ponadto najdłuższe cykle około 100- i 180-letnie występują w widmach zmiennych sedymentologicznych (zawartość substancji organicznych w osadach jeziornych, paleotemperatura – zawartość izotopu tlenu ^{18}O). W bardzo długich seriach tych zmiennych (holoceńskich) są to najkrótsze okresy.

Prognozy zmian temperatury powietrza w XXI wieku przedstawiają wykresy: Warszawa – rys. 4-6, tab. 2-3; Kraków – rys. 7-9, tab. 4-5; Praga – rys. 10-12, tab. 6-7; Genewa – rys. 13-15, tab. 8-9.

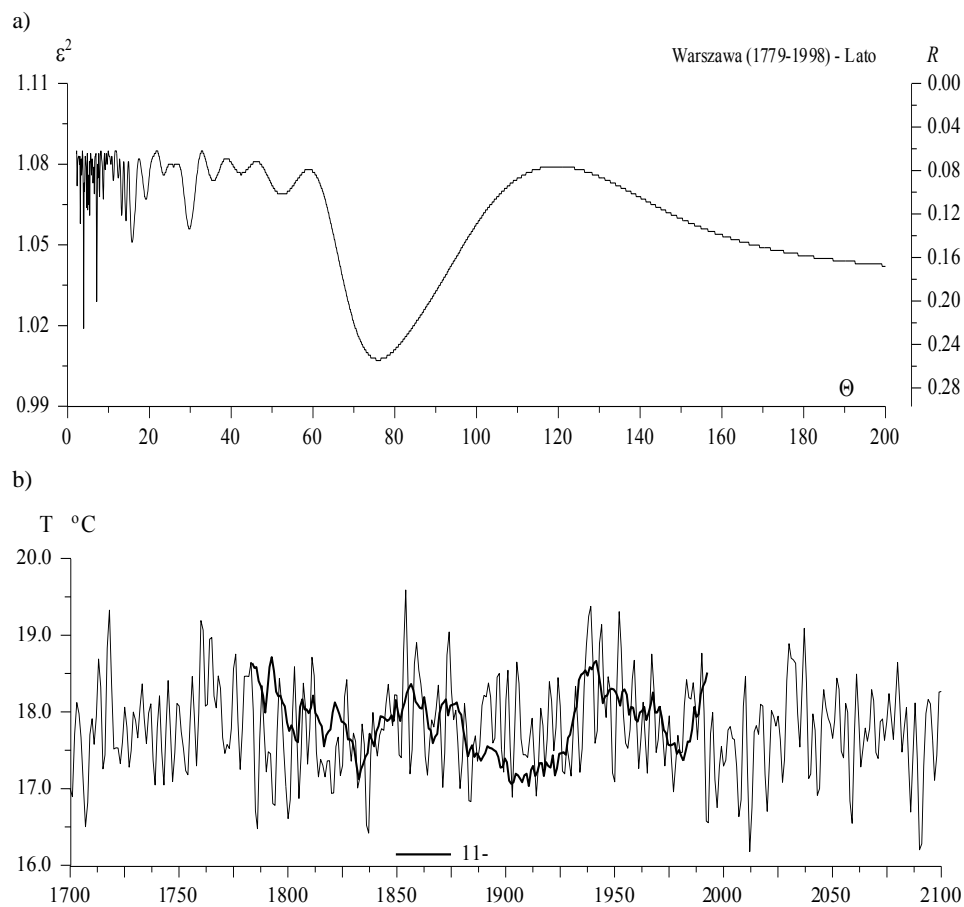
W XXI wieku można oczekiwać naturalnego ochłodzenia klimatu – największego w połowie bieżącego stulecia. Z prognoz wynika, że prawdopodobnie zakończy się seria ciepłych zim w Europie (i Polsce). Na naturalne ochłodzenie klimatu w XXI wieku wskazują także prognozy wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku (*NAO*). Z

prognoz wskaźnika *NAO* wynika, że osłabnie ocieplające oddziaływanie w zimie Oceanu Atlantyckiego na klimat Europy (i Polski). Zmniejszy się strefowy (równoleżnikowy) transport mas powietrza z zachodu na wschód.

To naturalne ochłodzenie klimatu Polski oczywiście będzie złagodzone przez czynniki antropogeniczne, tj. coraz intensywniejszy efekt cieplarniany atmosfery, wywołany wzrostem zawartości przede wszystkim CO_2 i metanu w atmosferze. Będzie ono również zmniejszone przez coraz intensywniejsze miejskie wyspy ciepła, spowodowane rozbudową miast.

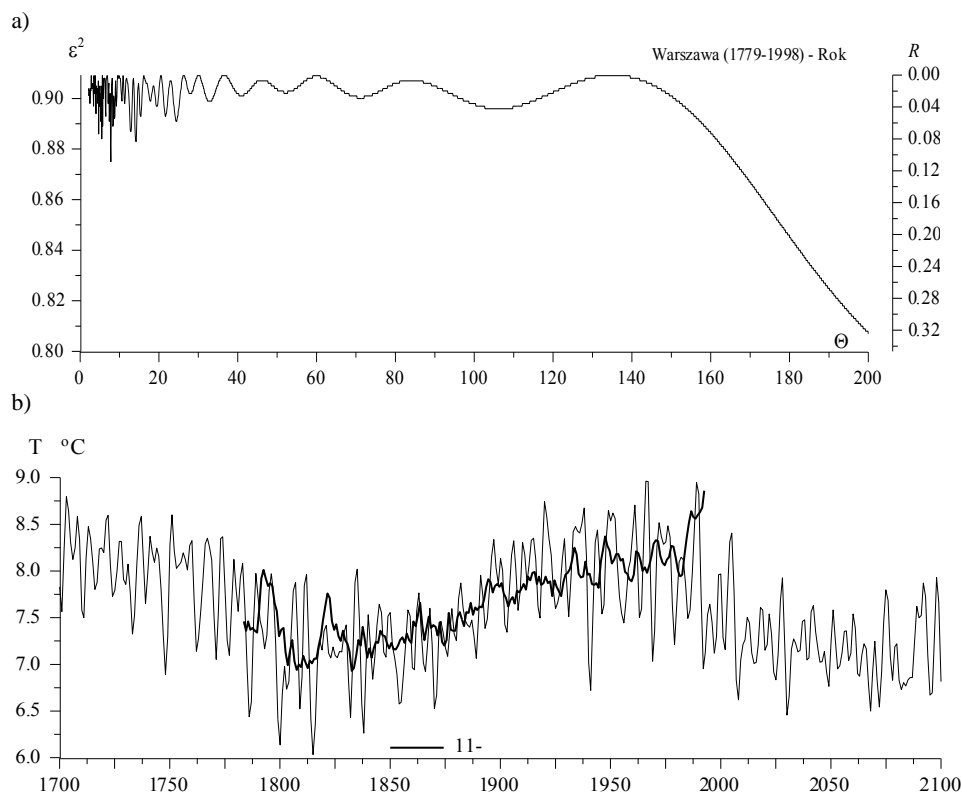


Rys. 4. Temperatura powietrza w Warszawie (1700-2100) – zima, a) Widmo temperatury powietrza w paśmie 2,1-200 lat, b) Prognozy temperatury powietrza w XXI wieku
Fig. 4. Air temperature in Warsaw (1700-2100) – winter, a) Spectrum of air temperature in the strip 2,1-200 years, b) Forecasts of air temperature in 21st century



Rys. 5. Temperatura powietrza w Warszawie (1700-2100) – lato, a) Widmo temperatury powietrza w paśmie 2,1-200 lat, b) Prognozy temperatury powietrza w XXI wieku

Fig. 5. Air temperature in Warsaw (1700-2100) – summer, b) Spectrum of air temperature in the strip 2,1-200 years b) Forecasts of air temperature in 21st century



Rys. 6. Temperatura powietrza w Warszawie (1700-2100) – rok, a) Widmo temperatury powietrza w paśmie 2,1-200 lat, b) Prognozy temperatury powietrza w XXI wieku

Fig. 6. Air temperature in Warsaw (1700-2100) – year, a) Spectrum of air temperature in the strip 2,1-200 years, b) Forecasts of air temperature in 21st century

Tabela 2. Okresy Θ , amplitudy b , fazy c temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1998 (ϵ^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji) – zima, lato

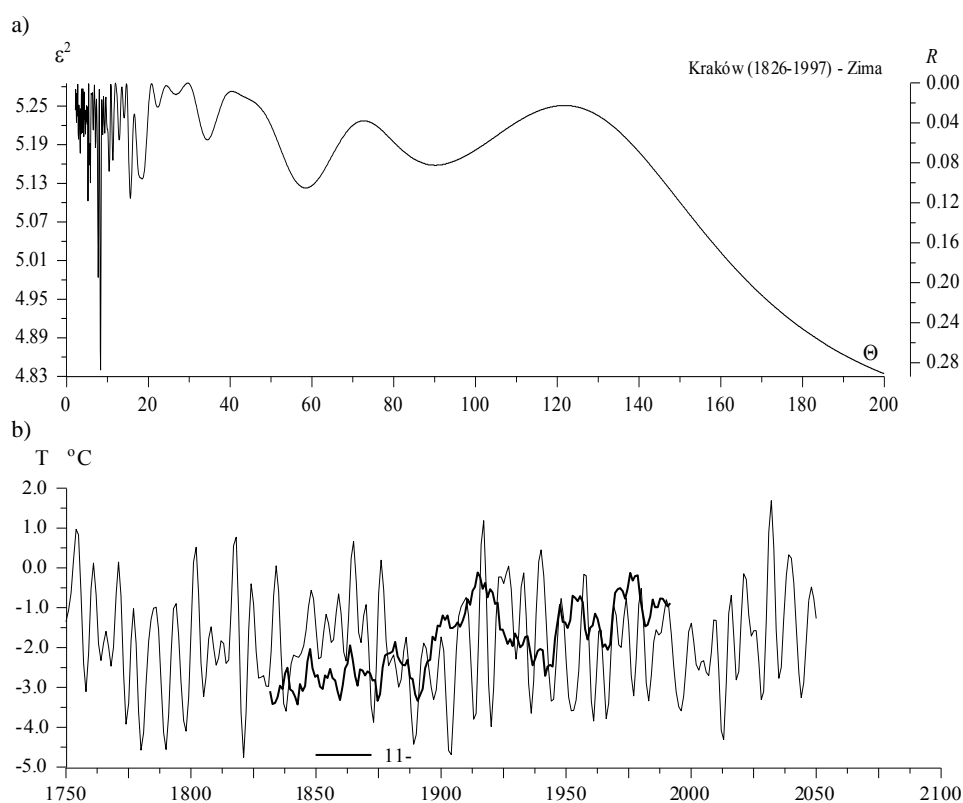
Table 2. The periods Θ , amplitudes b and phases c of air temperature in Warsaw in the years 1779-1998 (ϵ^2 – rest variance, R – coefficient of correlation) – winter, summer

Zima (XII-II)					Lato (VI-VIII)				
Θ	b	c	ϵ^2	R	Θ	b	c	ϵ^2	R
3,3	0,54	0,5628	5,498	0,167	3,1	0,221	-1,0854	1,058	0,17
5,2	0,663	0,5514	5,415	0,206	3,9	0,365	-0,7596	1,019	0,255
8,3	0,774	2,4912	5,325	0,242	5,4	0,224	2,6817	1,061	0,162
8,7	0,5	-2,6257	5,505	0,163	7,1	0,333	1,3701	1,029	0,236
11,6	0,308	2,8689	5,605	0,095	7,8	0,167	-0,6214	1,068	0,141
12,9	0,46	1,1794	5,516	0,157	11,2	0,127	0,9408	1,074	0,12
15,3	0,473	1,1727	5,485	0,174	13,2	0,173	1,37	1,061	0,162
18,1	0,485	1,8547	5,482	0,175	14,2	0,159	-1,1011	1,059	0,168
39,3	0,324	-2,5051	5,554	0,134	15,7	0,218	-0,8601	1,051	0,188
73,8	0,218	1,959	5,537	0,145	29,8	0,218	1,5678	1,056	0,176
113,4	0,516	3,1269	5,538	0,144	52,4	0,123	1,2286	1,069	0,137
					75,9	0,378	-2,2482	1,007	0,275

Tabela 3. Okresy Θ , amplitudy b , fazy c temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1998 (ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji) – rok

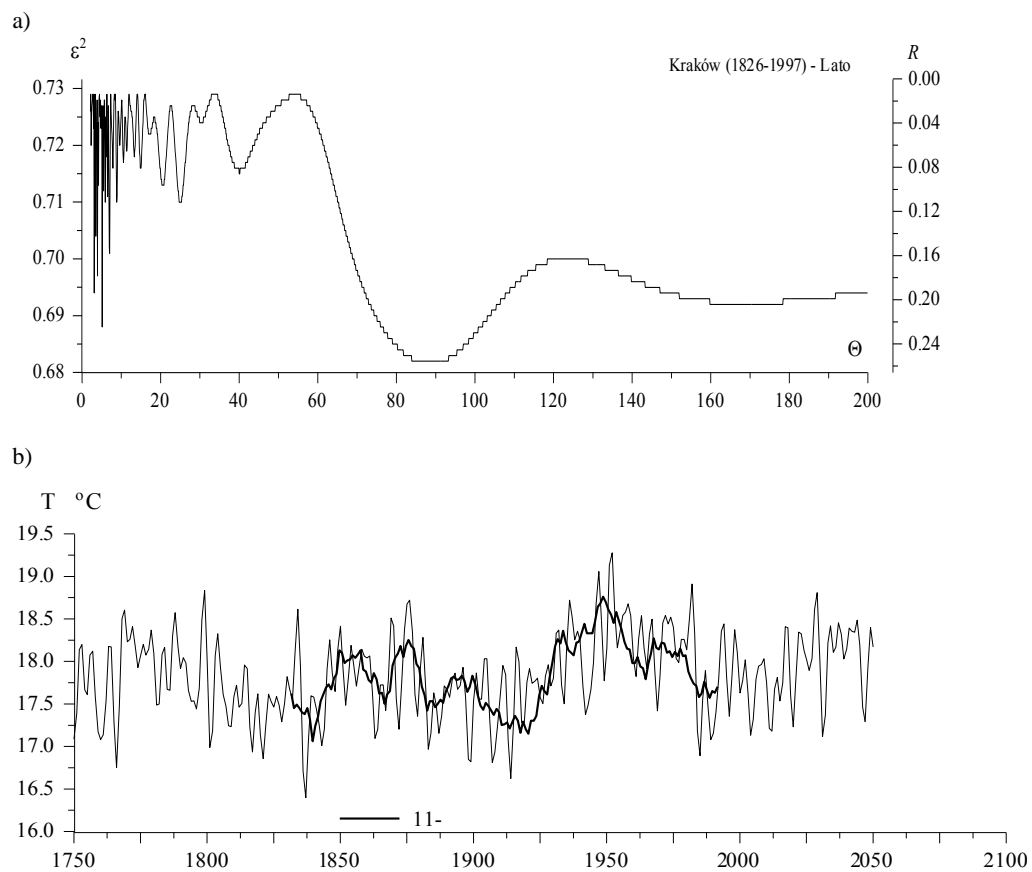
Table 3. The periods Θ , amplitudes b and phases c of air temperature in Warsaw in the years 1779-1998 (ε^2 – rest variance, R – coefficient of correlation) – year

Θ	b	c	ε^2	R
4	0,172	-1,8175	0,894	0,123
6	0,237	-1,4712	0,884	0,162
8	0,263	0,1897	0,875	0,19
8	0,203	2,317	0,889	0,144
11	0,164	-0,8971	0,898	0,104
13	0,214	0,0013	0,887	0,151
14	0,175	-0,0938	0,883	0,165
15	0,114	0,1744	0,893	0,128
22	0,122	2,1205	0,893	0,128
24	0,125	-2,445	0,891	0,136
71	0,09	0,766	0,9	0,093
106	0,153	2,1453	0,896	0,114



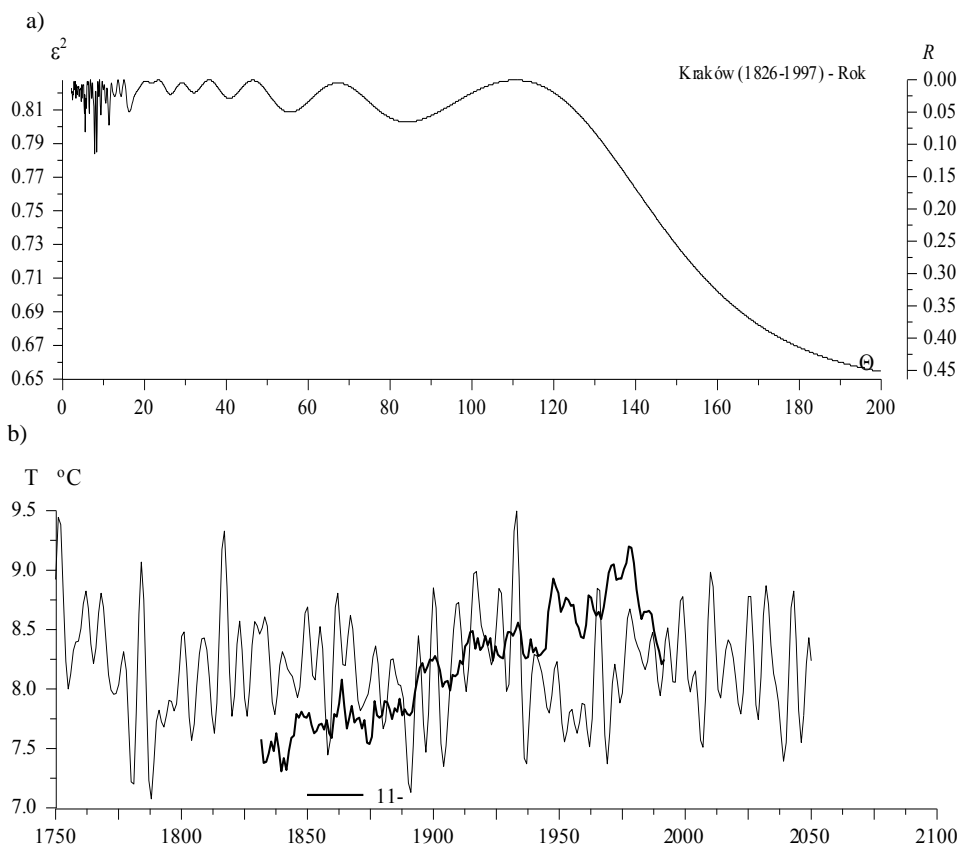
Rys. 7. Temperatura powietrza w Krakowie (1750-2100) – zima, a) Widmo temperatury powietrza w paśmie 2,1-200 lat, b) Prognozy temperatury powietrza w XXI wieku

Fig. 7. Air temperature in Krakow (1750-2100) – winter, a) Spectrum of air temperature in the strip 2,1-200 years, b) Forecasts of air temperature in 21st century



Rys. 8. Temperatura powietrza w Krakowie (1750-2100) – lato, a) Widmo temperatury powietrza w paśmie 2,1-200 lat , b) Prognozy temperatury powietrza w XXI wieku

Fig. 8. Air temperature in Krakow (1750-2100) – summer, a) Spectrum of air temperature in the strip 2,1-200 years b) Forecasts of air temperature in 21st century



Rys. 9. Temperatura powietrza w Krakowie (1750-2100) – rok, a) Widmo temperatury powietrza w paśmie 2,1-200 lat, b) Prognozy temperatury powietrza w XXI wieku

Fig. 9. Air temperature in Krakow (1750-2100) – year, a) Spectrum of air temperature in the strip 2,1-200 years, b) Forecasts of air temperature in 21st century

Tabela 4. Okresy Θ , amplitudy b , fazy c temperatury powietrza w Krakowie w latach 1826-1997 (ϵ^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji) – zima, lato

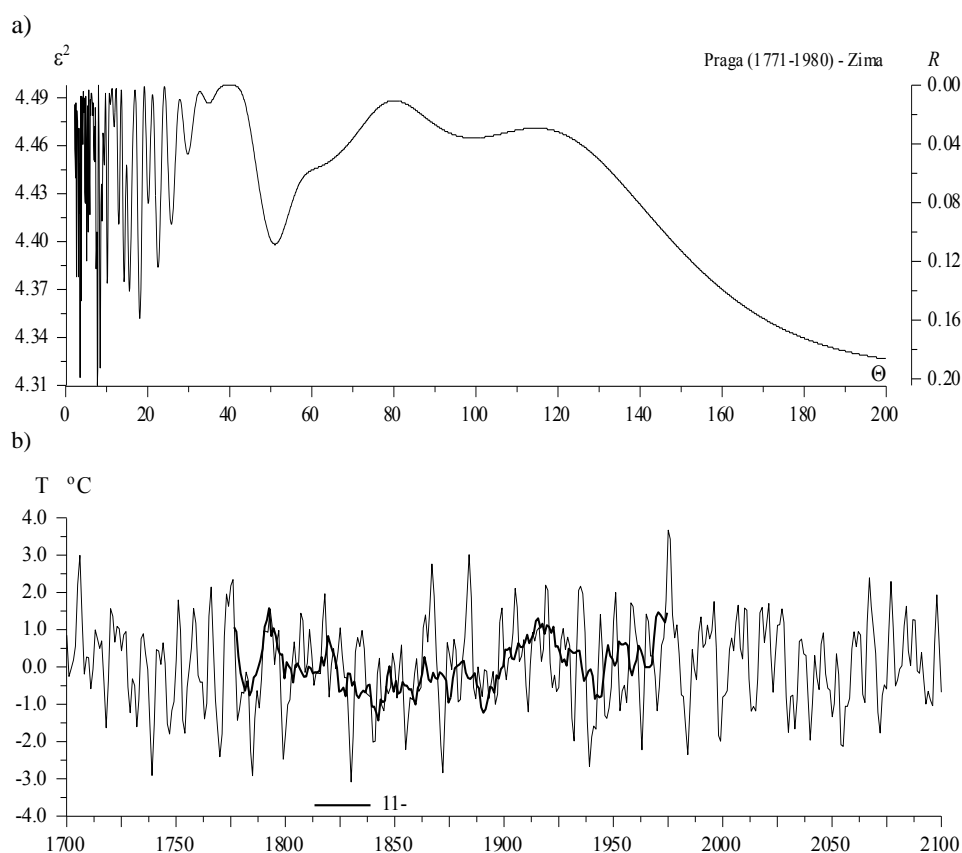
Table 4. The periods Θ , amplitudes b and phases c of air temperature in Krakow in the years 1826-1997 (ϵ^2 – rest variance, R – coefficient of correlation) – winter, summer

Zima					Lato				
Θ	b	c	ϵ^2	R	Θ	b	c	ϵ^2	R
3,5	0,604	-1,068	4,316	0,202	3,9	0,304	-0,3373	1,052	0,206
5,1	0,478	-0,6604	4,389	0,156	5,4	0,256	2,383	1,058	0,192
7,4	0,515	-2,2226	4,384	0,16	5,9	0,24	2,4887	1,061	0,185
7,7	0,575	-0,9434	4,311	0,204	6,5	0,18	0,7023	1,077	0,14
8,4	0,58	-0,3658	4,322	0,198	7,8	0,206	-0,1013	1,075	0,147
10,1	0,466	-2,7875	4,375	0,166	8,4	0,224	-0,5834	1,074	0,15
14,2	0,459	0,1175	4,376	0,165	9,7	0,205	-1,3441	1,079	0,134
15,5	0,446	-1,652	4,37	0,169	13,9	0,242	1,3516	1,066	0,172
18,0	0,511	-2,3133	4,353	0,18	20,4	0,247	-2,9166	1,066	0,172
22,5	0,342	3,0167	4,385	0,159	36,7	0,261	2,2885	1,061	0,185
51,0	0,329	-2,3113	4,399	0,149	76,7	0,272	-1,3476	1,034	0,242
99,3	0,33	0,7854	4,466	0,086	193,5	0,418	0,0065	0,966	0,347

Tabela 5. Okresy Θ , amplitudy b , fazy c temperatury powietrza w Krakowie w latach 1826-1997 (ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji) – rok

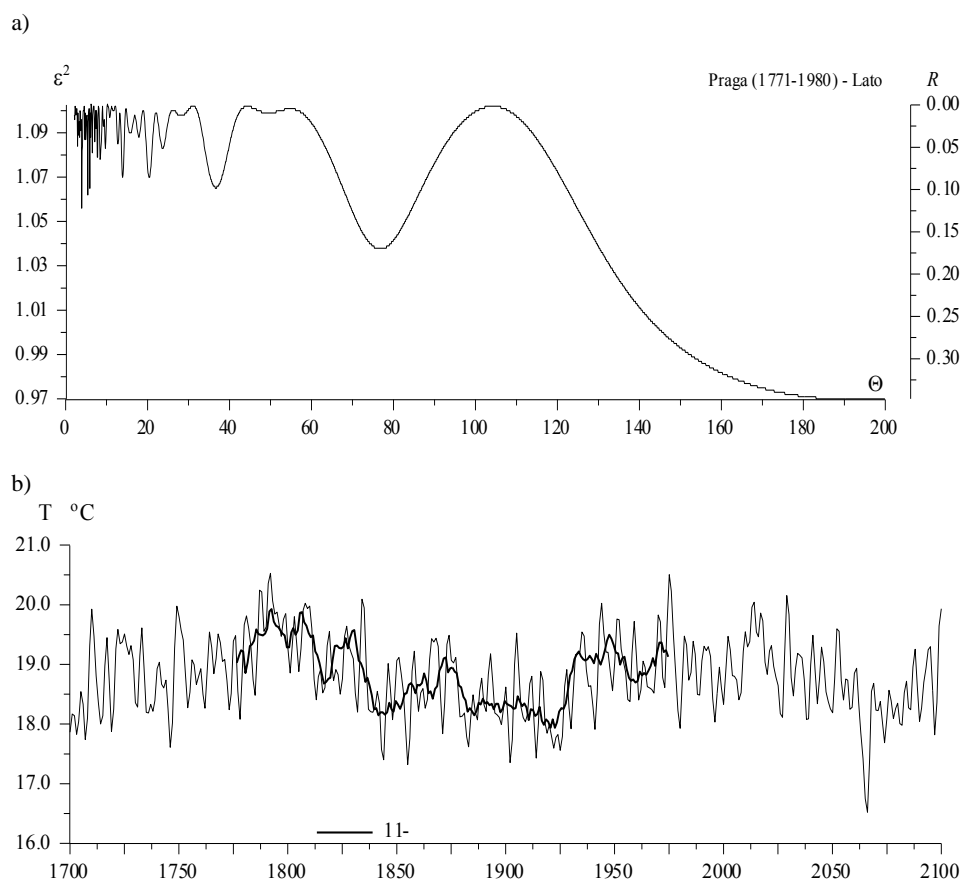
Table 5. The periods Θ , amplitudes b and phases c of air temperature in Krakow in the years 1826-1997 (ε^2 – rest variance, R – coefficient of correlation) – year

Θ	b	c	ε^2	R
4,5	0,157	1,3882	0,815	0,125
5,3	0,195	-0,599	0,808	0,155
5,5	0,23	-1,2765	0,797	0,193
5,8	0,13	1,474	0,811	0,143
6,5	0,174	0,871	0,808	0,155
7,8	0,244	0,2486	0,784	0,23
8,3	0,22	1,6302	0,785	0,228
9,3	0,135	0,3991	0,807	0,159
11,3	0,163	-0,6137	0,801	0,18
16,2	0,189	0,2676	0,809	0,151
55,5	0,138	-1,2029	0,809	0,151
84,2	0,044	0,3406	0,803	0,173



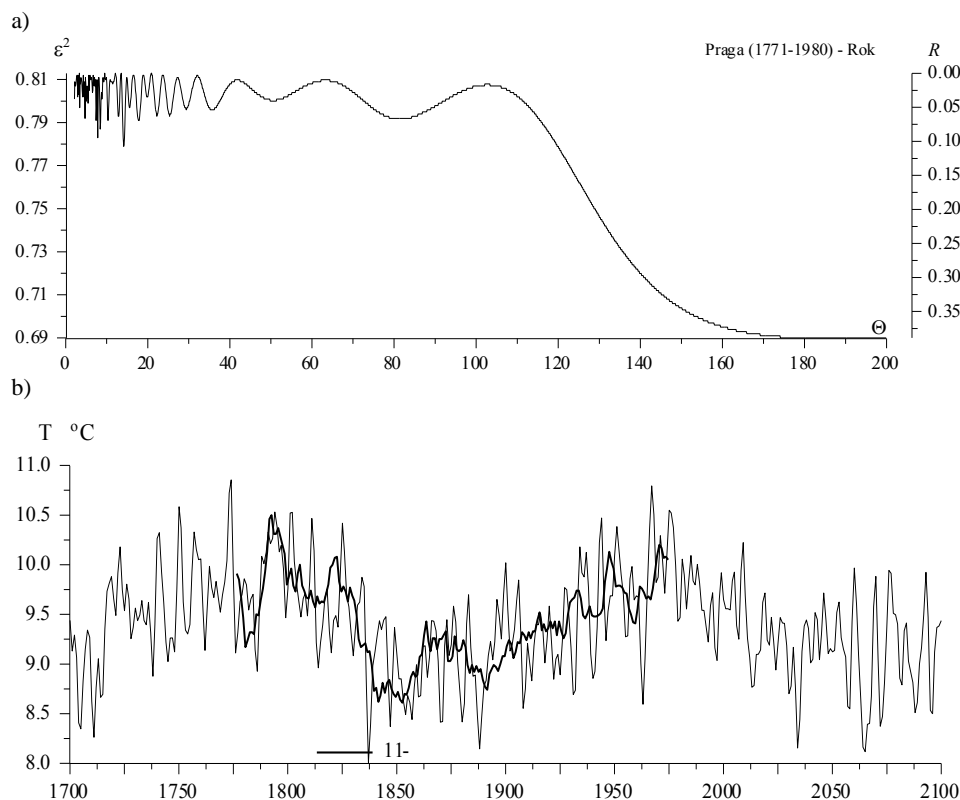
Rys. 10. Temperatura powietrza w Pradze (1700-2100) – zima , a) Widmo temperatury powietrza w paśmie 2,1-200 lat, b) Prognozy temperatury powietrza w XXI wieku

Fig. 10. Air temperature in Prague (1700-2100) – winter, a) Spectrum of air temperature in the strip 2,1-200 years, b) Forecasts of air temperature in 21st century



Rys. 11. Temperatura powietrza w Pradze (1700-2100) – lato, a) Widmo temperatury powietrza w paśmie 2,1-200 lat, b) Prognozy temperatury powietrza w XXI wieku

Fig. 11. Air temperature in Prague (1700-2100) – summer, a) Spectrum of air temperature in the strip 2,1-200 years, b) Forecasts of air temperature in 21st century



Rys. 12. Temperatura powietrza w Pradze (1700-2100) – rok, a) Widmo temperatury powietrza w paśmie 2,1-200 lat, b) Prognozy temperatury powietrza w XXI wieku

Fig. 12. Air temperature in Prague (1700-2100) – year, a) Spectrum of air temperature in the strip 2,1-200 years, b) Forecasts of air temperature in 21st century

Tabela 6. Okresy Θ , amplitudy b , fazy c temperatury powietrza w Pradze w latach 1771-1980 (ϵ^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji) – zima, lato

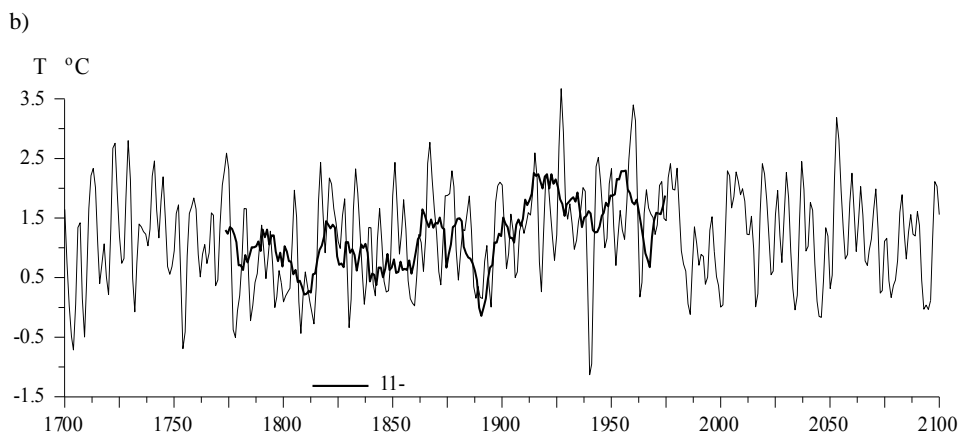
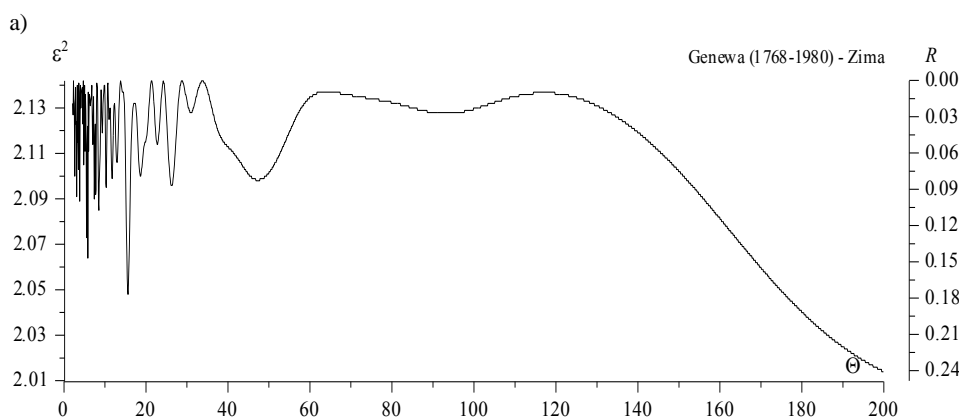
Table 6. The periods Θ , amplitudes b and phases c of air temperature in Prague in the years 1771-1980 (ϵ^2 – rest variance, R – coefficient of correlation) – winter, summer

Zima					Lato				
Θ	b	c	ϵ^2	R	Θ	b	c	ϵ^2	R
3,5	0,604	-1,068	4,316	0,202	3,9	0,304	-0,3373	1,052	0,206
5,1	0,478	-0,6604	4,389	0,156	5,4	0,256	2,383	1,058	0,192
7,4	0,515	-2,2226	4,384	0,16	5,9	0,24	2,4887	1,061	0,185
7,7	0,575	-0,9434	4,311	0,204	6,5	0,18	0,7023	1,077	0,140
8,4	0,58	-0,3658	4,322	0,198	7,8	0,206	-0,1013	1,075	0,147
10,1	0,466	-2,7875	4,375	0,166	8,4	0,224	-0,5834	1,074	0,150
14,2	0,459	0,1175	4,376	0,165	9,7	0,205	-1,3441	1,079	0,134
15,5	0,446	-1,652	4,370	0,169	13,9	0,242	1,3516	1,066	0,172
18,0	0,511	-2,3133	4,353	0,18	20,4	0,247	-2,9166	1,066	0,172
22,5	0,342	3,0167	4,385	0,159	36,7	0,261	2,2885	1,061	0,185
51,0	0,329	-2,3113	4,399	0,149	76,7	0,272	-1,3476	1,034	0,242
99,3	0,33	0,7854	4,466	0,086	193,5	0,418	0,0065	0,966	0,347

Tabela 7. Okresy Θ , amplitudy b , fazy c temperatury powietrza w Pradze w latach 1771-1980 (ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji) – rok

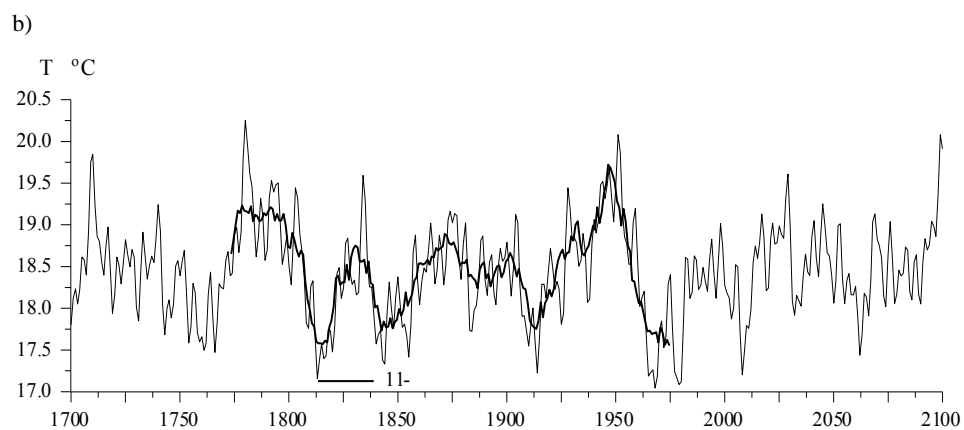
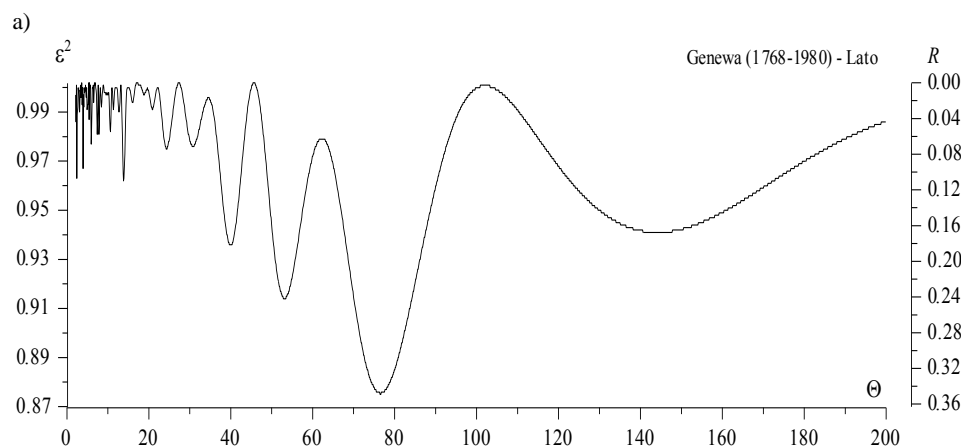
Table 7. The periods Θ , amplitudes b and phases c of air temperature in Prague in the years 1771-1980 (ε^2 – rest variance, R – coefficient of correlation) – year

Θ	b	c	ε^2	R
3,4	0,182	-3,0482	0,797	0,140
4,7	0,194	-1,0157	0,792	0,160
5,5	0,147	-1,134	0,799	0,131
7,4	0,175	-2,3643	0,791	0,164
7,8	0,199	0,1714	0,783	0,192
8,4	0,217	-0,2929	0,787	0,178
10,3	0,188	1,7534	0,791	0,164
17,8	0,194	-2,6805	0,791	0,164
25,3	0,146	1,2136	0,793	0,156
35,7	0,174	-0,51	0,796	0,144
81,4	0,129	0,1766	0,792	0,160
186,5	0,460	-1,8164	0,690	0,389



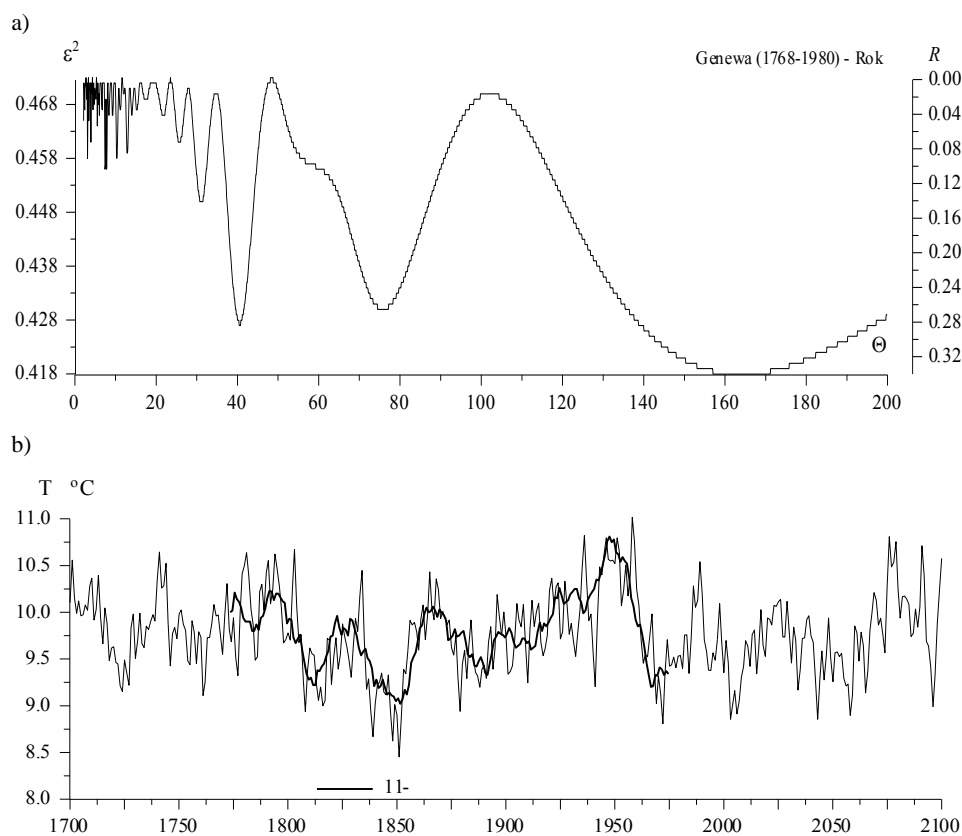
Rys. 13. Temperatura powietrza w Genewie (1700-2100) – zima, a) Widmo temperatury powietrza w paśmie 2,1-200 lat, b) Prognozy temperatury powietrza w XXI wieku

Fig. 13. Air temperature in Geneva (1700-2100) – winter, a) Spectrum of air temperature in the strip 2,1-200 years, b) Forecasts of air temperature in 21st century



Rys. 14. Temperatura powietrza w Genewie (1700-2100) – lato, a) Widmo temperatury powietrza w paśmie 2,1-200 lat, b)Prognozy temperatury powietrza w XXI wieku

Fig. 14. Air temperature in Geneva (1700-2100) – summer, a)Spectrum of air temperature in the strip 2,1-200 years, b)Forecasts of air temperature in 21st century



Rys. 15. Temperatura powietrza w Genewie (1700-2100) – rok, a)Widmo temperatury powietrza w paśmie 2,1-200 lat, b)Prognozy temperatury powietrza w XXI wieku

Fig. 15. Air temperature in Geneva (1700-2100) – year, a)Spectrum of air temperature in the strip 2,1-200 years, b) Forecasts of air temperature in 21st century

Tabela 8. Okresy Θ , amplitudy b , fazy c temperatury powietrza w Genewie w latach 1768-1980 (ϵ^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji) – zima, lato

Table 8. The periods Θ , amplitudes b and phases c of air temperature in Geneva in the years 1768-1980 (ϵ^2 – rest variance, R – coefficient of correlation) – winter, summer

Zima					Lato				
Θ	b	c	ϵ^2	R	Θ	b	c	ϵ^2	R
3,8	0,32	0,7551	2,089	0,157	3,9	0,264	-0,2547	0,967	0,187
5,5	0,372	-0,4599	2,073	0,180	5,9	0,223	2,4964	0,977	0,158
5,8	0,392	0,8475	2,064	0,191	7,8	0,193	0,4442	0,981	0,144
7,4	0,305	-2,6422	2,09	0,156	10,6	0,17	0,7532	0,982	0,141
7,7	0,29	-1,3126	2,092	0,153	11,3	0,093	-2,107	0,991	0,104
8,5	0,284	-2,9282	2,085	0,163	13,8	0,253	1,8525	0,962	0,2
10,3	0,249	1,0371	2,095	0,148	24,3	0,223	0,1225	0,975	0,164
11,7	0,284	-1,021	2,099	0,142	30,7	0,218	-3,0359	0,976	0,161
15,6	0,417	-2,7105	2,048	0,210	39,9	0,284	2,5781	0,936	0,256
26,2	0,295	-1,9591	2,096	0,147	53,1	0,289	-2,0693	0,914	0,296
47,3	0,316	-1,9756	2,098	0,143	76,5	0,392	-1,121	0,875	0,356
93,1	0,105	2,8941	2,128	0,081	144,1	0,209	-0,5946	0,941	0,247

Tabela 9. Okresy Θ , amplitudy b , fazy c temperatury powietrza w Genewie w latach 1768-1980 (ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji) – rok

Table 9. The periods Θ , amplitudes b and phases c of air temperature in Geneva in the years 1768-1980 (ε^2 – rest variance, R – coefficient of correlation) – year

Θ	b	c	ε^2	R
3,1	0,172	-2,2142	0,458	0,176
3,9	0,155	0,2357	0,461	0,157
7,4	0,156	-2,5404	0,456	0,188
7,8	0,143	0,1118	0,456	0,188
10,3	0,159	1,5749	0,458	0,176
11,1	0,084	-0,1833	0,467	0,109
12,9	0,176	1,6078	0,459	0,170
31,1	0,217	2,2239	0,45	0,219
40,6	0,278	1,4664	0,427	0,311
75,8	0,217	-2,4632	0,43	0,300
163,9	0,266	2,7638	0,418	0,340

Ważniejsze wyniki badań

Celem pracy są prognozy klimatu miast w Europie na podstawie długich serii pomiarów temperatury powietrza (Warszawa, Kraków, Praga, Genewa). Jest nim też określenie wpływu cyrkulacji atmosferycznej (położenia niżów i wyżów nad Północnym Atlantykiem) na pole temperatury powietrza w Europie.

Dobłą miarą cyrkulacji strefowej (równoleżnikowej), warunkującej napływ mas powietrza z Oceanu Atlantyckiego z zachodu na wschód, jest wskaźnik P.D. Jonesa i innych (1997) Oscylacji Północnego Atlantyku *NAO* (1825-1997). Coraz cieplejsze zimy w Europie (i Polsce), zwłaszcza w ostatnim 30-leciu, są efektem tendencji rosnącej wskaźnika *NAO*. Natomiast nieco cieplejsze lata są wynikiem słabnącego ochładzającego oddziaływania wód Oceanu Atlantyckiego – tendencji malejącej *NAO*.

W prognozowaniu zmian klimatu w XXI wieku kluczowe znaczenie ma znalezienie składników okresowych (deterministycznych) w seriach pomiarowych w XVIII-XX wieku. W tym celu zbadano okresowość: wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku *NAO* (1825-1997) i temperatury powietrza w wybranych miastach środkowej Europy – w Warszawie (1779-1998), Krakowie (1826-1997), Pradze (1771-1980) i Genewie (1768-1980). Widma i okresy wyznaczono metodą „sinusoid regresji” (Boryczka, 2001).

W prognozach zmian klimatu Europy (średnich miesięcznych, sezonowych, półrocznych i rocznych wartości) przyjęto założenie, że ekstrema wykrytych cykli *NAO* i temperatury powietrza będą się powtarzać nadal, tak jak w XVIII-XX wieku. Założenie to jest dość wiarygodne, gdyż analogiczna cykliczność występuje w ciągach czasowych: aktywności Słońca (stałej słonecznej) i parametrów Układu Słonecznego. Aktywność Słońca (liczby Wolfa z lat 1700-1997) jest silnie skorelowana np. z wypadkową sił grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce, przyspieszeniem Słońca względem środka masy Układu Słonecznego itp. Natomiast temperatura powietrza zależy od zmian, głównie długookresowych aktywności Słońca.

Zmiany krótkookresowe aktywności Słońca (stałej słonecznej) nie odgrywają większej roli w kształtowaniu klimatu, ze względu na bardzo powolne przenikanie ciepła w głąb Ziemi (do głębszych warstw lądów i głębszych warstw oceanów).

Prognozy zmian klimatu w XXI wieku opracowano na podstawie interferencji najsilniejszych cykli (o najmniejszej wariancji resztkowej, największym współczynniku korelacji), obecnych w widmach wskaźnika *NAO* i temperatury powietrza. Już na podstawie prognoz wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku (*NAO*) można wnioskować o zbliżającym się

ochłodzeniu naturalnym w bieżącym stuleciu, zwłaszcza podczas zim. Tendencja malejąca wskaźnika *NAO* w latach 2001-2100 świadczy, iż osłabnie ocieplające oddziaływanie Oceanu Atlantyckiego na klimat miast Europy.

Naturalne ochłodzenie klimatu, tj. najmroźniejsze zimy o średniej temperaturze powietrza -7°C wystąpią prawdopodobnie w połowie obecnego stulecia (około roku 2050). Według wypadkowej letnich cykli wskaźnika *NAO* i temperatury powietrza chłodne lata wystąpią w pierwszych dwóch dekadach tego stulecia. Są to prognozy naturalnych wahań klimatu w Europie w bieżącym stuleciu. To naturalne ochłodzenie będzie nieco złagodzone przez czynniki antropogeniczne. Systematyczny wzrost zawartości CO_2 w atmosferze (efekt cieplarniany) i rozbudowa miast (miejska wyspa ciepła) zmniejsza naturalne spadki temperatury wynikające z sondażu przyszłości.

W regionalnych prognozach krótko- i długoterminowych klimatu na obszarze Polski duże znaczenie ma znajomość zależności pola temperatury powietrza w Polsce od typów cyrkulacji. Ocieplenia klimatu Polski w latach 1971-1995 (dodatnie anomalie temperatury powietrza) w zimie oraz ochłodzenia (ujemne anomalie) w lecie są wywołane napływem cieplejszych lub chłodniejszych mas powietrza znan Oceanu Atlantyckiego. Najcieplejsze masy powietrza w półroczu chłodnym (anomalie dodatnie w styczniu i lutym przekraczają w przeważającej części kraju $2,5-5,0^{\circ}\text{C}$) są przy typach cyrkulacji zachodniej *A* i południowo-zachodniej *D* (wg klasyfikacji B. Osuchowskiej-Klein).

Natomiast ochłodzenia w tym półroczu występują podczas napływu powietrza z sektora wschodniego, przy antycyklonalnych typach cyrkulacji *E*, *E*₁.

Unikatowe są też mapy izoterm i izarytm anomalii temperatury powietrza w zależności od kierunków adwekcji mas powietrza i rodzaju układów barycznych (cyklonalnych i antycyklonalnych) – od typów cyrkulacji (Baranowski, 2001).

Postępem badań w zakresie zmian klimatu są prognozy wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku (*NAO*) i temperatury powietrza w wybranych miastach Europy, z wyodrębnieniem poszczególnych miesięcy. Poszerzono też badania w zakresie cykliczności cyrkulacji strefowej (wskaźnika *NAO*) i jej wpływu na pole temperatury powietrza w Europie.

Summary

The purpose of the report was to present the forecasts for the climate of towns in Europe on the basis of the long-time chronological series of air temperature measurements (in Warsaw, Cracow, Prague, and Geneva). Another purpose was constituted by the determination of the influence exerted by the atmospheric circulation (locations of the high- and low-pressure areas over the North Atlantic) on the air temperature field in Europe.

A good measure of the zonal (parallel) circulation, conditioning the inflow of the air masses from over the Atlantic Ocean to the East is provided by the indicator of P.D. Jones et al. (1997), the North Atlantic Oscillation, *NAO*, indicator, determined for the period (1825-1997). The increasingly warm winters in Europe (and in Poland), especially during the last three decades, are the effect of the weakening cooling impact of the waters of Atlantic Ocean – the decreasing tendency of the *NAO*.

In the forecasting of the changes of climate in the 21st century key significance must be assigned to identification of periodic (deterministic) components in the measurement series spanning the 18th-20th centuries. With this fact in mind the periodicity was analysed of the North Atlantic Oscillation index, *NAO* (1825-1997), and the air temperature in selected towns of Central Europe, namely in Warsaw (1779-1998), Cracow (1826-1997), Prague (1771-1980), and Geneva (1768-1980). The spectra and the periods were determined with the method of “sinusoids of regression” (Boryczka, 2001).

The forecasts of climate change in Europe (of the monthly, seasonal, half-year and annual averages) were elaborated under the assumption that the extremes of the identified cycles of the *NAO* and the air temperature will get repeated in the future as they occurred in the 18th-20th centuries. This assumption is quite plausible, since analogous periodicity appears in the time series of the solar activity (solar constant) and of the parameters of the solar system. Solar activity (Wolf numbers from the period 1700-1997) is strongly correlated with, for instance, the resultant of the action of the gravity forces on the Sun, the acceleration of the Sun with respect to the centre of mass of the solar system, etc. On the other hand, air temperature depends mainly upon the long-term changes in solar activity.

The short-term changes in solar activity (solar constant) do not play a bigger role in the shaping of climate, in view of the very slow penetration of heat into the Earth (into the deeper layers of the continents and the oceans).

The forecasts of climate changes in the 21st century were elaborated on the basis of the inference of the strongest cycles (those with the smallest rest variance, and the biggest correlation coefficient), present in the spectra of oscillations of the *NAO* and air temperature. It is possible to conclude on the approaching natural cooling in the current century, especially of winters, already on the basis of the forecasts of the North Atlantic Oscillation index *NAO*. The decreasing tendency of the *NAO* index in the years 2001-2100 is the witness to the weakening warming influence of the Atlantic Ocean on the climate of towns of Europe.

The natural cooling of climate, that is – the coldest winters, with the average air temperatures of -7°C – will most probably take place in the middle of the present century (at around the year 2050). According to the resultant of the summer cycles of the *NAO* index and air temperature the cool summers will occur during the first two decades of this century. These are the forecasts of the natural fluctuations of climate in Europe in the current century. The natural cooling forecasted will be somewhat weakened by the anthropogenic factors. The systematic increase of the CO₂ concentration in the atmosphere (the greenhouse effect) and the expansion of towns (urban heat islands) weaken the natural temperature decreases, whose image results from the probing of the future.

High importance ought to be attached in the elaboration of the regional short- and medium-term climate forecasts to the knowledge of dependence of the air temperature field in Poland upon the circulation types. The warming of the climate of Poland in the years 1971-1995 (positive air temperature anomalies) in winters and the cooling in summers (negative anomalies) are brought about by the inflow of the warmer air masses from over the Atlantic Ocean. The warmest air masses in the cool half-year (the positive anomalies in January and February exceed over the majority of Polish territory 2.5-5.0 °C) occur for the circulation types: western *A* and south-western *D* (conform to the classification of B. Osuchowska-Klein).

On the other hand, the cooling in the same half-year takes place during the inflow of the air from the eastern sector, under the anticyclonal circulation types *E* and *E*₁.

A unique result is also constituted by the maps of isotherms and isarhythms of the air temperature anomalies, depending upon the directions of advection of the air masses and the nature of pressure systems (cyclonal and anticyclonal), that is – upon the circulation types (Baranowski, 2001).

An advance in the study of climate change has been made through the elaboration of the forecasts of the North Atlantic Oscillation index (*NAO*) and the air temperatures in the selected cities of Europe, with distinction of individual months. In addition, new elements have been included in the study of periodicity of the zonal circulation (the *NAO* index) and its influence on the field of air temperature in Europe.

IV. POSTĘP BADAŃ NATURALNYCH ZMIAN KLIMATU EUROPY W PIERWSZEJ DEKADZIE XXI WIEKU W ODNIESIENIU DO DRUGIEJ POŁOWY XX WIEKU

Wprowadzenie

Do nowych problemów rozwiązywanych w Zakładzie Klimatologii Uniwersytetu warszawskiego można zaliczyć następujące tematy:

Wykrycie cykliczności zmiennych dendrologicznych – rocznych przyrostów (sło-
jów) drzew rosnących w Europie – około 100-, 180- i kilkusetletnich. Umożliwiło to do-
konanie rekonstrukcji i prognoz zmian klimatu w ostatnim tysiącleciu (tom XX-XXI)

Badanie cykliczności, tendencji i prognoz zmian klimatu Europy w ostatnich stule-
ciach(XVII-XXI wieku) rozszerzono do 40 miejscowości, reprezentujących całą Europę.

Badając zmiany temperatury powietrza uwzględniono podstawowe pory roku: zimę, la-
to (tom XVII), najchłodniejsze i najcieplejsze miesiące I i VII (tom XIX) oraz rok I-XII
(tom XX-XXI)

W badaniach czasowych zmian klimatu Europy znaczący jest udział studentów spe-
cjalizacji klimatologicznej w ramach prac magisterskich (tom. XXV), na przykładach kil-
kunastu miast: nizinnych (Londyn, Warszawa, Moskwa), miast górskich (Genewa, Zu-
rych, Saentis, Sonnblick). Ponadto zbadano wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na
temperaturę powietrza w Europie (Paryż, Marsylia, Wrocław, Kraków, Warszawa).

Określono też zmiany temperatury powietrza w profilach południkowym (Sztokholm,
Warszawa, Ateny) i równoleżnikowym (Paryż, Warszawa, Moskwa)

W prognozach ogromne znaczenie ma wykazanie, zbliżonych okresów krótkich i
długich temperatury powietrza i rocznych przyrostów drzew, zwłaszcza okresów 8-, 11-
oraz 100- i 180-letnich. Należy zauważyć, że najpierw stwierdzono cykl 11-letni szeroko-
kości pierścieni (sło-
jów) drzew, a później znaleziono jego przyczynę, tj. cykliczność 11-
letnią plam słonecznych (aktywności Słońca).

4.1. 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 meteorolo-
gicznych i geograficznych w Polsce pt. **Mroźne zimy i upalne lata w Polsce** (red. M.
Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, ss. 297

4.1.1. Przeszłość i teraźniejszość klimatu Ziemi

Zarys klimatu minionych epok geologicznych

Historię klimatu Ziemi można podzielić na części, wynikające ze skali czasu i
stosowanych metod badań. Są to przedziały czasu: 1. – od 3,5 miliarda lat, 2. – od 2
milionów lat (czwartorzęd), 3. – od 10 000 lat (Holocen), 4. – od kilkuset lat (dane
historyczne, dendrometryczne i instrumentalne).

O najstarszej historii Ziemi informują formy rzeźby powierzchni polodowcowych, dawne linie brzegowe mórz i oceanów, jezior, rafy koralowe i znalezione relikty pierwszych form życia na Ziemi.

„Księgami”, gdzie zapisana jest historia klimatu Ziemi, są: osady głębokomorskie, osady jeziorne, a przede wszystkim lody Antarktydy, Arktyki i lodowce wysokogórskie.

Ochłodzenia i ocieplenia klimatu określane są na podstawie tzw. paleotemperatury – tj. zawartości izotopów: tlenu ^{18}O i wodoru ^2H (deuteru) w substancjach organicznych, zdeponowanych w osadach i rdzeniach lodowych. Parowanie „ciężkiej wody” H_2O (^2H , ^{18}O) w oceanach w określonej temperaturze jest mniejsze niż zwykłej wody H_2O (^1H , ^{16}O). Duża zawartość izotopów tlenu ^{18}O i wodoru ^2H w szkieletach dawno żyjących w oceanach organizmów świadczy o chłodnym klimacie (o chłodnej wodzie oceanu), a mała – o ciepłym (cieplej wodzie). Natomiast w rdzeniach lodu, powstałego z kondensacji pary wodnej, pochodzącej z oceanów jest przeciwnie. Duża zawartość tych izotopów w lodzie wskazuje na klimat ciepły, a mała – na klimat chłodny.

W rekonstrukcji dawnego klimatu fundamentalne znaczenie ma ustalenie wieku skał, osadów i rdzeni lodowych. W „datowaniach” wykorzystuje się czas połowicznego rozpadu pierwiastków promieniotwórczych. Są to izotop węgla ^{14}C (5730 lat) i izotopy pochodzące z rozpadu uranu: protaktyn ^{231}Pa , tor ^{230}Th , izotop uranu ^{234}U i inne – o okresie połowicznego rozpadu kilkaset tysięcy lat.

Około 2,3 miliarda lat temu aktywność wulkaniczna była mała, a temperatura Ziemi znacznie się obniżyła. Nastąpiła pierwsza (archaiczna) epoka lodowa na Ziemi. Świadczą o tym charakterystyczne moreny polodowcowe. Ich wiek określa się na 2,2-2,4 miliarda lat temu. Ślady tego archaicznego zlodowacenia spotkać można w Kanadzie, na Alasce, w Indiach i Australii. Zlodowacenie archaiczne doprowadziło do powstania pokryw lodowych w obszarach podbiegunowych obu półkul.

W ciągu ostatniego miliarda lat wystąpiło 6 wielkich epok lodowych: 950, 750, 620, 440, 280, 3-2 (zlodowacenie czwartorzędowe) – średnio co 190 milionów lat. Są to tzw. „zimy kosmiczne”, których przyczyną może być obieg Układu Słonecznego dookoła środka naszej galaktyki (Drogi Mlecznej). Rok galaktyczny jest równy około 226 milionów lat

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 w Arktyce)

Zlodowacenia Ziemi, które wystąpiły w ciągu ostatniego miliona lat, wynikają ze zmian kształtu orbity Ziemi (Milanković, 1930). Według tej teorii zmiany okresowe parametrów eliptycznej orbity Ziemi spowodowały znaczące spadki promieniowania słonecznego w dużych szerokościach geograficznych, zwłaszcza w obszarach okołobiegunowych. Daty kolejnych głównych minimów promieniowania słonecznego w szerokości geograficznej 65° pokrywają się z datami kolejnych zlodowaceń Ziemi, określonymi przez geologów.

Cztery ostatnie zlodowacenia Ziemi (obejmujące obszar Polski) były efektem nakładania się trzech długich cykli: 92 000 lat – mimośrod (ekscentryczności) orbity, 40 000 lat – nachylenia płaszczyzny ekliptyki do równika 21 000 lat – położenia peryhelium względem punktu równonocy wiosennej.

Analogiczne cykle stwierdzono w badaniach osadów głębokomorskich (Hays i inni, 1976). Okazało się, że izotop tlenu ^{18}O zawarty w węglanach wapnia cechuje się zblizoną okresowością: 100 000 lat, 42 000 lat, 23 000 lat.

W ciągu ostatniego miliona lat wystąpiło 10 głównych ochłodzeń i 10 ociepleń klimatu. Średni odstęp między ochłodzeniami (zlodowaceniami Ziemi) wynosi około 100 000 lat. Jedno z ostatnich minimów lokalnych sum rocznych promieniowania słonecznego ($1196 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) wystąpiło około 22 000 lat temu przy nachyleniu ekliptyki $\varepsilon = 22^{\circ},56$ i mimośródzie $e = 0,061$ (ostatnia faza zlodowacenia Würm).

Zlodowacenia Ziemi występowały przy największym spłaszczeniu orbity Ziemi ($e = 0,066$), gdy w lecie odległość Ziemi od Słońca była największa, a nachylenie ekliptyki małe.

Prawdopodobnie kolejne zlodowacenie Ziemi nastąpi za około 62 000 lat ($I_{\min} = 1189 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) przy ekscentryczności orbity Ziemi $e = 0,066$.

Chronologiczne ciągi czasowe substancji organicznych zdeponowanych w osadach polskich jezior: Wikaryjskie, Święte, Gościąż informują o holocenijskich wahaniami klimatu Polski. W datowaniach osadów zastosowano metodę radioaktywnego izotopu ^{14}C węgla lub (w przypadku Jez. Gościąż) zliczono 10-letnie przyrosty warstwy osadów. Akumulowane substancje organiczne w osadach tych jezior są dodatnio skorelowane z temperaturą atmosfery. Daty ochłodzeń i ociepleń klimatu Polski – to minima i maksima koncentracji substancji organicznych.

Według zawartości substancji organicznych w osadach wymienionych jezior za datę holocenijskiego ochłodzenia klimatu Polski można przyjąć 12000 BP (Wikaryjskie), 11450-9000 BP (Święte), 11000-9000 (Gościąż).

Największe holocenijskie ocieplenia klimatu Polski – według osadów jez. Gościąż, są datowane 13 000-11 000 BP i 9 000-8500 BP.

W przedziale czasu od 20 000 do 12 540 lat temu rekonstruowano zawartość substancji organicznych w osadach na podstawie interferencji cykli: 50, 230, 360, 390, 540, 590, 1120, 1380, 1770, 2970, 6080, 12 380 lat.

Ochłodzenia i ocieplenia klimatu w ostatnich stuleciach

Rekonstrukcje temperatury powietrza w warstwie przyziemnej w różnych miejscach Ziemi w ostatnim tysiącleciu (wg redukcji lodowców, szerokości pierścieni drzew i pomiarów bezpośrednich) wskazują trzy zasadnicze przedziały czasu: „optimum średniowieczne” – 800-1200, „mała epoka lodowa” – 1400-1900 i współczesne ocieplenie – od 1900 roku. Należy zauważyć, że serie dendrometryczne (grubości słoju drzew) uwzględniają głównie temperaturę i opady okresu wegetacyjnego.

W ostatnich 400 latach wystąpiły trzy główne ochłodzenia klimatu Ziemi, o najmniejszej średniej globalnej temperaturze powietrza na półkuli północnej w pobliżu dat: 1600, 1700, 1830. Najbardziej poznane (na podstawie danych instrumentalnych) jest to ostatnie, największe ochłodzenie w Europie i Polsce (wg serii warszawskiej i krakowskiej). Trzeba zauważyć, że wystąpiło ono podczas trzech najsłabszych, wydłużonych (12-13-letnich) cykli aktywności Słońca (1798-1833). Ochłodzenie to pojawiło się w czasie najsłabszego 13-letniego cyklu plam słonecznych (1811-1823), podczas absolutnego minimum wiekowego (od 1700 r.).

Rok 1811 był szczególny pod względem stanu Układu Słonecznego, kiedy to odległość Słońca od środka masy Układu była najmniejsza (0,14 część promienia Słońca), a przyspieszenie Słońca – największe. To ostatnie globalne ochłodzenie klimatu (także w Polsce) wystąpiło podczas wzmożonej aktywności wulkanicznej, po największych wybuchach wulkanów: 1803 – Cotopaxi, 1815 – Tambora, 1835 – Coseguina.

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

Na Słońcu obserwuje się wiele zjawisk o natężeniu okresowym, m.in. plamy słoneczne od których zależy dopływ energii słonecznej do Ziemi.

Ciągi chronologiczne liczb Wolfa (liczb plam słonecznych) i temperatury powietrza wskazują, że podczas maksimów aktywności Słońca w cyklu 11-letnim jest cieplej niż w czasie minimów (większe są również przyrosty drewna w lasach – grubsze słoje drzew). Jest to wynikiem zależności dystrybucji ciepła na powierzchni Ziemi od aktywności Słońca.

Cyrkulacja atmosferyczna warunkuje transport magazynowanej głównie w strefie międzyzwrotnikowej energii słonecznej w stronę biegunów.

Temperatura powietrza w Europie (i w Polsce) cechuje się cyklicznością około 8-, 11-, 100- i 180-letnią. Cykle wyznaczono metodą „sinusoid regresji” :

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

gdzie: Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe).

W Europie (i w Polsce) dominują około 8-letnie okresy temperatury powietrza o dużych amplitudach $\Delta T = 2b = T_{\max} - T_{\min}$ (tab. 1)

Tabela 1. Okresy około 8-letnie temperatury powietrza w Europie
Table 1. The close-to-8-year long periods of air temperature in Europe

Miejscowość	Zima		Lato		Miejscowość	Zima		Lato	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT		Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	8,3	1,59	7,1	0,66	Genewa	7,7	0,62	7,8	0,40
Kraków	8,3	1,87	7,8	0,33	Wiedeń	8,3	0,87	8,4	0,38
Wrocław	8,3	1,53	7,8	0,27	Rzym	7,9	0,30	8,4	0,32
Lwów	8,3	1,30	7,9	0,56	Sztokholm	7,8	1,33	7,8	0,40
Praga	8,3	1,06	7,8	0,44	Kopenhaga	7,8	1,24	8,3	0,51
Berlin	7,7	1,54	7,8	0,55	Moskwa	7,9	0,76	8,3	0,60

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

Od dawna znana jest cykliczność około 11-letnia temperatury powietrza, związana z cyklem 11-letnim plam słonecznych. Okresy około 11-letnie temperatury powietrza i amplitudy ΔT ($^\circ\text{C}$) w wybranych miejscowościach w zimie, lecie i roku zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Okresy około 11-letnie temperatury powietrza w Europie
Table 2. The close-to-11-year long periods of air temperature in Europe

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

Zakres wahań temperatury powietrza w tym około 11-letnim cyklu jest na ogół ponad dwukrotnie większy w zimie niż w lecie.

Krótkookresowe zmiany aktywności Słońca (stałej słonecznej) nie odgrywają istotnej roli w kształtowaniu klimatu Ziemi, ze względu na bardzo powolne przenikanie ciepła do głębszych warstw Ziemi. Większą rolę odgrywają długie cykle: 102-letni i 187-letni aktywności Słońca (tab. 3). W otoczeniu maksimum plam słonecznych w tych cyklach kumulowane są duże ilości energii w głębszych warstwach lądów i oceanów. Energia magazynowana w oceanach wywiera wpływ na cyrkulację atmosferyczną.

Tabela 3. Okresy około 100- i 180-letnie: aktywności Słońca, stałej słonecznej i erupcji wulkanicznych (lata)
Table 3. The close-to-100 and 200-year long periods of solar activity, solar constant and volcanic eruptions (years)

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

Analogiczne okresy są obecne w seriach pomiarowych temperatury powietrza (tab. 4 i 5, $\Delta T = 2b$ – amplituda).

Tabela 4. Okresy około 100-letnie temperatury powietrza w Europie
Table 4. The close-to-100-year long periods of air temperature in Europe

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

Tabela 5. Okresy około 180-letnie temperatury powietrza w Europie
Table 5. The close-to-180-year long periods of air temperature in Europe

Miejscowość	Zima		Lato		Miejscowość	Zima		Lato	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT		Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	218,3	0,44	208,2	0,66	Bazylea	-	-	227,4	0,26
Kraków	168,3	0,43	-	-	Kopenhaga	-	-	211,6	1,19
Lwów	-	-	195,3	1,00	Anglia	166,9	0,48	204,6	0,34
Genewa	144,1	-	248,3	1,09	Sztokholm	184,6	0,49	-	-
Berlin	212,8	1,18	-	-	Uppsala	182,3	2,50	192,8	0,39
Rzym	-	-	224,9	1,40	Innsbruck	169,8	1,45	-	-

Dominujący wpływ na klimat ma pył wulkaniczny, absorbujący i rozpraszający promienie słoneczne. Promieniowanie słoneczne bezpośrednie po wybuchu wulkanu może zmniejszyć się przez kilka miesięcy o 10-20% (Katmai na Alasce w 1912 r.). Spadek promieniowania bezpośredniego po wybuchach wulkanów: Krakatau (Indonezja, 1883), Hekla (Islandia, 1970) miał charakter zmian planetarnych (globalnych). Po wybuchu wulkanu Tambora (Indonezja, 1815) pył osiągnął wysokość 60-70 km.

Wulkany typu eksplozywnego wyrzucają do atmosfery duże ilości pyłów i gazów (HCL, SO₂, CO₂, H₂, S i inne). Drobną pył wyrzucany do stratosfery może pozostawać w niej nawet przez kilkanaście lat.

Szczególne znaczenie w badaniach zmian klimatu mają gazy wulkaniczne wyrzucone do stratosfery, które w ciągu kilku miesięcy ulegają przemianom chemicznym i są rozprzestrzenione wokół całej Ziemi. Największy wpływ na rozproszenie promieniowania krótkofalowego słonecznego mają cząsteczki siarczanów (aerozole siarczanowe), które powstają z gazów zawierających siarkę (np. SO₂). Cząstki siarczanów absorbują i rozpraszają promieniowanie słoneczne. Powodują one ogrzanie się stratosfery, gdy w dolnych warstwach troposfery występuje ochłodzenie, wywołane spadkiem promieniowania dochodzącego do powierzchni Ziemi.

Pył wulkaniczny powoduje znaczny spadek promieniowania bezpośredniego i zwiększa promieniowanie rozproszone dochodzące do Ziemi.

Gdy w atmosferze znajduje się warstwa pyłów wulkanicznych, to spadki promieniowania bezpośredniego są większe przy mniejszych wysokościach Słońca (wyższych szerokościach geograficznych). Ten spadek jest jeszcze większy w przypadku promieniowania całkowitego. Maleje ono bardziej ze wzrostem szerokości geograficznej niż promieniowanie bezpośrednie, Ten stosunek na biegunie osiąga wartość 24%.

Spadek promieniowania całkowitego o 1,5-1,6% może doprowadzić do całkowitego zlodowacenia Ziemi – od biegunów do równika.

Tendencje zmian klimatu w XVII-XX wieku

Niepokojące jest systematyczne ocieplanie się klimatu Ziemi w XIX-XX wieku. Średnia globalna temperatura powietrza w latach 1890-1985 wzrosła od 0,2°C w strefie okołorównikowej do 5°C w strefie polarnej, podczas zim. Wzrost średniej globalnej temperatury, obliczonej na podstawie pomiarów temperatury powietrza i powierzchni mórz w latach 1861-1991 wynosi średnio 0,5°C.

Tendencje temperatury powietrza w Europie określone według równań prostych regresji $T = A_0 + At$ (współczynniki kierunkowe A w °C/100 lat) podano w tab. 6.

Charakteryzują one średnie przyrosty temperatury powietrza na 100 lat w odpowiednich przedziałach czasowych. Na ogół tendencje temperatury powietrza w miastach europejskich w zimie są rosnące ($A > 0$), a w lecie malejące ($A < 0$).

Tabela 6. Tendencje zmian temperatury powietrza w niektórych miastach Europy ($^{\circ}\text{C}/100$ lat)
Table 6. The secular tendencies of air temperature in Europe ($^{\circ}\text{C}/100$ lat)

Miejscowość	Okres	Zima	Lato	Rok
Warszawa	1779-1998	1,12	-0,06	0,58
Kraków	1827-1997	1,48	0,31	0,82
Wrocław	1792-2002	0,69	0,25	0,52
Lwów	1824-2002	0,53	-0,22	0,20
Praga	1771-1990	0,25	-0,25	-0,02
Berlin	1769-1990	0,32	-0,39	0,13
Genewa	1769-1980	0,51	-0,40	0,51
Wiedeń	1775-2002	0,69	-0,08	0,27
Rzym	1811-1989	0,04	-0,10	0,09
Sztokholm	1756-1994	0,86	-0,08	0,46
Kopenhaga	1768-1991	0,94	0,05	0,55
Moskwa	1779-2002	1,65	-0,15	0,68

W Europie (i Polsce) przede wszystkim zimy są coraz cieplejsze. Na przykład w Warszawie w latach 1779-1998 zimy są coraz cieplejsze – o $1,1^{\circ}\text{C}$ na 100 lat, a lata chłodniejsze prawie o $0,1^{\circ}\text{C}$. Jeszcze większy wzrost temperatury powietrza podczas zimy występuje w Krakowie – $1,5^{\circ}\text{C}/100$ lat i Moskwie – $1,6^{\circ}\text{C}/100$ lat. Średnia roczna temperatura powietrza wzrasta w: Warszawie – o 0,6; Krakowie – o 0,8; Moskwie – o $0,7^{\circ}\text{C}$ na 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.

Nie wiadomo jednak, jaki w tym jest udział zmian aktywności Słońca (stałej słonecznej), pyłów wulkanicznych ograniczających dopływ energii słonecznej do powierzchni Ziemi i antropogenicznego efektu cieplarnianego atmosfery.

Wraz z postępującym ociepleniem klimatu podnosi się poziom mórz i oceanów. Rekonstrukcje dawnych linii brzegowych wskazują, iż poziom mórz i oceanów podczas ocieplenia klimatu jest znacznie wyższy niż w czasie ochłodzenia (zlodowacenia Ziemi). W czasie ostatniej fazy zlodowacenia Würm 18 000 lat temu poziom Atlantyku obniżył się około 135 m wraz z przyrostem pokrywy lodowej (Lamb, 1972-1977).

Ekwiwalentem obecnej pokrywy lodowej jest różnica poziomu oceanów 59,1-83,3 m. A więc obecna pokrywa lodowa na Ziemi (lody Arktyki, Antarktydy i lodowce górskie) stanowi 43,8-61,7% masy lodu sprzed 18 000 lat. Średnie tempo wzrostu poziomu oceanów w ciągu tych 18 000 lat wynosi zatem 75 cm/100 lat.

Wraz ze wzrostem średniej globalnej temperatury powietrza obserwuje się podniesienie się poziomu oceanów – średnio o 10-25 cm w ostatnim stuleciu.

Poziom Morza Bałtyckiego wg stanów wody w Świnoujściu w latach 1811-1990 podnosi się średnio o $4,5$ cm/100 lat.

Podnoszenie się poziomu mórz i oceanów w XIX-XX wieku wynika prawdopodobnie z rozszerzalności objętościowej wody. Objętość wód oceanów (bez mórz) obecnie

wynosi 1370,4 mln km², a średnia głębokość 3704 m. Wzrostowi temperatury wody o 1°C (od 4 do 5°C) odpowiada przyrost poziomu oceanów o 18 cm.

4.1.2. Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu klimatu Europy

Wpływ Nizu Islandzkiego i Wyżu Azorskiego na klimat Europy

Na klimat Europy (i Polski) dominujący wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego: Niz Islandzki i Wyż Azorski. W zimie decydujący wpływ na kształtowanie pogody w Polsce ma Niz Islandzki, który cechuje się najniższym ciśnieniem 995 hPa i sięga przez morza Norweskie i Barentsa aż po Spitsbergen. Wtedy w centrum Wyżu Azorskiego ciśnienie wynosi ponad 1020 hPa, a przez środek Europy (przez południową Polskę) przebiega równoleżnikowo pas (wał) wysokiego ciśnienia, który przechodzi za południkiem 40°E w rozległy wyż kontynentalny z centrum nad Syberią. W lecie Niz Islandzki słabnie (do 1010 hPa), a uaktywnia się Wyż Azorski, w którym ciśnienie przekracza 1025 hPa. Wyż ten często wnika w głąb Europy, wzdłuż Alp, aż po Ukrainę, wzmagając napływ powietrza wilgotnego z Atlantyku (tzw. monsun europejski).

Te dwa centra ciśnienia związane z różnicą temperatury między wodą Atlantyku Północnego i lądem są w ciągu roku ze sobą ujemnie skorelowane. Jeżeli ciśnienie w Wyżu Azorskim maleje, to ciśnienie w Nizu Islandzkim – rośnie i przeciwnie. Jest to tzw. Oscylacja Północnoatlantycka (North Atlantic Oscillation, NAO).

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

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

Wskaźnikiem NAO, zdefiniowanym przez P.D. Jonesa i in. (1997) jest standaryzowana różnica ciśnienia na poziomie morza między Gibraltarem i południowo-zachodnią Islandią.

Wskaźnik NAO w latach 1825-2000 cechuje się okresowością kilku, kilkunastoletnią i około 100-letnią (tab.7).

Tabela 7. Okresy Θ wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku *NAO* w latach 1825-1998 (*R* – współczynnik korelacji)

Table 7. The periods of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in years 1825-1198 (*R* – correlation coefficient)

Wiosna		Lato		Jesień		Zima	
Θ	<i>R</i>	Θ	<i>R</i>	Θ	<i>R</i>	Θ	<i>R</i>
6,5	0,22	7,8	0,17	7,3	0,22	7,8	0,27
11,1	0,13	10,3	0,20	8,8	0,17	8,3	0,24
13,4	0,21	11,1	0,09	16,6	0,24	11,3	0,13
23,9	0,19	13,8	0,14	24,2	0,20	15,5	0,17
45,5	0,16	39,5	0,14	29,9	0,20	37,1	0,16
106,3	0,09	83,2	0,17	75,3	0,16	105,1	0,17

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

Pole ciśnienia atmosferycznego w Polsce zmienia się w ciągu roku. Przebieg roczny ciśnienia atmosferycznego w Warszawie w latach 1971-2000 cechuje się dwoma maksimumami (wiosną i jesienią) i dwoma minimumami – w styczniu i lipcu, związanymi z zimową wędrówką nad Bałtykiem niżów atlantyckich i silnym ogrzaniem kontynentu europejskiego w odniesieniu do chłodnych wód Atlantyku.

Kierunki adwekcji mas powietrza przy różnych typach cyrkulacji

W badaniach wiekowych zmian klimatu Europy (i Polski) i ich uwarunkowań kluczowe znaczenie mają katalogi długich serii chronologicznych klasyfikacji typów cyrkulacji.

Najpierw stosowana była klasyfikacja Wangenheima (1938), wyodrębniająca w latach 1891-1976 trzy grupy układów barycznych w miesięcznych przedziałach czasu: *W* – o dominacji cyrkulacji strefowej zachodniej, związanej z przemieszczaniem się układów barycznych znad Oceanu Atlantyckiego nad Europę, *E* – o dominacji cyrkulacji południkowej w Europie wywołanej wyżem nad europejską częścią Rosji i niżami nad wschodnim Atlantykiem i zachodnią Syberią, *C* – z dominacją południkowej adwekcji ciepła z Afryki, występującej przy niskim ciśnieniu nad zachodnim Atlantykiem i europejską częścią Rosji, wspomaganą przez klin wysokiego ciśnienia nad wschodnim Atlantykiem.

Obecnie coraz częściej w Polsce jest stosowany katalog codziennych sytuacji synoptycznych z lat 1901-1995 według klasyfikacji B. Osuchowskiej-Klein (1975). Klasyfikacja ta wyróżnia typy cyrkulacji atmosferycznej w odniesieniu do wzorcowych układów barycznych na poziomie morza nad Europą i północnym Atlantykiem, które warunkują określone kierunki adwekcji mas powietrza nad obszar Polski z wyodrębnieniem układów cyklonalnych i antycyklonalnych.

Wzorcowe pola ciśnienia dla 8 najczęściej występujących typów cyrkulacji w Polsce charakteryzują mapy izobar i kierunki adwekcji mas powietrza (według B. Osuchowskiej-Klein). Są to typy cyrkulacji: zachodniej (*W*), wschodniej (*E*), cyklonalnej (*C_L*) i antycyklonalnej (*C_A*) (tab. 8). Obejmują one: *A* – zachodnią cyrkulację cyklonalną, *CB* – północno-zachodnią cyrkulację cyklonalną, *D* – południowo-zachodnią cyrkulację cy-

klonalną, B – południową cyrkulację cyklonalną, C_2D – zachodnią cyrkulację antycyklonalną, E_0 – północno-wschodnią cyrkulację cyklonalną, E – północno-wschodnią cyrkulację antycyklonalną, E_1 – południowo-wschodnią i wschodnią cyrkulację antycyklonalną.

Tabela 8. Częstość wszystkich typów cyrkulacji: zachodniej (W), wschodniej (E) oraz cyklonalnej (C_L) i antycyklonalnej (C_A) w latach 1971-1995 i 1900-1990

Table 8. Western (W), eastern (E), cyclonal (C_L) and anticyclonal (C_A) circulation types in years 1971-1995 and 1900-1990

	1971-1995				1900-1990			
	W	E	C_L	C_A	W	E	C_L	C_A
I	60,3	39,7	50,3	49,7	62,1	37,9	53,9	46,1
IV	42,7	57,3	57,6	42,4	52,2	47,8	53,4	46,6
VII	52,2	47,8	46,1	53,9	58,2	41,8	47,2	52,8
X	56,6	43,4	45,3	54,7	57,9	42,1	45,1	54,9
Rok	52,7	47,3	50,2	49,8	57,3	42,7	49,6	50,4

Można stwierdzić ogólnie, że częstość typów cyklonalnych i antycyklonalnych w obu seriach jest zbliżona (50%). W obu przedziałach czasu przeważają typy cyrkulacji zachodniej nad wschodnią. Natomiast w latach 1971-1995 mniejszy jest udział (o 4,6%) typów cyrkulacji zachodniej niż wschodniej w kształtowaniu klimatu Polski. Ostatnie 25-lecie cechuje się większą częstością występowania typów cyklonalnych – w kwietniu o 4,2%, a mniejszą – w styczniu o 3,6%. Czas trwania poszczególnych typów cyrkulacji na ogół jest odmienny. Jest on najdłuższy w przypadkach cyrkulacji północno-wschodniej E (2,6 dni) oraz południowo-wschodniej i wschodniej E_1 (2,55 dni).

Nad obszar Polski napływają masy powietrza z różnych stref geograficznych – z różnych obszarów źródłowych. Znad północnego Atlantyku napływa powietrze polarnomorskie, które w zimie powoduje odwilże, opady śniegu lub deszczu. W lecie napływ tego powietrza do Polski powoduje ochłodzenie wraz z opadami. Częstość występowania w ciągu roku powietrza polarnego-morskiego wynosi 65%, w tym 16% świeżego i 49% starego (transformowanego) (Bołaszevska i Reutt, 1962). Powietrze polarno-kontynentalne napływa nad Polskę przeważnie ze wschodu w układach wyżowych ciśnienia. W zimie występują wtedy mrozy bez opadów, a w lecie dni słoneczne. Częstość powietrza polarnego-kontynentalnego jest największa wiosną (w marcu 60% dni, średnio w roku 29%). Nad Polskę napływa również powietrze arktyczne z północy (głównie wiosną – w kwietniu 21%, maju 18%) i jesienią – w październiku 11%) lub zwrotnikowe z południa przy cyrkulacji południkowej. Powietrze zwrotnikowe napływa do Polski bardzo rzadko (2% dni) i przynosi gwałtowne ocieplenie w zimie i upały w lecie.

Poszczególne masy powietrza o odmiennych cechach fizycznych (różnej temperaturze, wilgotności itp.) przemieszczające się nad obszarem Europy (i Polski) są oddzielone powierzchniami frontalnymi. Dlatego też po przejściu frontu występują na ogół gwałtowne skoki wartości temperatury, wilgotności powietrza i innych elementów meteorologicznych. Fronty atmosferyczne przemieszczają się nad Polskę średnio przez około 225 dni w ciągu roku tj. 60% wszystkich dni, odznaczając się gwałtownymi zmianami pogody. Ponad 50% wszystkich frontów atmosferycznych przemieszcza się nad Polską z sektora zachodniego w kierunku wschodnim, a około 15% z północozachodu na południo-wschód (Paszyński, Niedźwiedź, 1991).

Transport ogromnych ilości ciepła z nad równika lub „chłodu” z nad bieguna północnego zależy od trzech stref cyrkulacji atmosfery: 1 – między równikiem 0° i równoleżnikiem 30°, 2 – między równoleżnikami 30° i 60° (w strefie umiarkowanych szerokości geograficznych, obejmujących obszar Europy), 3 – między kołem polarnym 60° i biegunem.

W pasie równika silnie ogrzane powietrze unosi się do góry i na wysokości kilku kilometrów zaczyna przemieszczać się początkowo w stronę biegunów, a następnie wzdłuż równoleżnika $\varphi = 30^\circ$ – z zachodu na wschód (powodując w tym pasie akumulację powietrza). W pobliżu równika tworzy się pas niskiego ciśnienia (niż), a wzdłuż równoleżnika 30° – pas wysokiego ciśnienia (wyż). Część powietrza przemieszcza się dołem od równoleżnika 30° (na północ – poprzez obszar Polski do równoleżnika 60°. Ze wzrostem szerokości geograficznej powietrze to odchyła się coraz bardziej na wschód od południków, ze względu na większą prędkość liniową w pobliżu równoleżnika 30° niż dalej na północ (siłę Coriolisa). Wiatry dolne w strefie umiarkowanej 30-60° mają zatem przeważający kierunek południowo-zachodni. Za równoleżnikiem 60°, ze względu na wysokie ciśnienie na biegunie, wiatr ma kierunek pasatów – północno-wschodni (jak w strefie $\varphi = 0-30^\circ$)

Dominujące kierunki i prędkości wiatru w Polsce

Zgodnie z ogólną cyrkulacją atmosferyczną w szerokościach geograficznych 30-60° dominującymi wiatrami w Polsce, podobnie jak w zachodniej i północnej Europie, są wiatry południowo-zachodnie, zachodnie i północno-zachodnie. Wiatry z sektora zachodniego (SW-W-NW) cechują się częstością 40-55%. Udział wiatrów z sektora wschodniego (NE-E-SE) zawiera się w przedziale 15-30%, a wiatrów z sektora południowego jest więcej niż z północnego. Częstość wiatru zmienia się w ciągu roku. W lecie przeważają wiatry o kierunkach W i NW, a jesienią kierunki S i SE, lecz dominującym kierunkiem jest nadal W. W zimie przeważają wiatry SW przy jednoczesnym wzroście wiatrów o kierunku E. Wiosna cechuje się równomiernym rozkładem kierunków wiatru z dość dużym udziałem wiatrów północnych N, zwłaszcza w północnej części Polski

Pole prędkości wiatru w Polsce (średnie w roku) charakteryzuje się głównym maksimum 12,5 m/s na Śnieżce. Na Kasprowym Wierchu prędkość wiatru jest prawie dwukrotnie mniejsza (6,5 m/s). Na pozostałym obszarze Polski dużymi prędkościami wiatru wyróżniają się pas wybrzeża o średnich prędkościach w przedziale 4,5-5,5 m/s oraz Kraina Wielkich Dolin o średniej rocznej powyżej 4,0 m/s. Natomiast najmniejszą prędkością wiatru, niezależnie od pory roku, cechują się kotliny śródgórskie, zwłaszcza Rów Podtatrzański (średnia roczna prędkość wiatru nie przekracza 2,0 m/s) oraz niziny w południowo-zachodniej części Polski (3,0 m/s). W przebiegu rocznym maksimum prędkości wiatru przypada na miesiące zimowe (styczeń – Śnieżka 15,1 m/s, Kasprowy Wierch – 8,2 m/s), a minimum na miesiące letnie (czerwiec – Śnieżka 9,6 m/s, Kasprowy Wierch – 5,6 m/s). W nizinnej części Polski prędkość wiatru w ciągu roku zmienia się od 3,0-4,0 m/s zimą do 2,0-3,0 m/s latem.

Zakres wahań prędkości wiatru w Polsce zmienia się od 0 (cisze) do ponad 30 m/s. Cisze występują najrzadziej na wybrzeżu i na szczytach gór, osiągając tam zaledwie 2-4% wszystkich obserwacji. Na niżu mają częstość 10-20%, a w kotlinach śródgórskich nawet 30%.

Wiatry silne ($v > 10$ m/s) występują najczęściej na wybrzeżu Bałtyku np. na Helu i w Łebie średnia ich liczba dochodzi do 60 w roku, w rejonie Rozewia, przekracza 70. Zima jest porą roku o największej częstości wiatrów silnych, a lato – o najmniejszej. Są one wywołane dużymi gradientami ciśnienia w układach niżowych wędrujących nad Polską. W styczniu obserwuje się prawie 30% wiatrów > 10 m/s przy cyrkulacji cyklonalnej zachodniej (A) i nieco mniej niż 30% przy cyrkulacji cyklonalnej północno-wschodniej (CB). W lecie częstość wiatrów silnych jest największa przy cyrkulacji cyklonalnej północno-zachodniej (CB) i cyklonalnej północno-wschodniej (E_0). W Warszawie częstość wiatrów silnych wynosi: zima – 2,0%, wiosna – 1,2%, lato – 0,2%, jesień – 1,1%. W środkowej Polsce wiatry silne zdarzają się znacznie rzadziej – średnio około 35 dni w roku.

Wiatry bardzo silne ($v > 15$ m/s) obserwuje się w ciągu całego roku na szczytach górskich: na Śnieżce ponad 200 dni, a na Kasprowym Wierchu 190 (Chomicz 1977).

Wiatr – to poziomy ruch powietrza wywołany poziomą różnicą (gradientem) ciśnienia. Kierunek przepływu powietrza w pobliżu powierzchni Ziemi jest nieco odchylony od kierunku izobar (pod wpływem tarcia) w stronę niższego ciśnienia. Pole wiatru w Polsce jest deformowane przez morze Bałtyckie, jeziora oraz rzeźbę terenu (góry).

Wiatrem lokalnym typowym dla wybrzeża Bałtyku jest bryza. W dzień wieje ona od morza do lądu (morska), a w nocy od lądu do morza (lądowa). Wiatr ten jest wywołany różnicą temperatury między lądem i wodą. Ląd podczas dnia ogrzewa się szybciej niż woda, a nocą wolniej ochładza. Nad lądem, w miejsce unoszącego się w dzień powietrza ciepłego do góry napływa dołem od morza powietrze chłodne (gęstsze). W nocy jest przeciwnie, znad lądu dołem napływa nad morze powietrze chłodne. Te zmiany dobowe kierunku wiatru obserwuje się przeważnie podczas ciszy i małych prędkości wiatru. Zasięg bryzy morskiej wynosi kilkanaście kilometrów.

Bryza występuje również w otoczeniu jezior (bryza jeziorna). Jej zasięg jest znacznie mniejszy, np. w przypadku Jez. Śniardwy sięga ona na odległość kilkuset metrów.

Zjawisko bryzy obserwuje się także w dużych miastach np. w Warszawie (bryza miejska), ze względu na dobowe wahania różnicy temperatury między miastem i jego otoczeniem. Miasto ogrzewa się w dzień wolniej od jego otoczenia, a w nocy wolniej ochładza. Już w godzinach wieczornych obserwuje się napływ do miasta chłodnego powietrza z terenów zewnętrznych.

Analogiczna lokalna cyrkulacja powietrza występuje w górach – wiatry górskie i dolinne. Wiatry dolinne – to napływ nocą, poczynając od godzin wieczornych, chłodnego powietrza ze zboczy gór, zwłaszcza o ekspozycji południowej.

W górach obserwuje się również wiatry fenowe, zwane w Tatrach wiarami halnymi, związane z przepływem powietrza nad łańcuchami górskimi. Wiatry te powstają przy gwałtownym napływie powietrza od strony południowej Karpat lub Sudetów. Sprzyjające warunki występują wówczas, gdy od zachodu zbliża się w kierunku Polski głęboki niż, a na Ukrainie znajduje się ośrodek wysokiego ciśnienia (wyż). Powietrze, napotykać na przeszkodę (góry), po stronie dowietrznej zmuszone jest do wznoszenia do góry po zboczach południowych. Powietrze wilgotne unosząc się do góry ochładza się o około $0,6^{\circ}\text{C}/100$ m (wg gradientu wilgotno-adiabatyicznego), aż do poziomu kondensacji pary wodnej. Po przekroczeniu szczytów górskich powietrze szybko opada w dół. Po stronie odwietrznej, jako powietrze suche ogrzewa się o $1^{\circ}\text{C}/100$ m (wg gradientu sucho-adiabatyicznego). Dlatego też, po stronie północnej Karpat i Sudetów wiatry halne są cie-

ple i suche. Ich prędkość na stokach górskich wynosi niekiedy 60 m/s, a w dolinach 30 m/s. Wiatry halne powodują na ogół duże zniszczenia w lasach. Wiatry tego rodzaju w Sudetach są najsilniejsze przy napływie powietrza z południo-zachodu.

W Polsce występują też lądowe tzw. trąby powietrzne, huragany podobne do występujących w strefie międzyzwrotnikowej. Na powierzchni Ziemi podczas burzy tworzy się stożkowy lej niskiego ciśnienia, sięgający szczytem podstawy chmury burzowej (niżej o małym promieniu izobar – dużej sile odśrodkowej). W centrum tego niżu ciśnienie spada o kilkadziesiąt hPa. Cechuje się on ruchem wirowym powietrza (obrotowym) o prędkościach 50-100 m/s – o dużej sile ssącej i ruchem postępowym 30-40 km/h. Taka trąba powietrzna wystąpiła 20 lipca 1931 r. w godzinach 18-20 w okolicy Lublina we wsi Strzeszkowice Małe (w odległości 15 km na południo-zachód od Lublina). Według R. Gumińskiego (1948) podczas burzy (przy chmurach kłębiastych, deszczowych) utworzył się wtedy silny wir, który przesuwał się w kierunku północno-wschodnim, unosił piasek, gałęzie i snopki zboża. Siła wiatru była tak duża, że na stacji kolejowej wywrócone zostały z szyn załadowane wagony oraz rozwalone domy murowane o grubości ścian 50 cm.

W tym dniu, wskutek ssącego działania powietrza została wyrzucona prawie wszystka woda z jeziora pod Rozkopaczowem za Kijanami, wraz z rybami, na pobliskie pola.

4.1.3. Mroźne zimy i upalne lata w Europie w XVIII-XXI wieku ze szczególnym uwzględnieniem Polski

W rozdziale tym wykorzystano najdłuższe serie pomiarów temperatury powietrza w 40 miejscowościach europejskich. Najpierw omówiono mroźne i łagodne zimy oraz ciepłe i chłodne lata. Szczególne znaczenie poznawcze mają widma temperatury powietrza w zimie i w lecie. Znaczenie praktyczne mogą mieć prognozy temperatury powietrza w tych miejscowościach, sięgające po rok 2100. Spis wszystkich 40 miejscowości i ich współrzędne geograficzne (φ – szerokość geograficzna, λ – długość geograficzna oraz H – wysokość nad poziomem morza podano w tabeli 9).

Mroźne i łagodne zimy oraz ciepłe i chłodne lata

Zmienność wiekową zim i lat w 9 miejscowościach europejskich (spośród tych 40) scharakteryzowano, zestawiając po 10 najmroźniejszych i najłagodniejszych zim (średnich z XII, I, II) oraz po 10 najcieplejszych i najchłodniejszych lat (średnich z VI, VII, VIII) – tab.10-18). Najmroźniejsza zima w Polsce wystąpiła w roku 1830 (Warszawa – $-9,8^{\circ}\text{C}$, Kraków – $-10,3$, Wrocław – $-10,3$). Do mroźnych można zaliczyć także zimy: 1963 (Warszawa – $-9,5$, Kraków – $-6,9$, Wrocław – $-8,4$), 1929 (Warszawa – $-7,9$, Kraków – $-7,7$, Wrocław – $-7,1$) i 1940 (Warszawa – $-8,8$, Kraków – $-7,4$, Wrocław – $-7,1$). Najłagodniejsze zimy wystąpiły w ostatniej dekadzie XX wieku: Warszawa – 1990 ($2,3^{\circ}\text{C}$), 1989 ($1,9$), Kraków – 1975 ($2,2$), 1990 ($1,9$), Wrocław – 1990 ($3,2$), 1998 ($2,8$). Najniższą temperaturę $-41,0^{\circ}\text{C}$ w Polsce zanotowano dotychczas 11 stycznia 1940 r. w Siedlcach (Kuziemska 1983). Spadek temperatury do $-40,6^{\circ}\text{C}$ wystąpił wcześniej 10 lutego 1929 r. w Żywcu.

Tabela 9. Rozmieszczenie stacji meteorologicznych w Europie
Table 9. Location of meteorological stations in Europe

Miejscowość	Okres	φ	λ	H [m]
Akureyri	1882-2002	65°41'N	18°05'W	27
Anglia Środkowa	1660-1973	-	-	-
Ateny	1858-2002	37°58'N	23°43'E	107
Bazylea	1755-1980	47°36'N	7°36'E	316
Berlin	1769-1990	52°28'N	13°18'E	58
Budapeszt	1780-1991	47°31'N	19°02'E	129
Genewa	1768-1980	46°15'N	6°08'E	416
Greenwich	1763-1969	51°30'N	0°00	
Innsbruck	1777-2000	48°24'N	17°09'E	207
Kijów	1812-2000	50°24'N	30°34'E	167
Kopenhaga	1768-1991	55°37'N	12°39'E	5
Kraków	1827-1997	50°04'N	19°57'E	221
Kremsmuenster	1767-1981	48°00'N	14°06'E	
Lwów	1824-2002	49°49'N	23°57'E	323
Marsylia	1838-2002	43°27'N	5°14'E	36
Mińsk	1891-2002	53°56'N	27°38'E	231
Monachium	1781-1991	48°22'N	11°48'E	447
Moskwa	1779-2002	55°50'N	37°37'E	156
Odessa	1821-2002	46°26'N	30°46'E	42
Oksford	1828-1980	51°42'N	1°12'E	63
Oslo	1816-1991	59°57'N	10°43'E	96
Paryż	1757-1995	48°58'N	2°27'E	65
Poczdam	1984-1992	52°23'N	13°04'E	100
Praga	1771-2002	50°06'N	14°15'E	365
Ryga	1795-1990	56°58'N	24°03'E	7
Rzym	1811-1991	41°48'N	12°36'E	46
Saentis	1883-1988	47°15'N	9°21'E	2500
Sonnblick	1921-1980	47°03'N	12°57'E	3109
Stambuł	1839-2002	40°58'N	29°05'E	33
Sztokholm	1756-1994	59°34'N	18°06'E	44
Tallinn	1779-2002	59°23'N	24°35'E	34
Trondheim	1761-1981	63°24'N	10°30'E	133
Uppsala	1739-1970	59°54'N	17°36'E	
Vestmannaeyjar	1884-1981	63°24'N	20°17'E	124
Warszawa	1779-1998	52°13'N	21°02'E	110
Wiedeń	1775-2002	48°15'N	16°22'E	200
Wilno	1777-2002	54°38'N	25°06'E	156
Wrocław	1792-2002	51°08'N	16°59'E	116
Zagrzeb	1862-2002	45°49'N	15°59'E	162
Zurich	1864-1980	47°23'N	8°34'E	569

Tabela 10. Mroźne zimy i upalne lata w Anglii Środkowej (1660-1973)**Table 10.** The frosty winters and hot summers in England (1660-1973)

ZIMA				LATO			
mroźna		ciepła		ciepłe		chłodne	
1684	-1,2	1869	6,8	1826	17,6	1725	13,1
1740	-0,4	1834	6,5	1846	17,1	1695	13,2
1963	-0,3	1686	6,3	1947	17,0	1816	13,4
1855	0,3	1796	6,2	1933	17,0	1860	13,5
1814	0,4	1935	6,1	1781	17,0	1907	13,6
1795	0,5	1734	6,1	1911	17,0	1823	13,6
1695	0,7	1877	5,9	1899	16,9	1888	13,7
1879	0,7	1943	5,9	1868	16,9	1879	13,7
1716	0,8	1822	5,8	1676	16,8	1694	13,7
1679	1,0	1925	5,8	1666	16,7	1675	13,7

Tabela 11. Mroźne zimy i upalne lata w Paryżu (1757-1995)**Table 11.** The frosty winters and hot summers in Paris (1757-1995)

ZIMA				LATO			
mroźna		ciepła		ciepłe		chłodne	
1830	-1,6	1975	6,9	1775	21,3	1816	15,3
1880	-1,4	1995	6,9	1757	21,1	1860	15,4
1963	-1,1	1877	6,6	1761	20,9	1956	15,9
1795	-0,8	1796	6,4	1762	20,9	1978	16,0
1784	-0,6	1916	6,3	1947	20,7	1909	16,0
1891	-0,5	1834	6,3	1976	20,6	1882	16,1
1789	0,1	1990	6,3	1760	20,4	1916	16,1
1845	0,4	1869	6,1	1772	20,4	1841	16,2
1942	0,4	1912	6,1	1759	20,3	1888	16,2
1841	0,5	1994	6,1	1826	20,2	1890	16,2

Tabela 12. Mroźne zimy i upalne lata w Genewie (1768-1980)**Table 12.** The frosty winters and hot summers in Geneva (1768-1980)

ZIMA				LATO			
mroźna		ciepła		ciepłe		chłodne	
1830	-3,5	1834	4,7	1952	21,1	1816	15,5
1891	-2,8	1869	4,5	1947	20,9	1813	16,2
1963	-2,7	1877	4,5	1928	20,7	1841	16,4
1880	-2,6	1916	4,0	1950	20,7	1843	16,4
1895	-2,3	1937	3,7	1793	20,5	1980	16,4
1808	-1,7	1912	3,6	1807	20,5	1978	16,5
1810	-1,6	1920	3,6	1945	20,3	1860	16,7
1785	-1,5	1828	3,4	1782	20,3	1977	16,8
1795	-1,5	1788	3,4	1834	20,3	1909	16,8
1929	-1,5	1930	3,4	1859	20,2	1968	16,9

Tabela 13. Mroźne zimy i upalne lata w Berlinie (1769-1990)**Table 13.** The frosty winters and hot summers in Berlin (1769-1990)

ZIMA				LATO			
mroźna		ciepła		cieple		chłodne	
1830	-6,6	1990	4,3	1834	21,2	1962	15,4
1940	-6,0	1796	4,2	1826	21,0	1844	15,8
1947	-5,2	1925	3,9	1781	20,9	1816	16,1
1823	-5,1	1975	3,8	1775	20,5	1965	16,1
1838	-5,0	1866	3,7	1819	20,4	1805	16,1
1799	-5,0	1989	3,6	1868	20,3	1956	16,1
1963	-4,9	1899	3,5	1778	20,2	1987	16,2
1805	-4,5	1869	3,4	1783	20,0	1984	16,2
1929	-4,3	1822	3,2	1859	19,9	1974	16,2
1800	-4,2	1884	3,2	1794	19,9	1806	16,3

Tabela 14. Mroźne zimy i upalne lata w Warszawie (1779-1998)**Table 14.** The frosty winters and hot summers in Warsaw (1779-1998)

ZIMA				LATO			
mroźna		ciepła		cieple		chłodne	
1830	-9,7	1990	2,3	1811	21,4	1821	14,6
1799	-9,5	1989	1,9	1834	20,6	1844	15,5
1963	-9,5	1843	1,2	1781	20,5	1810	15,6
1838	-8,8	1975	1,1	1992	20,0	1923	15,6
1789	-8,5	1991	1,1	1826	20,0	1978	15,9
1823	-8,4	1998	1,1	1783	19,8	1785	16,0
1871	-8,3	1925	0,8	2002	19,8	1818	16,0
1820	-8,3	1910	0,8	1807	19,7	1902	16,0
1970	-8,1	1994	0,7	1859	19,5	1832	16,0
1929	-7,9	1899	0,7	1868	19,5	1980	16,1

Tabela 15. Mroźne zimy i upalne lata w Pradze (1771-2002)**Table 15.** The frosty winters and hot summers in Prague (1771-2002)

ZIMA				LATO			
mroźna		ciepła		cieple		chłodne	
1799	-6,9	1796	4,3	1985	16,0	1775	20,7
1963	-6,9	1794	4,0	1962	16,0	1859	20,7
1830	-6,1	1834	3,5	1977	16,0	1808	20,7
1929	-5,5	1791	3,3	1996	15,9	1787	20,8
1784	-5,5	1790	3,2	1965	15,9	1781	21,0
1841	-5,5	1916	3,2	1987	15,8	1868	21,1
1838	-5,5	1822	3,1	1956	15,6	1826	21,4
1985	-4,5	1807	3,0	1984	15,5	1807	21,9
1871	-4,4	1825	2,8	1980	15,3	1811	22,1
1964	-4,4	1935	2,7	1978	15,0	1834	22,2

Tabela 16. Mroźne zimy i upalne lata w Rzymie (1811-1991)
Table 16. The frosty winters and hot summers in Rome (1811-1991)

ZIMA				LATO			
mroźna		ciepła		cieple		chłodne	
1929	5,2	1977	10,6	1822	26,6	1953	21,2
1858	5,5	1988	10,2	1928	25,9	1825	21,7
1880	5,5	1979	10,1	1947	25,9	1969	21,9
1942	5,7	1955	10,0	1950	25,7	1851	22,1
1901	5,9	1974	9,9	1945	25,6	1816	22,1
1891	6,0	1966	9,7	1820	25,2	1847	22,1
1905	6,0	1912	9,6	1952	25,1	1909	22,1
1850	6,1	1972	9,6	1904	24,9	1843	22,2
1909	6,2	1982	9,6	1942	24,9	1965	22,2
1874	6,4	1838	9,5	1927	24,9	1977	22,2

Tabela 17. Mroźne zimy i upalne lata w Sztokholmie (1756-1994)
Table 17. The frosty winters and hot summers in Stockholm (1756-1994)

ZIMA				LATO			
mroźna		ciepła		cieple		chłodne	
1809	-8,7	1973	1,8	1789	19,2	1902	13,1
1814	-8,2	1790	1,6	1819	19,2	1928	13,2
1871	-8,2	1949	1,6	1826	19,0	1832	13,4
1942	-7,8	1925	1,5	1775	18,6	1862	13,5
1789	-7,7	1930	1,3	1858	18,6	1907	13,5
1893	-7,4	1822	1,1	1783	18,5	1867	13,6
1805	-7,3	1824	1,0	1901	18,3	1844	13,7
1767	-7,2	1975	1,0	1969	18,2	1923	13,8
1838	-7,1	1989	0,9	1798	18,2	1821	13,8
1875	-6,7	1990	0,6	1947	18,1	1987	13,9

Tabela 18. Mroźne zimy i upalne lata w Moskwie (1779-2002)
Table 18. The frosty winters and hot summers in Moscow (1779-2002)

ZIMA				LATO			
mroźna		ciepła		cieple		chłodne	
1893	-16,8	1961	-2,9	1841	21,6	1904	13,6
1942	-15,0	1989	-3,3	1839	20,9	1928	14,6
1956	-14,5	2000	-3,5	1938	20,3	1976	14,7
1838	-14,0	1990	-3,7	1972	20,1	1899	14,7
1840	-13,7	1843	-3,9	1850	20,1	1923	14,7
1889	-13,5	1983	-4,1	1999	19,8	1825	14,8
1883	-13,5	1957	-4,2	1936	19,8	1962	14,8
1789	-13,3	1822	-4,3	1854	19,6	1950	14,9
1841	-13,3	1975	-4,3	1981	19,5	1888	15,0
1783	-13,1	1952	-4,3	1954	19,4	1916	15,1

4.1.4. Widma temperatury powietrza w Europie

Widma temperatury powietrza w 40 miejscowościach europejskich podczas zimy i lata wyznaczono metodą „sinusoid regresji” w paśmie 2,0-200 lat z odstępem $\Delta\Theta = 0,1$ roku. Metoda „sinusoid regresji” wyznaczania widm i okresów opracowana w Zakładzie Klimatologii UW polega na dopasowaniu (według warunku najmniejszych kwadratów) kolejnych sinusoid o równaniu

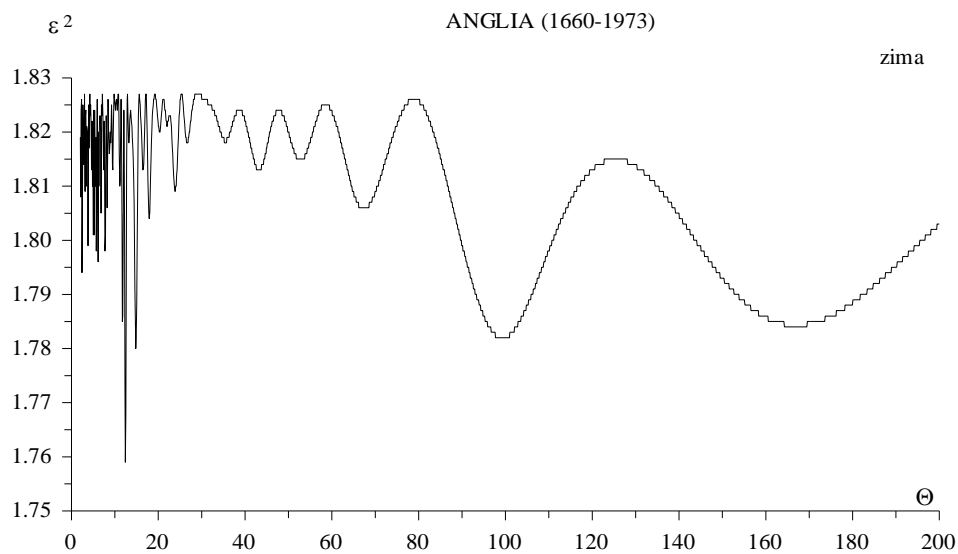
$$T = a_0 + b \sin\left(\frac{2\pi}{\Theta} t + c\right)$$

przy zmiennym okresie Θ do ciągu chronologicznego wyników pomiarów (t_i, T_i). Ciąg wartości wariancji reszkowej $\varepsilon_1^2, \varepsilon_2^2, \dots, \varepsilon_n^2$ – to tzw. widmo, a jego minima lokalne – to okresy Θ . Tylko tę metodę można było stosować, gdy w serii pomiarowej odstęp czasu były różne – występowały liczne braki.

Oto parametry zimowych cykli temperatury powietrza w Uppsali (1739-1970):

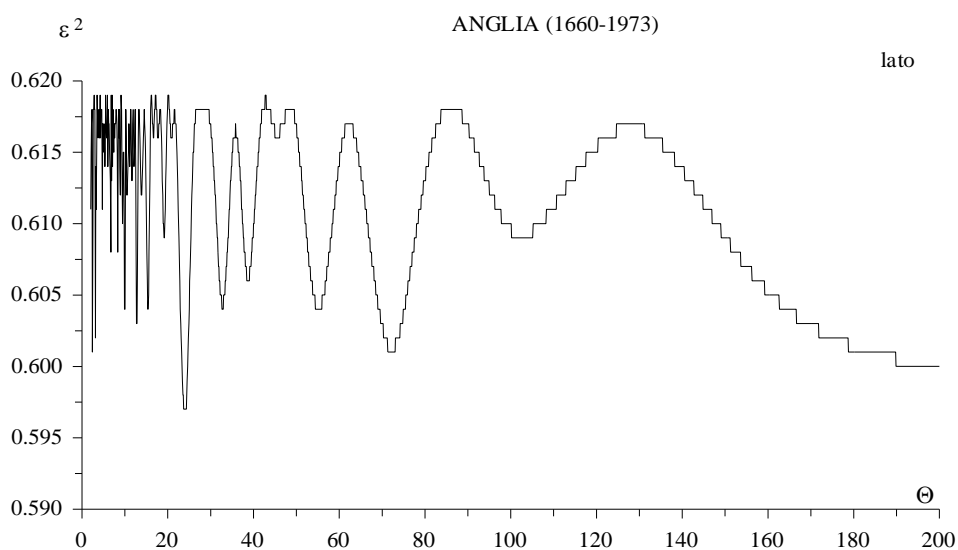
Zima			Lato		
Okres Θ	b	Faza c	Okres Θ	b	Faza c
6	0,531	3,1222	6,0	0,246	2,8067
13	0,646	-0,8719	7,9	0,142	0,0468
23	0,535	-0,2635	11,1	0,221	-1,1273
26	0,461	-1,3267	13,7	0,230	-2,3016
30	0,710	1,6685	18,4	0,271	1,3435
103	0,403	1,9351	21,0	0,213	-0,7315
188	1,156	0,5230	27,3	0,144	1,4194
			37,5	0,254	-2,9977
			45,4	0,180	-2,5058
			94,0	0,305	-2,6456
			192,8	0,222	0,5981

Widma temperatury powietrza (podczas zimy i lata) w 9 miejscowościach (wybranych spośród 40) znajdujących się w Europie przedstawiają wykresy na rys. 1-18.



Rys. 1. Widmo temperatury powietrza w Anglii w latach 1660-1973 (w paśmie 2,0- 200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – zima

Fig. 1. Spectrum of air temperature in England in the years 1660-1973(in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta = 0.1$) – winter



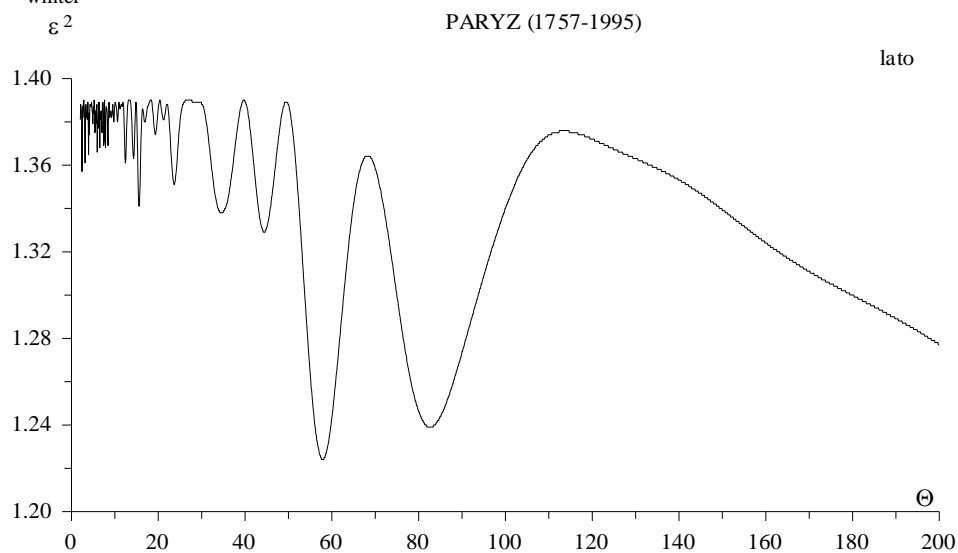
Rys. 2. Widmo temperatury powietrza w Anglii w latach 1660-1973 (w paśmie 2,0- 200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – lato

Fig. 2. Spectrum of air temperature in England in the years 1660-1973 (in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta = 0.1$) – summer



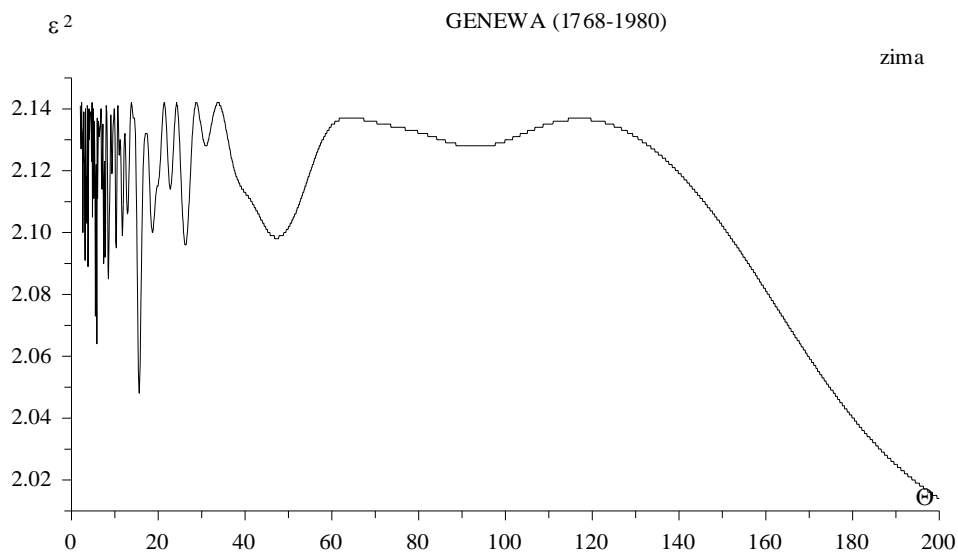
Rys. 3. Widmo temperatury powietrza w Paryżu w latach 1757-1995 (w paśmie 2,0- 200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – zima

Fig. 3. Spectrum of air temperature in Paris in the years 1757-1995, (in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta = 0.1$) – winter



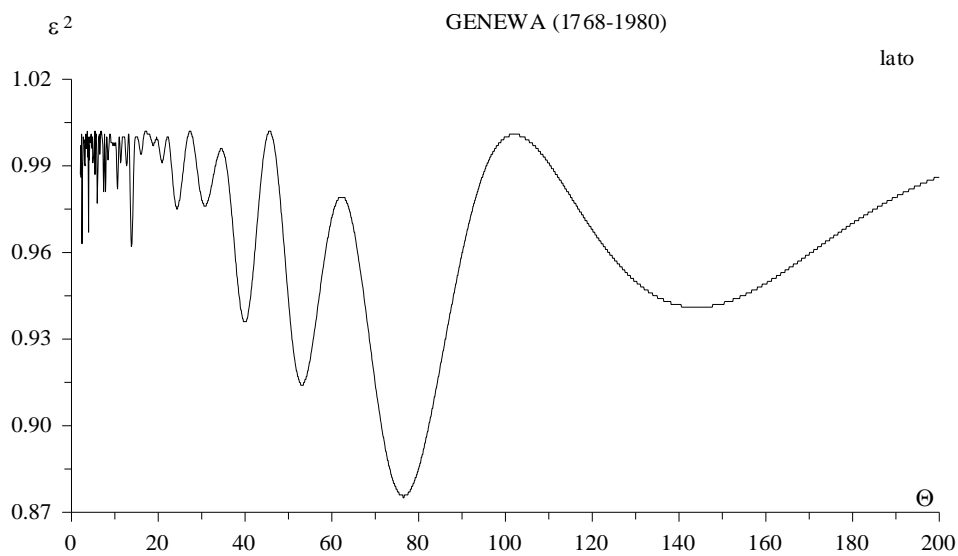
Rys. 4. Widmo temperatury powietrza w Paryżu w latach 1757-1995 (w paśmie 2,0- 200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – lato

Fig. 4. Spectrum of air temperature in Paris in the years 1757-1995 (in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta = 0.1$) – summer



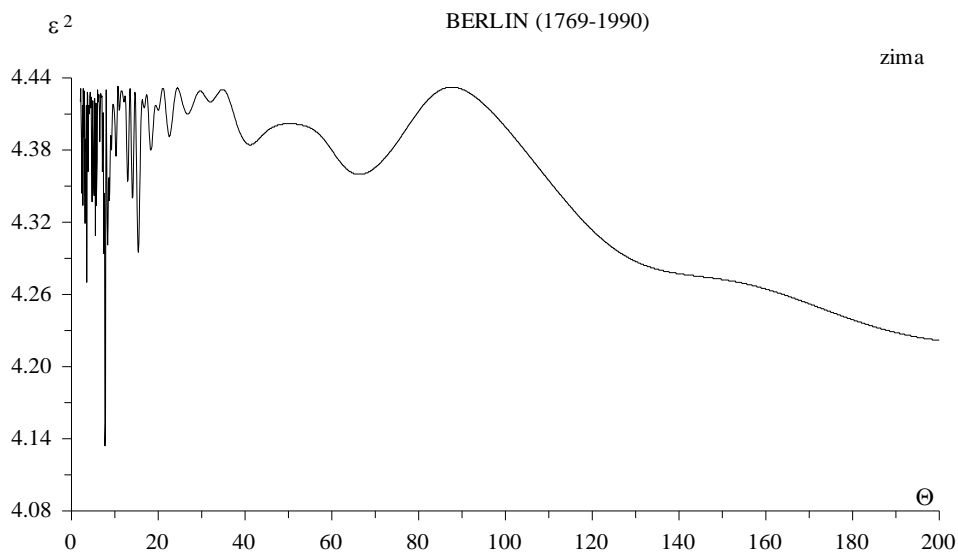
Rys. 5. Widmo temperatury powietrza w Genewie w latach 1768-1980 (w paśmie 2,0- 200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – zima

Fig. 5. Spectrum of air temperature in Geneva in the years 1768-1980 (in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta = 0.1$) – winter



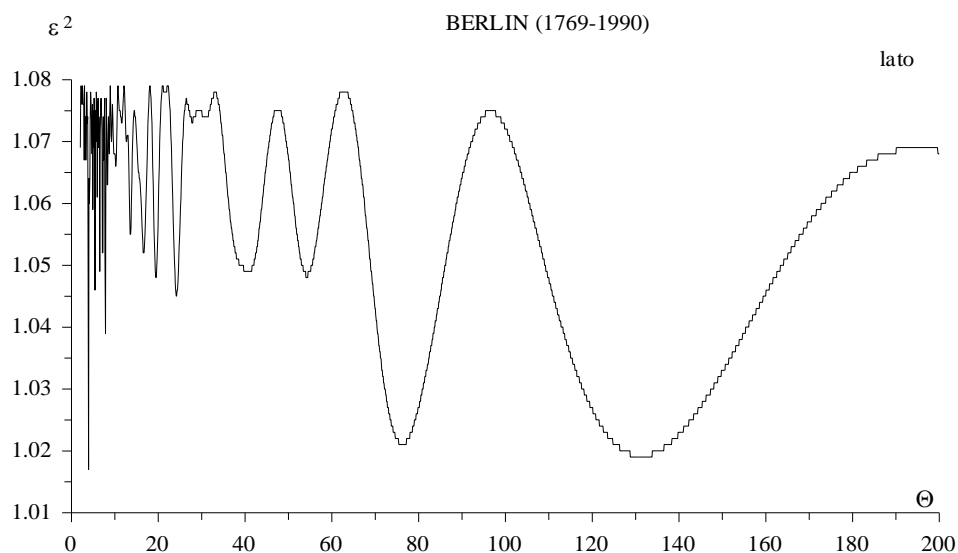
Rys. 6. Widmo temperatury powietrza w Genewie w latach 1768-1980 (w paśmie 2,0- 200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – lato

Fig. 6. Spectrum of air temperature in Geneva in the years 1768-1980 (in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta = 0.1$) – summer



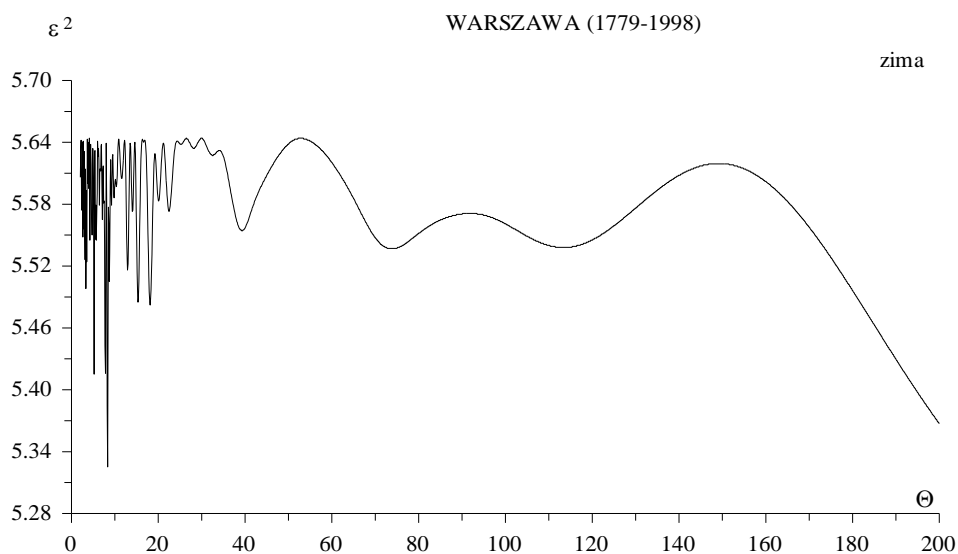
Rys. 7. Widmo temperatury powietrza w Berlinie w latach 1769-1990 (w paśmie 2,0- 200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – zima

Fig. 7. Spectrum of air temperature in Berlin in the years 1769-1990 (in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta = 0.1$) – winter



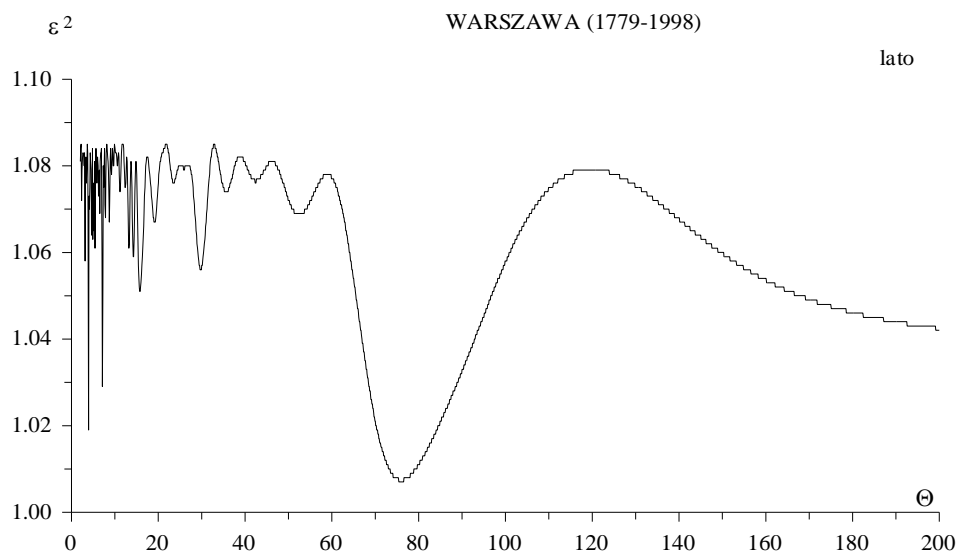
Rys. 8. Widmo temperatury powietrza w Berlinie w latach 1769-1990 (w paśmie 2,0- 200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – lato

Fig. 8. Spectrum of air temperature in Berlin in the years 1769-1990 (in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta = 0.1$) – summer



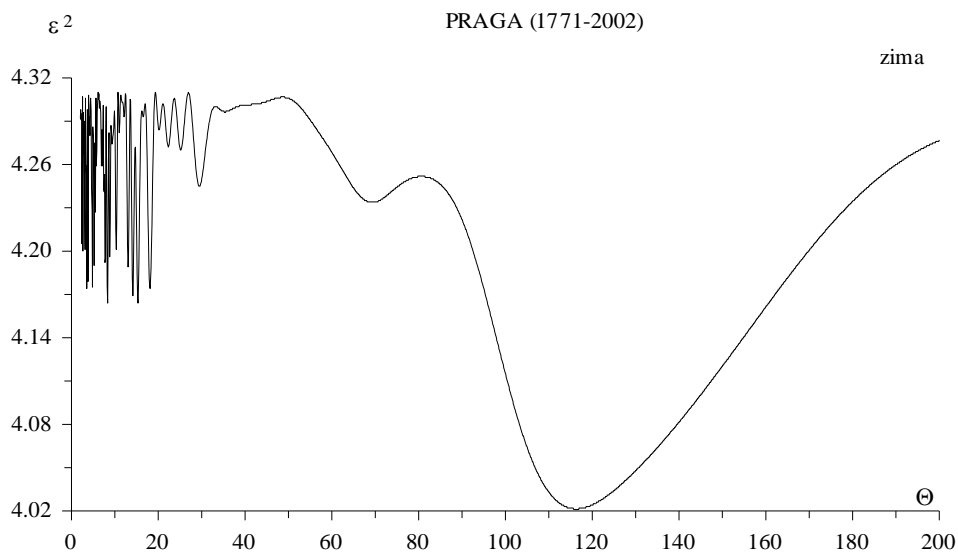
Rys. 9. Widmo temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1998 (w paśmie 2,0- 200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – zima

Fig. 9. Spectrum of air temperature in Warsaw in the years 1779-1998 (in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta = 0.1$) – winter



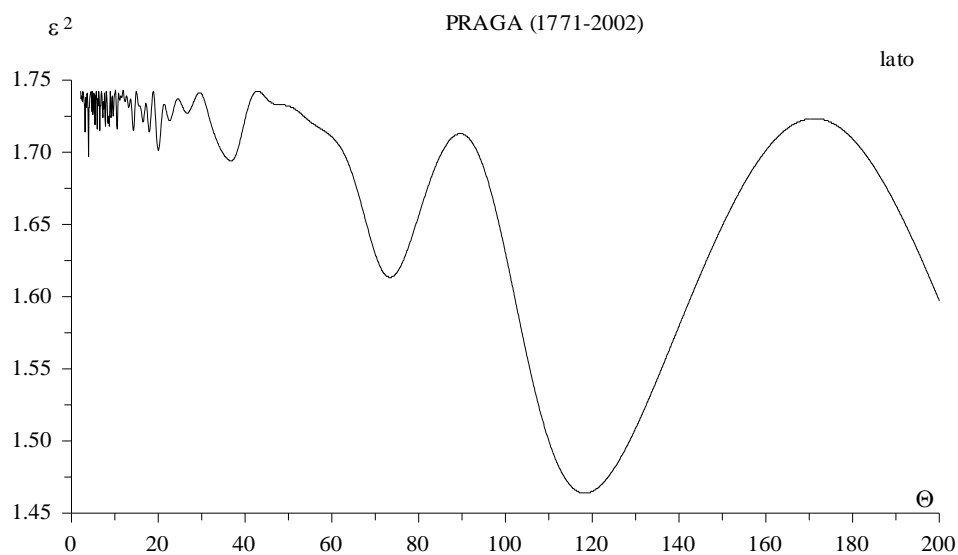
Rys. 10. Widmo temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1998 (w paśmie 2,0- 200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – lato

Fig. 10. Spectrum of air temperature in Warsaw in the years 1779-1998 (in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta = 0.1$) – summer



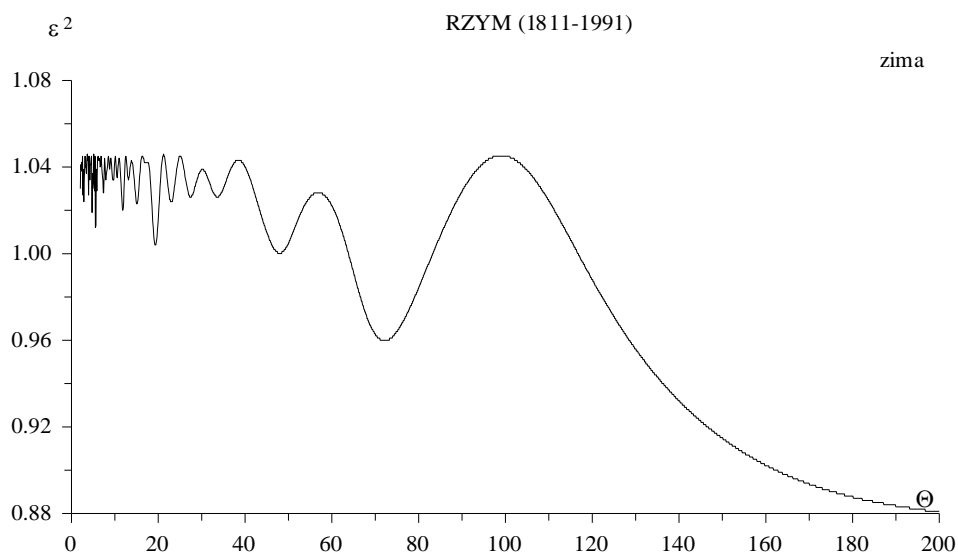
Rys. 11. Widmo temperatury powietrza w Pradze w latach 1771-2002 (w paśmie 2,0- 200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – zima

Fig. 11. Spectrum of air temperature in Prague in the years 1771-2002 (in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta = 0.1$) – winter



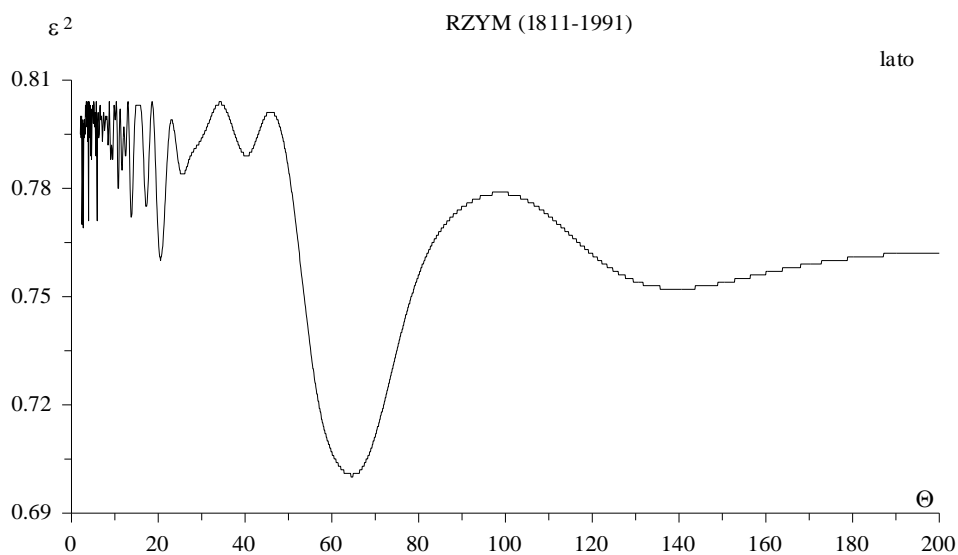
Rys. 12. Widmo temperatury powietrza w Pradze w latach 1771-2002 (w paśmie 2,0- 200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – lato

Fig. 12. Spectrum of air temperature in Prague in the years 1771-2002 (in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta = 0.1$) – summer



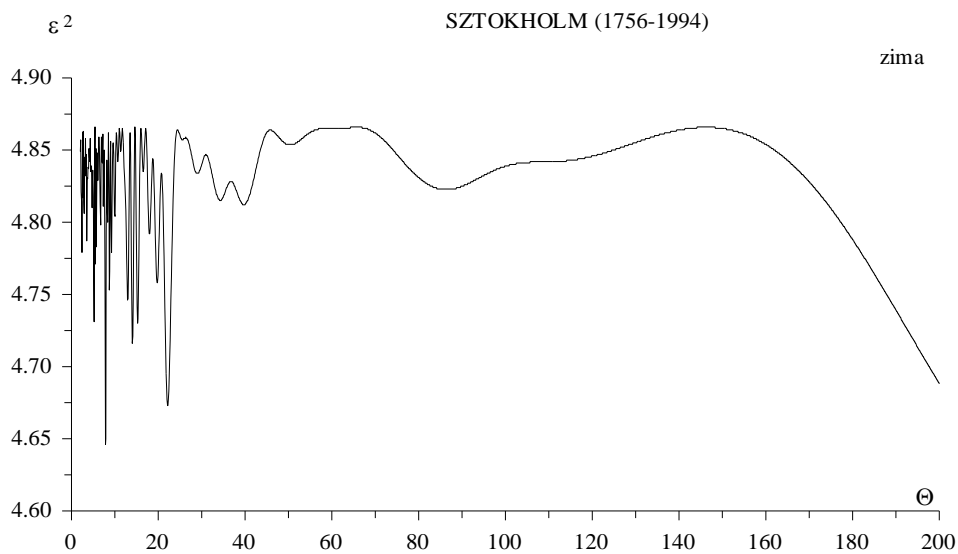
Rys. 13. Widmo temperatury powietrza w Rzymie w latach 1811-1991 (w paśmie 2,0- 200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – zima

Fig. 13. Spectrum of air temperature in Rome in the years 1811-1991 (in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta = 0.1$) – winter



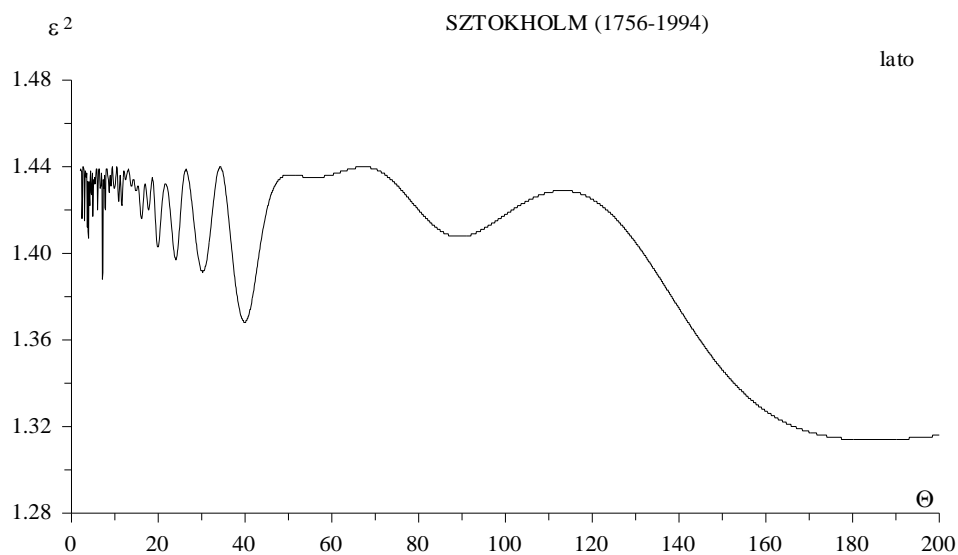
Rys. 14. Widmo temperatury powietrza w Rzymie w latach 1811-1991 (w paśmie 2,0- 200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – lato

Fig. 14. Spectrum of air temperature in Rome in the years 1811-1991 (in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta = 0.1$) – summer



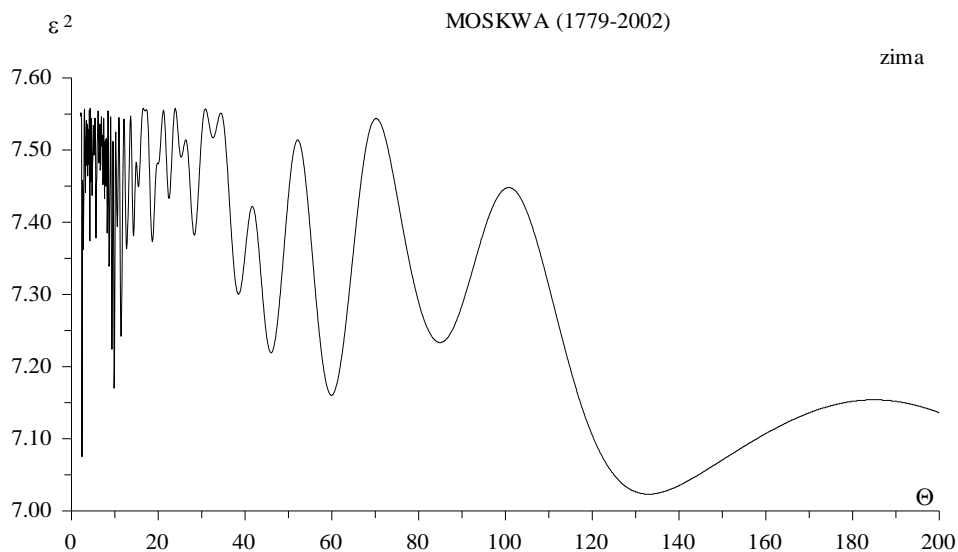
Rys. 15. Widmo temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1756-1994 (w paśmie 2,0- 200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – zima

Fig. 15. Spectrum of air temperature in Stockholm in the years 1756-1994 (in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta = 0.1$) – winter



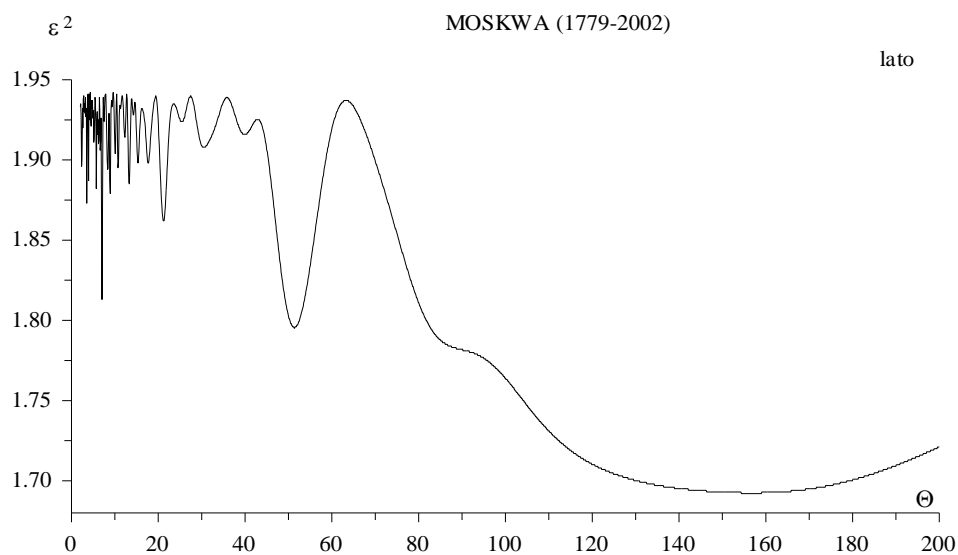
Rys. 16. Widmo temperatury powietrza w Sztokholmie (1756-1994) w paśmie 2,0- 200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$ – lato

Fig. 16. Spectrum of air temperature in Stockholm (1756-1994) in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta = 0.1$ – summer



Rys. 17. Widmo temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2002 (w paśmie 2,0- 200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – zima

Fig. 17. Spectrum of air temperature in Moscow in the years 1779-2002 (in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta = 0.1$) – winter



Rys. 18. Widmo temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2002 (w paśmie 2,0- 200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – lato

Fig. 18. Spectrum of air temperature in Moscow in the years 1779-2002 (in the strip 2.0-200 years, $\Delta\Theta = 0.1$) – summer

4.1.5. Zmiany temperatury powietrza w Europie w XVIII-XX wieku. Rekonstrukcja i prognoza po rok 2100

W identyfikacji naturalnych przyczyn zmian klimatu Ziemi fundamentalne znaczenie ma spełnienie zasady, że okresowość przyczyn i skutków powinna być zbliżona. Dlatego też istotne jest wskazanie analogicznej cykliczności domniemanych przyczyn – zmiennych: astronomicznych (aktywność Słońca, parametry Układu Słonecznego) i skutków – zmiennych klimatologicznych (cyrkulacja atmosferyczna, temperatura powietrza)

W widmach wymienionych zmiennych są obecne okresy zbliżone do okresów obiegu czterech największych planet dookoła Słońca i ich wzajemnego położenia.

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

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

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

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

Cykl 180-letni wielokrotnie powtarza się w ciągach chronologicznych paleotemperatury (izotopu ^{18}O) i zawartości substancji w osadach jeziornych sprzed kilkunastu tysięcy lat.

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

Ciągi czasowe temperatury powietrza w ostatnich stuleciach w Europie świadczą, że współczesne ocieplenie klimatu może w dużym stopniu wynikać z przyczyn naturalnych. Nie bez znaczenia są prawie przystające proste regresji standaryzowanych wartości aktywności Słońca i temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000: $W^* = 0,0037t - 6,956$, $T^* = 0,0047t - 8,940$

Tendencja rosnąca temperatury powietrza, zwłaszcza zimą, jest po prostu wypadkową nakładania się cykli naturalnych. Na przykład coraz cieplejsze zimy w Warszawie – o $1,03^\circ\text{C}/100$ lat w latach 1779-1998 są efektem nałożenia się kilku okresów: 3,3; 5,2; 7,1; 8,3; 12,9; 15,3; 18,1; 22,5; 39,6; 73,8; 113,4; 178,9 lat. Ich wypadkowa (prosta regresji) wyjaśnia wzrost temperatury powietrza podczas zim o

0,93°C/100 lat. Na zmienność antropogeniczną przypada zaledwie 0,1°C/100 lat. Analogiczne coraz cieplejsze zimy w Genewie – 0,05°C/100 lat, Pradze – 0,25°C/100 lat są efektem nakładania się cyklicznych wahań temperatury powietrza.

Funkcje progностyczne $T = f(t)$ – to wypadkowe interferencji istotnych statystycznie cykli:

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

Na przykład funkcja progностyczna średniej temperatury powietrza w zimie w Uppsali ma postać:

$$T = -3,8 + 0,531 \sin(2\pi t/6,1 + 3,1222) + 0,646 \sin(2\pi t/12,7 - 0,8719) + 0,535 \sin(2\pi t/23,2 - 0,2635) + \\ + 0,461 \sin(2\pi t/26,0 - 1,3267) + 0,710 \sin(2\pi t/30,1 + 1,6685) + 0,403 \sin(2\pi t/102,7 + 1,9351) + \\ + 1,156 \sin(2\pi t/188,1 + 0,523)$$

Oceną dokładności 80 funkcji progностycznych temperatury powietrza w zimie (40) i w lecie (40) są: wariancja resztkowa ε^2 , współczynnik korelacji wielokrotnej R i współczynnik specjalny korelacji R_s podane w tabelach.

Zmiany temperatury powietrza podczas zimy i lata w wybranych 9 spośród 40 miejscowości obszaru Europy przedstawiają wykresy wartości funkcji progностycznych $T = f(t)$ na rys. 19-36. W przedziałach pomiarowych są to wartości aproksymowane na podstawie funkcji $T = f(t)$, a poza przedziałem aproksymacji – wartości prognozowane. Na rysunkach tych przedstawiono również zmierzone wartości temperatury powietrza (zimą i latem) w poszczególnych miejscowościach wraz z prostą regresji i jej równaniem.

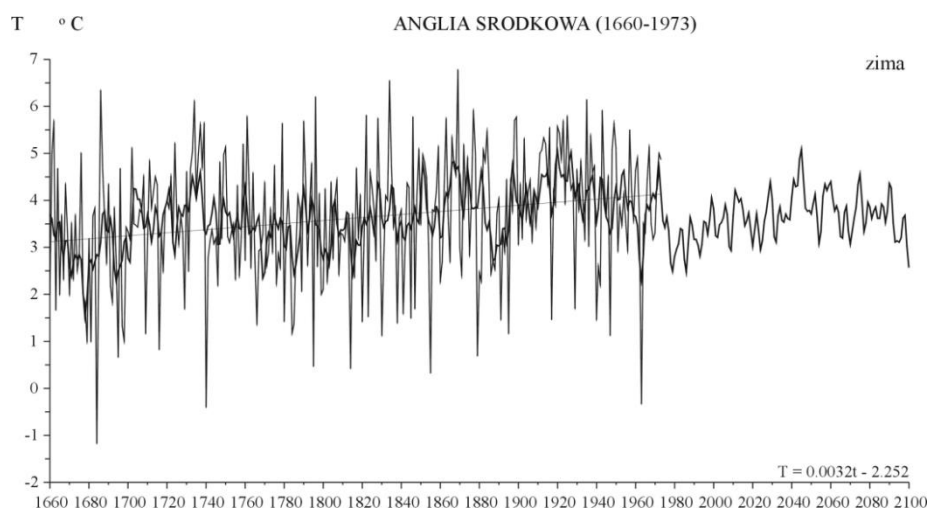
Zmiany średnich wartości temperatury powietrza w zimie w Warszawie w XXI wieku opisuje funkcja trendu czasowego $T = f(t)$ o współczynniku korelacji $R = 0,589$:

$$T = -2,54 + \\ + 0,542 \sin(2\pi t/3,3 + 0,5592) + 0,669 \sin(2\pi t/5,2 + 0,5598) + 0,488 \sin(2\pi t/7,1 + 2,4537) + \\ + 0,832 \sin(2\pi t/8,3 + 2,5615) + 0,483 \sin(2\pi t/12,9 + 1,2135) + 0,455 \sin(2\pi t/15,3 + 1,1780) + \\ + 0,458 \sin(2\pi t/18,1 + 1,8846) + 0,260 \sin(2\pi t/22,5 - 2,6135) + 0,312 \sin(2\pi t/39,6 - 2,5485) + \\ + 0,263 \sin(2\pi t/73,8 + 2,0027) + 0,511 \sin(2\pi t/113,4 - 2,9818) + 0,156 \sin(2\pi t/178,9 + 2,0110)$$

W Europie (i Polsce) w XXI wieku można oczekiwać znacznego ochłodzenia klimatu, zwłaszcza bardziej mroźnych zim niż w drugiej połowie XX wieku. Świadczą o tym wykresy wypadkowych $T = f(t)$ z nakładania się (interferencji) cykli temperatury powietrza, obecnych w seriach pomiarowych. Główne minima funkcji $T = f(t)$ w Warszawie przypadają na lata: 2005 (-3,8°C), 2012 (-4,1), 2019 (-3,7), 20032 (-3,6), 2046 (-4,0), 2052-2055 (-4,2), 2068-2072 (-4,4), 2088 (-4,7°C).

Należy zaznaczyć, że są to prognozy naturalnych zmian klimatu, wywołanych przez naturalne (okresowe) czynniki.

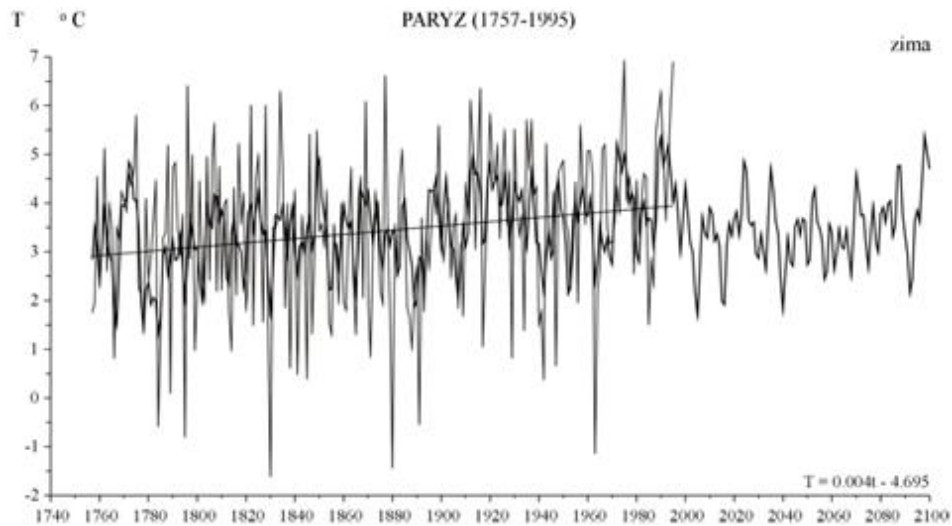
Rekonstrukcje i prognozy temperatury powietrza w Europie (rys. 19-36)



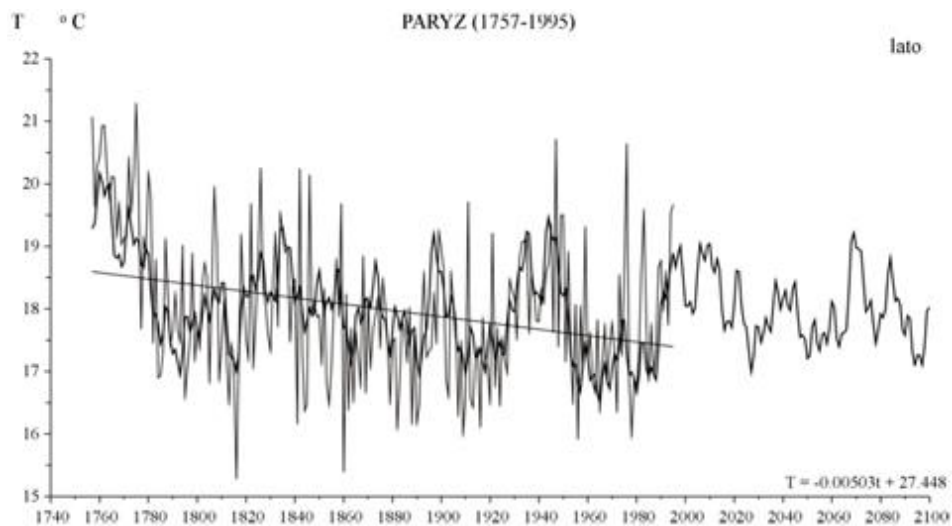
Rys. 19. Zmiany temperatury powietrza w Anglii w latach 1660-1973 – prognoza wiatkach 1974-2100 – zima
Fig. 19. Changes of air temperature in England in the 1660-1973 years – forecasts in years 1974-2100 – winter



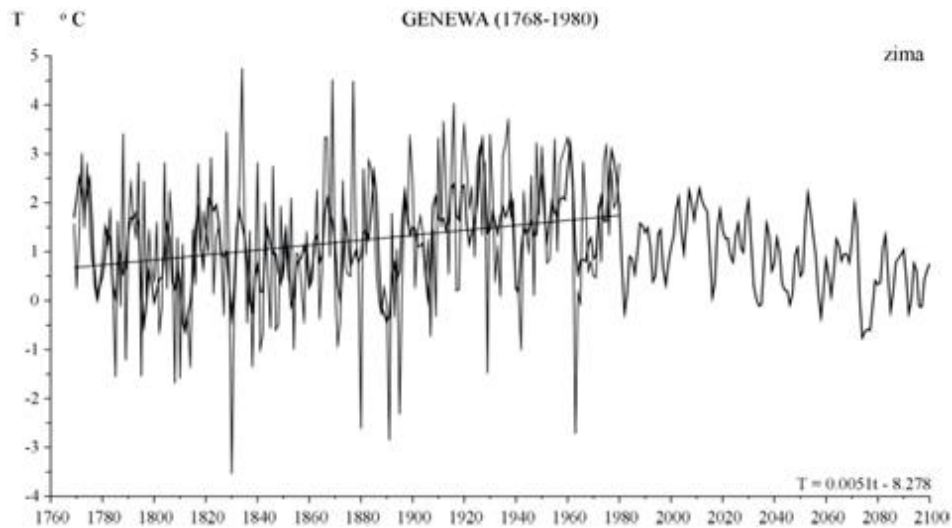
Rys. 20. Zmiany temperatury powietrza w Anglii w latach 1660-1973 – prognoza wiatkach 1974-2100 – lato
Fig. 20. Changes of air temperature in England in the 1660-1973 years – forecasts in years 1974-2100 – summer



Rys. 21. Zmiany temperatury powietrza w Paryżu w latach 1757-1995 – prognoza wiatkach 1996-2100 – zima
Fig. 21. Changes of air temperature in Paris in the 1757-1995 years – forecasts in years 1996-2100 – winter

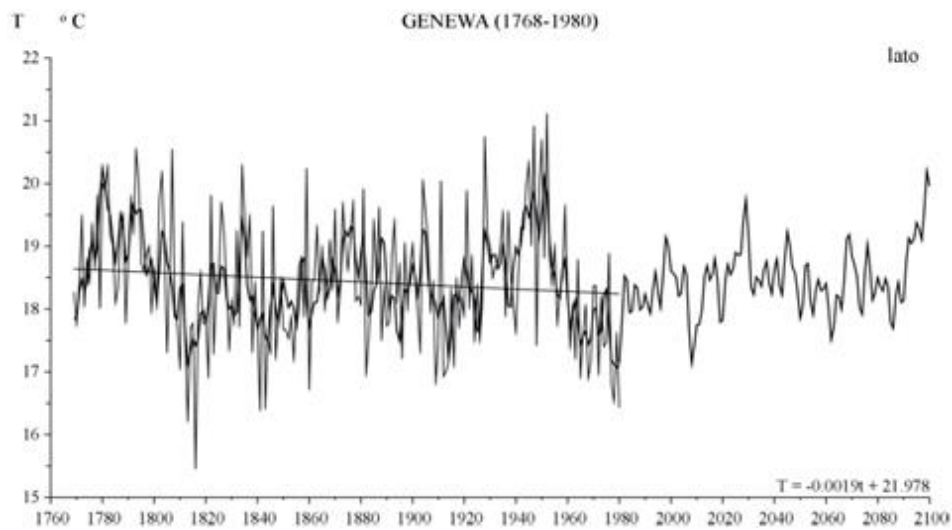


Rys. 22. Zmiany temperatury powietrza w Paryżu w latach 1757-1995 – prognoza wiatkach 1996-2100 – lato
Fig. 22. Changes of air temperature in Paris in the 1757-1995 years – forecasts in years 1996-2100 – summer



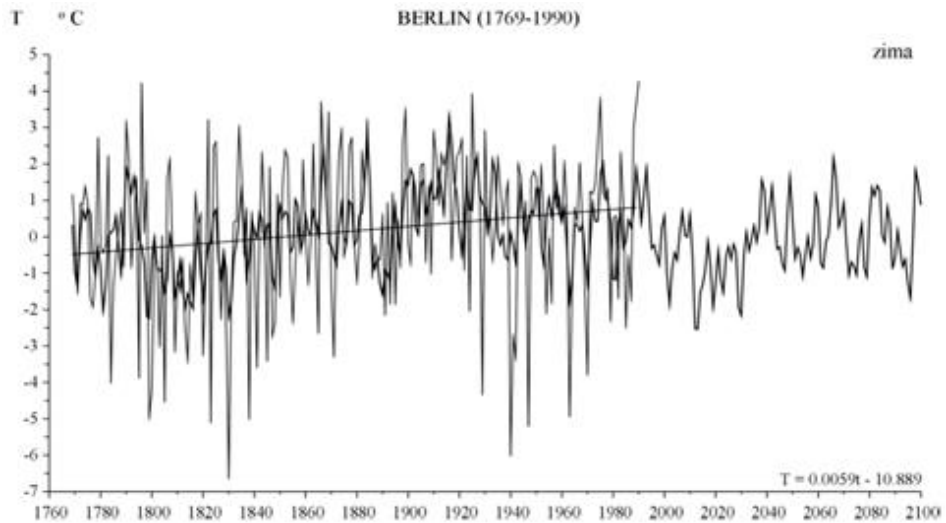
Rys. 23. Zmiany temperatury powietrza w Genewie w latach 1768-1980 – prognoza wiatkach 1981-2100 – zima

Fig. 23. Changes of air temperature in Geneva in the 1768-1980 years – forecasts in years 1981-2100 – winter



Rys. 24. Zmiany temperatury powietrza w Genewie w latach 1768-1980 – prognoza wiatkach 1981-2100 – lato

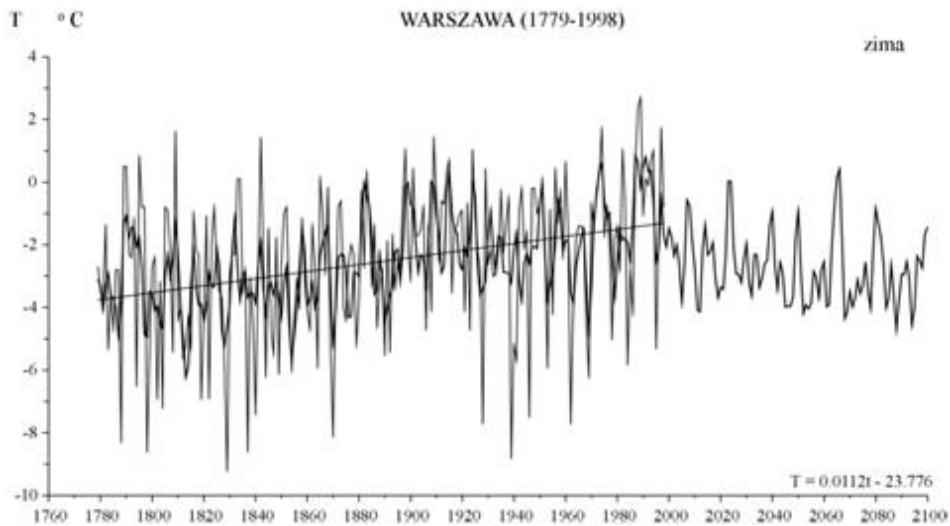
Fig. 24. Changes of air temperature in Geneva in the 1768-1980 years – forecasts in years 1981-2100 – summer



Rys. 25. Zmiany temperatury powietrza w Berlinie w latach 1769-1990 – prognoza wiatkach 1991-2100 – zima
Fig. 25. Changes of air temperature in Berlin in the 1769-1990 years – forecasts in years 1991-2100 – winter

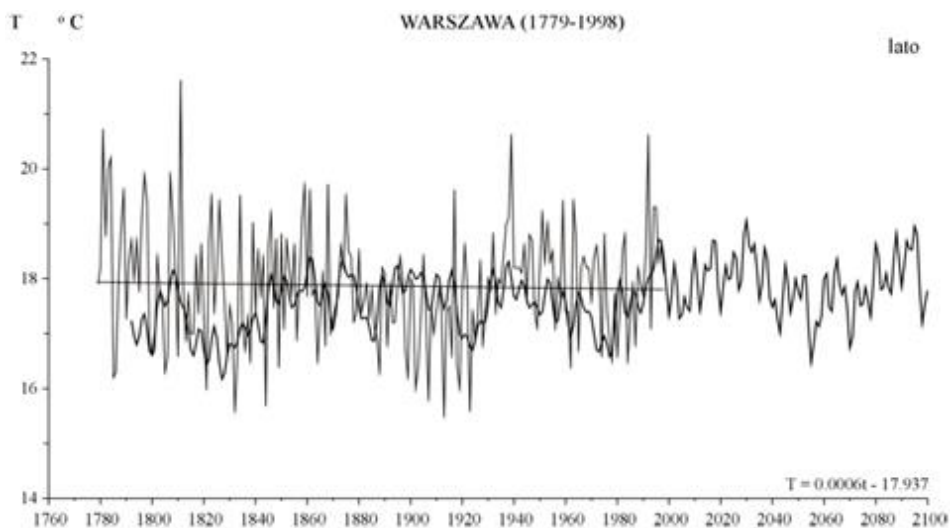


Rys. 26. Zmiany temperatury powietrza w Berlinie w latach 1769-1990 – prognoza wiatkach 1991-2100 – lato
Fig. 26. Changes of air temperature in Berlin in the 1769-1990 years – forecasts in years 1991-2100 – summer



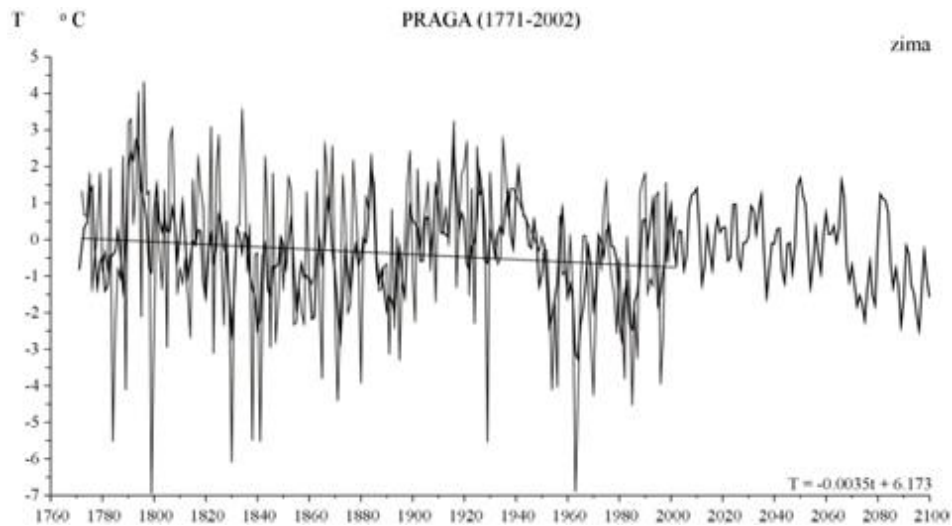
Rys. 27. Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1998 – prognoza wiatkach 1999-2100 – zima

Fig. 27. Changes of air temperature in Warsaw in the 1779-1998 – forecasts in years 1999-2100 – winter

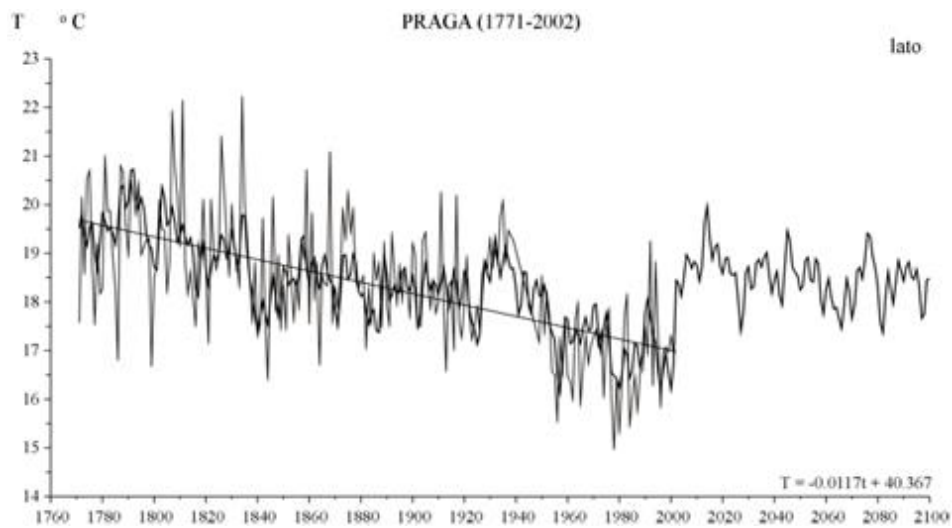


Rys. 28. Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1998 – prognoza wiatkach 1999-2100 – lato

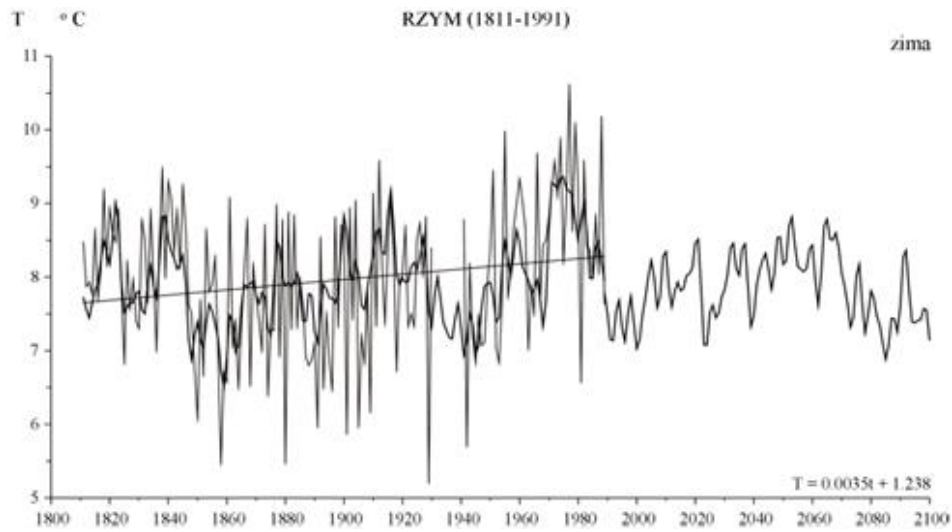
Fig. 28. Changes of air temperature in Warsaw in the 1779-1998 – forecasts in years 1999-2100 – summer



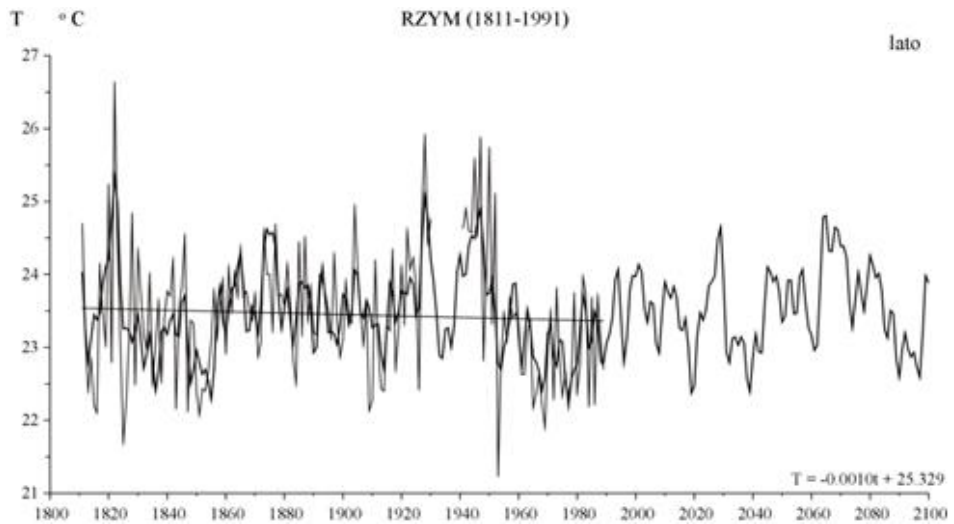
Rys. 29. Zmiany temperatury powietrza w Pradze w latach 1771-2002 – prognoza wiatkach 2003-2100 – zima
Fig. 29. Changes of air temperature in Prague in the 1771-2002 years – forecasts in years 2003-2100 – winter



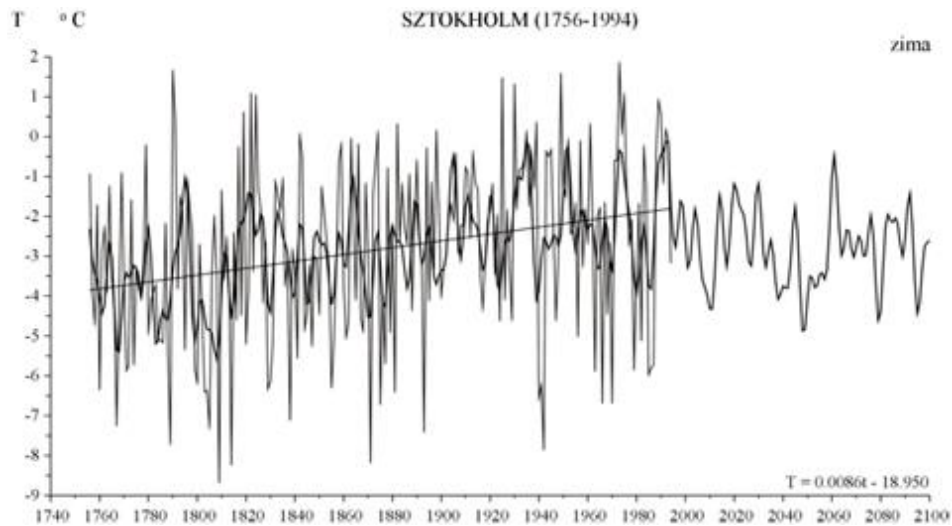
Rys. 30. Zmiany temperatury powietrza w Pradze w latach 1771-2002 – prognoza wiatkach 2003-2100 – lato
Fig. 30. Changes of air temperature in Prague in the 1771-2002 years – forecasts in years 2003-2100 – summer



Rys. 31. Zmiany temperatury powietrza w Rzymie w latach 1811-1991 – prognoza wiatkach 1992-2100 – zima
Fig. 31. Changes of air temperature in Rome in the 1811-1991 years – forecasts in years 1992-2100 – winter

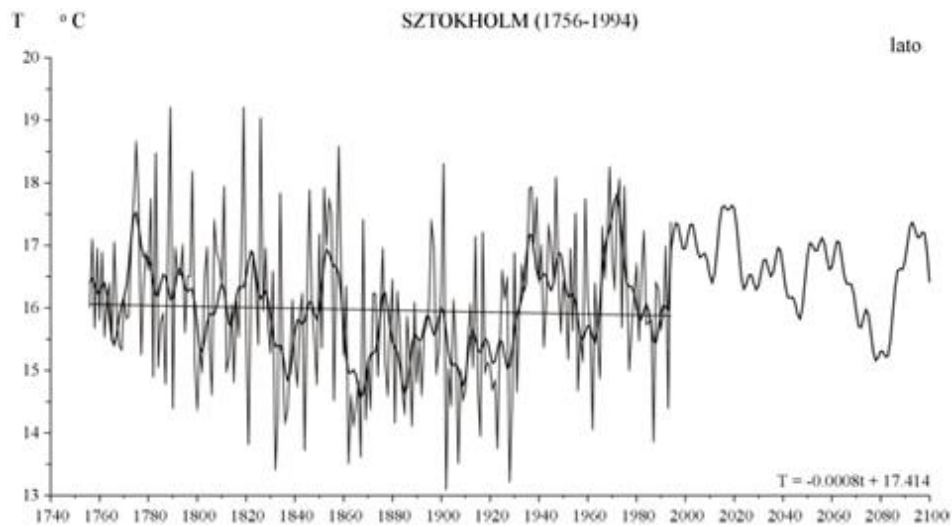


Rys. 32. Zmiany temperatury powietrza w Rzymie w latach 1811-1991 – prognoza wiatkach 1992-2100 – lato
Fig. 32. Changes of air temperature in Rome in the 1811-1991 years – forecasts in years 1992-2100 – summer



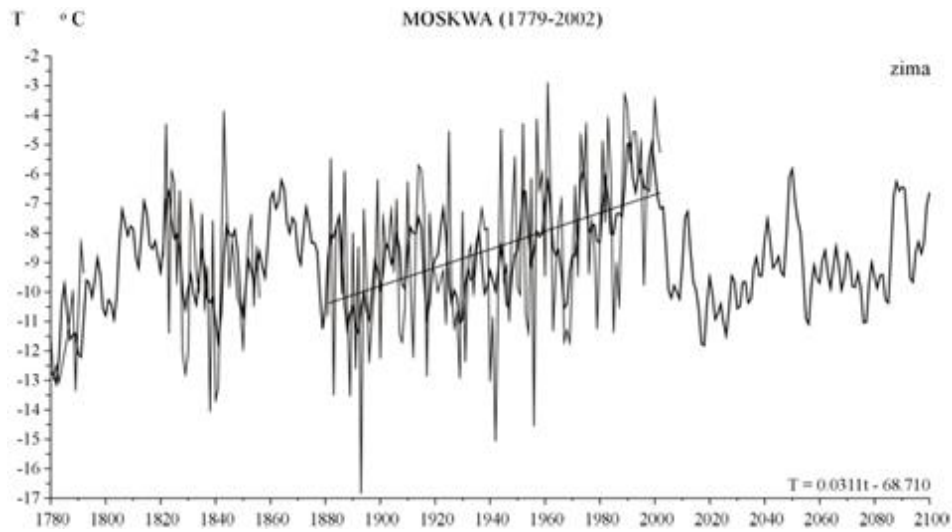
Rys. 33. Zmiany temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1756-1994 – prognoza wiatkach 1995-2100 – zima

Fig. 33. Changes of air temperature in Stockholm in the 1756-1994 – forecasts in years 1995-2100 – winter



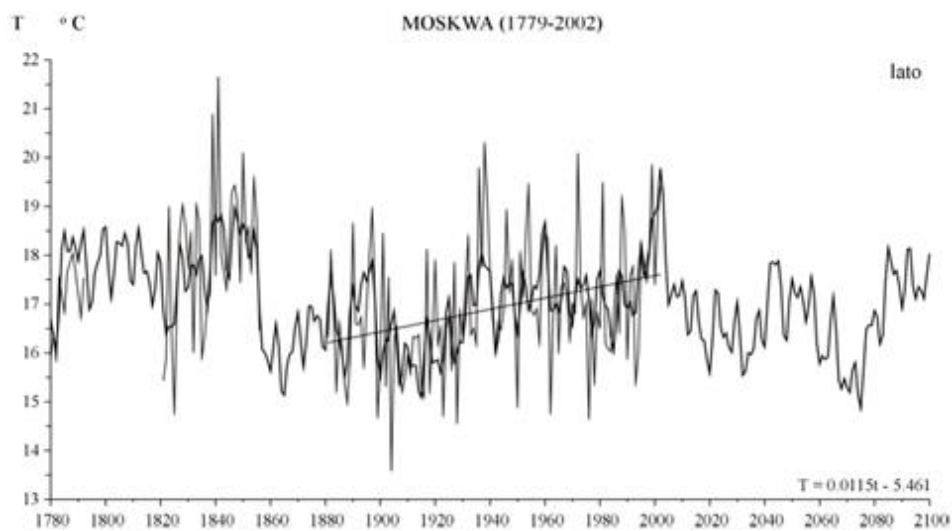
Rys. 34. Zmiany temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1756-1994 – prognoza wiatkach 1995-2100 – lato

Fig. 34. Changes of air temperature in Stockholm in the 1756-1994 – forecasts in years 1995-2100 – summer



Rys. 35. Zmiany temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2002 – prognoza wiatkach 2003-2100 – zima

Fig. 35. Changes of air temperature in Moscow in the 1779-2002 years – forecasts in years 2003-2100 – winter



Rys. 36. Zmiany temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2002 – prognoza wiatkach 2003-2100 – lato

Fig. 36. Changes of air temperature in Moscow in the 1779-2002 years – forecasts in years 2003-2100 – summer.

Oceny dokładności funkcji prognostycznych $T(t)$ – wypadkowej interferencji cykli w zimie i lecie w wybranych 9 miejscowościach w Europie przedstawiono w tab. 19-20

Tabela 19. Ocena dokładności funkcji prognostycznych $T(t)$ – zima, T_{sr} – średnia arytmetyczna, s – odchylenie standardowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji wielokrotnej, R_s – współczynnik specjalny korelacji

Table 19. Accuracy evaluation of prognostic function $T(t)$ – winter. T_{sr} – average of air temperature, s – standard deviation, ε^2 – residual variance, R – multiple correlation index, R_s – coefficient correlation

Nr	Miejscowość	T_{sr}	s	ε^2	R	R_s
1.	Anglia Środkowa	3,62	1,35	1,466	0,444	0,900
2.	Paryż	3,42	1,61	1,939	0,496	0,930
3.	Genewa	1,21	1,46	1,515	0,541	0,761
4.	Berlin	0,17	2,11	3,352	0,494	0,499
5.	Warszawa	-2,54	2,40	4,344	0,480	0,800
6.	Praga	-0,35	2,08	3,108	0,528	0,547
7.	Rzym	7,96	1,02	0,720	0,558	0,994
8.	Sztokholm	-2,83	2,21	3,526	0,525	0,852
9.	Moskwa	-8,83	2,75	4,897	0,593	0,971

Tabela 20. Ocena dokładności funkcji prognostycznych $T(t)$ – lato, T_{sr} – średnia arytmetyczna, s – odchylenie standardowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji wielokrotnej, R_s – współczynnik specjalny korelacji

Table 20. Accuracy evaluation of prognostic function $T(t)$ – summer, T_{sr} – average of air temperature, s – standard deviation, ε^2 – residual variance, R – multiple correlation index, R_s – coefficient correlation

Nr	Miejscowość	T_{sr}	s	ε^2	R	R_s
1.	Anglia Środkowa	15,25	0,78	0,444	0,532	0,990
2.	Paryż	18,00	1,18	0,823	0,638	0,999
3.	Genewa	18,44	1,00	0,584	0,646	0,999
4.	Berlin	17,98	1,04	0,685	0,604	0,999
5.	Warszawa	17,87	1,04	0,754	0,552	0,999
6.	Praga	18,36	1,32	0,801	0,735	0,999
7.	Rzym	23,45	0,90	0,419	0,692	1,000
8.	Sztokholm	15,96	1,20	1,019	0,541	0,998
9.	Moskwa	17,15	1,39	1,145	0,640	0,998

Podsumowanie

W ciągu ostatniego miliarda lat wystąpiło 6 wielkich epok lodowych: 950, 750, 620, 44, 280, 3-2 (zlodowacenie czwartorzędowe) – średnio co 190 milionów lat. Są to tzw. „zimy kosmiczne”, których przyczyną może być obieg Układu Słonecznego dookoła środka naszej galaktyki (rok galaktyczny jest równy około 226 milionów lat). Zlodowacenia Ziemi były efektem nakładania się trzech długich cykli: 100 000 lat – mimośrod (ekscentryczności) orbity, 42 000 lat – nachylenia płaszczyzny ekliptyki do równika 21 000 lat – położenia perihelium względem punktu równonocy wiosennej (według teorii Milankoviča, 1930). W ciągu ostatniego miliona lat wystąpiło 10 głównych ochłodzeń i 10 ociepleń klimatu.

Chronologiczne ciągi czasowe substancji organicznych zdeponowanych w osadach polskich jezior informują o holocenijskich wahaniach klimatu. Za datę holocenijskiego ochłodzenia klimatu Polski można przyjąć minimum substancji organicznej 11 000- 9 000 w Jez. Gościąż. W przedziale czasu od -20 000 do -12 540 lat temu rekonstruowano

zawartość substancji organicznych w osadach na podstawie interferencji cykli: 50, 230, 360, 390, 540, 590, 1120, 1 380, 1 770, 2 970, 6 080, 12 380 lat.

Rekonstrukcje temperatury powietrza w warstwie przyziemnej w różnych miejscach Ziemi w ostatnim tysiącleciu wskazuje trzy zasadnicze przedziały czasu: „optimum średniowieczne” – 800-1200, „rnała epoka lodowa” – 1400-1900 i współczesne ocieplenie – od 1900 roku. W ostatnich 400 latach wystąpiły trzy główne ochłodzenia klimatu Ziemi, o najmniejszej średniej globalnej temperaturze powietrza na półkuli północnej w pobliżu dat: 1600, 1700, 1830. Najbardziej poznane (na podstawie danych instrumentalnych) jest to ostatnie, największe ochłodzenie w Europie i Polsce (wg serii warszawskiej i krakowskiej). Trzeba zauważyć, 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 Polsce) wystąpiło podczas wzmożonej aktywności wulkanicznej, po największych wybuchach wulkanów: 1803 – Cotopaxi, 1815 – Tambora, 1835 – Cosequina. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu są kształtowane wahaniami dopływu energii słonecznej do powierzchni Ziemi, zależnej od stałej słonecznej i zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze – pochłaniających i rozpraszających promieniowanie słoneczne.

Cyrkulacja atmosferyczna warunkuje transport magazynowanej głównie w strefie międzyzwrotnikowej, energii słonecznej w stronę biegunów.

Temperatura powietrza w Europie (i Polsce) cechuje się cyklicznością około 8-, 11-, 100- i 180-letnią. Cykle wyznaczono metodą „sinusoid regresji” J. Boryczki:

$$T_i = a_0 + b \sin \left(\frac{2\pi}{\Theta} t_i + c \right) + \varepsilon_i$$

gdzie: Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe).

W Europie (i w Polsce) dominują około 8-letnie okresy temperatury powietrza o dużych amplitudach $\Delta T = 2b = T_{\max} - T_{\min}$ (°C). Na przykład w zimie wynoszą one:

Miejscowość	Lata	ΔT °C
Warszawa	8,3	1,59
Kraków	8,3	1,87
Wrocław	8,3	1,53
Lwów	8,3	1,30
Praga	8,3	1,06
Berlin	7,7	1,54
Genewa	7,7	7,7
Wiedeń	8,3	8,3
Rzym	7,9	7,9
Sztokholm	7,8	7,8
Kopenhaga	7,8	7,8
Moskwa	7,91	0,76

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

Dużą rolę w kształtowaniu klimatu odgrywają długie cykle: 102- i 187-letni aktywności Słońca. Analogiczne okresy są obecne w seriach pomiarowych temperatury powietrza: Oto zimowe okresy około 100-letnie temperatury powietrza w Europie:

Miejscowość	Zima	Lato
Warszawa	113,4	-
Kraków	90,0	88,0
Wrocław	123,0	75,0
Lwów	108,8	74,1
Praga	116,3	118,3
Bazylea	85,5	87,6
Kopenhaga	80,5	89,6
Wiedeń	89,8	-
Anglia	99,3	102,5
Sztokholm	86,3	89,4
Uppsala	102,8	94,0
Insbruk	-	84,6

Zbliżona okresowość około 100-letnia występuje również w lecie.

W najdłuższych seriach pomiarowych są obecne także okresy prawie dwuwiekowe, zbliżone do okresu planetarnego 178,9 lat, po upływie którego powtarzają się wartości parametrów Układu Słonecznego. Na przykład: Warszawa (zima – 2 18,3, lato – 208,2); Kraków (zima – 168,3); Lwów (lato – 195,3); Berlin (zima – 218,8); Kopenhaga (lato – 211,6); Anglia środkowa (zima – 166,9, lato – 204,6); Sztokholm (zima – 184,2); Uppsala (zima – 182,,3, lato – 92,8); Insbruck (zima – 169,9).

Tendencje temperatury powietrza (a), określone równaniami prostych regresji $T = a_0 + at$, w zimie są na ogół rosnące: Warszawa (1779-1998) – zima (1,12 °C/100 lat), lato (-0,06°C/i 00 lat); Kraków (1827-1997) – zima (1,48°C), lato (0,3 1°C); Lwów (1824- 2002) zima (0,53°C), lato (-0,22°C); Praga (1771-1990) – zima (0,25°C), lato (-0,25°C); Berlin (1769-1990) – zima (0,32°C), lato (-0,39°C); Genewa – zima (0,51°C), lato (-0,40°C), Wiedeń –zima (0,69°C),lato (-0,08°C); Rzym (1811-1969) – zima (0,04°C), lato (-0,10°C); Sztokholm (1756-1994) – zima (0,86°C), lato (-0,08°C); Kopenhaga – zima (0,94°C), lato (0,05°C); Moskwa – zima (1,65°C), lato (-0,15°C).

Tendencje zmian temperatury powietrza w zimie i lecie w niektórych miastach Europy w tab. 21.

Tabela 21. Tendencje zmian temperatury powietrza w niektórych miastach Europy (°C/100 lat)

Stacje	Okres	Zima	Lato
Warszawa	1779-1998	1,12	-0,06
Kraków	1827-1997	1,48	0,31
Wrocław	1792-2002	0,69	0,25
Lwów	1824-2002	0,53	-0,22
Praga	1771-1990	0,25	-0,25
Berlin	1769-1990	0,32	-0,39
Genewa	1769-1980	0,51	-0,40
Wiedeń	1775-2002	0,69	-0,08
Rzym	1811-1989	0,04	-0,10
Sztokholm	1756-1994	0,86	-0,08
Kopenhaga	1768-1991	0,94	0,05
Moskwa	1881-2002	1,65	-0,15

W Europie (i Polsce) przede wszystkim zimy są coraz cieplejsze. Nie wiadomo, jaka część postępującego ocieplenia klimatu jest efektem oddziaływania czynników natural-

nych, a jaka – czynników antropogenicznych. Ocieplenie klimatu w XIX-XX wieku może być wywołane wzrostem aktywności Słońca i spadkiem aktywności wulkanicznej na Ziemi.

Na klimat Europy (i Polski) dominujący wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego: Niż Islandzki i Wyż Azorski. Te dwa centra ciśnienia związane z różnic temperatury między wodą Atlantyku Północnego i lądem są w ciągu roku ze sobą ujemnie skorelowane (North Atlantic Oscillation, NAO). Wskaźnik NAO w latach 1825-2000 cechuje się okresowością 8-letni, kilkunastoletni i 106,3-letni. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na klimat Polski, także na dobową amplitudę temperatury powietrza (1971-1995), dobrze charakteryzuje częstość typów cyrkulacji według klasyfikacji Osuchowskiej-Klein.

Typy cyrkulacji o charakterze cyklonalnym charakteryzują się przeważnie mniejszymi dobowymi wahaniami temperatury powietrza niż antycyklonalne. Największe dobowe amplitudy temperatury powietrza w ciągu całego roku występują w antycyklonalnych typach cyrkulacji: *G*, *D₂C*. Najmniejsze dobowe amplitudy temperatury powietrza w Polsce obserwuje się najczęściej przy napływie do Polski powietrza z północy w typach: *E*, *CB*, *E₂C* oraz *E*.

Zmienność wiekową zim i lat w 9 miejscowościach europejskich (spośród 40) scharakteryzowano, zestawiając po 10 najzimniejszych i najłagodniejszych zim (średnich z XII, I, II) oraz po 10 najcieplejszych i najchłodniejszych lat (średnich z VI, VII, VIII) (tab. 10-18).

Najzimniejsza zima w Polsce wystąpiła w roku 1830 (Warszawa – 9,8°C, Kraków – -10,3; Wrocław – -10,3). Do mroźnych można zaliczyć także zimy: 1963 (Warszawa – -9,5; Kraków – -6,9; Wrocław – -8,4), 1929 (Warszawa – -7,9; Kraków – -7,7; Wrocław – -7,1) i 1940 (Warszawa – -8,8; Kraków – -7,4; Wrocław – -7,1). Najłagodniejsze zimy wystąpiły w ostatniej dekadzie XX wieku: Warszawa – 1990 (2,3°C), 1989 (1,9°C), Kraków – 1975 (2,2°C), 1990 (1,9°C), Wrocław – 1990 (3,2°C), 1998 (2,8°C). Najcieplejsze pory letnie wystąpiły: w 1811 r. – 21,4°C, 1992 r. – 20,0°C i 2002 r. – 19,8°C

Rekonstrukcje i prognozy temperatury powietrza otrzymano na podstawie interferencji wykrytych cykli temperatury powietrza

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

gdzie: θ_j , b_j , c_j – to parametry istotnych statystycznie cykli (na poziomie istotności 0,05). W prognozach przyjęto założenie, że ekstrema wyznaczonych cykli o dość dużych amplitudach (istotnych) będą się powtarzały nadal, tak jak w XVIII-XX wieku. Według tych prognoz, w XXI wieku można oczekiwać ochłodzenia – zwłaszcza więcej mroźnych zim.

Summary

The last billion years witnessed 6 major ice-ages: 950, 750, 620, 44, 280, 3-2 (quaternary glaciations), reoccurring, on average, every 190 million years. They are the so called “space winters”, assumed to be caused by the Solar System rotation around the centre of our galaxy (galactic year equals ca. 226 million years).

Earth glaciations resulted from the combination of three long cycles: 100 000 years – eccentricity orbit, 42 000 years – surface inclination towards the equator, 21 000 years – location of the perihelion in relation to the spring equinox (according to the Milankovic's theory of 1930) 10 major climate cooling and warming periods occurred within the last million years.

Chronological time sequences of organic matter deposited in the Polish lakes indicate the Holocene climate fluctuations. It may be assumed that the date of Holocene cooling period for Poland is indicated by the minimum organic matter content in the Gościąg lake at the level of 11000-9000. Within the time period from -20 000 to -12 540 years ago, the deposit organic matter content was recreated on the basis of the interference of the following cycles: 50, 230, 360, 390, 540, 590, 1120, 1380, 1770, 2970, 6080, 12380 years.

Reconstruction of ground-level air temperature values for various places on Earth during the last millennium point to the three basic time intervals: "medieval optimum" – 800-1200, "little ice-age" – 1400-1900, and the contemporary warming – from 1900. The last 400 years witnessed three major cooling periods of Earth's climate, with the lowest average global air temperature on the Northern hemisphere occurring around 1600, 1700, 1830. The best known (based on the instrument data) is the last and the biggest cooling period in Europe and Poland (according to the Warsaw and Krakow series.) Let us remember that it occurred during the three weakest, extended (12-13 years) Sun activity cycles (1798-1833.) It came in the weakest 13-year solar spots cycle (1811- 1823), during an absolute century minimum (from 1700.) The last global climate cooling period (also in Poland) unfolded during the intensified volcanic activity, after the biggest volcanic eruptions: 1803 – Cotopaxi, 1815 – Tambora, 1835 – Cosiguina.

Climate cooling and warming processes are shaped by the fluctuations of solar energy reaching the surface of Earth, which depends on the solar constant and the volcanic ashes content in the atmosphere, absorbing and dispersing solar radiation.

Atmospheric circulation conditions the transport of solar energy in the direction of poles. The energy is mainly stored around equator. Air temperature in Europe (and Poland) is characterised by the cycles of ca. 8, 11, 100 and 180 years. The cycles have been determined using the J. Boryczka's "sine curve regression" method

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

where: Θ – period, b – amplitude, c – phase shift.

Europe (and Poland) mainly features ca. 8-year air temperature periods of large amplitudes $\Delta T = 2b = T_{\max} - T_{\min}$ (°C.) For winters they are e.g.: Warsaw – 8.3 (1.59°C), Krakow – 8.3 (1.87), Wrocław – 8.3 (1.53), Lwów – 8.3 (1.30), Prague – 8.3 (1.06), Berlin – 7.7 (1.54), Geneva – 7.7 (0.62), Vienna – 8.3 (0.87), Rome – 7.9 (0.30), Stockholm – 7.8 (1.33), Copenhagen – 7.8 (1.24), Moscow – 7.9 years (0.76.) In the summer the periodicity is similar, however, the amplitudes are almost half smaller.

Big role in shaping the climate is played by the long cycles: 102- and 187-year Sun activity period. Analogical periods can be observed in the air temperature measurement series. Ca. 100-year winter periods for air temperature in Europe are as follows: Warsaw – 113.4, Krakow – 90.0, Wrocław – 123.3, Lwów – 108.8, Prague – 116.3, Vienna – 89.8, Bazylea – 85.5, Copenhagen – 80.5, England – 99.3, Stockholm – 86.3, Uppsala – 102.7. Similar periodicity of Ca. 100 years occurs also in the summer: Krakow – 88.0, Wrocław – 75.0, Lwów – 74.1, Prague – 118.3, Vienna – 96.1, Basel – 87.6, Copenhagen – 89.6, England – 102.5, Stockholm – 89.4, Uppsala – 94.0, Innsbruck – 84.6.

The longest measurement series also feature the almost two-way periods, close to the planetary period of 178.9 years, after which the Solar System parameter values reoccur. For instance: Warsaw (winter – 218.3, summer – 208.2), Krakow (winter – 168.3), Lviv (summer – 195.3), Berlin (winter – 218.8), Copenhagen (summer – 211.6), English Midlands (winter – 166.9, summer – 204.6), Stockholm (winter – 184.2), Uppsala (winter – 182.3, summer – 192.8), Innsbruck (winter – 169.9.)

Air temperature tendency (A), calculated for winter using the simple regression equations

$$T = A_0 + At$$

are mainly ascending: Warsaw (1779-1998) – winter (1.12°C/100 years), summer (-0.06 °C/100 years), Krakow (1827-1997) – winter (1.48), summer (0.31), Lwów (1824-2002) – winter (0.53), summer (-0.22), Prague (1771-1990) – winter (0.25), summer (-0.25), Berlin (1769-1990) – winter (0.32), summer (-0.39), Geneva – winter (0.51), summer (-0.40), Vienna – winter (0.69), summer (-0.08), Rome (1811-1969) – winter (0.04), summer (-0.10), Stockholm (1756-1994) – winter (0.86), summer (-0.08), Copenhagen – winter (0.94), summer (0.05), Moscow – winter (1.65), summer (-0.15).

In Europe (and Poland) it is mainly the winters which are getting warmer. It is not known which part of the unfolding warming process is caused by natural factors and which results from the anthropogenic factors. Climate warming of the 19th and 20th Century may have been caused by an increased Sun activity and declining volcanic activity on Earth.

Europe's (and Poland's) climate is mainly influenced by the two major atmospheric pressure centres: Island Low and Azorean High. These two pressure centres, related to temperature amplitudes between the waters of North Atlantic and the land, are negatively inter-correlated (North Atlantic Oscillation, NAO). The NAO indicator between 1825-2000 features the following periodicities: 8 years, dozen years and 106.3 years. The influence of atmospheric circulation on the climate in Poland, also on the daily air temperature amplitude (1971-1995), is a good representation of the circulation types intensity in line with the Osuchowska-Klein classification.

Circulation types of cyclonic features are chiefly characterised by smaller daily air temperature fluctuations than the anti-cyclonic. The biggest daily air temperature amplitudes in the year occur in the anti-cyclonic circulation types: G , D_2C . The smallest daily air temperature amplitudes in Poland are noted mainly after the inflow of the following types of northern air: E , CB , E_2C and E .

Century variability of winters and years in the 9 European cities was characterised comparing the 10 frostiest and mildest winters (averages from XII, I, II) and the 10 warmest and coldest years (averages from VI, VII, VIII) (tab.10-18).

The frostiest winter in Poland occurred in 1830 (Warsaw – -9.8°C, Krakow – -10.3, Wrocław – -10.3). Frosty were also winters of the following years: 1963 (Warsaw – -9.5, Krakow – -6.9, Wrocław – -8.4), 1929 (Warsaw – -7.9, Krakow – -7.7, Wrocław – -7.1) and 1940 (Warsaw – -8.8, Krakow – -7.4, Wrocław – -7.1). The mildest winters occurred in the last decade of the 20th Century: Warsaw – 1990 (2.3°C), 1989 (1.9), Krakow – 1975 (2.2), 1990 (1.9), Wrocław – 1990 (3.2), 1998 (2.8). The warmest summer periods were in: 1811 – 21.4°C, 1992–20.0°C and 2002– 19.8°C.

Reconstructions and forecasts have been obtained on the basis of interferences of the detected air temperature cycles

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

where: Θ_j , b_j , c_j are the parameters of the statistically vital cycles (at the importance level of 0.05). It has been assumed in forecasts that the extremes of the determined cycles of large (importance) amplitudes will continue to reoccur, as in the 18th and 20th Century. According to these forecasts, 21st Century is likely to witness a cooling process with an increasing number of frosty winters.

4.2. 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.

Oryginalną część pracy stanowi rozdział pt. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy*. Zawiera on wykresy zmian temperatury powietrza w miesiącach zimowych na przykładzie stycznia i letnich na przykładzie lipca w 9 miejscowościach europejskich. (spośród 40). Widma temperatury powietrza i 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, które częściowo może być złagodzone przez czynniki antropogeniczne (efekt cieplarniany, miejska wyspa ciepła).

W tabelach zestawiono po 10 najmroźniejszych i najchłodniejszych styczniów i po 10 najcieplejszych i najchłodniejszych lipców w XVIII -XXI 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 (wg serii warszawskiej i krakowskiej). Trzeba zauważyć, że wystąpiło ono podczas trzech najsłabszych, wydłużonych (12-13 letnich) cykli aktywności Słońca (1798-1833). Ochłodzenie to pojawiło się w czasie najsłabszego 13 letniego cyklu plam słonecznych (1811-1823), podczas absolutnego minimum wiekowego (od 1700 r.). 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 może być 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 $1,1^{\circ}\text{C}$ / 100 lat, a lata chłodniejsze prawie o $0,1^{\circ}\text{C}$ / 100 lat. Jeszcze większy wzrost temperatury powietrza podczas zimy występuje w Krakowie – $1,5^{\circ}\text{C}$ / 100 lat i Moskwie – $1,6^{\circ}\text{C}$ / 100 lat. Średnia roczna temperatura powietrza wzrasta w Warszawie – o $0,6^{\circ}\text{C}$; Krakowie – o $0,8^{\circ}\text{C}$; Moskwie – o $0,7^{\circ}\text{C}$ 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 zimą 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 Berlin (4,3), 1990 Kijów (0,9), 1990 Lwów (1,0), 1990 Marsylia (9,7), 1990 Mińsk (0,0), 1990 Odessa (2,9), 1990 Poczdam (4,0), 1990 Warszawa (2,3), 1990 Wrocław (3,2), 1998 Innsbruck (2,5), 1998 Wiedeń (3,6), 2001 Zagrzeb (5,2).

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

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 skondensowane. 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 – $8,3$ ($1,87^{\circ}\text{C}$), Wrocław – $8,3$ ($1,53^{\circ}\text{C}$), Lwów – $8,3$ ($1,30^{\circ}\text{C}$), Praga – $8,3$ ($1,06^{\circ}\text{C}$), Berlin – $7,7$ ($1,54^{\circ}\text{C}$), Genewa – $7,7$ ($0,62^{\circ}\text{C}$), Wiedeń – $8,3$ ($0,87^{\circ}\text{C}$), Rzym – $7,9$ ($0,30^{\circ}\text{C}$), Sztokholm – $7,8$ ($1,33^{\circ}\text{C}$), Kopenhaga – $7,8$ ($1,24^{\circ}\text{C}$), Moskwa – $7,9$ ($0,76^{\circ}\text{C}$).

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 prognozach przyjęto założenie, że ekstrema wyznaczonych cykli o dość dużych amplitudach (istotnych) będą się powtarzać nadal, tak jak w XVIII-XX wieku. Według tych prognoz, w XXI wieku można oczekiwać ochłodzenia – zwłaszcza więcej mroźnych zim.

W pracy 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 opisano empirycznymi modelami – wielomianami regresji $T(\varphi, \lambda, H)$ względem współrzędnych położenia (φ i λ) 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 Europy okazały się wielomiany pierwszego stopnia.

Zmiany południkowe temperatury powietrza spełniają zasadę strefowości klimatu w ciągu całego roku. Średni gradient południkowy na obszarze Europy wynosi $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\varphi$. To znaczy, że temperatura powietrza spada ze wzrostem szerokości geograficznej w Europie – średnio o $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\varphi$. Gradient równoleżnikowy temperatury powietrza w Europie charakteryzuje zmienność z zachodu na wschód – wzrost w $^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\lambda$. Natomiast gradient hipsometryczny temperatury powietrza opisuje jej spadek o $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 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 w Europie – określone wielomianami pierwszego stopnia nie różnią się od znanych w literaturze. Gradient hipsometryczny – $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ jest zbliżony do gradientu wilgotno adiabatycznego 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/.

Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w ostatnich stuleciach

Rekonstrukcje temperatury powietrza w warstwie przyziemnej atmosfery w różnych miejscach Ziemi w ostatnim tysiącleciu (wg redukcji lodowców, szerokości pierścieni drzew i pomiarów bezpośrednich) wskazują trzy zasadnicze przedziały czasu: optimum czasów rzymskich – od -500 do 500 lat n. e., „optimum średniowieczne” – 800-1200, „mała epoka lodowa” – 1400-1900 oraz współczesne ocieplenie – od 1900 roku.

W ostatnich 400 latach wystąpiły trzy główne ochłodzenia klimatu Ziemi, o najmniejszej średniej globalnej temperaturze powietrza na półkuli północnej w pobliżu dat: 1600, 1700, 1830. Najbardziej poznane (na podstawie danych instrumentalnych) jest to ostatnie, największe ochłodzenie w Europie i Polsce (wg serii warszawskiej i krakowskiej). Trzeba zauważyć, że wystąpiło ono podczas trzech najsłabszych, wydłużonych (12-13-letnich) cykli aktywności Słońca (1798-1833). Ochłodzenie to pojawiło się w czasie najsłabszego 13-letniego cyklu plam słonecznych (1811-1823., podczas absolutnego minimum wiekowego (od 1700 r.).

Rok 1811 był wyjątkowy pod względem stanu Układu Słonecznego, kiedy to odległość Słońca od środka masy Układu była najmniejsza (0,14 część promienia Słońca), a przyspieszenie Słońca – największe. To ostatnie globalne ochłodzenie klimatu (także w

Polsce) wystąpiło podczas wzmożonej aktywności wulkanicznej, po największych wybuchach wulkanów: 1803 – Cotopaxi, 1815 – Tambora , 1835 – Cosiguina.

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

Na Słońcu obserwuje się wiele zjawisk o natężeniu okresowym m.in. plamy słoneczne od których zależy dopływ energii słonecznej do Ziemi.

Ciągi chronologiczne liczb Wolfa (liczb plam słonecznych) i temperatury powietrza wskazują, że podczas maksimów aktywności Słońca w cyklu 11-letnim jest cieplej niż w czasie minimów (większe są również przyrosty drewna w lasach – grubsze słoje drzew). Jest to wynikiem zależności dystrybucji ciepła na powierzchni Ziemi od aktywności Słońca.

Cyrkulacja atmosferyczna warunkuje transport magazynowanej głównie w strefie międzyzwrotnikowej, energii słonecznej w stronę biegunów.

4.2.1. Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie

Temperatura powietrza w Europie (i Polsce) cechuje się cyklicznością około 8-, 11-, 100- i 180-letnią. Cykle wyznaczono metodą „sinusoid regresji” J. Boryczki (1998):

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

gdzie: Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe.

Widma temperatury powietrza w styczniu i lipcu w 40 miejscowościach Europy (ciągi wariancji resztkowej ε_j^2 , odpowiadające zadany okresom Θ_j) przedstawiono na rys.13-53)

W Europie (i w Polsce) dominują około 8-letnie okresy temperatury powietrza o dużych amplitudach $\Delta T = 2b = T_{\max} - T_{\min}$ (tab.1-2) .

Tabela 1. Okresy około 8-letnie temperatury powietrza podczas zimy i lata w Europie

Miejscowość	Zima		Lato		Miejscowość	Zima		Lato	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT		Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	8,3	1,59	7,1	0,66	Genewa	7,7	0,62	7,8	0,40
Kraków	8,3	1,87	7,8	0,33	Wiedeń	8,3	0,87	8,4	0,38
Wrocław	8,3	1,53	7,8	0,27	Rzym	7,9	0,30	8,4	0,32
Lwów	8,3	1,30	7,9	0,56	Sztokholm	7,8	1,33	7,8	0,40
Praga	8,3	1,06	7,8	0,44	Kopenhaga	7,8	1,24	8,3	0,51
Berlin	7,7	1,54	7,8	0,55	Moskwa	7,9	0,76	8,3	0,60

Tabela 2. Okresy około 8-letnie temperatury powietrza w styczniu i lipcu w Europie

Miejscowość	Styczeń		Lipiec		Miejscowość	Styczeń		Lipiec	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT		Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	8,3	1,28	7,9	0,58	Genewa	8,4	0,84	7,9	0,54
Kraków	8,3	1,38	7,0	0,52	Wiedeń	7,8	1,10	6,5	0,68
Wrocław	8,3	1,50	6,4	0,52	Rzym	7,3	0,76	8,2	0,42
Lwów	8,3	1,28	7,3	0,62	Sztokholm	6,6	1,48	6,8	0,78
Praga	7,8	1,52	8,3	0,60	Kopenhaga	7,8	1,22	8,3	0,62
Berlin	7,7	1,94	8,2	0,58	Moskwa	9,3	1,60	7,0	0,76

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

Od dawna znana jest cykliczność około 11-letnia temperatury powietrza, związana z cyklem 11-letnim plam słonecznych. Okresy około 11-letnie temperatury powietrza i amplitudy ΔT ($^{\circ}\text{C}$) w wybranych miejscowościach w zimie, lecie i roku zestawiono w tab. 3-4.

Tabela 3. Okresy około 11-letnie temperatury powietrza podczas zimy i lata w Europie

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

Tabela 4. Okresy około 11-letnie temperatury powietrza w styczniu i lipcu w Europie

Miejscowość	Styczeń		Lipiec		Miejscowość	Styczeń		Lipiec	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT		Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	9,2	1,80	12,9	0,58	Genewa	11,7	0,84	11,2	0,50
Kraków	10,5	1,60	11,1	0,50	Wiedeń	9,3	0,76	9,2	0,68
Wrocław	9,3	2,16	11,3	0,32	Rzym	-	-	10,9	0,60
Lwów	10,3	1,80	8,0	0,38	Sztokholm	9,2	1,98	9,1	0,72
Praga	10,4	1,20	11,2	0,52	Kopenhaga	9,2	1,34	12,4	0,64
Berlin	9,2	1,68	11,1	0,52	Moskwa	11,4	1,74	10,1	0,94

Zakres wahań temperatury powietrza w tym około 11-letnim cyklu jest na ogół w zimie niż w lecie.

Krótkookresowe zmiany aktywności Słońca (stałej słonecznej) nie odgrywają istotnej roli w kształtowaniu klimatu Ziemi, ze względu na bardzo powolne przenikanie ciepła do głębszych warstw Ziemi. Większą rolę odgrywają długie cykle: 102-letni i 187-letni aktywności Słońca (tab. 5). W otoczeniu maksimów plam słonecznych w tych cy-

klach kumulowane są duże ilości energii w głębszych warstwach lądów i oceanów. Energia magazynowana w oceanach wywiera wpływ na cyrkulację atmosferyczną.

Tabela 5. Okresy około 100- i 180- letnie: aktywności Słońca, stałej słonecznej i erupcji wulkanicznych (lata)

Zmienna	Okres	Okres
Aktywność Słońca (1700-2000)	102,0	187,3
Stała słoneczna (1700-2000)	102,0	187,0
DVI/ Δt	91,5	206,0

Analogiczne okresy są obecne w seriach pomiarowych temperatury powietrza $\Delta T = 2b$ – amplituda (tab. 6-9).

Tabela 6. Okresy około 100-letnie temperatury powietrza podczas zimy i lata w Europie

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

Tabela 7. Okresy około 100-letnie temperatury powietrza w styczniu i lipcu w Europie

Miejscowość	Styczeń		Lipiec		Miejscowość	Styczeń		Lipiec	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT		Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	116,1	1,50	102,0	0,70	Bazylea	127,2	0,42	89,6	0,66
Kraków	102,0	0,86	-	-	Kopenhaga	87,0	0,10	-	-
Wrocław	129,0	2,20	148,0	0,72	Anglia	95,1	0,22	-	-
Lwów	118,0	1,14	-	-	Sztokholm	87,8	0,46	-	-
Praga	148,0	1,52	117,3	0,96	Ryga	120,9	1,42	115,5	0,32
Wiedeń	90,2	0,76	94,3	0,56	Greenwich	98,8	0,36	79,9	0,72

Tabela 8. Okresy około 180-letnie temperatury powietrza podczas zimy i lata w Europie

Miejscowość	Zima		Lato		Miejscowość	Zima		Lato	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT		Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	218,3	0,44	208,2	0,66	Bazylea	-	-	227,4	0,26
Kraków	168,3	0,43	-	-	Kopenhaga	-	-	211,6	1,19
Lwów	-	-	195,3	1,00	Anglia	166,9	0,48	204,6	0,34
Genewa	144,1	-	248,3	1,09	Sztokholm	184,6	0,49	-	-
Berlin	212,8	1,18	-	-	Uppsala	182,3	2,50	192,8	0,39
Rzym	-	-	224,9	1,40	Insbruck	169,8	1,45	-	-

Tabela 9. Okresy około 180-letnie temperatury powietrza w styczniu i lipcu w Europie

Miejscowość	Styczeń		Lipiec		Miejscowość	Styczeń		Lipiec	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT		Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	-	-			Trondheim	207,7	2,29	-	-
Kraków	-	-	179,8	0,58	Kopenhaga	-	-	175,2	1,14
Lwów	-	-	158,8	0,72	Anglia	191,1	1,04	-	-
Genewa	236,0	0,92	154,4	0,48	Sztokholm	-	-	-	0,96
Berlin	236,9	2,64	136,1	0,68	Uppsala	193,3	0,62	-	-
Odessa	-	-	168,0	0,36	Insbruck	164,2	1,38	-	-

Dominujący wpływ na klimat ma pył wulkaniczny, absorbujący i rozpraszający promienie słoneczne. Promieniowanie słoneczne bezpośrednio po wybuchu wulkanu może zmniejszyć się przez kilka miesięcy o 10-20% (Katmai na Alasce w 1912 r.). Spadek promieniowania bezpośredniego po wybuchach wulkanów: Krakatau (Indonezja, 1883), Hekla (Islandia, 1970) miał charakter zmian planetarnych (globalnych). Po wybuchu wulkanu Tambora (Indonezja, 1815) pył osiągnął wysokość 60-70 km.

Wulkany typu eksplozywnego wyrzucają do atmosfery duże ilości pyłów i gazów (HCL, SO₂, CO₂, H₂, S i inne). Drobny pył wyrzucany do stratosfery może pozostawać w niej nawet przez kilkanaście lat.

Szczególne znaczenie w badaniach zmian klimatu mają gazy wulkaniczne wyrzucane do stratosfery, które w ciągu kilku miesięcy ulegają przemianom chemicznym i są rozprzestrzenione wokół całej Ziemi. Największy wpływ na rozproszenie promieniowania krótkofalowego, słonecznego mają cząsteczki siarczanów (aerozole siarczanowe), które powstają z gazów zawierających siarkę (np. SO₂). Cząstki siarczanów absorbują i rozpraszają promieniowanie słoneczne. Powodują one ogrzanie się stratosfery, gdy w dolnych warstwach troposfery występuje ochłodzenie, wywołane spadkiem promieniowania dochodzącego do powierzchni Ziemi.

Pył wulkaniczny powoduje znaczny spadek promieniowania bezpośredniego i zwiększa promieniowanie rozproszone dochodzące do Ziemi.

Gdy w atmosferze znajduje się warstwa pyłów wulkanicznych, to spadki promieniowania bezpośredniego są większe przy mniejszych wysokościach Słońca (wyższych szerokościach geograficznych). Ten spadek jest jeszcze większy w przypadku promieniowania całkowitego. Maleje ono bardziej ze wzrostem szerokości geograficznej niż promieniowanie bezpośrednie. Ten stosunek na biegunie osiąga wartość 24%.

Spadek promieniowania całkowitego o 1,5-1,6% może doprowadzić do całkowitego zlodowacenia Ziemi – od biegunów do równika.

Niepokojące jest systematyczne ocieplanie się klimatu Ziemi w XIX-XX wieku. Średnia globalna temperatura powietrza w latach 1890-1985 wzrosła od 0,2°C w strefie okołorównikowej do 5°C w strefie polarnej, podczas zim. Wzrost średniej globalnej temperatury, obliczonej na podstawie pomiarów temperatury powietrza i powierzchni mórz w latach 1861-1991 wynosi średnio 0,5°C.

Mroźne i łagodne zimy (I) oraz ciepłe i chłodne lata (VII)

Najniższa temperatura powietrza w Polsce występuje przeważnie w styczniu. Na przykład w Warszawie w latach 1779-1998, najmroźniejsze były styczenie: 1823 – -14,3 °C, 1838 – -13,7, 1848 – -13,2, 1893 – -13,2, 1963 – -13,0, 1987 – -13,0. Wyjątkowo mroźny w Warszawie był luty w latach: 1929 – -14,1 °C, 1956 – -12,4, 1855 – -11,6, 1870 – -11,5, 1799 – -10,5, 1845 – -10,5, 1986 – 1954 – -10,0, 1963 – -9,9. Najmroźniejszy był grudzień w latach 1788 (-15,0 °C), 1829 (-12,4), 1812 (-11,1), 1969 (-9,6). Najcieplejszymi miesiącami zimowymi były: styczeń w roku 1983 (3,2 °C), luty – w 1990 (4,6), grudzień 1971 (2,9). W Krakowie w latach 1827-1997 najmroźniejsze były styczenie: 1848 (-12,4), 1830 (-11,4), 1838 (-11,4 °C), a we Wrocławiu: 1803 (-11,9), 1826 (-11,8), 1830 (-11,6 °C). Natomiast najcieplejszymi miesiącami letnimi w Warszawie były: lipiec – 1834 (22,4), 1811 (22,3), 1826 (22,1), 1917 (20,3), 1964 (20,0), 1979 (19,6), sierpień – 1811 (22,3), 1994 (22,0), 2002 (21,1), 1959 (21,5), sierpień – 1807 (23,6), 1951 (20,7), 2002 (20,7). Po najchłodniejszym czerwcu w roku 1810 (12,6 °C) wystąpił w następnym roku 1811 najcieplejszy lipiec (22,3 °C). Do najcieplejszych lipców w Krakowie należą: 1834 (22,6), 1932 (21,3), 1983 (21,1 °C), a we Wrocławiu – 1834 (22,5), 1994 (22,3), 1983 (21,8 °C).

Najmroźniejsze i najłagodniejsze styczenie oraz najcieplejsze i najchłodniejsze lipce zestawiono w tab. 10-18. Najniższą temperaturę -41,0 °C w Polsce zanotowano dotychczas 11 stycznia 1940 r. w Siedlcach (Kuziemska 1983). Spadek temperatury do -40,6 °C wystąpił wcześniej 10 lutego 1929 r. w Żywcu.

Najwyższą zaś temperaturę 40,2° C zmierzono 29 lipca 1921 r. w Prószkowie (koło Poznania), a samym Poznaniu – 38,7 °C. W Warszawie było najcieplej w czerwcu 1811 (22,2°C) i później w latach 1964 (20,0), 1979 (19,6). Do najcieplejszych lipców w Warszawie można zaliczyć 1864 (22,4 °C), 1811 (22,3), 1959 (21,5), 1963 (20,9), 2002 (21,1), 2001 (20,7). W sierpniu najcieplej było w latach: 1807 (23,6 °C), 1992 (21,5), 1951 (20,7), 2002 (20,7). Do najcieplejszych sezonów letnich należą: 1811 (21,4), 1992 (20,0), 2002 (19,8), a do najchłodniejszych: 1821 (14,6), 1923 (15,6), 1980 (16,1)

Skrajne wartości temperatury powietrza występują przy układach wyżowych. Najmroźniejsze dni występują przy napływie powietrza kontynentalnego ze wschodu i północo-wschodu, przy adwekcji chłodnego powietrza pochodzenia arktycznego, podczas bezchmurnej pogody w nocy (sinym wypromieniowaniu ciepła z podłoża). Najcieplejsze dni w lecie są zwykle spowodowane adwekcją gorącego powietrza zwrotnikowego z południa i południo-zachodu lub napływu powietrza pochodzenia kontynentalnego z południo-wschodu i wschodu. W zimie przy napływie powietrza polarno-morskiego z Atlantyku mogą występować dni o dość wysokiej temperaturze – np. 4 stycznia 1925 r. w Zakopanem (+17,7 °C) i Krakowie (+16,3 °C).

Mroźne styczenie i upalne lipce (tab. 10-18)

Tabela 10. Mroźne styczenie i gorące lipce w Anglii Środkowej (1660-1973)
Table 10. The frosty Januarys and hot Julys in England (1660-1973)

STYCZEŃ				LIPIEC			
chłodny		ciepły		ciepły		chłodny	
1795	-3,1	1916	7,5	1783	18,8	1816	13,4
1684	-3,0	1796	7,3	1852	18,7	1695	13,5
1814	-2,9	1921	7,3	1921	18,5	1802	13,5
1740	-2,8	1834	7,1	1757	18,4	1879	13,6
1855	-2,4	1733	6,9	1808	18,4	1888	13,7
1963	-2,1	1898	6,6	1701	18,3	1922	13,7
1716	-2,0	1686	6,5	1733	18,3	1725	13,8
1776	-1,6	1884	6,5	1859	18,3	1840	13,8
1709	-1,5	1736	6,4	1868	18,3	1841	13,8
1838	-1,5	1875	6,4	1759	18,2	1919	13,9

Tabela 11. Mroźne styczenie i gorące lipce w Paryżu (1757-1995)
Table 11. The frosty Januarys and hot Julys in Paris (1757-1995)

STYCZEŃ				LIPIEC			
chłodny		ciepły		ciepły		chłodny	
1795	-6,3	1796	7,8	1757	24,6	1919	15,2
1838	-4,6	1975	7,4	1762	23,3	1795	15,5
1776	-3,9	1974	7,2	1794	22,6	1816	15,6
1963	-2,6	1834	7,1	1994	22,1	1879	15,6
1830	-2,5	1988	7,1	1859	22,0	1888	15,7
1763	-2,4	1916	7,0	1983	21,9	1909	15,7
1940	-2,4	1921	7,0	1807	21,8	1860	15,8
1799	-2,1	1993	6,9	1921	21,7	1841	16,1
1829	-2,1	1948	6,8	1976	21,7	1965	16,1
1985	-2,1	1764	6,7	1995	21,7	1913	16,3

Tabela 12. Mroźne styczenie i gorące lipce w Genewie (1768-1980)
Table 12. The frosty Januarys and hot Julys in Geneva (1768-1980)

STYCZEŃ				LIPIEC			
chłodny		ciepły		ciepły		chłodny	
1830	-6,2	1834	5,4	1952	23,4	1816	15,6
1795	-5,9	1936	5,3	1794	23,2	1813	15,8
1802	-5,5	1804	5,3	1928	23,2	1980	16,2
1812	-5,4	1948	4,1	1859	23,0	1919	16,3
1838	-5,4	1921	4,1	1881	22,7	1913	16,4
1826	-5,2	1899	4,1	1793	22,6	1841	16,7
1810	-4,4	1877	4,0	1782	22,3	1840	16,8
1891	-4,4	1920	3,9	1950	22,3	1879	16,8
1779	-4,3	1956	3,8	1870	22,2	1770	16,9
1848	-4,2	1866	3,7	1783	22,0	1843	16,9

Tabela 13. Mroźne styczenie i gorące lipce w Berlinie (1769-1990)
Table 13. The frosty Januarys and hot Julys in Berlin (1769-1990)

STYCZEŃ				LIPIEC			
chłodny		ciepły		ciepły		chłodny	
1823	-11,9	1796	6,5	1834	23,6	1979	15,1
1838	-10,2	1921	5,0	1826	22,5	1954	15,4
1776	-9,8	1975	5,0	1794	22,2	1815	15,5
1940	-9,6	1983	4,8	1778	21,8	1962	15,5
1848	-9,5	1866	4,3	1865	21,8	1898	15,6
1803	-8,7	1873	4,1	1783	21,6	1832	15,7
1795	-8,3	1902	4,1	1874	21,4	1965	15,8
1830	-7,4	1916	4,1	1983	21,4	1974	15,8
1893	-7,4	1944	4,0	1803	21,3	1844	15,9
1963	-7,3	1990	3,9	1859	21,3	1984	16,2

Tabela 14. Mroźne styczenie i gorące lipce w Warszawie (1779-1998)
Table 14. The frosty Januarys and hot Julys in Warsaw (1779-1998)

STYCZEŃ				LIPIEC			
chłodny		ciepły		ciepły		chłodny	
1838	-13,5	1796	3,5	1811	22,4	1923	13,0
1803	-13,2	1983	3,4	2002	21,1	1865	13,6
1823	-13,0	1975	2,7	2001	20,7	1918	14,1
1848	-13,0	1921	2,6	1866	20,6	1810	14,2
1940	-12,1	1994	2,3	1875	20,6	1899	14,4
1893	-12,0	1989	2,2	1999	20,6	1806	14,5
1987	-12,0	1936	2,0	1917	20,5	1821	14,5
1850	-11,7	1990	1,9	1979	20,5	1925	14,6
1963	-11,6	1944	1,5	1964	20,4	1928	14,6
1942	-10,9	1916	1,4	1783	20,0	1984	15,0

Tabela 15. Mroźne styczenie i gorące lipce w Pradze (1771-2002)
Table 15. The frosty Januarys and hot Julys in Prague (1771-2002)

STYCZEŃ				LIPIEC			
chłodny		ciepły		ciepły		chłodny	
1799	-10,4	1796	5,7	1834	24,1	1980	14,8
1838	-9,2	1921	5,0	1788	23,2	1954	15,0
1784	-9,0	1916	4,5	1794	23,0	1979	15,0
1823	-8,7	1834	4,3	1811	22,8	1996	15,3
1848	-8,6	1902	3,8	1859	22,7	1978	15,5
1963	-8,6	1791	3,6	1826	22,6	2000	15,6
1776	-8,2	1806	3,4	1874	22,5	1984	15,7
1830	-8,2	1866	3,4	1865	22,2	1962	15,8
1893	-7,9	1884	3,2	1778	21,9	1974	15,8
1795	-7,8	1936	3,2	1807	21,9	1965	16,0

Tabela 16. Mroźne styczenie i gorące lipce w Rzymie (1811-1991)
Table 16. The frosty Januarys and hot Julys in Rome (1811-1991)

STYCZEŃ				LIPIEC			
chłodny		ciepły		ciepły		chłodny	
1864	3,7	1988	10,9	1928	27,6	1980	22,0
1880	3,7	1955	10,8	1950	27,4	1909	22,1
1942	3,7	1845	10,4	1947	27,0	1843	22,2
1858	4,0	1856	10,4	1822	26,9	1913	22,2
1905	4,1	1977	10,1	1945	26,6	1966	22,3
1850	4,2	1970	9,9	1828	26,5	1910	22,4
1893	4,2	1982	9,7	1942	26,4	1948	22,4
1859	4,4	1821	9,6	1952	26,4	1815	22,5
1929	4,6	1974	9,6	1881	26,3	1833	22,5
1891	4,7	1971	9,4	1897	26,3	1816	22,7

Tabela 17. Mroźne styczenie i gorące lipce w Sztokholmie (1756-1994)
Table 17. The frosty Januarys and hot Julys in Stockholm (1756-1994)

STYCZEŃ				LIPIEC			
chłodny		ciepły		ciepły		chłodny	
1814	-14,3	1989	3,1	1855	21,4	1832	12,9
1987	-12,6	1796	2,4	1901	21,2	1902	13,8
1809	-12,1	1930	2,1	1783	21,1	1844	14,0
1774	-11,7	1791	1,9	1826	21,1	1862	14,0
1767	-11,2	1873	1,9	1914	21,1	1863	14,3
1942	-10,6	1975	1,9	1994	21,1	1866	14,3
1760	-10,5	1824	1,6	1818	20,8	1812	14,5
1941	-10,4	1932	1,4	1764	20,6	1837	14,5
1803	-9,8	1973	1,4	1941	20,5	1841	14,5
1867	-9,1	1983	1,4	1819	20,2	1977	14,5

Tabela 18. Mroźne styczenie i gorące lipce w Moskwie (1779-2002)
Table 18. The frosty Januarys and hot Julys in Moscow (1779-2002)

STYCZEŃ				LIPIEC			
chłodny		ciepły		ciepły		chłodny	
1893	-21,7	1932	-4,1	1904	14,5	1999	21,7
1942	-20,3	1983	-4,1	1912	14,6	1972	21,9
1940	-19,5	1949	-3,9	1935	15,1	1846	22,0
1783	-19,1	1975	-3,9	1956	15,2	1885	22,0
1848	-18,3	1925	-3,8	1911	15,4	2002	22,6
1950	-18,1	1944	-3,8	1921	15,6	1936	22,7
1891	-17,7	1971	-3,7	1968	15,7	1841	22,8
1850	-17,6	1994	-3,4	1923	15,8	1839	22,9
1987	-17,6	1882	-3,1	1950	15,8	2001	23,0
1838	-17,2	1989	-2,2	1783	16,0	1938	23,3

4.2.2. Zmiany temperatury powietrza w Europie w XVIII-XXI wieku. Prognozy po rok 2100

Zmiany temperatury powietrza w styczniu i lipcu w XVIII-XXI w 9 miejscowościach Europy (wybranych spośród 40), z prognozą po rok 2100 przedstawiają wykresy na rys. 1-9. Są to wypadkowe z nakładania się (interferencji) cykli temperatury powietrza, wykrytych w ciągach chronologicznych wyników pomiarów.

W przedziale obserwacji są to wartości obliczone na podstawie superpozycji cykli tj. funkcji $T = f(t)$, a poza przedziałem pomiarów – wartości prognozowane $T = F(t)$ i z uwzględnieniem składnika liniowego at . Na wykresach tych przedstawiono również zmierzone wartości temperatury powietrza T_i

Tendencje temperatury powietrza w Europie określone według równań prostych regresji $T = A_0 + At$ (współczynniki kierunkowe A w $^{\circ}\text{C}/100$ lat) podano w tab.19. Charakteryzują one średnie przyrosty temperatury powietrza na 100 lat w odpowiednich przedziałach czasowych. Na ogół tendencje temperatury powietrza w miastach europejskich w zimie są rosnące ($A > 0$), a w lecie malejące ($A < 0$).

Tabela 19. Tendencje zmian temperatury powietrza w niektórych miastach Europy ($^{\circ}\text{C}/100$ lat)

Miejscowość	Okres	Styczeń	Zima	Lipiec	Lato	Rok
Warszawa	1779-1998	1,36	1,12	0,15	-0,06	0,58
Kraków	1827-1997	1,71	1,48	0,33	0,31	0,82
Wrocław	1792-2002	1,10	0,69	0,34	0,25	0,52
Lwów	1824-2002	0,53	0,53	0,20	-0,22	0,20
Praga	1771-1990	0,04	0,25	-1,13	-0,25	-0,025
Berlin	1769-1990	1,12	0,32	0,33	-0,39	0,13
Genewa	1769-1980	1,23	0,51	0,08	-0,40	0,51
Wiedeń	1775-2002	0,84	0,69	0,02	-0,08	0,27
Rzym	1811-1989	0,36	0,04	0,08	-0,10	0,09
Sztokholm	1756-1994	1,12	0,86	0,11	-0,08	0,46
Kopenhaga	1768-1991	1,13	0,94	0,01	0,05	0,55
Moskwa	1881-2002	3,54	1,65	0,92	-0,15	0,68

W Europie (i Polsce) przede wszystkim zimy są coraz cieplejsze. Na przykład w Warszawie w latach 1779-1998 zimy są coraz cieplejsze – o $1,1^{\circ}\text{C}$ na 100lat, a lata chłodniejsze prawie o $0,1^{\circ}\text{C}$. Jeszcze większy wzrost temperatury powietrza podczas zimy występuje w Krakowie – $1,5^{\circ}\text{C}/100\text{lat}$ i Moskwie – $1,6^{\circ}\text{C}/100\text{lat}$. Średnia roczna temperatura powietrza wzrasta w: Warszawie – o 0,6, Krakowie – o 0,8, Moskwie – o $0,7^{\circ}\text{C}$ na 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.

Nie wiadomo jednak jaki w tym jest udział zmian aktywności Słońca (stałej słonecznej), pyłów wulkanicznych ograniczających dopływ energii słonecznej do powierzchni Ziemi i antropogenicznego efektu cieplarnianego atmosfery.

Wraz z postępującym ociepleniem klimatu podnosi się poziom mórz i oceanów. Rekonstrukcje dawnych linii brzegowych wskazują, iż poziom mórz i oceanów podczas ocieplenia klimatu jest znacznie wyższy niż w czasie ochłodzenia (złodowacenia Ziemi).

mi). W czasie ostatniej fazy zlodowacenia würm 18 000 lat temu poziom Atlantyku obniżył się około 135m wraz z przyrostem pokrywy lodowej (Lamb, 1972-1977).

Ekwiwalentem obecnej pokrywy lodowej jest różnica poziomu oceanów 59,1-83,3 m. A więc obecna pokrywa lodowa na Ziemi (lody Arktyki, Antarktydy i lodowce górskie) stanowi 43,8-61,7% masy lodu sprzed 18 000 lat. Średnie tempo wzrostu poziomu oceanów w ciągu tych 18 000 lat wynosi zatem 75 cm/100 lat.

Wraz ze wzrostem średniej globalnej temperatury powietrza obserwuje się podnoszenie się poziomu oceanów – średnio o 10-25 cm w ostatnim stuleciu.

Poziom Morza Bałtyckiego wg stanów wody w Świnoujściu w latach 1811-1990 podnosi się średnio o 4,5 cm/100 lat.

W podnoszenie się poziomu mórz i oceanów w XIX-XX wieku ma też udział (oprócz topnienia pokrywy lodowej) rozszerzalność objętościowa wody. Objętość wód oceanów (bez mórz) obecnie wynosi 1370,4 mln km³, a średnia głębokość 3704 m. Przykładowo, wzrostowi temperatury wody o 1°C (od 4 do 5°C) odpowiada przyrost poziomu oceanów o 18 cm.

W prognozach zmian klimatu przyjęto założenie, że ekstrema wykrytych cykli temperatury powietrza będą się powtarzać nadal, tak jak w XVIII-XX wieku. Do przyjęcia takiego założenia upoważnia obecność analogicznych cykli w ciągach czasowych: aktywności Słońca, (stałej słonecznej) i parametrów Układu Słonecznego. Najdłuższe okresy około 100- i 200-letni powtarzają się wielokrotnie w ciągach chronologicznych paleotemperatury (¹⁸O/¹⁶O) i zawartości substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych.

Sprawdziły się dotychczasowe prognozy temperatury powietrza w Warszawie na podstawie danych z lat 1799-1980 – prognozowane minimum wiekowe średniej rocznej temperatury w roku 1980 (Boryczka, 1998). Średnia roczna temperatura 6,6°C w roku 1980, wg pomiarów ze stacji Warszawa-Okęcie, jest najmniejszą wartością w 30-leciu 1966-1996.

Najmroźniejsze zimy w Warszawie, o średniej temperaturze -4 – -7°C wystąpią prawdopodobnie w połowie tego stulecia – około roku 2050. Według wypadkowej letnich cykli temperatury powietrza chłodne lata wystąpią w pierwszych dwóch dekadach XXI wieku.

Najmroźniejsze zimy w Warszawie (około -4°C) wystąpią około roku 2050. Będą one nieco łagodniejsze niż na początku XIX wieku, ze względu na coraz większy udział czynników antropogenicznych. Natomiast lata chłodniejsze (około 17,5-18,0 °C) wystąpią wcześniej, w drugiej dekadzie XXI wieku.

Interferencja cykli (rys. 1-9, tab. 20-28)

Rekonstrukcje i prognozy temperatury powietrza (rys. 1a-9b) otrzymano według interferencji cykli o parametrach Θ_j , b_j , c_j (tab. 20a-28b), $f(t)$ – ze składnikiem liniowym at , $F(t)$ – bez składnika ($at=0$):

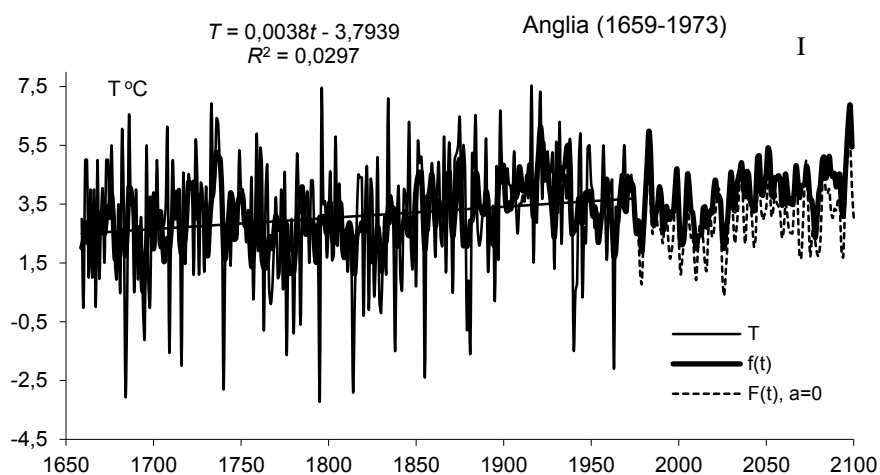
$$T = a_0 + at + \sum_{j=1}^k b_j \sin \left(\frac{2\pi}{\Theta_j} t + c_j \right)$$

Miarami dokładności aproksymacji są współczynnik determinacji R^2 (korelacji wielokrotnej R)

$$R^2 = 1 - \frac{\varepsilon^2}{s^2}R$$

gdzie ε^2 – wariancja resztkowa, $\varepsilon = \sqrt{\varepsilon^2}$, s^2 – wariancja temperatury T i całkowity błąd kwadratowy

$CBK = \frac{\varepsilon}{\bar{y}\sqrt{n}}$, \bar{y} – średnia arytmetyczna oraz specjalny współczynnik korelacji $RS = R_s$ (rozd. III, 3.8.2. str. 155).



Rys. 1a. Zmiany temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach 1659-1673 – prognoza w latach 1974-2100 – styczeń

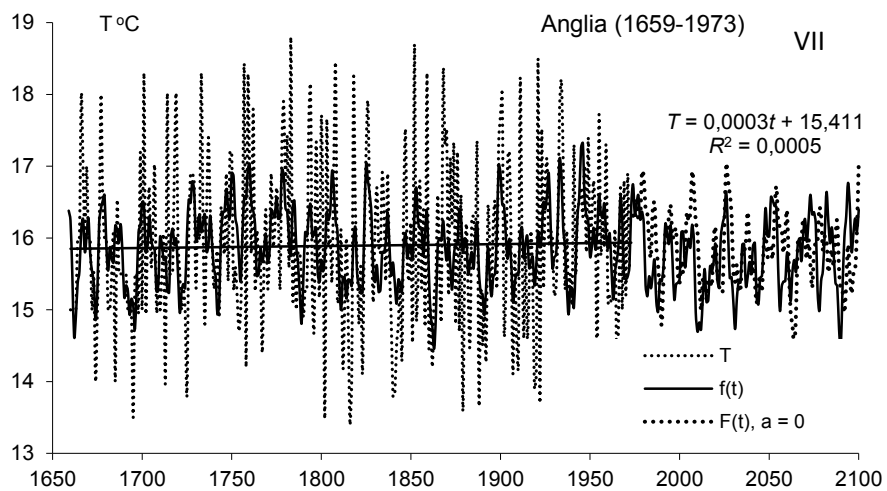
Fig. 1a. Changes of air temperature in England in the 1659-1973 years – forecasts in years 1974-2100 – January

a_0	a	ε^2	R	CBK	RS
-4,58013	0,004174	3,093913	0,476604	3,205823	0,878543

Tabela 20a. Cykle temperatury powietrza w Środkowej Anglii – Styczeń

Table 20a. The cycles of air temperature in Central England (1659-1973) – January

Θ	b	c	ε^2	R	F_{obl}
3,1	0,310	2,615836	3,956	0,109	1,864
5,2	0,358	-0,803398	3,941	0,125	2,464
5,7	0,342	2,455243	3,947	0,119	2,224
7,7	0,461	-1,439501	3,917	0,147	3,435
8,2	0,316	-2,876947	3,968	0,094	1,386
11,7	0,312	-0,767956	3,922	0,142	3,232
12,4	0,488	1,461661	3,867	0,184	5,497
16,6	0,399	-2,301866	3,922	0,142	3,232
62,4	0,430	2,978659	3,931	0,134	2,868
95,1	0,113	-0,218594	3,971	0,090	1,267
191,1	0,516	1,692092	3,894	0,165	4,377



Rys. 1b. Zmiany temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach 1659-1673 – prognoza w latach 1974-2100 – lipiec

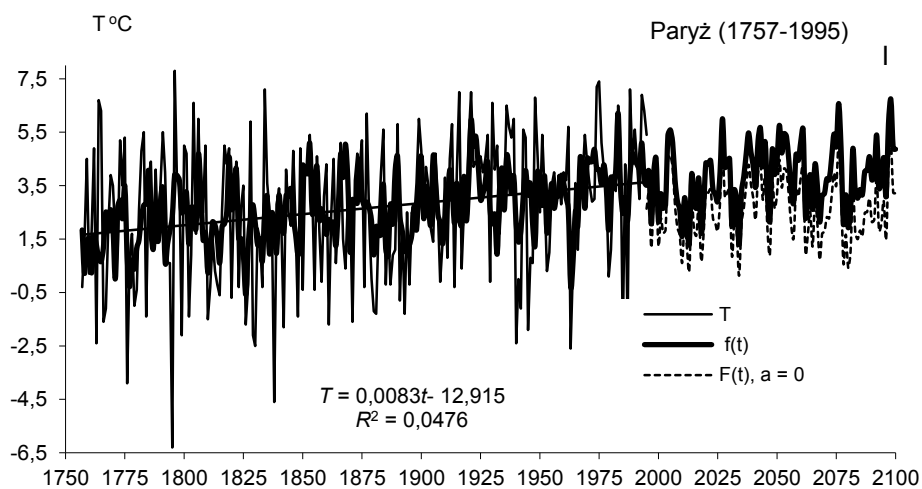
Fig. 1b. Changes of air temperature in England in the 1659-1973 years – forecasts in years 1974-2100 – July

a_0	a	ε^2	R	CBK	RS
16,83203	-0,00052	0,967656	0,46563	0,348745	0,998092

Tabela 20b. Cykle temperatury powietrza w Środkowej Anglii – Lipiec

Table 20b. The cycles of air temperature in Central England (1659-1973) – July

Θ	b	c	ε^2	R	F_{obl}
3,1	0,2280	-2,406970	1,210	0,144	3,258
5,7	0,1823	0,494579	1,217	0,122	2,358
6,7	0,1889	-1,681479	1,216	0,126	2,486
8,3	0,1550	1,193557	1,222	0,105	1,718
9,9	0,2061	-1,652875	1,207	0,152	3,645
10,7	0,1977	-2,623007	1,214	0,132	2,743
11,1	0,1289	-0,930431	1,222	0,105	1,718
11,6	0,2005	-3,024588	1,210	0,144	3,258
15,3	0,2804	0,572166	1,200	0,170	4,553
24,6	0,3371	-0,297650	1,185	0,202	6,515
99,1	0,0987	-2,946316	1,231	0,061	0,574
169,6	0,2063	-1,141954	1,215	0,129	2,614



Rys. 2a. Zmiany temperatury powietrza w Paryżu w latach 1757-1995 – prognoza w latach 1996-2100 – styczeń

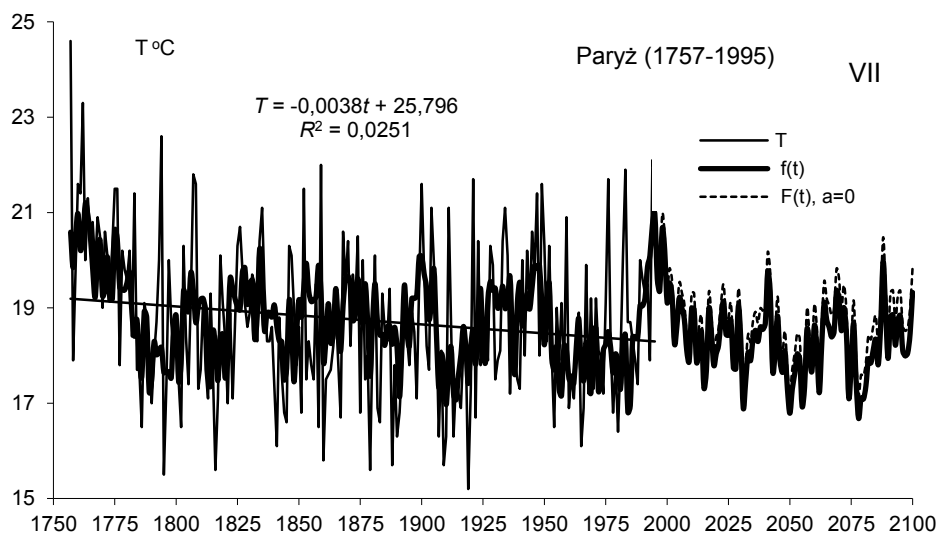
Fig. 2a. Changes of air temperature in Paris in the 1757-1995 years– forecasts in years 1996-2100 – January

a_0	a	ε^2	R	CBK	RS
-11,127295	0,007343	5,240796	0,481746	5,61126	0,787866

Tabela 21a. Cycle temperatury powietrza w Paryżu (1757-1995) – Styczeń

Table 21a. The cycles of air temperature in Paris (1757-1995) – January

Θ	b	c	ε^2	R	F_{obl}
2,6	0,6149	-2,670827	6,649	0,160	3,104
3,1	0,5867	-2,898727	6,651	0,160	3,068
5,5	0,5790	-1,642608	6,658	0,156	2,941
7,7	0,6855	-1,439858	6,624	0,171	3,559
11,6	0,6189	2,575313	6,654	0,158	3,014
17,0	0,5544	1,440598	6,658	0,156	2,941
25,3	0,3431	1,390991	6,767	0,092	1,001
62,4	0,5019	2,840708	6,627	0,170	3,505



Rys. 2b. Zmiany temperatury powietrza w Paryżu w latach 1757-1995 – prognoza w latach 1996-2100 – lipiec

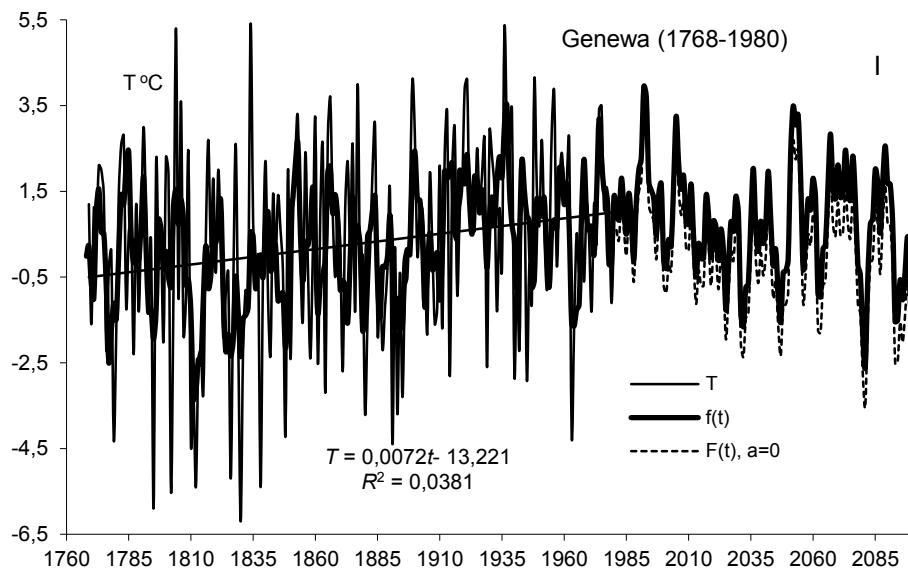
Fig. 2b. Changes of air temperature in Paris in the 1757-1995 years – forecasts in years 1996-2100 – July

a_0	a	ε^2	R	CBK	RS
22,932123	-0,002249	1,864492	0,546522	0,472254	0,997362

Tabela 21b. Cycle temperatury powietrza w Paryżu (1757-1995) – Lipiec

Table 21b. The cycles of air temperature in Paris (1757-1995) – July

Θ	b	c	ε^2	R	F_{obl}
3,1	0,3937	-2,213085	2,583	0,169	3,438
3,9	0,3975	-0,692474	2,575	0,177	3,813
5,9	0,3827	2,108777	2,58	0,172	3,578
15,5	0,3243	-2,393879	2,586	0,165	3,297
23,7	0,4808	0,338216	2,537	0,214	5,631
33,1	0,3249	-0,876394	2,599	0,150	2,693
44,7	0,2977	-1,784259	2,578	0,174	3,672
57,7	0,4419	-2,380489	2,487	0,254	8,106
81,8	0,3131	-2,180408	2,542	0,209	5,388
119,3	0,1677	-3,021113	2,627	0,109	1,412



Rys. 3a. Zmiany temperatury powietrza w Genewie w latach 1768-1980 – prognoza w latach 1981-2100 – styczeń

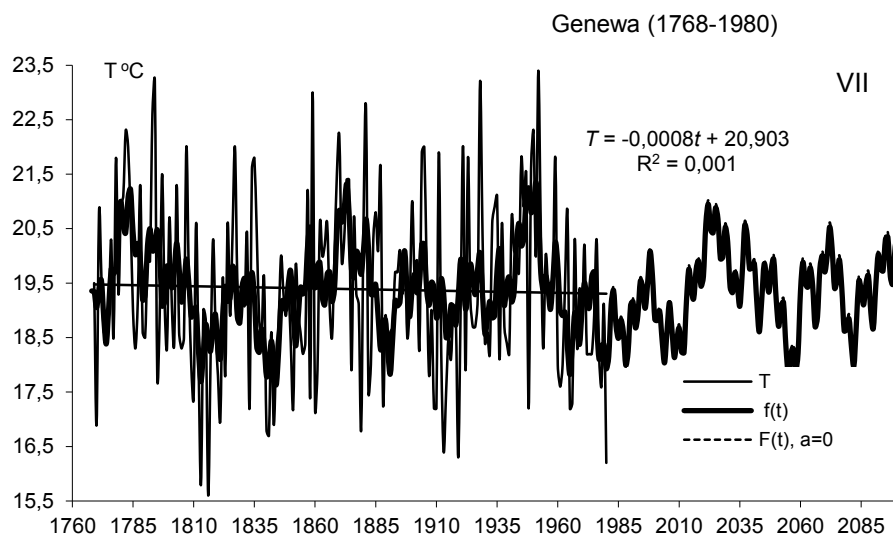
Fig. 3a. Changes of air temperature in Geneva in the 1768-1980 years – forecasts in years 1981-2100 – January

a_0	a	ε^2	R	CBK	RS
-7,988284	0,004402t	3,411892	0,572963	51,348541	0,57985

Tabela 22a. Cycle temperatury powietrza w Genewie (1768-1980) – Styczeń

Table 22a. The cycles of air temperature in Geneva (1768-1980) – January

Θ	b	c	ε^2	R	F_{obl}
3,10	0,6350	-3,109396	4,8760	0,200	4,350
6,10	0,5751	-2,475872	4,9090	0,183	3,677
7,70	0,6218	-1,503961	4,8660	0,205	4,515
8,40	0,4218	-0,020791	4,9620	0,152	2,507
11,70	0,5800	-1,123713	4,9160	0,179	3,455
15,70	0,4768	2,064864	4,9650	0,150	2,451
16,80	0,5002	-0,476835	4,9000	0,188	3,828
19,10	0,4356	-0,875289	4,9200	0,177	3,367
68,50	0,6084	0,857069	4,9710	0,146	2,374
236,90	0,4616	0,186553	4,7930	0,237	5,920



Rys. 3b. Zmiany temperatury powietrza w Genewie w latach 1768-1980 – prognoza w latach 1981-2100 – lipiec

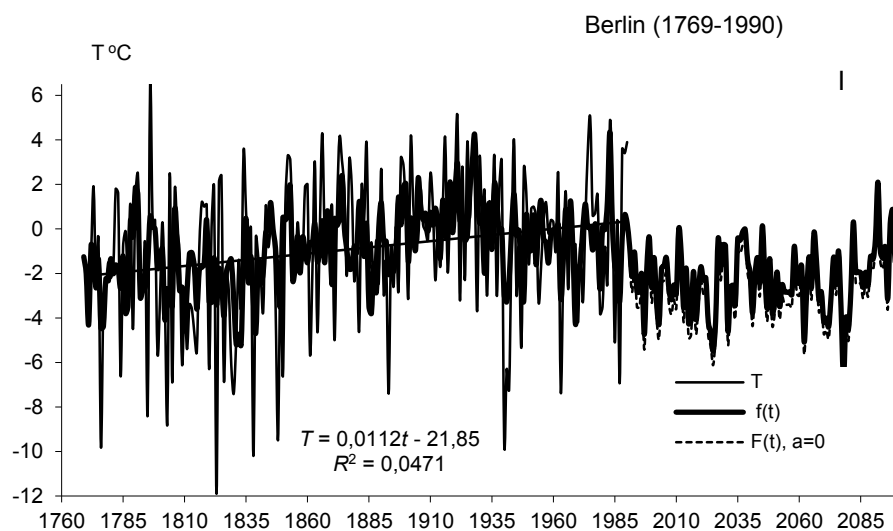
Fig. 3b. Changes of air temperature in Geneva in the 1768-1980 years – forecasts in years 1981-2100 – July

a_0	a	ε^2	R	CBK	RS
19,805854	-0,000239	1,834036	0,493168	0,47851	0,997574

Tabela 22b. Cykle temperatury powietrza w Genewie (1768-1980) – lipiec

Table 22b. The cycles of air temperature in Geneva (1768-1980) – July

Θ	b	c	ε^2	R	F_{obl}
3,9	0,4251	-0,625486	2,336	0,190	3,931
7,9	0,2668	1,544995	2,387	0,123	1,604
11,2	0,2451	1,299365	2,388	0,121	1,559
12,7	0,2809	-0,597347	2,376	0,140	2,097
24,1	0,4624	2,345382	2,329	0,197	4,258
40,1	0,4249	-2,218389	2,307	0,219	5,300
78,3	0,5345	2,385810	2,249	0,268	8,145
154,4	0,2365	-0,789605	2,378	0,137	2,007



Rys. 4a. Zmiany temperatury powietrza w Berlinie w latach 1769-1990 – prognoza w latach 1991-2100 – styczeń

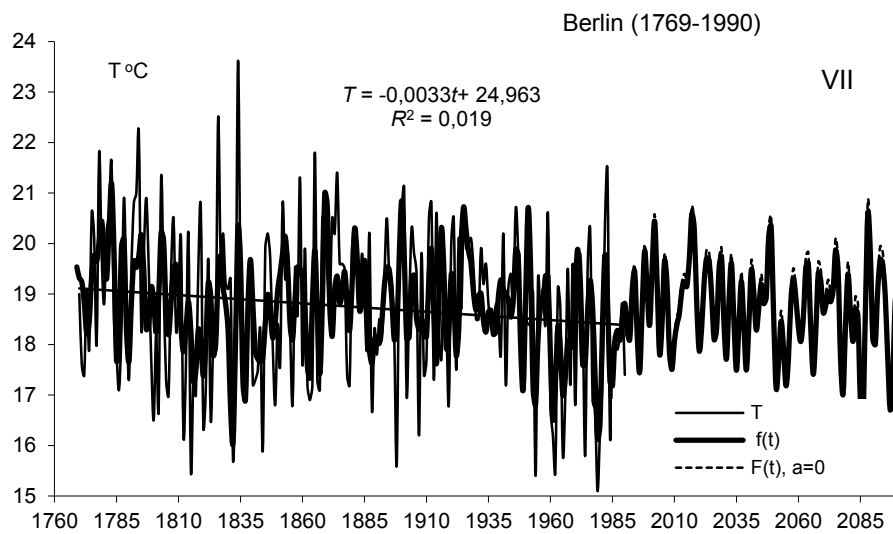
Fig. 4a. Changes of air temperature in Berlin in the 1769-1990 years – forecasts in years 1991-2100 – January

a_0	a	ε^2	R	CBK	RS
2,879949	-0,002039	7,70152	0,530667	-21,226372	0,574235

Tabela 23a. Cykle temperatury powietrza w Berlinie (1769-1990) – Styczeń

Table 23a. The cycles of air temperature in Berlin (1769-1990) – January

Θ	b	c	ε^2	R	F_{obl}
2,6	0,9089	-2,588848	10,307	0,196	4,393
3,1	0,6887	-2,900627	10,475	0,151	2,566
5,5	0,6285	-1,762901	10,442	0,161	2,920
5,7	0,4887	1,833019	10,521	0,136	2,076
7,7	0,9713	-1,207550	10,198	0,221	5,610
9,2	0,8398	-1,448807	10,352	0,185	3,898
27,2	0,6194	2,264504	10,506	0,141	2,235
61,2	0,7117	-0,693161	10,505	0,142	2,246
236,9	1,3168	0,839246	10,047	0,251	7,340



Rys. 4b. Zmiany temperatury powietrza w Berlinie w latach 1769-1990 – prognoza w latach 1991-2100 – lipiec

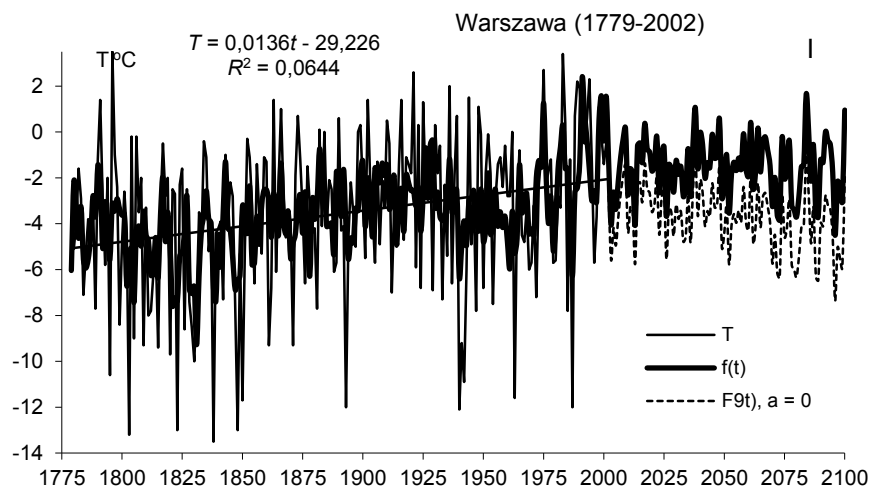
Fig. 4b. Changes of air temperature in Berlin in the 1769-1990 years – forecasts in years 1991-2100 – July

a_0	a	ε^2	R	CBK	RS
21,36153	-0,00137	1,445729	0,61606	0,430476	0,997955

Tabela 23b. Cykle temperatury powietrza w Berlinie (1769-1990) – Lipiec

Table 23b. The cycles of air temperature in Berlin(1769-1990) – July

Θ	b	c	ε^2	R	F_{obl}
3,9	0,4939	-0,36729	2,215	0,222	5,688
4,3	0,4067	-2,54743	2,251	0,184	3,846
5,1	0,4952	-2,24192	2,210	0,227	5,948
5,9	0,4335	2,17231	2,237	0,200	4,555
6,2	0,3024	-2,73763	2,267	0,165	3,046
6,5	0,2948	0,57782	2,265	0,167	3,145
8,2	0,2861	2,64915	2,286	0,138	2,110
11,1	0,2622	-1,72864	2,293	0,126	1,770
14,8	0,3753	0,07424	2,261	0,172	3,344
24,1	0,3474	2,47786	2,262	0,171	3,294
73,5	0,2935	-0,53600	2,247	0,189	4,047
136,1	0,3398	1,74736	2,230	0,207	4,913



Rys. 5a. Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2002 – prognoza w latach 2003-2100 – styczeń

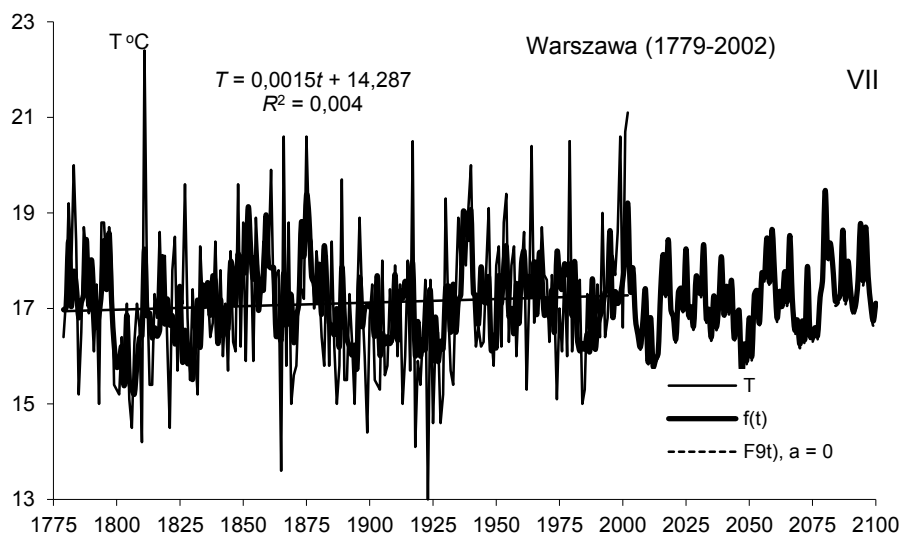
Fig. 5a. Changes of air temperature in Warsaw in the 1779-2002 years – forecasts in years 2003-2100 – January

a_0	a	ε^2	R	CBK	RS
-30,0974	0,014021	8,634214	0,528103	-5,51379	0.806077

Tabela 24a. Cykle temperatury powietrza w Warszawie(1779-2002) – Styczeń

Table 24a. The cycles of air temperature in Warsaw (1779-2002) –January

Θ	b	c	ε^2	R	F_{obl}
2,6	0,9280	-2,841762	11,525	0,194	4,301
3,3	0,7682	-1,586373	11,659	0,162	2,981
7,8	0,7486	-0,225644	11,667	0,160	2,903
8,3	0,6442	2,011431	11,676	0,158	2,816
8,7	0,4123	2,759583	11,736	0,141	2,237
9,2	0,9003	-1,583294	11,385	0,222	5,712
22,5	0,6046	-2,898428	11,737	0,141	2,227
66,5	0,4700	2,090980	11,74	0,140	2,198
116,9	0,7507	0,134445	11,569	0,184	3,864



Rys. 5b. Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2002 – prognoza w latach 2003-2100 – lipiec

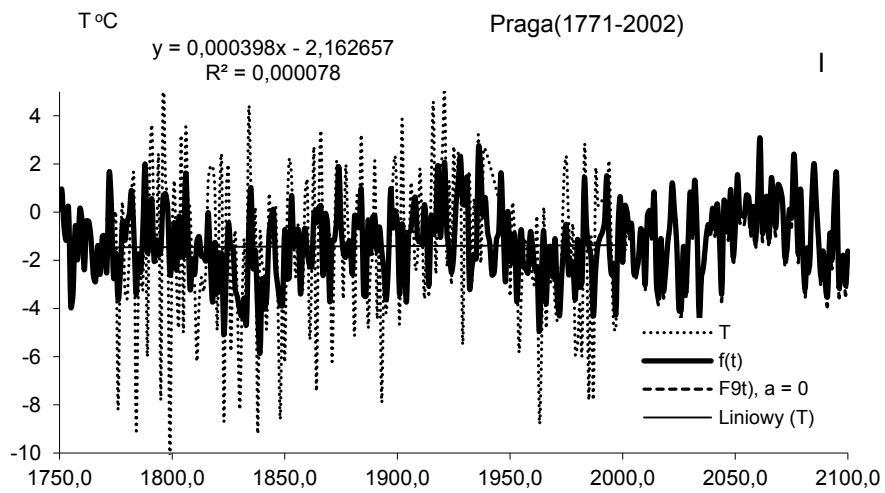
Fig. 5b. Changes of air temperature in Warsaw in the 1779-2002 years – forecasts in years 2003-2100 – July

a_0	a	ε^2	R	CBK	RS
16,240383	0,00046	1,647304	0,532226	0,501286	0,997204

Tabela 24b. Cykle temperatury powietrza w Warszawie(1779-2002) – Lipiec

Table 24b. The cycles of air temperature in Warsaw (1779-2002) –July

Θ	b	c	ε^2	R	F_{obl}
2,3	0,4913	-0,753281	2,175	0,232	6,266
3,4	0,3516	-2,814483	2,233	0,169	3,233
7,1	0,3834	1,495333	2,221	0,183	3,848
7,9	0,2945	-0,524014	2,25	0,145	2,374
12,9	0,3346	-0,418757	2,246	0,151	2,575
20,4	0,3947	1,718293	2,222	0,182	3,796
30,0	0,4100	-2,414624	2,199	0,208	4,992
83,0	0,3030	-0,611454	2,218	0,187	4,003
102,8	0,3536	0,491661	2,214	0,192	4,209



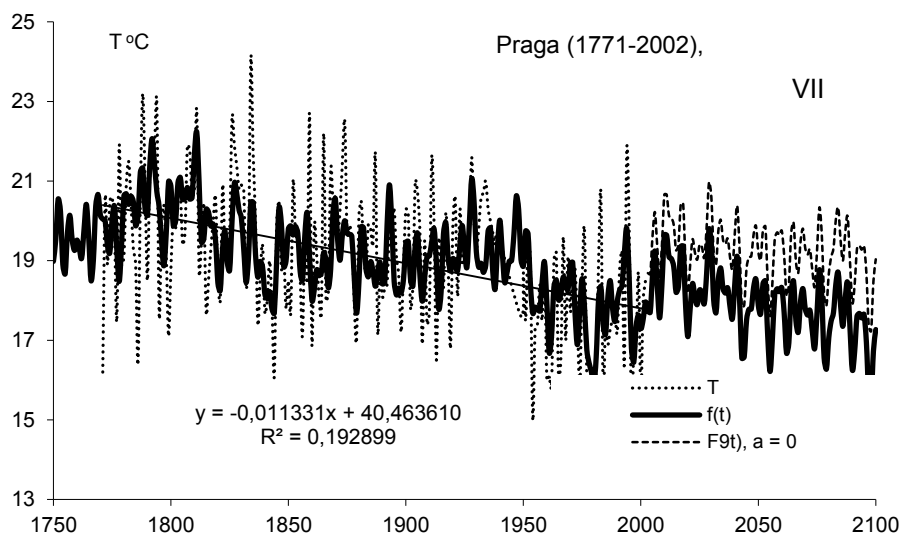
Rys. 6a. Zmiany temperatury powietrza w Pradze w latach 1771-2002 – prognoza w latach 2003-2100 – styczeń

Fig. 6a. Changes of air temperature in Prague in the 1771-2002 years – forecasts in years 2003-2100 – January

a_0	a	ε^2	R	CBK	RS
-4,484032	0,001658	6,732907	0,517351	-12,332191	0,631024

Tabela 25a. Cykle temperatury powietrza w Pradze (1771-2002) – Styczeń
Table 25a. The cycles of air temperature in Prague (1771-2002) - January

Θ	b	c	ε^2	R	F_{obl}
2,6	0,8985	-2,559940	8,748	0,220	5,807
3,1	0,7851	-2,963541	8,856	0,192	4,346
4,8	0,7816	-0,454924	8,890	0,182	3,893
7,8	0,7635	-0,404457	8,841	0,196	4,546
9,3	0,9032	-0,466615	8,826	0,200	4,748
10,4	0,6042	-0,942751	9,033	0,132	2,027
65,9	0,6652	-0,328535	8,949	0,163	3,116
148,4	0,7562	2,367764	8,896	0,180	3,814



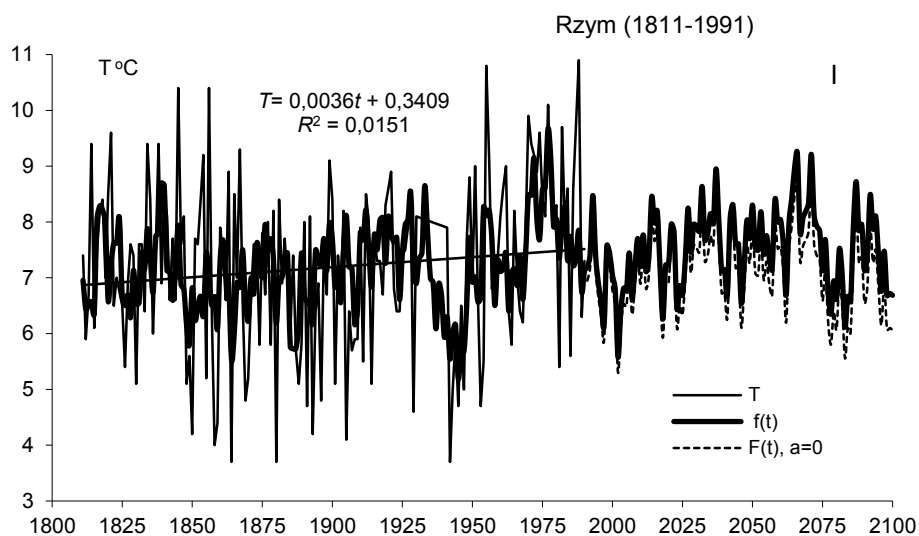
Rys. 6b. Zmiany temperatury powietrza w Pradze w latach 1771-2002 – prognoza w latach 2003-2100 – lipiec

Fig. 6b. Changes of air temperature in Prague in the 1771-2002 years – forecasts in years 2003-2100 – July

a_0	a	ε^2	R	CBK	RS
34,938074	-0,008376	1,723046	0,654317	0,459861	0,997659

Tabela 25b. Cykle temperatury powietrza w Pradze (1771-2002) – lipiec
Table 25b. The cycles of air temperature in Prague (1771-2002) - July

Θ	b	c	ε^2	R	F_{obl}
3,9	0,5115	-0,752499	2,884	0,207	5,100
5,9	0,5826	2,142608	2,854	0,230	6,351
8,3	0,1986	1,058116	2,985	0,096	1,070
9,2	0,3035	-2,738038	2,96	0,133	2,042
11,2	0,2616	1,481488	2,973	0,115	1,534
19,9	0,4144	1,668926	2,897	0,196	4,565
22,9	0,3378	1,992867	2,935	0,161	3,030
71,6	0,3807	0,893319	2,849	0,233	6,563
117,3	0,4476	-0,849328	2,673	0,336	14,501



Rys. 7a. Zmiany temperatury powietrza w Rzymie w latach 1811-1991– prognoza w latach 1992-2100 – styczeń

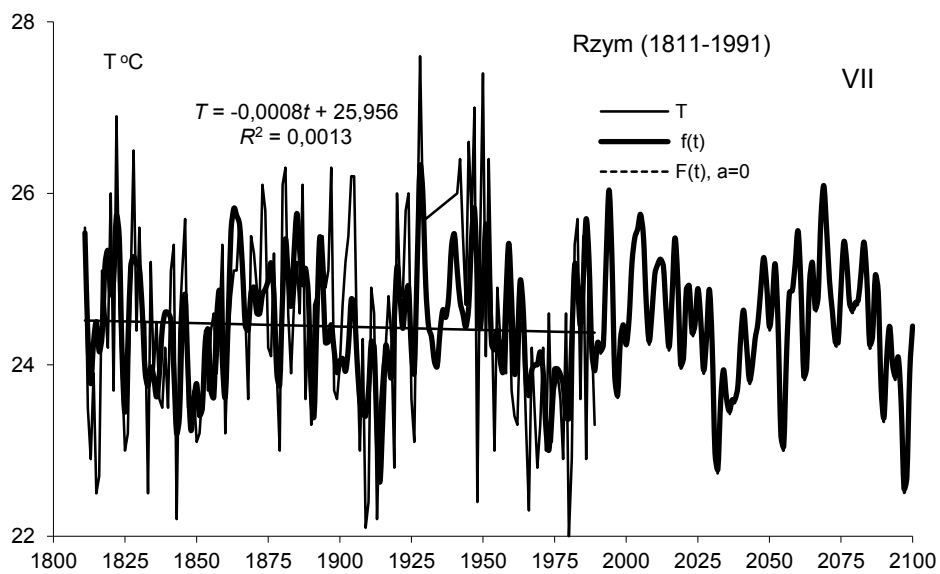
Fig. 7a. Changes of air temperature in Rome in the 1811-1991 years – forecasts in years 1992-2100 – January

a_0	a	ε^2	R	CBK	RS
0,39477	0,003529	1,748364	0,508853	1,420153	0,983666

Tabela 26a. Cykle temperatury powietrza w Rzymie (1811-1991) – Styczeń

Table 26a. The cycles of air temperature in Rome (1811-1991) - January

Θ	b	c	ε^2	R	Fobl
2,6	0,4095	-1,835233	2,281	0,182	2,830
5,5	0,4583	-1,194449	2,259	0,206	3,661
7,3	0,3789	2,119047	2,289	0,173	2,532
19,4	0,4071	3,135622	2,248	0,217	4,083
22,9	0,1691	-0,048728	2,332	0,107	0,964
27,4	0,3091	-0,457961	2,314	0,138	1,613
49,2	0,4024	0,985242	2,292	0,169	2,421
69,7	0,4359	-0,840983	2,267	0,198	3,357



Rys. 7b. Zmiany temperatury powietrza w Rzymie w latach 1811-1991 – prognoza w latach 1992-2100 – lipiec

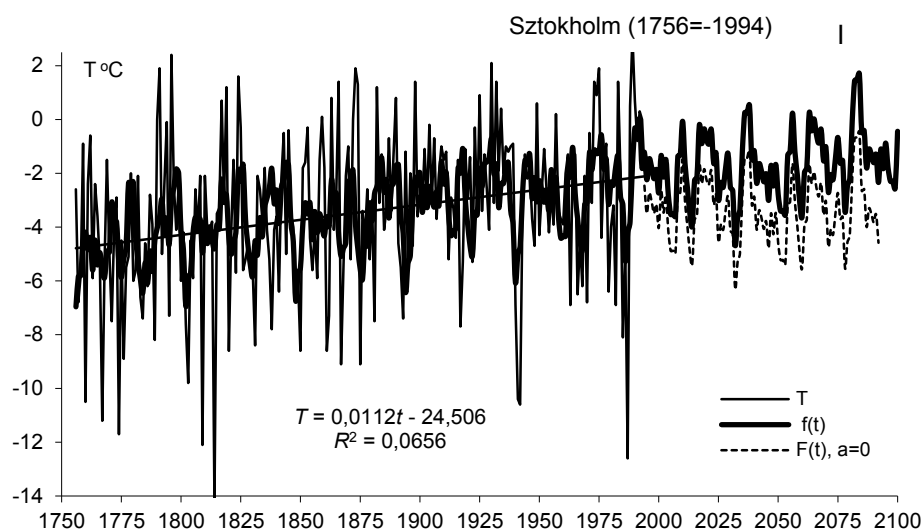
Fig. 7b. Changes of air temperature in Rome in the 1811-1991 years – forecasts in years 1992-2100 – July

a_0	a	ε^2	R	CBK	RS
24,405221	0,00004	0,84891	0,604706	0,29251	0,999291

Tabela 26b. Cykle temperatury powietrza w Rzymie (1811-1991) – Lipiec

Table 26b. The cycles of air temperature in Rome (1811-1991) – July

Θ	b	c	ε^2	R	F_{obl}
3,9	0,3293	-0,347399	1,279	0,210	3,777
4,4	0,2338	-0,409699	1,301	0,167	2,335
5,9	0,3739	2,372575	1,261	0,240	4,995
8,2	0,2123	0,552867	1,309	0,148	1,823
9,2	0,2847	3,047589	1,298	0,173	2,529
10,9	0,2976	2,073432	1,301	0,167	2,335
20,2	0,2883	-0,103616	1,287	0,196	3,247
30,7	0,2287	-2,755301	1,301	0,167	2,335
64,1	0,5402	-0,170173	1,188	0,335	10,309



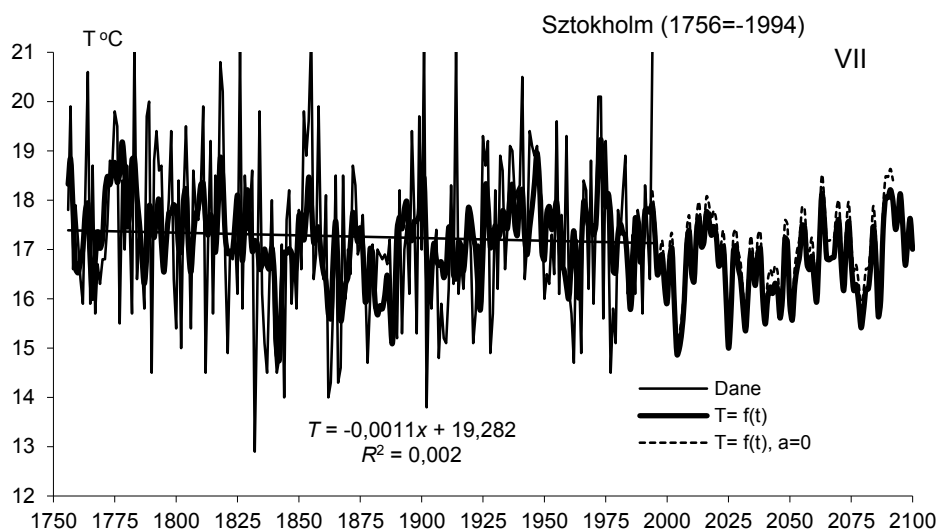
Rys. 8a. Zmiany temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1756-1994 – prognoza w latach 1995-2100 – styczeń

Fig. 8a. Changes of air temperature in Stockholm in the 1756-1994 years – forecasts in years 1995-2100 – January

a_0	a	ε^2	R	CBK	RS
-22,465037	0,01016	7,101131	0,473362	-4,996571	0,814064

Tabela 27a. Cykle temperatury powietrza w Sztokholmie (1756-1994) – Styczeń
Table 27a. The cycles of air temperature in Stockholm (1756-1994) - January

Θ	b	c	ε^2	R	F_{obl}
2,3	0,5540	1,545412	8,988	0,134	2,150
6,6	0,7367	-1,614481	8,891	0,169	3,461
9,2	0,9957	-1,305543	8,610	0,243	7,425
15,2	0,6215	1,180483	8,918	0,160	3,093
22,2	0,7488	2,121620	8,866	0,177	3,804
47,2	0,2145	1,876032	9,090	0,082	0,802
87,8	0,2272	2,843080	9,075	0,092	0,998



Rys. 8b. Zmiany temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1756-1994 – prognoza w latach 1995-2100 – lipiec

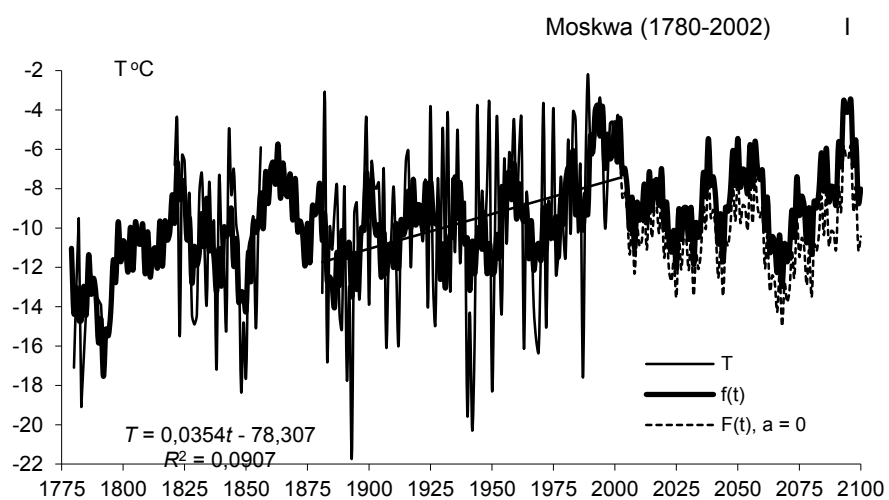
Fig. 8b. Changes of air temperature in Stockholm in the 1756-1994 years – forecasts in years 1995-2100 – July

a_0	a	ε^2	R	CBK	RS
19,819215	-0,001426	2,092001	0,481776	0,542084	0,996514

Tabela 27b. Cykle temperatury powietrza w Sztokholmie (1756-1994) – Lipiec

Table 27b. The cycles of air temperature in Stockholm (1756-1994) - July

Θ	b	c	ε^2	R	F_{obl}
3,6	0,3834	1,454332	2,650	0,165	3,310
5,1	0,3757	-2,539693	2,651	0,164	3,265
6,8	0,3883	-0,404719	2,643	0,173	3,632
9,1	0,3562	2,451471	2,659	0,155	2,900
19,9	0,3867	0,496658	2,651	0,164	3,265
23,8	0,4114	3,022185	2,643	0,173	3,632
40,4	0,3938	1,629775	2,656	0,158	3,036
165,6	0,4790	2,916915	2,618	0,198	4,793



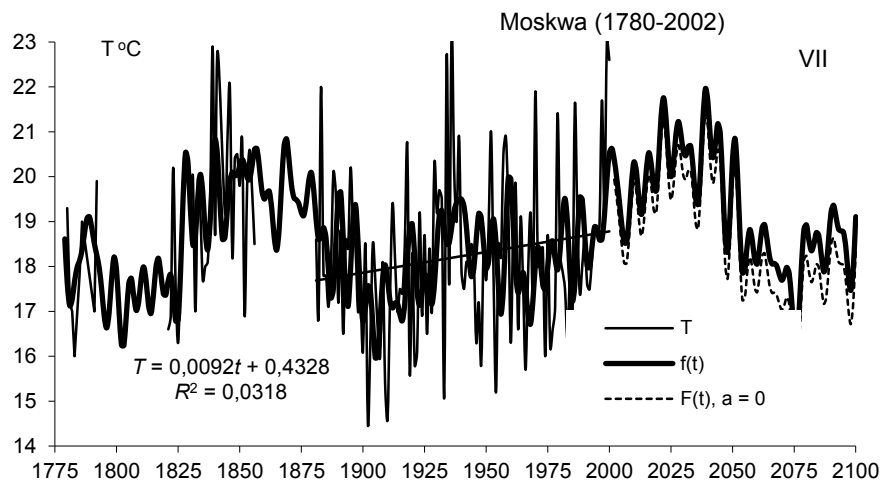
Rys. 9a. Zmiany temperatury powietrza w Moskwie w latach 1780-2002 – prognoza w latach 2003-2100 – styczeń

Fig. 9a. Changes of air temperature in Moscow in the 1780-2002 years – forecasts in years 2003-2100 – January

a_0	a	ε^2	R	CBK	RS
-33,109404	0,012127	11,584152	0,565642	-2,627265	0,949705

Tabela 28a. Cykle temperatury powietrza w Moskwie (1780-2002) – Styczeń
Table 28a. The cycles of air temperature in Moscow (1780-2002)) - January

Θ	b	c	ε^2	R	Fobl
2,4	1,2791	0,253802	16,189	0,223	4,255
9,3	0,7953	0,455473	16,386	0,195	3,224
11,4	0,8650	2,893208	16,372	0,197	3,297
19,5	1,0882	-1,072211	16,427	0,189	3,013
31,9	0,7486	-1,134589	16,489	0,179	2,695
45,5	1,0042	1,683649	16,355	0,200	3,385
59,9	0,8813	0,236467	16,068	0,238	4,901
85,4	0,4547	-1,114629	16,248	0,215	3,944
136,9	0,8426	-1,951221	16,567	0,166	2,299



Rys. 9b. Zmiany temperatury powietrza w Moskwie w latach 1780-2002 – prognoza w latach 2003-2100 – lipiec

Fig. 9b. Changes of air temperature in Moscow in the 1780-2002 years – forecasts in years 2003-2100 – July

a_0	a	ε^2	R	CBK	RS
12,535306	0,003175	2,010183	0,601782	0,601955	0,997070

Tabela 28b. Cykle temperatury powietrza w Moskwie (1780-2002) – Lipiec

Table 28b. The cycles of air temperature in Moskov (1780-2002)) - July

Θ	b	c	ε^2	R	F_{obl}
5,7	0,5373	-3,098337	3,004	0,216	4,001
6,2	0,2873	2,277810	3,054	0,176	2,601
7,0	0,3780	1,460347	3,038	0,190	3,044
10,1	0,4691	1,077990	3,035	0,192	3,127
13,2	0,2894	-1,897442	3,074	0,157	2,054
21,1	0,4044	2,692722	3,005	0,216	3,972
51,6	0,3227	-1,895260	2,965	0,243	5,125
84,7	0,8211	1,974771	2,993	0,224	4,315
169,1	0,9591	1,845991	2,872	0,298	7,930

Ważniejsze wyniki badań

Ochłodzenia i ocieplenia klimatu są kształtowane wahaniami dopływu energii słonecznej do powierzchni Ziemi, zależnej od stałej słonecznej i zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze – pochłaniających i rozpraszających promieniowanie słoneczne. Cyrkulacja atmosferyczna warunkuje transport magazynowanej głównie w strefie międzyzwrotnikowej, energii słonecznej w stronę biegunów.

Temperatura powietrza w Europie (i Polsce) cechuje się cyklicznością około 8-, 11-, 100- i 180-letnią. Cykle wyznaczono metodą „sinusoid regresji” J. Boryczki (1998)

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

gdzie: Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe).

W Europie (i w Polsce) dominują około 8-letnie okresy temperatury powietrza o dużych amplitudach $\Delta T = 2b = T_{\max} - T_{\min}$ (°C). Na przykład w styczniu wynoszą one: Warszawa – 8,3 (1,28°C), Kraków – 8,3 (1,38°C), Wrocław – 8,3 (1,50°C), Lwów – 8,3 (1,28°C), Praga – 7,8 (1,52°C), Berlin – 7,7 (1,94°C), Genewa – 8,4 (0,84°C), Wiedeń – 7,8 (1,10°C), Rzym – 7,3 (0,076°C), Sztokholm – 6,6 (1,48°C), Kopenhaga – 7,8 (0,62°C), Moskwa – 9,3 lat (1,60°C). W lipcu okresowość jest zbliżona, lecz amplitudy są prawie o połowę mniejsze.

Dużą rolę w kształtowaniu klimatu odgrywają długie cykle: 102- i 187-letni aktywności Słońca. Analogiczne okresy są obecne w seriach pomiarowych temperatury powietrza: Oto okresy około 100-letnie temperatury powietrza w Europie w styczniu: Warszawa – 116,1, Kraków – 102,0, Wrocław – 129,0, Lwów – 118,0, Praga – 148,0, Wiedeń – 90,2, Bazylea – 127,2, Kopenhaga – 87,0, Anglia – 95,1, Sztokholm – 97,8, Greenwich – 98,8 lat. Zbliżona okresowość około 100-letnia występuje również w lipcu: Warszawa – 102,0, Praga – 117,3, Wiedeń – 94,3, Bazylea – 89,6, Ryga – 115,5, Greenwich – 79,9 lat

W najdłuższych seriach pomiarowych są obecne także okresy prawie dwuwiekowe, zbliżone do okresu planetarnego 178,9 lat, po upływie którego powtarzają się wartości parametrów Układu Słonecznego. Na przykład: Kraków (lipiec – 179,8), Lwów (lipiec – 158,8), Berlin (styczeń – 236,9, 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).

Tendencje temperatury powietrza (a), określone równaniami prostych regresji $T = a_0 + at$ w zimie są na ogół rosnące: Warszawa (1779-1998) – styczeń (1,36 °C/100 lat), lipiec 0,15°C/100 lat), Kraków (1827-1997) – styczeń (1,71°C), lipiec (0,33°C), Lwów (1824-2002) – styczeń (0,53°C), lipiec (0,22°C), Berlin (1769-1990) – styczeń (1,12°C), lipiec (0,33°C), Genewa (1769-1980) – styczeń (1,23°C), lipiec (0,08°C), Wiedeń (1775-2002) – styczeń (0,84°C), lipiec (0,02°C), Rzym (1811-1969) – styczeń (0,36°C), lipiec (0,08°C), Sztokholm (1756-1994) – styczeń (1,12°C), lipiec (0,11°C), Kopenhaga (1768-1991) – styczeń (0,94°C), lipiec (0,01°C), Moskwa (1881-2002) – styczeń (3,54°C), lipiec (0,92°C).

W Europie (i Polsce) przede wszystkim zimy są coraz cieplejsze. Nie wiadomo, jaka część postępującego ocieplenia klimatu jest efektem oddziaływania czynników naturalnych, a jaka – czynników antropogenicznych. Ocieplenie klimatu w XIX-XX wieku

może być wywołane wzrostem aktywności Słońca i spadkiem aktywności wulkanicznej na ziemi.

Na klimat Europy (i Polski) dominujący wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego: Niż Islandzki i Wyż Azorski. Te dwa centra ciśnienia związane z różnicą temperatury między wodą Atlantyku Północnego i lądem są w ciągu roku ze sobą ujemnie skorelowane (North Atlantic Oscillation, NAO). Wskaźnik NAO w latach 1825-2000 cechuje się okresowością 8-letnią, kilkunastoletnią i 106,3-letnią.

Zmienność wiekową temperatury powietrza w zimie i lecie w 40 miejscowościach europejskich scharakteryzowano, zestawiając po 10 najzimniejszych i najłagodniejszych styczniów oraz po 10 najcieplejszych i najchłodniejszych lipców.

Najzimniejsze stycznie w Europie wystąpiły: Warszawa – 1838 (-13,5°C), 1963 (-11,5), Kraków – 1848 (-12,4), 1963 (-10,0), Wrocław – 1803 (-11,9), 1830 (-11,6), 1963 (-10,6), Moskwa – 1893 (-21,7), 1942 (-20,3), Lwów – 1942 (-12,6), 1838 (-12,3), Ryga – 1803 (-17,1), Wilno – 1803 (-19,1°C). Najcieplejsze pory letnie wystąpiły: Warszawa – 1796 (3,5), 1983 (3,4), Kraków – 1921 (3,5), Moskwa – 1983 (-4,1) Lwów – 1936 (2,4) Ryga – 1989 (2,5) Wilno – 1989 (1,1).

Rekonstrukcje i prognozy otrzymano na podstawie interferencji wykrytych cykli temperatury powietrza $f(t)$ – ze składnikiem liniowym at i $F(t)$ – bez składnika ($at = 0$):

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

gdzie: θ_j , b_j , c_j – to parametry istotnych statystycznie cykli (na poziomie istotności 0,05). W prognozach przyjęto założenie, że ekstrema wyznaczonych cykli o dość dużych amplitudach (istotnych) będą się powtarzać nadal, tak jak w XVIII-XX wieku. Według tych prognoz, w XXI wieku można oczekiwać ochłodzenia – zwłaszcza więcej mroźnych zim.

Pole temperatury powietrza w Europie (1961-1990) opisano wielomianami regresji liniowej i nieliniowej $T = f(\varphi, \lambda, H)$ względem trzech współrzędnych: szerokości geograficznej φ , długości geograficznej λ i wysokości nad poziomem morza H . Dobrym narzędziem badań ogólnych cech klimatu Europy okazało się równanie hiperpłaszczyznej regresji (wielomian pierwszego stopnia):

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

Współczynniki regresji cząstkowej a_1 , a_2 , a_3 – to gradienty: południkowy, w °C/1° φ , równoleżnikowy, w °C/1° λ , hipsometryczny, w °C/100 m.

Gradient południkowy (a_1) wskazuje o ile zmienia się temperatura powietrza wzdłuż południka, gdy przesuniemy się ku północy o 1° φ . Gradient równoleżnikowy (a_2) wyraża przyrost temperatury powietrza ku wschodowi, gdy odległość (λ) od Oceanu Atlantyckiego wzrośnie o $\Delta\lambda = 1^\circ$. Natomiast gradient hipsometryczny (a_3) jest miarą zmian temperatury powietrza ze wzrostem wysokości. n.p.m. o 100 m.

Nowością w badaniach klimatu Europy są mapy gradientów: południkowych $\frac{\partial T}{\partial \Phi}$, równoleżnikowych $\frac{\partial T}{\partial \Lambda}$ i hipsometrycznych $\frac{\partial T}{\partial H}$ przedstawione w t. VIII Atlasu (Stopa-Boryczka, Boryczka i in., 1994). Żeby wyznaczyć średni gradient pola temperatury

powietrza w Europie opisano je wielomianem regresji pierwszego stopnia względem szerokości Φ i długości geograficznej Λ , wyrażonych w setkach km oraz wysokości n.p.m. H – w hm:

$$T = A_0 + A_1 \Phi + A_2 \Lambda + A_3 H$$

Tak zdefiniowane gradienty oddzielają wpływ szerokości geograficznej (Φ), długości geograficznej Λ (odległości od Oceanu Atlantyckiego) i wysokości nad poziomem morza H na temperaturę powietrza w Europie.

Summary

Climate cooling and warming processes are shaped by the fluctuations of solar energy reaching the surface of Earth, which depends on the solar constant and the volcanic ashes content in the atmosphere, absorbing and dispersing solar radiation.

Atmospheric circulation conditions the transport of solar energy in the direction of poles. The energy is mainly stored around equator.

Air temperature in Europe (and Poland) is characterised by the cycles of ca. 8, 11, 100 and 180 years. The cycles have been determined using the J. Boryczko's "sine curve regression" method

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

where: Θ – period, b – amplitude, c – phase shift).

Europe (and Poland) mainly features ca. 8-year air temperature periods of large amplitudes $\Delta T = 2b = T_{\max} - T_{\min}$ ($^{\circ}\text{C}$). For January they are e.g.: Warsaw – 8.3 (1.28 $^{\circ}\text{C}$), Krakow – 8.3 (1.38 $^{\circ}\text{C}$), Wrocław – 8.3 (1.50 $^{\circ}\text{C}$), Lwów – 8.3 (1.28 $^{\circ}\text{C}$), Prague – 7.8 (1.52 $^{\circ}\text{C}$), Berlin – 7.7 (1.94 $^{\circ}\text{C}$), Geneva – 8.4 (0.84 $^{\circ}\text{C}$), Vienna – 7.8 (1.10 $^{\circ}\text{C}$), Rome – 7.3 (0.76 $^{\circ}\text{C}$), Stockholm – 6.6 (1.48 $^{\circ}\text{C}$), Copenhagen – 7.8 (0.62 $^{\circ}\text{C}$), Moscow – 9.3 lat (1.60 $^{\circ}\text{C}$). In the summer the periodicity is similar, however, the amplitudes are almost half smaller.

Big role in shaping the climate is played by the long cycles: 102- and 187-year Sun activity period. Analogical periods can be observed in the air temperature measurement series. Ca. 100-year periods for air temperature in Europe in January are as follows:: Warsaw – 116.1, Krakow – 102.0, Wrocław – 129.0, Lwów – 118.0, Prague – 148.0, Wiedeń – 90.2, Basel – 127.2, Copenhagen – 87.0, England – 95.1, Stockholm – 97.8, Greenwich – 98.8 lat. Similar periodicity of ca. 100 years occurs also in the July: Warsaw – 102.0, Prague – 117.3, Vienna – 94.3, Basel – 89.6, Ryga – 115.5, Greenwich – 79.9 lat

The longest measurement series also feature the almost two-way periods, close to the planetary period of 178.9 years, after which the Solar System parameter values reoccur. For instance: Krakow (July – 179.8), Lwów (July – 158.8), Berlin (January – 236.9, July – 154.4), Copenhagen (July – 175.2), England (January– 191.1), Uppsala (January – 193.3), Innsbruck (January – 164.2), Trondheim (January – 207.7 years).

Air temperature tendency (a), calculated for winter using the simple regression equations $T = a_0 + at$ are mainly ascending: Warsaw (1779-1998) – January (1.36 $^{\circ}\text{C}/100$ lat), July 0.15 $^{\circ}\text{C}/100$ lat), Krakow (1827-1997) – January (1.71 $^{\circ}\text{C}$), July (0.33 $^{\circ}\text{C}$), Lwów (1824-2002) – January (0.53 $^{\circ}\text{C}$), July (0.22 $^{\circ}\text{C}$), Berlin (1769-1990) – January (1.12 $^{\circ}\text{C}$), July (0.33 $^{\circ}\text{C}$), Geneva (1769-1980) – January (1.23 $^{\circ}\text{C}$), July (0.08 $^{\circ}\text{C}$), Vienna (1775-2002) – January (0.84 $^{\circ}\text{C}$), July (0.02 $^{\circ}\text{C}$), Rome (1811-1969) – January (0.36 $^{\circ}\text{C}$), July (0.08 $^{\circ}\text{C}$),

Stockholm (1756-1994) – January (1,12°C), July (0,11°C), Copenhagen (1768-1991) – January (0,94°C), July (0,01°C), Moscow (1881-2002) – January (3,54°C), July (0,92°C).

In Europe (and Poland) it is mainly the winters which are getting warmer. It is not known which part of the unfolding warming process is caused by natural factors and which results from the anthropogenic factors. Climate warming of the 19th. and 20th Century may have been caused by an increased Sun activity and declining volcanic activity on Earth.

Europe's (and Poland's) climate is mainly influenced by the two major atmospheric pressure centres: Island Low and Azorean High. These two pressure centres, related to temperature amplitudes between the waters of North Atlantic and the land, are negatively inter-correlated (North Atlantic Oscillation, NAO). The NAO indicator between 1825-2000 features the following periodicities: 8 years, dozen years and 106.3 years.

Century variability of winters and years in the 40 European cities was characterised comparing the 10 frostiest January and the 10 warmest and coldest July .

The frostiest Januarys in Europe occurred in: Warsaw – 1838 (-13.5°C), 1963 (-11.5), Krakow – 1848 (-12.4), 1963 (-10.0), Wrocław – 1803 (-11.9), 1830 (-11.6), 1963 (-10.6), Moscow – 1893 (-21.7), 1942 (-20.3), Lwów –1942 (-12.6), 1838 (-12.3), Ryga – 1803 (-17.1), Wilno – 1803 (-19,1°C). The warmest Julys periods were in: Warsaw – 1796 (3.5), 1983 (3.4), Krakow – 1921 (3.5), Moscow– 1983 (-4.1) Lwów – 1936 (2.4) Ryga – 1989 (2.5) Wilno – 1989 (1.1).

Reconstructions and forecasts have been obtained on the basis of interferences of the detected air temperature cycles

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

where Θ_j , b_j , c_j are the parameters of the statistically vital cycles (at the importance level of 0.05). It has been assumed in forecasts that the extremes of the determined cycles of large (importance) amplitudes will continue to reoccur, as in the 18th. and 20th Century. According to these forecasts, 21th. Century is likely to witness a cooling process with an increasing number of frosty winters.

To this end, the air temperature field in Europe was described using empirical models, i.e. polynomials of regression of the first degree $T =$ with regard to three coordinates: latitude φ , longitude λ and altitude above sea level H . The equation of the regression hyperplane has been a good tool for the investigation of general features of Europe's climate:

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

Coefficients of partial regression a_1 , a_2 , a_3 – are components of gradients of the air temperature field: a_1 – meridional gradient, in °C/1° φ ; a_2 – latitudinal gradients, in °C/1° λ ; a_3 – hypsometric gradient, in °C/100m.

4.3. 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

4.3.1. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na temperaturę powietrza w Europie

Na klimat Europy dominujący wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego nad Atlantykiem: Niz 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. Przy dużej południkowej różnicy ciśnienia tj. dużym gradiencie ciśnienia skierowanym na północ, powietrze znad Atlantyku napływa z zachodu na wschód – nad obszar Europy. Natomiast podczas spadku ciśnienia w Wyżu Azorskim (i jednocześnie wzroście ciśnienia w Nizu Islandzkim) poziomy gradient ciśnienia może być skierowany na wschód lub zachód. Wtedy występuje południkowy ruch powietrza na południe lub północ (cyrkulacja południkowa). Wówczas nad obszar Europy napływa powietrze z północy lub południa.

Klimat Zachodniej i Środkowej Europy jest kształtowany przez cyrkulację strefową, uwarunkowaną południkowym gradientem ciśnienia atmosferycznego $P_n \frac{\partial p}{\partial \varphi}$. Jako miarę południkowego gradientu ciśnienia przyjęto wskaźnik *NAO* (North Atlantic Oscillation), zdefiniowany przez Jonesa i in. (1997) tj. standaryzowaną różnicę ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza między Gibraltarem i południowo-zachodnią Islandią. Wartości wskaźnika *NAO* określają równoleżnikowy transport mas powietrza: w kierunku wschodnim – *NAO* > 0 i południkowym – *NAO* < 0 (Marsz 1999).

O dużej zależności klimatu Europy od Oscylacji Północnoatlantyckiej w latach 1825-2000 świadczą istotne statystycznie współczynniki korelacji *r* między temperaturą powietrza w Europie tj. w: Paryżu, Berlinie, Warszawie, Moskwie, Krakowie, Wrocławiu, Lwowie i Wilnie i a wskaźnikiem *NAO*. Wartości współczynników korelacji *r* są największe w miesiącach zimowych np. w styczniu zmieniają się od 0,65 w Berlinie do 0,36 w Moskwie (tab. 1).

Tabela 1. Współczynniki korelacji (r) temperatury powietrza i wskaźnika *NAO*
Table 1. Coefficient correlations (r) of air temperature in Europe and *NAO* indicator

Miejscowości	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Paryż	<u>0,60</u>	<u>0,63</u>	<u>0,60</u>	0,35	0,28	0,12	0,19	0,22	0,10	0,30	<u>0,53</u>	<u>0,48</u>
Berlin	<u>0,65</u>	<u>0,66</u>	<u>0,60</u>	0,25	0,27	0,12	0,15	0,20	0,30	0,25	<u>0,50</u>	<u>0,54</u>
Warszawa	<u>0,57</u>	<u>0,55</u>	<u>0,49</u>	0,12	0,13	0,13	0,13	0,08	0,27	0,25	<u>0,30</u>	<u>0,41</u>
Moskwa	<u>0,36</u>	<u>0,45</u>	<u>0,40</u>	0,00	-0,04	-0,20	0,12	0,00	0,11	0,20	0,00	-0,10
Kraków	<u>0,52</u>	<u>0,38</u>	<u>0,44</u>	0,11	0,16	0,12	0,12	0,10	0,30	0,19	<u>0,31</u>	<u>0,38</u>
Wrocław	<u>0,61</u>	<u>0,59</u>	<u>0,48</u>	0,17	0,21	0,09	0,11	0,20	0,34	0,20	<u>0,41</u>	<u>0,50</u>
Lwów	<u>0,49</u>	<u>0,44</u>	<u>0,40</u>	0,12	-0,02	0,05	0,15	0,16	0,22	0,05	<u>0,20</u>	<u>0,33</u>
Wilno	<u>0,53</u>	<u>0,55</u>	<u>0,48</u>	0,08	0,07	0,03	0,02	0,05	0,29	0,24	<u>0,34</u>	<u>0,40</u>

W miesiącach letnich są one zbliżone do zera, a nawet ujemne (nie istotne na poziomie 0,05).

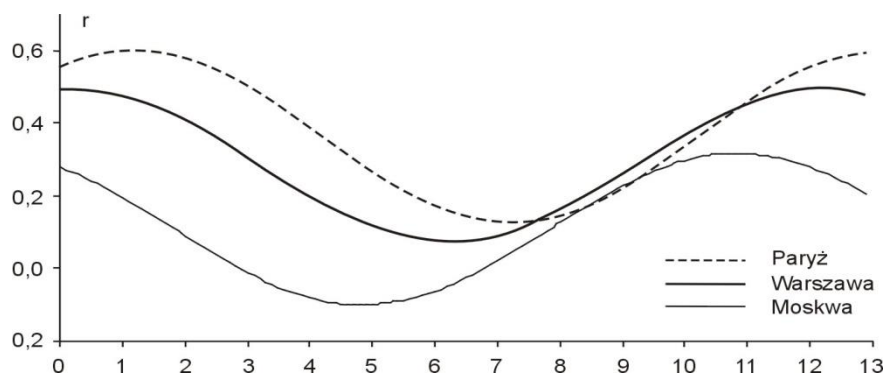
Przebiegi roczne współczynnika korelacji temperatury powietrza z wskaźnikiem *NAO* opisują dobrze równania sinusoid regresji o dużych współczynnikach determinacji R^2 [%] (tab. 2).

Tabela 2. Zmiany roczne współczynnika korelacji temperatury powietrza w Europie z wskaźnikiem *NAO* w latach 1825-2000. Równania sinusoid regresji

Table 2. Annual changes of correlation coefficients of air temperature in Europe and the *NAO* index in the years 1825-2000. Equations of regression sinusoids

	$r(t)$	R^2		$r(t)$	R^2
Paryż	$r = 0,367 + 0,238\sin(2\pi t/12 + 0,9309)$	88,5	Kraków	$r = 0,261 + 0,169\sin(2\pi t/12 + 1,4924)$	79
Berlin	$r = 0,374 + 0,244\sin(2\pi t/12 + 1,1892)$	89,7	Lwów	$r = 0,216 + 0,173\sin(2\pi t/12 + 1,6364)$	71,7
Wrocław	$r = 0,288 + 0,225\sin(2\pi t/12 + 1,4209)$	85,6	Wilno	$r = 0,257 + 0,251\sin(2\pi t/12 + 1,4838)$	87,8
Warszawa	$r = 0,108 + 0,209\sin(2\pi t/12 + 1,4636)$	86,1	Moskwa	$r = 0,108 + 0,208\sin(2\pi t/12 + 2,1838)$	68,7

Przykładowo przedstawiono wykresy sinusoid, opisujących przebieg roczny współczynnika korelacji r w Paryżu, Warszawie i Moskwie (rys. 1).



Rys. 1. Przebieg roczny współczynnika korelacji między temperaturą powietrza w Europie i wskaźnikiem *NAO* w latach 1825-2000

Fig. 1. Annual course of correlation coefficients between of air temperature in Europe and *NAO* index in the years 1825-2000

Dodatnie wartości współczynnika korelacji (r) świadczą, że zimy są cieplejsze przy większych gradientach południkowych ciśnienia, a chłodniejsze – przy mniejszych.

Okresowość Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO)

Na klimat środkowej Europy (i Polski) dominujący wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego: Wyż Azorski i Niż Islandzki. Te dwa centra ciśnienia związane z różnicą temperatury między wodą Atlantyku Północnego i lądem są ze sobą ujemnie skorelowane. Jeżeli ciśnienie w Wyżu Azorskim rośnie, to ciśnienie w Niżu Islandzkim – maleje i przeciwnie. Jest to tzw. Oscylacja Północnoatlantycka (North Atlantic Oscillation, NAO).

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

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

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

Okresy Θ obecne w widmach wskaźnika NAO w latach 1825-1997 i 1825-2002 podano w tab. 3-4 (R – współczynnik korelacji).

Tabela 3. Okresy wskaźnika NAO w latach 1825-1997

Table 3. The periods of NAO in years 1825-1997

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

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

Wskaźnik *NAO* w latach 1825-2000 cechuje się okresowością kilku, kilkunastoletnią i około 100-letnią (tab. 3). W widmach wskaźnika *NAO* w styczniu i roku dominują cykle około 8-letnie.

Tabela 4. Okresy (Θ) Oscylacji Północnoatlantyckiej (*NAO*) w latach 1825-2002 (R – współczynnik korelacji)

Table 4. The periods (Θ) of North Atlantic Oscillation (*NAO*) in years 1825-2002 (R – correlation coefficient)

Styczeń		Lipiec		Rok	
Θ	R	Θ	R	Θ	R
3,7	0,20	2,9	0,19	4,0	0,21
6,1	0,23	4,3	0,21	5,0	0,22
7,8	0,21	4,6	0,24	<u>7,8</u>	<u>0,29</u>
<u>8,3</u>	<u>0,23</u>	5,5	0,19	9,0	0,19
9,3	0,18	5,8	0,19	11,2	0,18
10,0	0,17	9,9	0,16	13,1	0,20
21,4	0,22	12,4	0,16	15,6	0,15
28,7	0,18	29,6	0,09	29,3	0,14
67,3	0,20	48,1	0,14	119,9	0,12
151,0	0,17	134,0	0,07		

Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Europie

Najmroźniejsze dni występują przy napływie powietrza kontynentalnego ze wschodu i północo-wschodu, przy adwekcji chłodnego powietrza pochodzenia arktycznego, podczas bezchmurnej pogody w nocy (silnym wypromieniowaniu ciepła z podłoża). Najcieplejsze dni w lecie są zwykle spowodowane adwekcją gorącego powietrza zwrotnikowego z południa i południo-zachodu lub napływu powietrza pochodzenia kontynentalnego z południo-wschodu i wschodu.

Zmienność wiekową średniej rocznej temperatury powietrza w 9 miejscowościach europejskich (spośród 40) scharakteryzowano, zestawiając najchłodniejsze i najcieplejsze lata (tab. 5-9)

Tabela 5. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Anglii Środkowej (1660-1973) i Paryżu (1757-1995)

Table 5. The frosty and hot years in England (1660-1973) and Paris (1757-1995)

ANGLIA ŚRODKOWA				PARYŻ			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1740	6,8	1949	10,6	1860	8,8	1822	12,7
1695	7,3	1959	10,5	1891	8,8	1775	12,7
1879	7,4	1733	10,5	1845	8,8	1995	12,3
1855	7,6	1834	10,5	1887	8,9	1994	12,3
1698	7,6	1921	10,5	1888	8,9	1834	12,2
1694	7,7	1779	10,4	1879	8,9	1772	12,2
1692	7,7	1868	10,4	1784	9,0	1762	12,1
1814	7,8	1736	10,3	1855	9,1	1811	12,0
1675	7,8	1828	10,3	1789	9,1	1774	12,0
1688	7,8	1945	10,3	1963	9,1	1989	12,0

Tabela 6. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Genewie (1768-1980) i Berlinie (1769-1990)
Table 6. The frosty and hot years in Geneva (1768-1980) and Berlin (1769-1990)

GENEWA				BERLIN			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1805	6,3	1779	11,1	1805	6,3	1779	11,1
1799	6,7	1834	10,8	1799	6,7	1834	10,8
1940	7,1	1822	10,6	1940	7,1	1822	10,6
1816	7,1	1930	10,5	1816	7,1	1930	10,5
1814	7,1	1921	10,5	1814	7,1	1921	10,5
1838	7,2	1794	10,5	1838	7,2	1794	10,5
1941	7,3	1911	10,5	1941	7,3	1911	10,5
1771	7,4	1989	10,5	1771	7,4	1989	10,5
1845	7,4	1990	10,4	1845	7,4	1990	10,4
1871	7,5	1868	10,3	1871	7,5	1868	10,3

Tabela 7. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Warszawie (1779-1998) i Pradze (1771-2002)
Table 7. The frosty and hot years in Warsaw (1779-1998) and Prague (1771-2002)

WARSZAWA				PRAGA			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1829	4,7	1989	9,8	1799	6,2	1794	11,8
1799	5,2	1990	9,7	1956	6,4	1834	11,7
1785	5,3	1797	9,6	1996	6,5	1822	11,5
1805	5,3	1983	9,6	1985	6,6	1811	11,3
1871	5,4	1934	9,5	1965	6,8	1807	11,2
1803	5,7	1975	9,5	1987	6,8	1791	11,2
1786	5,8	1992	9,4	1980	6,9	1801	10,9
1812	5,8	1994	9,3	1970	6,9	1772	10,8
1838	5,8	1939	9,2	1963	7,0	1788	10,8
1855	5,8	1967	9,2	1954	7,1	1806	10,7

Tabela 8. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Rzymie (1811-1991) i Sztokholmie (1756-1994)
Table 8. The frosty and hot years in Rome (1811-1991) and Stockholm (1756-1994)

RZYM				SZTOKHOLM			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1799	6,2	1794	11,8	1871	3,3	1822	8,5
1956	6,4	1834	11,7	1829	3,6	1975	8,4
1996	6,5	1822	11,5	1867	3,6	1949	8,2
1985	6,6	1811	11,3	1881	3,7	1779	8,0
1965	6,8	1807	11,2	1805	3,8	1961	7,9
1987	6,8	1791	11,2	1888	3,8	1989	7,8
1980	6,9	1801	10,9	1838	3,8	1937	7,8
1970	6,9	1772	10,8	1877	4,0	1938	7,8
1963	7,0	1788	10,8	1786	4,2	1819	7,8
1954	7,1	1806	10,7	1809	4,2	1973	7,8

Tabela 9. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Moskwie (1779-2002)
Table 9. The frosty and hot years in Moscow (1779-2002)

MOSKWA			
najchłodniejszy		najcieplejszy	
1908	1,5	1989	6,9
1893	1,7	1995	6,7
1942	1,7	2000	6,7
1941	2,1	2001	6,6
1956	2,2	1975	6,5
1900	2,4	2002	6,5
1907	2,4	1961	6,4
1789	2,4	1938	6,3
1881	2,5	1983	6,3
1888	2,5	1981	6,3

4.3.2. Synchroniczność cykli klimatycznych i dendrologicznych w Europie

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

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

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

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

gdzie: Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, t – czas, zmieniając okres sinusoidy Θ co 0,1 roku. Ciąg wartości wariancji resztkowej ε^2 , odpowiadających zadawanym okresom Θ – to widmo zmiennej y . Okresy Θ – to minima lokalne wariancji resztkowej ε^2 (maksima lokalne współczynnika korelacji):

$$R = \left(1 - \frac{\varepsilon^2}{s^2} \right)^{0,5}, \text{ gdzie } s^2 - \text{wariancja zmiennej } y. \text{ Są to okresy w sensie statystycznym: } f(t_i + \Theta) = f(t_i) + \varepsilon_i, \text{ gdzie } \varepsilon_i \text{ jest resztą losową.}$$

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

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

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

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

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

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

Cykl 4-letni temperatury powietrza, opadów i cyrkulacji atmosferycznej

Ciągi czasowe temperatury powietrza w Europie cechują się okresowością około 4-letnią o zakresie zmian $\Delta T = 2b$ (tab. 10).

Tabela 10. Okresy około 4-letnie temperatury powietrza w Europie

Table 10. 4-years periods of air temperature in Europe

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

Analogiczna okresowość 3,0-4,8-letnia występuje w seriach sezonowych i rocznych sum opadów atmosferycznych (tab. 11).

Tabela 11. Okresy około 4-letnie opadów atmosferycznych w Polsce
Table 11. 4-years periods of precipitation in Europe

Miejscowość	Zima		Wiosna		Lato		Jesień		Rok	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	4,8	21,00	3,6	25,00	3,4	40,00	2,6	21,80	3,6	68,60
Kraków	4,0	16,40	3,5	35,00	2,9	54,80	3,4	36,40	3,4	61,20
Wrocław	3,5	15,80	3,0	24,00	3,2	38,00	3,7	27,40	3,3	65,60

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

Taką samą okresowość ma cyrkulacja atmosferyczna: makrotyp E, południkowa (wg klasyfikacji Wangenheima-Girsa 1891-1776) i cyklonalna (wg Obuchowskiej-Klein 1901-1975). Okresy (Θ) i współczynniki korelacji (R) wynoszą (tab. 12).

Tabela 12. Okresy około 4-letnie cyrkulacji atmosferycznej w Europie
Table 12. 4-years periods of atmospheric circulation in Europe

Cyrkulacja	Zima		Wiosna		Lato		Jesień	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Makrotyp E	3,0	0,18	3,0	0,25	4,4	0,21	2,9	0,22
Południkowa	3,0	0,28	3,3	0,32	4,3	0,29	2,8	0,32
Cyklonalna	4,2	0,29	3,5	0,30	2,8	0,33	3,4	0,30

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

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

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

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

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

W Europie (i w Polsce) dominują około 8-letnie okresy temperatury powietrza o dużych amplitudach $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$ (tab. 13-14).

Tabela 13. Okresy około 8-letnie temperatury powietrza w porach roku i roku w Europie

Table 13. 8-years periods of air temperature periods and year in Europe

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

Tabela 14. Okresy około 8-letnie temperatury powietrza podczas zimy i lata w Europie

Table 14. 8-years periods of air temperature in winter and summer in Europe

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

* – nieco inny przedział czasu niż w tab. 4-5

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

Zbliżoną okresowością cechuje się cyrkulacja atmosferyczna (tab. 15)

Tabela 15. Okresy około 8-letnie cyrkulacji atmosferycznej w Europie

Table 15. 8-years periods of atmospheric circulation in Europe

Typ cyrkulacji	Zima		Wiosna		Lato		Jesień		Rok	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Makrotyp <i>E</i>	7,4	0,26	7,7	0,22	7,0	0,17	7,7	0,31	8,0	0,20
Makrotyp <i>W</i>	7,6	0,20	9,0	0,27	6,3	0,28	7,6	0,32	9,4	0,26
Południkowa <i>C</i>	5,6	0,32	8,9	0,30	6,9	0,21	6,5	0,25	7,8	0,26
Cyklonalna	7,4	0,41	5,4	0,31	7,9	0,28	6,9	0,18	8,5	0,24
Strefowa	7,8	0,28	8,3	0,29	8,9	0,16	7,7	0,21	8,9	0,19

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

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

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

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

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

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

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

Analogiczne okresy są obecne w chronologicznych ciągach szerokości pierścieni (słoi) dębów rosnących w Polsce (tab. 16)

Tabela 16. Okresy (Θ lat) około 8-letnie szerokości pierścieni dębów rosnących w Polsce w XVIII-XX w.); R – współczynnik korelacji

Table 16. Close-to-8 years cycles (Θ years) of English oak (*Quercus robur*) tree ring widths from Poland (XVIII-XX century); R – correlation coefficient

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

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

Od dawna znana jest cykliczność około 11-letnia temperatury powietrza, wiązana z cyklem 11-letnim plam słonecznych. Okresy 10-15-letnie temperatury powietrza i amplitudy (w °C) w wybranych miejscowościach, w poszczególnych sezonach i w roku zestawiono w tab. 17-18.

Tabela 17. Okresy około 11-letnie temperatury powietrza w porach roku i roku w Europie

Table 17. 11-years periods of air temperature periods and year in Europe

Miejscowość	Zima		Wiosna		Lato		Jesień		Rok	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	11,9	0,50	11,2	0,70	11,3	0,30	11,4	0,20	11,1	0,30
Kraków	11,3	0,70	11,2	0,70	11,4	0,30	10,8	1,00	11,3	0,30
Praga	11,8	0,50	11,2	0,60	11,7	0,20	11,1	0,20	11,4	0,20
Genewa	11,1	0,40	11,2	0,40	11,3	0,40	11,2	0,10	11,1	0,20
Anglia	11,2	0,50	11,1	0,20	11,1	0,20	11,2	0,20	11,1	0,20

Tabela 18. Okresy około 11-letnie temperatury powietrza w Europie

Table 18. 11-years periods of air temperature in Europe

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

* – nieco inny przedział czasu niż w tab. 17

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

Okazało się, że istotna statystycznie jest również okresowość około 11-letnia sezonowych sum opadów atmosferycznych w Polsce (tab. 19).

Tabela 19. Okresy około 11-letnie opadów atmosferycznych w Polsce

Table 19. 11-years periods of precipitation in Europe

Miejscowość	Zima		Wiosna		Lato		Jesień		Rok	
	Θ	%	Θ	%	Θ	%	Θ	%	Θ	%
Warszawa	10,1	25,9	12,0	23,7	11,2	13,8	10,2	10,6	11,3	9,5
Kraków	9,8	12,3	10,2	18,7	10,3	12,9	10,9	17,1	9,8	5,4
Wrocław	9,9	17,4	10,2	27,4	9,7	16,7	9,9	13,2	9,8	13,9

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

Zbliżonymi okresami cechują się chronologiczne ciągi szerokości pierścieni (słojów) dębów rosnących w Polsce (tab. 20).

Tabela 20. Okresy (Θ lat) około 11-letnie szerokości pierścieni dębów rosnących w Polsce (XVIII-XX w.), R – współczynnik korelacji

Table 20. Close-to-11 years cycles (Θ years) of English oak (*Quercus robur*) tree ring widths from Poland (XVIII-XX century); R – correlation coefficient

Miejsce	Θ	R	Miejsce	Θ	R
Gdańsk	11,6	0,219	Roztocze	11,2	0,194
Goldap	10,8	0,130	Suwałki	11,8	0,172
Hajnówka	11,2	0,258	Toruń	11,4	0,181
Koszalin	11,1	0,127	Warszawa	11,1	0,124
Kraków	11,5	0,137	Wrocław	11,6	0,162

Przyczyną okresów około 11-letnich temperatury powietrza i opadów atmosferycznych jest niewątpliwie 11-letni cykl aktywności Słońca (i stałej słonecznej), (tab. 21)

Tabela 21. Okresy około 11-letnie aktywności Słońca i stałej słonecznej

Table 21. 11-years periods of solar activity and solar constant

Liczby Wolfa		Stała słoneczna	
Θ	ΔW	Θ	$\Delta s/s$ %
10,0	48,3	10,1	0,35
10,5	44,7	10,5	0,51
11,0	<u>60,1</u>	11,1	<u>0,94</u>
12,0	32,2	11,9	0,29

Oto równanie cyklu 11-letniego (średniego w latach 1700-1993) stałej słonecznej o minimalnej wariancji resztkowej $\varepsilon^2 = 7,1 \cdot 10^{-5}$ i współczynniku korelacji $R = 0,609$.

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

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

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

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

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

Krótkookresowe zmiany aktywności Słońca (stałej słonecznej) nie odgrywają istotnej roli w kształtowaniu klimatu Ziemi, ze względu na bardzo powolne przenikanie ciepła do głębszych warstw Ziemi. Większą rolę odgrywają długie cykle: około 100- i 180-letni aktywności Słońca (tab. 22). W otoczeniu maksimów plam słonecznych w tych cyklach kumulowana energia słoneczna w głębszych warstwach lądów i oceanów, wywiera wpływ na prądy morskie i cyrkulację atmosferyczną.

Tabela 22. Okresy około 100- i 180-letnie: aktywności Słońca, stałej słonecznej i erupcji wulkanicznych (lata)

Table 22. The close – to – 100 and 180-year long periods of solar activity, solar constant and volcanic eruption (years)

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

Okresy około 100. i 180-letnie są obecne w wielu seriach pomiarowych temperatury powietrza w Europie (tab. 23-24).

Tabela 23. Okresy około 100-letnie temperatury powietrza w Europie

Table 23. The close to-100-year long periods of air temperature in Europe

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

Tabela 24. Okresy około 180-letnie temperatury powietrza w Europie
Table 24. The close -to-180-year long periods of air temperature in Europe

Miejscowość	Zima		Lato		Miejscowość	Zima		Lato	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT		Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	179,0	0,44	208,2	0,66	Bazylea	-	-	227,4	0,26
Kraków	168,3	0,43	-	-	Kopenhaga	-	-	211,6	1,19
Lwów	-	-	195,3	1,00	Anglia	166,9	0,48	204,6	0,34
Genewa	144,1	-	248,3	1,09	Sztokholm	184,6	0,49	-	-
Berlin	212,8	1,18	-	-	Uppsala	182,3	2,50	192,8	0,39
Rzym	-	-	224,9	1,40	Innsbruck	169,8	1,45	-	-

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

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

Ciągi chronologiczne szerokości pierścieni drzew: sosny, świerka, modrzewia, jodły i dębu w Europie cechują się również podobnymi okresami około 100. i 180-letnimi (tab. 25).

Tabela 25. Okresy (Θ lat) około 100. i 180-letnie szerokości pierścieni drzew (sosna, świerk, modrzew) rosnących w Europie

Table 25. Approximately 100-year and 180-year cycles (Θ years) of ring widths of trees growing in Europe (pine, spruce and larch)

Drzewo	Przedział czasu	Θ	R	Θ	R	Θ	R
Sosna							
Forfiorddalen (Norwegia)	877-1994	112	0,178	189	0,121	-	-
Kola (Rosja)	1577-1997	109	0,394	186	0,277	-	-
Świerk							
Stonnggrandes (Norwegia)	1403-1997	114	0,191	201	0,243	-	-
Falkenstein (Niemcy)	1540-1995	110	0,298	189	0,414	429	0,399
Fodara Vedla (Włochy)	1578-1990	99	0,083	191	0,718	-	-
Modrzew							
Pinega 1 (Rosja)	1598-1990	103	0,184	217	0,286	-	-

Ekstrema cyklu 180-letniego (zbliżonego do długości serii instrumentalnych) wielokrotnie powtarzają się w ciągach dendrologicznych sprzed tysiąca czy też kilkuset lat.

Widma rocznych przyrostów drzew rosnących w Europie przedstawiono na rysunkach.. Natomiast parametry sinusoidalnych cykli badanych drzew (Θ – okres, b – amplituda, c – faza, ϵ^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji wielokrotnej, F_{obl} – statystyka testu Fishera-Snedecora) podano w odpowiednich zestawieniach – w tabelach.

Prognozy zmian klimatu Europy w XXI wieku

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

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

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

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

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

W ten sam sposób opracowano prognozy średniej rocznej temperatury powietrza w wybranych 9 miejscowościach w Europie (spośród 40) (rys. 2-10).

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

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

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

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

Prognozę Oscylacji Północnoatlantyckiej (*NAO*) w zimie w XXI wieku otrzymano na podstawie wyznaczonych okresów w latach 1826-1997: 2,4; 5,0; 5,8; 7,8; 8,3; 15,5; 21,5;

37,1; 71,5; 105,1 lat. Z nakładania się tych cykli wynika, że podczas zim 2001-2100 można oczekiwać spadku wskaźnika *NAO*, tj. zmniejszenia cyrkulacji strefowej, a więc osłabienia ocieplającego oddziaływania Oceanu Atlantyckiego w zimie na klimat Europy (i Polski). Prognozy wskaźnika *NAO* w XXI wieku już przekonują o zbliżającym się naturalnym ochłodzeniu klimatu Europy (Boryczka, Stopa-Boryczka i inni, 2004).

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

Najmroźniejsze zimy w Warszawie (średnie konsekwentne 11-letnie wartości temperatury około -4°C) wystąpią około roku 2050. Będą one nieco łagodniejsze niż na początku XIX wieku, ze względu na coraz większy udział czynników antropogenicznych. Natomiast lata chłodniejsze (średnie konsekwentne 11-letnie około $17,5-18,0^{\circ}\text{C}$) wystąpią wcześniej, w drugiej dekadzie XXI wieku.

Prognozy rocznych przyrostów (szerokości słoików) drzew rosnących w Europie przedstawiają wykresy: sosny – rys. 11-12, świerka – rys. 13, modrzewia – rys. 14, jodły – rys. 15 i dębu – rys. 16-18.

Na uwagę zasługują prognozy przyrostów rocznych niektórych drzew po rok 2100. Wykresy prognostyczne ich rocznych przyrostów cechują się głównymi minimami w połowie XXI wieku. W przypadku np. świerka, rosnącego we Włoszech funkcje prognostyczne $y = f(t)$ uwzględniają istotne statystycznie cykle. Słoje świerka z Falkenstein (1540-1995) cechują się „silnymi” cyklami: 110, 189 i 429 lat – o współczynnikach korelacji (*R*) 0,30, 0,42 i 0,40 (tab. 26).

Tabela 26. Okresy Θ (lat) szerokości słoików świerków, uwzględnione w prognozach zmian klimatu po rok 2100 (*R* – współczynnik korelacji wielokrotnej)

Table 26. Cycles of Norway spruce (*Picea abies*) tree ring widths applied in the climate forecast until year 2100; *R*- multiple correlation coefficient

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

Metody prognozowania sprawdzono też na przykładzie krótkiej, 30-letniej serii pomiarów w Zamościu z lat 1951-1980 (Stopa-Boryczka, Boryczka 1998). Ekstrapolowanie wartości trendu czasowego – wypadkowej cykli: 3,25; 7,75; 12,6 lat – w latach 1981-1990 (poza przedział aproksymacji 1951-1980) są zbliżone do wyników

pomiarów temperatury powietrza w dziesięcioleciu 1981-1990. Na uwagę zasługuje synchroniczność ekstremów wyrównanej temperatury powietrza w Zamościu z minimami i maksymami aktywności Słońca w cyklu 11-letnim. Maksima temperatury powietrza przypadają na daty maksimów plam słonecznych: 1957, 1968, 1979, 1989.

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

$$W' = 0,0037t - 6,956$$

$$T' = 0,0047t - 8,940$$

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

Parametry cykli rocznych przyrostów drzew w Europie przedstawiono w tabelach 38-43. Natomiast zmiany szerokości słoju drzew w odpowiednich przedziałach czasu, wraz z prognozami do roku 2100 ilustrują wykresy na rysunkach 10-15.

W tomie XX-XXI *Atlasu* określono tendencje zmian cech termicznych klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu (ze szczególnym uwzględnieniem stuleci XVIII-XXI) z wyeksponowaniem ich naturalnych przyczyn.

Na początku przedstawiono cechy termiczne klimatu Europy, wynikające z jej położenia w umiarkowanych szerokościach geograficznych. Badania przeprowadzono na podstawie średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w 30-letnich latach 1931-1960 i 1961-1990. Pole temperatury powietrza opisano empirycznymi modelami – wielomianami regresji pierwszego, drugiego, trzeciego i czwartego stopnia $T = f(\varphi, \lambda, H)$ względem trzech współrzędnych: szerokości φ i długości geograficznej λ oraz wysokości nad poziomem morza H . Symulują one zarówno zmienność strefową temperatury powietrza (uwarunkowaną dopływem promieniowania słonecznego), jak też oddziaływanie Oceanu Atlantyckiego i wpływ wysokości nad poziomem morza.

Originalną część pracy stanowi rozdział pt. *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 miejscowości europejskich. Widma (i okresy) temperatury powietrza wyznaczono metodą J. Boryczki „sinusoid regresji” (1998), a tendencje zmian określono równaniami prostych regresji. Szczególne znaczenie mają jednak prognozy temperatury powietrza do 2100 roku na podstawie interferencji silniejszych cykli zawartych w widmach. Prognozy wskazują na naturalne ochłodzenie klimatu Europy w XXI wieku. Według tych prognoz w XXI wieku można oczekiwać ochłodzenia, które częściowo może być złagodzone przez czynniki antropogeniczne (efekt cieplarniany i miejskie wyspy ciepła). W prognozach przyjęto założenia, że ekstrema wykrytych cykli (obecnych w widmach tempe-

ratury powietrza) o dość dużych amplitudach (istotnych statystycznie) będą się powtarzać nadal, tak jak 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.

Temperatura powietrza w Europie w XVIII-XX wieku. cechuje się cyklicznością około 8., 11., 100. i 180-letnią. W zimie dominują około 8-letnie okresy temperatury powietrza o dużym zakresie wahań: w Warszawie – 8,3 (1,6°C), Krakowie – 8,3 (1,9), Sztokholmie – 7,8 (1,3), Moskwie – 7,9 (0,8). W widmach temperatury powietrza są obecne także cykle około 11-letnie np. w zimie: Warszawa – 11,6 (0,5°C), Kraków – 11,3 (0,8), Moskwa – 11,4 (1,6)

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

Zbliżone okresy są obecne w dendrologicznych ciągach szerokości pierścieni (słojów) dębów rosnących w Polsce (tab. 27).

Tabela 27. Okresy (Θ lat) około 8. i 11-letnie szerokości pierścieni dębów rosnących w Polsce (XVIII-XX w.), R – współczynnik korelacji

Table. 27. 8-year and 11-year cycles (Θ years) of ring widths of oaks growing in Poland (18th-20th c.), R – correlation coefficient

Miejsce	Θ	R	Θ	R	Miejsce	Θ	R	Θ	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

Dużą rolę w kształtowaniu klimatu odgrywają długie cykle około 100. i 180-letni aktywności Słońca. Warunkują one okresy około 100. i 180-letni temperatury powietrza w Europie. Okresy prawie dwuwiekowe są zbliżone do okresu planetarnego 178,9 lat, po upływie którego powtarzają się wartości parametrów Układu Słonecznego.

Prognozy otrzymano na podstawie interferencji wykrytych cykli metodą „sinusoid regresji” J. Boryczki (1998) :

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

gdzie: Θ_j – okres, b_j – amplituda, c_j – przesunięcie fazowe. Wykresy funkcji prognozycznych $y = f(t)$ rocznych przyrostów niektórych drzew cechują się głównymi minimumami w połowie XXI wieku.

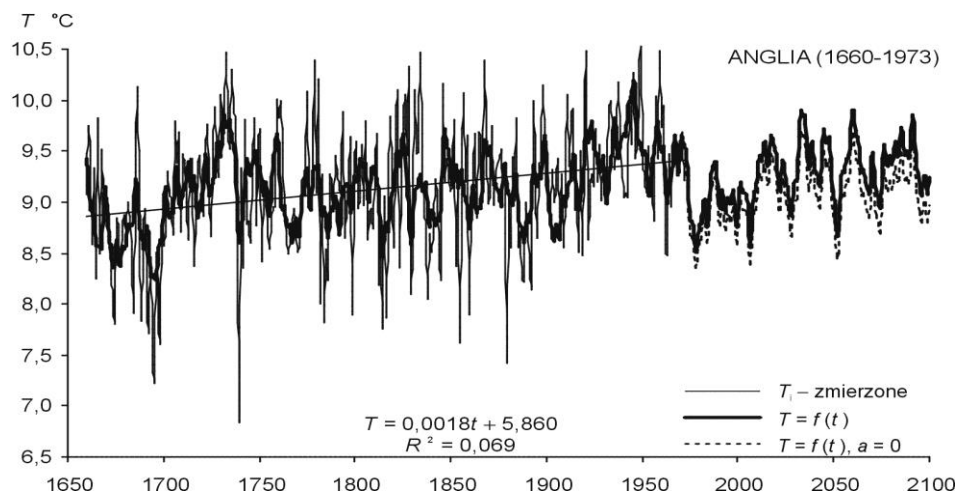
W kolejnych tabelach zestawiono krótkie, średnie i długie cykle temperatury powietrza w 9 miejscowościach europejskich (spośród 40) reprezentujących prawie wszystkie jednostki fizycznogeograficzne (tab.28-38).

Na klimat Europy dominujący wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego: Niż Islandzki i Wyż Azorski. Te dwa centra ciśnienia związane z różnicą

temperatury między wodą Atlantyku Północnego i lądem są w ciągu roku ze sobą ujemnie skorelowane. O wpływie aktywności Słońca na cyrkulację atmosfery (na dystrybucję ciepła na Ziemi) świadczą analogiczne cykle cyrkulacji atmosfery i liczb Wolfa, a także temperatury powietrza. Wskaźnik *NAO* w latach 1825-2000 cechuje się okresowością 8-letnią, kilkunastoletnią i 106,3-letnią, a temperatura powietrza w Europie cechuje się okresowością 8-, 11-, 100- i 180-letnią.

Istotny jest również ostatni rozdział – autoreferat pracy doktorskiej R. Cebulskiego pt. *Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu opadów atmosferycznych i stanów wody rzeki górskiej*. Dużą wartość poznawczą mają zbliżone widma i okresy, wyznaczone metodą „sinusoid regresji”, badanych zmiennych tj. stanów wody w rzece górskiej, opadów atmosferycznych, wskaźników cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca.

Prognozy temperatury powietrza w niektórych miastach Europy w XXI wieku – według interferencji cykli (rys. 2-10, tab. 28-36)



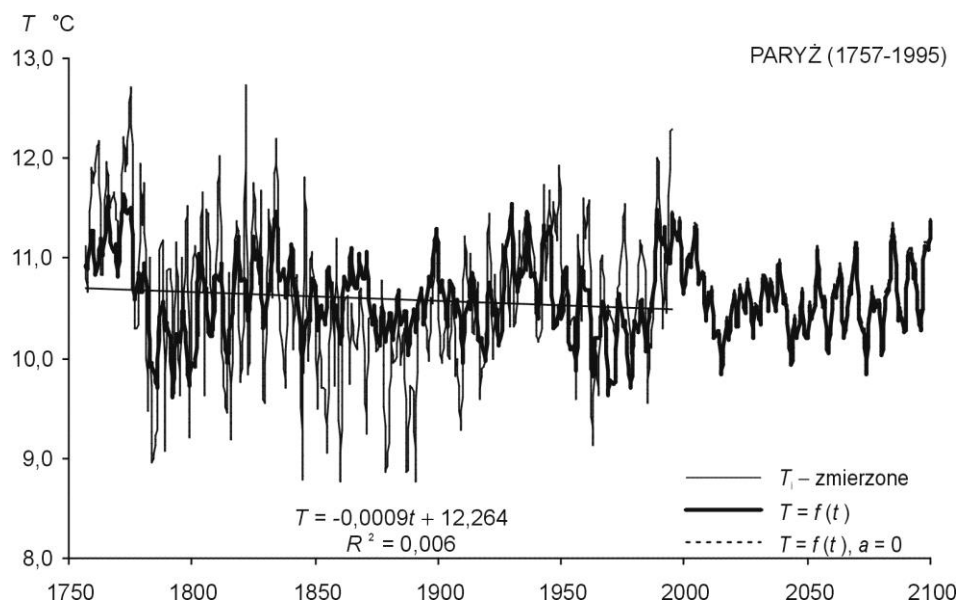
Rys. 2. Zmiany temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach 1659-1673 – prognoza w latach 1974-2100 – rok

Fig. 2. Changes of air temperature in England in the 1659-1973 years forecasts in years 1974-2100 – year

Tabela 28. Cykle temperatury powietrza w Anglii Środkowej (1660-1973) – rok

Table 28. The cycles of air temperature in Central England (1660-1973) – year

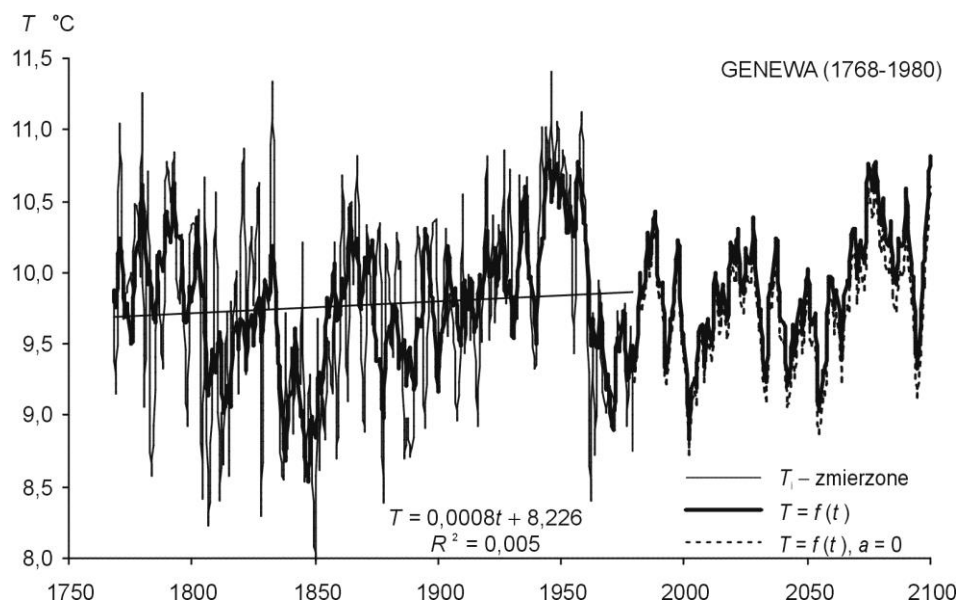
Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,1	0,104	-2,4306	0,381	0,123	2,41
5,2	0,102	0,3497	0,381	0,123	2,41
7,4	0,131	-2,6816	0,379	0,143	3,24
11,1	0,098	-0,5946	0,382	0,113	1,99
12,5	0,118	3,0315	0,379	0,143	3,24
15,0	0,158	-1,3052	0,374	0,183	5,36
23,6	0,223	-0,7558	0,364	0,243	9,78
73,3	0,131	-1,8491	0,372	0,196	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



Rys. 3. Zmiany temperatury powietrza w Paryżu w latach 1757-1995 – prognoza w latach 1996-2100 – rok
Fig. 3. Changes of air temperature in Paris in the 1757-1995 years forecasts in years 1996-2100 – year

Tabela 29. Cykle temperatury powietrza w Paryżu (1757-1995) – rok
Table 29. The cycles of air temperature in Paris (1757-1995) – year

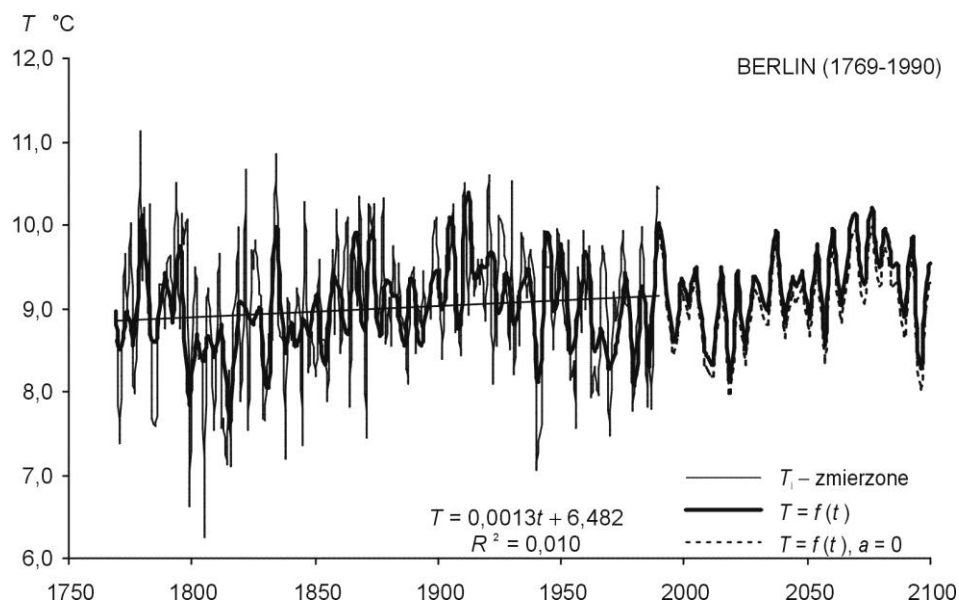
Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,1	0,202	-2,2205	0,607	0,181	4,02
7,4	0,243	-3,0115	0,591	0,241	7,34
7,8	0,159	0,2620	0,609	0,172	3,62
15,4	0,173	-0,3084	0,610	0,167	3,42
32,5	0,188	-1,3089	0,608	0,177	3,82
44,5	0,158	3,0322	0,603	0,198	4,83
57,2	0,237	2,2368	0,580	0,275	9,73
81,9	0,191	-1,6416	0,590	0,245	7,55



Rys. 4. Zmiany temperatury powietrza w Genewie w latach 1768-1980 – prognoza w latach 1981-2100 – rok
Fig. 4. Changes of air temperature in Geneva in the 1768-1980 years forecasts in years 1981-2100 – year

Tabela 30. Cykle temperatury powietrza w Genewie (1768-1980) – rok
Table 30. The cycles of air temperature in Geneva (1768-1980) – year

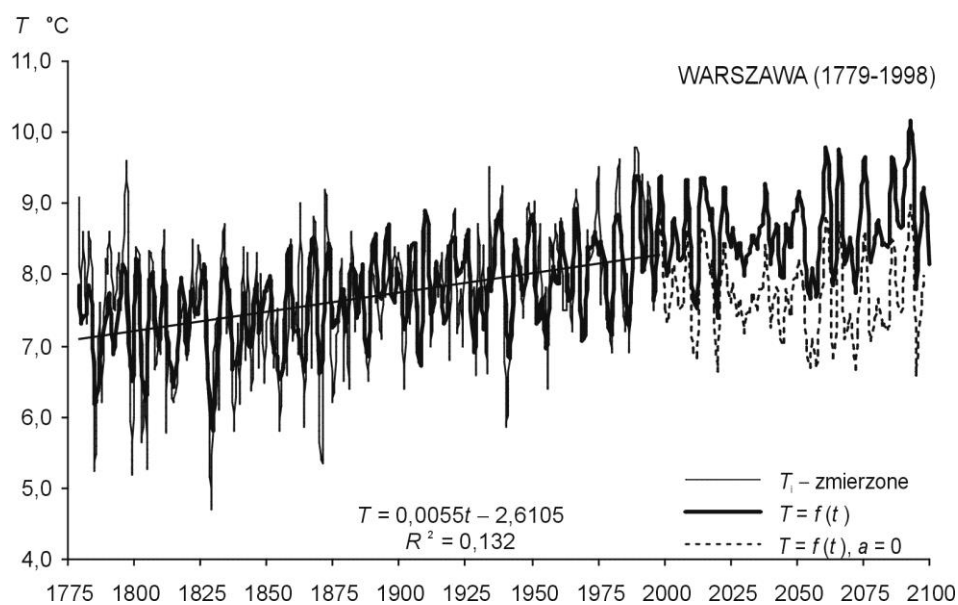
Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,1	0,173	-0,1865	0,458	0,176	3,35
7,8	0,174	0,9958	0,456	0,187	3,82
10,3	0,174	2,2280	0,458	0,176	3,35
12,9	0,172	2,1614	0,459	0,170	3,11
31,1	0,215	2,4199	0,450	0,219	5,27
40,6	0,283	1,6218	0,427	0,311	11,21
75,8	0,219	-2,3847	0,430	0,300	10,40
163,9	0,261	2,7910	0,418	0,340	13,72



Rys. 5. Zmiany temperatury powietrza w Berlinie w latach 1769-1990 – prognoza w latach 1991-2100 – rok
Fig. 5. Changes of air temperature in Berlin in the 1769-1990 years forecasts in years 1991-2100 – year

Tabela 31. Cykle temperatury powietrza w Berlinie (1769-1990) – rok
Table 31. The cycles of air temperature in Berlin (1769-1990) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
5,5	0,224	-1,5519	0,701	0,193	4,27
6,5	0,167	1,0122	0,711	0,154	2,67
7,8	0,365	0,2263	0,661	0,304	11,19
11,2	0,140	2,6624	0,720	0,106	1,26
12,9	0,144	0,7857	0,712	0,149	2,51
14,0	0,166	0,9752	0,704	0,182	3,79
15,2	0,135	1,7727	0,711	0,154	2,67
41,2	0,246	-0,8792	0,694	0,217	5,43
71,9	0,132	-3,0810	0,715	0,135	2,04
170,4	0,276	0,4297	0,684	0,246	7,11



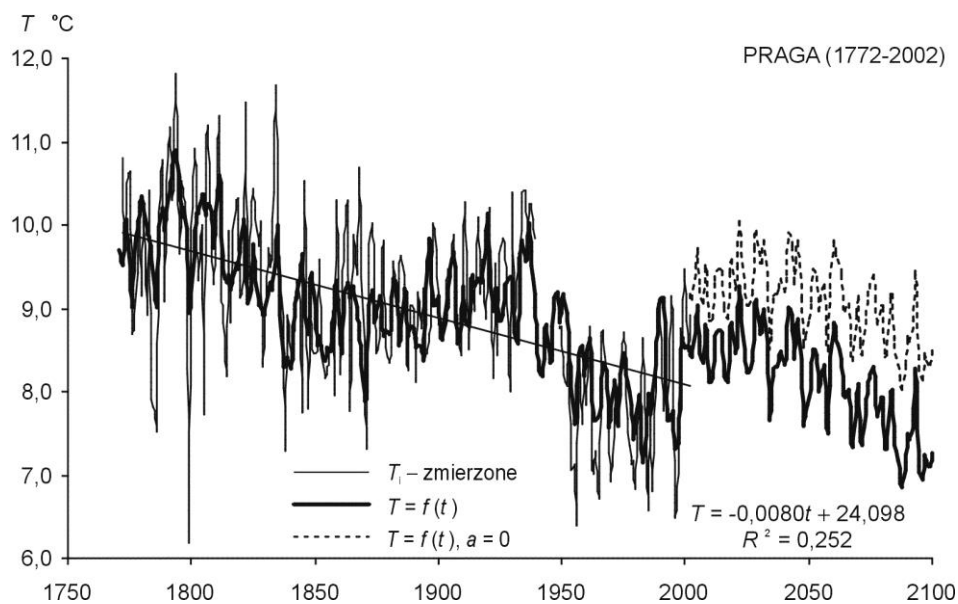
Rys. 6. Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1998 – prognoza w latach 2003-2100 – rok

Fig. 6. Changes of air temperature in Warsaw in the 1779-1998 years forecasts in years 2003-2100 – year

Tabela 32. Cykle temperatury powietrza w Warszawie (1779-1998) – rok

Table 32. The cycles of air temperature in Warsaw (1779-1998) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
4,0	0,169	-1,7867	0,894	0,129	1,86
4,7	0,239	-1,1160	0,886	0,160	2,87
5,5	0,200	-1,3956	0,884	0,166	3,12
5,7	0,134	2,0082	0,889	0,149	2,49
7,8	0,255	0,1734	0,875	0,194	4,28
11,3	0,166	-0,9419	0,898	0,111	1,37
12,8	0,219	0,0045	0,887	0,156	2,74
14,1	0,198	-0,1194	0,883	0,170	3,25
106,1	0,157	2,1672	0,896	0,120	1,61

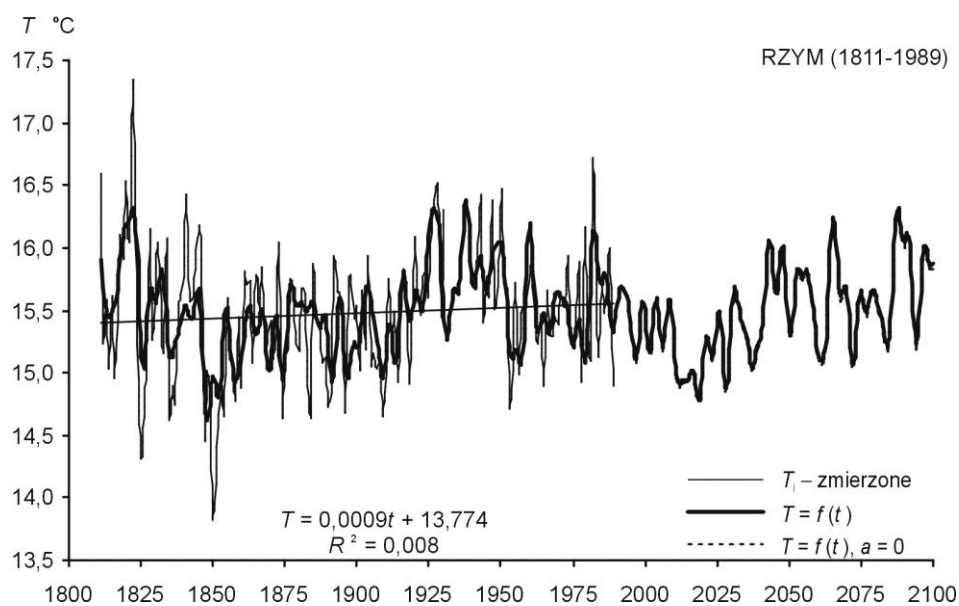


Rys. 7. Zmiany temperatury powietrza w Pradze w latach 1775-2002 – prognoza w latach 1991-2100 – rok
Fig. 7. Changes of air temperature in Prague in the 1792-2002 years ,forecasts in years 1991-2100 – year

Tabela 33. Cykle temperatury powietrza w Pradze (1771-2002) – rok
Table 33. The cycles of air temperature in Prague (1771-2002) – year

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
3,4	0,208	-2,9414	1,120	0,448	27,61
4,7	0,228	-1,0013	1,114	0,453	28,35
7,8	0,243	0,2037	1,105	0,460	29,48
10,4	0,218	-0,5226	1,115	0,452	28,23
13,0	0,176	1,6657	1,118	0,450	27,85
14,1	0,192	0,7294	1,108	0,457	29,10
17,9	0,216	0,8945	1,112	0,454	28,60
70,8	0,171	-0,5138	1,080	0,479	32,70
116,1	0,476	-1,7258	0,874	0,613	66,34

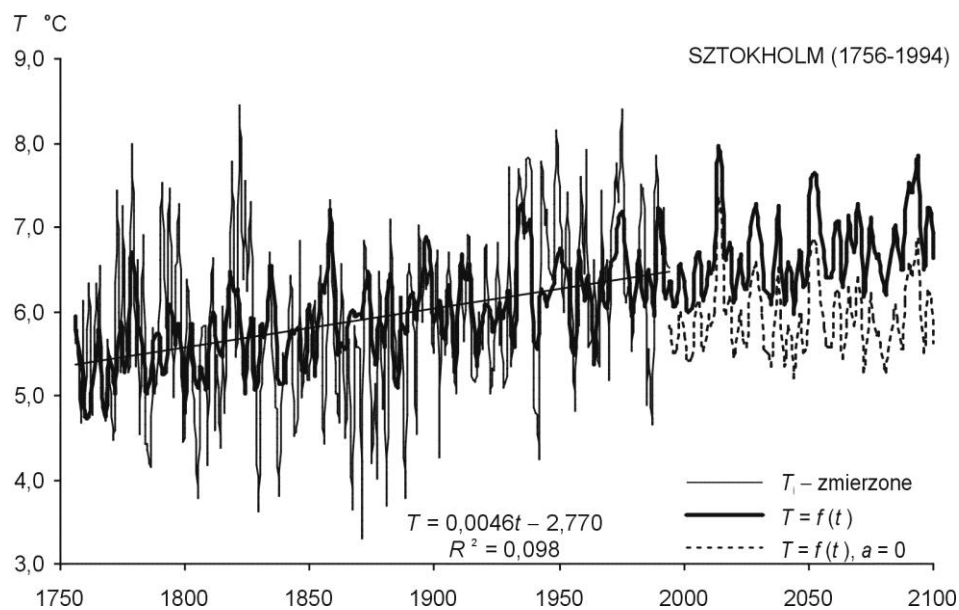
Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ϵ^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ϵ^2 – rest variance, R – correlation coefficient



Rys. 8. Zmiany temperatury powietrza w Rzymie w latach 1811-1991 – prognoza w latach 1992-2100 – rok
Fig. 8. Changes of air temperature in Rome in the 1811-1991 years, forecasts in years 1992-2100 – year

Tabela 34. Cykle temperatury powietrza w Rzymie (1811-1991) – rok
Table 34. The cycles of air temperature in Rome (1811-1991) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
4,4	0,126	-1,1259	0,261	0,165	2,32
5,5	0,147	-0,7007	0,258	0,196	3,31
8,1	0,115	2,0821	0,260	0,176	2,65
10,7	0,164	0,7022	0,252	0,246	5,37
11,7	0,183	-2,2047	0,248	0,275	6,79
20,6	0,162	-0,8152	0,248	0,275	6,79
56,3	0,193	-0,6481	0,249	0,268	6,43
144,4	0,236	-1,2984	0,244	0,301	8,27



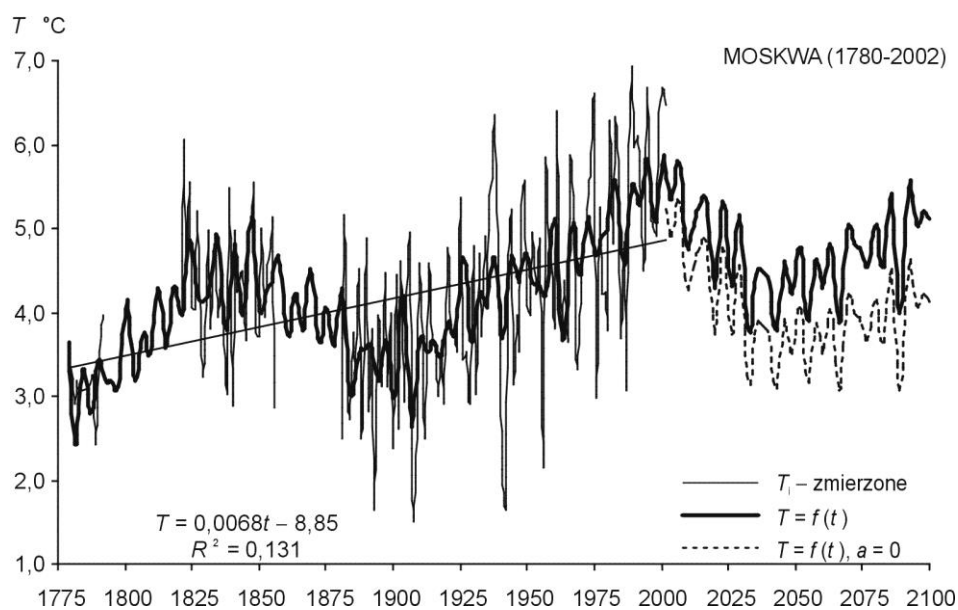
Rys. 9. Zmiany temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1756-1994 – prognoza w latach 1995-2100 – rok

Fig. 9. Changes of air temperature in Stockholm in the 1756-1994 years forecasts in years 1995-2100 – year

Tabela 35. Cykle temperatury powietrza w Sztokholmie (1756-1994) – rok

Table 35. The cycles of air temperature in Stockholm (1756-1994) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
4,0	0,195	-1,8131	1,024	0,135	2,20
4,7	0,220	-1,5501	1,019	0,152	2,79
7,8	0,294	0,3368	0,999	0,205	5,22
11,4	0,161	2,3971	1,030	0,112	1,50
13,0	0,247	2,0445	1,012	0,172	3,63
19,6	0,257	-2,6845	1,012	0,172	3,63
39,3	0,204	-0,5438	1,013	0,170	3,51
79,4	0,033	-1,3492	1,039	0,062	0,46



Rys. 10. Zmiany temperatury powietrza w Moskwie w latach 1780-2002 – prognoza w latach 2003-2100 – rok

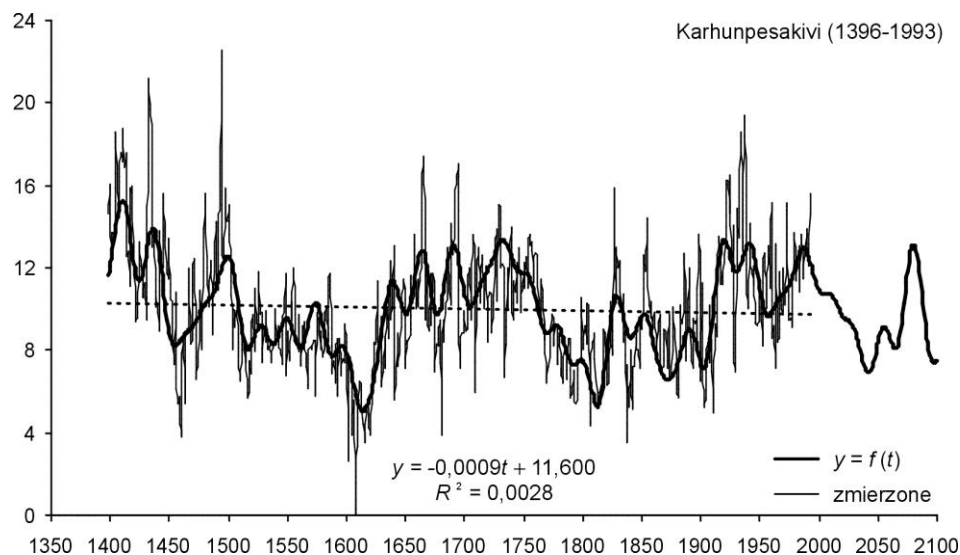
Fig. 10. Changes of air temperature in Moscow in the 1780-2002 years forecasts in years 2003-2100 – year

Tabela 36. Cykle temperatury powietrza w Moskwie (1779-2002) – rok

Table 36. The cycles of air temperature in Moscow (1779-2002) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
5,7	0,263	1,7352	1,236	0,188	3,01
7,0	0,189	1,8224	1,248	0,161	2,19
7,9	0,192	1,5992	1,247	0,164	2,26
11,3	0,233	-0,6399	1,257	0,138	1,59
25,1	0,097	-2,7457	1,253	0,149	1,85
60,2	0,121	0,2890	1,194	0,261	6,00
79,0	0,200	-0,8028	1,254	0,146	1,79
152,3	0,618	1,3101	0,992	0,475	23,91

4.3.3. Prognozy zmian klimatu Europy w XXI wieku według szerokości słoików drzew (rys. 11-16, tab. 37- 42)



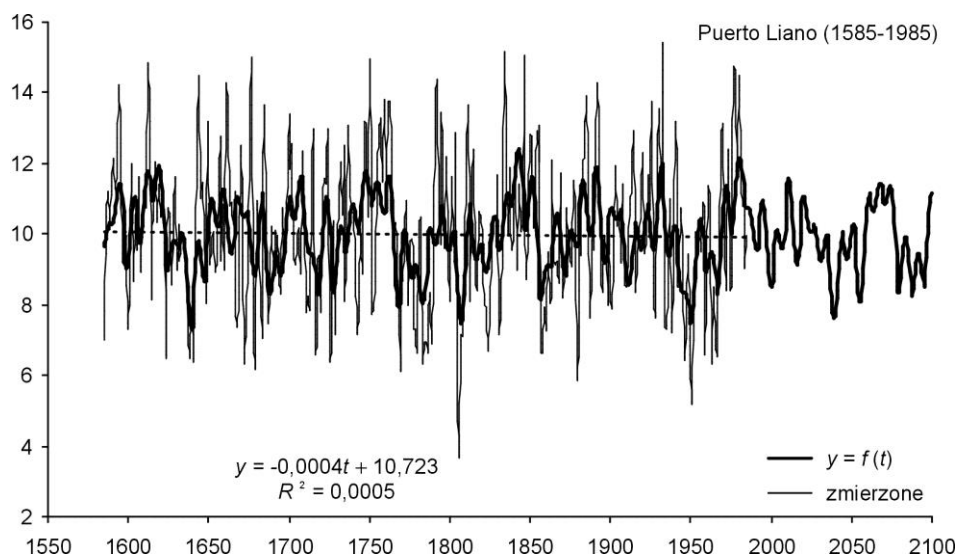
Rys. 11. Zmiany szerokości słoików sosny (*Pinus sylvestris*) w Karhunesakivi (1398-1993, Finlandia); R – współczynnik korelacji wielokrotnej

Fig. 11. Changes of Scots pine (*Pinus sylvestris*) tree ring widths in Karhunesakivi (1398-1993, Finland); R – multiple correlation coefficient

Tabela 37. Cykle szerokości słoików sosny (*Pinus sylvestris*) w Karhunesakivi (1396-1993, Finlandia)

Table 37. The cycles of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Karhunesakivi (1396-1993, Finland)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
23	0,546	-0,8792	9,098	0,137	5,63
28	0,635	-0,7920	9,048	0,155	7,30
32	0,686	1,6109	8,935	0,190	11,15
49	0,705	-1,2153	9,014	0,166	8,45
72	0,601	2,9868	8,898	0,201	12,43
85	1,257	-1,9919	8,403	0,306	30,62
107	0,597	-0,2726	8,977	0,178	9,71
137	0,546	-0,4014	8,977	0,178	9,71
176	0,521	2,8046	9,141	0,118	4,21
265	2,021	-1,1806	7,07	0,487	92,30

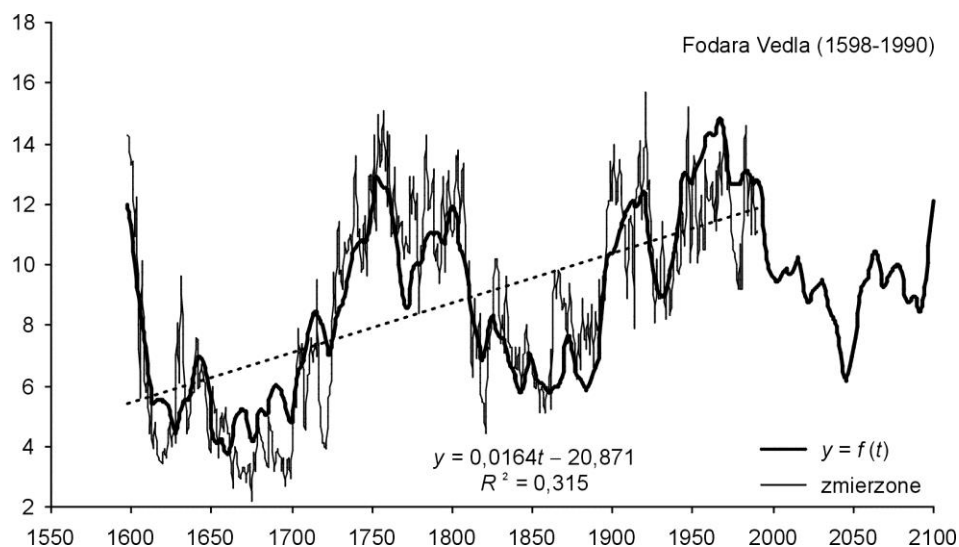


Rys. 12. Zmiany szerokości słoów sosny (*Pinus nigra*) w Puerto Llano (1585-1985, Hiszpania); R – współczynnik korelacji wielokrotnej

Fig. 12. Changes of Black pine (*Pinus nigra*) tree ring widths in Puerto Llano (1585-1985, Spain); R – multiple correlation coefficient

Tabela 38. Cykle szerokości słoów sosny (*Pinus nigra*) w Puerto Llano (1585-1985, Hiszpania)
Table 38. The cycles of tree ring widths of Black pine (*Pinus nigra*) in Puerto Llano (1585-1985, Spain)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
8	0,662	-1,2330	3,969	0,226	10,67
10	0,282	-0,0337	4,138	0,102	2,11
13	0,487	-1,6923	4,062	0,169	5,87
18	0,368	-3,0066	4,118	0,124	3,08
23	0,320	1,1301	4,117	0,124	3,13
28	0,316	2,2091	4,129	0,112	2,54
45	0,764	2,0366	3,889	0,265	14,98
79	0,486	0,3754	4,039	0,185	7,04
136	0,302	3,1318	4,123	0,119	2,84
251	0,099	-1,7575	4,177	0,034	0,23

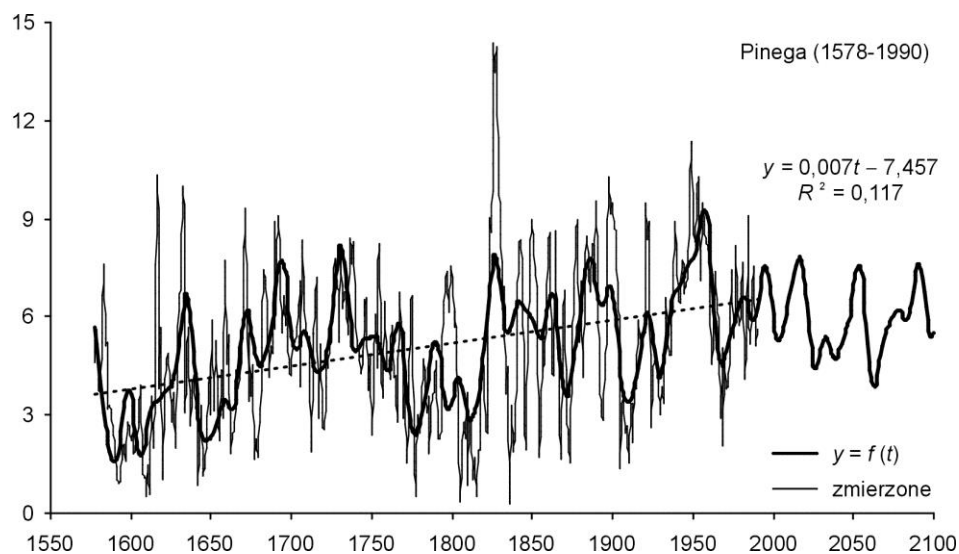


Rys. 13. Zmiany szerokości słoju świerka (*Picea abies*) w Fodara Vedla (1598-1990, Włochy); R – współczynnik korelacji wielokrotnej

Fig. 13. Changes of Norway spruce (*Picea abies*) tree ring widths in Fodara Vedla (1598-1990, Italia); R – multiple correlation coefficient

Tabela 39. Cykle szerokości słoju świerka (*Picea abies*) w Fodara Vedla (1598-1990, Włochy)
Table 39. The cycles of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) in Fodara Vedla (1598-1990, Italia)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
8	0,167	1,5612	11,502	0,034	0,23
12	0,281	1,4108	11,490	0,047	0,43
23	0,676	-1,3095	11,265	0,148	4,34
39	0,771	1,6377	11,163	0,175	6,16
53	0,918	1,5109	11,033	0,205	8,53
63	0,317	-0,4174	11,320	0,130	3,37
77	0,606	-2,4669	11,117	0,186	6,99
99	0,246	0,9379	11,436	0,083	1,36
191	2,971	0,0658	5,580	0,718	207,43



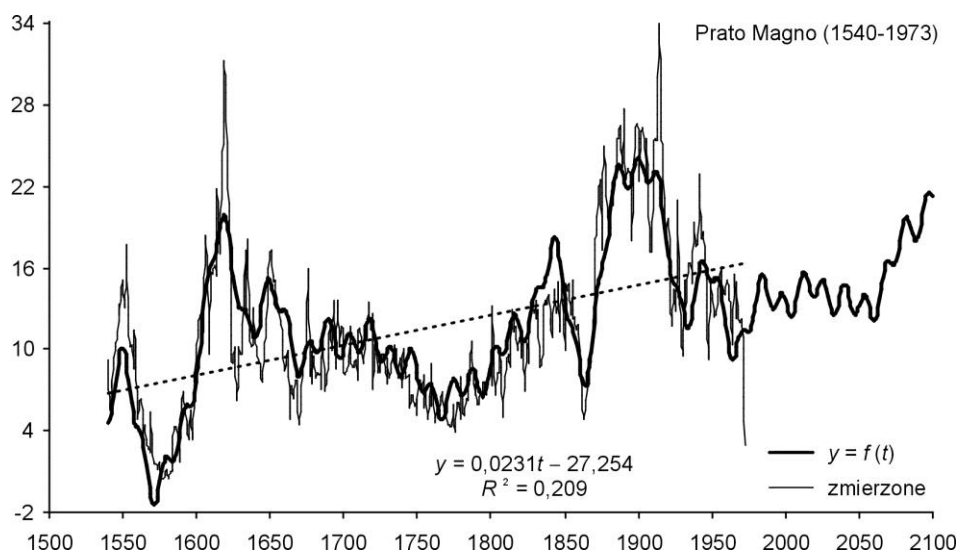
Rys. 14. Zmiany szerokości słoów modrzewia (*Larix decidua*) w Pinega 1 (1578-1990, Rosja); R – współczynnik korelacji wielokrotnej

Fig. 14. Changes of European larch (*Larix decidua*) tree ring widths in Pinega 1 (1578-1990, Russia); R – multiple correlation coefficient

Tabela 40. Cykle szerokości słoów modrzewia (*Larix decidua*) w Pinega 1 (1578-1990, Rosja)

Table 40. The cycles of tree ring widths of European larch (*Larix decidua*) in Pinega 1 (1578-1990, Russia)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
12	0,299	-0,0979	5,950	0,080	1,31
19	0,873	1,1725	5,620	0,248	13,43
32	0,912	1,1729	5,539	0,274	16,62
53	0,774	-2,9463	5,620	0,248	13,43
65	0,631	1,2667	5,639	0,241	12,69
103	0,384	2,0833	5,786	0,184	7,16
142	0,770	1,4612	5,674	0,229	11,35
217	0,580	2,3395	5,494	0,287	18,44



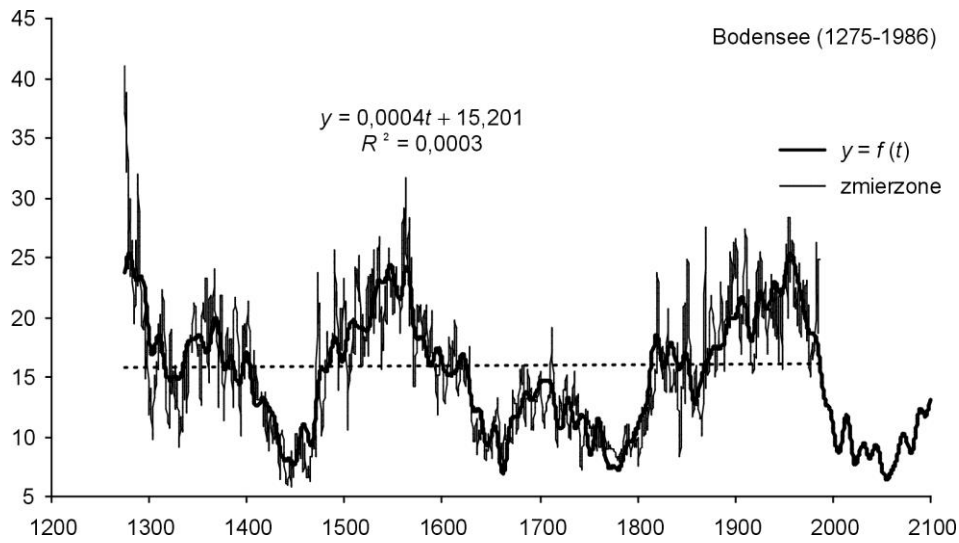
Rys. 15. Zmiany szerokości słoików jodły (*Abies alba*) w Prayo Magno (1540-1973, Włochy);
 R – współczynnik korelacji wielokrotnej

Fig. 15 Changes of pine Silver fir (*Abies alba*) tree ring widths in Prayo Magno (1540-1973, Italia);
 R – multiple correlation coefficient

Tabela 41. Cykle szerokości słoików jodły (*Abies alba*) w Prayo Magno (1540-1973, Włochy)

Table 41. The cycles of tree ring widths of pine Silver fir (*Abies alba*) in Prayo Magno (1540-1973)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
14	1,053	-2,8477	36,036	0,131	3,77
33	1,329	1,6647	35,590	0,171	6,52
37	0,988	3,0825	36,126	0,121	3,23
48	1,145	-1,1204	35,946	0,140	4,32
57	1,554	0,0186	35,088	0,208	9,70
70	1,642	0,8181	34,643	0,235	12,59
94	2,409	-0,3119	31,397	0,379	36,17
134	1,131	0,7681	32,800	0,325	25,41
244	4,255	3,1069	24,521	0,576	106,74



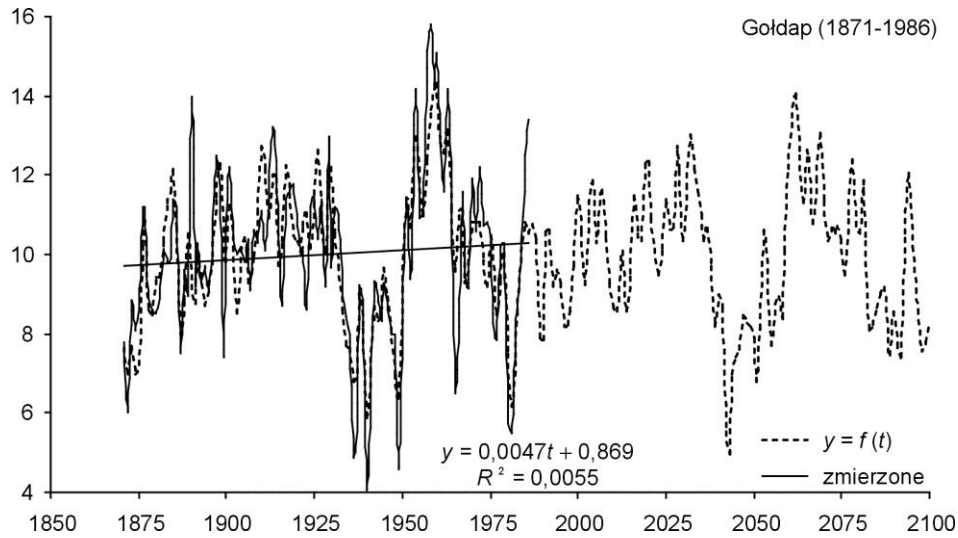
Rys. 16. Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Bodensee (1275-1986, Holandia); R – współczynnik korelacji wielokrotnej

Fig. 16. Changes of Sessile oak (*Quercus petraea*) tree ring widths in Bodensee (1275-1986, Holland); R – multiple correlation coefficient

Tabela 42. Cykle szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Bodensee (1275-1986, Holandia)
Table 42. The cycles of tree ring widths of Sessile oak (*Quercus petraea*) in Bodensee (1275-1986, Holland)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
15	0,711	-0,2804	29,216	0,099	3,48
18	0,665	2,1025	29,250	0,093	3,06
28	0,904	1,9545	29,063	0,122	5,36
68	1,504	2,5454	27,914	0,232	20,18
87	0,621	2,9027	29,160	0,108	4,17
112	1,502	-0,6093	27,692	0,248	23,18
143	1,840	2,8253	28,182	0,212	16,61
197	2,594	2,7352	25,401	0,373	57,24
333	4,464	-2,9926	19,688	0,577	176,72
594	1,691	-0,3380	25,750	0,357	51,66

Prognozy zmian klimatu Polski w XXI wieku według szerokości słoików dębów (rys. 17-18, tab. 43-44)



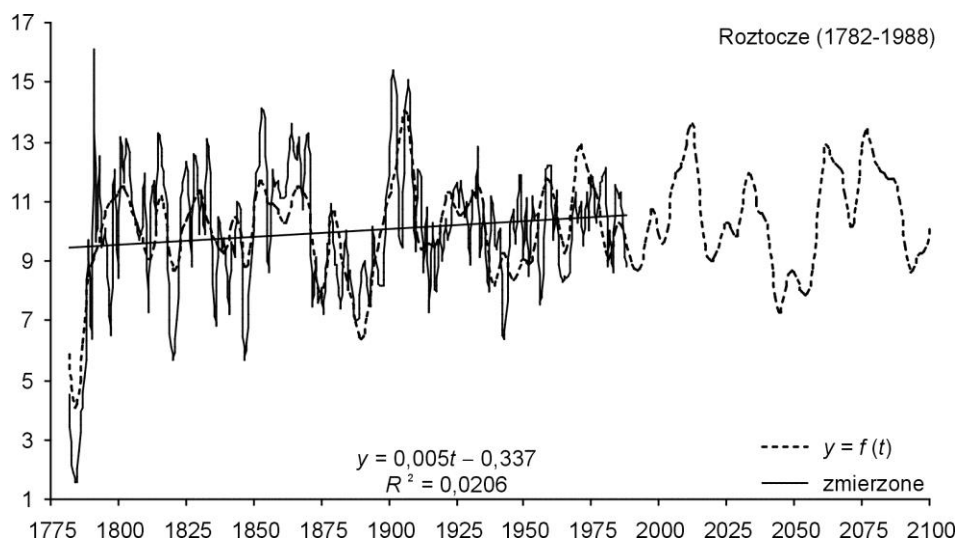
Rys. 17. Zmiany szerokości słoików dębu (*Quercus petraea*) w Góldapi (1871-1986) R^2 – współczynnik determinacji

Fig. 17. Changes of oaks (*Quercus petraea*) tree ring widths in Góldapia (1871-1986) R^2 – determination coefficient

Tabela 43. Cykle szerokości słoików dębu (*Quercus petraea*) w Góldapi (1871-1986)

Table 43. The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Góldapia (1871-1986)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,1	0,595	-0,4144	4,400	0,200	2,35
4,1	0,758	-2,9683	4,318	0,240	3,47
6,8	0,614	1,4756	4,361	0,220	2,88
8,4	0,428	-0,9944	4,448	0,172	1,71
10,8	0,329	2,9108	4,506	0,130	0,97
15,1	0,901	-2,7254	4,076	0,333	7,03
25,4	0,540	1,3400	4,465	0,160	1,49
35,6	1,215	1,3551	3,704	0,438	13,41
53,7	1,326	-2,0472	3,771	0,421	12,17



Rys. 18. Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) na Roztoczu (1872-1988) R^2 – współczynnik determinacji

Fig. 18. Changes of oaks (*Quercus petraea*) tree ring widths in Roztocze (1872-1988) R^2 – determination coefficient

Tabela 44. Cykle szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) na Roztoczu (1872-1988)

Table 44. The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Roztocze (1872-1988)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
9,0	0,405	2,9596	5,088	0,145	2,18
13,0	0,781	-2,7434	4,847	0,259	7,36
18,0	0,513	-2,8336	4,974	0,207	4,56
22,0	0,501	-1,9887	5,002	0,194	3,97
26,0	0,838	0,0959	4,826	0,267	7,83
34,0	0,822	2,0028	4,729	0,300	10,09
53,0	1,071	0,9470	4,510	0,363	15,53
86,0	0,615	-0,2323	5,052	0,167	2,92
114,0	0,277	0,0723	5,082	0,149	2,30

Summary

Volume XX-XXI outlines the trends relating to thermal changes in European climate over the last millennium (with a special emphasis on the period lasting from the 18th till the 21st century), focusing on their natural causes.

To begin with, Chapter II discusses the thermal features of Europe's climate which result from the continent's location at moderate latitudes. The research was conducted on the basis of average monthly values of air temperature in 30-year periods, 1931-1960 and 1961-1990. Air temperature fields were described using empirical models – regres-

sion polynomials of the first, second, third and fourth degrees $T = f(\varphi, \lambda, H)$ for three coordinates: latitude φ , longitude λ and altitude above sea level H . They simulate both the zonal variability of air temperature (which depends on the incoming solar radiation) and the impact of the Atlantic Ocean and the altitude.

Chapter III entitled “Cooler and Warmer Periods of European Climate in the Period from the 19th till the 21st Century” is an original part of the study. It contains the charts of spectrums and graphs showing multi-annual air temperature changes with regression straights based on the average annual values in 40 European cities. The spectrums (and cycles) of air temperature were determined using Boryczka’s “regression sinusoid” method (1998), and the change trends – with simple regression equations. However, air temperature forecasts until 2100, based on the interference of stronger cycles shown in the spectrums, are of particular significance. The forecasts indicate that the climate in Europe will naturally cool in the 21st century. According to these predictions, a period of climate cooling can be expected in the 21st century, which can partly be alleviated by anthropogenic factors such as the greenhouse effect and urban heat islands. The forecasts are based on the assumption that the extreme values of the detected cycles (present in the air temperature spectrums) with relatively large amplitudes (statistically relevant) will continue to repeat according to a similar pattern as in the period lasting from the 18th till the 20th century.

The tables below show 10 coolest years and 10 warmest years in every century (18th-20th centuries). Other tables depict short, average and long air temperature cycles in 40 European cities representing nearly all physiographic units.

Climate coolings and warmings depend on the fluctuations of the solar energy reaching the Earth’s surface, which in turn is shaped by the Sun’s activity (the solar constant) and the content of volcanic ash in the atmosphere due to its ability to absorb and disperse solar radiation.

Air temperatures in Europe during the 18th-20th centuries were characterised by cycles lasting approximately 8, 11, 100 and 180 years. In winter, approximately 8-year air temperature cycles with large fluctuations prevailed: in Warsaw – 8.3-year (1.6°C), in Kraków (Cracow) – 8.3-year (1.9), Stockholm – 7.8-year (1.3), and Moscow – 7.9-year (0.8) (tab. 45). Approximately 11-year cycles are also displayed in air temperature spectrums, for example in winter: Warsaw – 11.6 (0.5°C), Krakow – 11.3 (0.8), Moscow – 11.4 (1.6).

Climate cycles determined on the basis of dendrological data from Europe (and Poland) over the last millennium until 2100 represent a novel contribution made by the study

Similar periods can be seen in dendrological sequences of tree-ring widths of oaks growing in Poland.

Table 45. 8-year and 11-year cycles (Θ years) of ring widths of oaks growing in Poland (18th-20th c.)
 R – correlation coefficient

Location	Θ	R	Θ	R	City	Θ	R	Θ	R
Gdańsk	8.0	0.127	11.6	0.219	Roztocze	7.6	0.147	11.2	0.194
Gołdap	7.8	0.154	10.8	0.130	Suwałki	7.5	0.278	11.8	0.172
Hajnówka	7.9	0.144	11.2	0.258	Toruń	7.7	0.161	11.4	0.181
Koszalin	8.6	0.193	11.1	0.127	Warsaw	7.7	0.175	11.1	0.124
Cracow	7.7	0.235	11.5	0.137	Wrocław	8.3	0.206	11.6	0.162

Long cycles of solar activity (100 and 180 years) play a major role in shaping the climate and determine approximately 100-year and 180-year cycles of air temperature in Europe (tab. 46). The periods which span nearly two centuries approximately correspond in length to the planetary cycle lasting 178.9 years, after the completion of which the values of the Solar System parameters are repeated.

Table 46. Approximately 100-year and 180-year cycles of air temperature in Europe

Miejscowość	Winter		Summer		Winter		Summer	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warsaw	113.4	1.22	75.0	0.88	179.0	0.44	208.2	0.66
Basel	85.5	0.14	87.6	0.64	-	-	227.4	0.26
Copenhagen	80.5	0.22	89.6	0.27	-	-	211.6	1.19
England	99.3	0.44	102.5	0.20	166.9	0.48	204.6	0.34
Stockholm	86.3	0.55	89.4	0.51	184.6	0.49	-	-
Uppsala	102.7	1.48	94.0	0.79	182.3	2.50	192.8	0.39
Innsbruck	69.9	0.80	84.6	0.50	169.8	1.45	-	-

The chronological sequences of tree-ring widths of pine, spruce and larch in Europe have similar, approximately 100-year and 180-year cycles (tab. 47)

Table 48. Approximately 100-year and 180-year cycles (Θ years) of ring widths of trees growing in Europe (pine, spruce and larch)

Tree	Period	Θ	R	Θ	R	Θ	R
Pine							
Forfiorddalen (Norway)	877-1994	112	0.178	189	0.121	-	-
Kola (Russia)	1577-1997	109	0.394	186	0.277	-	-
Spruce							
Stonngandes (Norway)	1403-1997	114	0.191	201	0.243	-	-
Falkenstein (Germany)	1540-1995	110	0.298	189	0.414	429	0.399
Fodara Vedla (Italy)	1578-1990	99	0.083	191	0.718	-	-
Larch							
Pinega 1 (Russia)	1598-1990	103	0.184	217	0.286	-	-

These forecasts were produced on the basis of interferences detected using Boryczka's "regression sinusoid" method (1998):

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

where: Θ – period, b – amplitude, c – phase shift. The graphs of predictive functions $y = f(t)$ for annual ring increases of some trees have their main minimums in the mid-21st century. In the case of the spruce in Falkenstein (1540-1995), the forecasts anticipate strong cycles, of 110, 189 and 429 years (with the correlation coefficients: $R = 0.30, 0.42$ and 0.40).

European climate is predominantly influenced by two major fields of atmospheric pressure: the Icelandic Low and the Azores High. These two pressure centres associated with the temperature difference between the waters of the Northern Atlantic and the mainland show a negative mutual correlation during the year. Analogous atmospheric circulation and Wolf number cycles as well as air temperatures are proofs of the impact of solar activity on atmospheric circulation (distribution of heat on the Earth).

In 1825-2000, the NAO index had cycles lasting 8, between 10 and 20, and 106.3 years, and the air temperature in Europe – of 8, 11, 100 and 180 years.

The last Chapter VI is a summary of the PhD dissertation submitted by Robert Cebulski, entitled *The Role of Atmospheric Circulation in Shaping Precipitation and Water Levels in Mountain Rivers*. The spectrums and cycles determined using the "regression sinusoid" method for the variables in question, that is water levels in a mountain river, precipitation, solar activity and atmospheric circulation indices published in the dissertation have a major cognitive value.

4.4 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

Współczesne zmiany klimatu miast Europy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego

Oryginalne wyniki badań studenckich zawiera rozdział VII pt. „*Współczesne zmiany klimatu miast Europy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego*”. Z kilkunastu prac magisterskich, dotyczących wiekowych zmian klimatu Europy Zachodniej, Środkowej i Wschodniej przedstawiono najważniejsze wyniki

badań w odniesieniu do literatury klimatologicznej. Każdy problem badawczy scharakteryzowano, wybierając 1 lub 3 prace magisterskie.

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

4.4.1. Wiekowe zmiany klimatu miast nizinnych Europy (Londyn, Warszawa, Moskwa)

Zmiany klimatu miast nizinnych Europy można scharakteryzować na podstawie trzech prac magisterskich.

1. W pracy **J. Skrzypczuka (1993)** p.t. *Wiekowe zmiany temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach 1659-1973* określono cykliczność w wiekowym przebiegu temperatury powietrza w Środkowej Anglii w powiązaniu ze zmianami aktywności Słońca.

Tak długi ciąg wyników pomiarów temperatury powietrza w latach 1659-1973 (ponad trzystuletni) pozwolił wyznaczyć, metodą „sinusoid regresji”, nie tylko okresy o długości do 100 lat, ale także dłuższe. Okresy te były pomocne w późniejszej rekonstrukcji i prognozie zmian temperatury powietrza w Środkowej Anglii.

Okresy temperatury powietrza pogrupowano w zależności od czasu trwania na okresy o długości: 3-8, 9-14, 15-20, 21-28, 29-50, 51-89 i 90-110 lat i ponad 110 letnie. W każdym z badanych sezonów, miesięcy i roku stwierdzono po kilkanaście cykli temperatury powietrza, z których kilka jest istotnych statystycznie.

Na uwagę zasługują cykle 9-14 letnie, zbliżone do cyklu 11-letniego aktywności Słońca. Są, to okresy zimowe (9- i 11-letni) i wiosenne (9 i 13-letni) oraz w lecie i jesieni, o długości 10 lat. Największe zmiany temperatury powietrza (przekraczające $0,3^{\circ}\text{C}$) występują w cyklu 10-letnim (lato).

Maksymalne wahania temperatury powietrza ($0,7^{\circ}\text{C}$) cechują cykl jesienny 105-letni o długości trwania 105 lat, istotny na poziomie ufności 99%.

Dużą zmiennością temperatury powietrza (do $0,6^{\circ}\text{C}$) charakteryzują się także cykle: 99-letni zimowy oraz 103-letni wiosenny – istotne na poziomach ufności 95 i 99%. W Środkowej Anglii stwierdzono także 169-letni cykl zimowy o amplitudzie $0,6^{\circ}\text{C}$ i cykl wiosenny trwający 177 lat, o amplitudzie (poniżej $0,5^{\circ}\text{C}$).

Prognoza zmian temperatury do 2100 roku pozwoliła wyznaczyć ekstrema lokalne w latach minimum 1994 ($8,8^{\circ}\text{C}$) i 2097 ($8,8^{\circ}\text{C}$); maksimum zaś wystąpi w 2035 i 2096 roku i będzie równe $9,4^{\circ}\text{C}$.

2. W pracy **K. Kalecińskiej (2005)** p.t. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Warszawy w XVIII-XX wieku* określono ekstrema (minima i maksima), wyróżniono przebiegi czasu o tendencji spadkowej lub wzrostowej względem średniej z całego okresu badawczego oraz tendencji w przebiegu temperatury powietrza w Warszawie od XVIII do XX wieku. Tendencja średniej rocznej temperatury powietrza ma charakter wzrostowy i wynosi $0,58^{\circ}\text{C}$ na 100 lat. Tendencja wzrostowa temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 występuje w przebiegu średnich wartości temperatury w obu półroczach, a także podczas zimy, wiosny i jesieni oraz w poszczególnych miesiącach tych sezonów. Wyróżniającą się porą roku jest natomiast lato. Charakteryzuje się ono niewielką tendencją malejącą temperatury powietrza ($0,04^{\circ}\text{C}$ na 100 lat). Spośród

wszystkich miesięcy na szczególną uwagę zasługuje miesiąc grudzień z największą tendencją rosnącą -średnio o 1,41°C na 100 lat oraz sierpień o największej tendencji malejącej - średnio o 0,16°C na 100 lat.

Rozkłady dystrybuanty empirycznej, zbliżone do rozkładu normalnego, umożliwiły określenie prawdopodobieństwa występowania: chłodnych i ciepłych zim, wiosen, lat i jesieni oraz przekroczenia wartości progowych. Na przykład w zimie średnia wartość temperatury powietrza w wieloleciu 1779-2000 wynosi -2,5°C. Jej wahania wykazują jednak duży zakres od -9,2°C do 2,7 °C - największe spośród wszystkich sezonów. W zimie, prawdopodobieństwo wystąpienia średniej temperatury ≤ -10 , ≤ -5 , ≤ 0 oC wynosi 0,08, 14,92, 85,99 %.

3 W pracy **A. Misiewicz (2005)** p.t. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Moskwy w XVIII-XX wieku* określono cykliczne wahania i tendencje zmian temperatury powietrza w Moskwie w XVIII-XX wieku. Przedstawiono też prognozy temperatury powietrza w Moskwie w XXI wieku i prawdopodobieństw występowania chłodnych i ciepłych: zim, wiosen, lat i jesieni.

Istotne znaczenie poznawcze mają widma i okresy obecne w seriach pomiarowych temperatury powietrza w Moskwie w latach 1779-2002. Są to okresy około 8-letnie, kilkunastoletnie, około i ponad 100-letnie. W zimie, największymi amplitudami cechują się cykle o okresach: 2,4 (0,993°C), 59,9 (0,829°C), 46 (0,761°C) oraz 133 lat - najistotniejszy (0,741°C). Największym zakresem wahań 1,99°C cechuje się cykl najkrótszy 2,4-letni. Wiosną najbardziej istotnymi są cykle najdłuższe: 176,1, 80,2 oraz 56,6-letni. Latem, do najistotniejszych należą cykle: 159 i 51,3-letni. Duże wartości amplitud b mają cykle: 159-letni (0,638°C) i 51,3-letni (0,493°C). Cykle średniej rocznej temperatury o największych amplitudami (b) to: 152,3-letni (0,628°C), 2,4-letni (0,285°C) oraz 12,6-letni (0,262°C).

Tendencją wzrostową temperatury powietrza charakteryzują się: zima, wiosna i jesień, a lato spadkową. Zaznaczająca się przewaga ciepłych zim i wiosen pod koniec XX i na początku XXI wieku świadczy o ociepleniu klimatu. Prawdopodobieństwo wystąpienia lat cieplejszych jest większe niż chłodniejszych.

W celu określenia prognoz zmian klimatu w Moskwie na lata 2002-2100 wyznaczono funkcje uwzględniające nakładanie się cykli Θ_j temperatury powietrza.

Prognozy na lata 2003-2100 na podstawie okresowości wskazują na spadek temperatury w najbliższych latach. Prognozy przewidują w zimie ochłodzenie o kilka stopni Celsjusza w ciągu kilkudziesięciu lat, w lecie przewiduje się spadek temperatury powietrza o około 1-1,5°C do 2100 roku.

4.4.2. Wiekowe zmiany klimatu miast górskich Europy (Genewa, Zurych, Saentis, Sonnblick)

W pracy **M. Kierzkowskiej (1994)** p.t. *Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Alpach (XIX-XX wiek)* określono prawidłowości w przebiegu temperatury powietrza w terenach górskich w powiązaniu ze zmianami aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej. Ważnym rozwiązaniem problemem jest wyznaczenie cykli temperatury powietrza dla półroczy i roku metodą J. Boryczki (1993) dla Genewy – $H = 416$ m (1768-1980), Zurychu – $H = 569$ m (1864-1980), Saentis – $H = 2500$ m (1883-1980) i Sonnblick – $H = 3100$ m (1821-1980).

Na uwagę zasługują cykle około wiekowe i dwuwiekowe temperatury powietrza w Genewie – półrocze ciepłe: 93 lat ($b=0,182$ °C, $R=0,131$), 202 lat ($b=0,428$, $R=0,314$);

Rok; 165,3 ($b=0,341$, $R=0,340$). Najwyżej położona miejscowość Sonnblick wyróżnia się cyklicznością około 8- i 11-letnią: półrocze chłodne – 8 lat ($b=0,277$, $R=0,227$), 10 lat ($b=0,299$, $R=0,245$), półrocze ciepłe – 8 lat ($b=0,222$, $R=0,285$), 11 lat ($b=0,256$, $R=0,328$), rok – 7,9 lat ($b=0,240$, $R=0,309$), 9,7 lat ($b=0,157$ °C, $R=0,2850$)

W półroczu chłodnym w Zurychu (1864-1980) występują cykle: 9, 11, 34, 67 i 127 lat, a w półroczu ciepłym: 9, 11, 31, 41 i 73 lat. Wszystkie cykle są istotne statystycznie. Większymi wahaniami temperatury charakteryzuje się półrocze chłodne (są one w granicach od 0,3°C do ponad 0,9°C) niż półrocze ciepłe (wahania przyjmują wartości od 0,2°C do 0,8°C). W przebiegu rocznym temperatury powietrza w Zurychu wyróżniono m.in. okresy: 8,4, 10,2, 11,4, 29,5 i 84,3lat

Prognozę zmian temperatury powietrza w Alpach wykonano na podstawie stacji Genewa, Zurych i Saentis. Zmiany te będą kształtowane przez następujące cykle rzeczywiste: w Genewie – 165,3-letni, 75,8-letni, 40,6-letni, w Saentis – 2,3-letni i 87-letni, w Zurychu – 2,7-letni, 7,7-letni oraz 84,3-letni. Można przypuszczać, że w Genewie znaczne ochłodzenie wystąpi w latach 1999-2020 oraz w latach 2040-2050. Antropogeniczne przyrosty temperatury powietrza w roku 2050 wyniosą: Genewa 0,1°C/100 lat, Saentis 0,38°C/100 lat i Zurych 0,056°C/100 lat. Składnik antropogeniczny na terenie Alp ma mały udział w kształtowaniu klimatu.

4.4.3. Solarne i cyrkulacyjne uwarunkowania klimatu miast Europy (liczby Wolfa, NAO, typy Wangenheima i Osuchowskiej-Klein)

W pracy **M. Łopackiego (2008)** p.t. *Wpływ aktywności Słońca na okresowe zmiany cyrkulacji atmosferycznej w Europie* określono wpływ aktywności Słońca na częstość występowania różnych typów cyrkulacji atmosferycznej. W tym celu wyznaczono widma liczb Wolfa, dni z typami cyrkulacji atmosferycznej Wangenheima, indeksu NAO Jonesa oraz typów Osuchowskiej-Klein we wszystkich porach roku i roku. Zbadano synchroniczność cyklicznych zmian oraz związki korelacyjne między cyrkulacją atmosferyczną a aktywnością słoneczną. Ponadto sporządzono prognozy wszystkich zmiennych do roku 2100. Porównano cykle około 8-letnie, 11-letnie i 100-letnie, charakteryzujące zmienność aktywności słonecznej. Tendencję rosnącą liczb Wolfa (11,42/100lat) w latach 1749-2002 określa równanie prostej regresji $W= 0,1142t-161,3$, o współczynniku korelacji $r =0,201$.

Aktywność słoneczna w latach 1749-2002 charakteryzuje się cyklicznością od 8,1 do 105 lat ($b=32,8$, $R=0,261$). Najsilniejszy jest cykl 11-letni ($b=63,5$, $R=0,493$), obecny we wszystkich sezonach i roku. Wykryto również liczne cykle 8,1-9,5-letnie, w większości istotne na poziomie 5%. Ponadto obecne są cykle wiekowe (103,9-106-letnie), istotne na poziomie 5%.

Typy cyrkulacji Wangenheima cechują się okresowością od 2,4 do 76,5 lat. Wyróżnia się cykliczność 14,2-17,6-letnia charakterystyczna dla wszystkich typów, około 31-letnia dla typu zachodniego i wschodniego, 6,3-8,9-letnia dla typu zachodniego i południkowego oraz 45,9-58,6-letnia dla typu wschodniego i południkowego.

Indeks NAO Jonesa wykazuje cykliczność 2,3-156,4-letnią. Dominujące okresy mają długość 7,7-7,8 lat i występują w styczniu, lutym, sierpniu, październiku, jesienią,

zimą ($\Theta=7,8$ lat, $R=0,384$) i w wartościach rocznych. Zwraca uwagę okresowość około 150-letnia obecna w ciągach *NAO* w styczniu, sierpniu, październiku i zimę.

Typy cyrkulacji Osuchowskiej-Klein charakteryzują się obecnością wielu cykli o różnej długości. Okresy 3,9-6,4-letnie obecne są w przypadku typów cyklonalnych, *E*, *D₂C*, antycyklonalnych i *BE*. Cykle 7,6-8,7-letnie cechują typy *F* (południowo-wschodni cyklonalny) i *BE*, a 14-16,8-letnie *E₀* i *B* (południowy cyklonalny). Okresowość 17,9-22,6-letnią wykazują typy *CB*, *D₂C*, *E₂C* (północno-zachodni antycyklonalny), *G* (centralny antycyklonalny) i antycyklonalne. Długookresowa cykliczność (39,8-48,9-letnia) charakteryzuje typy *E₀*, *B*, *D*, *C₂D* i *X* (nieokreślony).

Okresowość ok. 11-letnią wykazuje część typów cyrkulacji Osuchowskiej-Klein w niektórych sezonach i niektórych ciągach wartości rocznych. Najwięcej cykli cechuje typy *C₂D* (zachodni antycyklonalny), *E* (północno-wschodni antycyklonalny), *E₂C* (północno-zachodni antycyklonalny) i *X* (nieokreślony), a najbardziej istotne statystycznie – typy *C₂D*, *E₂C*, *E* i *E₁* (wschodni i południowo-wschodni antycyklonalny). Najwięcej okresów występuje latem, a najmniej wiosną. Największą zbieżność z długością cyklu 11 lat wykazują cykle typów *E₀* (północno-wschodniego i wschodniego cyklonalnego), *E*, *E₁* i *G* (centralnego antycyklonalnego).

Cykliczność około 100-letnia występuje w ciągach wartości indeksu *NAO* w lutym, marcu, czerwcu, wrześniu, jesienią i zimę

Przebieg roczny współczynnika korelacji indeksu *NAO* z liczbami Wolfa wskazuje nieistotną zależność. Częstość występowania zachodniego typu cyrkulacji Wangenheima jest ujemnie skorelowana z aktywnością Słońca. W przypadku typów cyrkulacji Osuchowskiej-Klein dodatnie współczynniki korelacji cechują typy *E* (północno-wschodni antycyklonalny), *G* (centralny antycyklonalny), *D₂C* (południowy i południowo-zachodni antycyklonalny) zimę, wiosną i latem oraz *B* (południowy cyklonalny) latem, a ujemne – typy *X* (nieokreślony) i *D* (południowo-zachodni cyklonalny). W okresie zwiększonej aktywności słonecznej we wszystkich porach roku z wyjątkiem lata wzrasta udział cyrkulacji antycyklonalnych kosztem cyklonalnych.

4.4.4. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na zróżnicowanie cech termicznych klimatu miast Europy (Paryż, Marsylia, Wrocław, Kraków, Warszawa)

Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na klimat miast Europy charakteryzują trzy prace magisterskie.

1. W pracy **K. Baczyńskiego (2007)** p.t. *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Paryżu w XIX-XX wieku*

zbadano okresowe zmiany temperatury powietrza w ostatnich stuleciach, zależnej od dopływu energii słonecznej do Ziemi – od aktywności słonecznej. Oryginalną część pracy stanowią porównania przebiegów temperatury powietrza, wskaźnika *NAO* i liczb Wolfa, w poszczególnych miesiącach, porach roku i roku. Stanowią ją też widma i zależności korelacyjne poszczególnych parametrów.

Do zbadania okresowości zmian temperatury powietrza w Paryżu w XIX i XX wieku posłużono się danymi z lat 1757 – 1995. Widma i okresy temperatury powietrza w Paryżu, wskaźnika *NAO* i aktywności Słońca wyznaczono metodą sinusoid regresji J.

Boryczki (1998) – o zmiennym okresie Θ co 0,1 roku. Cykle wyznaczono z wyodrębnieniem kolejnych miesięcy – od stycznia do grudnia.

Zimowe wartości wskaźnika *NAO* ulegają cykliczności od 2,4 do 105,1 lat. Najbardziej istotny statystycznie jest cykl 7,8 lat o dużym współczynniku korelacji $R = 0,272$. Istotne statystycznie są także cykle zimowe wskaźnika *NAO*: 8,3 lat ($R = 0,237$), 5,0 lat ($R = 0,220$) oraz 8,8 lat ($R = 0,195$).

Stwierdzono cykliczność około stuletnią temperatury powietrza, Oscylacji Północnoatlantyckiej i aktywności Słońca (istotna statystycznie – podkreślono). Temperatura powietrza w Paryżu cechuje się cyklicznością około 11-letnią: wiosna – 87,7 lat ($R=0,212$), lato – 82,6 lat ($R = 0,330$), jesień – 81,9 lat ($R=0,121$), Rok – 81,9 lat ($R=0,245$). Zbliżonej cykliczności ulega wskaźnik *NAO*: wiosna – 106,4 lat ($R=0,088$), lato – 83,6 lat ($R=0,170$), jesień – 74,6 lat ($R=0,165$), zima – 105,1 lat ($R=0,075$), a liczby Wolfa – 101,5 ($R=0,245$).

Cykle około dwustuletnie, oraz dłuższe niż stuletnie występują w wartościach temperatury powietrza w Paryżu, wskaźnika *NAO* oraz aktywności Słońca. Spośród istotnych statystycznie cykli około dwustuletnich temperatury powietrza w Paryżu występują: w maju – cykl 144,7 lat ($R = 0,218$), październiku – cykl 182,0 lat ($R = 0,335$), listopadzie – cykl 172,3 lat ($R = 0,178$).

W celu określenia wpływu Oscylacji Północnoatlantyckiej na zmiany temperatury powietrza w Paryżu wyznaczono współczynnik korelacji – w poszczególnych miesiącach i roku. Największe wartości współczynnika r występują od listopada do marca – z maksimum ($r = 0,64$) w lutym. Świadczy to o największym wpływie *NAO* na temperaturę powietrza w Paryżu w chłodnej porze roku, powodujący znaczne ocieplenie. Współczynnik korelacji średnich rocznych wartości temperatury powietrza i wskaźnika jest niewielki, ale istotny statystycznie ($r = 0,17$).

2. W pracy E. Leszczyńskiej (2006) p.t. *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX-XX wieku (na przykładzie Wrocławia i Marsylii)* określono krótko i długookresowe zmiany oraz tendencje temperatury powietrza we Wrocławiu w latach 1792- 1997 i w Marsylii w latach 1813- 1997. Zbadano synchroniczność cykli: temperatury powietrza we Wrocławiu, w Marsylii, wskaźnika *NAO* i aktywności Słońca oraz ich korelację.

Cykle badanych zmiennych wyznaczono, posługując się metodą sinusoid regresji J. Boryczki (1998) – zmieniając okres sinusoidy regresji Θ z odstępem 0,1 roku.

Cykl 7,8-letni zmian wskaźnika *NAO* cechuje się największą amplitudą spośród wszystkich wykrytych cykli (0,18-0,44). W zimie i roku wystąpiły cykle 7,8 letnie istotne statystycznie na poziomie istotności 5%, i były one również najbardziej zdeterminowane ($R = 0,294$ – zima $R = 0,301$ – rok). Cykle 83,7 i 108,8 lat są najdłuższe z wykrytych w ciągach wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej.

Cykl 8,3 - letni jest obecny przede wszystkim w zimie w ciągach czasowych temperatury powietrza we Wrocławiu ($R=0,248$). Największą amplitudą wahań temperatury zarówno w Marsylii jak i we Wrocławiu charakteryzują się cykle zimowe odpowiednio 10,5 lat ($\Delta T = 0,27$ °C) i 10,3 lat o amplitudzie $\Delta T = 0,40$ °C, jednak nie są one zbyt silne, charakteryzują się niewielkimi współczynnikami korelacji

Cykle około 100-200 letnie są obecne w ciągach zmierzonych wartości temperatury powietrza we Wrocławiu i Marsylii. We Wrocławiu charakterystyczny dla pory letniej

cykl 139,6 lat jest istotny statystycznie na poziomie 5%, o dużym współczynniku korelacji $R = 0,226$. W tym cyklu maksimum temperatury powietrza $17,2^{\circ}\text{C}$ wystąpiło w 1888 roku, natomiast w latach 1817 i 1958 wystąpiły minima temperatury powietrza. W zimie istotne są cykle: 123,2 lat – we Wrocławiu o współczynniku korelacji $R = 0,250$ i cykl 125,9 lat – w Marsylii z $R = 0,273$. Amplituda zmian $2b$ temperatury powietrza w cyklu zimowym około 100-letnim wynosi $0,78^{\circ}\text{C}$. W Marsylii w cyklu zimowym 125,5 lat. maksimum $8,8^{\circ}\text{C}$ wystąpiło w roku 1884, a kolejne będzie w 2010.

Większa zależność korelacyjna temperatury powietrza od Oscylacji Północnoatlantycznej występuje we Wrocławiu niż w Marsylii. Najsilniejsza korelacja zachodzi w chłodnej porze roku od listopada do marca przy czym maksimum przypada na styczeń ze współczynnikiem korelacji $r = 0,627$. W Marsylii wpływ *NAO* jest znacznie słabszy.

Dodatnia korelacja temperaturą powietrza we Wrocławiu ze wskaźnikiem *NAO* wynika z napływu cieplejszych mas powietrza z zachodu nad wychłodzone podłoże. Marsylia natomiast cechuje się klimatem śródziemnomorskim

3. W pracy H. Gołdowskiej (2007) p.t. *Wpływ Oscylacji Północnoatlantycznej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Polsce w XIX-XX wieku* określono wpływ *NAO* (1825-1999) na pole temperatury powietrza w Polsce na przykładzie trzech miast: Kraków (1826-1997), Warszawa (1779-2006) i Wrocław (1792-2006).

Zależność temperatury powietrza od wskaźnika Jonesa *NAO* określono dwoma sposobami tj. przez wyznaczenie współczynnika korelacji (r) i badanie synchroniczności cykli wskaźnika Jonesa *NAO* i temperatury powietrza. Dlatego też wyznaczono widma (i okresy) wskaźnika *NAO* i temperatury powietrza, wyodrębniając pory roku..

W pracy zastosowano metodą sinusoid regresji J. Boryczki (1997), umożliwiającą wykrycie wszystkich cykli wskaźnika *NAO* i temperatury powietrza

W ciągach czasowych wskaźnika *NAO* w latach 1825-1999 wykryto cykle 2,4 – 136,5 lat. Zimą, w styczniu i w roku wystąpiły istotne statystycznie cykle 7,8 letnie. Są one najbardziej zdeterminowane zimą ($R = 0,279$) i w roku ($R = 0,282$).. Wskaźnik *NAO* charakteryzuje się także cyklicznością kilkunastoletnią (cykl 13,1 lat w roku, 13,5 lat wiosną 12,2 lat latem oraz 14,2 lat w styczniu) oraz około 100- letnią (w roku występuje cykl 118- letni). Najdłuższy cykl 136,6 lat który wykryto w ciągach czasowych Oscylacji Północnoatlantycznej zimą (współczynnik korelacji $R = 0,182$) jest istotny statystycznie).

W ciągach czasowych temperatury powietrza zarówno w Krakowie, w Warszawie jak i we Wrocławiu wykryto także cykl około 8 - letni. Cykl 7,8 lat wykryto w ciągach średnich rocznych wartości temperatury powietrza we wszystkich miastach. Cykle te charakteryzują się dużymi współczynnikami korelacji (R). Niewielka jest zbieżność długich cykli (istotnych statystycznie) temperatury powietrza i wskaźnika *NAO*.

Podsumowując, na podstawie przeprowadzonych badań, należy stwierdzić, że Oscylacja Północnoatlantyczna (*NAO*) warunkuje okresowe zmiany temperatury powietrza w Polsce. Wpływ *NAO* na temperaturę powietrza jest większy we Wrocławiu niż w Krakowie czy w Warszawie

Zależność zmian temperatury powietrza zbadano wyznaczając współczynniki korelacji w Krakowie, Warszawie i we Wrocławiu od wskaźnika *NAO* w latach 1825-1997. Temperatura powietrza zarówno w Krakowie jak i w Warszawie i Wrocławiu jest najsilniej skorelowana ze wskaźnikiem *NAO* w chłodnej porze roku (szczególnie w

styczniu). Współczynnik korelacji między temperaturą powietrza i wskaźnikiem *NAO* jest największy w styczniu: Wrocław – $r = 0,62$, Warszawa – $r = 0,56$, Kraków – $r = 0,52$. Duże współczynniki korelacji między temperaturą powietrza a wskaźnikiem *NAO* występują także w Warszawie w lutym – $r = 0,55$, marcu – $r = 0,50$ i w grudniu – $r = 0,40$. W Krakowie istotnie statystycznie na poziomie 5% zależności wykryto oprócz stycznia także w marcu – $r = 0,44$, grudniu – $r = 0,38$ i lutym – $r = 0,36$.

Największa zależność temperatury powietrza od Oscylacji Północnoatlantyckiej występuje we Wrocławiu. Silna korelacja zachodzi, oprócz stycznia, w lutym – $r = 0,58$, grudniu – $r = 0,49$.

4.4.5. Wpływ *NAO* na zróżnicowanie cech opadowych klimatu miast środkowej Europy (Wrocław, Warszawa)

Wpływ *NAO* na opady atmosferyczne w środkowej Europie charakteryzują dwie prace magisterskie.

1. W pracy **A. Tomaszewskiego (2006)** p.t. *Rola Oscylacji Północnoatlantyckiej w kształtowaniu opadów atmosferycznych we Wrocławiu w XX wieku* określono zależność sum opadów atmosferycznych we Wrocławiu od wskaźnika *NAO* (Jonesa) w latach 1900–2000. Sumy opadów atmosferycznych pochodzą ze stacji meteorologicznej we Wrocławiu. Uzupełniono je 25-letnią serią liczby dni z opadem (1955–1980).

We Wrocławiu w latach 1900–2000, najmniejsza średnia miesięczna suma opadów atmosferycznych (23 mm) wystąpiła w lutym, a największa (90 mm) – w lipcu. Średnia roczna suma opadów wyniosła 560 mm.

Tendencja zmian średniej rocznej sumy opadów była ujemna – -47 mm/100 lat. Zmniejszeniu uległy sumy opadów w zimie – -29 mm/100 lat. Największy spadek sum opadów w XX stuleciu wystąpił w styczniu (-17 mm/100 lat). Sumy letnie opadów w XX wieku cechują się dodatnią tendencją zmian (18 mm/100 lat). Największa tendencja dodatnia wystąpiła w czerwcu (18 mm/100 lat).

W celu określenia oddziaływania Oscylacji Północnoatlantyckiej na opady atmosferyczne we Wrocławiu wyznaczono współczynniki korelacji między miesięcznymi, sezonowymi i rocznymi sumami opadów i indeksem *NAO* Jones'a.

Istotnie statystycznie korelacje miesięcznych sum opadów z indeksem *NAO* Jones'a występują w czerwcu, sierpniu i we wrześniu. Współczynniki determinacji r^2 objaśniają odpowiednio 5%, 5% i 6% zmienności sum opadów. Współczynniki korelacji w tych miesiącach mają znak ujemny – tak więc nasileniu przenosu zachodniego powietrza towarzyszy zmniejszenie sum opadów. W lecie intensywne opady w Polsce wynikają głównie z silnej konwekcji. W miesiącach zimowych znak współczynnika korelacji zmienia się na dodatni. Tylko w zimie (XII–II) wzrost *NAO* powoduje niewielki wzrost ilości opadów. Należy dodać, że w przebiegu rocznym okres zimowy charakteryzuje się największymi wartościami indeksu *NAO*, a więc najsilniejszym przenosem strefowym. Najsilniejszy jest wpływ *NAO* na sumy roczne opadów we Wrocławiu ($r = -0,26$ – istotny statystycznie).

W okresach pozytywnej fazy Oscylacji Północnoatlantyckiej (1900–1929 i 1971–1995) uwidacznia się silna korelacja ujemna sum opadów we Wrocławiu z wskaźnikiem *NAO*. Współczynnik korelacji w tych epokach wynosi odpowiednio $-0,34$ oraz $-0,50$.

Najsłabszy ujemny związek (-0,18) wystąpił w okresie ujemnej fazy NAO w latach 1930–1970

2. W pracy **G. Maksymiuka (2009)** p.t. *Długookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w XVIII-XX wieku* określono wpływ Oscylacji Północnoatlantycznej (NAO) na opady atmosferyczne w Warszawie w latach 1825-1998. i liczbę dni z opadem w latach 1955-1980. Wyznaczono równania prostych regresji miesięcznych, sezonowych i rocznych sum opadów oraz liczby dni z opadem. względem wskaźnika *NAO* i odpowiednie współczynniki korelacji.

W pracy wykorzystano miesięczne sumy opadów atmosferycznych w Warszawie z lat 1825-1998 – z Obserwatorium Astronomicznego. Dane te zostały uzupełnione o 25-letnią serię liczby dni z opadem z lat 1955-1980. Do analizy Oscylacji Północnoatlantycznej wykorzystano wartości indeksu *NAO* Jones'a z lat 1825-1998.

Przebieg roczny opadów atmosferycznych w Warszawie zbadano na podstawie miesięcznych sum opadów oraz miesięcznej liczby dni z opadem. Wyznaczono też przebiegi częstości występowania sum opadów i liczby dni z opadem w sezonach i roku. Zmienność wieloletnią w badanym okresie przedstawiono za pomocą 11-letnich średnich konsekwentnych oraz prostych regresji.

Zmiany roczne średnich miesięcznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1825-1998, mają typowy dla Polski, przebieg sinusoidalny. Poczynając od lutego (29 mm) opady z miesiąca na miesiąc osiągały coraz większe sumy, aż do lipca, gdzie ich średnia wartość wyniosła 79 mm, a potem spadała.

Średnia roczna suma opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1825-1998 wyniosła 565 mm. W ciągu całego okresu tendencja zmian średniej rocznej sumy opadów była nieznacznie ujemna i wyniosła -15 mm/100 lat. Wszystkie sezony wykazały nieznaczny spadek sumy opadów, który najsilniej zaznaczył się wiosną i latem (-6 mm/100 lat).

Tendencje sezonowych sum opadów wynoszą: zima – -1,4 mm/100lat, wiosna – -6 mm/100lat, jesień – -1,7 mm/100lat,

W latach 1825-1998 w Warszawie widoczna była duża zmienność rocznych sum opadów z roku na rok. Pojawiło się kilka krótkich okresów z niedoborem lub nadwyżką opadów atmosferycznych w stosunku do średniej z całego okresu. Najdłuższe z nich wystąpiły w latach: 1849-1860 – nadwyżka opadów, 1960-1974 – nadwyżka opadów 1982-1993 – niedobór opadów.

Najsilniejsza ujemna korelacja opadów atmosferycznych w Warszawie z Oscylacją Północnoatlantyczną wystąpiła we wrześniu ($r = -0,24$). Ujemne współczynniki korelacji (nieistotne statystycznie) są w innych miesiącach letnich. Napływ morskich mas powietrza przy pozytywnej fazie *NAO*, przejawia się częstymi, lecz niezbyt intensywnymi opadami. Od późnej jesieni do połowy wiosny (XI-IV) korelacja opadów z *NAO* jest dodatnia. Współczynnik korelacji osiągnął największe wartości w kwietniu ($r = 0,13$), styczniu i grudniu ($r = 0,12$). Od wiosny do jesieni korelacja jest ujemna. Jedynie w zimie współczynnik korelacji był dodatni i wyniósł 0,07.

4.4.6. Badanie cykliczności i tendencji zmian temperatury powietrza w Europie na profilach : południkowym (Sztokholm, Warszawa, Ateny) i równoleżnikowym (Paryż, Warszawa, Moskwa)

Cykle i tendencje zmian temperatury powietrza w Europie na profilach : południkowym i równoleżnikowym przedstawiono w pracy magisterskiej **K. Brakonieckiej (2009)** p.t. *Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX i XX wieku i ich przyczyny*.

W pracy zbadano zmiany temperatury powietrza w pięciu wybranych miastach europejskich w 120-leciu 1881-2000 w odniesieniu do zmian aktywności Słońca (liczb Wolfa) oraz cyrkulacji strefowej, opisaney wskaźnikiem *NAO* w tym samym czasie. Wahania roczne i cykle długie zmian temperatury powietrza określono w zależności od położenia geograficznego – na profilach: południkowym (Sztokholm, Warszawa, Ateny) i równoleżnikowym (Paryż, Warszawa, Moskwa). Wykazano synchroniczność niektórych cykli zmian aktywności Słońca, wskaźnika *NAO* i temperatury powietrza w Europie. Zastosowano metodę sinusoid regresji badania cykliczności zmiennych, opracowaną przez J. Boryczkę (1998). Wykorzystano program BOR (dostępny w Zakładzie Klimatologii UW). Zbadano też korelację temperatury powietrza od wskaźnika *NAO* i liczb Wolfa.

Ciągi pomiarowe temperatury powietrza zostały skrócone do jednakowego ($n=120$ lat) przedziału czasu 1881-2000, by porównać zarówno okresy jak też tendencje zmian. Miasta europejskie dobrano tak, aby można było zbadać zależność cykli temperatury powietrza od szerokości i długości geograficznej. Warszawę ($\varphi=52^{\circ}13'N$, $\lambda=21^{\circ}02'E$, $H=110$ m n.p.m.) reprezentującą Europę Środkową przyjęto jako punkt odniesienia dla miast zlokalizowanych na osiach północ-południe oraz wschód-zachód. Europę Północną reprezentuje Sztokholm ($\varphi=59^{\circ}34'N$, $\lambda=18^{\circ}06'E$, $H=44$ m) Europę Południową – Ateny ($\varphi=37^{\circ}58'N$, $\lambda=23^{\circ}43'E$, $H=107$ m), Europę Zachodnią – Paryż ($\varphi=48^{\circ}58'N$, $\lambda=2^{\circ}27'E$, $H=65$ m.), a Europę Wschodnią – Moskwa ($\varphi=55^{\circ}50'N$, $\lambda=37^{\circ}37'E$, $H=156$ m.). Rozbieżność wzdłuż południka (φ) nie przekracza 3° , a równoleżnika (λ) – 4° .

Profil południkowy. W położonym najdalej na północ Sztokholmie najwyższa średnia temperatura powietrza $17,3^{\circ}C$ występuje w lipcu, a najniższa $-2,9^{\circ}C$ w lutym. W Warszawie położonej dalej na południe, najwyższa średnia miesięczna temperatura powietrza $18,7^{\circ}C$ występuje także w lipcu, ale jest zaledwie o $1,4^{\circ}C$ wyższa. Najzimniejszym miesiącem ($-2,8^{\circ}C$) jest styczeń. W Atenach także najcieplejszy jest lipiec ($27,4^{\circ}C$) a najchłodniejszy styczeń ($9,3^{\circ}C$).

W Sztokholmie zimowe cykle temperatury powietrza: krótki 2,4-letni, 7,7-letni oraz 21,2-letni (o największą amplitudzie zmian ($2b=1,8^{\circ}C$) są istotne na poziomie 5%.. W lecie w Sztokholmie wyróżniają się trzy okresy: 19,8-, 25,3- oraz 33,2-letni (o największej amplitudzie zmian ($2b=0,9^{\circ}C$). istotne statystycznie na poziomie 5%.

Najistotniejszym zimowym okresem zmian temperatury powietrza w Warszawie jest okres 5,7-letni (o amplitudzie zmian $2,0^{\circ}C$). W lecie najistotniejszy jest okres 67,8-letni temperatury powietrza z amplitudą wahań $1,0^{\circ}C$. W Atenach w zimie najistotniejszy jest cykl krótki 2,4-letni (o amplitudzie zmian ,dochodzącej do $0,8^{\circ}C$).

Profil równoleżnikowy. Najmniejsze i największe wartości średniej miesięcznej temperatury powietrza w badanym 120-leciu we wszystkich trzech miastach występują w tych samych miesiącach – maksima w lipcu, a minima – w styczniu. Na przykład w

Paryżu w styczniu ($3,2^{\circ}\text{C}$) jest cieplej niż w Warszawie ($-2,8^{\circ}\text{C}$), a znacznie cieplej niż dalej na wschód – w Moskwie ($-9,7^{\circ}\text{C}$). Amplitudy temperatury powietrza dochodzące prawie do 30°C w ciągu roku występują w Moskwie.

Na profilu równoleżnikowym (Paryż, Moskwa) w latach 1881-2000, najbardziej typowe w Paryżu okazały się okołowiekowe okresy zmian, temperatury powietrza

W Warszawie uwidacznia się, zwłaszcza zimą spadek istotności cykli długich – około 100-letnich i 20-50-letnich na rzecz grup cykli 5 i 7-letnich. W Moskwie w zimie najbardziej zaznacza się zróżnicowanie amplitud cykli w zależności od odległości od Oceanu Atlantyckiego. Prawie trzykrotnie większe są amplitudy zmian w cyklach krótkich w Moskwie niż Paryżu – odpowiednio $2,2^{\circ}\text{C}$ i $0,8^{\circ}\text{C}$, a w Warszawie amplituda ta wynosi $1,3^{\circ}\text{C}$.

Cykle o długości 7-8 lat są istotne statystycznie w przypadku średniej temperatury zimy i roku w Paryżu i Warszawie. Cykle około 30-letnie badane pod względem synchroniczności występowania maksimów liczb Wolfa i zmienności wskaźnika NAO to odpowiednio 37,3 oraz 36,0 lat. Cyrkulacja strefowa w Europie jest silnie skorelowana z aktywnością Słońca w przypadku cykli około 30-letnich

Korelacja temperatury powietrza i NAO. W półroczu chłodnym są istotne zależności – większa wartość współczynnika korelacji występuje w przypadku Sztokholmu niż Warszawy. W Sztokholmie i Warszawie, największa zależność temperatury powietrza od cyrkulacji strefowej w Europie jest w styczniu i lutym (współczynnik korelacji wartość 0,6).

Wartości współczynnika r na profilu równoleżnikowym, podobnie jak na południowym są bliskie zera w miesiącach pory ciepłej. W Moskwie w żadnym przypadku wartość współczynnika korelacji nie przekracza wartości 0,5, ale wartości w miesiącach pory chłodnej są odpowiednio większe niż w miesiącach pory ciepłej. W Paryżu również znacznie większe wartości współczynnika korelacji występują w miesiącach zimowych niż letnich – przy czym najwyższe, wahające się w granicach 0,6 wartości współczynnika r dotyczą średnich stycznia, lutego i marca.

W Moskwie, Paryżu i Warszawie temperatura powietrza jest istotnie skorelowana ze zmianami aktywności Słońca (na poziomie 5%). Najsilniejsze zależności temperatury powietrza od aktywności Słońca występują w Moskwie.

4.4.7. Badanie cykliczności i tendencji zmian temperatury powietrza w Europie (Szwecja) na podstawie danych dendrologicznych

W pracy magisterskiej **Ł. Pawłowskiego (2009)** p.t. *Zmiany klimatu Szwecji według danych dendrologicznych* przedstawiono cykle obecne w ciągach czasowych przyrostów rocznych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) w Szwecji – w odniesieniu do okresów temperatury powietrza o długościach. około 4, 8, 11, 100 i 180 lat. Wyznaczono też tendencje zmian szerokości słoje sosny i wykazano związki szerokości słoje sosny z temperaturą powietrza. Zasadniczy materiał badawczy stanowią dane o przyrostach radialnych gatunku sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris*), pochodzące z dwóch stanowisk na terytorium Szwecji: Sztokholm ($59^{\circ}09'\text{N}$, $18^{\circ}00'\text{E}$, wysokość 75 m n.p.m) z lat 1713-1996 i Muddus – z Parku Narodowego Muddus ($66^{\circ}51'\text{N}$, $22^{\circ}27'\text{E}$, wysokość 450 m n.p.m) z lat 1572 –1971. Cykliczność zbadano stosując

metodę *sinusoid regresji* J. Boryczki (1998), wyznaczania widm, zmieniając okres sinusoidy regresji z krokiem co 0,1 i 1 rok (w przypadku słoje sosny)

Cykle temperatury powietrza w Sztokholmie o największych współczynnikach korelacji: 11- letni ($R=0,473$) 103- letni ($R=0,286$) i 189-letni ($R=0,223$) świadczą, że na zmiany klimatu Szwecji mają największy wpływ cykle aktywności Słońca: 11lat i najdłuższe około 100- i 180- lat

Prognozy zmian średniej rocznej temperatury powietrza w Sztokholmie, opracowano za pomocą programu BOR 3 – z uwzględnieniem składnika liniowego (*at*). Wahania krótkookresowe temperatury powietrza w Sztokholmie wskazują na wystąpienie do roku 2100 trzech okresów cieplejszych z maksimami około lat 2027, 2052, 2080, oraz minimum okresów chłodniejszych w latach 2034 i 2074.

Cykle szerokości słoje sosny (*Pinus sylvestris*). W widmach szerokości słoje sosny występują cykle będące wielokrotnością 11-letniego cyklu aktywności Słońca. Cykliczność około 22 – letnia cechuje się największymi amplitudami w przyrostach sosny w Sztokholmie. – współczynnik korelacji wynosi $R=0,417$. Najdłuższe cykle o długościach około 100 lat i około 180-letnie są obecne w widmach przyrostowych słoje sosny zwyczajnej w Szwecji. Cykle te są związane z długookresowymi zmianami aktywności Słońca i występują w cykliczności temperatury powietrza. Przyrosty roczne sosny Muddus wykazują cykliczność 89-letnią, ($R=0,232$). Najdłuższy z cykli jest obecny w widmach sosny w Sztokholmie (169 lat) i Muddus. Przyrosty radialne sosny z Parku Narodowego Muddus odznaczają się cyklicznością 182-letnią, ze współczynnikiem korelacji $R=0,231$.

Cykle temperatury powietrza wykazują zbliżoną okresowość do cykli Oscylacji Północnoatlantyckiej. Do analizy wybrano niektóre cykle o zbliżonych okresach spośród widm wskaźnika NAO i szerokości słoje sosny. Cykl o okresie 11 lat wystąpił w widmie sosny Sztokholm ($R=0,176$). Natomiast okresowością około 33-letnią charakteryzuje się zmienność przyrostów sosny Muddus.. Zbieżnością odznaczają się cykle 13 letnie sosny Muddus i wskaźnika NAO. Ekstrema tych cykli są widoczne w tych samych latach. Maksima wystąpiły w latach 1831, 1844 itd., natomiast minima w latach 1825, 1838 itd. Najdłuższy porównywany cykl wskaźnika NAO o okresie 118 lat ma sobie podobny w widmie przyrostów sosny Muddus, $\Theta=120$.

Upały w Polsce i Europie (koniec XX - początek XXI wieku)

O znaczącym globalnym ociepleniu świadczy wzrost średniej globalnej temperatury powietrza w stuleciu 1906-2005 o $0,74^{\circ}\text{C}$ (IPCC, 2007). Największy wzrost nastąpił w ostatnich 25 latach XX wieku i początku wieku XXI.

Europa (w tym Polska) również doświadcza ocieplenia w tempie $0,5^{\circ}$ na 100 lat. Wzrost temperatury zaznacza się najsilniej w sezonie letnim (zwłaszcza w roku 1992, 1994, 2003, 2006, 2007) . Występujące fale upałów i powodzie są dużym zagrożeniem dla zdrowia i życia człowieka. Ich skutkiem jest wzrost śmiertelności na Ziemi. Rekordowo wysoką liczbę zgonów stwierdzono w lecie 2003r. w Paryżu, szczególnie w dniu 13 sierpnia, przekroczyła ona o 600% średnią dzienną liczbę zgonów.

W czasie tego ekstremalnie gorącego lata 2003r. w Europie Zachodniej i Południowej zmarło ponad 35 000 osób, z czego 14 000 we Francji. Upały z 2006 roku objęły

większy obszar Europy niż te z roku 2003. Wystąpiły one głównie w Europie Środkowej oraz Skandynawii (Twardosz 2009).

W Polsce ocieplenie klimatu zaznacza się szczególnie w ostatnich 20 latach, a liczba dni gorących (z $t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$) i upalnych (z $t_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$) znacznie wzrosła w tym czasie i częściej tworzą one ciągi dni. W Warszawie upalne lata były w: 1992, 1994, 2000, 2006 i 2007 roku. Ciągi co najmniej 3 dni z $t_{\max} > 30^{\circ}$ zostały nazwane *falami upałów*. Najczęściej zdarzają się fale 3-4 dniowe, ale są i dłuższe nawet powyżej 8-10 dni. Najdłuższe fale upałów w Warszawie zdarzyły się w 1994 roku – 10 dni, w 1971 i 2006 roku – 9 dni oraz w 1963 roku – 8 dni. I tak w czasie 10-dniowej fali upałów trwającej od 24 lipca do 2 sierpnia 1994 roku średnia temperatura powietrza wyniosła $26,4^{\circ}\text{C}$, a temperatura maksymalna $34,0^{\circ}\text{C}$ (najwyższe maksimum osiągnęło wartość $36,4^{\circ}\text{C}$). Zaś w czasie 9-dniowej fali upałów trwającej od 5 do 13 lipca 2006 roku średnia temperatura powietrza wyniosła $25,6^{\circ}\text{C}$, a temperatura maksymalna $33,0^{\circ}\text{C}$ (najwyższe maksimum osiągnęło wartość $35,3^{\circ}\text{C}$) (Kossowska-Cezak 2010).

Ciekawe jest również to, że po roku 1990 wzrosła też częstość nocy ciepłych ($t_{\min} > 15^{\circ}\text{C}$) i bardzo ciepłych ($t_{\min} > 18^{\circ}\text{C}$), a są to sytuacje pogodowe najbardziej obciążające organizm człowieka i prowadzą do wzrostu liczby zgonów. Wzrost liczby nocy „tropikalnych” jeszcze bardziej się nasilił po 2000 roku.

Spodziewane konsekwencje globalnego ocieplenia klimatu

W publikacji zespołowej Zakładu Klimatologii p.t. *Klimat Europy. Przeszłość – Terażniejszość – Przyszłość* ([w]: *Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu warszawskiego z VIII Pikniku Naukowego Polskiego Radia Bis*, 2004) M. Kopacz przedstawiła przewidywane następstwa postępującego ocieplenia:

Atmosfera

- Wzrost temperatury oznacza większe zasoby energii → zwiększenie intensywności parowania, intensywniejsze procesy konwekcyjne i cyrkulacja powietrza.
Konsekwencje:
- Częstsze i potężniejsze cyklony, wiatry – falowanie, niszczenie linii brzegowej (giną ludzie, zniszczenie infrastruktury).
- Zmiany układu warunków opadowych – wpłynie to na zasięg i częstość występowania susz i powodzi, a w **konsekwencji** ograniczy dostęp do zasobów wodnych w niektórych rejonach czy też zwiększy ryzyko powodziowe. Zmieniają się warunki dla rozwoju rolnictwa.

Obszary wodne – Oceany

- Wzrost poziomu oceanów. **Konsekwencje:** zalewanie nisko położonych terenów przybrzeżnych, infiltracja słonych wód w głąb lądu i zasolenie wód gruntowych.
- Zwiększenie ilości pływających gór lodowych.
Konsekwencje:
- Zmniejszenie zasolenia wód w wyższych szerokościach geograficznych, powodujące osłabienie wymiany wód głębinowych (osłabienie globalnego oceanicznego „taśmociągu”, którego częścią jest Prąd Zatokowy).

- W cieplejszych wodach następują zmiany w składzie planktonu, giną brunatnice, giną glony żyjące w symbiozie z koralowcami. Wymieranie koralowców (niszczenie raf koralowych) to utrata naturalnych „falachronów” dla wybrzeży.

Lądy

- Wzrost temperatury powietrza, szczególnie w chłodnej porze roku – zmiana pór roku, okresu wegetacyjnego
- Topnienie lodowców górskich – lawiny błotne.
- Podniesienie wysokości, na której utrzymuje się stała pokrywa śnieżna –
Konsekwencje: dla turystyki zimowej
- Zmniejszenie się obszarów wiecznej zmarzliny.
- Zmiany w składzie gatunkowym wielu ekosystemów – wyginiecie wielu gatunków nie mogących przystosować się do nowych warunków klimatycznych.

Wpływ na człowieka

- Zwiększająca się liczba ofiar intensywnych klęsk żywiołowych, w tym ofiar epidemii.
- Coraz większe straty materialne.
- Wzrastające koszty budowy urządzeń zabezpieczających przed działaniem żywiołów oraz koszty dostosowania gospodarki do nowych warunków, np. rolnictwo – nowe odmiany roślin uprawnych.
- Emigracja ekologiczna.

Dotychczasowe scenariusze globalnych zmian klimatu uwzględniają tylko ocieplenie klimatu Ziemi. Z badań cyklicznych zmian klimatu Ziemi (cykli: zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniach lodowych, substancji organicznych, zdeponowanych w osadach głębokomorskich i jeziornych oraz danych dendrologicznych), uwarunkowanych zmianami aktywności Słońca i erupcji wulkanicznych można oczekiwać w najbliższej przyszłości dużego ochłodzenia. Prognozy temperatury powietrza do 2100 roku, na podstawie interferencji silniejszych cykli zawartych w widmach, wskazują na naturalne ochłodzenie klimatu Europy w XXI wieku. W scenariuszach globalnych zmian klimatu należy także brać pod uwagę **gwałtowne ochłodzenie** i jego konsekwencje dla mieszkańców Ziemi.

V. Z BADAŃ ZMIAN KLIMATU MIAST EUROPY W XXI WIEKU

5.1. Weryfikacja prognoz okresowych zmian temperatury powietrza w Europie w XX-XXI wieku

Verification of predictions of periodic changes of air temperature in Europe in 20th- 21th century

Jerzy Boryczka, Maria Stopa-Boryczka, Urszula Kossowska-Cezak, Jolanta Wawer

Możliwość przewidywania przyszłych zmian klimatu, a szczególnie podstawowego jego elementu, jakim jest temperatura powietrza, jest jednym z najpoważniejszych zadań badań klimatologicznych. 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 1984-2007. Upływający czas i wydłużanie się serii pomiarowych temperatury stwarzają obecnie możliwość dokonania weryfikacji opracowanych wcześniej prognoz. Ewentualne potwierdzenie ich prawidłowości może dać wartościowe narzędzie do opracowania prognoz temperatury powietrza na następne lata, co jest szczególnie istotne w okresie powszechnie obserwowanego ocieplenia klimatu.

Należy jednak zwrócić uwagę, że omawiane prognozy według danych z kilku miast na obszarze Europy dotyczyły głównie cyklicznych zmian temperatury, określonych na podstawie interferencji cykli wyznaczonych metodą „sinusoid regresji” (Boryczka, 1998).

Metoda ta polega na dopasowaniu do wyników pomiarów y_1, \dots, y_n , wykonanych w dowolnych odstępach czasu t_1, \dots, t_n – do punktów empirycznych (y_i, t_i) kolejnych sinusoid regresji o okresie θ , amplitudzie b i fazie c , z odstępem np. $\Delta\theta = 0,1$ roku:

$$y_i = a_0 + b \sin\left(\frac{2\pi}{\theta} t_i + c\right) + \varepsilon_i$$

gdzie ε_i reszta.

Okresy θ to minima lokalne ciągu wariancji resztkowej (widma): $\varepsilon_1^2, \dots, \varepsilon_n^2$, gdzie

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2$$

W prognozach ważne jest wyznaczenie wypadkowej $f(t)$ interferencji k najistotniejszych statystycznie („najsilniejszych”) cykli:

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

Weryfikacja tych prognoz polega zatem na zbadaniu synchroniczności przebiegów (koincydencji ekstremów) wartości temperatury zmierzonych T i prognozowanych $f(t)$, z zastosowaniem testów Fishera-Snedecora i t- Studenta.

Wspomniane prognozy były opracowane na podstawie długich serii pomiarów temperatury w różnych miejscach Europy, a dotyczące Warszawy były już częściowo sprawdzane (Boryczka i in., 2012 a, b, c). Teraz zweryfikowano najwcześniejsze prognozy zmian wartości średnich miesięcznych, sezonowych lub rocznych temperatury powietrza w Warszawie – 1779-1979 (Boryczka, 1984, Boryczka i in., 1992) i 1779-1990 (Boryczka i in., 2000) oraz 1779-1998 (Boryczka i in., 2003).

Zweryfikowano również prognozy zmian temperatury powietrza w innych miejscach Europy, wybierając niektóre spośród 40 miast Europy, opublikowane w 3 tomach *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce: zima i lato* (Boryczka i in., 2003), styczeń i lipiec (Boryczka i in., 2005) oraz rok (Stopa-Boryczka i in., 2007). Do wybranych miejsc należą: środkowa Anglia (1659-1993), Greenwich (1659-1969), Paryż (1767-1995), Berlin (1769-1990), Moskwa (1780-2002), Sztokholm (1756-1994) i Rzym (1811-1989).

Weryfikacji poddano 22 prognozy, które dotyczą: zimy (6), lata (3), stycznia (4), lipca (4) i roku (5). Szczególną uwagę zwrócono na prognozy zmian temperatury powietrza w zimie i styczniu, ze względu na postępujące ocieplenie klimatu Europy. Jeżeli w publikacjach nie było funkcji trendów czasowych $T = f(t)$ (oprócz wykresów), to weryfikowano tylko te prognozy (sprzed 35 i 25 lat), dla których zachowały się zapisy dawnych obliczeń wartości prognozowanych $f(t)$ (najpierw na dyskietkach, np. *Verbatim* o pojemności 2 MB, a później na płytach *CD* o pamięci 700 MB). Do weryfikacji wykorzystano późniejsze wyniki pomiarów na stacjach: Warszawa (Okęcie, 1951-2015), Londyn (Gatwick, 1951-2012), Paryż (Montsouris, 1951-2011), Berlin (1951-2012), Moskwa (1951-2012), Sztokholm (1951-2012) i Rzym (1951-2012).

W wielu przypadkach dane te pochodzą z innej stacji w danym mieście niż będąca podstawą do prognoz seria historyczna. Nie stanowi to jednak przeszkody do podjęcia weryfikacji tych prognoz, gdyż – jak wspomniano – istotą tej weryfikacji jest określenie przebiegów temperatury, a nie jej wartości.

Materiały źródłowe stanowią średnie miesięczne wartości temperatury powietrza od roku 1951 – z Warszawy do roku 2014 pochodzące z archiwum PIHM i IMGW, a z pozostałych stacji do roku 2012 (tylko z Paryża do 2011), z bazy danych ze strony internetowej European Climate Assessment and Dataset (ECA&D). Niektóre dane z lat wcześniejszych pobrano ze strony http://data.giss.nasa.gov/gistemp/station_data/.

5.1.1. Prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie

Prognozy zmian temperatury na lata 1980-2014 z 1984 r. (rok, 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).

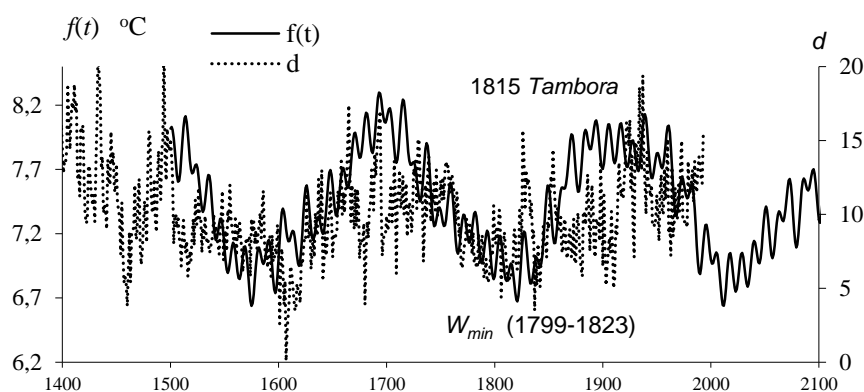
$$\begin{aligned}
 y = f(t) = & 7,467 + \\
 & + 11,45 \sin(2\pi t - 2,1290) + 0,1552 \sin(2\pi t / 11,2 + 0,791) + 0,1057 \sin(2\pi t / 22 + 1,557) + \\
 & + 0,08462 \sin(2\pi t / 18,6 - 0,8183) + 0,1203 \sin(2\pi t / 90 + 2,531) + 0,5211 \sin(2\pi t / 220 - 2,913) + \\
 & + 0,1429 \sin(6,568784t + 2,013) + 0,07714 \sin(5,997586t - 0,6456) + 0,1019 \sin(6,352998t - 1,830) + \\
 & + 0,1101 \sin(6,213372t + 2,820) + 0,3219 \sin(6,311745t + 2,830) + 0,2629 \sin(6,254625t - 1,178)
 \end{aligned}$$

W modelu rekonstrukcyjno-prognostycznym 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 częstotliwości $\Omega_1=2\pi$ przez cykl o częstotliwości mniejszej $\Omega = \frac{2\pi}{\Theta}$ określa suma dwóch sinusoid regresji o częstotliwościach $\Omega_1 + \Omega$ i $\Omega_1 - \Omega$ (z wzorów Eulera).

Model ten, 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 $F_{obl} = 1298$ o 24 i 2387 stopniach swobody (dla poziomu istotności 0,01, $F_{kr} = 2,18$). 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 ($\frac{c_1}{2\pi} = 0,3388$) – $t+0,3388$, gdzie $t = 0$ to rok 1778.

Zmiany wiekowe prognozowanej średniej rocznej temperatury powietrza $f(t+0,3388)$ w Warszawie porównano ze zmianami 10-letnich przyrostów (szerokości słoików) sosny (*Pinus sylvestris*) w Karhupesakivi (Finlandia) w latach 1396-1993 (rys.1).

Szerokość słoików sosny w Karhupesakivi cechuje się dwoma najsilniejszymi cyklami zmian o długości 85 i 265 lat (o współczynniku korelacji $R=0,306$ i $0,487$).

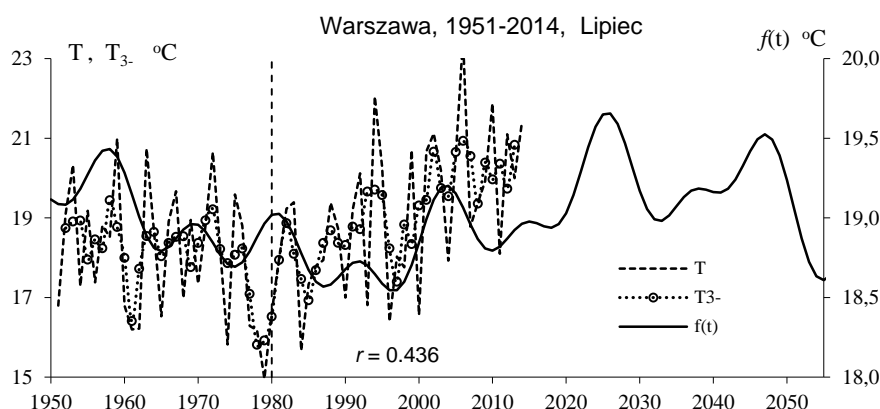


Rys. 1. Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Warszawie według modelu $f(t)$ oraz wahania szerokości słoików sosny *Pinus sylvestris* (d) w Karhupesakivi (Finlandia) w latach 1396-1993

Fig. 1. Changes of yearly mean air temperature in Warsaw after $f(t)$ model in relative to the tree rings width of *Pinus sylvestris* (d) in Karhupesakivi (Finland) in the years 1396-1993

Na uwagę zasługuje koincydencja głównych ekstremów prognozowanej temperatury powietrza według modelu $f(t)$ i szerokości słoików sosny *Pinus sylvestris* (d). Minimum wiekowe prognozowanej temperatury $f(t)$ pokrywa się z minimum szerokości słoików tej sosny (d) i z minimum wiekowym liczb Wolfa W_{min} (1799-1823) – z dwoma najsłabszymi cyklami (12-letnim 1799-1810 i 13-letnim 1811-1823) oraz z datą 1815 silnej erupcji wulkanu Tambora ($DVI=3000$) (Lamb, 1974).

Weryfikując ten model, porównano także 35-letnią serię (1980-2014) wyników pomiarów temperatury powietrza (T – średnich i T_3 – średnich konsekwentnych 3-letnich) w Warszawie z obliczonymi wartościami $f(t)$, prognozowanymi na lata 1980-2014 (rys. 2).



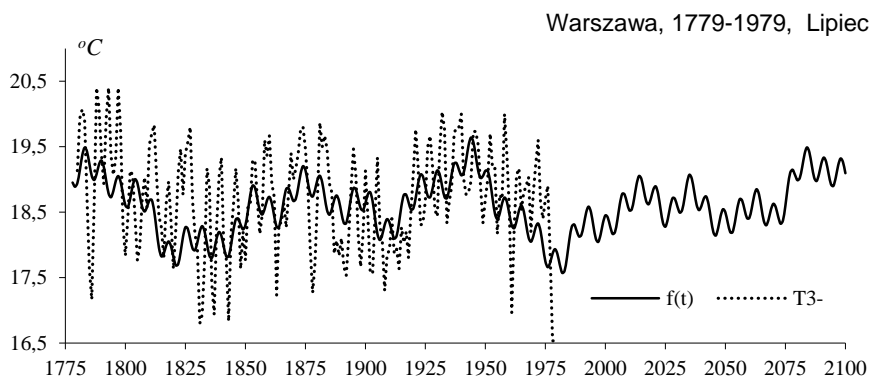
Rys. 2. Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Warszawie (Okęcie, 1951-2014); T – wartości średnie, T_3 – średnie konsekwentne 3-letnie, $f(t)$ – wartości obliczone wg wzoru (Observatorium Astronomiczne, 1779-1979, z prognozą na lata 1980-2055

Fig. 2. Changes of mean air temperature in July in Warsaw (Okęcie, 1951-2014); T – measured values, T_3 – 3-year moving average, $f(t)$ – values calculated after formula (Astronomical Observatory, 1779-1979), with a forecast for the years 1980-2055

Na ogół jest dobra zgodność między minimami i maksimami temperatury według pomiarów (T_3) i prognoz $f(t)$. Szczególnie wyróżnia się lipiec, w którym współczynnik korelacji $r = 0,436$ ($n = 35$) jest istotny na poziomie 0,01 ($r_{0,01} = 0,435$). W przypadku średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza (T) współczynnik korelacji $r = 0,312$ jest zbliżony do wartości krytycznej $r_{0,05} = 0,339$ na poziomie istotności 0,05.

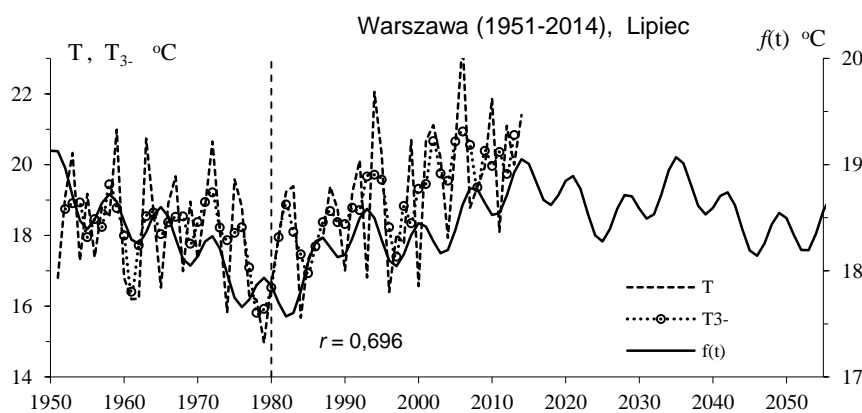
Prognozy zmian temperatury na lata 1980-2014 z 1992 r. (lipiec). Wiarygodne są prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie na lata 1980-2100 opracowane na podstawie danych z Obserwatorium Astronomicznego z lat 1779-1979 (Boryczka i in., 1992, lipiec – s. 295 (wzór 7'), s.335, rys. 279b). Przykładowo porównano wartości zmierzone na Okęciu, średnie konsekwentne 3-letnie z prognozowanymi na lata 1980-2014. W lipcu funkcja trendu czasowego $f(t)$ ze składnikiem liniowym $at = 0,00006t$ jest superpozycją 6 cykli obecnych w widmie temperatury (Observatorium Astronomiczne), w tym najdłuższych 75 i 158 lat (rys. 3-4):

$$T = f(t) = 18,56 + 0,00006t + \\ + 0,2148 \sin(-3,046 + 2\pi t/7) + 0,0523 \sin(0,8547 + 2\pi t/15) + 0,194 \sin(0,004 + 2\pi t/23) + \\ + 0,0962 \sin(0,4704 + 2\pi t/52) + 0,3957 \sin(0,3372 + 2\pi t/75) + 0,2749 \sin(2,341 + 2\pi t/158)$$



Rys. 3. Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Warszawie (Observatorium Astronomiczne, 1779-1979); T_3 – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie, $f(t)$ – wartości obliczone (ze składnikiem liniowym), z prognozą na lata 1980-2100

Fig. 3. Changes of mean air temperature in July in Warsaw (Astronomical Observatory, 1779-1979); T_3 – measured values measured, 3-year moving average, $f(t)$ – calculated values (including the linear component), with forecast for the years 1980-2100



Rys. 4. Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Warszawie (Okęcie, 1951-2014); T – wartości średnie, T_3 – średnie konsekwentne 3-letnie, $f(t)$ – wartości obliczone wg wzoru (Observatorium Astronomiczne, 1779-1979), z prognozą na lata 1980-2055

Fig. 4. Changes of mean air temperature in July in Warsaw (Okęcie, 1951-2014); T – measured values, T_3 – 3-year moving average, $f(t)$ – calculated values after formula (Astronomical Observatory, 1779-1979), with forecast for the years 1980-2055

Współczynnik korelacji $r = 0,460$ między średnimi miesięcznymi wartościami temperatury (T) i prognozowanymi $f(t)$ w lipcu jest istotny na poziomie $0,01$ ($r_{0,01} = 0,449$), a współczynnik korelacji $r = 0,696$ między średnimi konsekwentnymi 3-letnimi (T_3) i prognozowanymi $f(t)$ – na poziomie $0,001$ ($r_{0,001} = 0,554$).

Prognozy średniej temperatury powietrza w lipcu w Warszawie (1779-1979) na podstawie wypadkowej $T = f(t)$ interferencji 6 cykli (7, 15, 23, 52, 75 i 158 lat) obecnych w widmie są bardziej wiarygodne ($R = 0,696$) od wcześniejszych prognoz $y = f(t)$, według bardziej ogólnego modelu rekonstrukcyjno – prognostycznego, opisującego jednocześnie zmiany średniej temperatury powietrza we wszystkich 12 miesiącach ($R = 0,436$).

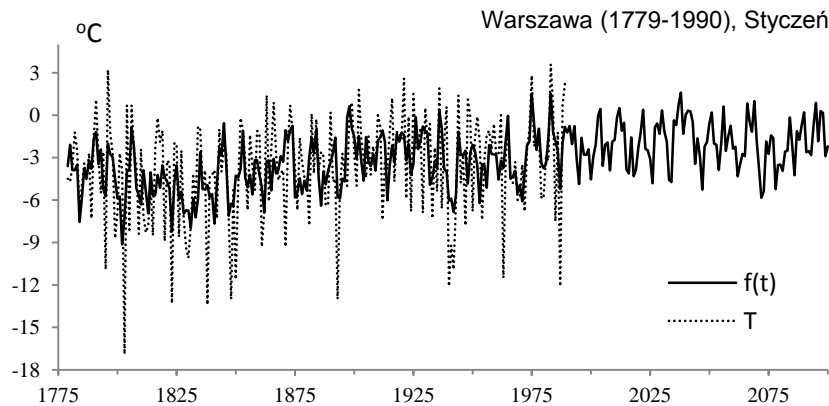
Prognozy zmian temperatury na lata 1991-2015 z 2000 r. (styczeń, zima). Najbardziej wiarygodne są prognozy tendencji temperatury powietrza w Warszawie na lata 1991-2100 opracowane na podstawie danych z Obserwatorium Astronomicznego z lat 1779-1990 (Boryczka i in., 2000, styczeń – s. 110, zima – s. 117). 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 funkcje trendu czasowego $T = f(t)$ i $T = F(t)$ ze składnikiem liniowym $at = 0,0118t$ i $at = 0$ są superpozycją 12 cykli obecnych w widmie oscylacji temperatury (Obserwatorium Astronomiczne), w tym najdłuższych okresów 122,7 i 204,7 lat:

$$T = f(t) = -4,915 + 0,0118t + \\ + 1,016 \sin(2,4255 + 2\pi t / 2,6) + 0,667 \sin(-0,6526 + 2\pi t / 3,5) + 0,6569 \sin(2,727 + 2\pi t / 4,8) + \\ + 0,7157 \sin(0,6356 + 2\pi t / 6,6) + 0,8535 \sin(-1,82 + 2\pi t / 7,7) + 1,072 \sin(0,756 + 2\pi t / 9,3) + \\ + 0,5883 \sin(0,5276 + 2\pi t / 13) + 0,5903 \sin(1,8821 + 2\pi t / 15,4) + 0,5783 \sin(-1,08 + 2\pi t / 27,5) + \\ + 0,5092 \sin(-0,1398 + 2\pi t / 62,5) + 0,6507 \sin(1,787 + 2\pi t / 122,7) + 0,2585 \sin(2,954 + 2\pi t / 204,7)$$

$$T = F(t) = \\ -3,734 + 1,016 \sin(2\pi t / 2,6 + 2,426) + 0,6558 \sin(2\pi t / 3,5 - 0,6561) + 0,6535 \sin(2\pi t / 4,8 + 2,718) + \\ + 0,7148 \sin(2\pi t / 6,6 + 0,6532) + 0,8569 \sin(2\pi t / 7,7 - 1,821) + 1,056 \sin(2\pi t / 9,3 + 0,7635) + \\ + 0,5900 \sin(2\pi t / 13,0 + 0,5444) + 0,5849 \sin(2\pi t / 15,4 + 1,928) + 0,5959 \sin(2\pi t / 27,5 - 1,162) + \\ + 0,5427 \sin(2\pi t / 62,5 - 0,2586) + 0,5881 \sin(2\pi t / 122,7 + 2,761) + 1,166 \sin(2\pi t / 204,7 + 3,00)$$

Zmiany temperatury powietrza w styczniu w latach 1779-2100, z prognozą na lata 1991-2100, ze składnikiem liniowym $1,18 \text{ }^\circ\text{C}/100$ lat, przedstawiono na rys. 5.

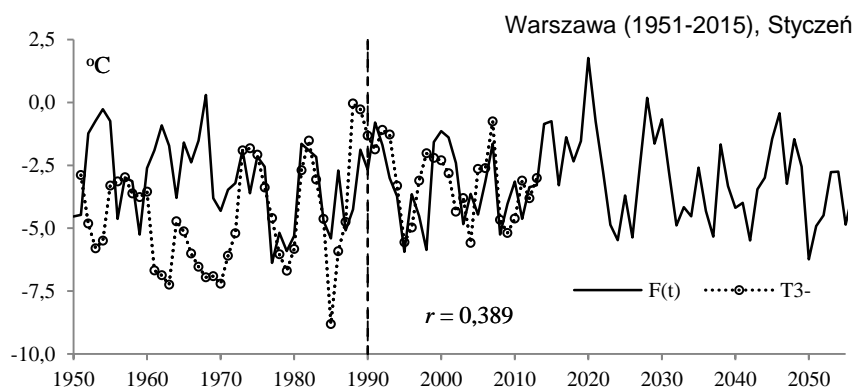


Rys. 5. Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne, 1779-1990); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone (ze składnikiem liniowym), z prognozą na lata 1991-2100

Fig. 5. Changes of mean air temperature in January in Warsaw (Astronomical Observatory, 1779-1990); T – measured values, $f(t)$ – calculated values (including the linear component), with forecast for the years 1991-2100

Należy zauważyć, że zgodność wyników pomiarów temperatury powietrza w Warszawie w styczniu z prognozami na lata 1991-2015 jest lepsza według modelu $T = F(t)$ bez składnika liniowego ($at = 0$) niż ze składnikiem $at = 0,0118t$. Świadczą o tym synchroniczne wahania zmierzonych wartości temperatury powietrza (T_3) na Okęciu i prognozowanych $F(t)$ (rys. 6).

Potwierdzeniem tej oceny jest dość duży współczynnik korelacji $r = 0,389$ między zmierzonymi średnimi ruchomymi 3-letnimi (T_3) i prognozowanymi $F(t)$, który jest większy od wartości krytycznej $r_{0,05} = 0,381$, na poziomie 0,05 ($n = 25$). Współczynnik korelacji średnich miesięcznych wartości T i $F(t)$ wynosi $r = 0,145$.



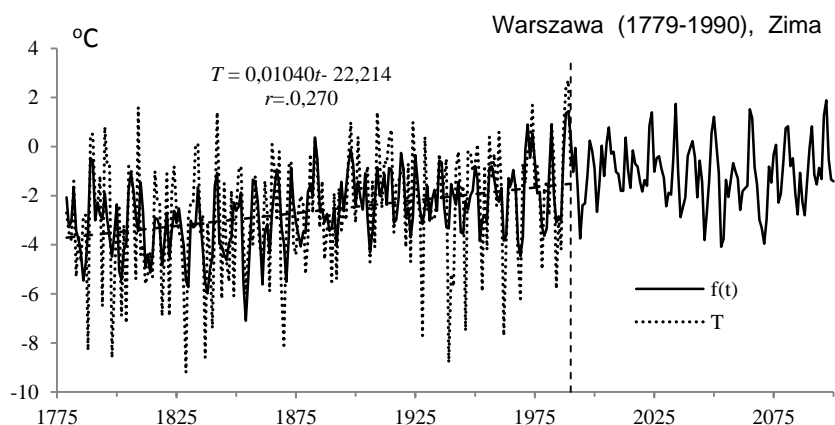
Rys. 6. Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Warszawie (Okęcie, 1951-2014); T_3 , wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie, $F(t)$ – wartości obliczone wg wzoru (Obserwatorium Astronomiczne, 1779-1990, z prognozą na lata 1991-2100

Fig. 6. Changes of mean air temperature in January in Warsaw (Okęcie, 1951-2014); T_3 – measured values, 3-year moving average, $F(t)$ – calculated values after formula (Astronomical Observatory, 1779-1990), with forecast for the years 1991-2055

W zimie funkcja trendu czasowego $T = f(t)$ ze składnikiem liniowym $at = 0,01025t$ jest superpozycją 12 cykli obecnych w widmie oscylacji temperatury (Obserwatorium Astronomiczne), w tym najdłuższych okresów 113,1 i 218,3 lat:

$$\begin{aligned}
 T = f(t) = & -3,721 + 0,01025t + \\
 & + 0,5218 \sin(2\pi t / 2,6 - 1,332) + 0,5674 \sin(2\pi t / 3,5 + 0,5448) + 0,6281 \sin(2\pi t / 5,2 + 0,06199) + \\
 & + 0,4266 \sin(2\pi t / 5,7 + 2,484) + 0,7091 \sin(2\pi t / 7,7 - 0,7349) + 0,7349 \sin(2\pi t / 8,3 - 2,368) + \\
 & + 0,4920 \sin(2\pi t / 8,7 - 0,3439) + 0,4082 \sin(2\pi t / 12,9 + 0,1191) + 0,4379 \sin(2\pi t / 15,2 + 2,252) + \\
 & + 0,4685 \sin(2\pi t / 18,0 - 3,097) + 0,5029 \sin(2\pi t / 113,1 + 1,197) + 0,2097 \sin(2\pi t / 218,3 + 2,497)
 \end{aligned}$$

Wypadkową $T = f(t)$ interferencji tych cykli temperatury powietrza w Warszawie w odniesieniu do wyników pomiarów (T) w latach 1779-1990 przedstawiono na rys. 7.

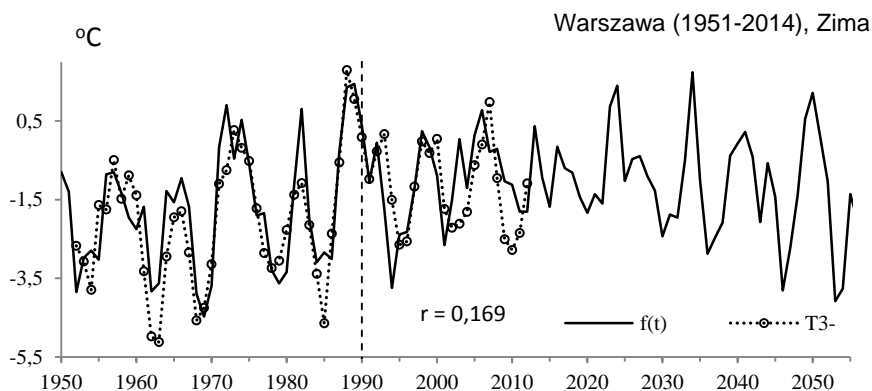


Rys. 7. Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne, 1779-1990); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone (ze składnikiem liniowym), z prognozą na lata 1991-2100

Fig. 7. Changes of mean air temperature in winter in Warsaw (Astronomical Observatory, 1779-1990); T – measured values, $f(t)$ – calculated values (including the linear component), with forecast for the years 1991-2100

Coraz cieplejsze zimy w Warszawie (o $1,04^{\circ}\text{C}/100$ lat w latach 1779-1990 są efektem nałożenia się kilkunastu 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 24-leciu 1991-2014 w zimie (XII-II) z prognozowanymi według interferencji tych cykli, z równań $f(t)$. Współczynnik korelacji $r = 0,169$ między średnimi konsekwentnymi 3-letnimi wartościami T_3 i prognozowanymi $f(t)$ nie jest istotny nawet na poziomie 0,05. (rys. 8).

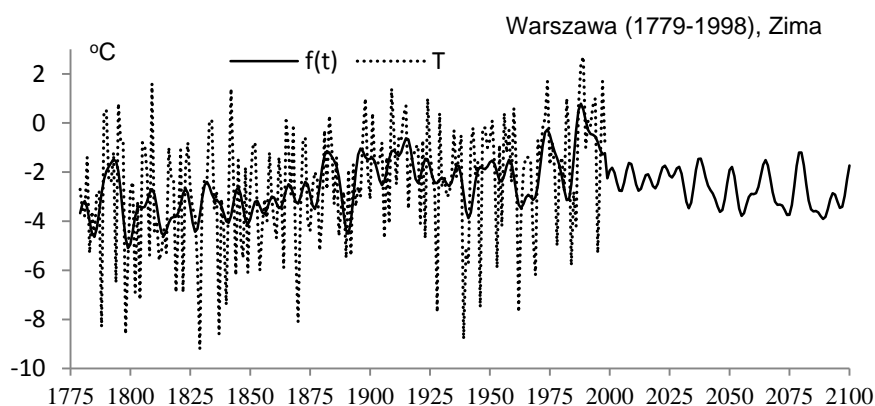


Rys. 8. Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Warszawie (Okęcie, 1951-2014); T_3 wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie, $f(t)$ – wartości obliczone (Obserwatorium Astronomiczne, 1779-1990), z prognozą na lata 1991-2055

Fig. 8. Changes of mean air temperature in winter in Warsaw (Okęcie, 1951-2014); T_3 – measured values, 3-year moving average, $f(t)$ – calculated values (Astronomical Observatory, 1779-1990), with forecast for the years 1991-2055

Natomiast współczynnik korelacji między średnimi w miesiącach zimowych (styczeń, luty, grudzień) w kolejnych latach $r = 0,277$ jest zbliżony do wartości krytycznej na poziomie istotności 0,05, $r_{0,05} = 0,385$

Prognozy zmian temperatury na lata 1998-2014 z 2003 r. (zima). Zweryfikowano także późniejsze prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie w zimie w latach 1999-2100, opracowane na podstawie danych ze stacji Warszawa Obserwatorium Astronomiczne z lat 1779-1998, według jednorodnej serii opracowanej przez H. Lorenc (Boryczka i in. 2003, s. 84, rys. 35a, s 158, rys.75a) . Funkcja trendu czasowego $T = f(t)$ wyraża interferencję cykli obecnych w widmie (rys. 35a) oscylacji temperatury (rys. 9).

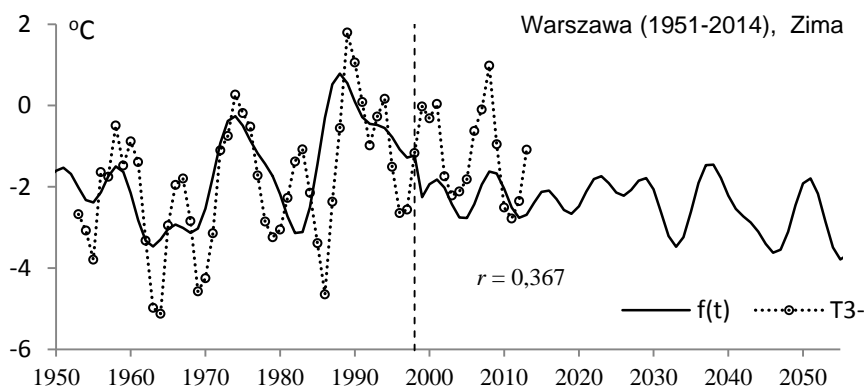


Rys. 9. Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne, 1779-1998); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone, z prognozą na lata 1999-2100

Fig. 9. Changes of mean air temperature in winter in Warsaw (Astronomical Observatory, 1779-1998); T – measured values, $f(t)$ – calculated values, with forecast for the years 1999-2100

Synchroniczne są wahania średnich konsekwentnych 3-letnich zmierzonych wartości temperatury powietrza w Warszawie (Okęcie) w 16-leciu 1999-2014 w zimie (XII-II) z prognozowanymi $T = f(t)$. Współczynnik korelacji $r = 0,367$ między średnimi konsekwentnymi 3-letnimi wartościami zmierzonymi (T_{3-}) i prognozowanymi $f(t)$ jest zbliżony do wartości krytycznej poziomu istotności 0,10 ($r_{0,10} = 0,400$, $n=16$) (rys. 10).

Natomiast współczynnik korelacji $r = 0,699$ między wartościami T_{3-} i prognozowanymi $f(t)$ na lata 1999-2010 jest istotny na poziomie 0,05 ($r_{0,05} = 0,576$), a nawet jest zbliżony do wartości krytycznej poziomu 0,01, $r_{0,01} = 0,707$.



Rys. 10. Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Warszawie (Okęcie, 1951-2014); T_3 - wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie, $f(t)$ - wartości obliczone (Obserwatorium Astronomiczne, 1779-1998), z prognozą na lata 1999-2055

Fig. 10. Changes of mean air temperature in winter in Warsaw (Okęcie, 1951-2014); T_3 - measured values, 3-year moving average, $f(t)$ - calculated values (Astronomical Observatory, 1779-1998), with forecast for the years 1999-2055

5.1.2. Prognozy zmian temperatury powietrza w innych miastach Europy

Prognozy zmian temperatury w środkowej Anglii na lata 1974-2012 z 2003 r. (zima, lato). Zweryfikowano prognozy temperatury powietrza w środkowej w Anglii w zimie i lecie w latach 1974-2100 (Boryczka i inni, 2003, str. 51, str. 92-93). Prognozy te były opracowane na podstawie serii G. Manley'a (1974), tj. danych z ponad 300 lat (1659-1973). Prognozy temperatury powietrza w środkowej Anglii w zimie i lecie otrzymano według interferencji cykli o okresach θ , amplitudach b i fazach:

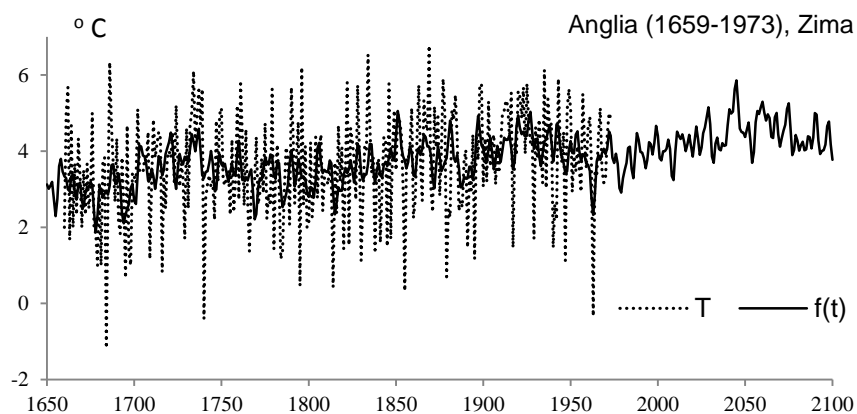
Zima (XII-II)

θ lat	3,8	5,7	7,7	14,8	17,9	23,9	67,4	99,3	166,9
b °C	0,2375	0,2413	0,2476	0,2991	0,1972	0,1837	0,1667	0,1929	0,2399
c	0,9613	2,4024	-1,0155	0,8132	0,4918	-1,6594	-1,9611	-1,4847	-0,6724

Lato (VI-VIII)

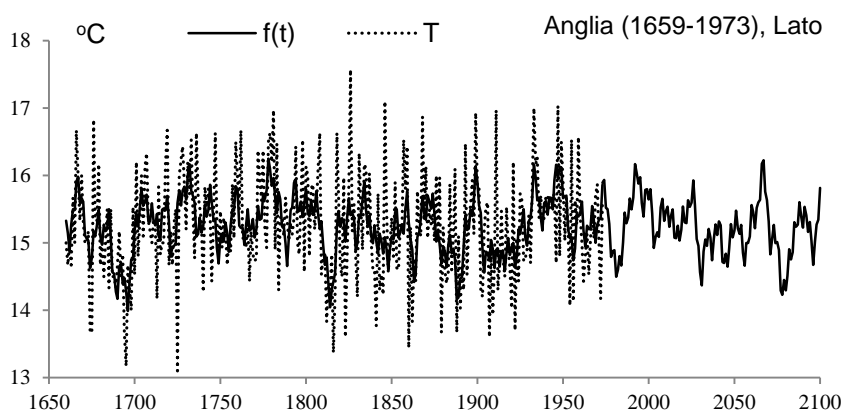
θ lat	8,3	10	12,8	15,4	24	32,8	38,7	55,1	72,1	102,5	204,6
b °C	0,142	0,165	0,179	0,171	0,234	0,176	0,129	0,142	0,148	0,073	0,184
c	1,581	3,117	0,308	-0,74	0,753	2,007	0,275	-0,39	2,392	1,046	-2,53

Są one wypadkową nakładania się 9 (w zimie) i 11 (w lecie) cykli obecnych w widmach temperatury powietrza, w tym najdłuższych: zima – 99,3 i 166,9 lat, ze składnikiem liniowym $a_0+at = 1,971515+0,003075t$, oraz lato – 102,5 i 204,6 lat, ze składnikiem liniowym $15,61793-0,00020 t$ (rys. 11-12).



Rys. 11. Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Anglii, 1659-1973); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone, z prognozą na lata 1974-2100

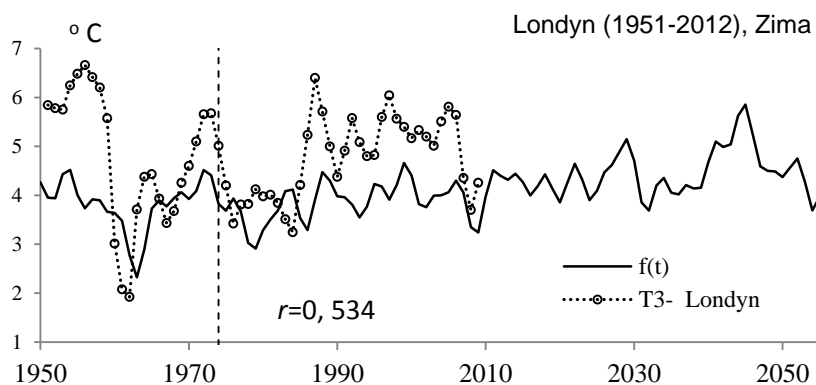
Fig. 11. Changes of mean air temperature in winter in England (1659-1973); T – measured values, $f(t)$ – calculated values, with forecast for the years 1974-2100



Rys 12. Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Anglii (1659-1973); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone, z prognozą na lata 1975-2100

Fig. 12. Changes of mean air temperature in summer in England (1659-1973); T – measured values, $f(t)$ – calculated values, with forecast for the years 1974-2100

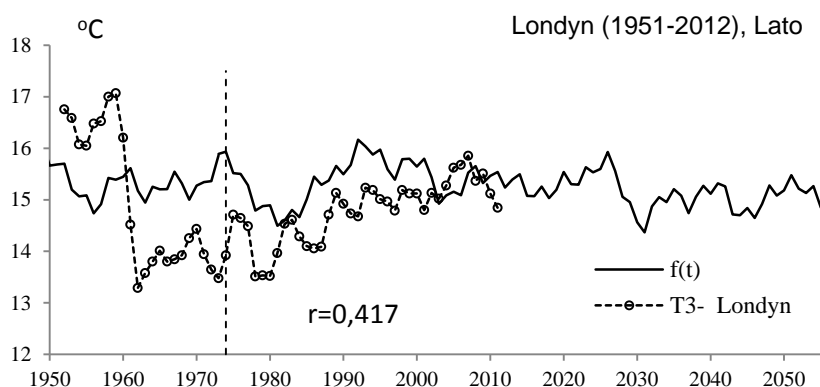
Prognozy te zweryfikowano na podstawie średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza zmierzonych w Londynie (Gatwick) w latach 1951-2012. O dość dobrej zgodności wyników pomiarów T z temperaturą prognozowaną $f(t)$ w zimie i w lecie z wyprzedzeniem 39 lat (1974-2012) świadczą synchroniczne wahania w obu seriach (koincydencja ekstremów) (rys. 13-14).



Rys. 13. Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Anglii (Londyn, 1951-2012); T_3 – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie, $f(t)$ – wartości obliczone (1659-1973), z prognozą na lata 1975-2055

Fig. 13. Changes of mean air temperature in winter in England (London, 1951-2012); T_3 – measured values, 3-year moving average, $f(t)$ – calculated values (1659-1973), with forecast for the years 1974-2055

Wiarygodność prognoz wynika także z dość dużych współczynników korelacji między wartościami zmierzonymi w Londynie (T_3) i obliczonymi według interferencji cykli temperatury $f(t)$ w środkowej Anglii: zima – $r = 0,414 > r_{0,05}$ i lato – $r = 0,317 > r_{0,10}$ ($r_{0,05} = 0,325$, $r_{0,10} = 0,275$, które są istotne na poziomie 0,05).



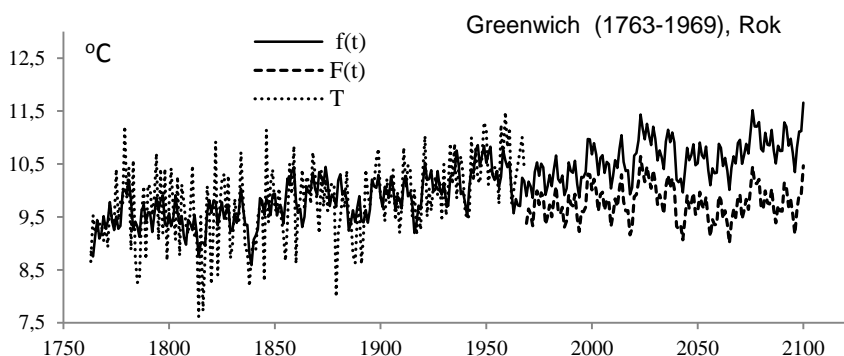
Rys. 14. Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Anglii (Londyn, 1951-2012); T_3 – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie, $f(t)$ – wartości obliczone (1659-1973), z prognozą na lata 1974-2055

Fig. 14. Changes of mean air temperature in summer in England (1951-2012); T_3 – measured values, 3-year moving average, $f(t)$ – calculated values (1659-1973), with forecast for the years 1974-2055

W przypadku średnich konsekwentnych 3-letnich wartości temperatury współczynniki korelacji są większe: zima – $r = 0,535 > r_{0,01}$ i lato – $r = 0,417 \approx r_{0,01}$ i są istotne na poziomie 0,01 ($r_{0,01} = 0,418$).

Prognozy zmian temperatury w Greenwich na lata 1970-2012 z 2007 r. (rok). Zweryfikowano także prognozy średniej rocznej temperatury powietrza (I-XII) w Greenwich w latach 1970-2100 (Stopa-Boryczka i in., 2007, str.100, rys. 3.16, rys. 3.56, tab. 3.36). Otrzymano je na podstawie interferencji cykli temperatury o okresach Θ , amplitudach b i fazach c , $f(t)$ – ze składnikiem liniowym at i $F(t)$ – gdy $at=0$ (rys. 15):

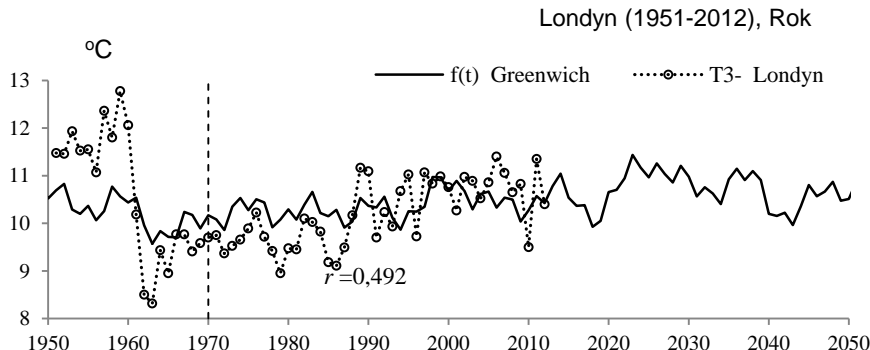
Θ lat	3,1	7,8	11,2	12,8	25,2	41,3	79,1	98,1
b °C	0,217	0,221	0,138	0,18	0,186	0,124	0,194	0,034
c	-2,315	0,164	2,866	0,434	-1,192	0,395	-2,004	-0,464



Rys. 15. Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Greenwich (1763-1969); T – wartości zmierzone, $f(t)$ i $F(t)$ – wartości obliczone, z prognozą na lata 1970-2100

Fig. 15. Changes of yearly mean air temperature in Greenwich (1763-1969); T – measured values, $f(t)$ and $F(t)$ – calculated values, with forecast for the years 1970-2100

Synchroniczne są wahania średnich rocznych (I-XII) wartości temperatury T w Londynie (Gatwick) i prognozowanych wartości $f(t)$ według cykli w Greenwich na lata (1974-2012) (rys. 16).



Rys. 16. Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Londynie (1951-2012); T_3 – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie, $f(t)$ – wartości obliczone (Greenwich, 1763-1969), z prognozą na lata 1970-2055

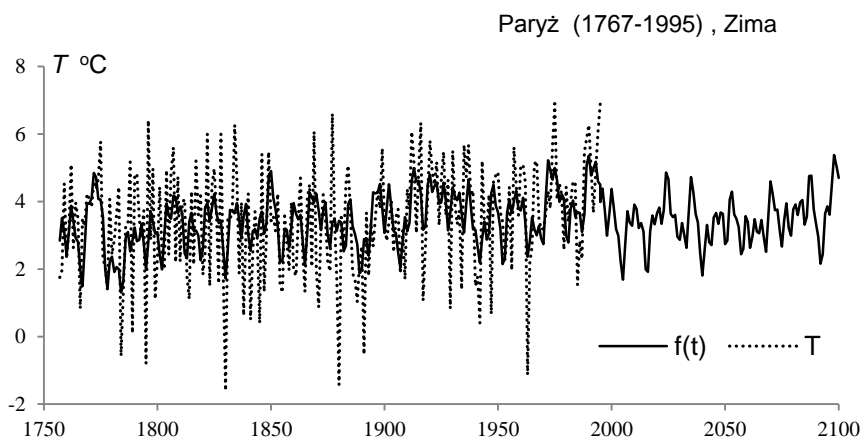
Fig. 16. Changes of yearly mean air temperature in London (1951-2012); T_3 – measure values, 3-year moving average, $f(t)$ – calculated values (Greenwich, 1763-1969), with forecast for the years 1970-2055

O trafności prognoz temperatury powietrza w Greenwich $f(t)$ świadczy przede wszystkim duży współczynnik korelacji między średnią roczną temperaturą powietrza w Londynie (T) i wartościami obliczonymi według interferencji cykli $f(t)$ temperatury w Greenwich: rok (I-XII) – $r = 0,492 > r_{0,01}$ ($n= 43$), który jest istotny na poziomie 0,01 ($r_{0,01}= 0,393$). W przypadku średnich konsekutywnych 3-letnich współczynnik korelacji jest większy: $r = 0,536 > r_{0,001}$ i jest istotny na poziomie 0,001 ($r_{0,001}= 0,489$).

Prognozy zmian temperatury w Paryżu na lata 1996-2011 z 2003 i 2005 r. (zima, styczeń). Zweryfikowano także prognozy temperatury powietrza w Paryżu w zimie (Boryczka i in., 2003, s.71, s.132, rys. 62a) i w styczniu w latach 1996-2100 (Boryczka i in., 2005, s. 73, rys. 4.22a i s. 113, rys. 4.62a) .

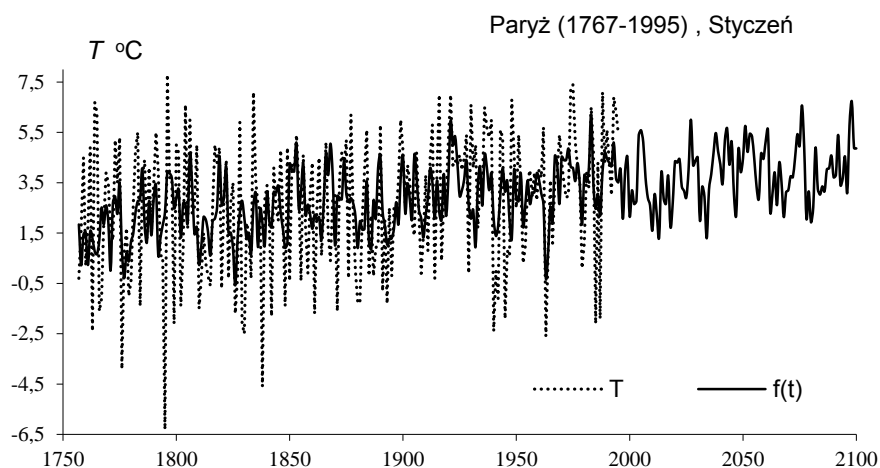
Prognozy temperatury powietrza w Paryżu w zimie i styczniu otrzymano według interferencji cykli o okresach Θ , amplitudach b i fazach (rys. 17-18):

Zima													
Θ lat	3,5	5,8	8,8	10,9	12,5	15,5	18,4	20,3	25,1	31,5	36,9	56,7	81,6
b °C	0,425	0,382	0,383	0,187	0,34	0,321	0,262	0,193	0,228	0,144	0,119	0,245	0,243
c	-0,805	1,37	-0,557	-2,217	2,536	-1,477	-0,075	-0,17	-2,292	-0,027	1,737	2,134	-1,54
Styczeń													
Θ lat	2,6	3,1	5,5	7,7	11,6	17,0	25,3	62,4					
b °C	0,615	0,587	0,579	0,685	0,619	0,554	0,343	0,502					
c	-2,6708	-2,8987	-1,6426	-1,4399	2,5753	1,4406	1,3910	2,8407					



Rys. 17. Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Paryżu (1767 – 1995); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone, z prognozą na lata 1996-2100

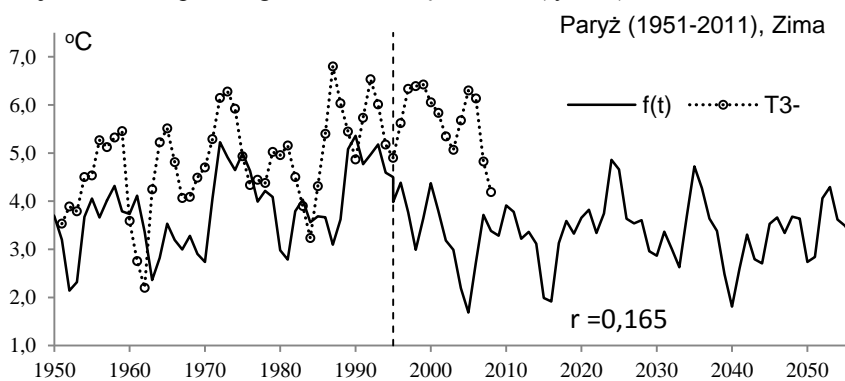
Fig. 17. Changes of air temperature in winter in Paris (1767 – 1995; T – measured values, $f(t)$ – calculated values, with forecasts for the years 1996-2100



Rys. 18. Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Paryżu (1767-1995); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone (ze składnikiem liniowym), z prognozą na lata 1996-2100

Fig. 18. Changes of mean air temperature in January in Paris (1767 -1995); T – measured values, $f(t)$ – calculated values (including the linear component), with forecasts for the years 1996-2100

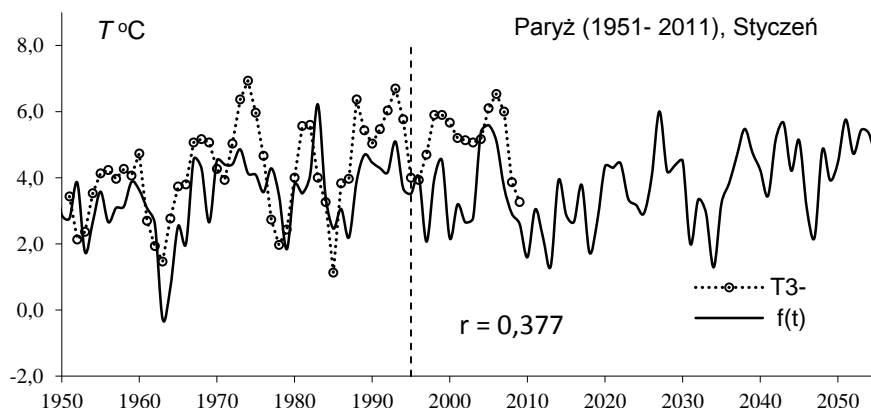
Prognozy te zweryfikowano na podstawie średnich wartości temperatury powietrza w zimie i styczniu zmierzonych w Paryżu (Montsouris) w latach 1951-2011. Oceną zgodności wyników pomiarów T z prognozowaną temperaturą powietrza $f(t)$ w zimie są porównania ich 16-letnich przebiegów (1996-2011). Mimo małego współczynnika korelacji $r = 0,165$, przebiegi wieloletnie są zbliżone (rys. 19).



Rys. 19. Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Paryżu (1951-2011); T_3 – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie, $f(t)$ – wartości obliczone (1767-1995), z prognozą na lata 1996-2055

Fig. 19. Changes of mean air temperature in winter in Paris (1951-2011); T_3 – measured values, 3-year moving average, $f(t)$ – calculated values (1767-1995), with a forecasts for the years 1996-2100

W styczniu zaś wahania zmierzonych wartości T_3 i prognozowanych $f(t)$ z wyprzedzeniem 16 lat są na ogół zbieżne w czasie. Współczynnik korelacji $r = 0,377$ wartości zmierzonych T_3 jest zbliżony do wartości krytycznej $r_{0,1} = 0,426$ na poziomie istotności 0,10 (rys. 20).



Rys. 20. Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Paryżu (1951-2011); T_3 – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie, $f(t)$ – wartości obliczone (1767-1995), z prognozą na lata 1996-2055

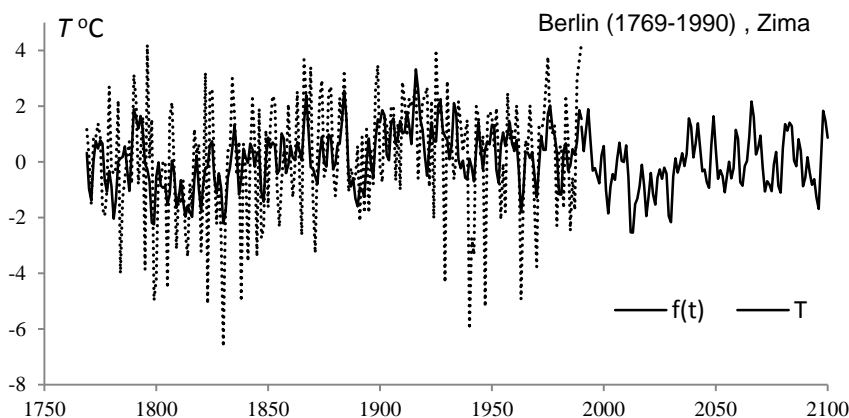
Fig. 20. Changes of air temperature in January in Paris (1951-2011); T_3 – measured values, 3-year moving average, $f(t)$ – values calculated (1767-1995), with forecasts for the years 1996-2055

Prognozy zmian temperatury w Berlinie na lata 1991-2012 z 2003 r. (zima, lato). Najpierw zweryfikowano prognozy temperatury powietrza w Berlinie w zimie (XII-II) i lecie (VI-VIII) w latach 1974-2100 (Boryczka i in., 2003, s. 54, rys. 5a-5b, s. 98-99, rys. 45a-45b), a następnie w styczniu i lipcu (Boryczka i in., s. 56 i s. 96) oraz roku (I-XII) (Stopa-Boryczka i in., 2007, str.78 – rys. 3.13 i s. 99 – rys. 3.53, s. 118 – tab. 3.33).

Prognozy temperatury powietrza w Berlinie w zimie i lecie otrzymano według interferencji cykli o okresach Θ , amplitudach b i fazach (rys. 21-22)

Zima

Θ lat	3,5	5,5	8,3	10,2	15,4	18,3	22,5	26,7	32,0	41,1	66,3	212,8
b °C	0,566	0,490	0,517	0,315	0,502	0,299	0,271	0,168	0,071	0,331	0,459	0,556
c	-0,909	-1,612	1,753	2,725	-0,284	2,962	-2,726	-0,117	2,753	-1,813	1,959	1,648

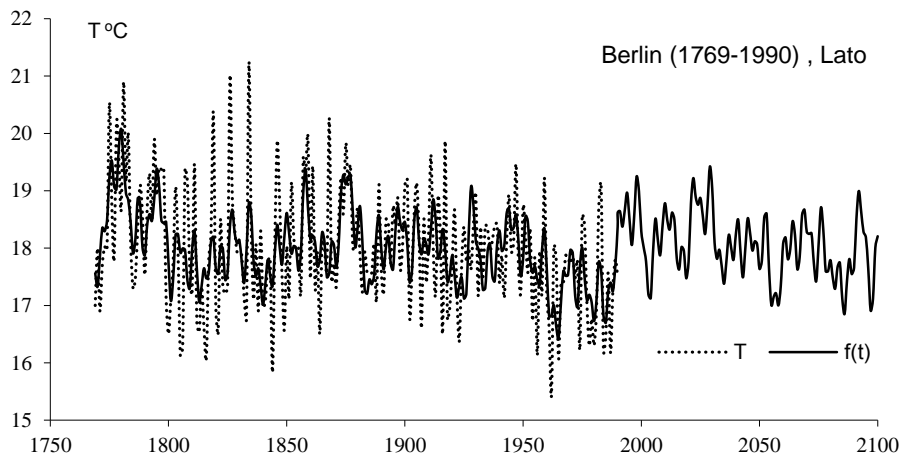


Rys. 21. Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Berlinie (1769-1990); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2100

Fig. 21. Changes of mean air temperature in winter in Berlin (1769-1990); T – measured values, $f(t)$ – calculated values, with a forecasts for the years 1991-2100

Lato

Θ lat	3,9	5,9	7,8	10,2	13,6	16,6	19,4	24,2	27,8	30,9	40,8	54,2	76,2	131,2
b °C	0,348	0,200	0,283	0,158	0,225	0,216	0,214	0,219	0,088	0,069	0,214	0,115	0,203	0,232
c	-0,443	2,270	0,025	1,018	2,485	0,964	-2,364	-1,762	-2,958	3,084	3,125	2,082	-1,232	-1,194



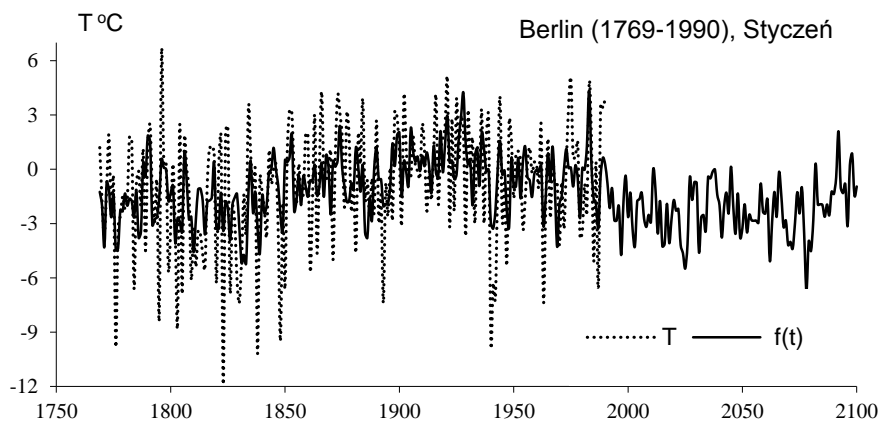
Rys. 22. Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Berlinie (1769-1990); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone (1769-1990), z prognozą na lata 1991-2100

Fig. 22. Changes of mean air temperature in summer in Berlin (1769-1990); T – measured values, $f(t)$ – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100

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 (koincydencja ekstremów) (rys. 23-24). Współczynnik korelacji $r = 0,384$ wartości zmierzonych T_3 i prognozowanych $f(t)$ jest istotny na po-

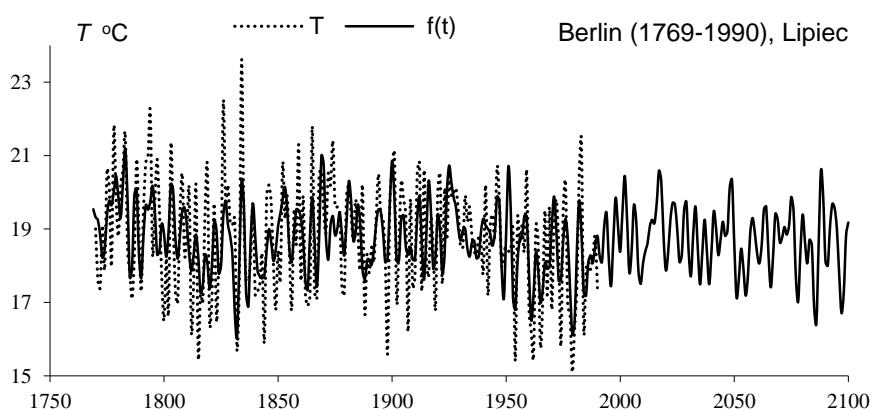
b °C	0,909	0,689	0,629	0,489	0,971	0,840	0,619	0,712	1,317
c	-2,589	-2,901	-1,763	1,833	-1,208	-1,449	2,265	-0,693	0,839

		Lipiec										
Θ lat	3,9	4,3	5,1	5,9	6,2	6,5	8,2	11,1	14,8	24,1	73,5	136,1
b °C	0,494	0,407	0,495	0,433	0,302	0,295	0,286	0,262	0,375	0,347	0,293	0,340
c	-0,367	-2,547	-2,242	2,172	-2,738	0,578	2,649	-1,729	0,074	2,478	-0,536	1,747



Rys. 25. Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Berlinie (1769-1990); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone (1769-1990), z prognozą na lata 1991-2100

Fig. 25. Changes of mean air temperature in January in Berlin (1769-1990); T – measured values, $f(t)$ – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100

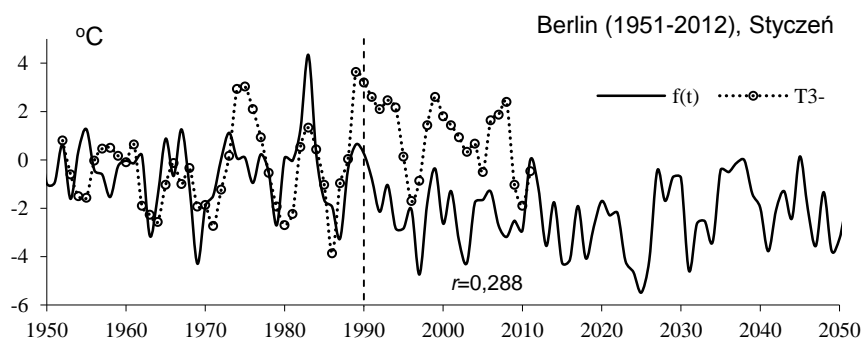


Rys. 26. Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Berlinie (1769-1990); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone (1769-1990), z prognozą na lata 1991-2100

Fig. 26. Changes of mean air temperature in July in Berlin (1769-1990); T – measured values, $f(t)$ – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100

Prognozy temperatury powietrza w Berlinie w styczniu i lipcu zweryfikowano na podstawie średnich miesięcznych wartości zmierzonych w latach 1951-2012. O częściowej zgodności wartości zmierzonych (średnich konsekwentnych 3-letnich T_3) z prognozowanymi $f(t)$ w styczniu w latach 1991-2012 świadczy koincydencja niektó-

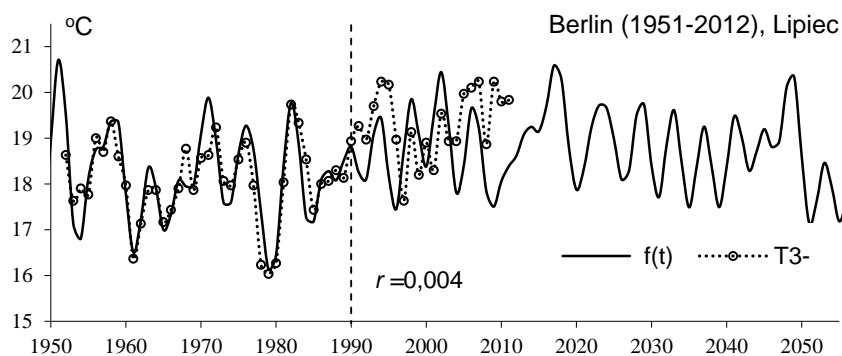
rych ekstremów) (rys. 27). Współczynnik korelacji $r = 0,288$ wartości zmierzonych T_3 z prognozowanymi $f(t)$ jest nieco mniejszy od wartości krytycznej $r_{0,10} = 0,360$ (na poziomie 0,10).



Rys. 27. Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Berlinie (1951-2012); T_3 – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie., $f(t)$ – wartości obliczone (1769-1990), z prognozą na lata 1991-2055
Fig. 27. Changes of mean air temperature in January in Berlin (1951-2012); T_3 – measured values, 3-year moving averages, $f(t)$ – calculated values (1769-1990), with forecasts for the years 1991-2055

Współczynnik korelacji między zmierzonymi średnimi miesięcznymi wartościami temperatury (T) i prognozowanymi $f(t)$ w latach 1991-2012 wynosi $r = 0,183$. Po wprowadzeniu średnich konsekwentnych 3-letnich (T_3) współczynnik korelacji maleje do zera.

Na uwagę zasługuje także widoczna „równoległość” przebiegów średnich ruchomych 3-letnich zmierzonych wartości T_3 w lipcu i prognozowanych $f(t)$, przy zbliżonym do zera współczynniku korelacji $r = 0,004$ (rys. 28).

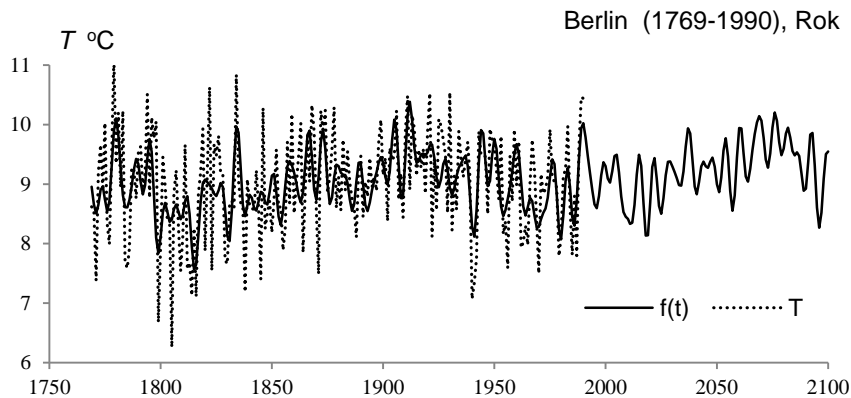


Rys. 28. Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Berlinie (1951-2012); T_3 – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie., $f(t)$ – wartości obliczone (1769-1990), z prognozą na lata 1991-2055
Fig. 28. Changes of mean air temperature in July in Berlin (1951-2012); T_3 – measured values, 3-year moving averages, $f(t)$ – calculated values (1769-1990), with forecasts for the years 1991-2055

**Prognozy zmian temperatury w Berlinie na lata 1991-2012 z 2007 r.
(rok)**

Zweryfikowano także prognozy średniej rocznej temperatury powietrza (I-XII) w Berlinie w latach 1970-2100 (Stopa-Boryczka i in., 2007). Otrzymano je na podstawie interferencji cykli temperatury o okresach Θ , amplitudach b i fazach c (rys. 29-30):

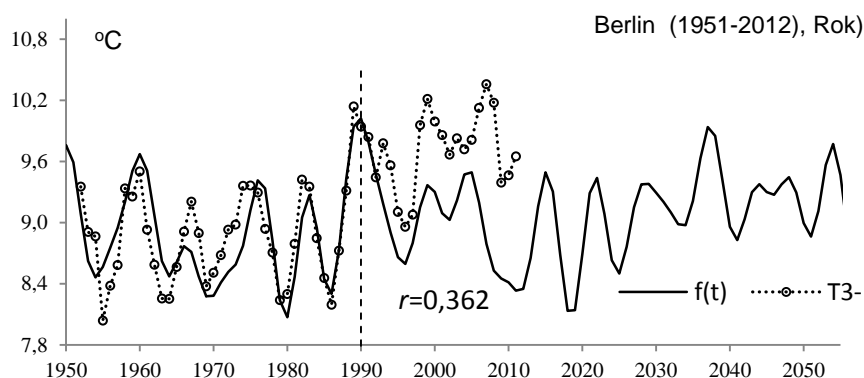
	Rok									
Θ lat	5,5	6,5	7,8	11,2	12,9	14,0	15,2	41,2	71,9	170,4
b °C	0,2245	0,1669	0,3646	0,1400	0,1438	0,1662	0,1355	0,2462	0,1324	0,2760
c	-1,5519	1,0122	0,2263	2,6624	0,7857	0,9752	1,7727	-0,8792	-3,0810	0,4297



Rys. 29. Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Berlinie (1769-1990); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2100

Fig. 29. Changes of yearly mean air temperature in Berlin (1769-2990); T – measured values, $f(t)$ – calculated values, with forecasts for the years 1991-210

O trafności prognoz średniej rocznej temperatury powietrza w Berlinie $f(t)$ świadczy przede wszystkim dość duży współczynnik korelacji $r = 0,362$ między zmierzoną średnią roczną konsekwentną 3-letnią temperaturą powietrza (T_{3-}) i obliczoną $f(t)$ według interferencji cykli, który jest istotny na poziomie 0,10 ($r_{0,10} = 0,360$, $n = 22$) (rys. 30).



Rys. 30. Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Berlinie (1951-2012); T_3 – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie, $f(t)$ – wartości obliczone (1769-1990, z prognozą na lata 1991-2055)

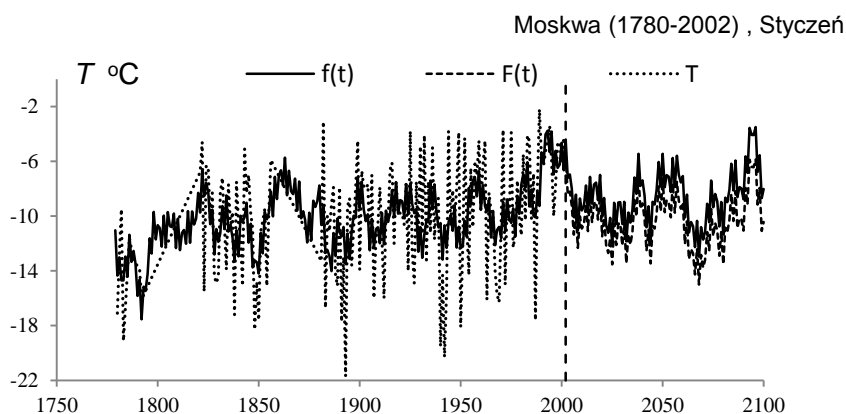
Fig. 30. Changes of yearly mean air temperature in Berlin (1951-2012); T_3 – measured values, 3-year moving average, $f(t)$ – calculated values (1769-2990, with forecasts for the years 1991-2055)

O poprawności prognoz świadczą też synchroniczne wahania (koincydencja minimumów i maksimumów) w przebiegu wieloletnim (1991-2012) średnich rocznych wartości temperatury T_3 i prognozowanych $f(t)$.

Prognozy zmian temperatury w Moskwie na lata 2003-201 z 2005 i 2007 r. (styczeń, rok) . 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). i średniej rocznej (Stopa-Boryczka i in., 2007, s. 82 – rys. 257, s. 82 – rys. 3.26, s. 105 – rys.3.56, s. 121 – tab. 3.46).

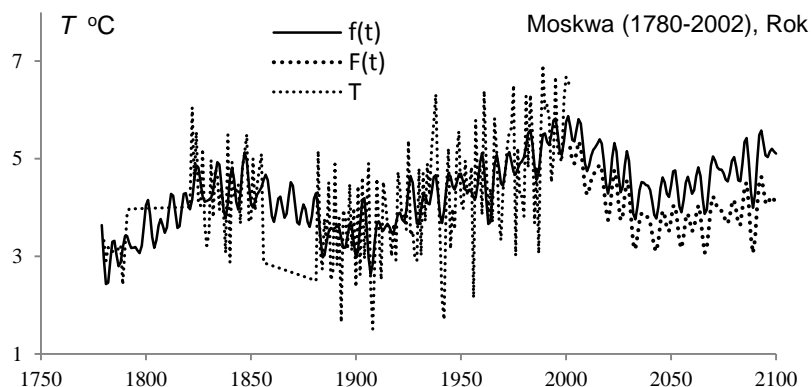
Temperaturę powietrza w Moskwie prognozowano na podstawie interferencji cykli o okresach Θ , amplitudach b i fazach c , $f(t)$ – ze składnikiem liniowym $at, \neq 0$, $F(t)$ – gdy $at = 0$ (rys. 31-32):

		Styczeń								
Θ lat		2,4	9,3	11,4	19,5	31,9	45,5	59,9	85,4	136,9
B °C		1,2791	0,7953	0,8650	1,0882	0,7486	1,0042	0,8813	0,4547	0,8426
c		0,2538	0,4555	2,8932	-1,0722	-1,1346	1,6836	0,2365	-1,1146	-1,9512
		Rok (I-XII)								
Θ lat		5,7	7,0	7,9	11,3	25,1	60,2	79,0	152,3	
b °C		0,263	0,189	0,192	0,233	0,097	0,121	0,200	0,618	
c		1,7352	1,8224	1,5992	-0,6399	-2,7457	0,2890	-0,8028	1,3101	



Rys. 31. Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Moskwie (1780-2002); T – wartości zmierzone, $f(t)$ i $F(t)$ – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

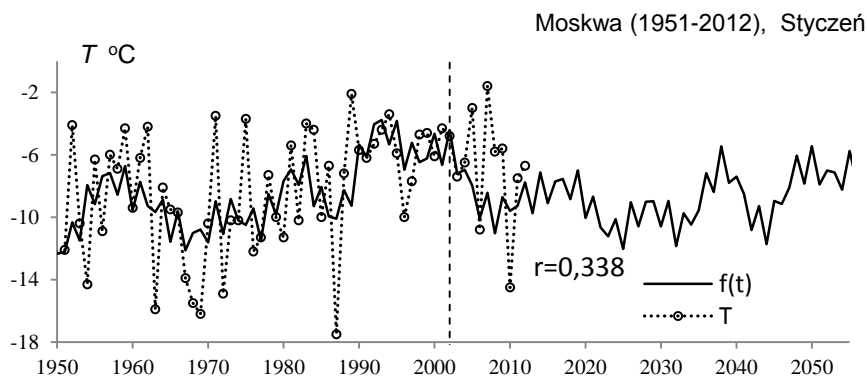
Fig. 31. Changes of mean air temperature in January in Moscow (1780-2002); T – measured values, $f(t)$ and $F(t)$ – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100



Rys. 32. Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Moskwie (1780-2002); T – wartości zmierzone, $f(t)$ i $F(t)$ – wartości obliczone (1780-2002); z prognozą na lata 2003-2100

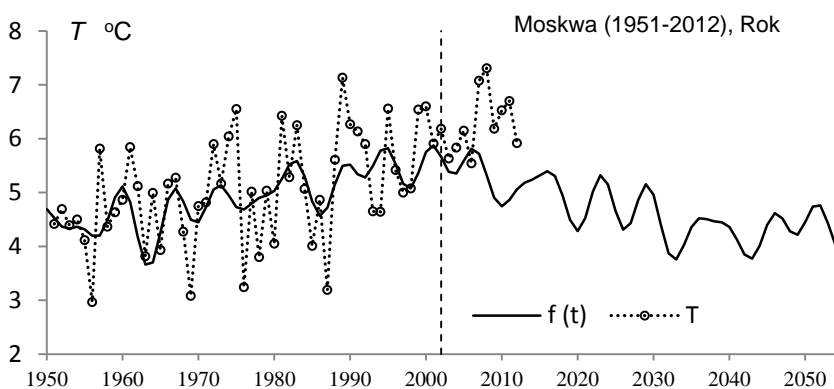
Fig. 32. Changes of yearly mean air temperature in Moscow (1780-2002); T – measured values, $f(t)$ and $F(t)$ – calculated values (1780-2002); with forecasts for the years 2003-2100

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 $f(t)$ (rys. 33 i 34). Ze względu na małą liczbę przypadków $n = 10$ nie można ocenić istotności statystycznej współczynnika korelacji $r = 0,338$. Traci też sens obliczanie średniej ruchomej 3-letniej, gdyż wtedy otrzymuje się ujemną wartość r .



Rys. 33. Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Moskwie (1951-2012); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2055

Fig. 33. Changes of mean air temperature in January in Moscow (1951-2012); T – measured values, $f(t)$ – calculated values, with forecasts for the years 2003-2055



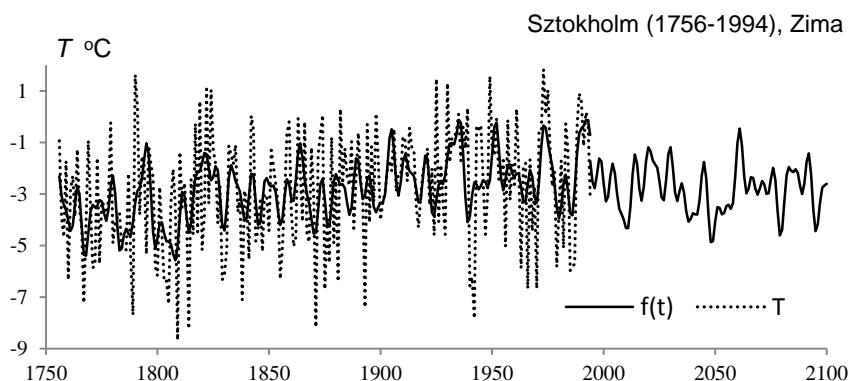
Rys. 34. Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Moskwie (1951-2012); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone (1780-2002); z prognozą na lata 2003-2055

Fig. 34. Changes of yearly mean air temperature in Moscow (1951-2012); T – measured values, $f(t)$ – calculated values (1780-2002); with forecasts for the years 2003-2055

Prognozy zmian temperatury w Sztokholmie na lata 1995-2012 z 2003 i 2007 r. (zima, rok). Zweryfikowano prognozy temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1974-2100 w zimie (Boryczka i in., 2003, s. 79, rys. 30a , s.148, rys.70a) i w roku (I-XII) (Stopa-Boryczka i in. , 2007, s.. 86 – rys. 3.38 , s. 118 – rys.3.78 i s.124 – tab. 3.58).

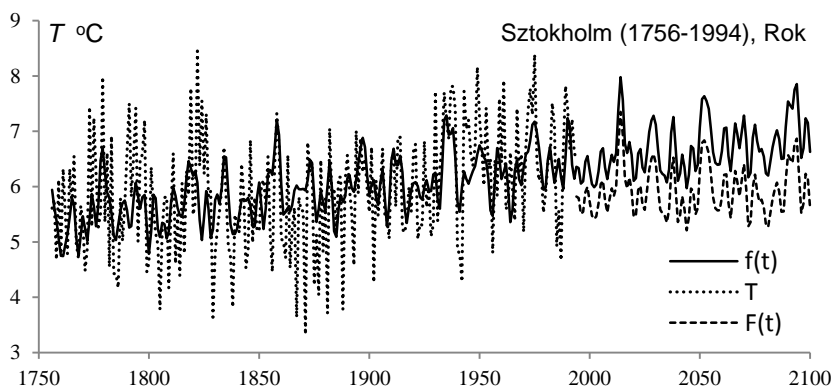
Temperaturę powietrza w Sztokholmie prognozowano na podstawie interferencji cykli o okresach θ , amplitudach b i fazach c , $f(t)$ – ze składnikiem liniowym $at \neq 0$, $F(t)$ – gdy $at = 0$ (rys. 35-36):

		Zima												
Θ lat		5,2	7,8	10,0	14,0	17,9	19,7	22,2	29,0	34,3	39,7	50,4	60,8	86,3
b °C		0,522	0,659	0,321	0,525	0,242	0,278	0,581	0,273	0,311	0,256	0,046	0,135	0,278
c		-0,568	0,577	-0,260	0,839	0,609	0,732	1,852	2,700	0,427	1,417	0,761	1,031	-0,173
		Rok												
Θ lat		4,0	4,7	7,8	11,4	13,0	19,6	39,3	79,4					
b °C		0,1953	0,2203	0,2943	0,1605	0,2472	0,2574	0,2043	0,0325					
c		-1,81314	-1,55013	0,33684	2,39709	2,04447	-2,68451	-0,54380	-1,34921					



Rys. 35. Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Sztokholmie (1756-1994); T – wartości zmierzone , $f(t)$ – wartości obliczone, z prognozą na lata 1995-22100

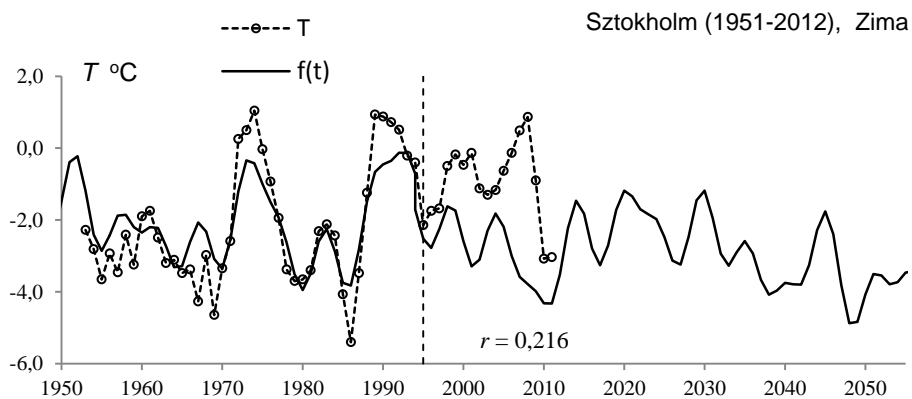
Fig. 35. Changes of mean air temperature in winter in Stockholm (1756-1994); T – measured values, $f(t)$ – calculated values, with forecasts for the years 1995-2100



Rys. 36. Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Sztokholmie (1756-1994); T – wartości zmierzone, $f(t)$ i $F(t)$ – wartości obliczone, z prognozą na lata 1995-2100

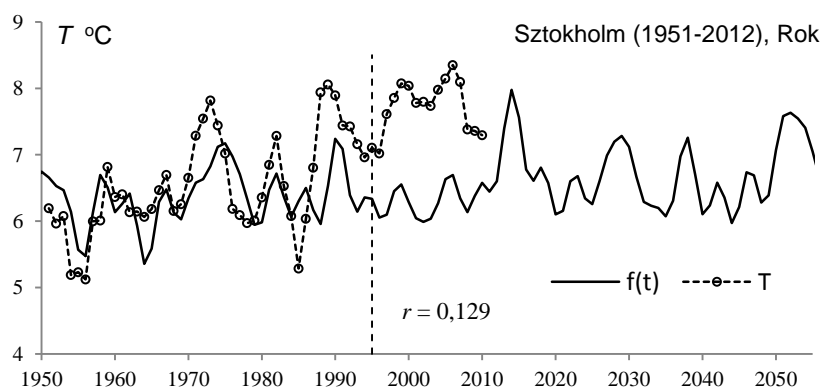
Fig. 36. Changes yearly mean air temperature in Stockholm (1756-1994); T – measured values, $f(t)$ and $F(t)$ – calculated values, with forecasts for the years 1995-2055

Prognozy temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1995-2012 w zimie i roku zweryfikowano, porównując zmierzone średnie miesięczne wartości temperatury (T) z prognozowanymi $f(t)$. Współczynniki korelacji $r = 0,216$ w całym przedziale 1995-2012 nie jest istotny statystycznie na poziomie $< 0,10$, bowiem $r_{0,10} = 0,400$ ($n = 18$) (rys. 38). Na uwagę natomiast zasługują synchroniczne wahania (koincydencja minimów i maksimów) zmierzonych wartości temperatury powietrza w zimie (T) i prognozowanej $f(t)$, mimo małego współczynnika korelacji $r = 0,216$. Koincydencja ekstremów zmierzonych wartości temperatury (T) i prognozowanych $f(t)$ występuje także w przypadku średniej rocznej przy jeszcze mniejszym współczynniku korelacji $r = 0,129$ (rys. 37-38)



Rys. 37. Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Sztokholmie (1951-2012); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone (1756-1994), z prognozą na lata 1995-2055

Fig. 37. Changes of air temperature in winter in Stockholm (1951-2055); T – measured values, $f(t)$ – calculated values (1756-1994), with forecasts for the years 1995-2055



Rys. 38. Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Sztokholmie (1951-2012); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone (1756-1994), z prognozą na lata 1995-2055

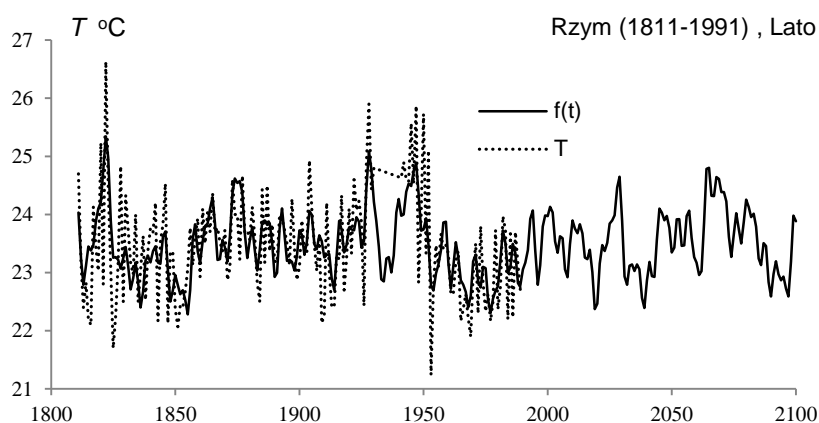
Fig. 38 Changes of yearly mean air temperature in Stockholm (1951-2055); T – measured values, $f(t)$ – calculated values (1756-1994), with forecast for the years 1995-2055

Prognozy zmian temperatury w Rzymie na lata 1992-2012 z 2003 i

2005 r. (lato, lipiec). Najpierw zweryfikowano prognozy temperatury powietrza w lecie (VI-VIII) w latach 1991-2100 (Boryczka i in. , 2003, s. 75, rys. 26b , s.141, rys. 66b), a następnie w lipcu (Boryczka i in., 2005, s. 77, rys. 4.26b, s. 116, rys. 4.65b).

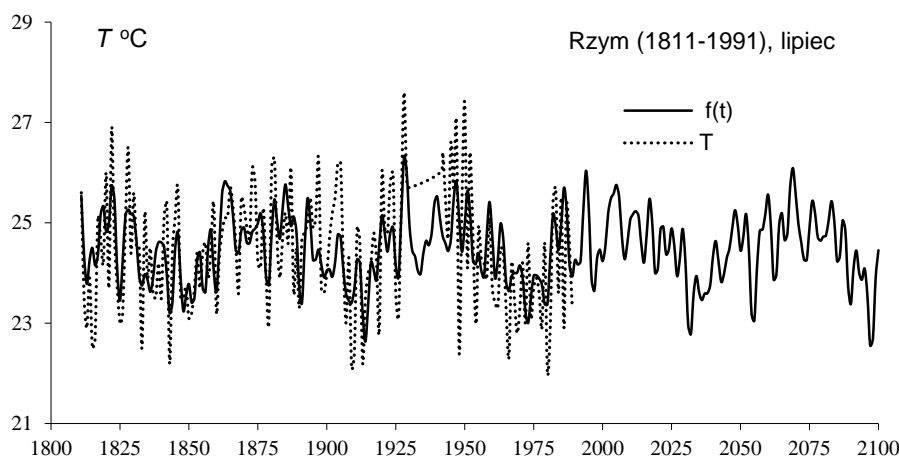
Temperaturę powietrza w Rzymie w latach 1992-2100 prognozowano na podstawie interferencji cykli o okresach θ , amplitudach b i fazach c (rys. 39-40):

	Lato											
θ lat	3,9	5,9	7,1	9,0	10,7	13,8	17,2	20,5	25,6	40,3	64,6	139,5
b oC	0,251	0,245	0,137	0,176	0,206	0,239	0,233	0,260	0,174	0,125	0,361	0,244
c	-0,2396	2,5537	-3,0935	-0,6827	0,2037	2,2730	1,3368	2,2829	0,7964	-0,8881	1,4231	3,1246
	Lipiec											
θ lat	3,9	4,4	5,9	8,2	9,2	10,9	20,2	30,7	64,1			
b °C	0,329	0,234	0,374	0,212	0,285	0,298	0,288	0,229	0,540			
c	-0,3474	-0,4097	2,3726	0,5529	3,0476	2,0734	-0,1036	-2,7553	-0,1702			



Rys. 39. Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Rzymie (1811-1991); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone, z prognoza na lata 1992-2100

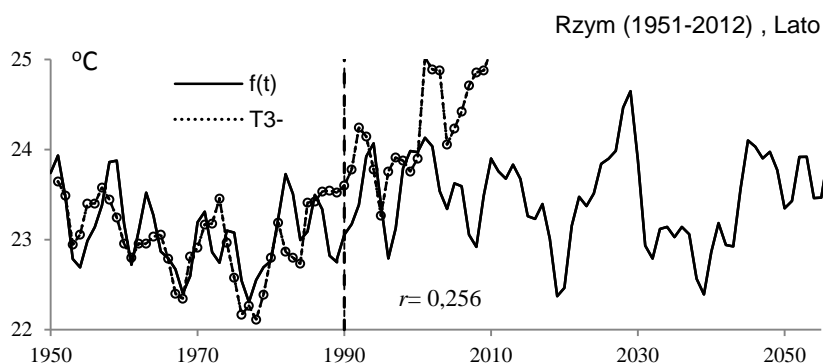
Fig. 39. Changes of mean air temperature in summer in Rome (1811-1991); T – measured values, $f(t)$ – calculated values , with forecasts for the years 1992-2100



Rys. 40. Zmiany (1811-1991) temperatury powietrza w lipcu w Rzymie (1811-1991); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone, z prognozą na lata 1992-2100

Fig. 40. Changes of mean air temperature in Rome in July (1811-1991); T – measured values, $f(t)$ – calculated values, with forecasts for the years 1992-2100

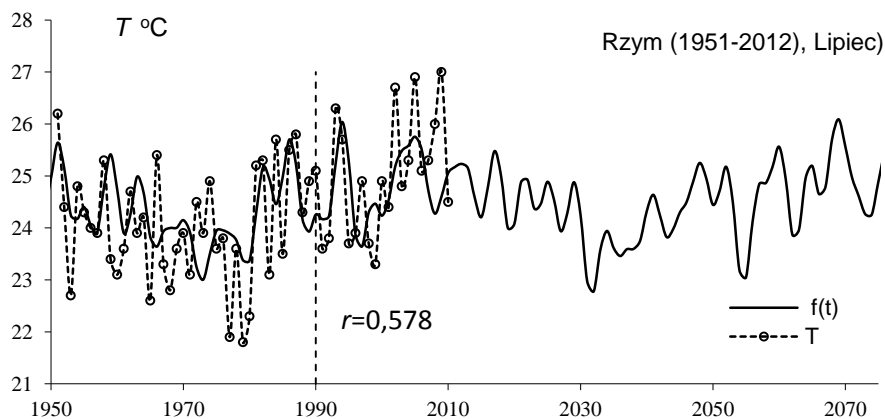
Prognozy te zweryfikowano na podstawie średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza zmierzonych w latach 1951-2012. Wahania wartości zmierzonych T_3 w lecie i prognozowanych $f(t)$ są podobne, jednak współczynnik korelacji między T_3 i $f(t)$ jest mały ($r = 0,236$) (rys. 41).



Rys. 41. Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Rzymie w lecie (1951-2012); T_3 – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie, $f(t)$ – wartości obliczone (1811-1991), z prognozą na lata 1992-2055

Fig. 41. Changes of mean air temperature in summer in Rome (1951-2012); T_3 – measured values, 3-year moving average, $f(t)$ – calculated values (1811-1991), with forecasts for the years 1992-2055

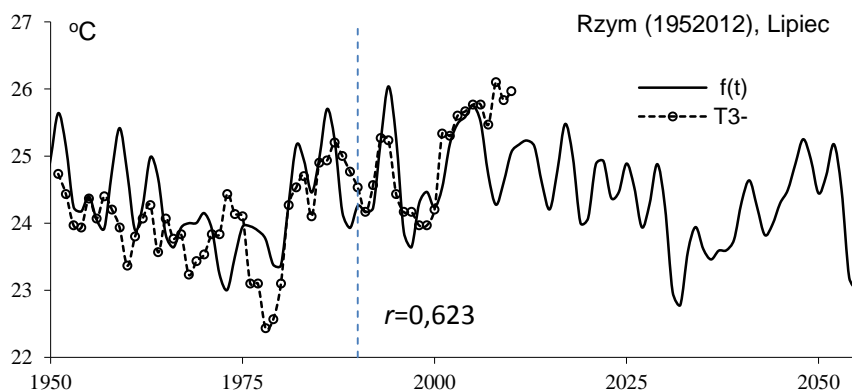
Wahania zmierzonych średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w lipcu (T) i prognozowanych $f(t)$ z wyprzedzeniem 23 lat (1990-2012) są na ogół zbieżne w czasie. Współczynnik korelacji $r = 0,578$ wartości zmierzonych T i prognozowanych $f(t)$ jest większy od wartości krytycznej $r_{0,01} = 0,537$ na poziomie 0,01 (rys. 42).



Rys. 42. Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Rzymie (1951-2012); T – wartości zmierzone, $f(t)$ – wartości obliczone (1811-1991), z prognozą na lata 1992-2055

Fig. 42. Changes of mean air temperature in July in Rome (1951-2012); T – measured values, $f(t)$ – calculate values (1811-1991), with forecasts for the years 1992-2055

Jeszcze lepsza jest koincydencja ekstremów między średnimi konsekwentnymi 3-letnimi wartościami temperatury powietrza w lipcu w Rzymie w latach 1990-2012 i prognozowanymi $f(t)$. 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. 43).



Rys. 43. Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Rzymie w lipcu (1951-2100) T_3 – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie, $f(t)$ – wartości obliczone (1811-1991), z prognozą na lata 1992-2055

Fig. 43. Changes of air temperature in Rome in July (1951-2100) T_3 – measured values, 3-year moving average $f(t)$ – calculated values (1811-1991), with forecasts for the years 1992-2055

Wnioski

Synchroniczność wahań zmierzonych wartości temperatury powietrza i prognozowanych w Warszawie i innych miejscach Europy (środkowa Anglia, Greenwich, Londyn, Paryż, Berlin, Moskwa, Sztokholm i Rzym) z wyprzedzeniem wielu lat (w Warszawie na lata 1984-2014) świadczy o poprawności zastosowanych metod badań okresowości i prognozowania:

- Koincydencja ekstremów zmierzonych (T_3 , średnich konsekwentnych 11-letnich) i prognozowanych $f(t)$ wartości temperatury powietrza w tych miejscowościach daje podstawę do pozytywnej oceny metody „sinusoid regresji” wyznaczania okresów oraz zastosowanej w prognozach interferencji cykli.
- Z przeprowadzonej weryfikacji wynika, że najbardziej wiarygodne są prognozy temperatury powietrza uwzględniające interferencję długich cykli, ok. 100- i 180-letnich, wyznaczonych także na podstawie niezbyt długich – dwuwiekowych serii wyników pomiarów.
- Obecnie, po 35 latach okazało się, że cykle ok. 100- i 180-letnie można było dawniej, w rekonstrukcji i prognozach, ekstrapolować poza przedział aproksymacji (poza długość serii pomiarów). Teraz wiadomo, że te długie cykle ok. 100- i 180-letnie są obecne w kilkusetletnich ciągach szerokości słoju drzew rosnących w Europie.
- Duża rozbieżność długości cykli ok. 100- i 180-letnich w różnych miastach Europy zależy nie tylko od serii pomiarów temperatury (od miejsca obserwacji), lecz także od ustalania lokalnych minimów (t_{\min}) widma według warunku $\frac{\partial \varepsilon^2}{\partial t} = 0$, w pobliżu których (w ich otoczeniu kilkunastu lat) małe (zbliżone do zera) są przyrosty wariancji resztkowej ε^2 .
- Według zweryfikowanych prognoz zmian temperatury powietrza w Warszawie i innych miastach Europy można oczekiwać znacznego ochłodzenia klimatu w połowie XXI wieku
- Nadal nie są dobrze znane mechanizmy fizyczne oddziaływań czynników astronomicznych (Słońca, innych planet, planetoid) na klimat Ziemi. Nie wiadomo też, jaka część postępującego ocieplenia klimatu jest spowodowana przez czynniki naturalne (mniejszą aktywność Słońca, spadek zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze), a jaka przez czynniki antropogeniczne (wzrost emisji CO₂).

Literatura

- Boryczka, J. 1984, *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu*, Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego, Wyd. UW, Warszawa, ss. 272
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kicińska B., Żmudzka E., 1992, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. VII, *Zmiany wiekowe klimatu Polski* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 438.
- Boryczka J., 1998, *Zmiany klimatu Ziemi*, Wyd. Wyd. Akademickie DIALOG, Warszawa
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Lorenc H., Kicińska B., Błażek E., Skrzypczuk J., 2000, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XIV, *Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 300.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Kirschenstein M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2003, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XVII, *Mroźne zimy i upalne lata w Polsce* (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 297.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Pietras K., Bijak S., Błażek E., Skrzypczuk J., 2005, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XIX, *Cechy termiczne klimatu Europy* (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 184
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2012 a, *Verification forecasts concerning of periodic changes in the climate of Warsaw in the period*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteo-*

- rologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXVIII pt. *Stan zanieczyszczenia atmosfery w Warszawie i innych miastach Polski*, Wyd. UW, s.431-451
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2012 b, *Verification of forecasts of periodic changes in the climate of Warsaw in the period 1779-2010*, *Miscellanea Geographica*, t.16, 16-22.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2012 c, *Weryfikacja prognoz okresowych zmian temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2010*, *Prz. Geof.*, 57, 3-4, 343-362.
- Lamb HH., 1974, *Volcanic dust in the atmosphere with a chronology and assessment of meteorological*, *Phil. Transactions Roy. Soc.*, 226.
- Manley G., 1974, *Central England temperatures: monthly means 1659 to 1973*, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 100.
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Bijak Sz., Cebulski R., Błażek E., Skrzypczuk, J., 2007, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych*, t. XX-XXI, *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych*, Wyd. UW, Warszawa, ss. 266

Streszczenie

Zweryfikowano prognozy klimatu powstałe w Zakładzie Klimatologii UW, na podstawie najdłuższych w danym czasie serii obserwacyjnych w Europie: Warszawa (1779-1979), środkowa Anglia (1660-1973), Greenwich (1763-1969), Paryż (1757-1995), Berlin (1769-1990), Moskwa (1780-2002), Sztokholm (1756-1994), Rzym (1811-1989). Porównano zmierzone wartości temperatury powietrza (T) w latach 1951-2012 z prognozowanymi $f(t)$ z wyprzedzeniem wieloletnim (w Warszawie 35 lat, 1951-2014). Dobrą sprawdzalnością cechują się prognozy temperatury powietrza w Warszawie na lata 1980-2010 i 1991-2010 z lat 1984 i 2000, według cykli wykrytych metodą „sinusoid regresji” w seriach wyników pomiarów. Ta pozytywna ocena prognoz wynika z synchronicznych przebiegów wieloletnich wartości zmierzonych i obliczonych (wypadkowa interferencji cykli), a także z istotnej statystycznie korelacji T i $f(t)$ na poziomie 0,05. Synchroniczność wahań zmierzonych wartości temperatury powietrza i prognozowanych w Warszawie i innych miejscach Europy świadczy o poprawności metody „sinusoid regresji” wyznaczania cykli zastosowanej w prognozach (interferencji).

Słowa kluczowe: temperatura powietrza, sinusoida regresji, okres, interferencja, prognozy, weryfikacja

Summary

This paper offers a verification of the climate forecasts developed at the Department of Climatology of the University of Warsaw as part of a series of observations in Europe: Warsaw (1779-1979), Central England (1660-1973), Greenwich (1763-1969), Paris (1757-1995), Berlin (1769-1990), Moscow (1780-2002), Stockholm (1756-1994) and Rome (1811-1989). The air temperatures (T) recorded in 1951-2010 were compared with those predicted $f(t)$, i.e. 31, 43 and 20 years in the future. Accurate predictions of air temperatures in Warsaw in 1980-2012 and 1991-2010 from 1984 and 2000 were obtained by using the cycles identified by applying the sinusoidal regression method to a series.. The good accuracy of these forecasts is a result of a similar progression of measured and forecast values over a number of years. The synchronicity of air temperature fluctuations in Europe and forecasted, corroborated the correctness of the applied research methods and periodic forecasts concerning the climate changes. The longest cycles of air temperatures over approximately 100- and 180-year periods determined on the basis of a not very long measurement series, also proved reliable; they are still present in the chronological sequences of the ring widths of some trees growing in Europe .

Key words: air temperature, regression sinusoid, period, interference, forecast, verification

5.2. Weryfikacja prognoz okresowych zmian opadów atmosferycznych w Polsce w latach 1813-2010

Verification of forecasts of periodic changes precipitation of Warsaw in the period 1779-2010

Jerzy Boryczka, Maria Stopa-Boryczka, Urszula Kossowska-Cezak, Jolanta Wawer

Cykle temperatury i opadów atmosferycznych są wywołane przede wszystkim ruchem obiegowym Ziemi wokół Słońca ($\Theta = 1$ rok) i cyklami aktywności Słońca: około 11 lat, 100 lat i 180 lat oraz cyklem 22 lat pola magnetycznego plam słonecznych i 18,6 lat precesji-nutacji osi Ziemi. Cykle te są zbliżone do okresów zmian parametrów Układu Słonecznego.

Interferencja wyznaczonych cykli aktywności Słońca, opadów atmosferycznych i szerokości słoii drzew umożliwiły rekonstrukcję i prognozę zmian opadów atmosferycznych w Warszawie w XXI wieku. W prognozach opadów przyjęto założenie, że wykryte w seriach pomiarowych okresy krótkie, a przede wszystkim długie (zbliżone do cykli aktywności Słońca) będą powtarzać się nadal.

Ekstrema cyklu 180-letniego (zbliżonego do długości serii instrumentalnych) wielokrotnie powtarzają się w ciągach dendrologicznych sprzed tysiąca czy też kilkuset lat.

Ciągi chronologiczne szerokości pierścieni drzew: sosny, świerka i modrzewia i innych w Europie cechują się również podobnymi okresami około 100. i 180-letnimi (tab. 1).

Tabela 1. Okresy (Θ lat) około 100. i 180- letnie szerokości pierścieni drzew rosnących w Europie,

Table 1. Close- to-, 100- and 200- years cycles (Θ years) of tree ring widths from Europe

Drzewa	Okres	Θ lat	R	Θ lat	R
Koła (Rosja)	877-1994	112	0,18	189	0,12
Świerk: Stonngrandes (Norwegia) i Falkenstein (Niemcy)	1577-1997	109	0,39	186	0,28
Sosna: Forfiorddalen (Norwegia) i Modrzew: Pinega 1 (Rosja)	1403-1997	114	0,19	-	-
Jodła: Fodara Vedla	1540-1995	110	0,303	189	0,416
Prayo Magno	1578-1990	103	0,18	217	0,29
	1474-1990	91	0,159	196	0,419
	1540-1973	94	0,379	-	-

Analogiczna cykliczność występuje w ciągach czasowych: aktywności Słońca (liczb Wolfa), erupcji wulkanów (Δt – odstęp między erupcjami, DVI – Dust Veil Index, $DVI/\Delta t$) i parametrów Układu Słonecznego (siła pływowa na Słońcu ΔG , moment bezwładności planet względem jego środka masy (B)).

Wyznaczenie okresów zmian aktywności Słońca, temperatury powietrza, opadów atmosferycznych jak też słoii drzew jest istotne dla wyjaśnienia przyczyn naturalnych wahań klimatu.

Globalne ocieplenie klimatu nie wynika tylko z przyczyn naturalnych. Składnik antropogeniczny tego ocieplenia tzw. „efekt cieplarniany” jest określony w modelach i prognozach zmian cyrkulacji atmosferycznej, wywołanych wzrostem emisji CO_2 : IPCC-1990, IPCC-1995, IPCC-2001, IPCC-2007 i ENSEMBLE (2012).

Przyczyną tendencji rosnącej temperatury powietrza (ocieplenia) i opadów atmosferycznych w Warszawie jest także „miejska wyspa ciepła” (Kossowska-Cezak 2002; Kicińska, Wawer 2005).

Celem pracy jest weryfikacja prognoz zmian opadów atmosferycznych we Wrocławiu i Warszawie opracowanych w Zakładzie Klimatologii UW (przez J. Boryczkę i in. 1984, 1993, 2000) Jest nim ocena synchroniczności przebiegów zmierzonych sum opadów w tych miastach i prognozowanych z wyprzedzeniem 31 lat (1980-2010) i 20 lat (1991-2010).

O realności tych okresów – około 100-letniego i planetarnego 178,9-letniego (zmian konfiguracji planet) świadczy też ich obecność w ciągach chronologicznych wskaźników paleotemperatury, tj. stosunku izotopów tlenu $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (Johnsen i in. 1970) i substancji organicznych zdeponowanych w osadach polskich jezior (Boryczka, Wicik, 1994)

Interesujące są także prognozy zmian klimatu półkuli północnej na najbliższe 40 000 lat na podstawie zmian sum promieniowania słonecznego na górnej granicy atmosfery ($\varphi = 65^\circ\text{N}$) i okresowych wahań zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym z wyspy Devon (Boryczka i in., 2010). Weryfikować będzie je można w dalszej przyszłości..

Materiały i metody badań

Prognozy opadów i ich weryfikację opracowano na podstawie wyników pomiarów we Wrocławiu (1859-1979) oraz w Warszawie-Observatorium (1813-1979) i Warszawa-Okęcie (1951-2010). Dane pochodzą z Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. 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 rdzeniu lodowym z półkuli północnej pochodzą z odwiertów: Greenland Ice Sheet Project, GISP, rdzeń B i D, Devon Ice Cap Szerokości słoje drzew wzięto ze strony internetowej: <http://www.noaa.gov/paleo/treering.htm>.

W prognozach i ich weryfikacji zastosowano metodą „sinusoid regresji” wyznaczenia okresów: temperatury powietrza, liczb Wolfa, szerokości słoje drzew i zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym z wyspy Devon:

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

gdzie: t – czas, Θ – okres, b – amplitudy, c – faza; okres sinusoidy Θ zmieniano z odstępem czasu $\Delta\Theta = 0,1$ i $0,0833$ roku oraz 100 lat.

Prognozy i rekonstrukcje temperatury powietrza to wypadkowe nakładania się (interferencji) k cykli ze składnikiem liniowym at :

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

Istotność statystyczną okresów oceniano testem Fishera-Snedecora

$$F_{obl} = 0,5(n-3) \frac{R^2}{(1-R^2)}$$

gdzie R jest współczynnikiem korelacji wielokrotnej.

Liczbę uwzględnionych okresów i ich długość ustalano tak, by błąd standardowy trendu czasowego $f(t)$ był najmniejszy. Stąd ekstrapolowane wartości – rekonstruowane ($t < 0$) i prognozowane ($t > n$) cechują się wysokim poziomem wiarygodności.

5.2.1. Wpływ aktywności Słońca na opady atmosferyczne

Zmiany aktywności Słońca w latach 1700-2010 określono na podstawie średnich miesięcznych liczb Wolfa w latach 1749-2010.

Okresy Θ_j , amplitudy b_j i fazy c_j wyznaczonych cykli w latach 1749-2010 wraz z współczynnikiem korelacji wielokrotnej R i wartością F_{obl} testu Fishera-Snedecora zawiera tab. 2.

Największą rolę w zmianach temperatury i opadów odgrywa cykl 11-letni aktywności Słońca o największej amplitudzie $b = 30,237$ ($R = 0,500$) oraz istotne (na poziomie $< 0,05$) cykle najdłuższe: 103,3 lat i 184,1 lat o amplitudach $b = 16,334$ ($R = 0,279$) i $b = 7,398$ ($R = 0,217$).

Tabela 1. Okresy Θ , amplitudy b i fazy c cykli liczb Wolfa w latach 1749-2010 i 1700-2010
 R – współczynnik korelacji wielokrotnej, F_{obl} – test Fishera-Snedecora

Table 1. Periods Θ , amplitudes b and phases c of Wolf number cycles in the years 1749-2010 and 1700-2010
 R – multiple correlation coefficient, F_{obl} – Fisher-Snedecor F-test

1749-2010					1700-2010				
Θ	b	c	R	F_{obl}	Θ	b	c	R	F_{obl}
5,3	4,320	-1,1558	0,077	0,781	5,5	4,778	1,6361	0,085	1,133
8,5	11,02	0,2389	0,189	4,775	8,5	11,196	0,2483	0,167	4,398
10,0	24,158	2,3963	0,399	24,451	10,5	17,558	-1,3896	0,406	30,444
11,0	30,237	1,0218	0,500	43,089	11,0	26,897	1,1350	0,529	59,771
11,8	17,859	-2,6703	0,273	10,399	11,9	13,109	-0,5048	0,266	11,687
14,1	6,411	1,9267	0,142	2,654	13,1	8,096	-2,5741	0,117	2,119
19,2	1,873	0,3273	0,073	0,694	14,1	3,512	1,7973	0,104	1,698
21,2	7,001	-0,4033	0,133	2,336	21,3	5,642	2,0865	0,105	1,720
30,1	4,572	1,6251	0,098	1,254	29,1	4,498	0,1769	0,098	1,503
35,2	3,015	-1,2441	0,088	1,002	37,4	3,683	0,3856	0,122	2,335
41,1	7,131	-1,5085	0,158	3,299	42,9	6,322	-1,8996	0,139	3,016
51,8	8,819	-1,4532	0,170	3,865	51,8	8,666	-1,1360	0,202	6,555
66,4	7,792	2,6537	0,164	3,580	61,2	7,619	0,6182	0,123	2,371
103,3	16,334	1,6550	0,279	10,972	103,1	13,937	1,2711	0,300	15,256
					*184,1	7,398	-2,7499	0,217	7,589

Interferencję najistotniejszych cykli aktywności Słońca: 8.5, 10.0, 11.0, 11.8, 14.1, 21.2, 30.1, 41.1, 51.8, 66.4, 103.3 i *184.1 lat ze składnikiem liniowym – $a_0 + at = 108,276943 + 0,083769t$ o współczynniku korelacji wielokrotnej $R = 0.876$ (CBK=2,383, RS=0,954) w latach 1600-2100 określa wzór:

$$W(t) = -108,276943 + 0,083769t +$$

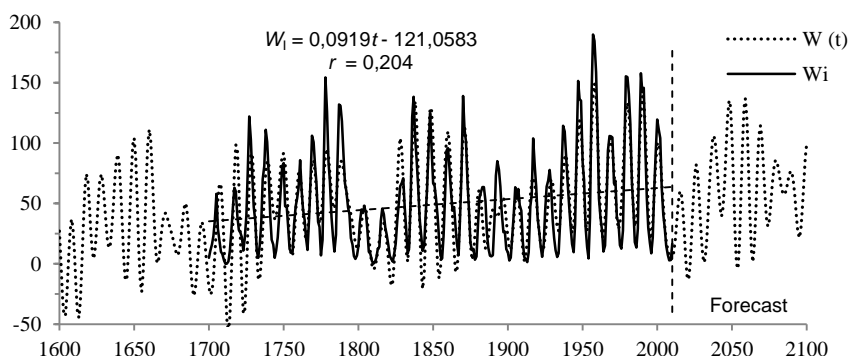
$$+ 11,013533 \sin(0,248425 + 2\pi t/8,5) + 24,122916 \sin(2,393189 + 2\pi t/10,0) + 30,317089 \sin(1,019944 + 2\pi t/11,0) +$$

$$+ 17,976641 \sin(-2,665808 + 2\pi t/11,8) + 6,466740 \sin(1,957786 + 2\pi t/14,1) + 6,939187 \sin(-0,541929 + 2\pi t/21,2) +$$

$$+ 4,717930 \sin(1,588642 + 2\pi t/30,1) + 7,342614 \sin(-1,613581 + 2\pi t/41,1) + 8,928971 \sin(-1,479890 + 2\pi t/51,8) +$$

$$+ 7,468712 \sin(2,626765 + 2\pi t/66,4) + 17,290691 \sin(1,528724 + 2\pi t/103,3) + 9,405199 \sin(-2,733355 + 2\pi t/184,1)$$

Zmiany aktywności Słońca w latach 1600-2100; 1600-1700 – rekonstrukcja, 2011-2100 – prognoza przedstawia rys.1. Aktywność Słońca w latach 1700-2010 cechuje się tendencją rosnącą 9,19/100 lat.



Rys. 1. Zmiany aktywności Słońca W (liczb Wolfa) w latach 1600-2100 – z rekonstrukcją w latach 1600-1748 i prognozą na lata 2011-2100

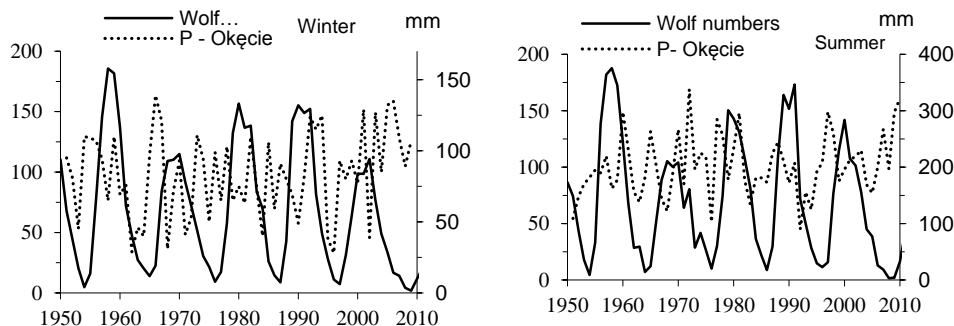
Fig. 1. Changes in solar activity (W , Wolf number) between 1600 and 2100, with a reconstruction for the period 1600-1748 and a forecast for 2011-2100

Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie (Okęcie) i liczb Wolfa w latach 1951-2010 wykazują duże podobieństwo (rys. 2). Zależność sum opadów w Warszawie (Okęcie) od liczb Wolfa w latach 1951-2010 opisują wielomiany regresji 3-go stopnia (rys.3):

$$\text{Zima} \quad P = -0,000027W^3 + 0,009904W^2 - 0,996161W + 104,908037$$

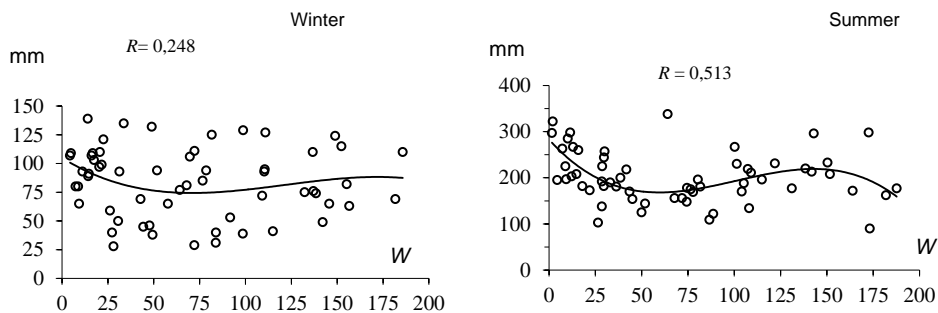
$$\text{Lato} \quad P = -0,000175W^3 + 0,053240W^2 - 4,471966W + 282,82$$

Na ogół przy bardzo małych liczbach Wolfa sumy opadów są duże, maleją w przedziale 0-50, następnie rosną ze wzrostem liczby plam słonecznych.



Rys. 2. Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie-Okęcie (P) i liczb Wolfa (W) w zimie i lecie (1951-2010)

Fig. 2. Changes of precipitation values at Warsaw- Okęcie (P) and Wolf numbers (W) in winter and summer (1951-2010)



Rys. 3. Korelacja sum opadów w Warszawie (Okęcie) i liczb Wolfa w zimie i lecie (1950-2010)
Fig. 3. Correlation of the precipitation values in Warsaw (Okęcie) and Wolf numbers in winter and summer (1950- 2010)

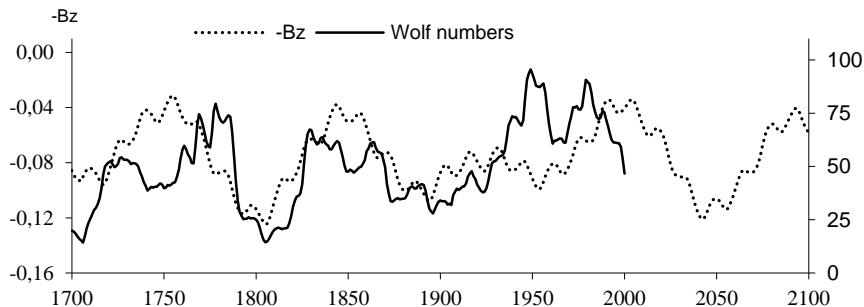
Aktywność Słońca zależy od koncentracji masy planet w Układzie Słonecznym, tj. od momentów bezwładności planet względem Słońca (B) i względem płaszczyzny ekliptyki (B_z) (podzielonych przez m):

$$B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n m_i r_i^2, \quad B_z = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n m_i z_i^2$$

gdzie: m_i , r_i – masa i odległość i -tej planety od Słońca, m – masa wszystkich planet US., z_i – odległość i -tej planety od płaszczyzny ekliptyki. Jako jednostkę przyjęto promień Słońca w potęgze drugiej (R_o^2).

Ich wartości wyznaczono z wielomianów opisujących zmiany wiekowe parametrów orbity Ziemi i innych planet (Reznikov, 1982).

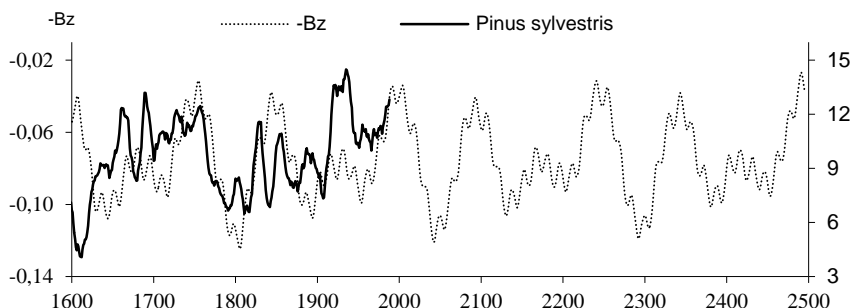
Synchroniczne są na ogół wahania w przebiegach wiekowych aktywności Słońca i momentu bezwładności planet Układu Słonecznego względem płaszczyzny ekliptyki (B_z). Aktywność Słońca jest na ogół większa przy większym wskaźniku koncentracji masy ($-B_z$) planet (mniejszym momencie bezwładności planet B_z) względem płaszczyzny ekliptyki (rys. 4).



Rys. 4. Zmiany liczb Wolfa w latach 1500-1993) w odniesieniu do momentu bezwładności planet Układu Słonecznego względem ekliptyki ($-B_z$) (1500-2100); (konsekwentne 11-letnie)
Fig. 4. Changes of Wolf numbers in 1500 and 1993, relative of inertia ($-B_z$) of the planet mass in the Solar System in relation to the ecliptic (1500-2100),(average of 11 consecutive)

Mało prawdopodobne jest, że synchroniczność wahań liczb Wolfa i $-B_z$ jest przypadkowa.

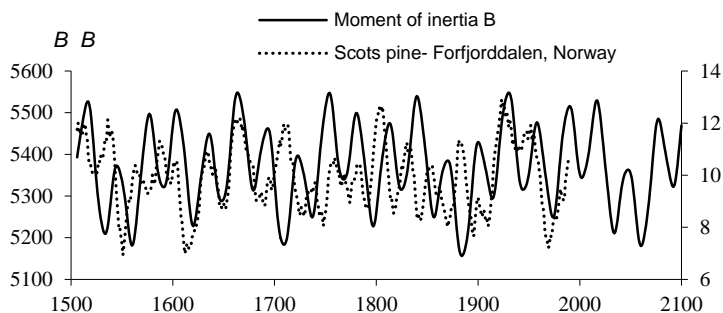
Interesujące są synchroniczne wahania przyrostów szerokości słoje sosny *Pinus sylvestris* w Karhunpesakivi (1398-1993) i wskaźnika koncentracji masy planet ($-B_z$) w latach 1500-1993 (rys. 5). Minima szerokości słoje tej sosny wskazujące największe ochłodzenia klimatu w Europie przypadają na minima koncentracji masy planet względem ekliptyki ($-B_z$)_{min.}



Rys. 5. Zmiany szerokości słoje sosny *Pinus sylvestris* w Karhunpesakivi (Finlandia, 1398-1993) i wskaźnika ($-B_z$) koncentracji masy planet względem ekliptyki (1500-2500)

Fig. 5. Changes in the widths of the Scots pine tree rings *Pinus sylvestris* in Karhunpesakivi (Finland, 1398-1993) and the coefficient ($-B_z$) of concentration of the planetary mass in relation to the ecliptic (1500-2500)

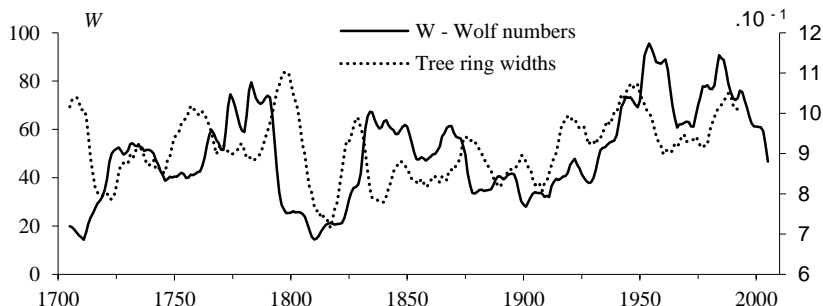
Z momentem bezwładności planet względem Słońca (B) są skorelowane szerokości słoje innych drzew rosnących w Europie (Stopa-Boryczka i in., 2007) np. słoje *Pinus sylvestris* (Fortfjordalen – Norwegia, 877-1994 (rys.6).



Rys. 6. Synchroniczne wahania szerokości słoje sosny z Forfjordalen (Norwegia) i momentu bezwładności planet (B) w latach 1700-2010

Fig. 6. Synchronous fluctuations in the average tree ring width of Scots pine (Forfjordalen, Norway) and of inertia (B) of the planetary mass in the Solar System from 1700-2010

Z aktywnością Słońca w latach 1700-2010 są skorelowane szerokości słoje drzew rosnących w Europie (Stopa-Boryczka i in., 2007)(rys. 7). Z liczbami Wolfa porównano średnie słoje z pięciu europejskich drzew: *Pinus silvestris* (Fortfjorddalen – Norwegia, 877-1994, *Picea abies* (Falkenstein – Niemcy, 1540-1995, Fodara Vedla – Włochy, 1598-1990, Stonnglandes – Norwegia, 1403-1997) i *Larix decidua* (Pinega – Rosja, 1578-1990). Współczynnik korelacji $r = 0,236$ jest istotny na poziomie 0,05 (wg testu t-Studenta).

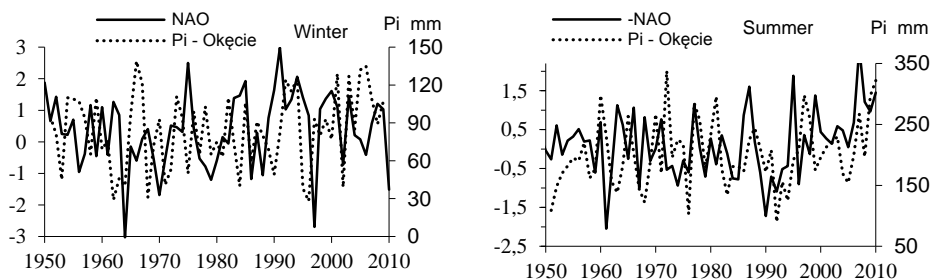


Rys. 7. Synchroniczne wahania średniej szerokości słoje 5 drzew rosnących w Europie i liczb Wolfa w latach 1700-2010 (średnie konsekwtywne 11-letnie)
Fig. 7. Synchronous fluctuations in the average tree ring width of 5 trees in Europe and Wold numbers from 1700-2010 (11 year running mean)

Zależność opadów atmosferycznych od Oscylacji Północnoatlantyckiej

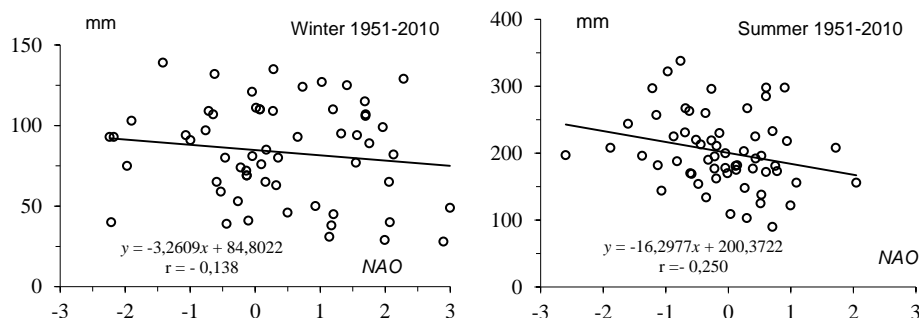
Na klimat w Polsce duży wpływ mają wahania temperatury wód Oceanu Atlantyckiego – zmiany Oscylacji Północnoatlantyckiej (Marsz, 1999).

O zależności opadów atmosferycznych w Warszawie (Okęcie) od Oscylacji Północnoatlantyckiej świadczą na ogół synchroniczne wahania sum opadów i wskaźnika NAO w latach 1951-2010 w zimie i w lecie (-NAO) (rys. 8)..



Rys. 8. Zmiany opadów atmosferycznych (P) w Warszawie-Okęcie i wskaźnika NAO w zimie i lecie (-NAO)(1951-2010)
Fig. 8. Changes of precipitation values at Warsaw- Okęcie (P) and NAO index in winter and summer (1951-2010)

Korelacja opadów i wskaźnika *NAO* jest ujemna, w zimie $r = -0,138$, a w lecie – $r = -0,250$ (wartość krytyczna $r_{0,05} = 0,255$). W zimie, temperatura jest większa przy większej składowej północnej poziomego gradientu ciśnienia, a w lecie – mniejsza (rys. 9)



Rys. 9. Korelacja sum opadów w Warszawie (Okęcie) i wskaźnika *NAO* w zimie i lecie (1950-2010)
Fig. 9. Correlation of the precipitation values in Warsaw (Okęcie) and *NAO* index in winter and summer (1950-2010)

5.2.2. Sprawdzalność prognoz opadów atmosferycznych we Wrocławiu według pomiarów w latach 1859-1979

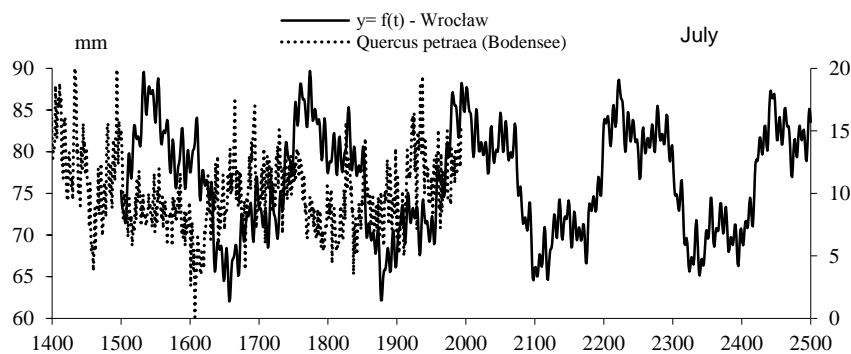
W modelu wiekowych zmian opadów (Boryczka, 1984, wzór 143, s. 189) uwzględniono interferencję 6 cykli o długościach $\Theta_1=1$ rok, $\Theta_2=11,2$ lat, $\Theta_3=22$ lat, $\Theta_4=18,6$ lat, $\Theta_5=75$ lat i $\Theta_6=230$ lat oraz dodatkowo modulację cyklu rocznego o częstości $\Omega_1=2\pi$ przez cykle o częstościach mniejszych $\Omega_3 = \frac{2\pi}{22}$, $\Omega_5 = \frac{2\pi}{75}$, $\Omega_6 = \frac{2\pi}{230}$, czyli $\Omega_1 + \Omega_j$, $\Omega_1 - \Omega_j$.

Zmiany miesięcznych sum opadów atmosferycznych we Wrocławiu opisuje wzór empiryczny:

$$y = f(t) = 50,67 + 25,5 \sin(2\pi t - 2,168) + 0,4956 \sin(2\pi t / 11 - 1,754) + 0,6749 \sin(2\pi t / 22 + 2,752) + 1,33 \sin(2\pi t / 18,6 - 2,102) + 3,325 \sin(2,94 + 2\pi t / 75) + 2,613 \sin(2\pi t / 230 - 2,9695) + 1,74 \sin(6,8554t + 2,346) + 0,7206 \sin(5,712t + 2,031) + 0,8572 \sin(6,56886t + 1,017) + 1,46 \sin(5,3976t - 0,7214) + 0,82689 \sin(6,367t + 2,479) + 1,315 \sin(6,1994t + 1,426) + 2,722 \sin(6,3105t - 0,5185) + 3,008 \sin(6,2559t + 1,77)$$

Model ten otrzymano na podstawie zmierzonych sum miesięcznych opadów atmosferycznych we Wrocławiu ($\Delta t = 0,0833$) w latach 1779-1979. Cechuje się on dużym współczynnikiem korelacji wielokrotnej $R = 0,512$ i małym błędem standardowym $\delta = 27,70$ mm ($n = 1452$).

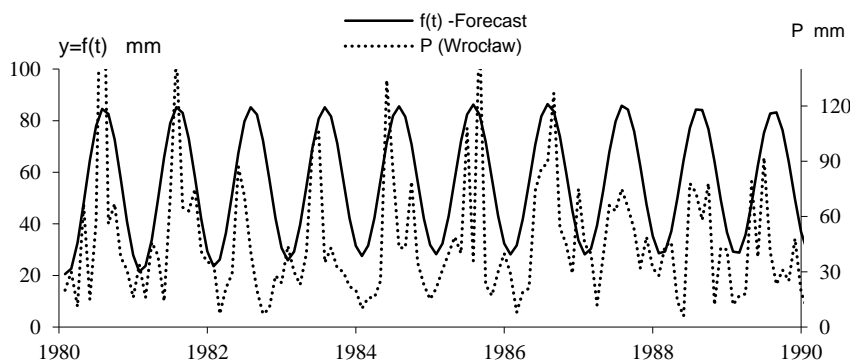
Zmiany szerokości słoików dębu w Bodense (Holandia) w latach 1400-1993 w odniesieniu do wahań opadów atmosferycznych w lipcu w 1000-leciu 1500-2500, według modelu $y = f(t)$ przedstawiono na rys. 10.



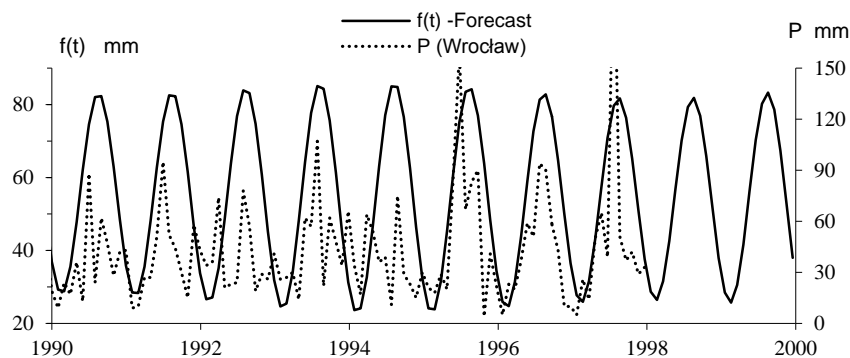
Rys. 10. Zmiany szerokości słojów dębu w Bodensee (Holandia) w latach 1500-1993 w odniesieniu do wahań opadów atmosferycznych w 1000-leciu 1500-2500, według modelu $y=f(t)$ (Lipiec)
Fig.10. Changes in the widths of the oak tree rings in Bodensee (The Netherlands) in the years 1500-1993 relative to precipitation fluctuations in year in the millennium 1500-2500, based on the model $y=f(t)$ (July)

Z modelu $y = f(t)$ można obliczyć wartości temperatury powietrza w kolejnych miesiącach, wstawiając odpowiedni czas t . Żeby zweryfikować prognozy opracowane według tego modelu (30 lat temu) obliczono sumy miesięczne opadu wstawiając do wzoru czas: $t-1858 + \Delta t$, gdzie Δt : 0,0833, ..., 1,000 np. styczeń – $t-1858+0,0833$, lipiec – $t-1858+0,5833$, a średnia roczna suma y_{sr} ($t_{sr} = -c / 2\pi$).

Porównano miesięczne sumy opadów zmierzone we Wrocławiu w 30-leciu 1981-2010 i prognozowane według modelu $y=f(t)$ (rys. 11-12). Na ogół minima i maksima roczne miesięcznych sum opadów zmierzonych P i prognozowanych $f(t)$ pokrywają się.



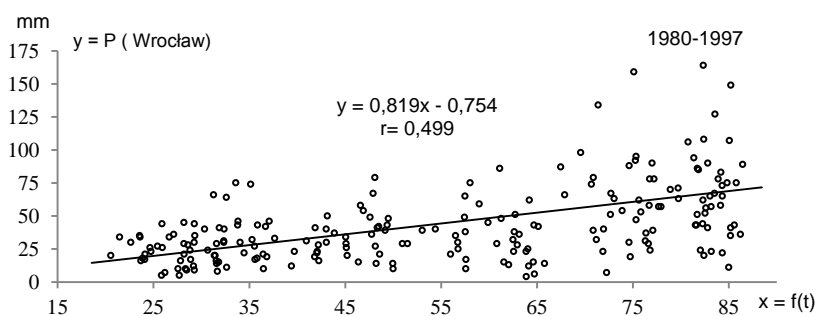
Rys. 11. Porównanie miesięcznych sum opadów we Wrocławiu w 10-leciu 1981-1990 zmierzonych na Okęciu i prognozowanych według modelu $y=f(t)$,
Fig. 11. Comparison of average monthly precipitation values in Warsaw in the 10-year period 1981-1990, measured in Wrocław and predicted values based on the model $y=f(t)$



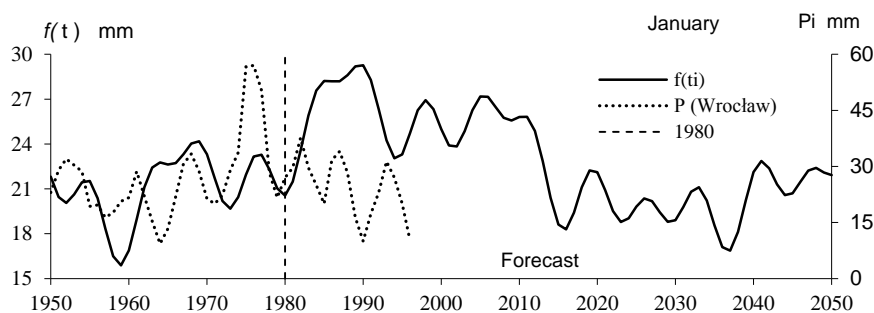
Rys. 12. Porównanie miesięcznych sum opadów we Wrocławiu w 10-leciu 1991-2000 zmierzonych na Okęciu i prognozowanych według modelu $y=f(t)$,
Fig. 12. Comparison of average monthly precipitation values in Warsaw in the 10-year period 1991-2000, measured in Wrocław and predicted values based on the model $y=f(t)$

Weryfikacja obecna modelu „rekonstrukcyjno-prognostycznego” polega przede wszystkim na porównaniu 30-letniej serii wyników pomiarów opadów we Wrocławiu w styczniu i lipcu (średnich konsekwentnych 3-letnich) (P) z wartościami prognozowanymi $y=f(t)$ na lata 1980-2010 (rys. 13-15).

Na ogół dobra jest zgodność między sumami miesięcznymi pomiarów opadów atmosferycznych (P) we Wrocławiu i prognozami $y=f(t)$. Związek między zmierzonymi sumami opadów (y °C) i prognozowanymi (x °C) opisuje prosta regresji (rys. 13) o dodatnim współczynniku regresji $a = 0,819$ mm/mm i współczynniku korelacji $r = 0,449$, istotnym na poziomie 0,01 ($r_{0,01} < 0,254$, $n = 181$, według testu t-Studenta).

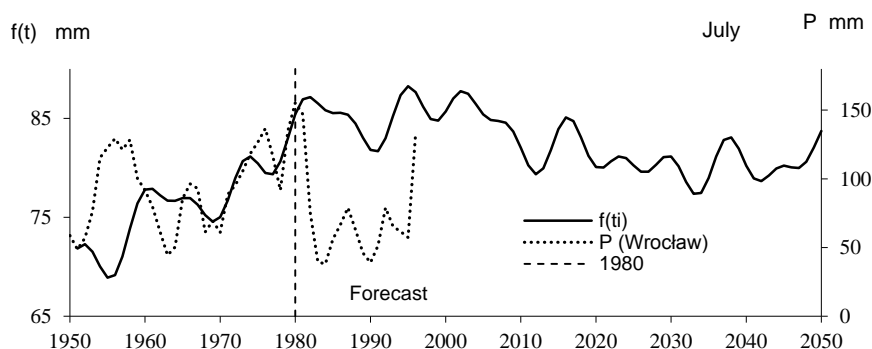


Rys. 13. Korelacja zmierzonych we Wrocławiu miesięcznych sum opadów atmosferycznych (y) w latach 1980-1997 i prognozowanych (x)
Fig. 13. Correlation of the measured precipitation values in Wrocław with those forecast (x) (1980-1997)



Rys. 14. Porównanie zmierzonych w styczniu (średnich konsekwentnych 3-letnich) sum opadów atmosferycznych w styczniu we Wrocławiu z prognozami (1980-2035) według modelu $y = f(t)$

Fig. 14. Comparison of measured precipitation in Wrocław in January (3-year moving average) with forecasts (1980-2035) prognostic model $y = f(t)$.



Rys. 15. Porównanie zmierzonych w lipcu (średnich konsekwentnych 3-letnich) sum opadów atmosferycznych w lipcu we Wrocławiu z prognozami (1980-2035) według modelu $y = f(t)$

Fig. 15. Comparison of measured July precipitation values at Warsaw-Okęcie (3-year moving average) with forecasts (1980-2035) prognostic model $y = f(t)$

Trend czasowy $y = F(t)$ (Boryczka, 1993, wzór 25', str.303 i 309) sum miesięcznych (średnich konsekwentnych 12-miesięcznych: I, II, ...XII; II, III, ..., I, itd) opadów atmosferycznych we Wrocławiu wyznaczono na podstawie danych z lat 1859-1979). Określa on interferencję 15 cykli obecnych w widmach, wyznaczonych metodą sinusoid regresji z odstępem czasu $\Delta\Theta = 0,0833$ roku w przedziale 0,25-250 years:

$$y = F(t) = 47,76 + 0,02089t + 2,874\sin(-0,9093 + 2\pi/3,25) + 3,036\sin(-1,468 + 2\pi/3,67) + 1,695\sin(1,815 + 2\pi/4,00) + 1,551\sin(2,857 + 2\pi/4,33) + 1,416\sin(-2,612 + 2\pi/4,58) + 0,8331\sin(-0,5074 + 2\pi/4,75) + 2,907\sin(-0,5399 + 2\pi/5,00) + 1,748\sin(1,824 + 2\pi/6,17) + 1,398\sin(0,3128 + 2\pi/7,17) + 2,242\sin(1,14 + 2\pi/7,92) + 2,734\sin(1,884 + 2\pi/9,83) + 0,508\sin(-0,6717 + 2\pi/14,67) + 2,046\sin(1,611 + 2\pi/16,83) + 2,455\sin(2,866 + 2\pi/41,83) + 2,358\sin(2,633 + 2\pi/73,08)$$

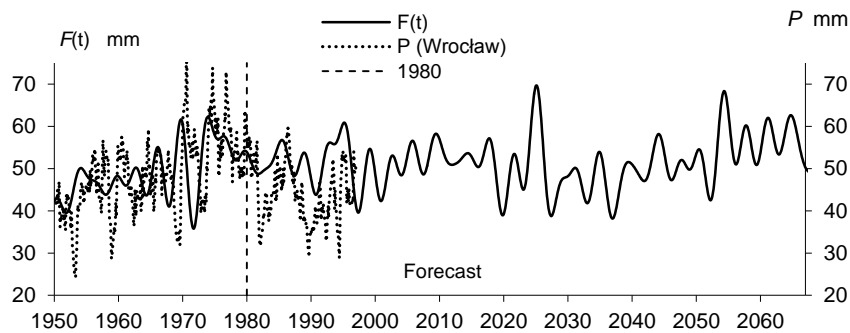
Cykle te są istotne na poziomie 0,05 według testu Fishera-Snedecora. Cyklami Θ o największych współczynnikach korelacji i amplitudach są: 3,67 lat ($R=0,259$, $b=38,28$ mm), 5,00 lat ($R=0,268$, $b=39,60$ mm), 9,83 lat ($R=0,256$, $b=37,92$ mm), 41,83 lat ($R=0,242$, $b=35,64$ mm) i 73,08 lat ($R=0,210$, $b=33,0$ mm)

Trend czasowy $y = F(t)$ cechuje się dużym współczynnikiem korelacji wielokrotnej $R = 0,713$ i błędem standardowych $\delta = 6159$ i statystyką Fishera-Snedecora $F_{\text{obs}} = 47,07$.

Prognozowane wartości obliczono wstawiając odpowiedni czas ($t + \Delta t$, gdzie $t=0$ to rok 1858) (rys. 14-16):

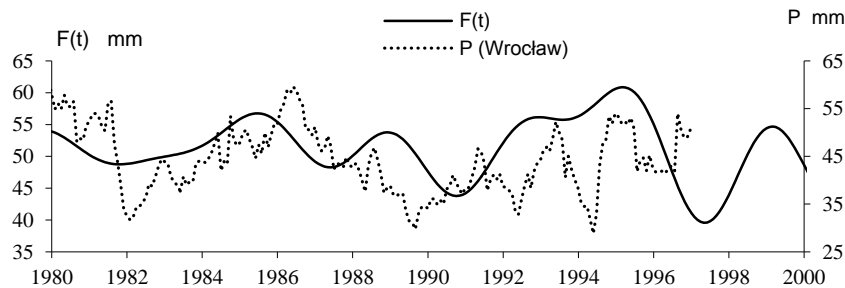
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,083	0,167	0,250	0,333	0,417	0,500	0,583	0,666	0,750	0,833	0,916	1,000

Współczynnik korelacji ($r = 0,395$) zmierzonych miesięcznych sum opadów we Wrocławiu w latach 1980-1996 i prognozowanych według modelu $y = F(t)$ jest istotny na poziomie 0,01 ($n=169$).



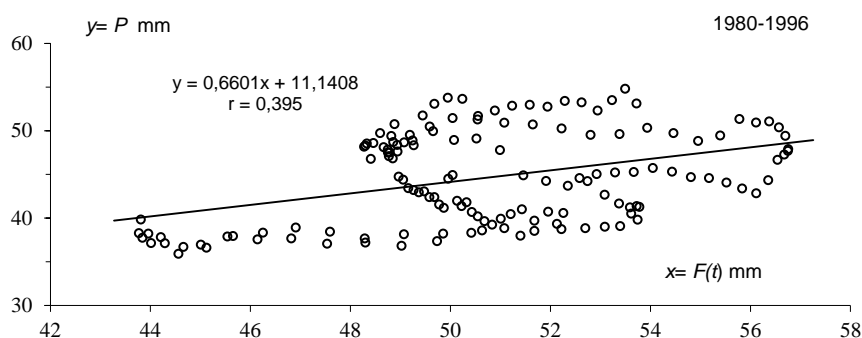
Rys. 16. Porównanie zmierzonych (średnich konsekwentnych 12-miesięcznych) sum opadów atmosferycznych we Wrocławiu (1950-1997) z prognozowanymi (1980-2067) według modelu $y = F(t)$

Fig. 16. Comparison of measured precipitation values at Wrocław (1950-1997) (12-monthly moving average) with forecasts (1980-2067) prognostic model $y = F(t)$



Rys. 17. Porównanie zmierzonych P (średnich konsekwentnych 36-miesięcznych) sum opadów atmosferycznych we Wrocławiu z prognozami (1980-2000) według modelu $y = F(t)$

Fig. 17. Comparison of measured precipitation values P at Wrocław (36-monthly moving average) with forecasts (1980-2000) prognostic model $y = F(t)$



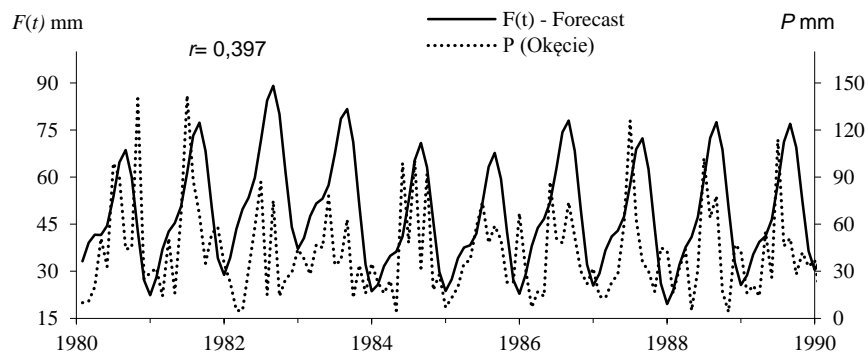
Rys. 18. Korelacja zmierzonych we Wrocławiu miesięcznych sum (średnich konsekwentnych 36 - miesięcznych) atmosferycznych (y) w latach 1980-1996 i prognozowanych (x)
Fig. 18. Correlation of the measured precipitation values (36- monthly moving average) in Wrocław with those forecast (x) (1980-1997)

5.2.3. Sprawdzalność prognoz opadów atmosferycznych w Warszawie według pomiarów w latach 1813-1979 i 1813-1990

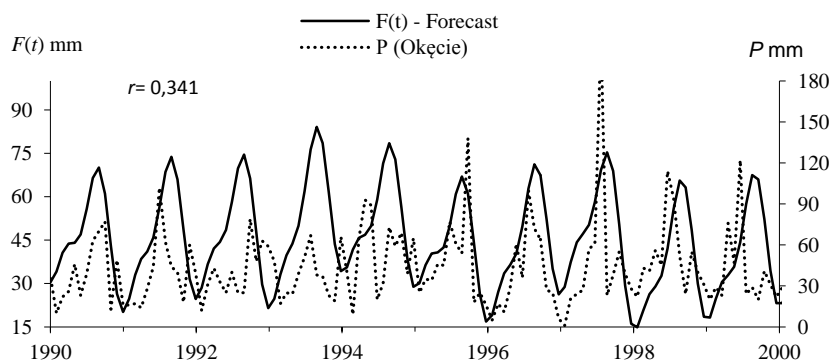
Trend czasowy $y = F(t)$ (Boryczka, 1993, wzór 22', str. 301 i.306) opisuje zmiany miesięcznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie. Na przykład wzór empiryczny uwzględnia interferencję 5 cykli temperatury: lat, wyznaczonych na podstawie wyników pomiarów w latach 1813-1979:

$$y = F(t) = 46,86 + 0,00336t + 8,393\sin(-0,7807 + 2\pi t/0,5) + 21,03\sin(-2,209 + 2\pi t) + 2,327\sin(-0,9353 + 2\pi t/1,25) + 2,27\sin(2,665 + 2\pi t/1,75) + 1,928\sin(1,106 + 2\pi t/2,5) + 2,412\sin(-1,323 + 2\pi t/2,83) + 3,072\sin(2,338 + 2\pi t/3,5) + 1,282\sin(1,613 + 2\pi t/4,25) + 3,215\sin(1,74 + 2\pi t/5,33) + 2,466\sin(-1,97 + 2\pi t/6) + 2,288\sin(-2,347 + 2\pi t/11,67) + 2,88\sin(0,8387 + 2\pi t/16,33) + 2,251\sin(0,9387 + 2\pi t/19,17) + 2,204\sin(3,019 + 2\pi t/57,33) + 2,23\sin(-0,6612 + 2\pi t/114)$$

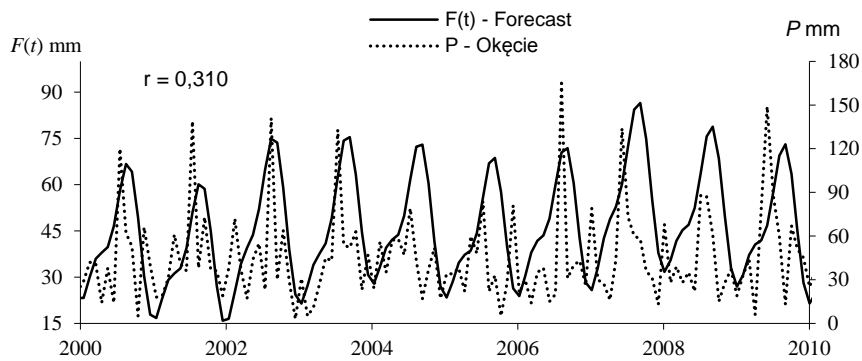
Porównano miesięczne sumy opadów zmierzone w Warszawie w 30-leciu 1981-2010 i prognozowane według modelu $y = F(t)$ (rys. 19-23). Na ogół minima i maksima roczne miesięcznych sum opadów zmierzonych P i prognozowanych $f(t)$ pokrywają się.



Rys. 19. Porównanie miesięcznych sum opadów w Warszawie (Okęcie) w latach 1981-1990 zmierzonych na Okęciu (P) i prognozowanych według modelu $y = F(t)$,
Fig. 19. Comparison of average monthly precipitation values in Warsaw in the period 1981-1990, measured in Okęcie and predicted values based on the model $y = F(t)$

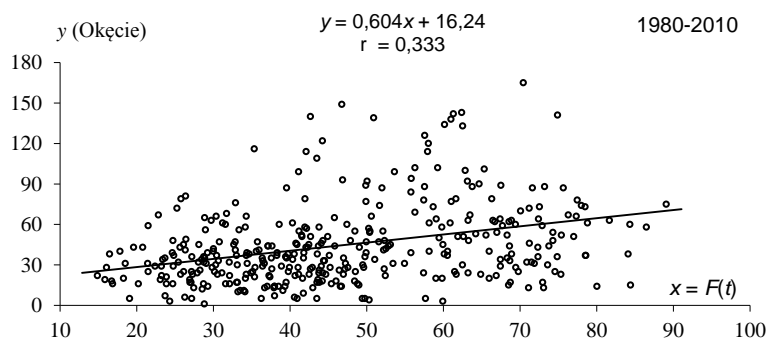


Rys. 20. Porównanie miesięcznych sum opadów w Warszawie (Okęcie) w latach 1991-2000 zmierzonych na Okęciu (P) i prognozowanych według modelu $y = F(t)$,
Fig. 20. Comparison of average monthly precipitation values in Warsaw in the period 1991-2000, measured in Okęcie and predicted values based on the model $y = F(t)$



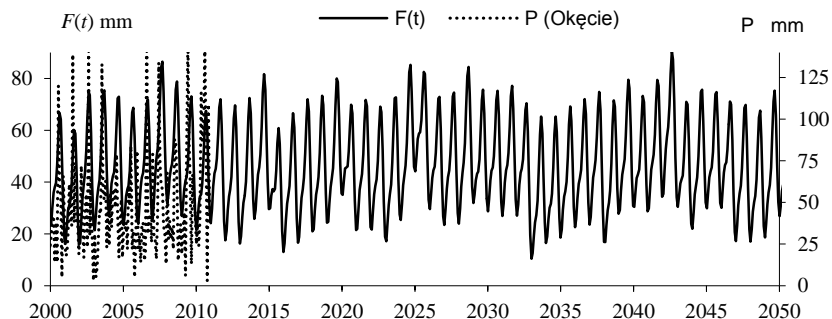
Rys. 21. Porównanie miesięcznych sum opadów w Warszawie (Okęcie) w latach 2001-2010 zmierzonych na Okęciu (P) i prognozowanych według modelu $y = F(t)$,

Fig. 21. Comparison of average monthly precipitation values in Warsaw in the period 2001-2010, measured in Okęcie and predicted values based on the model $y = F(t)$



Rys. 22. Korelacja zmierzonych w Warszawie (Okęcie) miesięcznych sum opadów atmosferycznych (y) w latach 1980-2010 i prognozowanych (x)

Fig. 22. Correlation of the measured precipitation values in Warsaw with those forecast (x) (1980-2010)



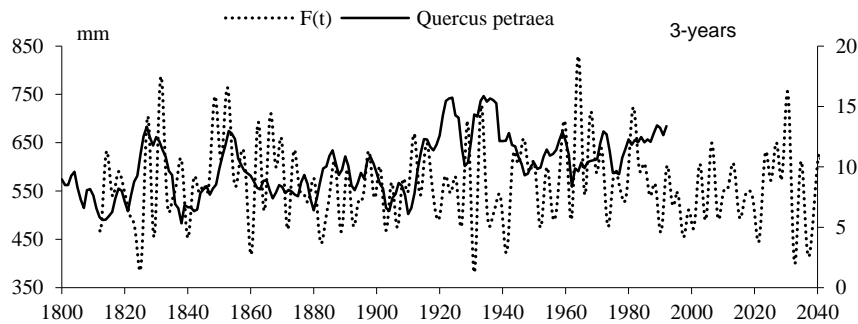
Rys. 23. Porównanie miesięcznych sum opadów w Warszawie (Okęcie) w latach 2000-2010 zmierzonych na Okęciu (P) i prognozowanych według modelu $y = f(t)$,

Fig. 23. Comparison of average monthly precipitation values in Warsaw in the period 2000-2010, measured in Okęcie and predicted values based on the model $y = f(t)$

Współczynnik korelacji ($r=0,333$) zmierzonych miesięcznych sum opadów w Warszawie w latach 1980-2010 i prognozowanych według modelu $y=F(t)$ jest istotny na poziomie $< 0,01(n=337)$.

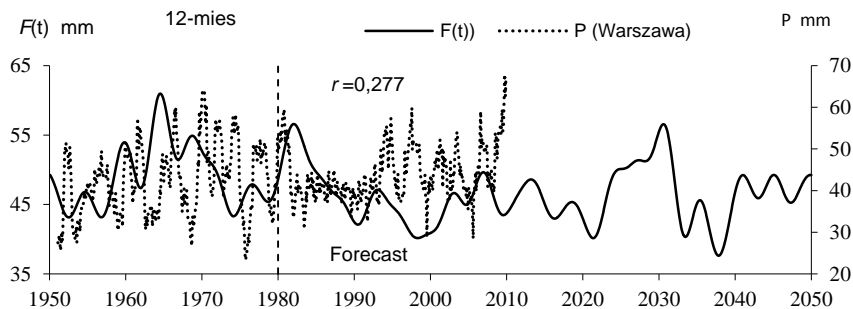
Trend czasowy $P = F(t)$ (Boryczka, 1993, wzór 23' str. 302 i 307) opisuje zmiany średnich konsekwentnych 12- miesięcznych sum opadów atmosferycznych (P_i) w Warszawie ($t=0$ to rok 1812, suma roczna = $12P_i$). Na przykład wzór empiryczny uwzględnia interferencję cykli opadów, wyznaczonych na podstawie wyników pomiarów w latach 1813-1979 (rys. 24-28):

$$y = F(t) = 47,26 - 0,00077t + 2,681\sin(-3,088 + 2\pi t/3,5) + 1,644\sin(1,569 + 2\pi t/3,92) + 2,539\sin(2,529 + 2\pi t/4,25) + 1,645\sin(-2,145 + 2\pi t/4,42) + 1,881\sin(-1,592 + 2\pi t/4,83) + 1,542\sin(0,8651 + 2\pi t/5,08) + 2,96\sin(2,254 + 2\pi t/5,33) + 2,4661\sin(-1,551 + 2\pi t/6) + 1,131\sin(2,569 + 2\pi t/9,67) + 2,196\sin(-2,184 + 2\pi t/11,67) + 2,664\sin(-0,6709 + 2\pi t/16,33) + 2,331\sin(1,143 + 2\pi t/19,33) + 1,692\sin(2,77 + 2\pi t/22,25) + 2,264\sin(2,883 + 2\pi t/56,42) + 2,097\sin(-0,6283 + 2\pi t/112,5)$$



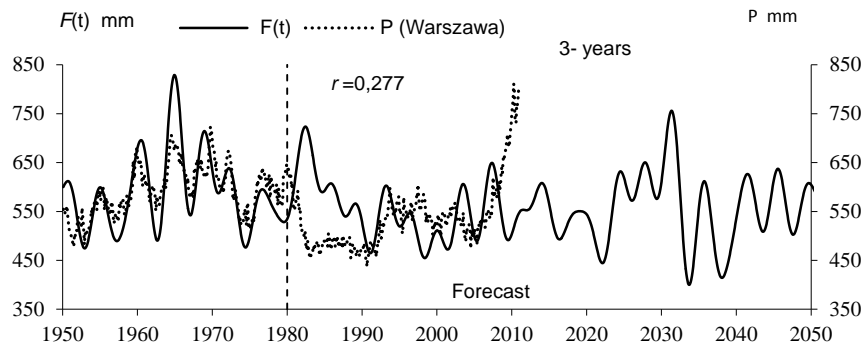
Rys. 24 Zmiany szerokości słoje drzewa w Bodensee (Holandia) w latach 1800-1993 w odniesieniu do wahań opadów atmosferycznych według modelu $y = F(t)$

Fig. 24. Changes in the widths of the oak tree rings in Bodensee (The Netherlands) in the years 1800-1993 relative to precipitation fluctuations, based on the model $y = F(t)$

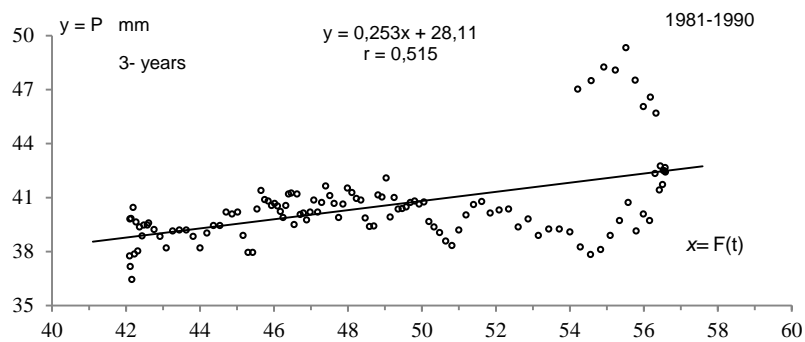


Rys. 25. Porównanie średnich konsekwentnych 12- miesięcznych sum opadów w Warszawie (Okęcie) w latach 1950-2010 zmierzonych na Okęcie (P) i prognozowanych według modelu $y = F(t)$,

Fig. 25. Comparison of average monthly precipitation values (12- monthly moving average) in Warsaw in the period 1950-2010, measured in Okęcie and predicted values based on the model $y = F(t)$

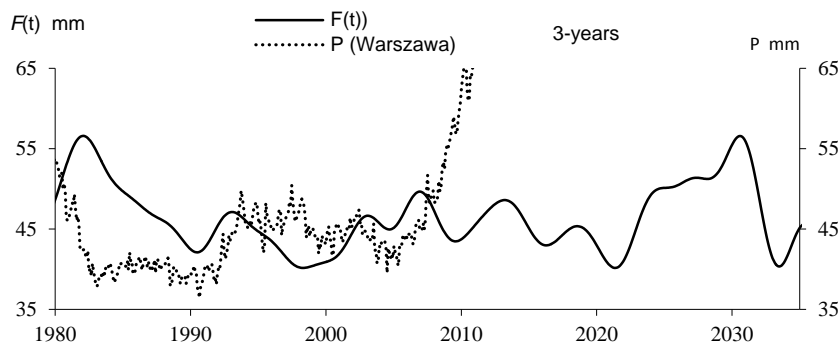


Rys. 26. Porównanie sum rocznych opadów (średnich konsekwentnych 3-letnich) w Warszawie (Okęcie) w latach 2001-2010 zmierzonych na Okęciu (P) i prognozowanych według modelu $y = F(t)$,
Fig. 26. Comparison of average year precipitation values (12-monthly moving average) in Warsaw in the period 2001-2010, measured in Okęcie and predicted values based on the model $y = F(t)$



Rys. 27. Korelacja zmierzonych w Warszawie (Okęcie) miesięcznych sum opadów atmosferycznych (średnich konsekwentnych 3 letnich, y) w latach 1981-1990 i prognozowanych (x)
Fig. 27. Correlation of the measured precipitation (3-year moving average, y) values in Warsaw with those forecast (x) (1981-1990)

Współczynnik korelacji ($r = 0,515$) zmierzonych miesięcznych sum opadów w Warszawie w latach 1981-1990 i prognozowanych według modelu $y = F(t)$ jest istotny na poziomie $0,01 (n = 85)$.



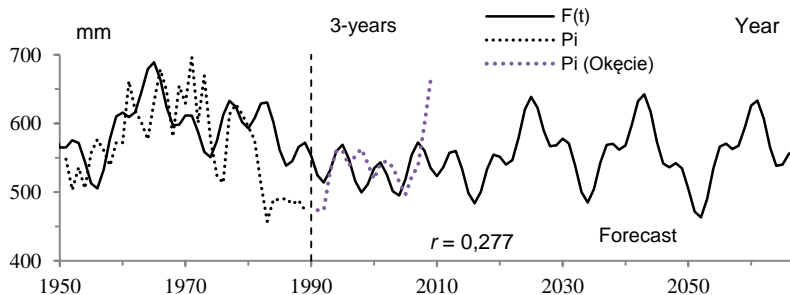
Rys. 28. Porównanie sum rocznych opadów (średnich konsekwentnych 3-letnich) w Warszawie (Okęcie) zmierzonych na Okęcie (P) w latach 1980-2010 i prognozowanych według modelu $y = F(t)$,
Fig. 28. Comparison of average years precipitation values (12-monthly moving average) in Warsaw in the period 2001-2010, measured in Okęcie and predicted values based on the model $y = F(t)$

Sprawdzalność prognoz opadów atmosferycznych w Warszawie według pomiarów w latach 1813-1990

Porównano także zmierzone sumy opadów atmosferycznych w Warszawie (Okęcie) w różnych przedziałach czasu (rok, lato, zima) z prognozowanymi na lata 1990-2067. Wahania zmierzonych sum opadów atmosferycznych w Warszawie-Okęcie (średnich konsekwentnych 3-letnich) i prognozowanych sum opadów na lata 1991-2010 (według modelu $T = F(t)$) są skorelowane (rys. 29-31).

Trend czasowy $y = F(t)$ średnich rocznych sum opadów w Warszawie (ze składnikiem liniowym) jest wypadkową nakładania się 5 cykli, w tym najdłuższych 58 i 112 lat:

$$y = F(t) = 562,5 - 0,02481t + 28,22\sin(-1,449 + 2\pi t/6) + 32,02\sin(-1,113 + 2\pi t/16) + 27,59\sin(0,8765 + 2\pi t/19) + 26,99\sin(-3,018 + 2\pi t/58) + 26,73\sin(-0,6907 + 2\pi t/112)$$

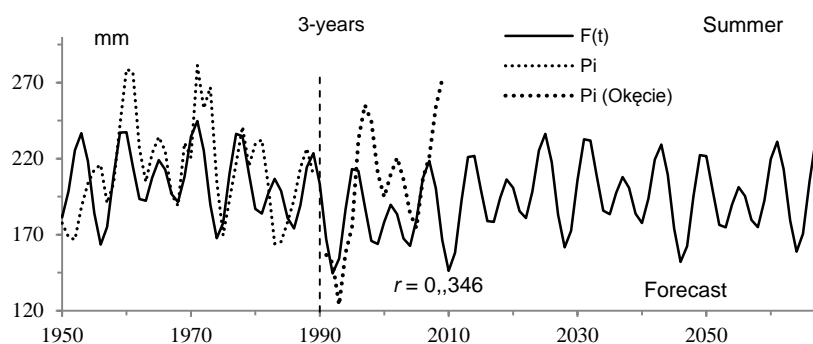


Rys. 29. Porównanie zmierzonych (średnich konsekwentnych 3-letnich) sum rocznych opadów atmosferycznych w Warszawie (Okęcie) z prognozami (1990-2067) według modelu $y = F(t)$
Fig. 29. Comparison of measured year precipitation values at Warsaw (Okęcie) (average of 3 consecutive years) with forecasts (1990-2067) prognostic model $y = F(t)$.

Współczynnik korelacji średnich konsekwentnych 3-letnich sum rocznych opadów atmosferycznych w Warszawie (Okęcie) z prognozami (1990-2010) według modelu $y = F(t)$ wynosi $r = 0,277 < r_{0,10}$.

Trend czasowy $y = F(t)$ średnich sum opadów atmosferycznych w Warszawie w lecie (ze składnikiem liniowym) jest wypadkową nakładania się 5 cykli, w tym najdłuższych 54 i 122 lat:

$$y = F(t) = 222,9 - 0,05795t + 25,24\sin(-1,746 + 2\pi t/6) + 15,94\sin(-1,717 + 2\pi t/9) + 18,91\sin(-0,3448 + 2\pi t/13) + 9,429\sin(1,822 + 2\pi t/54) + 8,035\sin(1,077 + 2\pi t/122)$$



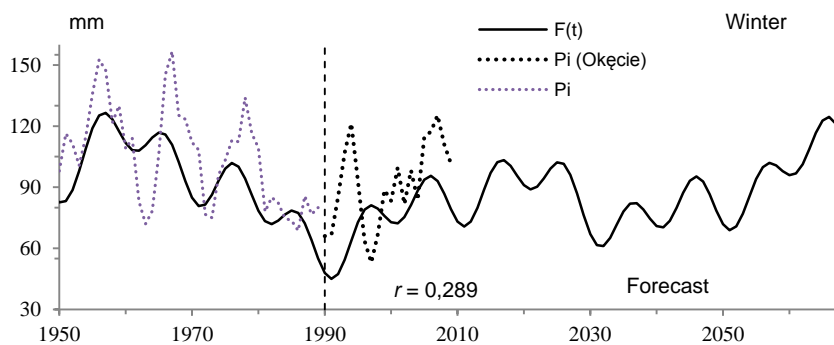
Rys. 30. Porównanie zmierzonych w lecie (średnich konsekwentnych 3-letnich) sum opadów atmosferycznych w Warszawie (Okęcie) z prognozami (1990-2067) według modelu $y = F(t)$

Fig. 30. Comparison of measured summer precipitation (3- year moving average) values at Warsaw (Okęcie) consecutive years) with forecasts (1990-2067) prognostic model $y = F(t)$.

Współczynnik korelacji ($r = 0,346$) średnich konsekwentnych 3-letnich sum opadów atmosferycznych w lecie w Warszawie (Okęcie) z prognozami (1990-2067) według modelu $y = F(t)$ jest istotny na poziomie 10 % według testu t-Studenta.

Trend czasowy $P = F(t)$ średnich sum opadów atmosferycznych w Warszawie w zimie (ze składnikiem liniowym) jest wypadkową nakładania się 4 cykli, w tym najdłuższych 53 i 100 lat:

$$y = F(t) = 93,11 - 0,03897t + 11,2\sin(-1,024 + 2\pi t/10) + 8,672\sin(1,524 + 2\pi t/21) + 15,83\sin(2,623 + 2\pi t/53) + 9,643\sin(-1,131 + 2\pi t/100)$$



Rys. 31. Porównanie zmierzonych w zimie (średnich konsekwentnych 3-letnich) sum opadów atmosferycznych w Warszawie (Okęcie) z prognozami (1990-2067) według modelu $y = F(t)$

Fig. 31. Comparison of measured winter precipitation (3- year moving average) values at Warsaw (Okęcie) with forecasts (1990-2067) prognostic model $y = F(t)$.

Współczynnik korelacji ($r = 0,289$) średnich konsekwentnych 3-letnich sum opadów atmosferycznych w zimie w Warszawie (Okęcie) z prognozami (1990-2067) według modelu $y = F(t)$ jest zbliżony do poziomu istotności 0,10 według testu t-Studenta.

Podsumowanie

- Synchroniczność wahań zmierzonych sum opadów atmosferycznych w Warszawie (Okęcie) i Wrocławiu i prognozowanych na lata 1980-2010 (z wyprzedzeniem 31 lat) świadczy o poprawności zastosowanych metod badań okresowości i prognozowania opadów.
- Z weryfikacji prognoz opadów na przykładzie Warszawy i Wrocławia wynika, że wykryte dawniej okresy opadów można było ekstrapolować poza przedział aproksymacji (przedział pomiarów).
- Najdłuższe cykle około 100 i 180-letnie opadów atmosferycznych, wyznaczone na podstawie niezbyt długiej serii pomiarów (ok. 200 lat) okazały się później wiarygodne, bowiem są one obecne w kilkuset letnich ciągach chronologicznych szerokości słoń drzew rosnących w Europie i substancji organicznych zdeponowanych w osadach polskich jezior oraz parametrów Układu Słonecznego.
- Ważnym problemem do rozwiązania w XXI wieku jest nadal identyfikacja naturalnych i antropogenicznych przyczyn zmian klimatu Ziemi, w szczególności Europy (i Polski). Jest nim określenie składników okresowych (deterministycznych) oraz antropogenicznych w seriach pomiarowych, a także mechanizmów przenoszenia oddziaływań czynników astronomicznych do atmosfery Ziemi.
- W bieżącym stuleciu prawdopodobnie rozstrzygnie się, czy postępować będzie nadal globalne ocieplenie klimatu spowodowane wzrostem aktywności Słońca (stałej słonecznej) i spadkiem zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze oraz efektem cieplarnianym (emisją CO_2). Nie wiadomo, czy nastąpi głębokie naturalne ochłodzenie, prognozowane na podstawie minimów wypadkowej interferencji cykli aktywności Słońca i cykli zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze, czy też nadal – ocieplenie? .

Literatura

- Boryczka J., 1984, Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu, Wyd. UW, Warszawa
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1984, The multiperiodical changes of air temperature in Warsaw, *Miscellanea Geographica*, 1984, pp. 88-96
- Boryczka J., Wicik B., 1994, Record of holocene climatic cycles in lake sediments in Central Poland, *Miscellanea Geographica*, t.6, Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., 1998, Zmiany klimatu Ziemi, Wyd. Akadem. "Dialog", Warszawa, pp 105-111
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Lorenc H., Kicińska B., Błażek E., Skrzypczuk J., 2000, Prognozy zmian klimatu Warszawy. [w:] Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce, 14, Wyd. UW.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Unton-Pyziółek A., Gieszczyk P., 2010, *Cooling and Warming of Climate of the Earth's Northern Hemisphere (on the basis of fluctuations of the oxygen isotope $\delta^{18}\text{O}$ and dendrological data)*. *Miscellanea Geographica*, 14, 47-58.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Bijak S., 2008, *Cyclic changes of climate in Europe during the last millennium according to dendrological data*, *Miscellanea Geographica*, vol. 13.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2012, Verification forecasts concerning of periodic changes in the climate of Warsaw in the period 1779-2010. [w:] Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce, 28, pp. 431-440, Wyd. UW
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2012, Verification of forecasts of periodic changes in the climate of Warsaw in the period 1779-2010. Verification forecasts concerning of periodic changes in the climate of Warsaw in the period 1779-2010, *Miscellanea Geographica*, vol.16, no. 2
- ENSEMBLE, 2012, project <http://www.ensembles-eu.org/>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC-1990, IPCC-1995, IPCC-2001, IPCC-2007, WMO
- Johnsen S. J., Dansgaard W., Clausen H. B., Longway C. C., 1970, Climatic oscillations 1200-2000 A.D., *Nature*, nr 227, London.
- Kicińska B., Wawer J., 2005, *Urban climate 8. Weather and air conditions*, [w:] red. M. Gutry-Korycka, *Urban sprawl Warsaw agglomeration case study*, Wyd. WGSR
- Kossowska-Cezak U., 2002, *Zmiany różnicy temperatury powietrza między śródmieściem a peryferiami Warszawy od 1933 do 2000 roku*, *Prz. Geof.*, 47, . 3-4, 203-209.
- Lamb H.H., 1974, Volcanic dust in the atmosphere with a chronology and assessment of meteorological. *Phil. Transactions Roy. Soc.*, 226.
- Marsz A.A. (red.), 1999, *Wpływ stanu termicznego powierzchni oceanu na modyfikacje cyrkulacji atmosferycznej w wymiarze klimatologicznym*, WSM, Gdynia.
- Milankovič M., 1930, *Mathematische Klimalehre und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen*, Handbuch der Klimologie, Band 1, Teil A, Borntraeger, Berlin.
- National Climatic Data Center, <http://www.ncdc.noaa.gov/cgi-bin/paleo/webmapper.cgi>.
- National Snow and Ice Data Center, http://nsidc.org/data/gisp_grip/document/gispisot.html
- Przybylak R., 1999, *Scenarios of the Arctic climate in the 21-th century*, Polish Polar Studies, materiały XXVI Sympozjum Polarnego, Lublin.
- Reznikov A.P., 1982, *Priedskazanie jestiestwiennych processow obuczajuszcziesja sistemoj*, Novosibirsk.
- Royal Observatory of Belgium, 2011, <http://sidc.oma.be/DATA/index.html>
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Błażek E., Skrzypczuk J., 1995, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, 9, ss.320.
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2003, *The cyclic changes of the climate of Warsaw and their conditioning*. [w:] *Studies on the climate of Warsaw*, red. M. Stopa-Boryczka, Warszawa, 35-50.
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Bijak Sz., Cebulski R., Błażek E., Skrzypczuk J., 2007, *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych*. [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, 22-23, Wyd. UW.
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Grabowska K., 2011, *Cykliczne zmiany miejskiej wyspy ciepła w Warszawie i ich przyczyny*. [w:] red. Żmudzka E., Grabowska K., *Badania klimatu w różnych skalach przestrzennych*, *Prace i Studia Geograficzne*, 47, Wyd. UW, 409-416

Streszczenie

Zweryfikowano prognozy opadów atmosferycznych powstałe w Zakładzie Klimatologii UW, podejmowane (przez J. Boryczkę ze współautorami) kilkakrotnie na podstawie najdłuższej w danym czasie serii obserwacyjnej z Wrocławia i Warszawy, tj. od 1859 i 1813 roku. Porównano zmierzone sumy opadów atmosferycznych we Wrocławiu i Warszawie (Okęcie) w latach 1951-2010 z prognozowanymi z wyprzedzeniem 31 lat i 20 lat. Dobrą sprawdzalnością cechują się prognozy opadów we Wrocławiu i Warszawie na lata 1980-2010 i 1991-2010 z 1984, 1993 i 2000 roku, według cykli wykrytych metodą „sinusoid regresji” w seriach wyników pomiarów. Ta pozytywna ocena prognoz wynika z synchronicznych przebiegów wieloletnich wartości zmierzonych i obliczonych (wypadkowa interferencji cykli), a także z istotnych statystycznie związków korelacyjnych (na poziomie ufności 95 %).

Słowa kluczowe: opady atmosferyczne, liczby Wolfa, erupcje wulkaniczne, widmo, okres, interferencja, prognozy, słoje drzew

Summary

This paper offers a verification of the precipitation forecasts developed at the Department of Climatology of the University of Wrocław and Warsaw (by J. Boryczka and co-authors) as part of a series of observations in Warsaw that commenced in 1779. The precipitation recorded at Wrocław and Warsaw (Okęcie) in 1951-2010 were compared with those predicted for the period 1980-2010 and 1991-2010, i.e. 31 and 20 years in the future. Accurate predictions of in Wrocław and Warsaw in 1980-2010 and 1991-2010 from 1984, 1993 and 2000 were obtained by using the cycles identified by applying the sinusoidal regression method to a series of monitoring results. The good accuracy of these forecasts is a result of a similar progression of measured and forecast values over a number of years.

Key words: air temperature, Wolf numbers, spectrum, period, interference, forecast, tree ring,

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

6.1. Zależność przebiegu rocznego temperatury powietrza od aktywności Słońca (na przykładzie Warszawy, 1951-2010)

Jerzy Boryczka, Maria Stopa-Boryczka, Urszula Kossowska-Cezak, Jolanta Wawer

Wprowadzenie

Celem tego artykułu jest przede wszystkim określenie wpływu aktywności Słońca (obserwowanej z Ziemi) na przebieg roczny temperatury powietrza na przykładzie Warszawy-Okęcie (1951-2010).

W badaniach przebiegu rocznego temperatury powietrza szczególną rolę odgrywa cykl roczny aktywności Słońca (i cykle krótsze), związane z ruchem obiegowym Ziemi dookoła Słońca (365,25 dni) i ruchem obrotowym Słońca wokół jego osi, nachylonej pod kątem $82^{\circ}45'$ do płaszczyzny ekliptyki (o nachyleniu równika $7^{\circ}15'$). Okres obrotu Słońca wynosi 25,04 dni na równiku i 31 dni w pobliżu biegunów.

Przebieg roczny temperatury powietrza (T) przedstawiony za pomocą wartości średnich dobowych (60-letnich) z kolejnych 365 dni lat 1951-2010 przedstawia linia łamana, której liczne wzrosty i spadki wskazują kilkudniowe ochłodzenia i ocieplenia – tzw. fale chłodu i ciepła. Przykładami są: majowe i letnie fale chłodu: „zimni ogrodnicy” (Pankracy, Serwacy, Bonifacy, 12-14 V), „zimna Zośka” (15 V), „monsun europejski” (czerwiec) oraz jesienne fale ciepła („babie lato” – wrzesień, październik) i zimowe fale ciepła i chłodu – przysłowie ludowe „Barbara (4 XII) po wodzie – Boże Narodzenie (25 XII) po lodzie (rys. 1-2).

Materiały źródłowe obejmują codzienne wartości temperatury powietrza w Warszawie w latach 1951-2010 – z archiwum PIHM i Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej

Codzienne wartości wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej z lat 1951-2012 pobrano ze strony internetowej: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/month_ao_index.html. Liczby Wolfa z kolejnych dni 1951-2013 wzięto z internetu; <http://sidc.oma.be/sunspot-data/dailyssn.php>; daily total sunspot number, <http://sidc.oma.be/sunspot-data/dailyssn.php>; dayssn_import.txt, a średnie roczne liczby Wolfa z lat 1700-1748 – z publikacji (Reznikov, 1982).

Widma i cykle temperatury powietrza (T), wskaźnika NAO i liczb Wolfa (W) o długościach w przedziale 1-365 dni wyznaczono metodą sinusoid regresji J. Boryczki (1998):

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

gdzie Θ – okres, b – amplituda, c – faza, t – czas, zmieniając okres sinusoidy regresji z odstępem $\Delta\Theta = 0.1$ dnia.

Otrzymano je na podstawie $n = 366$ średnich wartości z kolejnych 60 lat 1951-2010 (reprezentujących 21 915 dni). Istotność statystyczną cykli (współczynników korelacji wielokrotnej R) i współczynników korelacji zwykłej r oceniono, stosując test Fishera-Snedecora $F_{obl} > F_k$.

6.1.1. Fale chłodu i ciepła w cyklu rocznym temperatury powietrza

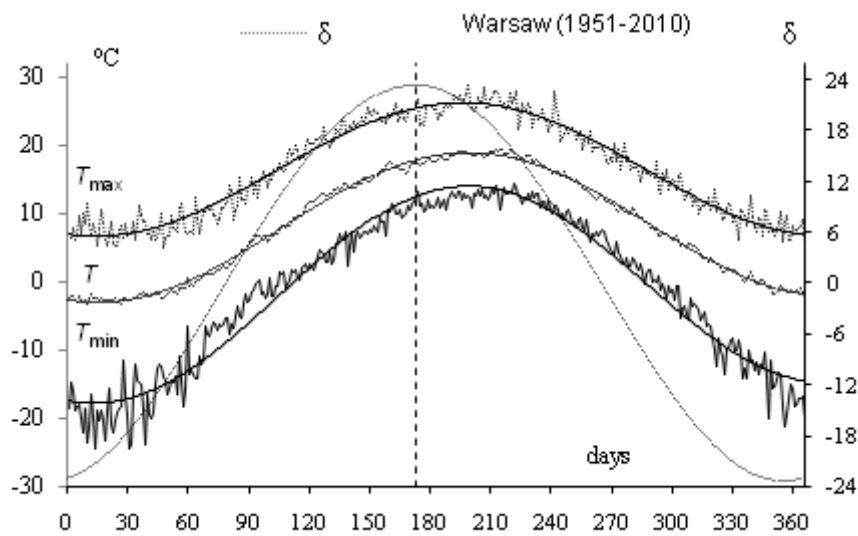
Przebiegi roczne codziennych średnich 60-letnich wartości temperatury powietrza (T) oraz średnich dobowych najniższych (T_{\min}) i najwyższych (T_{\max}) w Warszawie w latach 1951-2010 opisują sinusoidy regresji o częstotliwości $\omega = 2\pi/365.25$, o dużych współczynnikach korelacji wielokrotnej (R): 0,997, 0,979 i 0,980 istotnych na poziomie $< 0,01$:

$$T = f(t) = 7.6773 + 0.002239t + 10.767682 \sin(\omega t - 1.845735).$$

$$T_{\min} = f_1(t) = -2.7659 + 0.007865t + 15.190194 \sin(\omega t - 1.825587).$$

$$T_{\max} = f_2(t) = 16.4562 - 0.000200t + 9.807196 \sin(\omega t - 1.810522).$$

Przebiegi roczne średnich dobowych wartości temperatury powietrza (T) – średnich 60-letnich oraz najniższych (T_{\min}) i najwyższych (T_{\max}) w Warszawie odniesiono do wykresów odpowiednich sinusoid regresji $f(t)$, $f_1(t)$, $f_2(t)$ i cyklu rocznego deklinacji Słońca (δ), wyznaczonego z wzoru I. W. Spencera (1971) (rys. 1).



Rys. 1. Przebieg roczny temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010), T – średnia dobowa 60-letnia, T_{\min} – średnia dobowa najniższa, T_{\max} – średnia dobowa najwyższa w okresie 60 lat, δ deklinacja Słońca

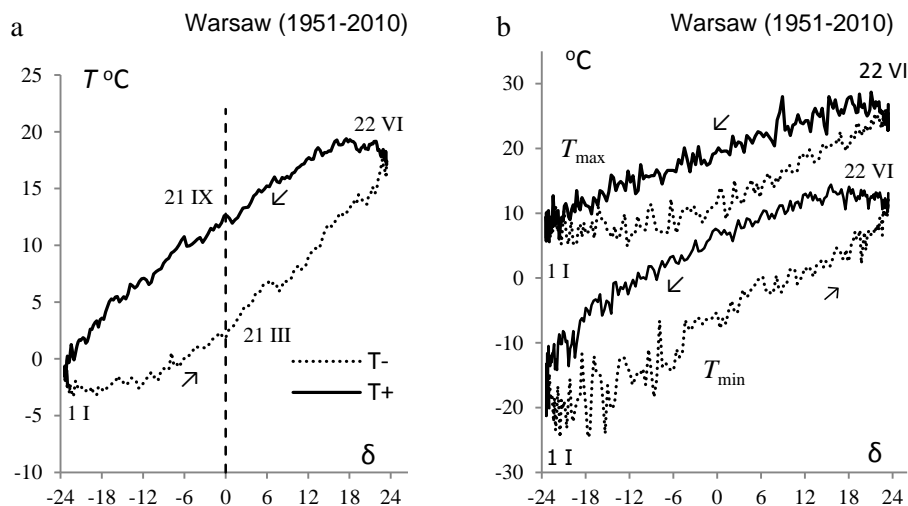
Fig. 1. Annual profile of air temperature in Warsaw (1951-2010): T – 60-year daily average, T_{\min} – minimum daily average, T_{\max} – maximum daily average, δ angle of solar declination

Maksima sinusoid regresji temperatury powietrza $T = f(t)$, $T_{\min} = f_1(t)$ i $T_{\max} = f_2(t)$ są opóźnione o prawie 1 miesiąc względem maksimum deklinacji Słońca δ_{\max} (22 VI):

		Nr	Data
δ_{\max}	23°.417	173.000	22 VI
T	18.889 °C	197.436	17 VII
T_{\min}	13.977 °C	198.608	18 VII
T_{\max}	26.224 °C	196.561	15 VII

To opóźnienie jest spowodowane przesunięciem w czasie ekstremów dobowych (maksimów i minimów) temperatury powierzchni Ziemi (podłoża) i atmosfery względem kulminacji górnej i dolnej Słońca.

Przebieg roczny średnich dobowych 60-letnich wartości temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010) w zależności od codziennych zmian deklinacji Słońca (δ) przedstawiono na rys. 2a. Należy zauważyć, że wartości temperatury powietrza w drugiej połowie roku, tj. od 22 czerwca do końca roku (31 XII) (krzywa górna T_+), są znacznie większe od wartości w dniach od 1 I do 22 VI (krzywa dolna T_-). Największa różnica temperatury powietrza (ponad 10 °C) występuje między równonocą wiosenną ($\delta=0$, $T=1.9$ °C) a równonocą jesienną ($\delta=0$, $T=12.6$ °C). Ponadto przedstawiono przebieg roczny najniższych dobowych 60-letnich wartości (T_{\min}) i najwyższych (T_{\max}) w odniesieniu do deklinacji Słońca (δ) (rys. 2b). Największa różnica 12.8 °C między równonocą wiosenną i jesienną ($\delta=0$) występuje w przypadku najniższych dobowych wartości temperatury T_{\min} (-5.5 i 7.3 °C). W przypadku najwyższych dobowych 60-letnich wartości temperatury T_{\max} różnica ta wynosi 8.7 °C (11.4 i 20.1 °C).



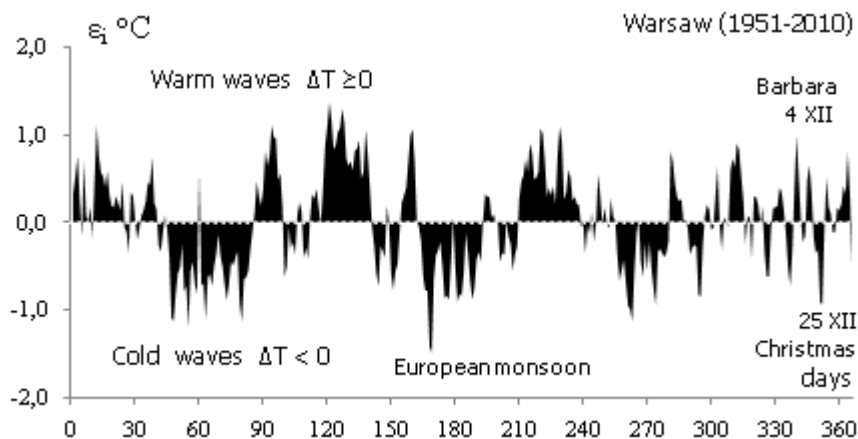
Rys. 2. Przebieg roczny temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010) w odniesieniu do deklinacji Słońca (δ), a) wartości średnich dobowych 60-letnich (T), b) wartości najniższych dobowych 60-letnich (T_{\min}) i najwyższych (T_{\max})

Fig. 2. Annual profile of air temperature in Warsaw (1951-2010) vs. angle of solar declination (δ): a) 60-year daily average (T), b) 60-year minimum daily average (T_{\min}) 60-year maximum daily average (T_{\max})

Fale chłodu ($\Delta T < 0$) i ciepła ($\Delta T \geq 0$) dobrze charakteryzują odchylenia ΔT_i (różnice ε_i) codziennych 60-letnich średnich dobowych wartości zmierzonej temperatury powietrza T_i od odpowiednich punktów sinusoidy regresji $f(t_i)$ (Stopa-Boryczka i in., 2012, Boryczka i in. 2014) (rys. 3):

$$T_i = f(t_i) + \varepsilon_i$$

gdzie: ε_i – reszty, T_i – średnie dobowe wartości zmierzone, $f(t_i)$ – wartości obliczone z równania sinusoidy regresji o okresie $\Theta = 365,25$ dni.



Rys. 3. Fale ciepła i chłodu w Warszawie (1951-2010), $\Delta T = T - f(t)$ – odchylenia średniej wieloletniej dobowej temperatury (T) od sinusoidy regresji $f(t)$ – w przebiegu rocznym

Fig. 3. Warm and cold waves in Warsaw (1951-2010), $\Delta T = T - f(t)$ – deviation of the regression sinusoid $f(t)$ from the long-term average daily air temperature (T) in the annual profile

Wykazano wcześniej, że ochłodzenia i ocieplenia w przebiegu rocznym temperatury powietrza (fale chłodu i ciepła) są spowodowane interferencją cykli o długości kilku i kilkunastu dni oraz cykli wieloletniej średniej miesięcznej temperatury (Stopa-Boryczka i in., 2011a, 2011b, 2012).

Na przykład, sprawcami fal chłodu w maju są cykle: 6.3, 10.4 i 16.5 dni:

$$T = 12.089 + 0.09216t + 0.126 \sin(2\pi t/6.3 + 1.5993) + 0.290 \sin(2\pi t/10.4 - 2.2842) + 0.228 \sin(2\pi t/16.5 + 2.3874)$$

oraz cykle wieloletnie średniej miesięcznej temperatury: 4.3, 6.1, 8.0, 18.2, 30.2 lat (o amplitudach 0.80, 0.53, 0.28, 0.44, 0.11 °C), a przede wszystkim cykle 16.5 dni i 4.3 lat, o największym zakresie wahań 0.46 i 1.6 °C.

Spadki temperatury powietrza w czerwcu (monsun europejski) są natomiast wywołane nakładaniem się cykli 7.3, 10.6, 16.8 dni:

$$T = 16.232 + 0.041362t + 0.229 \sin(2\pi t/7.3 + 2.9757) + 0.314 \sin(2\pi t/10.6 + 2.9427) + 0.540 \sin(2\pi t/16.8 - 1.3462)$$

i cykli długich średniej miesięcznej temperatury 3.7, 9.0, 10.7, 13.7 lat (o amplitudach 0.601, 0.401, 0.319, 0.433 °C).

Jesienne fale ciepła („babie lato”) w przedziale czasu wrzesień- październik (w dniach 244-304) są wywołane cyklami o długości: 15.4, 20.5 i 31.8 dni:

$$T = 55.877 - 0.164228t + 0.2764 \sin(2\pi t / 15.4 - 0.9527) + 0.1279 \sin(2\pi t / 20.5 + 2.1943) + 0.3160 \sin(2\pi t / 31.8 + 2.5458)$$

oraz cyklami długimi – we wrześniu 6.4, 7.2, 13.1, 19.9, 38.6 lat (o amplitudach 0.611, 0.656, 0.524, 0.460, 0.306 °C), a w październiku 4.8, 5.7, 7.8, 19.2 lat (o amplitudach 0.643, 0.862, 0.515, 0.766 °C).

Interesujące jest, że grudniowe fale ciepła i chłodu (4 XII i 25 XII) są spowodowane interferencją cykli krótkich średniej dobowej temperatury 4,6, 7,7, 16,8 dni (o zakresie wahań 0,48, 0,80, 0,70 °C):

$$T = 0.575 - 0.0831 t + 0.241 \sin(2\pi t / 4.6 + 0.0433) + 0.404 \sin(2\pi t / 7.7 - 2.1011) + 0.350 \sin(2\pi t / 16.8 - 1.4969)$$

i interferencją cykli wieloletnich 2.9, 6.7, 8.1, 16.7, 30.7 lat (o amplitudach 1.078, 1.348, 0.843, 1.101, 0.742, a głównie 6.7, 16.7 lat średniej miesięcznej temperatury powietrza (o zakresie wahań 2.7 i 2.2 °C).

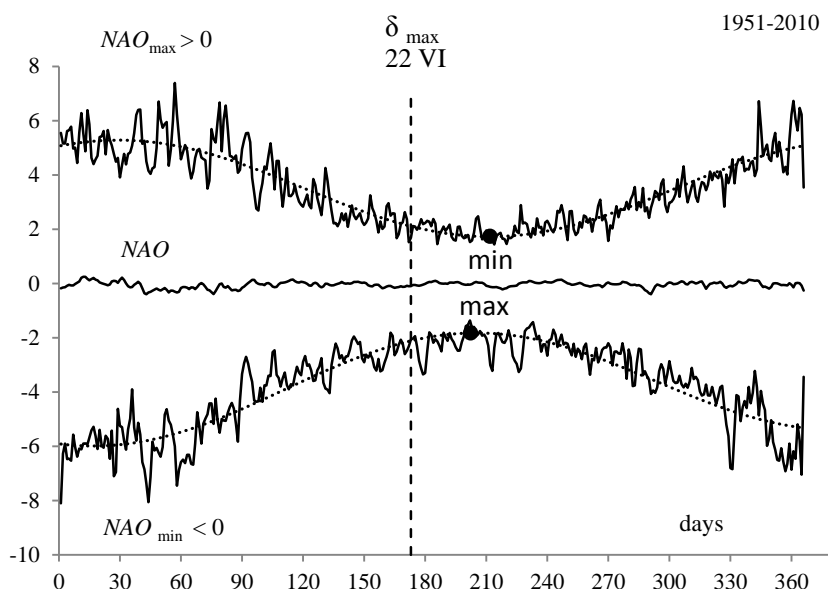
6.1. 2. Cyrkulacyjne uwarunkowania fal chłodu i ciepła

Fale chłodu i ciepła w przebiegu rocznym codziennych wartości temperatury powietrza w Warszawie w latach 1951-2010 są uwarunkowane przebiegiem rocznym Oscylacji Północnoatlantyckiej (*NAO*). Wartości wskaźnika *NAO* określają równoleżnikowy transport mas powietrza: w kierunku wschodnim – $NAO > 0$ i południkowym – $NAO < 0$ (Marsz, 1999, 2008). Zmiany *NAO* powodują pojawianie się w pewnych odstępach czasu kilkudniowych ociepleń i ochłodzeń. Świadczą o tym zmiany roczne wskaźników *NAO*: codziennych wartości średnich dobowych (*NAO*) oraz najniższych (NAO_{\min}) i najwyższych (NAO_{\max}).

Przebiegi roczne wskaźników *NAO*, NAO_{\min} i NAO_{\max} są zbliżone do sinusoid regresji $F(t)$, $F_1(t)$, $F_2(t)$ o częstości $\omega = 2\pi/365.25$ wyznaczonych na podstawie 365 (366) wartości z kolejnych dni (z 60 lat) (rys. 4):

$$\begin{aligned} NAO = F(t) &= -0.033666 - 0.000052 t + 0.03856591 \sin(\omega t - 2.848821) \\ NAO_{\min} = F_1(t) &= -4.085093 + 0.001626 t + 1.931304 \sin(\omega t - 1.910102) \\ NAO_{\max} = F_2(t) &= 3.5043 - 0.000052 t + 1.778929 \sin(\omega t + 1.067360) \end{aligned}$$

Ich współczynniki korelacji wielokrotnej ($R = 0,207$; $R = 0,466$; $R = 0,345$) są istotne na poziomie 0,01, ponieważ statystyki testu Fishera-Snedecora ($F_{\text{obl}} = 8,100$; $F_{\text{obl}} = 50,21$; $F_{\text{obl}} = 24,45$) są większe od wartości krytycznej $F_k = 4.67$.



Rys. 4. Przebieg roczny wskaźnika NAO (1951-2010), NAO – średnia dobowa, NAO_{\min} – najniższa i NAO_{\max} – najwyższa dobowa w okresie 60 lat

Fig. 4. Annual profile of the NAO (1951-2010), NAO – daily average, NAO_{\min} – minimum and NAO_{\max} – maximum.

Maksima sinusoid regresji wskaźników Oscylacji Północnoatlantyckiej: $NAO = F(t)$, $NAO_{\min} = F_1(t)$ i $NAO_{\max} = F_2(t)$ są opóźnione o ponad 1 miesiąc względem maksimum deklinacji Słońca δ_{\max} (173, 22 VI):

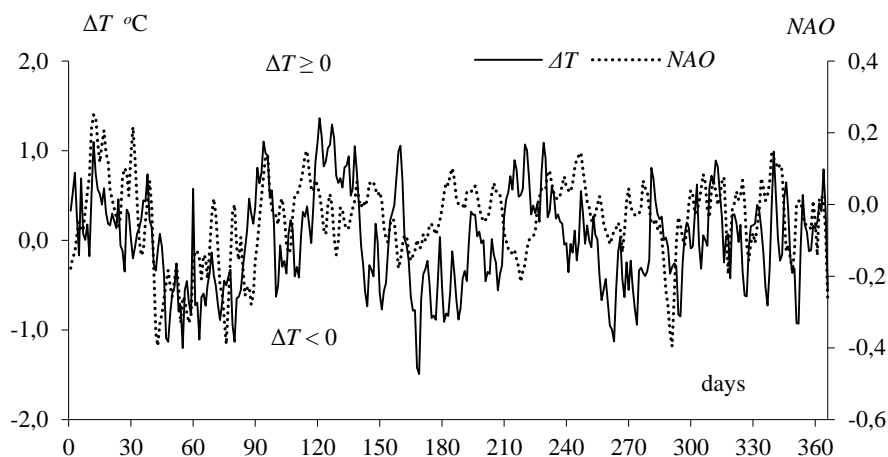
NAO	-0.00544	198.787	18 VII
NAO_{\min}	-1.82477	202.349	21 VII
NAO_{\max}	1.736389	211.89	31 VII

Najniższe (T_{\min}) średnie dobowe wartości temperatury powietrza w Warszawie w przebiegu rocznym od 1 do 365,25 dni (1951-2010) są silnie skorelowane z najniższymi NAO_{\min} wartościami wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej ($r = 0,899$), a najwyższe średnie dobowe (T_{\max}) z najwyższymi NAO_{\max} ($r = -0,858$).

W widmach oscylacji najniższych średnich dobowych wartości temperatury powietrza (T_{\min}) w Warszawie i najniższych wskaźnikach NAO_{\min} są obecne prawie tej samej długości cykle 151,8 i 152,6 dni o amplitudach 11,84 i 1,644 °C i współczynnikach korelacji $R = 0,453$ i $R = 0,491$ istotnych na poziomie 0,01 ($F_{\text{obl}} = 46,733$ i $F_{\text{obl}} = 57,497$, $F_k = 4,67$).

Analogicznie w widmach największych średnich dobowych wartości temperatury T_{\max} i najwyższych wartości wskaźnika NAO_{\max} są obecne zbliżone cykle 146,2 i 150,4 dni o amplitudach 6,03 i 1,08 °C oraz współczynnikach korelacji $R = 0,340$ i $R = 0,428$ istotnych na poziomie 0,01 ($F_{\text{obl}} = 23,66$, $F_{\text{obl}} = 40,59$).

Przy dużych dodatnich wartościach wskaźnika $NAO > 0$ na ogół w Warszawie (1951-2010) występują fale ciepła ($\Delta T \geq 0$), a przy ujemnych wartościach $NAO < 0$ – fale chłodu ($\Delta T < 0$) (rys. 5).

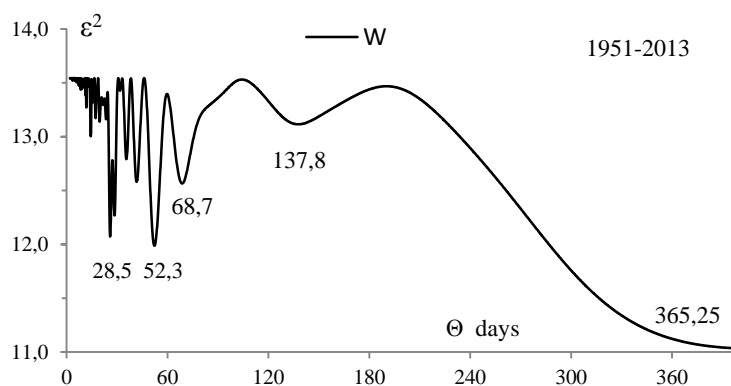


Rys. 5. Fale ciepła ($\Delta T \geq 0$) i chłodu ($\Delta T < 0$) w Warszawie i przebieg roczny średniej dobowej wartości wskaźnika *NAO* (1951-2010)

Fig. 5. Warm waves ($\Delta T \geq 0$) and cool waves ($\Delta T < 0$) in Warsaw vs. average annual profile of daily *NAO* (1951-2010)

6.1.3. Wpływ aktywności słońca na fale chłodu i ciepła

W widmie średnich dobowych liczb Wolfa (W) w latach 1951-2013 (rys. 6) są obecne cykle o długości Θ , amplitudach b i fazach c , gdzie R – współczynnik korelacji, a F_{obl} – test Fishera-Snedecora (tab. 1). Natomiast w widmie maksimum dobowych liczb Wolfa (W_{max}) najdłuższymi cyklami są $\Theta = 122$ dni i 365.25 dni.



Rys. 6. Widmo dobowych liczb Wolfa W (1951-2013)

Fig. 6. Spectrum of daily Wolf numbers W (1951-2013)

Tabela 1. Cykle średnich dobowych liczb Wolfa w latach 1951-2013
Table 1. Cycles of daily average Wolf numbers (1951-2013)

Θ dni	b	c	R	F_{obl}
28,5	1,574105	1,952977	0,3069	13,62
52,3	1,48891	-2,644511	0,3391	17,02
68,7	1,236791	-0,652153	0,269	10,21
137,8	0,662988	2,517657	0,1781	4,29
365,25	1,798819	-2,545154	0,4248	28,84

Przebieg roczny liczb Wolfa: średnich dobowych W (1951-2013) i najwyższych codziennych W_{max} (1951-2010) dobrze opisują równania sinusoid regresji o założonej częstości $\omega = 2\pi/365.25$:

$$W = 66.832 + 0.00466 t + 1.776792 \sin(\omega t - 2.431845)$$

$$W_{max} = 237,2007 + 0,037789 t + 12,604851 \sin(\omega t - 2,737850)$$

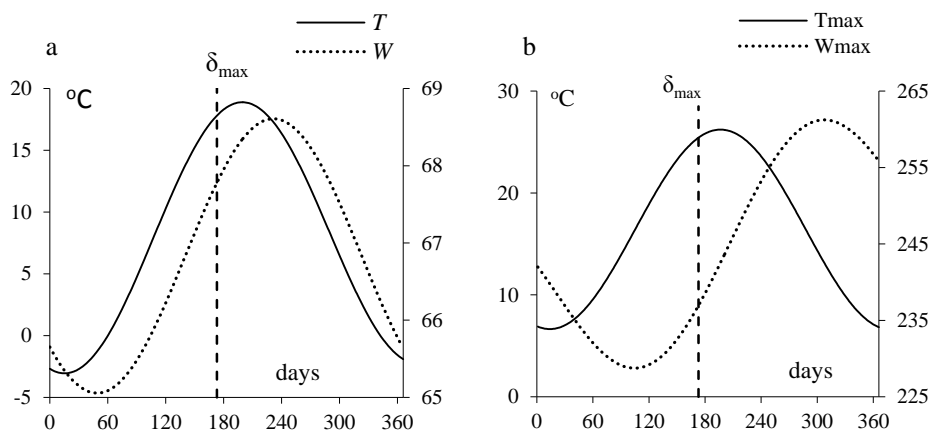
Współczynniki korelacji: $R=0,433$ i $R=0,385$ są istotne na poziomie 0,01 (wartości testu Fishera-Snedecora $F_{obl} = 41,65$ i $F_{obl} = 29,059$ są większe od $F_{kr} = 4,67$).

Maksimum sinusoidy regresji średnich dobowych liczb Wolfa: W (1951-2013) jest opóźnione względem maksimum deklinacji Słońca δ_{max} (173, 22 VI) o ponad 2 miesiące (20 VIII), a maksimum sinusoidy najwyższych dobowych liczb Wolfa W_{max} (1951-2010) o prawie 3 miesiące (7 IX) (rys. 7):

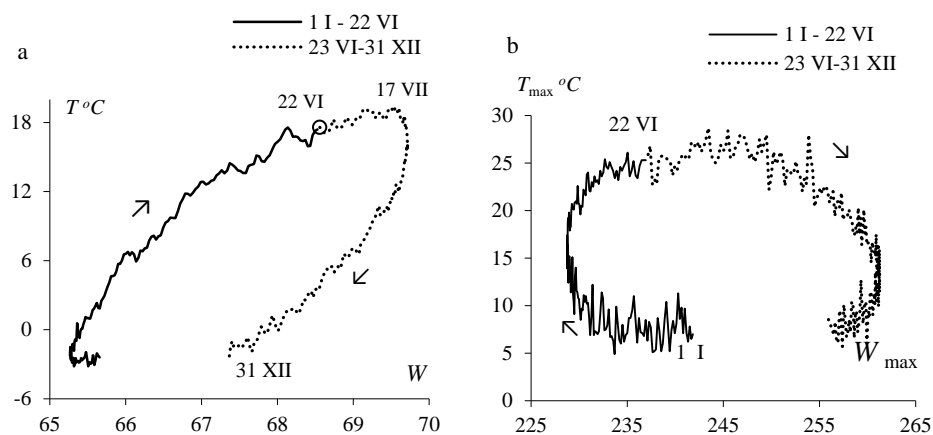
$$W \quad 69,69308 \quad 232,679 \quad 20 \text{ VIII}$$

$$W_{max} \quad 259,2705 \quad 250,468 \quad 7 \text{ IX}$$

Trzeba zauważyć, że w cyklu rocznym (spowodowanym ruchem obiegowym Ziemi dookoła Słońca) wzrost średniej dobowej temperatury powietrza T w miesiącach od stycznia do połowy lipca, wywołany jest dodatkowo wzrostem aktywności Słońca (dobowych liczb Wolfa W), a jej późniejszy spadek do grudnia – mniejszą aktywnością Słońca W (rys. 8).



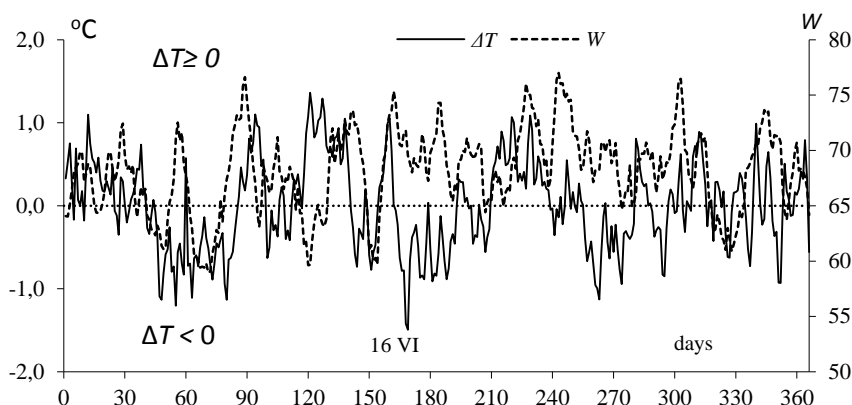
Rys. 7. Przebieg roczny temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010) i aktywności Słońca (liczb Wolfa), a) T i W , b) T_{\max} i W_{\max}
Fig. 7. Annual profile of air temperature in Warsaw (1951-2010) and of solar activity (Wolf numbers), a) T and W , b) T_{\max} and W_{\max}



Rys. 8. Zależność temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010) od aktywności Słońca (liczb Wolfa), a) T od W , b) T_{\max} od W_{\max} .
Fig. 8. Dependence of air temperature in Warsaw (1951-2010) on solar activity (Wolf numbers), a) T on W , b) T_{\max} on W_{\max}

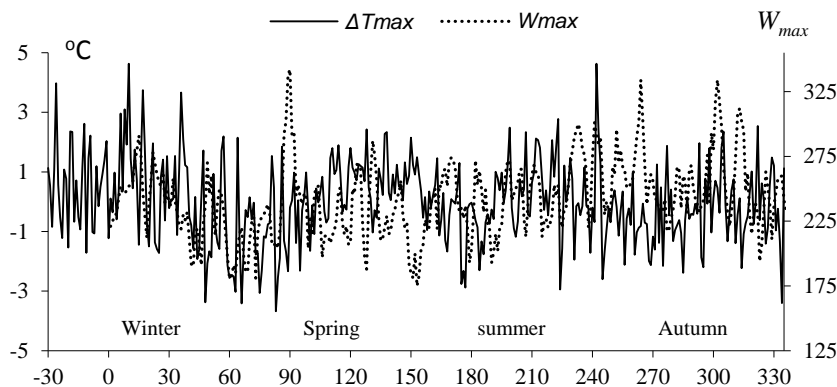
To opóźnienie ekstremów dobowych (maksimów i minimów) temperatury powietrza względem kulminacji górnej i dolnej Słońca wynika nie tylko z procesów fizycznych wymiany energii cieplnej między powierzchnią czynną (podłożem) i atmosferą, lecz także z przebiegu rocznego aktywności Słońca (liczby plam na widocznej z Ziemi tarczy obracającego się Słońca)

Zmiany roczne odchyłeń średnich dobowych wartości temperatury powietrza $\Delta T = T - f(t)$ i dobowych liczb Wolfa (W) są na ogół synchroniczne (rys. 9). Koincydencja ekstremów występuje także w przypadku przebiegów rocznych odchyłeń najwyższych średnich dobowych wartości temperatury powietrza $\Delta T_{\max} = T - f_2(t)$ i maksimum liczb Wolfa (W_{\max}) (rys. 10)



Rys. 9 Fale chłodu i ciepła $\Delta T = T - f(t)$ w Warszawie i liczby Wolfa (W) w latach 1951-2010

Fig. 9. Warm and cool waves $\Delta T = T - f(t)$ in Warsaw vs. Wolf numbers (W) (1951-2010)



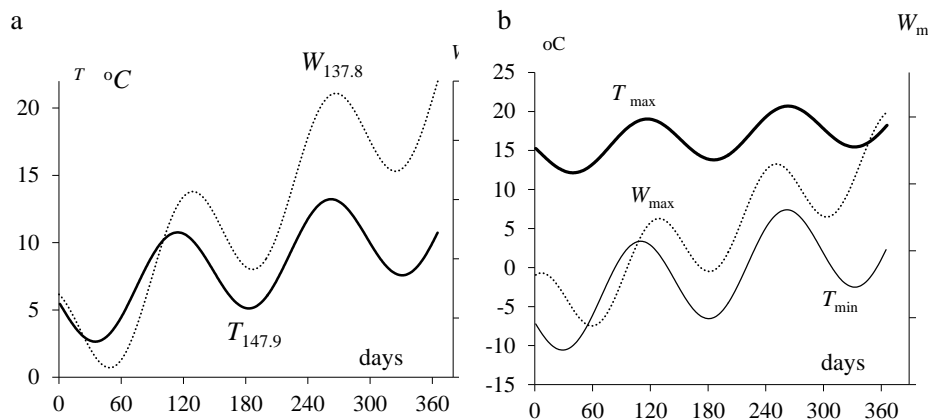
Rys. 10. Fale chłodu i ciepła $\Delta T_{\max} = T_{\max} - f_2(t)$ w Warszawie i maksima dobowe liczb Wolfa (W_{\max}) w latach 1951-2010

Fig. 10. Warm and cool waves $\Delta T_{\max} = T_{\max} - f_2(t)$ in Warsaw vs. maximum daily Wolf numbers (W_{\max}) (1951-2010)

W celu wykazania dużej zależności przebiegu rocznego temperatury powietrza w Warszawie od liczb Wolfa w latach 1951-2010 i porównano sinusoidy regresji o okresach najdłuższych występujących w widmach oscylacji (bez cyklu rocznego o długości $\theta = 365,25$ dni): $T - 147,9$ dni, $W - 137,8$ dni (1951-2013), $T_{\min} - 151,8$ dni, $T_{\max} - 146,2$ dni i $W_{\max} = 122,0$ dni. Cykle te charakteryzują się istotnymi współczynnikami korelacji wielokrotnej (R) – odpowiednio 0,386, 0,283, 0,453, 0,340 i 0,384 (na poziomie 0,01, $F_{kr} = 4,67$).

T	$= 5.4431 + 0.016665t + 3.4193586\sin(2\pi t/147.9 + 3.064770)$	R	F_{obl}
T_{min}	$= -5.4719 + 0.026545t + 5.929996\sin(2\pi t/151.8 - 2.916341)$	0.386	31.49
T_{max}	$= 14.6991 + 0.011321t + 3.017739\sin(2\pi t/146.2 + 2.916286)$	0.453	46.73
W	$= 65.5772 + 0.012035t + 1.03803\sin(2\pi t/137.8 + 2.224552)$	0.340	23.66
W_{max}	$= 225.7675 + 0.100149t + 8.766014\sin(2\pi t/122.0 + 1.430669)$	0.385	31.40
		0.384	31.31

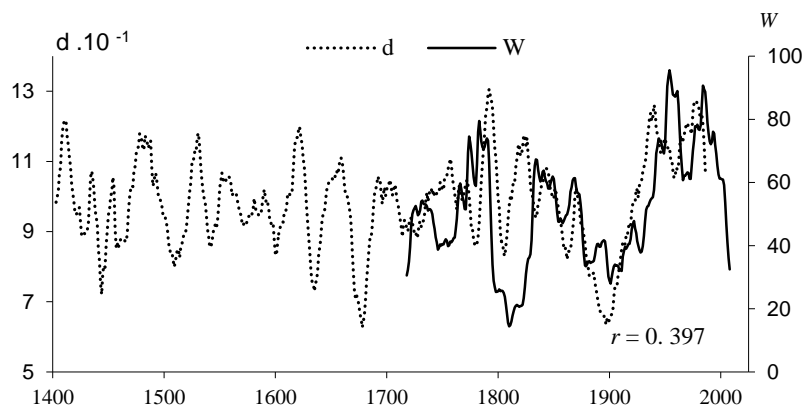
Na uwagę zasługuje zbliżona koincydencja ekstremów i tendencje rosnące średniej dobowej temperatury powietrza (T) w Warszawie – w cyklu 147,9 dni i średnich dobowych liczb Wolfa (W) – w cyklu 137,8 dni (1951-2013) (rys. 11a). Analogiczny wniosek o zależności najniższych (T_{min}) i najwyższych (T_{max}) średnich dobowych wartości temperatury powietrza w Warszawie od maksimów dobowych liczb Wolfa (W_{max}) wynika z porównania sinusoid o okresach T_{min} – 151,8 dni, T_{max} – 146,2 dni i W_{max} – 122,0 dni (rys. 11b).



Rys. 11. Zmiany roczne temperatury powietrza w Warszawie i liczb Wolfa (1951-2010), a) średnich dobowych wartości (T , W); b) najmniejszych (T_{min}) i największych (T_{max}) średnich dobowych wartości temperatury i W_{max}

Fig. 11. Annual change in air temperature in Warsaw and in Wolf numbers (1951-2010): a) daily averages (T , W); b) minimum (T_{min}) and maximum (T_{max}) annual daily air temperatures and W_{max}

O zależności klimatu od aktywności Słońca świadczy np.. koincydencja ekstremów średnich 11-letnich ruchomych liczb Wolfa (1700-2013) i szerokości słoju świerka (*Pinus silvestris* (Stonnglandes, Norwegia, 1403-1997) (rys. 12).



Rys. 12. Synchroniczne wahania średniej szerokości słoików *Pinus silvestris* (Stonnglandes, Norwegia) i liczb Wolfa w latach 1700-1997 (średnie ruchome 11-letnie),

Fig. 12. Synchronous fluctuation of the width of spruce tree rings (*Picea abies*) at Stonnglandes (1403-1997, Norway) and Wolf numbers (1700-1997), 11-year moving averages

Współczynnik korelacji $r = 0,397$ średniej 11-letniej (ruchomej) szerokości słoików tego świerka (d) z liczbami Wolfa (W) w latach 1700-1997 jest istotny na poziomie 0.01.

Podsumowanie

Wykazano zależność przebiegu rocznego średnich dobowych wartości temperatury powietrza w Warszawie (Okęcie) od przebiegu rocznego aktywności Słońca, wynikającego z ruchu obrotowego Słońca (o okresie 25-31 dni). Fale chłodu ($\Delta T < 0$) i ciepła ($\Delta T \geq 0$) zdefiniowano jako odchylenia ΔT średnich dobowych zmierzonych wartości temperatury (T) od sinusoidy regresji $f(t)$ o okresie 365 dni. Na ogół fale chłodu występują przy małej średniej dobowej (60-letniej) aktywności Słońca, a fale ciepła – przy dużych wartościach dobowych liczb Wolfa. Cykle badanych zmiennych o długościach 1-365 dni wyznaczono metodą sinusoid regresji (Boryczka, 1998). Maksimum sinusoidy regresji cyklu rocznego temperatury powietrza T jest opóźnione o prawie 1 miesiąc względem maksimum deklinacji Słońca.

Wzrost średniej dobowej temperatury powietrza T w miesiącach od stycznia do połowy lipca wywołany jest nie tylko wzrostem deklinacji Słońca, lecz także wzrostem aktywności Słońca (liczb Wolfa W), a jej późniejszy spadek do grudnia – dodatkowo mniejszą aktywnością Słońca W . Ponadto występuje koincydencja ekstremów cykli krótszych temperatury powietrza 147,9 dni i liczb Wolfa 137,2 dni.

Summary

The paper demonstrates a dependency between the annual average daily air temperature profile in Warsaw (Okęcie) and the profile of the annual solar activity linked to rotation (with a period of 25-31 days). Waves of cold ($\Delta T < 0$) or hot ($\Delta T \geq 0$) were defined as ΔT deviations of daily average measured temperature (T) using a regression sinusoid $f(t)$ with a period of 365 days. Cold waves were found to generally occur at times of low daily average solar activity (60-year), while hot waves tended to coincide with high Wolf numbers. The cycles of the variables studied, ranging from 1 to 365

days, were derived using the sinusoid regression method (Boryczka 1998). The maximum sinusoid regression of the annual air-temperature cycle T is delayed by nearly one month vis-à-vis the maximum declination of the Sun.

The increase of the average daily air temperature T observed between January and mid-July is caused not just by an increase in the angle of the Sun's declination, but also by an increase of solar activity (Wolf number W), while the subsequent decrease in temperature lasting until December is also caused by the falling W numbers. There is also a coincidence of the extremes of shorter air temperature cycles of 147.9 days and Wolf numbers of 137.2 days.

Keywords: annual cycle, cold waves, hot waves, solar activity, regression sinusoid, period, amplitude, interference

Literatura

- Boryczka J., 1998, *Zmiany klimatu Ziemi*, Wyd. Akadem. DIALOG, Warszawa
- Boryczka J., 2015, *Zmiany klimatu Ziemi* (wydanie II), Wyd. Wydziału Geografii i SR UW, Warszawa, ss. 280
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2014, *Zależność najniższych i najwyższych średnich dobowych wartości temperatury powietrza od aktywności Słońca (na przykładzie Warszawy, 1951-2010)*, Prace i Studia Geograficzne, T. 56 s. 67-95
- Kossowska-Cezak U., 1994, *O „monsunie europejskim”*. Prz. Geof., 39, 1, 65-73.
- Marsz A. A. (red.), 1999, *Wpływ stanu termicznego powierzchni oceanu na modyfikacje cyrkulacji atmosferycznej w wymiarze klimatologicznym*, conference proceedings, Gdynia, 6 May 1999.
- Marsz A. A., 2008, *W sprawie genezy Oscylacji Północnego Atlantyku*, Przegl. Geof., 53, LIII, 1, s.3-26.
- Reznikow A. P., 1982, *Priedskazaniye jestiestwiennych processow obuczajuszczijsja sistiemoj*, Nowosybirsk.
- Słownik meteorologiczny*, 2003, red.T. Niedźwiedź, Warszawa, PT Geof./IMGW.
- Spencer I. W., 1971, *Fourier series representation of the position of the sun*, Search, No 2.
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Tońska M., 2006, *Fale chłodu i ciepła w przebiegu rocznym temperatury powietrza w Polsce*. [w:] *Prognozy pogody w przysłowiacz i ich sprawdzalność w Polsce*. Materiały Zakładu Klimatologii WGSR UW z X Pikniku Naukowego Radia BIS (3 VI 2006). Wyd. WG i SR UW, Warszawa.
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2011a, *Fale chłodu i ciepła w przebiegu rocznym temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010)*, Prz. Geof. 56, 3-4, 181-200
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2011b, *Heat and cold waves in an annual cycle air temperatures in Warsaw (1951-2010)*, Miscellanea Geographica, 15, 103-114.
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2012, *Fale chłodu i ciepła w przebiegu rocznym temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010)*, [w:] Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Grabowska K., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., Grzęda M. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*. T. XXVI-XXVII, *Z badań klimatu Mazowsza (z uwzględnieniem większych miast)*, Wyd. UW, s.43-53.
- Tońska M., 2006, *Wartość prognostyczna niektórych przysłów dotyczących pogody*, Praca magisterska w Zakładzie Klimatologii WG i SR UW (Op. nauk. J. Wawer).
- Zieliński R., 1972, *Tablice statystyczne*, PWN, Warszawa.

6.2. The dependency between annual air temperature and solar activity. A case study of Warsaw in 1951-2010

Jerzy Boryczka , Maria Stopa-Boryczka, Urszula Kossowska-Cezak , Jolanta Wawer

Introduction

The main objective of this paper is to determine the influence of solar activity, as observed from the Earth, on the annual profile of air temperatures using Warsaw as a case study over the period 1951-2010.

In the study of the annual air temperature profile a particularly important role is played by annual, or shorter, cycles of solar activity linked to the Earth's orbiting around the Sun (365.25 days) and the Sun's rotation around its axis inclined at an angle of 82°45' to the plane of the ecliptic (with an inclination of the equator of 7°15'). The Sun has a rotation period of 25.04 days at its equator and 31 days near its poles.

The annual profile of air temperature (T), represented by average (60-year) daily values from continuous 365-day strings over the period 1951-2010 is illustrated by a curve with numerous peaks and troughs representing short hot and cold spells, or waves.

Examples include the cold waves in May and summer known in Poland under a variety of colourful names including, "the cold gardeners" (from patron saints Pankras, Servatius and Boniface on 12-14 May), "the cold Sophie" (patron saint of 15 May), "the European monsoon" (June) (Kossowska-Cezak, 1994); the Indian summer hot waves known as "babie lato" (September and October); and winter warm and cold waves captured in a folk proverb "If Barbara (4 December) is wet then Christmas (25 December) will be icy" (Stopa-Boryczka et. al. , 2006).

The sources used in the study included daily air temperatures in Warsaw measured during the period 1951-2010 which were obtained from the archives of PIHM and the Institute of Meteorology and Water Management. Daily values of the NAO index covering the period 1951-2012 and daily Wolf numbers from the 1951-2013 were downloaded from the on-line service under the address. [http: \(references\)](#).

Spectrums and cycles of air temperature (T), NAO index and Wolf numbers (W) ranging from 1 to 365.25 days in length were identified using the regression sinusoid method proposed by J. Boryczka (1998):

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

where: Θ – period, b – amplitude, c – phase, t – time, by changing a period of a sinusoid Θ every 0.1 day.

They were derived using $n = 366$ average values for each year of the period 1951-2010 (60 years or 21,915 days).

The statistical significance of these cycles (i.e. multiple correlation coefficients R) and normal correlation coefficients r were assessed with the Fisher-Snedecor test $F_{\text{calc}} > F_{\text{crit}}$ (Zieliński, 1972)

6.2.1. Annual profiles of air temperature in cold and hot waves

The period's annual profiles of daily averages of 60-year air temperature values (T), the minimum daily averages (T_{\min}) and maximum daily averages (T_{\max}) in Warsaw are described by regression sinusoids with a frequency of $\omega = \frac{2\pi}{365.25}$, with high multiple correlation coefficients (R) of 0.997, 0.979 and 0.980, and with statistical significance $at < 0.01$:

$$\begin{aligned} T &= f(t) = 7.6773 + 0.002239t + 10.767682 \sin(\omega t - 1.845735). \\ T_{\min} = f_1(t) &= -2.7659 + 0.007865t + 15.190194 \sin(\omega t - 1.825587). \\ T_{\max} = f_2(t) &= 16.4562 - 0.000200t + 9.807196 \sin(\omega t - 1.810522). \end{aligned}$$

The annual profiles of average daily air temperatures (T) – 60-year averages, minimum (T_{\min}) and maximum (T_{\max}) values in Warsaw were compared to corresponding regression sinusoids $f(t)$, $f_1(t)$, $f_2(t)$ and to the annual solar declination cycle (δ) derived from the IW Spencer formula (1971) (Fig. 1).

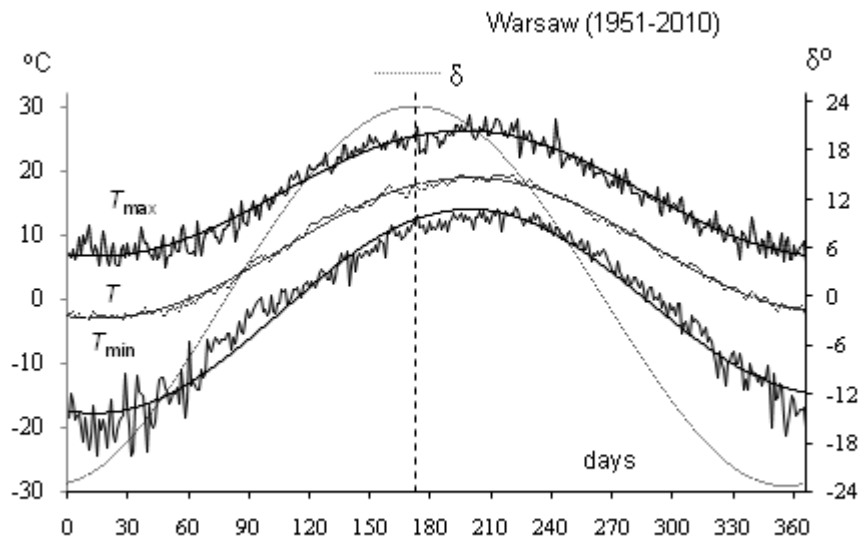


Figure 1. Annual profile of air temperature in Warsaw (1951-2010): T –60-year daily average, T_{\min} – minimum daily average, T_{\max} – maximum daily average, δ angle of solar declination

The maximum values of the air temperature regression sinusoids $T = f(t)$, $T_{\min} = f_1(t)$ and $T_{\max} = f_2(t)$ follow the maximum Sun declination δ_{\max} (22 June) with a nearly one-month delay:

		N_o	Date
δ_{\max}	$23^{\circ}.417$	173.000	22 June
T	18.889°C	197.436	17 July
T_{\min}	13.977°C	198.608	18 July
T_{\max}	26.224°C	196.561	15 July

This delay is caused by a time-shift of the daily extreme values (maximum and minimum) of the Earth's surface (ground) and the atmosphere in comparison to the upper and lower culmination of the Sun.

The annual profile of the daily averages of 60-year air temperatures in Warsaw (1951-2010) depending on the daily solar declination (δ) is shown on Fig. 2a. Notably, in the second half of the year, i.e. from 22 June until the end of the year (31 December), air temperatures (upper T_+ curve) are considerably higher than those in the other half of the year (1 January – 22 June) (lower T_- curve). The greatest air temperature difference (of more than 10°C) is observed between the spring equinox ($\delta = 0^\circ$, $T=1.9^\circ\text{C}$) and the autumn equinox ($\delta = 0^\circ$, $T=12.6^\circ\text{C}$). Additionally, the study presents the annual profile of the lowest 60-year values (T_{\min}) and highest 60-year values (T_{\max}) in comparison with the corresponding solar declination (δ) (Fig. 2b). The greatest difference of 12.8°C between the two equinoxes ($\delta=0$) is observed in the minimum daily temperatures T_{\min} (-5.5 and 7.3°C). At the other end of the spectrum, T_{\max} , the difference amounts to 8.7°C (11.4 and 20.1°C).

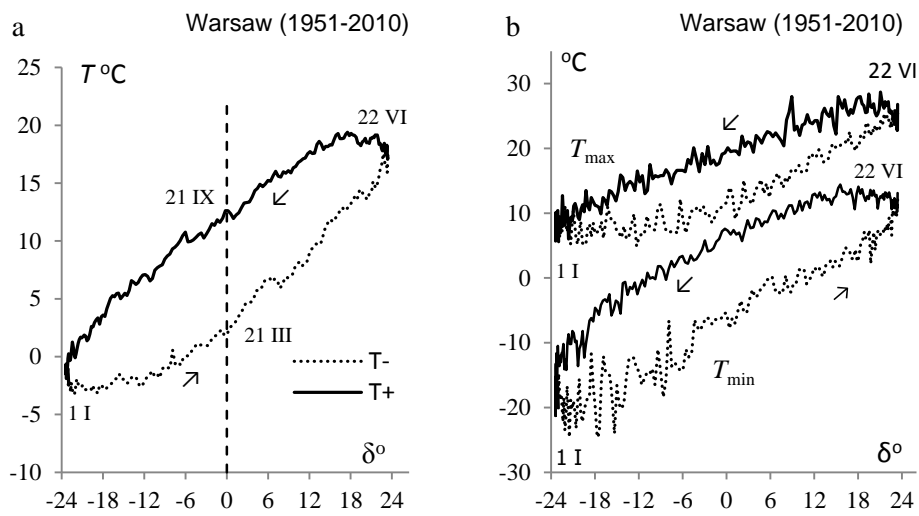


Figure 2. Annual profile of air temperature in Warsaw (1951-2010) vs. angle of solar declination (δ°): a) 60-year daily average (T), b) 60-year minimum daily average (T_{\min}) 60-year maximum daily average (T_{\max})

Both cold waves ($\Delta T < 0$) and heat waves ($\Delta T \geq 0$) provide a good characteristic of the deviations ΔT_i (remainders ε_i) of the daily 60-year daily average values of measured air temperatures T_i from the corresponding points of the regression sinusoid $f(t_i)$ (Stopa-Boryczka et. al., 2012, Boryczka et. al., 2014) (Fig. 3):

$$T_i = f(t_i) + \varepsilon_i$$

where: ε_i – remainders, T_i – daily average of measured values, $f(t_i)$ – values derived from the regression sinusoid formula with a period of $\Theta = 365.25$ days.

Earlier studies proved that warmer and cooler spells in the annual air temperature profile (i.e. hot and cold waves) were caused by interferences between cycles lasting 378

single days to up to 20 days and multi-year average monthly temperature cycles (Stopa-Boryczka et. al., 2006, 2011a, 2011b, 2012, Boryczka et.al., 2014).

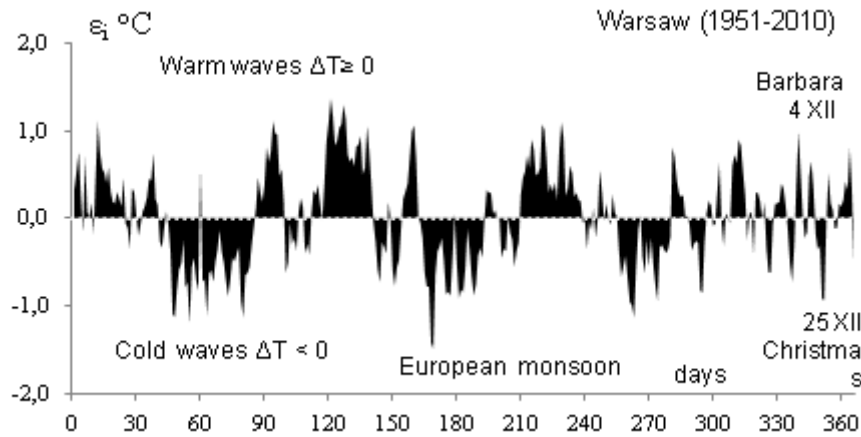


Figure 3. Warm and cold waves in Warsaw (1951-2010), $\Delta T = T - f(t)$ – deviation of the regression sinusoid $f(t)$ from the long-term average daily air temperature (T) in the annual profile

For example, cool spells in May are caused by cycles of: 6.3, 10.4 and 16.5 days summed up with the following formula:

$$T = 12.089 + 0.09216 t + 0.126 \sin(2\pi t/6.3 + 1.5993) + 0.290 \sin(2\pi t/10.4 - 2.2842) + 0.228 \sin(2\pi t/16.5 + 2.3874)$$

that combined with multi-year average monthly temperature cycles with lengths of: 4.3, 6.1, 8.0, 18.2, 30.2 years (and with amplitudes of 0.80, 0.53, 0.28, 0.44 and 0.11 °C). The most prominent cycles contributing here are: 16.5-day and 4.3- year cycles that produced the greatest differences of 0.46 and 1.6°C.

Cool spells in June (the European monsoon, Kossowska-Cezak, 1994) are caused by the overlap of cycles with a length of 7.3, 10.6 and 16.8 days:

$$T = 16.232 + 0.041362 t + 0.229 \sin(2\pi t/7.3 + 2.9757) + 0.314 \sin(2\pi t/10.6 + 2.9427) + 0.540 \sin(2\pi t/16.8 - 1.3462)$$

with long-term average monthly cycles with a length of 3.7, 9.0, 10.7 and 13.7 years (and with amplitudes of 0.601, 0.401, 0.319 and 0.433 °C).

The autumn waves of hot weather (“Indian summer”) in September and October (on days 244-304) are caused by cycles with a duration of 15.4, 20.5 and 31.8 days:

$$T = 55.877 - 0.164228 t + 0.2764 \sin(2\pi t/15.4 - 0.9527) + 0.1279 \sin(2\pi t/20.5 + 2.1943) + 0.3160 \sin(2\pi t/31.8 + 2.5458)$$

combined with long-term cycles, including in September: 6.4, 7.2, 13.1, 19.9 and 38.6 years (with amplitudes of 0.611, 0.656, 0.524, 0.460 and 0.306°C) and in October: 4.8, 5.7, 7.8 and 19.2 years (with amplitudes of 0.643, 0.862, 0.515 and 0.766 °C).

It is interesting to note that the December warm and cold waves (4 December and 25 December) are caused by interference between short cycles of average daily tempera-

ture with a duration of 4.6, 7.7 and 16.8 days (and amplitudes of 0.48, 0.80 and 0.70 °C):

$$T = 0.575 - 0.0831 t + 0.241 \sin(2\pi t / 4.6 + 0.0433) + 0.404 \sin(2\pi t / 7.7 - 2.1011) + 0.350 \sin(2\pi t / 16.8 - 1.4969)$$

and long term cycles of 2.9, 6.7, 8.1, 16.7 and 30.7- years (with amplitudes of 1.078, 1,348, 0.843, 1.101, 0.742) and most of all of 6.7 and 16.7 years of average monthly air temperature (amplitudes of 2.7 and 2.2 °C).

6.2.2. The impact of circulation on warm and cool waves

Warm and cool waves in the annual profile of daily air temperatures in Warsaw during the study period were influenced by the corresponding profile of the North Atlantic Oscillation (NAO). *NAO* values indicate longitudinal movement of air masses; values above zero correspond to an eastwards movement and values below zero to a westwards movement (Marsz, 1999, 2008). A change in *NAO* causes short warm or cool spells of several days in length. This is demonstrated by changes in annual *NAO* values, such as the average daily (*NAO*), minimum (*NAO_{min}*) and (*NAO_{max}*) maximum values.

The annual profiles of *NAO*, *NAO_{min}* and *NAO_{max}* are similar to regression sinusoids of $F(t)$, $F_1(t)$, $F_2(t)$ with the frequency $\omega = \frac{2\pi}{365.25}$, derived from 365 (366) values from successive days (of the 60 year period) (Fig. 4):

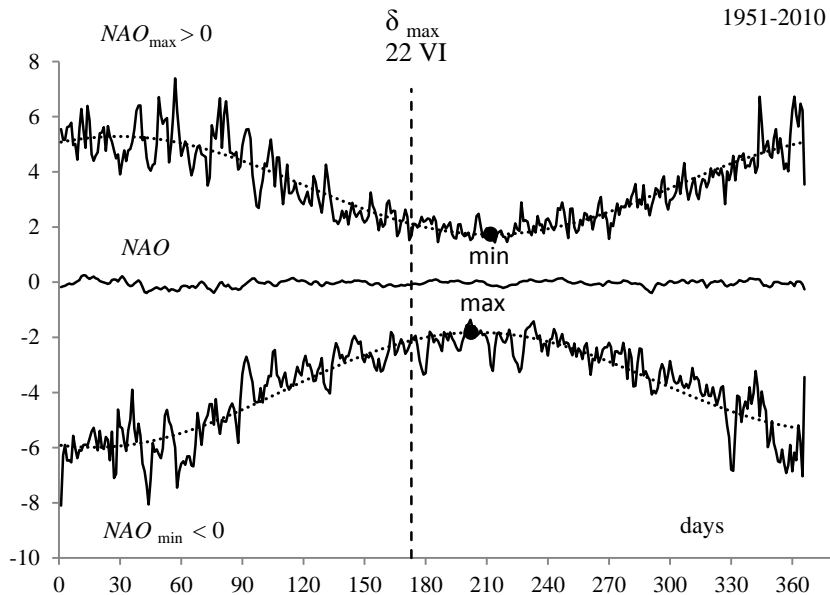


Figure 4. Annual profile of the NAO (1951-2010), *NAO* – daily average, *NAO_{min}*–minimum and *NAO_{max}*–maximum.

$$NAO = F(t) = -0.033666 - 0.000052 t + 0.03856591 \sin(\omega t - 2.848821)$$

$$NAO_{\min} = F_1(t) = -4.085093 + 0.001626 t + 1.931304 \sin(\omega t - 1.910102)$$

$$NAO_{\max} = F_2(t) = 3.5043 - 0.000052 t + 1.778929 \sin(\omega t + 1.067360)$$

Their multiple correlation coefficients ($R = 0.207$, $R = 0.466$, $R = 0.345$) are significant at 0.01 because the statistical values produced by the Fisher-Snedecor test ($F_{\text{calc}} = 8.100$, $F_{\text{calc}} = 50.21$, $F_{\text{calc}} = 24.45$) are greater than the critical value $F_{\text{crit}} = 4.67$.

The maximum values of *NAO* regression sinusoids ($NAO = F(t)$, $NAO_{\min} = F_1(t)$ and $NAO_{\max} = F_2(t)$) fall more than one month after the maximum angle of solar declination δ_{\max} (173,22 VI):

<i>NAO</i>	-0.00544	198.787	18 VII
<i>NAO</i> _{min}	-1.82477	202.349	21 VII
<i>NAO</i> _{max}	1.736389	211.89	31 VII

The lowest average daily temperatures (T_{\min}) in Warsaw in the annual profile of 1 to 365.25 days (1951-2010) are strongly correlated with the lowest *NAO* values (NAO_{\min} , $r = 0.899$) while the highest daily averages (T_{\max}) display a similar correlation with the highest *NAO* values (NAO_{\max} , $r = -0.858$).

Both the ranges of the lowest average daily temperature (T_{\min}) in Warsaw and the lowest *NAO*_{min} values feature cycles of nearly identical lengths, i.e. 151.8 and 152.6 days long, with amplitudes of 11.84°C and 1.644°C respectively, and correlation coefficients of $R = 0.453$ and $R = 0.491$ that are statistically significant at 0.01 ($F_{\text{calc}} = 46.733$ and $F_{\text{calc}} = 57.497$, $F_{\text{crit}} = 4.67$).

Similarly, the ranges of the highest daily temperature T_{\max} and the highest *NAO*_{max} feature similar cycles of 146.2 and 150.4 days in length and amplitudes of 6.03°C and 1.08°C correlated at $R = 0.340$ and $R = 0.428$ significant at 0.01 ($F_{\text{calc}} = 23.66$, $F_{\text{calc}} = 40.59$).

Typically, when *NAO* values were significantly above zero Warsaw experienced a warm wave ($\Delta T \geq 0$) and when *NAO* was lower than zero it experienced a wave of cool weather ($\Delta T < 0$) (Fig. 5).

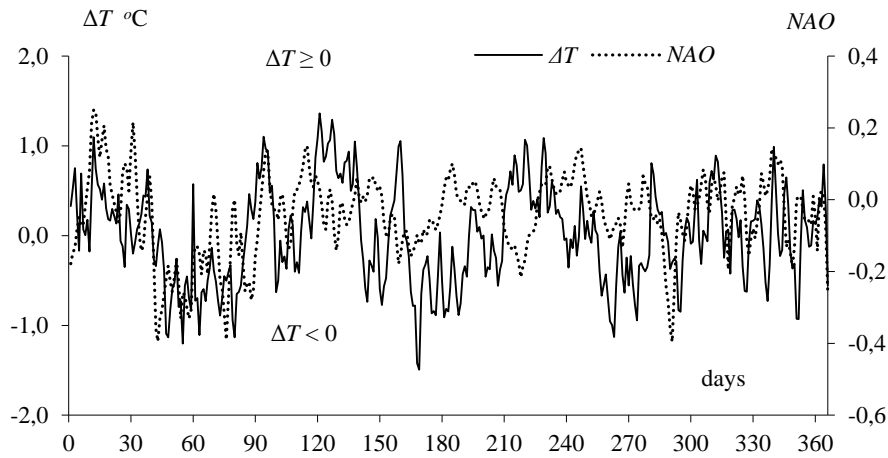


Figure 5. Warm waves ($\Delta T \geq 0$) and cool waves ($\Delta T < 0$) in Warsaw vs. average annual profile of daily NAO(1951-2010)

6.2.3. The influence of solar activity on warm and cool waves

The range of the average daily Wolf numbers (W), during the study period (Fig. 6), features cycles with durations Θ , amplitudes b and phases c , where R is the correlation coefficient and F_{calc} represents the Fisher-Snedecor test (Tab.1). In the range of daily maximum Wolf numbers (W_{max}) the longest cycles equal $\Theta = 122$ days and 365.25 days.

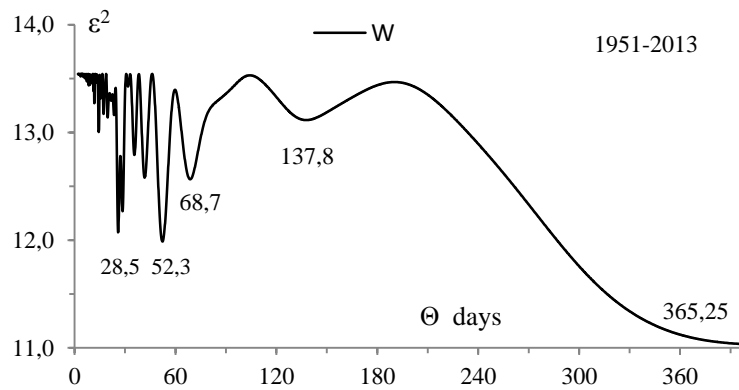


Figure 6. Spectrum of daily Wolf numbers W (1951-2013)

Table 1. Cycles of daily average Wolf numbers (1951-2013)

Θ days	b	c	R	F_{obl}
28,5	1,574105	1,952977	0,307	13,62
52,3	1,488910	-2,644511	0,339	17,02
68,7	1,236791	-0,652153	0,269	10,21
137,8	0,662988	2,517657	0,178	4,29
365,25	1,798819	-2,545154	0,425	28,84

The annual profile of Wolf numbers, including daily average W (1951-2013) and the daily maximum W_{max} (1951-2010), is well matched by regression sinusoid formulae of assumed frequency:

$$W = 66.832 + 0.00466 t + 1.776792 \sin(\omega t - 2.431845)$$

$$W_{\text{max}} = 237.2007 + 0.037789 t + 12.604851 \sin(\omega t - 2.737850)$$

Correlation coefficients $R=0.433$ and $R=0.385$ are significant at 0.01 (Fisher-Snedecor test $F_{\text{calc}} = 41.65$ and $F_{\text{calc}} = 29.059$ are greater than $F_{\text{crit}} = 4.67$).

The maximum of the regression sinusoid of daily average Wolf numbers W (1951-2013) was delayed from the maximum angle of solar declination δ_{max} (173, 22 June) by more than two months (20 August) and the maximum of the sinusoid of the highest daily Wolf numbers W_{max} (1951-2010) is delayed by nearly 3 months (7 IX) (Fig. 7):

W	69.69308	232.679	20 VIII
W_{max}	259.2705	250.468	7 IX

It is important to note that in the annual cycle caused by the Earth orbiting around the Sun, the increase of the daily average temperature T between January and mid-July is also caused by the increase in the solar activity (daily Wolf numbers W) and its subsequent decrease until December is caused by a drop in solar activity W (Fig. 8).

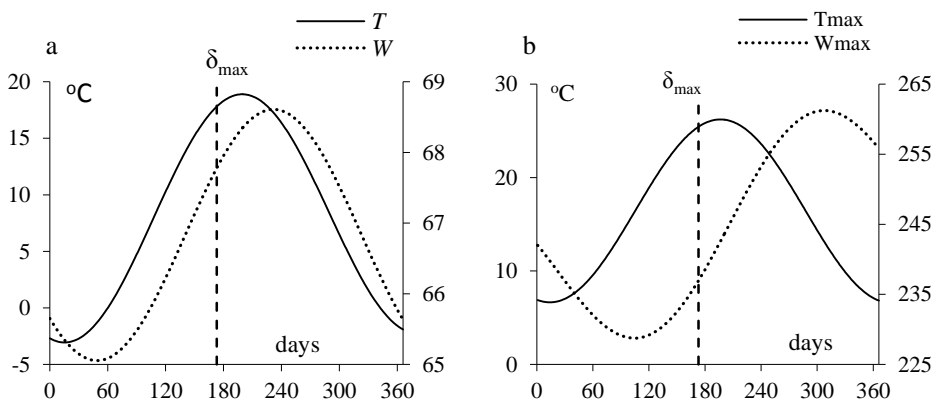


Figure 7. Annual profile of air temperature in Warsaw (1951-2010) and of solar activity (Wolf numbers), a) T and W , b) T_{max} and W_{max}

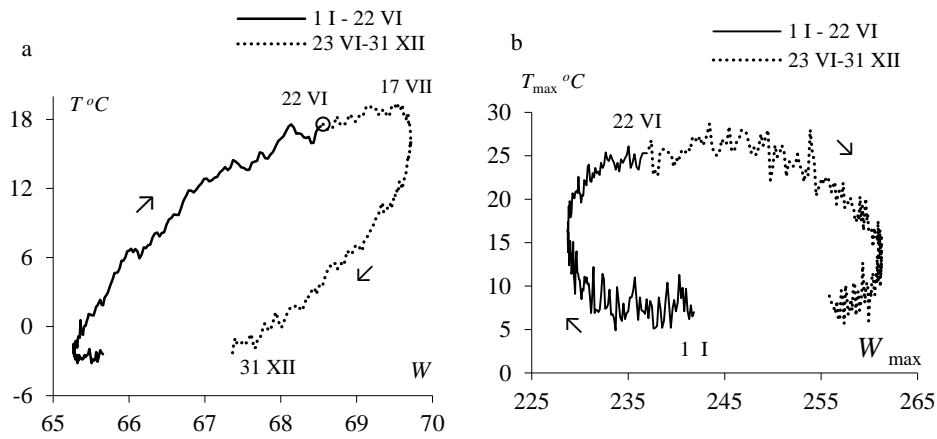


Figure 8. Dependence of air temperature in Warsaw (1951-2010) on solar activity (Wolf numbers), a) T on W , b) T_{max} on W_{max}

This delay of the daily extremes (maximums and minimums) of air temperature in comparison with the upper and lower culmination of the Sun is not just caused by the physical process of heat energy exchange between the active surface (ground) and the atmosphere, but also by the annual profile of the Sun's activity (numbers of spots visible from the Earth on the face of the rotating Sun).

The annual change in the deviations of the average daily air temperatures $\Delta T = T - f(t)$ and of the daily Wolf numbers (W) tend to be synchronous (Fig. 9). There is also a coincidence of the extremes in the annual deviations of the highest average daily temperatures $\Delta T_{\text{max}} = T - f_2(t)$ and the maximums of the Wolf numbers (W_{max}) (Fig.10).

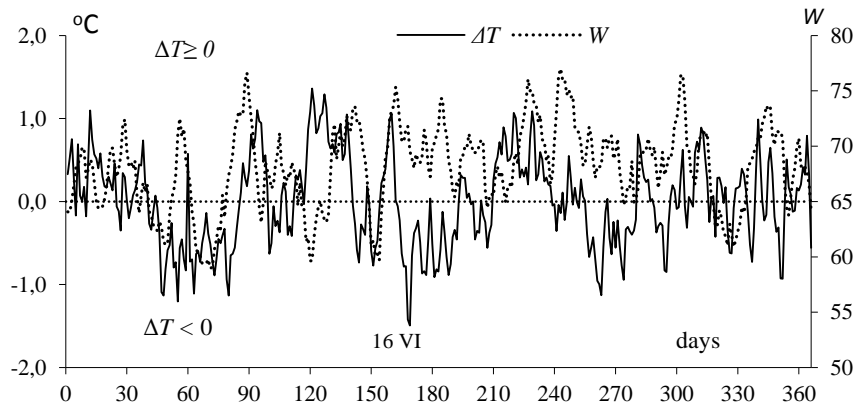


Figure 9. Warm and cool waves $\Delta T = T - f(t)$ in Warsaw vs. Wolf numbers (W) (1951-2010)

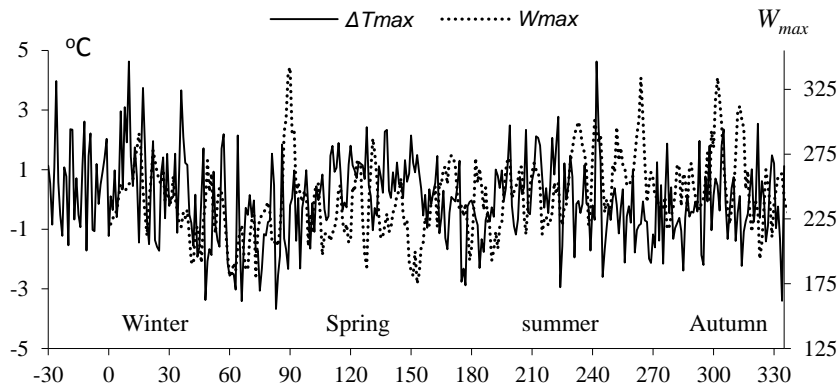


Figure 10. Warm and cool waves $\Delta T_{\max} = T_{\max} - f_2(t)$ in Warsaw vs. maximum daily Wolf numbers (W_{\max}) (1951-2010)

To demonstrate a high dependence of the annual air temperature profile in Warsaw on Wolf numbers during the study period a comparison was made between the regression sinusoids with the longest periods occurring in the oscillation ranges (except the annual cycles $\Theta = 365.25$ days): T - 147.9 days, W - 137.8 days (1951-2013), T_{\min} - 151.8 days, T_{\max} - 146.2 days and $W_{\max} = 122.0$ days. These cycles are characterised by significant multiple correlation coefficients (R) respectively 0.386, 0.283, 0.453, 0.340 and 0.384 (at 0.01, $F_{\text{crit}} = 4.67$):

	R	F_{calc}
$T = 5.4431 + 0.016665t + 3.419359\sin(2\pi t/147.9 + 3.064770)$	0.386	31.49
$T_{\min} = -5.4719 + 0.026545t + 5.929996\sin(2\pi t/151.8 - 2.916341)$	0.453	46.73
$T_{\max} = 14.6991 + 0.011321t + 3.017739\sin(2\pi t/146.2 + 2.916286)$	0.340	23.66
$W = 65.5772 + 0.012035t + 1.038030\sin(2\pi t/137.8 + 2.224552)$	0.385	31.40
$W_{\max} = 225.7675 + 0.100149t + 8.766014\sin(2\pi t/122.0 + 1.430669)$	0.384	31.31

There is also a noteworthy coincidence of the extremes and a trend to an increase in the average daily air temperature (T) in Warsaw with the cycle of 147.9 days and of the average daily Wolf numbers (W) with the cycle of 137.8 days (1951-2013) (Fig. 11a). A similar conclusion about a dependence of the lowest (T_{\min}) and highest (T_{\max}) daily air temperatures in Warsaw on maximum daily Wolf numbers (W_{\max}) can be drawn from a comparison of sinusoids with the periods T_{\min} - 151.8 days, T_{\max} - 146.2 days and W_{\max} - 122.0 days (Fig. 11b).

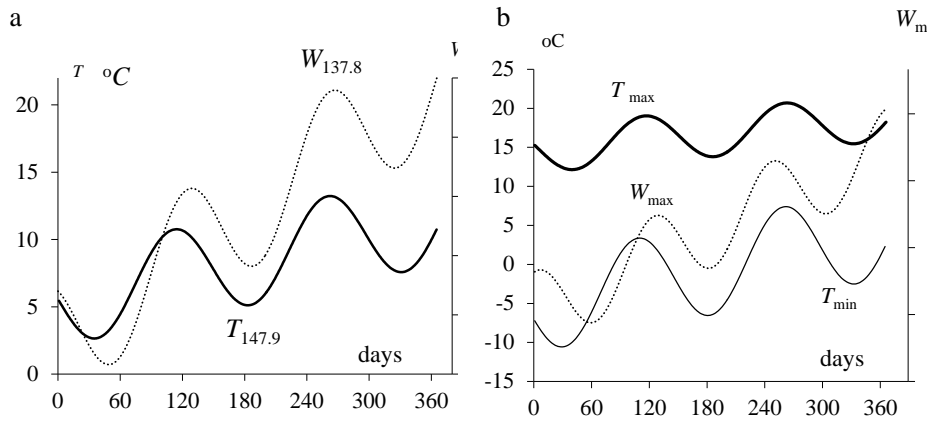


Figure 11. Annual change in air temperature in Warsaw and in Wolf numbers (1951-2010): a) daily averages (T , W); b) minimum (T_{\min}) and maximum (T_{\max}) annual daily air temperatures and W_{\max}

Other indications of the dependence of the climate on solar activity include for example synchronic fluctuations of average 11-year moving Wolf numbers (W) (correlation coefficient $r = 0.397$ significant at 0.01) and the width (d) of *Picea abies* spruce tree rings at Stonnglandes (Norway, 1403-1997) (Fig.12).

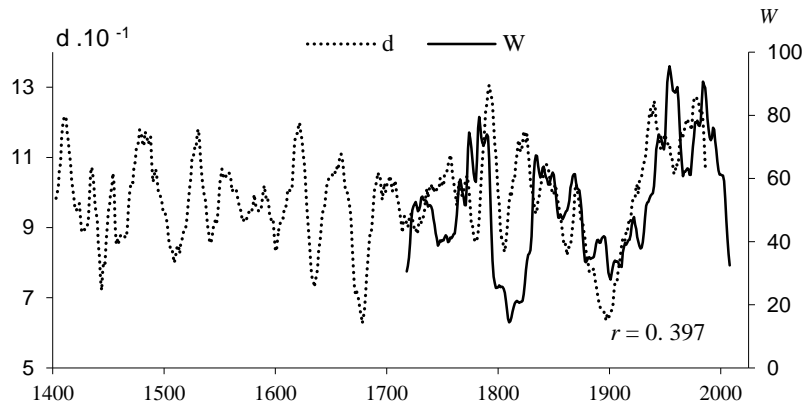


Figure 12. Synchronous fluctuation of the width of spruce tree rings (*Picea abies*) at Stonnglandes (1403-1997, Norway) and Wolf numbers (1700-1997), 11-year moving averages

Conclusions

The annual profiles of average daily air temperatures (T) – 60-year averages, minimum (T_{\min}) and maximum (T_{\max}) values in Warsaw were compared to corresponding regression sinusoids $f(t)$, and to the annual solar declination cycle (δ).

The maximum values of the air temperature regression sinusoids T (17 July), T_{\min} (18 July) and T_{\max} (15 July) follow the maximum Sun declination $\delta_{\max} = 23^{\circ}.4$ (22 June) with a nearly one-month delay. The maximum values of *NAO* regression sinusoid (18 July) fall more than one month after the maximum angle of solar declination δ_{\max} . The maximum of the regression sinusoid of daily average Wolf numbers W (1951-2013) was delayed from the maximum angle of solar declination δ_{\max} by more than two months (20 August).

Notably, in the second half of the year, i.e. from 22 June until the end of the year (31 December), air temperatures are considerably higher than those in the other half of the year (1 January-22 June).

The increase of the average daily air temperature T observed between January and mid-July is caused not just by an increase in the angle of the Sun's declination, but also by an increase of solar activity (Wolf number W), while the subsequent decrease in temperature lasting until December is also caused by the falling W numbers.

This delay of the daily extremes (maximums and minimums) of air temperature in comparison with the upper and lower culmination of the Sun is not just caused by the physical process of heat energy exchange between the active surface (ground) and the atmosphere, but also by the annual profile of the Sun's activity (numbers of spots visible from the Earth on the face of the rotating Sun).

Both cold waves ($\Delta T_i < 0$) and heat waves ($\Delta T_i \geq 0$) provide a good characteristic of the deviations ΔT_i (remainders ε_i) of the daily 60-year daily average values of measured air temperatures T_i from the corresponding points of the regression sinusoid formula $f(t_i)$ with a period of $\Theta = 365.25$ days:

$$T_i = a_0 + b \sin\left(\frac{2\pi}{365.25} t_i + c\right) + \varepsilon_i$$

Cold waves were found to generally occur at times of low daily average solar activity (60-year), while hot waves tended to coincide with high Wolf numbers. There is also a coincidence of the extremes of shorter air temperature cycles of $\Theta = 147.9$ days and Wolf numbers of $\Theta = 137.2$ days.

References

- Boryczka, J 1998 'Zmiany klimatu Ziemi' [Changes of the Earth's climate], Wyd. Akadem. *Dialog*, Warszawa.
- Boryczka, J, Stopa-Boryczka, M, Kossowska-Cezak, U, Wawer, J 2014, 'Zależność najniższych i najwyższych średnich dobowych wartości temperatury powietrza od aktywności Słońca (na przykładzie Warszawy, 1951-2010)' [The dependenci of minimum and maximum, average daily air temperature on solar activity (Warsaw, 1951-2010)] *Prace i Studia Geograficzne*, vol. 56, pp. 67-95.
- Kossowska-Cezak, U 1994, 'O monsunie europejskim' *Prz. Geof.*, vol.39, 1, pp. 65-73.
- Marsz, AA (ed.) 1999 'Wpływ stanu termicznego powierzchni oceanu na modyfikacje cyrkulacji atmosferycznej w wymiarze klimatologicznym' [Impact of the thermal condition of the ocean's surface on the modification of atmospheric condition in the climatological dimension]. *Conference proceedings*, Gdynia 6 May 1999.
- Marsz, A A 2008, 'W sprawie genezy Oscylacji Północnego Atlantyku', *Prz. Geof.*, vol. 53, pp.13-26.
- Spencer, I W 1971, 'Fourier series representation of the position of the sun', *Search*, No 2.
- Stopa-Boryczka, M, Boryczka J, Tońska M 2006, 'Fale chłodu i ciepła w przebiegu rocznym temperatury powietrza w Polsce' [Cold and heat waves in annual air temperature fluctuations in Poland]. *Pro-*

- gnozy pogody w przysłowia i ich sprawdzalność w Polsce*. Materiały Zakładu Klimatologii WGRS UW z X Pikniku Naukowego Radia BIS (3 VI 2006). Wyd. WGRS UW, Warszawa
- Stopa-Boryczka, M, Boryczka, J, Kossowska-Cezak, U, Wawer J 2011a, 'Fale chłodu i ciepła w przebiegu rocznym temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010)' [Cold and heat waves in annual air temperature fluctuations in Warsaw(1951-2010)], *Prz. Geof.*, vol. 56, 3-4, pp. 181-200.
- Stopa-Boryczka, M, Boryczka, J, Kossowska-Cezak, U, & Wawer, J 2011b, 'Heat and cold waves in an annual cycle air temperatures in Warsaw (1951-2010)', *Miscellanea Geographica*, vol.15, pp. 103-114.
- Stopa-Boryczka, M, Boryczka, J, Kossowska-Cezak, U, Wawer J 2012, 'Fale chłodu i ciepła w przebiegu rocznym temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010)', [in:] Stopa-Boryczka, M, Boryczka, J., Wawer, J, Grabowska, K, Dobrowolska, M, Osowiec, M, Błażek, E, Skrzypczuk, J, Grzęda, M, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*. T. XXVI-XXVII, *Z badań klimatu Mazowsza (z uwzględnieniem większych miast)*, Wyd. UW, pp. 43-53.
- Zieliński, R 1972, 'Tablice statystyczne', PWN, Warszawa.
- http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/month_ao_index.html
- <http://sidc.oma.be/data/index.html>; <http://sidc.oma.be/sunspot-data/dailyssn.php>; daily total sunspot number, [dayssn_import.txt](http://sidc.oma.be/data/index.html)

Summary

The paper demonstrates a dependency between the annual average daily air temperature profile in Warsaw and the profile of the annual solar activity linked to rotation (with a period of 25-31 days). Waves of cold ($\Delta T < 0$) or hot ($\Delta T \geq 0$) were defined as ΔT deviations of daily average measured temperature (T) using a regression sinusoid $f(t)$ with a period of 365 days. Cold waves were found to generally occur at times of low daily average solar activity (60-year), while hot waves tended to coincide with high Wolf numbers. The cycles of the variables studied were derived using the sinusoid regression method (Boryczka 1998). The maximum sinusoid regression of the annual air-temperature cycle T is delayed by nearly one month vis-à-vis the maximum declination of the Sun. The maximum of the regression sinusoid of daily average Wolf numbers (W) was delayed from the maximum declination by more than two months.

Keywords: Cold waves; hot waves; solar activity; regression sinusoid; period; interference

VII. REKONSTRUKCJA I PROGNOZA ZMIAN KLIMATU ZIEMI W CZASIE OD -1 000 000 BP DO 1 000 000 AD

7. 1. Zmiany klimatu Ziemi (od -1 000 000 BP do 1 000 000 AD) według promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^\circ \text{N}$

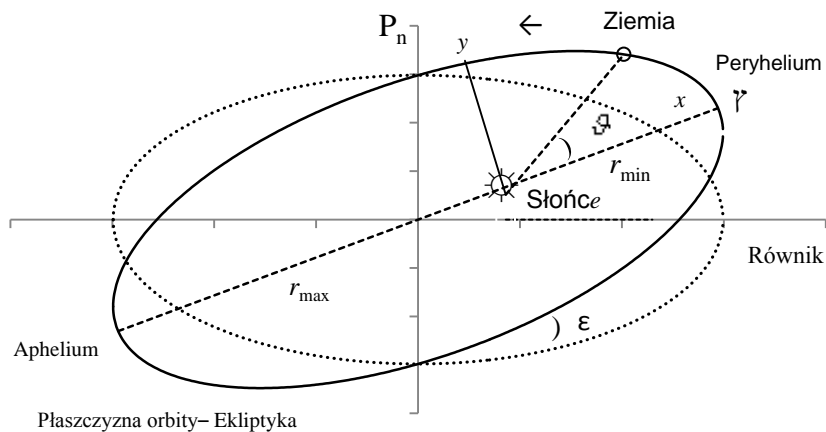
W celu określenia wahań klimatu Ziemi w przeszłości, teraźniejszości i w przyszłości obliczono dobowe sumy promieniowania słonecznego w lecie (VI-VIII), w miesiącach maj-lipiec (V-VII) i marzec-wrzesień (III-IX) na górnej granicy atmosfery, wzdłuż równoleżnika $\varphi = 65^\circ \text{N}$.

Suma dobowa promieniowania słonecznego I_D ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$), padającego na 1m^2 płaszczyzny poziomej na górnej granicy atmosfery, określona jest wzorem

$$I_D = \frac{86400}{\pi} s (D \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos D)$$

gdzie: φ – szerokość geograficzna, δ – deklinacja Słońca, D – długość połowy dnia w radianach, $s = 1354 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ – tzw. stała słoneczna, tj. przy średniej odległości Ziemi od Słońca

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

Elipsa orbity Ziemi we współrzędnych kartezjańskich (x, y) ma równanie

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

gdzie: $a = 149\,598\,000 \text{ km}$ – duża półoś, b – mała półoś.

Orbita eliptyczna Ziemi (krzywa stożkowa) we współrzędnych biegunowych: (r – promień wodzący, \mathcal{S} – anomalia mimośrodowa, o początku w jednym z ognisk elipsy) ma równanie:

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \vartheta} ,$$

Odległość Ziemi od Słońca zmienia się od najmniejszej r_{\min} (peryhelium, $\vartheta = 0$) do największej r_{\max} (aphelium, $\vartheta = \pi$):

$$r_{\min} = (1 - e) a , \quad r_{\max} = (1 + e) a$$

W obliczeniach przyjęto zakres zmian i długości cykli: parametrów orbity Ziemi:

- mimośrodowi 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
- długości ekliptycznej peryhelium względem punktu równonocy wiosennej (Ω) – 21 000 lat.

Okresy zbliżone, tj. 23 000, 42 000 i 100 000 lat, wykryto wcześniej w zmianach izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ 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).

Efektom okresowych zmian mimośrodowi (e) orbity Ziemi (co 100 000 lat) w przedziale 0-0,066 są zmiany stałej słonecznej (s).

Wartości stałej słonecznej s , wyrażone w $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, przy wartościach mimośrodowi: $e = 0$, $e = 0,017$ (stan obecny), $e = 0,066$ obliczone z tych wzorów zestawiono w tab. 1:

$$s = \bar{s} \left(\frac{\bar{r}}{r} \right)^2$$

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.4.13).

Tabela 1. Ekstremalne odległości Ziemi od Słońca (r_{\min} - peryhelium, r_{\max} - aphelium) i wartości stałej słonecznej (S) przy różnych wartościach mimośrodowi orbity Ziemi

Table 1. Extremum distances of the Earth from the sun (r_{\min} - perihelium, 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.

Zmiany wielowiekowe kąta nachylenia płaszczyzny ekliptyki do równika (ε), są opisane są zbliżonymi wzorami: 1. – J. Witkowski (1953) i 2. – Astronomiczeskij Eżiegodnik (1991):

$$1. \quad \varepsilon = 23^{\circ}27'8'',28 - 0'',46844 t - 0'',0000006 t^2$$

$$2. \quad \varepsilon = 23^{\circ}45'22,94 - 0'',013125 t - 0'',0000164 t^2 - 0'',000000503 t^3$$

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 2.:

$$1. \quad \varepsilon = 23^{\circ}45'23 - 0'',01301 t - 0'',00000166 t^2.$$

Kąt nachylenia ekliptyki ε 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 ε 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 (peryhelium) przypada obecnie na zimę (2 styczeń), a za 10 500 lat (połowa okresu 21 000 lat) przypadać będzie na lato.

Zmiany długości ekliptycznej peryhelium Ziemi (Ω) można też zapisać:

$$\Omega = 101^{\circ}22'08,33 + 1,719175 t + 0,0004527 t^2 + 0,0000033 t^3$$

gdzie jednostką czasu jest wiek juliański (100 lat = 36 525 dni).

Współrzędne ekliptyczne Ziemi (x, y, z) wyznaczono, korzystając z wielomianów przedstawiających zmiany elementów orbit planet: L – długość ekliptyczna planety $\langle x, R \rangle$, Ω – długość ekliptyczna peryhelium $\langle x, \pi' \rangle$, ω – długość ekliptyczna węzła wstępującego planety, $\Delta\Omega = \Omega - \omega$ – odległość katowa peryhelium od węzła wstępującego, i – nachylenie płaszczyzny orbity do płaszczyzny ekliptyki, e – mimośród, a – duża półoś elipsy wzięto z publikacji A. P. Reznikova (1982)(rys. 2)..

W przypadku Ziemi (Boryczka 1998) parametry orbity wynoszą:

$$L = 99^{\circ}41'48,04'' + 129602768,13''t + 1,089''t^2$$

$$\Omega = 101^{\circ}13'15,0'' + 6189,03''t + 1,63''t^2 + 0,012''t^3$$

$$\omega = 0$$

$$i = 0$$

$$e = 0,01675104 - 0,00004180 t - 0,000000126 t^2$$

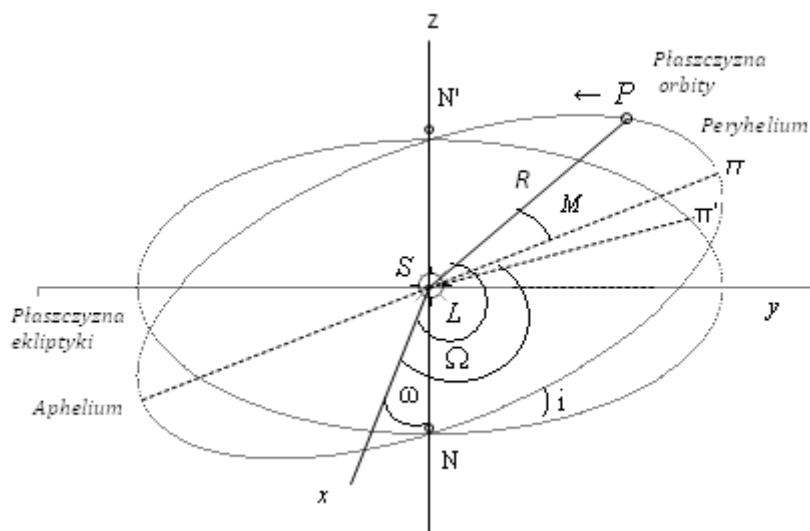
$$a = 1,00000013$$

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). Przy-

jęto czas $t = \frac{1}{100} (Data - 1900) + \frac{14,5}{36525}$.

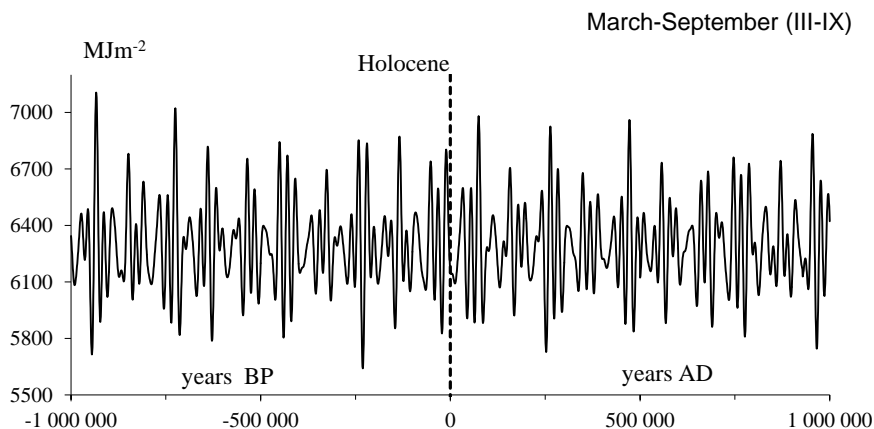


Rys. 2. Parametry orbity planety (P), π – peryhelium
Fig. 2. Parameters of planet's orbit (P), π – peryhelium

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 mimośrodku 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 $24^\circ 36'$!

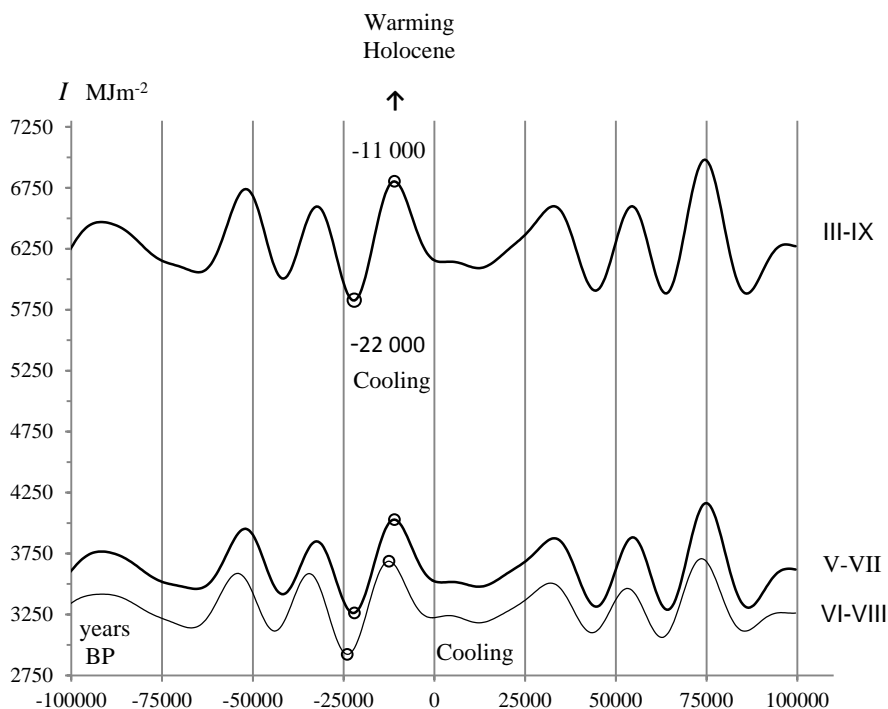
Okresami różnic fazowych maksimów (minimów) tych cykli są: Ω, e – 21211 lat, (ϵ, Ω) – 44210 lat. Konfiguracja nachylenia płaszczyzny ekliptyki $\epsilon = 24^\circ 36'$, przy orbicie kołowej powtarza się po upływie 70 769 lat.

Sumy promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^\circ \text{N}$ w przedziale czasu -1 000 000 BP $\leq t \leq 1\ 000\ 000$ AD w miesiącach marzec-wrzesień (III-IX) przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Zmiany sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień na równoleżniku $\varphi = 65^\circ \text{N}$ w ciągu ostatnich 1000 000 lat, z prognozą do 1 000 000 lat (1900 AD, $t = 0$)
Fig. 3. Changes in the sums of solar radiation in the period March-September at the latitude $\varphi = 65^\circ \text{N}$ in the last 1000 000 years, with a forecast up 1 000,000 years (1900 AD, $t = 0$)

Sumy promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^\circ \text{N}$ w przedziale czasu $-100\,000 \text{ BP} \leq t \leq 100\,000 \text{ AD}$ w lecie (VI-VIII), oraz w miesiącach maj-lipiec (V-VII) i marzec-wrzesień (III-IX) przedstawiono na rys. 4..



Rys. 4. Zmiany sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień (III-IX), maj-lipiec (V-VII) i lato (VI-VIII) na równoleżniku $\varphi = 65^\circ \text{N}$ w ciągu ostatnich -100 000 lat, z prognozą do 100 000 lat (1900 AD, $t = 0$)

Fig. 4. Changes in the sums of solar radiation in the period March-September (III-IX), May-July (V-VII) and Summer (VI-VIII) at the parallel $\varphi = 65^\circ \text{N}$ in the last -100,000 years, with a forecast up to 100,000 years (1900 AD, $t = 0$)

Ostatnie głębokie minimum sum promieniowania słonecznego (t_{\min} , I_{\min}) wystąpiło w czasie ostatniego zlodowacenia (-24 000 – -22 000 BP). Natomiast ostatnie lokalne (rozległe) maksimum sum promieniowania słonecznego o wierzchołku (t_{\max} , I_{\max}) określa holocenne ocieplenie klimatu: w lecie (3686,507 MJm^{-2}) przypada na czas $t_{\max} = -12\,500$, w miesiącach maj-lipiec (4028,457 MJm^{-2}) na datę -11 000 lat BP oraz w okresie marzec-wrzesień (6803,21 MJm^{-2}) – także na datę -11 000 BP:

	t_{\min}	$I_{\min} [\text{MJm}^{-2}]$	t_{\max}	$I_{\max} [\text{MJm}^{-2}]$
Lato (VI-VIII)	-24 000	2922,583	-12 500	3686,507
Maj-lipiec (V-VII)	-22 500	3262,08	-11 000	4028,457
Marzec- wrzesień (III-IX)	-22 000	5826,475	-11 000	6803,214

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)

Ważnych informacji o globalnych zmianach klimatu dostarczają zmiany zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniach lodowych z Arktyki (Boryczka i in. 2010). Izotop $\delta^{18}\text{O}$ zawarty w rdzeniu lodowym z wyspy Devon (Arktyka Kanadyjska) – od 110 977 lat temu pochodzi z parowania ciężkiej wody (H_2^{18}O) z oceanów – większego podczas ociepleń. Gęstość tlenu ^{18}O w atmosferze podczas ociepleń (przy wyższej temperaturze) jest mniejsza. Maksima wartości wskaźnika ($\delta^{18}\text{O} < 0$, ‰) – to ocieplenia, a minima – ochłodzenia. Minima t_{\min} wskaźnika zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym wskazują największe ochłodzenia klimatu na półkuli północnej Ziemi, a maksima t_{\max} – ocieplenia

Widmo i okresy średnich rocznych wartości wskaźnika izotopu tlenu w rdzeniu lodowych z wyspy Devon (w Arktyce Kanadyjskiej), wyznaczono metodą sinusoid regresji z odstępem $\Delta\Theta = 100$ lat.

Cykle izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym – ich amplitudy b , fazy c , wariacje resztkowe ε^2 , współczynniki korelacji R , i charakterystyki F_{obl} zestawiono w tab. 5.14. Są one istotne statystycznie na poziomie 0,01 – wg testu Fishera-Snedecora. ($n=1390$).

Tabela 2. Okresy Θ (lata), amplitudy b i fazy c cykli wskaźnika izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym z wyspy Devon (od 110 977 lat temu) (R – współczynnik korelacji wielokrotnej, F_{obl} – test Fishera-Snedecora)

Table 2. Periods Θ (years), amplitudes b and phases c of the cycles of the oxygen isotope $\delta^{18}\text{O}$ coefficient in the Devon Island ice core- from 110977 years ago (R - multiple correlation coefficient, F_{obl} - Fisher-Snedecor test)

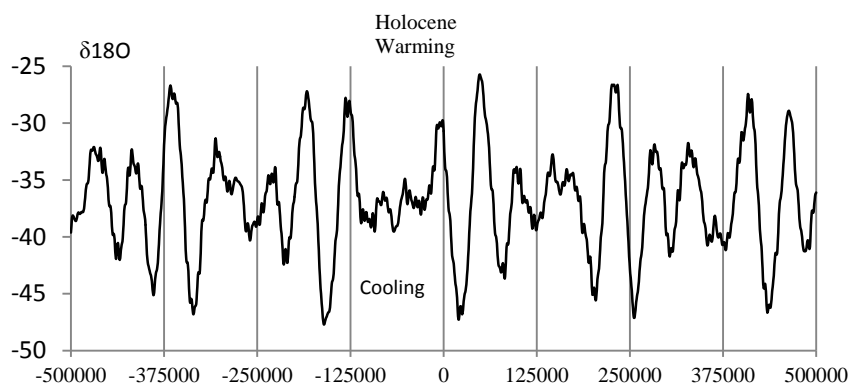
Okres Θ	b	c	ε^2	R	F_{obl}
4500	0,237254	2,472560	6,249	0,115	9,33
4700	0,288060	1,927583	6,261	0,107	7,98
6200	0,310662	-2,622006	6,184	0,153	16,73
7300	0,191102	1,985936	6,162	0,164	19,27
8700	0,297819	2,400973	6,189	0,151	16,15
11300	0,103170	0,477259	6,269	0,100	7,08
16700	0,315618	-2,986595	5,428	0,378	115,86
24700	0,775854	2,618728	3,952	0,613	418,70
45900	3,510419	1,202743	2,632	0,764	977,24
58700	4,687799	2,475436	2,620	0,766	984,90
86100	3,009297	-2,754571	2,575	0,770	1014,26

Wskaźnik izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ cechuje się trzema okresami: 24700 lat, 45900 lat i 86400 lat – zbliżonymi do okresów zmian długości ekliptycznej perihelium, nachylenia płaszczyzny orbity (ε) i mimośrodowi eliptycznej orbity Ziemi (e).

Interferencję tych 11 „najsilniejszych” ($F_{\text{obl}} > 7,020$) cykli izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym: 4500, 4700, 6200, 7300, 8700, 11300, 16700, 24700, 45900, a także najdłuższych 58700 i 86100 lat (tab. 2 (bez składnika liniowego, $a = 0$, $R = 0,935$) wyznaczono z wzoru

$$y = \delta^{18}\text{O} = a_0 + at + \sum_{j=1}^k b_j \sin\left(\frac{2\pi}{\Theta_j} t + c_j\right)$$

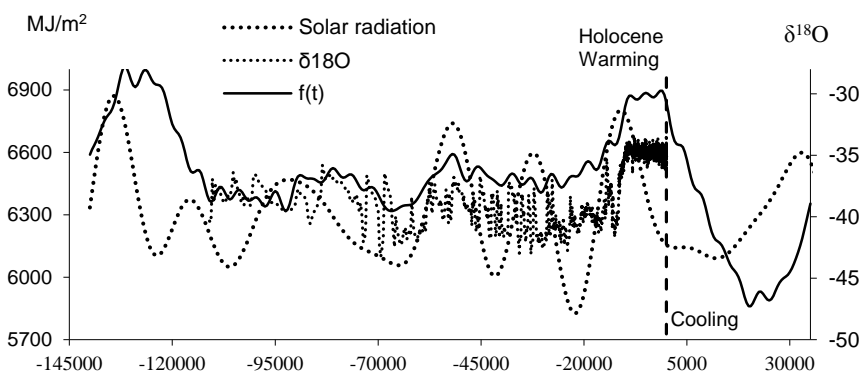
Interferencję tych najsilniejszych 11 cykli Θ (istotnych na poziomie 0,01) w przedziale czasu t od -500 000 BP do 500 000 AD ilustruje rys. 5.



Rys. 5. Zmiany zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ (wyspa Devon) – interferencja cykli $y=f(t)$ w przedziale czasu: $-500\,000 < t < 500\,000$ lat (1900 AD – $t=0$)

Fig. 5. Changes in isotope $\delta^{18}\text{O}$ (Devon Island), interference of cycles $y=f(t)$ in the timeframe: $-500\,000 < t < 500\,000$ years (1900 AD – $t=0$)

Interesujące jest porównanie Interferencji tych 11 cykli Θ z przebiegiem czasowym sum promieniowania słonecznego w okresie III-IX na równoleżniku $\varphi=65^\circ$ (rys. 6). Synchroniczność zmian promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi=65^\circ\text{N}$ i zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym (wyspa Devon) można stwierdzić głównie w przedziale czasu t od -140 000 BP do 35 000 AD.



Rys. 6. Zmiany promieniowania słonecznego i izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ (Wyspa Devon) w przedziale czasu $-140\,000 < t < 35\,000$ lat

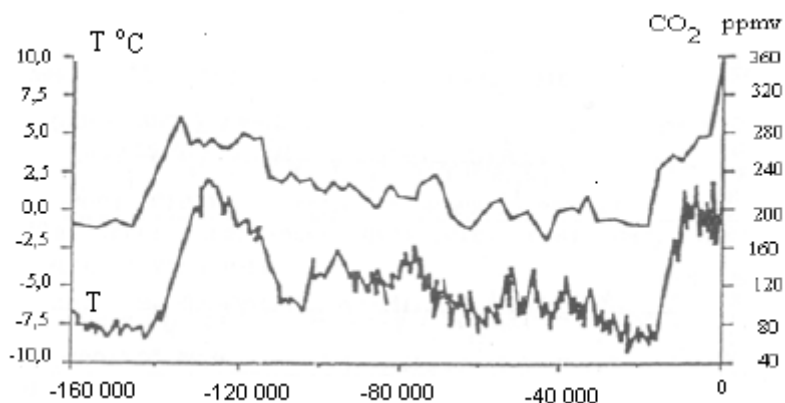
Fig. 6. Changes of solar radiation, isotope $\delta^{18}\text{O}$ (Devon Island), and interference of cycles $y=f(t)$ in the timeframe: $-140\,000 < t < 35\,000$ years

W najbliższych stuleciach można oczekiwać gwałtownego ochłodzenia klimatu (kolejnego zlodowacenia Ziemi).

Ważnych informacji o przyczynach zmian klimatu dostarcza porównanie zmian stężenia dwutlenku węgla i paleotemperatury w ciągu ostatnich 160 000 lat, odtworzone na podstawie analiz chemicznych rdzeni lodowych na stacji Wostok (rys.7) (*The atmosphere...*, 1990). Globalne ocieplenie i bardzo duża koncentracja CO₂ w atmosferze sprzed 135 000 lat wystąpiły podczas maksimum sum promieniowania słonecznego w szerokości geograficznej $\varphi=65^\circ$ N (w miesiącach od marca do września), wynikającego ze zmian orbity Ziemi. (rys. 8).

„Równoległość” zmian sum promieniowania, paleotemperatury i stężenia CO₂ świadczy, że zawartość dwutlenku węgla w atmosferze zależy od dopływu promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi (od temperatury wody w oceanach). Obecnie dużej tendencji rosnącej stężenia CO₂ odpowiada spadkowa tendencja paleotemperatury.

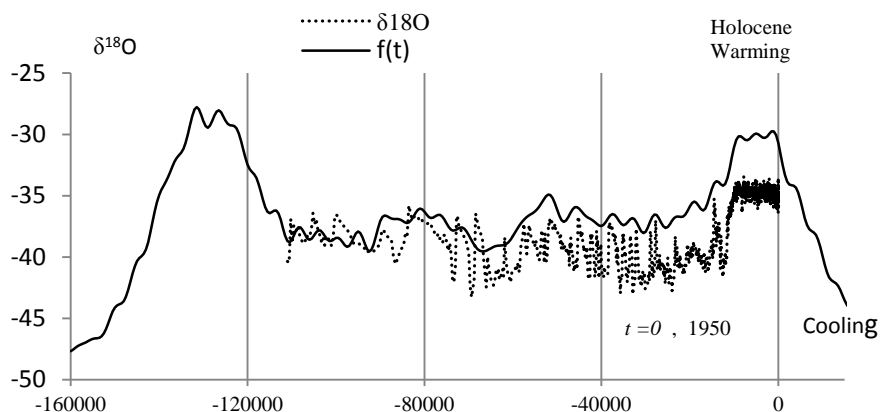
Analogiczne wnioski wynikają z porównania interglacjałów i maksimum koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze na Antarktydzie w ciągu ostatnich 400 000 lat (Petit i in., 1999) ze zmianami sum promieniowania słonecznego w szerokości geograficznej $\varphi =65^\circ$ N w okresie od marca do września. Daty kolejnych głównych maksimum sum promieniowania słonecznego w szerokości geograficznej $\varphi =65^\circ$ N w tych miesiącach zgadzają się z datami kolejnych interglacjałów (maksymami temperatury).



Rys. 7. Zmiany stężenia CO₂ w atmosferze (krzywa górna) i paleotemperatury (izotopu tlenu ¹⁸O; krzywa dolna) w ciągu ostatnich 160 000 lat na podstawie rdzeni lodowych na stacji Wostok (WMO, 1990)

Fig. 7. Changes of CO₂ concentration in the atmosphere (upper curve) and of the paleotemperature (oxygen isotope ¹⁸O, lower curve) during the last 160,000 years on the basis of the ice cores from the Wostok station (WMO, 1990)

Koincydencja ekstremów (minimów i maksimum) występuje również między przebiegami wiekowymi zawartości CO₂ w atmosferze na Antarktydzie i izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym na wyspie Devon (w Arktyce) – rys. 8



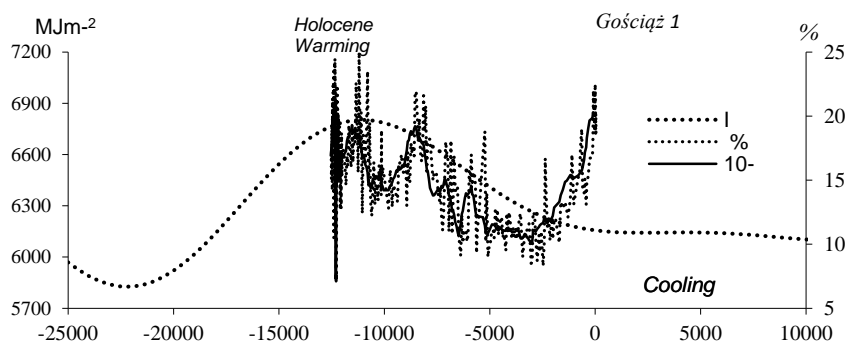
Rys. 8. Zmiany izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ (Wyspa Devon) i interferencja cykli $y=f(t)$ w przedziale czasu $-160\,000 < t < 15\,000$ lat

Fig. 8. Changes of isotope $\delta^{18}\text{O}$ (Devon Island), and interference of cycles $y=f(t)$ in the timeframe: $-160\,000 < t < 15\,000$ years

7.3. Zmiany klimatu Ziemi (od -25 000 BP do 25 000 AD) według substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziora Gościąg

Holocenne ochłodzenia i ocieplenia klimatu w Europie są znane na podstawie badań substancji organicznych (i zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$) zdeponowanych w jeziorze Gościąg (Boryczka, Wicik, 1994). W laminowanych osadach jeziora Gościąg 1 można było określić czas kalendarzowy (zliczając roczne przyrosty rdzenia osadów)

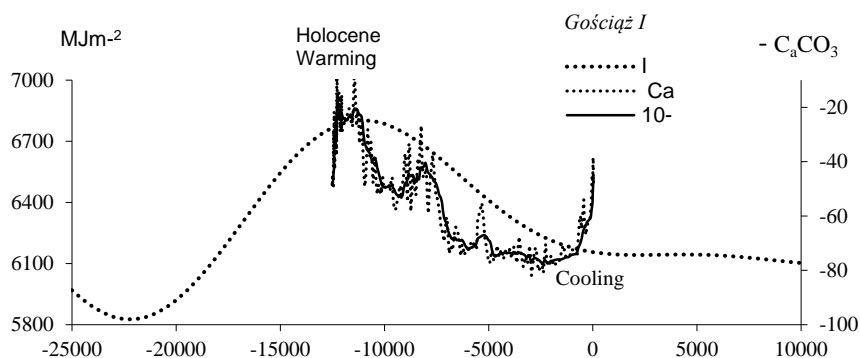
Największe wartości y substancji organicznych (średnich ruchomych 10-warstwowych) w osadach jeziora Gościąg przypadają na rozległe maksimum sum promieniowania słonecznego. Stąd wynika, że główną przyczyną holocennego optimum klimatu był wzrost sum promieniowania słonecznego, wywołany zmianami orbity Ziemi (rys. 9).



Rys. 9. Zmiany zawartości substancji organicznych w jeziorze Gościąg I w czasie: $-15750 < t < 1000$ w odniesieniu do sum promieniowania słonecznego

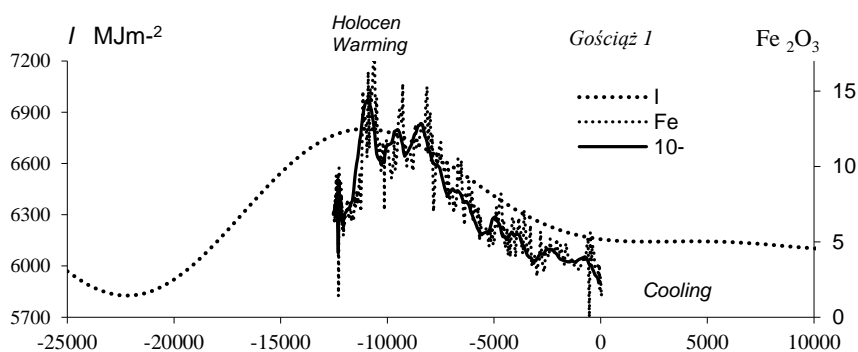
Fig. 9. The change of the organic substance content in Lake Gościąg during: $-15750 < t < 1000$ in reference to the sums of solar radiation

Oprócz substancji organicznych, przedstawionych w publikacji J. Boryczki i B. Wicika (1994), porównano także wskaźniki zawartości węglanów wapnia ($-C_aCO_3 < 0$) i tlenków żelaza (Fe_2O_3) z sumami promieniowania słonecznego w okresie marzec - wrzesień (III-IX) (rys. 10-11).



Rys. 10. Zmiany zawartości węglanów wapnia w jeziorze Gościąg I w czasie: $-15750 < t < 1000$ w odniesieniu do sum promieniowania słonecznego

Fig. 10 The change of the calcium carbonate content in Lake Gościąg during: $-15750 < t < 1000$ in reference to the sums of solar radiation



Rys 11. Zmiany zawartości tlenków żelaza w jeziorze Gościąg w czasie: $-15750 < t < 1000$ w odniesieniu do sum promieniowania słonecznego

Fig. 11. The change of the iron oxide content in Lake Gościąg during: $-15750 < t < 1000$ in reference to the sums of solar radiation

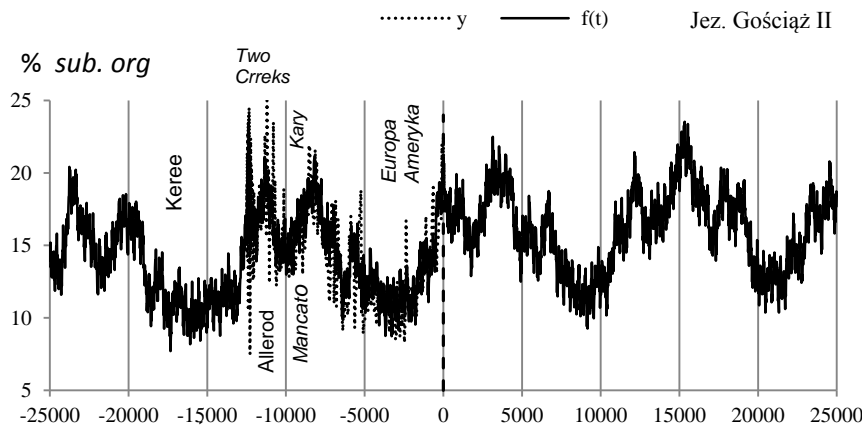
W widmie substancji organicznych zdeponowanych w Jez. Gościąg II w ciągu ostatnich 12542 lat (wyznaczonym z odstępem czasu $\Delta\Theta = 10$ lat) jest obecnych 10 istotnych na poziomie 0,01 okresów (tab. 3).

Tabela 3. Okresy Θ , amplitudy b i fazy c cykli substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąg II, R - współczynnik korelacji wielokrotnej, F_{obl} – test Fishera-Snedecora

Table 3. Periods Θ , amplitudes b and phases c of numerical cycles of organic substance (%) deposited in the sediments of the lake Gościąg II, (R – multiple correlation coefficient, F_{obl} – F-test)

Okres Θ	b	c	R	F_{obl}
50	0,750469	2,887150	0,200	5,97
210	0,896687	1,738749	0,177	4,63
390	0,784750	1,101632	0,180	4,83
1120	0,664652	2,383902	0,221	7,31
1380	0,728514	2,018771	0,240	8,64
1770	0,230813	2,731617	0,186	5,12
2970	0,963431	0,553983	0,198	5,81
3880	1,322310	2,027288	0,301	13,87
6080	0,606897	1,931705	0,266	10,75
12380	3,242047	0,187921	0,540	50,54

Interferencję $y=f(t)$ tych 10 cykli: 50, 210, 390, 1120, 1580, 1770, 2970, 3880, 6080 i 12380 lat z składnikiem liniowym $y = 15,02751 + 0,000086 t$ (o współczynniku korelacji wielokrotnej $R = 0,685$) przedstawiono na rys 12, gdzie y – wartości zmierzone, $y=f(t)$ – obliczone.



Rys. 12. Rekonstrukcja holocenijskich ochłodzeń i optimów klimatu w Polsce na podstawie substancji organicznych, zdeponowanych w osadach Jez. Gościąg II – w odniesieniu do Jez. Wisconsin (Ameryka Północna)

Fig. 12. Reconstruction of the Holocene coolings and optima climate in Poland on the basis of organic substance deposited in the sediments of Gościąg lake – in reference to Wisconsin Lake (North America)

Ochłodzenia i ocieplenia klimatu – to minima i maksima lokalne przebiegów czasowych $y=f(t)$ koncentracji substancji organicznych (w %) w osadach jeziora Gościąg.

Istnieje duża zgodność między datami minimów i maksimów akumulacji substancji organicznych w osadach Jez. Gościąg (ochłodzeń i ociepleń klimatu Polski) (rys. 10) z datami holocenijskiej fazy Jez. Wisconsin (Ameryka Północna). – (wg C. D. Schönwiese (1992), H. Shapley'a (1953). Ochłodzenia w Jez. Wisconsin wystąpiły w czasie t : Kereee – -17 000, Mancato i Kary – -10 000, Europa, Ameryka – -3 900, -2500, -1000. Natomiast ocieplenia przypadają w czasie: Two Creeks – -11 400, Allerod – -10 800,

optimum - 4 000. Główne ochłodzenia i ocieplenia klimatu w ciągu ostatnich -20 000 lat w Polsce i Ameryce Północnej (Keree, Two Creeks) są synchroniczne.

Substancji organicznych w jeziorze Gościąg było najmniej w czasie: $t_{\min}=-15680$ ($y_{\min}=9,11\%$), $t_{\min}=-6390$ ($y_{\min}=9,65$) i $t_{\min}=-3230$ ($y_{\min}=9,19\%$).. Wykres wypadkowej interferencji cykli $y=f(t)$ ma maksima: $t_{\max}=-12400$ ($y_{\max}=18,54$, $t_{\max}=-11310$ ($y_{\max}=21,20\%$) i $t_{\max}=0$, tj.1984 AD ($y_{\max}=20,87\%$). Z prognozowanego promieniowania słonecznego i z okresowości substancji organicznych w jeziorze Gościąg wynika, że w ciągu najbliższych 1000. lat prawdopodobnie będzie się ochładzać – z minimum $t_{\min}=+1770$ ($y_{\min}=12,79\%$):

t_{\min}	y_{\min}	t_{\max}	y_{\max}
-15 680	9,11	-12 400	18,54
-6 390	9,65	-1 310	21,2
-3 230	9,19	0	20,87
+1770	12,79	3 140	2249

Maksima zawartości substancji organicznych zdeponowanych w osadach Jez. Gościąg są zbieżne z ekstremami sum promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^\circ\text{C}$ w przedziałach czasu: maj -lipiec (V-VII) i marzec- wrzesień (III-IX), od -25000 lat temu do +10 000, obliczonych na podstawie okresowych zmian parametrów orbity Ziemi:

	t_{\min}	$I_{\min} \text{ MJ/m}^2$	t_{\max}	$I_{\max} \text{ MJ/m}^2$
Maj-lipiec (V-VII)	-22 500	3262,08	-11 000	4028,457
Marzec- wrzesień (III-IX)	-22 000	5826,475	-11 000	6803,214

Przebieg promieniowania słonecznego cechuje się dwoma ekstremami: minimami $t_{\min}=-22000$ (3262,1 i 5826,5 MJ/m^2) i maksimami $t_{\max}=-11000$ (4028,5 i 6803 MJ/m^2):

7.4. Zależność aktywność Słońca i erupcji wulkanów od koncentracji masy planet w Układzie Słonecznym

Wahania klimatu Ziemi zależą od koncentracji masy planet Układu Słonecznego względem płaszczyzny ekliptyki. Jako miarę koncentracji masy planet (w chwili t) przyjęto moment bezwładności planet $-B_z$ (z ujemnym znakiem – podzielony przez masę M planet US):

$$-B_z = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^n m_j z_j^2$$

gdzie: m_j, z_j – masa i odległość j-tej planety od płaszczyzny ekliptyki (przyjęto R_o^2 za jednostkę, R_o – promień Słońca), parametry orbit planet – Reznikov 1982.

Moment bezładności B_z planet jest miarą rozproszenia masy planet względem płaszczyzny ekliptyki, a ze znakiem ujemnym ($-B_z$) – wskazuje koncentrację masy planet – w odniesieniu do ekliptyki.

Współrzędne ekliptyczne 4 największych planet (x, y, z) wyznaczono, korzystając z wielomianów przedstawiających zmiany elementów orbit planet podanych w publikacji A. P. Reznikova (1982).

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 – $t = \frac{1}{36525}(t_J - 2415020)$, gdzie t_J jest aktualną datą juliańską.

W obliczeniach przyjęto miesięczny odstęp czasu $\Delta t = \frac{1}{1200}$ (miesiąc juliański).

Przyjęto czas $t = \frac{1}{100}(\text{Data} - 1900) + \frac{14,5}{36525}$

Płaszczyznę orbity Ziemi $i = 0$ (płaszczyznę ekliptyki) przyjęto jako płaszczyznę główną x, y ekliptycznego heliocentrycznego układu współrzędnych.

Współrzędne orbitalne planet x', y' wyznaczono z wzorów:

$$x' = a(\cos E - e), \quad y' = a\sqrt{1-e^2}\sin E,$$

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:

$$x = P_x x' + Q_x y', \quad y = P_y x' + Q_y y', \quad z = P_z x' + Q_z y'$$

Cosinusy kierunkowe P_x, P_y, P_z i Q_x, Q_y, Q_z przekształcenia współrzędnych orbitalnych we współrzędne ekliptyczne wynoszą:

$$\begin{aligned} P_x &= \cos \Delta\Omega \cos \omega - \sin \Delta\Omega \sin \omega \cdot \cos i, & Q_x &= -\sin \Delta\Omega \cos \omega - \cos \Delta\Omega \sin \omega \cos i, \\ P_y &= \cos \Delta\Omega \sin \omega + \sin \Delta\Omega \cos \omega \cdot \cos i, & Q_y &= -\sin \Delta\Omega \sin \omega + \cos \Delta\Omega \cos \omega \cos i, \\ P_z &= \sin \Delta\Omega \sin i, & Q_z &= \cos \Delta\Omega \sin i, \end{aligned}$$

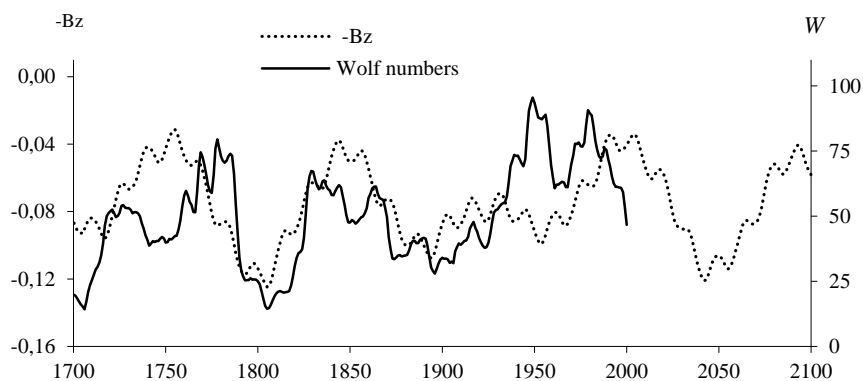
gdzie: $\Delta\Omega = \Omega - \omega$ – jest kątową odległością peryhelium od węzła wstępującego.

Współrzędne planet wyznaczono w jednostkach astronomicznych z dokładnością 0,00001 AU. Współrzędne planet obliczono z podwojoną precyzją (anomalię ekscentryczną E - z dokładnością 0,00001).

Wskaźnik koncentracji masy planet ($-B_z$), a aktywność Słońca

Na uwagę zasługują synchroniczne wahania w przebiegach wiekowych aktywności Słońca i momentu bezwładności planet Układu Słonecznego względem płaszczyzny ekliptyki (wskaźnika koncentracji masy planet $-B_z$) (rys. 13). Jego wartości wyznaczono na podstawie wielomianów opisujących zmiany wiekowe parametrów orbity Ziemi (Reznikov, 1982):

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. 13. 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. 13. 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 11 consecutive)

Wskaźnik koncentracji masy planet ($-B_z$) a grubość słoików sosny i świerka

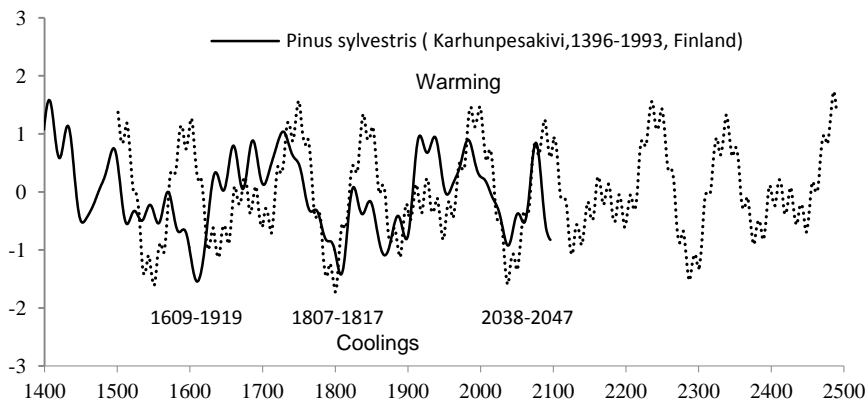
Interesujące są porównanie (standaryzowanych wartości) zmian przyrostów szerokości słoików: sosny (*Pinus sylvestris*) w Karhunesakivi (1398-1993, Finlandia) z przebiegiem wskaźnika koncentracji masy planet ($-B_z$) w latach 1500-2500. Porównano wypadkowe $y=f(t)$ interferencji cykli Θ szerokości słoików sosny i świerka wyznaczone na podstawie cykli (tab.4) z wskaźnikiem $-B_z$. (rys.14).

Tabela 4. Okresy Θ (lat) szerokości pierścieni sosny *Pinus sylvestris* w Karhunesakivi– Finlandia (1396-1993)

Table 4. Periods Θ (years) of the Scots pine tree ring widths *Pinus sylvestris* in Karhunesakivi – Finland (1396-1993)

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

Przebieg szerokości słoików sosny w Karhunesakivi (rys.14) cechuje się trzema głównymi minimami: 1609-1919, 1807-1817, 2038-2047 (ekstrapolacja). Synchroniczność wahań występuje przede wszystkim w latach 1700-2100. Główne minima szerokości słoików tej sosny: 1807-1817, 2038-2047 (prognozowane) przypadają na minima koncentracji masy planet względem ekliptyki ($-B_z$)_{min}. 2047 (Karhunesakivi) i świerka 2044-2054 (Falkenstein) tj. prognozowane duże ochłodzenia klimatu – takie jak na początku XIX wieku



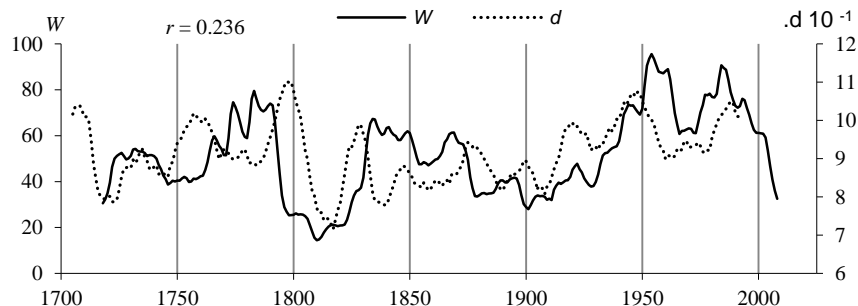
Rys. 14. Zmiany szerokości słoje sosny (*Pinus sylvestris*) w Karhunesakivi (1400-2100) i wskaźnika ($-B_z$) koncentracji masy planet względem ekliptyki (1500-2500)

Fig. 14. Changes in the widths of the Scots pine tree rings (*Pinus sylvestris*) in Karhunesakivi (1400-2100) and the coefficient ($-B_z$) of concentration of the planet moment of inertia in relation to the ecliptic (1500-2500)

Aktywność Słońca, a grubość słoje sosny i świerka

O wpływie aktywności Słońca na klimat Europy (i Polski) świadczą również np. synchroniczne wahania średniej szerokości słoje (d) pięciu drzew (1 sosna, 3 świerki i 1 modrzew) rosnących w Europie i liczb Wolfa (W) w latach 1700-2013.

W tym przypadku są to drzewa: *Pinus sylvestris* (Fortfjordalen, Norwegia, 1877-1994); *Picea abies* (Falkenstein, Niemcy, 1540-1995; Fodara Vedla, Włochy, 1598-1990; Stonnglandes, Norwegia, 1403-1997) and *Larix decidua* (Pinega, Rosja, 1578-1990). Współczynnik korelacji $r = 0,236$ między średnią szerokością słoje drzew (d) i liczbami Wolfa (W) jest istotny na poziomie 0,01 ($r > r_{0,01}$) (rys. 15)



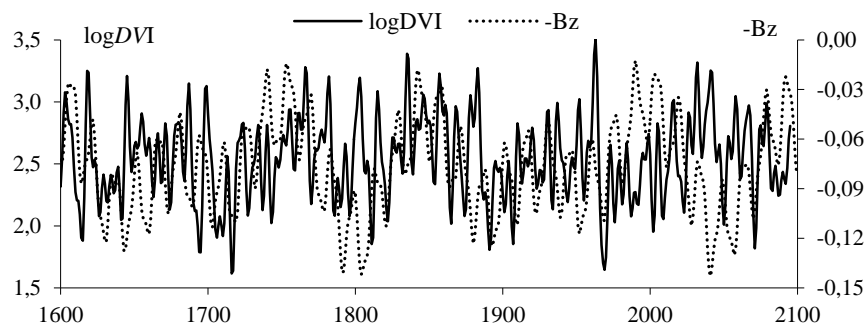
Rys. 15. Synchroniczne wahania średniej szerokości słoje 5 drzew rosnących w Europie i liczb Wolfa w latach 1700-2013 (średnie ruchome 11-letnie), współczynnik korelacji $r = 0.236$

Fig. 15. Synchronous fluctuations of the average tree ring widths of 5 trees growing in Europe and Wolf numbers in the years 1700-2010 (average values for consecutive 11- year periods, correlation coefficient $r = 0.236$)

Druga połowa XX wieku cechuje się dużym ociepleniem z minimum lokalnym w latach sześćdziesiątych, zbliżonym do minimum lokalnego aktywność Słońca. Związek temperatury powietrza z aktywnością Słońca bardziej się uwidacznia w przypadku całej półkuli północnej (Bernes 2002).

Wskaźnik koncentracji planet ($-B_z$), a erupcje wulkanów

Interesujące jest też porównanie wykresów zmian wskaźnika koncentracji pyłów wulkanicznych $\log DVI$ ze wskaźnikiem $-B_z$ koncentracji masy planet względem płaszczyzny ekliptyki (B_z – moment bezwładności planet) (rys. 16). Na ogół synchroniczne są wahania, tj. przy większej koncentracji planet w płaszczyźnie ekliptyki występuje więcej pyłów wulkanicznych ($\log DVI$). Nasuwa się wniosek, wykluczający tezę – o przypadkowych losowych erupcjach wulkanów.



Rys. 16. Synchroniczne zmiany wskaźnika koncentracji pyłów wulkanicznych ($\log DVI$) i wskaźnika koncentracji masy planet względem ekliptyki ($-B_z$) (B_z – moment bezwładności planet)

Fig. 16. Synchronic changes of the indicator of concentration of the volcanic dust ($\log DVI$) and the index of concentration of planetary mass with respect to the ecliptics ($-B_z$) (B_z – momentum of the nine planets)

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

W ciągu ostatnich 400 lat tj. w latach 1600, 1700, 1830 wystąpiły na Ziemi trzy duże ochłodzenia, cechujące się największymi spadkami temperatury powietrza. To ostatnie ochłodzenie w Europie wystąpiło podczas trzech najsłabszych, wydłużonych (12-13-letnich) cykli aktywności Słońca (1798-1833). Ochłodzenie to pojawiło się w czasie najsłabszego 13-letniego cyklu plam słonecznych (1911-1823) od roku 1700 (absolutnego minimum wiekowego). To ostatnie ochłodzenie klimatu Ziemi (także w Europie) wystąpiło podczas wzmożonej aktywności wulkanicznej, po największych wybuchach wulkanów: 1803 – Cotopaxi, 1815 – Tambora, 1835 – Cosequina.

Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Unton-Pyziółek A., Gieszczyk P., 2010, *Cooling and Warming of Climate of the Earth's Northern Hemisphere (on the basis of fluctuations of the oxygen isotope $\delta^{18}O$ and dendrological data)*, *Miscellanea Geographica*, vol. 14, pp.47-58.

Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Unton-Pyziółek A., Gieszczyk P., 2010, *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Północnej Półkuli Ziemi (na podstawie wahań izotopu tlenu $\delta^{18}O$ i danych dendrologicznych)*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, Wyd. UW, t. XXV, s.88-98.

Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Unton-Pyziółek A., Gieszczyk P., 2011, *Zmiany klimatu Półkuli Północnej (na podstawie wahań promieniowania słonecznego i izotopu tlenu $\delta^{18}O$)*, *Prace i Studia Geograficzne*, t. 47, s. 25-32, Wyd. WGSR UW, Warszawa

Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2014, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXXI-XXXII. *Modele empiryczne przestrzennych i czasowych zmian klimatu Europy z wyodrębnieniem Polski (ważniejsze wyniki badań)*, Wyd. WGSR UW, s.355-374.

VIII. ZAKOŃCZENIE

Celem pracy jest określenie składników deterministycznych (okresowych) czasowej zmienności klimatu Europy w XVII-XXI wieku. Jest nim też identyfikacja naturalnych przyczyn ochłodzeń i ociepleń klimatu Europy a także prognozy temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie i innych miastach Europy do końca XXI wieku.

W prognozach zmian klimatu Europy przyjęto założenie, że ekstrema wykrytych cykli temperatury, opadów i rocznych przyrostów drzew rosnących w Europie będą się powtarzać nadal. Do przyjęcia takiego założenia upoważnia obecność analogicznych cykli w ciągach czasowych: aktywności Słońca (stałej słonecznej) i parametrów Układu Słonecznego oraz ich synchroniczność (koincydencja ekstremów). Najdłuższe okresy około 100- i 200-letni powtarzają się wielokrotnie w ciągach chronologicznych słoju np. sosny (*Pinus sylvestris* w Forfjorddalen (877-1994), paleotemperatury tj. zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniach lodowych i zawartości substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych.. Najmroźniejsze zimy, o średniej temperaturze -7°C , wystąpią prawdopodobnie w połowie przyszłego stulecia – około roku 2050.

Globalne ocieplenie i zjawiska regionalne – niekorzystne dla mieszkańców Ziemi – są przeważnie przypisywane działalności człowieka. Przypisywane są one przede wszystkim antropogenicznej części efektu cieplarnianego atmosfery – wzrostowi zawartości dwutlenku węgla (CO_2) w atmosferze, pochodzącemu ze spalania węgla i innych paliw.

Raport IPCC (1991), prognozujący wzrost temperatury powietrza na Ziemi w roku 2030 o $1,5-4,5^{\circ}\text{C}$, był zbyt pesymistyczny. Pojawiły się później katastrofalne prognozy o stopieniu lodów Antarktydy i Arktyki, a także lodowców wysokogórskich i zatopieniu części kontynentów przez wody oceanów. Historia klimatu Ziemi i proste obliczenia (Boryczka, 1998) wskazują, że taki proces trwałby co najmniej kilkanaście tysięcy lat.

Analogicznie, ochłodzenie klimatu w latach czterdziestych przyczyniło się do podjęcia badań nad wpływem pyłów wulkanicznych na klimat. Pojawiły się wówczas katastrofalne prognozy o całkowitym zlodowaceniu Ziemi. Prognozowano, że spadek globalnego promieniowania całkowitego o $1,5-1,6\%$ prowadzi do nieodwracalnego zlodowacenia, postępującego od biegunów ku równikowi.

Kolejny raport IPCC (1995) jest bardziej optymistyczny, prognozowane są przyrosty antropogeniczne temperatury powietrza o $1-3,5^{\circ}\text{C}$ w roku 2100 (o połowę mniejsze), po uwzględnieniu rozproszenia promieniowania słonecznego przez areozole siarczanowe, pochodzące z emisji do atmosfery SO_2 .

Modele cyrkulacji – scenariusze $2\times\text{CO}_2$ (po podwojeniu przedindustrialnej koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze – 280 ppm) mają obecnie raczej znaczenie metodyczne. Rozwiązania numeryczne równań ruchu atmosfery, z uwzględnieniem ważniejszych sił działających na obracającej się Ziemi, stanów fizycznego i chemicznego powietrza aż do stratosfery, są znaczącym postępem w rozwoju fizyki atmosfery.

Przypisywanie jednak postępującego ocieplenia tylko antropogenicznej części efektu cieplarnianego jest niepewnym, słabo uzasadnionym założeniem. Nie wiadomo bowiem, jaka część tendencji rosnącej temperatury powietrza przypada na czynniki naturalne, a jaka na antropogeniczne. Mało znane są tendencje koncentracji w atmosferze naturalnych gazów śladowych (pary wodnej, naturalnego CO_2), które powodują zasadniczą część naturalną efektu cieplarnianego – w latach przedindustrialnych $+33^{\circ}\text{C}$ (różnica między temperaturą ówczesną a planetarną).

Znaczącą rolę w kształtowaniu klimatu Ziemi będą nadal odgrywały (także w XXI wieku) eksplozywne erupcje wulkanów, powodujące powstanie warstwy wulkanicznych aerozoli siarczanowych w stratosferze. Wskazują na to długie serie wyników pomiarów promieniowania całkowitego i temperatury powietrza, skorelowane ze wskaźnikami koncentracji pyłów wulkanicznych w atmosferze. Dopływ energii słonecznej do powierzchni Ziemi zależy przede wszystkim od stałej słonecznej, której zmienność warunkować będzie wahania klimatu w przyszłym stuleciu.

Wyniki badań przedstawione w tej części Atlasu wskazują, by współczesne zmiany klimatu interpretować w odniesieniu do zmian klimatu w czwartorzędzie, a szczególnie w holocenie. Wskazują również potrzebę opracowania prognoz zarówno naturalnych, jak też antropogenicznych tendencji zmian klimatu w XXI wieku.

Zmiany klimatu, jego wahania i tendencje, a w szczególności prognozy mają duże znaczenie w planowaniu rozwoju wszystkich działów gospodarki: rolnictwa, budownictwa, energetyki, komunikacji itp.

Dlatego też najważniejsze jest zbadanie najdłuższych serii pomiarów w Polsce, na podstawie których określa się zakres wahań klimatu, temperatury powietrza i opadów atmosferycznych i dokonuje się sondaży przyszłości.

Nadal aktualne jest poznanie wieloletnich zmian i opracowanie prognozy klimatu przy wykorzystaniu metod modelowania z uwzględnieniem powiązań z działalnością człowieka. Globalne ocieplenie i anomalie klimatu w różnych strefach kuli ziemskiej zagrażają życiu na Ziemi.

Do najbardziej niekorzystnych zjawisk można zaliczyć wichury i sztormy oraz powodzie, osuwiska ziemi i lawiny, które wywołują 85% strat ekonomicznych. Do innych zjawisk ekstremalnych należą trzęsienia ziemi i erupcje wulkaniczne. Duże straty powodują susze, fale upałów (pożary lasów) i mrozów. Do katastrof najgroźniejszych dla ludzi i gospodarki w roku 1998 można zaliczyć (*Zmiany klimatu*, 1999):

- Tajfun w Indiach, który w czerwcu spowodował śmierć 10 000 osób;
- Huragan, który spustoszył Amerykę Środkową na przełomie października i listopada, powodując śmierć około 9200 osób;
- Huragan Georges, który przeszedł nad Karaibami i Zatoką Meksykańską na przełomie września i października i przyczynił się do śmierci ponad 4000 osób;
- Letnią powódź w Bangladeszu, Indiach i Nepalu, na skutek której liczba ofiar śmiertelnych wyniosła 4750;
- Letnią powódź w Chinach, która przyczyniła się do liczby ofiar szacowanej na 3656;
- Burze śnieżne w styczniu oraz silne gradobicie w maju 1998 r. w Ameryce Północnej, które spowodowały straty liczone w miliardach dolarów amerykańskich.

W roku 1997 zjawisko El Niño spowodowało długotrwałe susze w Azji Południowo-Wschodniej. Natomiast w 1998 r. prawie cały ten obszar został zatopiony przez nadzwyczaj ulewne deszcze monsunowe, wywołane zjawiskiem El Niño. Zjawisko El Niño oddziałuje na warunki pogodowe w wielu regionach świata, a spowodowane jest nagłym ochłodzeniem się wód wschodniego Pacyfiku, nawet o 2 °C poniżej średniej wieloletniej temperatury. Ulewne deszcze związane z tym zjawiskiem wystąpiły również w północnej i wschodniej Australii i Nowej Zelandii, południowej części Afryki, północno-wschodniej części Ameryki Południowej oraz Ameryce Środkowej. Natomiast susze spowodowane

przez El Niño wystąpiły m.in. na zachodnim wybrzeżu Ameryki Południowej oraz w południowo-zachodnich stanach USA.

Oceniając straty na świecie powstałe w wyniku zjawisk ekstremalnych w 1998 r., można stwierdzić, że były one największe w Azji i Ameryce Północnej oraz Środkowej.

Nie można wykluczyć, iż w przyszłości niektóre zjawiska ekstremalne, np. powodzie, susze, wystąpią w Europie. Dlatego też z inicjatywy Polskiego Komitetu Narodowego ds. Międzynarodowego Programu „Zmiany Globalne Geosfery i Biosfery” przy Prezydium PAN wspólnie z Instytutem Ochrony Środowiska i Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej z udziałem licznych Zakładów Klimatologii w Polsce powstał projekt „Narodowego Programu Klimatycznego”.

Uznano, że badania naukowe w zakresie prognoz zmian klimatu, głównie zjawisk ekstremalnych, powinny w przyszłości koncentrować się wokół następujących problemów:

- Miniony, obecny i przewidywany klimat Polski w aspekcie jego zmian i zmienności.
- Zmiany klimatu Polski w okresie holocenu, w tym zwłaszcza ostatniego tysiąclecia, w aspekcie zmian opadowych i bilansu wodnego.
- Współczesne tendencje zmian klimatu z uwzględnieniem ekstremalnych zjawisk klimatycznych i towarzyszących klęsk żywiołowych oraz zmian poziomu Morza Bałtyckiego.
- Projekcja zmian klimatu Polski na tle najnowszych symulacji.
- System monitoringu i okresowych ocen klimatu Polski.
- Wpływ zmian klimatu na ekosystemy i systemy społeczno-gospodarcze oraz sposoby przeciwdziałania negatywnym skutkom ich zmian.
- Ocena zmian ekosystemów lądowych i wodnych pod wpływem zmian klimatycznych i antropopresji oraz sposoby ochrony przed negatywnymi skutkami tych wpływów.
- Metody adaptacji systemów wodno-gospodarczych do zmieniających się warunków klimatycznych.
- Ocena zmian w produkcji roślinnej i zwierzęcej w zmienionych warunkach klimatycznych oraz mechanizmy adaptacji rolnictwa do zmian klimatu.
- Podstawy adaptacji gospodarki leśnej do zmienionych warunków klimatycznych.
- Strategie redukcji emisji i pochłaniania i ich skutki społeczno-gospodarcze.
- Systemowa metodologia obliczania emisji i wychwytu gazów cieplarnianych na potrzeby tworzenia sektorowych strategii redukcji emisji i zwiększenia pochłaniania tych gazów.
- Makro ekonomiczne i sektorowe strategie redukcji emisji i zwiększenia pochłaniania gazów cieplarnianych oraz skutki społeczno-gospodarcze ich wdrażania.
- Opracowanie zasad działania i wdrażania mechanizmów ekonomicznych i finansowych przewidzianych przez Ramową Konwencję Narodów Zjednoczonych w Sprawie Zmian Klimatu i Protokół z Kioto oraz strategii finansowania wdrożenia postanowień Protokołu z Kioto.
- Zmiany koncentracji gazów cieplarnianych i ozonu w atmosferze na terenie Polski.

Największe znaczenie w prognozach zmian klimatu i zjawisk ekstremalnych w XXI wieku ma wykrycie składników deterministycznych (okresowych) trendów czasowych zmiennych meteorologicznych. Najważniejsze jest określenie roli wahań aktywności

Słońca (stałej słonecznej) w kształtowaniu (poprzez cyrkulację atmosferyczną) zmian klimatu – w tym zjawisk ekstremalnych. Kluczowym problemem jest lepsze wykazanie, że wahania stałej słonecznej są uwarunkowane zmianami parametrów Układu Słonecznego, o czym informują dotychczasowe badania statystyczne. Umożliwi to wyodrębnienie naturalnych wahań (ociepleń i ochłodzeń) klimatu w Europie i w Polsce. Można będzie odpowiedzieć na pytanie, jaką część tendencji rosnącej temperatury powietrza (postępującego ocieplenia) można przypisać czynnikom naturalnym (wraz z erupcjami wulkanów), a jaką – czynnikom antropogenicznym (efektowi cieplarnianemu).

Ważne jest zatem określenie cykli krótkich i długich: temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, poziomu Morza Bałtyckiego, a w szczególności zjawisk ekstremalnych, nasilających się podczas ociepleń klimatu: sztormów, powodzi, susz, fal upałów i mrozów, burz, trąb powietrznych itp.

Dokładniejszych badań wymaga także okresowość katastrofalnych erupcji wulkanicznych i trzęsień ziemi, zagrażających życiu

Prognozy zmian klimatu i ich sprawdzalność

Problemem badań rozwiązywanym nadal jest weryfikacja prognoz zmian klimatu Ziemi, które powstały w Zakładzie Klimatologii UW, podejmowane kilkakrotnie (przez J. Boryczkę ze współautorami) na podstawie najdłuższej w danym czasie serii obserwacyjnych temperatury powietrza z Warszawy (Okęcie), tj. od 1779 roku i opadów atmosferycznych od 1813 – do roku 1979. Zweryfikowano najwcześniejsze prognozy zmian wartości średnich miesięcznych, sezonowych lub rocznych temperatury powietrza w Warszawie – 1779-1979 (Boryczka, 1984, Boryczka i in., 1992) i 1779-1990 (Boryczka i in., 2000)

Weryfikacja tych prognoz polega zatem na zbadaniu synchroniczności przebiegów (koincydencji ekstremów) wartości temperatury zmierzonych (T) i prognozowanych ($f(t)$), z zastosowaniem odpowiednich testów statystycznych..

Porównano zmierzone wartości temperatury powietrza w Warszawie-Okęciu w latach 1951-2010 z prognozowanymi z wyprzedzeniem 31 lat i 20 lat. Dobrą sprawdzalnością cechują się prognozy temperatury powietrza w Warszawie na lata 1980-2010 i 1991-2010 z 1984 i 2000 roku, według cykli wykrytych metodą „sinusoid regresji” w seriach wyników pomiarów w Warszawie-Observatorium Astronomiczne w latach 1779-1979.

Porównano też zmierzone sumy opadów atmosferycznych w Warszawie (Okęcie) w latach 1951-2010 z prognozowanymi z wyprzedzeniem 31 lat i 20 lat. Dobrą sprawdzalnością cechują się prognozy opadów w Warszawie na lata 1980-2010 i 1991-2010 z 1993 i 2000 roku, według cykli wykrytych metodą „sinusoid regresji” w seriach wyników pomiarów.

Zweryfikowano również prognozy zmian temperatury powietrza w innych miejscach Europy, wybierając niektóre spośród 40 miast Europy, opublikowane w 3 tomach *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*: zima i lato (Boryczka i in., 2003), styczeń i lipiec (Boryczka i in., 2005) oraz rok (Stopa-Boryczka i in., 2007). Do wybranych miejsc należą: środkowa Anglia (1659-1993), Greenwich (1659-1969), Paryż (1767-1995), Berlin (1769-1990), Moskwa (1780-2002), Sztokholm (1756-1994) i Rzym (1811-1989).

Szczególłą uwagę zwrócono na prognozy zmian temperatury powietrza w zimie i styczniu, ze względu na postępujące ocieplenie klimatu Europy. Do weryfikacji wykorzystano późniejsze wyniki pomiarów na stacjach: Warszawa (Okęcie, 1951-2015), Londyn (Gatwick, 1951-2012), Paryż (Montsouris, 1951-2011), Berlin (1951-2012), Moskwa (1951-2012), Sztokholm (1951-2012) i Rzym (1951-2012).

Ta pozytywna ocena prognoz wynika z synchronicznych przebiegów wieloletnich zmierzonych i obliczonych wartości temperatury (wypadkowa interferencji cykli), a także z istotnych statystycznie związków korelacyjnych (na poziomie ufności 95%).

Fale ciepła i chłodu w przebiegu rocznym temperatury powietrza

Przebieg roczny temperatury powietrza w Warszawie (Okęcie) w latach 1951-2010 zależy od cyklu rocznego aktywności Słońca, spowodowanego ruchem obrotowym Słońca wokół jego osi, nachylonej pod kątem $82^{\circ}45'$ do płaszczyzny ekliptyki (od 25,04 dni na równiku i 31 w pobliżu biegunów).

Fale chłodu ($\Delta T < 0$) i ciepła ($\Delta T \geq 0$) zdefiniowano jako odchylenia ΔT średnich dobowych zmierzonych wartości temperatury (T) od sinusoidy regresji $f(t)$ o okresie 365.25 dni. Na ogół fale chłodu występują przy małej aktywności Słońca obserwowanej z Ziemi, a fale ciepła – przy dużych liczbach Wolfa. Maksimum cyklu rocznego temperatury powietrza T jest opóźnione o prawie 1 miesiąc względem maksimum deklinacji Słońca.

Wzrost średniej dobowej temperatury powietrza T w miesiącach od stycznia do połowy lipca wywołany jest nie tylko wzrostem deklinacji Słońca, lecz także wzrostem aktywności Słońca (liczb Wolfa W), a jej późniejszy spadek do grudnia – dodatkowo mniejszą aktywnością Słońca.

Rekonstrukcja i prognoza zmian klimatu Ziemi w czasie od -1 000 000 BP do 1 000 000 AD

W celu określenia wahań klimatu Ziemi w przeszłości, teraźniejszości i w przyszłości obliczono dobowe sumy promieniowania słonecznego m.in. i marzec-wrzesień (III-IX) na górnej granicy atmosfery, wzdłuż równoleżnika $\varphi = 65^{\circ}N$ – według okresowych zmian parametrów orbity Ziemi.

Duże znaczenie poznawcze ma rekonstrukcja (od 1 000 000 lat BP) i prognoza (do 1 000 000 lat AD) klimatu Ziemi według promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^{\circ}N$.

Ważnych informacji o zmianach klimatu Ziemi dostarczyła zawartość izotopu tlenu $\delta^{18}O$ w rdzeniu lodowym wyspy Devon (Arktyka Kanadyjska) – od 110 977 lat. Zmiany klimatu Ziemi (od -500 000 BP do 500 000 AD) opracowano na podstawie interferencji 11 „najsilniejszych” cykli izotopu tlenu $\delta^{18}O$ w rdzeniu lodowym.

Interesująca jest koincydencja ekstremów przebiegów wiekowych zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}O$ w rdzeniu lodowym z wyspy Devon otrzymanych z interferencji cykli z sumami promieniowania słonecznego w okresie III-IX i zmianami stężenia CO_2 w atmosferze i paleotemperatury w ciągu ostatnich 160 000 lat na podstawie rdzeni lodowych na stacji Vostok (WMO, 1990).

Ponadto określono zmiany klimatu Ziemi (od -25 000 BP do 25 000 AD) według substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziora Gościąż, i wykazano wpływ koncentracji masy planet Układu Słonecznego na aktywność Słońca i erupcje wulkanów.

Postęp w badaniach zmian klimatu Ziemi i ich przyczyn był możliwy dzięki zastosowaniu metody „sinusoid regresji” J. Boryczki (1998) wyznaczania okresów (widm) zmiennych przyrodniczych.

Stan badań współczesnych zmian klimatu Ziemi w publikacjach Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego

Tom XXX. *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* pt. *Klimat północno-wschodniej Polski według podziału fizyczno-geograficznego* J. Kondrackiego i J. Ostrowskiego można uznać za syntezę dotychczasowych badań wpływu czynników geograficznych na klimat w różnych skalach przestrzennych.

W podwójnym tomie **XXXI-XXXII** *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, pt. *Modele empiryczne przestrzennych i czasowych zmian klimatu Europy z wyodrębnieniem Polski* 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).

Prezentowany Tom. **XXXIII** *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* pt. *Zmiany wiekowe klimatu Europy z uwzględnieniem prognoz w XXI wieku i ich weryfikacja* stanowi podsumowanie ważniejszych wyników badań w zakresie naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu Europy.

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

Istotne wyniki badań w zakresie przyczyn zmian klimatu zawiera książka J. Boryczki pt. **Zmiany klimatu Ziemi**, Wyd. WGRS UW, 2015, ss. 280 (wydanie drugie rozszerzone)*. Książka jest poświęcona głównie naturalnym (cyklicznym) wahaniom klimatu Ziemi. Zawiera także prognozy zmian klimatu Europy do końca XXI wieku według pomiarów temperatury powietrza i danych dendrologicznych oraz ich weryfikację.

**Zmiany klimatu Ziemi*, Wyd. Akad. DIALOG, 1998, ss. 166 (wydanie pierwsze)

IX. LITERATURA

- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E., 1992, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. VII, *Zmiany wiekowe klimatu Polski* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 438.
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Błażek E., Skrzypczuk J., 1995, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. IX, *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW Warszawa, ss. 320.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1997, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. X pt. *Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 220.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1998, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XI, *Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie*, (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 258.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wągrowa M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1999, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XII, *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu miast w Europie* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 255
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1999, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XIII, *Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie*, (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 283.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Lorenc H., Kicińska B., Błażek E., Skrzypczuk J., 2000, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XIV, *Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 300.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Błażek E., Skrzypczuk J., 2001, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XV, *Prognozy zmian klimatu miast Europy* (red. M. Stopa-Boryczka, Jerzy Boryczka), Wyd. UW, ss. 249.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Grabowska K., Błażek E., Skrzypczuk J., 2002, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XVI, *Prognozy zmian klimatu Polski* (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 212.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Kirschenstein M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2003, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XVII, *Mroźne zimy i upalne lata w Polsce* (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 297.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2004, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XVIII, *Groźne zjawiska pogodowe w Polsce* (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 217.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Pietras K., Bijak S., Błażek E., Skrzypczuk J., 2005, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XIX, *Cechy termiczne klimatu Europy* (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 184

- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Bijak Sz., Cebulski R., Błażek E., Skrzypczuk J., 2007, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XX-XXI, *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych*, (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 266.
- 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*, t. XXV, *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, Warszawa, ss. 417.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2014, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXXI-XXXII, *Modele empiryczne przestrzennych i czasowych zmian klimatu Polski i Europy*, (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, ss. 403.
- Atlas klimatu Polski (1971-2000)*, 2005, Lorenc H. (red.), opracowanie komputerowe map Kowalewski M., IMGW, Warszawa
- Berger A., 1988, *Milankovich theory and climate*, *Reviews of Geophysics*, 26
- Bernes C., 2003, *A Warmer World. The Greenhouse Effect and Climate Change*, *Monitor* 18
- Bijak Sz., 2005, *Wahania temperatury powietrza w Warszawie i Tallinie w latach 1779- 2000*, w: *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne*, (red. E. Bogdanowicz, U. Kossowska-Cezak, J. Szkutnicki) PTGeof, IMGW, Warszawa
- Boryczka J., Mucha B., Stopa-Boryczka M., Wawer J., 2006, *The influence of the north Atlantic Oscillations (NAO) on the climate of Warsaw and Lviv*, *Miscellanea Geographica*, Warszawa, vol. 12, pp. 75-80
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Mucha B., 2008, *Tendencies in climate changes in Poland and Ukraine during the last centuries and their causes*, *Miscellanea Geographica*, Warszawa, vol. 13, pp. 77-88
- Boryczka J., Więckowski K., Wicik B., 1989, *Holocene climatic changes in the light of statistical analysis of laminated sediments from the Gościąż Lake*, *Zesz. Nauk. Politechniki Śląskiej*, s. Mat.-Fiz., z. 57, *Geochronometria*, Nr 5.
- Boryczka J. 1992, *Naturalny i antropogeniczny trend temperatury i opadów w Warszawie*, *Prace i Studia Geograficzne*, t. 11
- Boryczka J., Wicik B., 1994. *Record of holocene climatic cycles in Lake sediments in Central Poland*, *Miscellanea Geographica*, t.6, Wyd. UW, Warszawa
- Boryczka J., 1998. *Zmiany klimatu Ziemi*, Wyd. Akademickie DIALOG, Warszawa
- Boryczka J., 2001, *Zmiany klimatu Warszawy w XVIII-XX wieku i ich prognozy*, *Prace Geograficzne IG PAN* nr 180
- Boryczka J., 2003, *Trends in Climate Change in Europe and Their Causes*, in: *Man and Climate in the 20th Century*, (ed. J. L. Pyka et al.), *Studia Geograficzne* 75, Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław
- Boryczka J., 2004. *Mit efektu cieplarnianego*, *Przeegl. Geof.* XLIX, z. 1-2
- Boryczka J., Mucha B., Stopa-Boryczka M., Wawer J., 2006, *The influence of the north Atlantic Oscillations (NAO) on the climate of Warsaw and Lviv*, *Miscellanea Geographica* vol. 12, pp. 75-80
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Mucha B., 2008, *Tendencies in climate changes in Poland and Ukraine during the last centuries and their causes*, *Miscellanea Geographica* vol. 13, pp. 77-88
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Unton-Pyziółek A., Gieszczyk P., 2010, *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Północnej Półkuli Ziemi (na podstawie wahań izotopu tlenu d18O i danych dendrologicznych)*, *Miscellanea Geographica* vol. 14, pp. 47-58

- Brevier J. R., Jouzel J., Raynaud D. et. al., 1999, *Climate and atmospheric history of the of pastes 420 000 years from the Vostok ice core*, Antarctica, Nature 399. p.429
- Brückner E., 1890, *Klimaschwankungen seit 1700 nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit*, Geogr. Abh., H. 4/2, Wien
- Budyko M. I., 1971, *Klimat i žizn*, Gidromietieoizdat, Leningrad
- Budyko M. I., 1974, *Izmienienija klimata*, Gidromietieoizdat, Leningrad
- Budyko M. I., Piwowarowa Z. I., 1967, *Wlijanije wulkanicznych izwierzenij na prichod-ziaszczuju k powierchnosti Ziemli sotniecznuju radiacju*, Mietieorologija i Gidrologija, nr 10
- Fisher D. A., 1979, *Comparison of 100.000 years of oxygen isotope and insoluble impurity profiles from the Devon Island and Camp Century ice cores*. Quaternary Research 11
- Gieszcz P., 2008, *Okresowość i tendencje zmian klimatu Arktyki*, *Klimat wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007*, Warszawa (Materiały na XII Piknik Naukowy Polskiego Radia i Centrum Nauki Kopernik, 14.06. 2008)
- Hays J. D., Imbrie J., Shackleton N. J., 1976, *Variation in the Earth's orbit: Pacemaker of the ice ages*, Science, 194, nr 4270
- IPCC, 1990, *Scientific Assessment of Climate Change – Report of Working Group I*, Cambridge University Press, 365 pp
- IPCC, 1995, *Climate change 1995. The Scientific of Climate Change*, Cambridge University Press, 572 pp
- IPCC, 2001. *Climate change 2001. The Scientific Basis*, Cambridge University Press, 944 pp
- IPCC, 2007, *Climate change 2007. The physical science basis* [w:] Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M., Miller H. L. (ed.) *Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge
- Johnsen S. J., Dansgaard W., Clausen H. B., Longway C. C., 1970, *Climatic oscillations 1200-2000 A.D.*, Nature, nr 227, London
- Jones P. D., Jonsson T., Wheeler D., 1997, *Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland*, Int. J. Climatol., 17, s. 1433-1450
- Kaczorowska Z., 1962, *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*, Prace Geogr. PAN, Nr 33
- Klein Tang A. M. G., Wijgard J. B. et al., 2002, *Daily data set of 20th century surface air temperature and precipitaton series for European Climate Assesment (ECA)*, Int. J. Climatology, 22, 1441-1453
- Klimat Europy. Przeszłość – Teraźniejszość – Przyszłość*, 2004, (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Materiały Zakładu Klimatologii, Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego z VIII Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS zorganizowanego w dniu 22.05.2004 r. w Warszawie pod hasłem *Nauka bez granic*
- Klimat Wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952- 2007*, 2008, Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego na XII Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS i Centrum Nauki Kopernik, Warszawa
- Kożuchowski K., 1989, *Makrotypy cyrkulacji atmosferycznej a temperatura powietrza w Polsce*, Przeg. Geofiz., R. XXXIV, z. 4
- Kożuchowski K. (red.), 1990, *Materiały do poznania historii klimatu w okresie obserwacji instrumentalnych*, Wyd. Uniw. Łódzkiego, Łódź
- Kożuchowski K., Stolarczuk, Wibig J., 1994, *Wskaźniki cyrkulacji atmosferycznej na poziomie 500 hPa nad Polską i południowym Bałtykiem w latach 1951-1990* [w:] *Współczesne zmiany klimatyczne. Klimat Polski i regionu Morza Bałtyckiego na tle zmian globalnych*, Rozprawy i Studia Uniw. Szczecin., (226) 152
- Kożuchowski K., Boryczka J., 1997, *Cykliczne wahania i trendy czasowe zmian poziomu morza w Świnoujściu (1811-1990)*, Przegł. Geof. t. 42, z.1

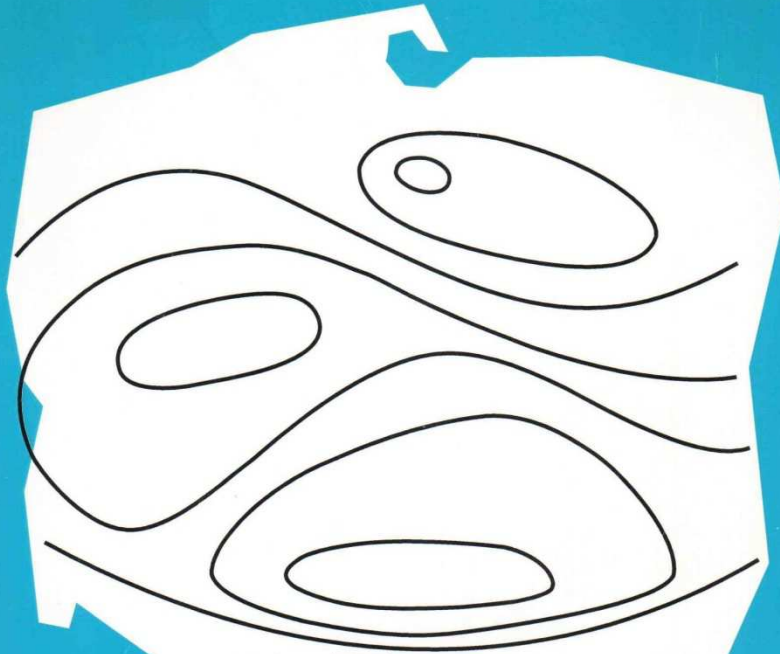
- Kossowska-Cezak U., 1995, *Lato w Polsce na tle sezonów letnich ostatnich 120 lat*, Materiały konferencji „Klimat i bioklimat miast”, Wyd. U. Ł.
- Kossowska-Cezak U., 2005, *Współczesne ocieplenie a codzienne wartości temperatury średniej dobowej w Warszawie* [w:] *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne* (red. E Bogdanowicz, U. Kossowska-Cezak, J. Szkutnicki) PTGeof, IMGW, Warszawa
- Kondratiev K.J., Nikolski G. A., 1970, *Solar radiation and solar activity*, Quart. J. Royal. Meteor. Soc., no 96
- Lamb H. H., 1974, *Volcanic dust in the atmosphere with a chronology and assessment of meteorological*, Phil. Transactions Roy. Soc., ser.A, 226
- Lorenc H., 1994, *Symptomy zmian klimatu w strefach ograniczonych wpływów antropogenicznych*, Mat. Bad. IMGW, Meteorologia, 19
- Lorenc H., 2000, *Studia nad 202-letnią (1779-1998) serią temperatury powietrza w Warszawie oraz ocena jej wiekowych tendencji*, Mat. Bad. IMGW, Meteorologia, 31
- Manley G., 1974, *Central England temperatures: monthly means 1659 to 1973*, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., no 100
- Malcher J., Schönwiese Ch. D., 1987, *Homogeneity, spatial correlation and spectral variance analysis of long European and North American air temperature records*, Theor. Appl. Climat., 38
- Maksimow E. W., 1972, *Problemy oledienienij Ziemi i ritmy w prirodzie*, Izd. Nauka, Leningrad
- Marsz A.A. (red.), 1999, *Wpływ stanu termicznego powierzchni oceanu na modyfikacje cyrkulacji atmosferycznej w wymiarze klimatologicznym*, Materiały Konferencji, Gdynia 6 V 1999.
- Marsz A.A., 2001, *Długoterminowa prognoza warunków termicznych okresu zimowego w Polsce. Postęp badań zmian klimatu i ich znaczenie dla życia i gospodarczej działalności człowieka*, Wyd. WGSR UW, Warszawa
- Marsz A. A., 2005, *Prognoza występowania w okresie zimy typów cyrkulacji atmosferycznej Osuchowskiej-Klein związanych z ekstremalnym zlodzeniem Bałtyku*, [w:] *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne* (red. E Bogdanowicz, U. Kossowska-Cezak, J. Szkutnicki) PTGeof, IMGW, Warszawa
- Miętus M., 2005, *Ekstremalne zjawiska klimatyczne z perspektywy IPCC* [w:] *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne* (red. E Bogdanowicz, U. Kossowska-Cezak, J. Szkutnicki) PTGeof, IMGW, Warszawa
- Milankovich, 1930. *Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen*
- Milanković M., 1938, *Matematiczeskaja klimatologija i astronomiceskaja teoria kolebanij klimata*, ONTU, Moskwa
- Niedźwiedz T., 1994, *Charakterystyka synoptyczna klimatu* [w:] *Atlas Rzeczypospolitej Polskiej*, Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Warszawa
- Okołowicz W., 1947, *Rekonstrukcja klimatu i jego zmian na podstawie morfologii terenu*, „Przeгляд Geograficzny”, t. XXI, z. 1-2, s. 83-91
- Paszyński J., Niedźwiedz T., 1991, *Klimat*, [w:] Starkel L. (red.), *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*, PWN Warszawa.
- Petit J.R., Jouzel J., Raynaud D. i in., 1999, *Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core, Antarctica*, *Nature* 399, p. 429
- Rakipowa L. R., 1960, *O wozdziejstwie sołniecznoj aktiwnosci na obszczuju cirkulacju atmosfery*, *Astronom. sbornik*, III i IV
- Reznikov A. P., 1982, *Priedskazanije jestiestwiennych processow obuczajuszcziesjsja sistiemoj*, Nowosybirsk
- Rogers J. C., 1984, *A comparison of the mean winter pressure distribution in the extremes of the North Atlantic Oscillation and Southern Oscillation* [w:] H. Van Loon (red.), *Studies in Climate*, NCAR Technical Note, February 1984, Boulder, Colorado, s. 208-241

- Rojecki A., 1956, *O najdawniejszych obserwacjach meteorologicznych na ziemiach Polski*, „Przegląd Geofizyczny”, R. I, z. 3-4
- Rojecki A., 1968, *O obserwacjach meteorologicznych w Warszawie w wieku XVII-XIX*, „Przegląd Geofizyczny”, t. XIII, z. 1
- Stopa-Boryczka M. (ed.), 2003, *Studies on the Climate of Warsaw*, Warsaw University, Faculty of Geography and Regional Studies
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2009, *Wpływ czynników geograficznych na klimat Europy*, Prace i Studia Geograficzne, T. 41, ss. 191-208
- Trepińska J., 1973, *Zmiany w przebiegu temperatury powietrza w Krakowie w XIX i XX wieku*, Przegl. Geofiz., z. 1-2
- Trepińska J., 1988, *Wieloletni przebieg ciśnienia i temperatury powietrza w Krakowie na tle ich zmienności w Europie*, Rozprawy Habilitacyjne UJ, 140, Kraków
- Trepińska J., 2001, *Fluktuacje termiczne w Europie od małej epoki lodowej do końca XX wieku*, Prace i Studia Geograficzne, t. 29, Warszawa, s. 73-77
- Twardosz R., 2009, *Fale niezwyklej upałów w Europie na początku XXI wieku. Extraordinary heat waves In the beginning of the 21 st century in Europe*, Przegl. Geof., r. LIV, z. 3-4, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa
- Wolf R., 1869-72, *Handbuch der Mathematik, Physik, Geodesie und Astronomie*, t. 1-2
- Woś A., 2010, *Klimat Polski w drugiej połowie XX wieku*, Wyd. Nauk. UAM, ss. 489, Poznań
- Zmiany klimatu i ich przyczyny. Hipotezy i fakty*, pod red. M. Stopy-Boryczki, J. Boryczki, 2002, Materiały Zakładu Klimatologii WGiSR UW na VI Piknik Naukowy Radia BIS, WGiSR UW
- Żmudzka E., 2007, *Zmienność zachmurzenia nad Polską i jej uwarunkowania cyrkulacyjne (1951-2000)*, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa

**WYKAZ PRAC MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII
UNIwersYTETU WARSZAWSKIEGO, DOTYCZĄCYCH OKRESOWYCH
ZMIAN KLIMATU EUROPY I ICH PRZYCZYN**

1. Porowska A., 1992, *Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Warszawie i Pradze w latach 1779-1976* (opiekun naukowy: J. Boryczka)
2. Skrzypczuk J., 1993, *Wiekowe zmiany temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach 1659-1973* (opiekun naukowy: Jerzy Boryczka)
3. Kierzkowska M. 1994, *Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Alpach (XIX-XX wiek)* (opiekun naukowy: J. Boryczka)
4. Szarek A., 2001, *Zmiany temperatury powietrza na Helu w okresie 1851-1995* (opiekun naukowy: J. Wawer)
5. Bijak Sz., 2004, *Klimat Estonii* (opiekun naukowy: D. Martyn)
6. Kalecińska K., 2005, *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Warszawy w XVIII-XX wieku* (opiekun naukowy: J. Boryczka)*
7. Misiewicz A., 2005, *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Moskwy w XVIII-XX wieku* (opiekun naukowy: J. Boryczka)*
8. Leszczyńska E., 2006, *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX-XX wieku* (na przykładzie Wrocławia i Marsylii) (opiekun naukowy: Jerzy Boryczka)
9. Tomaszewski A., 2006, *Rola Oscylacji Północnoatlantyckiej w kształtowaniu opadów atmosferycznych we Wrocławiu w XX wieku* (opiekun naukowy: E. Żmudzka)
10. Gołdowska H., 2007, *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Polsce w XIX-XX wieku* (opiekun naukowy: J. Boryczka)
11. Baczyński K., 2007, *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Paryżu w XIX-XX wieku* (opiekun naukowy: J. Boryczka)
12. Łopacki M., 2008, *Wpływ aktywności Słońca na okresowe zmiany cyrkulacji atmosferycznej w Europie* (opiekun naukowy: J. Boryczka)
13. Maksymiuk G., 2009, *Długookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w XVIII-XX wieku* (opiekun naukowy: K. Grabowska)
14. Brakoniecka K., 2009, *Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX i XX wieku i ich przyczyny* (opiekun naukowy: J. Boryczka)
15. Pawłowski Ł., 2009, *Zmiany klimatu Szwecji według danych dendrologicznych* (opiekunowie naukowcy: Jerzy Boryczka, Maria Stopa-Boryczka)

* Prace licencjackie



atlas

WSPÓLZALEŻNOŚCI
PARAMETRÓW
METEOROLOGICZNYCH
I GEOGRAFICZNYCH
W POLSCE

**UNIWERSYTET WARSZAWSKI
WYDZIAŁ GEOGRAFII I STUDIÓW REGIONALNYCH**

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

**XXX. KLIMAT PÓŁNOCNO-WSCHODNEJ POLSKI WEDŁUG PODZIAŁU
FIZYCZNOGEOGRAFICZNEGO J. KONDRACKIEGO I J. OSTROWSKIEGO**

atlas

**WSPÓLZALEŻNOŚCI
PARAMETRÓW
METEOROLOGICZNYCH
I GEOGRAFICZNYCH
W POLSCE**

Warszawa 2013

SPIS TREŚCI

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 MAKRORE- GIONÓW 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 Iławskiego (314.53).....	78
3.5.	Klimat mezoregionów Pradoliny Toruńsko-Eberswalskiej (315.2).....	83
3.6.	Klimat mezoregionów Pojezierza Chełmińsko-Dobrzyńskiego (315.3).....	96
3.7.	Klimat mezoregionów Niziny Północnomazowieckiej (319.6).....	101
3.8.	Klimat mezoregionów Niziny Południopodlaskiej (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 tematycznych 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 War- szawie.....	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 EKSPERYMENTALNEJ KLIMATU LOKALNEGO NA PRZY- KŁADZIE TERENÓW MIEJSKICH, LEŚNYCH, JEZIORNICH I BAGIENNYCH 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 Białoleśce 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 Borec- kiej (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, Ma- ria Stopa, Gabriela Przybylska, Maria Nowacka, Jerzy Boryczka, Jolanta Sitek	222
5.5.	Klimat Kotliny Biebrzanskiej – Urszula Kossowska-Cezak, Krzysztof Olszewski, Gabryela Przybylska.....	240

VI.	Z BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH KLIMATU LOKALNEGO PÓŁNOCNO- WSCHODNIEJ POLSKI W ARCHIWALNYCH PRACACH MAGISTERSKICH ZA- KŁADU KLIMATOLOGII UW.....	276
6.1.	Pojezierze Litewskie.....	276
6.1.1.	Zależność wskaźników bioklimatycznych od ukształtowania terenu na Pojezierzu Suwalskim	276
6.1.2.	Próba wyznaczenia współczynnika turbulencyjnej wymiany ciepła w porze letniej na podstawie pomiarów temperatur ekstremalnych na Pojezierzu Suwalskim w latach 1964 i 1965	292
6.1.3.	Zróżnicowanie warunków termicznych i wilgotnościowych w wybranych typach siedlisk Puszczy Rominckiej	299
6.1.4.	Mikroklimat Doliny Czarnej Hańczy	309
6.2.	Pojezierze Mazurskie.....	320
6.2.1.	Wpływ zbiorników wodnych na warunki odczuwalne na przykładzie jeziora Śniar- dwy	320
6.2.2.	Kształtowanie się wilgotności bezwzględnej w zależności od wybranych elementów meteorologicznych i charakteru podłoża w miesiącach letnich 1962-1965 na przykła- dzie fragmentów Pojezierza Mazurskiego.....	329
6.2.3.	Zróżnicowanie klimatu lokalnego na Diablej Górze w Puszczy Boreckiej.....	340
6.2.4.	Zróżnicowanie klimatu lokalnego okolic jeziora Żabinki	351
6.2.5.	Klimat lokalny okolic Krukłanek	362
6.3.	Nizina Północnomazowiecka.....	326
6.3.1.	Zróżnicowanie klimatu lokalnego Narwiańskiego Parku Narodowego	326
6.3.2.	Wykorzystanie technik GIS w badaniach klimatu lokalnego na przykładzie Na- rwiańskiego Parku Narodowego	384
6.4.	Nizina Północnopodlaska.....	398
6.4.1.	Warunki termiczne i wilgotnościowe na pograniczu lasu i terenu otwartego w Nad- leśnictwie Browsk (Puszcza Białowiecka)	398
6.4.2.	Klimat lokalny Ciechanowca	408
VII	OCENA KLIMATU PÓŁNOCNO-WSCHODNIEJ CZĘŚCI POLSKI NA POTRZEBY CZŁOWIEKA.....	421
7.1.	Charakterystyka bioklimatu północno-wschodniej części Polski.....	421
7.2.	Charakterystyka bioklimatu woj. suwalskiego w cieplej porze roku.....	438
7.3.	Warunki odczuwalne w Mikołajkach w pięcioleciu 1986-1990.....	449
7.4.	Ocena warunków odczuwalnych dla potrzeb sportu i turystyki zimowej w woj. su- walskim	459
7.5.	Klimat jeziora Śniardwy dla potrzeb żeglarstwa.....	470
7.6.	Próba oceny warunków klimatycznych dla potrzeb rolnictwa w województwie bia- łostockim na przykładzie ziemniaka	486
VIII.	OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA BADAŃ KLIMATU PÓŁNOCNO-WSCHODNIEJ CZĘŚCI POLSKI W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII W LATACH 1952-2010 (PRZYKŁADY).....	497
IX.	OCENA KLIMATU NA POTRZEBY RÓŻNYCH DZIEDZIN GOSPODARKI NARO- DOWEJ.....	506
X.	PRÓBA OCENY KIERUNKÓW ROZWOJU GOSPODARCZEGO NIEKTÓRYCH MAKROREGIONÓW I MEZOREGIONÓW GEOGRAFICZNYCH NE POLSKI.....	511
XI.	ZAKOŃCZENIE.....	521
XII.	LITERATURA.....	547



atlas

WSPÓLZALEŻNOŚCI
PARAMETRÓW
METEOROLOGICZNYCH
I GEOGRAFICZNYCH
W POLSCE

**UNIWESYTET WARSZAWSKI
WYDZIAŁ GEOGRAFII I STUDIÓW REGIONALNYCH**

JERZY BORYCZKA, MARIA STOPA-BORYCZKA

**XXXI-XXXII. MODELE EMPIRYCZNE
PRZESTRZENNYCH I CZASOWYCH ZMIAN KLIMATU
EUROPY Z WYODRĘBNIENIEM POLSKI
(WAŻNIEJSZE WYNIKI BADAŃ)**

atlas

**WSPÓLZALEŻNOŚCI
PARAMETRÓW
METEOROLOGICZNYCH
I GEOGRAFICZNYCH
W POLSCE**

Warszawa 2014

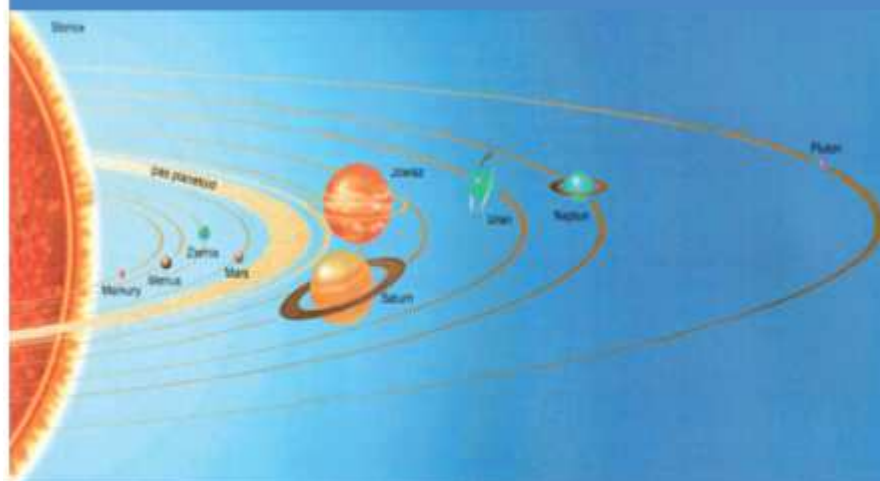
SPIS TREŚCI

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 φ, λ, 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 zterminowane 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 poznawczy 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 $\varphi = 52^{\circ}N$	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 (1961-1990)	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 $^{\circ}C/100km$	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
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 PRZYCZYN 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 Północnoatlantycznej (NAO), emisji pyłów wulkanicznych (DVI) i liczb Wolfa	216
VIII.	OCHEŁDZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU EUROPY W XIX-XXI WIEKU	235
8.1.	Wpływ aktywności Słońca na temperaturę powietrza w Europie	235
8.2.	Wpływ Oscylacji Północnoatlantycznej (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 Północnoatlantycznej (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 stojów drzew)	304
10.3.	Wpływ Oscylacji Północnoatlantycznej (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 Gościąż	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

JERZY BORYCZKA

ZMIANY KLIMATU ZIEMI



WARSZAWA 2015

SPIS TREŚCI

I.	WSTĘP	7
II.	ENERGIA SŁONECZNA W UKŁADZIE ZIEMIA – ATMOSFERA	9
2.1.	Słońce – główne źródło energii	9
2.2.	Promieniowanie krótkofalowe Słońca	10
2.3.	Absorpcja i rozpraszanie promieni słonecznych w atmosferze	14
2.4.	Napromieniowanie powierzchni nachylonych	16
2.5.	Absorpcja promieniowania słonecznego przez powierzchnie naturalne i sztuczne (albedo)	20
2.6.	Promieniowanie długofalowe Ziemi i atmosfery	22
2.7.	Bilans energii słonecznej w układzie Ziemia-atmosfera	25
2.8.	Cechy termiczne i dynamiczne atmosfery ziemskiej	26
III.	ASTRONOMICZNE I GEOLOGICZNE PRZYCZYNY ZMIAN KLIMATU	35
3.1.	Wyznaczenie parametrów Układu Słonecznego	35
3.2.	Okresowe zmiany parametrów Układu Słonecznego	39
3.3.	Planetarne siły pływowe na Słońcu	43
3.4.	Księżycowe, słoneczne i planetarne siły pływowe na Ziemi	45
3.5.	Wpływ sił pływowych na atmosferę Ziemi	48
3.6.	Cykliczne zmiany aktywności Słońca	50
3.7.	Zmiany okresowe stałej słonecznej	65
3.8.	Absorpcja i rozpraszanie promieniowania słonecznego przez pył wulkaniczny	71
IV.	HISTORIA KLIMATU ZIEMI W CZASIE GEOLOGICZNYM	79
4.1.	Powstawanie układu Ziemia-atmosfera	79
4.2.	Kataklyzm na Ziemi – 2,9 miliardów lat temu, dramatyczne zbliżenie Księżyca do Ziemi	80
4.3.	Metody izotopowe datowania osadów, skał i rdzeni lodowych	81
4.4.	Paleotemperatura – miara ochłodzeń i ociepleń klimatu Ziemi	83
4.5.	Archaiczna epoka lodowa, „zimy kosmiczne” – dryf kontynentów	86
4.6.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu w czwartorzędzie a parametry orbity Ziemi	91
4.7.	Tendencje zmian parametrów orbity Ziemi a promieniowanie krótkofalowe	96
4.8.	Holocenijskie cykle klimatu a parametry Układu Słonecznego	99
4.9.	Rekonstrukcja (od -1 000 000 BP) i prognoza (do 1 000 000 AD) zmian klimatu Ziemi według promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^{\circ}\text{N}$	104
4.10.	Wpływ koncentracji masy planet Układu Słonecznego na aktywność Słońca i erupcje wulkanów – na klimat Ziemi	110

V	ZMIANY KLIMATU ZIEMI W OSTATNICH STULECIACH	121
5.1.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy	121
5.2.	Postępujące ocieplenie globalne, podnoszenie się poziomu Morza Bałtyckiego i prognozy zmian w XXI wieku	122
5.3.	Metoda „sinusoid regresji” J. Boryczki wyznaczania okresów zmiennych przyrodniczych , interferencja cykli, modulacja	129
5.4.	Oceny realności okresów i tendencji zmiennych klimatycznych a liczby losowe	159
VI	CYKLICZNOŚĆ, TENDENCJE I PROGNOZY ZMIAN NATURALNYCH KLIMATU EUROPY W XXI WIEKU	165
6.1.	Zależność temperaturę powietrza w Europie od Oscylacji Północnoatlantycznej (NAO)	161
6.2.	Synchroniczność krótkich cykli 4, 8, 11 lat: temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, rocznych przyrostów drzew, aktywności Słońca i parametrów Układu Słonecznego	167
6.3.	100-letni i 178,9-letni planetarny cykl aktywności Słońca, temperatury powietrza i rocznych przyrostów drzew	175
6.4.	Tendencje naturalnych zmian klimatu, aktywności Słońca (stałej słonecznej) i erupcji wulkanów	184
6.5.	Prognozy naturalnych zmian klimatu Europy w XXI wieku	191
6.6.	Prognozy zmian klimatu Europy w XXI wieku według danych dendrologicznych	202
6.7.	Wpływ aktywności Słońca (obserwowanej z Ziemi) na cykl roczny temperatury powietrza	209
6.8.	Prognozy antropogenicznych zmian klimatu w XXI wieku	221
6.9.	Naturalny i antropogeniczny efekt cieplarniany	225
VII	WERYFIKACJA PROGNOZ ZMIAN KLIMATU ZIEMI	231
7.1.	Weryfikacja prognoz okresowych zmian temperatury powietrza w Warszawie (1779-2010)	232
7.2.	Weryfikacja prognoz okresowych zmian opadów atmosferycznych w Polsce w latach 1813-2010	246
7.3.	Weryfikacja prognoz zmian klimatu półkuli północnej według zmian orbity Ziemi	252
VIII	ZAKOŃCZENIE	259
	Załączniki	263
	Literatura	269
	Summary	275

ZAŁĄCZNIK 1. SPIS PUBLIKACJI (1960-2015)

Maria Stopa-Boryczka

1. Stopa M., 1960, *Liczba dni z burzą w Polsce*, Prz. Geogr., t. XXXII, z. 3, s. 329-333.
2. Stopa M., 1962, *Burze w Polsce*, Prace Geogr. IG PAN nr 34, s. 109-185.
3. Stopa M., 1964, *Burze w Polsce*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 1, s. 128-129.
4. Okołowicz W., Stopa M., 1964, *Wyniki badań terenowych na Pojezierzu Mazurskim w lipcu i sierpniu 1961 roku*. Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 1, s. 104-119
5. Stopa M., 1964, *Wyniki pomiarów zanieczyszczenia atmosfery w Warszawie w styczniu i lutym 1962*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 1, s. 60-69.
6. Stopa M., 1964, *Przebieg dobowy występowania burz w Polsce*, Prz. Geogr., t. XXXIV, z. 1, s. 103-118.
7. Stopa M., 1964, *Warunki meteorologiczne sprzyjające powstawaniu burz w różnych masach powietrza*, Prz. Geof., R. IX, (XVII), z. 1, s. 67-75.
8. Stopa M., 1964, *Czas trwania burz w różnych masach powietrza*, Prz. Geof., R. IX, (XVII), z. 3-4, s. 287-290.
9. Stopa M., 1965, *Rejony burzowe w Polsce*, Dok. Geogr. IG PAN, z. 1, ss. 96.
10. Stopa M., 1965, *Podział Polski na regiony burzowe*, Prz. Geogr., t. XXXVII, z. 4, s. 659-668.
11. Stopa M., 1966, *Thunderstorms in Poland*, The Scientific Publications Foreign Cooperation Centre of the Central Institute for Scientific, Technical and Economic Information, s. 98-172.
12. Stopa M., 1966, *Diurnal course of storm occurrence in Poland*, The Scientific Publications Foreign Cooperation Centre of the Central Institute for Scientific, Technical and Economic Information. ss. 17.
13. Stopa M., 1966, *Meteorological conditions favouring formation of thunderstorms in different air masses*, The Scientific Publications Foreign Cooperation Centre of the Central Institute for Scientific, Technical and Economic Information, ss. 8.
14. Stopa M., 1966, *Prawdopodobieństwo występowania burz w wybranych regionach geograficznych*. Prz. Geof., R. XI (XIX), z. 1, s. 45-55.
15. Stopa M., 1966, *Storms occurrence probability over some geographic regions of Poland*, The Scientific Publications Foreign Cooperation Centre of the Central Institute for Scientific, Technical and Economic Information, ss. 11.
16. Stopa M., 1967, *Storm regions in Poland*, Geographia Polonica, nr 11, s. 39-47.
17. Stopa M., Przybylska G., 1967, *Wpływ jezior i rzeźby terenu na kształtowanie się stosunków termiczno-wilgotnościowych podczas upalnego lata 1963*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 2, s. 62-107.
18. Stopa M., Kossowska U., 1967, *Różnice wskazań temperatury na psychrometrze Augusta i Assmanna*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 3, s. 51-67.
19. Stopa M., 1967, *Częstość występowania burz w okolicy Wielkich Jezior Mazurskich*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 2, s. 138-144.
20. Stopa M., 1967, *Powtarzalność liczby burz w ciągu doby na terenie Polski*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 3, s. 128-134.
21. Stopa M., 1968, Przybylska G., Boryczka J., *Ćwiczenia z klimatologii*, Wyd. UW, Warszawa, ss. 181
22. Stopa M., 1968, *Temperatura powietrza w Polsce*, Dok. Geogr. IG PAN, z. 1, ss. 213.
23. Okołowicz W., Stopa-Boryczka M., Przybylska G., Nowacka M., 1970, *Charakterystyka klimatu Krainy Wielkich Jezior Mazurskich z punktu widzenia czasów i turystyki*. Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 4, s. 4-50
24. Okołowicz W., Stopa-Boryczka M., Przybylska G., Boryczka J., 1970, *Wpływ ukształtowania powierzchni i warunków meteorologicznych na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń (na przykładzie Kudowy)*. Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 4, s. 133-148.

25. Okołowicz W., Kaczorowska Z., Stopa-Boryczka M., Przybylska G., Martyn D., Nowacka M., 1970, *Cechy charakterystyczne klimatu zachodniej części Pojezierza Mazurskiego, ze szczególnym uwzględnieniem sezonu letniego*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 5, s. 4-42
26. Stopa-Boryczka M., 1970, *Prawdopodobieństwo występowania określonych wartości temperatur ekstremalnych oraz amplitud dobowych w różnych masach powietrza*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 4, s. 177-205.
27. Stopa-Boryczka M., 1970, *Okresy burzowe w Polsce*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 4, s. 163-169.
28. Stopa-Boryczka M., Czechowicz B., Kossowska U., Ostaszewska E., 1973, *Charakterystyka i ocena środowiska przyrodniczego i jego zmian na obszarze zurbanizowanym WZM pod względem warunków zdrowotnych*, Prace i Materiały Techniczno-Ekonomicznej Rady Naukowej przy Prezisie Stołecznej Rady Narodowej, Sekcja 4, nr 55, Warszawa, ss. 146.
29. Stopa-Boryczka M., 1973, *Mapy dotyczące burz w Polsce: średnia liczba dni z burzą, średnie daty występowania najwcześniejszych burz, średni okres potencjalny występowania burz*, [w:] *Narodowy Atlas Polski*, Warszawa.
30. Stopa-Boryczka M., 1973, *Cechy termiczne klimatu Polski*, Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego, nr 72, Wyd. UW, Warszawa, ss. 348.
31. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1974, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. I, *Związki korelacyjne między elementami meteorologicznymi i czynnikami geograficznymi w Polsce* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 276.
32. Stopa-Boryczka M., 1975, *Geographical gradients of air temperature in Poland*, *Geographia Polonica*, nr 31, s. 189-211.
33. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1976, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. II, *Zależność elementów meteorologicznych od czynników geograficznych w Polsce* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 451.
34. Stopa-Boryczka M., 1976, *Cechy termiczne klimatu Polski*, *Dok. Geogr. IG PAN*, z. 1, s. 64-67.
35. Stopa-Boryczka M., 1976, *Cechy termiczne klimatu Polski*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 8, s. 57-112.
36. Stopa-Boryczka M., 1976, *Związki korelacyjne między składowymi obiegu wody na obszarze Polski*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 8, s. 5-18.
37. Stopa-Boryczka M., 1976, *Klimatologia w służbie gospodarki narodowej, trzydziestolecie PRL w Uniwersytecie Warszawskim*, s. 209-213.
38. Stopa-Boryczka M., 1977, *Zależność temperatury powietrza od współrzędnych geograficznych*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 9, s. 39-72.
39. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1977, *Zależność parametrów meteorologicznych od wysokości nad poziomem morza w Polsce*, *Prz. Geof.*, t. XXII, z. 2, 1977, s. 121-130.
40. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1978, *Zależność parametrów meteorologicznych od temperatury powietrza w Polsce*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 11, s. 147-175.
41. Stopa-Boryczka M., 1978, *Jubileusz prof. dr Wincentego Okołowicza*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 10, s. 5-17.
42. Stopa-Boryczka M., 1978, *Badania naukowe Zakładu Klimatologii Instytutu Geografii Uniwersytetu Warszawskiego w okresie 25 lat (1951-1975)*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia z. 10, s. 19-53.
43. Stopa-Boryczka M., 1978, *Badania klimatu lokalnego*, [w:] *Poradnik do badań środowiska geograficznego (dla nauczycieli)*, Ciechanów, s.125-157.
44. Stopa-Boryczka M., 1978, *Działalność naukowa i dydaktyczna doc. dr hab. Zofii Kaczorowskiej*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z.11, s. 5-9.
45. Boryczka J., Stopa-Boryczka J., 1980, *The influence of activity of the Sun on air temperature and precipitation on Mountain*, X Międzynarodowa Konferencja Karpacka, Kraków.
46. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1980, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. III, *Geograficzne gradienty parametrów wilgotności powietrza w Polsce* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 322.

47. Stopa-Boryczka M., *Wincenty Okołowicz (1906-1979)*.1980, Prz. Geogr., t. LII, z. 2, s. 439-443.
48. Stopa-Boryczka M., *Wincenty Okołowicz (w rocznicę śmierci)*. 1980, Prz. Geof., R. XXV, z.2, s. 439-443.
49. Stopa-Boryczka M., Kopacz M., Ryczywolska E., Boryczka J., Górka A., 1981, *Ocena klimatu lokalnego do projektu zespołu osiedli mieszkaniowych w Białoleśce Dworskiej w Warszawie*. Człowiek i Środowisko, t. 6, nr 3-4, s. 335-349.
50. Boryczka J., Stopa-Boryczka, Styś K., 1984, *Aproksymacja pola opadów atmosferycznych w Polsce*, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 288, s. 201-214.
51. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1984, *Centennial air temperature fluctuation in Warsaw*, 25th International Geographical Congress, Abstracts of Papers, t. I, Paris-Alpes.
52. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1984, *The multiperiodical changes of air temperature in Warsaw*, Miscellanea Geographica, vol.1, Wyd. UW, s. 87-96.
53. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Kossowską-Cezak, U., Ryczywolska E., Wawer J., 1984, *Badania wpływu zabudowy na klimat lokalny w Warszawie*, [w:] Materiały I Ogólnopolskiej Konferencji nt. Klimat i Bioklimat miast. Wyd. UE, Łódź, 22-24 X 1984 r., s. 29-35.
54. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., 1984, *Aproksymacja pola temperatury powietrza w Polsce*. Materiały sympozjum naukowego *Udział nauki polskiej w światowym programie klimatycznym*, Skierniewice, V 1984 r., streszczenia referatów, s. 13-15.
55. Stopa-Boryczka M., Martyn D., 1985, *Klimat (województwa suwalskiego)*, [w:] Województwo Suwalskie. Studia i Materiały, t. 1, Ośrodek Badań Naukowych w Białymstoku, IGIPIZ PAN w Warszawie, Białystok, s. 81-118.
56. Boryczka J., Stopa-Boryczka, M.,1986, *Matematyczny model klimatu Polski*, I Sesja Naukowa INFG UW, Warszawa s. 117-130.
57. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1986, *A mathematical model of Poland's climate*. Miscellanea Geographica, vol. 2, s. 55-69.
58. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Kossowską-Cezak U., Mierzwiński B., Wawer J.,1986, *Deformacja pól elementów meteorologicznych pod wpływem zabudowy*. [w:] Materiały I Sesji Naukowej INFG, Warszawa, s. 137-142.
59. Stopa-Boryczka M., Kopacz M., Kossowską-Cezak, U., Mierzwiński B. Wawer J.,1986, *Deformation of fields of meteorological elements under the influence of buildings*. Miscellanea Geographica, vol. 2, s. 91-102.
60. Stopa-Boryczka M., Martyn D., Boryczka J., Wawer J., Ryczywolska E., Kopacz-Lembowicz, M., Kossowską-Cezak U., Lenart W., Danielak D., Styś K., 1986, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. IV, *Klimat północno-wschodniej Polski* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 511.
61. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Boryczka J., 1986, *Wlijanije goroda na pole mieteorologiczieskich pieremiennych*. CEB-III-RWPG, Jabłonna 24-25 września, ss. 11.
62. Boryczka J., Stopa-Boryczka M.,1988, *Deformation of the field of air temperature due the relief of Poland*, Miscellanea Geographica, Wyd. UW, Warszawa, s. 113-125.
63. Stopa-Boryczka M., 1988, *Air temperature field deformation under the influence of built-up area in Warsaw*, Miscellanea Geographica, t. 3, s. 133-144.
64. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1989, *Wpływ czynników antropogennych na klimat lokalny Warszawy*, Acta Universitatis Carolinae 1989, Geographica, No 2, Praha, s. 49-66.
65. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E., 1989, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. V, *Z badań klimatu Polski* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 284.
66. *Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1989, The multiperiodical changes of air temperature and precipitation in Poland*, Materiały Konferencji Klimatycznej, Brno, maj 1989, November 6-11 1989, Book of abstracts, Kyoto 1989.
67. Stopa-Boryczka M., 1989, *Podwójny Jubileusz Profesora Jerzego Kondrackiego*, Prace i Studia Geogr., t. 24, s. 7-11.

68. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1990, *Deformacja pola temperatury powietrza w Warszawie pod wpływem czynników antropogenicznych*, *Problemy współczesnej klimatologii*, Conference Papers 4, Sympozjum Ogólnopolskie, Stare Pole k/Malborka, 7-9 października 1988, s. 131-146.
69. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E., 1990, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. VI, *Wpływ Oceanu Atlantyckiego i rzeźby terenu na klimat Polski* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 334.
70. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Boryczka J., 1990, *Influence of the city of fields of meteorological variable*, Urban Ecological Studies in Central and Eastern Europe, Proceedings of the International Symposium Warszawa-Jabłonna, 24-25 September, Wrocław.
71. Stopa-Boryczka M., Kopacz M., Boryczka J., 1990, *Influence of the city on field of meteorological variable*, [w:] Urban Ecological Studies, Ossolineum, Wrocław, s. 26-35.
72. Stopa-Boryczka M., 1990, *The climate of Poland against a background of climates of the Northern Hemisphere*. *Miscellanea Geographica*, vol. 4, s. 79-88.
73. Stopa-Boryczka M., Kopacz M., Mierzwiński B., Wawer J., 1991, *Zależność pola temperatury powietrza od charakteru zabudowy*. *Acta Universitatis Wratislaviensis*, nr 1213, Prace Instytutu Geograficznego, Seria A, t. V.
74. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1991, *Mapy gradientów temperatury i opadów w Polsce*, *Acta Universitatis Wratislaviensis*, No 1213, Prace Instytutu Geograficznego, seria A, t. V, Wrocław, s. 180.
75. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Błażek E., Kicińska B., Żmudzka E., 1992, *Antropogeniczne zmiany temperatury powietrza w Warszawie – pozytywne i negatywne skutki*, II Ogólnopolska Konferencja Klimat i bioklimat miast, Łódź 9-11 XII 1992 r., s. 169-179.
76. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E., 1992, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. VII, *Zmiany wiekowe klimatu Polski* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 438.
77. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1992, *Wpływ Oceanu Atlantyckiego i Morza Bałtyckiego na klimat Polski, Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią*, t. XLIV, seria A, *Geografia Fizyczna*, Wyd. UP s. 153-158.
78. Stopa-Boryczka M., 1992, *Z badań klimatu Warszawy Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego*, *Prace i Studia Geogr.*, t. 11, s. 21-38.
79. Stopa-Boryczka M., 1992, *Deformacja pól zmiennych meteorologicznych przez zabudowę w Warszawie*. *Prace i Studia Geogr.*, t. 11, s. 39-73.
80. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Boryczka J., 1992, *Positive and negative effects of the city heat island in Warsaw*, [w:] II European Meeting of the INTECOL and UNESCO – Program 11 Man and Biosphere International Network for Urban Ecology, Warsaw-Mądralin, 15-17 December 1992, ss. 20
81. Stopa-Boryczka M., 1992, *Climate in Poland*, Film Production Guide General Information, Poland, s. 42-47.
82. Stopa-Boryczka M., Nguyen Van Than, 1992, *Dependence of climate upon geographical factors in Poland and in Vietnam*, *Miscellanea Geographica*, t. 5, Wyd. UW, s. 45-51
83. Stopa-Boryczka M., 1993, *Cechy termiczne klimatu Polski na tle Europy*, Sympozjum w Uniwersytecie Mikołaja Kopernika nt. *Działalność naukowa Profesora Władysława Gorczyńskiego i jej kontynuacja*, Toruń, 16-17 września.
84. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1994, *Deformacja pól temperatury i opadów w Polsce pod wpływem rzeźby terenu*, IX Seminarium Polsko-Czeskie, Warszawa, s. 95-119.
85. Stopa-Boryczka M., Kopacz M., Błażek E., Kicińska B., Żmudzka E., 1994, *The heat island in Warsaw and effects*. *Miscellanea Geographica*, vol. 6, s. 93-102
86. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Boryczka J., 1994, *Positive and negative effects of the urban heat island in Warsaw*, *Memorabilia Zoologica*, t. 49, Proceedings of the II European Meeting of the International Network for Urban Ecology, Wyd. PAN, s. 68-80

87. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wągrowaska M., Śmiałkowski J. 1994, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. VIII, *Cechy oceaniczne klimatu Europy* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 405
88. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1994, *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Kotliny Warszawskiej*, [w:] Materiały Zjazdu PTG w Lublinie, 1-4 września.
89. Stopa-Boryczka M., 1994, *Studium porównawcze klimatu Polski, Iraku i Wietnamu*. Wyniki badań prezentowanych na Konferencji Klimatologicznej w Radzikowie koło Warszawy, 7-8 listopada, Wyd. PAN.
90. Stopa-Boryczka M., 1994, *Wspomnienia pośmiertne – Zofia Kaczorowska (1902-1993)*. Prz. Geof., z. 1, s. 83-86.
91. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Błażek E., Skrzypczuk J., 1995, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. IX, *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW Warszawa, ss. 320
92. Stopa-Boryczka M., Kopacz M., Błażek E., Kicińska B., Żmudzka E., 1995, *Antropogeniczne zmiany temperatury powietrza w Warszawie: Pozytywne i negatywne skutki*. [W:] Klimat i bioklimat miast, red. K. Kłysik, Łódź, Wyd. UE, s. 169-179
93. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1996, *Modeli odczytujących przyrodnicze i antropogeniczne zmiany klimatu*, [w:] Prirodnicze rezerwy: racjonalne wykorzystanie i ochrona, Wyd. MGU, Moskwa, s. 101-116
94. Stopa-Boryczka M., 1996, *Thermal characteristics of the climate of Europe*. Miscellanea Geographica, t. 7, s. 55-64.
95. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1996, *Tendencje zmian klimatu Polski*. [w:] Materiały 45 Zjazdu PTG, Słupsk-Ustka, 18-21 września, s. 183-185.
96. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1997, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. X, pt. *Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 220
97. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1997, *Natural and anthropogenic changes of climate in Europe*, Acta Universitatis Carolinae, Geographica, XXXII, Praha
98. Stopa-Boryczka M., 1997, *Wkład Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego w badania klimatu Polski*, Prace i Studia Geogr., t. 20, s. 13-35.
99. Stopa-Boryczka M., 1997, *Empiryczne modele zmienności Klimatu Polski*, Prace i Studia Geogr., t. 20, s. 37-78.
100. Stopa-Boryczka M., 1997, *Nowe metody badań cech termicznych klimatu miast Polski*. [w:] Materiały 46 Zjazdu PTG, 18-21 września, Rynia nad Zalewem Zegrzyńskim, s. 151-152.
101. Stopa-Boryczka M., Wesołowska K., 1997, *Warunki synoptyczne sprzyjające powstawaniu burz w Polsce*, [w:] Materiały 46 Zjazdu PTG, 18-21 września, Rynia nad Zalewem Zegrzyńskim, s. 174
102. Stopa-Boryczka M., Śmietanka M., 1997, *Próba określenia wpływu warunków meteorologicznych na zanieczyszczenie powietrza w Warszawie*, [w:] Materiały 46 Zjazdu PTG, 18-21 września, Rynia nad Zalewem Zegrzyńskim, ss. 173
103. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1998, *Współczesne zmiany klimatu i ich uwarunkowania*, [w:] Materiały 47 Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Sosnowiec 23-26 września 1998, Wyd. Nauk o Ziemi US
104. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1998, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XI, *Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie*, (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 258.
105. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1998, *Cechy kontynentalne klimatu Polski Południowo-Wschodniej*, [w:] *Problemy współczesnej klimatologii i agrometeorologii regionu lubelskiego*, Wyd. UMCS, Lublin s. 111-114.
106. Stopa-Boryczka M., 1998, *Z badań naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu Polski*. Prace i Studia Geogr., t. 22, s. 155-168.
107. Stopa-Boryczka M., 1998, *On thermal characteristic analysis of city climates*, Miscellanea Geographica, t. 8, Warszawa, s. 123-128.

108. Stopa-Boryczka M., 1998, *Znaczenie prac Prof. Romualda Gumińskiego dla klimatologii polskiej i ich kontynuacja w Zakładzie Klimatologii*, Prace i Studia Geogr., t. 22, s. 27-35.
109. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wągrowa M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1999, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XII, *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu miast w Europie* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 255
110. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1999, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XIII, *Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie*, (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss.283.
111. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Lorenc H., Kicińska B., Błażek E., Skrzypczuk J., 2000, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XIV, *Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa ss. 300
112. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2000, *Zmiany klimatu Polski w XVIII-XXI wieku*, Acta Universitatis Nicolai, Geografia XXXI – Nauki Matematyczno-Przyrodnicze, z. 106, Toruń 2000, s. 55-79
113. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2000, *The warmings and coolings of the climate of Warsaw during the last centuries and their conditioning*, Miscellanea Geographica, z. 9, Wyd. UW, s. 39-51
114. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2001, *Kalendarz ważniejszych wydarzeń w Zakładzie Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego (1951-2000)*, Prace i Studia Geogr., t. 28, Wyd. UW, s. 313-328.
115. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Błażek E., Skrzypczuk J., 2001, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XV, *Prognozy zmian klimatu miast Europy* (red. M. Stopa-Boryczka, Jerzy Boryczka), Wyd. UW, ss. 249.
116. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2001, *Czynniki kształtujące klimat Ziemi*. Encyklopedia Multimedialna PWN
117. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2001, *Klimat Polski w pracach Andrzeja Ewerta – pierwszego doktoranta seminarium doktorskiego Zakładu Klimatologii*. Prace i Studia Geogr., t. 28, s. 193-198, Wyd. UW, Warszawa
118. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kirschenstein M., 2001, *Wspomnienia pośmiertne, Andrzej Ewert (1938-2001)*. Prz. Geof., z.3.
119. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2001, *50 lat działalności naukowej i dydaktycznej Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego (1951-2001)*, [w:] Prace i Studia Geogr., Wyd. UW, t. 29, s. 13-28.
120. Stopa-Boryczka M., 2001, *Udział studentów w badaniach naukowych Zakładu Klimatologii*, [w:] Prace i Studia Geogr., t. 28, s. 273-282., Wyd. UW, Warszawa
121. Stopa-Boryczka M., 2001, *Kierunki i ważniejsze wyniki badań naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu Polski*, [w:] Prace i Studia Geogr., t. 28, s. 113-136, Wyd. UW, Warszawa
122. Stopa-Boryczka M. Boryczka J., 2001, *Wiekowe zmiany temperatury powietrza i opadów w Warszawie*, [w:] red.: Cz, Koźmiński, *Atlas klimatycznego ryzyka upraw roślin w Polsce*, Wyd. Akademii Rolniczej w Szczecinie, Szczecin, (plansza 28)
123. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2001, *Przewidywane średnie sezonowe i roczne zmiany temperatury powietrza na wybranych stacjach*, [w:] red. Cz, Koźmiński, *Atlas klimatycznego ryzyka upraw roślin w Polsce*, Wyd. Akademii Rolniczej w Szczecinie, Szczecin, (plansza 28)
124. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Wawer J., 2001, *Klimat Warszawy w pracach Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego*, [w:] Prace Geogr., nr 180, *Badania środowiska fizycznogeograficznego aglomeracji warszawskiej*. Wyd. IGPZ PAN, Warszawa, s. 57-69.
125. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2001, *The forecast of climate in Warsaw*, Geografija. Obszczestwo, Okružajuszczaja Średa: Razwítie Geografii w Stranach Cíentralnoj i Wostocznoj Ewropy, Międzunarodnaja Naucznaja Konfieriencja, Kaliningrad/Swíetogorsk,

- Rosija, 4-7 iunja 2001 goda., Tiezisy dokładow, cz I, Izdatielstwo Kaliningradskogo Gosudarstwiennogo Uniwersitieta, s. 166.
126. Stopa-Boryczka M., 2001, *Przedmowa*. Prace i Studia Geogr., t. 28, s. 9-16.
 127. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Grabowska K., Błażek E., Skrzypczuk J., 2002, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XVI, *Prognozy zmian klimatu Polski* (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 212.
 128. Boryczka J., Stopa-Boryczka M, Lorenc H., Kicińska B., Błażek E., Skrzypczuk J., 2002, *Dokumentacja historyczna prowadzonych pomiarów temperatury powietrza w Warszawie od 1779 roku*, [w:] *Zmiany klimatu i ich przyczyny. Hipotezy i fakty*. Materiały Zakładu Klimatologii WGSR UW z VI Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS, 8 VI 2002, Warszawa.
 129. Boryczka J., Stopa-Boryczka M, Baranowski D., Błażek E., Skrzypczuk J., 2002, *Pole temperatury powietrza w Europie a typy cyrkulacji atmosferycznej*, [w:] *Zmiany klimatu i ich przyczyny. Hipotezy i fakty*, Materiały Zakładu Klimatologii WGSR UW z VI Pikniku Naukowego
 130. Richling A., Stopa-Boryczka M., 2002, *The study of the natural environment and the socio-economic relations of the surroundings of Pińczów (1959-2000)*. Miscellanea Geographica, t. 10
 131. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Wawer J., 2002, *The climate of Warsaw according to research done by University of Warsaw Department of Climatology* , vol. 10
 132. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2002, *The 50 years of research and teaching activity of the Department of Climatology at the University of Warsaw*. Miscellanea Geographica, vol. 10, s. 89-102
 133. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2002, *50 lat działalności naukowej i dydaktycznej Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego*, [w:] *Zmiany klimatu i ich przyczyny. Hipotezy i fakty*. Materiały Zakładu Klimatologii WGSR UW z VI Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS, 8 VI 2002, Warszawa
 134. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Wawer J., 2002, *Klimat Warszawy w pracach Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego*, [w:] *Zmiany klimatu i ich przyczyny. Hipotezy i fakty*, Materiały Zakładu Klimatologii WGSR UW z VI Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS, 8 VI 2002, Warszawa
 135. Stopa-Boryczka M., J. Boryczka, 2002 (red.), *Zmiany klimatu i ich przyczyny. Hipotezy i fakty*. Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego z VI Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS, pod hasłem *Co nauka daje sztuce ?*, 8 VI 2002, Warszawa, ss. 73.
 136. Stopa-Boryczka M., 2002, *Ekstremalne zjawiska atmosferyczne i ich negatywne skutki w pracach Romualda Gumińskiego*, [w:] *Zmiany klimatu i ich przyczyny. Hipotezy i fakty*. Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych UW z VI Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS, 8 VI 2002, Warszawa.
 137. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2003, *Cykliczne wahania temperatury i opadów w Polsce w XIX-XXI wieku*. Materiały Konferencji, Kraków, czerwiec 2003 r.
 138. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Kirschenstein M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2003, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*. t. XVII, *Mroźne zimy i upalne lata w Polsce* (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 297.
 139. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2003, *The cyclic changes of the climate of Warsaw and their conditioning*, [w:] M. Stopa-Boryczka (red.) *Studies on the climate of Warsaw*, Wyd. WGSR UW, Warszawa, s. 35-50.
 140. Stopa-Boryczka M. (red.), 2003, *Studies on the climate of Warsaw*, Wyd. WGSR UW, Warszawa, ss. 208.
 141. Stopa-Boryczka M., 2003, *Studies on the climate of Warsaw in the second half of the 20th century*, [w:] M. Stopa-Boryczka (red.), *Studies on the climate of Warsaw*, Wyd. WGSR UW, Warszawa.

142. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2003, *Cykliczne zmiany klimatu Warszawy i ich uwarunkowania*, [w:] *Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych*. Prace Geogr., nr 188, IGiPZ PAN
143. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2003, *The influence of the man-made factors on the local climate of Warsaw*, [w:] *Studies on the climate of Warsaw* (Stopa-Boryczka M., red.), Wyd. WGRS UW, Warszawa, s. 95-110.
144. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Wawer J., 2003, *The findings of the research on the climate of Warsaw conducted at the Department of Climatology of Warsaw University*, [w:] M. Stopa-Boryczka (red.), *Studies on the climate of Warsaw*. Wyd. WGRS UW, Warszawa
145. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2004, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XVIII, *Groźne zjawiska pogodowe w Polsce* (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 217.
146. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2004, *Climate of the Europe – Past, Present, Future*, *Miscellanea Geographica* vol. 11, s. 101-118
147. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2004, *Cykliczne wahania temperatury i opadów w Polsce w XIX-XXI wieku*, *Acta Agrophysica*, PAN, vol. 3 (1).
148. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wawer J., 2004, *The influence of the North Atlantic Oscillations (NAO) on the climate of Warsaw and Lviv*, *Proceedings Conference Landscape Science – Traditions and Trends* September 8-12, Ivan Franko National University of Lviv, Lviv.
149. Stopa-Boryczka M., Boryczka J. (red.), 2004, *Klimat Europy. Przeszłość – teraźniejszość – przyszłość*. Materiały Zakładu Klimatologii WGRS UW z VIII Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS, pod hasłem *Nauka bez granic*, 22 V 2004, Warszawa, ss. 77.
150. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2004, *Przeszłość i teraźniejszość klimatu Polski*. [w:] *Klimat Europy – Przeszłość – Teraźniejszość – Przyszłość*, Materiały Zakładu Klimatologii WGRS UW z VIII Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS, 22.05.2004, Warszawa.
151. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Pietras K., Bijak S., Błażek E., Skrzypczuk J., 2005, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XIX, *Cechy termiczne klimatu Europy* (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 184
152. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2005, *Klimat*, [w:] red.: A. Richling A., K. Ostaszewska, *Geografia fizyczna Polski*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, s. 84-127
153. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2005, *Zmiany klimatu Polski w XIX-XXI wieku ze szczególnym uwzględnieniem Wyżyny Małopolskiej*, [w:] *Środowisko przyrodnicze jako przedmiot badań interdyscyplinarnych: teoria i praktyka* (Strzyż M., Świercz A., red.), Wyd. Instytut Geografii Akademii Świętokrzyskiej, Kielce, s. 33-34
154. Boryczka J., Stopa-Boryczka J., 2006, *Cyclic Temperature and Precipitation Fluctuations in Poland in the 19th-21st Centuries*, *Miscellanea Geographica*, vol. 12, s. 43-53.
155. Boryczka J., Mucha B., Stopa-Boryczka M., Wawer J., 2006, *The influence of the North Atlantic Oscillations (NAO) on the climate of Warsaw and Lviv*, *Miscellanea Geographica*, vol. 12, pp. 75-80.
156. Boryczka J., Stopa-Boryczka J., Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2006, *Cykliczne wahania temperatury i opadów w Polsce w XIX-XXI wieku*, [w:] *Prognozy pogody w przysłowiach i ich sprawdzalność w Polsce*. Materiały Zakładu Klimatologii WGRS UW z X Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS, 3 VI 2006, Wyd. UW, Warszawa.
157. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2006, *Zmiany klimatu Polski ze szczególnym uwzględnieniem Wyżyny Małopolskiej*, *Regionalne Studia Ekologiczno-Krajobrazowe. Problemy Ekologii Krajobrazu*, t. 16/1, Warszawa, s. 297-305.
158. Stopa-Boryczka M., Boryczka J. (red.), 2006, *Prognozy pogody w przysłowiach i ich sprawdzalność w Polsce*, [w:] Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego z X Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS pod hasłem *Świat za 10 lat*, 3 VI 2006, Wyd. UW, Warszawa, ss. 85.

159. Boryczka J., Stopa-Boryczka J., 2007, *Okresowe wahania temperatury powietrza w Europie w XIX-XXI wieku i ich przyczyny*, [w:] *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*. (red. K. Piotrowicz, R. Twardosz), Kraków, s. 163-173.
160. Boryczka J., Stopa-Boryczka J., 2007, *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w XVIII-XXI wieku i ich przyczyny*. Acta Agrophysica PAN, vol. 9(3), s. 555-570.
161. Boryczka J., Stopa-Boryczka J., Bijak Sz., 2007, *Okresowe zmiany klimatu Europy według ciągów dendrologicznych*, Materiały XXXII Ogólnopolskiego Zjazdu Agrometeorologów i Klimatologów, *Zasoby i Zagrożenia klimatyczne*. Akademia Rolnicza w Szczecinie – Uniwersytet Szczeciński, Kołobrzeg 13-15 września 2007.
162. Boryczka J., Stopa-Boryczka J., Bijak Sz., 2007, *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych*, Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowej, Toruń, 11-13 października 2007.
163. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Mucha B., 2007, *Tendencies in climate changes in Poland and Ukraine during the last centuries and their causes*, *Miscellanea Geographica*, Warszawa, vol. 13, pp. 77-88.
164. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2007, *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w XVIII-XXI wieku i ich przyczyny*, [w:] *Cykliczność i tendencje zmian klimatu Polski*. Materiały Zakładu Klimatologii WGSR UW z XI Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, Warszawa.
165. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2007, *Cykliczność i tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce*, [w:] *Cykliczność i tendencje zmian klimatu Polski*. Materiały Zakładu Klimatologii WGSR UW z XI Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, Warszawa.
166. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2007, *Okresowe zmiany opadów atmosferycznych w Polsce*, [w:] *Cykliczność i tendencje zmian klimatu Polski*, Materiały Zakładu Klimatologii WGSR UW z XI Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, Warszawa.
167. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2007, *Tendencje i zmiany okresowe burz w Polsce*, [w:] *Cykliczność i tendencje zmian klimatu Polski*. Materiały Zakładu Klimatologii WGSR UW z XI Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, Warszawa.
168. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2007, *Maksymalne dobowe sumy opadów atmosferycznych i częstość opadów ≥ 10 mm w Warszawie i Krakowie*, [w:] *Cykliczność i tendencje zmian klimatu Polski*. Materiały Zakładu Klimatologii WGSR UW z XI Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS, 6.05.2007, Warszawa.
169. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2007, *Liczba dni z pokrywą śnieżną w Warszawie i Krakowie*, [w:] *Cykliczność i tendencje zmian klimatu Polski*. Materiały Zakładu Klimatologii WGSR UW z XI Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, Warszawa.
170. Stopa-Boryczka M., Boryczka J. (red.), 2007, *Cykliczność i tendencje zmian klimatu Polski*, Materiały Zakładu Klimatologii WGSR UW z XI Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS, pod hasłem *Matematyka i my*, 26.05.2007, Warszawa, ss.90.
171. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Bijaki Sz., Cebulski R., Błażek E., Skrzypczuk J., 2007, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XX-XXI, *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych*, (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 266.
172. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2007, *Cechy termiczne klimatu Europy*, [w:] *Znaczenie badań krajobrazowych dla zrównoważonego rozwoju* (red. K. Ostaszewska), WGSR, Warszawa, s. 203-217.
173. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Mucha B., 2008, *Tendencies in climate changes in Poland and Ukraine during the last centuries and their causes*, *Miscellanea Geographica*, Warszawa, vol. 13, pp. 77-88.

174. *Klimat Wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007.* (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), 2008, [w:] Materiały Zakładu Klimatologii WGSR UW na XII Piknik Polskiego Radia BIS i Centrum Nauki Kopernik, pod hasłem *Poznaj język nauki* 14.06.2008, Warszawa.
175. Kotynia P., Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2008, *Zmiana warunków meteorologicznych w Warszawie po przejściu burzy*, [w:] *Klimat Wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007.* Materiały Zakładu Klimatologii WGSR UW na XII Piknik Polskiego Radia BIS i Centrum Nauki Kopernik, 14.06.2008, Warszawa
176. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2008, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXII, *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.
177. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Górka A., Ryczywolska E., Boryczka J., 2008, *Charakterystyka i ocena warunków klimatycznych Białoteki Dworskiej oraz określenie wpływu zabudowy na ich zmiany*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXII, s.21-42.
178. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Ryczywolska E., 2008, *Wpływ zabudowy na zróżnicowanie warunków mikroklimatycznych w osiedlach Sady Żoliborskie i Szwoleżerów.* [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* t. XXII, s. 65-80.
179. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Kossowska-Cezak U., Mierzwiński B., Wawer J., 2008, *Deformacja pól elementów meteorologicznych pod wpływem zabudowy*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXII, s.89-94.
180. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Boryczka J., 2008, *Influence of the city on field of meteorological variable*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXII, s.293-298.
181. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Boryczka J., 2008, *Positive and negative effects of the urban heat island in Warsaw*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*. t. XXII, s.299-308.
182. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2008, *Wprowadzenie*, [w:] *Klimat Wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007*, Materiały Zakładu Klimatologii WGSR UW na XII Piknik Polskiego Radia BIS i Centrum Nauki Kopernik, 14.06.2008, Warszawa.
183. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2008, *Udział studentów w badaniach naukowych Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego*, [w:] *Klimat Wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007*, Materiały Zakładu Klimatologii WGSR UW na XII Piknik Polskiego Radia BIS i Centrum Nauki Kopernik, 14.06.2008, Warszawa.
184. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Wawer J., 2008, *Klimat Warszawy w publikacjach Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego*, [w:] *Klimat Wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007*. Materiały Zakładu Klimatologii WGSR UW na XII Piknik Polskiego Radia BIS i Centrum Nauki Kopernik, 14.06.2008, Warszawa.
185. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2008, *Zofia Kaczorowska (1902-1993)*. *Prace i Studia Geogr.*, t. 40, ss. 255-268.
186. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2008, *Wincenty Okołowicz (1906-1979)*. *Prace i Studia Geogr.*, t. 40, ss. 247-254.
187. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2009, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXIII, *Klimat Warszawy i innych miast Polski, Studia porównawcze* (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, ss. 383.
188. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2009, *Klimat Polski w publikacjach Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXIII, s. 13-42.

189. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2009, *Cykliczne wahania temperatury i opadów w Polsce w XIX-XXI wieku*. [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXIII, s.43-52.
190. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2009, *Zmiany okresowe i tendencje niektórych zjawisk pogodowych w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem Warszawy i Krakowa*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*. t. XXIII, s. 53-74.
191. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2009, *Empiryczne równania przebiegów rocznych temperatury powietrza w Polsce (na przykładzie 32 miast)*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*. t. XXIII, s. 346-363.
192. Stopa-Boryczka M., 2009, *Działalność naukowa i dydaktyczna Prof.dr hab. Mirosława Bogackiego*. *Prace i Studia Geogr.*, t. 41, s. 11-24.
193. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2009, *Wpływ czynników geograficznych na klimat Europy*. *Prace i Studia Geogr.* t. 41, ss. 191-208.
194. Stopa-Boryczka M., *Witold Kusiński (1928-2008)*. 2009, *W 80. Rocznicę urodzin i 60-lecie pracy dydaktycznej*. *Czasopismo Geogr.*
195. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Unton-Pyziólek A., Gieszcz P., 2010, *Cooling and Warming of Climate of the Earth's Northern Hemisphere (on the basis of fluctuations of the oxygen isotope $\delta^{18}O$ and dendrological data)*. *Miscellanea Geographica*, vol. 14, pp. 47-58.
196. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2010, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXIV, *Klimat Warszawy i miejscowości strefy podmiejskiej* (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, ss. 333.
197. 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*, t. XXV, *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, Warszawa, ss. 417.
198. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2010, *Modelowanie naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu w Atlasie współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce (1974-2010)*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXV, s.13-70.
199. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Unton-Pyziólek A., Gieszcz P., 2010, *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Północnej Półkuli Ziemi (na podstawie wahań izotopu tlenu $\delta^{18}O$ i danych dendrologicznych)*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXV, s.88-98.
200. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2010, *Problemy badań współczesnych zmian klimatu*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXV, s. 123-132.
201. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2010, *Współczesne zmiany klimatu w publikacjach Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXV, s. 299-306.
202. Boryczka, J., Mucha M., Stopa-Boryczka M., Wawer J., 2010, *The influence of the north Atlantic Oscillations (NAO) on the climate of Warsaw and Lviv*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXV, s. 307-311.
203. Boryczka, J., Mucha M., Stopa-Boryczka M., 2010, *Tendencje zmian klimatu Polski i Ukrainy w ostatnich stuleciach i ich przyczyny*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXV, s. 312-320.
204. Boryczka, J., M., Stopa-Boryczka M., Lorenc H., Kicińska B., Błażek E., Skrzypczuk J., 2010, *Zmiany klimatu Warszawy w XVIII-XXI wieku i ich przyczyny*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXV, s. 321-362.

205. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., 2010, *Influence of Build-up Area and Housing Estate Vegetation on Diversity of the Local Climate in Warsaw*. *Miscellanea Geographica*, vol. 14, pp.121-134.
206. Stopa-Boryczka, Boryczka, J., Wawer J., Grabowska K., 2010, *Cykliczne zmiany miejskiej wyspy ciepła w Warszawie*. Materiały Międzynarodowego Naukowego Seminarium, 14-15 maja 2010, s. 5-8, Lviv Briuchowyczi.
207. Stopa-Boryczka, Boryczka, J., Bijak Sz., Cebulski R., Błazek, E., Skrzypczuk J., 2010, *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według ciągów dendrologicznych*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXV, *Zmiany klimatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku*. Wyd. UW, Warszawa, s.99-122.
208. Boryczka J., Stopa-Boryczka, Unton-Pyziótek A., Gieszc P., 2011, *Zmiany klimatu Półkuli Północnej (na podstawie wahań promieniowania słonecznego i izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$)*. *Prace i Studia Geogr.*, t. 47, s. 25-32, Wyd. WGRS UW, Warszawa.
209. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., 2011, *60 lat działalności naukowej i dydaktycznej Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego (1951-2010)*, *Prace i Studia Geogr.*, t. 47 – Suplement (red. K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. WGRS UW, Warszawa.
210. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., 2011, *Wpływ zabudowy i zieleni osiedlowej na zróżnicowanie klimatu lokalnego w Warszawie*, *Prace i Studia Geogr.*, t. 47, Wyd. WGRS UW, Warszawa.
211. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Grabowska K., 2011, *Cykliczne zmiany miejskiej wyspy ciepła w Warszawie i ich przyczyny*, [w:] *Prace i Studia Geogr.*, t. 47, Wyd. WGRS UW, Warszawa.
212. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Grabowska K., 2011, *Badania miejskiej wyspy ciepła w Warszawie*, *Prace i Studia Geogr. – Suplement do t. 47*, Wyd. WGRS UW, Warszawa.
213. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2011, *Fale chłodu i ciepła w przebiegu rocznym temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010)*, *Prz. Geof.* 56, 3-4, 181-200.
214. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2011, *Heat and cold waves in an annual cycle air temperatures in Warsaw (1951-2010)*, *Miscellanea Geographica*, 15, 103-114.
215. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2012, *Verification of forecasts of periodic changes in the climate of Warsaw in the period 1779-2010*, *Miscellanea Geographica*, vol. 16, No. 2, 2012, 16-22.
216. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Grabowska K., Dobrowolska M., Osowiec M., Błazek E., Skrzypczuk J., Grzęda M., 2012, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXVI-XXVII, *Z badań klimatu Mazowsza (z uwzględnieniem większych miast)* (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, ss. 596.
217. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błazek E., Skrzypczuk J., Grzęda M., 2012, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXVIII, *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.
218. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2012, *Weryfikacja prognoz okresowych zmian temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2010*, *Prz. Geof.*, LVII 2012, 3-4, 343-362.
219. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2012, *Verification forecasts concerning of periodic changes in the climate of Warsaw in the period*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXVIII, *Stan zanieczyszczenia atmosfery w Warszawie i innych miastach Polski* (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, s.431-451.

220. 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*, t. XXIX, *Ocena klimatu na potrzeby lotnictwa w Warszawie i innych miastach Polski* (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, ss. 451.
221. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2013, *Weryfikacja prognoz okresowych zmian opadów atmosferycznych w Polsce w latach 1813-2010*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXIX, *Ocena klimatu na potrzeby lotnictwa w Warszawie i innych miastach Polski*, s. 382-402.
222. 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*, t. XXX, *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. 550.
223. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2014, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXI-XXXII, 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, ss. 422.
224. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2014, *Biogram, Romuald Gumiński (1896-1952)*, *Słownik geografów polskich*, Kraków (w druku).
225. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2014, *Biogram, Wincenty Okołowicz (1906-1979)*, *Słownik geografów polskich*, Kraków (w druku).
226. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2014, *Biogram, Zofia Kaczorowska (1902-1993)*, *Słownik geografów polskich*, Kraków (w druku).
227. Stopa-Boryczka M., 2014, *Biogram, Witold Kusiński (1928-2008)*, [w:] *Słownik geografów polskich*, Kraków (w druku).
228. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2014, *Zależność najniższych i najwyższych średnich dobowych wartości temperatury powietrza od aktywności Słońca (na przykładzie Warszawy, 1951-2010)*, *Prace i Studia Geogr.*, Wyd. WGSR UW, T. 56 ss. 67-95.
229. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2015, *Weryfikacja prognoz okresowych zmian temperatury powietrza w Europie w XX-XXI wieku*, *Prz. Geof.* (w druku).
230. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2015, *The dependency between annual air temperature and solar activity. A case study of Warsaw in 1951-2010.*, *Miscellanea Geographica*, Wyd. WGSR (w druku).
231. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2015, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXXIII, *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. WGSR UW, ss. 444.
232. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2015, *Weryfikacja prognoz okresowych zmian temperatury powietrza w Europie w XX-XXI wieku*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXXIII, *Zmiany wiekowe klimatu Europy z uwzględnieniem prognoz w XXI wieku i ich weryfikacja*, Wyd. WGSR UW, s. 310-340.
233. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2015, *The dependency between annual air temperature and solar activity. A case study of Warsaw in 1951-2010*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXXIII, *Zmiany wiekowe klimatu Europy z uwzględnieniem prognoz w XXI wieku i ich weryfikacja*, Wyd. WGSR UW, s. 376-388.

Recenzje, prace popularnonaukowe, wywiady

1. *Atlas klimatyczny Polski*, Prz. Geof., 1974, z. 3-4, s. 258 (z J. Boryczką).
2. Paszyński J., Niedźwiedź T., *Klimat*, [w:] *Geografia Polski, środowisko przyrodnicze*, „Prze-
gląd Geograficzny”, 1993, s. 180-181.
3. *Igraszki aury, czyli rzecz o klimacie lokalnym*. „Panorama Północy”, 19 VI 1966.
4. *Tajemnice klimatu*. „Ekspress Wieczorny”, 18 VI 1967.
5. *Prawda o burzach*. „Głos Koszaliński”, 28 VI 1971, przedruk z „Trybuny Ludu”,
20 VI 1971.
6. *Niech wnuczki mają nadzieję (o zmianach klimatu w czasie)*. „Dookoła Świata”,
27 II 1966.
7. *100 błyskawic w każdej sekundzie notuje się na świecie*. „Ekspres Wieczorny”,
1 VIII 1971.
8. *O Dniu Meteorologa*. Audycja radiowa „Popołudnie z młodością”, 23 III 1969
9. Audycja radiowa „Rozgłośnia Harcerska”, 24 XII 1972.
10. *Andrzejowi Richlingowi (przedmowa do zeszytu jubileuszowego z okazji 60. urodzin)*. „Prace
i Studia Geogr”, 1997, t. 21, s. 7-8.
11. *Przedmowa*. „Prace i Studia Geogr.”, 1997, t. 20, s. 9-11.
12. Olszewski K., 1995, *Przedmowa*. [w:] *Meteorologia zanieczyszczeń. Wybrane zagadnienia*, Wyd. UW,
Warszawa, s. 3.

Prace i Studia Geograficzne, t. 28, Wyd. UW – Str. 53-59, 1960-2001.

Prace i Studia Geograficzne, t. 47, Suplement, Wyd. WGSR UW – Str. 112-168, 1951-2011.

Prace i Studia Geograficzne, t. 56, Wyd. WGSR UW – Str. 12-15.

ZAŁĄCZNIK 2. SPIS PUBLIKACJI (1961-2015)

Jerzy Boryczka

1. Boryczka J., 1961, *Wyznaczenie wysokości satelity kołowego z jednej obserwacji współrzędnych i ich pochodnych względem czasu*, Biuletyn polskich obserwacji satelitów Ziemi, nr 5, Warszawa, s. 29-39.
2. Boryczka J., 1962, *Determination of the distance ad a satellite with a quasi circular orbit – on the basis of one observation of the coordinates, and their derivatives in relation to time*, COSPAR, Waszyngton, ss. 10.
3. Boryczka J., 1964, *Próba wyznaczenia klimatycznego wskaźnika turbulencyjnego na podstawie temperatur ekstremalnych w przyziemnej warstwie atmosfery*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 1, s. 70-103.
4. Boryczka J., 1964, *Zależność klimatycznego wskaźnika turbulencyjnego od wysokości przy różnym stopniu zachmurzenia*, Prz. Geof., t. IX, z. 3-4, s. 216-226.
5. Boryczka J., 1964, *Kształtowanie się niektórych elementów meteorologicznych zależnie od pionowej turbulencyjnej wymiany ciepła*, Prz. Geogr., t. XXXVI, z. 1, s. 119-129.
6. Boryczka J., Okołowicz W., 1964, *Turbulencyjne rozprzestrzenianie się pyłów i innych zanieczyszczeń powietrza w różnych porach roku w zależności od charakteru podłoża ze szczególnym uwzględnieniem warunków miejskich*, Prz. Geof., R. IX (XVII), z. 2, s. 121-137.
7. Boryczka J., 1966, *Próba klasyfikacji warunków miejskich dla celów klimatologicznych*, Przegląd Geograficzny, t. XXXVIII, z. 1, s. 118-123.
8. Boryczka J., 1967, *Pattern of certain meteorological elements depending on vertical turbulent exchange of heat*, The Scientific Publication Foreign Cooperation Center of the Central Institute for Scientific, Technical and Economic Information, Warsaw, Poland 1967, ss. 10.
9. Boryczka J., 1967, Okołowicz W., *Turbulent diffusion of dust and other air contaminants in different season of the ground, Especially under Urban Conditions*, The Scientific Publication Foreign Cooperation Center of the Central Institute for Scientific, Technical and Economic Information, Warsaw, Poland, ss. 16.
10. Boryczka J., 1967, *Wpływ wilgotności gruntu i zbiorników wodnych na zawartość pary wodnej w przyziemnej warstwie powietrza*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 2 s. 145-165.
11. Boryczka J., 1967, *Parametry określające intensywność turbulencyjnej wymiany powietrza i ich zależność od warunków meteorologicznych i charakteru podłoża*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 3, s. 90-127.
12. Boryczka J., Okołowicz W., 1968, *Zależność natężenia oświetlenia od wysokości Słońca przy różnym stopniu zachmurzenia w porze letniej*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 3, s. 36-50.
13. Stopa M., Przybylska G., Boryczka J., 1968, *Ćwiczenia z klimatologii*. Wyd. UW, Warszawa, ss. 181
14. Boryczka J., 1970, *Próba porównania różnych rozkładów gęstości i opadu pyłu oraz ich przystosowanie do opracowań klimatologicznych*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 4, s. 51-132.
15. Boryczka J., 1970, *Pionowa transformacja pary wodnej w warunkach miejskich*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 4, s. 207-211.
16. Boryczka J., 1970, *Zmiany roczne w turbulencyjnym ruchu powietrza*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 5, s. 43-64.
17. Okołowicz W., Stopa-Boryczka M., Przybylska G., Boryczka J., 1970, *Wpływ ukształtowania powierzchni i warunków meteorologicznych na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń (na przykładzie Kudowy)*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 4, s. 133-148.

18. Boryczka J., 1973, *Turbulencyjna transformacja pyłu i gazów w atmosferze ziemskiej i jej zależność od parametrów klimatologicznych*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 6, s. 85-110.
19. Boryczka J., *Turbulencyjna transformacja pyłu i gazów w atmosferze ziemskiej i jej zależność od parametrów klimatologicznych (skrót pracy doktorskiej)*, Dok. Geogr., z. 6, s. 69-74.
20. Boryczka J., 1973, *Rozkład zanieczyszczeń powietrza w otoczeniu punktowych źródeł emisji w warunkach miejskich*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 7, s. 21-39.
21. Boryczka J., 1973, *Badania współzależności parametrów meteorologicznych metodą płaszczyn głównych*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 7, s. 109-139.
22. Boryczka J., 1974, *Wstęp do metod matematycznych klimatologii*, cz. I, Wyd. UW, Warszawa 1974, ss. 309.
23. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1974, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. I, *Związki korelacyjne między elementami meteorologicznymi i czynnikami geograficznymi w Polsce* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 276.
24. Boryczka J., 1975, *Prognoza geograficznego rozkładu parametrów meteorologicznych na obszarze Polski*, Prz. Geof., t. XX, z. 4, s. 325-328.
25. Boryczka J., 1975, *Dwuwymiarowy rozkład prawdopodobieństwa elementów i zjawisk meteorologicznych w Polsce*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 8, s. 35-56.
26. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1976, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. II, *Zależność elementów meteorologicznych od czynników geograficznych w Polsce* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 451.
27. Boryczka J., 1977, *Zależność wilgotności powietrza od współrzędnych geograficznych na obszarze Polski*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 9, s. 73-110.
28. Boryczka J., 1977, *Empiryczne równania klimatu Polski*, Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, ss. 288.
29. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1977, *Zależność parametrów meteorologicznych od wysokości nad poziomem morza w Polsce*, Prz. Geof., t. XXII, z. 2, 1977, s. 121-130.
30. Boryczka J., 1978, *Empiryczne równania klimatu Polski*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 10, s. 117-126.
31. Boryczka J., 1978, *Wielowymiarowy normalny rozkład prawdopodobieństwa zbioru parametrów meteorologicznych*, Prz. Geof., t. XXIII, z. 2, s. 115-128.
32. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1978, *Zależność parametrów meteorologicznych od temperatury powietrza w Polsce*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 11, s. 147-175.
33. Boryczka J., 1979, *Nowa metoda wyznaczania okresowych zmian parametrów meteorologicznych*, Prz. Geof., t. XXIV, z. 1, s. 45-56.
34. Boryczka J., 1980, *Nowa metoda wyznaczania trendu pól zmiennych meteorologicznych*, Prz. Geof., t. XXV, z. 3-4, s. 265-282.
35. Boryczka J., 1980, *O dokładności empirycznych funkcji trendu pól zmiennych meteorologicznych*, Prz. Geof., t. XXV, z. 3-4.
36. Boryczka J., Stopa-Boryczka J., 1980, *The influence of activity of the Sun on air temperature and precipitation on Mountain*, X Międzynarodowa Konferencja Karpacka, Kraków.
37. Stopa-Boryczka, Boryczka J., 1980, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. III, *Geograficzne gradienty parametrów wilgotności powietrza w Polsce* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 322.
38. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Ryczywolska E., Boryczka J., Górka A., 1982, *Ocena klimatu lokalnego do projektu osiedla mieszkaniowego w Białoleęce Dworskiej*, Człowiek i Środowisko, t. 6, z. 3-4, s. 335-349.
39. Boryczka J., Wicik B., 1983, *Holocenijskie cykle klimatu w środkowej Polsce na podstawie statystycznej analizy osadów jeziornych*, Prz. Geof., t. XXVIII, z. 3-4, s. 291-302.
40. Boryczka J., 1983, *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu*, Materiały Zjazdu Geografów Polskich, Toruń.

41. Boryczka J., 1984, Model *deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu*, Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego, nr 234, Wyd. UW, Warszawa, ss. 272.
42. Boryczka J., Stopa-Boryczka, Styś K., 1984, *Aproksymacja pola opadów atmosferycznych w Polsce*, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 288, s. 201-214.
43. Boryczka J., Stopa-Boryczka, M., Wawer J., 1984, *Aproksymacja pola temperatury powietrza w Polsce*, Symposium Naukowe *Udział nauki polskiej w światowym programie klimatycznym*, Skierniewice, maj 1984.
44. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1984, *Centennial air temperature fluctuation in Warsaw*, 25th International Geographica Congress, Abstracts of Papers, t. I, Paris-Alpes 1984.
45. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1984, *The multiperiodical changes of air temperature in Warsaw*, Miscellanea Geographica, vol.1, Wyd. UW, s. 87-96
46. Boryczka J., *Prognoza temperatury powietrza na rok 2000 w Warszawie*, Przewodnik Ogólnopolskiego Zjazdu Towarzystwa Geograficznego, Lublin 13-15 IX, s. 101-105.
47. Boryczka J., 1984, *Trend wiekowy temperatury powietrza w Warszawie (1500-2500)*, Materiały I Ogólnopolskiej Konferencji na temat: *Klimat i bioklimat miast*, Wyd. UŁ, Łódź 22-24 XI, s. 204-213.
48. Boryczka J., Wicik B., Gutry-Korycka M., 1984, *Posiednikowe cykly klimata w jużnej Polsce na fonie statycznej analiza otłozenij w gornych oziorach*, IGCP Projekt 158, Palaeocology and Palaeohydrology of the Balkan Peninsula and Adjacent Areas, Symposium in Bulgaria, Varna 29 IX 1985.
49. 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*, t. IV, *Klimat północno-wschodniej Polski* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 511.
50. Boryczka J., Stopa-Boryczka, M., 1986, *Matematyczny model klimatu Polski*, I Sesja Naukowa INFG UW, Warszawa s. 117-130.
51. Boryczka J., 1986, *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu*, Dok. Geogr., Wyd. PAN, Warszawa.
52. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1986, *Mathematical model of Poland's climate*, Miscellanea Geographica, vol. 2, s. 55-69.
53. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Boryczka J., 1986, *A mathematical model of Poland's climate*, Miscellanea Geographica, vol.2, Wyd. UW, s. 55-69.
54. 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*, t. IV, *Klimat północno-wschodniej Polski*, Wyd. UW, Warszawa, ss. 511.
55. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Boryczka J., 1987, *Wlijanije goroda na pole meteorologicznych pieremiennych*, CEB-III-RWPG, Jabłonna 24-25 września, ss. 11.
56. Boryczka J., 1987, *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu*, Dok. Geogr., Wyd. PAN, Warszawa.
57. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1988, *Deformation of the field of air temperature due the relief of Poland*, Miscellanea Geographica, Wyd. UW, Warszawa, s. 113-125.
58. Boryczka J., Wicik B., Gutry-Korycka M., 1988, *Attempt at analysis of holocene climate cycles on the basis of lake sediments*, Miscellanea Geographica, Wyd. UW, Warszawa, s.99-104.
59. Boryczka J., Więckowski K., Wicik B., 1989, *Holocene climatic in the light of statistical analysis of laminated sediments from the Gościąż Lake*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Matematyka-Fizyka, z. 57, Geochronometria nr 5, 1989, s. 75-85.
60. Boryczka J., Gutry-Korycka M., 1989, *Long-term fluctuation of hydroclimate elements in North-Eastern Europe*, Global Change Regional Research Centers: Scientific Problems and Concept Developments, September 25-29, Warszawa, s. 33-47.

61. Boryczka J., 1989, *Zmiany klimatu Ziemi w stuleciach XVIII-XXI i ich przyczyny*, *Wspólczesne zmiany klimatyczne w Polsce*, Materiały Konferencji 12-14 grudnia, Łódź, s. 15-16.
62. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1989, *Wpływ czynników antropogennych na klimat lokalny Warszawy*, *Acta Universitatis Carolinae* 1989, Geographica, No 2, Praha, s. 49-66.
63. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E., 1989, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. V, *Z badań klimatu Polski* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 284.
64. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1989, *The multiperiodical changes of air temperature and precipitation in Poland*, *Materiały Konferencji Klimatycznej*, Brno, maj Japan, November 6-11 1989. Book of abstracts, Kyoto 1989.
65. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1990, *Deformacja pola temperatury powietrza w Warszawie pod wpływem czynników antropogenicznych*, *Problemy współczesnej klimatologii*, Conference Papers 4, Sympozjum Ogólnopolskie, Stare Pole k/Malborka, 7-9 październik 1988, s. 131-146.
66. Boryczka J., Gutry-Korycka M., 1990, *Długookresowe zmiany elementów bilansu wodnego w Polsce w zlewisku Bałtyku*, *Prz., Geof.*, t. XXXV, z. 3-4, Łódź 1991, s. 175-188
67. Boryczka J., 1990, *Wspólczesne zmiany klimatu Ziemi i ich przyczyny*, *Materiały Konferencji*, 25-28 września, Przesieka k/Jeleniej Góry.
68. Boryczka J., 1990, *Changes in Earth's climate in the 18th through 21st centuries and their reasons*, *Miscellanea Geographica*, vol.4, Wyd. UW, s. 71-78, Warszawa.
69. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E., 1990, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. VI, *Wpływ Oceanu Atlantyckiego i rzeźby terenu na klimat Polski* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 334.
70. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Boryczka J., 1990, *Influence of the city of fields of meteorological variable*, *Urban Ecological Studies in Central and Eastern Europe*, Proceedings of the International Symposium Warszawa-Jablonna, 24-25 September, Wrocław.
71. Stopa-Boryczka M., Kopacz M., Boryczka J. 1990, *Influence of the city on field of meteorological variable*. [w:] *Urban Ecological Studies*, Ossolineum, Wrocław, s. 26-35
72. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1991, *Mapy gradientów temperatury i opadów w Polsce*, *Acta Universitatis Wratislaviensis*, No 1213, *Prace Instytutu Geograficznego*, seria A, t. V, Wrocław, s. 180.
73. Boryczka J., 1992, *Naturalny i antropogeniczny trend temperatury powietrza w Warszawie*, *Prace i Studia Geogr.*, t. 17, Wyd. UW.
74. Boryczka J., 1992, *Naturalne zmiany temperatury powietrza w Warszawie*, *Materiały II Ogólnopolskiej Konferencji Klimat i bioklimat miast*, Wyd. UŁ, Łódź, 9-11 grudnia.
75. Boryczka J., 1992, *The influence of Parameters of the Solar System on Earth's Climate*, *Miscellanea Geographica*, t. 5, Wyd. UW, Warszawa, s. 33-44.
76. Gutry-Korycka M., Łopata K., Boryczka J., 1992, *Periodical changes of precipitation in Poland and their causes*. *Miscellanea Geographica*, t. 5, Wyd. UW, Warszawa s. 100-104.
77. Gutry-Korycka M., Boryczka J., 1992, *Long-term fluctuation of hydroclimate elements in Poland, European climate reconstructed from documentary data: methods and results*, *Special Issue: ESF Project European Palaeoclimate and Man 2*, Stuttgart-Jena-New York, *Palaeoclimate Research*, v. 7, s. 152-175.
78. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kicińska B., Żmudzka E., 1992, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. VII, *Zmiany wiekowe klimatu Polski* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 438.
79. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., *Wpływ Oceanu Atlantyckiego i Morza Bałtyckiego na klimat Polski, Badania Fizjograficzne na Polską Zachodnią*, t. XLIV, seria A, *Geografia Fizyczna*, Wyd. UP s. 153-158.

80. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz, M., Boryczka J., 1992, *Positive and negative effects of the city heat island in Warsaw*, [w:] II European Meeting of the INTECOL and UNESCO – Program 11 Man and Biosphere International Network for Urban Ecology, Warsaw-Mądralin, 15-17 December 1992, ss. 20.
81. Boryczka J., 1993, *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII-XXI wieku*, Wyd. UW, Warszawa, ss. 400.
82. Boryczka J., 1993, *The influence of the eruptions of volcanoes on the Earth's climate in the 17th - 21st century, Scientific activities of Professor Władysław Gorczyński and their continuation*, Symposium in Nicholas Copernicus University, Toruń, 16-17 September s. 24-25.
83. Boryczka J., 1993, *Wpływ erupcji wulkanów na klimat Ziemi w XVII-XXI wieku, Działalność naukowa Profesora Władysława Gorczyńskiego i jej kontynuacja*, Sympozjum w Uniwersytecie Mikołaja Kopernika, Toruń 16-17 września, s. 22-23.
84. Gutry-Korycka M., Boryczka J., 1993, *Długookresowe fluktuacje elementów obiegu wody, Przemiany stosunków wodnych w Polsce w wyniku procesów naturalnych i antropogenicznych*, Kraków, s. 277-298.
85. Boryczka J., 1993, *The natural changes of climate in Europe in the 18th – 21st centuries, Early Meteorological Instrumental Records in Europe, Methods and results*, Zeszyty Naukowe UJ MLXIX, Prace Geograficzne, z. 95, Prace Instytutu Geograficznego, z. 117, Kraków 1993, s. 128-137.
86. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1994, *Deformacja pól temperatury i opadów w Polsce po wpływie rzeźby terenu*, IX Seminarium Polsko-Czeskie, Warszawa, s. 95-119.
87. Boryczka J., Wicik B., 1994, *Record of holocene climatic cycles in Lake sediments in Central Poland*, Miscellanea Geographica, t. 6, Wyd. UW, Warszawa, s. 69-77.
88. Boryczka J., 1994, *Cykliczne zmiany klimatu w różnych szerokościach geograficznych i ich przyczyny, Współczesne badania klimatologiczne*, Conf. Papers, 23, IGiPZ PAN, Warszawa (Radzików, 7-8 listopada 1984), s. 111-124.
89. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Boryczka J. 1994, *Positive and negative effects of the urban heat island in Warsaw*, Memorabilia Zoologica, t. 49, Proceedings of the II European Meeting of the International Network for Urban Ecology, Wyd. PAN, s. 68-80.
90. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wągrowka M., Śmiałkowski J., 1994, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. VIII, *Cechy oceaniczne klimatu Europy* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss.405.
91. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1994, *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Kotliny Warszawskiej*, [w:] Materiały Zjazdu PTG w Lublinie, 1-4 września 1994.
92. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Błażek E., Skrzypczuk J., 1995, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. IX, *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW Warszawa, ss. 320.
93. Stopa-Boryczka M., Kopacz M., Błażek E., Kicińska B., Żmudzka E., 1995, *Antropogeniczne zmiany temperatury powietrza w Warszawie: Pozytywne i negatywne skutki*, [w:] *Klimat i bioklimat miast* (red. K. Kłysik), Łódź, Wyd. UŁ, s. 169-179.
94. Boryczka J., 1996, *The tendency of natural changes of the Earth's climate and identification of its causes*, Proceedings of International Conference on Climate Dynamics and the Global Change Perspective, Cracow, October 17-20, Zeszyty Naukowe UJ MCLXXXVI, Prace Geogr., z. 102, Prace Inst. Geograficznego UJ, z. 124, s. 293-299.
95. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1996, *Modeli odtwarzające naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu*, [w:] *Prirodnyje resursy: racjonalnoje ispolzowanije i ochrana*, Wyd. MGU, Moskwa, s. 101-116.
96. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1996, *Tendencje zmian klimatu Polski*, 45 Zjazd Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Polska w Europie Bałtyckiej, Słupsk-Ustka, 18-21 września, s. 183-185.
97. Boryczka J., 1996, *Natural warming of the Earth's climate in 18th through 20th centuries*, Miscellanea Geographica, z. 7, Wyd. UW, Warszawa, s. 41-53.

98. Boryczka J., 1996, *Globalne ocieplenie klimatu jako efekt zmian Układu Słonecznego*, Materiały Konferencji *Metody badań wpływu czynników antropogenicznych na warunki klimatyczne i hydrologiczne w obszarach zurbanizowanych*, 12-14 września, Katowice.
99. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1996, *Tendencje zmian klimatu Polski*. [w:] Materiały 45 Zjazdu PTG, Słupsk-Ustka, 18-21 września, s. 183-185.
100. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1997, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. X, *Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 220.
101. Boryczka J., 1997, *Wahania klimatu Ziemi zdeterminowane cyklicznością parametrów Układu Słonecznego*, *Prace i Studia Geogr.*, t.20, Wyd. UW, Warszawa, s. 200-233.
102. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1997, *Natural and antropogenic changes of climate in Europe*, *Acta Universitatis Carolinae, Geographica*, XXXII, Praha
103. Boryczka J., 1997, *Tendencje wiekowe temperatury powietrza w Europie*, Materiały 46 Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Rynia-Warszawa, 18-21 września, s. 130-133.
104. Boryczka J., 1997, *Problemy współczesnej klimatologii w zakresie zmian klimatu*, Materiały 46 Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Rynia-Warszawa, 18-21 września, s. 127-130.
105. Kozuchowski K., Boryczka J., 1997, *Cykliczne wahania i trendy zmian poziomu morza Świnoujściu (1811-1990)*, *Prz. Geof.*, R. XLII, t. 1, s. 31-48
106. Boryczka J., 1998, *Problems of contemporary climatology in the domain of climate change*, *Miscellanea Geographica*, z. 8, Wyd. UW.
107. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1998, *Współczesne zmiany klimatu i ich uwarunkowania*, [w:] Materiały 47 Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Sosnowiec 23-26 września 1998, *Wyd. Nauk o Ziemi UŚ*.
108. Boryczka J., 1998, *Postęp badań współczesnych wahań klimatu Ziemi w drugiej połowie XX wieku*, *Prace i Studia Geogr.*, t. 22, Wyd. UW, Warszawa, s. 51-63.
109. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1998, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XI, *Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie*, (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 258.
110. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1998, *Cechy kontynentalne klimatu Polski Południowo-Wschodniej*, [w:] *Problemy współczesnej klimatologii i agrometeorologii regionu lubelskiego*, Wyd. UMCS, Lublin s. 111-114.
111. Boryczka J., 1999, *Klimat Polski a naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi, Geografia na przelomie wieków – jedność w różnorodności*, Materiały sesji jubileuszowej 18-20 czerwca 1998, Warszawa, s. 135-147.
112. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wągrowaska M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1999, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XII, *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu miast w Europie*, t. XII, Wyd. UW, Warszawa, ss. 255.
113. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 1999, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XIII, *Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie*, (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss.283.
114. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Lorenc H., Kicińska B., Błażek E., Skrzypczuk J., 2000, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XIV, *Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku* (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa ss. 300.
115. Boryczka J., 2000, *Changes of climate in Poland during recent centuries*, *Polish Geography, Problems, Reserches, Applications* (ed. Z. Chojnicki, J. J. Parysek), Adam Mickiewicz University, Wyd. Bogucki, Poznań 2000 (The present book has been published on the occasion of the 29th International Geographical Congress in Seoul).

116. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2000, *Zmiany klimatu Polski w XVIII-XXI wieku*, Acta Universitatis Nicolai, Geografia XXXI – Nauki Matematyczno-Przyrodnicze, z. 106, Toruń 2000, s. 55-79.
117. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2000, *The warmings and coolings of the climate of Warsaw during the last centuries and their conditioning*, Miscellanea Geographica, z. 9, Wyd. UW, s. 39-51.
118. Boryczka J., 2000, *Tendency of climate in Poland*, [w:] Materiały VII Ukraińskiego Towarzystwa Geograficznego, Kijów.
119. Boryczka J., 2001, *Postęp badań przyczyn zmian klimatu w drugiej połowie XX wieku*, Prace i Studia Geogr., t. 28, s. 137-156.
120. Boryczka J., 2001, *Klimat Ziemi. Przeszość, teraźniejszość, Przyszłość*, Prace i Studia Geogr., t. 29, s. 55-72.
121. Boryczka J., 2001, *Zmiany klimatu Warszawy od XVIII do XXI wieku*, Prace i Studia Geogr., nr 180, *Badania środowiska fizycznogeograficznego aglomeracji warszawskiej*. Wyd. IGPZ PAN, s. 27-37.
122. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Błażek E., Skrzypczuk J., 2001, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XV, *Prognozy zmian klimatu miast Europy* (red. M. Stopa-Boryczka, Jerzy Boryczka), Wyd. UW, ss. 249.
123. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2001, *The forecast of the climate in Warsaw*, Obszczeństwo, Okružajuszczaja Średa. Razwicie Geografii w Stranach Cienralnoj i Wostocznoj Ewropu. Międzurarodnaja Naucznaia Konfierencja, Kaliningrad/ Swietlogorsk, Rosija, 4-7 junja 2001 goda, Tiezisy dokladow, cz. I, Izdatielstwo Kaliningradskogo Gosudarstwienego Uniwersitieta, s. 166.
124. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2001, *Współczesne zmiany klimatu i ich przyczyny*, Encyklopedia Multimedialna PWN.
125. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2001, *Kalendarz ważniejszych wydarzeń w Zakładzie Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego (1951-2000)*, Prace i Studia Geogr., t. 28, Wyd. UW, s. 313-328.
126. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., *Czynniki kształtujące klimat Ziemi*, Encyklopedia Multimedialna PWN.
127. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2001, *Klimat Polski w pracach Andrzeja Ewerta – pierwszego doktoranta seminarium doktorskiego Zakładu Klimatologii*, Prace i Studia Geogr. t. 28 s. 193-198, Wyd. UW, Warszawa.
128. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kirschenstein M., 2001, *Wspomnienia pośmiertne, Andrzej Ewert (1938-2001)*, Prz. Geof., z.3.
129. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2001, *50 lat działalności naukowej i dydaktycznej Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego (1951-2001)*, [w:] Prace i Studia Geogr., Wyd. UW, t. 29, s. 13-28).
130. Stopa-Boryczka M. Boryczka J., 2001, *Wiekowe zmiany temperatury powietrza i opadów w Warszawie*. [w:] *Atlas klimatycznego ryzyka upraw roślin w Polsce*, (red. Cz, Koźmiński), Wyd. Akademii Rolniczej w Szczecinie, Szczecin, (plansza 28).
131. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2001, *Przewidywane średnie sezonowe i roczne zmiany temperatury powietrza na wybranych stacjach*, [w:] *Atlas klimatycznego ryzyka upraw roślin w Polsce*, (red. Cz, Koźmiński),Wyd. Akademii Rolniczej w Szczecinie, Szczecin, (plansza 28).
132. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2001, *The forecast of climate in Warsaw*. Geografija. Obszczeństwo, Okružajuszczaja Średa: Razwicie Geografii w Stranach Cienralnoj i Wostocznoj Ewropu, Międzurarodnaja Naucznaia Konfierencja, Kaliningrad/Swietlogorsk, Rosija, 4-7 iunja 2001 goda., Tiezisy dokladow, cz I, Izdatielstwo Kaliningradskogo Gosudarstwienego Uniwersitieta, s. 166
133. Boryczka J., 2002, *The progres in the study of the causes of climate changes on the Earth*. Miscellanea Geographica, vol. 10.

134. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Grabowska K., Błażek E., Skrzypczuk J., 2002, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XVI, *Prognozy zmian klimatu Polski* (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 212.
135. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2002, *The 50 years of research and teaching activity of the Department of Climatology at the University of Warsaw*, *Miscellanea Geographica*, vol. 10, s. 89-102.
136. Stopa-Boryczka M., Boryczka J. (red.), 2002, *Zmiany klimatu i ich przyczyny. Hipotezy i fakty*, Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego z VI Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS pod hasłem Co nauka daje sztuce?, 8 VI 2002, Warszawa, ss.73.
137. Boryczka J., 2003, *Changes in the climate of Warsaw from 18th to 21st century*, [w:] *Studies on the climate of Warsaw* (Stopa-Boryczka M., red.), Wyd. WGSR UW, Warszawa, s. 25-33.
138. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2003, *Cykliczne wahania temperatury i opadów w Polsce w XIX-XXI wieku*, Materiały Konferencji, Kraków, czerwiec 2003 r.
139. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Kirschenstein M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2003, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XVII, *Mroźne zimy i upalne lata w Polsce* (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 297
140. Boryczka J., 2003, *Trends in climate change in Europe and their causes, Man and Climate in the 20th Century* (red. J. L. Pyka i inni), *Studia Geograficzne*, nr 75, *Acta Universitatis Wratislaviensis*, nr 2542, Wrocław, s. 98-107.
141. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2003, *The cyclic changes of the climate of Warsaw and their conditioning*, [w:] *Studies on the climate of Warsaw* (Stopa-Boryczka M., red.), Wyd. WGSR UW, Warszawa, s. 35-50.
142. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2003, *Cykliczne zmiany klimatu Warszawy i ich uwarunkowania*, [w:] *Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych*, *Prace Geogr.*, nr 188, IGIPIZ PAN.
143. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2003, *The influence of the man-made factors on the local climate of Warsaw*, [w:] *Studies on the climate of Warsaw* (Stopa-Boryczka M.,red.), Wyd. WGSR UW, Warszawa, s. 95-110.
144. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2003, *The cyclic changes of the climate of Warsaw and their conditioning*, [w:] Stopa-Boryczka M. (red.), *Studies on the climate of Warsaw*, Wyd. WGSR UW, Warszawa.
145. Boryczka J., 2004, *Mit efektu cieplarnianego*, *Prz. Geof.*, z. 1-2, s. 43-56.
146. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2004, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XVIII, *Groźne zjawiska pogodowe w Polsce* (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka),Wyd. UW, Warszawa, ss. 217.
147. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2004, *Climate of the Europe – Past, Present, Future*, *Miscellanea Geographica* vol. 11, s. 101-118.
148. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2004, *Cykliczne wahania temperatury i opadów w Polsce w XIX-XXI wieku*, *Acta Agrophysica*, PAN, vol. 3 (1).
149. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Wawer J., 2004, *The influence of the North Atlantic Oscillations (NAO) on the climate of Warsaw and Lviv*, *Proceedins Conference "Landscape Science – Traditions and Trends September 8-12, Ivan Franko National University of Lviv*.
150. Stopa-Boryczka M., Boryczka J. (red.), 2004, *Klimat Europy. Przeszłość – terażniejszość – przyszłość*, Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego z VIII Pikniku Naukowego Polskie go Radia BIS pod hasłem Nauka bez granic, 22 V 2004, Warszawa, ss. 77.

151. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Pietras K., Bijak S., Błażek E., Skrzypczuk J., 2005, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XIX, *Cechy termiczne klimatu Europy* (red. M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 184
152. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2005, *Zmiany klimatu Polski w XIX-XXI wieku ze szczególnym uwzględnieniem Wyżyny Małopolskiej*, [w:] *Środowisko przyrodnicze jako przedmiot badań interdyscyplinarnych: teoria i praktyka* (Strzyż M. , Świercz A., red.), Wyd. Instytut Geografii Akademii Świętokrzyskiej, Kielce, s. 33-34.
153. Boryczka J., 2006, *Warming and Cooling of the Earth's Climate and their Causes*, *Miscellanea Geographica*, vol. 12, s. 31-41.
154. Boryczka J., Stopa-Boryczka J., 2006, *Cyclic Temperature and Precipitation Fluctuations in Poland in the 19th-21st Centuries*, *Miscellanea Geographica*, vol. 12, s. 43-53.
155. Boryczka J., Mucha B., Stopa-Boryczka M., Wawer J., 2006, *The influence of the North Atlantic Oscillations (NAO) on the climate of Warsaw and Lviv*, *Miscellanea Geographica*, vol. 12, pp. 75-80.
156. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2006, *Zmiany klimatu Polski ze szczególnym uwzględnieniem Wyżyny Małopolskiej*, *Regionalne Studia Ekologiczno-Krajobrazowe, Problemy Ekologii Krajobrazu*, t. 16/1, Warszawa, s. 297-305.
157. Stopa-Boryczka M., Boryczka J. (red.), 2006, [w:] *Prognozy pogody w przystoiach i ich sprawdzalność w Polsce*. Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego z X Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS pod hasłem Świat za 10 lat , w dniu 03 VI 2006, Wyd. UW, Warszawa, ss. 85.
158. Boryczka J., Stopa-Boryczka J., 2007, *Okresowe wahania temperatury powietrza w Europie w XIX-XXI wieku i ich przyczyny*, [w:] *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, (red. K. Piotrowicz, R. Twardosz, Kraków, s. 163-173.
159. Boryczka J., Stopa-Boryczka J., 2007, *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w XVIII-XXI wieku i ich przyczyny*, *Acta Agrophysica PAN*, vol. 9(3), s. 555-570.
160. Boryczka J., Stopa-Boryczka J., Bijak Sz., 2007, *Okresowe zmiany klimatu Europy według ciągów dendrologicznych*, *Materiały XXXII Ogólnopolskiego Zjazdu Agrometeorologów i Klimatologów. Zasoby i Zagrożenia klimatyczne*, Akademia Rolnicza w Szczecinie – Uniwersytet Szczeciński, Kołobrzeg 13-15 września 2007.
161. Boryczka J., Stopa-Boryczka J., Bijak Sz., 2007, *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych*, *Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowej*, Toruń, 11-13 października 2007.
162. Stopa-Boryczka M., Boryczka J. (red)., *Cykliczność i tendencje zmian klimatu Polski*, *Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego z XI Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS*, w dniu 26.05.2007 w Warszawie pod hasłem Matematyka i my, ss. 90.
163. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Bijak Sz., Cebulski R., Błażek E., Skrzypczuk J., 2007, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XX-XXI, *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych*, (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa, ss. 266
164. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2007, *Cechy termiczne klimatu Europy*, [w:] *Znaczenie badań krajobrazowych dla zrównoważonego rozwoju* , red.: K. Ostaszewska, WGSR, Warszawa, s. 203-217.
165. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Mucha B., 2008, *Tendencies in climate changes in Poland and Ukraine during the last centuries and their causes*, *Miscellanea Geographica*, Warszawa, vol. 13, pp. 77-88.

166. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2008, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXII, *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.
167. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Górka A., Ryczywolska E., Boryczka J., Wawer, 2008, *Charakterystyka i ocena warunków klimatycznych Białotki Dworskiej oraz określenie wpływu zabudowy na ich zmiany*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXII, s. 21-42.
168. Błażejczyk K., Boryczka J., Grabowska K., 2008, *Wieloletnia zmienność wysokich opadów w Polsce na tle ogólnych zmian klimatu*, [w:] *Symposium Ogólnokrajowe Hydrotechnika X'2008*, Ustroń.
169. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Boryczka J., 2008, *Influence of the city on field of meteorological variable*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXII, s. 293-298.
170. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Boryczka J., 2008, *Positive and negative effects of the urban heat island in Warsaw*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXII, s. 299-308.
171. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2008, *Wprowadzenie*, [w:] *Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego na XII Piknik Polskiego Radia BIS i Centrum Nauki Kopernik*, 14.06.2008, Warszawa.
172. Kotynia P., Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2008, *Zmiana warunków meteorologicznych w Warszawie po przejściu burzy*, [w:] *Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego na XII Piknik Polskiego Radia BIS i Centrum Nauki Kopernik*, 14.06.2008, Warszawa.
173. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2008, *Udział studentów w badaniach naukowych Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego*, [w:] *Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego na XII Piknik Polskiego Radia BIS i Centrum Nauki Kopernik*, 14.06.2008, Warszawa.
174. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2009, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXIII, *Klimat Warszawy i innych miast Polski, Studia porównawcze* (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, ss. 383.
175. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2009, *Klimat Polski w publikacjach zakładu klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXIII, s. 13-42.
176. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2009, *Cykliczne wahania temperatury i opadów w Polsce w XIX-XXI wieku*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXIII, s.43-52.
177. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2009, *Zmiany okresowe i tendencje niektórych zjawisk pogodowych w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem Warszawy i Krakowa*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXIII, s. 53-74.
178. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2008, *Empiryczne równania przebiegów rocznych temperatury powietrza w Polsce (na przykładzie 32 miast)*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXIII, s. 346-363.
179. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2009, *Wpływ czynników geograficznych na klimat Europy*, *Prace i Studia Geogr.*, t. 41, ss. 191-208.

180. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Unton-Pyziółek A., Gieszc P., 2010, *Cooling and Warming of Climate of the Earth's Northern Hemisphere (on the basis of fluctuations of the oxygen isotope $\delta^{18}O$ and dendrological data)*, Miscellanea Geographica, vol. 14, pp.47-58.
181. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2010, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXIV, *Klimat Warszawy i miejscowości strefy podmiejskiej* (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, ss. 333.
182. 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*, t. XXV, *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, Warszawa, ss. 417.
183. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2010, *Modelowanie naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu w atlasie Współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce (1974-2010)*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXV, s.13-70.
184. Boryczka J., 2010, *Metoda J. Boryczki sinusoid regresji badań okresowości zmiennych przyrodniczych*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXV, s. 71-87.
185. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Unton-Pyziółek A., Gieszc P., 2010, *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Północnej Półkuli Ziemi (na podstawie wahań izotopu tlenu $\delta^{18}O$ i danych dendrologicznych)*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXV, s.88-98.
186. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2010, *Problemy badań współczesnych zmian klimatu*. [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXV, s. 123-132.
187. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2010, *Współczesne zmiany klimatu w publikacjach Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXV, s. 299-306.
188. Boryczka J., Mucha M., Stopa-Boryczka M., Wawer J., 2010, *The influence of the north Atlantic Oscillations (NAO) on the climate of Warsaw and Lviv*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXV, s. 307-311.
189. Boryczka J., Mucha M., Stopa-Boryczka M., 2010, *Tendencje zmian klimatu Polski i Ukrainy w ostatnich stuleciach i ich przyczyny*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXV, s. 312-320.
190. Boryczka J., M., Stopa-Boryczka M., Lorenc H., Kicińska B., Błażek E., Skrzypczuk J., 2010, *Zmiany klimatu Warszawy w XVIII-XXI wieku i ich przyczyny*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXV, s. 321-362.
191. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Unton-Pyziółek A., Gieszc P., 2010, *Cooling and warming of climate of the Earth's northern hemisphere (on the basis of fluctuations of the oxygen isotope $\delta^{18}O$ and dendrological data)*, Miscellanea Geographica vol. 14, pp. 47-58.
192. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., 2010, *Influence of Build-up Area and Housing Estate Vegetation on Diversity of the Local Climate in Warsaw*, Miscellanea Geographica, vol. 14, pp.121-134.
193. Boryczka J., Stopa-Boryczka, Unton-Pyziółek A., Gieszc P., 2011, *Zmiany klimatu Półkuli Północnej (na podstawie wahań promieniowania słonecznego i izotopu tlenu $\delta^{18}O$)*. *Prace i Studia Geogr.*, t. 47, s. 25-32, Wyd. WGSR UW, Warszawa.

194. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2011, *Fale chłodu i ciepła w przebiegu rocznym temperatury powietrza w Warszawie (1951-2010)*, Prz. Geof. 56, 3-4, 181-200.
195. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2011, *Heat and cold waves in an annual cycle air temperatures in Warsaw (1951-2010)*, Miscellanea Geographica, 15, 103-114.
196. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2012, Verification of forecasts of periodic changes in the climate of Warsaw in the period 1779-2010, Miscellanea Geographica, vol. 16, No. 2, 2012, 16-22.
197. 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*, t. XXVI-XXVII, *Z badań klimatu Mazowsza (z uwzględnieniem większych miast)* (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, ss. 596.
198. 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*, t. XXVIII, *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.
199. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2012, *Verification forecasts concerning of periodic changes in the climate of Warsaw in the period*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXVIII, *Stan zanieczyszczenia atmosfery w Warszawie i innych miastach Polski*, Wyd. UW, s.431-451.
200. 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*, t. XXIX, *Ocena klimatu na potrzeby lotnictwa w Warszawie i innych miastach Polski* (red.: K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski), Wyd. UW, ss. 451.
201. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J., Grabowska K., Dobrowolska M., Osowiec M., Błażek E., Skrzypczuk J., Grzęda M., 2013, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXX, *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. 550.
202. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2012, *Weryfikacja prognoz okresowych zmian temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2010*, Prz. Geof. LVII 2012, 3-4, 343-362.
203. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2013, *Weryfikacja prognoz okresowych zmian opadów atmosferycznych w Polsce w latach 1813-2010*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXIX, *Ocena klimatu na potrzeby lotnictwa w Warszawie i innych miastach Polski*, s. 382-402.
204. Boryczka J., *O realności okresów i tendencji zmiennych klimatologicznych*, 2013, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXIX, *Ocena klimatu na potrzeby lotnictwa w Warszawie i innych miastach Polski*, s. 403-417,
205. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2014, *Biogram, Romuald Gumiński (1896-1952)*, Słownik geografów polskich, Kraków (w druku).
206. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2014, *Biogram, Wincenty Okołowicz (1906-1979)*, Słownik geografów polskich, Kraków (w druku)
207. Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2014, *Biogram, Zofia Kaczorowska (1902-1993)*, Słownik geografów polskich, Kraków (w druku).

208. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2014, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce, t. XXXI-XXII, 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. WGR UW, ss. 422.
209. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2014, *Zależność najniższych i najwyższych średnich dobowych wartości temperatury powietrza od aktywności Słońca (na przykładzie Warszawy, 1951-2010)*, *Prace i Studia Geogr.*, t. 56, Wyd. WGR UW, ss.67-95.
210. Boryczka J. Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2015, *Weryfikacja prognoz okresowych zmian temperatury powietrza w Europie w XX-XXI wieku*, *Prz. Geof.* (w druku)
211. Boryczka J. Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2015, *The dependency between annual air temperature and solar activity. A case study of Warsaw in 1951-2010.*, *Miscellanea Geographica*, Wyd. WGR UW (w druku)
212. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2015, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce, t. XXXIII, 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. WGR UW, ss. 444.
213. Boryczka J. Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2015, *Weryfikacja prognoz okresowych zmian temperatury powietrza w Europie w XX-XXI wieku*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce, t. XXXIII, Zmiany wiekowe klimatu Europy z uwzględnieniem prognoz w XXI wieku i ich weryfikacja*, WGR UW, s. 310-340.
214. Boryczka J. Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2015, *The dependency between annual air temperature and solar activity. A case study of Warsaw in 1951-2010.*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce, t. XXXIII, Zmiany wiekowe klimatu Europy z uwzględnieniem prognoz w XXI wieku i ich weryfikacja*, Wyd. WGR UW, s. 376-388.

Prace popularnonaukowe, recenzje, wywiady

1. *Sputnik w meteorologii*, audycja radiowa, 30 XI 1963 r. o godz. 16.15, „Redakcja Przyrodnicza”, program II PR.
2. Brand J. C., 1972, *Introduction to the Solar Wind*, „Wiadomości Służby Hydrologicznej” t. VIII, z. 2, s. 72.
3. Fraser J. I., Haber F. C., Muller G. H., 1973, *The Study of Time*, „Przegląd Geofizyczny”, z. 3-4, s. 342-343.
4. Gerstenberger M., 1973, *Das Himmelsjahr, Sonne, Mond und Sterne in Jahr*, Stuttgart, t. XIX, z. 2, s. 170.
5. *Atlas Klimatyczny Polski*, 1974, „Przegląd Geofizyczny”, t. XIX, z. 3-4, s.258 (z M. Stopa-Boryczką).
6. Muller R., 1975, *Sonne, Satelliten, Kometen und Blitze*, „Wiadomości Meteorologii i Gospodarki Wodnej”, t. XXIII, z. 1, s. 66.
7. *Prognoza na 500 lat*, „Kurier Polski” z dni 10-13 IV 1982 r. (A. Market).
8. Reznikov A. P., 1983, *Priedskazaniye jestiestwiennych prociesow obuczajuszcziesja sistiemoj*, „Przegląd Geofizyczny”, t. XXVIII, z. 3-4, s. 448-450.
9. *Spokojne Słońce przyczyną mroźnej zimy*, „Głos Pomorza”, Koszalin-Słupsk, R. XXXV, nr 18, 22 01. 1987.
10. *Czy pogoda zwiariowała ?*, „Przegląd Reader's Digest”, grudzień 1997 (Anna Sobczyk).
11. *Stochastic Climate Models* (red. P. Imkeller J.-S. von Storch). „Progres in Probability”, vol. 49, Birkhauser Verlag, Bassel-Boston-Berlin 1999, ss. 398.

12. *Jak będą wyglądać Polska i Europa w wyniku globalnego ocieplenia*, „Przegląd”, 23 VI 2001 r., s. 22.
13. *Przyczyny zmian klimatu*, VI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 8.06. 2002, s. 26-29.
14. *50 lat działalności naukowej i dydaktycznej Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego*, VI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 8.06.2002, s. 10-15 (z M. Stopą-Boryczką).
15. *Klimat Europy w XVIII-XXI wieku*, VI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 8.06. 2002, s. 32-33.
16. *Dokumentacja historyczna prowadzonych pomiarów temperatury powietrza w Warszawie od 1779 roku*, VI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 8.06. 2002, s. 35-37 (z innymi autorami).
17. *Pole temperatury powietrza w Europie a typy cyrkulacji atmosferycznej*, VI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 8.06.2002, s. 55-57 (z innymi autorami).
18. *Przeszłość, teraźniejszość i przyszłość klimatu Europy*, VIII Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 22.05.2004, s.25-29 (z innymi autorami).
19. *Wprowadzenie, VIII Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS*, 22.05.2004, s. 7-9 (z M. Stopą-Boryczką).
20. *Tajemnice zimy. Będzie mróz za 50 lat. Tylko zimy żal*, „Super Express”, nr 1, 29-30 stycznia 2005 (rozmawiała Ewa Jabłońska).
21. *Cykliczne wahania temperatury i opadów w Polsce w XIX-XXI wieku*, X Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 3.06.2006, s. 49-54 (z innymi autorami).
22. *Prognozy pogody w przysłowiach i ich sprawdzalność w Polsce*, X Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 3.06.2006, s. 65-69 (z M. Stopą-Boryczką i M. Tońską).
23. *Wprowadzenie, X Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS*, 3.06.2006, s. 7-10 (z M. Stopą-Boryczką).
24. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w XVIII-XXI wieku i ich przyczyny*, XI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, s. 19-25 (z M. Stopą-Boryczką).
25. *Cykliczność i tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce*, XI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, s. 27-35 (z innymi autorami).
26. *Cykliczność i tendencje ciśnienia atmosferycznego w Polsce*, XI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, s. 37-43 (z innymi autorami).
27. *Okresowe zmiany opadów atmosferycznych w Polsce*, XI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, s. 43-48 (z innymi autorami).
28. *Tendencje i zmiany okresowe burz w Polsce*, XI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, s. 53-58 (z innymi autorami).
29. *Maksymalne dobowe sumy opadów atmosferycznych i częstość opadów 10 mm w Warszawie i Krakowie*, XI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, s. 59-62 (z innymi autorami).
30. *Liczba dni z pokrywą śnieżną w Warszawie i Krakowie*, XI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, s. 63-65 (z innymi autorami).
31. *Wprowadzenie, XI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS*, 26.05.2007, s. 7-9 (z M. Stopą-Boryczką).

Prace i Studia Geograficzne, t. 28, Wyd. UW – Str. 63-70, 1960-2001.

Prace i Studia Geograficzne, t. 47, Suplement, Wyd. WGSR UW – Str. 112-168, 1951-2011.

Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Bijak Sz., Cebulski R., Błażek E., Skrzypczuk J., 2007, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XX-XXI, *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych*, (red. M. Stopa-Boryczka), Wyd. UW, Warszawa – Spis publikacji, 1961-2007.