



# atlas

**WSPÓŁZALEŻNOŚCI  
PARAMETRÓW  
METEOROLOGICZNYCH  
I GEOGRAFICZNYCH  
W POLSCE**

**POSTĘP BADAŃ ZMIAN KLIMATU ZIEMI  
W OSTATNIM TYSIĄCLECIU (XI-XXI)**

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

**JERZY BORYCZKA, MARIA STOPA-BORYCZKA**

**XXXVI . THE ADVANCES IN THE RESEARCH ON CHANGES  
OF THE EARTH'S CLIMATE IN THE LAST  
MILLENNIUM (XI-XXI)**

# **atlas**

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

**Warszawa 2017**

**UNIWERSYTET WARSZAWSKI  
WYDZIAŁ GEOGRAFII I STUDIÓW REGIONALNYCH**

**JERZY BORYCZKA, MARIA STOPA-BORYCZKA**

**XXXVI. POSTĘP BADAŃ ZMIAN KLIMATU ZIEMI  
W OSTATNIM TYSIĄCLECIU (XI-XXI)**

# **atlas**

**WSPÓLZALEŻNOŚCI  
PARAMETRÓW  
METEOROLOGICZNYCH  
I GEOGRAFICZNYCH  
W POLSCE**

**Warszawa 2017**

Komitet Redakcyjny

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 2017

ISBN 978-83-63245-54-2

Druk i oprawa: Zakład Graficzny UW, zam. 675/2017

## SPIS TREŚCI

I.	WPROWADZENIE	5
II.	ZMIANY KLIMATU ZIEMI WEDŁUG CYKLI PARAMETRÓW ORBITY ELIP- TYCZNEJ (REKONSTRUKCJA OD 1 MILIONA LAT TEMU I PROGNOZA NA PRZYSZŁY 1 MILION LAT)	9
2.1.	Ważniejsze zdarzenia na Ziemi – sprzed 3 miliardów lat	9
2.2.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Ziemi (od -1 mln temu) według teorii M. Milankoviča	11
2.3.	Rekonstrukcja (od -1 mln lat temu) i prognoza (do 1 mln lat AD) zmian klimatu Ziemi według promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^{\circ}$ N	13
2.4.	Zmiany sum promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^{\circ}$ N w kolejnych miesiącach marzec, ..., wrzesień	23
III.	REKONSTRUKCJA (OD -500 000 LAT TEMU) I PROGNOZA ( DO 500 000 LAT AD) ZMIAN KLIMATU ZIEMI WEDŁUG IZOTOPU TLENU $\delta^{18}\text{O}$ W RDZENIACH LADOWYCH Z WYSPY DEVON I GRENLANDII ŚRODKOWEJ	31
3.1.	Rekonstrukcja (od -500 000 lat temu) i prognoza (do 500 000 lat AD) klimatu Półkuli Północnej według zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym z wyspy Devon	31
3.2.	Zmiany klimatu w ostatnich dwu tysiącleciach, z prognozą do roku 2500 według zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym z wyspy Devon	35
3.3.	Prognozy zmian klimatu w XXI-XXII wieku według zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniach lodowych z Grenlandii środkowej (1772-1986)	38
IV.	OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU EUROPY W HOLOCENIE I ICH PRZYCZYNY WEDŁUG SUBSTANCJI ORGANICZNYCH, WĘGLANÓW WAPNIA I TLENKÓW ŻELAZA ZDEPONOWANYCH W OSADACH JEZIOROBYCH	45
4.1.	Rekonstrukcja (od -25 000 BP) i prognoza (do 25 000 AD) klimatu Europy – według substancji organicznych zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego	45
4.2.	Rekonstrukcja (od -25 000 bp) i prognoza (do 25 000 ad) klimatu Europy – według substancji organicznych zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż	49
4.3.	Rekonstrukcja (od -25 000 BP) i prognoza (do 25 000 AD) klimatu Europy – według zawartości węglanu wapnia ( $\text{C}_2\text{CO}_3$ ) w osadach Jez. Gościąż (od -12 750 lat temu)	52
4.4.	Rekonstrukcja (od -25 000 BP) i prognoza (do 25 000 AD) klimatu Europy – według zawartości i tlenku żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) w osadach Jez. Gościąż (od -12 750 lat temu)	55
4.5.	Holocenijskie ochłodzenia i ocieplenia klimatu i ich przyczyny według izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym z wyspy Devon oraz składu chemicznego osadów w Jez. Wikaryjskim i Jez. Gościąż	58
V.	REKONSTRUKCJA ZMIAN KLIMATU EUROPY W DWÓCH OSTATNICH TYSIĄCLECIACH (0-XX) I PROGNOZA W XXI-XXV WEDŁUG DANYCH DENDROLOGICZNYCH	75
5.1.	Rekonstrukcja (od 0 n.e.) i prognoza (do roku 2 500) zmian klimatu Europy według przyrostów rocznych sosny <i>Pinus sylvestris</i> (3 drzew)	77
5.2.	Rekonstrukcja (od 0 n.e.) i prognoza (do roku 2 500) zmian klimatu Europy według przyrostów rocznych świerka <i>Picea abies</i> (3 drzew)	83
5.3.	Rekonstrukcja (od 0 n.e.) i prognoza (do roku 2 500) zmian klimatu Europy według przyrostów rocznych modrzewia <i>Larix decidua</i> i jodły <i>Abies alba</i>	89
5.4.	Rekonstrukcja (od 0 n.e.) i prognoza (do roku 2 500) zmian klimatu Europy według przyrostów rocznych 5 dębów <i>Quercus petraea</i> (4) i <i>Quercus robur</i> (1)	93
5.5.	Mroźne zimy w Europie w latach 681-2000 według minimów ( $d_{\min}$ ) grubości stojów drzew rosnących w Europie	103
5.6.	<i>Zależność szerokości stojów dębów w Polsce od temperatury powietrza i opadów atmosferycznych</i>	105
VI.	ANOMALIE TERMICZNE W EUROPIE WEDŁUG DANYCH METEOROLO- GICZNYCH, DENDROLOGICZNYCH I ŹRÓDEŁ HISTORYCZNYCH W DWÓCH TYSIĄCLECIACH (0 n.e. – XXI)	107
6.1.	Cykle 11, 100 i 180 lat temperatury powietrza, szerokości stojów drzew i aktywności Słońca	107
6.2.	Synchroniczne wahania temperatury powietrza, NAO, szerokości stojów drzew w Europie i aktywność Słońca	111

6.3	Synchroniczne wahania grubości słoju drzew w Europie, aktywności Słońca i momentu bezwładności $B_2$ planet Układu Słonecznego względem płaszczyzny ekliptyki	114
6.4.	Mroźne zimy w Warszawie w latach 1779-2015	119
6.5.	Mroźne zimy w Polsce w X-XVI wieku według źródeł historycznych	120
VII.	WERYFIKACJA PROGNOZ ZMIAN OSCYLACJI PÓŁNOCNOATLANTYCKIEJ (NAO) W LATACH 1998-2100 WEDŁUG POMIARÓW Z LAT 1825-1997 (ATLAS, T. XV, 2001)	125
7.1.	Kierunki adwekcji mas powietrza w Europie (typy cyrkulacji wg Wangenheima i Osuchowskiej-Klein)	125
7.2.	Zjawisko El Niño	129
7.3	Prognozy zmian Oscylacji Północnoatlantycznej (NAO) w XXI wieku według pomiarów z lat 1825-1997	130
7.4.	Weryfikacja prognoz zmian Oscylacji Północnoatlantycznej (NAO) w latach 1998-2100 według pomiarów z lat 1998-2015	134
VIII.	WERYFIKACJA PROGNOZ TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE W MIESIĄCACH, PORACH ROKU I ROKU W 35-LECIU 1981-2015 (1984) I 25-LECIU 1991-2015 (2000).	173
8.1.	Weryfikacja prognoz przebiegu rocznego temperatury powietrza w Warszawie w latach 1980-2100 wg modelu rekonstrukcyjno-prognostycznego (w 30-leciu 1981-2015)	173
8.2.	Weryfikacja prognoz przebiegu rocznego temperatury powietrza w Warszawie w latach 1991-2100 (w miesiącach, sezonach i roku) (w 25-leciu 1991-2015)	175
IX.	WERYFIKACJA PROGNOZ ZMIAN TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE W LATACH 1970- 2100 OPUBLIKOWANYCH W ATLASIE T. XVII (2003), T. XIX (2005), T. XX-XXI (2007)	199
9.1.	Weryfikacja prognoz zmian temperatury powietrza w: Anglii środkowej (1659-1993), Greenwich (1659-1969), Paryżu (1767-1995), Berlinie (1769-1990) i Warszawie (1779-1998, 1779-2002)	201
9.2.	Weryfikacja prognoz zmian temperatury powietrza w: Moskwie (1780-2002), Sztokholmie (1756-1994) i Zurychu (1864-1970)	241
9.3	Weryfikacja prognoz zmian temperatury powietrza w: Rzymie (1811-1989), Wiedniu (1775-2002) i Kijowie (1812- 2002)	266
X.	WERYFIKACJA PROGNOZ OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W WARSZAWIE W 30-LECIU 1981-2010 (1993) I 20- LECIU 1991-2010 ( 2000)	291
10.1.	Weryfikacja prognoz przebiegu rocznego opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1980-2100 według pomiarów z lat 1813-1979	291
10.2.	Weryfikacja prognoz opadów atmosferycznych w Warszawie na lata 1990-2100 – w 20-leciu 1990-2010 (z 2000)	297
XI.	NOWE PROGNOZY ZMIAN TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE W XXI WIEKU WEDŁUG POMIARÓW Z LAT 1779-2015	321
11.1.	Nowe prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie w kolejnych miesiącach w latach 2016-2100	322
11.2.	Nowe prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie w porach roku i roku w latach 2016-2100	358
XII.	ZAKONCZENIE	371
XIII.	LITERATURA	385
	ZJAWISKA POGODOWE W X-XVI WIEKU WEDŁUG KRONIK HISTORYCZNYCH	387
	WYKAZ PRAC MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII DOTYCZĄCYCH CYKLICZNOŚCI I TENDENCJI ZMIAN KLIMATU W EUROPIE (1984-2015)	393
	ZAŁĄCZNIK (SPIS PUBLIKACJI)	395

## I. WPROWADZENIE

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

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

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

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

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

Maksima przebiegów wiekowych (od -12 000 lat temu) substancji organicznych (%), węglanów wapnia ( $-\text{CaCO}_3$ ) i tlenku żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) w osadach Jez. Gościąż pokrywają się z „rozległym” maksimum sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień, wywołanego zmianami orbity Ziemi.

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

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



Istotne znaczenie dla wyjaśnienia przyczyn ochłodzeń i ociepleń klimatu w holoceenie ma wykrycie w widmach substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego i Jez. Gościąg oraz węglanów wapnia ( $C_aCO_3$ ) i tlenków żelaza ( $Fe_aO_2$ ) w osadach Jez. Gościąg (od 10 000 lat temu) zbliżonych okresów do cykli parametrów Układu Słonecznego.

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

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

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

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

W rozdziale XI. *Nowe prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie w XXI wieku według pomiarów z lat 1779-2015* opracowano rekonstrukcje (1700-1778) i nowe prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie w poszczególnych miesiącach, sezonach i roku w latach 2016-2100 na podstawie danych z lat 1779-2015. Jeżeli minimum lokalne widma oscylacji temperatury powietrza było poza przedziałem  $\Theta \geq 250$  lat, to w prognozach temperatury powietrza uwzględniono dodatkowo najdłuższy okres  $\Theta = 179$  lat (cykl astronomiczny).

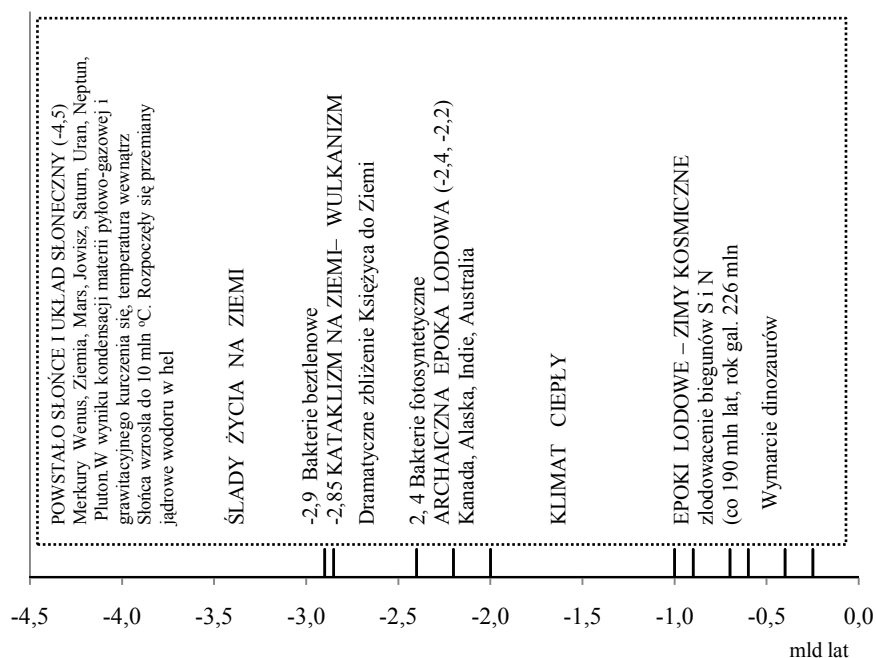
W *Zakończeniu* (rozd. XII) podano niektóre wyniki badań z zakresu zmian klimatu Ziemi i ich przyczyn (jego rekonstrukcji, weryfikacji prognoz), przedstawione w poszczególnych rozdziałach II-XI.

## II. ZMIANY KLIMATU ZIEMI WEDŁUG CYKLI PARAMETRÓW ORBITY ELIPTYCZNEJ (REKONSTRUKCJA OD 1 MILIONA LAT TEMU I PROGNOZA NA PRZYSZŁY 1 MILION LAT)

### 2.1. Ważniejsze zdarzenia na Ziemi – sprzed 3 miliardów lat

Do najważniejszych zdarzeń w historii Ziemi od 4,5 miliarda lat można zaliczyć ślady życia: 2,9 miliarda lat temu – bakterie beztlenowe, 2,4 – bakterie fotosyntetyczne (Boryczka 2001, rys.1).

Prawdopodobnie 2,9 miliarda lat temu wydarzył się na Ziemi kataklizm. Nie można wykluczyć dramatycznego zbliżenia Księżyca do Ziemi na odległość wynoszącą 1/3 dzisiejszej. Interesujące są wyniki badań skamielin koralowców archaicznych organizmów *stromatolites* (Panel i Mohr 1970, [w:] Czapiewska, Bielicki 1982). Zliczono przyrostyienne ich tkanki kostnej między kolejnymi maksimami, zależnymi od księżycowych pływów mórz. Okazało się, że 2,8 miliarda lat temu liczba dni słonecznych w miesiącu księżycowym zmniejszyła się do 18. (obecnie 29,5). Wtedy (2,9 miliarda lat temu) Księżyc osiągnął najmniejszą odległość od Ziemi – 20 promieni ziemskich (obecnie 60). Ciepło powstałe przy silnym tarcu pływowym Księżyca (27 razy większym) spowodowało archaiczny wulkanizm na Ziemi, a na Księżycu wypełnienie basenów magmą. Jeżeli istniało już na Ziemi życie, to wtedy mogło ono zostać zniszczone.



Rys. 1. Ważniejsze wydarzenia na Ziemi sprzed 3 miliardów lat temu

Fig. 1. The more important events on the Earth from three billion years ago

Z badań biologicznych wynika, że pierwsze ślady życia pochodzą sprzed 3,3-3,0 miliarda lat. Istnieje zbieżność dat, np. zaniku plutonu w skorupie ziemskiej 2,9-2,4

miliarda lat temu i archaicznego wulkanizmu – wysokiej temperatury (określonej przez geologów).

Około 2,3 miliarda lat temu aktywność wulkaniczna zmalała, a temperatura Ziemi znacznie się obniżyła. Nastąpiła pierwsza (archaiczna) epoka lodowa na Ziemi. Świadczą o tym charakterystyczne osady. Ich wiek określa się na 2,2-2,4 miliarda lat temu.

Ślady tego archaicznego zlodowacenia istnieją 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 milionów lat (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.

Nagle ocieplenie i zlodowacenie Ziemi sprzed 55 milionów lat temu prawdopodobnie spowodowały wymarcie dinozaurów.

Dokładniejsze metody datowań: skał, osadów głębokomorskich i rdzeni lodowych umożliwiły opracowanie skali czasu geologicznego. Czas geologiczny, uwzględniający chronologię najistotniejszych zdarzeń w historii Ziemi – jej zlodowaceń – podzielony został na cztery główne przedziały czasu - ery (Schönwiese, 1992):

Ery	Czas geologiczny w mln lat
Eozoik (Prekambr)	2300-570
Paleozoik	570-225
Mezozoik	225-65
Kenozoik	65-0

Niektóre ery zawierają po kilka okresów. Na przykład w erze kenozoicznej wyróżnia się: trzeciorzęd (3-2 mln lat wstecz) i czwartorzęd (< 2 mln lat wstecz), a w czwartorzędzie - plejstocen i holocen (początek 10 000 lat temu).

Zlodowacenie archaiczne doprowadziło do powstania pokryw lodowych w obszarach podbiegunowych obu półkul. Następnie przez ponad 1 miliard lat panował klimat ciepły. Kolejne epoki lodowe wystąpiły: 950, 750, 620, 440, 280, 3-2 (zlodowacenie czwartorzędowe) milionów lat temu. W ciągu ostatniego miliarda lat wystąpiło sześć wielkich epok lodowych w odstępach 200, 130, 180, 160, 272 milionów lat – średnio co 190 milionów lat.

Te okresowe epizody zlodowacenia Ziemi („zimy kosmiczne”) mogą być wywołane zmianami jasności Słońca pod wpływem jego dużych przyspieszeń w ruchu po galaktycznej orbicie. W lokalnym ruchu Słońca dookoła środka masy Układu Słonecznego przy niezbyt dużych przyspieszeniach, jasność Słońca zmienia się o 0,1%, a stała słoneczna w cyklu wiekowym o 0,4%.

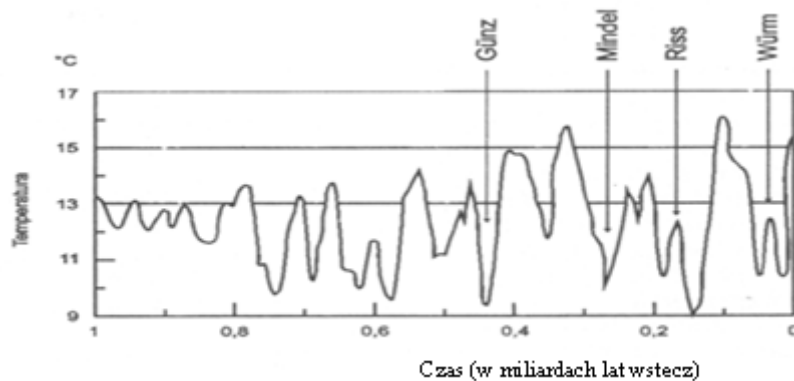
Pewna rozbieżność długości cykli zlodowaceń (130-272 miliardów lat) wynika prawdopodobnie z dryfu kontynentów (hipoteza A. Wegenera, 1921). Jeżeli podczas spadków jasności Słońca (stałej słonecznej) na biegunach przypadkowo znajdowały się kontynenty, to czas powstawania pokrywy lodowej (i ochładzania się) był krótki. Jeżeli natomiast na jednym z biegunów znajdowało się morze, to formowanie się pokrywy lodowej trwało znacznie dłużej.

Interesujące jest zlodowacenie Ziemi sprzed 440 milionów lat (ordowicko-sylurskie), którego ślady znaleziono na Saharze.

## 2.2. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Ziemi (od 1 miliona temu) według teorii M. Milankoviča

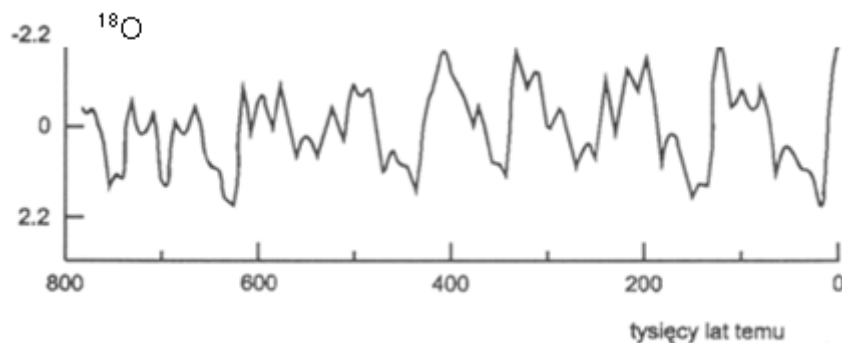
Od mniej więcej 2 milionów lat temu trwa epoka lodowa (czwartorzędu) - z pokrywą lodową znajdującą się na obu biegunach (na Antarktydzie i w Arktyce).

W ciągu ostatnich 2 milionów lat wystąpiło około 20 głównych ochłodzeń i 20 – ociepleń klimatu. Średni odstęp między ochłodzeniami (złodowaceniami Ziemi) wynosi 100 000 lat. Ich chronologię przedstawimy na podstawie rekonstrukcji paleotemperatury C. D. Schönwiese (1992) (rys. 2), krzywej zawartości izotopu tlenu  $^{18}\text{O}$  w osadach głębokomorskich, wg J. Imbrie i J. Z. Imbrie (1980) (rys. 3) i krzywej promieniowania słonecznego, wg M. Milankoviča (1930) (rys. 4).



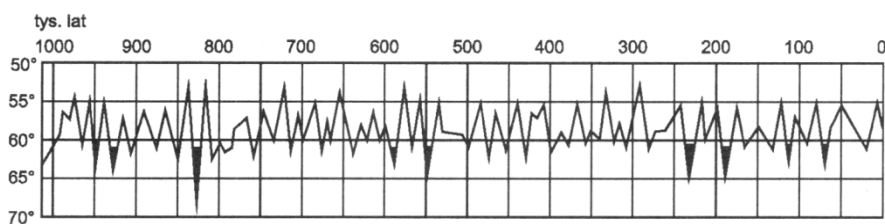
**Rys. 2.** Rekonstrukcja paleotemperatury na półkuli północnej w czasie ostatniego miliona lat wg C. D. Schönwiese (1992)

**Fig. 2.** Reconstruction of palaeotemperature within the northern hemisphere during the last million years after C. D. Schönwiese



**Rys. 3.** Krzywa zmian koncentracji izotopu tlenu  $^{18}\text{O}$  w osadach głębokomorskich w ciągu ostatnich 800 000 lat (wg J. Imbrie, J. Z. Imbrie, 1980)

**Fig. 3.** The curve of changes in the concentration of the oxygen isotope  $^{18}\text{O}$  in the deep sea sediments during the last 800,000 years (according to J. Imbrie, J. Z. Imbrie, 1990)



**Rys. 4.** Krzywa zmian promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ$  – w ekwiwalentnych stopniach szerokości geograficznej (wg M. Milankoviča, 1930)

**Fig. 4.** The curve of changes in solar radiation on the parallel of  $\varphi = 65^\circ$  – in the equivalent degrees of geographic latitude (after M. Milankovitch, 1930)

Oto daty czterech ostatnich zlodowaceń Ziemi:

C. D. Schönwiese	wg izotopu $^{18}\text{O}$	wg promieniowania	nazwa
400-350	650-630	610-550	Günz
320-270	480-430	475-400	Mindel
200-125	180-140	230-190	Riss
70-11	80-11	120-70	Würm

Zlodowacenia Ziemi, które wystąpiły w ciągu ostatniego miliona lat dobrze wyjaśnia teoria M. Milankoviča (1930). Wykazał on, że zmiany okresowe eliptycznej orbity Ziemi spowodowały znaczne spadki promieniowania słonecznego w dużych szerokościach geograficznych, zwłaszcza w obszarach okołobiegunowych. Zlodowacenia Ziemi były efektem nakładania się trzech długich cykli: 92 000 lat – mimośrodowość (ekscentryczności,  $e$ ) o amplitudzie 0-0,068, 40 000 lat – nachylenia płaszczyzny równika do ekliptyki ( $\varepsilon$ ) o amplitudzie  $21^\circ 58' - 24^\circ 36'$ , 21 000 lat – długości ekliptycznej linii absydów (peryhelium – aphelium) względem punktu barana (równonocy wiosennej). Ruch precesyjny punktów równonocnych po ekliptyce wynosi  $50,27''$ . Tak więc punkt barana obiega ekliptykę w czasie około 26 000 lat. Roczna precesję (luni-solarną i planetarną) określa łącznie wzór Newcomba-Andoera (1906). Na danej półkuli najkrótsza odległość Ziemi od Słońca przypada na tę samą porę roku nie co 26 000 lat, lecz po upływie 20 900 lat.

Okresami takich samych różnic fazowych maksimów (minimów) trzech cykli: długości ekliptycznej peryhelium ( $\Omega$ ) – 21 000 lat, kąta nachylenia ekliptyki do równika ( $\varepsilon$ ) – 40 000 lat i mimośrodowość orbity Ziemi ( $e$ ) – 92 000 lat są:

	$\Omega$	$\varepsilon$	$e$
$\Omega$	21 000	.	.
$\varepsilon$	44 210	40 000	.
$e$	21 211	70 769	92 000

Jeżeli np. kąt nachylenia płaszczyzny ekliptyki wynosi  $\varepsilon = 24^\circ 36'$ , gdy orbita Ziemi jest kołowa, to taka konfiguracja powtarza się po upływie 70 769 lat. Hipoteza Milankoviča miała początkowo wielu oponentów, którzy uważali, że ujemne anomalie promieniowania w lecie są kompensowane przez dodatnie – w zimie (Simpson, 1944)

i roczna insolacja nie ulega zmianie. Jest to jednak słuszne jedynie podczas równonocy wiosennej i jesiennej.

Teorię M. Milankoviča wielokrotnie sprawdzano, stwierdzając wahania mimośrodowości orbity 0,0007-0,0658, a nachylenia równika 22,068°-24,568° (Szaraf i Budnikowa, 1969). Autorzy przyznali, że nachylenie osi ziemskiej do ekliptyki warunkuje południkowy rozkład ciepła – strefowość klimatu.

Geologicznym uzasadnieniem teorii Milankoviča jest model E. V. Maksimova (1972) - rytmów przyrodniczych w czwartorzędzie. Na podstawie przebiegu czasowego wielu zjawisk: zasięgu i zaniku lodowców kontynentalnych i górskich, aktywności sejsmicznej, tektonicznej i wulkanicznej, zmiany poziomu oceanów, okresów wilgotnych i suchych ustala główny rytm o długości 40 700 lat (makroproces). Jest to okres wahań kąta nachylenia ekliptyki, od  $\varepsilon = 24^{\circ}36'$  do  $\varepsilon = 21^{\circ}58'$  - zmiany położenia zwrotników.

Teorię Milankoviča potwierdziły wyniki badań osadów głębokomorskich. J. D. Hays i inni (1976) ustalili cykliczne zmiany izotopu tlenu  $^{18}\text{O}$  zawartego w węglanach wapnia osadów morskich (100 000 lat, 42 000 lat, 23 000 lat) i kół podbiegunowych.

W czwartorzędzie, podczas czterech ostatnich zlodowaceń, zmiany nachylenia osi ziemskiej i kształtu eliptycznej orbity były największe. Wtedy węzły wstępujące orbit wszystkich planet, przechodzących przez płaszczyznę ekliptyki były w najmniejszej odległości kątowej od siebie.

### **2.3. Rekonstrukcja (od -1 mln lat temu) i prognoza (do 1 mln lat AD) zmian klimatu według promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^{\circ}\text{N}$**

W celu określenia przyczyn wahań klimatu Ziemi obliczono dobowe sumy promieniowania słonecznego  $I$  ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ) w lecie (VI-VIII) i w miesiącach marzec-wrzesień (III-IX) na górnej granicy atmosfery, wzdłuż równoleżnika  $\varphi = 65^{\circ}\text{N}$ .

W miejscu o szerokości geograficznej  $\varphi$  w czasie lokalnym  $t$  (kąt godzinny) na  $1\text{ m}^2$  płaszczyzny horyzontalnej (poza atmosferą) pada ilość energii, określona wzorem

$$I_0 = s \sin h = s (\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t),$$

gdzie  $s = 1354\text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  – tzw. stała słoneczna, tj. przy średniej odległości Ziemi od Słońca,  $\delta$  – deklinacja Słońca.

Dobowa suma energii słonecznej ( $I_D$ ) padająca na  $1\text{ m}^2$  powierzchni horyzontalnej poza atmosferą można obliczyć z wzoru:

$$I_D = \frac{86400}{\pi} s (D \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos D)$$

gdzie  $D$  – czas połowy dnia (od wschodu  $t_E = -D$  do górowania, lub od górowania  $t = 0$  do zachodu  $t_W = D$ ), wyrażony w radianach.

Jeżeli stałą słoneczną  $s$  (strumień energii słonecznej przy średniej odległości Ziemi od Słońca  $r$ ) wyrażamy w jednostkach:  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ , to obliczone wartości sum dobowych energii słonecznej będą wyrażone w:  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$ .

Długość połowy dnia  $D$  określa czas lokalny wschodu  $t_E = -D$  lub zachodu  $t_W = D$  Słońca, znajdującego się w płaszczyźnie horyzontu  $h = 0$ , np.:

$$\cos D = -\text{tg} \varphi \text{tg} \delta.$$

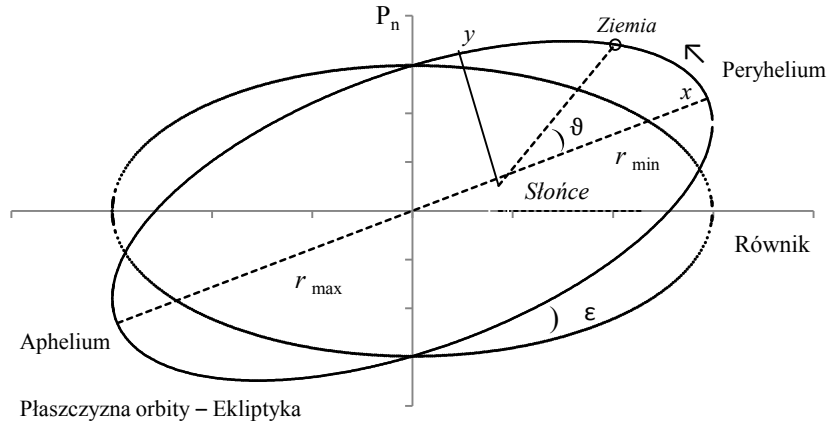
Efektom okresowych zmian mimośrodowości ( $e$ ) orbity Ziemi (co 100 000 lat) w przedziale 0-0,066 są zmiany stałej słonecznej ( $s$ ).

Równanie orbity eliptycznej Ziemi (krzywej stożkowej) we współrzędnych biegunowych ma postać

$$r = \frac{b^2}{a(1+e\cos\vartheta)}$$

gdzie:  $a = 149\,598\,000$  km – duża półoś,  $b$  – mała półoś.

Ruch Ziemi po orbicie eliptycznej wokół Słońca (położonego w jednym z ognisk elipsy) przedstawiono na rys.5.



Rys. 5. Orbita Ziemi  
Fig. 5. The orbits of Earth

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

Najkrótsza ( $r_{\min}$  – peryhelium,  $\vartheta = 0$ ) i najdłuższa ( $r_{\max}$  – aphelium,  $\vartheta = \pi$ ) odległość Ziemi od Słońca wynoszą:

$$r_{\min} = (1 - e) a, \quad r_{\max} = (1 + e) a$$

Wartości stałej słonecznej  $s$ , wyrażone w  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ , przy wartościach mimośrodów:  $e = 0$ ,  $e = 0,017$  (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.1).

**Tabela 1.** Ekstremalne odległości Ziemi od Słońca ( $r_{\min}$  – peryhelium,  $r_{\max}$  – aphelium) i wartości stałej słonecznej ( $S$ ) przy różnych wartościach mimośrodów 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, W·m <sup>-2</sup>	
	$r_{\min}$	$r_{\max}$	$S_{\max}$	$S_{\min}$
0	149 598 000	149 598 000	1354	1354
0,017	147 055 000	152 141 000	1401	1309
0,066	139 725 000	159 471 000	1552	1191

Zmienia się więc ilość promieniowania krótkofalowego padającego na płaszczyznę poziomą (równoległą do płaszczyzny horyzontalnej) poza atmosferą – jego rozkład na Ziemi.

Należy zauważyć, że zmiany wielowiekowe kąta nachylenia płaszczyzny ekliptyki do równika ( $\varepsilon$ ), które opisane są wzorami: 1. – J. Witkowski (1953) i 2. – Astronomi-czeskiej Eżegodnik (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  $\varepsilon$  zmniejsza się od wielu tysięcy lat (potwierdzają to dawne obserwacje) i będzie nadal malał w ciągu najbliższych tysięcy lat. Z analiz teoretycznych wynika, że zmiany  $\varepsilon$  w czasie są okresowe - o bardzo dużym okresie.

Mimośród orbity Ziemi także maleje i osiągnie wartość najmniejszą  $e = 0$  po upływie 23 500 lat.

Najkrótsza odległość Ziemi od Słońca (peryhelium) przypada obecnie na zimę (2 styczeń), a za 10 500 lat (połowa okresu 21 000 lat) przypadać będzie na lato.

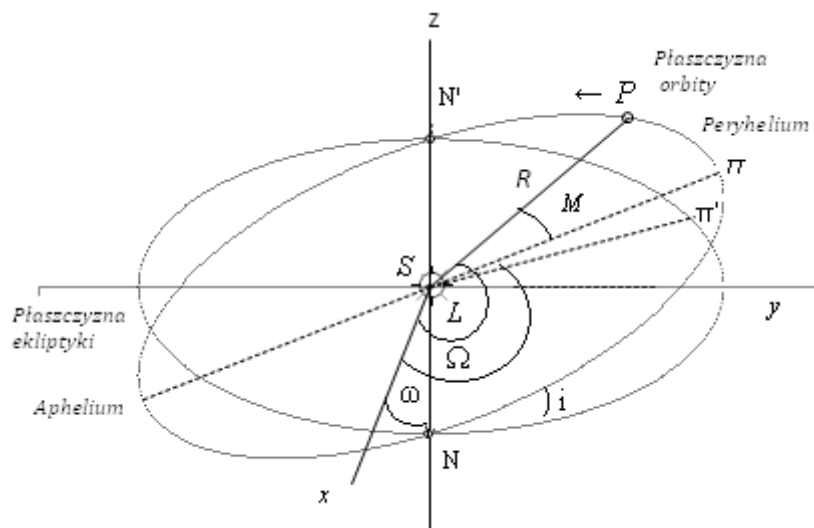
Zmiany długości ekliptycznej peryhelium Ziemi ( $\Omega$ ) można też zapisać:

$$\Omega = 101^{\circ}22'08{,}33 + 1{,}719175 t + 0{,}0004527 t^2 + 0{,}0000033 t^3$$

gdzie jednostką czasu jest wiek juliański (100 lat = 36 525 dni).

Współrzędne ekliptyczne Ziemi ( $x, y, z$ ) wyznaczono, korzystając z wielomianów przedstawiających zmiany elementów orbity Ziemi:  $a$  – duża półoś elipsy,  $e$  – mimo-śród,  $i$  – nachylenie płaszczyzny orbity do płaszczyzny ekliptyki,  $\Omega$  – długość ekliptyczna peryhelium,  $\omega$  – długość ekliptyczna węzła wstępującego planety,  $L$  – długość ekliptyczna planety (rys. 6) ( Reznikov 1982).





Rys. 6. Parametry orbity planety (P), π – peryhelium  
 Fig. 6. Parameters of planet's orbit (P), π – peryhelium

Płaszczyznę orbity Ziemi  $i = 0$  (płaszczyznę ekliptyki) przyjęto jako płaszczyznę główną  $x, y$  ekliptycznego heliocentrycznego układu współrzędnych.

Współrzędne orbitalne planet  $x', y'$  określają wzory:

$$x' = a (\cos E - e), \quad y' = a \sqrt{1 - e^2} \sin E,$$

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 (z wzorów trygonometrii sferycznej) 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 wyznaczano w jednostkach astronomicznych z dokładnością 0,00001 AU. Współrzędne planet obliczono z podwojoną precyzją – np.  $\pi = 3,141592653589793$  (anomalię ekscentryczną  $E$  – z dokładnością 0,00001).

W przypadku Ziemi (Boryczka 1998) wynoszą:

$$\begin{aligned} L &= 99^\circ 41' 48,04'' + 129602768,13'' t + 1,089'' t^2 \\ \Omega &= 101^\circ 13' 15,0'' + 6189,03'' t + 1,63'' t^2 + 0,012'' t^3 \\ \omega &= 0 \\ i &= 0 \\ \varepsilon &= 0,01675104 - 0,00004180 t + 0,000000126 t^2 \\ a &= 1,00000013 \end{aligned}$$

Są to empiryczne zależności elementów orbit od czasu  $t$  (wielomiany względem czasu  $t$ ). Data 1900 (styczeń 0,5) jest początkiem osi czasu  $t = 0$ , a wiek juliański (100 lat) jednostką czasu –  $t = \frac{1}{365,25} (t_j - 2415020)$ , gdzie  $t_j$  jest aktualną datą juliańską.

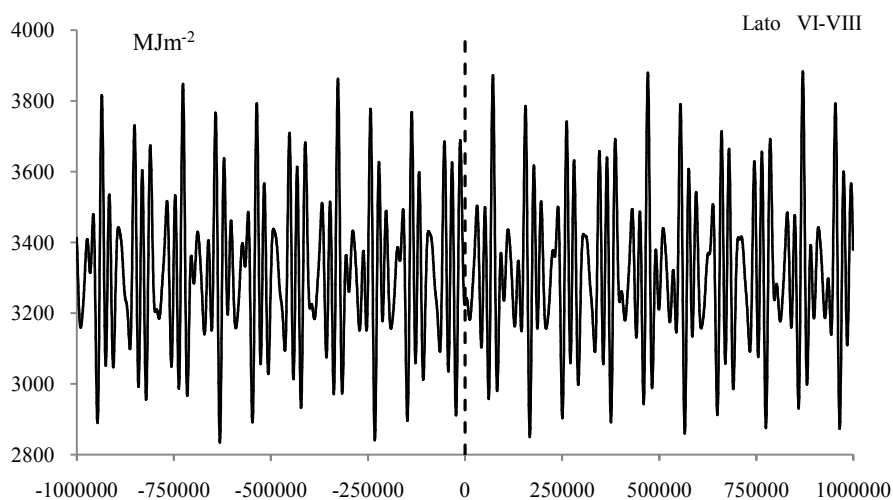
W obliczeniach przyjęto miesięczny odstęp czasu  $\Delta t = \frac{1}{1200}$  (miesiąc juliański). i czas  $t = \frac{1}{100} (Data - 1900) + \frac{14,5}{36525}$

W obliczeniach sum promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ$  przyjęto zakres zmian i długości cykli: 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 oraz długości ekliptycznej peryhelium względem punktu równonocy wiosennej ( $\Omega$ ) – 21 000 lat.

Obliczenia sum promieniowania słonecznego w poszczególnych miesiącach w przedziale czasu  $-10\ 000 \leq t \leq 10\ 000$  z odstępem 5 (500 lat, jednostką czasu  $t$  jest 100 lat) wykonano z zastosowaniem programu Excel 2007 według wyznaczonych wzorów:

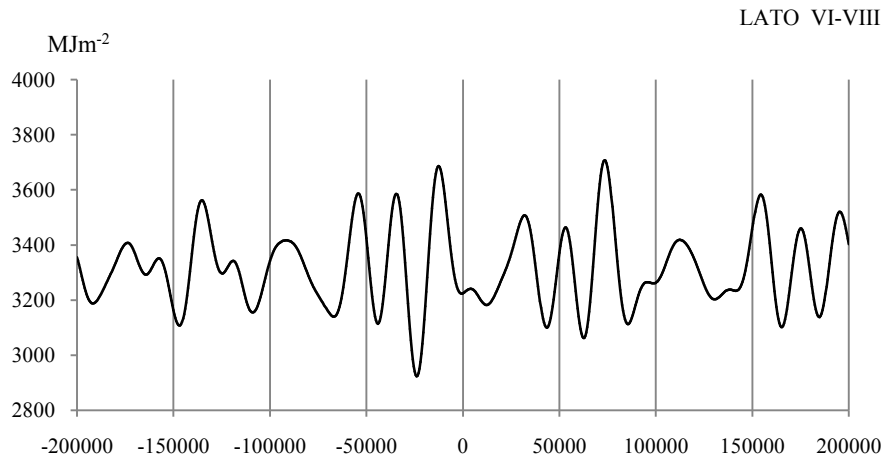
$$\begin{aligned} \delta &= 23,28335 + 1,31665 \sin(3,02667 + 2\pi t / 400) \\ e &= 0,033 + 0,033 \sin(3,65646 + 2\pi t / 1000) \\ I_D &= \frac{86400}{\pi} s(D \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos D), \quad \cos D = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta. \\ r &= 10^{-6} \cdot 149598000 (1 - e^2)(1 + e \cos(3,6652 + 2\pi t / 210))^{-1} \\ I &= I_0 (149,598 / r)^2 \end{aligned}$$

Zmiany sum promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ$  w lecie (VI-VIII) i w okresach maj-lipiec (V-VII) oraz marzec-wrzesień (III-IX) w przedziale czasu:  $-1000\ 000 \leq t \leq 1000\ 000$  lat i  $-100\ 000 \leq t \leq 100\ 000$  lat przedstawiono na rys. 7-11 i rys. 13-18.



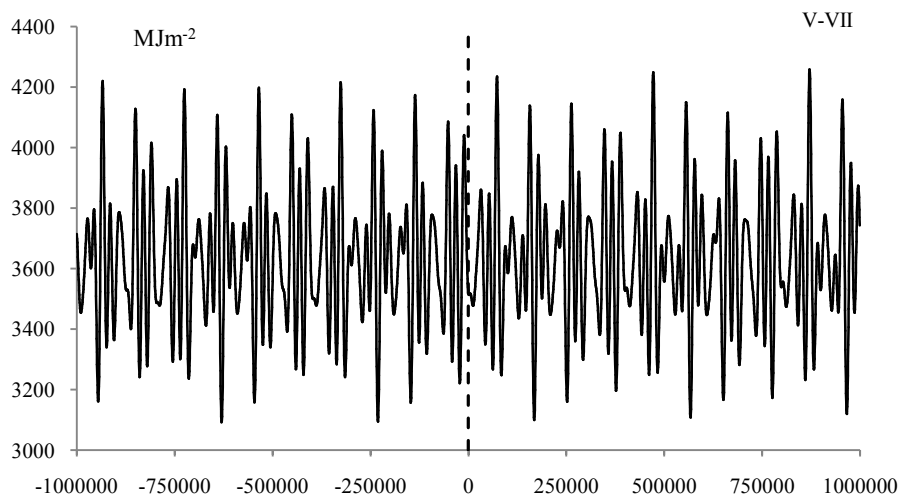
**Rys. 7.** Zmiany dobowych sum promieniowania słonecznego w lecie (VI-VIII) na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich 1000 000 lat, z prognozą do 1000 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 7** Changes in the daily sums of solar radiation in summer at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last 1000 000 years, with a forecast up 1000,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )



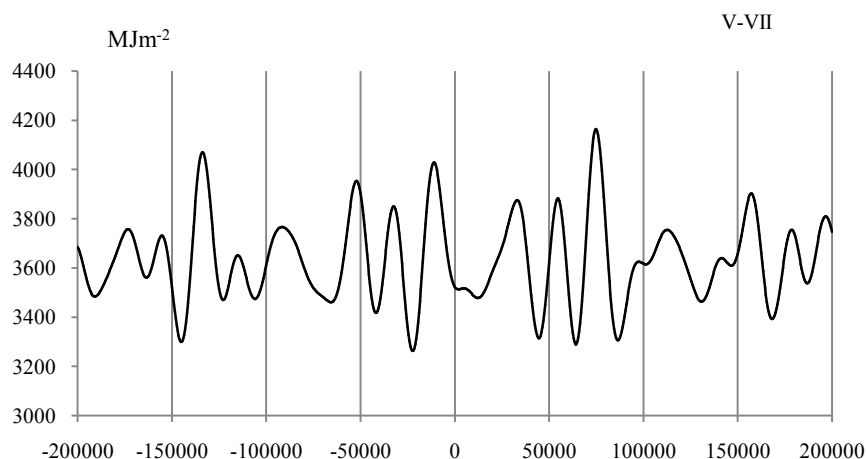
**Rys. 8.** Zmiany dobowych sum promieniowania słonecznego w lecie (VI-VIII) na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich 200 000 lat, z prognozą do 200 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 8.** Changes in the daily sums of solar radiation in summer at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last 200 000 years, with a forecast up 200,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )



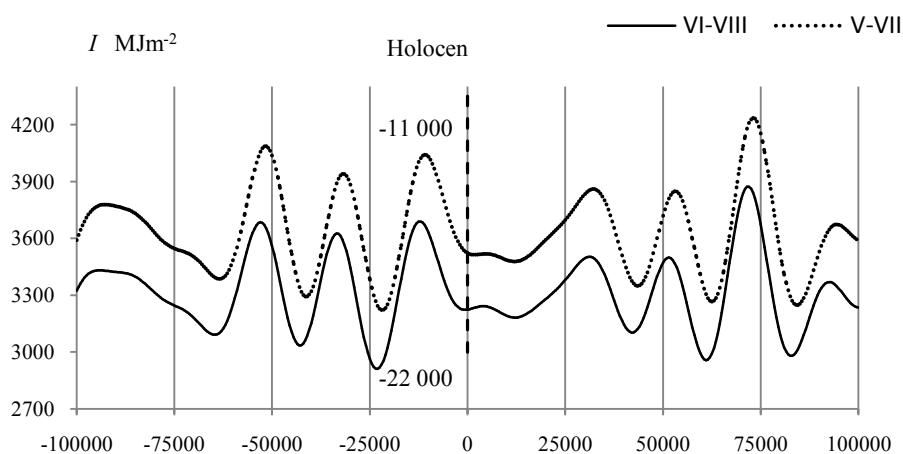
**Rys. 9.** Zmiany sum promieniowania słonecznego w okresie maj-lipiec na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich 1000 000 lat, z prognozą do 1 000 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 9.** Changes in the sums of solar radiation in the period May-July at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last 1000 000 years, with a forecast up 1 000,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )



**Rys. 10.** Zmiany sum promieniowania słonecznego w okresie maj-lipiec na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich 200 000 lat, z prognozą do 200 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

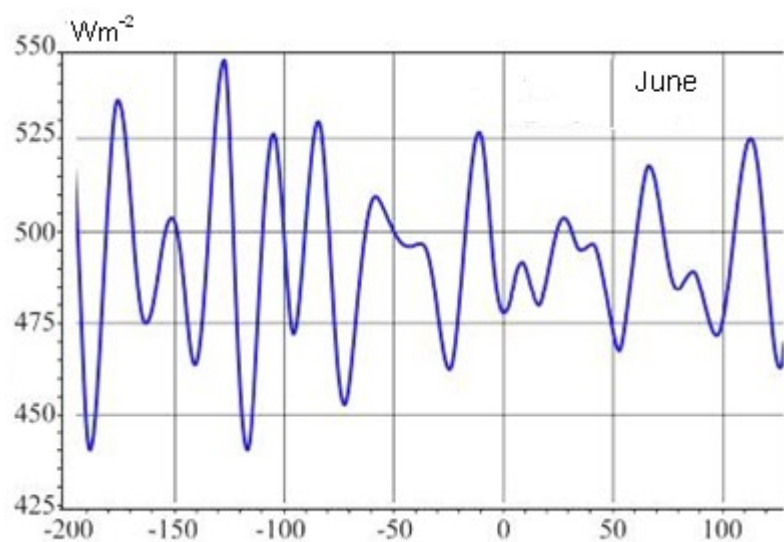
**Fig.10.** Changes in the sums of solar radiation in the period May-July at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last 200 000 years, with a forecast up 200,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )



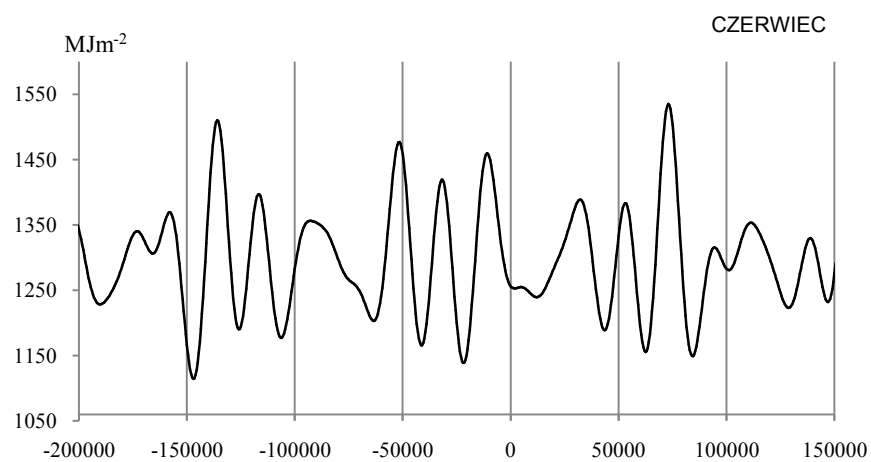
**Rys. 11.** Zmiany sum promieniowania słonecznego w lecie i w okresie maj-lipiec na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich 1000 000 lat, z prognozą do 1 000 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 11.** Changes in the sums of solar radiation in Summer and the period May-July at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last 1000 000 years, with a forecast up 1 000,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )

Zbliżone są wahania średniego nasłonecznienia ( $\text{Wm}^{-2}$ ) w czerwcu w szerokości geograficznej  $65^\circ \text{N}$  za ostatnie 200 tys. lat i na następne 130 tys. lat; zamieszczonego w publikacjach ( Berger, 1978 i Berger, Loutre, 1997)(rys. 12) i obliczonych obecnie miesięcznych sum promieniowania słonecznego ( $\text{MJm}^{-2}$ ) w czerwcu w szerokości geograficznej  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  (rys. 13)

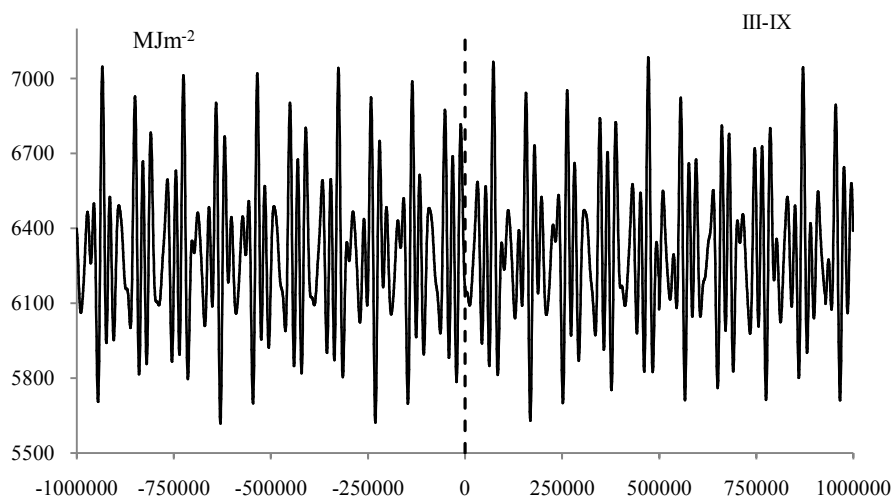


**Rys. 12.** Średnie nasłonecznienie w czerwcu dla szerokości geograficznej 65 N za ostatnie 200 tys. lat i na następne 130 tys. lat; [ źródło; Berger, 1978; Berger, Loutre, 1997]



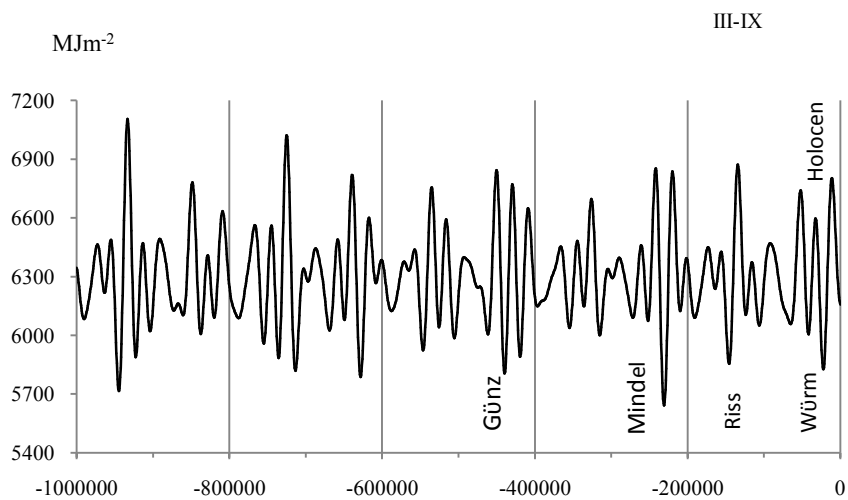
**Rys. 13.** Zmiany sum promieniowania słonecznego w czerwcu (VI) na równoleżniku  $\phi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich -200 000 lat, z prognozą do 150 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 13.** Changes in the sums of solar radiation in June at the latitude  $\phi = 65^\circ \text{N}$  in the last -200 000 years, with a forecast up 150,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )



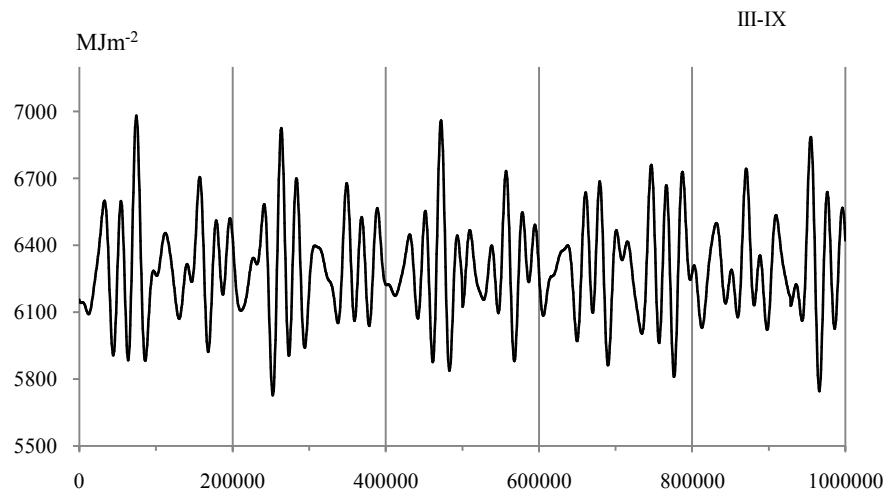
**Rys. 14.** Zmiany sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich 1000 000 lat, z prognozą do 1 000 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 14.** 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,  $t = 0$ )



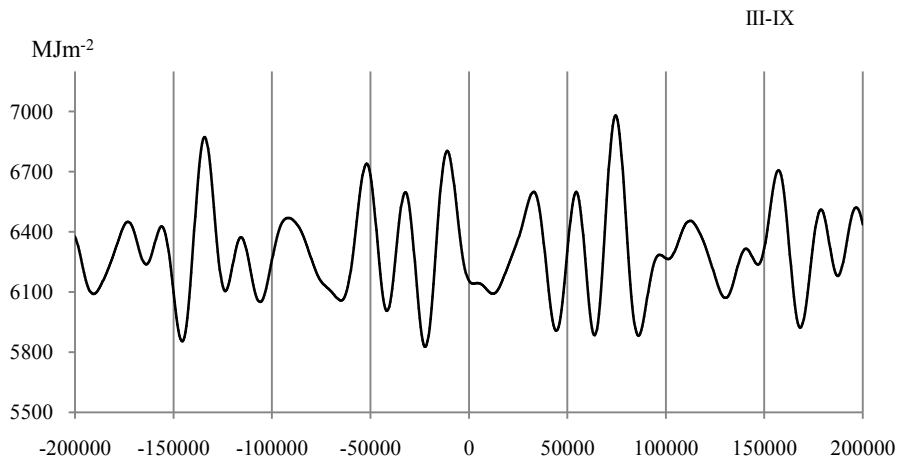
**Rys. 15.** Zmiany sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich 1000 000 lat, (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 15.** 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, (1900 AD,  $t = 0$ )



**Rys. 16.** Zmiany sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  z prognozą do 1 000 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 16.** Changes in the sums of solar radiation in the period March-September at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$ , with a forecast up 1 000,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )

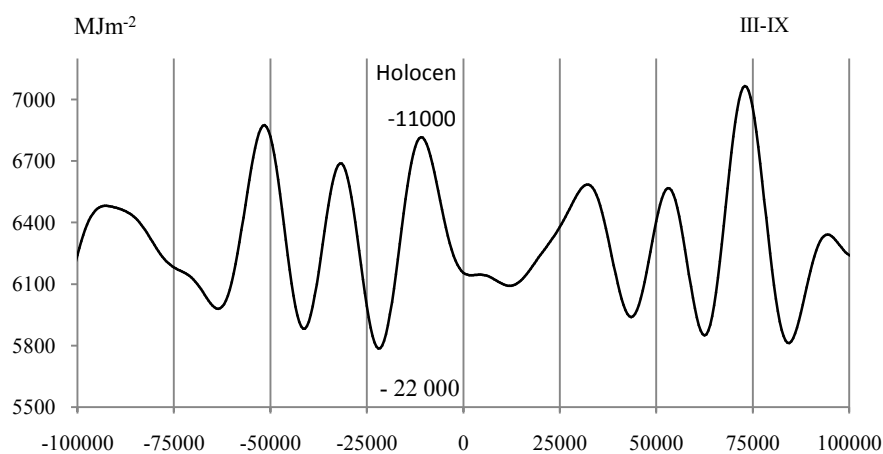


**Rys. 17.** Zmiany sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich 200 000 lat, z prognozą do 200 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 17.** Changes in the sums of solar radiation in the period March-September at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last 200 000 years, with a forecast up 200,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )

Najkrótsza odległość Ziemi od Słońca przypada na tę samą porę roku co 20 900 lat. Jeżeli Ziemia podczas zimy znajduje się np. w peryhelium orbity (o 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  $24^\circ 36'$ .

Ostatnie głębokie minimum sum promieniowania słonecznego (w miesiącach marzec-wrzesień  $5784,871 \text{ MJm}^{-2}$ ) wystąpiło w czasie ostatniego zlodowacenia ( $t_{\min} = -22000$  lat. Natomiast ostatnie lokalne (rozległe) maksimum sum promieniowania słonecznego („o wierzchołku  $t_{\max}, I_{\max}$ ”) określa holocenjskie ocieplenie klimatu: w okresie III-IX ( $6815,937 \text{ MJm}^{-2}$ ) – przypada na datę  $-11\ 000$  lat BP (rys.18),



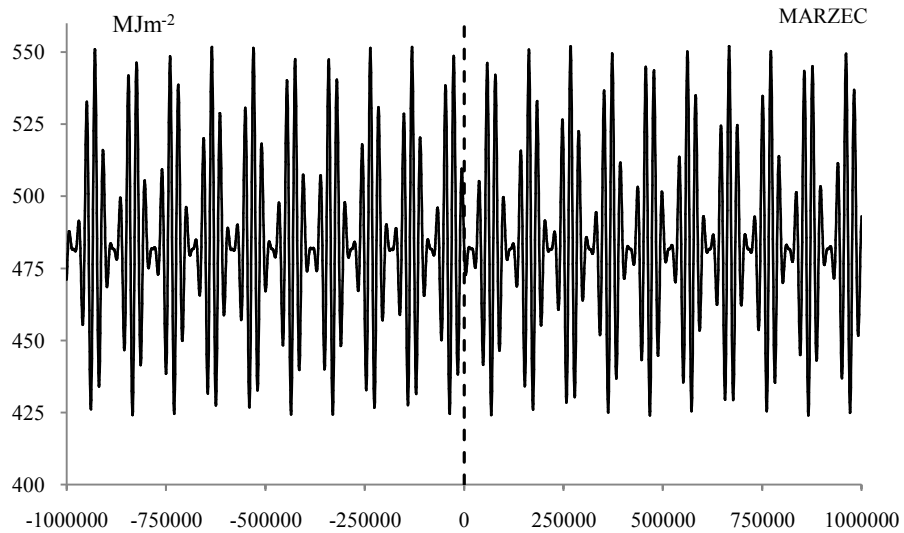
**Rys. 18.** Zmiany sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{ N}$  w ciągu ostatnich 100 000 lat, z prognozą do 100 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 18.** Changes in the sums of solar radiation in the period March-September at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{ N}$  in the last 100 000 years, with a forecast up 1 00,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )

#### 2.4. Zmiany sum promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^\circ \text{ N}$ w kolejnych miesiącach marzec, ... , wrzesień

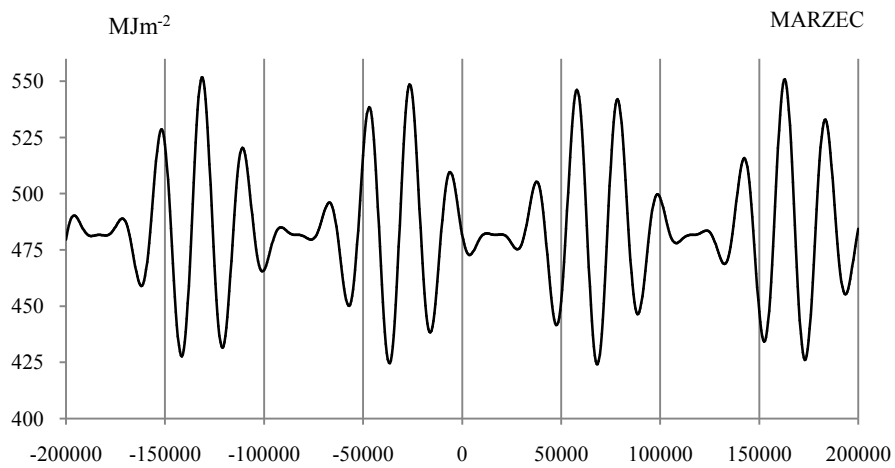
Zmiany miesięcznych sum promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ$  w kolejnych 7 miesiącach od marca do września w przedziale czasu:  $-1000\ 000 < t < 1000\ 000$  lat i  $-100\ 000 < t < 100\ 000$  lat przedstawiono na rys. 19-32.





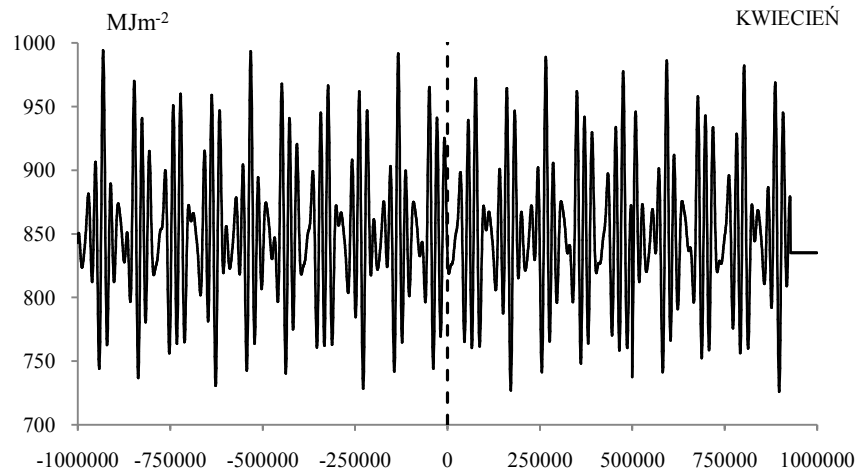
**Rys. 19.** Zmiany dobowych sum promieniowania słonecznego w marcu (III) na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich 1000 000 lat, z prognozą do 1000 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 19.** Changes in the daily sums of solar radiation in March at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last 1000 000 years, with a forecast up 1000,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )

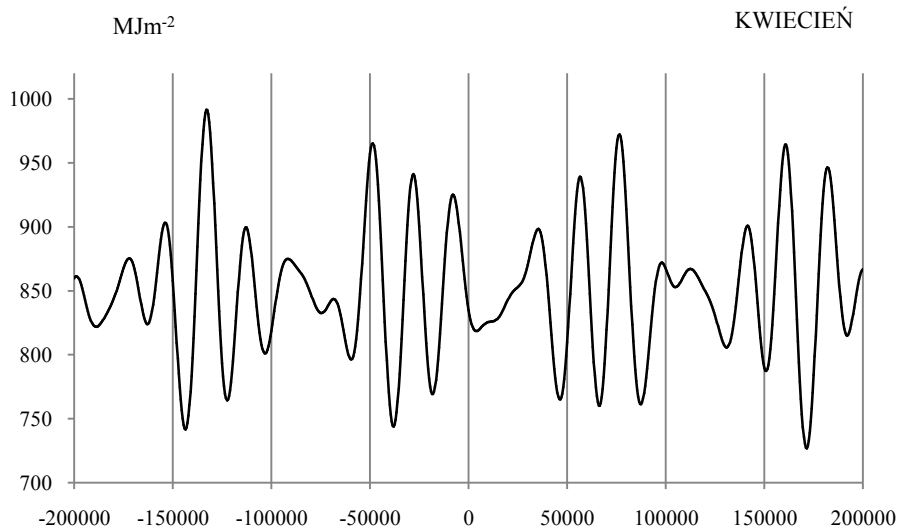


**Rys. 20.** Zmiany dobowych sum promieniowania słonecznego w marcu (III) na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich -200 000 lat, z prognozą do 200 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

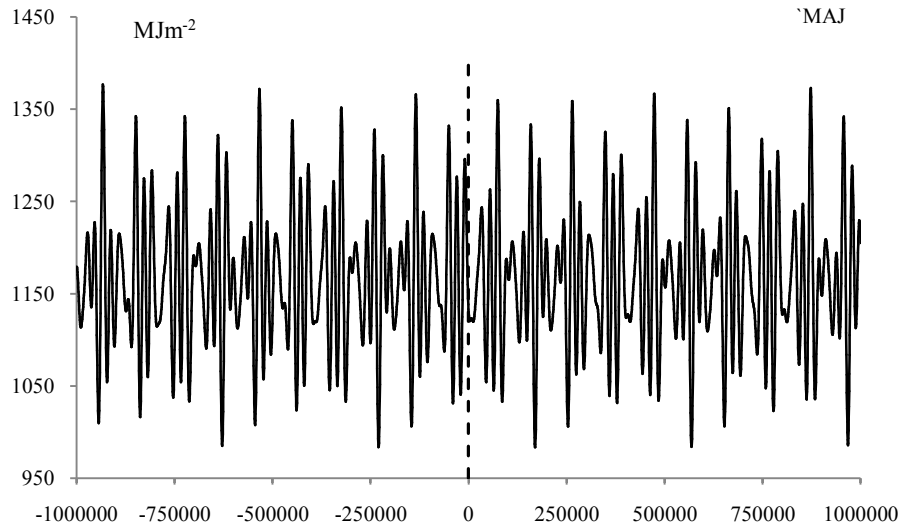
**Fig. 20.** Changes in the daily sums of solar radiation in March at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last -200 000 years, with a forecast up 200,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )



**Rys. 21.** Zmiany dobowych sum promieniowania słonecznego w kwietniu (IV) na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich -1000 000 lat, z prognozą do 1000 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )  
**Fig. 21.** Changes in the daily sums of solar radiation in April at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last -1000 000 years, with a forecast up 1000,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )

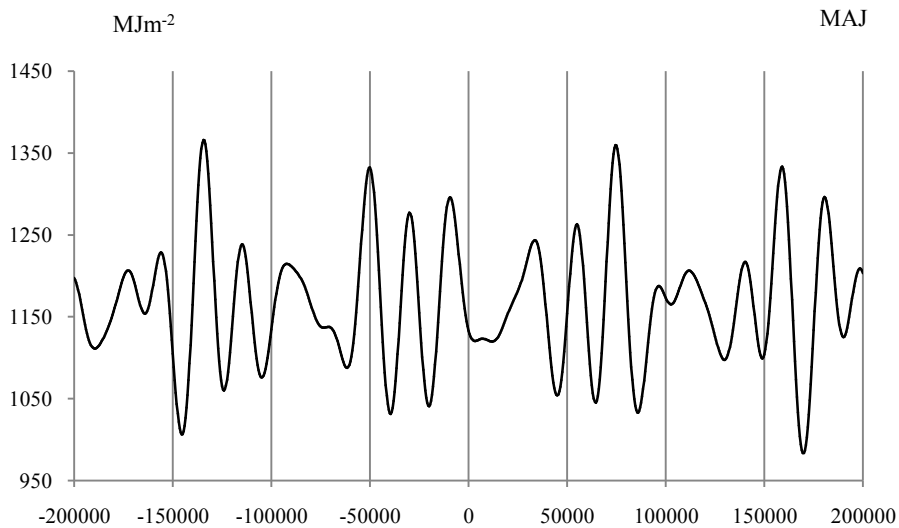


**Rys. 22.** Zmiany dobowych sum promieniowania słonecznego w kwietniu (IV) na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich -200 000 lat, z prognozą do 200 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )  
**Fig. 22.** Changes in the daily sums of solar radiation in April at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last -200 000 years, with a forecast up 200,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )



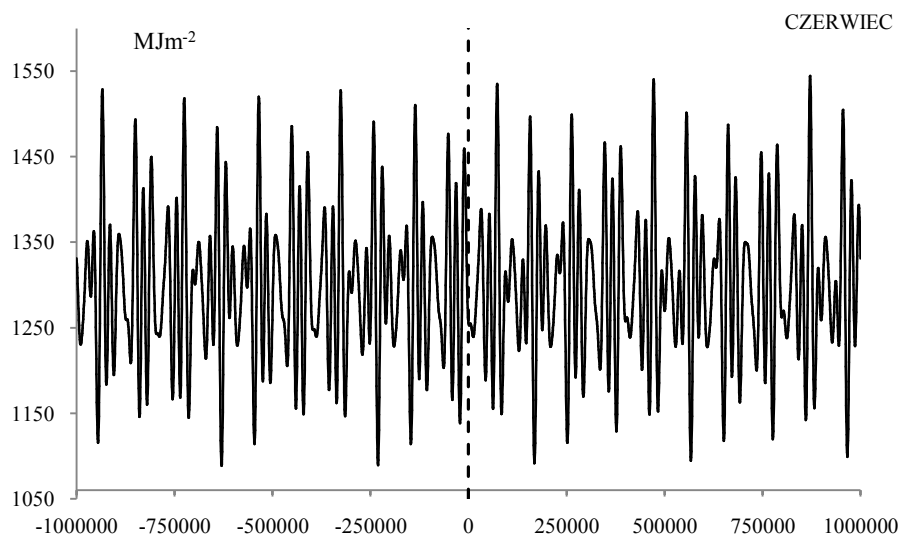
**Rys. 23.** Zmiany dobowych sum promieniowania słonecznego w maju ( $V$ ) na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ N$  w ciągu ostatnich 1000 000 lat, z prognozą do 1000 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 23.** Changes in the daily sums of solar radiation in May at the latitude  $\varphi = 65^\circ N$  in the last 1000 000 years, with a forecast up 1000,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )



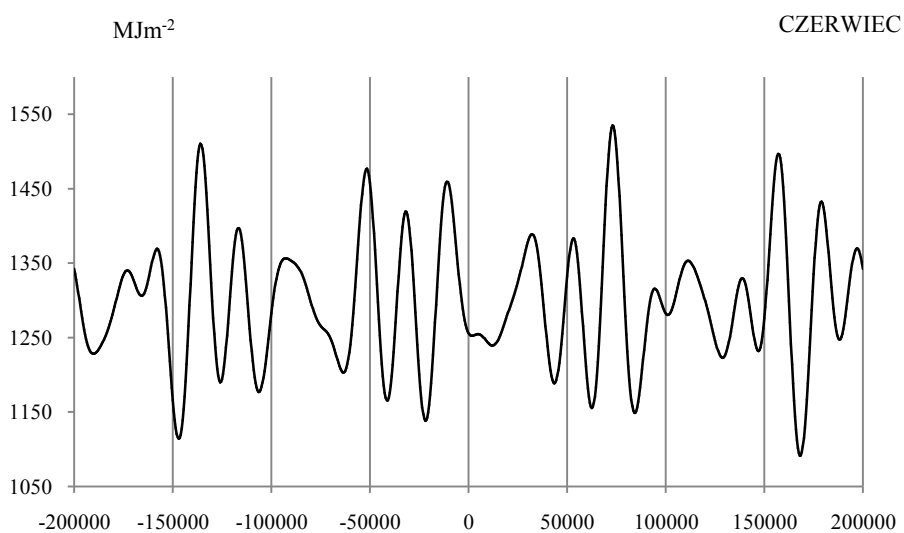
**Rys. 24.** Zmiany dobowych sum promieniowania słonecznego w maju ( $V$ ) na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ N$  w ciągu ostatnich -100 000 lat, z prognozą do 1000 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 24.** Changes in the daily sums of solar radiation in May at the latitude  $\varphi = 65^\circ N$  in the last -100 000 years, with a forecast up 1000,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )



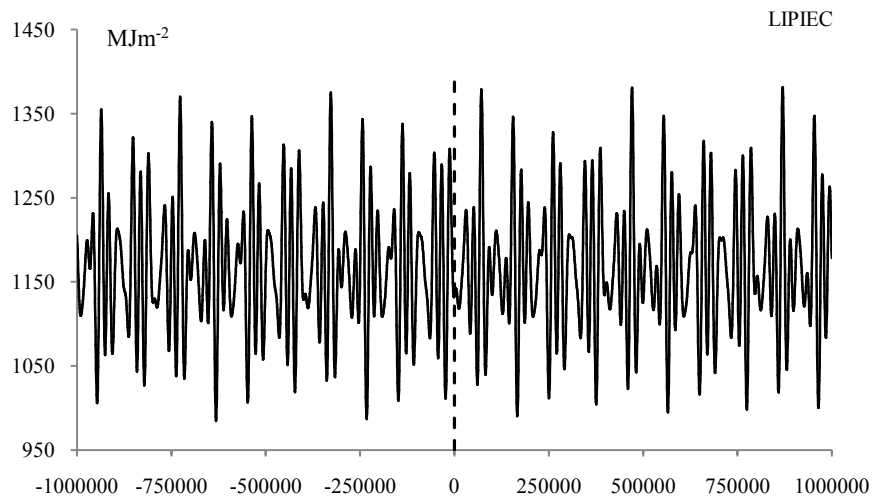
**Rys. 25.** Zmiany dobowych sum promieniowania słonecznego w czerwcu (VI) na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich 1000 000 lat, z prognozą do 1000 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 25.** Changes in the daily sums of solar radiation in June at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last 1000 000 years, with a forecast up 1000,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )

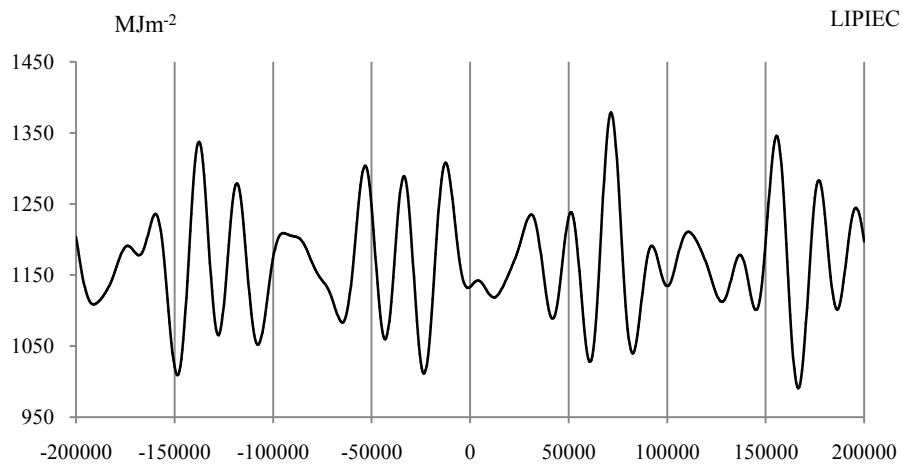


**Rys. 26.** Zmiany dobowych sum promieniowania słonecznego w czerwcu (VI) na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich 200 000 lat, z prognozą do 200 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

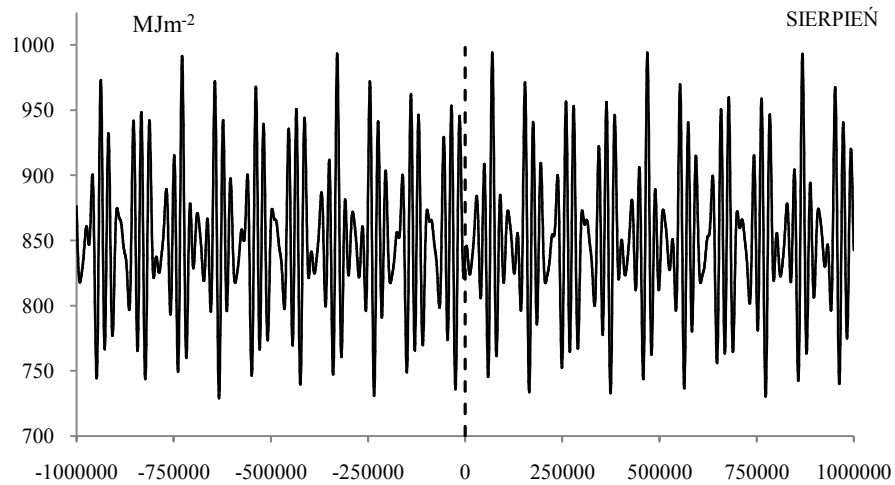
**Fig. 26.** Changes in the daily sums of solar radiation in June at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last 200 000 years, with a forecast up 200,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )



**Rys. 27.** Zmiany dobowych sum promieniowania słonecznego w lipcu (VII) na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich -1000 000 lat, z prognozą do 1000 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )  
**Fig. 27.** Changes in the daily sums of solar radiation in July at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last -1000 000 years, with a forecast up 1000,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )

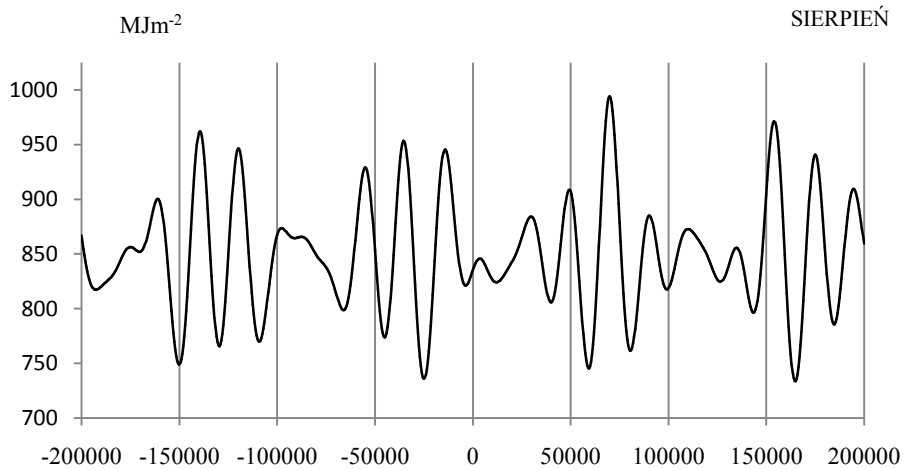


**Rys. 28.** Zmiany dobowych sum promieniowania słonecznego w lipcu (VII) na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich -200 000 lat, z prognozą do 200 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )  
**Fig. 28.** Changes in the daily sums of solar radiation in July at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last -200 000 years, with a forecast up 200,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )



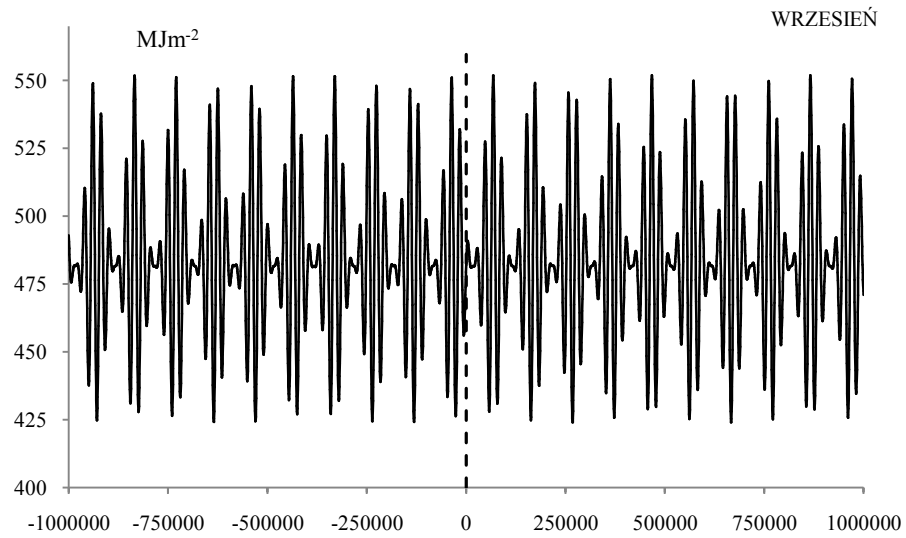
**Rys. 29.** Zmiany dobowych sum promieniowania słonecznego w sierpniu (VIII) na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich -1000 000 lat, z prognozą do 1000 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 29.** Changes in the daily sums of solar radiation in August at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last -1000 000 years, with a forecast up 1000,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )



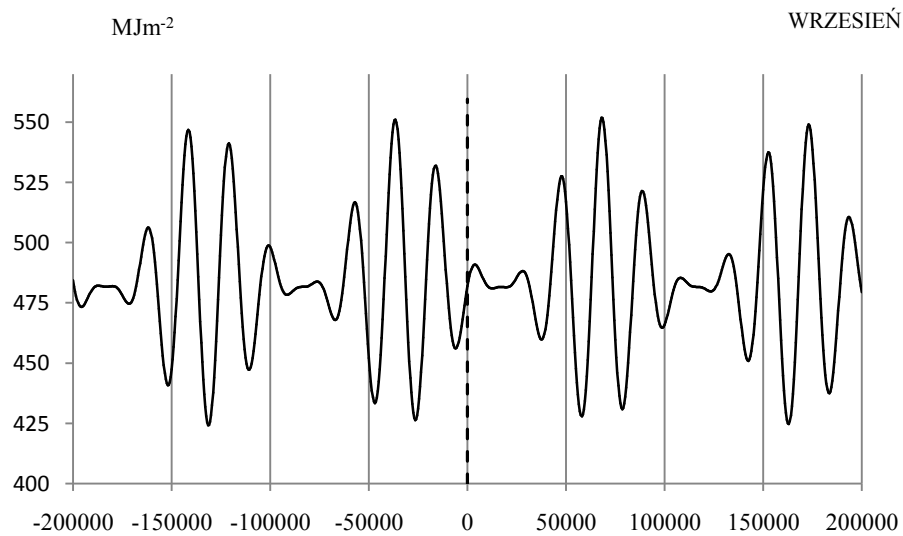
**Rys. 30.** Zmiany dobowych sum promieniowania słonecznego w sierpniu (VIII) na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich -200 000 lat, z prognozą do 200 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 30.** Changes in the daily sums of solar radiation in August at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last -200 000 years, with a forecast up 200,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )



**Rys. 31.** Zmiany dobowych sum promieniowania słonecznego we wrześniu (IX) na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich - 1000 000 lat, z prognozą do 1000 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 31.** Changes in the daily sums of solar radiation in September at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last -1000 000 years, with a forecast up 1000,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )



**Rys. 32.** Zmiany dobowych sum promieniowania słonecznego we wrześniu (IX) na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich - 200 000 lat, z prognozą do 200 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 32.** Changes in the daily sums of solar radiation in September at the latitude  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last -200 000 years, with a forecast up 200,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )

### III. REKONSTRUKCJA (OD -500 000 LAT TEMU) I PROGNOZA (DO 500 000 AD) ZMIAN KLIMATU ZIEMI WEDŁUG IZOTOPU TLENU $\delta^{18}\text{O}$ W RDZENIACH LODOWYCH Z WYSPI DEVON I GRENLANDII ŚRODKOWEJ

#### 3.1. Rekonstrukcja (od -500 000 lat temu) i prognoza (do 500 000 lat AD) klimatu Półkuli Północnej według zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym z wyspy Devon

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 (od  $t = -110\,980$  BP) z wyspy Devon (w Arktyce Kanadyjskiej), pochodzi z parowania ciężkiej wody ( $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ) z oceanów – większego podczas ociepleń (rys. 1).

Widmo i okresy średnich rocznych wartości wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O} < 0$  (‰) w rdzeniu lodowych z wyspy Devon (w Arktyce Kanadyjskiej), wyznaczono metodą sinusoid regresji J. Boryczki (1998) z odstępem  $\Delta\Theta = 100$  lat:

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

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

Widmo oscylacji i okresy wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O} < 0$  (‰) otrzymano na podstawie rdzenia lodowego z wyspy Devon (w Arktyce Kanadyjskiej) (rys.1).

Widmo oscylacji wskaźnika  $\delta^{18}\text{O}$  w przedziałach  $0 < \Theta < 40\,000$  i  $40\,000 < \Theta < 120\,000$  lat przedstawiono na rys. 2

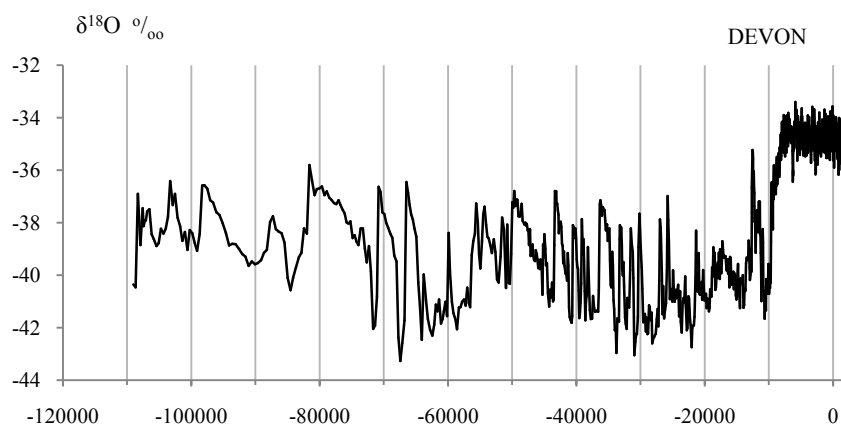
Cykle izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym – ich amplitudy  $b$ , fazy  $c$ , wariacje resztkowe  $\varepsilon^2$ , współczynniki korelacji  $R$ , i charakterystyki  $F_{obl}$  zestawiono w tab. 1. Są one istotne statystycznie na poziomie 0,01 – wg testu Fishera-Snedecora. ( $n=1390$ ).

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 ( $\varepsilon$ ) i mimośrodowi eliptycznej orbity Ziemi ( $e$ ).

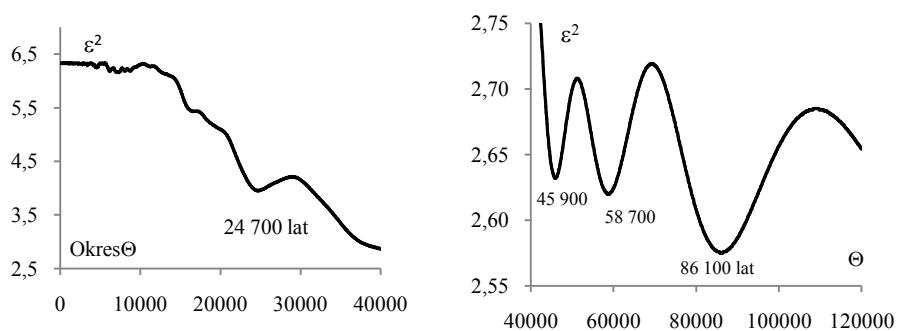
Interferencję tych 11 „najsilniejszych” ( $F_{obl} > 7,020$ ) cykli izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym: 4500, 4700, 6200, 7300, 8700, 11300, 16700, 24700, 45900, a także najdłuższych 58700 i 86100 lat (tab. 2) (bez składnika liniowego,  $at = 0$ ,  $R = 0,935$ ) wyznaczono z wzoru

$$F(t) = \delta^{18}\text{O} = a_o + at + \sum_{j=1}^k b_j \sin\left(\frac{2\pi}{\Theta_j} t + c_j\right)$$





**Rys. 1.** Zmiany wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  (od  $t = -110\,980$  BP) w rdzeniu lodowym z wyspy Devon  
**Fig.1.** Changes of the oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  coefficient in the Devon Island ice core



**Rys. 2.** Widmo wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon ( $0 < \Theta < 40\,000$  i  $40\,000 < \Theta < 120\,000$  lat)

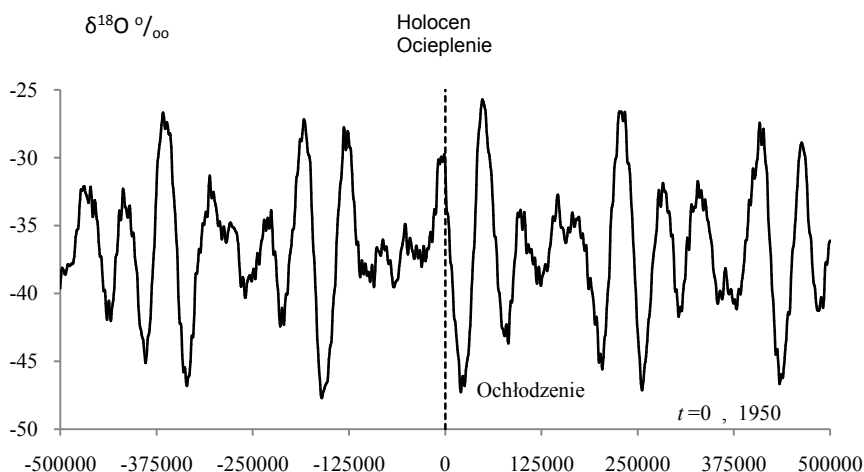
**Fig.2.** Spectrum of the oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  coefficient in the Devon Island ice core ( $0 < \Theta < 40\,000$  and  $40\,000 < \Theta < 120\,000$  years)

**Tabela 1.** Okresy  $\Theta$  (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,  $F_{\text{obl}}$  – test Fishera-Snedecora)

**Table 1.** Periods  $\Theta$  (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,  $F_{\text{obl}}$  - Fisher-Snedecor test)

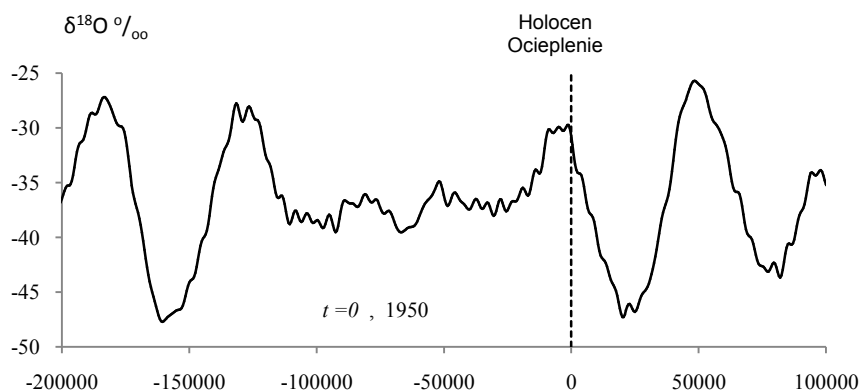
Okres $\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{\text{obl}}$
4500	0,237254	2,472560	6,249	0,115	9,33
4700	0,288060	1,927583	6,261	0,107	7,98
6200	0,310662	-2,622006	6,184	0,153	16,73
7300	0,191102	1,985936	6,162	0,164	19,27
8700	0,297819	2,400973	6,189	0,151	16,15
11300	0,103170	0,477259	6,269	0,100	7,08
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

Wypadkową nakładania się tych 11 cykli w przedziale czasu  $t$  od -500 000 BP do 500 000 AD ilustruje rys. 3, a od -200 000 BP do 100 000 AD – rys. 4.



**Rys. 3.** Zmiany izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  (wyspa Devon), interferencja cykli  $f(t)$  w przedziale czasu: -500 000 <  $t$  < 500 000 lat

**Fig. 3.** Changes of isotope  $\delta^{18}\text{O}$  (Devon Island) and interference of cycles  $f(t)$  in the timeframe: -500 000 <  $t$  < 500 000 years



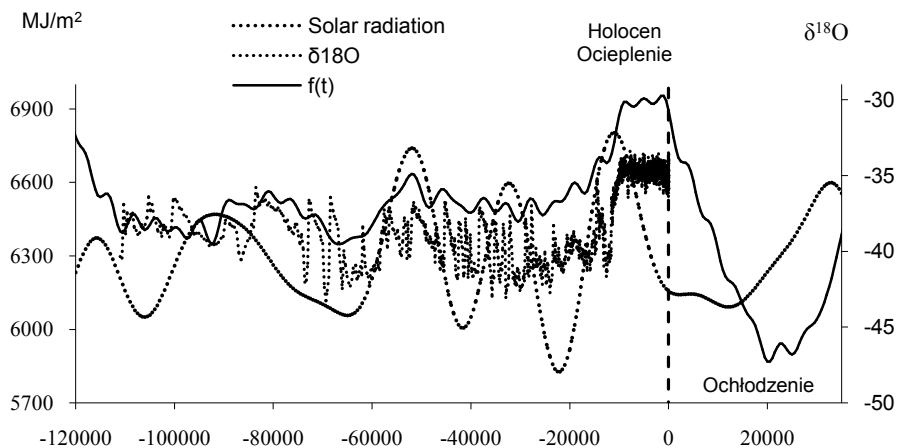
**Rys. 4.** Zmiany izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  (wyspa Devon), interferencja cykli  $f(t)$  w przedziale czasu: -200 000 <  $t$  < 100 000 lat

**Fig. 4.** Changes of isotope  $\delta^{18}\text{O}$  (Devon Island) and interference of cycles  $f(t)$  in the timeframe: -200 000 <  $t$  < 100 000 years

Interesujące jest porównanie zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon otrzymanych z interferencji najsilniejszych 11 cykli  $\Theta$  (istotnych na poziomie 0,01) : 4500, 4700, 6200, 7300, 8700, 11300, 16700, 24700, 45900, 58 700 lat oraz najdłuższego  $\Theta = 86100$  lat z sumami promieniowania słonecznego w okresie III-IX (rys.5)

Ich interferencję porównano z przebiegiem czasowym sum promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ$ . Synchroniczność zmian promieniowania słonecznego

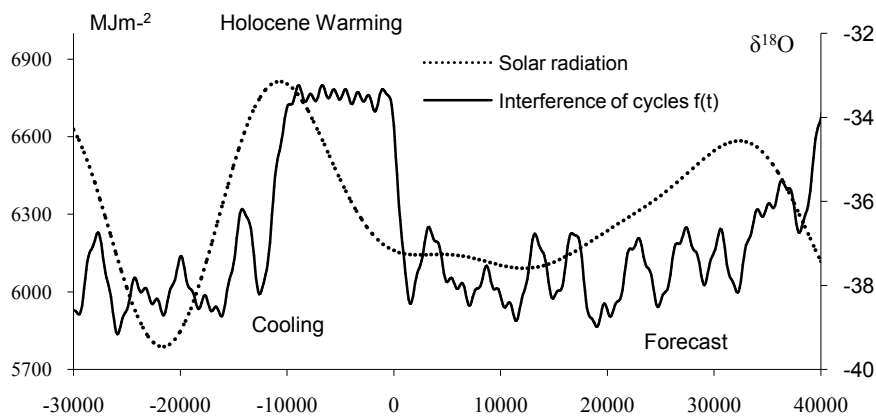
go na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{ N}$  i zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym (wyspa Devon) można stwierdzić głównie w przedziale czasu  $t$  od -120 000 BP do 35 000 AD.



**Rys. 5.** Zmiany promieniowania słonecznego i interferencja cykli  $f(t)$  izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  (Wyspa Devon) w przedziale czasu  $-110977 < t < 35\ 000$  lat

**Fig. 5.** Changes of solar radiation, isotope  $\delta^{18}\text{O}$  (Devon Island), and interference of cycles  $f(t)$  in the time frame:  $-110977 < t < 35000$  years

Na uwagę zasługuje ogólna zbieżność wahań (spadków i wzrostów) stężenia izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  i sum promieniowania słonecznego w czasie:  $-30\ 000 < t < 40\ 000$  lat ( $t = 0$ , 1900 AD), rys.6



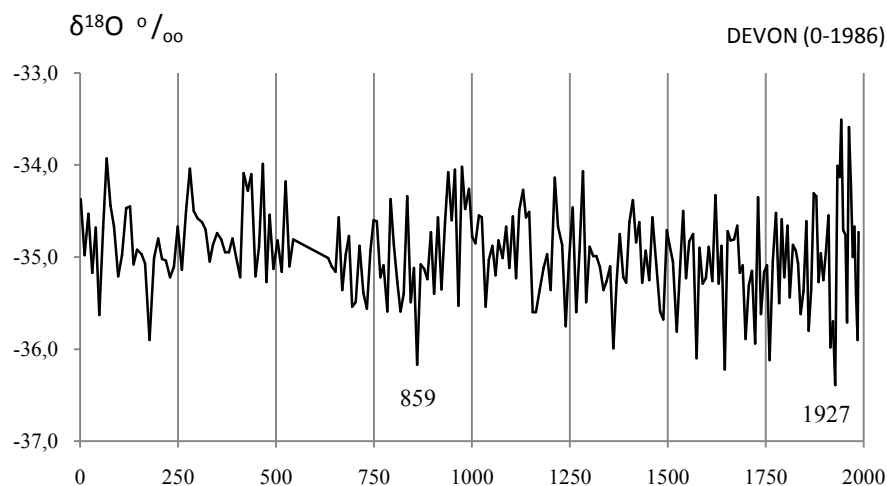
**Rys. 6.** Zmiany promieniowania słonecznego i izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  (wyspa Devon,  $-30\ 000 < t < 40\ 000$ )

**Fig. 6.** Changes of solar radiation and isotope  $\delta^{18}\text{O}$  (Devon Island,  $-30\ 000 < t < 40\ 000$ )

W najbliższych tysiącleciach nie można wykluczyć gwałtownego ochłodzenia klimatu (kolejnego zlodowacenia Ziemi).

### 3.2. Rekonstrukcja klimatu w dwu ostatnich tysiącleciach (w latach 0-1986 AD) z prognozą do roku 2500 według zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym z wyspy Devon

W rekonstrukcji klimatu w latach 0-1986 i w prognozach wykorzystano zawartość izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w części 0-1986 rdzenia lodowego z wyspy Devon (rys. 7).



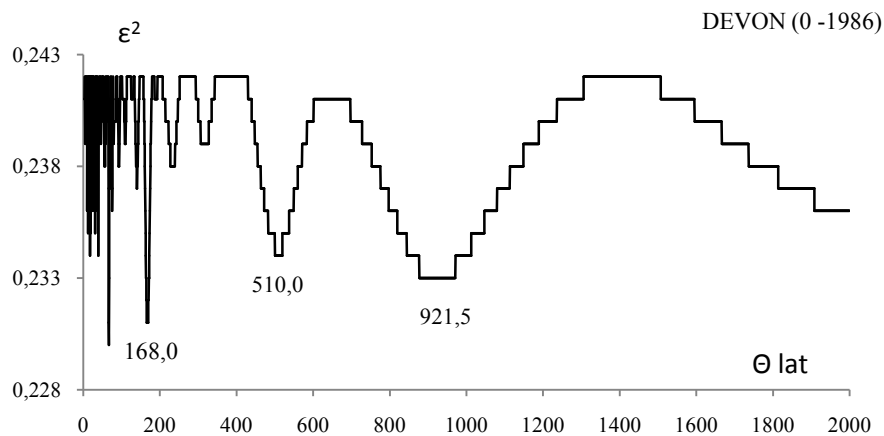
**Rys. 7.** Zmiany wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  (0-1986 AD) w rdzeniu lodowym z wyspy Devon  
**Fig. 7.** Changes of the oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  (0-1986 AD) coefficient in the Devon Island ice core

Cykle obecne w widmie izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym (rys. 8) – ich amplitudy  $b$ , fazy  $c$ , współczynniki korelacji  $R$ , i charakterystyki  $F_{obl}$  zestawiono w tab. 2. Są one istotne statystycznie na poziomie 0,01 – wg testu Fishera-Snedecora.

Interferencję tych 10 „najsilniejszych” ( $F_{obl} > 1,553$ ) cykli izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym: 13,0, 18,0, 31,5, 39,5, 67,0, 168,0, 233,0, 316,5, 510,0 i 921,5 lat ze składnikiem liniowym

$$F(t) = -34,824263 - 0,000139 t + \sum_{j=1}^{10} b_j \sin\left(\frac{2\pi}{\theta_j} t + c_j\right)$$

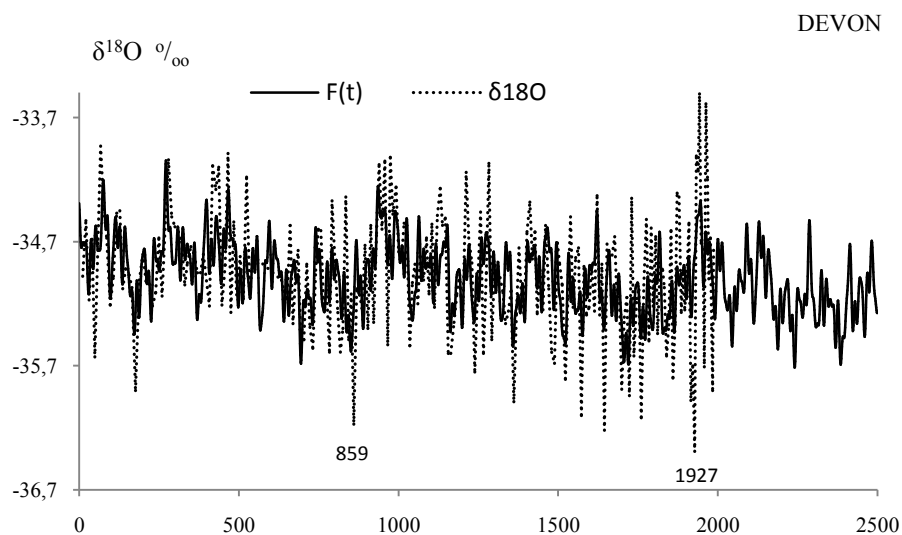
o współczynniku korelacji wielokrotnej  $R = 0,568$ , przedstawiono na rys.9-10.



**Rys. 8.** Widmo wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon (0 - 2 000 lat)  
**Fig.8.** Spectrum of the oxygen isotope  $\Theta^{18}\text{O}$  coefficient in the Devon Island ice core (0-2000 years)

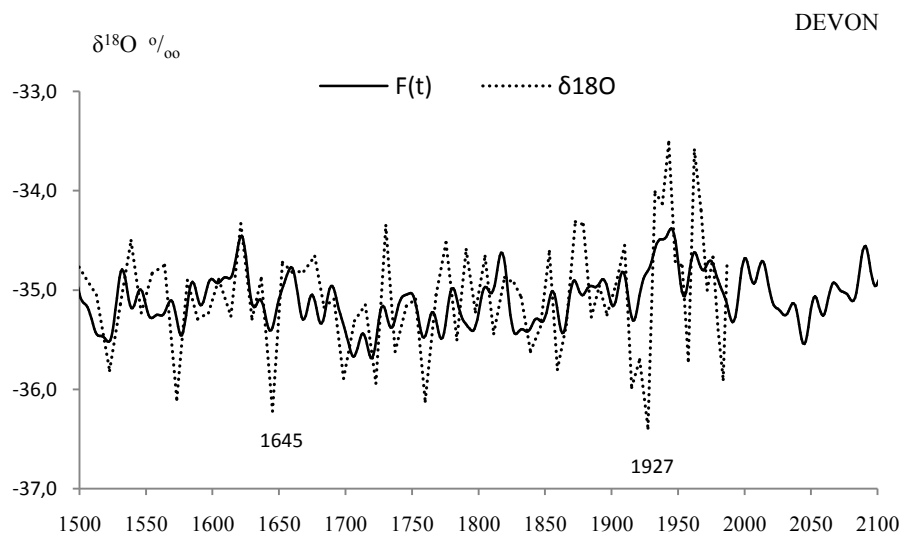
**Tabela 2.** Okresy  $\Theta$  (lata) , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon (od 0 n.e) ( $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{\text{obl}}$  – test Fishera-Snedecora)  
**Table 2.** Periods  $\Theta$  (years), amplitudes  $b$  and phases  $c$  of the cycles of the oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  coefficient in the Devon Island ice core- from 0 n.e. (  $R$  - multiple correlation coefficient,  $F_{\text{obl}}$  – Fisher-Snedecor test)

$\Theta$ lat	$b$	$c$	$R$	$F_{\text{obl}}$
13,0	0,087473	2,127178	0,174	3,477
18,0	0,122827	0,968300	0,185	3,969
31,5	0,118077	-2,334041	0,174	3,477
39,5	0,126049	1,613137	0,185	3,969
67,0	0,160894	1,260274	0,226	5,977
168,0	0,155150	-2,514630	0,216	5,468
233,5	0,069115	0,587719	0,134	2,028
316,5	0,054548	0,991625	0,117	1,553
510,0	0,108126	2,037128	0,185	3,969
921,5	0,091937	0,035118	0,196	4,464



**Rys. 9** Zmiany izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  (wyspa Devon), interferencja cykli  $F(t)$  w przedziale czasu:  
 $0 < t < 2500$  lat

**Fig. 9.** Changes of isotope  $\delta^{18}\text{O}$  (Devon Island) and interference of cycles  $F(t)$  in the timeframe:  
 $0 < t < 2500$  years



**Rys. 10.** Zmiany izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  (wyspa Devon), interferencja cykli  $F(t)$  w przedziale czasu:  
 $1500 < t < 2100$  lat

**Fig. 10.** Changes of isotope  $\delta^{18}\text{O}$  (Devon Island) and interference of cycles  $F(t)$  in the timeframe:  
 $1500 < t < 2100$  years

### 3.3. Prognozy zmian klimatu w XXI-XXII wieku według zawartości izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniach lodowych z Grenlandii środkowej (1772-1986)

Prognozy zmian klimatu w XXI-XXII wieku opracowano na podstawie zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w ośmiu rdzeniach lodowych pobranych z Grenlandii środkowej: GRIP -1, GRIP-2, GRIP -3, GRIP -2a, GRIP -3a, GRIP-AV, GISP2 i ALL

Otrzymano je według interferencji cykli o okresach  $\Theta$ , amplitudach  $b$  i fazach  $c$ . (tab.3-4, rys. 11-18).

**Tabela 3.** Okresy  $\Theta$  (lata), amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniach lodowych z Grenlandii środkowej (GRIP 89-1, GRIP 89-2, GRIP 89-3, GRIP 91-2) ( $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{\text{obl}}$  – test Fishera-Snedecora)

**Table 3.** Periods  $\Theta$  (years), amplitudes  $b$  and phases  $c$  of the cycles of the oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  coefficient in the Greenland (GRIP -1, GRIP -2, GRIP -3, GRIP -2a). ( $R$  - multiple correlation coefficient,  $F_{\text{obl}}$  – Fisher-Snedecor test)

GRIP-1					GRIP -2				
$\Theta$	$b$	$c$	$R$	$F_{\text{obl}}$	$\Theta$	$b$	$c$	$R$	$F_{\text{obl}}$
4,7	0,270614	1,736377	0,168	3,061	3,700	0,264680	-2,334499	0,169	3,127
8,4	0,233778	-1,347726	0,145	2,280	5,500	0,222275	1,777248	0,133	1,913
9,5	0,346053	3,075734	0,230	5,933	6,000	0,352499	-2,198662	0,217	5,246
11,4	0,363341	-1,135664	0,235	6,211	8,400	0,319263	-1,428415	0,211	4,953
17,6	0,379882	-2,259124	0,262	7,807	12,400	0,218584	-1,319781	0,162	2,845
21,8	0,205883	2,163409	0,165	2,974	15,500	0,196374	-2,404950	0,190	3,984
28,9	0,246705	1,897944	0,163	2,886	17,300	0,322438	-1,311389	0,232	6,037
46,0	0,228471	1,272131	0,165	2,974	33,000	0,257451	-3,013045	0,164	2,939
64,7	0,158554	2,354063	0,134	1,936	60,400	0,200463	-0,655880	0,123	1,636
169,7	0,209593	-1,736014	0,128	1,765	92,200	0,169903	-0,703077	0,127	1,728
GRIP -3					GRIP -2a				
$\Theta$	$b$	$c$	$R$	$F_{\text{obl}}$	$\Theta$	$b$	$c$	$R$	$F_{\text{obl}}$
4,7	0,379100	1,774612	0,238	6,140	4,7	0,264994	1,656356	0,158	2,702
5,9	0,365400	1,613244	0,211	4,772	6,4	0,391816	0,309218	0,233	6,096
7,0	0,375414	2,083521	0,220	5,196	9,3	0,303703	3,076666	0,183	3,674
11,3	0,370287	1,979216	0,231	5,795	10,3	0,299829	-1,672847	0,158	2,702
14,2	0,279262	3,140696	0,160	2,703	17,6	0,408338	-2,280672	0,254	7,304
17,6	0,419348	-2,605276	0,256	7,189	20,4	0,383292	-2,743368	0,239	6,439
29,1	0,350076	-1,366556	0,236	6,053	26,1	0,34378	3,086719	0,217	5,249
45,9	0,329613	0,915166	0,204	4,436	47,8	0,291914	-1,173051	0,185	3,756
64,9	0,111208	-0,810846	0,068	0,478	93,7	0,125832	2,882474	0,078	0,654
201,0	0,139903	1,423403	0,092	0,868	221,0	0,411217	2,898069	0,222	5,502

**Tabela 4.** Okresy  $\Theta$  (lata), amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniach lodowych z Grenlandii środkowej (GRIP 91-3, AVGRIP, GISP2, ALL) ( $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{\text{obl}}$  – test Fishera-Snedecora)

**Table 4.** Periods  $\Theta$  (years), amplitudes  $b$  and phases  $c$  of the cycles of the oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  coefficient in the Greenland (GRIP -3a, GRIP-AV, GISP2, ALL) ( $R$  - multiple correlation coefficient,  $F_{\text{obl}}$  – Fisher-Snedecor test)

GRIP -3`a					GRIP-AV				
$\Theta$	$b$	$c$	$R$	$F_{\text{obl}}$	$\Theta$	$b$	$c$	$R$	$F_{\text{obl}}$
4,0	0,313052	2,086189	0,175	3,220	3,8	0,284579	0,177342	0,167	3,036
6,3	0,555555	2,605249	0,306	10,603	5,9	0,247062	2,774334	0,152	2,49
7,8	0,220525	-2,099571	0,137	1,962	6,4	0,413964	0,616858	0,251	7,102
11,4	0,323202	-1,487595	0,196	4,098	8,1	0,349542	2,685007	0,205	4,627
17,9	0,546279	2,764171	0,307	10,679	9,7	0,284510	2,605930	0,177	3,429
20,5	0,411131	-0,134606	0,207	4,577	14,3	0,262428	0,641639	0,154	2,568
23,4	0,251262	1,106380	0,154	2,488	20,0	0,279247	-1,616196	0,194	4,145
39,7	0,295348	-2,055349	0,164	2,820	29,0	0,522543	-2,994676	0,321	12,215
53,7	0,263542	2,118235	0,130	1,767	79,3	0,335268	-2,299216	0,224	5,604
87,3	0,339958	-0,944060	0,150	2,356	199,0	0,108057	2,556151	0,118	1,491
GISP2					ALL				
$\Theta$	$b$	$c$	$R$	$F_{\text{obl}}$	$\Theta$	$b$	$c$	$R$	$F_{\text{obl}}$
4,7	0,262222	1,836436	0,206	4,528	4,7	0,231183	1,943468	0,182	3,623
5,9	0,287040	2,193842	0,233	5,906	6,4	0,327919	0,370075	0,271	8,376
6,3	0,322533	2,227689	0,265	7,750	9,8	0,180507	2,533164	0,151	2,460
9,3	0,197544	2,655403	0,166	2,921	11,3	0,199833	2,257166	0,167	3,038
11,3	0,230981	2,125242	0,190	3,853	15,7	0,107184	1,176588	0,142	2,173
17,6	0,401648	-2,279547	0,327	12,257	17,6	0,353069	-2,236321	0,311	11,330
20,4	0,201947	-3,028529	0,174	3,185	20,3	0,197419	0,482514	0,175	3,330
29,3	0,188418	1,175724	0,166	2,921	28,9	0,228901	1,869884	0,196	4,214
46,1	0,210443	2,075688	0,180	3,451	46,6	0,19426	-1,481303	0,159	2,748
86,4	0,133081	-2,266459	0,097	0,978	87,5	0,153169	-0,735875	0,117	1,462

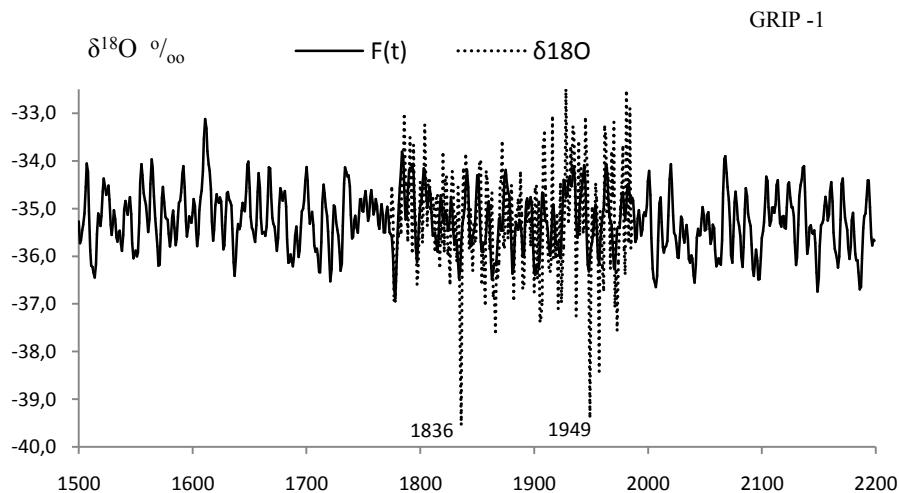
Funkcje trendów czasowych  $F(t)$  – to wypadkowe interferencji cykli – ze składnikami liniowymi  $a_0 + at$ . Dokładność aproksymacji serii pomiarowej charakteryzuje współczynnik korelacji wielokrotnej  $R$ :

Rdzeń lodowy	Przedział czasu	Składnik liniowy $a_0 + at$	$R$
GRIP 89-1	1772-1986	$F(t) = -34,2624 - 0,00054 t + \dots$	0,559
GRIP 89-2	1772-1986	$F(t) = -39,0157 + 0,002039 t + \dots$	0,553
GRIP 89-3	1772-1779	$F(t) = -35,0674 - 0,000120 t + \dots$	0,633
GRIP 91-2	1772-1986	$F(t) = -33,3834 - 0,001010 t + \dots$	0,621
GRIP 91-3	1772-1779	$F(t) = -32,7610 - 0,001350 t + \dots$	0,638
AVGRIP	1772-1779	$F(t) = -35,7973 + 0,000284 t + \dots$	0,643
GISP2	1772-1986	$F(t) = -37,3332 + 0,001203 t + \dots$	0,625
ALL	1772-1986	$F(t) = -36,5697 + 0,000712 t + \dots$	0,598

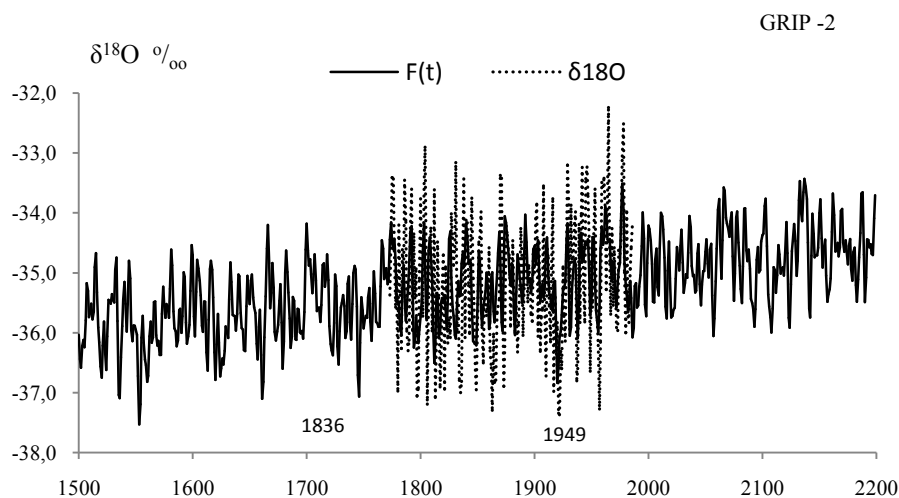


Na przykład w przypadku rdzenia lodowego GRIP 89-1, funkcja prognostyczna  $\delta^{18}\text{O}$   
 $= F(t)$  uwzględnia tendencję malejącą  $\frac{\partial F}{\partial t} = a = \underline{-0,00054} \text{ ‰/rok} = -0,054 \text{ ‰/100lat}$ .

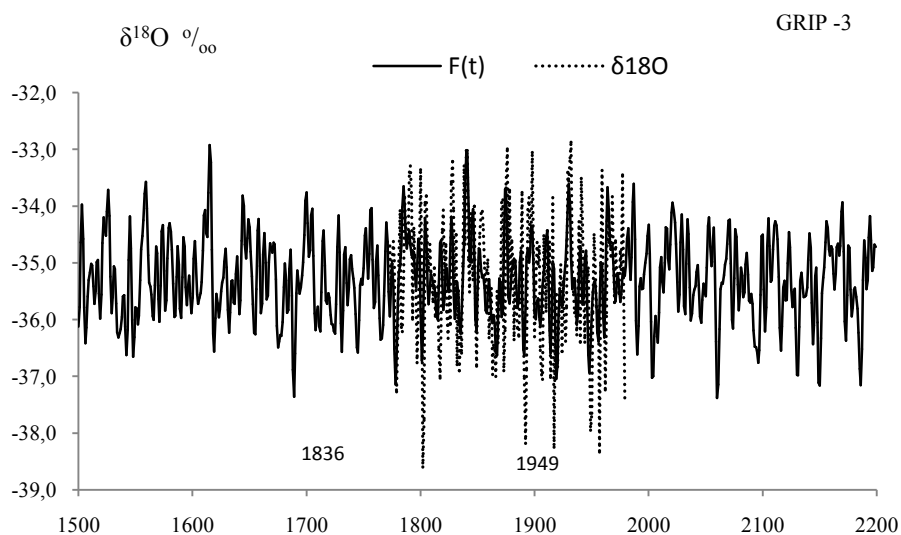
$$F(t) = -34,2624 - 0,00054 t + \sum_{j=1}^{10} b_j \sin\left(\frac{2\pi}{\theta_j} t + c_j\right)$$



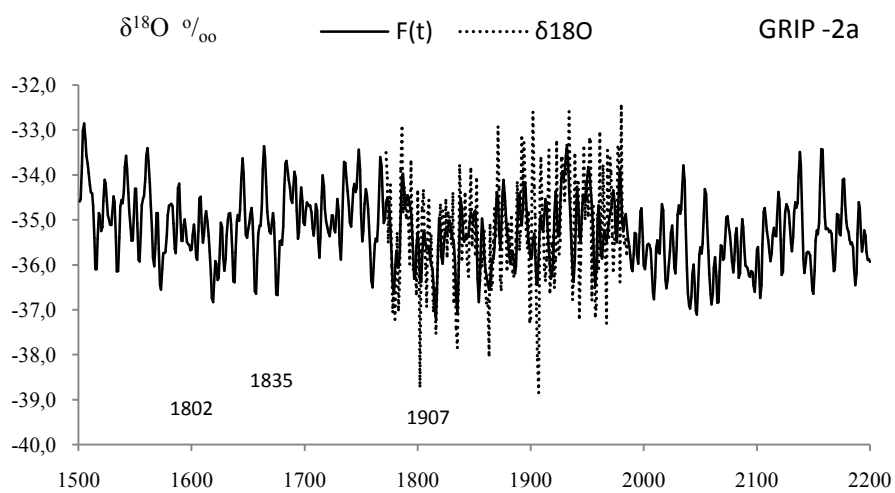
**Rys. 11.** Zmiany wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym (GRIP -1) z Grenlandii środkowej  
**Fig. 11.** Changes of the oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  coefficient in the Greenland (GRIP -1) ice core



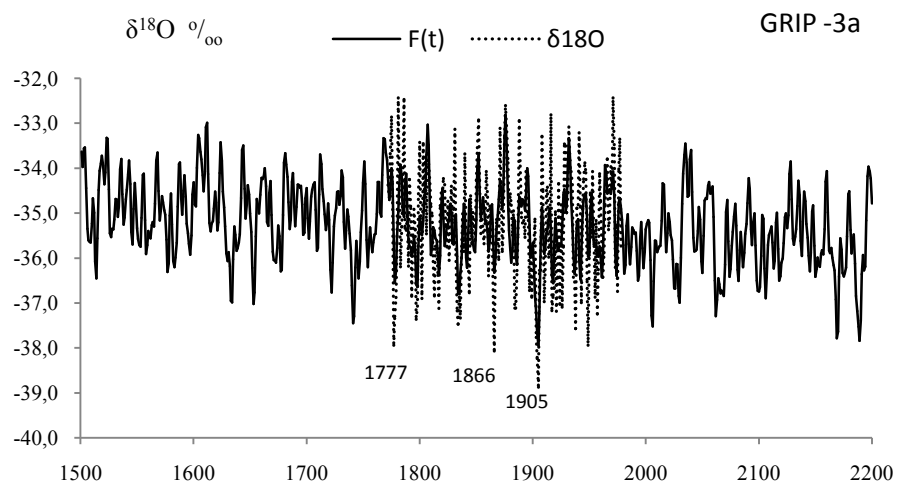
**Rys. 12.** Zmiany wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym (GRIP -2) z Grenlandii środkowej  
**Fig.12.** Changes of the oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  coefficient in the Greenland (GRIP -2) ice core



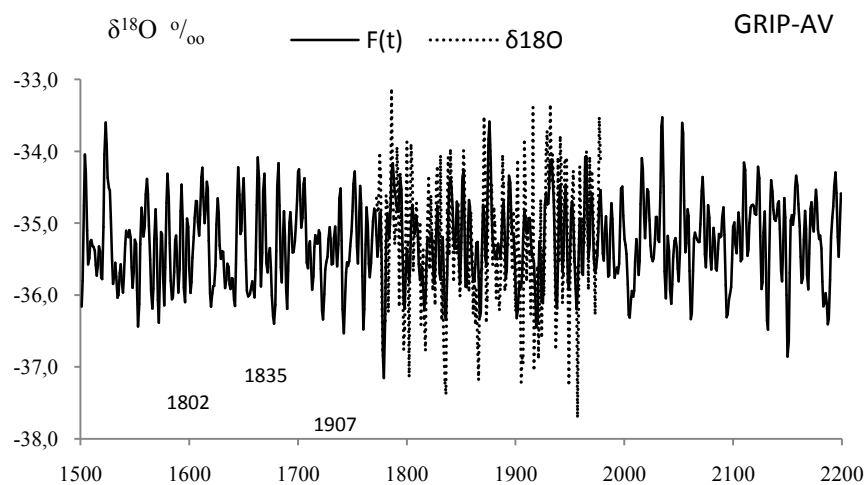
**Rys. 13.** Zmiany wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym (GRIP -3) z Grenlandii środkowej  
**Fig. 13.** Changes of the oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  coefficient in the Greenland (GRIP -3) ice core



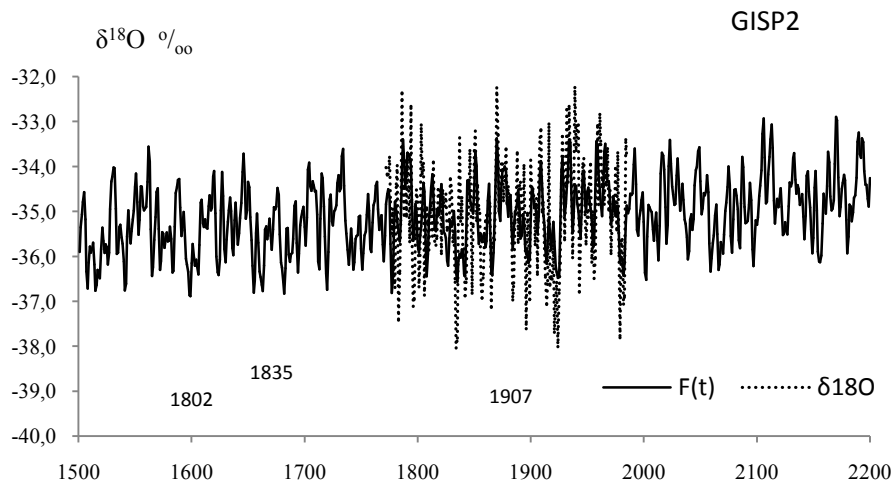
**Rys. 14.** Zmiany wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym (GRIP 91-2) z Grenlandii środkowej  
**Fig. 14.** Changes of the oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  coefficient in the Greenland (GRIP 91-2) ice core



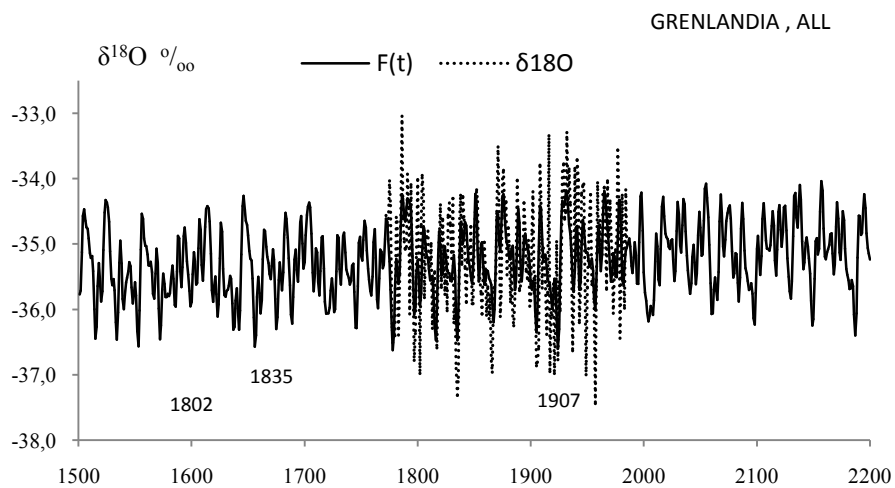
**Rys. 15.** Zmiany wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym (GRIP-3a z Grenlandii środkowej)  
**Fig. 15.** Changes of the oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  coefficient in the Greenland (GRIP-3a) ice core



**Rys. 16.** Zmiany wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym (GRIP-AV) z Grenlandii środkowej  
**Fig. 16.** Changes of the oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  coefficient in the Greenland (GRIP-AV) ice core



**Rys. 17.** Zmiany wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym (GISP2) z Grenlandii środkowej  
**Fig. 17.** Changes of the oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  coefficient in the Greenland (GISP2) ice core



**Rys. 18.** Zmiany wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym (ALL) z Grenlandii środkowej  
**Fig. 18.** Changes of the oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  coefficient in the Greenland (ALL) ice core

\*\*\*

- Boryczka J., 1998, *Zmiany klimatu Ziemi*, Wyd. Akademickie Dialog, Warszawa, ss. 165.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Unton-Pyziółek A., Gieszczyński 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.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Unton-Pyziółek A., Gieszczyński 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, s. 47-58.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Unton-Pyziółek A., Gieszczyński P., 2011, *Zmiany klimatu Półkuli Północnej (na podstawie wahań promieniowania słonecznego i izotopu tlenu  $\delta^{18}O$ )*. *Prace i Studia Geogr.*, t. 47, Wyd. WGRS UW, s. 25-32.
- Boryczka J., 2015, *Zmiany klimatu Ziemi (wydanie drugie rozszerzone)*, Wyd. WGRS UW, Warszawa, ss. 280.

*National Climatic Data Center*; <http://www.ncdc.noaa.gov/cgi-bin/paleo/webmapper.cgi>. Są to dane z rdzeni lodowych obejmujących najdłuższy ciąg czasowy wartości  $\delta^{18}O$  na półkuli północnej. Pochodzą one z odwiertów wykonanych w ramach międzynarodowych programów badawczych na Grenlandii (Greenland Ice Sheet Project, GISP, rdzen B i D), oraz na wyspie Devon (Devon Ice Cap).

#### IV. OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU EUROPY W HOLOCENIE I ICH PRZYCZYNY WEDŁUG SUBSTANCJI ORGANICZNYCH, WĘGLANÓW WAPNIA I TLENKÓW ŻELAZA ZDEPONOWANYCH W OSADACH JEZIORNÝCH

##### 4.1. Rekonstrukcja (od -25 000 BP) i prognoza (do 25 000 AD) klimatu Europy – według zawartości substancji organicznych w osadach Jez. Wikaryjskiego

Holocenne ochłodzenia i ocieplenia klimatu w Europie są znane na podstawie badań substancji organicznych (strata przy wyprężaniu w temperaturze 550 °C) zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego, położonego w Kotlinie Płockiej (Boryczka, Wicik, 1983).

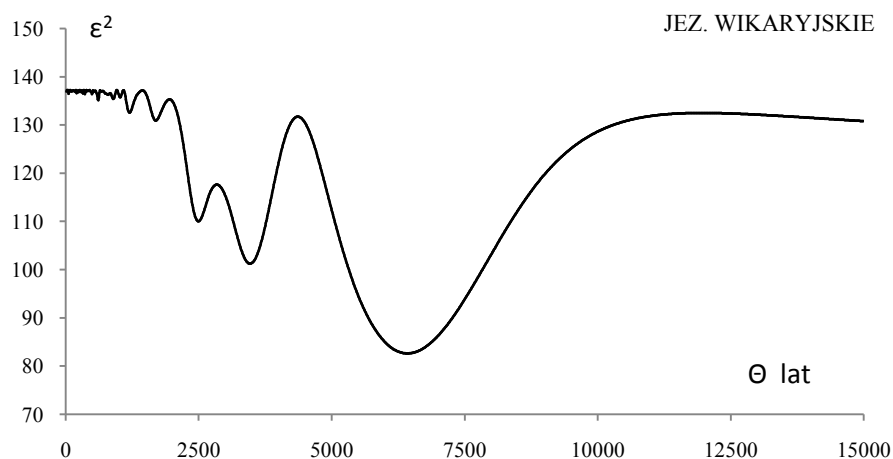
Pod pięciometrową warstwą wody występuje tu osad złożony głównie z  $\text{CaCO}_3$  i substancji organicznej. Stwierdzono miąższość osadu wynosi 3,80 m. Poniżej osadów akumulacji jeziornej znaleziono cieką warstwę torfów, których wiek określony metodą  $\text{C}^{14}$  wynosi  $10360 \pm 200$  lat (TA 1387). W przypadku Jeziora Wikaryjskiego można przyjąć, że średnia tendencja akumulacji wynosi 38mm/100 lat. Ponieważ w tym jeziorze pobrano próby w odległości co 20,0 mm, zatem odstęp czasu między kolejnymi próbami wynosi w przybliżeniu 50 lat.

W widmie oscylacji substancji organicznych zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego w ciągu ostatnich -10 360 lat (wyznaczonym z odstępem czasu  $\Delta\Theta = 10$  lat) jest obecnych 10 istotnych na poziomie 0,01 okresów (tab.1, rys. 1)

**Tabela 1.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego, ( $\epsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{\text{obl}}$  – test Fishera-Snedecora)

**Table 1.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of numerical cycles of organic substance (%) deposited in the sediments of the lake Wikaryjskie, ( $\epsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{\text{obl}}$  –  $F$ -test)

$\Theta$ lat	$b$	$c$	$\epsilon^2$	$R$	$F_{\text{obl}}$
200,0	0,967892	-2,019942	136,6030	0,068	0,450
360,0	1,244852	-0,967618	136,4060	0,078	0,590
610,0	1,957421	-1,094384	135,1200	0,124	1,514
890,0	1,542603	2,838853	135,3710	0,117	1,333
1020,0	0,344729	1,357952	135,7140	0,105	1,085
1200,0	3,475244	-1,132096	132,5420	0,185	3,421
1690,0	3,619758	0,135655	130,8990	0,215	4,675
2490,0	6,502166	0,265676	110,0080	0,445	23,889
3460,0	7,524260	1,532943	101,2400	0,512	34,315
6420,0	8,282696	-0,768797	82,6430	0,631	63,752



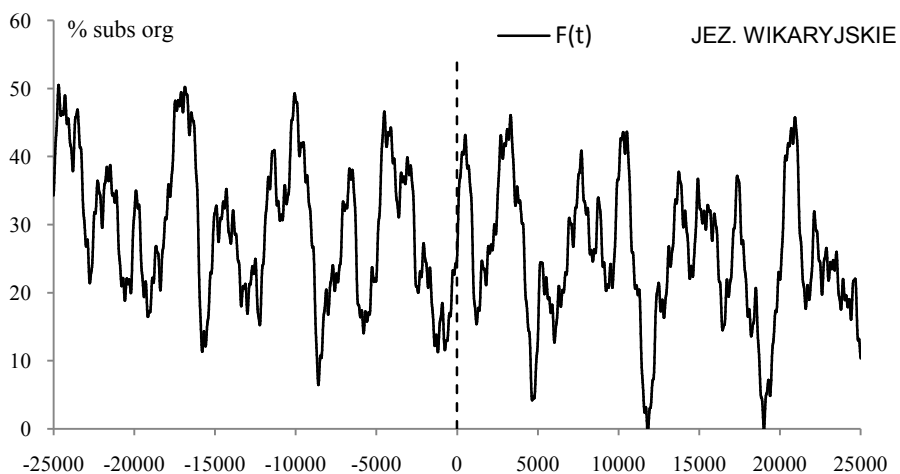
**Rys. 1.** Widmo substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego (-10 360 < t < 0),  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa

**Fig. 1.** Spectrum of organic substance (%) deposited in the sediments of the lake Wikaryjskie, (-10 360 < t < 0),  $\varepsilon^2$  – rest variance

Interferencję tych cykli w przedziałach czasu: - 25 000 ≤ t ≤ 25 000, -12 5 00 ≤ t ≤ 25 00 i -25 000 ≤ t ≤ 0 (ze składnikiem liniowym

$$F(t) = 27.078342 - 0.000191 t + \dots$$

o współczynniku korelacji wielokrotnej  $R = 0,916$ ) przedstawiono na rys 2-4.



**Rys. 2** Zmiany substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego (-25 000 ≤ t ≤ 25 000),  $F(t)$  – interferencja cykli

**Fig. 2.** Changes of organic substance (%) deposited in the sediments of the lake Wikaryjskie (-25 000 ≤ t ≤ 25 000),  $F(t)$  – interference of the cycles

Ochłodzenia i ocieplenia klimatu – to minima i maksima lokalne przebiegów czasowych  $y_i$ ,  $f(t)$  koncentracji substancji organicznych (w %) w osadach jeziora Wikaryjskiego. Przyjęto rok 1980 jako czas  $t=0$ .

Minima zawartości substancji organicznych (%) odpowiadają prawdopodobnie epokom klimatycznym względnego ochłodzenia holocenu, a maksima – ocieplenia.

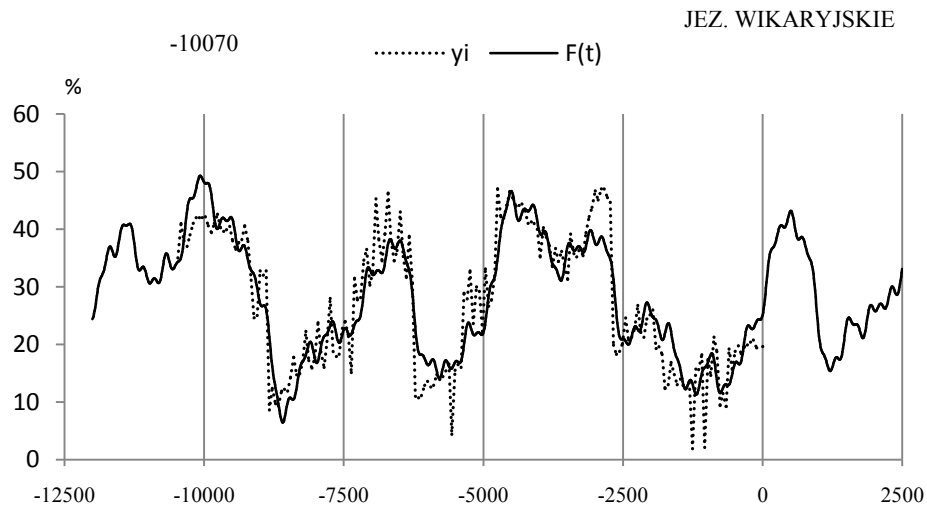
Na rys 3. zaznaczono holocenijskie ocieplenie klimatu w Polsce (-9 8880 lat temu), Natomiast na rys. 4 porównano ochłodzenia i ocieplenia klimatu Polski (ekstremum zawartości substancji organicznych w osadach Jez. Wikaryjskiego) z ociepleniami i ochłodzeniami wód w Jez. Wisconsin (klimatu Ameryki Północnej w ciągu ostatnich 25 000 lat).

Rekonstruowane daty głównych ochłodzeń klimatu Polski na podstawie trendów czasowych substancji organicznych w osadach jeziora Wikaryjskiego (-17 000 lat temu), pokrywają się ze znanymi ochłodzeniami klimatu np. Keree w Ameryce Północnej (-17 000 lat wstecz) (tab. 2)

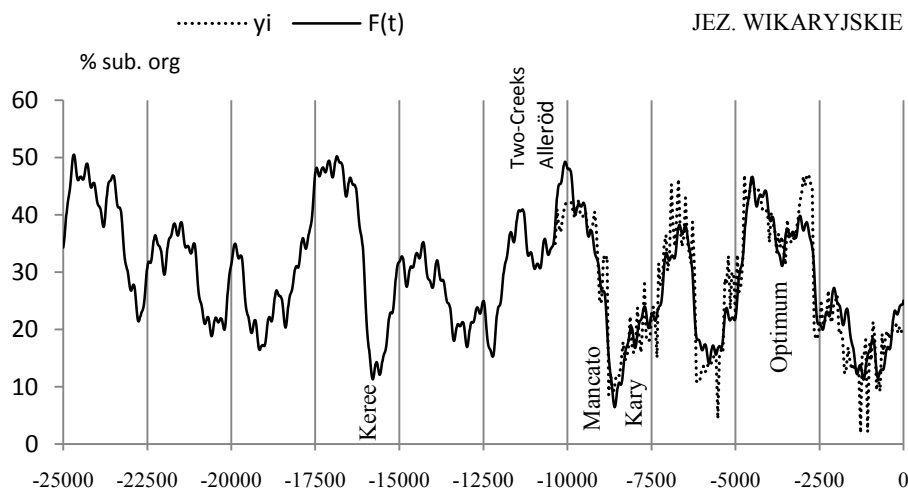
**Tabela 2.** Daty ochłodzeń i ociepleń klimatu Polski i Ameryki Północnej w ciągu ostatnich 25 000 lat  
**Table 2.** Dates of coolings and warmings of the climates of Poland, and North America Turing the last 25 thousand years

Daty zlodowacenia			Daty ocieplenia,			
Jez. Wikaryjskie		Jez. Wisconsin (Am. Pół.)	Jez. Wikaryjskie		Jez. Wisconsin (Am. Pół.)	
$t_{min}$	$y_{min}$		$t_{max}$	$y_{max}$		
-19140	13,10	- 17000, Keree	-24680	46,02		
-15760	8,53		-16860	47,22		
-12220	13,15	-10000, Mancato, Kary	-14290	32,74	-11400 ± 350, Two-Creeks	
-8590	5,05	-8 500, Europa	-11440	38,82	-10800 ± 580, Alleröd	
-5990	15,49	-3 900, Europa, Am. Pół.	-9660	40,38		
-1190	11, 28	-2 500- -1 900 Europa	-6670	37,21	-5800, Minimum aktywności sejsmicznej	
			-4500	45,99	-4000, Optimum klimatu	
			-2890	38,39	-1600- -1000, Europa, Am. Pół.	
+1380	17,86	Prognoza	+510	43,50	Prognoza	
+4650	5,30	Prognoza	+3110	44,87	Prognoza	





**Rys. 3** Zmiany substancji organicznych (%) w latach  $-12\ 500 \leq t \leq 2500$  zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego,  $y_i$  – wartości zmierzone,  $F(t)$  – wykres funkcji aproksymującej (interferencja cykli)  
**Fig. 3.** Changes of organic substance (%) deposited in the sediments of the lake Wikaryjskie ( $-12\ 500 \leq t \leq 2\ 500$ ),  $y_i$  – measured values,  $F(t)$  – curve of approximation function (nterference of the cycles)



**Rys. 4** Zmiany substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego ( $-25\ 000 \leq t \leq 0$ ),  $y_i$  – wartości zmierzone,  $F(t)$  – wykres funkcji aproksymującej (interferencja cykli)  
**Fig. 4.** Changes of organic substance (%) deposited in the sediments of the lake Wikaryjskie ( $-25\ 000 \leq t \leq 0$ ),  $y_i$  – values measured,  $F(t)$  – curve of approximation function (nterference of the cycles)

## 4.2. Rekonstrukcja (od -25 000 BP) i prognoza (do 25 000 AD) klimatu Europy – według substancji organicznych zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż

Holocenne ochłodzenia i ocieplenia klimatu w Europie są znane na podstawie badań substancji organicznych, zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż (Boryczka, Wicik, 1994).

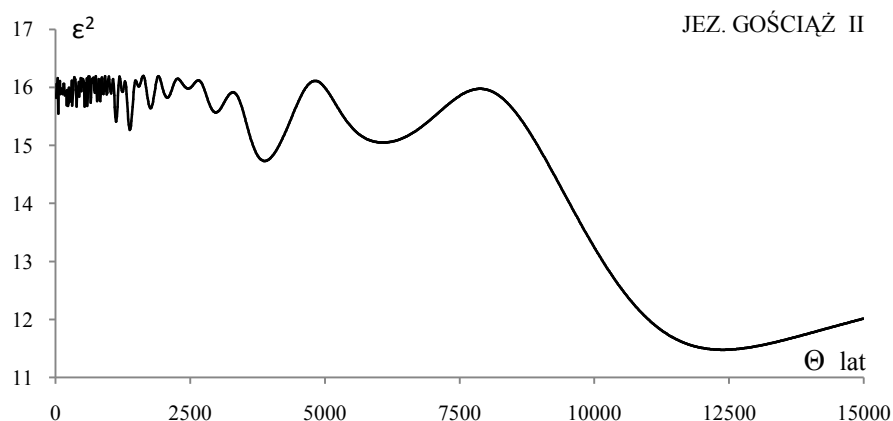
W laminowanych osadach jeziora Gościąż można było określić czas kalendarzowy (zliczając roczne przyrosty rdzenia osadów)

W widmie substancji organicznych zdeponowanych w Jez. Gościąż 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, rys. 5)

**Tabela 3.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II ( $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora

**Table 3.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of numerical cycles of organic substance (%) deposited in the sediments of the lake Gościąż II, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

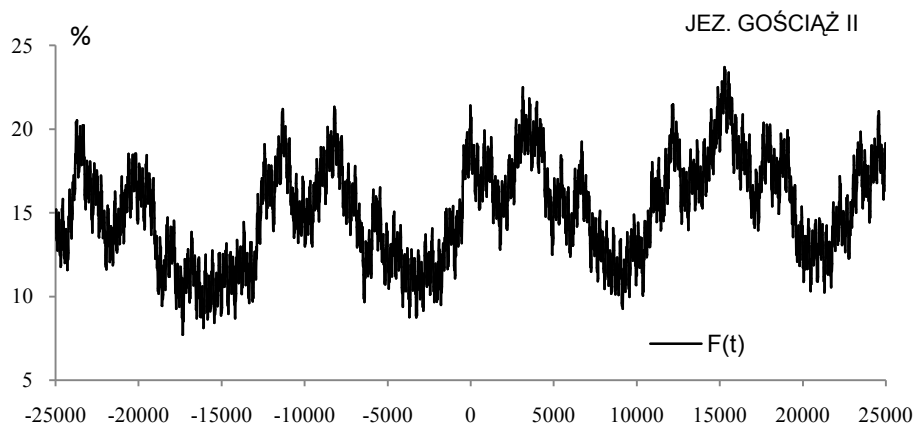
Okres $\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
50	0,750469	2,887150	15,549	0,200	5,97
210	0,896687	1,738749	15,692	0,177	4,63
390	0,784750	1,101632	15,671	0,180	4,83
1120	0,664652	2,383902	15,407	0,221	7,31
1380	0,728514	2,018771	15,268	0,240	8,64
1770	0,230813	2,731617	15,640	0,186	5,12
2970	0,963431	0,553983	15,566	0,198	5,81
3880	1,322310	2,027288	14,731	0,301	13,87
6080	0,606897	1,931705	15,049	0,266	10,75
12380	3,242047	0,187921	11,478	0,540	50,54



**Rys. 5.** Widmo substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II,  
**Fig. 5.** Spectrum of organic substance (%) deposited in the sediments of the lake Gościąż II,

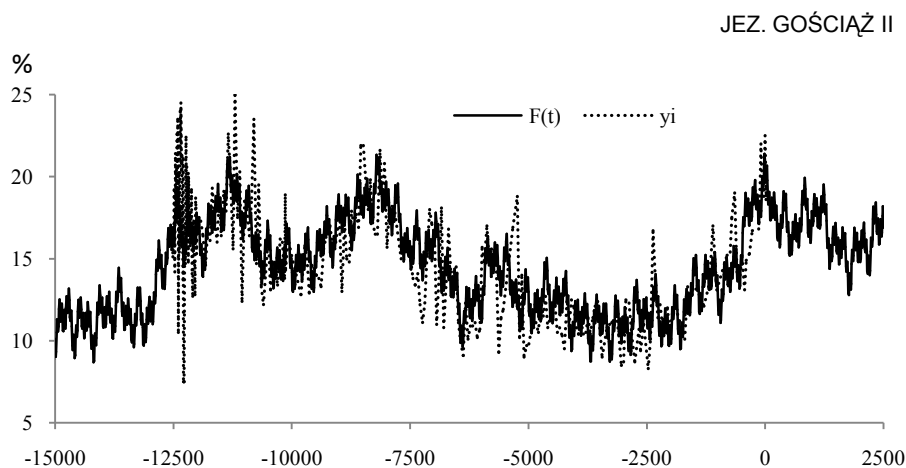
Interferencję  $F(t)$  tych cykli (tab.3) w przedziale czasu  $-25\ 000 \leq t \leq 25\ 000$  z składnikiem liniowym  $F(t) = 15,02751 + 0,000086 t + \dots$  (o współczynniku korelacji wielokrotnej  $R = 0,685$ ) przedstawiono na rys. 6.

Ochłodzenia i ocieplenia klimatu – to minima i maksima lokalne przebiegów czasowych koncentracji substancji organicznych (w %) w osadach jeziora Gościąż. Są one bardziej widoczne na wykresach  $F(t)$  i wartości zmierzonych  $y_i$  w przedziale  $15\ 000 \leq t \leq 25\ 000$  (rys. 7).



**Rys. 6.** Zmiany substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II,  $F(t)$  – interferencja cykli ( $-25\ 000 \leq t \leq 25\ 000$ )

**Fig. 6.** Changes of organic substance (%) deposited in the sediments of the lake Gościąż II,  $F(t)$  – interference of the cycles ( $-25\ 000 \leq t \leq 25\ 000$ )



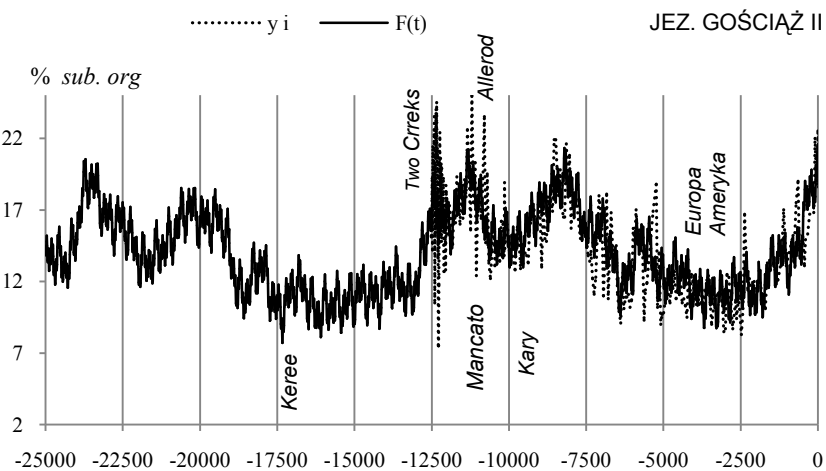
**Rys. 7** Zmiany substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II,  $y_i$  – wartości zmierzone,  $F(t)$  – wykres funkcji aproksymującej (interferencja cykli) ( $-15\ 000 \leq t \leq 2500$ )

**Fig. 7.** Changes of organic substance (%) deposited in the sediments of the lake Gościąż II,  $y_i$  – measured values,  $F(t)$  – curve of approximation function (interference of the cycles) ( $-15\ 000 \leq t \leq 2500$ )

Porównano ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy (ekstrema zawartości substancji organicznych w osadach Jez. Gościąż z ociepleniami i ochłodzeniami wód w Jez. Wisconsin (klimatu Ameryki Północnej w ciągu ostatnich 25 000 lat) (rys. 8).

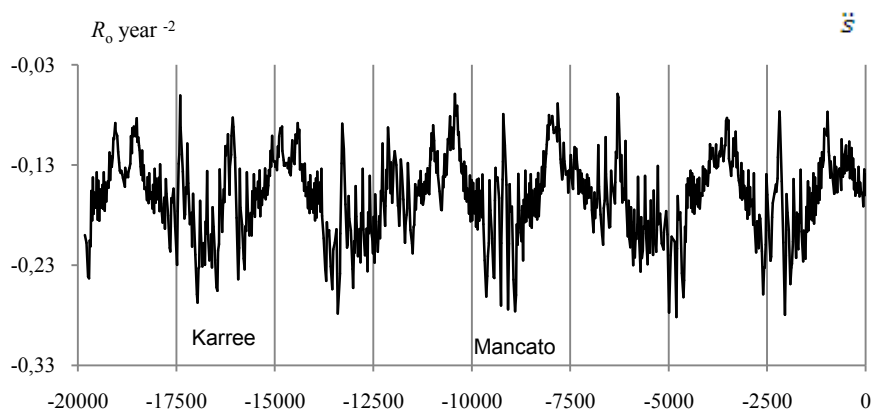
Rekonstruowane daty głównych ochłodzeń klimatu Europy na podstawie trendów czasowych substancji organicznych w osadach jeziora Gościąż (-17 000 lat temu) pokrywają się ze znanymi ochłodzeniami klimatu np. Keree w Ameryce Północnej (-17 000 lat wstecz). Ekstrapolowane daty wskazują ostatnią fazę zlodowacenia würm (-18 000 lat temu, Schönwiese, 1992).

Istnieje też zbieżność ekstremów zawartości substancji organicznych w Jez. Gościąż i przyspieszenia Słońca  $\ddot{S}$  w jego ruchu dookoła środka masy Układu Słonecznego (rys.9).



**Rys. 8.** Rekonstrukcja holocenijskich ochłodzeń i optimów klimatu w Polsce na podstawie substancji organicznych, zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II – w odniesieniu do Jez. Wisconsin (Ameryka Północna)

**Fig. 8.** Reconstruction of the Holocene coolings and optima climate in Poland on the basis of organic substances deposited in the sediments of Gościąż lake – in reference to Wisconsin Lake (North America)



**Rys. 9.** Zmiany przyspieszenia Słońca  $\ddot{S}$  (składowa radialna –  $R_o/rok^2$ ) w latach -20 000 - 0

**Fig. 9.** Changes of acceleration of the sun  $\ddot{S}$  (radial component –  $R_o/year^2$ ) in the years -20 000 - 0

### 4.3. Rekonstrukcja (od -25 000 BP) i prognoza (do 25 000 AD) klimatu Europy – według zawartości węgla wapnia ( $C_aCO_3$ ) w osadach Jez. Gościąż (od -12 750 lat temu)

Holocenne ochłodzenia i ocieplenia klimatu w Europie są znane na podstawie badań substancji organicznych zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż (Boryczka, Wik, 1994). W laminowanych osadach jeziora Gościąż określono dokładnie czas kalendarzowy, zliczając roczne przyrosty rdzenia osadów.

Oprócz substancji organicznych przedstawionych w tej publikacji (1994) przedstawiono ponadto rekonstrukcje (od -25 000 BP) i prognozy (do 25 000 AD) zmian klimatu Polski według węglanów wapnia ( $-C_aCO_3 < 0$ ) i tlenków żelaza ( $Fe_2O_3$ ) zdeponowanych w osadach jez. Gościąż.

W widmie zawartości węglanów wapnia ( $-C_aCO_3$  w osadach Jez. Gościąż II w ciągu ostatnich 12542 lat (wyznaczonym z odstępem czasu  $\Delta\Theta = 10$  lat) jest obecnych 12 cykli (tab.4, rys. 10)

Rekonstrukcję (od -25 000 BP) i prognozy zmian (do 25 000 AD) zawartości węglanów wapnia  $C_aCO_3$  otrzymano według wypadkowej interferencji tych 12 cykli:

180 490 560 680 960 1370 1740 2100 3200 4110 6330 12540 lat

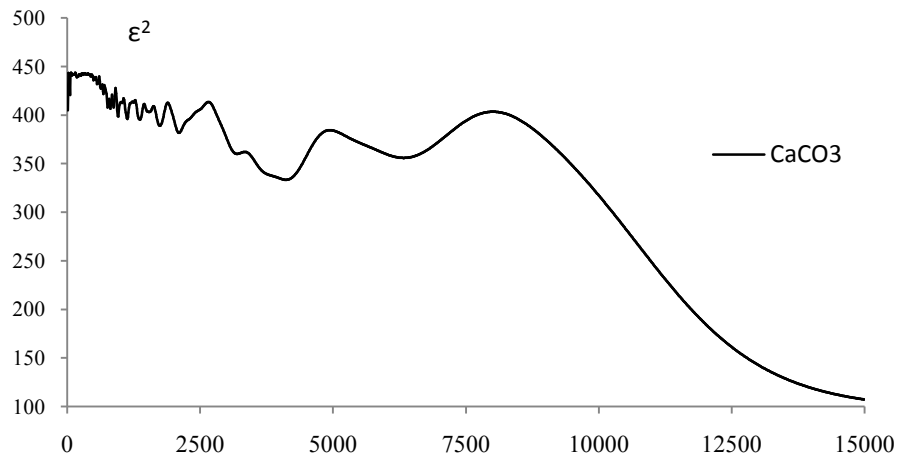
ze składnikiem liniowym (o współczynniku korelacji wielokrotnej  $R = 0.938$ ):

$$F(t) = 61.098394 + 0.000361 t + \dots$$

Zmiany węglanów wapnia ( $C_aCO_3$ ) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II według interferencji cykli  $F(t)$  w różnych przedziałach czasu przedstawiono na wykresach:  $-25\ 000 \leq t \leq 25\ 000$  (rys 11),  $-25\ 000 \leq t \leq 5\ 000$  (rys. 12) i  $-15\ 000 \leq t \leq 2\ 500$  (rys. 13).

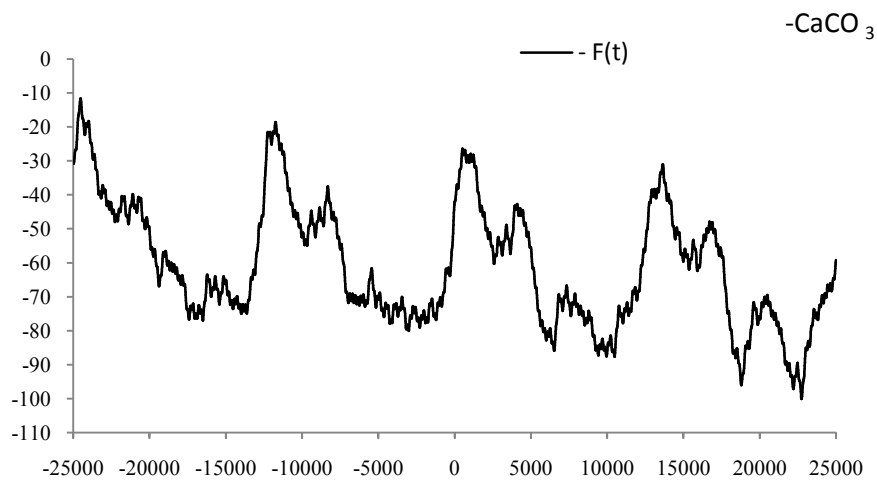
**Tabela 4.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli węglanów wapnia ( $C_aCO_3$ ) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II ( $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora  
**Table 4.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of numerical cycles of calcium carbonate ( $C_aCO_3$ ) deposited in the sediments of the lake Gościąż II ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

F(t) = 61.098394 + 0.000361 t + ... ; R = 0.937576					
Okres $\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
180	1,266788	-0,962773	438,751	0,106	1,337
490	2,434585	-1,638521	435,754	0,134	2,161
560	1,877416	-1,968108	431,971	0,163	3,218
680	3,078980	-1,904933	421,631	0,223	6,203
960	0,971186	2,585025	398,517	0,319	13,435
1370	1,103912	-2,634799	395,342	0,330	14,495
1740	1,472422	-1,700269	388,988	0,351	16,667
2100	0,394051	0,761422	381,631	0,374	19,273
3200	3,369309	2,602710	360,000	0,434	27,551
4110	6,752623	-1,866600	333,346	0,499	39,230
6330	2,836500	-1,503806	355,845	0,445	29,257
12540	18.784060	-2.638400	159,575	0,800	210,991



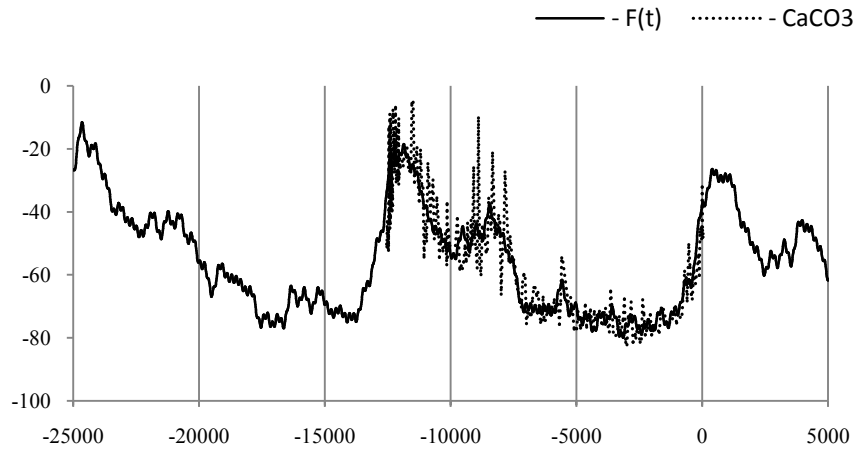
**Rys. 10.** Widmo węglanów wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąg II ( $\epsilon^2$  – wariancja resztkowa)

**Fig.10.** Spectrum of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) deposited in the sediments of the lake Gościąg II ( $\epsilon^2$  – rest variance)

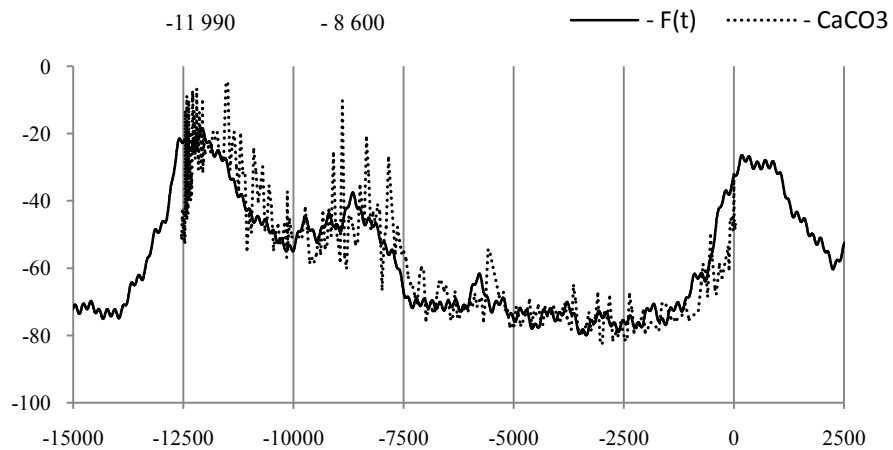


**Rys. 11.** Zmiany węglanów wapnia ( $-\text{CaCO}_3$ ) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąg II ( $-25\ 000 \leq t \leq 25\ 000$ ),  $-F(t)$  – interferencja cykli

**Fig. 11.** Changes of calcium carbonate ( $-\text{CaCO}_3$ ) deposited in the sediments of the lake Gościąg II ( $-25\ 000 \leq t \leq 25\ 000$ ),  $-F(t)$  – interference of the cycles



**Rys. 12.** Zmiany węglanów wapnia zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II ( $-25\ 000 \leq t \leq 5\ 000$ );  $\text{CaCO}_3$  – wartości zmierzone,  $-F(t)$  – interferencja cykli  
**Fig. 12.** Changes of calcium carbonate deposited in the sediments of the lake Gościąż II ( $-25\ 000 \leq t \leq 5\ 000$ );  $\text{CaCO}_3$  – measured values,  $-F(t)$  – interference of the cycles



**Rys. 13.** Zmiany węglanów wapnia zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II;  $\text{CaCO}_3$  – wartości zmierzone,  $-F(t)$  – interferencja cykli ( $-15\ 000 \leq t \leq 2\ 500$ )  
**Fig. 13.** Changes of calcium carbonate deposited in the sediments of the lake Gościąż II;  $\text{CaCO}_3$  – measured values,  $-F(t)$  – interference of the cycles ( $-15\ 000 \leq t \leq 2\ 500$ )

#### 4.4. Rekonstrukcja (od -25 000 BP) i prognoza (do 25 000 AD) klimatu Europy – według zawartości tlenku żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) w osadach Jez. Gościąż (od -12 750 lat temu)

Oprócz substancji organicznych (%) i węglanów wapnia  $\text{CaCO}_3$  przedstawiono ponadto rekonstrukcje (od -25 000 BP) i prognozy (do 25 000 AD) zmian klimatu Europy według zawartości tlenków żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) zdeponowanych w osadach jez. Gościąż.

W widmie zawartości tlenku żelaza  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  w osadach Jez. Gościąż II w ciągu ostatnich 12542 lat (wyznaczonym z odstępem czasu  $\Delta\Theta = 10$  lat) jest obecnych 12 cykli (tab.5, rys. 14)

Rekonstrukcję (od -25 000 BP) i prognozy zmian (do 25 000 AD) zawartości tlenku żelaza  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  otrzymano według wypadkowej interferencji tych 12 cykli:

50 650 1110 1240 1410 1680 1960 2350 3020 4070 6210 14250

ze składnikiem liniowym (o współczynniku korelacji wielokrotnej  $R = 0.938$ ):

$$F(t) = 8.631479 + 0.000142 t + \dots$$

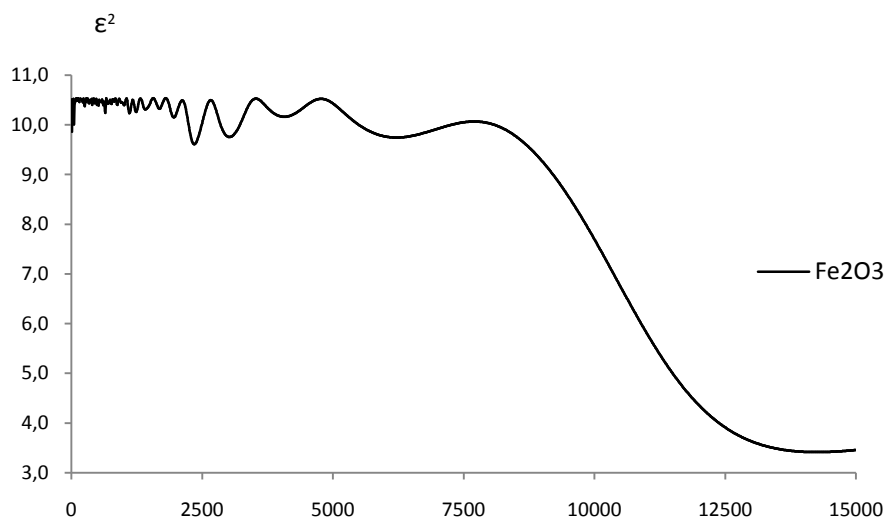
Zmiany zawartości tlenku żelaza  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  w osadach Jez. Gościąż II według interferencji tych cykli w różnych przedziałach czasu przedstawiono na wykresach funkcji  $F(t)$ :  $-25\ 000 \leq t \leq 25\ 000$  (rys 15),  $-25\ 000 \leq t \leq 5\ 000$  (rys. 16) i  $-15\ 000 \leq t \leq 2\ 500$  (rys. 17).

**Tabela 5.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli tlenku żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II ( $\epsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{\text{obl}}$  – test Fishera-Snedecora)

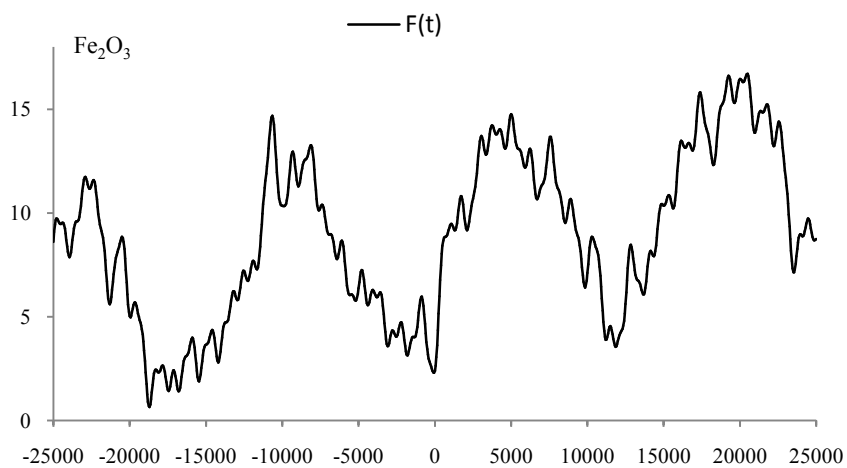
**Table 5.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of numerical cycles of iron oxide content ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) deposited in the sediments of the lake Gościąż II ( $\epsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{\text{obl}}$  – F-test)

$\Theta$	$b$	$c$	$\epsilon^2$	$R$	$F_{\text{obl}}$
50	0,443399	3,083590	10,003	0,225	6,290
650	0,409306	-2,614949	10,236	0,168	3,449
1110	0,372342	-1,929099	10,234	0,169	3,473
1240	0,458510	-0,186127	10,256	0,162	3,212
1410	0,567806	-0,896216	10,305	0,147	2,633
1680	0,406994	-1,444527	10,318	0,143	2,480
1960	0,435031	-1,894748	10,148	0,191	4,507
2350	0,735397	-1,042749	9,607	0,297	11,434
3020	0,560839	-1,177993	9,753	0,272	9,489
4070	0,307869	0,525406	10,16	0,188	4,362
6210	0,797573	-1,263735	9,742	0,274	9,633
14250	4,549030	-0,609419	3,415	0,822	247,027

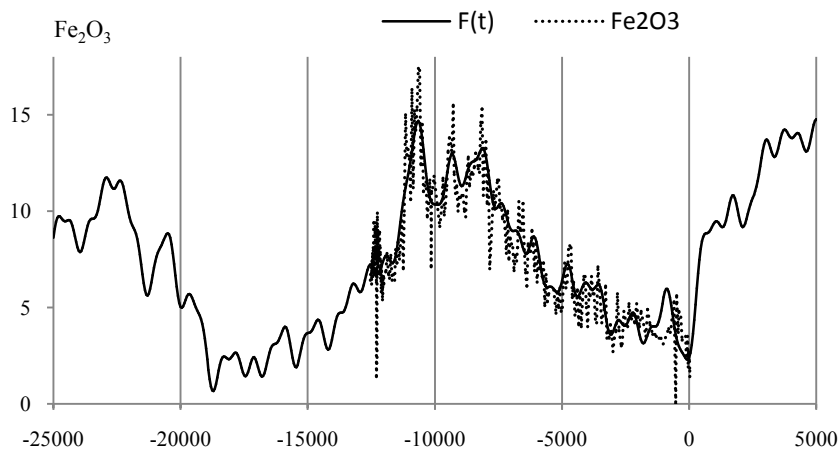




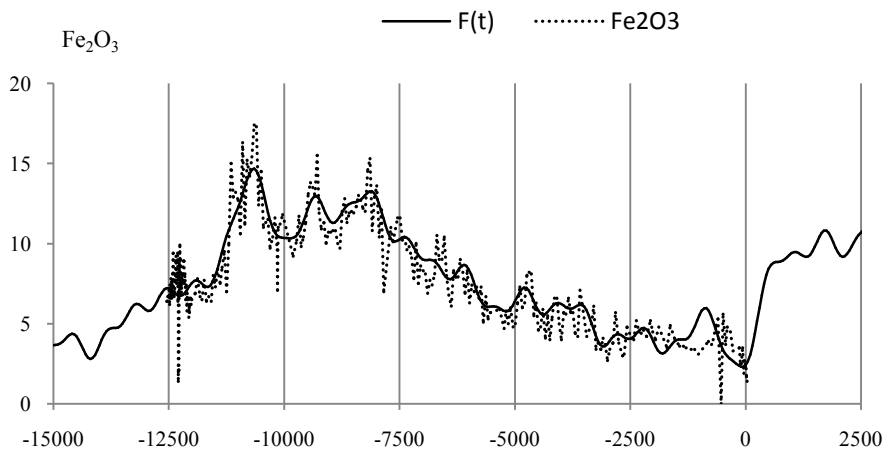
**Rys. 14.** Widmo tlenku żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II ( $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa)  
**Rys. 14.** Spectrum of iron oxide content ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) deposited in the sediments of the lake Gościąż II ( $\varepsilon^2$  – rest variance.)



**Rys. 15.** Zmiany tlenków żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II  
 $F(t)$  – interferencja cykli ( $-25\ 000 \leq t \leq 25\ 000$ )  
**Fig. 15.** Changes of iron oxide content ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) deposited in the sediments of the lake Gościąż II),  $F(t)$   
– interference of the cycles ( $-25\ 000 \leq t \leq 25\ 000$ )



**Rys. 16.** Zmiany tlenków żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II  
 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – wartości zmierzone,  $F(t)$  – interferencja cykli ( $-25\ 000 \leq t \leq 5\ 000$ )  
**Fig. 16.** Changes of iron oxide content ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) deposited in the sediments of the lake Gościąż II  
 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – loss of ignition,  $F(t)$  – interference of the cycles ( $-25\ 000 \leq t \leq 5\ 000$ )



**Rys. 17.** Zmiany tlenków żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – wartości zmierzone,  $F(t)$  – interferencja cykli ( $-15\ 000 \leq t \leq 2\ 500$ )  
**Fig. 17.** Changes of iron oxide content ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) deposited in the sediments of the lake Gościąż II,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – values measured,  $F(t)$  – interference of the cycles ( $-15\ 000 \leq t \leq 2\ 500$ )

#### **4.5. Holocenijskie ochłodzenia i ocieplenia klimatu i ich przyczyny według izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym z wyspy Devon oraz składu chemicznego osadów w Jez. Wikaryjskim i Jez. Gościąż**

W holocenie (ostatnie 11 700 lat temu) występowały zarówno wzrosty (ocieplenia) jak i spadki temperatury powietrza na Ziemi (ochłodzenia). Nie wszystkie jednak holocenijskie wahania klimatyczne występowały jednocześnie o tej samej amplitudzie na całej kuli ziemskiej.

##### **Ochłodzenia w holocenie (od 11 700 lat temu) według G. Bonda i in. (1997)**

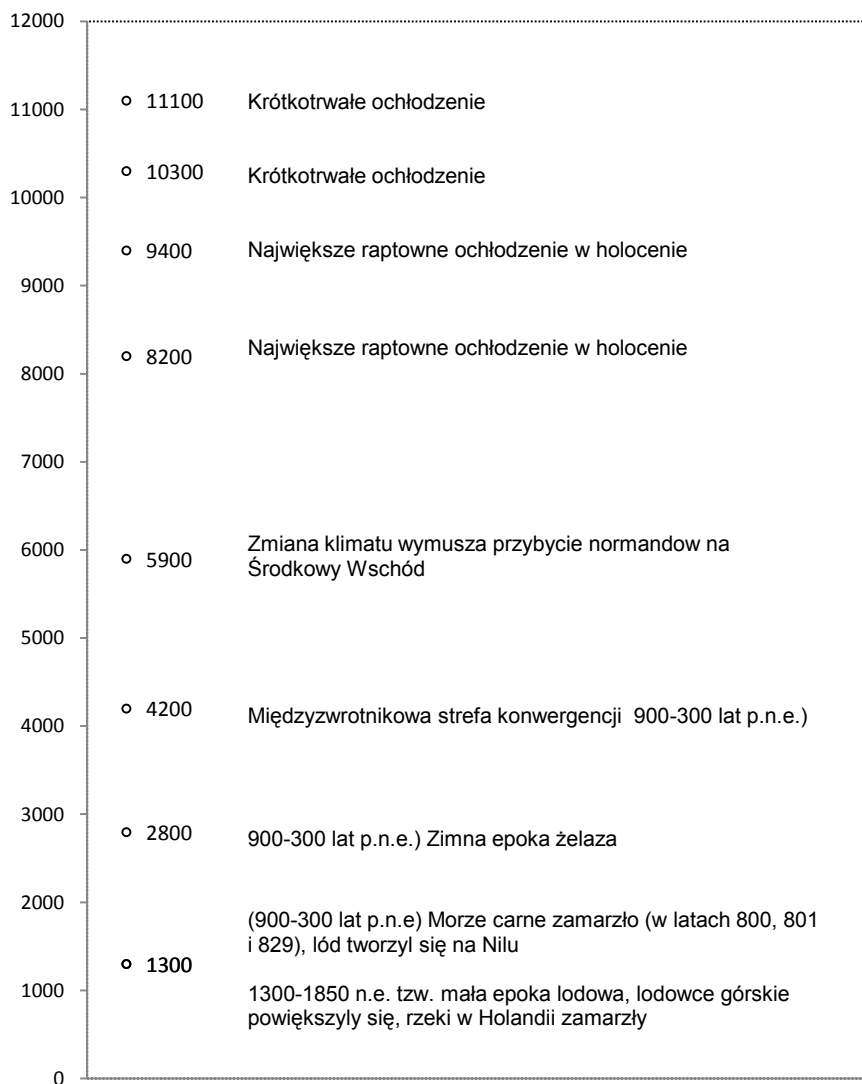
W holocenie (od 11 700 lat temu) w rejonie północnego Atlantyku stwierdzono cykliczne gwałtowne ochłodzenia, powtarzające się co  $1470 \pm 500$  lat (Bond i in., 1997, Marks L. 2016). Przyczyny tych ochłodzeń nie zostały dotychczas jednoznacznie określone. Według tych autorów mogły one być spowodowane m.in. zmianami radiacji słonecznej i wpływem cyklu księżycowego oddziałującego na wielkość pływów prowadzących do zmian cyrkulacji atmosferycznej w północnym Atlantyku.

Wyróżniono dziewięć tzw. wydarzeń (oznaczonych liczbami od 8 do 0), które powiązane z wyraźnymi, globalnymi zmianami klimatu oraz z rozwojem i upadkiem cywilizacji. Zdarzenia opisane przez G. Bonda (podane niżej) przedstawiono na rys. 18:

- 8 – 11 100 lat temu, krótkotrwałe ochłodzenie
- 7 – 10 300 lat temu, krótkotrwałe ochłodzenie
- 6 – 9400 lat temu, transgresja lodowców w Norwegii, zimny epizod w Chinach
- 5 – 8200 lat temu, największe, gwałtowne ochłodzenie w holocenie;
- 4 – 5900 lat temu, zmiana klimatu wymusza przybycie nomadów (ludów pasterskich i łowieckich) na Środkowy Wschód
- 3 – 4200 lat temu, międzyzwrotnikowa strefa konwergencji, przesunięcie strefy występowania monsunów skutkowało pustynnieniem Sahary
- 2 – 2800 lat temu (900-300 lat p.n.e), zimna epoka żelaza
- 1 – 1400 lat temu (530 r. p.n.e. do 900 r. n.e.), tzw. ciemne stulecia, kiedy Morze Czarne zamarzało (w latach 800, 801 i 829 n.e.), lód tworzył się na Nilu, a opady śniegu występowały w Europie śródziemnomorskiej i na wybrzeżu Chin. Kłęska głodu (późne lata 530. n.e.), epidemie (542–545 n.e.) oraz długie i silne susze w Europie 300-800 n.e.) doprowadziły do wędrówki ludów i napięć społecznych. Wieloletnie susze powtarzające się ok. 760, 810, 860 i 910 r. n.e. w Ameryce Środkowej spowodowały upadek imperium Majów.
- 0 – 1300-1850 n.e., tzw. mała epoka lodowa, kiedy lodowce górskie powiększały swoje zasięgi, a rzeki i kanały w Holandii – zamarzały zimą. Powtarzające się kłęski głodu (zbyt małe plony zbóż w Europie), wojny i epidemie były powodem drastycznego zmniejszenia zaludnienia w Europie. Pokrywa lodu morskiego wokół Islandii ograniczała komunikację, co spowodowało zakończenie osadnictwa Wikingów na Grenlandii.

Niektóre z tych wydarzeń są synchroniczne z okresami osłabienia monsunów azjatyckich i okresami suszy na Bliskim Wschodzie. Wydarzenia z lat 8200 i 4200 występowały na całej Ziemi.

## OCHŁODZENIA W HOLOCENIE



**Rys. 18.** Zmiany temperatury globalnej w holocenie (wg Bond i in., 1997)

**Fig. 18.** Change of global temperature in the Holocene (Bond i in., 1997)

Bond G., Showers W., Cheseby M., Lotti r., Almasi P., Demenoca L P., Priore P., Cullen H., Hajdas I. i Bonani G., 1997 – *A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates*. *Sci.*, 278 (5341): 1257–1266.

Marks L. 2016, *Zmiany klimatu w holocenie*, *Przegląd Geologiczny*, vol. 64, nr 1

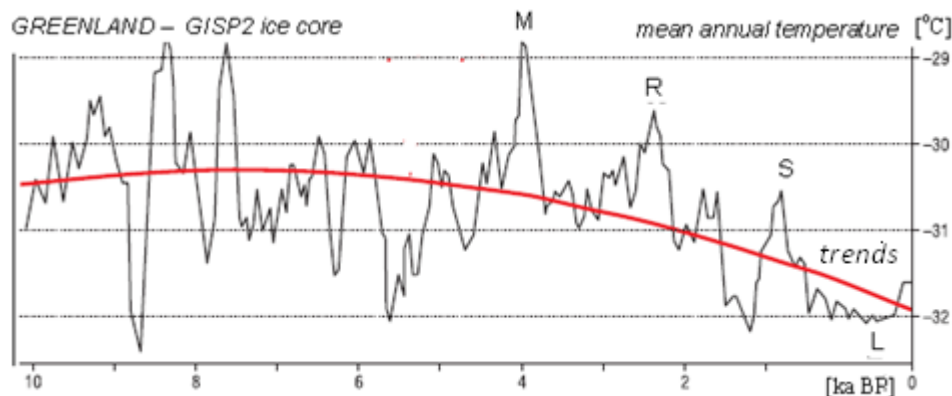
### Ochłodzenia i ocieplenia klimatu na Grenlandii w holocenie według R. B. Alley'a (2000)

Zmiany temperatury na Grenlandii w holocenie określone na podstawie stosunku izotopów tlenu ( $\delta^{18}\text{O}$ ) w rdzeniu lodowcowym GISP2 (Alley, 2000; Marks, 2016) (wiek w tysiącach lat przed 2000 AD, gdzie *M* – to ocieplenie minojskie (4000-3000 lat BP), *R* – rzymskie (2300 BP-530 AD), *S* – średniowieczne (950-1250 AD), a *L* – mała epoka lodowa przedstawiono na rys. 19.

W ciągu ostatnich 5000 lat wystąpił spadek temperatury na Ziemi, z krótkimi okresami znacznego ocieplania. Podobne wnioski wynikają z badań geologicznych w innych miejscach Ziemi. Dla ostatnich kilkuset lat zmian klimatu istotne znaczenie mają dane dendrologiczne i historyczne, a od końca XVII wieku – pomiary instrumentalne. Wynika z nich jednoznacznie: w X-XIII wieku ocieplenie średniowieczne, a po nim XV-XIX w. mała epoka lodowa

Mała epoka lodowa zaznaczyła się w Europie obniżeniem średniej rocznej temperatury powietrza o ok. 1°C, występowaniem lat nieurodzaju (lat głodu) i epidemii.

Po erupcji wulkanu Tambora w Indonezji (10 kwietnia 1815) duże ilości pyłu wyrzucone zostały do atmosfery, powodując znaczne obniżenie temperatury na półkuli północnej, gdzie rok 1816 – to „rok bez lata”. Średnia roczna temperatura spadła wtedy w niektórych miejscach o ponad 1°C. W Europie środkowej przymrozki występowały w wielu miesiącach, a opady śniegu nawet w czerwcu.



Rys. 19. Zmiana temperatury w Grenlandii w holocenie określone na podstawie stosunku izotopów tlenu ( $\delta^{16}\text{O}/\delta^{18}\text{O}$ ) w lodowcu wg Alleya (2000) (wiek w tysiącach lat przed 2000 AD)

Fig. 19. Change of temperature in Greenland in the Holocene based on ratio of contents of oxygen isotopes ( $\delta^{16}\text{O}/\delta^{18}\text{O}$ ) in glacial ice after Alley (2000), modified; age in thousand years before 2000 AD

### Ochłodzenia i ocieplenia klimatu w Europie Północnej w holocenie według A. Walanusa i D. Nalepki (2005)

Główne cechy klimatu w holocenie w Europie Północnej wg A. Walanusa i D. Nalepki (2005), to 5 okresów klimatyczno-roślinnych (wiek podano w latach kalendarzowych przed AD 2000).  $t_{\min}$   $t_{\max}$  (tab. 6)

**Tabela 6.** Główne cechy klimatu w holocenie w Europie Północnej; chronozony holocenu wg Walanusa i Nalepki (2005), a ich wiek podano w latach kalendarzowych przed AD 2000

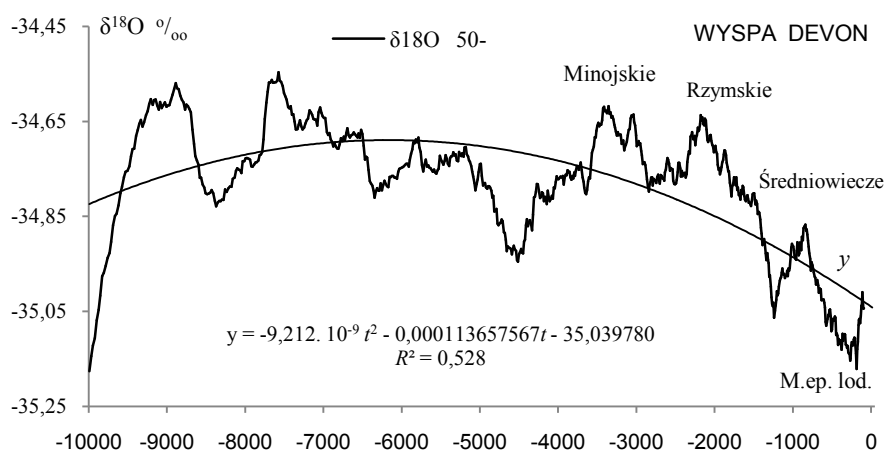
**Table 6.** Main climate changes in Northern Europe during the Holocene; chronozones after Walanus & Nalepka (2005) and their age in calibrated years before AD 2000

1	Preborealny	10150-11700	chłodny (subarktyczny), wzrost temperatury, w końcu ochłodzenie
2	Borealny	8900-10150	ciepły, suchy (temperatura o 2 °C wyższa niż dziś, większy kontynentalizm)
3	Atlantycki	5800-8900	bardzo ciepły, wilgotny (optimum klimatyczne z temperaturą > 2-3 °C niż obecnie)
4	Subborealny	2600-5800	ciepły, suchy (chłodniejszy niż poprzednio)
5	Subatlantycki	0-2600	chłodny, wilgotny

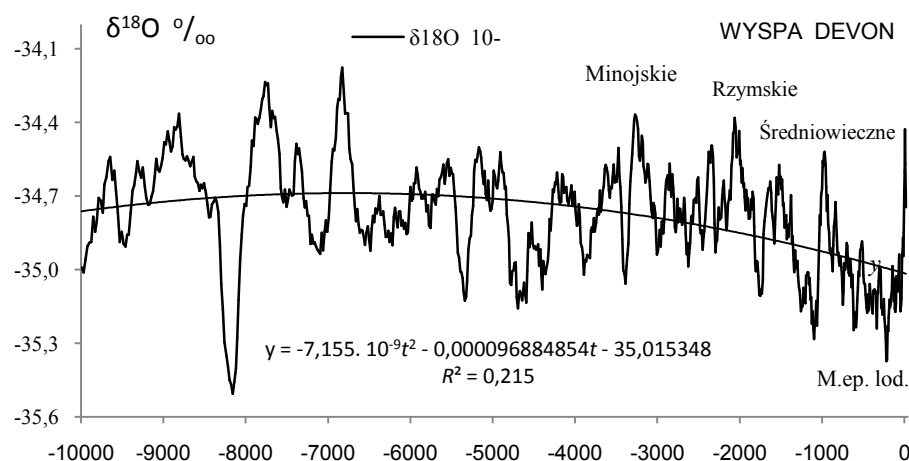
### Ochłodzenia i ocieplenia klimatu na wyspie Devon w holocenie

Holocenijskie ochłodzenia i ocieplenia określone teraz według zmian izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  ‰ w rdzeniu lodowym (od  $t = -110\,980$  BP) z wyspy Devon (w Arktyce Kanaadyjskiej) przedstawiono na rys. 20-20a. Są to zmiany średnich konsekwentnych 50- i 10- warstwowych izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  od -9 990 lat temu do teraźniejszości (do  $t=0$  BP czyli do roku 1950 AD).

Maksimum paraboli aproksymującej wartości (konsekwentne 50- warstwowe) izotopu tlenu ( $\delta^{18}\text{O}$  50-) w holocenie przypada na czas  $t_{\max} = -6189$  BP.



**Rys. 20.** Zmiany izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  50- (wyspa Devon) w przedziale czasu:  $-10\,000 < t < 0$  lat BP  
**Fig. 20.** Changes of isotope  $\delta^{18}\text{O}$  50-(Devon Island) in the time frame:  $-10\,000 < t < 0$  years BP



**Rys. 20a.** Zmiany izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  10- (wyspa Devon) w przedziale czasu:  $-10\ 000 < t < 0$  lat BP  
**Fig. 20a.** Changes of isotope  $\delta^{18}\text{O}$  10- (Devon Island) in the time frame:  $-10\ 000 < t < 0$  years BP

Holocenne ochłodzenia i ocieplenia w Arktyce Kanadyjskiej według zmian wartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  ‰ w rdzeniu lodowym z wyspy Devon według wykresu średnich konsekwentnych 50-warstwowych (rys. 19) zawierają się w przedziałach czasu BP ( $t = 0$  to rok 1950) podanych w tab. 6.

**Tabela 7.** Dаты ochłodzeń i ociepleń klimatu w Europie w przedziale czasu:  $-10\ 000 < t < 0$  lat BP na podstawie izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  (wyspa Devon)  
**Table 7.** Dates of coolings and warmings of the climates in Europe the basis of isotope  $\delta^{18}\text{O}$  (Devon Island) in the time frame:  $-10\ 000 < t < 0$  years BP

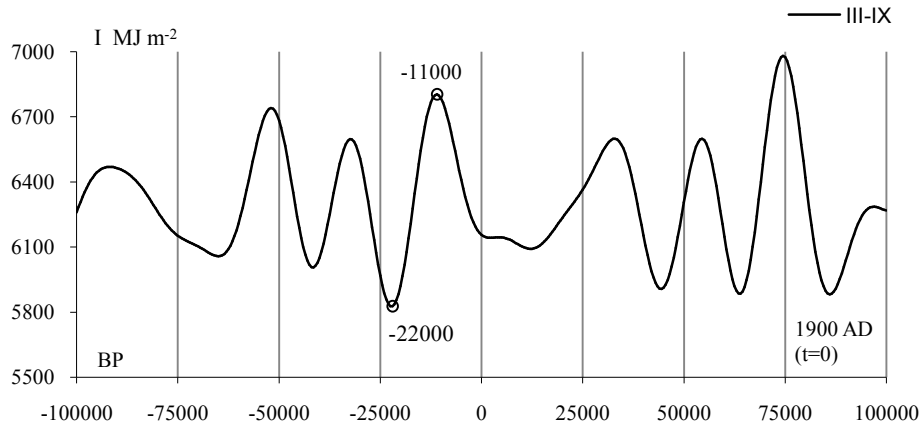
	Przedział czasu (BP)	Klimat wg $\delta^{18}\text{O}$	Ekstrema	
			Czas BP	$\delta^{18}\text{O}$ ‰
	< -9990	Duże ochłodzenie		
1	-9990- -9574	Ochłodzenie	$t_{\min} = -9990$	-35,18
2	-9574- -8636	Ocieplenie	$t_{\max} = -8888$	-34,57
4	-8636 - -7765	Ochłodzenie	$t_{\min} = -8523$	-34,80
5	-7765- -6691	Ocieplenie	$t_{\max} = -7695$	-34,56
5	-6691-3734	Ochłodzenie	$t_{\min} = -4656$	-34,92
6	-3734- -2873	Ocieplenie Minojskie	$t_{\min} = -3424$	-34,62
7	-2873- -1630	Ocieplenie Rzymskie	$t_{\max} = -2184$	-34,63
8	-1630 - -1027	Ochłodzenie	$t_{\max} = -1264$	-35,03
9	-1027 - -924	Ocieplenie Średniowieczne	$t_{\min} = -882$	-34,87
10	-924 - -123	Mała epoka lodowa	$t_{\max} = -290$	-35,13

Według M. Milankowicza (1930) zlodowacenia Ziemi, które wystąpiły w ciągu ostatniego miliona lat były efektem nakładania się trzech długich cykli: **92 000** lat – mimośrodowość (ekscentryczności,  $e$ ) o amplitudzie 0-0,068, **40 000** lat – nachylenia płaszczyzny równika do ekliptyki ( $\varepsilon$ ) o amplitudzie  $21^{\circ}58' - 24^{\circ}36'$ , **21 000** lat – długości ekliptycznej linii absydów (peryhelium - aphelium) względem punktu barana (równonocy wiosennej).

Zmiany okresowe eliptycznej orbity Ziemi spowodowały znaczne spadki i wzrosty promieniowania słonecznego w dużych szerokościach geograficznych, zwłaszcza w obszarach okołobiegunowych.

W obecnych obliczeniach sum promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ$  w okresie marzec-wrzesień (III-IX) przyjęto zakres zmian i długość cykli: mimośrodu orbity Ziemi ( $0 \leq e \leq 0,066$ ) – 100 000 lat, nachylenia osi Ziemi do płaszczyzny ekliptyki ( $21^\circ 58' \leq \varepsilon \leq 24^\circ 36'$ ) – 40 000 lat oraz długości ekliptycznej peryhelium względem punktu równonocy wiosennej – 21 000 lat. (rys. 21)

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).



**Rys. 21.** Zmiany sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień (III-IX) na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich -40 000 lat, z prognozą do 10 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ ) (Boryczka, 2015)

**Fig. 21.** Changes in the sums of solar radiation in the period March-September (III-IX) at the parallel  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last -40,000 years, with a forecast up to 10,000 years (1900 AD,  $t = 0$ ) (Boryczka, 2015)

Przebieg promieniowania cechuje się dwoma ekstremami: minimum  $t_{\min} = -22\ 000$  ( $5826 \text{ MJm}^{-2}$ ) i maksimum w holocenie  $t_{\max} = -11\ 000$  ( $6803 \text{ MJm}^{-2}$ ).

Interesujące jest porównanie przebiegów czasowych: substancji organicznych (%), węglanów wapnia  $\text{CaCO}_3$  i tlenków żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąg z sumami promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ$  w okresie marzec-wrzesień. (rys. 22-24). Należy zauważyć „równoległość” wykresów wielomianów regresji 3-go stopnia i sum promieniowania słonecznego

$$\text{Subs. org.} = 4 \cdot 10^{-11} t^3 + 7,843210^{-7} t^2 + 0,00438875292 t + 18,392492$$

$$-\text{CaCO}_3 = 1,1 \cdot 10^{-10} t^3 + 2,74448 \cdot 10^{-6} t^2 + 0,01501391678 t - 53,4438268$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 3 \cdot 10^{-11} t^3 + 5,540610^{-7} t^2 + 0,00134726585 t + 3,8386529$$

o współczynnikach determinacji  $R^2 = 0,402$ ,  $R^2 = 0,832$ ,  $R^2 = 0,702$ .

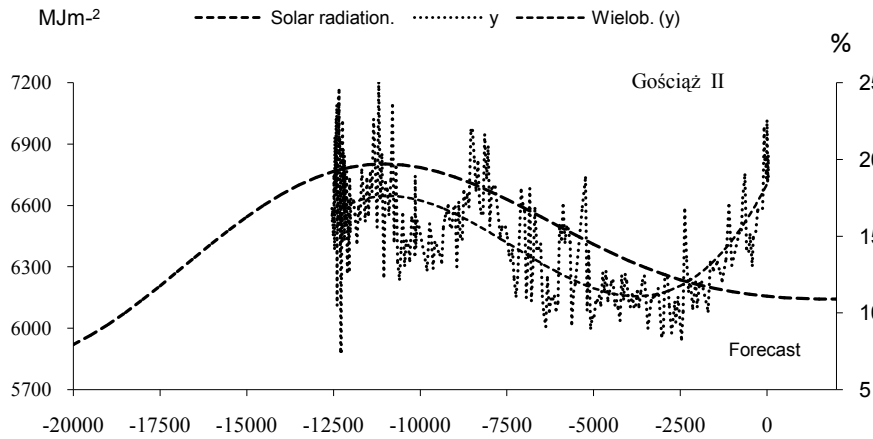
Maksima wielomianów regresji 3-go stopnia substancji organicznych (%), węglanów wapnia ( $-\text{CaCO}_3$ ) i tlenku żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) względem czasu  $t$  pokrywają się z „rozległym” maksimum sum promieniowania słonecznego w miesiącach III-IX.

Wartości funkcji  $F(t)$  substancji organicznych w osadach Jez. Gościąg są największe przy dużych sumach promieniowania słonecznego. Stąd wynika teza, że główną

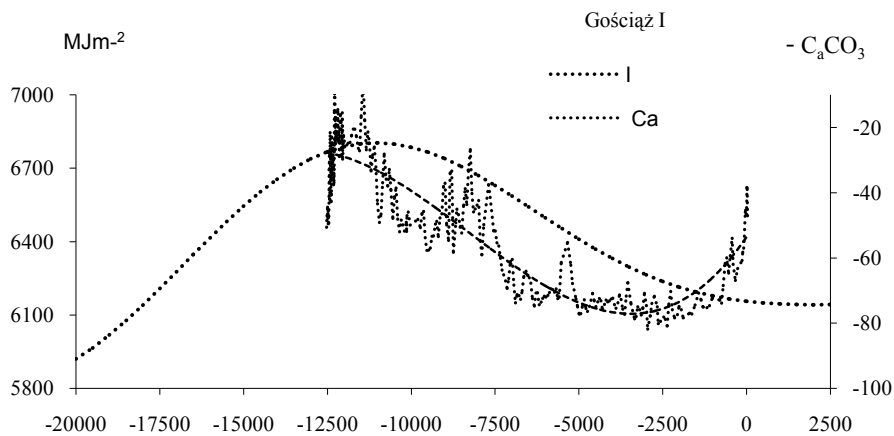


przyczyną holocenijskiego optimum klimatu był wzrost sum promieniowania słonecznego, wywołany zmianami orbity Ziemi.

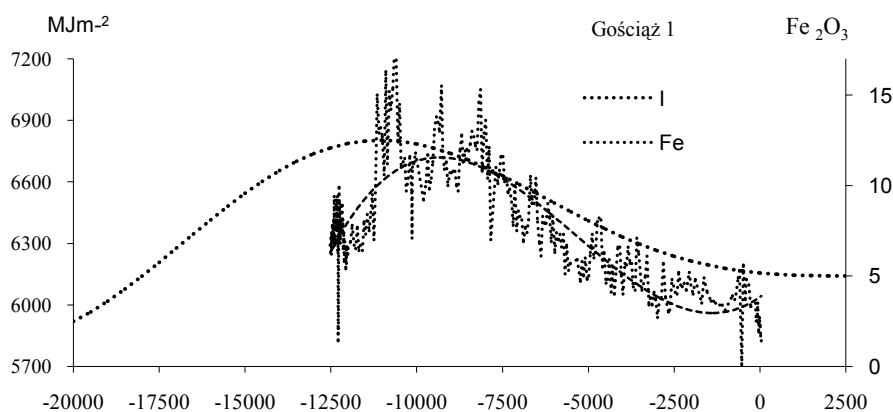
Teoria Milankoviča (1930) nie wyjaśnia jednak przyczyn wahań temperatury powietrza w holocenie – holocenijskich ochłodzeń i ociepleń klimatu (od 11 700 lat temu), ze względu na bardzo długie cykle zmian parametrów orbity Ziemi (21 000, 40 000, 92 000 lat lub 100 000 lat).



**Rys 22.** Zmiany zawartości substancji organicznych w jeziorze Gościąż I w czasie  $-12750 \leq t \leq 0$  w odniesieniu do sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$   
**Fig. 22.** The change of the organic substance content in Lake Gościąż during  $-12750 \leq t \leq 0$  in reference to the sums of solar radiation in the period March-September at the paralel  $\varphi = 65^\circ \text{N}$



**Rys 23.** Zmiany zawartości węglanów wapnia w jeziorze Gościąż I w czasie:  $-12750 < t \leq 0$  w odniesieniu do sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$   
**Fig. 23.** The change of the calcium carbonate content in Lake Gościąż during:  $-12750 \leq t \leq 0$  in reference to the sums of solar radiation in the period March-September at the paralel  $\varphi = 65^\circ \text{N}$



**Rys 24.** Zmiany zawartości tlenków żelaza w jeziorze Gościąg w czasie:  $-12750 \leq t \leq 0$  w odniesieniu do sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$

**Fig. 24.** The change of the iron oxide content in Lake Gościąg during:  $-12750 \leq t \leq 0$  in reference to the sums of solar radiation in the period March-September at the paralel  $\varphi = 65^\circ \text{N}$

Istotne znaczenie dla wyjaśnienia przyczyn ochłódzeń i ociepleń klimatu w holocenie ma wykrycie w widmach zmiennych sedimentologicznych takich samych okresów, które są obecne w widmach parametrów Układu słonecznego. Świadczy to, że okresowe zmiany substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego i Jez. Gościąg oraz węglanów wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ) i tlenków żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) w osadach Jez. Gościąg (od 10 000 lat temu) są spowodowane ruchem największych planet wokół Słońca. Podobnie okresy (krótkie) izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon także świadczą o astronomicznych przyczynach holocenijskich wahań klimatu (tab. 8-9).

**Tabela 8.** Okresy  $\Theta$  substancji organicznych (%), węglanów wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ) i tlenków żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego i Jez. Gościąg w ciągu ostatnich 14 000 lat

**Table 8.** Periods  $\Theta$  (expres in years ) of organic substance (%), calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) and iron oxide content ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) deposited in the sediments of the lake Wikaryjskie, and the lake Gościąg during the last 14,000 years

Jez. Wikaryjskie	Jez. Gościąg		
Substancje organiczne %	Substancje organiczne %	Węglany wapnia $\text{CaCO}_3$	Tlenki żelaza $\text{Fe}_2\text{O}_3$
200	50	180	50
360	210	490	650
610	390	560	1110
890	1120	680	1240
1020	1380	960	1410
1200	1770	1370	1680
1690	2970	1740	1960
2490	3880	2100	2350
3460	6080	3200	3020
6420	12380	4110	4070
		6330	6210
		12540	14250

Jak już wspomniano, o cyklicznych wahań klimatu w holocenie świadczą nie tylko cykle ( $\Theta$ ) substancji organicznych (%), węglanów wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ) i tlenków

żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) w osadach jeziornych, lecz także krótkie cykle ( $\Theta$ ) izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon. (od -110 977 lat temu), spośród okresów  $\Theta$ :

4500, 4700, 6200, 7300, 8700, 11300, 16700, 24700, 45900, 58700, 86100,  
które są zbliżone do cykli parametrów Układu Słonecznego,

Wzięto pod uwagę cztery parametry Układu Słonecznego: siłę grawitacji planet  $G$ , siłę pływową planet na Słońcu  $\Delta G$ , moment pędu planet  $J$  i  $\cos\Gamma$  (kąt między promieniami wodzącymi środka masy  $\vec{s}$  i środka geometrycznego  $\vec{S}$  Układu Słonecznego) według definicji:

- Siła wypadkowa grawitacji planet ( $G = |\vec{G}|$ ,  $[G] = \text{AU}^{-2}$ )

$$\vec{G} = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{r_i} \vec{r}_i$$

- Siła pływowa planet na Słońcu  $\Delta G$  ( $[\Delta G] = 10^{-6} \text{ AU} \cdot \text{rok}^{-2}$ )

$$\Delta G = k \sum_{i=1}^n m_i [(r_i - R_o)^{-2} - r_i^{-2}] |\cos\Gamma_i|$$

- Moment pędu planet (wypadkowy) -  $J = |\vec{J}|$ ,  $[J] = \text{AU}^2 \cdot \text{miesiąc}^{-1}$

$$\vec{J} = \sum_{i=1}^n m_i (\vec{r}_i \times \frac{d\vec{r}_i}{dt})$$

- $\cos\Gamma$  (kąt między promieniami wodzącymi: środka masy  $\vec{s}$  i środka geometrycznego  $\vec{S}$ )  
 $\cos\Gamma = \frac{\vec{s} \cdot \vec{S}}{s \cdot S}$

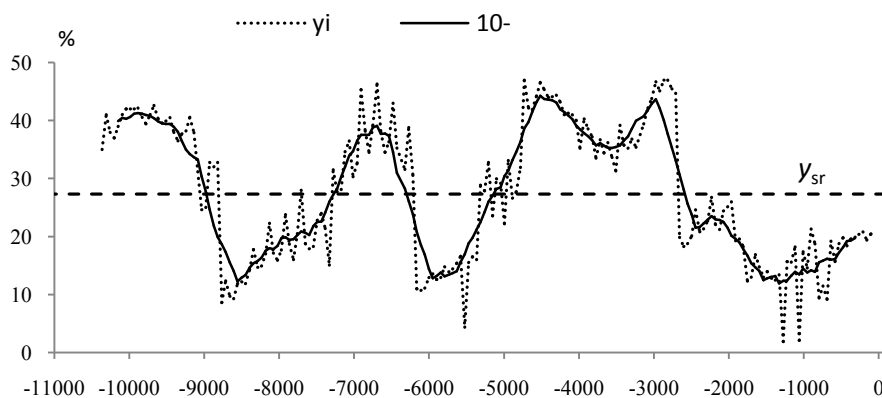
gdzie:  $k$  - stała grawitacji,  $\vec{r}_i$  - promień wodzący  $i$ -tej planety w układach heliocentrycznym,  $m_i$  - masa  $i$ -tej planety,  $\Gamma_i$  - kąt między promieniami wodzącymi  $\vec{r}_i$  i  $\vec{s}$  (środku masy),  $\frac{d\vec{r}_i}{dt}$  - prędkość  $i$ -tej planety,  $R_o$  - promień Słońca, AU - jednostka astronomiczna.

**Tabela 9.** Okresy parametrów Układu Słonecznego na podstawie ciągów czasowych średnich 10-letnich wartości w ciągu ostatnich 15 000 lat (wyrażone w latach juliańskich)

**Table 9.** Periods of the parameters of the solar system determined on the basis of temporal sequences of the 10-year average values Turing the last 15 thousand years (expressed in Julian years)

Siła grawitacji ( $G$ )	Siła pływowa na Słońcu ( $\Delta G$ )	Moment pędu planet ( $J$ )	$\cos\Gamma$
180	170	80	170
380	310	-	250
480	510	530	570
940	930	-	800
1010	1120	1100	1050
1370	1480	1410	1400
<u>1650</u>	<u>1670</u>	<u>1560</u>	<u>1600</u>
<u>2520</u>	<u>2280</u>	<u>2290</u>	<u>2350</u>
<u>3040</u>	2960	3270	.
3780	4000	4220	3940
5060	-	-	-
7750	7730	6040	5920

Holocenijskie ochłodzenia i ocieplenia określone według zmian substancji organicznych w Jez. Wikaryjskim przedstawiono na rys. 25-28 i w tab. 10. Na rys. 25 są to zmiany średnich konsekwentnych 10-warstwowych od -10 380 lat temu do teraźniejszości (do  $t=0$  BP czyli do roku 1950 AD).



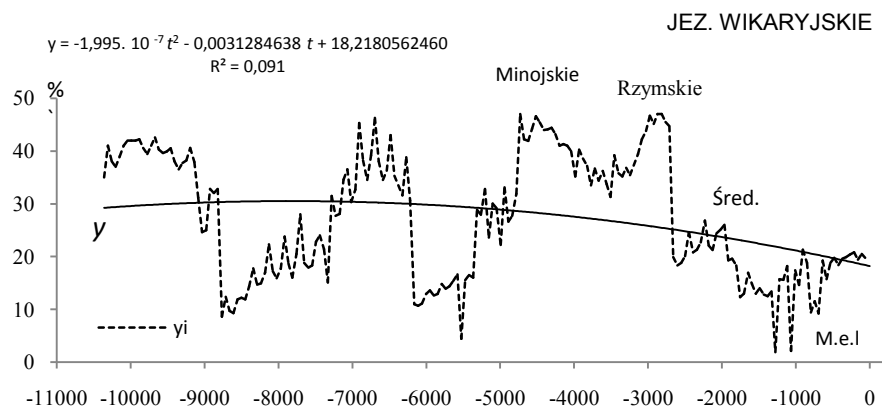
**Rys. 25.** Zmiany substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego (-12 500  $\leq t \leq 0$ ),  $y_i$  – wartości zmierzone, 10- – średnie konsekwtywne (10- warstwowe)

**Fig. 25.** Changes of organic substance (%) deposited in the sediments of the lake Wikaryjskie (-12 500  $\leq t \leq 0$ ),  $y_i$  – values measured, 10- – moving averages

**Tabela 10.** Daty ochłodzeń i ociepleń klimatu w Europie w ciągu ostatnich 10 000 lat na podstawie substancji organicznych, zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego

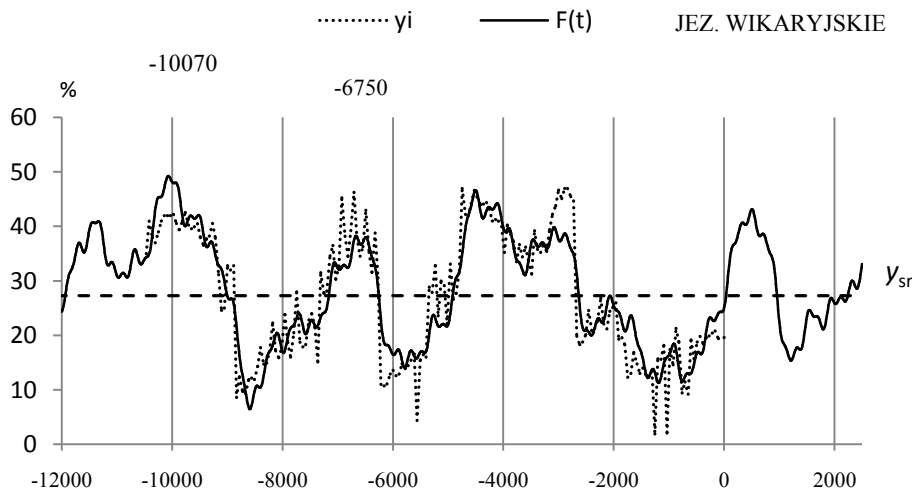
**Table 10.** Dates of coolings and warmings of the climates in Europe the last 10 thousand year the basis of organic substance deposited in the sediments of the lake Wikaryjskie

	Przedział czasu (BP)	Klimat wg subs. org.	Ekstrema	
			Czas BP	%
1	-103602- -8978	Ocieplenie	$t_{\min} = -9881$	41,17
2	-8978 - -7172	Ochłodzenie	$t_{\max} = -8500$	12,91
4	-7172 - -6322	Ocieplenie	$t_{\min} = -6694$	15,39
5	-6322 - -5047	Ochłodzenie	$t_{\max} = -5950$	12,79
5	-5047- -3559	Ocieplenie Minojskie	$t_{\min} = -4409$	43,61
6	-3559- -2603	Ocieplenie Rzymskie	$t_{\min} = -2231$	23,50
7	-2390-1915	Ocieplenie Średnioieczne	$t_{\max} = -3040$	11,01
8	-19159 - -690	Ochłodzenie M. epo. lod.	$t_{\max} = -1221$	12,42



**Rys. 26.** Zmiany substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego (-12 000 ≤ t ≤ 0),  $y_i$  – wartości zmierzone

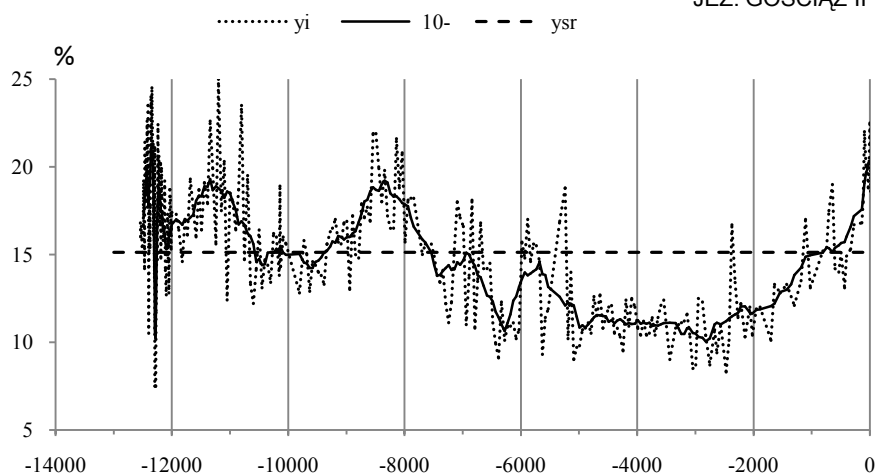
**Fig. 26.** Changes of organic substance (%) deposited in the sediments of the lake Wikaryjskie (-12 000 ≤ t ≤ 0),  $y_i$  – values measured,



**Rys. 27.** Zmiany substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego (-12 500 ≤ t ≤ 2500),  $y_i$  – wartości zmierzone,  $F(t)$  – wykres funkcji aproksymującej (interferencja cykli)

**Fig. 27.** Changes of organic substance (%) deposited in the sediments of the lake Wikaryjskie (-12 500 ≤ t ≤ 2 500),  $y_i$  – values measured,  $F(t)$  – curve of approximation function (interference of the cycles)

Holocenne ochłodzenia i ocieplenia określone według zmian substancji organicznych w Jez. Gościąg przedstawiono na rys. 28-29 i w tab. 11. Na rys. 28 są to zmiany średnich konsekwentnych 10-warstwowych od -10 380 lat temu do teraźniejszości (do t=0 BP czyli do roku 1950 AD).



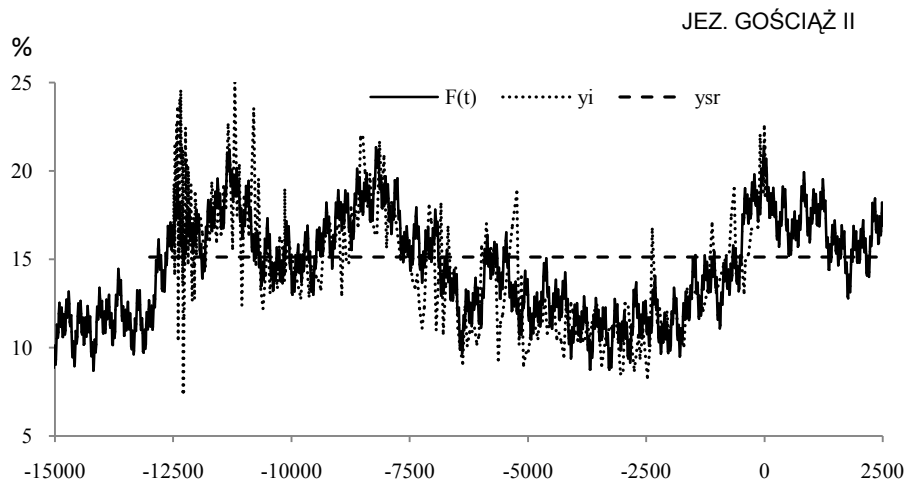
**Rys. 28.** Zmiany substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąg II,  $y_i$  – wartości zmierzone, 10- – średnie konsekwentne (10-warstwowe) ( $-12\ 750 \leq t \leq 0$ )

**Fig. 28.** Changes of organic substance (%) deposited in the sediments of the lake Gościąg,  $y_i$  – measured values, 10- – moving averages ( $-12\ 750 \leq t \leq 0$ )

**Tabela 11.** Daty ochłodzeń i ociepleń klimatu w Europie w ciągu ostatnich 12 000 lat na podstawie substancji organicznych, zdeponowanych w osadach Jez. Gościąg

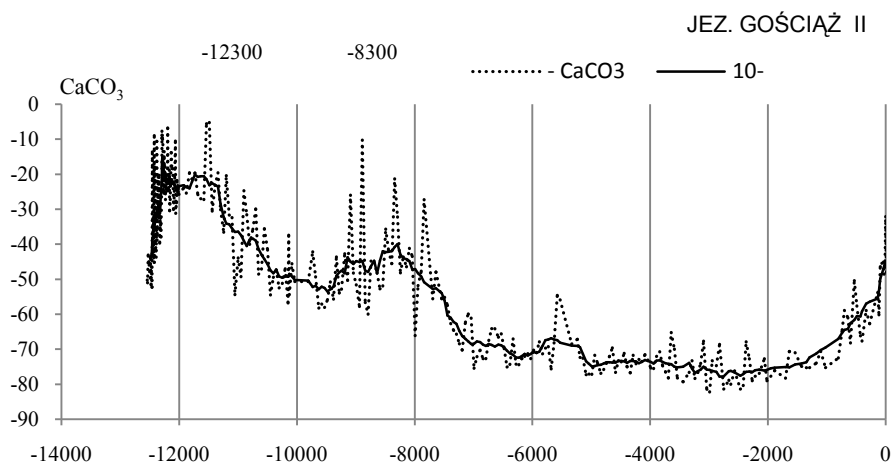
**Table 11.** Dates of coolings and warmings of the climates in Europe the last 12 thousand year the basis of organic substance deposited in the sediments of Gościąg

	Przedział czasu (BP)	Klimat wg sub. org.	Ekstrema	
			Czas BP	%
	< -12482	Duże ochłodzenie		
1	-12482 - -12256	Ochłodzenie	$t_{\min} = -12291$	10,78
2	-12256 - -10650	Ocieplenie	$t_{\max} = -11438$	18,88
4	-10650 - -9380	Ochłodzenie	$t_{\min} = -9805$	15,05
5	-9380 - -7690	Ocieplenie	$t_{\max} = -8390$	19,02
5	-7690 - -6380	Ochłodzenie	$t_{\min} = -6330$	11,01
6	-6380 - -5040	Ocieplenie	$t_{\min} = -5680$	14,56
7	-5640 - -700	Ochłodzenie	$t_{\max} = -30404$	11,01
8	-700 - 0	Ocieplenie	$t_{\max} = 0$	20,26

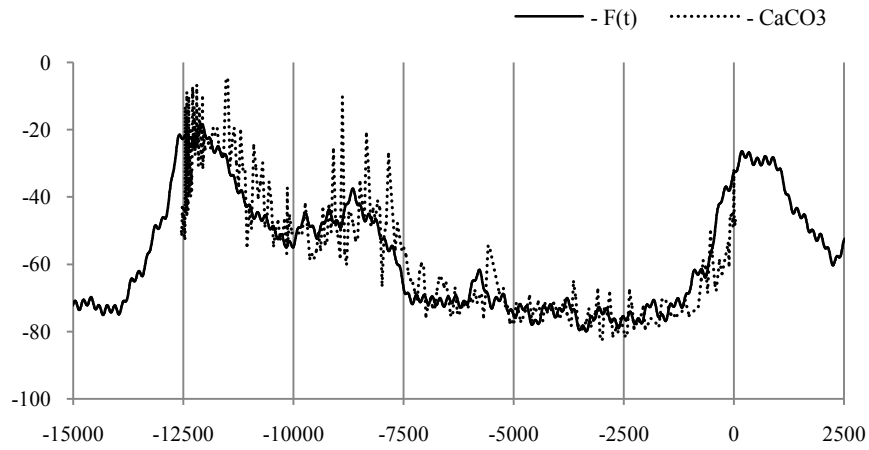


**Rys. 29.** Zmiany substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąg II,  $y_i$  – wartości zmierzone,  $F(t)$  – wykres funkcji aproksymującej (interferencja cykli) ( $-15\ 000 \leq t \leq 2500$ )  
**Fig. 29.** Changes of organic substance (%) deposited in the sediments of the lake Gościąg II,  $y_i$  – measured values,  $F(t)$  – curve of approximation function (interference of the cycles) ( $-15\ 000 \leq t \leq 2500$ )

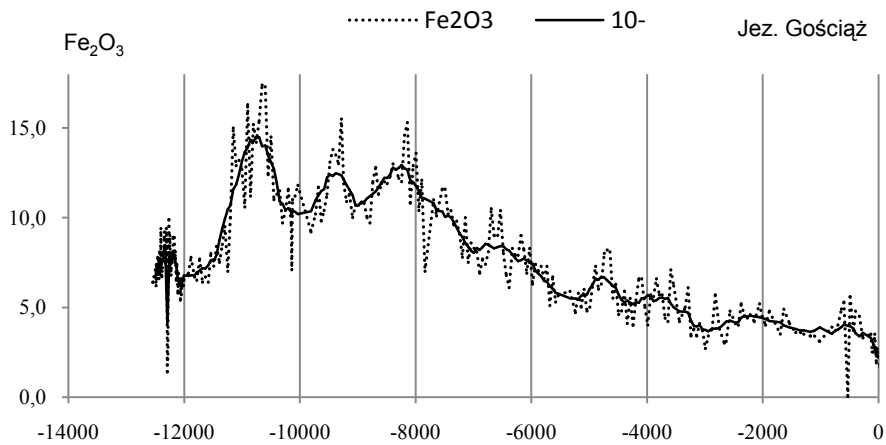
Holocenne ochłodzenia i ocieplenia wskazują także węglany wapnia  $\text{CaCO}_3$  i tlenki żelaza zdeponowane w Jez. Gościąg przedstawione na rys. 30-33. Są to zmiany średnich konsekwentnych 10- warstwowych od -10 380 lat temu do teraźniejszości (do  $t = 0$  BP czyli do roku 1950 AD) i interferencje cykli  $F(t)$ .



**Rys. 30.** Zmiany węglanów wapnia zdeponowanych w osadach Jez. Gościąg II,  $\text{CaCO}_3$  – wartości zmierzone, 10- – średnie konsekwentne (10- warstwowe) ( $-12750 \leq t \leq 0$ )  
**Fig. 30.** Changes of calcium carbonate deposited in the sediments of the lake Gościąg II,  $\text{CaCO}_3$  – measured values, 10- – moving averages ( $-12750 \leq t \leq 0$ )

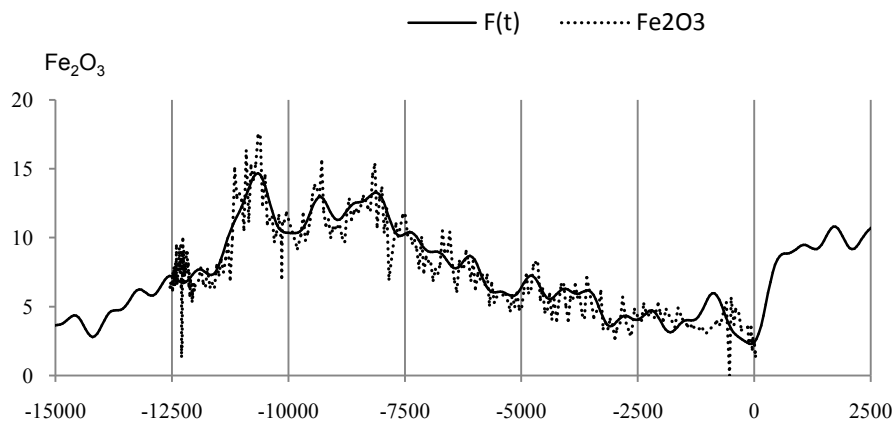


**Rys. 31** Zmiany węglanów wapnia zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II;  $\text{CaCO}_3$  – wartości zmierzone,  $-F(t)$  – interferencja cykli ( $-15\,000 \leq t \leq 2\,500$ )  
**Fig. 31.** Changes of calcium carbonate deposited in the sediments of the lake Gościąż II,  $\text{CaCO}_3$  – measured values,  $-F(t)$  – interference of the cycles ( $-15\,000 \leq t \leq 2\,500$ )



**Rys. 32.** Zmiany tlenków żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – wartości zmierzone, 10- – średnie konsekwentne (10-warstwowe) ( $-12\,750 \leq t \leq 0$ )  
**Fig. 32.** Changes of iron oxide content ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) deposited in the sediments of the lake Gościąż II,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – values measured, 10- – moving averages ( $-12\,750 \leq t \leq 0$ )



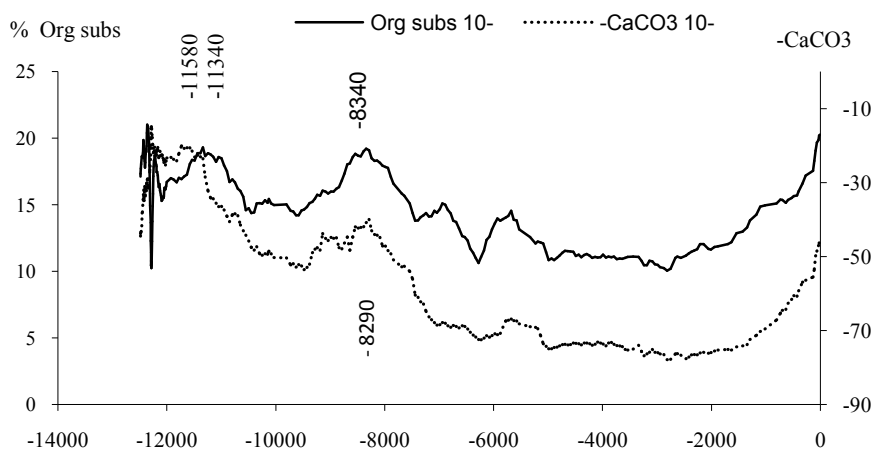


**Rys. 33.** Zmiany tlenków żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – wartości zmierzone,  $F(t)$  – interferencja cykli ( $-15\ 000 \leq t \leq 2\ 500$ )  
**Fig. 33.** Changes of iron oxide content ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) deposited in the sediments of the lake Gościąż II,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – measured values,  $F(t)$  – interference of the cycles ( $-15\ 000 \leq t \leq 2\ 500$ )

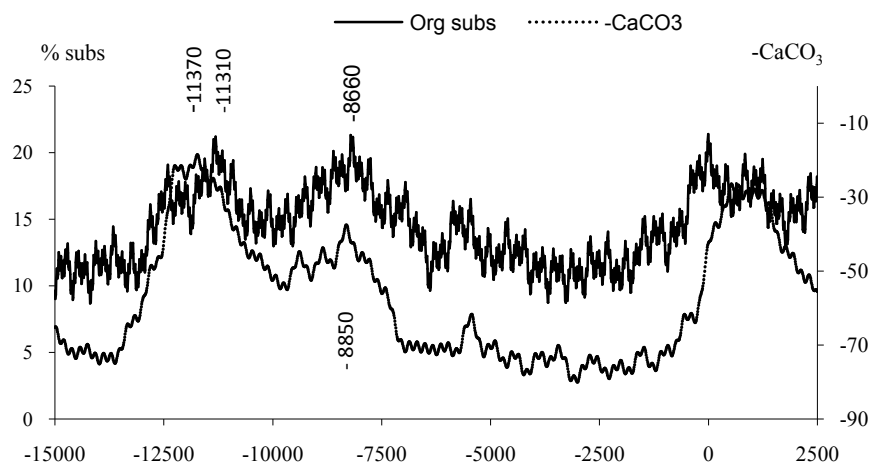
Istnieje zgodność wahań średnich konsekwentnych 10-warstwowych substancji organicznych (%) i węglanów wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ) (rys. 34). Jest także zbieżność ekstremów wypadkowych interferencji cykli  $F(t)$  substancji organicznych (%) i węglanów wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ) (rys. 35).

Daty ekstremów (MIN i MAX) zmierzonych wartości substancji organicznych (%), węglanów wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ) i tlenków żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż (od 10 000 lat temu) przedstawiono na rys 36:

-%MIN    $\Delta$ CaCO3 MIN    $\square$ Fe2O3 MIN   +%MAX    $\circ$ CaCO3 MAX    $\times$ Fe2O3 MAX

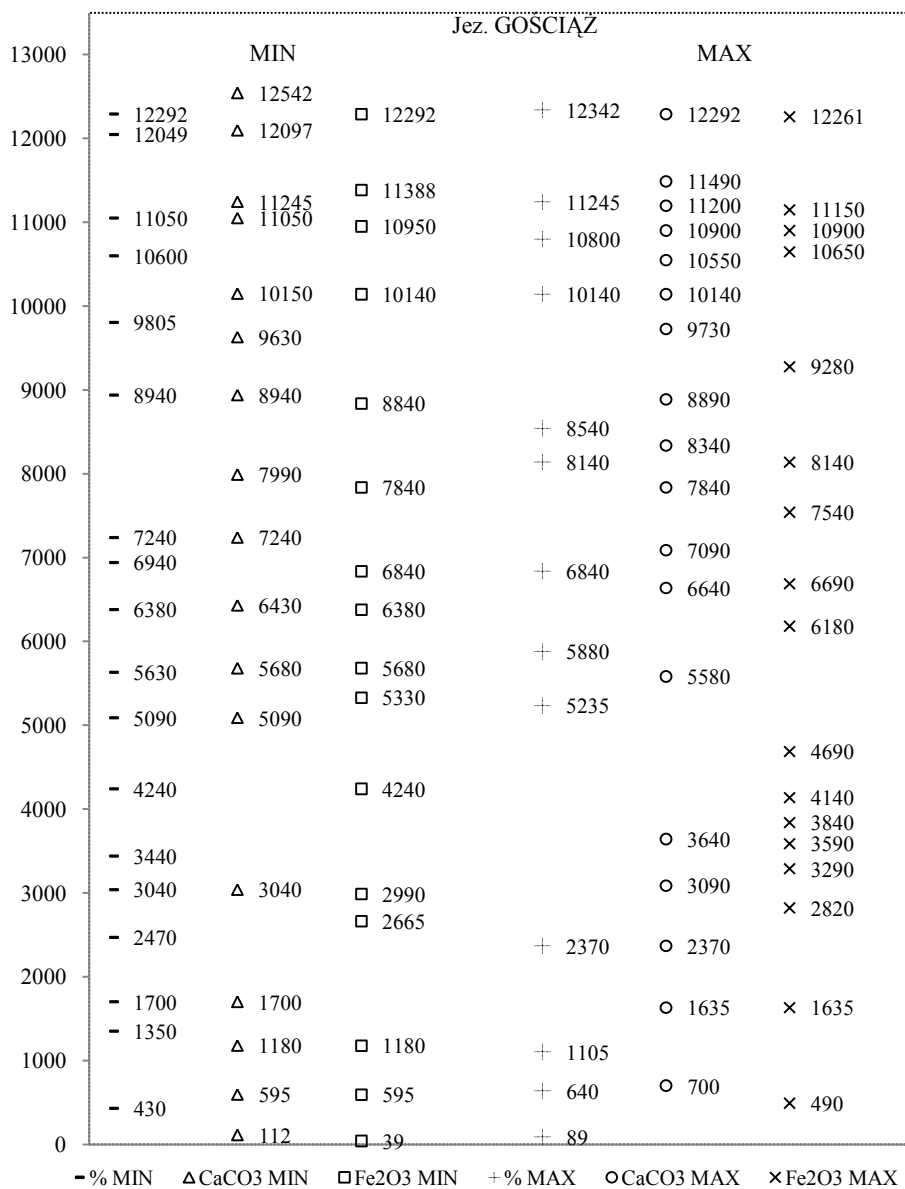


**Rys. 34.** Zmiany substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż II,  $y_i$  – wartości zmierzone, 10- – średnie konsekwentne (10-warstwowe) ( $-14\ 000 \leq t \leq 0$ )  
**Fig. 34.** Changes of organic substance (%) deposited in the sediments of the lake Gościąż II,  $y_i$  – measured values, 10- – moving averages ( $-14\ 000 \leq t \leq 0$ )



**Rys. 35.** Zmiany substancji organicznych (%) i węglanów wapnia zdeponowanych w osadach Jez. Gościąg II, Org subs, CaCO<sub>3</sub> – interferencja cykli (-15 000 ≤ t ≤ 2500)

**Fig. 35.** Changes of organic substance (%) and calcium carbonate deposited in the sediments of the lake Gościąg II, Org subs, CaCO<sub>3</sub> – interference of the cycles (-15 000 ≤ t ≤ 2500)



**Rys. 36.** Zmiany zawartości substancji organicznych (%), węglanów wapnia (CaCO<sub>3</sub>) i tlenków żelaza (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż w ciągu ostatnich 14 000 lat, Min – Ochłodzenie, Max – Ocieplenie

**Fig. 36.** The change of organic substance (%), calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) and iron oxide content (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) deposited in the sediments of the lake Gościąż during the last 14,000 years, Min – Coold period, Max – Warm Period

## V. REKONSTRUKCJA ZMIAN KLIMATU EUROPY W DWÓCH OSTATNICH TYSIĄCLECIACH (0-XX) I PROGNOZA W XXI-XXV WEDŁUG DANYCH DENDROLOGICZNYCH

Rekonstrukcje (od 0 n.e.) i prognozy (do XXV) zmian klimatu Europy opracowano na podstawie danych o rocznych przyrostach (szerokości słoju) 13 najstarszych drzew rosnących w Europie:

1. Sosna (*Pinus sylvestris*) – Forfjordalen (877-1994, Norwegia)
2. Sosna (*Pinus sylvestris*) – Karhunpesakivi (1398-1993, Finlandia)
3. Sosna (*Pinus sylvestris*) – Kola (1577-1997, Rosja)
4. Świerk (*Picea abies*) – Falkenstein (1540-1995, Niemcy)
5. Świerk (*Picea abies*) – Fodara Vedla (1598-1990, Włochy)
6. Świerk (*Picea abies*) w Stonnglandes (1403-1997, Norwegia)
7. Modrzew (*Larix decidua*) – Les Merveilles 2 (988-1974, Francja)
8. Jodła (*Abies alba*) – Prayo Magno (1540-1973, Włochy)
9. Dąb (*Quercus petraea*) – Ardeny (1118-1986, Belgia)
10. Dąb (*Quercus petraea*) – Bodensee (1275-1986, Holandia)
11. Dąb (*Quercus petraea*) – Bourgogne (681-1991, Francja)
12. Dąb (*Quercus robur*) – Hamburg (1340-1967, Niemcy)
13. Dąb (*Quercus petraea*) – Pomorze Wschodnie (966-1985, Polska)

Wybrano je spośród 30 drzew badanych w Atlasie t. XX-XXI (rozdz. IV. *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według ciągów dendrologicznych*):

- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Bijak Sz., Cebulski R., Błazek 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.

Dotychczas, aproksymowano wyniki pomiarów szerokości słoju 30 drzew według interferencji cykli (najwcześniej od 877 lat temu) i prognozowano roczne przyrosty do roku 2100.

Obecne rekonstrukcje od 0 n.e. i prognozy do roku 2500 rocznych przyrostów (szerokości słoju) 13 drzew opracowano według interferencji cykli ze składnikiem liniowym  $a_0 + at$ :

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

Parametry sinusoidalnych cykli szerokości słoju 13 drzew rosnących w Europie ( $\Theta$  – okres,  $b$  – amplituda,  $c$  – faza,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{\text{obl}}$  – test Fishera-Snedecora) zestawiono w tab. 1-13.

Widma oscylacji rocznych przyrostów tych 13 wybranych drzew oraz zmiany grubości słoju rekonstruowanych i prognozowanych według interferencję cykli  $F(t)$  przedstawiają wykresy: na rys. 1-26. W części górnej (A) przedstawiono zmiany zmierzonych szerokości słoju  $d_i$  i obliczonych  $F(t)$  do roku 2100. W części zaś dolnej (B) przedstawiono zmiany szerokości słoju drzew od 0 n.e. do roku 2500. według interferencji cykli  $F(t)$ .

O ekstremach termicznych (ochłodzeniach i ociepleniach klimatu) informują daty wiekowych minimów ( $t_{\text{min}}$ ) i maksimów ( $t_{\text{max}}$ ) rocznych przyrostów drzew ( $d_{\text{min}}$ ,  $d_{\text{max}}$ ).

Za wyjątkowy pod względem termicznym uznano ten rok, w którym grubość słoja danego drzewa ( $d$ ) różni się od średniej wszystkich jego słoików ( $d_{sr}$ ) (średniej wieloletniej) co najmniej o 2 odchylenia standardowe ( $\sigma$ ):

$d \leq d_{sr} - 2\sigma$  – wyjątkowo zimny (WZ)

$d \geq d_{sr} + 2\sigma$  – wyjątkowo ciepły (WC)

Wzięto pod uwagę cztery najstarsze drzewa rosnące w Europie (rys. 27):

- **sosna** Forfjorddalen (877-1994, Norwegia),
- **dąb** Bourgogne (681-1991, Francja),
- **dąb** Ardeny (1118-1986, Belgia)
- **modrzew** Les Merveilles 2 (988-1974, Francja):

Interesujące są np. daty minimów wiekowych rocznych przyrostów drzew ( $t_{min}$ ), w których wystąpiły minima szerokości słoików  $d_{min} \leq d_{sr} - 2\sigma$  mniejsze od średniej arytmetycznej ( $d_{sr}$ ) o 2 odchylenia standardowe ( $\sigma$ ). Wskazują one wyjątkowo zimne (i suche) lata:

- *Pinus sylvestris* – Forfjorddalen (877-1994, Norwegia)
- *Quercus petraea* – Bourgogne (681-1991, Francja)
- *Quercus petraea* – Ardeny (1118-1986, Belgia)
- △ *Larix decidua* – Les Merveilles 2 (988-1974, Francja):

Przedstawiono też według interferencji cykli  $F(t)$  zmiany średniej grubości słoików 3 sosen i 4 dębów rosnących w Europie w ostatnich dwóch tysiącleciach z prognozą do roku 2500 (0 n.e.-2500) (rys. 28-29):

- **3 sosny**: *Pinus sylvestris* – Forfjorddalen (877-1994, Norwegia), *Pinus sylvestris* – Karhunpesakivi (1398-1993, Finlandia), *Pinus sylvestris* – Kola (1577-1997, Rosja);
- **4 dęby**: *Quercus petraea* – Ardeny (1118-1986, Belgia), *Quercus petraea* – Bodensee (1275-1986, Holandia), *Quercus petraea* – Bourgogne (681-1991, Francja), *Quercus petraea* – Pomorze wschodnie (966-1985, Polska)

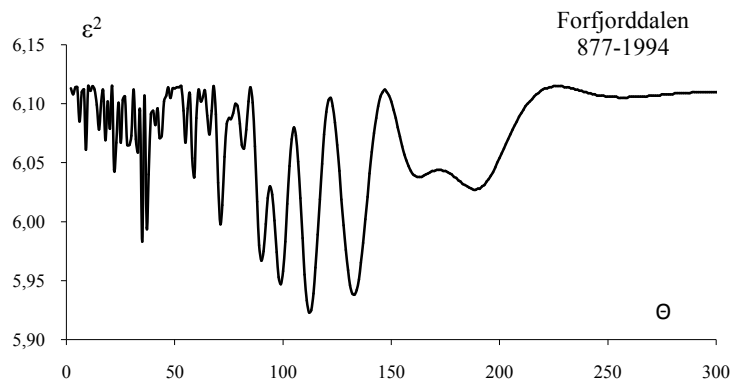
Ponadto przedstawiono zmiany średniej grubości słoików z 11 drzew rosnących w Europie w latach 0-2500 według interferencji cykli  $F(t)$ . (rys. 30). Są to :

- **3 sosny**: *Pinus sylvestris* – Forfjorddalen (877-1994, Norwegia), *Pinus sylvestris* – Karhunpesakivi (1398-1993, Finlandia), *Pinus sylvestris* – Kola (1577-1997, Rosja);
- **2 świerki**: *Picea abies* – Falkenstein (1540-1995, Niemcy), *Picea abies* – Stonn-glandes (1403-1997, Norwegia);
- **1 modrzew** (*Larix decidua*) – Les Merveilles 2 (988-1974, Francja),
- **1 jodła** (*Abies alba*) – Prayo Magno (1540-1973, Włochy),
- **4 dęby**: *Quercus petraea* – Ardeny (1118-1986, Belgia), *Quercus petraea* – Bodensee (1275-1986, Holandia), *Quercus petraea* – Bourgogne (681-1991, Francja), *Quercus petraea* – Pomorze wschodnie (966-1985, Polska).

W ostatnim podrozdziale 5.6. *Zależność szerokości słoików dębów w Polsce od temperatury powietrza i opadów atmosferycznych* określono zależność przyrostów rocznych 10 dębów rosnących w Polsce od miesięcznych wartości temperatury powietrza i miesięcznych sum opadów atmosferycznych – według obliczeń przedstawionych w tomie XX-XXI *Atlasu (V. Zmiany klimatu Polski w ostatnich stuleciach według rocznych przyrostów dębów)*

**5.1. Rekonstrukcja (od 0 n.e) i prognoza (do roku 2 500) zmian klimatu Europy według przyrostów rocznych sosny *Pinus sylvestris* (3 drzew)**

**Sosna (*Pinus sylvestris*) – Forfjorddalen (877-1994), Norwegia**



**Rys. 1** Widmo szerokości słoików sosny (*Pinus sylvestris*) – Forfjorddalen (877-1994, Norwegia)

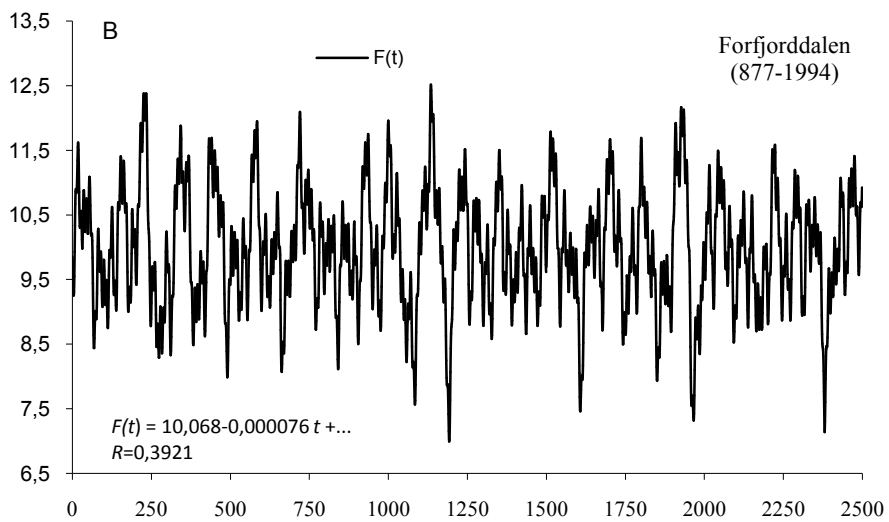
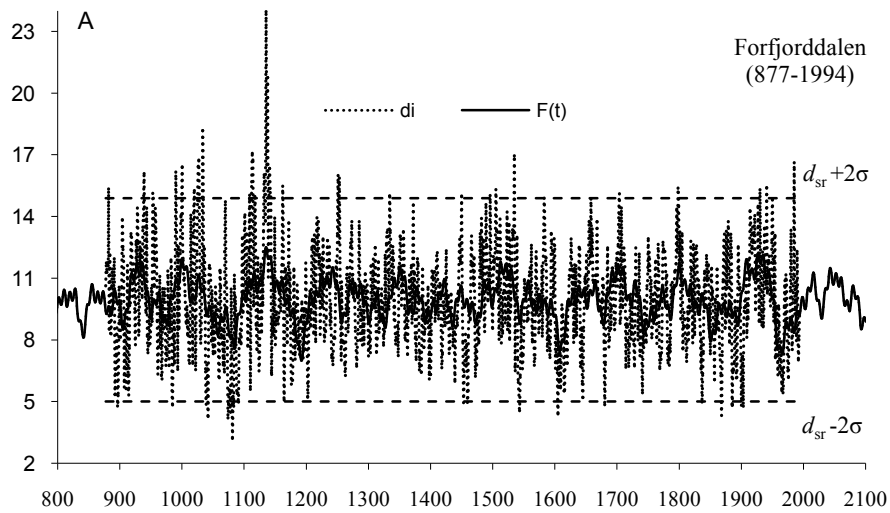
**Fig. 1.** Spectrum of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) – Forfjorddalen (877-1994, Norway)

**Tabela 1** Cykle szerokości słoików sosny (*Pinus sylvestris*) w Forfjorddalen (877-1994, Norwegia)

( $\Theta$  – okres,  $b$  – amplituda,  $c$  – przesunięcie fazowe,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

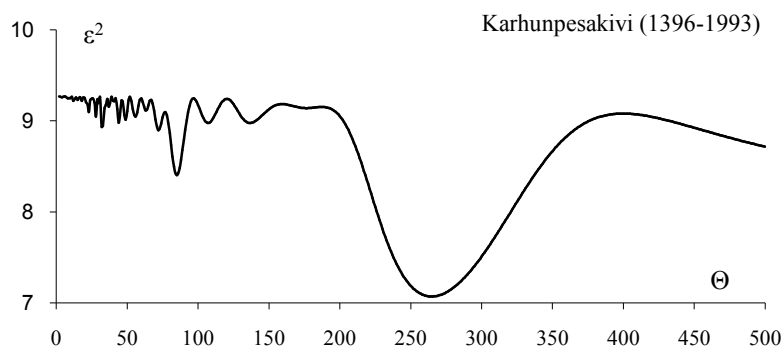
**Table 1.** The cycles of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Forfjorddalen (877-1994, Norway) ( $\Theta$  – period,  $b$  – amplitude,  $c$  – phase delay,  $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – correlation coefficient)  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
9	0,330	1,3511	6,061	0,094	44,94
22	0,373	-2,7237	6,044	0,108	59,16
35	0,517	-1,5916	5,983	0,147	110,81
59	0,360	2,8686	6,038	0,113	64,19
71	0,425	0,5040	5,998	0,139	98,01
99	0,440	-1,0134	5,947	0,166	141,80
112	0,457	0,8515	5,923	0,177	162,66
133	0,516	-1,4801	5,938	0,170	149,60
189	0,366	1,4378	6,027	0,120	73,45
257	0,163	3,0652	6,105	0,041	8,53



**Rys. 2.** Zmiany szerokości słojów sosny (*Pinus sylvestris*) w Forfjorddalen (Norwegia): 800-2100 (A), 0 n.e.-2500 (B),  $d_{sr} = 9,946673$ ,  $\sigma = 2,472944$   
**Fig. 2.** Changes of Scots pine (*Pinus sylvestris*) tree ring widths in Forfjorddalen, Norway: 800-2100 (A), 0-2500 (B),  $d_{sr} = 9,946673$ ,  $\sigma = 2,472944$

## Sosna (*Pinus sylvestris*) – Karhunpesakivi (1398-1993, Finlandia)



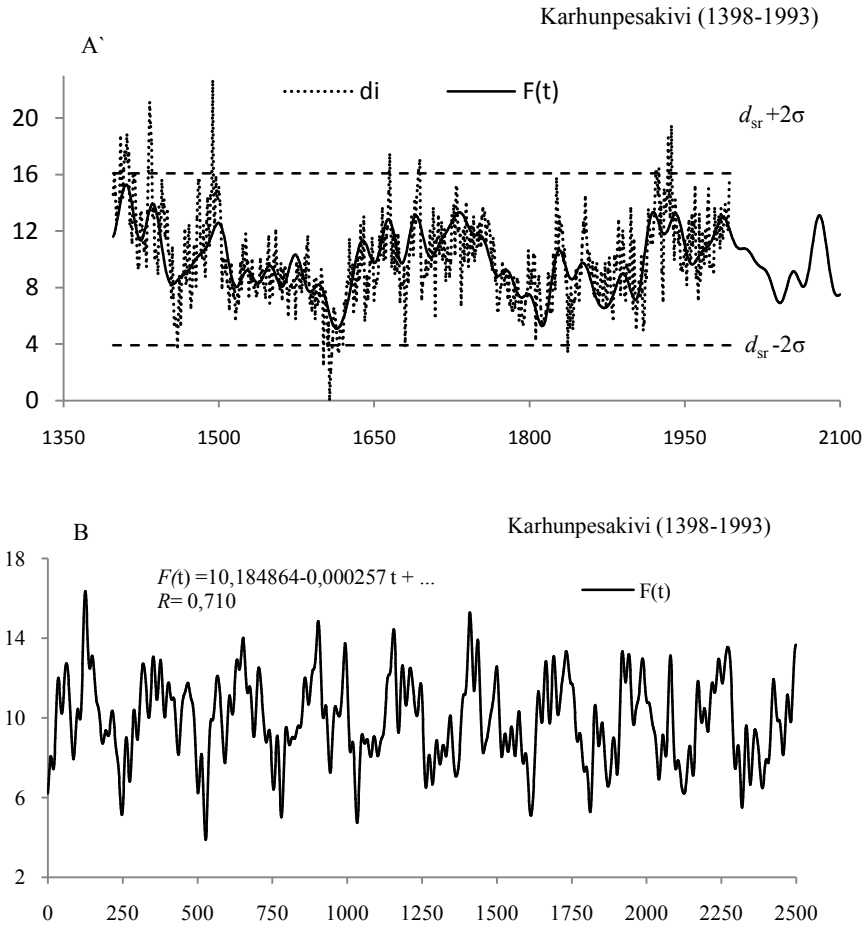
**Rys. 3.** Widmo szerokości słoów sosny (*Pinus sylvestris*) – Karhunpesakivi (1398-1993, Finlandia)  
**Fig. 3.** Spectrum of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) – Karhunpesakivi (1398-1993, Finland)

**Tabela 2.** Cykle szerokości słoów sosny (*Pinus sylvestris*) w Karhunpesakivi (1396-1993, Finlandia)  
 (Θ – okres,  $b$  – amplituda,  $c$  – przesunięcie fazowe,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

**Table 2.** The cycles of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Karhunpesakivi (1396-1993, Finland) (Θ – period,  $b$  – amplitude,  $c$  – phase delay,  $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – correlation coefficient)  
 $F_{obl}$  –  $F$ -test)

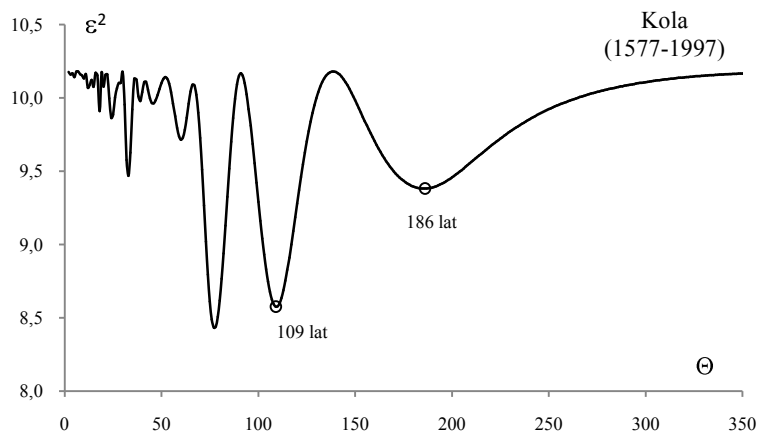
Θ	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
23	0,546	-0,8792	9,098	0,137	5,63
28	0,635	-0,7920	9,048	0,155	7,30
32	0,686	1,6109	8,935	0,190	11,15
49	0,705	-1,2153	9,014	0,166	8,45
72	0,601	2,9868	8,898	0,201	12,43
85	1,257	-1,9919	8,403	0,306	30,62
107	0,597	-0,2726	8,977	0,178	9,71
137	0,546	-0,4014	8,977	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. 4.** Zmiany szerokości słoików sosny (*Pinus sylvestris*) w – Karhunesakivi (1398-1993, Finlandia): 1398-2100 (A), 0-2500 (B),  $d_{sr} = 10,00386$ ,  $\sigma = 3,044822$   
**Fig. 4.** Changes of Scots pine (*Pinus sylvestris*) tree ring widths in – Karhunesakivi (1398-1993, Finlandia): 0-2500 (A), 800-2100 (B),  $d_{sr} = 10,00386$ ,  $\sigma = 3,044822$

### Sosna (*Pinus sylvestris*) – Kola (1577-1997, Rosja)

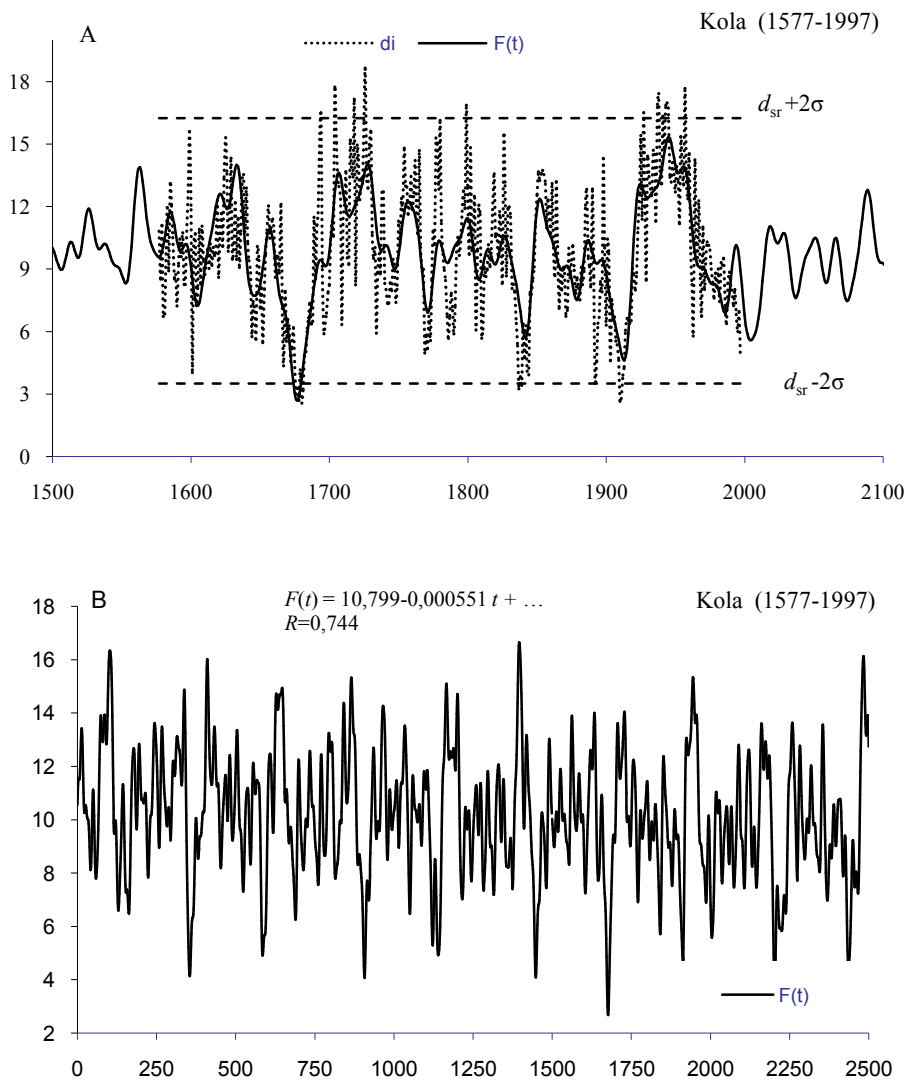


**Rys. 5.** Widmo szerokości słoików sosny (*Pinus sylvestris*) – Kola (1577-1997, Rosja)  
**Fig. 5.** Spectrum of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) – Kola (1577-1997, Russia)

**Tabela 3.** Cykle szerokości słoików sosny (*Pinus sylvestris*) w Kola (1577-1997, Rosja) (Θ – okres, *b* – amplituda, *c* – przesunięcie fazowe,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa, *R* – współczynnik korelacji,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

**Table 3.** The cycles of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Kola (1577-1997, Russia) (Θ – period, *b* – amplitude, *c* – phase delay,  $\varepsilon^2$  – rest variance, *R* – correlation coefficient) ( $F_{obl}$  – *F*-test)

Θ	<i>b</i>	<i>c</i>	$\varepsilon^2$	<i>R</i>	$F_{obl}$
12	0,464	0,6931	10,071	0,104	2,31
18	0,774	2,5878	9,910	0,163	5,74
24	0,854	0,5317	9,865	0,176	6,72
33	1,323	-0,3607	9,470	0,264	15,72
39	0,439	-2,3441	9,979	0,141	4,25
46	0,692	0,3900	9,964	0,146	4,57
60	0,583	-0,6880	9,715	0,214	10,05
77	1,558	-0,2060	8,433	0,414	43,35
109	1,484	2,4742	8,576	0,397	39,14
186	1,171	-1,1779	9,382	0,280	17,82

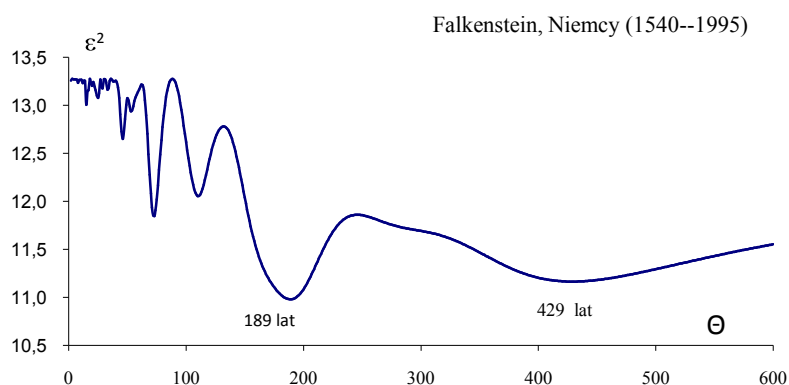


**Rys. 6.** Zmiany szerokości słoików sosny (*Pinus sylvestris*) na Półwyspie Kola, Rosja); 1500-2100 (A), 0-2500 (B),  $d_{sr} = 9,877672$ ,  $\sigma = 3,190949$

**Fig. 6.** Changes of Scots pine (*Pinus sylvestris*) tree ring widths in Kola (1577-1997, Russia); 1500-2100 (A), 0-2500 (B),  $d_{sr} = 9,877672$ ,  $\sigma = 3,190949$

## 5.2. Rekonstrukcja (od 0 n.e) i prognoza (do roku 2 500) zmian klimatu Europy według przyrostów rocznych świerka *Picea abies* (3 drzew)

### Świerk (*Picea abies*) – Falkenstein (1540-1995, Niemcy)



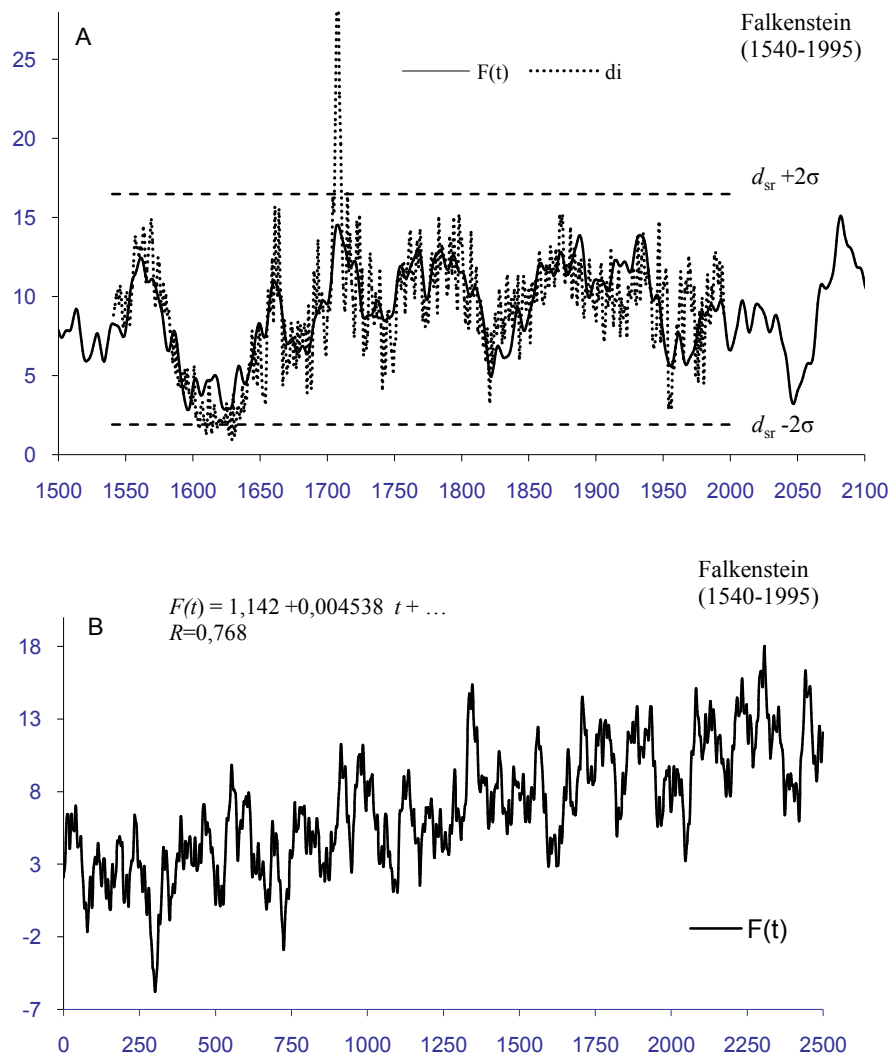
**Rys. 7.** Widmo szerokości słoików świerka (*Picea abies*) – Falkenstein (1540-1995, Niemcy)

**Fig. 7..** Spectrum of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) – Falkenstein (1540-1995, Germany)

**Tabela 4.** Cykle szerokości słoików świerka (*Picea abies*) w Falkenstein (1540-1995, Niemcy) (Θ – okres,  $b$  – amplituda,  $c$  – przesunięcie fazowe,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

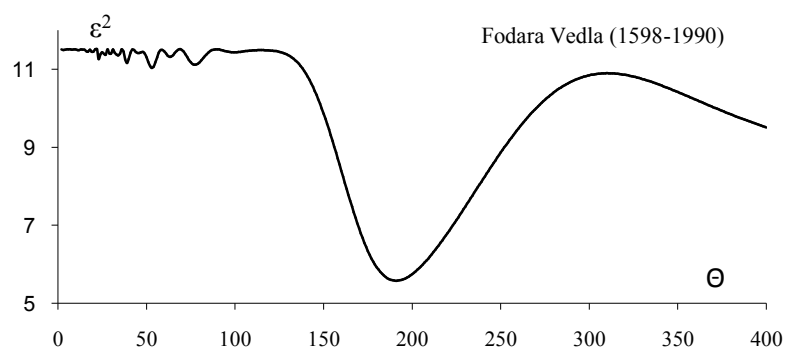
**Table 4.** The cycles of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) in Falkenstein (1540-1995, Germany) (Θ – period,  $b$  – amplitude,  $c$  – phase delay,  $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – correlation coefficient)  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

Θ	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
8	0,293	0,2353	13,232	0,057	0,74
12	0,334	-0,3831	13,229	0,059	0,79
15	0,776	2,6834	13,004	0,143	4,72
25	0,612	-1,2772	13,075	0,123	3,46
46	1,014	0,8256	12,648	0,217	11,23
53	0,884	-0,2560	12,937	0,160	5,92
73	1,594	-1,5741	11,845	0,328	27,34
110	1,385	0,2286	12,053	0,303	22,96
189	1,820	0,7056	10,978	0,416	47,39
429	1,630	0,2336	11,163	0,399	42,85



**Rys. 8** Zmiany szerokości słoów świerka (*Picea abies*) w Falkenstein, Niemcy); 1540-2100 (A), 0-2500 (B),  $d_{sr} = 9,1899562$ ,  $\sigma = 3,643487$   
**Fig. 8.** Changes of Norway spruce (*Picea abies*) tree ring widths in Falkenstein, Germany); 1540-2100 (A), 0-2500 (B),  $d_{sr} = 9,1899562$ ,  $\sigma = 3,643487$

### Świerk (*Picea abies*) – Fodara Vedla (1598-1990, Włochy)

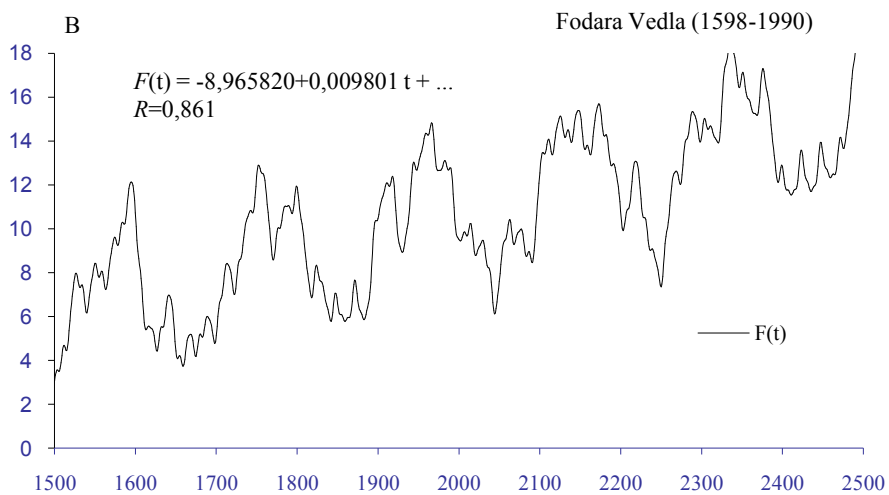
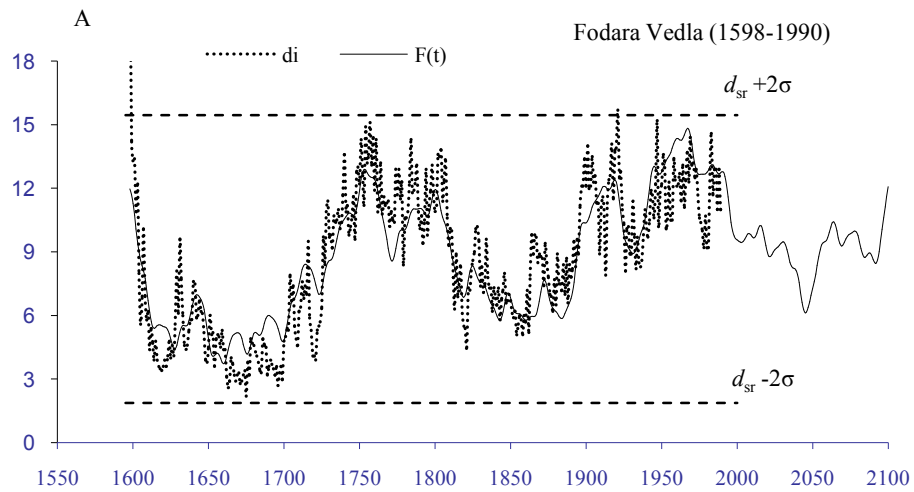


**Rys. 9.** Widmo szerokości słoju świerka (*Picea abies*) – Fodara Vedla (1598-1990, Włochy)  
**Fig. 9.** Spectrum of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) – Fodara Vedla (1598-1990, Italia)

**Tabela 5.** Cykle szerokości słoju świerka (*Picea abies*) w Fodara Vedla (1598-990, Włochy) ( $\Theta$  – okres,  $b$  – amplituda,  $c$  – przesunięcie fazowe,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

**Table 5.** The cycles of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) in Fodara Vedla (1598-1990, Italia) ( $\Theta$  – period,  $b$  – amplitude,  $c$  – phase delay,  $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – correlation coefficient  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

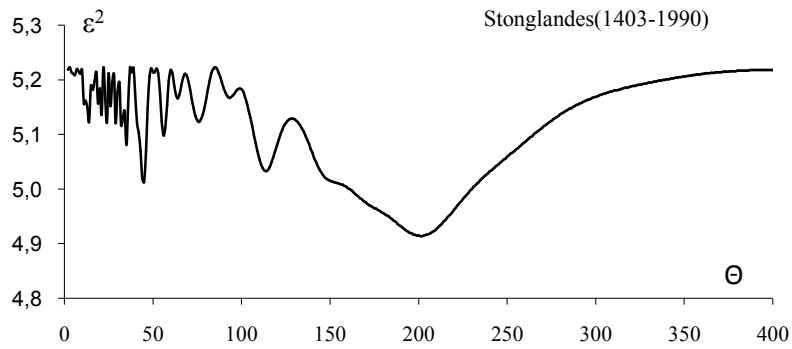
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
8	0,167	1,5612	11,502	0,034	0,23
12	0,281	1,4108	11,490	0,047	0,43
23	0,676	-1,3095	11,265	0,148	4,34
39	0,771	1,6377	11,163	0,175	6,16
53	0,918	1,5109	11,033	0,205	8,53
63	0,317	-0,4174	11,320	0,130	3,37
77	0,606	-2,4669	11,117	0,186	6,99
99	0,246	0,9379	11,436	0,083	1,36
191	2,971	0,0658	5,580	0,718	207,43



**Rys. 10.** Zmiany szerokości słoju świerka (*Picea abies*) – Fodara Vedla Włochy, 1598-2100 (A), 1550-2500 (B),  $d_{sr} = 8,661578$ ,  $\sigma = 3,393471$

**Fig. 10.** Changes of Norway spruce (*Picea abies*) tree ring widths in Fodara Vedla (1598-1990, Italia); 1598-2100 (A), 1550-2500 (B),  $d_{sr} = 8,661578$ ,  $\sigma = 3,393471$

## Świerk (*Picea abies*) w Stonnglandes (1403-1997, Norwegia)



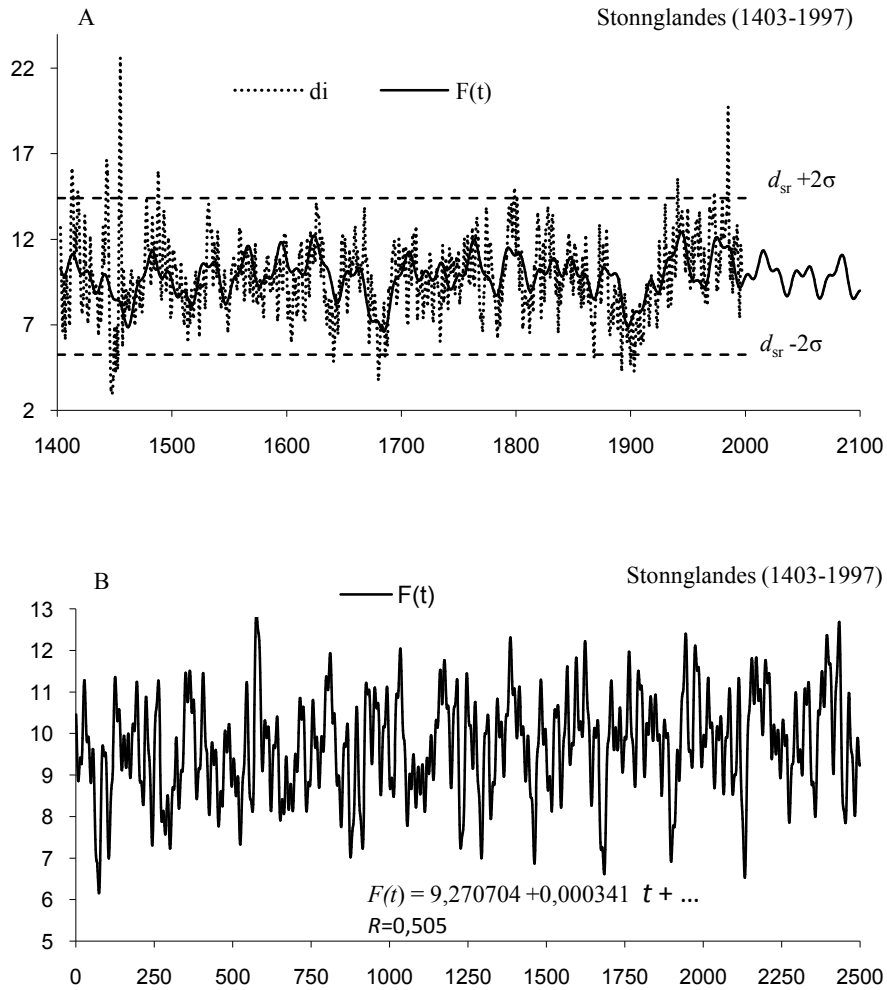
**Rys. 11.** Widmo szerokości słoów świerka (*Picea abies*) – Stonnglandes (1403-1997, Norwegia)  
**Fig. 11.** Spectrum of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) – Stonnglandes (1403-1997, Norway)

**Tabela 6.** Cykle szerokości słoów świerka (*Picea abies*) w Stonnglandes (1403-1997, Norwegia) ( $\Theta$  – okres,  $b$  – amplituda,  $c$  – przesunięcie fazowe,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

**Table 6.** The cycles of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) in Stonnglandes (1403-1997, Norway) ( $\Theta$  – period,  $b$  – amplitude,  $c$  – phase delay,  $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – correlation coefficient)  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
14	0,447	1,8882	5,123	0,139	5,80
29	0,422	1,9326	5,121	0,140	5,92
32	0,492	1,7328	5,117	0,143	6,15
35	0,575	-1,7321	5,081	0,165	8,30
45	0,632	1,8424	5,013	0,201	12,42
56	0,393	-1,7343	5,098	0,155	7,28
76	0,424	-1,7063	5,123	0,139	5,80
114	0,558	0,4485	5,033	0,191	11,20
201	0,764	2,2289	4,914	0,243	18,64

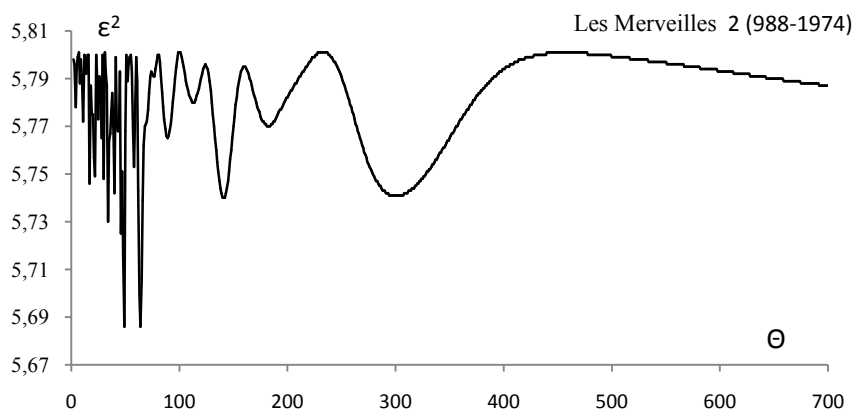




**Rys. 12** Zmiany szerokości słoju świerka (*Picea abies*) – Stonnglandes (1403-1997, Norwegia), 1403-2100 (A), 0-2500 (B),  $d_{sr} = 9,837849$ ,  $\sigma = 2,285473$   
**Fig. 12.** Changes of Norway spruce (*Picea abies*) tree ring widths Stonnglandes (1403-1997, Norway) (Italia); 1403-2100 (A), 0-2500 (B),  $d_{sr} = 9,837849$ ,  $\sigma = 2,285473$

### 5.3. Rekonstrukcja (od 0 n.e) i prognoza (do roku 2 500) zmian klimatu Europy według przyrostów rocznych modrzewia *Larix decidua* i jodły *Abies alba*

#### Modrzew (*Larix decidua*) – Les Merveilles 2 (988-1974, Francja)

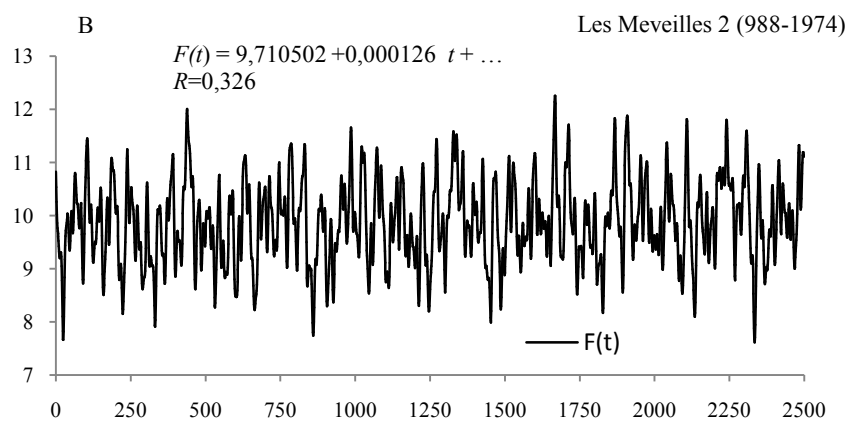
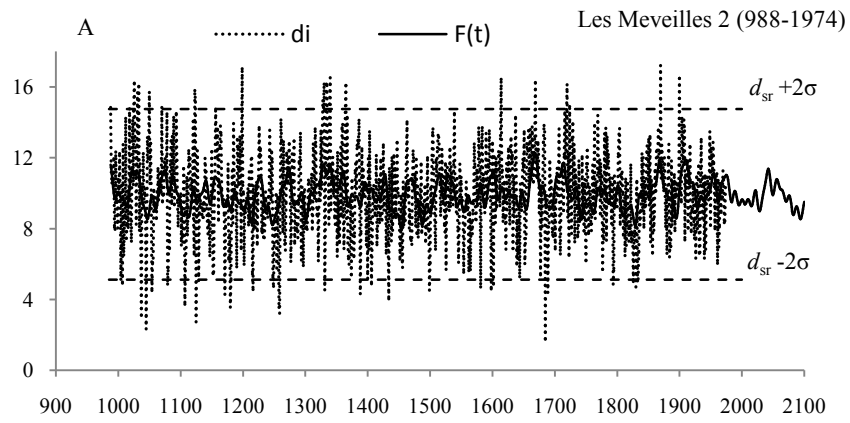


**Rys. 13.** Widmo szerokości słoików modrzewia (*Larix decidua*) – Les Merveilles 2 (988-1974, Francja)  
**Fig. 13.** Spectrum of tree ring widths of European larch (*Larix decidua*) – Les Merveilles 2 (988-1974, France)

**Tabela 7.** Cykle szerokości słoików modrzewia (*Larix decidua*) w Les Merveilles 2 (988-1974, Francja) ( $\Theta$  – okres,  $b$  – amplituda,  $c$  – przesunięcie fazowe,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

**Table 7.** The cycles of tree ring widths of European larch (*Larix decidua*) in Les Merveilles 2 (988-1974, France) ( $\Theta$  – period,  $b$  – amplitude,  $c$  – phase delay,  $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – correlation coefficient)  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

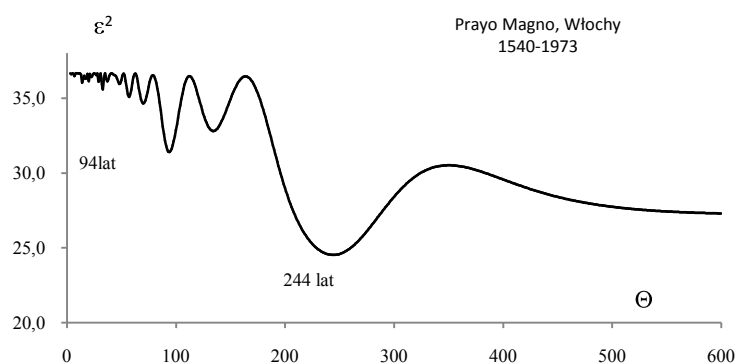
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
11	0,243	2,7194	5,772	0,071	2,50
17	0,329	1,4535	5,746	0,098	4,74
22	0,327	3,1083	5,749	0,095	4,48
34	0,370	0,6625	5,730	0,111	6,12
40	0,314	2,9657	5,742	0,101	5,08
49	0,436	1,4177	5,686	0,141	9,98
64	0,479	1,9875	5,686	0,141	9,98
89	0,295	1,3842	5,765	0,079	3,10
182	0,269	-0,7358	5,770	0,073	2,67
300	0,351	-1,3807	5,741	0,102	5,17



**Rys. 14.** Zmiany szerokości słoików modrzewia (*Larix decidua*) – Les Merveilles 2 (988-1974, Francja ), 988-2100 (A), 0-2500 (B),  $d_{sr} = 9,921469$ ,  $\sigma = 2,40859$

**Fig. 14.** Changes of tree ring widths of European larch (*Larix decidua*) – Les Merveilles 2 (988-1974, France); 988-2100 (A), 0-2500 (B),  $d_{sr} = 9,921469$ ,  $\sigma = 2,40859$

## Jodła (*Abies alba*) – Prayo Magno (1540-1973, Włochy)



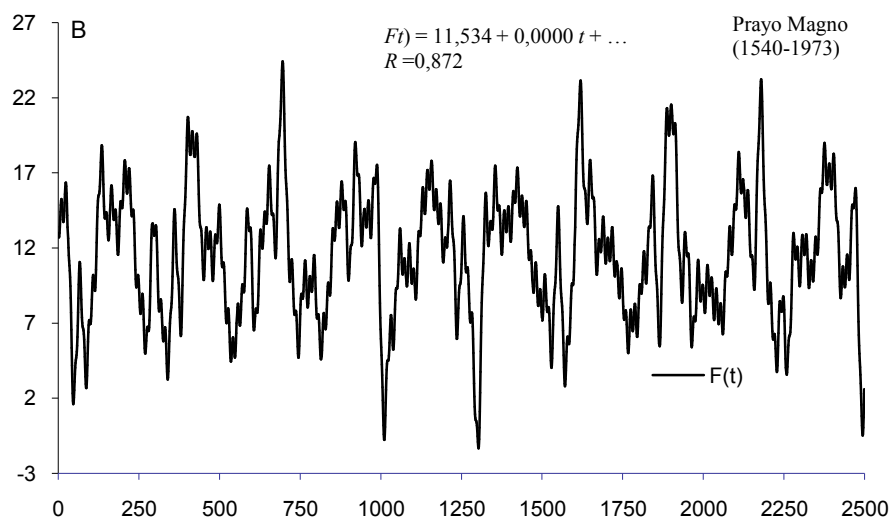
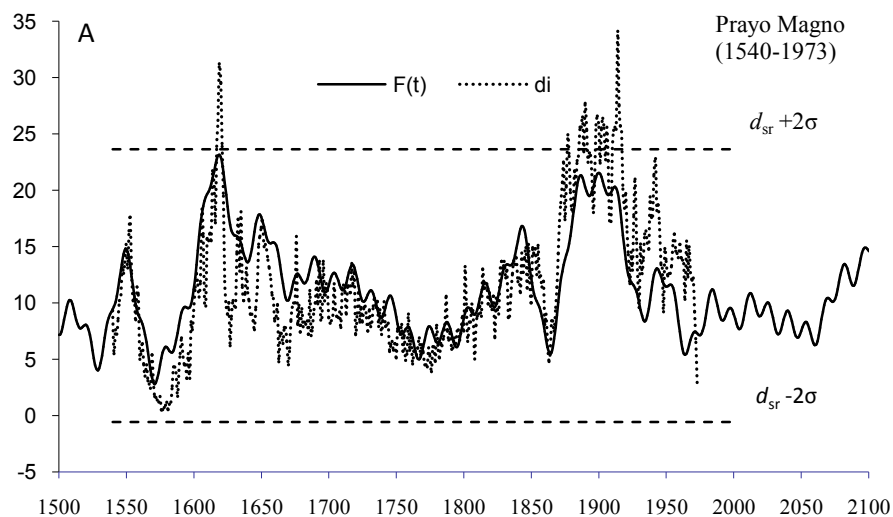
**Rys. 15.** Widmo szerokości słoików jodły (*Abies alba*) – Prayo Magno (1540-1973, Włochy)

**Fig. 15.** Spectrum of tree ring widths pine of Silver fir (*Abies alba*) – Prayo Magno (1540-1973, Italia)

**Tabela 8.** Cykle szerokości słoików jodły (*Abies alba*) w Prayo Magno (1540-1973, Włochy) (Θ – okres,  $b$  – amplituda,  $c$  – przesunięcie fazowe,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

**Table 8.** The cycles of tree ring widths of pine Silver fir (*Abies alba*) in Prayo Magno (1540-1973) (Θ – period,  $b$  – amplitude,  $c$  – phase delay,  $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – correlation coefficient) ( $F_{obl}$  –  $F$ -test)

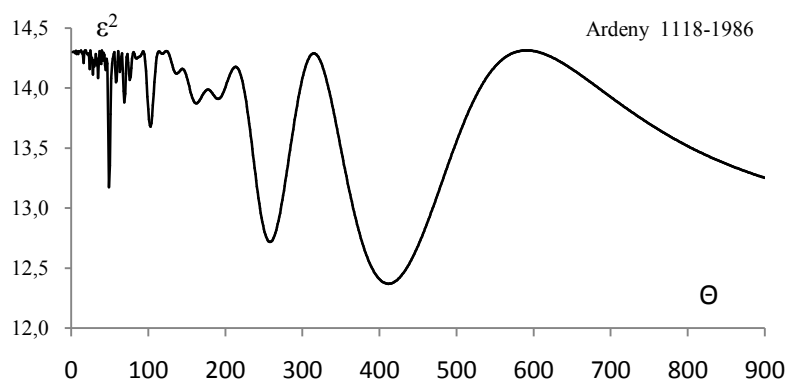
Θ	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
14	1,053	-2,8477	36,036	0,131	3,77
33	1,329	1,6647	35,590	0,171	6,52
37	0,988	3,0825	36,126	0,121	3,23
48	1,145	-1,1204	35,946	0,140	4,32
57	1,554	0,0186	35,088	0,208	9,70
70	1,642	0,8181	34,643	0,235	12,59
94	2,409	-0,3119	31,397	0,379	36,17
134	1,131	0,7681	32,800	0,325	25,41
244	4,255	3,1069	24,521	0,576	106,74



**Rys. 16.** Zmiany szerokości słoów jodły (*Abies alba*) w Prayo Magno , Włochy): 0-2500 (A), 1550-2100 (B),  $d_{sr} = 11,534332$ ,  $\sigma = 6,055340$   
**Fig. 16.** Changes of pine Silver fir (*Abies alba*) tree ring widths in Prayo Magno , Italia); 0-2500 (A), 1550-2100 (B),  $d_{sr} = 11,534332$ ,  $\sigma = 6,055340$

**5.4. Rekonstrukcja (od 0 n.e) i prognoza (do roku 2 500) zmian klimatu Europy według przyrostów rocznych 5 dębów *Quercus petraea* (4) i *Quercus robur* (1)**

**Dąb (*Quercus petraea*) – Ardeny (1118-1986, Belgia)**



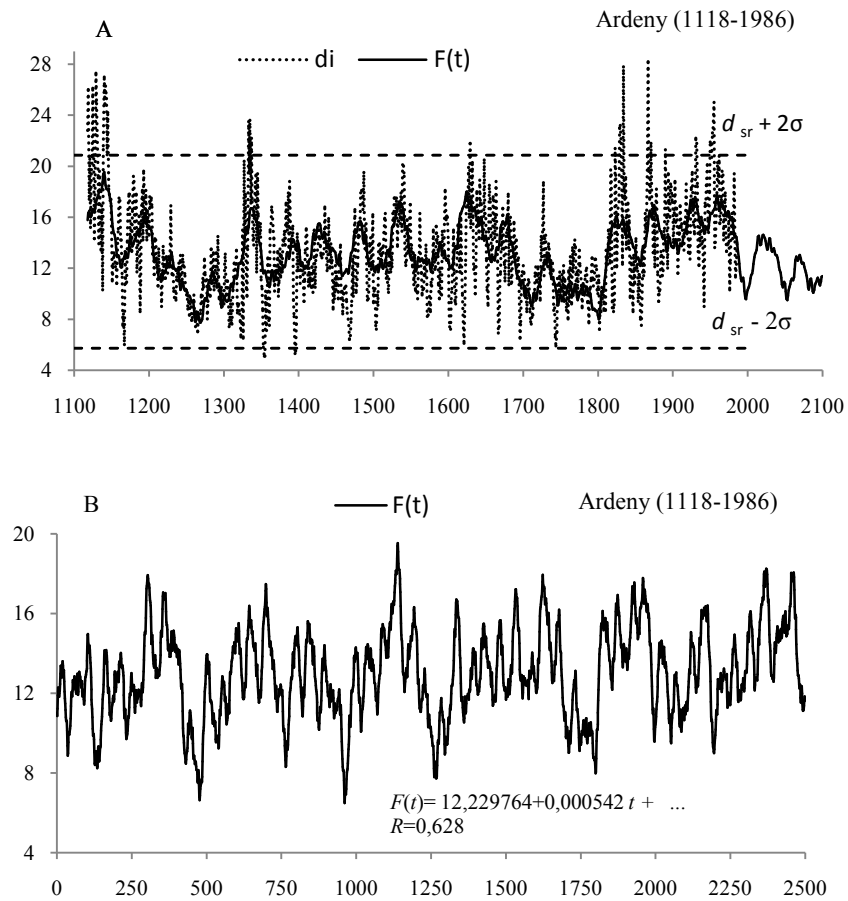
**Rys. 17.** Widmo szerokości słoików dębu (*Quercus petraea*) – Ardeny (1118-1986, Belgia)

**Fig. 17.** Spectrum of tree ring widths of Sessile oak (*Quercus petraea*) – Ardens (1118-1986, Belgium)

**Tabela 9.** Cykle szerokości słoików dębu (*Quercus petraea*) w Ardenach (1118-1986, Belgia) (Θ – okres,  $b$  – amplituda,  $c$  – przesunięcie fazowe,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

**Table 9.** The cycles of tree ring widths of Sessile oak (*Quercus petraea*) in Ardeny (1118-1986, Belgium) (Θ – period,  $b$  – amplitude,  $c$  – phase delay,  $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – correlation coefficient)  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

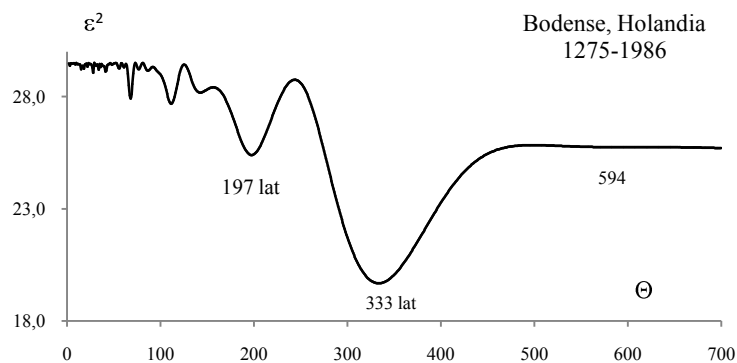
Θ	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
5	0,208	2,1236	14,291	0,040	0,68
7	0,242	2,5466	14,283	0,046	0,92
9	0,244	-2,2887	14,284	0,045	0,89
28	0,666	2,5096	14,112	0,119	6,18
49	1,487	-0,1342	13,172	0,282	37,52
69	0,824	-0,9107	13,880	0,174	13,52
103	1,056	2,2678	13,677	0,211	20,15
162	0,795	0,0120	13,873	0,175	13,75
258	1,481	-0,7447	12,716	0,334	54,39
412	1,561	-2,9438	12,368	0,369	68,11



**Rys. 18.** Zmiany szerokości słoików dębu (*Quercus petraea*) w Ardenach (1118-1986, Belgia): 1118-2100 (A), 0-2500 (B),  $d_{sr}=13,2955$ ,  $\sigma=3,783$

**Fig. 18.** Changes of Sessile oak (*Quercus petraea*) tree ring widths in Ardeny (1118-1986, Belgium): 1118-2100 (A), 0-2500 (B),  $d_{sr}=13,2955$ ,  $\sigma=3,783$

## Dąb (*Quercus petraea*) – Bodensee (1275-1986, Holandia



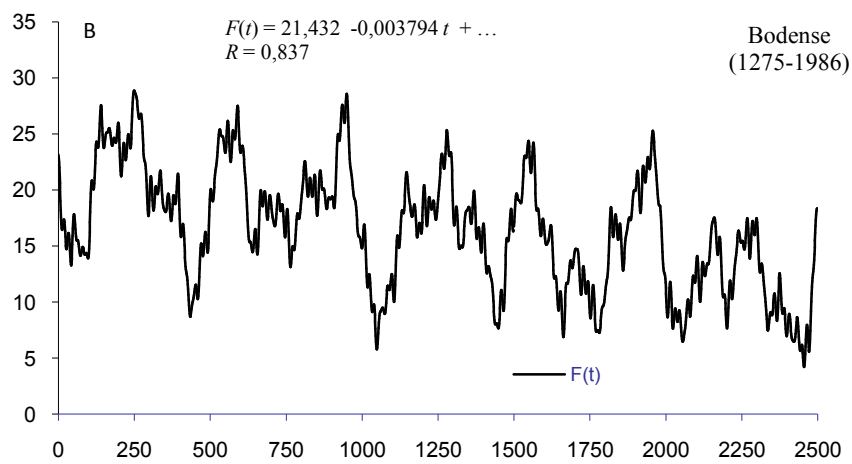
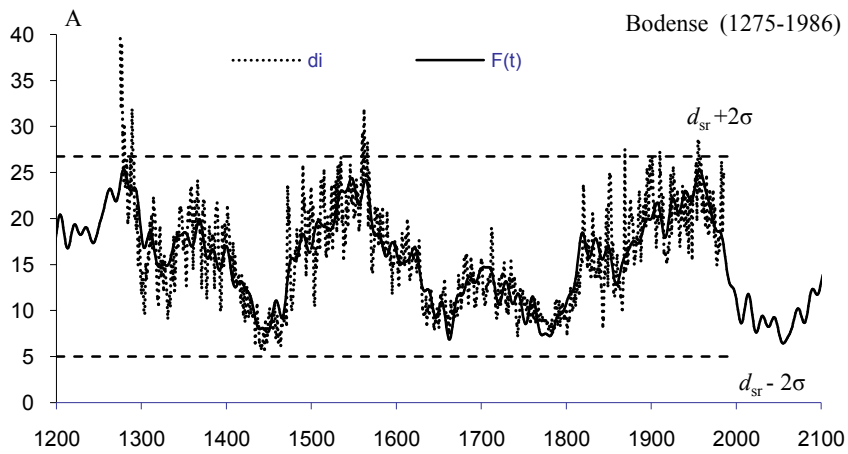
**Rys. 19.** Widmo szerokości słoików dębu (*Quercus petraea*) – Bodensee (1275-1986, Holandia)  
**Fig. 19.** Spectrum of tree ring widths of Sessile oak (*Quercus petraea*) – Bodensee (1275-1986, Holland)

**Tabela 10.** Cykle szerokości słoików dębu (*Quercus petraea*) w Bodensee (1275-1986, Holandia)  
 (Θ – okres, *b* – amplituda, *c* – przesunięcie fazowe,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa, *R* – współczynnik korelacji,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

**Table 10.** The cycles of tree ring widths of Sessile oak (*Quercus petraea*) in Bodensee (1275-1986, Holland) (Θ – period, *b* – amplitude, *c* – phase delay,  $\varepsilon^2$  – rest variance, *R* – correlation coefficient)  $F_{obl}$  – *F*-test)

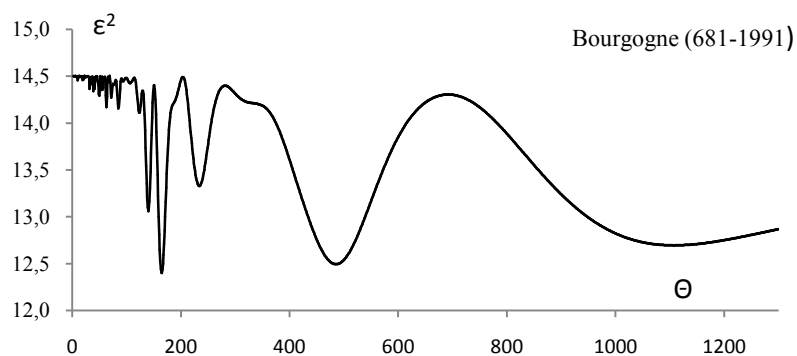
Θ	<i>b</i>	<i>c</i>	$\varepsilon^2$	<i>R</i>	$F_{obl}$
15	0,711	-0,2804	29,216	0,099	3,48
18	0,665	2,1025	29,250	0,093	3,06
28	0,904	1,9545	29,063	0,122	5,36
68	1,504	2,5454	27,914	0,232	20,18
87	0,621	2,9027	29,160	0,108	4,17
112	1,502	-0,6093	27,692	0,248	23,18
143	1,840	2,8253	28,182	0,212	16,61
197	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





**Rys. 20.** Zmiany szerokości słojów dębu (*Quercus petraea*) w Bodensee, Holandia); 1275-2100 (A), 0-2500 (B), dsr = 15,896,  $\sigma = 5,432$   
**Fig. 20.** Changes of Sessile oak (*Quercus petraea*) tree ring widths in Bodensee, Holland); 1275-2100 (A), 0-2500 (B), dsr = 15,896,  $\sigma = 5,432$

## Dąb *Quercus petraea* – Bourgogne (681-1991, Francja)

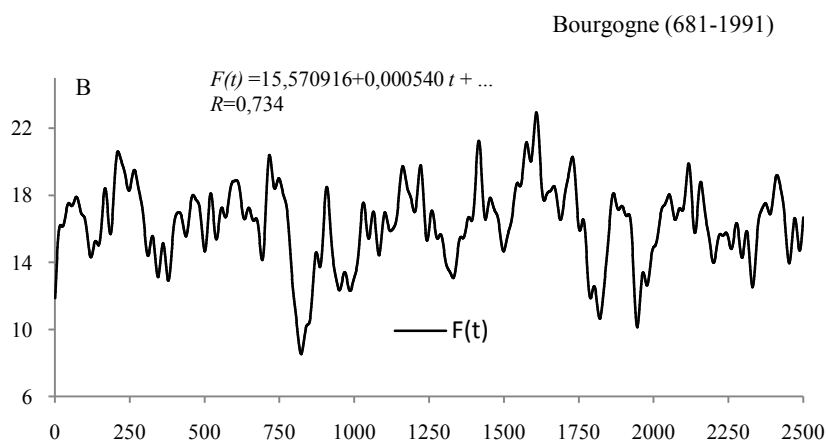
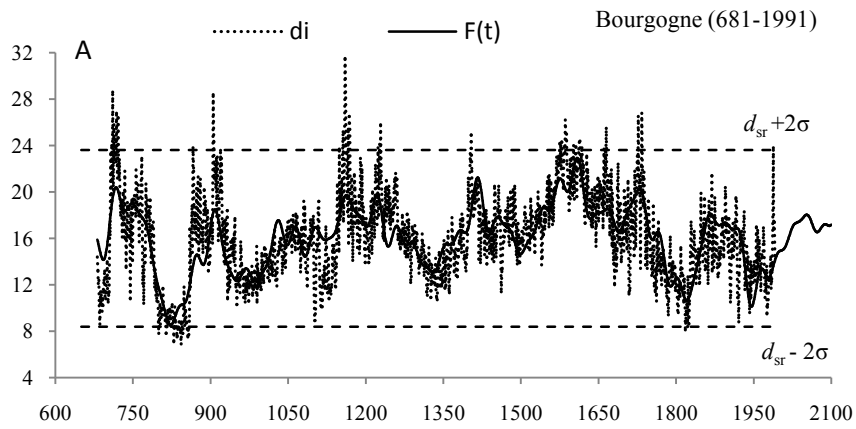


**Rys. 21.** Widmo szerokości słoów dębu (*Quercus petraea*) – Bourgogne (681-1991, Francja)  
**Fig. 21.** Spectrum of tree ring widths of Sessile oak (*Quercus petraea*) – Bourgogne (681-1991, France)

**Tabela 11.** Cykle szerokości słoów dębu (*Quercus petraea*) w Bourgogne (681-1991, Francja) (Θ – okres,  $b$  – amplituda,  $c$  – przesunięcie fazowe,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

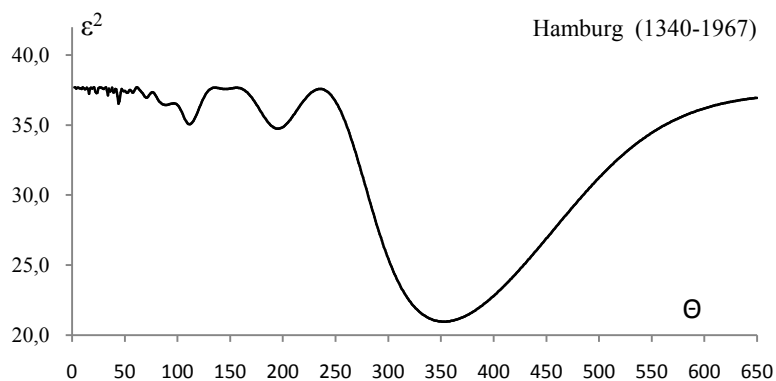
**Table 11.** The cycles of tree ring widths of Sessile oak (*Quercus petraea*) in Bourgogne (681-1991, France) (Θ – period,  $b$  – amplitude,  $c$  – phase delay,  $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – correlation coefficient) ( $F_{obl}$  –  $F$ -test)

Θ	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
32	0,499	-0,1431	14,365	0,098	6,37
39	0,509	-0,5554	14,339	0,107	7,57
50	0,599	-0,3998	14,291	0,121	9,79
63	0,801	-1,1808	14,170	0,152	15,46
124	0,550	0,2477	14,112	0,165	18,21
140	1,222	-0,7427	13,059	0,316	72,41
165	1,580	-1,5904	12,398	0,381	111,14
234	1,250	1,3144	13,327	0,285	57,80
485	1,797	-0,5070	12,493	0,372	105,32
1107	1,445	-0,6231	12,694	0,353	93,30



**Rys. 22.** Zmiany szerokości słoów dębu (*Quercus petraea*) w Bourgogne (681-1991, Francja); 681-2100(A), 0-2500 (B),  $d_{sr} = 16,01022$ ,  $\sigma = 3,80854$   
**Fig. 22.** Changes of Sessile oak (*Quercus petraea*) tree ring widths in Bourgogne (681-1991, France), 681-2100 (A), 0-2500 (B),  $d_{sr} = 16,01022$ ,  $\sigma = 3,80854$

### Dąb (*Quercus robur*) – Hamburg (1340-1967, Niemcy)

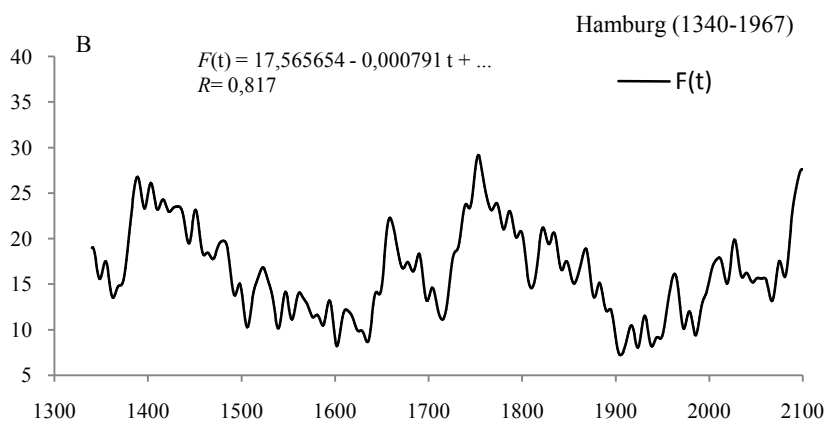
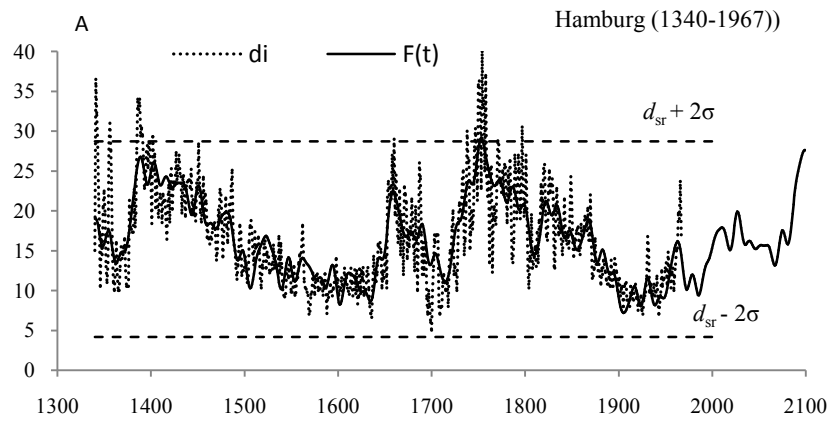


**Rys. 23.** Widmo szerokości słoików dębu (*Quercus robur*) – Hamburg (1340-1967, Niemcy)  
**Fig. 23.** Spectrum of tree ring widths of English oak (*Quercus robur*) – Hamburg (1340-1967, Germany)

**Tabela 12.** Cykle szerokości słoików dębu (*Quercus robur*) w Hamburgu (1340-1967, Niemcy) ( $\Theta$  – okres,  $b$  – amplituda,  $c$  – przesunięcie fazowe,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

**Table 12.** The cycles of tree ring widths of English oak (*Quercus robur*) in Hamburg (1340-1967, Germany) ( $\Theta$  – period,  $b$  – amplitude,  $c$  – phase delay,  $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – correlation coefficient)  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

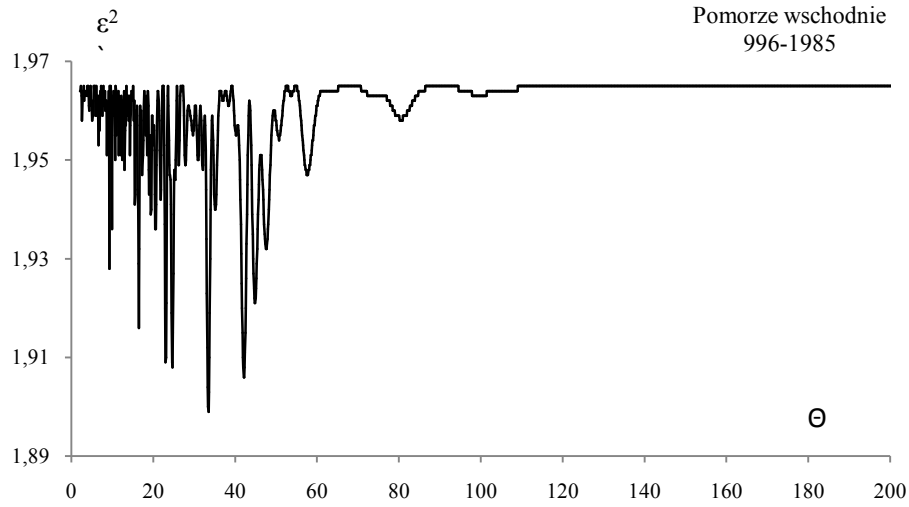
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
12	0,546	2,1411	37,549	0,063	1,25
16	0,988	-2,6670	37,235	0,111	3,89
23	0,931	0,2303	37,286	0,105	3,46
34	1,061	-3,0509	37,119	0,124	4,88
44	1,485	-2,4237	36,534	0,176	9,96
71	1,359	-2,0733	36,957	0,140	6,27
89	2,178	-3,0985	36,429	0,184	10,89
111	2,186	2,2242	35,057	0,265	23,55
195	0,967	0,0555	34,742	0,280	26,59
353	5,474	1,5464	20,966	0,666	249,40



**Rys. 24.** Zmiany szerokości słoików dębu (dębu (*Quercus robur*) – Hamburg (1340-1967, Niemcy); 1340-2100 (A), 0-2500 (B),  $d_{sr} = 16,4436$ ,  $\sigma = 6,13992$

**Fig. 24.** Changes of English oak (*Quercus robur*) – Hamburg (1340-1967, Germany, 1340-2100 (A), 0-2500 (B),  $d_{sr} = 16,4436$ ,  $\sigma = 6,13992$

**Dąb (*Quercus petraea*), Pomorze Wschodnie (1996-1985), Polska**

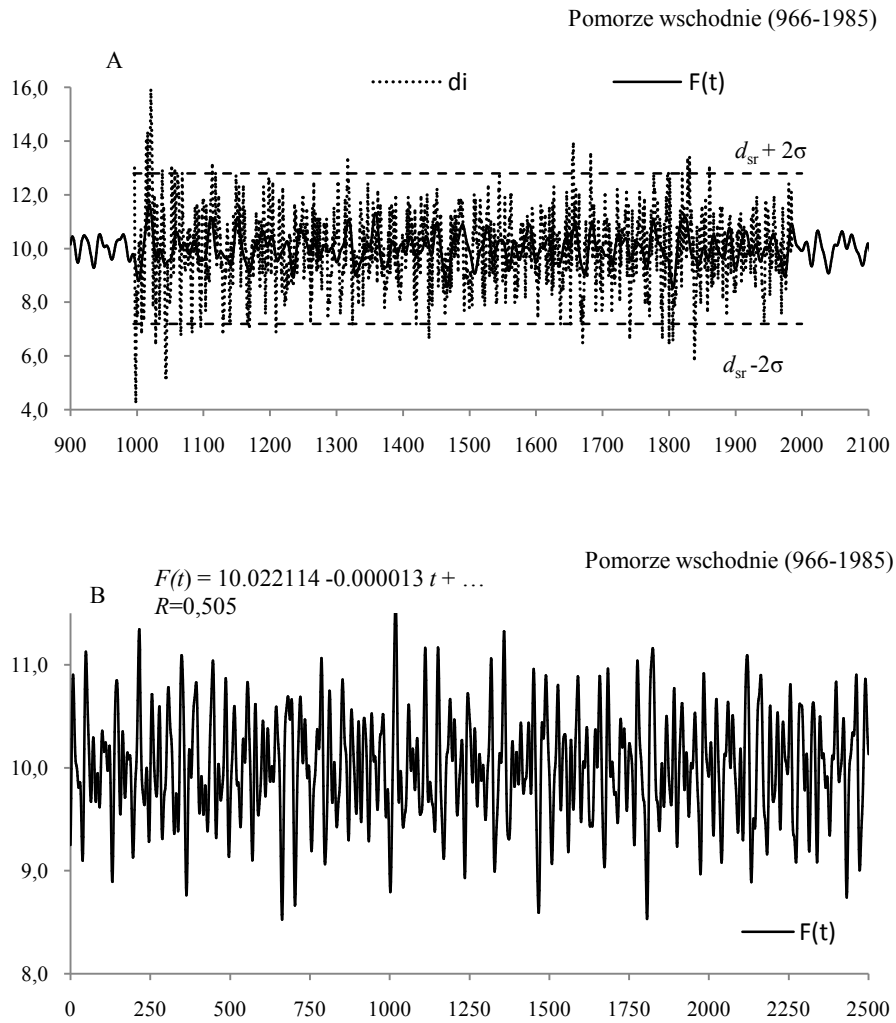


**Rys. 25.** Widmo szerokości słoików dębu (*Quercus petraea*) na Pomorzu Wschodnim (1996-1985)  
**Fig. 25.** Spectrum of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in East Pomeranian (1996-1985)

**Tabela 13.** Cykle szerokości słoików dębu (*Quercus petraea*) na Pomorzu Wschodnim (1996-1985) (Θ – okres, *b* – amplituda, *c* – przesunięcie fazowe,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa, *R* – współczynnik korelacji,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

**Table 13.** The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in East Pomeranian (1996-1985) (Θ – period, *b* – amplitude, *c* – phase delay,  $\varepsilon^2$  – rest variance, *R* – correlation coefficient)  $F_{obl}$  – *F*-test)

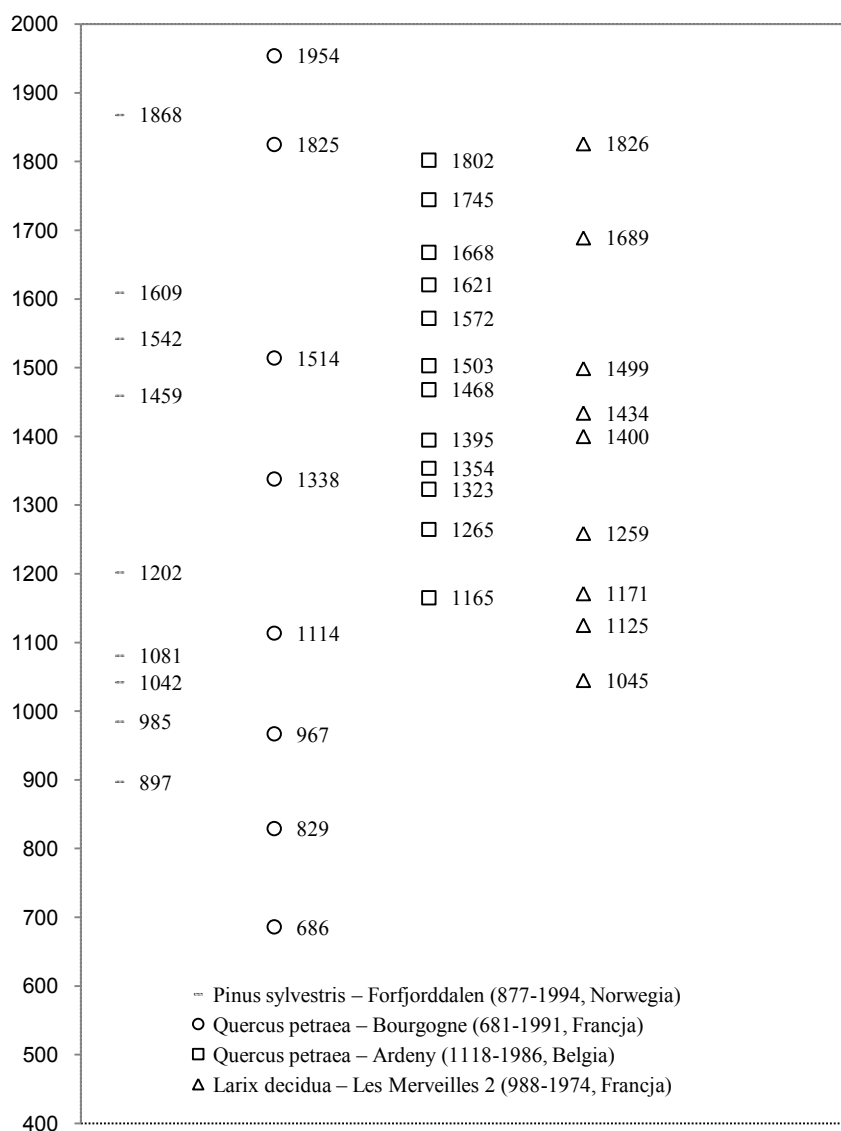
Θ	<i>b</i>	<i>c</i>	$\varepsilon^2$	<i>R</i>	$F_{obl}$
13,0	0,178290	-1,626862	1,948	0,093	4,466
19,0	0,211417	-1,624584	1,943	0,106	5,790
23,0	0,318299	0,318245	1,909	0,169	14,977
33,5	0,343308	-0,719093	1,899	0,183	17,741
42,1	0,313846	-0,236131	1,906	0,173	15,803
47,6	0,243413	-0,700478	1,932	0,130	8,727
57,6	0,175644	-3,034135	1,947	0,096	4,731
80,5	0,109750	-3,112846	1,958	0,060	1,839
169,0	0,021671	-0,153082	1,965	0,006	0,016



**Rys. 26.** Zmiany szerokości słoów dębu (*Quercus petraea*) na Pomorzu Wschodnim (966-1985, Polska), 966-2100 (A), 0-2500 (B)

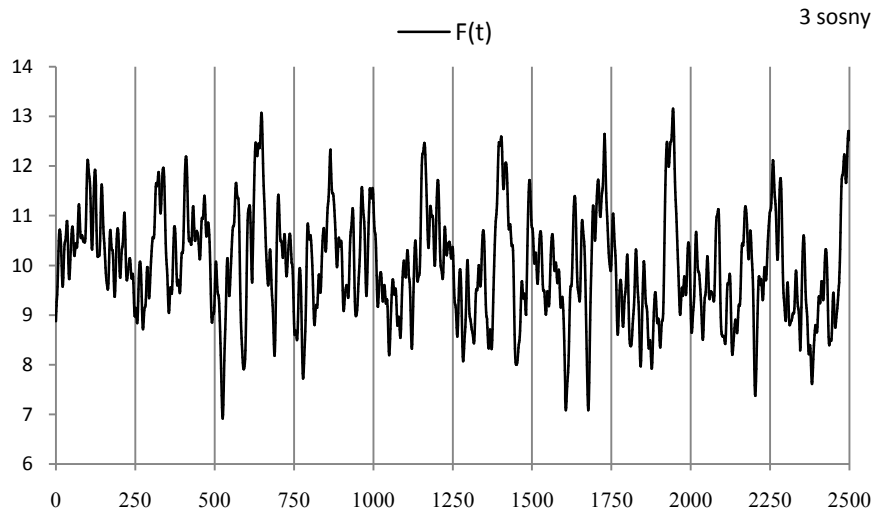
**Fig. 26.** Changes of oaks (*Quercus petraea*) in East Pomeranian 966-1985, Polska);966-2100 (A), 0-2500 (B)

### 5.5. Mroźne zimy w Europie w latach 681-2000 według minimów ( $d_{\min}$ ) grubości słoików drzew rosnących w Europie

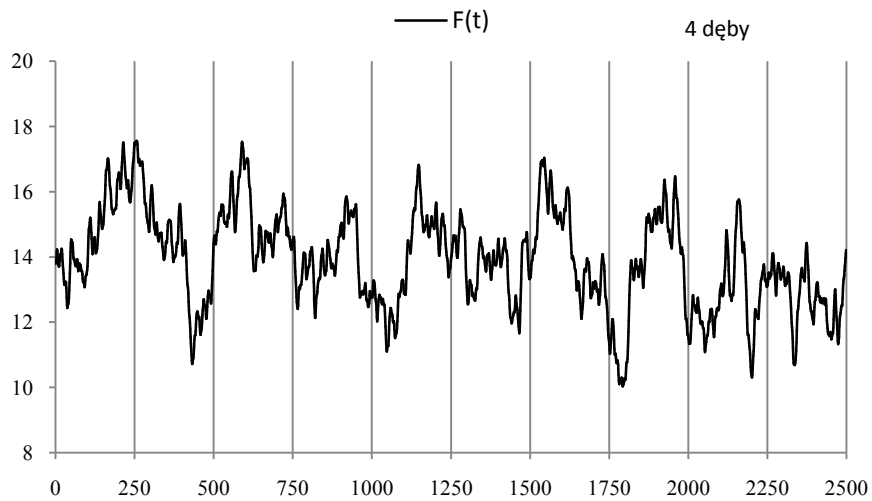


**Rys. 27.** Mroźne zimy w Europie w latach 681-2000 –  $d_{\min}$  grubości słoików 4 drzew rosnących w Europie  
**Fig. 27.** The frosty winters in Europe in years 681-2000 –  $d_{\min}$  of tree ring widths of 4 trees growing in Europe

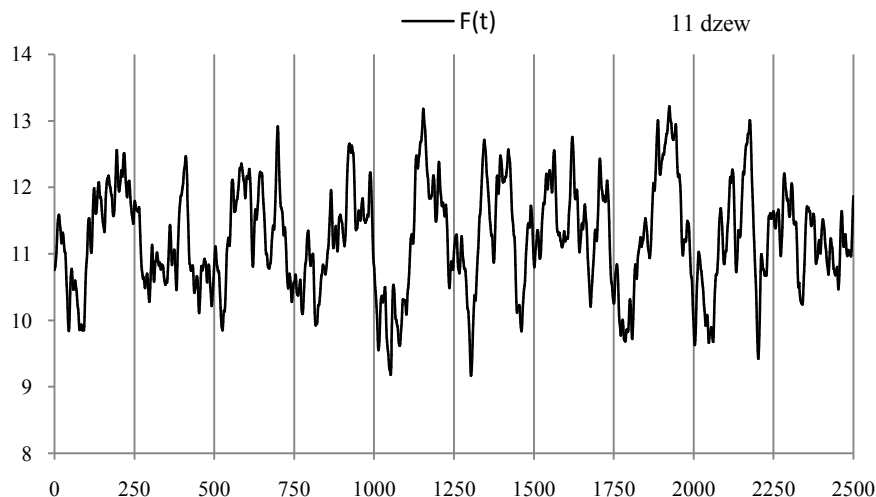




**Rys. 28.** Zmiany średniej szerokości stajów 3 sosny (*Pinus sylvestris*) w Europie (0 n.e. -2500 AD)  
**Fig. 28.** Changes of average Scots pine three oaks (*Pinus sylvestris*) in Europe (0 n.e. -2500 AD)



**Rys. 29.** Zmiany średniej szerokości stajów 4 dębów (*Quercus petraea*) w Europie w latach 0 n.e. -2500 AD  
**Fig. 29.** Changes of the average four ring widths oaks (*Quercus petraea*) in Europe in years 0 n.e. -2500 AD



**Rys. 30.** Zmiany średniej szerokości słoików 11 drzew rosnących w Europie w latach 0 n.e.-2500 AD  
**Fig. 30.** Changes of the average tree ring widths of 11 trees growing in Europe in the years 0 n.e.-2500 AD

### 5.6. Zależność szerokości słoików dębów w Polsce od temperatury powietrza i opadów atmosferycznych

Zależność szerokość słoików dębów od warunków termiczno-pluwialnych jest dość złożona, gdyż na szerokość przyrostu rocznego wpływ mają także i inne czynniki zarówno naturalne (gleba), jak i antropogeniczne (zanieczyszczenia).

W modelowaniu relacji przyrost–klimat stosuje się tzw. funkcję odpowiedzi (*response function*) – regresję wielokrotną (Fritts 1976, Briffa, Cook 1990).

W ogólnej postaci zależność indeksu przyrostowego  $I_t$  (roku  $t$ ) można przedstawić wzorem

$$I_t = \sum_j a_{tj} T_{tj} + \sum_j b_{tj} P_{tj} + \sum_l c_l W_l$$

gdzie:  $T_{tj}$ ,  $P_{tj}$  – średnia temperatura powietrza i suma opadów ( $j$  – numer miesiąca,  $t$  – roku),  $W_l$  – wartość przyrostu  $l$  lat poprzednich,  $a_{tj}$ ,  $b_{tj}$  – współczynniki regresji wielokrotnej temperatury i sumy opadów,  $c_l$  – współczynnik regresji wielokrotnej uwzględniającej przyrost  $l$  lat poprzednich,

Najczęściej wykorzystuje się informacje o warunkach termiczno-pluwialnych wpływających na roślinność w okresie od lata roku poprzedzającego do końca okresu wegetacji w roku, z którego przyrost jest analizowany (Fritts 1976; Zielski, Krapien 2004).

Przeprowadzono analizę wpływu warunków klimatycznych (średnia miesięczna temperatura powietrza i miesięczna suma opadów atmosferycznych) na szerokość słoika przyrostu rocznego dębu szypułkowego rosnącego w Polsce (tab. 14).

**Tabela 14.** Rozmieszczenie dębów w Polsce  
**Table.14.** Localization Sessile oaks in Poland

Miejsce	Przedział czasu	Miejsce	Przedział czasu
Gdańsk	1762-1985	Poznań	1836-1986
Goldap	1871-1986	Roztocze	1872-1988
Hajnówka	1720-1984	Suwałki	1861-1986
Koszalin	1782-1986	Toruń	1713-1986
Kraków	1792-1985	Warszawa	1690-1984
Pomorze wschodnie	996-1985	Wolin	1554-1986
Pomorze wschodnie 1	996-1500	Wrocław	1727-1986
Pomorze wschodnie 2	1500-1985	Zielona Góra	1774-1986

Współczynniki regresji wielokrotnej ( $a_T$ ,  $a_P$ ) przyrostów radialnych dębu ( $d$ ) np. w Suwałkach i Krakowie względem miesięcznych wartości temperatury powietrza ( $T$ ) i sum opadów atmosferycznych ( $P$ ) zestawiono w tab. 15-16 (wartości pogrubione **bold** są istotne na poziomie 0,05).

**Tabela 15.** Współczynniki regresji wielokrotnej przyrostu radialnego dębu ( $d$ ) względem  $T$ ,  $P$  w Suwałkach  
**Table 15.** Multiple regression coefficients for the relationship  $T$ ,  $P$  – radial growth of English oak in Suwałki

M	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I	pXII	pXI	pX	pIX	pVIII
$a_T$	<b>0,239</b>	<b>-0,171</b>	0,014	0,025	<b>-0,144</b>	<b>-0,219</b>	-0,053	0,132	-0,086	0,071	-0,142	-0,202	0,099	-0,071
$a_P$	-0,037	0,024	-0,020	<b>0,090</b>	-0,045	0,112	0,083	0,042	<b>-0,126</b>	-0,083	<b>0,238</b>	0,098	<b>-0,103</b>	-0,009

**Tabela 16.** Współczynniki regresji wielokrotnej przyrostu radialnego dębu ( $d$ ) względem  $T$ ,  $P$  w Krakowie  
**Table 16.** Multiple regression coefficients for the relationship  $T$ ,  $P$  – radial growth of English oak in Krakow

M	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I	pXII	pXI	pX	pIX	pVIII
$a_T$	-0,072	<b>0,114</b>	-0,027	0,069	0,058	0,022	-0,032	<b>0,118</b>	<b>0,288</b>	0,036	0,014	<b>0,149</b>	<b>-0,178</b>	0,049
$a_P$	0,027	<b>0,103</b>	<b>0,186</b>	-0,063	<b>-0,158</b>	-0,106	<b>-0,237</b>	0,053	-0,018	0,014	0,032	0,094	0,010	0,009

Wartości współczynnika determinacji  $r^2$ , określającego łączny wpływ warunków meteorologicznych na szerokość słoja przyrostu wahają się od około 0,16 do ponad 0,75. Najmniejsze wartości otrzymano w najdłuższych ciągach przyrostów dębów (Warszawa, Wolin, Wrocław). Największy wpływ klimatu na przyrost stwierdzono u dębów rosnących w okolicach Torunia, Suwałk i Poznania ( $r^2$  wynosi 0,65-0,75).

Z obliczeń wynika, że istotny jest wpływ temperatury sierpnia na szerokość przyrostu dębu w Polsce. Dotyczy to zarówno sierpnia roku formowania się słoja, jak też tego roku poprzedniego. Im cieplej w tym miesiącu, tym mniejszy jest przyrost roczny dębów. Inaczej jest w październiku roku poprzedniego, kiedy to wartości współczynników regresji informują o dodatniej relacji między temperaturą a przyrostem dębu,

Pozytywne oddziaływanie warunków termicznych uwidacznia się w okresie zimowym (grudzień i luty) oraz we wrześniu roku bieżącego.

Warunki pluwalne oddziałują na przyrost dębów w Polsce w przybliżeniu tak jak termiczne. Najistotniejsze znaczenie mają opady zimą i wiosną. Ich duża ilość w okresie od lutego do kwietnia zapewniają wodę rozwijającym się roślinom, natomiast ich zbytne natężenie w maju, szczególnie na początku miesiąca, może negatywnie wpływać na kwitnienie i rozwój asymilacji.

## VI. ANOMALIE TERMICZNE W EUROPIE WEDŁUG DANYCH METEOROLOGICZNYCH, DENDROLOGICZNYCH I ŹRÓDEŁ HISTORYCZNYCH W DWÓCH TYSIĄCLECIACH (0 - XXI)

Temperatura powietrza w zimie nad obszarem Europy jest kształtowana przez cyrkulację atmosferyczną (Oscylacja Północnoatlantycka NAO i Oscylacja Arktyczna OA). Podczas dodatniej fazy  $NAO > 0$  napływa nad Europę względnie ciepłe powietrze z nad Atlantyku, które sprzyja występowaniu ciepłych zim). Natomiast w fazie ujemnej  $NAO < 0$  występuje adwekcja zimnego (mroźnego) powietrza arktycznego z północy lub polarnego kontynentalnego ze wschodu. Długie utrzymywanie się tej adwekcji i rozbudowa blokujących układów wysokiego ciśnienia, powoduje w różnych częściach kontynentu anomalnie niską temperaturą powietrza.

Cyrkulację atmosferyczną zależy od warunków termicznych panujących w oceanie, a szczególnie przy jego powierzchni.

Przyczyną występowania anomalnie wysokiej temperatury w lecie jest adwekcja gorącego powietrza zwrotnikowego (stacjonarne układy wysokiego ciśnienia). W lecie znaczenie ma duży dopływ promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię Ziemi, przy małym zachmurzeniu (w układach wyżowych w długie letnie dni), zależny od koncentracji pyłów i gazów cieplarnianych w atmosferze. W chłodnych latach jest więcej typów cyrkulacji cyklonalnych z zachodu i z północy, którym towarzyszy większe zachmurzenie niż w typach antycyklonalnych.

Skrajnie niskie minima temperatury powietrza i minima szerokości przyrostów rocznych drzew w ostatnich dwóch tysiącleciach 0 n.e. – 2000 w Europie przypadają na minima wiekowe aktywności Słońca np. na lata 1672-1699 (Maunder minimum) i 1790-1830 (minimum Daltona) oraz na najslabszy 13-letni cykl aktywności Słońca 1811-1823. Na ogół są to minima wskaźnika koncentracji masy planet w Układzie Słonecznym względem ekliptyki ( $-B_z$ ) (maksima  $B_z$  moment bezwładności).

Skrajnie chłodne lata występują także po erupcjach wulkanicznych np. po wybuchu wulkanu Tambora w 1815 roku (anomalnie niska temperatura w lecie 1816)

### 6.1. Cykle 11, 100 i 180 lat temperatury powietrza, szerokości słoju drzew i aktywności Słońca

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.

Celem rozdziału jest wykazanie synchroniczności cyklicznych wahań klimatu w Europie na podstawie danych instrumentalnych i dendrologicznych oraz rekonstrukcja i prognoza zmian klimatu w stuleciach XV- XXV wieku.

Z dotychczasowych badań długich ciągów pomiarów wynika, że w Warszawie (1779-1998), 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),

Poczdami (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 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, wskaźnika *NAO*, aktywności Słońca i rocznych przyrostów drzew (szerokości słoju) wyznaczono metodą „sinusoid regresji” (Boryczka, 1998):

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

gdzie:  $\Theta$  – okres,  $b$  – amplituda,  $c$  – przesunięcie fazowe,  $t$  – czas.

Zmieniając okres sinusoidy  $\Theta$  co 0,1 roku. otrzymuje się ciąg wartości wariancji resztkowej  $\varepsilon^2$ , odpowiadających zadawanym okresom  $\Theta$  – widmo zmiennej  $y$ . Okresy  $\Theta$  – to minima lokalne wariancji resztkowej  $\varepsilon^2$  (maksima lokalne współczynnika korelacji,

$$R = \sqrt{1 - \frac{\varepsilon^2}{s^2}}, \quad s^2 - \text{wariancja zmiennej } y.$$

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.

### **Cykl 11-letni temperatury powietrza, rocznych przyrostów drzew i aktywności Słońca**

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 zimie, lecie i w roku zestawiono w tabeli 1.

**Tabela 1.** Okresy około 11-letnie temperatury powietrza w Europie

**Table 1.** 11-years periods of air temperature in Europe

Miasto	Czas	Zima			Lato	Miasto	Czas	Zima		Lato	
		$\Theta$	$\Delta T$	$\Delta T$	$\Theta$			$\Theta$	$\Delta T$	$\Theta$	$\Delta T$
Warszawa	1779-1998	11,6	0,53	11,3	0,22	Genewa	1769-1980	11,0	0,40	11,3	0,28
Kraków	1827-1997	11,3	0,84	11,4	0,26	Wiedeń	1775-2002	11,0	0,44	11,0	0,12
Wrocław	1792-2002	11,4	0,74	11,5	0,42	Rzym	1811-1989	11,8	0,44	10,7	0,39
Lwów	1824-2002	11,2	1,11	10,7	0,06	Sztokholm	1756-1994	11,3	0,29	11,6	0,38
Praga	1771-1990	11,0	0,42	11,1	0,19	Kopenhaga	1768-1991	11,1	0,26	11,5	0,48
Berlin	1769-1990	11,0	0,42	11,6	0,18	Moskwa	1881-2002	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 (0,4-1,0°C) niż w lecie (0,1-0,4°C).

Przyczyną okresów około 11-letnich temperatury powietrza i opadów atmosferycznych jest niewątpliwie 11-letni cykl aktywności Słońca (i stałej słonecznej) (tab.2).

**Tabela 2.** Okresy około 11-letnie aktywności Słońca i stałej słonecznej

**Table 2** 11-years periods of solar activity and solar constant

Liczby Wolfa		Stała słoneczna	
$\Theta$	$\Delta W$	$\Theta$	$\frac{\Delta s}{s} \%$
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 współczynnika korelacji  $R = 0,609$ .

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

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 ( $\log \frac{DVI}{\Delta t}$ ) –  $\Theta = 11,7$  lat,  $R = 0,29$  i odstępem czasu  $\Delta t$  między kolejnymi erupcjami eksplozywnymi  $\Theta = 12,1$ ,  $R = 0,21$ .

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

### **Cykle 100 i 180-letni aktywności Słońca, temperatury powietrza, 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.3). W otoczeniu maksimum plam słonecznych w tych cyklach kumulowana energia słoneczna w głębszych warstwach łądów i oceanów, wywiera wpływ na prądy morskie i 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 180-year long periods of solar activity, solar constant and volcanic eruption (years)

Zmienna	100-letni	180-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. 4-5).

**Tabela 4.** Okresy około 100-letnie temperatury powietrza w Europie

**Table 4.** The close to-100-year long periods of air temperature in Europe

Miasto	Czas	Zima		Lato		Miasto	Czas	Zima		Lato	
		$\Theta$	$\Delta T$	$\Theta$	$\Delta T$			$\Theta$	$\Delta T$	$\Theta$	$\Delta T$
Warszawa	1779-1998	113,4	1,22	75,0	0,88	Bazylea	1769-1980	85,5	0,14	87,6	0,64
Kraków	1827-1997	90,0	0,48	88,0	0,67	Kopenhaga	1775-2002	80,5	0,22	89,6	0,27
Wrocław	1792-2002	123,3	1,66	75,0	0,50	Anglia	1811-1989	99,3	0,44	102,5	0,20
Lwów	1824-2002	108,8	1,30	74,1	1,33	Sztokholm	1756-1994	86,3	0,55	89,4	0,51
Praga	1771-1990	116,3	1,44	118,3	0,68	Uppsala	1768-1991	102,7	1,48	94,0	0,79
Wiedeń	1769-1990	89,8	0,79	96,1	0,58	Insbruck	1881-2002	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

Miasto	Czas	Zima		Lato		Miasto	Czas	Zima		Lato	
		$\Theta$	$\Delta T$	$\Theta$	$\Delta T$			$\Theta$	$\Delta T$	$\Theta$	$\Delta T$
Warszawa	1779-1998	179,0	0,44	208,2	0,66	Bazylea	1769-1980	-	-	227,4	0,26
Kraków	1827-1997	168,3	0,43	-	-	Kopenhaga	1775-2002	-	-	211,6	1,19
Wrocław	1792-2002	-	-	195,3	1,00	Anglia	1811-1989	166,9	0,48	204,6	0,34
Lwów	1824-2002	144,1	-	248,3	1,09	Sztokholm	1756-1994	184,6	0,49	-	-
Praga	1771-1990	212,8	1,18	-	-	Uppsala	1768-1991	182,3	2,50	192,8	0,39
Wiedeń	1769-1990	-	-	224,9	1,40	Insbruck	1881-2002	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. 6). Ekstrema cyklu 180-letniego (zbliżonego do długości serii instrumentalnych) wielokrotnie powtarzają się w ciągach dendrologicznych sprzed tysiąca czy też kilkuset lat.

**Tabela 6.** Okresy ( $\Theta$  lat) około 100. i 180- letnie szerokości pierścieni drzew (sosna, świerk, modrzew) rosnących w Europie

**Table 6.** Close- to-, 100- and 200- years cycles ( $\Theta$  years) of tree ring widths from Europe (Scots pine, Norway spruce and European larch)

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

## 6.2. Synchroniczne wahania temperatury powietrza, NAO, szerokości słołów drzew w Europie i aktywność Słońca

O dominującym udziale aktywności Słońca w kształtowaniu klimatu Ziemi w postępującym ociepleniu klimatu w XIX-XX wieku świadczą zbliżone tendencje wiekowych zmian średnich konsekwentnych 11-letnich liczb Wolfa i średniej rocznej temperatury powietrza z 10 miast w Europie (Paryż, Berlin, Sztokholm, Warszawa, Kraków, Praga, Wiedeń, Tallin, Bazylea i Oksford) w latach 1840-1994..

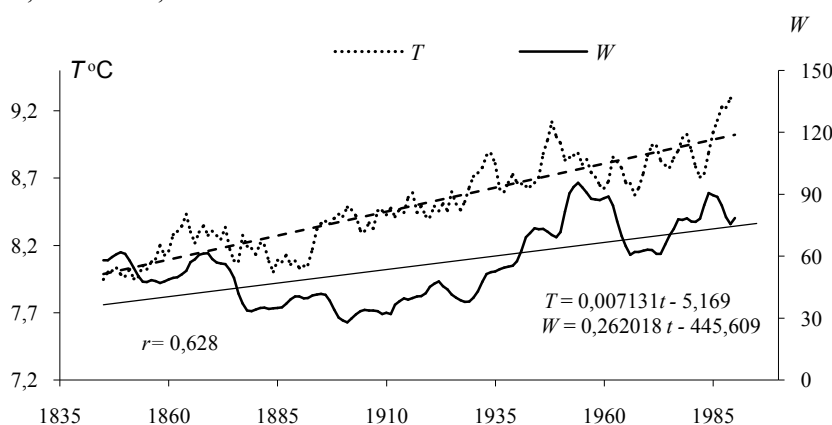
Tendencje średniej rocznej temperatury powietrza ( $0,713\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ lat}$ ) i rocznych liczb Wolfa ( $26,2/100\text{ lat}$ ) określone równaniami prostych regresji są rosnące:

$$T = 0,007131t - 5,16899, \quad W = 0,262018t - 445,6094$$

Współczynniki korelacji  $r = 0,913$  i  $r = 0,612$  są istotne według testu t- Studenta na poziomie  $0,01$ ,  $t_{obl} = 29,069$ ,  $t_{obl} = 27,298$

Zależność średnich konsekwentnych 11-letnich wartości temperatury powietrza ( $T$ ) w latach 1840-1994 w tych 10 miejscowościach w Europie ( $T$ ) od aktywności Słońca ( $W$ ) określa prosta regresji o współczynniku korelacji  $r = 0,628$  (rys. 1).

$$T = 0,01150W + 7,86782$$

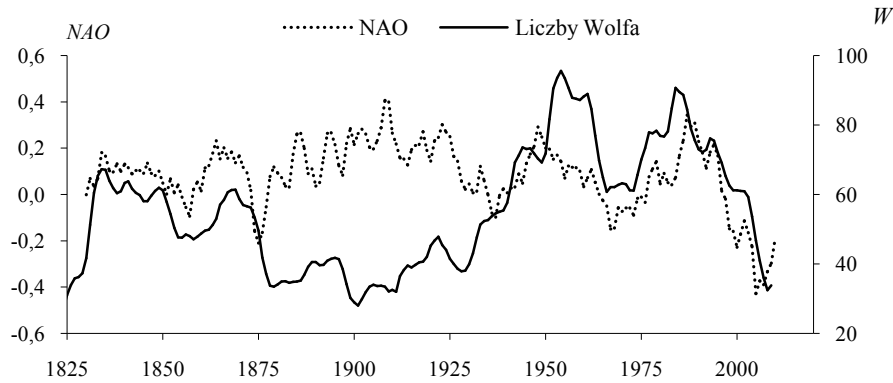


**Rys. 1.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Europie ( $T$ ) i aktywności Słońca (liczb Wolfa  $W$ ) w latach 1840-1994 (średnie konsekwentne 11-letnie),

**Fig. 1.** Changes of annual mean air temperature ( $T$ ) in Europe and solar activity (Wolf numbers  $W$ ) in years 1840-1994 (11 year running means)



Przy dużej liczbie plam słonecznych ( liczb Wolfa) są synchroniczne także wahania aktywności Słońca i wskaźnika *NAO* (średnich rocznych konsekwentnych 11-letnich (rys. 2).

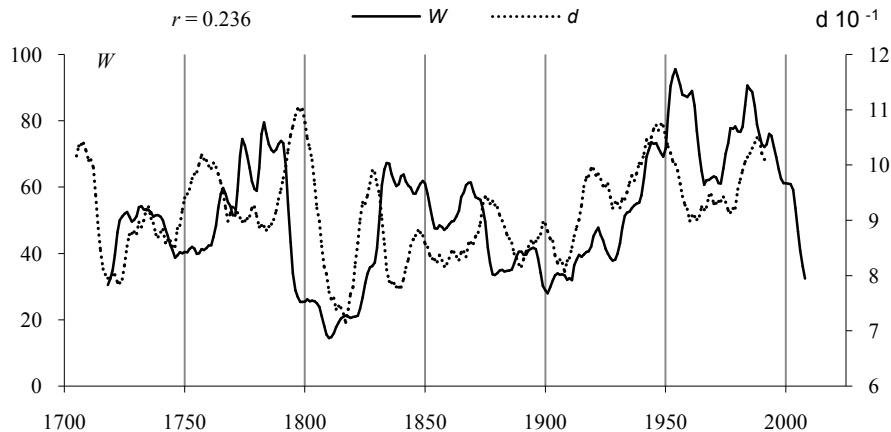


**Rys. 2.** Zmiany Oscylacji Północnoatlantyckiej (*NAO*) i aktywności Słońca (liczb Wolfa) w latach 1825-2015

**Fig. 2.** Changes of North Atlantic Oscillations (*NAO*) and solar activity (Wolf numbers) in years 1825-2015

\*) Unsmoothed monthly sunspots V1,0, <http://www.sidc.be/silso/versionarchive> source  
<http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml>, created at NOAA-CIRES and NOAA/ESRL  
 PSunsmoothed monthly sunspots

O wpływie aktywności Słońca na klimat Europy (i Polski) świadczą również np. synchroniczne wahania średniej szerokości słoików (*d*) pięciu drzew (1 sosna, 3 świerki i 1 modrzew) i liczb Wolfa (rys. 3).



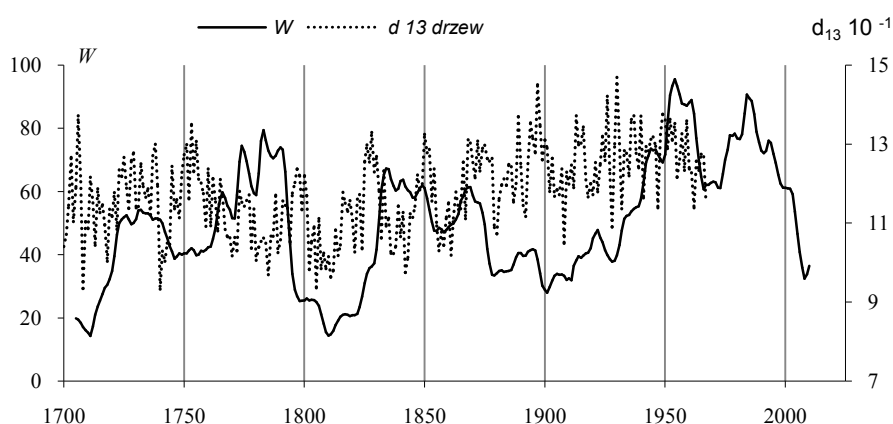
**Rys. 3.** Synchroniczne wahania średniej szerokości słoików 5 drzew rosnących w Europie i liczb Wolfa w latach 1700-2015 ( średnie konsekwentne 11-letnie), współczynnik korelacji  $r = 0.236$

**Fig. 3.** Synchronous fluctuations of the average tree ring widths of trees growing in Europe and Wolf numbers in the years 1700-2015 (11-year moving average), correlation coefficient  $r = 0.236$

Są to drzewa: *Pinus sylvestris* (Fortfjorddalen, Norwegia, 1877-1994); *Picea abies* (Falkenstein, Niemcy, 1540-1995; Fodara Vedla, Włochy, 1598-1990; Stonnglandes, Norwegia, 1403-1997) i *Larix decidua* (Pinega, Rosja, 1578-1990. Współczynnik korelacji  $r = 0,236$  między średnią szerokością słoików drzew ( $d$ ) i liczbami Wolfa ( $W$ ) jest istotny na poziomie  $0,01 (r > r_{0,01})$

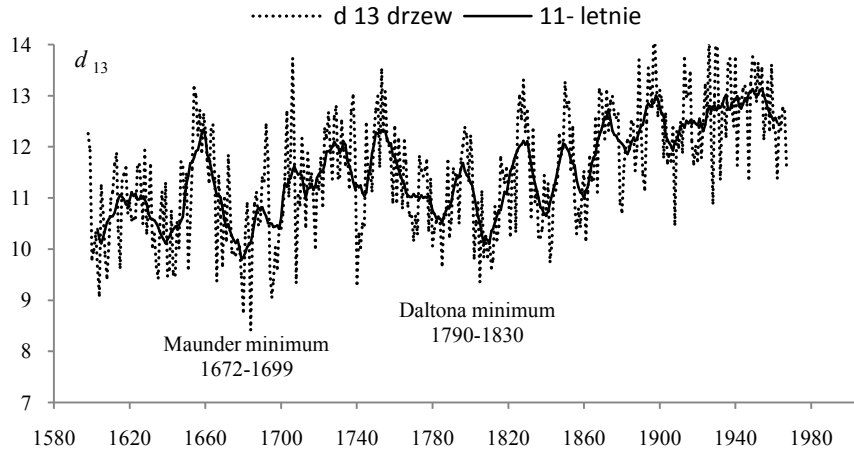
Ponadto porównano przebiegi średniej szerokości słoików 13 drzew rosnących w Europie i liczb Wolfa ( $W$ ) w latach 1700-2015 (rys. 4) oraz z minimami wiekowymi liczb Wolfa: Maunder minimum (1672-1699) i Daltona minimum (1790-1830) (rys. 5).

Są to : **3 sosny:** *Pinus sylvestris* – Forfjorddalen (877-1994, Norwegia), *Pinus sylvestris* – Karhupesakivi (1398-1993, Finlandia), *Pinus sylvestris* – Kola (1577-1997, Rosja); **3 świerki:** *Picea abies* – Falkenstein (1540-1995, Niemcy), (*Picea abies*) – Fodara Vedla (1598-1990, Włochy), *Picea abies* – Stonnglandes (1403-1997, Norwegia); **1 modrzew** (*Larix decidua*) – Les Merveilles 2 (988-1974, Francja), , **1 jodła** (*Abies alba*) – Prayo Magno (1540-1973, Włochy) i **5 dębów:** *Quercus petraea* – Ardeny (1118-1986, Belgia), *Quercus petraea* – Bodensee (1275-1986, Holandia), *Quercus petraea* – Bourgogne (681-1991, Francja), *Quercus robur* – Hamburg (1340-1967, Niemcy), *Quercus petraea* – Pomorze wschodnie (966-1985, Polska).



**Rys. 4.** Synchroniczne wahania średniej szerokości słoików 13 drzew rosnących w Europie i liczb Wolfa w latach 1700-2015 (średnie konsekwentne 11-letnie)

**Fig. 4.** Synchronous fluctuations of the average tree ring widths of 13 of trees growing in Europe and Wolf numbers in the years 1700-2015 (11-year moving average)



**Rys. 5.** Zmiany średniej szerokości słoików 13 drzew rosnących w Europie i ( liczb Wolfa )w latach 1598-1967 (średnie konsekwentne 11-letnie)

**Fig. 5.** Changes of the average tree ring widths of 13 (B)trees growing in Europe (and Wolf numbers) in the years 1598-1967 (11-year moving average)

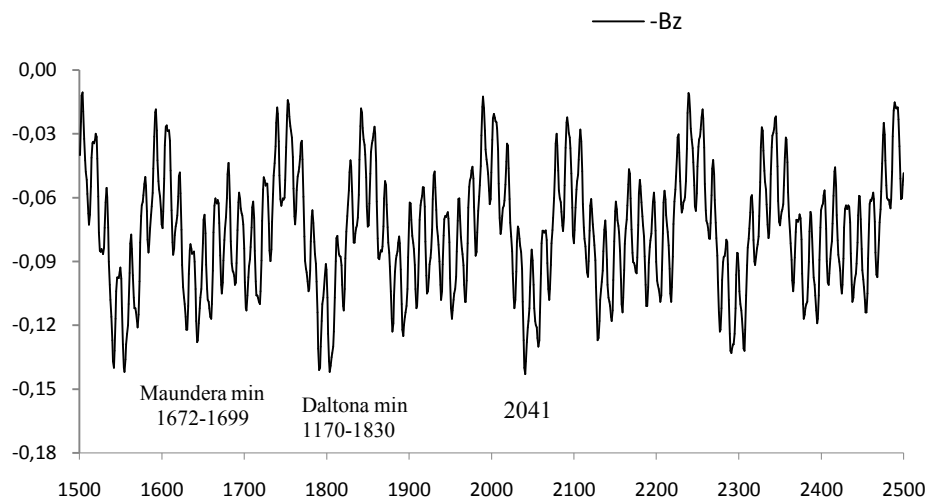
### 6.3. Synchroniczne wahania szerokości słoików drzew w Europie, aktywności Słońca i momentu bezwładności $B_z$ planet Układu Słonecznego względem płaszczyzny ekliptyki

Na uwagę zasługują synchroniczne wahania w przebiegach wiekowych aktywności Słońca i momentu bezwładności  $B_z$  planet Układu Słonecznego względem płaszczyzny ekliptyki (wskaźnika koncentracji masy planet  $-B_z$ ). Jego wartości wyznaczono na podstawie wielomianów opisujących zmiany wiekowe parametrów orbity Ziemi (Reznikov, 1982):

$$-B_z = -10^{-3} \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n m_j z_j^2$$

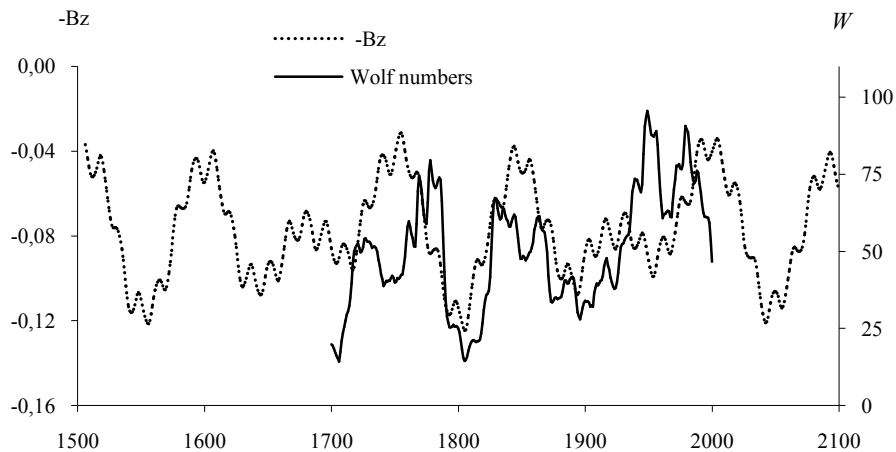
gdzie:  $m_j$  – masa j-tej planety,  $z_j$  – odległość j-tej planety od płaszczyzny ekliptyki,  $m$  – masa planet US, a jednostką jest promień Słońca w potęgze drugiej ( $R_0^2$ ).

Aktywność Słońca jest większa przy większej koncentracji ( $-B_z$ ). masy wszystkich planet (mniejszym momencie bezwładności planet  $B_z$ ) względem płaszczyzny ekliptyki. Mało prawdopodobne jest, że synchroniczność wahań liczb Wolfa i  $-B_z$  jest przypadkowa (rys. 6-7).



**Rys. 6.** Zmiany wskaźnika (-Bz) koncentracji masy planet względem ekliptyki w latach 1500-2500 (momentu bezwładności Bz)

**Fig. 6.** Changes of the coefficient (-Bz) concentration of the planets mass in the Solar System relation to the ecliptic in years 1500-2500 (the planet moment of inertia, Bz)



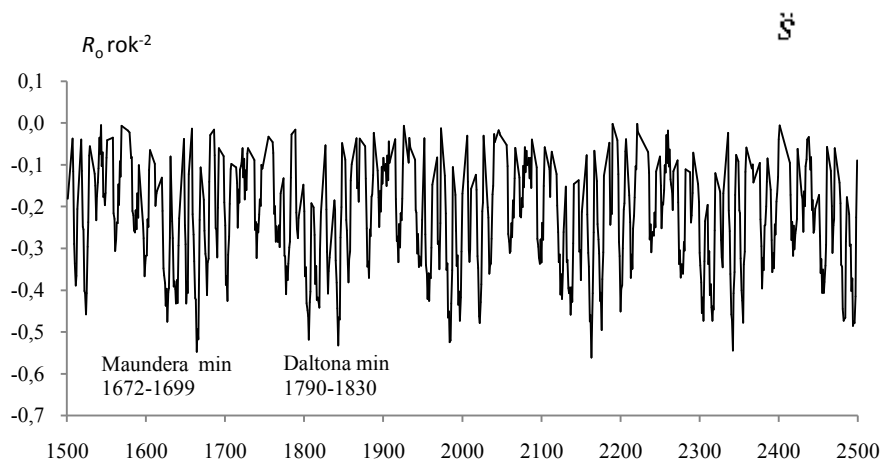
**Rys. 7.** Zmiany liczb Wolfa w latach 1700-2013) w odniesieniu do momentu bezwładności planet Układu Słonecznego względem ekliptyki (-Bz) (1500-2100); (konsekwentne 11-letnie)

**Fig. 7.** Changes of Wolf numbers in 1700 and 2013, relative of inertia (-Bz) of the planet mass in the Solar System in relation to the ecliptic (1500-2100),(average of 11consecutive)

Na uwagę zasługuje także zbieżność wahań wiekowych aktywności Słońca i średnich rocznych wartości przyspieszenia Słońca względem środka masy Układu Słonecznego  $\ddot{s}$ , obliczonych według definicji ( $[\ddot{s}] = R_0 \text{ mies}^{-2}$ ) (rys. 8):

$$\ddot{s} = \frac{d^2 s}{dt^2}, \quad \ddot{s}_i = v_{i+1} - v_i, \quad v_i = r_{i+1} - r_i, \quad t_{i+1} - t_i = 1 \text{ miesiąc}$$

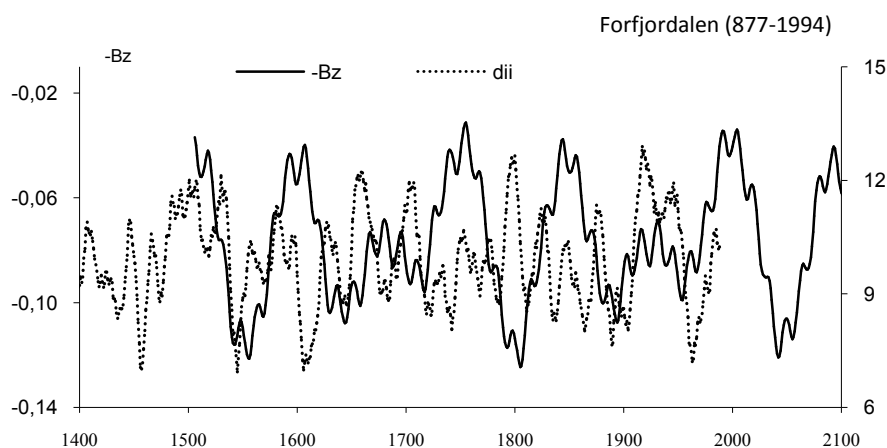
Minima wiekowe aktywności Słońca : Maunder minimum i Daltona minimum pokrywają się z minimami przyspieszenia Słońca  $\ddot{S}$  (składowa radialna –  $R_0/\text{rok}^2$ ) (rys. 8)



**Rys. 8.** Zmiany przyspieszenia Słońca  $\ddot{S}$  (składowa radialna –  $R_0/\text{rok}^2$ ) w latach 1500-2500

**Fig. 8.** Changes of acceleration of the sun  $\ddot{S}$  (radial component –  $R_0/\text{year}^2$ ) in the years 1500-2500

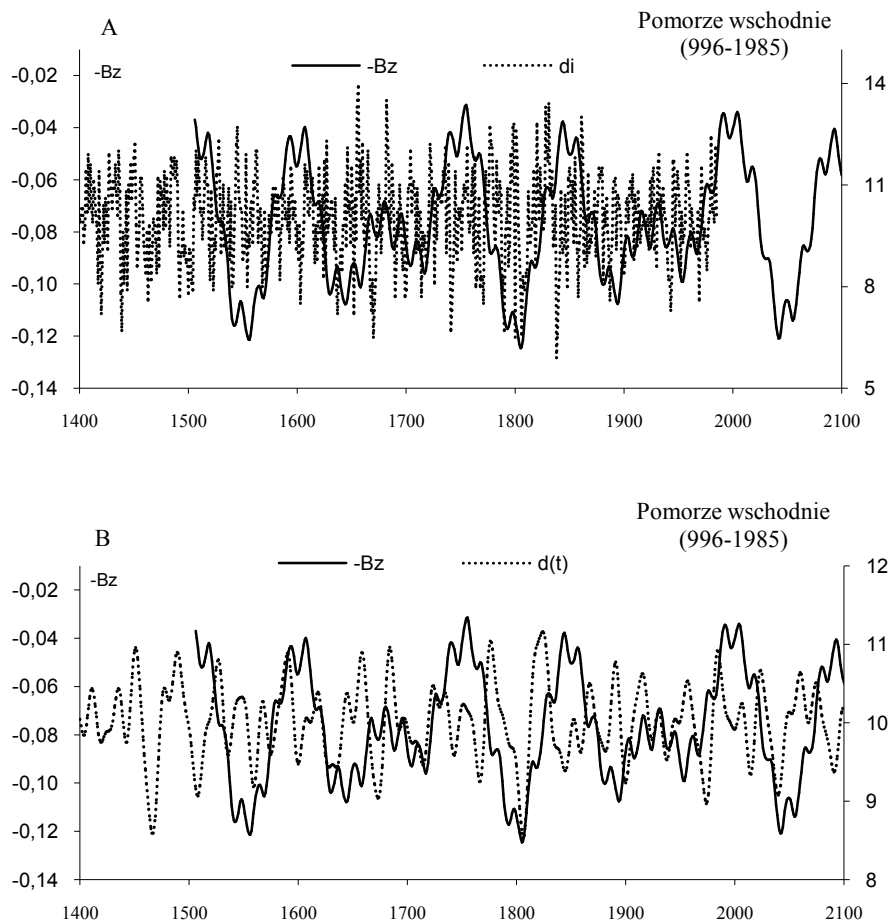
Synchroniczne są także wahania szerokości słoju np. sosny (*Pinus sylvestris*) – w Forfjordalen (877-1994, Norwegia) i wskaźnika ( $-B_z$ ) koncentracji masy planet względem ekliptyki  $-B_z$  (rys. 9)



**Rys. 9.** Synchroniczne wahania średniej szerokości słoju sosny (*Pinus sylvestris*) w Forfjordalen (877-1994, Norwegia) i momentu bezwładności planet Układu Słonecznego względem ekliptyki ( $-B_z$ ) (średnie konsekwtywne 11-letnie),

**Fig. 9.** Synchronous fluctuations of the cycles of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Forfjordalen (Norwegia, 877-1994) and of inertia ( $-B_z$ ) of the planet mass in the Solar System in relation to the ecliptic (11-year moving average)

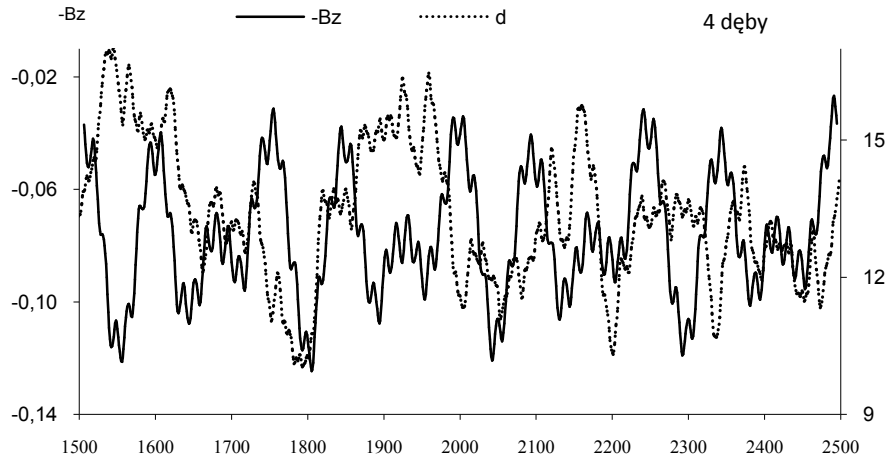
Zgodne w czasie są także ekstrema szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Pomorzu Wschodnim (966-1985, Polska) i wskaźnika koncentracji masy planet w Układzie Słonecznym względem ekliptyki ( $-B_z$ ), gdzie  $d_i$  to zmierzone szerokości słoju, a  $d(t)$  to wypadkowa interferencji cykli (rys. 10).



**Rys. 10.** Synchroniczne wahania szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) – Pomorze Wschodnie (1400-2100, Polska) i momentu bezwładności planet Układu Słonecznego względem ekliptyki ( $-B_z$ );  $d_i$  (A),  $d(t)$  (B)

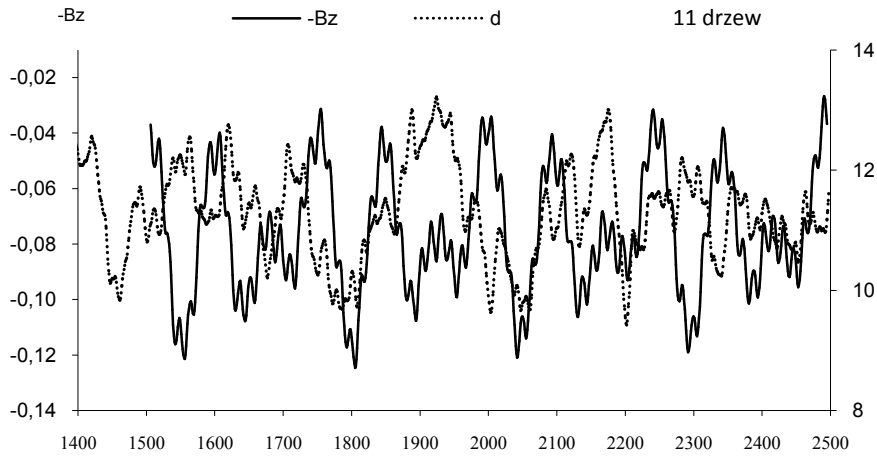
**Fig. 10.** Synchronous fluctuations of the cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in East Pomeranian 1400-2100, Poland) and of inertia ( $-B_z$ ) of the planet mass in the Solar System in relation to the ecliptic,  $d_i$  (A),  $d(t)$  (B)

Porównano także z wskaźnikiem koncentracji masy planet ( $-B_z$ ), średnie szerokości słoju 4 dębów (*Quercus petraea*): Ardeny (1118-1986, Belgia), Bodensee (1275-1986, Holandia), Bourgogne (681-1991, Francja), Pomorze wschodnie (966-1985, Polska) (rys. 11) oraz 11 drzew spośród 13 (bez *Picea abies* – Fodara Vedla (1598-1990, Włochy) i *Quercus robur* – Hamburg (1340-1967, Niemcy) (rys. 12).



**Rys. 11.** Synchroniczne wahania średniej szerokości słoików 4 dębów (*Quercus petraea*) rosnących w Europie (1500-2500) i momentu bezwładności planet Układu Słonecznego względem ekliptyki ( $-B_z$ )

**Fig. 11.** Synchronous fluctuations of the average tree ring widths of 4 oaks (*Quercus petraea*) growing in Europe (1500-2500) and of inertia ( $-B_z$ ) of the planet mass in the Solar System in relation to the ecliptic



**Rys. 12.** Synchroniczne wahania średniej szerokości słoików 11 drzew rosnących w Europie (1400-2500) i momentu bezwładności planet Układu Słonecznego względem ekliptyki ( $-B_z$ )

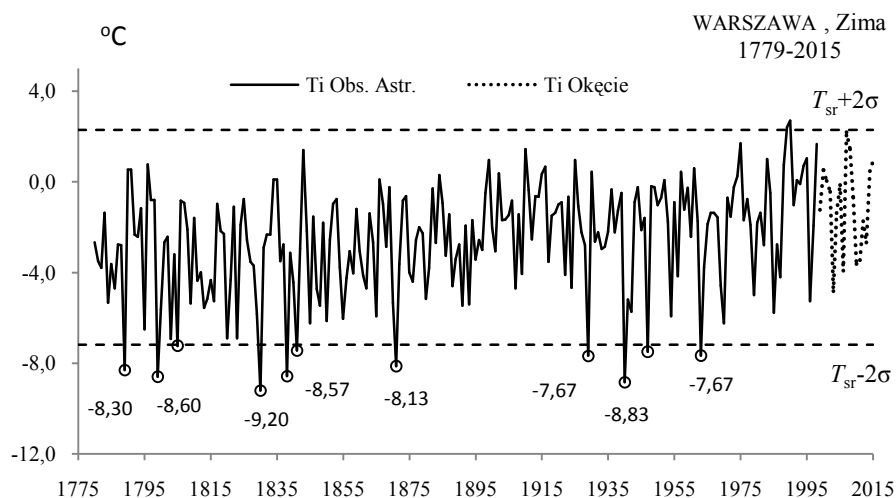
**Fig. 12.** Synchronous fluctuations of the average tree ring widths of 11 trees growing in Europe and of inertia ( $-B_z$ ) of the planet mass in the Solar System in relation to the ecliptic

#### 6.4. Mroźne zimy w Warszawie w latach 1779-2015

W Warszawie w latach 1779-2015 (Obserwatorium Astronomiczne 1779-1998, Okęcie 1999-2015) wystąpiło 39 mroźnych zim (MZ) – o temperaturze niższej od średniej arytmetycznej ( $T_{sr} = -2,454$  °C) o jedno odchylenie standardowe ( $\sigma = 2,368$  °C), jednaście bardzo mroźnych zim (BMZ) – o temperaturze niższej od  $T_{sr}$ , o dwa odchylenia standardowe i 4 najbardziej mroźne zimy (NMZ) – o temperaturze niższej od  $T_{sr}$  o  $2,5$  odchylenia standardowego (rys. 13) :

$$\begin{aligned} T &\leq T_{sr} - \sigma && \text{– mroźne zimy (39)} \\ T &\leq T_{sr} - 2\sigma && \text{– bardzo mroźne zimy (11)} \\ T &\leq T_{sr} - 2,5\sigma && \text{– najbardziej mroźne zimy (4)} \end{aligned}$$

Bardzo mroźne zimy (BMZ) wystąpiły w latach : 1789 (-8,30), 1799 (-8,60), 1805(-7,23) 1830 (-9,20), 1841 (-7,43), 1838 (-8,57), 1871(-8,13), 1929 (-7,67), 1940 (-8,83), 1947 (-7,50), 1963 (-7,67 °C). Cztery najbardziej mroźne zimy (NMZ) o temperaturze  $T \leq T_{sr} - 2,5\sigma$  wystąpiły w latach: 1799 (-8,60), 1830(-9,20), 1838 (-8,57), 1940 (-8,83 °C).

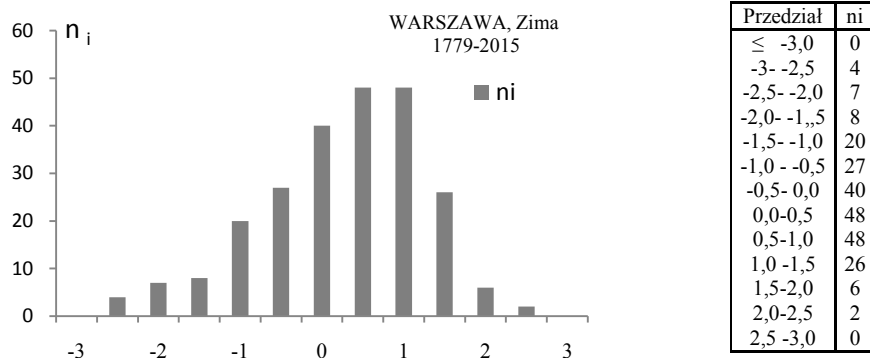


**Rys. 13.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w zimie w latach 1779-2015

**Fig. 13.** Changes of air temperature in Warsaw in winter in the 1779-2015 years

Liczbę przypadków zim o temperaturze w zakresie  $T_{sr} - 3\sigma \leq T \leq T_{sr} + 3\sigma$  w przedziałach (klasach) o szerokości  $0,5\sigma$  przedstawiono na rys. 14.





Rys. 14. Histogram temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2015,  $\Delta T = 0,5\sigma$   
 Fig. 14. The histogram of air temperature in Warsaw in years 1779-2015,  $\Delta T = 0,5\sigma$

### 6.5. Mroźne zimy w Polsce w X-XVI wieku według źródeł historycznych

Na szczególną uwagę zasługują anomalie temperatury powietrza w Europie. Informacji o występowaniu bardzo mroźnych zim i upalnych lat, a w szczególności na ziemiach polskich dostarczają źródła historyczne. Dużo wiadomości na ten temat zawiera publikacja:

- Girguś R., Strupczewski W., 1965, *Wyjątki ze źródeł historycznych o nadzwyczajnych zjawiskach hydrologiczno-meteorologicznych na ziemiach polskich w wiekach od X do XVI*, (red. A. Rojecki), Wyd. K i Ł Warszawa

Wybrane teksty z tej publikacji zamieszczono wcześniej w dwóch tomach (t. XVII i t. XX-XXI) czasopisma *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*:

- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Kirschenstein M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2003, t. XVII. *Mroźne zimy i upalne lata w Polsce*, Wyd. UW – rozdz. II. *Ekstremalne zjawiska pogodowe w X-XVI wieku (wg kronik)* (Martyn D.).
- Boryczka M., Boryczka J., Bijak Sz., Cebulski R., Błażek E., Skrzypczuk J., 2007, t. XX-XXI. *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych*, Wyd. UW – rozdz. V. *Zmiany klimatu Polski w ostatnich stuleciach według rocznych przyrostów dębów* (s.177-182)

Oto przykłady opisów dotyczących ostrych zim:

**ZIMA 940/941** (Polska): Ostra zima, ukazały się komety.

**ZIMA 1069** (Polska Zachodnia): Ponieważ rzeki przez duże zimna były skute [lodem], wtargnął cesarz Henryk do ziemi Łużyczan.

**ZIMA 1110/1111** (Polska Północna): Niestrudzony Bolesław także zimową porą nie odpoczywał beczynny w spokoju, lecz wkroczył do Prus, krainy północnej, skutej lodami. Tam bowiem wkraczając wykorzystał lody na jeziorach i bagnach, które posłużyły mu za most[y], gdyż nie prowadzi[ł] żaden inny dostęp do owej krainy, jak tylko przez jeziora i bagna.

**ZIMA 1322/1323** (Morze Bałtyckie): Było bowiem między Danią, słowiańskim krajem i Jutlandią zamrożone całe Morze Bałtyckie, tak że rozbójnicy, przychodząc ze słowiańskiego kraju, spłodrowali niektóre okolice Danii, a pośrodku morza na lodzie były założone gospody dla przejezdnych.

**ZIMA 1423** ( Morze Bałtyckie): Była tak mocna zima, że Bałtyk był pokryty lodem, że można było konno saniami wozić towary z Gdańska do Lubeki, a również z Pomorza do Danii.

**ZIMA 1431/1432** ( Wisła Dolna): Także Wisła była wtedy pokryta bardzo mocnym lodem i stała od dnia świętej Katarzyny [25 listopada] aż do dnia świętego Jerzego [23 kwietnia].

**ZIMA 1455** (Zatoka Gdańska ):Tak [był] twardy, że można było do Niedzieli Palmowej [21 marca] jeździć po lodzie z Helu do Gdańska.

**Rok 1493** ( Polska): W tym roku zima w styczniu i lutym była tak łagodna, że drzewa w sadach zakwitły, trawa była duża, ptaki wily gniazda, lecz w marcu mróz wszystko zniszczył.

**ZIMA 1495** ( Zatoka Gdańska ):Również tego roku była ciężka zima, tak że lód leżał aż do wieczora zapustnego, że można było jechać wprost z wału ochronnego z załadowanymi saniami prosto na Hel i na Redę i z powrotem, i nikt nie wiedział, jak daleko morze było zamrożone.

**ZIMA 1496/1497** ( Śląsk, Odra):Była najcięższa zima ze wszystkich minionych lat, jaką ludzie mogli zapamiętać. Zaczęła się na Andrzeja [30 XI 1469] i trwała bezustannie aż do Tyburcjusza [14 IV 1470]. Odra w bardzo wielu miejscach była zamrożona aż do dnia; wiele ryb w stawach

**ZIMA 1553/1534** ( Zatoka Gdańska): Zima była tak sroga, że można było jechać saniami po lodzie aż na Hel, i trwała aż do niedzieli Palmowej [18 marca]. Potem lód spłynął bez szkód.

**ZIMA 1556/1557** ( Polska):W końcu tego roku i na początku następnego zima była bardzo trwała; śniegi i wielkie mrozy trwały prawie od świętej Jadwigi [15 października] bez przerwy aż do Zwiastowania NMP [25 marca]. W roku 1557 przez prawie cały marzec aż do końca zalegały lody

**ZIMA 1571/1572** ( Polska): W tym roku była, jak podaje M. S. Codex Conventualis, bardzo sroga zima, bowiem od października aż do Wielkanocy bez przerwy trwała, a mróz do tego stopnia był ostry, że woda wylana w powietrze wcześniej zamrażała zanim spadła na ziemię

**ZIMA 1572/1573** ( Polska):Również w tym roku zima była bardzo ciężka i długa, a mianowicie od Wszystkich Świętych [1 listopada] do św. Walentego [14 lutego] itd., która w ciągu trzech dni ustąpiła wskutek bardzo silnych wiatrów.

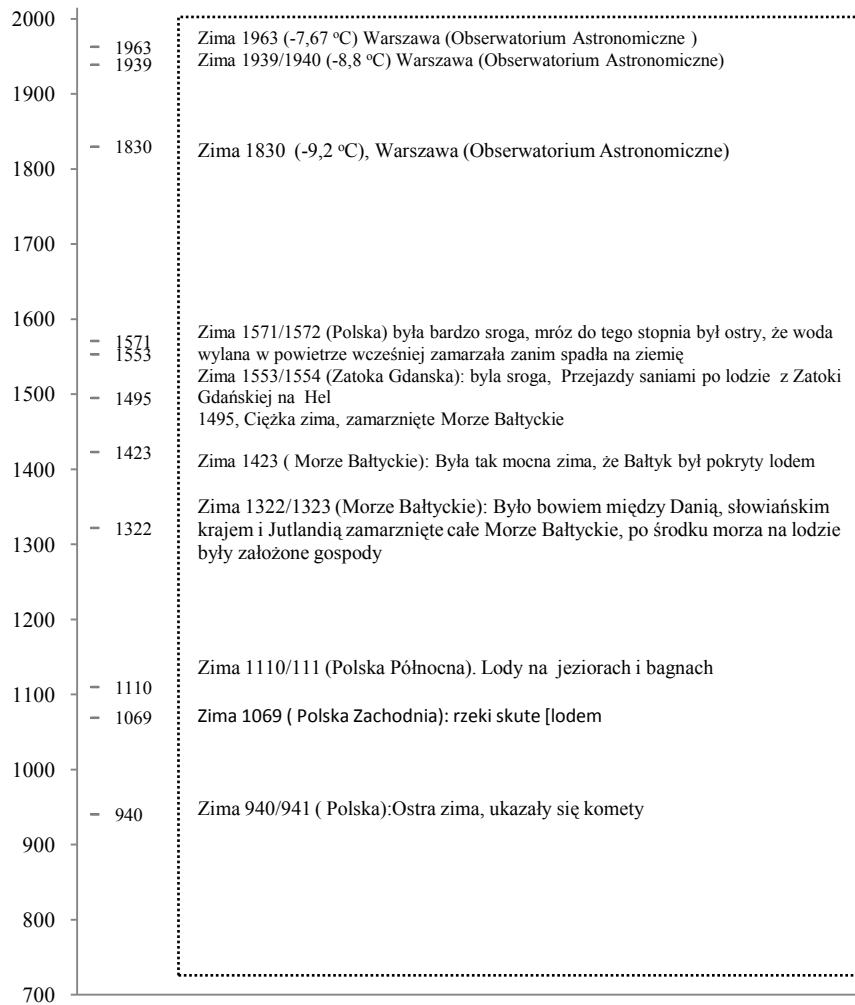
W Europie zdarzały się też upalne i suche lata, np.

**ROK 1322** (Wisła, Kraków): W tym samym roku tak wielki był upał, że starzy ludzie stwierdzili, iż nigdy za swoich dni na ziemi krakowskiej takiego żaru nie zaznali, a rzeka Wisła wskutek wielkiej suszy tak bardzo zmniejszyła się, że w licznych miejscach stała się łatwa do przechodzenia w bród dla dziesięcio- i dwunastoletnich chłopców.

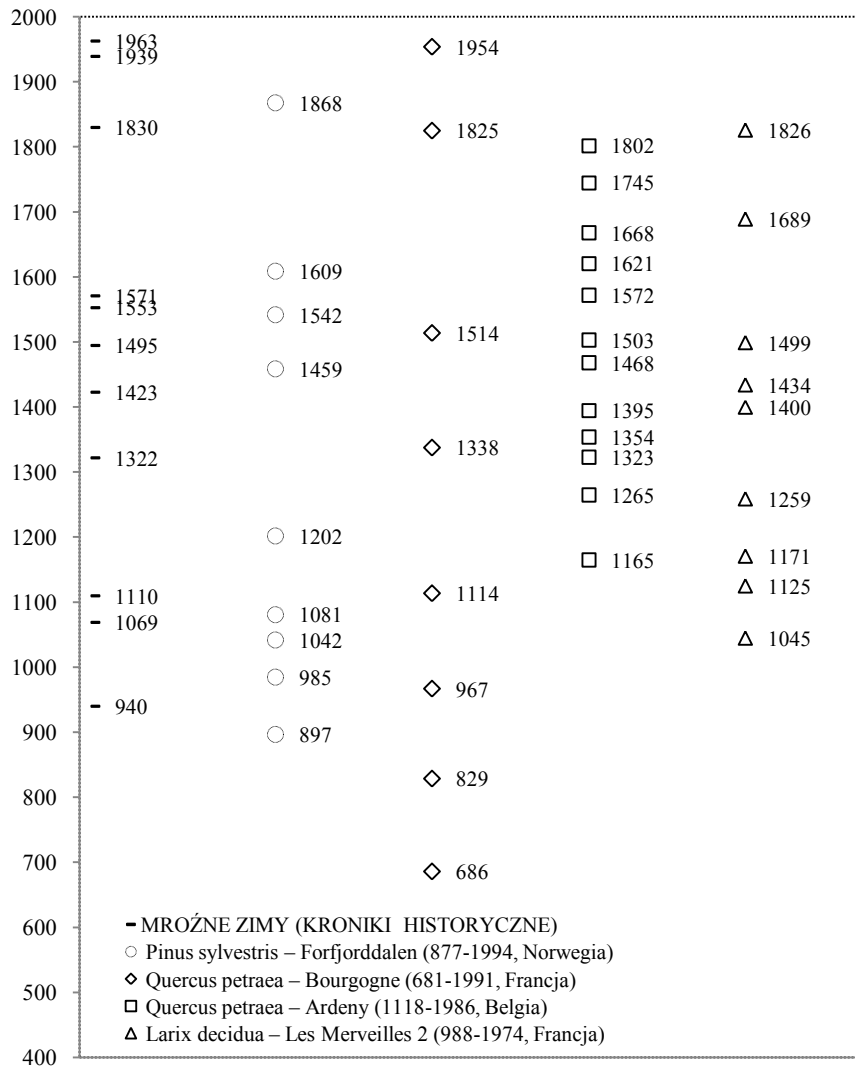
**LATO 1540** ( Polska ): Latem 1540 roku tak potworna była susza, że skały, góry i doliny jakby ogniem były spalone i susza ta utrzymywała się aż do zimy.

**LATO-JESIEŃ 1590** – Polska Południowo-Zachodnia .Było bardzo gorące suche lato, tak że w kraju rzeki, jak Bóbr, Kwisa, Kaczawa, Widawa, Oława, Ślęza i wiele innych wyschły całkowicie. Odra również była tak płytka, że można było w każdym miejscu przejść ją w bród

Mrożne zimy w Europie w latach 900-2000 według źródeł historycznych i minimów szerokości słojuw najstarszych drzew przedstawiono na rys. 15-16.



**Rys. 15.** Mroźne zimy w Europie w latach 900-2000  
**Fig. 15.** The frosty winters in Europe in years 900-2000



**Rys. 16.** Mroźne zimy w Europie w latach 900-2000 i  $d_{\min}$  grubości słoików 4 drzew rosnących w Europie  
**Fig. 16.** The frosty winters in Europe in years 900-2000, and  $d_{\min}$  of tree ring widths of 4 trees growing in Europe

### Summary

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 18<sup>th</sup>-20<sup>th</sup> centuries were characterised by cycles lasting approximately 8, 11, 100 and 180 years (tab. 14). Approximately 11-year cycles are also displayed in air temperature spectrums, for example in winter: Warsaw – 11.6 (0.5°C), Kraków – 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.

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. 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.

The chronological sequences of tree-ring widths of pine, spruce and larch in Europe have similar, approximately 100-year and 180-year cycles (tab. 7).

**Table 7.** Approximately 100-year and 180-year cycles of air temperature in Europe

Location	Winter		Summer		Winter		Summer	
	$\Theta$	$\Delta T$	$\Theta$	$\Delta T$	$\Theta$	$\Delta T$	$\Theta$	$\Delta T$
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	-	-

These forecasts were produced on the basis of interferences detected using Boryczka's "regression sinusoid" method (1998):

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

where:  $\Theta_j$  – period,  $b_j$  – amplitude,  $c_j$  – phase shift. The graphs of predictive functions  $y = f(t)$  for annual ring increases of some trees have their main minimums in the mid-21<sup>st</sup> 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  $0.40$ ) (tab. 8).

**Table 8** Approximately 100- year and 180-year cycles ( $\Theta$  years) of ring widths of trees growing in Europe (pine, spruce and larch)

Tree	Period	$\Theta$	$R$	$\Theta$	$R$	$\Theta$	$R$
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	-	-

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.

## VII. WERYFIKACJA PROGNOZ ZMIAN OSCYLACJI PÓŁNOCNO-ATLANTYCKIEJ (NAO) W LATACH 1998-2100 WEDŁUG POMIARÓW Z LAT 1825-1997 (ATLAS, T. XV, 2001)

Cyrkulacja atmosferyczna, warunkująca „dystrybucję” ciepła na Ziemi, jest głównym ogniwem mechanizmu przenoszenia zmian energii słonecznej. Kształtuje ona zmiany klimatu Ziemi od wielu tysięcy lat.

### 7.1. Kierunki adwekcji mas powietrza w Europie (typy cyrkulacji wg Wangenheima i Osuchowskiej-Klein)

W badaniach wiekowych zmian klimatu Europy (i Polski) i ich uwarunkowań kluczowe znaczenie mają długie serie chronologiczne typów cyrkulacji. Często stosowana jest klasyfikacja Wangenheima (1938), wyodrębniająca trzy grupy (makrotypy) 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, wspomaganej przez klin wysokiego ciśnienia nad wschodnim Atlantykiem

Dotychczasowe badania związków klimatu Polski z tymi makrotypami cyrkulacji W, E, C wraz z porównaniem średnich miesięcznych widm temperatury, opadów dotychczas przedziału czasu 1891-1976.

W ostatnich latach coraz częściej w Polsce jest stosowany katalog klasyfikacji typów cyrkulacji B. Osuchowskiej-Klein – codziennych z lat 1901-1995. Klasyfikacja ta wyróżnia 13 typów i 4 makrotypy 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. W badaniach zmian klimatu Polski wykorzystywane są także ciągi chronologiczne wskaźnika cyrkulacji strefowej (różnicy ciśnienia hPa między równoleżnikami 35° i 65° na poziomie morza) w latach 1899-1984 i liczby dni cyklonalnych typów cyrkulacji nad Polską w latach 1901-1975 wg B. Osuchowskiej-Klein.

Pogoda w Polsce kształtowana jest przede wszystkim kierunkiem adwekcji mas powietrza i rodzajem układu barycznego.

W klasyfikacji B. Osuchowskiej-Klein wyróżniono 13 typów cyrkulacji. Posłużono się katalogiem typów cyrkulacji w latach 1900-1991 (Osuchowska-Klein, 1978, 1991). Wyodrębniono następujące typy cyrkulacji atmosferycznej oraz inne: BE - południową cyrkulację pośrednią i sytuacje nieokreślone X:

	Typy	
	Cyklonane	Antycyklonalne
Zachodnia	A	C <sub>2</sub> D
Północno-zachodnia	CB	E <sub>2</sub> D
Północno-wschodnia	E <sub>0</sub>	E
Północno-wschodnia i wschodnia	F	E <sub>1</sub>
Południowo-wschodnia	B	–
Południowa	D	–
Południowo-zachodnia i południowa	–	D <sub>2</sub> C
Centralna	–	G

Można wyodrębnić cztery makrotypy cyrkulacji atmosferycznej: Cyrkulacja zachodnia – typy A, CB, B, D, C<sub>2</sub>D, E<sub>2</sub>C, D<sub>2</sub>C; Cyrkulacja wschodnia – E<sub>0</sub>, E, E<sub>1</sub>, F, BE; Cyrkulacja cyklonalna – A, CB, E<sub>0</sub>, F, B, BE, D; Cyrkulacja antycyklonalna – C<sub>2</sub>D, E<sub>2</sub>C, E, E<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>C, G

### Cykliczne wahania tendencje cyrkulacji atmosferycznej w Europie

Cykliczność i tendencje cyrkulacji atmosferycznej: wschodniej (C<sub>E</sub>), zachodniej (C<sub>W</sub>) i południkowej (C) zbadano na podstawie miesięcznych częstości ich występowania w latach 1891-1976 wg klasyfikacji Wengenheina. Ponadto analizie statystycznej poddano dwa ciągi chronologiczne wskaźnika cyrkulacji strefowej (C<sub>1</sub>) – 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<sub>L</sub>) 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 znad 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 –  $\Theta$  o największych amplitudach (2b) zestawiono niżej:

Wschodnia	Θ	3,0	8,0	9,5	17,0	22,2	30,1		lat
	2b	25,1	24,1	23,5	45,6	37,1	39,6		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		lat
	2b	19,5	14,7	18,8	11,4	25,7	27,8		dni
Strefowa	Θ	2,7	3,6	4,9	8,9	12,4	16,2	76,30	lat
	2b	0,9	0,9	0,8	0,6	1,2	0,7	1,25	dni
Cyklonalna	Θ	3,2	4,2	5,3	8,5	11,2	14,1		lat
	2b	17,8	18,7	13,1	15,3	13,5	16,3		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. Kożuchowskiego (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. Kożuchowskiego (1989). Miesięczne wartości wskaźnika cyrkulacji strefowej ( $C_E$ ) i cyklonalnej pochodzą także z publikacji K. Kożuchowskiego (1989).

Na podstawie ciągów chronologicznych miesięcznych wartości badanych typów cyrkulacji wyznaczono gęste widma wyodrębniając poszczególne miesiące, sezony, półroczia i rok. Okresy  $\Theta$ , 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 ( $C_E$ )** 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 ( $C_W$ )** 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 ( $C$ )** 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 sinusoid 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 ( $C_L$ )** 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. Kozuchowskiego (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 ( $C_s$ )**, 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  $\Theta$  (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.

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).

$C_E$		$C_W$		$C$		$C_L$		$C_I$	
$\Theta$	$R$	$\Theta$	$R$	$\Theta$	$R$	$\Theta$	$R$	$\Theta$	$R$
3,00	0,184	3,92	0,132	3,00	0,238	3,42	0,221	3,67	0,176
3,33	0,129	4,25	0,097	3,17	0,113	3,83	0,147	4,08	0,181
3,75	0,081	5,00	0,128	3,33	0,149	4,25	0,278	4,42	0,044
3,91	0,099	5,75	0,199	3,58	0,115	4,92	0,235	4,83	0,186
4,17	0,094	6,33	0,170	4,00	0,084	5,25	0,196	5,67	0,179
4,33	0,111	7,25	0,160	4,33	0,093	6,00	0,147	6,67	0,067
5,00	0,134	8,17	0,175	4,67	0,130	6,67	0,075	7,83	0,142
5,58	0,075	9,50	0,211	5,25	0,182	7,33	0,193	8,92	0,185
6,08	0,074	11,75	0,141	5,83	0,230	8,50	0,275	10,17	0,202
6,50	0,109	14,08	0,181	6,42	0,174	10,17	0,210	12,25	0,341
7,25	0,158	17,17	0,232	7,00	0,122	12,92	0,255	16,08	0,210
8,00	0,188	21,83	0,176	7,83	0,244	23,42	0,107	23,75	0,261
9,50	0,153	30,50	0,354	9,25	0,119	69,33	0,217	75,67	0,381
10,33	0,143	46,25	0,197	11,08	0,132				
12,08	0,124			16,33	0,339				
14,00	0,094			22,83	0,350				
16,92	0,393			61,17	0,491				
22,17	0,287								
29,75	0,344								
48,17	0,426								

## 7.2. Zjawisko El Niño

El Niño jest zjawiskiem pogodowym wywołanym wysoką temperaturą na powierzchni wody w strefie równikowej Pacyfiku. Jest okresowym zjawiskiem, które powstaje w basenie Pacyfiku i ma wpływ na zmiany pogody na całej kuli ziemskiej. Zjawisko El Niño jest jedną z faz oscylacji południowej SOI (Southern Oscillation Index) podczas której następuje podwyższenie temperatury wód oceanu i zmienia się ciśnienie atmosferyczne w pasie równikowym Pacyfiku. Jest to ciepły prąd morski El Niño, płynący w przybliżeniu co 8 lat od wybrzeży Australii w kierunku Ameryki Południowej. Ocieplenia i katastrofalne powodzie w tym rejonie związane z El Niño powtarzają się co kilka lat.

Na przykład El Nino, które wystąpiło na przełomie lat 1997-98 było spowodowane wyjątkowym nagraniem się wód Pacyfiku. Wtedy temperatura wód wzrosła o 5 °C, a poziom oceanu u wybrzeży Ameryki Płd. podniósł się o ponad 0,5 m. To spowodowało anomalie klimatu na całej Ziemi.

Powstawaniu układów antycyklonalnych w atmosferze ziemskiej sprzyjają przede wszystkim siły pływowe Księżyca (Słońca), gdzie Księżyc (czy Słońce) znajdują się w zenicie i układów cyklonalnych w innych miejscach Ziemi. Te dwie siły powodują głównie tworzenie się układów wysokiego i niskiego ciśnienia podczas nowiu i pełni Księżyca i wzmagają swe łączne oddziaływanie co 18,6 lat (Boryczka 1998).

Prawdopodobnie siły pływowe Księżyca i Słońca mają wpływ na cyrkulację oceaniczną i cyrkulację atmosferyczną. Mogą one mieć wpływ na prądy morskie w strefie międzyzwrotnikowej. Nie można wykluczyć ich udziału w powstawaniu zjawiska El Niño występującego w tropikalnej części Pacyfiku. Zjawisko El Niño zwykle jest obserwowane w okresie świąt Bożego Narodzenia. Ocieplenie chłodnego prądu morskiego Humbolta (peruwiańskiego) i jego związek z południkową oscylacją ciśnienia na półkuli południowej są największe, gdy Ziemia znajduje się blisko peryhelium (najbliższej Słońca). Ponadto daty najsilniejszego zjawiska El Niño są zbliżone do dat najmniejszych (18°18'), czy też największych (28°36') deklinacji Księżyca w cyklu 18,6-letnim:

Zjawisko El Niño	Deklinacja Księżyca
1877/78	1867,5
1914/15	1913,7
1922/23	1923,0
1940/41	1941,6
1982/83	1978,8
2007	
2016	

W latach 1940-1987 odstęp czasu między głównymi maksimami anomalii temperatury powietrza (wyrównanej) wynosi około 20 lat: 1941, 1960, 1981.

Okres zmian zjawiska El Niño wynosi od 2 do 8 lat, sięgając wartości 8,8 lat - równej obiegowi perygeum Księżyca po jego orbicie.

Zjawisko El Niño może być głównie związane z maksymalną wartością stałej słonecznej, która jest w tym czasie o ponad 7% większa od jej najmniejszej wartości w cyklu rocznym..

### **7.3. Prognozy zmian Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w XXI wieku według pomiarów z lat 1825-1997**

#### **Oscylacja Północnoatlantycka (NAO)**

Na klimat zachodniej i środkowej Europy (i Polski) dominujący wpływ mają dwa główne centra ciśnienia atmosferycznego: Wyz 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 Północnoatlantyckiej (North

Atlantic Oscillation, NAO), warunkująca oscylację strefową (równoleżnikową).

Jeżeli w Wyżu Azorskim ciśnienie rośnie (jednocześnie w Niziu 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 Niziu 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 Nizem Islandzkim. Są nimi: wskaźnik Hurrela (1995) – różnica ciśnienia między Lizboną 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.

Coraz cieplejsze zimy i lata w Europie i Polsce dobrze wyjaśnia ciąg chronologiczny wskaźnika *NAO* (North Atlantic Oscillation) z lat 1825-1997, zdefiniowanego przez P.D. Jonesa i innych (1997).

Jest to różnica ciśnienia na poziomie morza między Gibraltarem i Południowo-Zachodnią Skandynawią.

Analiza statystyczna wskaźnika *NAO* (wg Jonesa i innych) i temperatury powietrza w Polsce w latach 1825-1997 prowadzi do analogicznych wniosków A.A. Marsza (1999-2001) wynikających z zastosowania wskaźników *NAO*, zdefiniowanych przez J.C. Rogersa (1984) i J. Hurrella (1995). Korelacje świadczą, iż klimat Polski i Europy jest kształtowany przez cyrkulację strefową – adwekcję mas powietrza znad północnego Atlantyku (cieplejszych zimą i chłodniejszych latem).

Badania nad wpływem Oscylacji Północnoatlantyckiej 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 Północnoatlantyckiej 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 współczynnikiem

determinacji  $R^2$  prawie 80% (błędem standardowym estymacji 2,3°C). Umożliwia ono prognozę temperatury powietrza w zimie z około 6-miesięcznym wyprzedzeniem.

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 Północnoatlantyckiej (NAO), zdefiniowany przez P.D. Jonesa i innych (1997). NAO – to różnica ciśnienia ( $\Delta p$ ) 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 oscylacji 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):

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

Są to cykle o najmniejszych wartościach wariancji resztkowej  $\varepsilon^2$  (największych współczynnikach korelacji  $R$ ). W widmach są obecne zarówno krótkie i średnie okresy, jak też bardzo długie:

Wiosna		Lato		Jesień		Zima		Rok	
$\Theta$	$R$	$\Theta$	$R$	$\Theta$	$R$	$\Theta$	$R$	$\Theta$	$R$
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 w latach 1825-1997 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 Północnoatlantycznej. Na podstawie interferencji tych cykli

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

z uwzględnieniem składnika liniowego  $at$  wyznaczono wartości wskaźnika *NAO* w latach 1700-2100: 1700-1824 – rekonstrukcja, 1825-1997 – aproksymacja, 1998-2100 – prognoza.

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.

Ocenami dokładności aproksymacji (dokładności trendów czasowych) są wariancje resztkowe  $\varepsilon^2$  oraz współczynnik korelacji wielokrotnej  $R$  określony wzorem:

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

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).

### 7.4. Weryfikacja prognoz zmian Oscylacji Północnoatlantycznej (*NAO*) w latach 1998-2100 według pomiarów z lat 1998-2015

W dotychczasowych weryfikacjach oceniono metodami statystycznymi prognozy temperatury powietrza opracowane w Zakładzie Klimatologii UW (przez J. Boryczkę i in. 1984, 1993, 2000). na podstawie najdłuższej serii obserwacyjnej z Warszawy, tzn. od roku 1779. Sprawdzone synchroniczność przebiegów zmierzonych wartości temperatury powietrza w Warszawie-Okęciu w 31-leciu 1980-2010 i 20-leciu 1991-2010 z prognozami. Zweryfikowano też prognozy zmian opadów atmosferycznych we

Wrocławiu i Warszawie. Jest nim ocena synchroniczności przebiegów zmierzonych sum opadów w tych miastach i prognozowanych z wyprzedzeniem 31 lat (1980-2010) i 20 lat (1991-2010). Oceny wiarygodności prognoz zmian temperatury powietrza i opadów atmosferycznych są zawarte w publikacjach;

- 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, 16-22.
  - 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.
  - 2012, *Weryfikacja prognoz okresowych zmian temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2010*, Prz. Geof. LVII 2012 , 3–4, 343-362.
  - 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.
  - 2015, *Weryfikacja prognoz okresowych zmian temperatury powietrza w Europie w XX-XXI wieku*, Prz. Geof. LX 2015, 3-4, 133-161.

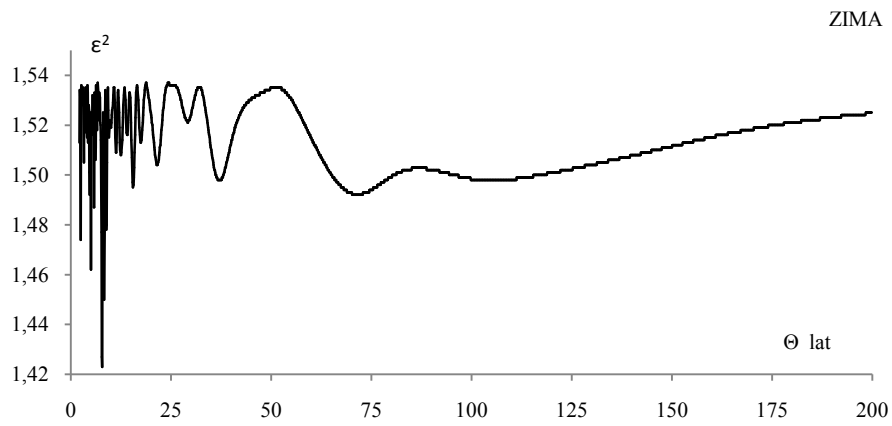
Celem tego rozdziału jest weryfikacja prognoz zmian wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w latach 1998-2100 opracowanych na podstawie danych z lat 1825-1997:

- 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* ( rozdz. III. *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na klimat Europy*, s. 39-46. Wyd. UW, ss. 249

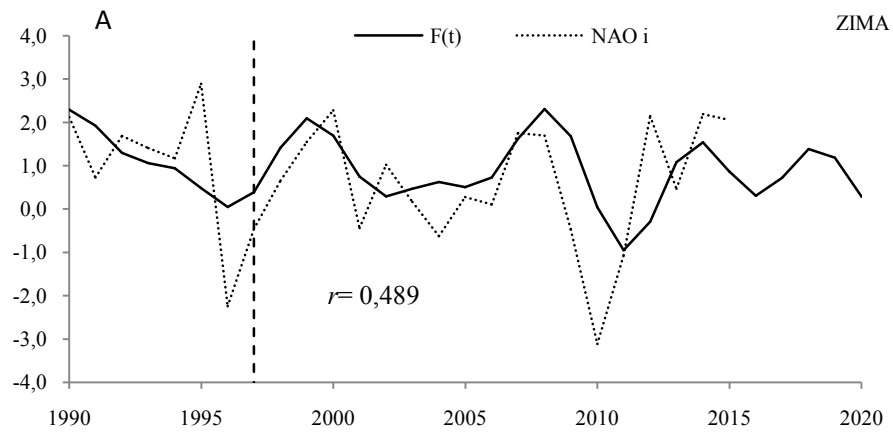
Najlepsza zgodność zmierzonych wartości wskaźnika *NAO* w latach 1998-2015 z prognozowanymi  $F(t)$  według danych 1825-1997 występuje w zimie. Funkcja aproksymująca  $F(t)$  – to wypadkowa interferencji 12 cykli (od 4,7 do 105,2 lat obecnych w widmie rys.1) ze składnikiem liniowym  $F(t) = 1,482773 - 0,000494 t + \dots$  o współczynniku korelacji wielokrotnej  $R = 0,606$ :

⊖	4,7	5,0	5,8	7,8	8,3	8,8	11,3	12,5	15,5	37,1	71,5	105,2
R	0,170	0,220	0,180	0,272	0,237	0,195	0,134	0,136	0,165	0,158	0,170	0,158

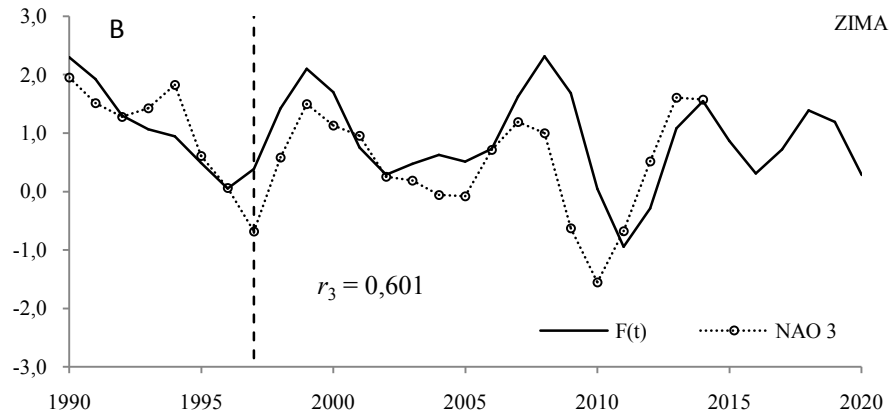
Na uwagę zasługują synchroniczne wahania zmierzonych wartości wskaźnika *NAO<sub>i</sub>* i prognozowanych  $F(t)$  na lata 1998-2015 (rys. 2). Współczynnik korelacji między wartościami zmierzonymi *NAO<sub>i</sub>* w latach 1998-2015 i prognozowanymi  $F(t)$  wynosi  $r = 0,489$ . Jeszcze większa koincydencja ekstremów występuje w przypadku 3-letnich średnich konsekwentnych *NAO<sub>3</sub>* Współczynnik korelacji między wartościami zmierzonymi *NAO<sub>3</sub>* i prognozowanymi  $F(t)$  wynosi  $r_3 = 0,601$ .



**Rys. 1.** Widmo wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (*NAO*) w zimie w latach 1826-1997 (w paśmie 2,0-200 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)  
**Fig. 1.** Spectrum of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in winter in the years 1826-1997 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)







**Rys. 2.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w zimie (XII-II) w latach 1990-2020,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym) z prognozą na lata 1998-2015; A)  $NAO_i$  – wartości zmierzone w latach 1998-2015, B.)  $NAO_3$  – wartości zmierzone (3-letnie konsekwtywne)

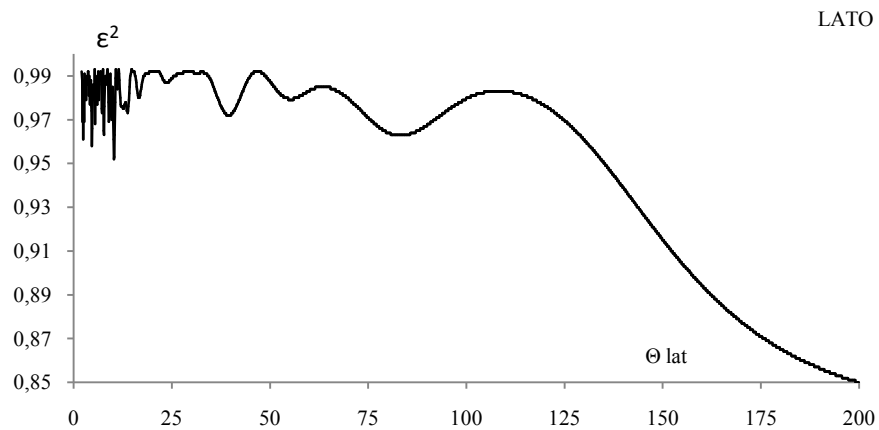
**Fig. 2.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in winter (XII-II) in the years 1990-2020,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2015; A)  $NAO_i$  – values measured in the years 1998-2015, B.)  $NAO_3$  – values measured in the years 1998-2015 (3-year moving average)

W lecie funkcja aproksymująca  $F(t)$  – to wypadkowa interferencji 12 cykli (od 4,7 do 83,2 lat, obecnych w widmie rys. 3) ze składnikiem liniowym  $F(t) = -0,255599 + 0,000175 t + \dots$  o współczynniku korelacji wielokrotnej  $R = 0,561$ :

$\Theta$	4,7	5,5	7,8	9,0	10,3	11,1	12,2	12,7	13,8	39,5	55,3	83,2
$R$	0,187	0,157	0,173	0,154	0,202	0,093	0,129	0,133	0,141	0,144	0,117	0,173

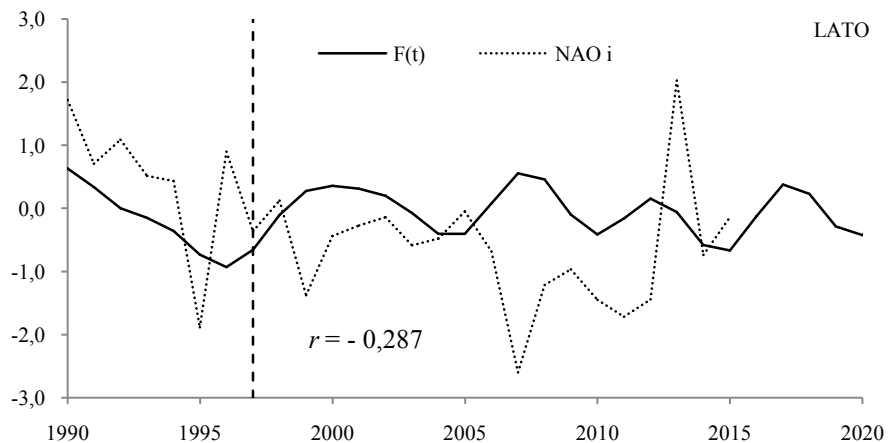
Współczynnik korelacji między wartościami zmierzonymi  $NAO_i$  w latach 1998-2015 i prognozowanymi  $F(t)$  wynosi  $r = -0,287$ .

W lecie nie ma zgodności zmierzonych wartości wskaźnika *NAO* w latach 1998-2015 z prognozowanymi  $F(t)$  według danych 1825-1997 (rys. 4).



**Rys. 3.** Widmo wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (*NAO*) w lecie w latach 1826-1997 (w paśmie 2,0-200 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**Fig. 3.** Spectrum of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in summer in the years 1826-1997 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)



**Rys. 4.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w lecie w latach 1990-2020 – prognozy w XXI wieku  $NAO_i$  – wartości zmierzone w latach 1951-2015,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 4.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in summer in the years 1990-2020 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries ,  $NAO_i$  – values measured in the years 1951-2015,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

## Weryfikacja prognoz zmian Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w XXI wieku w kolejnych miesiącach

Parametry cykli wskaźnika *NAO* w latach 1825-1997: okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  oraz wariancje resztkowe  $\varepsilon^2$  i współczynniki korelacji  $R$  wskaźnika *NAO* w poszczególnych miesiącach, porach roku (wiosna, lato, jesień, zima, zima morska i roku) zestawiono w tab.1-18, a średnie  $NAO_{sr.}$ , wariancje  $s^2$  i oceny interferencji  $F(t)$  – w tab. 19.

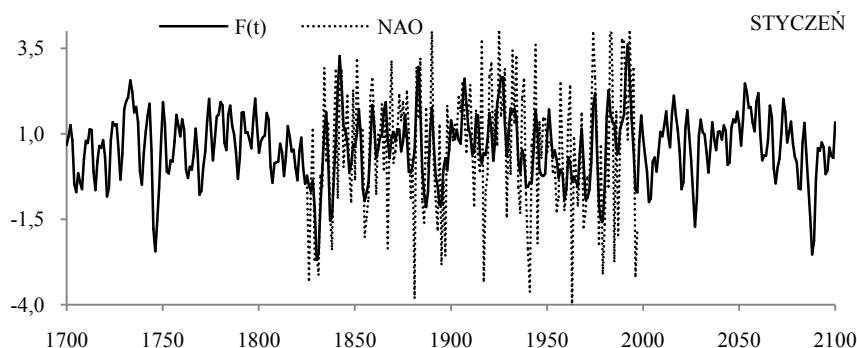
Prognozy wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w poszczególnych miesiącach, porach roku i roku otrzymano według wypadkowej  $F(t)$  interferencji tych cykli (rys. 5-22).

### STYCZEŃ

**Tabela 1.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w styczniu w latach 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

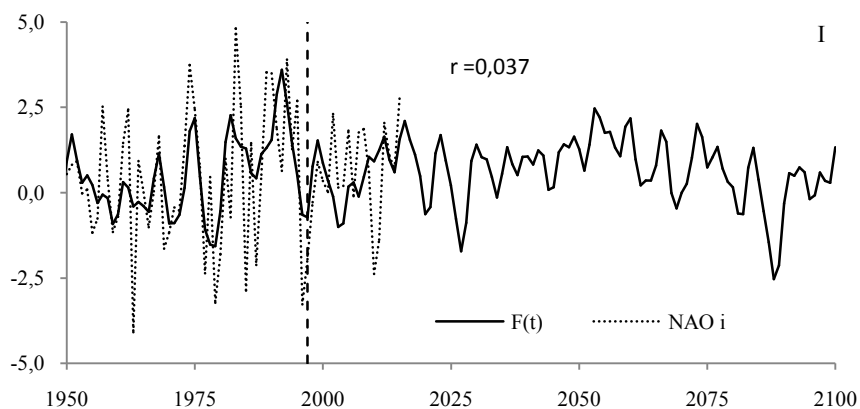
**Table 1.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in January in the years 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

$F(t) = -0,162271 + 0,000403 t + \dots ; R = 0,581836$				
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
3,7	0,518	1,5960	3,343	0,204
6,1	0,587	-2,9907	3,294	0,236
7,0	0,239	0,9375	3,449	0,106
7,8	0,435	-0,2659	3,334	0,210
8,3	0,475	2,0305	3,290	0,239
9,4	0,344	1,8202	3,372	0,183
10,0	0,348	-0,2506	3,381	0,176
21,4	0,532	1,1173	3,306	0,229
28,7	0,358	-0,0422	3,370	0,184
35,8	0,234	-1,4414	3,415	0,145
66,2	0,473	1,0957	3,315	0,223
133,4	0,301	-0,0767	3,416	0,144



**Rys. 5.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w styczniu w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku *NAO* – wartości zmierzone w latach 1825-1997,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 5.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in January in the years 1700-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries, *NAO* – values measured in the years 1825-1997,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 5a.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  w styczniu w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku  $NAO_i$  – wartości zmierzone w latach 1951-2015,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

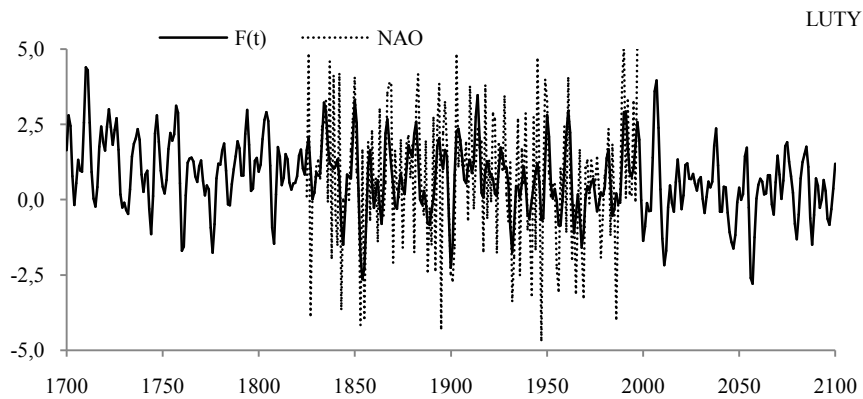
**Fig. 5a.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in January in the years 1950-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries,  $NAO_i$  – values measured in the years 1951-2015,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

## LUTY

**Tabela 2.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  w lutym w latach 1825-1997 ( $\epsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

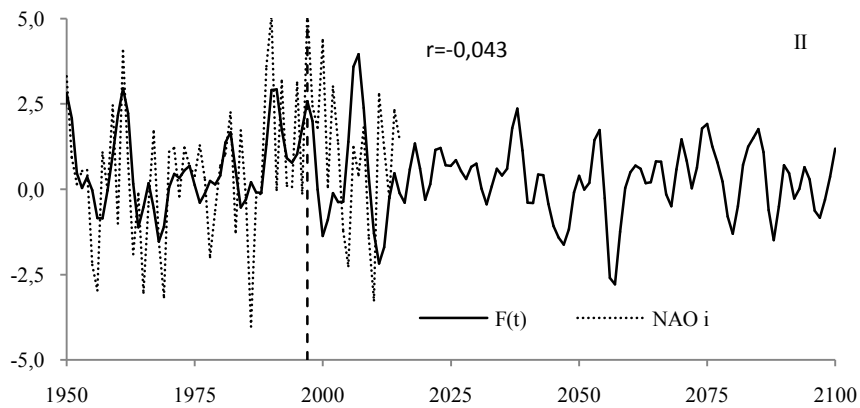
**Table 2.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in the February in years 1825-1997 ( $\epsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

$F(t) = 5,563828 - 0,002559 t + \dots ; R = 0,535473$				
$\Theta$	$b$	$c$	$\epsilon^2$	$R$
4,0	0,459	-1,5189	4,471	0,146
5,2	0,544	1,5370	4,422	0,179
5,8	0,370	0,8160	4,506	0,117
7,7	0,631	-1,1427	4,384	0,201
8,7	0,446	-2,4342	4,454	0,158
9,3	0,481	2,5291	4,459	0,155
11,3	0,690	-1,6197	4,368	0,209
14,2	0,398	-0,6607	4,481	0,138
15,8	0,471	1,3192	4,449	0,162
39,3	0,500	-2,8265	4,401	0,191
92,7	0,313	-2,1026	4,490	0,131



**Rys. 6.** Zmiany w wskaźniku Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w lutym w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku *NAO* – wartości zmierzone w latach 1825-1997, *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 6.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in February in the years 1700-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries , *NAO* – values measured in the years 1825-1997, *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 6a.** Zmiany w wskaźniku Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w lutym w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku *NAO* – wartości zmierzone w latach 1951-2015, *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

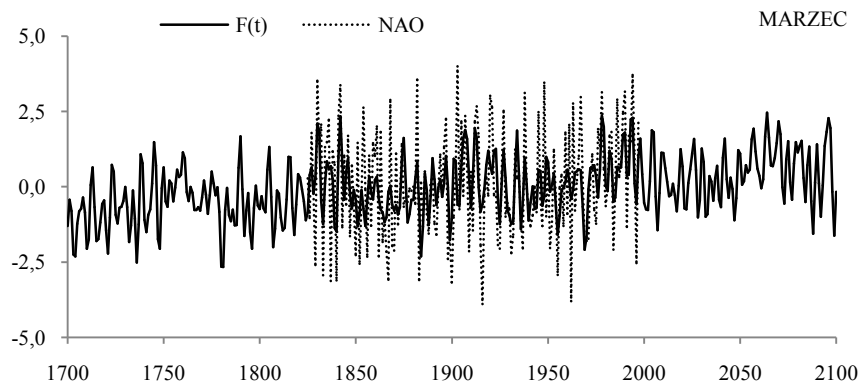
**Fig. 6a.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in February in the years 1950-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries , *NAO<sub>i</sub>* – values measured in the years 1951-2015, *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

## MARZEC

**Tabela 3.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  w marcu w latach 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

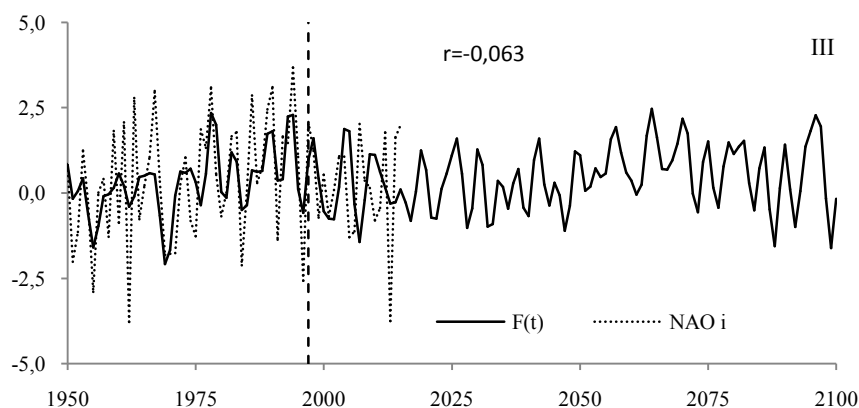
**Table 3.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in the March in years 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

$F(t) = -6,329729 + 0,003321 t + \dots ; R = 0,526842$				
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
3,7	0,617	2,9263	2,853	0,266
4,0	0,321	-1,2738	3,000	0,151
5,1	0,387	2,0128	3,006	0,145
5,4	0,497	0,8293	2,961	0,189
6,6	0,463	1,9360	2,968	0,183
7,5	0,359	1,5111	3,002	0,149
13,3	0,314	-1,9303	3,012	0,138
14,7	0,315	-2,3883	3,005	0,146
16,7	0,243	-0,6391	3,024	0,123
37,9	0,234	-1,3838	3,030	0,115
77,1	0,382	2,7969	2,979	0,172



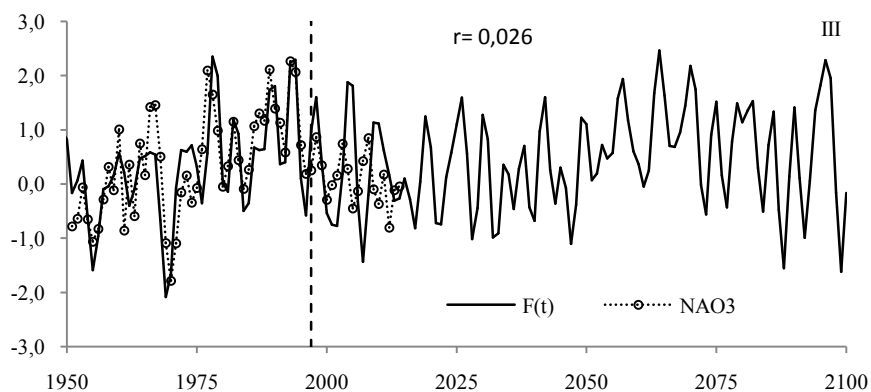
**Rys. 7.** Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  w marcu w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku  $NAO$  – wartości zmierzone w latach 1825-1997,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym) z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 7.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in March in the years 1700-2100 – forecasts in 21st centuries,  $NAO$  – values measured in the years 1825-1997,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 7a.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantycznej *NAO* w *marcu* w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku  $NAO_i$  – wartości zmierzone w latach 1951-2015,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 7a.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in March in the years 1950-2100 – forecasts in 21st centuries,  $NAO_i$  – values measured in the years 1951-2015,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 7b.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantycznej *NAO* w *marcu* w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku,  $NAO_3$  – wartości zmierzone w latach 1951-2015 (3-letnie konsekwentne),  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

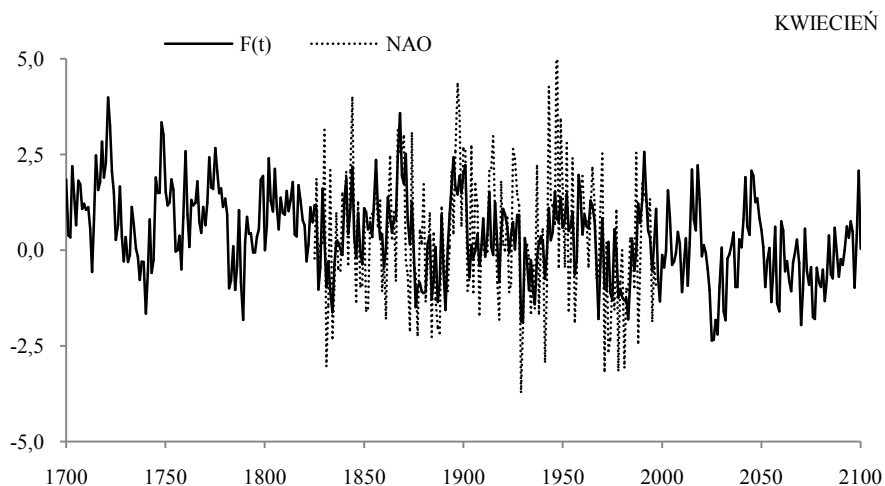
**Fig. 7b.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in March in the years 1950-2100 – forecasts in 21st centuries,  $NAO_3$  – values measured in the years 1951-2015 (3-year moving average),  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

## KWIECIEŃ

**Tabela 4.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  w kwietniu w latach 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

**Table 4.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in the April in years 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

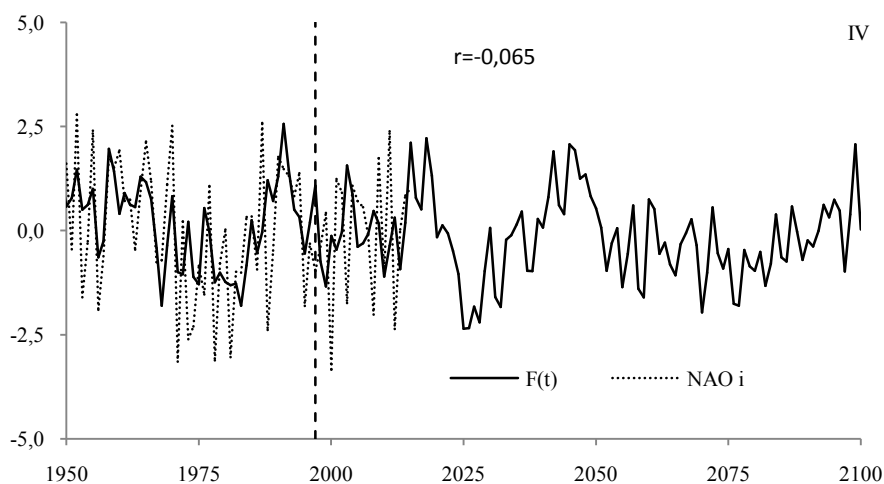
$F(t) = 7,295917 - 0,003650 t + \dots ; R = 0,598042$				
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
3,0	0,560	-2,5786	2,840	0,227
3,8	0,410	-0,1623	2,905	0,173
5,4	0,375	2,6826	2,921	0,156
6,4	0,414	1,6263	2,910	0,168
11,4	0,408	2,7927	2,929	0,147
13,5	0,439	-1,2556	2,889	0,187
15,0	0,387	-2,1823	2,912	0,166
24,4	0,548	-2,6358	2,828	0,236
30,0	0,419	0,1405	2,922	0,155
47,6	0,638	1,2723	2,759	0,280
84,1	0,073	0,4796	2,968	0,093



**Rys. 8.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  w kwietniu latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku,  $NAO$  – wartości zmierzone w latach 1825-1997,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

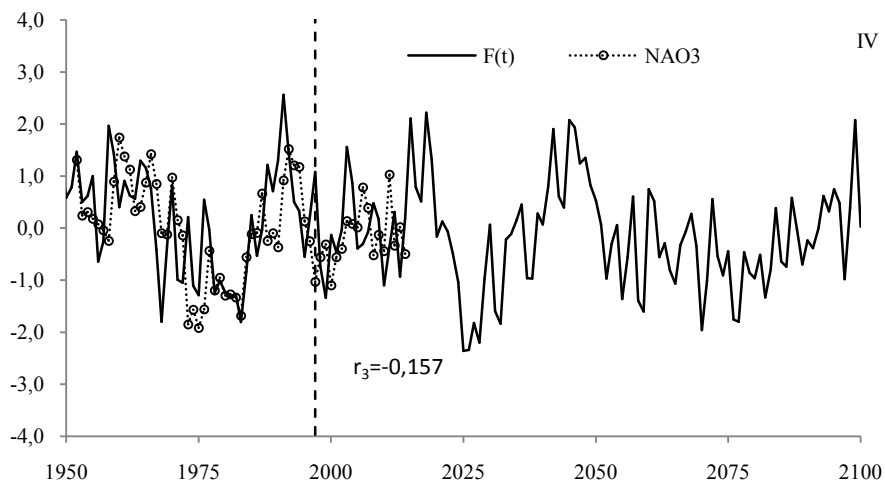
**Fig. 8.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in April in the years 1700-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries,  $NAO$  – values measured in the years 1825-1997,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100





**Rys. 8a.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w *kwietniu* w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku  $NAO_i$  – wartości zmierzone w latach 1951-2015,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 8a.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in April in the years 1950-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries,  $NAO_i$  – values measured in the years 1951-2015,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 8b.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w *kwietniu* w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku,  $NAO_3$  – wartości zmierzone w latach 1951-2015 (3-letnie konsekwtywne),  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

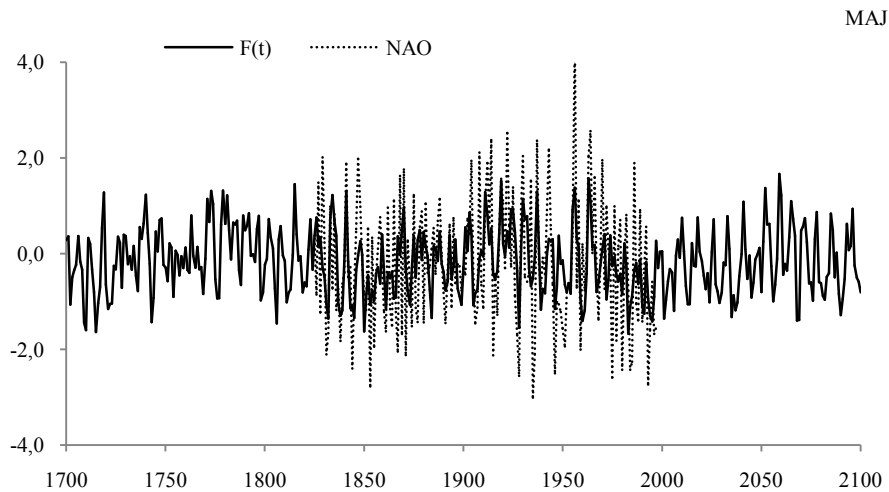
**Fig. 8b.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in April in the years 1950-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries,  $NAO_3$  – values measured in the years 1951-2015 (3-year moving average),  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

## MAJ

**Tabela 5.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika Oscylacji Północnoatlantycznej  $NAO$  w maju w latach 1825-1997 ( $\epsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

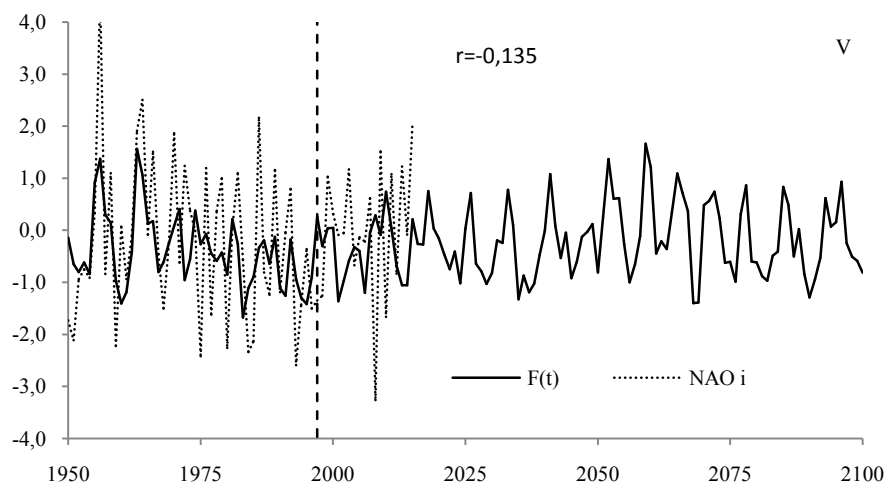
**Table 5.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in the May in years 1825-1997 ( $\epsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

$F(t) = 1,220683 - 0,000733 t + \dots$ ; $R = 0,531438$				
$\Theta$	$b$	$c$	$\epsilon^2$	$R$
2,6	0,351	0,9630	1,695	0,187
3,7	0,323	-1,7885	1,704	0,173
5,6	0,273	2,9611	1,712	0,159
6,1	0,292	-2,3057	1,712	0,159
6,4	0,286	-2,8761	1,712	0,159
6,8	0,280	2,7623	1,705	0,171
7,7	0,254	1,1912	1,718	0,148
8,7	0,311	3,0852	1,706	0,169
10,8	0,315	1,5235	1,705	0,171
46,0	0,252	3,1258	1,712	0,159
142,0	0,277	-1,8792	1,714	0,155



**Rys. 9** Zmiany w wskaźnika Oscylacji Północnoatlantycznej  $NAO$  w maju w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku,  $NAO$  – wartości zmierzone w latach 1825-1997,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 9** Secular changes of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in May in the years 1700-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries,  $NAO$  – values measured in the years 1825-1997,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 9a.** Zmiany w wskaźniku Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w maju w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku  $NAO_i$  – wartości zmierzone w latach 1951-2015,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym) z prognozą na lata 1998-2100

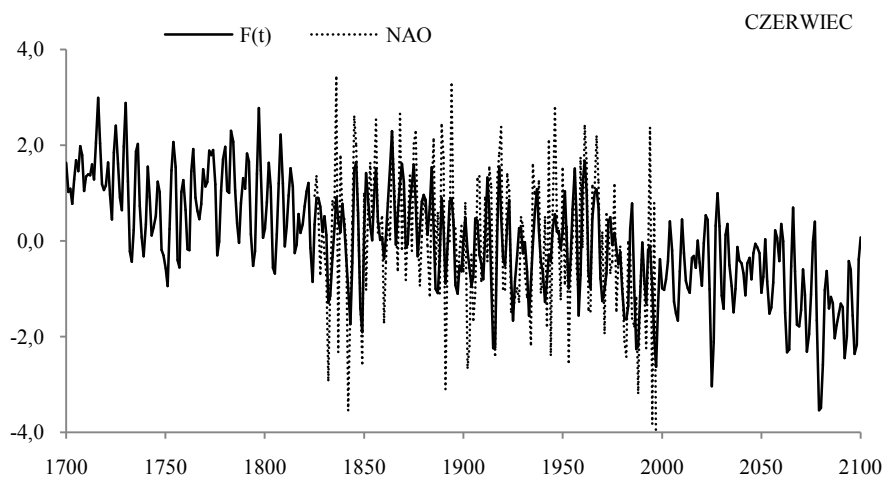
**Fig. 9a.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in May in the years 1950-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries,  $NAO_i$  – values measured in the years 1951-2015,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

### CZERWIEC

**Tabela 6.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w czerwcu w latach 1825-1997 ( $\epsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

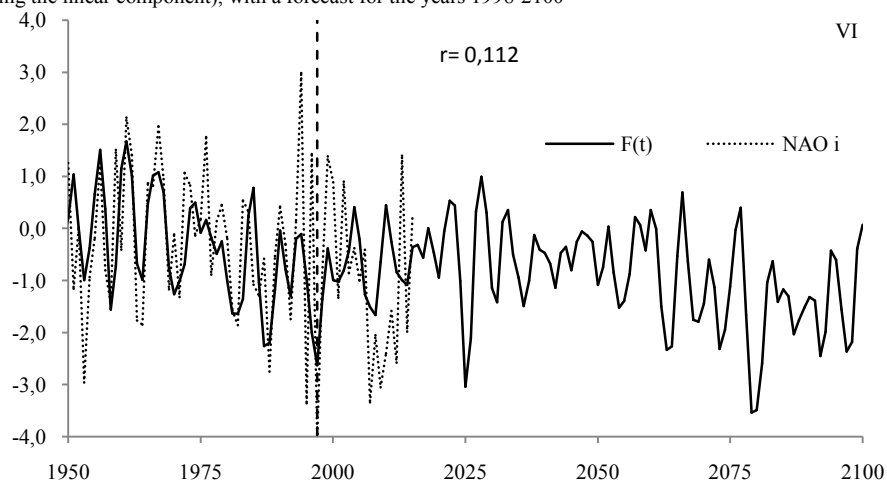
**Table 6.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in the June in years 1825-1997 ( $\epsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

$F(t) = 11,686439 - 0,006118 t + \dots ; R = 0,640786$				
$\Theta$	$b$	$c$	$\epsilon^2$	$R$
2,8	0,259	2,7770	2,130	0,126
4,2	0,232	-2,9949	2,131	0,124
4,8	0,492	-1,5807	2,030	0,249
5,5	0,505	-2,4955	2,031	0,248
6,1	0,492	-1,4950	2,052	0,228
8,2	0,292	1,0140	2,114	0,152
9,2	0,467	-2,5299	2,035	0,244
10,3	0,403	0,4984	2,069	0,210
13,8	0,257	0,1220	2,118	0,146
48,0	0,239	2,0975	2,100	0,172
83,2	0,396	-1,5374	2,065	0,214



**Rys. 10.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantycznej *NAO* w czerwcu w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku, *NAO* – wartości zmierzone w latach 1825-1997, *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 10.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in June in the years 1700-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries, *NAO* – values measured in the years 1825-1997, *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 10a.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantycznej *NAO* w czerwcu w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku *NAO<sub>i</sub>* – wartości zmierzone w latach 1951-2015, *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

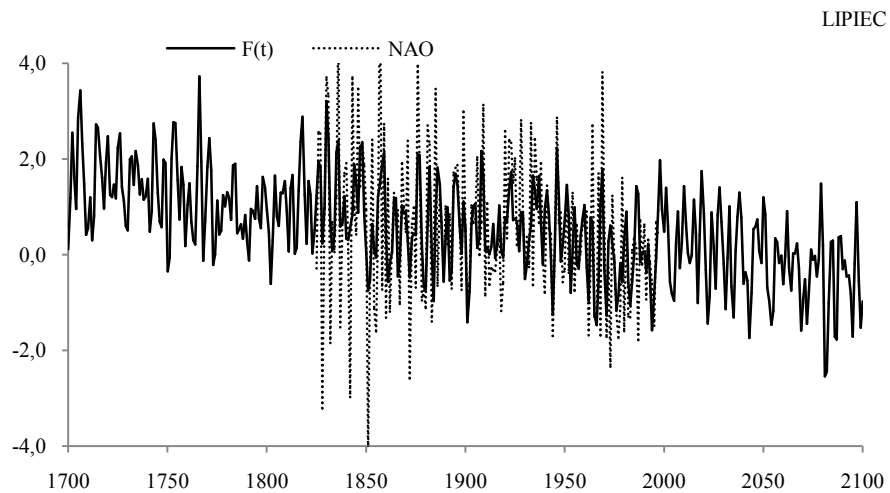
**Fig. 10a.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in June in the years 1950-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries, *NAO<sub>i</sub>* – values measured in the years 1951-2015, *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

## LIPIEC

**Tabela 7.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  w lipcu w latach 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

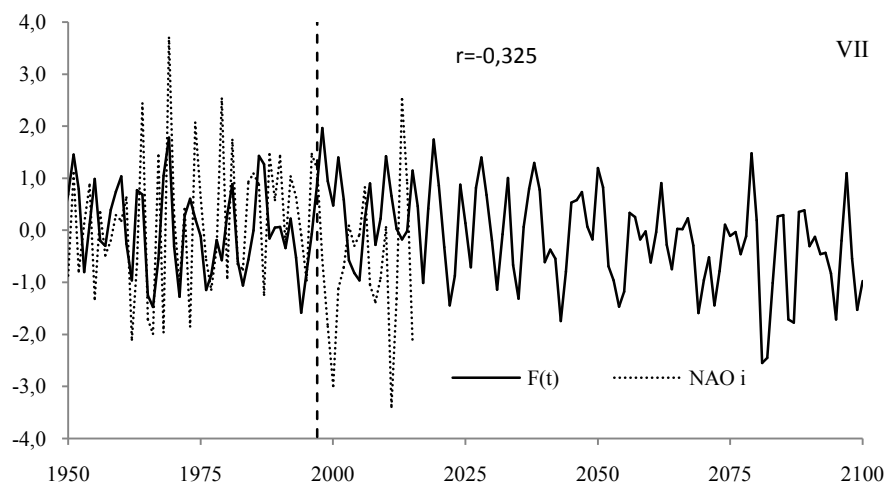
**Table 7.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in the July in years 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

$F(t) = 9,461974 - 0,004679 t + \dots ; R = 0,576515$				
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
2,9	0,409	1,440	2,3920	0,179
4,3	0,479	-2,656	2,3650	0,207
4,6	0,513	1,622	2,3350	0,235
5,5	0,285	1,747	2,4020	0,167
5,8	0,349	-1,211	2,3860	0,185
6,5	0,261	-2,453	2,4360	0,119
9,5	0,302	-1,428	2,4260	0,135
10,1	0,338	2,598	2,4100	0,157
12,8	0,338	0,509	2,4180	0,146
15,5	0,262	1,336	2,4240	0,138
58,2	0,139	-0,873	2,4460	0,101
96,1	0,247	1,205	2,3910	0,180



**Rys. 11.** Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  w lipcu w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku,  $NAO$  – wartości zmierzone w latach 1825-1997,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 11.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in July in the years 1700-2100 – forecasts in 21st centuries,  $NAO$  – values measured in the years 1825-1997,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 11a.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w lipcu w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku  $NAO_i$  – wartości zmierzone w latach 1951-2015,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

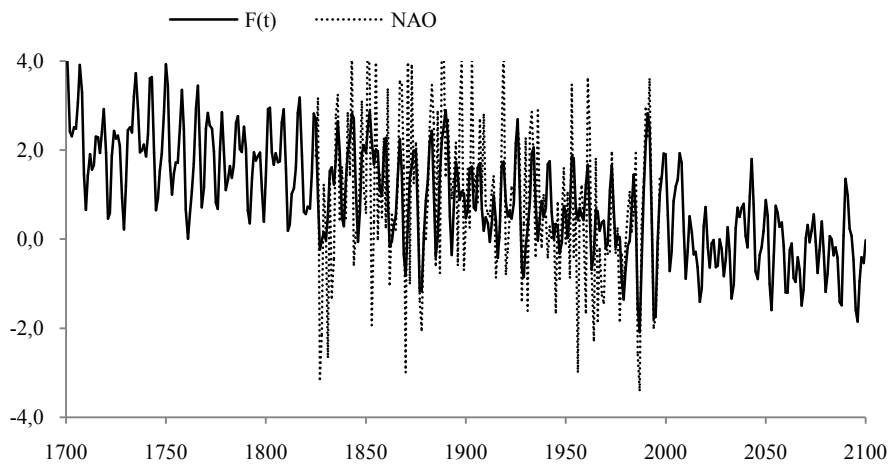
**Fig. 11a.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in July in the years 1950-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries,  $NAO_i$  – values measured in the years 1951-2015,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

## SIERPIEŃ

**Tabela 8.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w sierpniu w latach 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

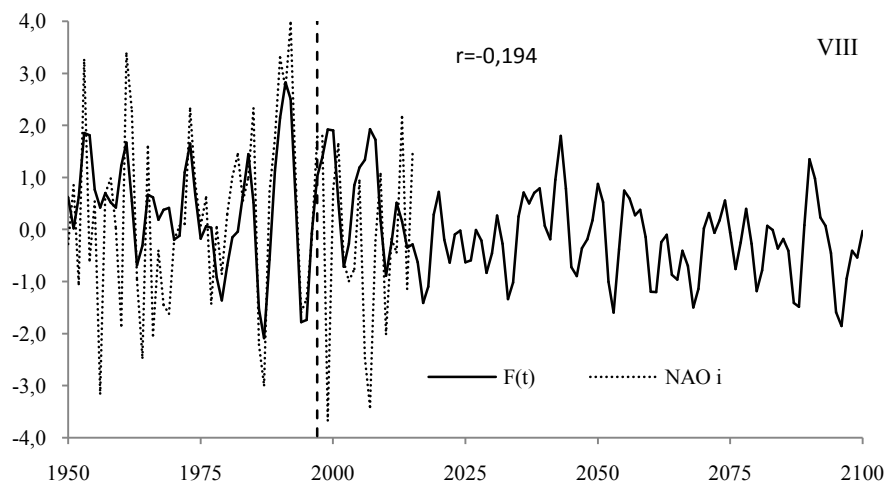
**Table 8.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in the August in years 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

$F(t) = 2,512449 - 0,001384 t + \dots ; R = 0,649116$				
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
3,9	0,521	2,5245	2,968	0,213
5,9	0,336	-0,4069	3,026	0,163
6,5	0,322	-1,0730	3,054	0,133
7,3	0,562	3,1067	2,965	0,215
7,8	0,422	0,4388	2,965	0,215
8,3	0,460	2,4489	2,955	0,223
9,2	0,316	-0,5663	3,032	0,157
9,8	0,236	0,3606	3,051	0,137
16,9	0,385	-2,8921	3,022	0,167
37,9	0,292	2,6739	3,068	0,115
50,2	0,282	2,7790	3,062	0,123
77,1	0,075	1,6436	3,084	0,090



**Rys. 12** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w sierpniu w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku, *NAO* – wartości zmierzone w latach 1825-1997, *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 12.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in August in the years 1700-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries, *NAO* – values measured in the years 1825-1997, *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 12a.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w sierpniu w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku *NAO<sub>i</sub>* – wartości zmierzone w latach 1951-2015, *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

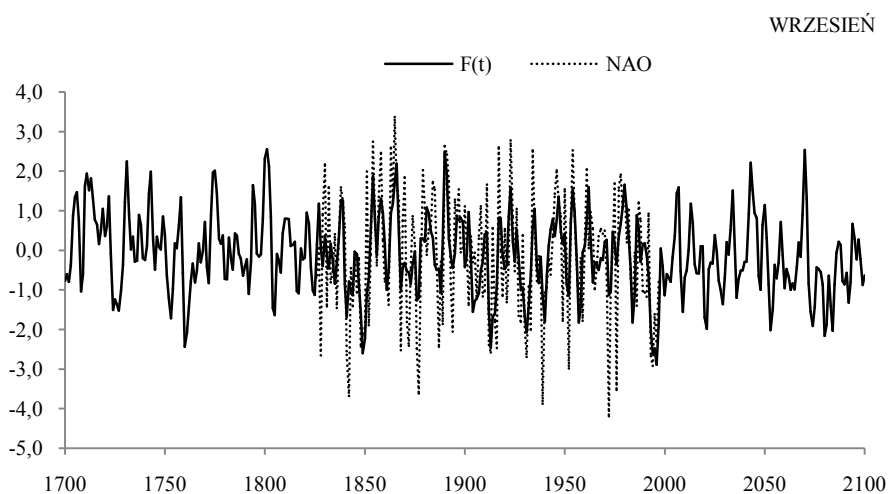
**Fig. 12a.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in August in years 1950-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries, *NAO<sub>i</sub>* – values measured in the years 1951-2015, *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

## WRZESIEŃ

**Tabela 9.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  we wrześniu w latach 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

**Table 9.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in the September in years 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

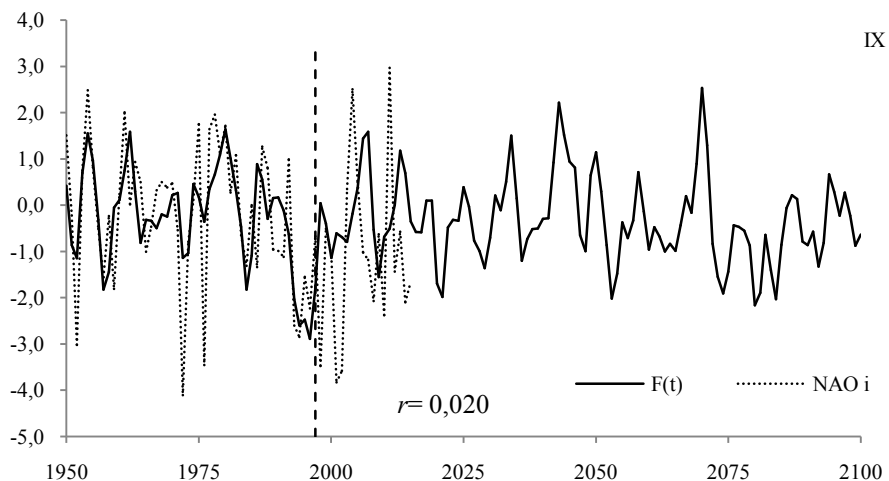
$F(t) = 14.596085 - 0.007186 t + \dots ; R = 0.581826$				
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
3,0	0,351	1,387	2,3480	0,165
4,0	0,394	-1,984	2,3350	0,180
5,3	0,362	-3,135	2,3460	0,167
6,4	0,481	-0,977	2,2990	0,218
7,3	0,318	-3,041	2,3630	0,145
8,9	0,631	-1,277	2,2140	0,287
11,2	0,368	-2,638	2,3330	0,183
13,6	0,393	-0,269	2,3180	0,199
20,9	0,307	1,854	2,3480	0,165
29,7	0,499	-2,730	2,2510	0,259
38,5	0,204	-0,133	2,3650	0,142
80,8	0,311	-0,016	2,3500	0,162



**Rys. 13.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  we wrześniu w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku,  $NAO$  – wartości zmierzone w latach 1825-1997,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

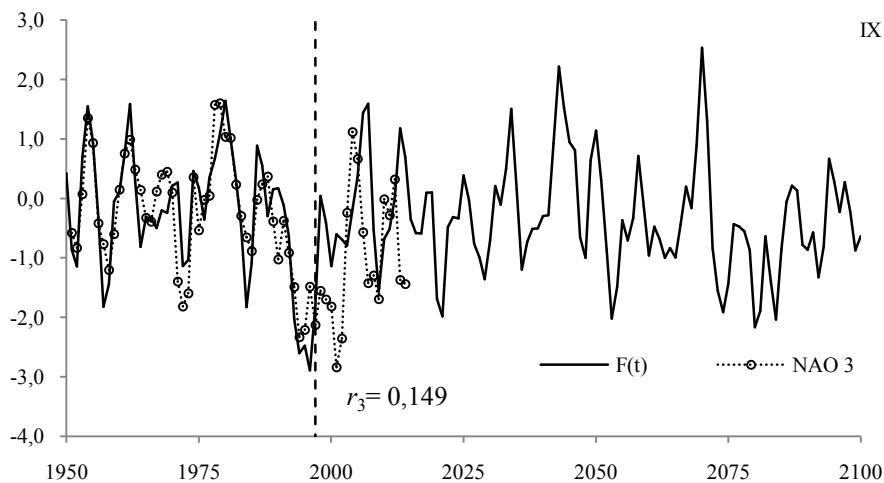
**Fig. 13.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in September the years 1700-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries,  $NAO$  – values measured in the years 1825-1997,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100





**Rys. 13a.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantycznej *NAO* we wrześniu w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku  $NAO_i$  – wartości zmierzone w latach 1951-2015,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 13a.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in September years 1950-2100 – forecasts in 21st centuries ,  $NAO_i$  – values measured in the years 1951-2015,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 13b.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantycznej *NAO* we wrześniu w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku ,  $NAO_3$  – wartości zmierzone w latach 1951-2015 (3-letnie konsekwtywne),  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

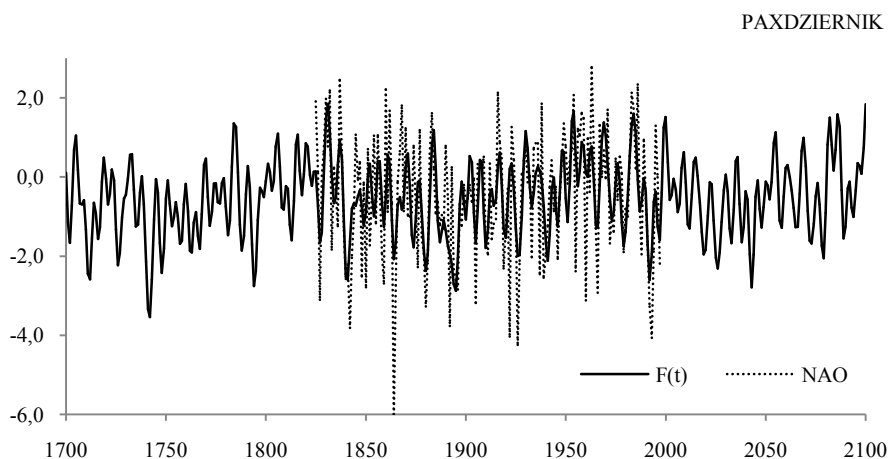
**Fig. 13b.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in September in the years 1950-2100 – forecasts in 21st centuries ,  $NAO_3$  – values measured in the years 1951-2015 (3-year moving average),  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

## PAXDZIERNIK

**Tabela 10.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  w październiku w latach 1825-1997 ( $\epsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{\text{obl}}$  – test Fishera-Snedecora)

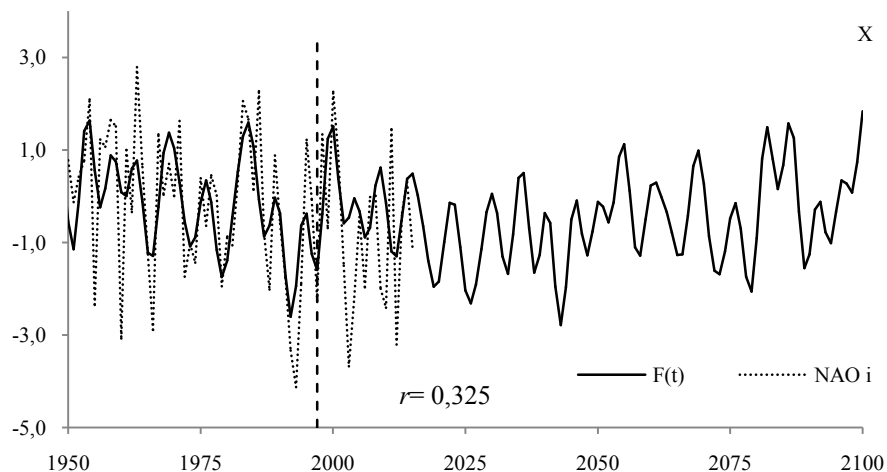
**Table 10.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in the October in years 1825-1997 ( $\epsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{\text{obl}}$  –  $F$ -test)

$F(t) = -2,248004 + 0,000912 t + \dots ; R = 0,620599$				
$\Theta$	$b$	$c$	$\epsilon^2$	$R$
4,6	0,415	-2,4558	2,422	0,178
5,1	0,463	1,2987	2,397	0,204
5,8	0,309	2,9125	2,442	0,154
6,6	0,501	-0,7611	2,338	0,255
7,7	0,546	-2,7273	2,353	0,243
12,6	0,250	-1,6968	2,447	0,147
14,0	0,308	2,8379	2,437	0,160
16,6	0,481	-1,8882	2,379	0,221
25,3	0,370	-0,5315	2,401	0,200
47,2	0,290	-1,9991	2,464	0,122
144,2	0,436	-2,2671	2,399	0,202



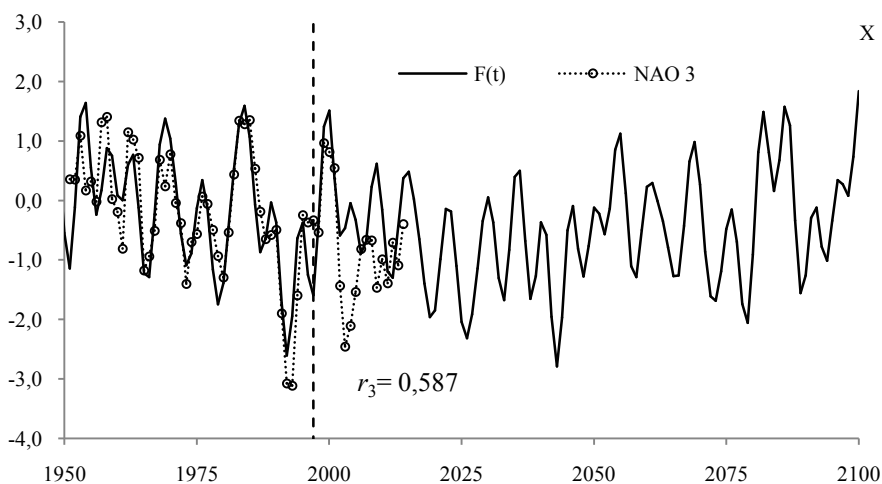
**Rys. 14.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  w *październiku* w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku,  $NAO$  – wartości zmierzone w latach 1825-1997,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 14.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in October the years 1700-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries,  $NAO$  – values measured in the years 1825-1997,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 14a.** Zmiany w wskaźnika Oscylacji Północnoatlantycznej  $NAO$  w październiku w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku  $NAO_i$  – wartości zmierzone w latach 1951-2015,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 14a.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in October in years 1950-2100 – forecasts in 21st centuries,  $NAO_i$  – values measured in the years 1951-2015,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 14b.** Zmiany w wskaźnika Oscylacji Północnoatlantycznej  $NAO$  w październiku w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku,  $NAO_3$  – wartości zmierzone w latach 1951-2015 (3-letnie konsekwentne),  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 14b.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in October in the years 1950-2100 – forecasts in 21st centuries,  $NAO_3$  – values measured in the years 1951-2015 (3-year moving average),  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

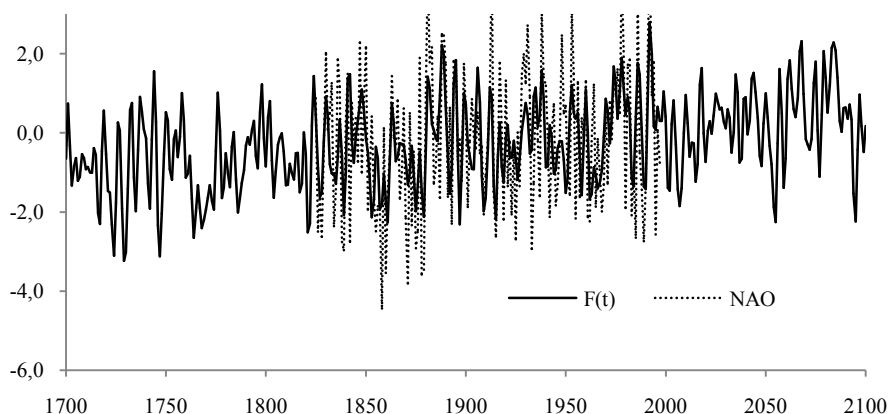
## LISTOPAD

**Tabela 11.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  w listopadzie w latach 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

**Table 11.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in the November in years 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

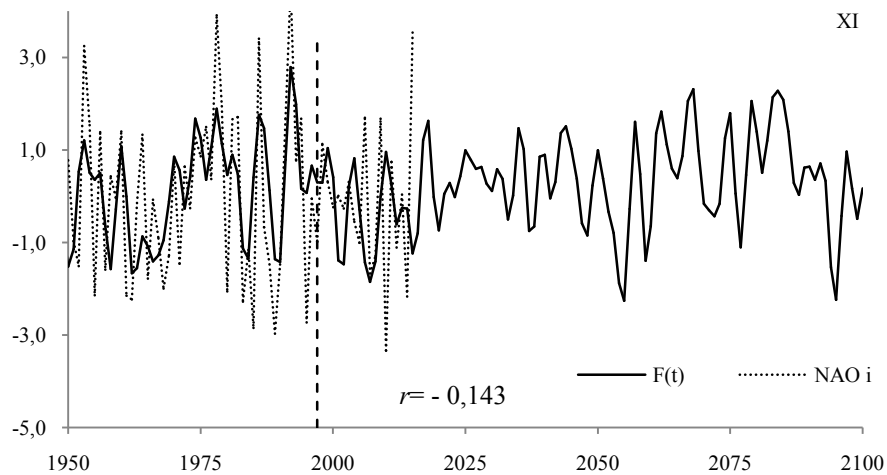
$F(t) = -7,996410 + 0,004058 t + \dots ; R = 0,593378$				
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
3,6	0,452	-1,097	3,0380	0,173
4,4	0,532	-2,014	3,0010	0,205
5,4	0,377	2,163	3,0400	0,172
5,8	0,500	-2,250	3,0040	0,202
6,2	0,403	-0,843	3,0500	0,162
6,5	0,386	-1,252	3,0350	0,176
8,1	0,423	0,390	3,0270	0,183
16,0	0,509	-2,167	2,9650	0,231
18,1	0,350	1,188	3,0220	0,188
21,8	0,472	-2,379	2,9900	0,213
47,0	0,472	0,319	3,0210	0,188
84,3	0,167	-1,689	3,0890	0,117

## LISTOPAD



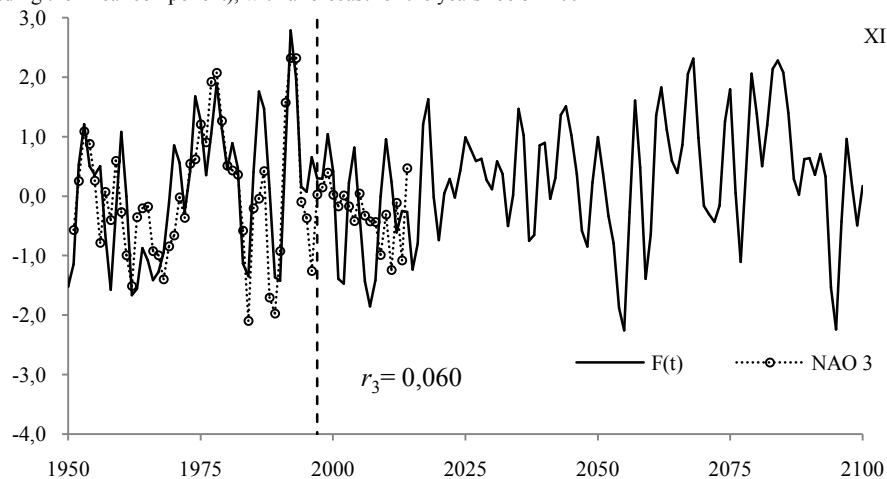
**Rys. 15.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  w listopadzie w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku,  $NAO$  – wartości zmierzone w latach 1825-1997,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 15.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in November the years 1700-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries,  $NAO$  – values measured in the years 1825-1997,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 15a.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w listopadzie w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku,  $NAO_i$  – wartości zmierzone w latach 1951-2015,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 15a.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in November in years 1950-2100 – forecasts in 21st centuries,  $NAO_i$  – values measured in the years 1951-2015,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 15b.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w listopadzie w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku,  $NAO_3$  – wartości zmierzone w latach 1951-2015 (3-letnie konsekwentne),  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

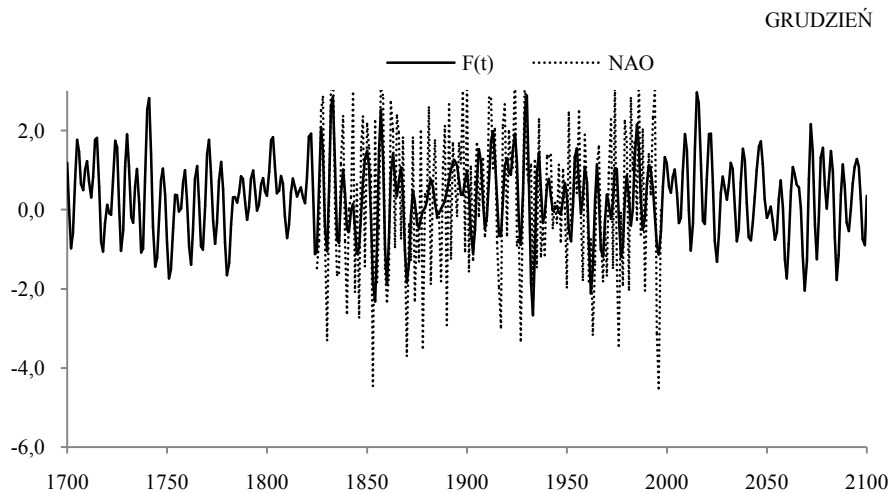
**Fig. 15b.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in November in the years 1950-2100 – forecasts in 21st centuries,  $NAO_3$  – values measured in the years 1951-2015 (3-year moving average),  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

## GRUDZIEŃ

**Tabela 12.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  w grudniu w latach 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

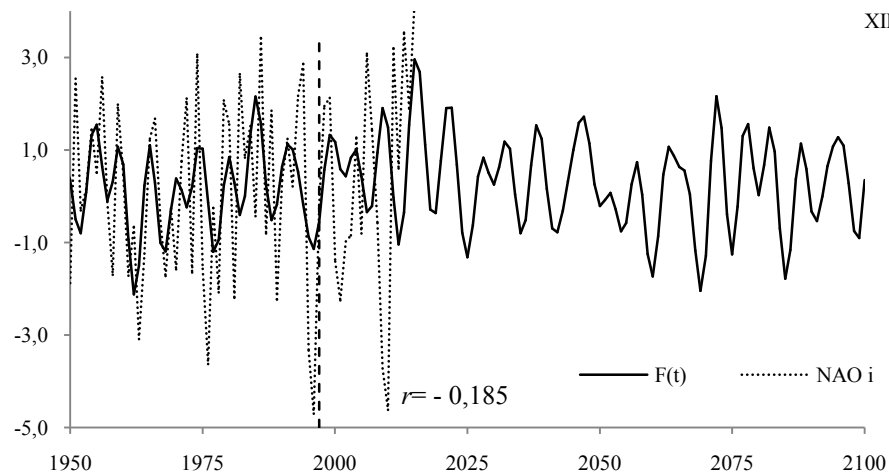
**Table 12.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in the December in years 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

$F(t) = -0,113794 + 0,000220 t + \dots ; R = 0,534070$				
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
4,9	0,422	1,8490	3,378	0,188
5,1	0,410	-0,1878	3,378	0,188
5,7	0,525	-2,0927	3,356	0,204
6,1	0,569	-0,9386	3,331	0,221
7,2	0,400	2,3659	3,428	0,146
7,9	0,395	0,6235	3,404	0,168
8,3	0,307	-2,7593	3,443	0,130
9,0	0,381	-0,8077	3,416	0,157
15,3	0,429	2,6004	3,411	0,162
30,8	0,300	-0,8739	3,441	0,132
100,5	0,335	1,3757	3,458	0,113



**Rys. 16.** Zmiany w wskaźniku Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  w grudniu w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku,  $NAO$  – wartości zmierzone w latach 1825-1997,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 16.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in December the years 1700-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries,  $NAO$  – values measured in the years 1825-1997,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 16a.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  w grudniu w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku  $NAO_i$  – wartości zmierzone w latach 1951-2015,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 16a.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in December in years 1950-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries,  $NAO_i$  – values measured in the years 1951-2015,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

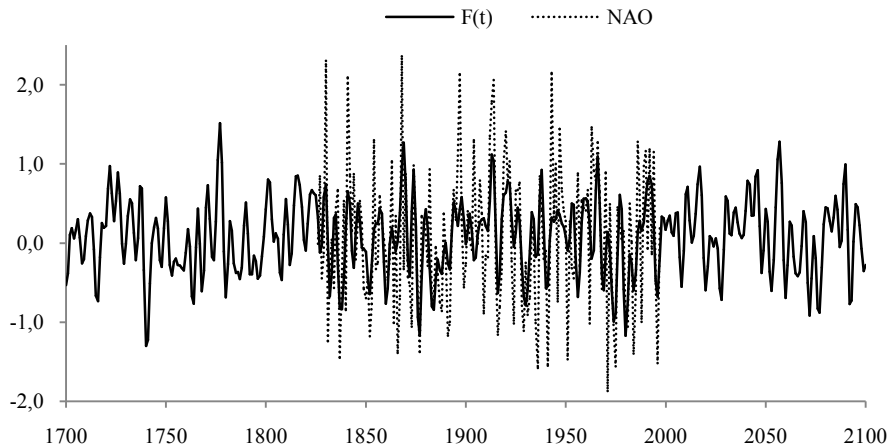
## Weryfikacja prognoz zmian Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w XXI wieku w sezonach i roku

### WIOSNA (III-V)

**Tabela 13.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  wiosną w latach 1825-1997 ( $\epsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

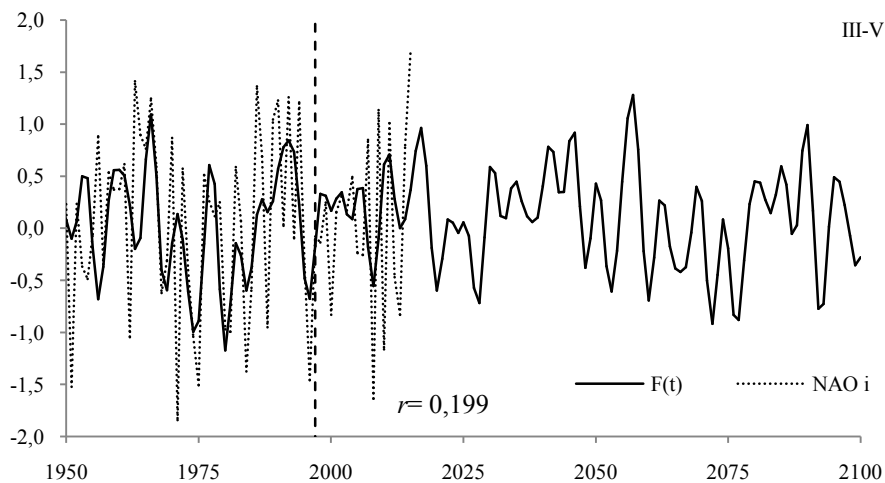
**Table 13.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in the spring in years 1825-1997 ( $\epsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

$F(t) = -0,255599 + 0,000175 t + \dots ; R = 0,560731$				
$\Theta$	$b$	$c$	$\epsilon^2$	$R$
4,0	0,181	-1,4713	0,736	0,154
4,9	0,182	-1,3647	0,735	0,158
5,4	0,160	1,4784	0,731	0,174
5,7	0,262	2,5651	0,715	0,227
6,5	0,267	-0,7303	0,718	0,218
8,0	0,178	1,2508	0,738	0,145
11,1	0,159	-0,1727	0,741	0,130
13,4	0,233	-1,5622	0,721	0,209
23,9	0,212	-0,0728	0,727	0,189
30,2	0,066	2,2335	0,748	0,088
45,5	0,208	1,7535	0,734	0,162
106,3	0,129	1,0466	0,748	0,088



**Rys. 17.** Zmiany w wskaźniku Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* wiosną (III-V) w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku, *NAO* – wartości zmierzone w latach 1825-1997, *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

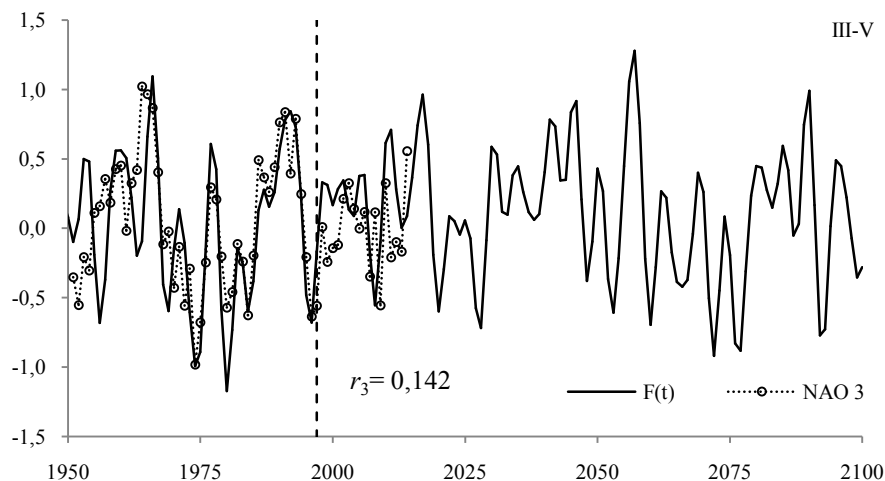
**Fig. 17.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in spring (III-V) in the years 1700-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries, *NAO* – values measured in the years 1825-1997, *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 17a.** Zmiany w wskaźniku Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* wiosną (III-V) w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku *NAO<sub>i</sub>* – wartości zmierzone w latach 1951-2015, *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 17a.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in spring (III-V) in the years 1950-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries, *NAO<sub>i</sub>* – values measured in the years 1951-2015, *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100





**Rys. 17b.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* wiosną (III-V) w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku , *NAO*<sub>3</sub> – wartości zmierzone w latach 1951-2015 (3-letnie konsekwtywne), *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

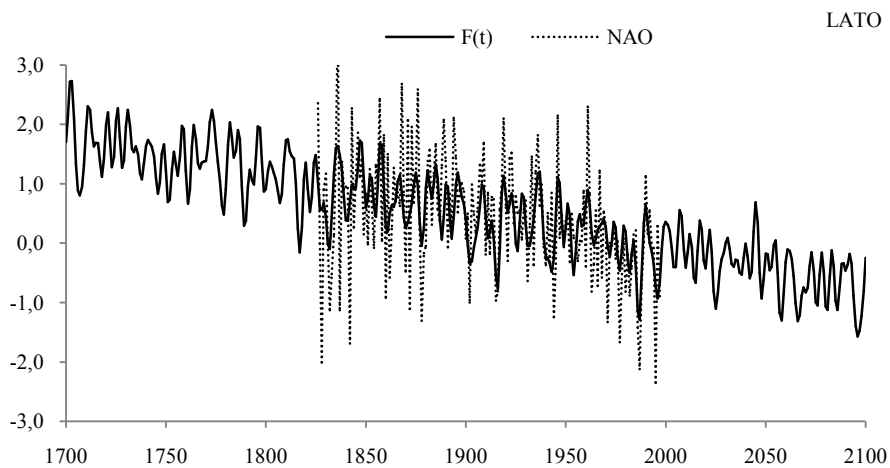
**Fig. 17b.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in spring (III-V) in the years 1950-2100 – forecasts in 21st centuries , *NAO*<sub>3</sub> – values measured in the years 1951-2015 (3-year moving average), *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

### LATO (VI-VIII)

**Tabela 14.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w lecie w latach 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{\text{obl}}$  – test Fishera-Snedecora)

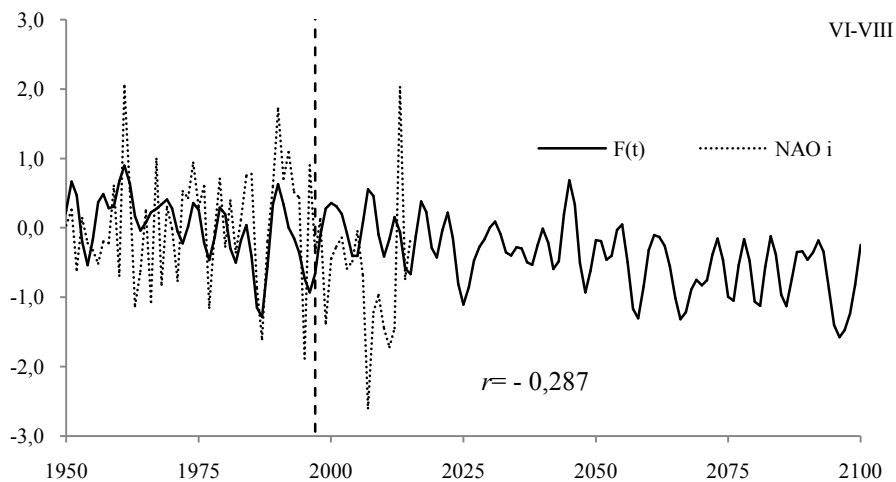
**Table 14.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in the summer in years 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{\text{obl}}$  –  $F$ -test)

$F(t) = -0,255599 + 0,000175 \cdot t + \dots ; R = 0,560731$				
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
4,7	0,264	0,4835	0,958	0,187
5,5	0,241	2,8063	0,968	0,157
7,8	0,218	-0,2406	0,963	0,173
9,0	0,190	0,1523	0,969	0,154
10,3	0,231	0,3288	0,952	0,202
11,1	0,048	-0,5951	0,984	0,093
12,2	0,177	-1,1792	0,976	0,129
12,7	0,145	-1,2482	0,975	0,133
13,8	0,212	-0,0399	0,973	0,141
39,5	0,163	2,9747	0,972	0,144
55,3	0,043	-0,3269	0,979	0,117
83,2	0,107	-1,0707	0,963	0,173



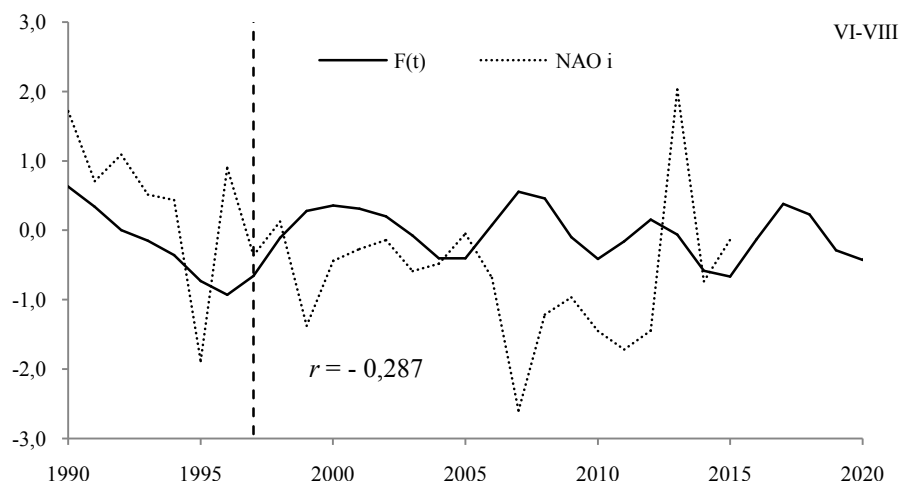
**Rys. 18.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w *lecie* w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku *NAO* – wartości zmierzzone w latach 1825-1997, *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 18.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in summer in the years 1700-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries , *NAO* – values measured in the years 1825-1997, *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 18a.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w *lecie* w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku *NAO<sub>i</sub>* – wartości zmierzzone w latach 1951-2015, *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 18a.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in summer in the years 1950-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries , *NAO<sub>i</sub>* – values measured in the years 1951-2015, *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 18b.** Zmiany w wskaźniku Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  w lecie w latach 1990-2020 – prognozy w XXI wieku  $NAO_i$  – wartości zmierzone w latach 1951-2015,  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

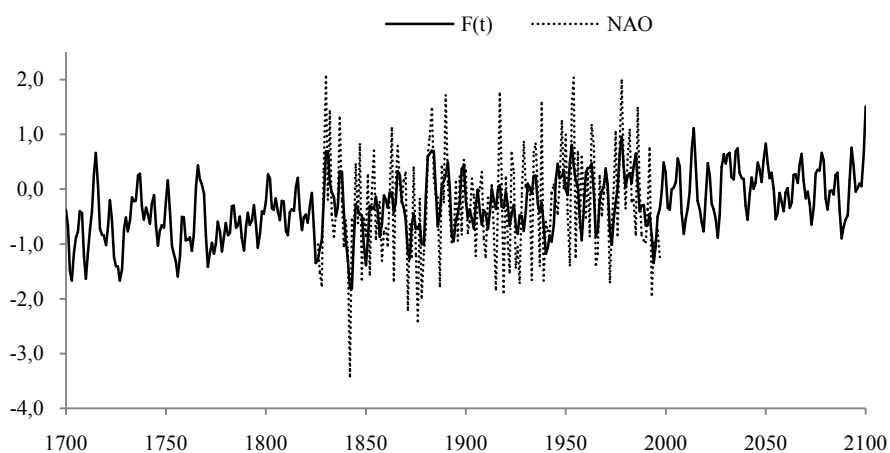
**Fig. 18b.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in summer in the years 1990-2020 – forecasts in 21st centuries,  $NAO_i$  – values measured in the years 1951-2015,  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

### JESIEŃ (IX-XI)

**Tabela 15.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej  $NAO$  jesienią w latach 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{\text{obl}}$  – test Fishera-Snedecora)

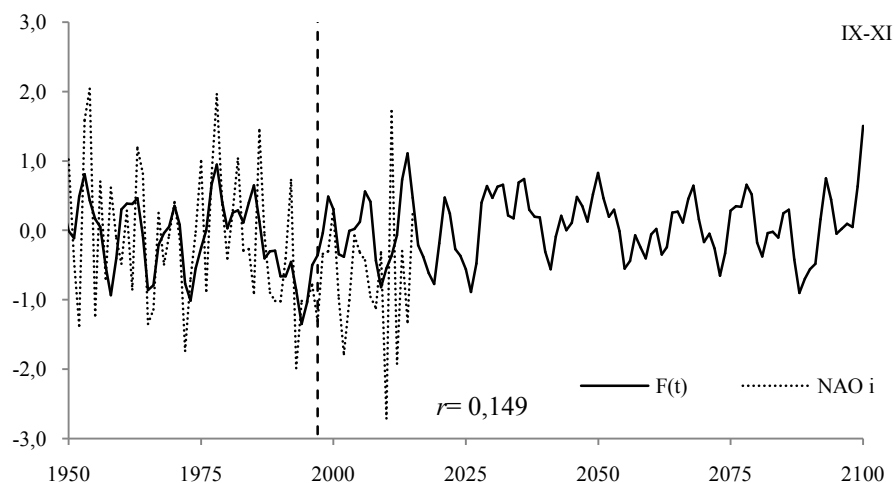
**Table 15.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of North Atlantic Oscillation index ( $NAO$ ) in the autumn in years 1825-1997 ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{\text{obl}}$  –  $F$ -test)

$F(t) = -4,849446 + 0,002395 t + \dots ; R = 0,554205$				
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
3,6	0,245	-0,9597	0,871	0,175
7,3	0,246	2,6674	0,856	0,218
7,7	0,261	-2,4323	0,858	0,213
8,2	0,125	-0,8556	0,887	0,114
8,8	0,216	2,4073	0,872	0,172
11,1	0,071	-0,1688	0,895	0,063
13,0	0,084	2,5197	0,894	0,072
14,2	0,081	0,3685	0,893	0,079
16,6	0,296	-1,2331	0,848	0,237
24,2	0,202	2,5305	0,864	0,196
29,9	0,213	0,1603	0,861	0,205
75,3	0,160	1,1901	0,875	0,162



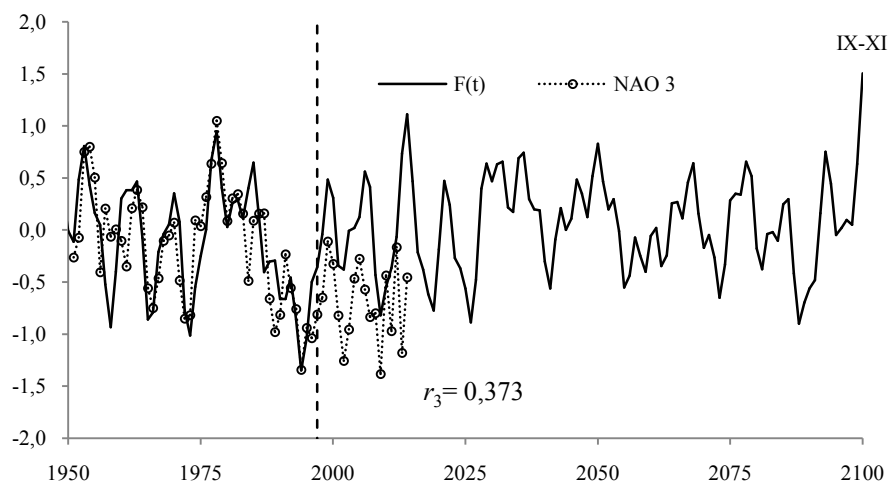
**Rys. 19.** Zmiany w wskaźniku Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* jesienią (IX-XI) w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku, *NAO* – wartości zmierzone w latach 1825-1997, *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 19.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in autumn (IX-XI) in the years 1700-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries, *NAO* – values measured in the years 1825-1997, *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 19a.** Zmiany w wskaźniku Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* jesienią (IX-XI) w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku *NAO<sub>i</sub>* – wartości zmierzone w latach 1951-2015, *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 19a.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in autumn (IX-XI) in the years 1950-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries, *NAO<sub>i</sub>* – values measured in the years 1951-2015, *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 19b.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantycznej *NAO* jesienią (IX-XI) w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku , *NAO<sub>3</sub>* – wartości zmierzone w latach 1951-2015 (3-letnie konsekwtywne), *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

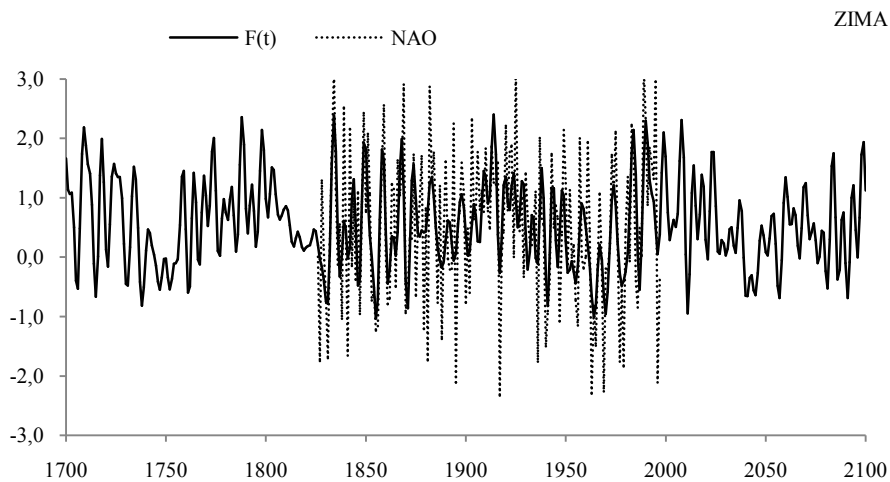
**Fig. 19b.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in autumn (IX-XI) in the years 1950-2100 – forecasts in 21st centuries , *NAO<sub>3</sub>* – values measured in the years 1951-2015 (3-year moving average), *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

### ZIMA (XII-II)

**Tabela 16.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika Oscylacji Północnoatlantycznej *NAO* W zimie w latach 1825-1997 ( $\epsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

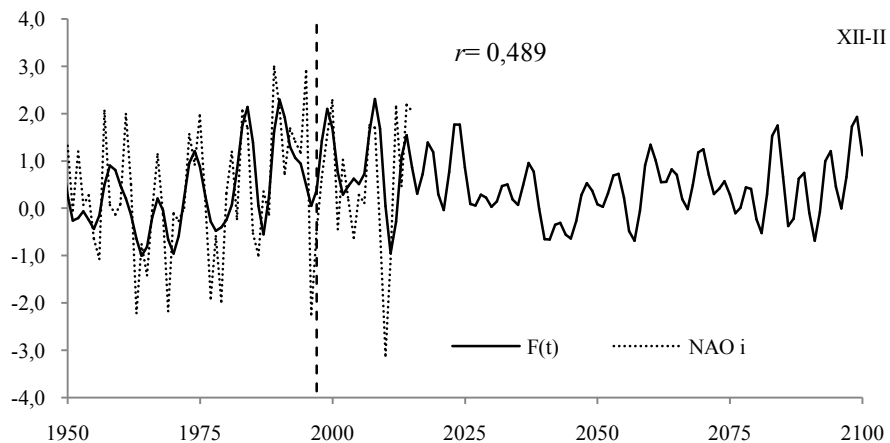
**Table 16.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in the winter in years 1825-1997 ( $\epsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

$F(t) = 1,482773 - 0,000494 \cdot t + \dots ; R = 0,606190$				
$\Theta$	$b$	$c$	$\epsilon^2$	$R$
4,7	0,306	-0,8877	1,492	0,170
5,0	0,385	-2,9488	1,462	0,220
5,8	0,291	0,8859	1,487	0,180
7,8	0,417	-0,1245	1,423	0,272
8,3	0,316	2,3028	1,450	0,237
8,8	0,260	-0,1067	1,478	0,195
11,3	0,167	-0,9475	1,509	0,134
12,5	0,217	2,6815	1,508	0,136
15,5	0,235	-0,6106	1,495	0,165
37,1	0,236	-2,1450	1,498	0,158
71,5	0,298	1,8570	1,492	0,170
105,2	0,312	1,0075	1,498	0,158



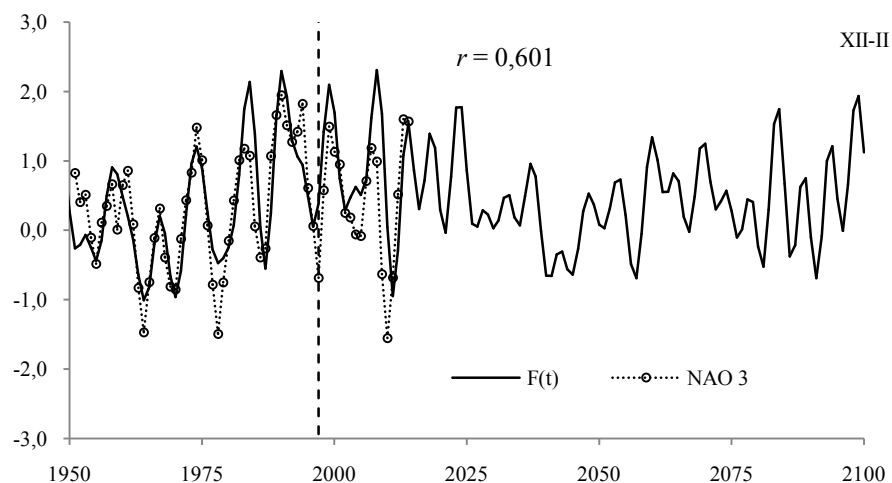
**Rys. 20.** Zmiany w wskaźniku Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w zimie (XII-II) w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku *NAO* – wartości zmierzone w latach 1825-1997, *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 20.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in winter (XII-II) in the years 1700-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries, *NAO* – values measured in the years 1825-1997, *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



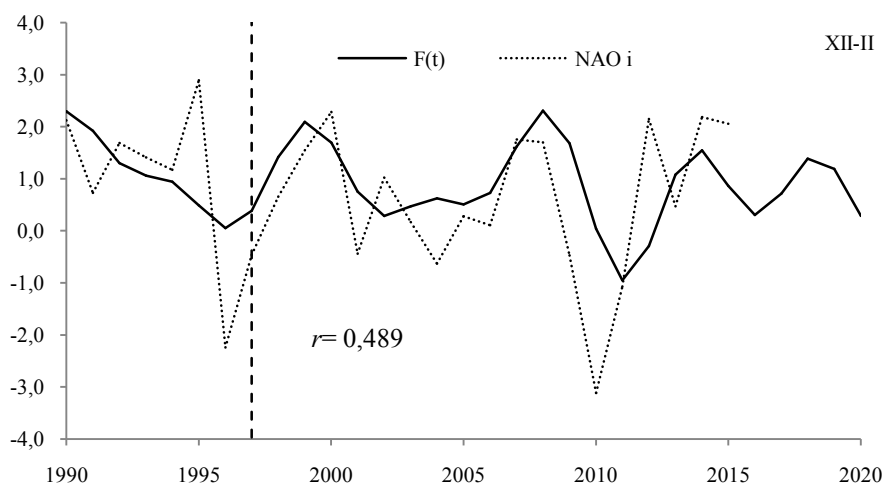
**Rys. 20a.** Zmiany w wskaźniku Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w zimie (XII-II) w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku *NAO<sub>i</sub>* – wartości zmierzone w latach 1951-2015, *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 20a.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in winter (XII-II) in the years 1950-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries, *NAO<sub>i</sub>* – values measured in the years 1951-2015, *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



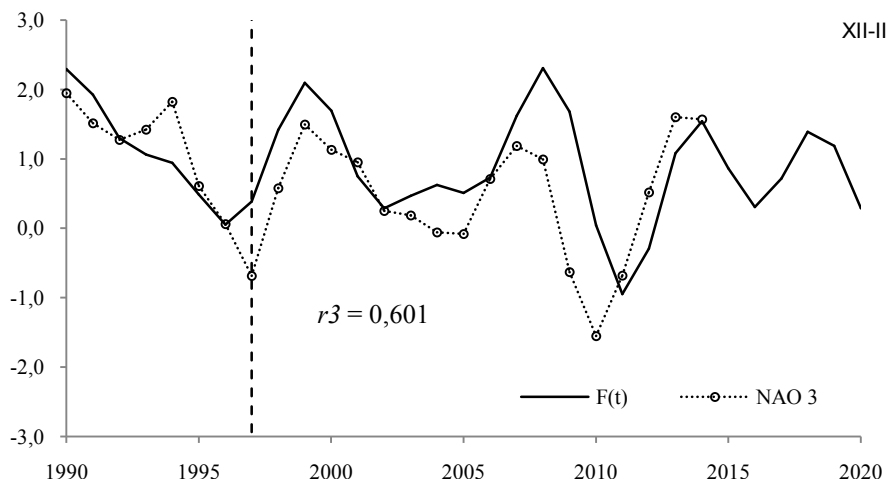
**Rys. 20b.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantycznej *NAO* w zimie (XII-II) w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku , *NAO<sub>3</sub>* – wartości zmierzone w latach 1951-2015 (3-letnie konsekwtywne), *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 20b.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in winter (XII-II) in the years 1950-2100 – forecasts in 21st centuries , *NAO<sub>3</sub>* – values measured in the years 1951-2015 (3-year moving average), *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 20c.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantycznej *NAO* w zimie (XII-II) w latach 1990-2020– prognozy w XXI wieku , *NAO<sub>i</sub>* – wartości zmierzone w latach 1998-2015 (*F(t)*) – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 20c.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in winter (XII-II) in the years 1990-2020– forecasts in 21st centuries , *NAO<sub>i</sub>* – values measured in the years 1998-2015 (*F(t)*) – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 20d.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantycznej *NAO* w zimie (XII-II) w latach 1990-2020– prognozy w XXI wieku , *NAO<sub>3</sub>* – wartości zmierzone w latach 1998-2015 (3-letnie konsekwtywne), *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 20d.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in winter (XII-II) in the years 1990-2020– forecasts in 21st centuries , *NAO<sub>3</sub>* – values measured in the years 1998-2015 (3-year moving average), *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

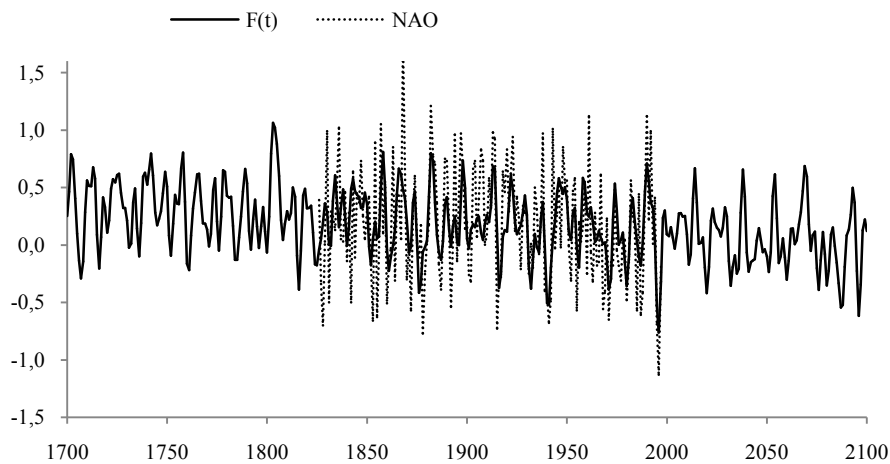
### ROK (I-XII)

**Tabela 17.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika Oscylacji Północnoatlantycznej *NAO* w roku w latach 1825-1997 ( $\epsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

**Table 17.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in the year in years 1825-1997 ( $\epsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

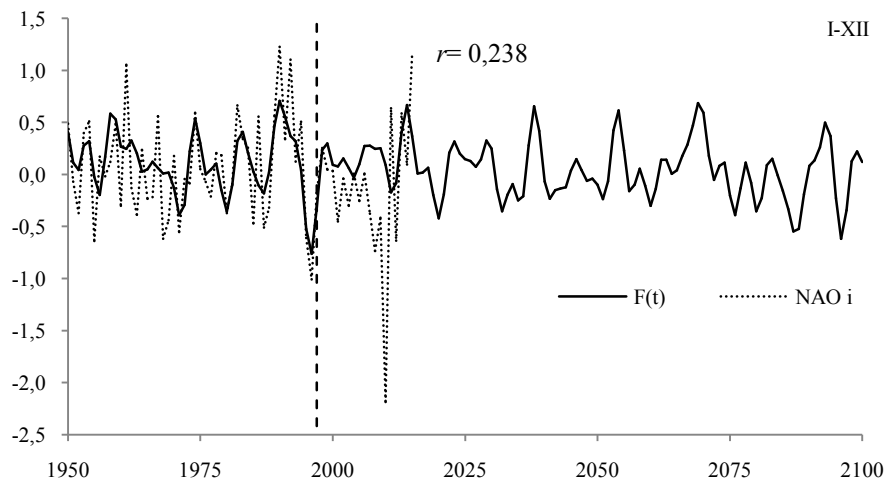
$F(t) = 2,005300 - 0,000957 t + \dots ; R = 0,579110$				
$\Theta$	$b$	$c$	$\epsilon^2$	$R$
4,0	0,139	-1,4503	0,233	0,203
5,0	0,137	-2,7960	0,233	0,203
7,8	0,209	-0,2000	0,222	0,294
8,4	0,068	1,9571	0,239	0,128
9,0	0,097	-0,3085	0,236	0,170
11,2	0,097	2,6181	0,237	0,157
13,1	0,139	3,0304	0,233	0,203
15,6	0,087	-2,6204	0,239	0,128
20,5	0,076	1,7585	0,240	0,111
29,3	0,076	-2,6179	0,239	0,128
37,0	0,063	2,8804	0,241	0,091
52,6	0,064	0,3166	0,241	0,091





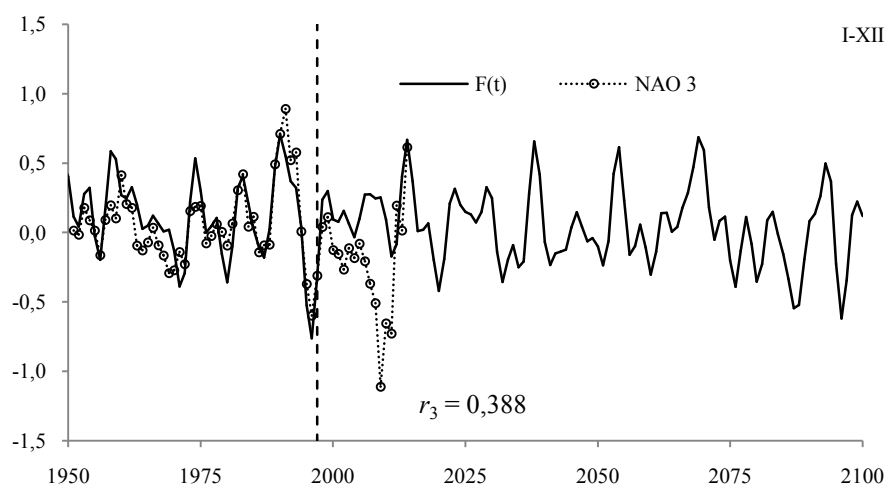
**Rys. 21.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w roku w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku *NAO* – wartości zmierzone w latach 1825-1997, *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 21.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in year in the years 1700-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries, *NAO* – values measured in the years 1825-1997, *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 21a.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w roku w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku *NAO<sub>i</sub>* – wartości zmierzone w latach 1951-2015, *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 21a.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in year in the years 1950-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries, *NAO<sub>i</sub>* – values measured in the years 1951-2015, *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 21b.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w roku w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku ,  $NAO_3$  – wartości zmierzone w latach 1951-2015 (3-letnie konsekwentne),  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

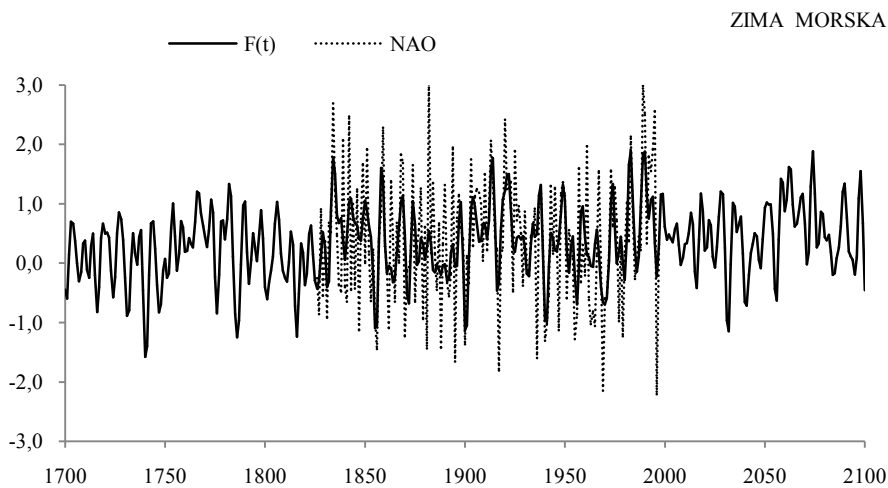
**Fig. 21b.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in year in the years 1950-2100 – forecasts in 21st centuries ,  $NAO_3$  – values measured in the years 1951-2015 (3-year moving average),  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

### ZIMA MORSKA (XII-III)

**Tabela 18.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w zimie (XII-III) w latach 1825-1997 ( $\epsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora)

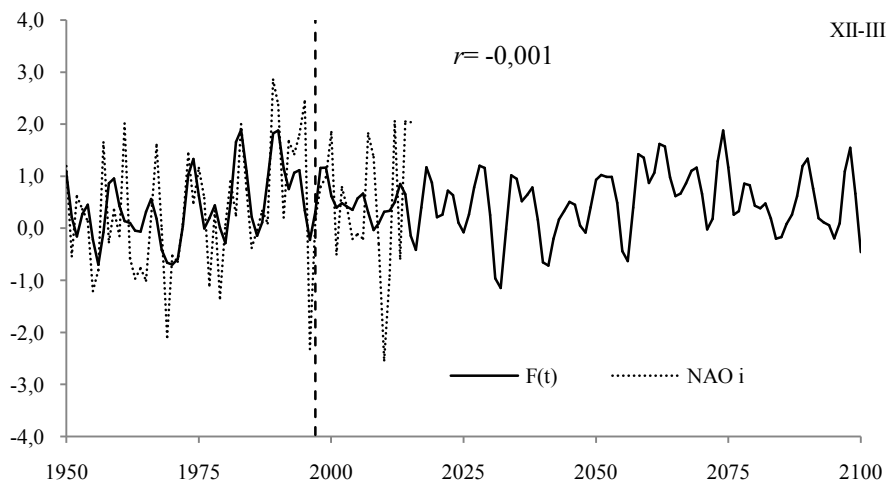
**Table 18.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in the winter (XII-III) in years 1825-1997 ( $\epsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  –  $F$ -test)

$F(t) = -1,757472 + 0,001105 t + \dots ; R = 0,588658$				
$\Theta$	$b$	$c$	$\epsilon^2$	$R$
4,0	0,252	-1,5412	1,107	0,167
5,0	0,316	-2,7416	1,087	0,213
5,7	0,276	2,1642	1,096	0,193
7,7	0,425	-1,1004	1,045	0,287
8,8	0,294	-0,3686	1,085	0,217
11,2	0,132	1,9923	1,125	0,109
12,8	0,205	0,3100	1,119	0,131
14,1	0,181	0,1294	1,116	0,141
21,7	0,169	2,7528	1,117	0,138
29,4	0,042	-1,8470	1,131	0,082
37,3	0,229	-0,2942	1,100	0,184
74,1	0,275	2,1886	1,095	0,196



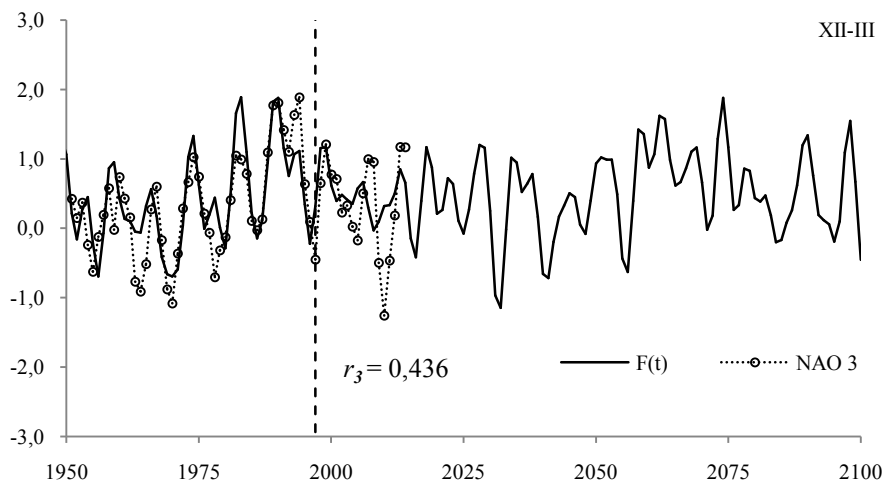
**Rys. 22.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w zimie (XII-III) w latach 1700-2100 – prognozy w XXI wieku *NAO* – wartości zmierzone w latach 1825-1997, *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 22.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in winter (XII-III) in the years 1700-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries, *NAO* – values measured in the years 1825-1997, *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 22a.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w zimie (XII-III) w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku *NAO<sub>i</sub>* – wartości zmierzone w latach 1951-2015, *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 22a.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in winter (XII-III) in the years 1950-2100 – forecasts in 21<sup>st</sup> centuries, *NAO<sub>i</sub>* – values measured in the years 1951-2015, *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100



**Rys. 22b.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w zimie (XII-III) w latach 1950-2100 – prognozy w XXI wieku , *NAO<sub>3</sub>* – wartości zmierzone w latach 1951-2015 (3-letnie konsekwtywne), *F(t)* – obliczone (ze składnikiem liniowym)z prognozą na lata 1998-2100

**Fig. 22b.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in winter (XII-III) in the years 1950-2100 – forecasts in 21st centuries , *NAO<sub>3</sub>* – values measured in the years 1951-2015 (3-year moving average), *F(t)* – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2100

**Tabela 19.** Średnie *NAO<sub>sr.</sub>*, wariancje *s<sup>2</sup>*, wariancje resztkowe trendów czasowych *ε<sup>2</sup>*, współczynniki korelacji wielokrotnej *R* wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku w latach 1825-1997

**Table 19.** The averages *NAO<sub>sr.</sub>*, variances *s<sup>2</sup>*, rest variances of the time trends *ε<sup>2</sup>*, coefficients of multiple correlation *R* of North Atlantic Oscillation index *NAO* in the years 1825-1997

Miesiące	<i>NAO<sub>sr.</sub></i>	<i>s<sup>2</sup></i>	<i>ε<sup>2</sup></i>	<i>R</i>
Styczeń	0,570	3,485	2,231	0,600
Luty	0,656	4,568	3,222	0,543
Marzec	0,052	3,070	2,162	0,544
Kwiecień	0,309	2,994	1,871	0,612
Maj	-0,220	1,756	1,260	0,531
Czerwiec	-0,030	2,164	1,217	0,661
Lipiec	0,503	2,471	1,650	0,577
Sierpień	0,836	3,109	2,057	0,582
Wrzesień	-0,156	2,413	1,395	0,650
Październik	-0,490	2,501	1,534	0,622
Listopad	-0,198	3,132	1,902	0,627
Grudzień	0,253	3,502	2,503	0,534
Wiosna	0,046	0,754	0,517	0,561
Lato	0,434	0,993	0,662	0,577
Jesień	-0,287	0,899	0,623	0,554
Zima	0,496	1,537	0,972	0,606
Zima morską	0,385	1,139	0,734	0,596
Rok	0,173	0,243	0,162	0,579



## VIII. WERYFIKACJA PROGNOZ TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE W MIESIĄCACH, PORACH ROKU I ROKU W 35-LECIU 1981-2015 (1984) I 25-LECIU 1991-2015 ( 2000 )

### 8.1. Weryfikacja prognoz przebiegu rocznego temperatury powietrza w Warszawie w latach 1980-2100 według modelu rekonstrukcyjno-prognostycznego (w 30-leciu 1981-2015)

Celem badań jest weryfikacja prognoz klimatu powstałych w Zakładzie Klimatologii UW (podejmowanych przez J. Boryczkę ze współautorami) kilkakrotnie na podstawie najdłuższej w danym czasie serii obserwacyjnej z Warszawy, tzn. od 1779 roku. Sprawdzono prognozy przebiegu temperatury powietrza w Warszawie – w 35-leciu 1980-2015 i 25-leciu 1991-2015 według interferencji cykli, wyznaczonych metodą „sinusoid regresji”. Porównano przebiegi wieloletnie średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza zmierzonych w Warszawie-Okęcie w latach 1951-2015 z wartościami prognozowanymi – z oceną istotności współczynników korelacji.

Prognozy tendencji temperatury powietrza w Warszawie na lata 1980-2100 według danych z lat 1779-1979 (Obserwatorium Astronomiczne) opracowano po raz pierwszy na podstawie tzw. modelu rekonstrukcyjno-prognostycznego wieloletnich zmian temperatury powietrza (Boryczka 1984, wzór 133).

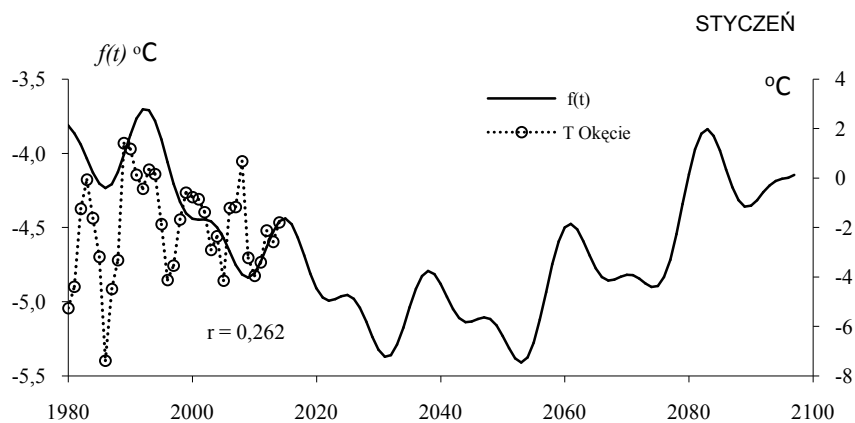
– Boryczka J., 1984, *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu*, Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego, Nr 234., Wyd. UW, Warszawa, ss. 272.

W modelu tym, oprócz interferencji 6 cykli o długościach  $\Theta_1=1$  rok,  $\Theta_2=11.2$  lat,  $\Theta_3=22$  lat,  $\Theta_4=18.6$  lat,  $\Theta_5=90$  lat,  $\Theta_6=220$  lat, uwzględniono dodatkowo modulację cyklu rocznego o częstości  $\Omega_1=2\pi$  przez cykle o częstościach mniejszych  $\Omega_3=2\pi/22$ ,  $\Omega_5=2\pi/90$  i  $\Omega_6=2\pi/220$ , (z wzoru  $\Omega_1+\Omega_j$ ,  $\Omega_1-\Omega_j$ ):

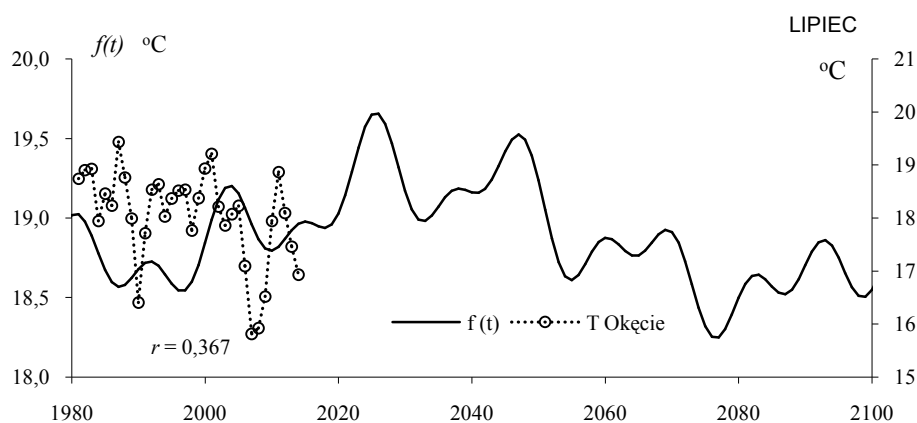
$$y = f(t) = 7,467 + 11,45 \sin(2\pi t - 2,1290) + 0,1552 \sin(2\pi t / 11,2 + 0,791) + 0,1057 \sin(2\pi t / 22 + 1,557) + 0,08462 \sin(2\pi t / 18,6 - 0,8183) + 0,1203 \sin(2\pi t / 90 + 2,531) + 0,5211 \sin(2\pi t / 220 - 2,913) + 0,1429 \sin(6,568784t + 2,013) + 0,07714 \sin(5,997586t - 0,6456) + 0,1019 \sin(6,352998t - 1,830) + 0,1101 \sin(6,213372t + 2,820) + 0,3219 \sin(6,311745t + 2,830) + 0,2629 \sin(6,254625t - 1,178)$$

Model rekonstrukcyjno-prognostyczny wyróżnia się dużym współczynnikiem determinacji  $R^2 = 0.929$  i małym błędem standardowym  $\delta = 2.255$  °C i statystyką Fishera-Snedecora  $F_{\text{obl}} = 1298$  o 24 i 2387 stopniach swobody (dla poziomu istotności 0.01  $F_{\text{kr}} = 2,18$ ).

Weryfikacja obecna tego modelu polega przede wszystkim na porównaniu 35-letniej serii wyników pomiarów temperatury powietrza (średnich konsekwentnych 3-letnich w styczniu i lipcu) w Warszawie-Okęcie ( $T$ ) z wartościami obliczonymi  $f(t)$  – na lata 1980-2015 (rys. 1-2).



**Rys. 1.** Porównanie wartości temperatury powietrza w Warszawie w styczniu w 35-leciu 1981-2015 zmierzonych na Okęciu (średnich konsekwentnych 3-letnich) i prognozowanych według modelu rekonstrukcyjno-prognostycznego  $f(t)$   
**Fig. 1.** Comparison of air temperature values in Warsaw in January in the 35-year period 1981-2015, measured in Okęcie ((3-year moving average), and predicted values based on the reconstruction and predictive model  $f(t)$



**Rys. 2.** Porównanie średnich wartości temperatury powietrza w Warszawie w lipcu w 35-leciu 1981-2015 zmierzonych na Okęciu (średnich konsekwentnych 3-letnich) i prognozowanych według modelu rekonstrukcyjno-prognostycznego  $f(t)$   
**Fig. 2.** Comparison of average air temperature values in Warsaw in July in the 35-year period 1981-2015, measured in Okęcie ((3-year moving average), and predicted values based on the reconstruction and predictive model  $f(t)$

Na ogół jest dobra zgodność między minimami i maksimami temperatury powietrza w 35-leciu 1981-2015, według pomiarów i prognoz. Współczynnik korelacji  $r=0,262$  w styczniu jest zbliżony do wartości krytycznej  $r_{0,05} = 0,324$ , Natomiast w lipcu, współczynnik korelacji  $r = 0,367$  jest istotny na poziomie 0.05 ( $r_{0,05} > 0,324$ ).

## 8.2. Weryfikacja prognoz przebiegu rocznego temperatury powietrza w Warszawie w latach 1991-2100 (w miesiącach, sezonach i roku) (w 25-leciu 1991-2015)

Na ogół, wiarygodne są prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie na lata 1991-2100 opracowane na podstawie danych z Obserwatorium Astronomicznego z lat 1779-1990 (Atlas t. XIV; wzory s. 110-119, wykresy s. 129-147):

- 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*, ss. 209

Porównano średnie wartości temperatury powietrza w różnych przedziałach czasu (miesiące, pory roku, rok) zmierzone w Warszawie na Okęciu ( $T$ ) z prognozowanymi  $f(t)$  na lata 1991-2015.

Cykle temperatury powietrza w Warszawie wyznaczono na podstawie danych z lat 1779-1979 (Obserwatorium Astronomiczne). Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  wyznaczano metodą „sinusoid regresji” („optymalnych cykli”), zmieniając okres sinusoidy  $\Theta$  w przedziale czasu 2,1- 250 lat z odstępem 0.1 roku:

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

Prognozy i rekonstrukcje temperatury powietrza – to wypadkowe nakładania się (interferencji)  $k$  cykli:

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

gdzie:  $t$  – czas,  $at$  – składnik liniowy

Funkcje trendów czasowych temperatury powietrza  $f(t)$ , gdy  $at=0$  i  $F(t)$  – ze składnikiem liniowym  $at$  wzięto z Atlasu, t. XIV, s. 110-119.

Porównano temperaturę powietrza w różnych przedziałach czasu (miesiące, pory roku, rok) zmierzone w Warszawie na Okęciu ( $T$ ) z prognozowanymi  $f(t)$  i  $F(t)$  na lata 1991-2100. Równania opisujące interferencję cykli otrzymano przyjmując rok 1778 jako początek osi czasu  $t=0$  ( $t = -78$  – rok 1700,  $t = 322$  – rok 2100)..

Wahania zmierzonych wartości temperatury powietrza w Warszawie (Okęcie) (średnich konsekwentnych 3-letnich) i prognozowanych na lata 1991-2015, według modeli  $f(t)$  (składnik liniowy  $at = 0$ ) i  $F(t)$  (składnik liniowy  $at \neq 0$ ) są na ogół dodatnio skorelowane (rys. 11-15).

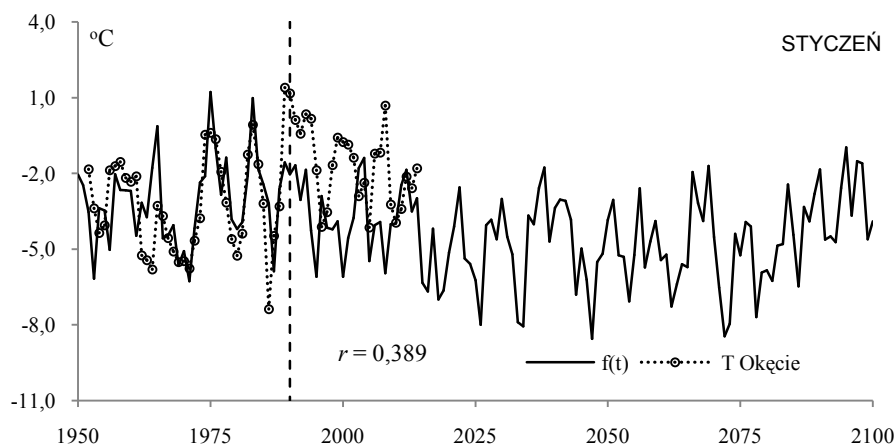
W styczniu funkcje **trendu czasowego**  $f(t)$ , gdy  $at=0$  i  $F(t)$  – ze składnikiem liniowym  $at = 0,0118 t$  jest wypadkową interferencji 12 cykli obecnych w widmie oscylacji temperatury (Obserwatorium Astronomiczne), w tym najdłuższych okresów 122,7 i 204,7 lat:

$$\begin{aligned} f(t) = & -3,734 + 1,016 \sin(2\pi t/2,6 + 2,426) + 0,6558 \sin(2\pi t/3,5 - 0,6561) + 0,6535 \sin(2\pi t/4,8 + 2,718) + \\ & + 0,7148 \sin(2\pi t/6,6 + 0,6532) + 0,8569 \sin(2\pi t/7,7 - 1,821) + 1,056 \sin(2\pi t/9,3 + 0,7635) + \\ & + 0,5900 \sin(2\pi t/13,0 + 0,5444) + 0,5849 \sin(2\pi t/15,4 + 1,928) + 0,5959 \sin(2\pi t/27,5 - 1,162) + \\ & + 0,5427 \sin(2\pi t/62,5 - 0,2586) + 0,5881 \sin(2\pi t/122,7 + 2,761) + 1,166 \sin(2\pi t/204,7 + 3,00) \end{aligned}$$

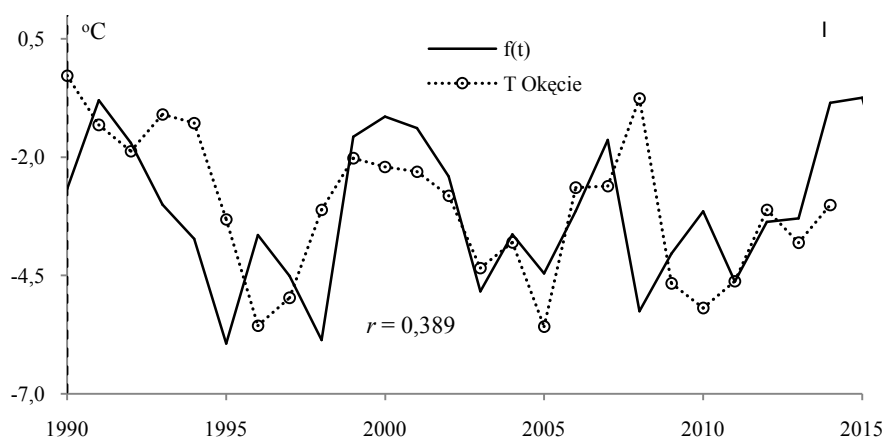


$$\begin{aligned}
 F(t) = & -4,915+0,0118t+ \\
 & +1,016\sin(2,4255+2\pi/2,6)+0,667\sin(-0,6526+2\pi/3,5)+0,6569\sin(2,727+2\pi/4,8)+ \\
 & +0,7157\sin(0,6356+2\pi/6,6)+0,8535\sin(-1,82+2\pi/7,7)+1,072\sin(0,756+2\pi/9,3)+ \\
 & +0,5883\sin(0,5276+2\pi/13)+0,5903\sin(1,8821+2\pi/15,4)+0,5783\sin(-1,08+2\pi/27,5)+ \\
 & +0,5092\sin(-0,1398+2\pi/62,5)+0,6507\sin(1,787+2\pi/122,7)+0,2585\sin(2,954+2\pi/204,7)
 \end{aligned}$$

Zmiany temperatury powietrza w styczniu w latach 1779-2100, tj. z prognozą na lata 1991-2100 przedstawiono na rys. 3-4. O dobrej zgodności wyników pomiarów z prognozami na lata 1991-2015 świadczą synchroniczne wahania temperatury  $T$  na Okęciu i prognozowanych  $f(t)$ . Współczynnik korelacji  $r = 0,389$  zbliżony do wartości krytycznej  $r_{0,05} = 0,423$  na poziomie 0,05, a większy od  $r_{0,10} = 0,356$ .



**Rys. 3.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w styczniu w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzzone na Okęciu (średnie konsekwtywne 3-letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 3.** Air temperature changes in Warsaw in January in the years 1951-2035,  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average),  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100



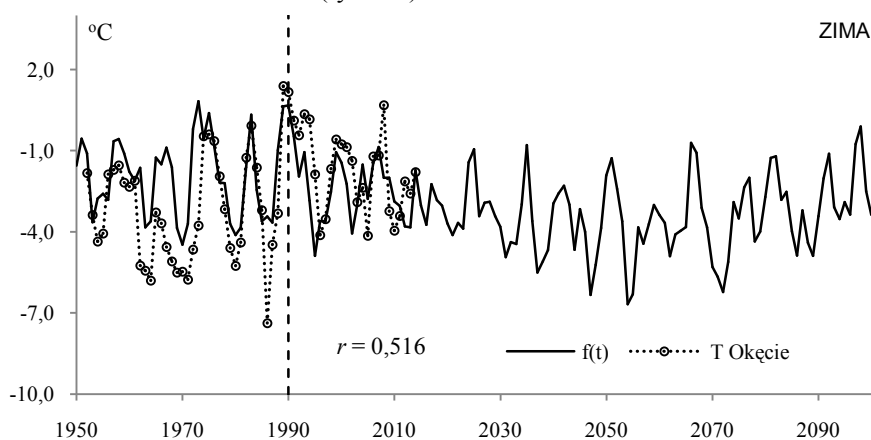
**Rys. 4.** Porównanie zmierzonych wartości temperatury powietrza w Warszawie-Okęcie w styczniu (średnich konsekwtywnych 3-letnich) w 25-leciu 1991-2015 z prognozowanymi  $f(t)$   
**Fig. 4.** Comparison of measured air temperature values in Warsaw-Okęcie in January (3-year moving average) during the 25-year period 1991-2015, with predicted values  $f(t)$

W zimie, trendy czasowe temperatury powietrza w Warszawie  $T = f(t)$  i ze składnikiem liniowym  $T = F(t)$  są wypadkową nakładania się 12 cykli obecnych w widmie temperatury, w tym najdłuższych 113.1 lat i 218.3 lat:

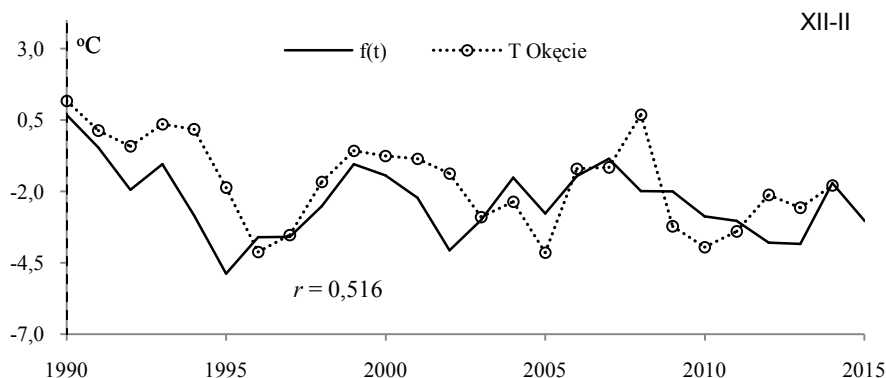
$$f(t) = -2,634 + 0,5148\sin(2\pi/2,6-1,327t) + 0,5715\sin(2\pi/3,5+0,5523t) + 0,6238\sin(2\pi/5,2 + 0,05656t) + 0,4422\sin(2\pi/5,7 + 2,486t) + 0,7067\sin(2\pi/7,7-0,7303t) + 0,7349\sin(2\pi/8,3 -2,370t) + 0,4829\sin(2\pi/8,7 -0,3237t) + 0,4078\sin(2\pi/12,9+0,1328t) + 0,456\sin(2\pi/15,2+2,318t) + 0,4940\sin(2\pi/18,0-3,058t) + 0,3645\sin(2\pi/113,1+2,040t) + 0,8946\sin(2\pi/218,3+3,073t)$$

$$F(t) = -3,721 + 0,01025t + 0,5218\sin(2\pi/2,6-1,332t) + 0,5674\sin(2\pi/3,5+0,5448t) + 0,6281\sin(2\pi/5,2+0,06199t) + 0,4266\sin(2\pi/5,7+2,484t) + 0,7091\sin(2\pi/7,7-0,7349t) + 0,7349\sin(2\pi/8,3-2,368t) + 0,4920\sin(2\pi/8,7 -0,3439t) + 0,4082\sin(2\pi/12,9+0,1191t) + 0,4379\sin(2\pi/15,2+2,252t) + 0,4685\sin(2\pi/18,0-3,097t) + 0,5029\sin(2\pi/113,1+1,197t) + 0,2097\sin(2\pi/218,3+2,497t)$$

Z porównań wartości temperatury powietrza wynikających z interferencji tych 12 cykli, tj. obliczonych z równań  $T = f(t)$  i  $T = F(t)$  z wartościami zmierzonymi w Warszawie-Okęcie w latach 1951-2010 wynika dobra zgodność wyników pomiarów z prognozami zim na lata 1991-2010 (rys. 5-6).



**Rys. 5.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w zimie w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzone na Okęcie (średnie konsekwtywne 3-letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 5.** Air temperature changes in Warsaw in winter in the years 1951-2035,  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average),  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 6** Porównanie zmierzonych wartości temperatury powietrza w Warszawie-Okęcie w zimie,  $T$  – średnich konsekwentnych 3-letnich w 25-leciu 1991-2015 z prognozowanymi  $f(t)$

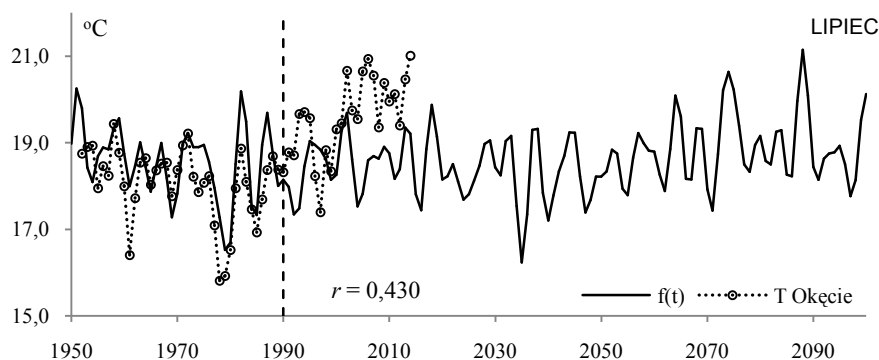
**Fig. 6.** Comparison of measured air temperature values in Warsaw-Okęcie in Winter ( $T$  – 3-year moving average) during the 25-year period 1991-2015, with predicted values  $f(t)$

O dobrej zgodności wyników pomiarów ( $T$ ) na Okęciu z prognozowaną temperaturą powietrza w zimie ( $f(t)$ ) na lata 1991-2015 świadczy współczynnik korelacji  $r = 0,456$  większy od wartości krytycznej  $r_{0,05} = 0,380$  na poziomie istotności 0,05.

W przypadku średnich konsekwentnych 3-letnich współczynnik korelacji  $r = 0,516$  jest znacznie większy i istotny na poziomie 0,01 ( $r_{0,01} = 0,487$ )

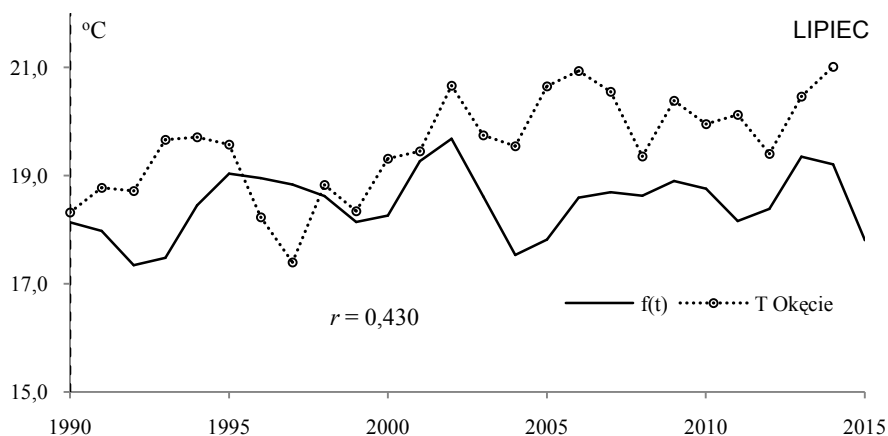
Tendencja rosnąca temperatury powietrza zimą w Warszawie w latach 1779-1990, może wynikać z nakładania się cykli naturalnych. Na przykład, coraz cieplejsze zimy w Warszawie – o  $1,04^{\circ}\text{C}/100$  lat w latach 1779-1990 mogą być efektem nałożenia się kilku okresów: 2.6, 3.5, 5.2, 5.7, 7.7, 8.3, 8.7, 12.9, 15.2, 18.0, 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.

O zgodności przebiegu zmierzonych wartości temperatury ( $T$ ) na Okęciu w lipcu (średnich konsekwentnych 3-letnich) z prognozowaną temperaturą ( $f(t)$ ) na lata 1991-2015 świadczy dość duży współczynnik korelacji  $r = 0,430$  istotny na poziomie 0,05 ( $r_{0,05} = 0,380$ ) (rys. 7-8)



**Rys. 7.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w lipcu w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzzone na Okęciu (średnie konsekwentne 3-letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 7.** Air temperature changes in Warsaw in July in the years 1951-2035,  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average),  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2035

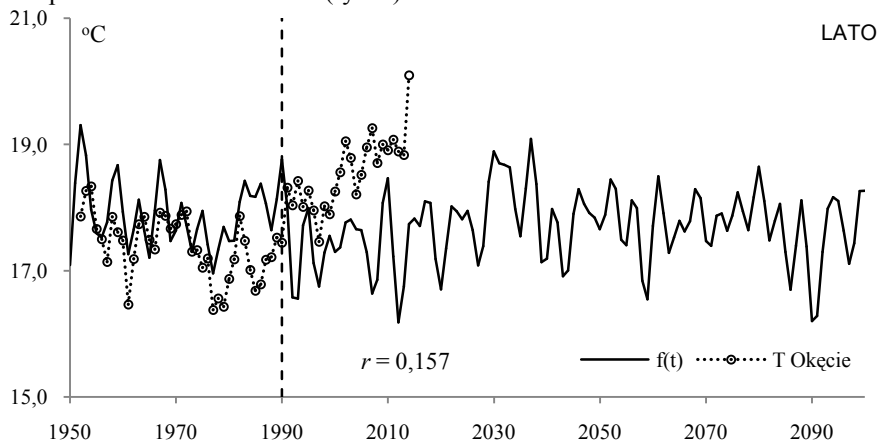


**Rys. 8.** Porównanie zmierzonych wartości temperatury powietrza  $T$  w Warszawie-Okęcie w lipcu (średnich konsekwentnych 3-letnich) w 25-leciu 1991-2015 z prognozowanymi  $f(t)$   
**Fig. 8.** Comparison of measured air temperature values  $T$  in Warsaw-Okęcie in July (3-year moving average during the 25-year period 1991-2015, with predicted values  $f(t)$ )

W lecie, trend czasowy temperatury powietrza w Warszawie  $f(t)$  jest superpozycją 12 cykli obecnych w widmie wartości temperatury (Obserwatorium Astronomiczne) z cyklami najdłuższymi 91.2 lat i 208.2 lat:

$$\begin{aligned}
 f(t) = & 17.81 + 0.3927 \sin(2\pi t / 3.9 + 0.1769) + 0.2666 \sin(2\pi t / 4.7 + 1.869) + 0.2484 \sin(2\pi t / 5.2 - 1.224) \\
 & + 0.22531 \sin(2\pi t / 6.5 - 1.737) + 0.2747 \sin(2\pi t / 7.1 - 1.389) + 0.08968 \sin(2\pi t / 7.4 - 0.1413) \\
 & + 0.1762 \sin(2\pi t / 7.8 - 0.2554) + 0.2644 \sin(2\pi t / 15.9 + 1.476) + 0.2181 \sin(+2\pi t / 22.5 + 0.2921) \\
 & + 0.2304 \sin(2\pi t / 44 - 3.034) + 0.239 \sin(2\pi t / 91.2 + 2.720) + 0.1317 \sin(2\pi t / 208.2 - 2.804)
 \end{aligned}$$

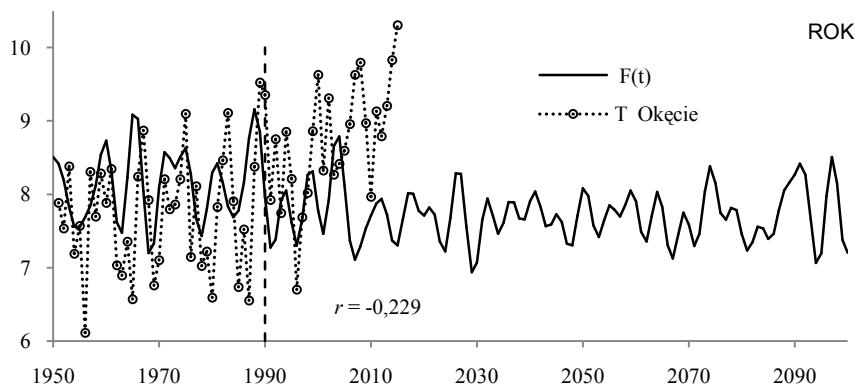
W dziesięcioleciu 2001-2010 pogorszyła się sprawdzalność prognoz sezonów letnich w porównaniu z 1991-2000 (rys. 9).



**Rys. 9.** Porównanie zmierzonych wartości temperatury powietrza  $T$  w Warszawie-Okęcie w lecie (średnich konsekwentnych 3-letnich) w 25-leciu 1991-2015 z prognozowanymi  $f(t)$   
**Fig. 9.** Comparison of measured air temperature values  $T$  in Warsaw-Okęcie in summer (3-year moving average) during the 25-year period 1991-2015, with predicted values  $f(t)$

Trend czasowy średniej rocznej temperatury powietrza w Warszawie  $T = F(t)$  (ze składnikiem liniowym  $at$ ) jest superpozycją 12 cykli – z cyklami najdłuższymi 69.7 lat i 223.9 lat:

$$\begin{aligned}
 F(t) = & 7.356 + 0.002366t + \\
 & + 0.2627\sin(2\pi t/4.7 + 2.059) + 0.1967\sin(2\pi t/5.5 + 1.194) + 0.1822\sin(2\pi t/5.7 + 2.775) \\
 & + 0.09961\sin(2\pi t/6.5 + 1.378) + 0.1767\sin(2\pi t/7.4 - 0.6535) + 0.2688\sin(2\pi t/7.7 - 0.7022) + \\
 & + 0.180\sin(2\pi t/12.9 + 0.3563) + 0.1544\sin(2\pi t/14.0 + 0.9523) + 0.1561\sin(2\pi t/17.7 + 3.010) \\
 & + 0.08633\sin(2\pi t/69.7 + 2.265) + 0.3849\sin(2\pi t/223.9 - 3.131)
 \end{aligned}$$

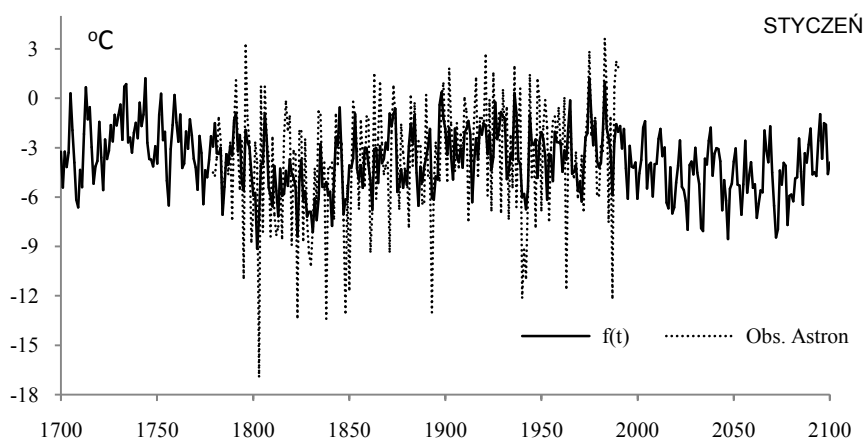


**Rys. 10.** Porównanie zmierzonych średnich rocznych wartości temperatury powietrza  $T$  w Warszawie-Okęcie (średnich konsekwentnych 3-letnich) w 25-leciu 1991-2015 z prognozowanymi  $f(t)$

**Fig. 10.** Comparison of measured yearly mean air temperature values average  $T$  in Warsaw-Okęcie (3-year moving average) during the 25-year period 1991-2015, with predicted values  $f(t)$

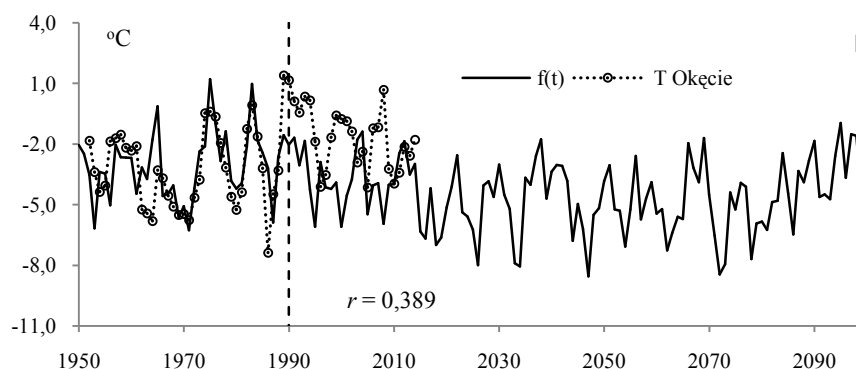
Dobra zgodność wyników pomiarów temperatury z prognozami występuje tylko w pierwszych 13 latach 1991-2003 (współczynnik korelacji  $r = 0.279$ )

## Weryfikacja prognoz temperatury powietrza w miesiącach



**Rys. 11.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w styczniu w latach 1700-2100, Obs. Astron – wartości zmierzone w Warszawie w latach 1779-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

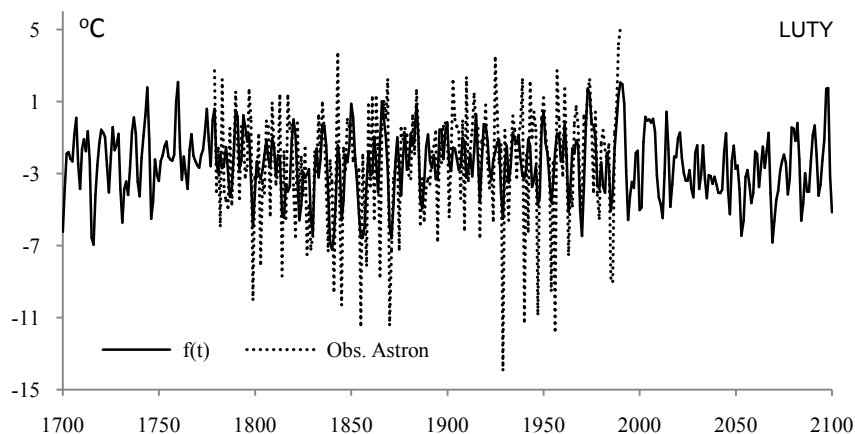
**Fig. 11.** Air temperature changes in Warsaw in January in the years 1700-2100, Obs. Astron – values measured in Warsaw in the years 1779-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 12.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w styczniu w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzone na Okęciu (średnie konsekwtywne 3-letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

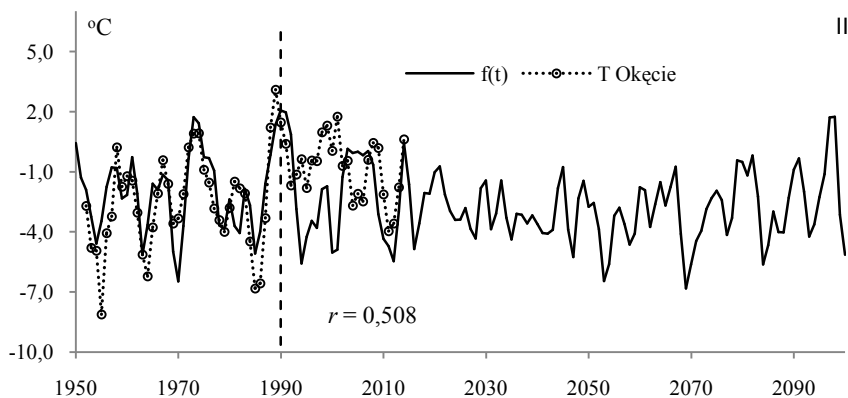
**Fig.12.** Air temperature changes in Warsaw in January in the years 1951-2100,  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average),  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$\begin{aligned}
 f(t) = & -3,734 + 1,016 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{2,6}t + 2,426\right) + 0,6558 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,5}t - 0,6561\right) + 0,6535 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,8}t + 2,718\right) + \\
 & + 0,7148 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,6}t + 0,6532\right) + 0,8569 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 1,821\right) + 1,056 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,3}t + 0,7635\right) + \\
 & + 0,5900 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{13,0}t + 0,5444\right) + 0,5849 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,4}t + 1,928\right) + 0,5959 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{27,5}t - 1,162\right) + \\
 & + 0,5427 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{62,5}t - 0,2586\right) + 0,5881 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{122,7}t + 2,761\right) + 1,166 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{204,7}t + 3,000\right)
 \end{aligned}$$



**Rys. 13.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w lutym w latach 1700-2100, Obs. Astron – wartości zmierzone w Warszawie w latach 1779-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

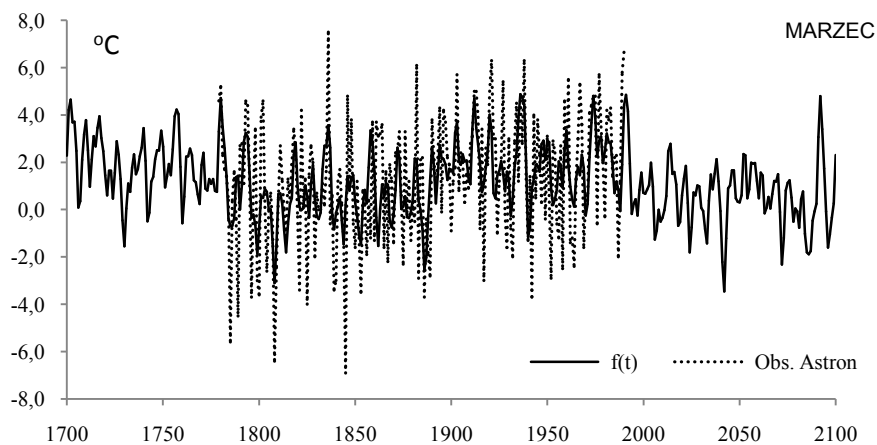
**Fig. 13.** Air temperature changes in Warsaw in February in the years 1700-2100, Obs. Astron – values measured in Warsaw in the years 1779-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 14.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w lutym w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzone na Okęcie (średnie konsekwtywne 3-letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

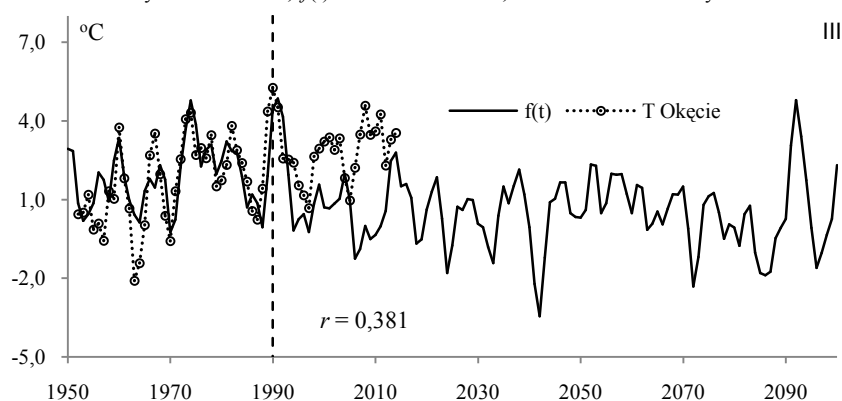
**Fig. 14.** Air temperature changes in Warsaw in February in the years 1951-2035,  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average),  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$\begin{aligned}
 f(t) = & -2,428 + 0,6328 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,1}t + 0,3323\right) + 0,8384 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,8}t + 0,6604\right) + 0,6783 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,2}t - 0,4824\right) + \\
 & + 0,7666 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,9}t + 1,180\right) + 0,9710 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 1,495\right) + 0,8687 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,2}t + 2,171\right) + \\
 & + 0,4233 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,9}t - 0,8869\right) + 0,8333 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,1}t + 1,105\right) + 0,7137 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,4}t - 2,799\right) + \\
 & + 0,7591 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17,8}t + 2,155\right) + 0,4785 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{109,4}t + 1,416\right) + 0,5250 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{201,9}t + 2,669\right)
 \end{aligned}$$



**Rys. 15.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w marcu w latach 1700-2100, Obs. Astron – wartości zmierzone w Warszawie w latach 1779-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 15.** Air temperature changes in Warsaw in March in the years 1700-2100, Obs. Astron – values measured in Warsaw in the years 1779-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100

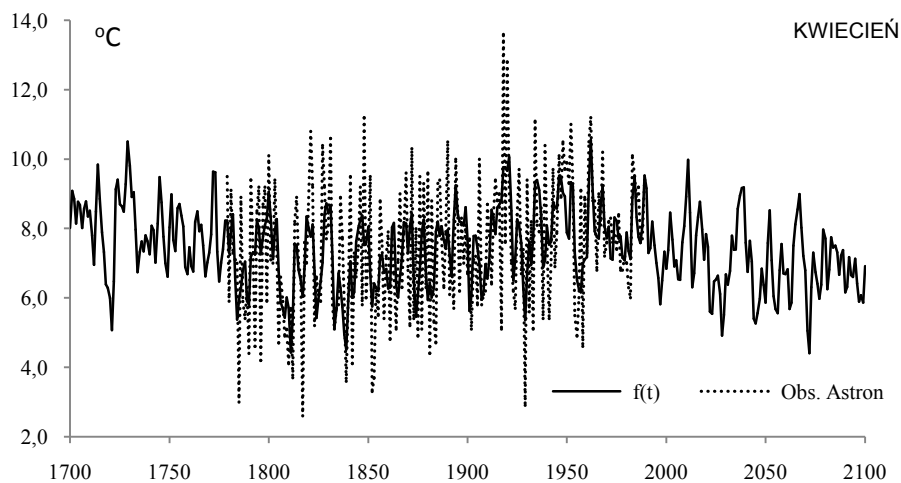


**Rys. 16.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w marcu w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzone na Okęcie (średnie konsekutywne 3-letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 16.** Air temperature changes in Warsaw in March in the years 1951-2035,  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average),  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

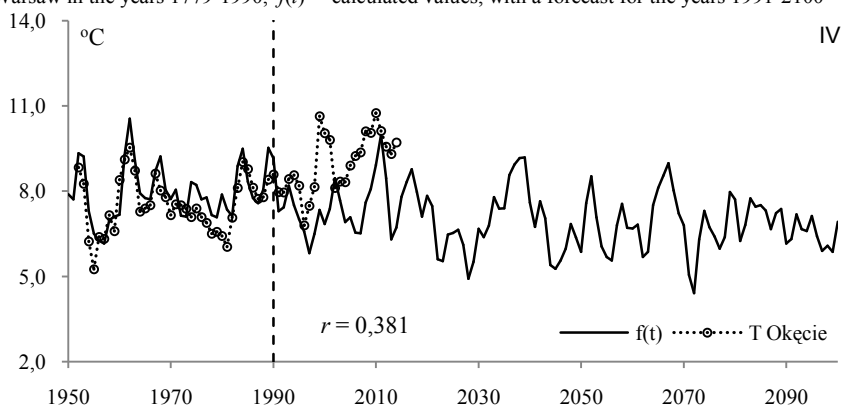
$$\begin{aligned}
 f(t) = & 1,1999 + 0,4542 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,0}t - 1,744\right) + 0,5557 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,4}t - 0,8081\right) + 0,5914 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,0}t - 1,893\right) + \\
 & + 0,8599 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,8}t + 0,1382\right) + 0,5092 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,1}t - 1,771\right) + 0,7344 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11,1}t + 0,01626\right) + \\
 & + 0,4569 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{13,0}t + 0,5645\right) + 0,4656 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,2}t + 1,546\right) + 0,4652 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{19,8}t + 1,856\right) + \\
 & + 0,4891 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{38,5}t - 0,1659\right) + 0,5266 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{71,3}t + 2,423\right) + 0,8823 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{221,2}t - 3,137\right)
 \end{aligned}$$





**Rys. 17.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w kwietniu w latach 1700-2100, Obs. Astron – wartości zmierzzone w Warszawie w latach 1779-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

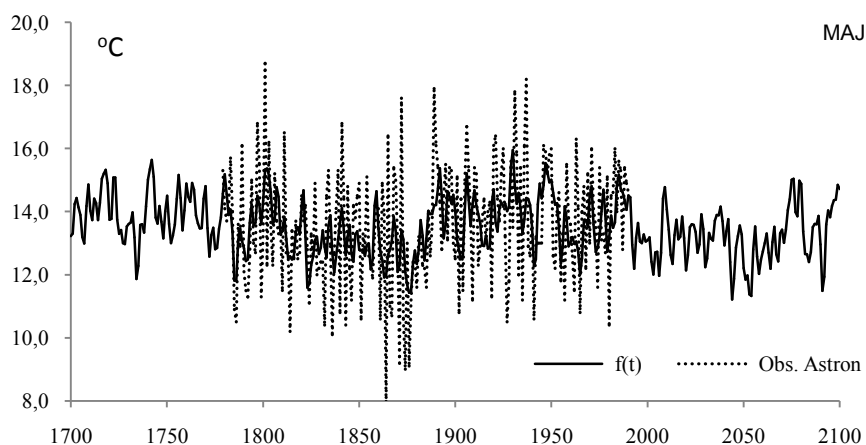
**Fig. 17.** Air temperature changes in Warsaw in April the years 1700-2100, Obs. Astron – values measured in Warsaw in the years 1779-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 18.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w kwietniu w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzzone na Okęcie (średnie konsekwtywne 3- letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

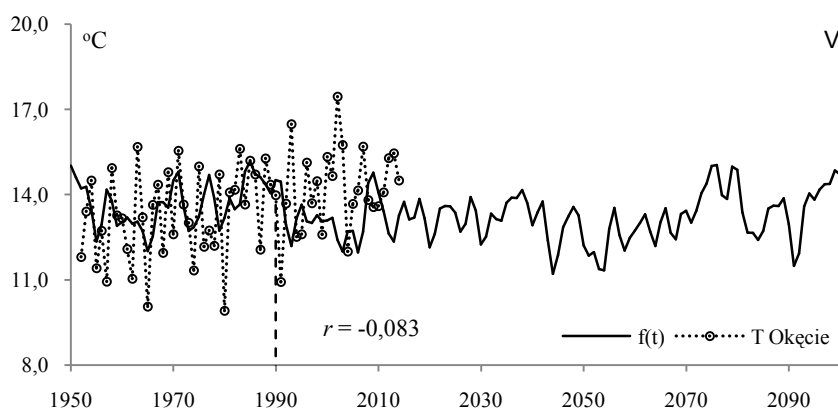
**Fig. 18.** Air temperature changes in Warsaw in April in the years 1951-2035,  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average),  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$\begin{aligned}
 f(t) = & 7,456 + 0,4319 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,1}t - 0,04808\right) + 0,4420 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,5}t + 2,335\right) + 0,4256 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,3}t + 2,519\right) + \\
 & + 0,4410 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,0}t + 0,3718\right) + 0,4537 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,2}t + 0,02135\right) + 0,3621 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,5}t - 1,268\right) + \\
 & + 0,3378 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{13,0}t + 0,9486\right) + 0,3752 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,7}t - 2,075\right) + 0,3927 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17,0}t + 0,6803\right) + \\
 & + 0,6866 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{23,8}t + 2,280\right) + 0,3693 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{30,5}t - 2,275\right) + 0,6555 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{229,7}t - 3,094\right)
 \end{aligned}$$



**Rys. 19.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w maju w latach 1700-2100, Obs. Astron – wartości zmierzone w Warszawie w latach 1779-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

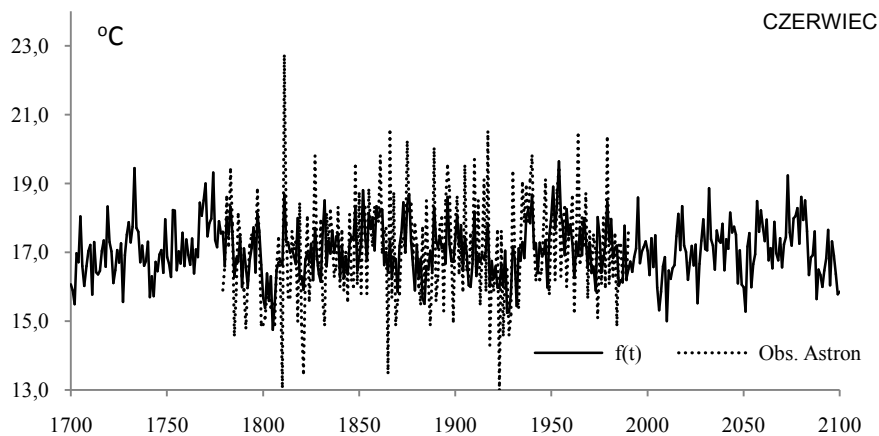
**Fig. 19.** Air temperature changes in Warsaw in May in the years 1700-2100, Obs. Astron – values measured in Warsaw in the years 1779-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



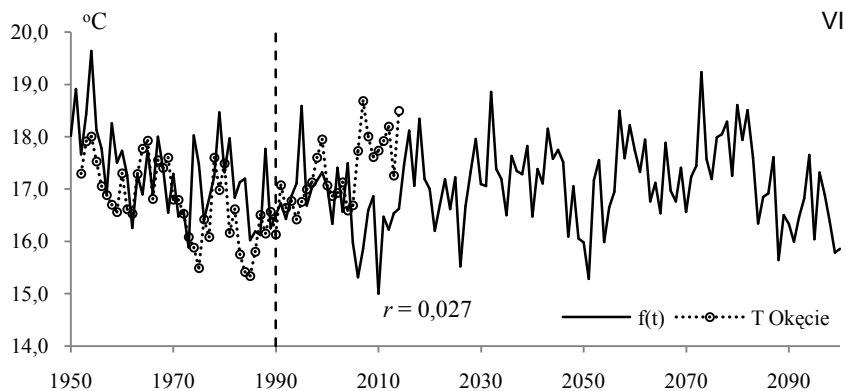
**Rys. 20.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w maju w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzone na Okęciu (średnie konsekwtywne 3-letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 20.** Air temperature changes in Warsaw in May in the years 1951-2100,  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average),  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$\begin{aligned}
 f(t) = & 13,50 + 0,3665 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,4}t - 2,544\right) + 0,4234 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 0,4298\right) + 0,3539 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t - 2,166\right) + \\
 & + 0,3127 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,9}t + 0,3545\right) + 0,3511 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,9}t + 0,07473\right) + 0,3338 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,8}t + 0,3325\right) + \\
 & + 0,2974 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{18,7}t + 0,8488\right) + 0,3478 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{21,0}t + 0,4772\right) + 0,3168 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{29,9}t + 2,558\right) + \\
 & + 0,4117 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{45,3}t - 1,983\right) + 0,2083 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{99,13}t - 0,7269\right) + 0,5738 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{187,5}t + 2,400\right)
 \end{aligned}$$

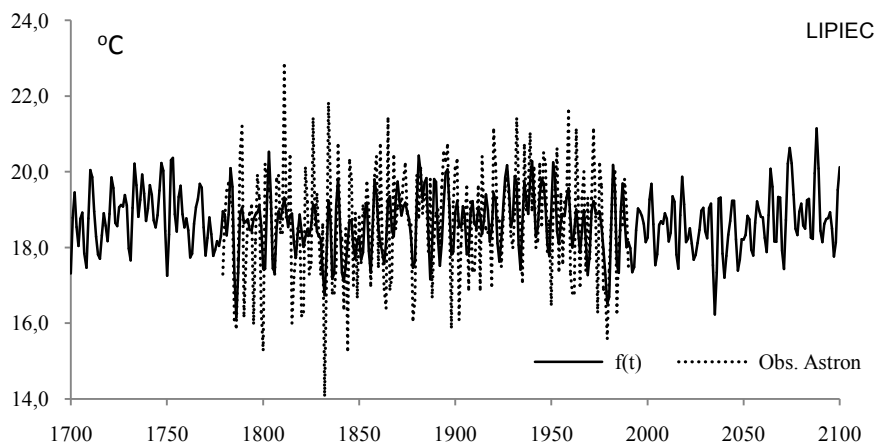


**Rys. 21.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w czerwcu w latach 1700-2100, Obs. Astron – wartości zmierzone w Warszawie w latach 1779-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 21.** Air temperature changes in Warsaw in June in the years 1700-2100, Obs. Astron – values measured in Warsaw in the years 1779-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



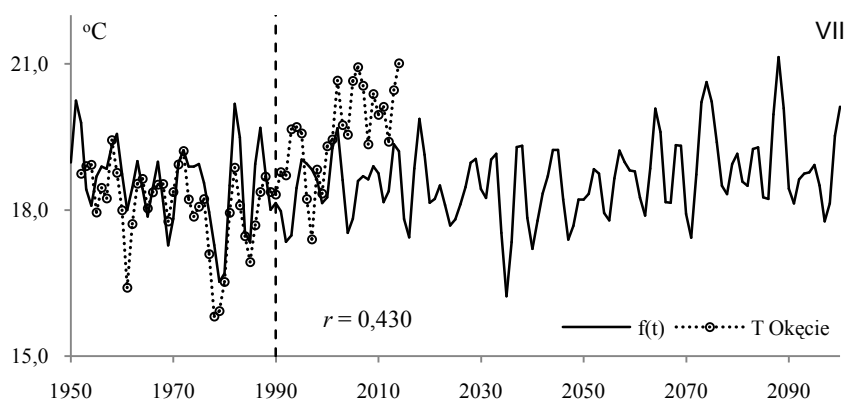
**Rys. 22.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w czerwcu w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzone na Okęciu (średnie konsekwentne 3-letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 22.** Air temperature changes in Warsaw in June in the years 1951-2100  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average),  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$\begin{aligned}
 f(t) = & 17,05 + 0,4982 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{2,3}t - 0,6322\right) + 0,3217 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,4}t - 3,050\right) + 0,3023 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,1}t + 1,452\right) + \\
 & + 0,3320 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,9}t + 1,294\right) + 0,3062 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,1}t - 2,121\right) + 0,05399 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,5}t + 1,105\right) + \\
 & + 0,3123 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{13,0}t - 1,295\right) + 0,2970 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,5}t + 0,03496\right) + 0,4197 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{20,4}t + 3,095\right) + \\
 & + 0,3088 \sin\left(\frac{2\pi}{43,4}t + 2,266\right) + 0,2370 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{59,8}t + 1,583\right) + 0,3576 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{97,8}t + 2,523\right)
 \end{aligned}$$



**Rys. 23.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w lipcu w latach 1700-2100, Obs. Astron – wartości zmierzone w Warszawie w latach 1779-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

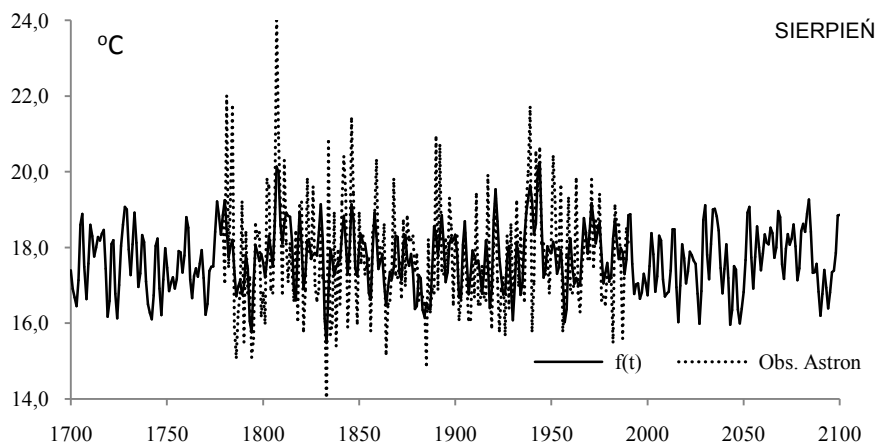
**Fig. 23.** Air temperature changes in Warsaw in July in the years 1700-2100, Obs. Astron – values measured in Warsaw in the years 1779-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 24.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w lipcu w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzone na Okęciu (średnie konsekwtywne 3-letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

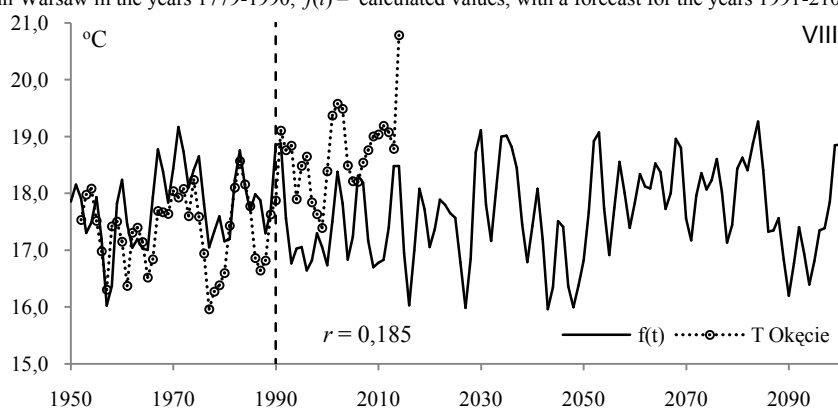
**Fig. 24.** Air temperature changes in Warsaw in July in the years 1951-2035,  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average),  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$\begin{aligned}
 f(t) = & 18,65 + 0,4263 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,9}t - 1,246\right) + 0,3087 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,6}t - 0,4015\right) + 0,4696 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,1}t + 1,689\right) + \\
 & + 0,4297 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,2}t + 1,834\right) + 0,3384 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,1}t - 2,092\right) + 0,2149 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 1,199\right) + \\
 & + 0,1957 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,1}t - 1,810\right) + 0,3025 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11,4}t + 0,5977\right) + 0,2903 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,6}t + 0,07375\right) + \\
 & + 0,09521 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,8}t + 1,947\right) + 0,2780 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{66,8}t - 1,352\right) + 0,3071 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{184,7}t + 3,027\right)
 \end{aligned}$$



**Rys. 25.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w sierpniu w latach 1700-2100, Obs. Astron – wartości zmierzone w Warszawie w latach 1779-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

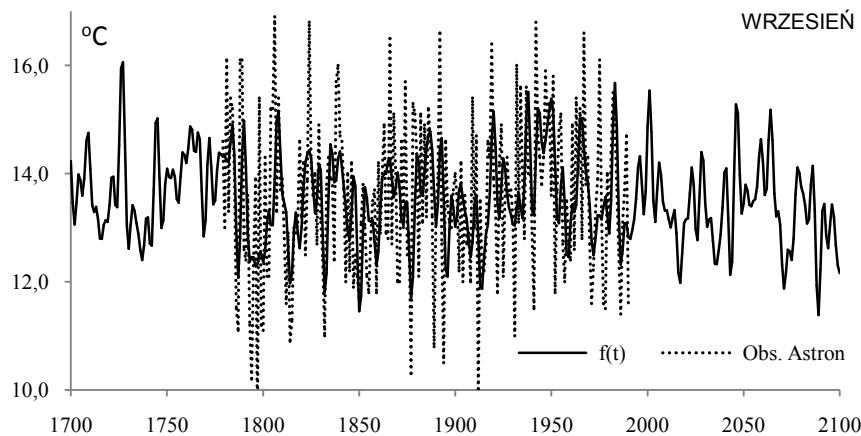
**Fig. 25.** Air temperature changes in Warsaw in August in the years 1700-2100, Obs. Astron – values measured in Warsaw in the years 1779-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



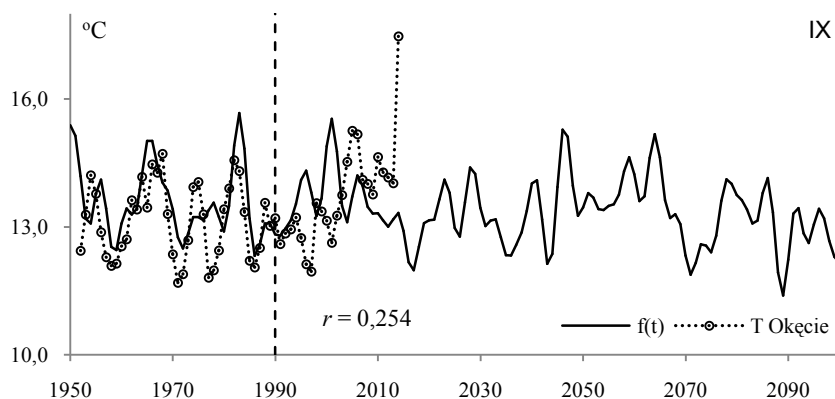
**Rys. 26.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w sierpniu w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzone na Okęcie (średnie konsekwtywne 3- letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 26.** Air temperature changes in Warsaw in August in the years 1951-2100,  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average),  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$\begin{aligned}
 f(t) = & 17,70 + 0,4867 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,9}t - 1,561\right) + 0,3586 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,4}t - 2,180\right) + 0,4471 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,7}t + 0,7338\right) + \\
 & + 0,3415 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,7}t - 2,289\right) + 0,2619 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10,2}t + 1,623\right) + 0,01563 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,6}t + 0,7260\right) + \\
 & + 0,3759 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{16,1}t + 1,513\right) + 0,3984 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{23,2}t + 1,065\right) + 0,2181 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{27,2}t + 0,4237\right) + \\
 & + 0,2443 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{32,5}t + 1,630\right) + 0,3575 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{42,6}t + 2,787\right) + 0,2689 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{132,3}t - 0,2937\right)
 \end{aligned}$$

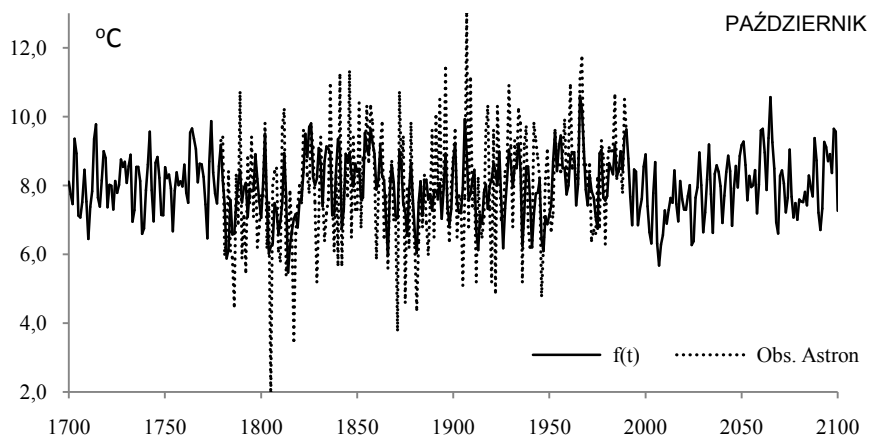


**Rys. 27.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie we wrześniu w latach 1700-2100, Obs. Astron – wartości zmierzone w Warszawie w latach 1779-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 27.** Air temperature changes in Warsaw in September in the years 1700-2100, Obs. Astron – values measured in Warsaw in the years 1779-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



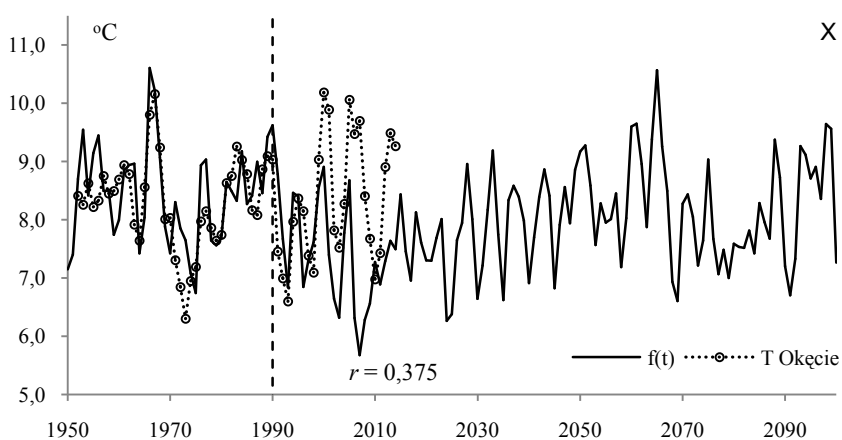
**Rys. 28** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie we wrześniu w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzone na Okęcie (średnie konsekwtywne 3- letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 28.** Air temperature changes in Warsaw in September in the years 1951-2100,  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average),  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$\begin{aligned}
 f(t) = & 13,55 + 0,3607 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,5}t - 0,5727\right) + 0,3917 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,7}t + 2,315\right) + 0,3872 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,4}t + 2,998\right) + \\
 & + 0,2495 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,0}t - 1,483\right) + 0,3246 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,2}t - 0,0388\right) + 0,2340 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,3}t + 1,075\right) + \\
 & + 0,3864 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,9}t + 2,908\right) + 0,4349 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{19,9}t - 0,3241\right) + 0,3529 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{27,4}t + 0,9513\right) + \\
 & + 0,3760 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{57,6}t + 2,642\right) + 0,2080 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{94,3}t + 2,653\right) + 0,2320 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{197,6}t + 2,399\right)
 \end{aligned}$$



**Rys. 29.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w październiku w latach 1700-2100, Obs. Astron – wartości zmierzone w Warszawie w latach 1779-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

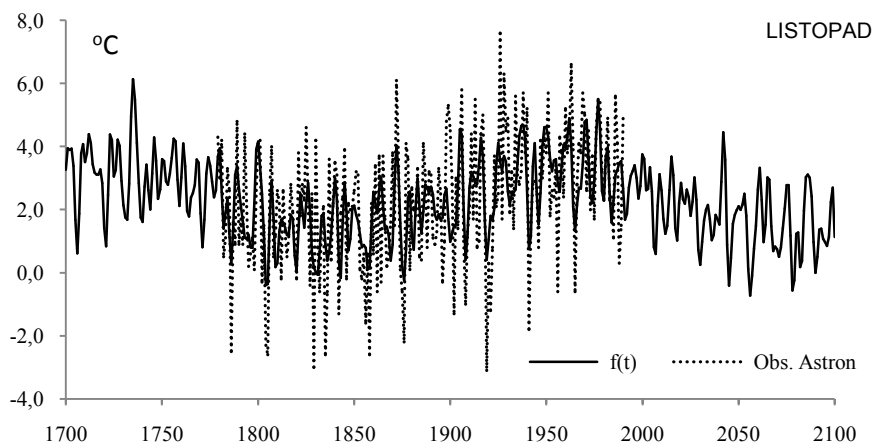
**Fig. 29.** Air temperature changes in Warsaw in October in the years 1700-2100, Obs. Astron – values measured in Warsaw in the years 1779-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 30.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w październiku w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzone na Okęciu (średnie konsekwentne 3-letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

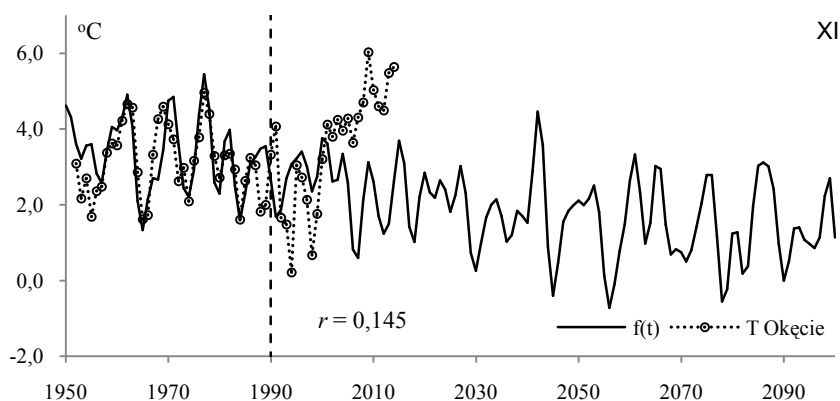
**Fig. 30.** Air temperature changes in Warsaw in October in the years 1951-2035,  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average),  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2035

$$\begin{aligned}
 f(t) = & 7,947 + 0,3587 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{2,6}t - 0,05767\right) + 0,3154 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,5}t + 2,940\right) + 0,5962 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 0,4671\right) + \\
 & + 0,5082 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,5}t - 0,2477\right) + 0,2947 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,5}t - 0,3693\right) + 0,2204 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11,0}t + 1,456\right) + \\
 & + 0,3564 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11,9}t + 2,478\right) + 0,3161 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,9}t + 1,618\right) + 0,3107 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{26,9}t + 3,044\right) + \\
 & + 0,3680 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{32,8}t - 1,880\right) + 0,3488 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{69,0}t + 2,110\right) + 0,3634 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{110,4}t - 2,533\right)
 \end{aligned}$$



**Rys. 31.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w listopadzie w latach 1700-2100, Obs. Astron – wartości zmierzone w Warszawie w latach 1779-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 31.** Air temperature changes in Warsaw in November in the years 1700-2100, Obs. Astron – values measured in Warsaw in the years 1779-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100

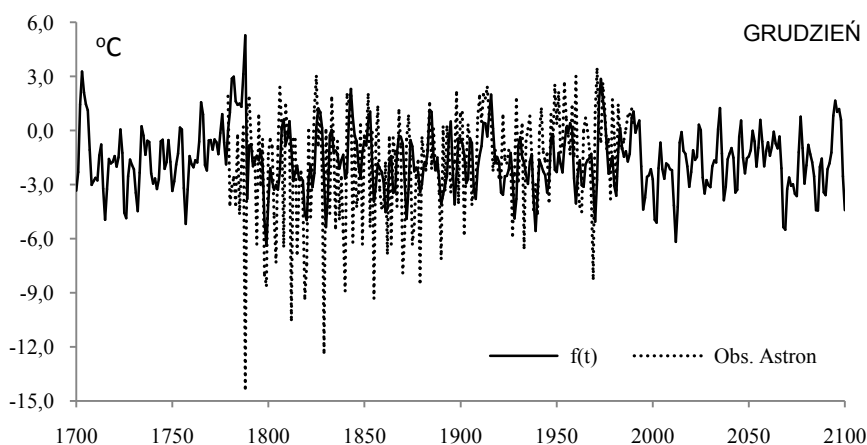


**Rys. 32.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w listopadzie w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzone na Okęciu (średnie konsekwentne 3-letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 32.** Air temperature changes in Warsaw in November in the years 1951-2100  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

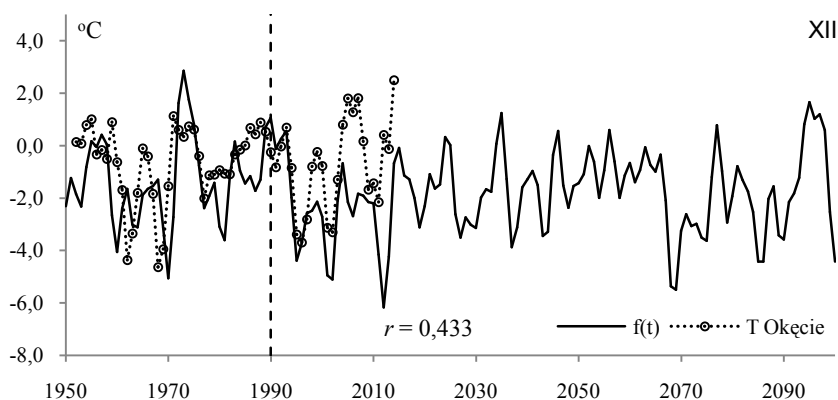
$$\begin{aligned}
 f(t) = & 2,298 + 0,4091 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,8}t - 2,049\right) + 0,4392 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t - 0,09162\right) + 0,5414 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,5}t + 0,6872\right) + \\
 & + 0,5314 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t - 1,297\right) + 0,4160 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,1}t - 2,548\right) + 0,4010 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,0}t - 0,3760\right) + \\
 & + 0,4124 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10,6}t + 1,609\right) + 0,3784 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11,3}t + 0,5833\right) + 0,4124 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,5}t + 2,978\right) + \\
 & + 0,4150 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{22,1}t + 1,712\right) + 0,1572 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{100,4}t + 2,591\right) + 1,008 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{235,6}t + 3,043\right)
 \end{aligned}$$





**Rys. 33.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w grudniu w latach 1700-2100, Obs. Astron – wartości zmierzone w Warszawie w latach 1779-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 33.** Air temperature changes in Warsaw in December in the years 1700-2100, Obs. Astron – values measured in Warsaw in the years 1779-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100

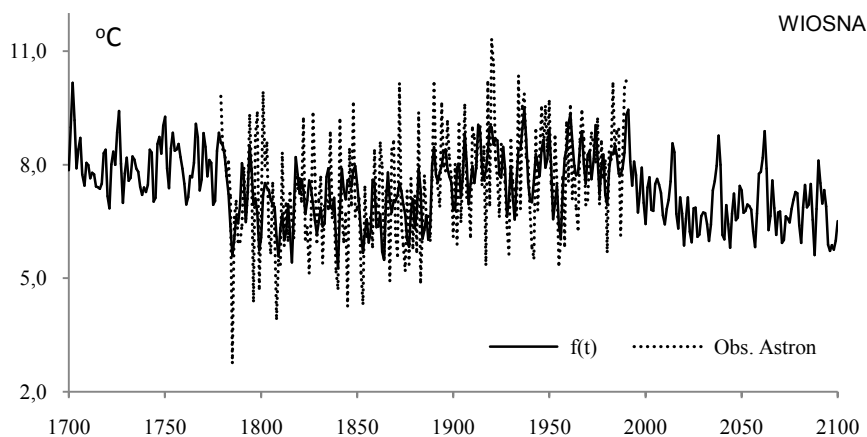


**Rys. 34.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w grudniu w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzony na Okęcie (średnie konsekwtywne 3- letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 34.** Air temperature changes in Warsaw in December in the years 1951-2035,  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average),  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2035

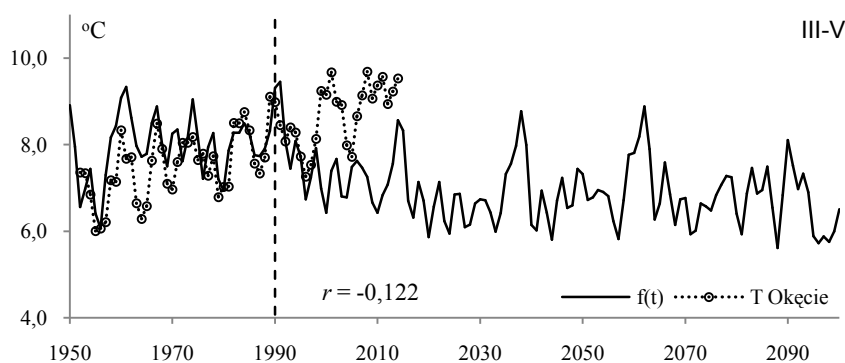
$$\begin{aligned}
 f(t) = & -1,772 + 0,7887 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,5}t + 0,5964\right) + 0,9109 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,2}t - 0,1161\right) + 0,6821 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,1}t + 2,684\right) + \\
 & + 0,7286 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,2}t + 2,833\right) + 0,5307 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,7}t - 0,5709\right) + 0,5956 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10,0}t - 1,923\right) + \\
 & + 0,7504 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,0}t + 1,359\right) + 0,5950 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17,9}t - 3,007\right) + 0,4780 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{20,6}t - 1,243\right) + \\
 & + 0,5682 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{35,4}t + 2,587\right) + 0,5979 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{69,0}t + 2,489\right) + 0,1393 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{109,1}t - 2,996\right)
 \end{aligned}$$

## Weryfikacja prognoz temperatury w porach roku i roku



**Rys. 35.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie wiosną w latach 1700-2100, Obs. Astron – wartości zmierzone w Warszawie w latach 1779-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

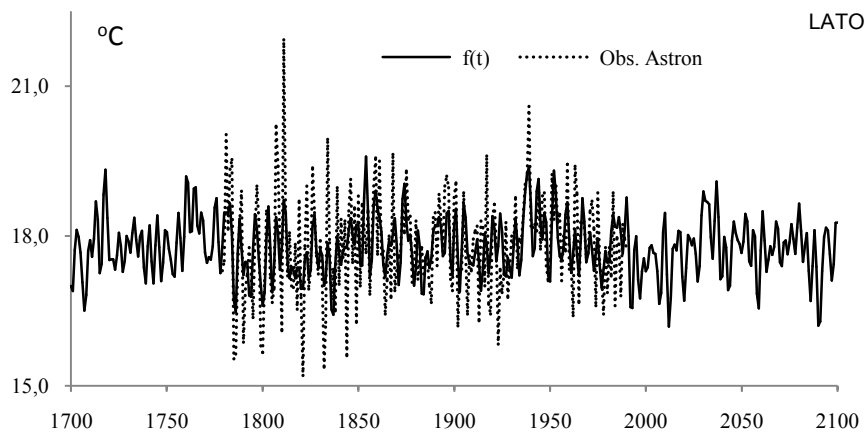
**Fig. 35.** Air temperature changes in Warsaw in spring in the years 1700-2100, Obs. Astron – values measured in Warsaw in the years 1779-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 36.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie wiosną w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzone na Okęciu (średnie konsekwtywne 3-letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

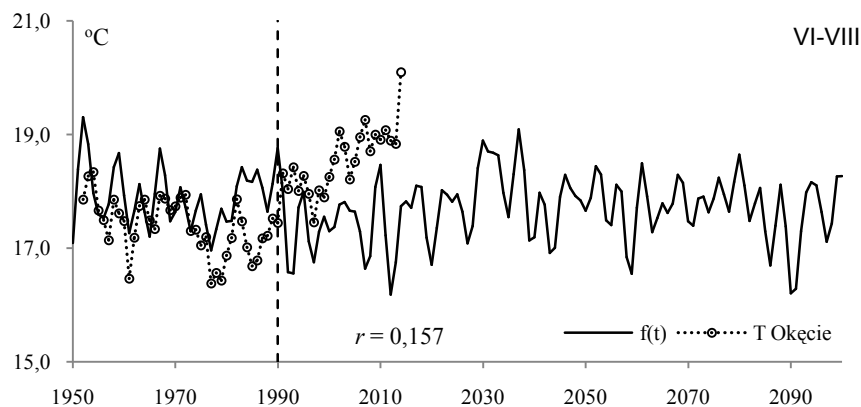
**Fig. 36.** Air temperature changes in Warsaw in spring in the years 1951-2100,  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average),  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$\begin{aligned}
 f(t) = & 7,412 + 0,3608 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,4}t - 0,8782\right) + 0,3866 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,0}t + 2,961\right) + 0,2685 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,9}t + 3,062\right) + \\
 & + 0,3982 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,8}t + 0,6666\right) + 0,3292 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11,2}t + 0,9570\right) + 0,3103 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,9}t + 0,9181\right) + \\
 & + 0,2514 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,2}t + 1,969\right) + 0,4049 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{23,9}t + 2,792\right) + 0,3068 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{72,9}t + 2,789\right) + \\
 & + 0,6986 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{217,5}t + 2,979\right)
 \end{aligned}$$



**Rys. 37.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w lecie w latach 1700-2100, Obs. Astron – wartości zmierzone w Warszawie w latach 1779-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

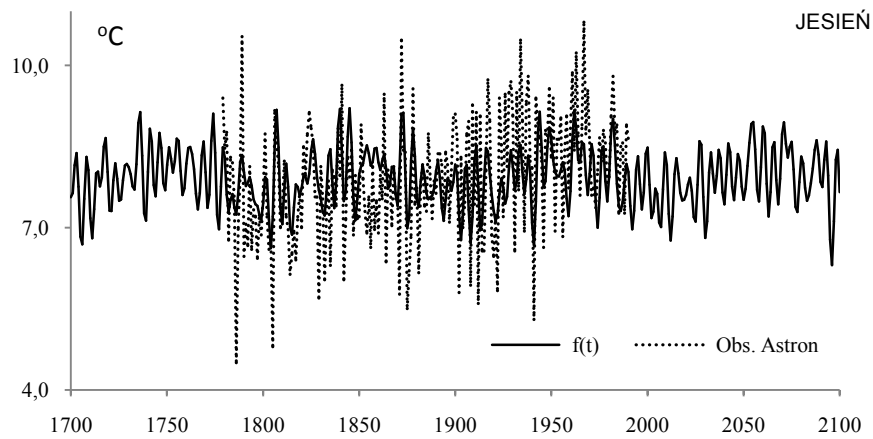
**Fig. 37.** Air temperature changes in Warsaw in summer in the years 1700-2100, Obs. Astron – values measured in Warsaw in the years 1779-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



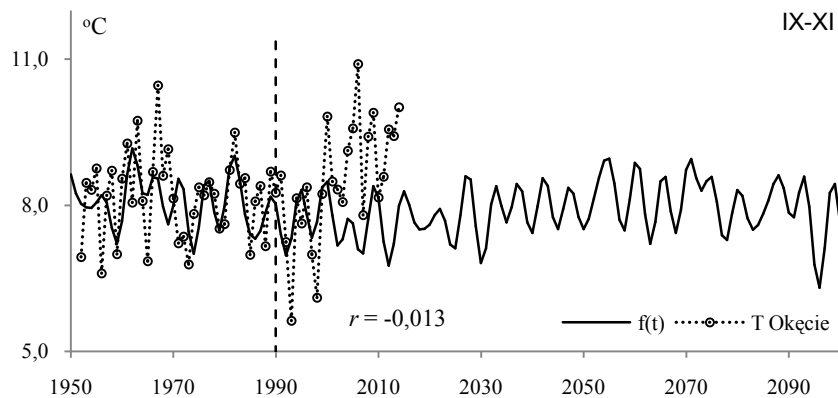
**Rys. 38.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w lecie w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzone na Okęciu (średnie konsekwtywne 3-letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 38.** Air temperature changes in Warsaw in summer in the years 1951-2035,  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average),  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2035

$$\begin{aligned}
 f(t) = & 17,810 + 0,3927 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,9}t + 0,1769\right) + 0,2666 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 1,869\right) + 0,2484 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,2}t - 1,224\right) + \\
 & + 0,2253 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t - 1,737\right) + 0,2747 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,1}t - 1,389\right) + 0,08968 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,4}t - 0,1413\right) + \\
 & + 0,1762 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,8}t - 0,2554\right) + 0,2644 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,9}t + 1,476\right) + 0,2181 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{22,5}t + 0,2921\right) + \\
 & + 0,2304 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{44,0}t - 3,034\right) + 0,2390 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{91,2}t + 2,720\right) + 0,1317 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{208,2}t - 2,804\right)
 \end{aligned}$$

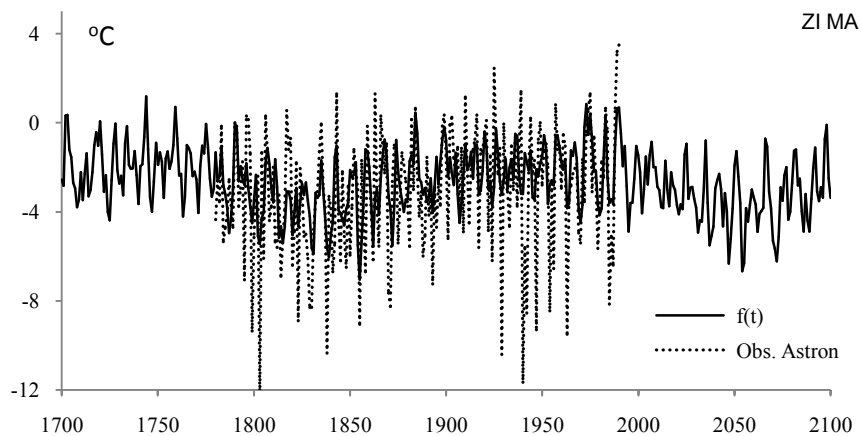


**Rys. 39.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w jesieni w latach 1700-2100, Obs. Astron – wartości zmierzone w Warszawie w latach 1779-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 39.** Air temperature changes in Warsaw in Autumn in the years 1700-2100, Obs. Astron – values measured in Warsaw in the years 1779-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



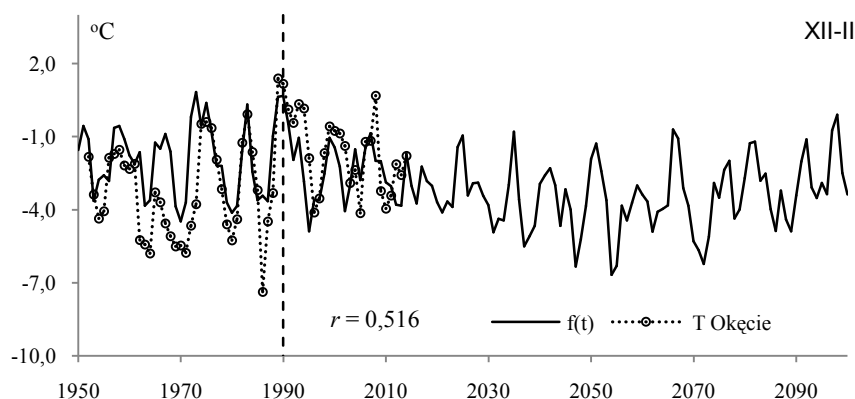
**Rys. 40.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w jesieni w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzone na Okęcie (średnie konsekwtywne 3-letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 40.** Air temperature changes in Warsaw in Autumn in the years 1951-2100,  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average),  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$\begin{aligned}
 f(t) = & 7,904 + 0,3500 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 1,829\right) + 0,3746 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,5}t + 1,330\right) + 0,3181 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t - 0,2453\right) + \\
 & + 0,2107 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,1}t + 0,3758\right) + 0,1822 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,6}t + 2,364\right) + 0,2109 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17,9}t - 2,041\right) + \\
 & + 0,2885 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{104,4}t - 2,927\right)
 \end{aligned}$$



**Rys. 41.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w zimie w latach 1700-2100, Obs. Astron – wartości zmierzone w Warszawie w latach 1779-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

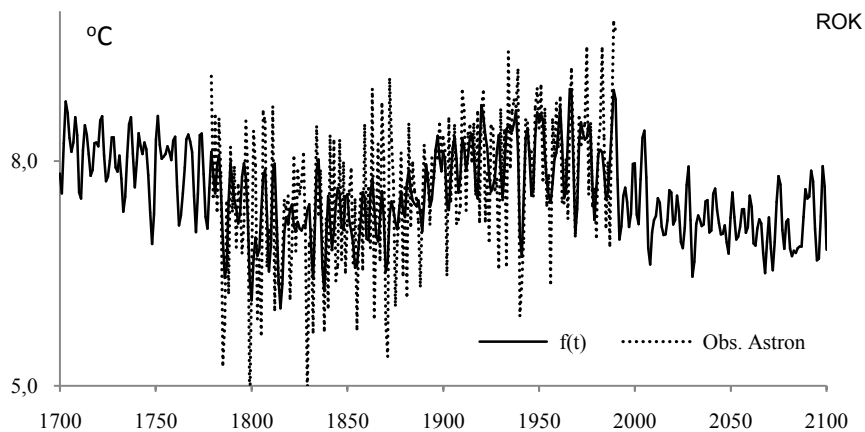
**Fig. 41.** Air temperature changes in Warsaw in winter in the years 1700-2100, Obs. Astron – values measured in Warsaw in the years 1779-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 42.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w zimie w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzone na Okęciu (średnie konsekutywne 3-letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

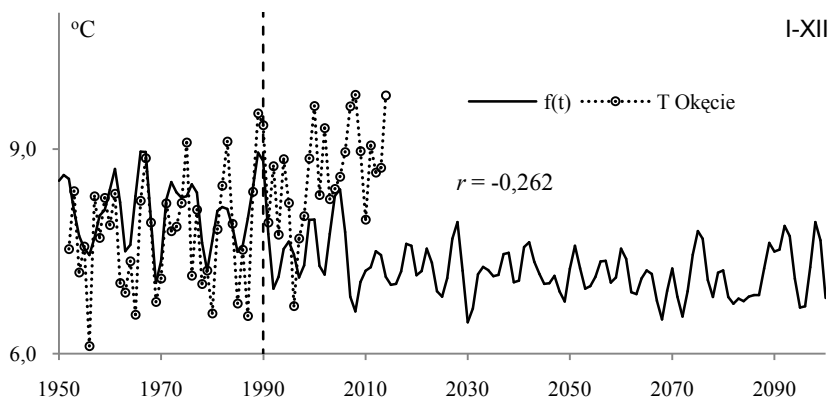
**Fig. 42.** Air temperature changes in Warsaw in winter in the years 1951-2100,  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$\begin{aligned}
 f(t) = & -2,634 + 0,5148 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{2,6}t - 1,327\right) + 0,5715 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,5}t + 0,5523\right) + 0,6238 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,2}t + 0,05656\right) + \\
 & + 0,4422 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,7}t + 2,486\right) + 0,7067 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 0,7303\right) + 0,7836 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,3}t - 2,370\right) + \\
 & + 0,4829 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,7}t - 0,3237\right) + 0,4078 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,9}t + 0,1328\right) + 0,4560 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,2}t + 2,318\right) + \\
 & + 0,4940 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{18,0}t - 3,058\right) + 0,3645 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{113,1}t + 2,040\right) + 0,8946 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{218,3}t + 3,073\right)
 \end{aligned}$$



**Rys. 43.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w roku w latach 1700-2100, Obs. Astron – wartości zmierzone w Warszawie w latach 1779-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 43.** Air temperature changes in Warsaw in year in the years 1700-2100, Obs. Astron – values measured in Warsaw in the years 1779-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 44.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w roku w latach 1951-2100,  $T$  – wartości zmierzone na Okęcie (średnie konsekutywne 3- letnie),  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 44.** Air temperature changes in Warsaw in year in the years 1951-2100,  $T$  – values measured in Okęcie (3-year moving average,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$\begin{aligned}
 f(t) = & 7,606 + 0,2652 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 2,068\right) + 0,1975 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,5}t + 1,195\right) + 0,1861 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,7}t + 2,770\right) + \\
 & + 0,1016 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t + 1,393\right) + 0,1769 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,4}t - 0,6569\right) + 0,2681 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 0,6979\right) + \\
 & + 0,1801 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,9}t + 0,3615\right) + 0,1532 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,0}t + 1,007\right) + 0,1676 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17,7}t - 3,014\right) + \\
 & + 0,1229 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{69,7}t + 2,516\right) + 0,5475 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{223,9}t - 3,085\right)
 \end{aligned}$$

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, nr. 2, s. 16-22.

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.

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, z. 3-4, s. 343-362.

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.

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. LX, z. 3-4, s. 133-161.

Boryczka J. Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2015, *Zależność przebiegu rocznego temperatury powietrza od aktywności Słońca (na przykładzie Warszawy (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. 363-375.

## IX . WERYFIKACJA PROGNOZ ZMIAN KLIMATU EUROPY W LATACH 1970-2100 OPUBLIKOWANYCH W ATLASIE T. XVII (2003), T. XIX (2005), T. XX-XXI (2007)

Dłuższe serie pomiarowe temperatury powietrza wraz z wpływem czasu umożliwiają weryfikację opracowanych wcześniej prognoz.

Wspomniane prognozy były opracowane na podstawie długich serii pomiarów temperatury w różnych miejscach Europy i były już częściowo sprawdzane (Boryczka i in., 2012 a, b, c)

Celem tego rozdziału jest weryfikacja prognoz zmian temperatury powietrza do roku 2100 w różnych miejscach Europy, opublikowanych w trzech tomach czasopisma *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, dotyczących zimy i lata (t. XVII), miesięcy styczeń i lipiec (t. XIX) oraz średniej rocznej (t. XX-XXI):

- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Kirchenstein M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2003, t. XVII. *Mroźne zimy i upalne lata w Polsce*, Wyd. UW, ss.297; rozdz. V *Zmiany temperatury powietrza w Europie w XVIII-XX wieku. Prognozy po rok 2100*, s. 31-171.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Pietras K., Bijak S., J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2005, t. XIX. *Cechy termiczne klimatu Europy*, Wyd. UW, ss.184; rozdz. IV. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w ostatnich stuleciach*, s. 35-131.
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Bijak S., Cebulski R., Błażek E., Skrzypczuk J., 2007, t. XX-XXI. *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych*, Wyd. UW, ss. 226; rozdz. III. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w XIX-XXI wieku*, s. 97-126.

Zweryfikowano prognozy zmian temperatury powietrza (do roku 2100) w 10 miastach wybranych spośród 40 miejsc Europy (rys.1):

1. Anglia środkowa (1659-1993), Greenwich (1659-1969),
2. Paryż (1767-1995)
3. Berlin (1769-1990),
4. Warszawa (1779-1998 i 1779-2002)
5. Moskwa (1780-2002),
6. Sztokholm (1756-1994)
7. Zurych (1864-1970)
8. Rzym (1811-1989).
9. Wiedeń (1775-2002)
10. Kijów (1812- 2002)

Prognozy temperatury powietrza na podstawie danych z 40 miast na obszarze Europy są opracowane według cykli wyznaczonych metodą sinusoid regresji (Boryczka, 1998).

Wyniki pomiarów  $y_1, \dots, y_n$ , wykonane w dowolnych odstępach czasu  $t_1, \dots, t_n$ , czyli punkty empiryczne  $(y_i, t_i)$  aproksymowano kolejnymi sinusoidami regresji o okresie  $\theta$ , amplitudzie  $b$  i fazie  $c$ , z „krokiem”  $\Delta\theta = 0,1$  roku:

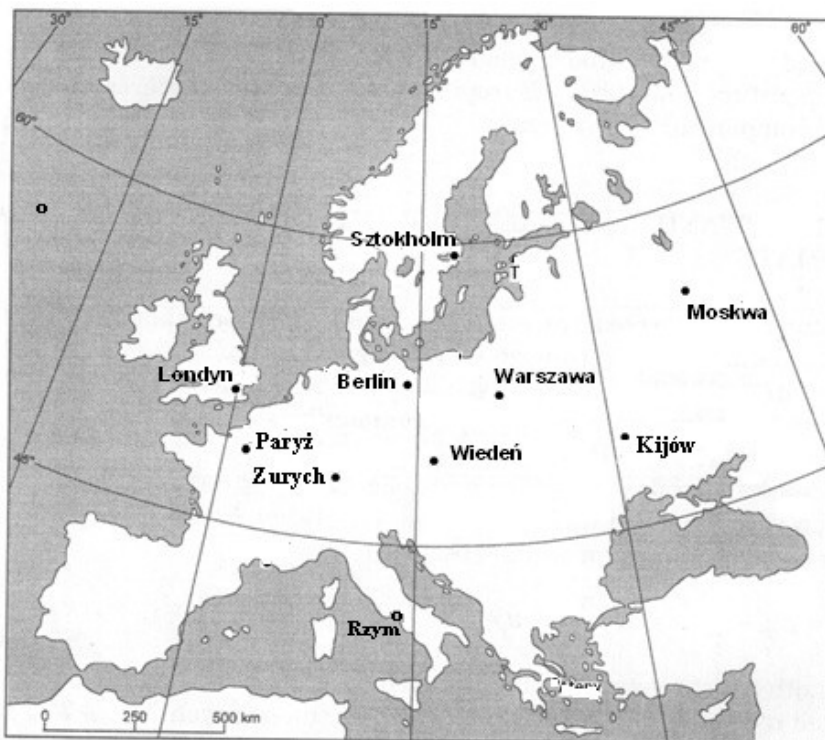
$$y = a_o + b \sin \left( \frac{2\pi}{\theta} t + c \right)$$

Prognozowano według interferencji  $k$  najistotniejszych statystycznie („najsilniejszych”) cykli  $F(t)$  lub  $f(t)$  – bez składnika liniowego ( $at=0$ ):

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



Prognozy temperatury powietrza w tych 10 wybranych miejscowościach w: zimie, lecie, styczniu, lipcu i roku otrzymano według interferencji cykli o okresach  $\Theta$ , amplitudach  $b$  i fazach  $c$  ( tab. 1-10). W przypadku kolejnych cykli średniej rocznej (rok) podano również wartości współczynnika korelacji  $R$  i testu Fishera-Snedecora  $F_{obl}$ .



**Rys. 1.** Rozmieszczenie stacji meteorologicznych w Europie  
**Fig.1.** Location of meteorological stations in Europe

Weryfikacja tych prognoz obecnie polega na zbadaniu synchroniczności przebiegów (koincydencji ekstremów) wartości temperatury zmierzonych ( $T_i$ ) i prognozowanych  $F(t)$ ,  $f(t)$  – na ocenie istotności korelacji, z zastosowaniem testu t- Studenta.

Weryfikacji poddano 50 prognoz zmian temperatury powietrza w 10 miastach (zima, lato, styczeń, lipiec, rok) (rys.2-52).

W weryfikacji wykorzystano późniejsze wyniki pomiarów na stacjach: Londyn (Gatwick, 1951-2012), Paryż (Montsouris, 1951-2011), Berlin (Dahlem, 1951-2012), Warszawa (Okęcie, 1951-2016), Moskwa (1951-2012), Sztokholm (1951-2012), Zurych (1951-2012), Rzym (1951-2012), Wiedeń (1951-2012) i Kijów (1951-2012).

W niektórych przypadkach dane te pochodzą z innej stacji w danym mieście niż będąca podstawą do prognoz seria historyczna.

Materiały źródłowe z Warszawy do roku 2016 stanowią średnie miesięczne wartości temperatury powietrza – pochodzące z archiwum PIHM i IMGW. Dane a z pozostałych stacji do roku 2012 (tylko z Paryża do 2011) pochodzą z bazy danych ze strony internetowej European Climate Assessment and Dataset (ECA&D).

## 9.1. Weryfikacja prognoz zmian temperatury powietrza w: Anglii środkowej (1659-1993), Greenwich (1659-1969), Paryżu (1767-1995), Berlinie (1769-1990) i Warszawie (1779-1998, 1779-2002)

### Ocena prognoz zmian temperatury w Anglii środkowej w latach 1974-2100 według danych z 1659-1973, 1763-1969 (Greenwich) i 1951-2012 (Londyn)

Najpierw zweryfikowano prognozy temperatury powietrza w środkowej w Anglii w latach 1974-2100. 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, lecie, styczniu, lipcu i roku otrzymano według interferencji cykli o okresach  $\Theta$ , amplitudach  $b$  i fazach  $c$ . (tab.1, tab.1a).

**Tabela 1.** Cykle temperatury powietrza w Anglii środkowej (1659-1973) – zima, lato, styczeń  
**Table 1.** The cycles of air temperature in Central England (1659-1973) – winter, summer, January

Anglia środkowa (1659-1973)								
Zima			Lato			Styczeń		
$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$
3,8	0,2375	0,9613	8,3	0,142	1,5806	3,1	0,31	0,3097
5,7	0,2413	2,4024	10,0	0,165	3,1172	5,2	0,359	0,3585
7,7	0,2476	-1,0155	12,8	0,179	0,3075	5,7	0,343	0,3425
14,8	0,2991	0,8132	15,4	0,171	-0,7408	7,7	0,461	0,4614
17,9	0,1972	0,4918	24,0	0,234	0,7532	8,2	0,316	0,3164
23,9	0,1837	-1,6594	32,8	0,176	2,0067	11,7	0,312	0,3122
67,4	0,1667	-1,9611	38,7	0,129	0,2753	12,4	0,488	0,4877
99,3	0,1929	-1,4847	55,1	0,142	-0,3875	16,6	0,399	0,399
166,9	0,2399	-0,6724	72,1	0,148	2,3921	62,4	0,43	0,4303
			103	0,073	1,0459	95,1	0,113	0,1130
			205	0,184	-2,5291	191,1	0,516	0,5157

**Tabela 1a.** Cykle temperatury powietrza w w Anglii środkowej (1659-1973) – lipiec, rok i Greenwich (1763-1969) – rok

**Table 1a.** The cycles of air temperature in Central England (1659-1973) – July, year and in Greenwich (1763-1969) –year

Anglia środkowa (1659-1973)							Greenwich (1763-1969)					
Lipiec			Rok				Rok					
$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$R$	$F_{obl}$	$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$R$	$F_{obl}$
3,1	0,2280	-2,4070	3,1	0,1036	-2,4306	0,12	2,41	3,1	0,2166	-2,3153	0,21	4,80
5,7	0,1823	0,4946	5,2	0,1025	0,3497	0,12	2,41	7,8	0,2208	0,1639	0,21	4,40
6,7	0,1889	-1,6815	7,4	0,131	-2,6816	0,14	3,24	11,2	0,1375	2,8657	0,14	1,90
8,3	0,1550	1,1936	11,1	0,0984	-0,5946	0,11	1,99	12,8	0,1804	0,4339	0,18	3,10
9,9	0,2061	-1,6529	12,5	0,1182	3,0315	0,14	3,24	25,2	0,1864	-1,1924	0,18	3,40
10,7	0,1977	-2,6230	15,0	0,1585	-1,3052	0,18	5,36	41,3	0,1245	0,3948	0,16	2,70
11,1	0,1289	-0,9304	23,6	0,2225	-0,7558	0,24	9,78	79,1	0,1942	-2,0044	0,20	4,20
11,6	0,2005	-3,0246	73,3	0,1308	-1,8491	0,20	6,23	98,1	0,0336	-0,4643	0,18	3,40
15,3	0,2804	0,5722	103,3	0,1844	2,7980	0,29	14,00					
24,6	0,3371	-0,2976	176,7	0,1073	1,9763	0,23	8,88					
99,1	0,0987	-2,9463										
169,6	0,2063	-1,1420										

Funkcje trendów czasowych – to wypadkowe interferencji cykli  $F(t)$  – ze składnikami liniowymi  $a_0+at$ ,  $f(t)$  – bez składnika liniowego ( $at=0$ ). Dokładność aproksymacji serii pomiarowej charakteryzuje współczynnik korelacji wielokrotnej  $R$

Są one wypadkową nakładania się cykli: zima (9), lato (11), styczeń (11), lipiec (12), rok (10) oraz rok w Greenwich (8) cykli obecnych w widmach temperatury powietrza, w tym najdłuższych: zima (99,3 i 166,9 lat), lato (102,5 i 204,6), styczeń (95,1 i 191,1), lipiec (99,1 i 169,6), rok (103,3 i 176,7 lat) oraz rok w Greenwich (79,1 i 98,1), ze składnikami liniowymi  $a_0+at$  o współczynnikach korelacji  $R$ :

Anglia środkowa		
Zima	$F(t) = -1,971515 + 0,003075 t + \dots$ ,	$R=0,421$
Lato	$F(t) = 15,61793 - 0,00020 t + \dots$ ,	$R=0,496$
Styczeń	$F(t) = -4,58013 + 0,004174 t + \dots$ ,	$R=0,477$
Lipiec	$F(t) = 16,83203 - 0,00052 t + \dots$ ,	$R=0,466$
Rok	$F(t) = 7,326083 + 0,000989 t + \dots$ ,	$R=0,574$
Greenwich		
Rok	$F(t) = 0,12291 + 0,005166 t + \dots$ ,	$R=0,629$

Na przykład w Anglii środkowej w zimie w latach 1659-1973 funkcja prognostyczna na  $F(t)$  uwzględnia tendencję wzrostową  $\frac{\partial F}{\partial t} = a = 0,003075$  °C/rok = 0,3075 °C/100lat.

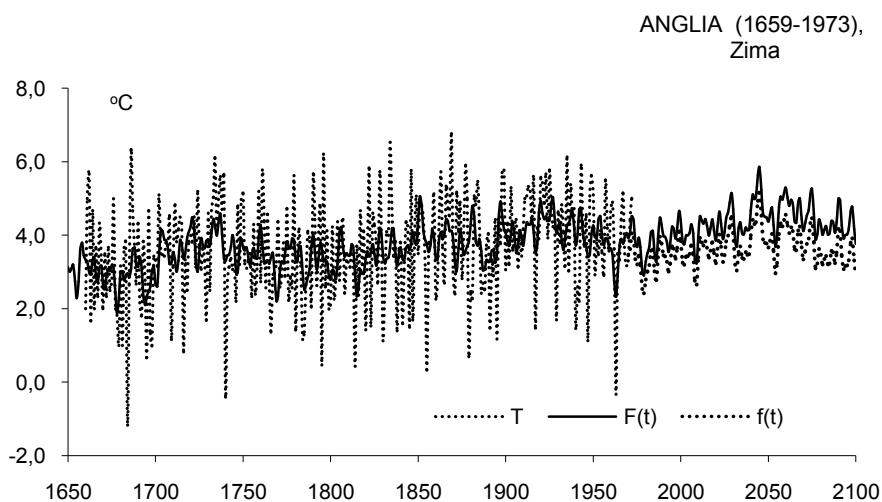
$$F(t) = -1,971515 + 0,003075 t + \sum_{j=1}^9 b_j \sin\left(\frac{2\pi}{\theta_j} t + c_j\right)$$

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. 2-7).

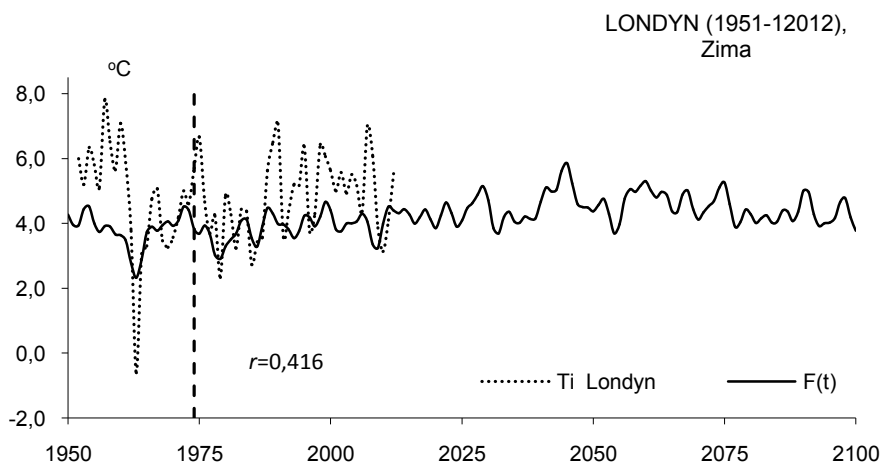
Wiarygodność prognoz wynika także z dość dużych współczynników korelacji między wartościami zmierzonymi w Londynie  $T_i$  i obliczonymi według interferencji cykli temperatury  $f(t)$  w środkowej Anglii: zima (rys. 2a, 2b, 2c) –  $r = 0,416$  ( $r_{0,05} = 0,310$ ) i lato (rys. 3a, 3b, 3c) –  $r = 0,214$  ( $r_{0,10} = 0,250$ ), które są istotne na poziomie 0,05 i w przybliżeniu 0,10. W przypadku średnich konsekwentnych 3-letnich wartości temperatury współczynniki korelacji zima:  $r_3 = 0,535$  i lato –  $r = 0,317$  są istotne na poziomach 0,01 ( $r_{0,01} = 0,418$ ) i 0,05. W styczniu (rys. 4a, 4b) współczynnik korelacji  $r = 0,372$  między  $T_i$  i  $F(t)$  jest istotny na poziomie 0,05, a w lipcu (rys. 5a) współczynnik korelacji jest zbliżony do zera, a nawet ujemny ( $r = -0,030$ ). Średnia roczna temperatura (3-letnia konsekwentna) w Londynie jest skorelowana z prognozowaną w Anglii środkowej ( $r_3 = 0,235$ ) na poziomie zbliżonym do 0,10.

Bardziej wiarygodne są prognozy średniej rocznej temperatury powietrza (I-XII) w Greenwich w latach 1970-2100 (Stopa-Boryczka i in, 2007, str.100) niż według danych serii Manleya. Otrzymano je na podstawie interferencji cykli temperatury o okresach  $\theta$ , amplitudach  $b$  i fazach  $c$  (tab. 1a),  $F(t)$  – ze składnikiem liniowym  $at$  i  $f(t)$ , gdy  $at=0$ . 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. 7a, 7b, 7c, 7d).

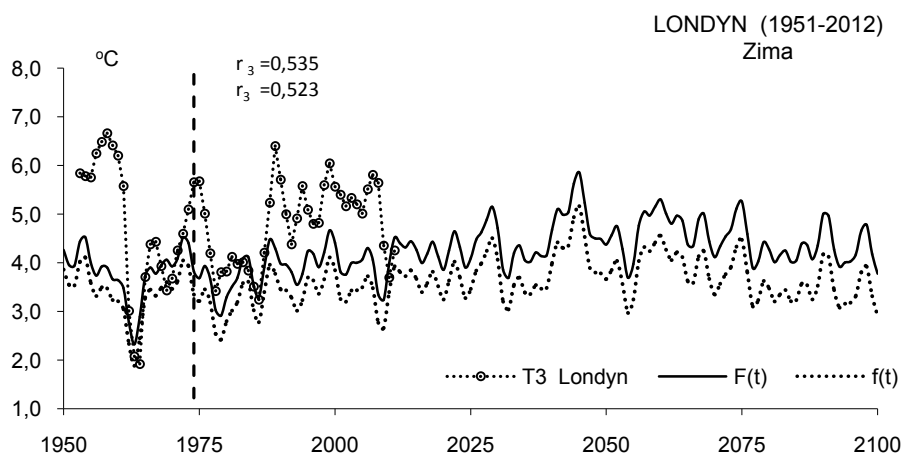
O trafności prognoz temperatury powietrza w Greenwich  $F(t)$  świadczy przede wszystkim duży współczynnik korelacji między średnią roczną temperaturą powietrza w Londynie ( $T_i$ ) i prognozowaną według interferencji cykli  $F(t)$  temperatury w Greenwich: rok (I-XII) –  $r = 0,492$  ( $n = 43$ ), który jest istotny na poziomie 0.001 ( $r_{0,001} = 0,470$ ). W przypadku średnich konsekwentnych 3-letnich korelacja  $r = 0.530$  jest jeszcze silniejsza (istotna na poziomie  $< 0,001$ )



**Rys. 2.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Anglii, 1659-2100;  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1974-2100  
**Fig. 2.** Changes of mean air temperature in winter in England (1659-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1974-2100

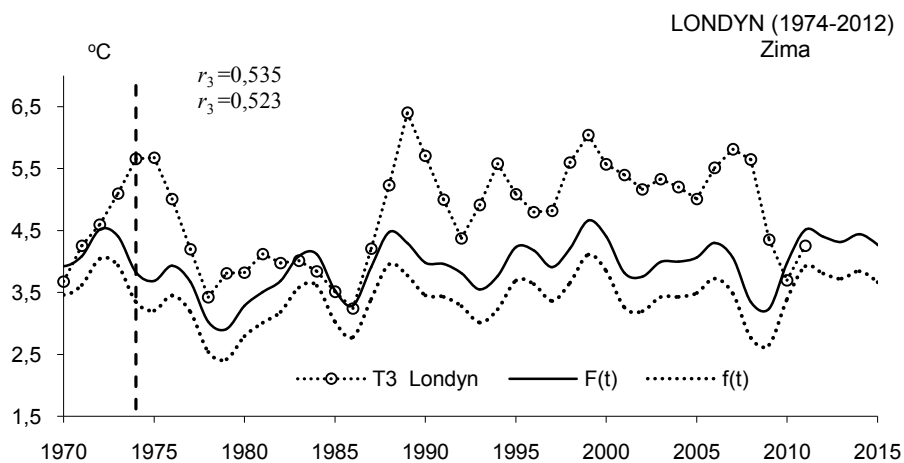


**Rys. 2a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Anglii (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone (Londyn-Gatwick, 1951-2012),  $F(t)$  – wartości obliczone z prognozą na lata 1974-2100  
**Fig. 2a** Changes of mean air temperature in winter in England (1951-2100);  $T_i$  – measured values (London-Gatwick, 1951-2012),  $F(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1974-2100



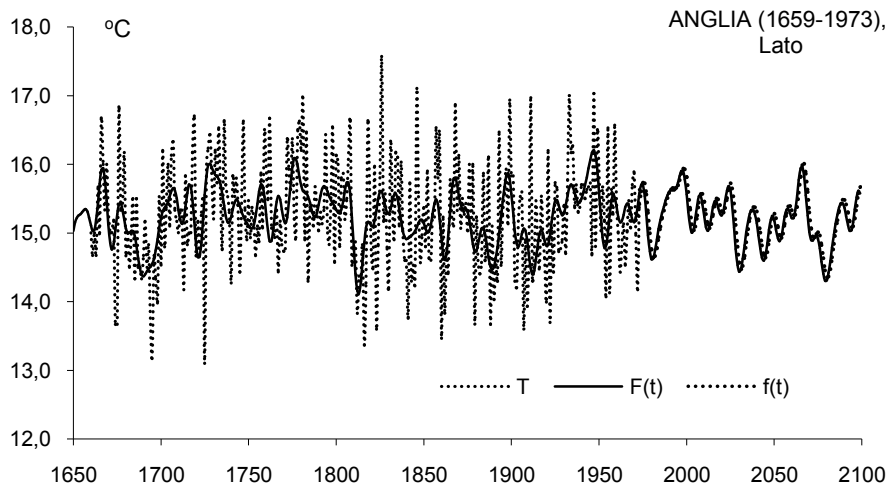
**Rys. 2b.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Anglii (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie (Londyn-Gatwick, 1951-2012,  $F(t), f(t)$ ) – wartości obliczone, z prognozą na lata 1974-2100

**Fig. 2b** Changes of mean air temperature in winter in England (1951-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average (London-Gatwick, 1951-2012,  $F(t), f(t)$ ) – calculated values, with forecast for the years 1974-2100



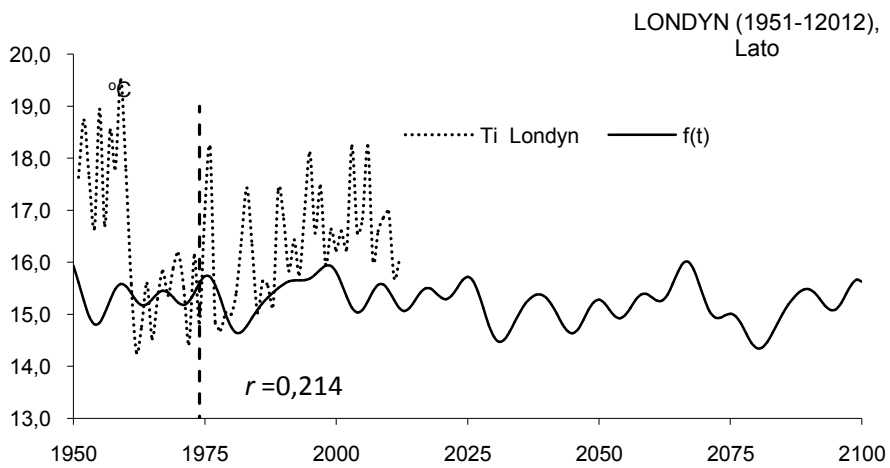
**Rys. 2c** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Anglii (Londyn-Gatwick, 1974-2012);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie,  $F(t), f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1974-2100

**Fig. 2c** Changes of mean air temperature in winter in England (London-Gatwick, 1974-2012);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average,  $F(t), f(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1974-2100



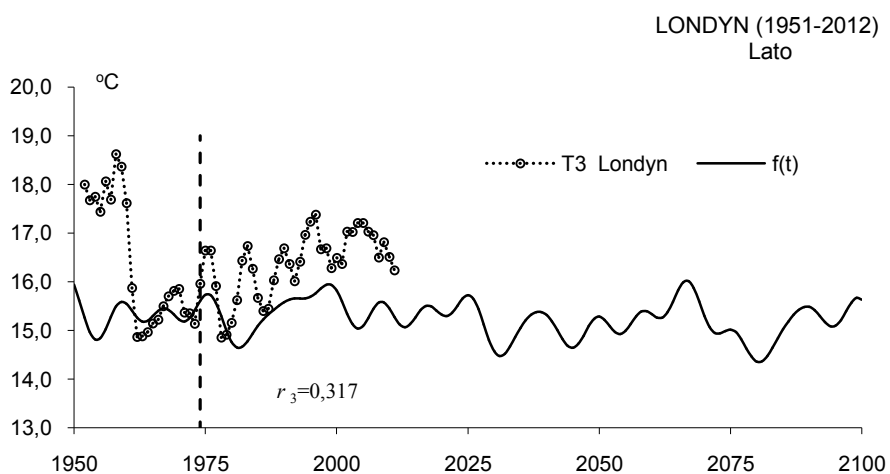
**Rys. 3.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Anglii, 1659-2100;  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1974-2100

**Fig. 3.** Changes of mean air temperature in summer in England (1659-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1974-2100



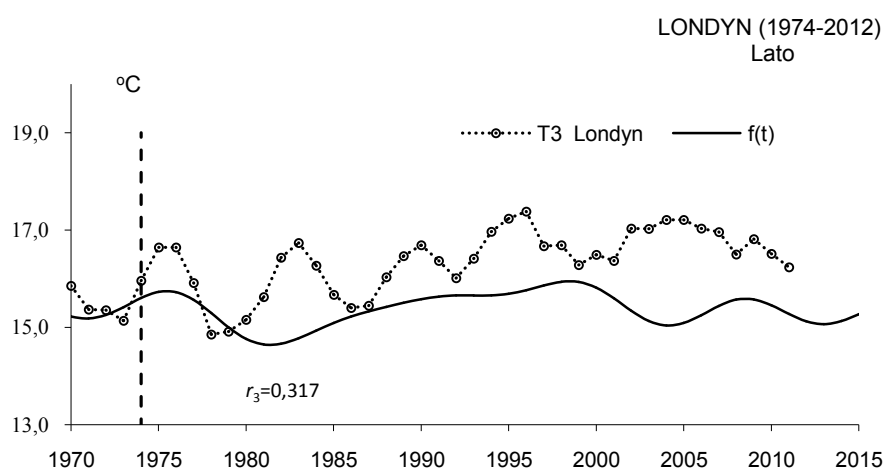
**Rys. 3a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Anglii (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone (Londyn-Gatwick, 1951-2012);,  $f(t)$  – wartości obliczone z prognozą na lata 1974-2100

**Fig. 3a** Changes of mean air temperature in summer in England (London, 1951-2012);  $T_i$  – measured values (London-Gatwick, 1951-2012);,  $f(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1974-2100



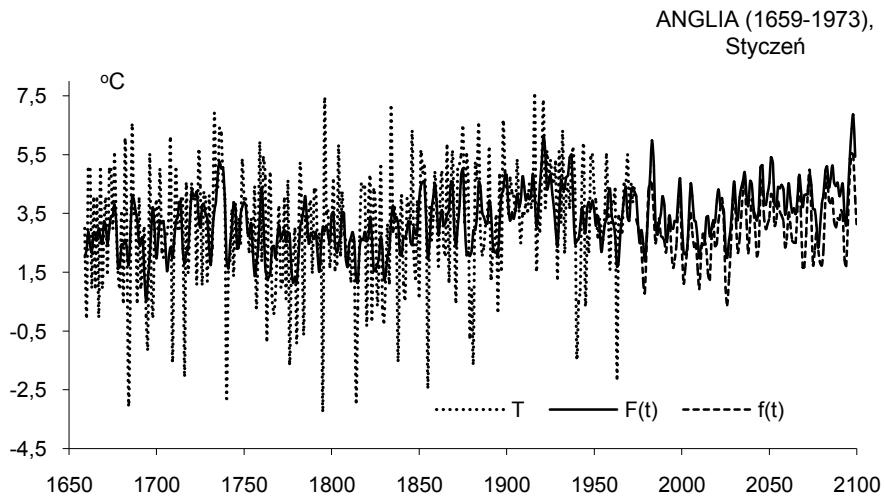
**Rys. 3b.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Anglii (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie (Londyn-Gatwick, 1951-2012),  $f(t)$  – wartości obliczone (1659-1973), z prognozą na lata 1974-2100

**Fig. 3b** Changes of mean air temperature in summer in England (1951-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average (London-Gatwick, 1951-2012),  $f(t)$  – calculated values (1659-1973), with forecast for the years 1974-2100

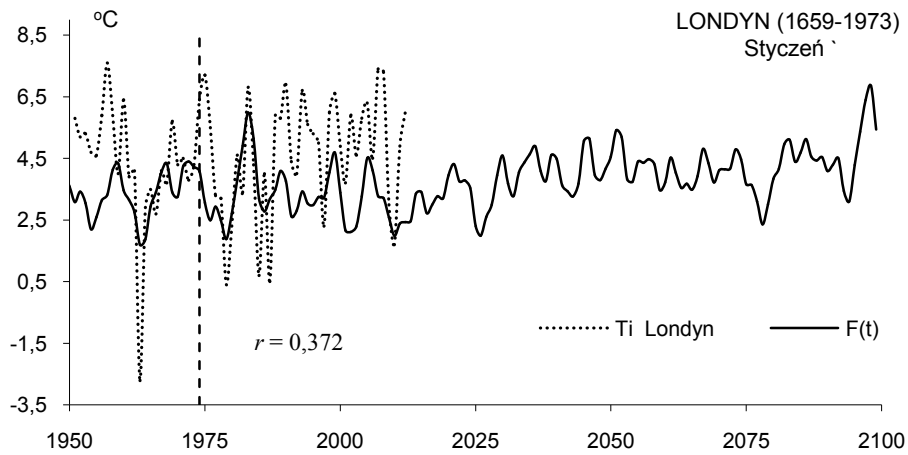


**Rys. 3c.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Anglii (1974-2012);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie (Londyn-Gatwick, 1974-2012),  $f(t)$  – wartości obliczone (1659-1973), z prognozą na lata 1974-2012

**Fig. 3c** Changes of mean air temperature in summer in England (1974-2012);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average (London-Gatwick, 1974-2012),  $f(t)$  – calculated values (1659-1973), with forecast for the years 1974-2012

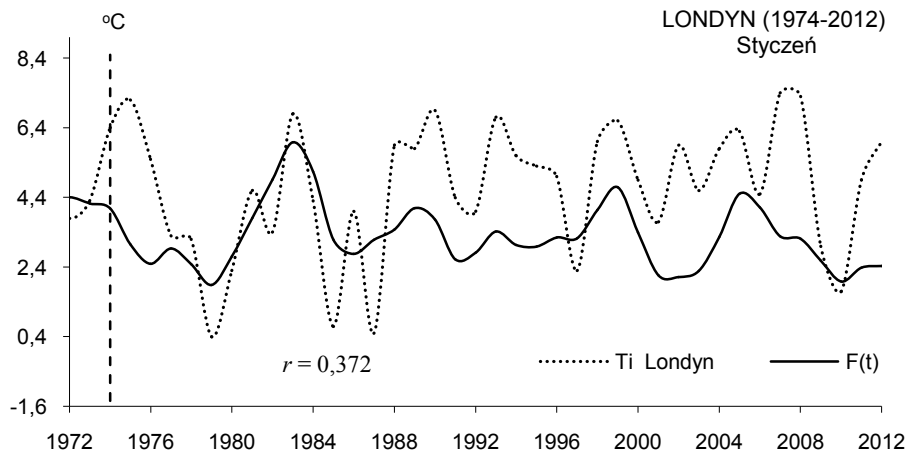


**Rys. 4.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Anglii (1659-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1974-2100  
**Fig. 4.** Changes of mean air temperature in January in England (1659-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1974-2100

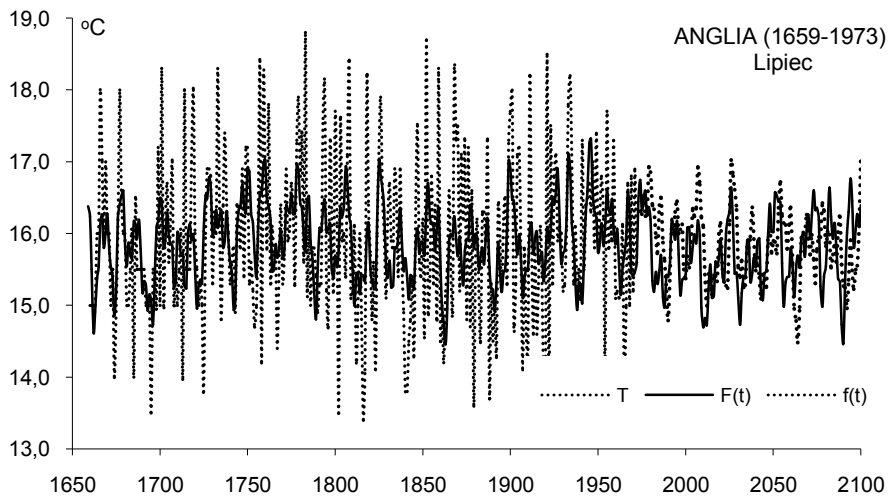


**Rys. 4a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Anglii (1951-2100),  $T_1$  – wartości zmierzone (Londyn, 1951-2012);  $F(t)$  – wartości obliczone z prognozą na lata 1974-2100  
**Fig. 4a** Changes of mean air temperature in January in England (1951-2100);  $T_1$  – measured values (London, 1951-2012),  $F(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1974-2100

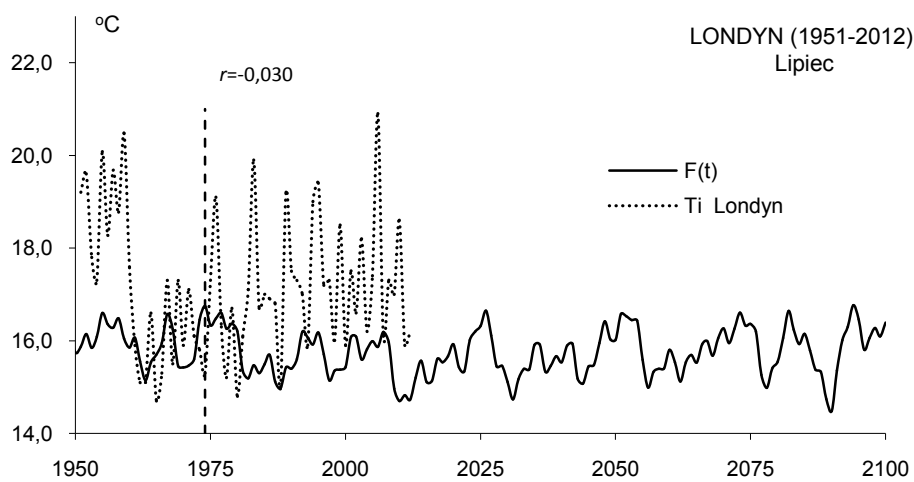




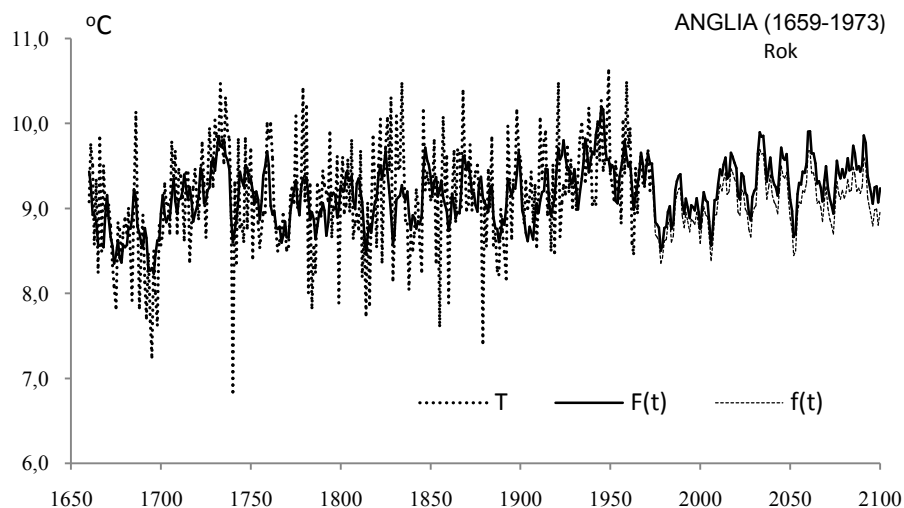
**Rys. 4b.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Anglii (1974-2012),  $T_i$  – wartości zmierzone (Londyn, 1974-2012);  $F(t)$  – wartości obliczone z prognozą na lata 1974-2012  
**Fig. 4b** Changes of mean air temperature in January in England (1974-2012);  $T_i$  – measured values (London, 1974-2012),  $F(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1974-2100



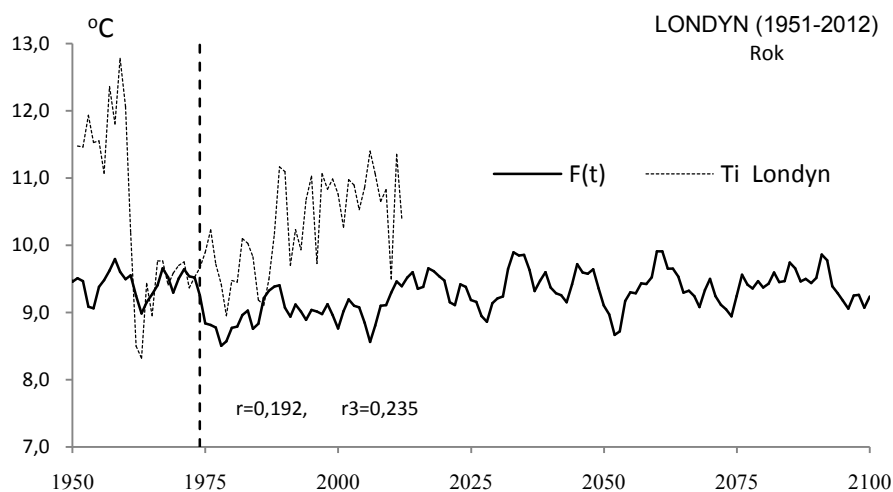
**Rys. 5** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Anglii (1659-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1974-2100  
**Fig. 5.** Changes of mean air temperature in July in England (1659-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1974-2100



**Rys. 5a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Anglii (1951-2100),  $T_i$  – wartości zmierzone (Londyn, 1951-2012);  $F(t)$  – wartości obliczone z prognozą na lata 1974-2100  
**Fig. 5a** Changes of mean air temperature in July in England (1951-2100);  $T_i$  – measured values (London, 1951-2012),  $F(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1974-2100

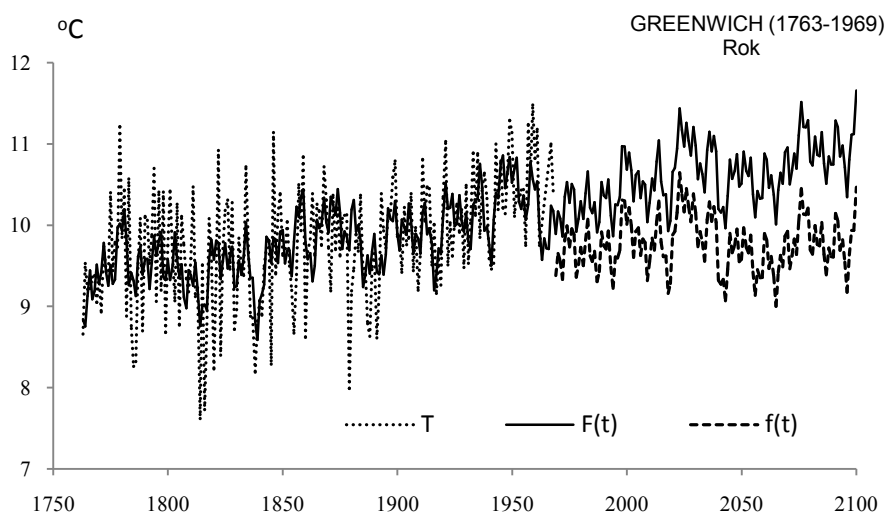


**Rys. 6** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Anglii (1659-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1974-2100  
**Fig. 6.** Changes of yearly mean air temperature in England (1659-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1974-2100



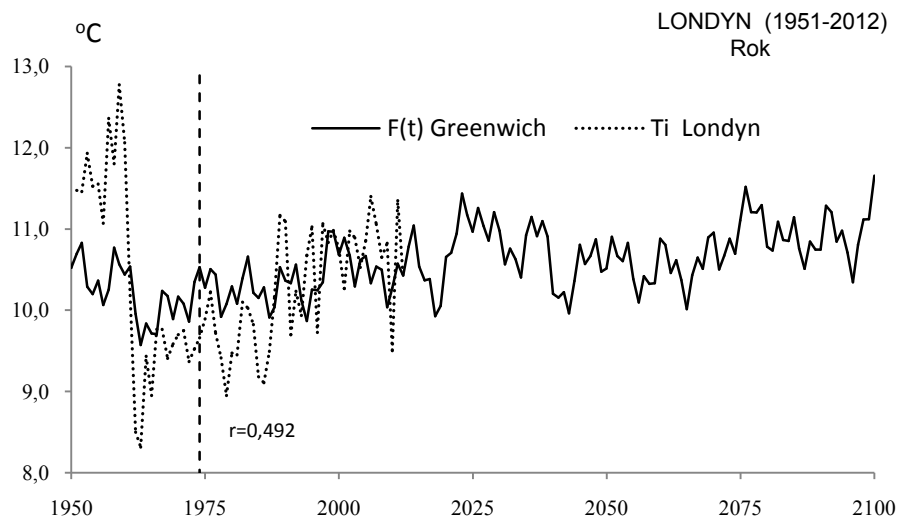
**Rys. 6a.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Anglii (1951-2100),  $T_i$  – wartości zmierzone (Londyn, 1951-2012);  $F(t)$  – wartości obliczone z prognozą na lata 1974-2100

**Fig. 6a** Changes of yearly mean air temperature in England (1951-2100);  $T_i$  – measured values (London, 1951-2012),  $F(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1974-2100

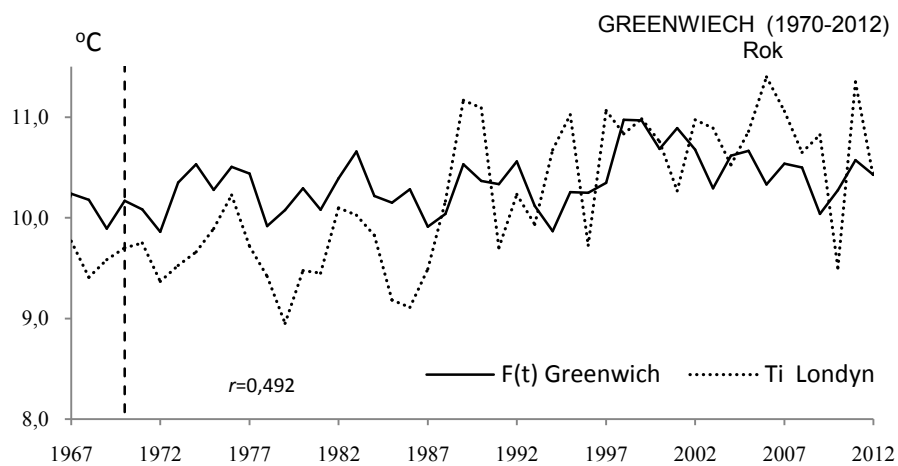


**Rys. 7** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Greenwich (1763-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1970-2100

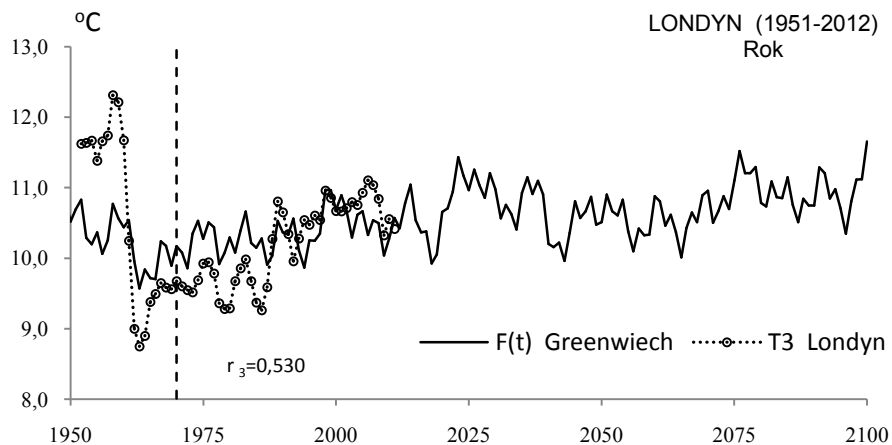
**Fig. 7.** Changes of yearly mean air temperature in Greenwich (1763-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1970-2100



**Rys. 7a.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Greenwich (1951-2100),  $T_i$  – wartości zmierzone (Londyn, 1951-2012);  $F(t)$  – wartości obliczone z prognozą na lata 1970-2100 (Greenwich)  
**Fig. 7a** Changes of yearly mean air temperature in Greenwich (1951-2100);  $T_i$  – measured values (London, 1951-2012),  $F(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1970-2100 (Greenwich)

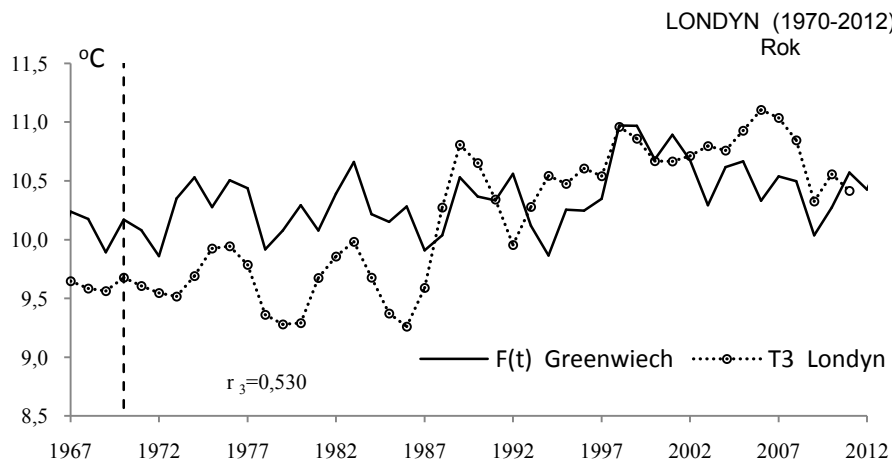


**Rys. 7b.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Greenwich (1970-2012),  $T_i$  – wartości zmierzone (Londyn, 1951-2012);  $F(t)$  – wartości obliczone z prognozą na lata 1970-2100 (Greenwich)  
**Fig. 7b.** Changes of yearly mean air temperature in Greenwich (1970-2012);  $T_i$  – measured values (London, 1970-2012),  $F(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1970-2012 (Greenwich)



**Rys. 7c.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Greenwich (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzono-  
ne, średnie konsekwentne 3-letnie (Londyn, 1951-2012),  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1970-  
2100 (Greenwich)

**Fig. 7c.** Changes of yearly mean air temperature in Greenwich (1951-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year  
moving average (London, 1951-2012),  $F(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1970-2100  
(Greenwich)



**Rys. 7d.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Greenwich (1970-2012);  $T_3$  – wartości zmierzono-  
ne, średnie konsekwentne 3-letnie (Londyn, 1970-2012),  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1970-  
2100 (Greenwich)

**Fig. 7d.** Changes of yearly mean air temperature in Greenwich (1970-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year  
moving average (London, 1970-2012),  $F(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1970-2100  
(Greenwich)

## Ocena prognoz zmian temperatury w Paryżu w latach 1995-2100 według danych z1757-1995 i 1951-2011 (Montsouris)

Prognozy temperatury powietrza w Paryżu w zimie, lecie, styczniu, lipcu i roku otrzymano według interferencji cykli o okresach  $\Theta$ , amplitudach  $b$  i fazach (tab.2 i 2a)

**Tabela 2.** Cykle temperatury powietrza w Paryżu (1757-1995) – zima, lato, styczeń

**Table 2.** The cycles of air temperature in Paris (1757-1995) – winter, summer, January

Paryż								
Zima			Lato			Styczeń		
$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$
3,5	0,4249	-0,805	3,9	0,2254	-0,3421	2,6	0,6149	-2,6708
5,8	0,3816	1,3703	7,8	0,2223	0,2976	3,1	0,5867	-2,8987
8,8	0,3835	-0,5572	9,7	0,1096	-1,1946	5,5	0,5790	-1,6426
10,9	0,1870	-2,2167	12,4	0,2323	1,6209	7,7	0,6855	-1,4399
12,5	0,3397	2,5364	15,5	0,2818	-2,1403	11,6	0,6189	2,5753
15,5	0,3208	-1,4773	19,3	0,1250	0,1951	17,0	0,5544	1,4406
18,4	0,2624	-0,0755	23,6	0,2450	-1,5032	25,3	0,3431	1,3910
20,3	0,1932	-0,1700	34,5	0,2993	0,4669	62,4	0,5019	2,8407
25,1	0,2275	-2,2918	44,4	0,2527	3,0701			
31,5	0,1440	-0,0274	57,9	0,4453	-1,9871			
36,9	0,1192	1,7374	82,6	0,3553	-0,7638			
56,7	0,2447	2,1339						
81,6	0,2425	-1,5398						

**Tabela 2a.** Cykle temperatury powietrza w Paryżu (1757-1995) – lipiec, rok

**Table 2a.** The cycles of air temperature in Paris (1757-1995) – July, year

Lipiec			Rok				
$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$R$	$F_{obl}$
3,1	0,3937	-2,2131	3,1	0,2025	-2,2205	0,181	4,02
3,9	0,3975	-0,6925	7,4	0,2434	-3,0115	0,241	7,34
5,9	0,3827	2,1088	7,8	0,1589	0,2620	0,172	3,62
15,5	0,3243	-2,3939	15,4	0,1733	-0,3084	0,167	3,42
23,7	0,4808	0,3382	32,6	0,1883	-1,3089	0,177	3,82
33,1	0,3249	-0,8764	44,5	0,1582	3,0322	0,198	4,83
44,7	0,2977	-1,7843	57,2	0,2370	2,2368	0,275	9,73
57,7	0,4419	-2,3804	81,9	0,1908	-1,6416	0,245	7,55
81,8	0,3131	-2,1804					
119,3	0,1677	-3,0211					

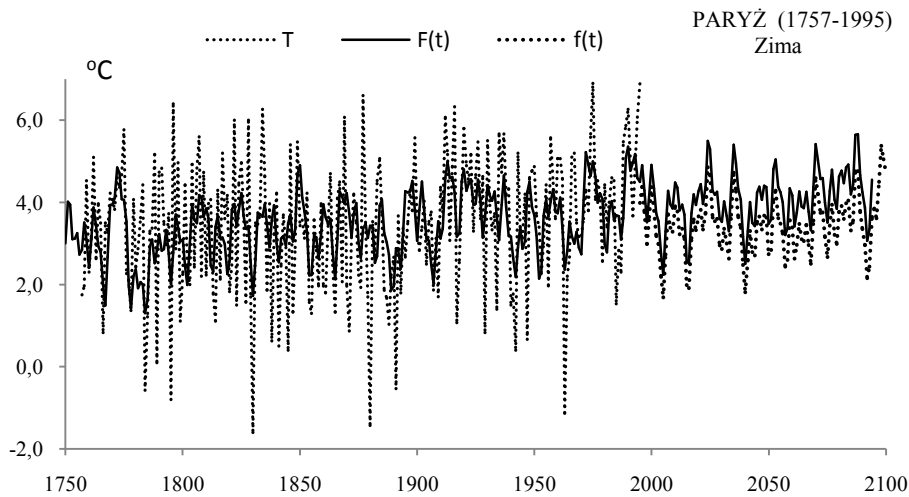
Są one wypadkową nakładania się cykli: zima (13), lato (11), styczeń (9), lipiec (10) i rok (8) ze składnikami liniowymi  $F(t) = a_0 + at$  i  $f(t)$  – bez składnika liniowego ( $at=0$ ), o współczynnikach korelacji wielokrotnej  $R$  (rys. 8-12):

Paryż

Zima	$F(t) = -4,17421 + 0,004055 t + \dots$	$R = 0,496$
Lato	$F(t) = 23,89948 - 0,00316 t + \dots$	$R = 0,638$
Styczeń	$F(t) = -11,127295 + 0,007343 t + \dots$	$R = 0,482$
Lipiec	$F(t) = 222,932123 - 0,002249 t + \dots$	$R = 0,546$
Rok	$F(t) = 10,921217 - 0,000177 t + \dots$	$R = 0,541$

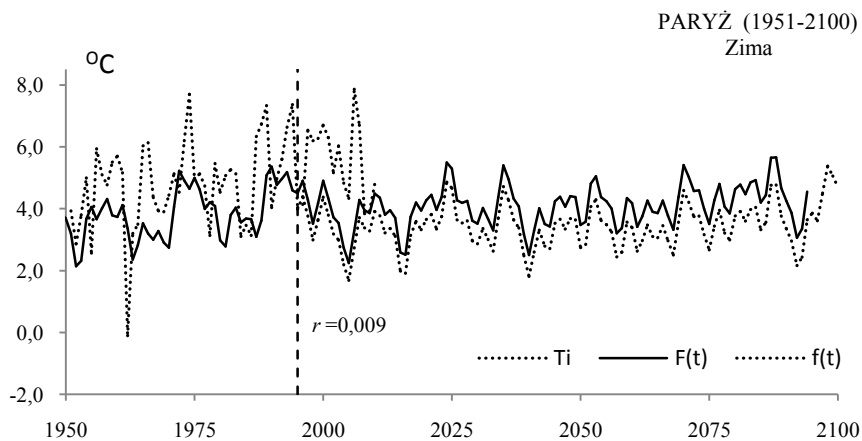
Prognozy te zweryfikowano na podstawie średnich wartości temperatury powietrza zmierzonych w Paryżu (Montsouris) w latach 1951-2011. Oceną zgodności wyników pomiarów  $T$  z prognozowaną temperaturą powietrza  $F(t)$  lub  $f(t)$  w zimie (rys. 8a, 8b), lecie (rys. 9a), styczniu (10a), lipcu (rys. 11a) i roku (rys. 12a) są porównania ich 16-letnich przebiegów (1996-2011). Mimo małego współczynnika korelacji  $r = 0,258$ , przebiegi wieloletnie są zbliżone (rys. 8b). Współczynniki korelacji w zimie ( $r = 0,009$ ,  $r_3 = 0,165$ ), lecie ( $r = -0,125$ ), lipcu ( $r = -0,186$ ) i roku ( $r = -0,341$ ) są bardzo małe, a nawet ujemne. Istnieje jednak częściowa zbieżność ekstremów wartości zmierzonych  $T_i$  i prognozowanych  $F(t)$  np. w zimie (rys. 8a i 8b).

Natomiast w styczniu wahania zmierzonych wartości  $T_i$  i prognozowanych  $F(t)$  z wyprzedzeniem 16 lat są na ogół zbieżne w czasie. Współczynnik korelacji  $r = 0,441$  wartości zmierzonych  $T_i$  i prognozowanych jest większy od wartości krytycznej  $r_{0,1} = 0,426$  na poziomie istotności 0,10 (rys. 10a).

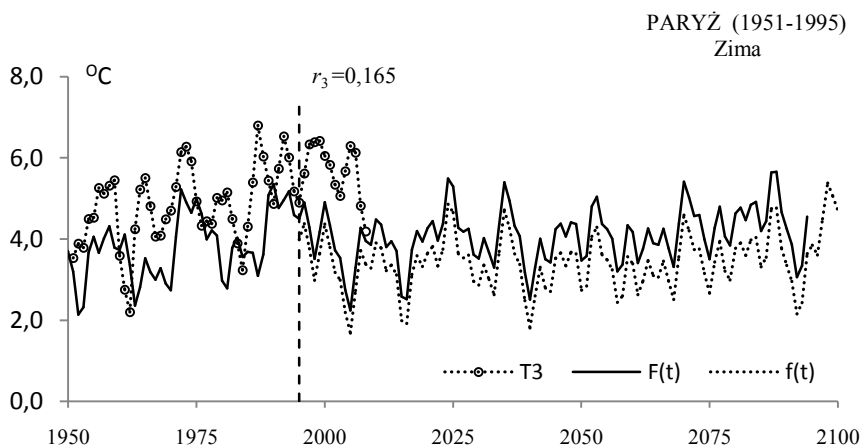


**Rys. 8.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Paryżu (1757-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1996-2100

**Fig. 8.** Changes of air temperature in winter in Paris (1757-2100;  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1996-2100

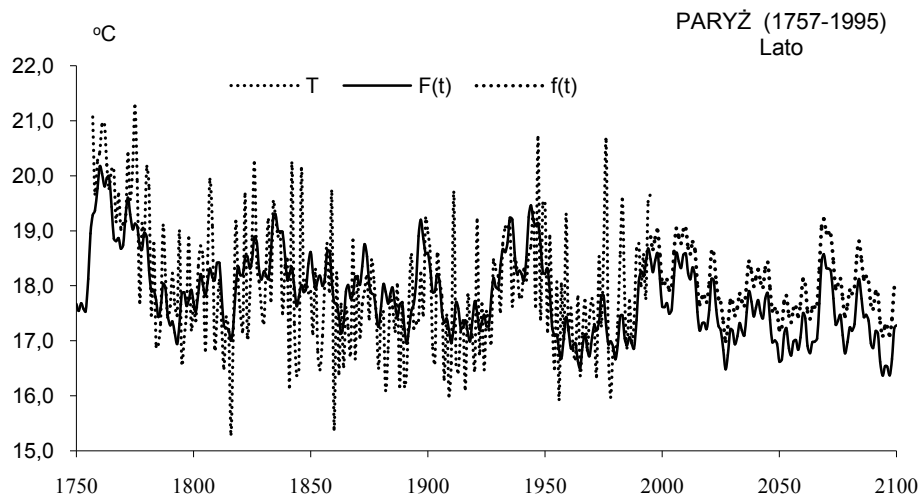


**Rys. 8a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Paryżu (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone (1951-2011);  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1996-2100  
**Fig. 8a.** Changes of mean air temperature in winter in Paris (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values (1767-1995), with a forecasts for the years 1996-2100



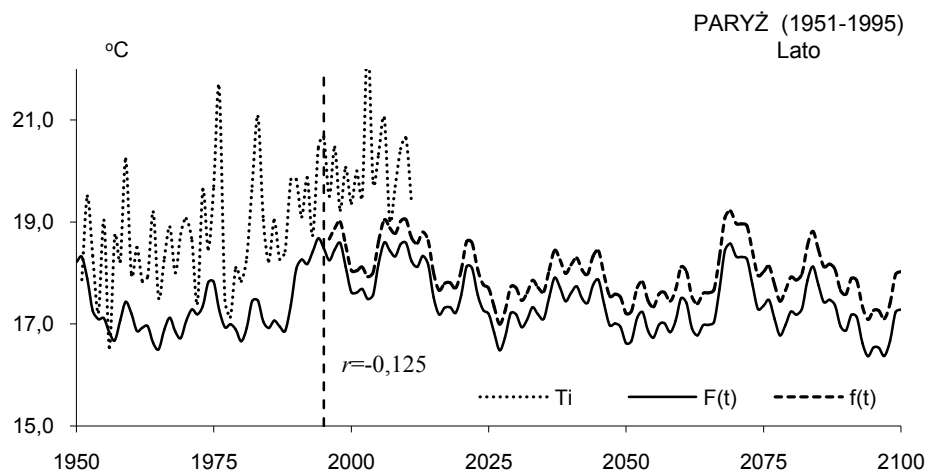
**Rys. 8b.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Paryżu (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1996-2100  
**Fig. 8b.** Changes of mean air temperature in winter in Paris (1951-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with a forecasts for the years 1996-2100





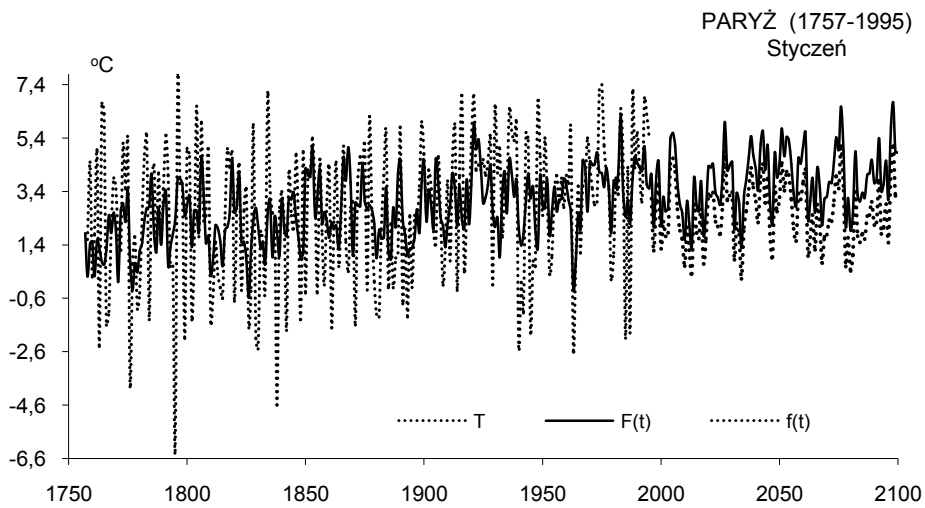
**Rys. 9.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Paryżu (1767 – 2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1996-2100

**Fig. 9.** Changes of air temperature in summer in Paris (1767 – 2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1996-2100



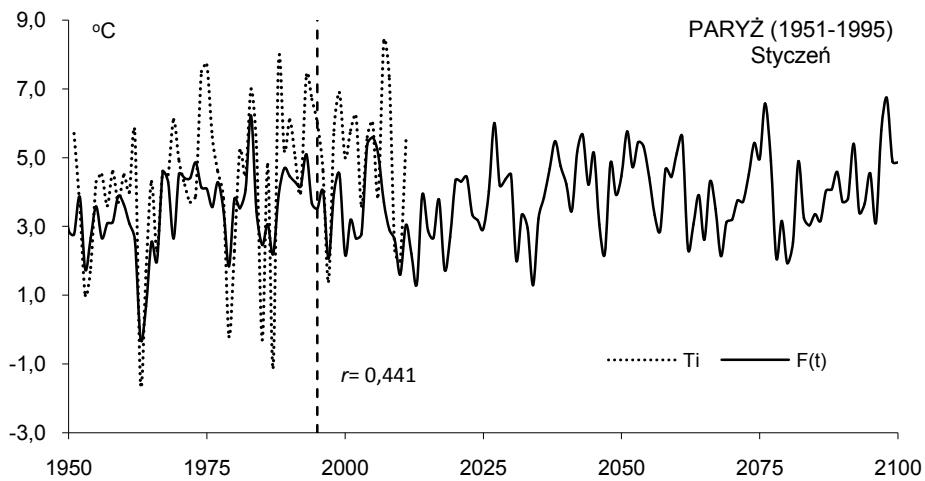
**Rys. 9a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Paryżu (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1996-2100

**Fig. 9a.** Changes of mean air temperature in summer in Paris (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with a forecasts for the years 1996-2100



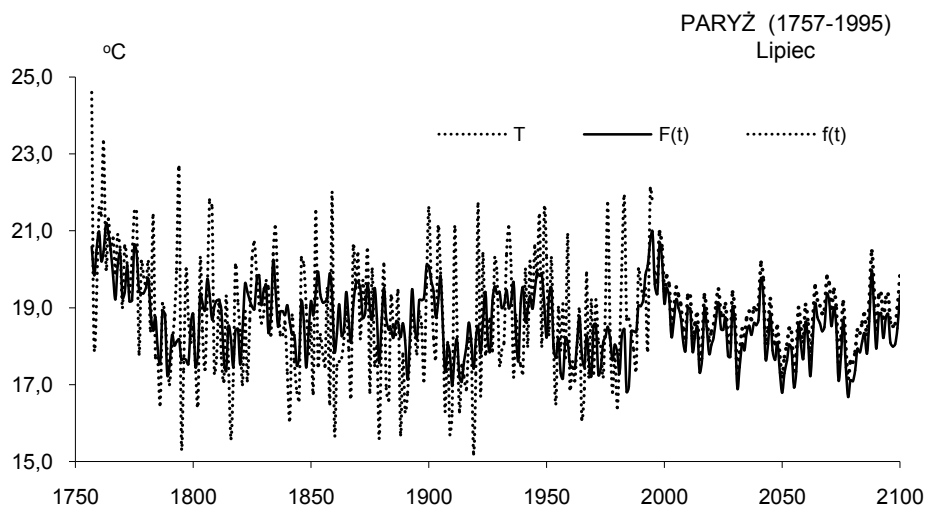
**Rys. 10.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Paryżu (1767 – 2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1996-2100

**Fig. 10.** Changes of air temperature in January in Paris (1767 – 2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1996-2100



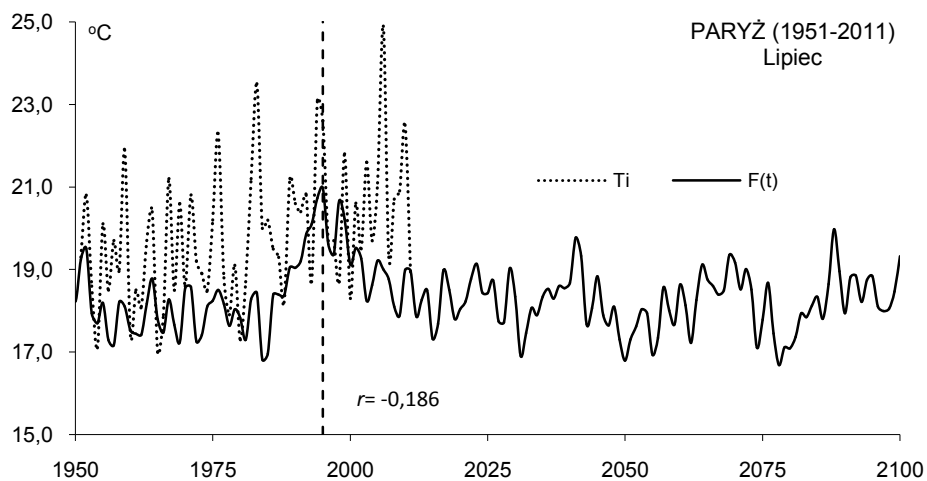
**Rys. 10a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Paryżu (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone,  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1996-2100

**Fig. 10a.** Changes of mean air temperature in January in Paris (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with a forecasts for the years 1996-2100



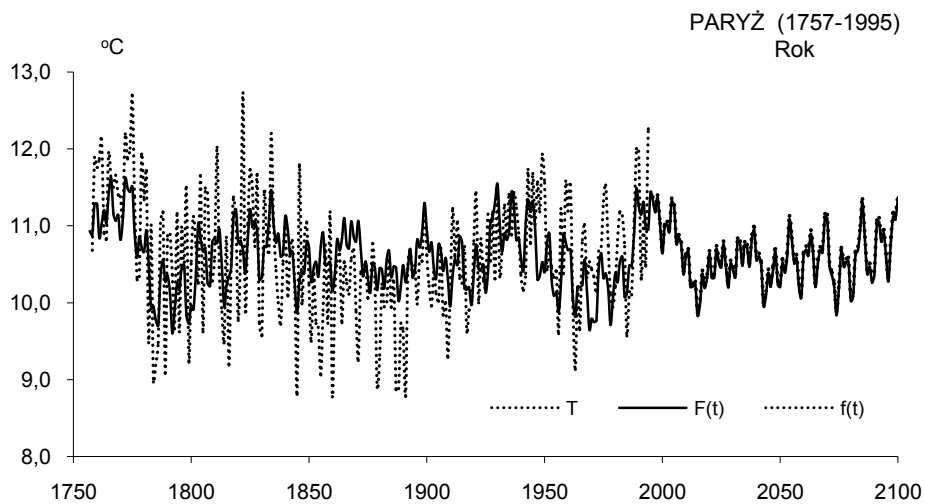
**Rys. 11.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Paryżu (1767 – 2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1996-2100

**Fig. 11.** Changes of air temperature in July in Paris (1767 – 2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1996-2100



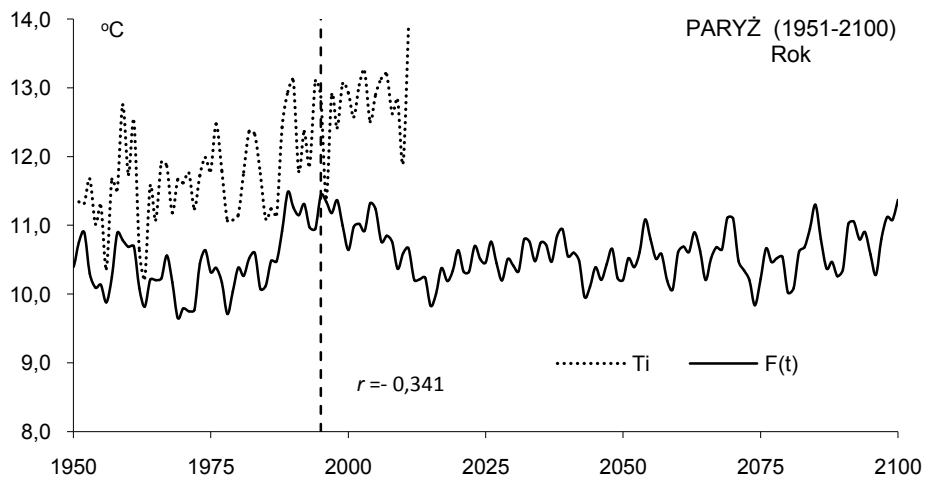
**Rys. 11a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Paryżu (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone,  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1996-2100

**Fig. 11a.** Changes of mean air temperature in July in Paris (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with a forecasts for the years 1996-2100



**Rys. 12.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Paryżu (1767 – 2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1996-2100

**Fig. 12.** Changes of yearly air temperature in Paris (1767 – 2100;  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1996-2100



**Rys. 12a.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Paryżu (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone,  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1996-2100

**Fig. 12a.** Changes of yearly mean air temperature in Paris (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with a forecasts for the years 1996-2100

## Ocena prognoz zmian temperatury w Berlinie w latach 1991-2100 według danych z 1769-1990 i 1951-2012 (Dahlem)

Prognozy temperatury powietrza w Berlinie w zimie, lecie, styczniu, lipcu i roku otrzymano według interferencji cykli o okresach  $\Theta$ , amplitudach  $b$  i fazach (tab.3 i 3a))

**Tabela 3.** Cykle temperatury powietrza w Berlinie (1769-1990) – zima, lato, styczeń  
**Table 3** The cycles of air temperature in Berlin (1769-1990) – winter, summer, January

Berlin								
Zima			Lato			Styczeń		
$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$
3,5	0,5701	-0,9207	3,9	0,3483	-0,4434	2,6	0,9089	-2,5888
5,5	0,4821	-1,6521	5,9	0,1995	2,2704	3,1	0,6887	-2,9006
7,4	0,4892	-2,7603	7,8	0,2834	0,0254	5,5	0,6285	-1,7629
10,2	0,3154	2,7629	10,2	0,1578	1,0175	5,7	0,4887	1,8330
15,4	0,4885	-0,3004	13,6	0,2246	2,4845	7,7	0,9713	-1,2075
18,3	0,2849	2,9734	16,6	0,2156	0,9640	9,2	0,8398	-1,4488
22,5	0,2644	-2,7485	19,4	0,2143	-2,3643	27,2	0,6194	2,2645
26,7	0,1728	-0,0291	24,2	0,2192	-1,7618	61,2	0,7117	-0,6932
32,0	0,0799	2,7553	27,8	0,0884	-2,9578	236,9	1,3168	0,8392
41,1	0,3197	-1,8471	30,9	0,0687	3,0836			
66,3	0,4479	1,9810	40,8	0,2135	3,1250			
212,8	0,5842	1,6300	54,2	0,1152	2,0824			
			76,2	0,2031	-1,2325			
			131,2	0,2323	-1,1938			

**Tabela 3a.** Cykle temperatury powietrza w Berlinie (1769-1990) – lipiec, rok  
**Table 3a** The cycles of air temperature in Berlin (1769-1990) – July, year

Lipiec			Rok				
$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$R$	$F_{obl}$
3,9	0,4939	-0,3673	5,5	0,2245	-1,5519	0,193	4,27
4,3	0,4067	-2,5474	6,5	0,1669	1,0122	0,154	2,67
5,1	0,4952	-2,2419	7,8	0,3646	0,2263	0,304	11,2
5,9	0,4335	2,1723	11,2	0,1400	2,6624	0,106	1,26
6,2	0,3024	-2,7376	12,9	0,1438	0,7857	0,149	2,51
6,5	0,2948	0,5778	14,0	0,1662	0,9752	0,182	3,79
8,2	0,2861	2,6491	15,2	0,1355	1,7727	0,154	2,67
11,1	0,2622	-1,7286	41,2	0,2462	-0,8792	0,217	5,43
14,8	0,3753	0,0742	71,9	0,1324	-3,0810	0,135	2,04
24,1	0,3474	2,4779	170,4	0,2760	0,4297	0,246	7,11
73,5	0,2935	-0,5360					
136,1	0,3398	1,7474					

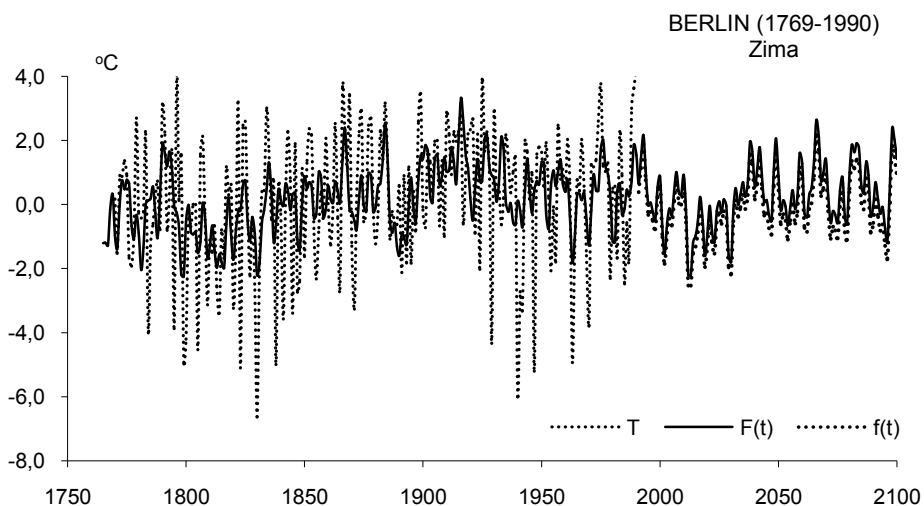
Funkcje trendów czasowych  $F(t), f(t)$ , to wypadkowe nakładania się cykli: w zimie (12) – z najdłuższym 212,8 lat; w lecie (14) – z najdłuższym 131,2; w styczniu (9) – z najdłuższymi 236,9; w lipcu (12) – z najdłuższym 136,1 oraz roku (10) – z najdłuższym 170,4 lat. Funkcje prognostyczne  $F(t)$ , uwzględniają składniki liniowe  $a_0 + at$ , natomiast  $f(t)$  są bez składnika liniowego ( $at=0$ ). Dokładność aproksymacji określają współczynniki korelacji wielokrotnej  $R$  (rys. 13-17):

### Berlin

Zima	$F(t) = -3,85087 + 0,002129 t + \dots$	$R = 0,491$
Lato	$F(t) = 22,4339 - 0,00235 t + \dots$	$R = 0,604$
Styczeń	$F(t) = 2,879949 - 0,00204 t + \dots$	$R = 0,531$
Lipiec	$F(t) = 7,24613 + 0,000949 t + \dots$	$R = 0,584$
Rok	$F(t) = 21,36153 - 0,00137 t + \dots$	$R = 0,616$

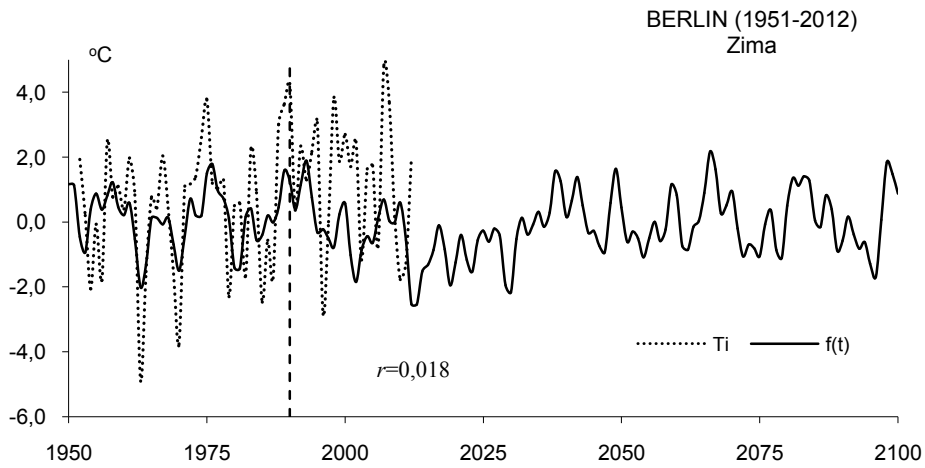
Prognozy temperatury powietrza w zimie, lecie, styczniu, lipcu i roku zweryfikowano na podstawie średnich wartości zmierzonych w Berlinie (Dahlem) w latach 1951-2012. O dość dobrej zgodności wyników pomiarów (średnich konsekwentnych 3-letnich  $T_3$ ) z prognozowaną temperaturą powietrza  $f(t)$  w zimie z wyprzedzeniem 22 lat (1991-2012) świadczą synchroniczne wahania (koincydencja ekstremów) (rys. 13a, 13b, 13c, 13d). Współczynnik korelacji  $r_3 = 0,257$  wartości zmierzonych  $T_3$  (średnich 3-letnich konsekwentnych) i prognozowanych  $f(t)$  nie jest istotny na poziomie 0,1. Współczynnik zaś korelacji  $r = 0,384$  wartości zmierzonych  $T_3$  i prognozowanych  $f_3(t)$  (3-letnich konsekwentnych) jest istotny na poziomie 0,1 ( $r_{0,10} = 0,345$ ) i jest zbliżony do  $r_{0,05} = 0,400$ . W lecie (rys. 14a, 14b, 14c) współczynnik korelacji  $r = -0,086$  między zmierzonymi wartościami temperatury  $T$  w latach 1991-2012 i prognozowanymi  $f(t)$  jest zbliżony do zera, a  $r_3 = -0,351$ . Współczynniki korelacji w styczniu  $r = 0,194$  i lipcu  $r = 0,182$  są małe – nie istotne na poziomie 0,10.

Natomiast współczynnik korelacji  $r_3 = 0,366$  średnich rocznych wartości temperatury  $T_3$  (3-letnich konsekwentnych) jest istotny na poziomie 0,10 (rys. 17b, 17c).

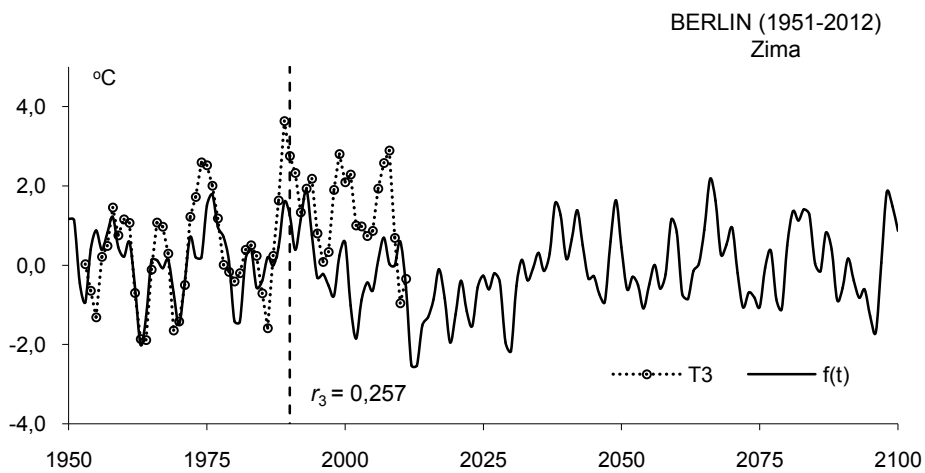


**Rys. 13.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Berlinie (1769-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2100

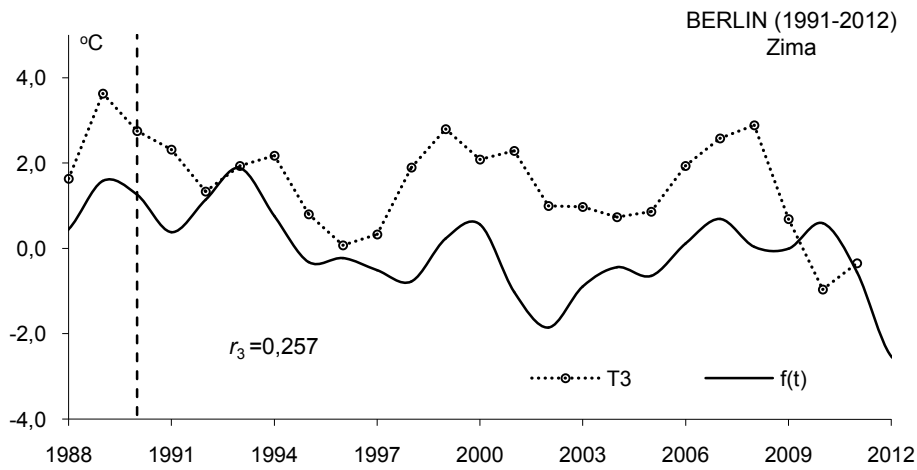
**Fig. 13.** Changes of mean air temperature in summer in Berlin (1769-2100;  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with a forecasts for the years 1991-2100



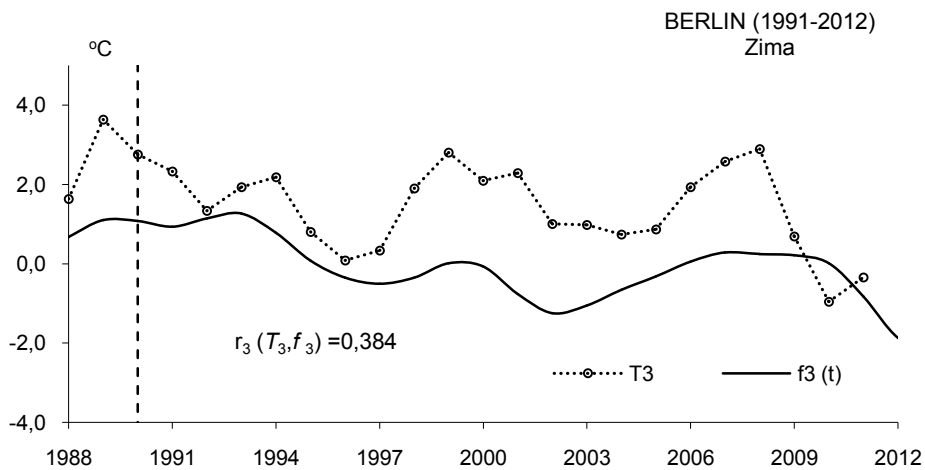
**Rys. 13a** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Berlinie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone (1769-1990),  $f(t)$  – wartości obliczone z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 13a.** Changes of mean air temperature in winter in Berlin (1951-2100);  $T_i$  – measured values (1769-1990),  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100



**Rys. 13b.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Berlinie (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie (1769-1990),  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 13b.** Changes of mean air temperature in winter in Berlin (1951-2012);  $T_2$  – measured values, 3-year moving averages (1951-2012),  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100

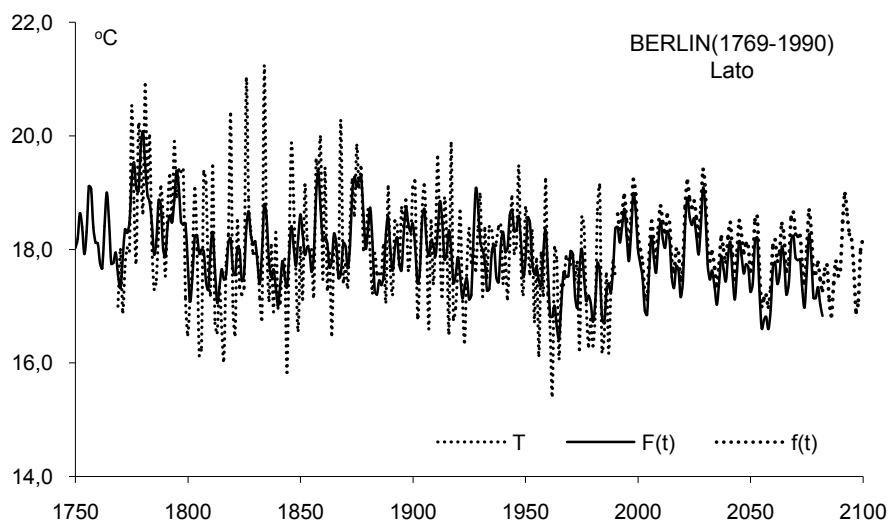


**Rys. 13c.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Berlinie (1991-2012);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie (1769-1990),  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2012  
**Fig. 13c.** Changes of mean air temperature in winter in Berlin (1991-2012);  $T_3$  – measured values, 3-year moving averages (1991-2012),  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2012



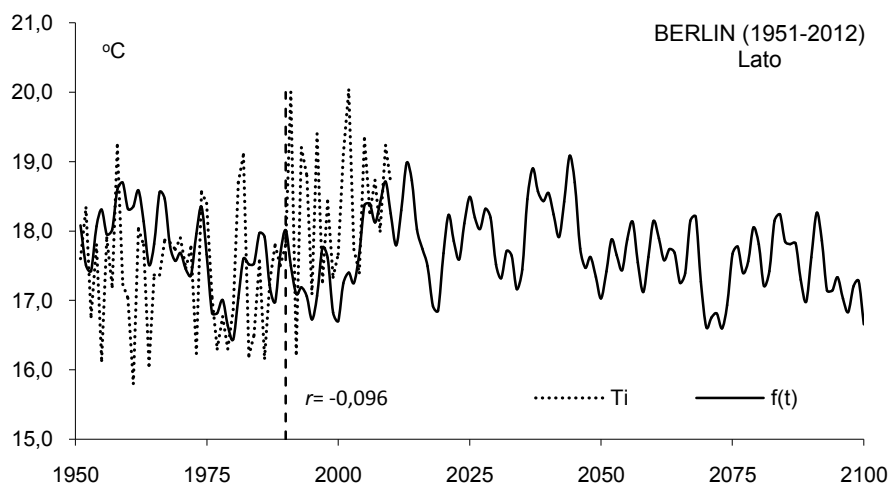
**Rys. 13d.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Berlinie (1991-2012);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie,  $f_3(t)$  – wartości obliczone, konsekwentne 3-letnie, z prognozą na lata 1991-2012  
**Fig. 13d.** Changes of mean air temperature in winter in Berlin (1991-2012);  $T_3$  – measured values, 3-year moving averages,  $f_3(t)$  – calculated values, 3-year moving averages, with forecasts for the years 1991-2012





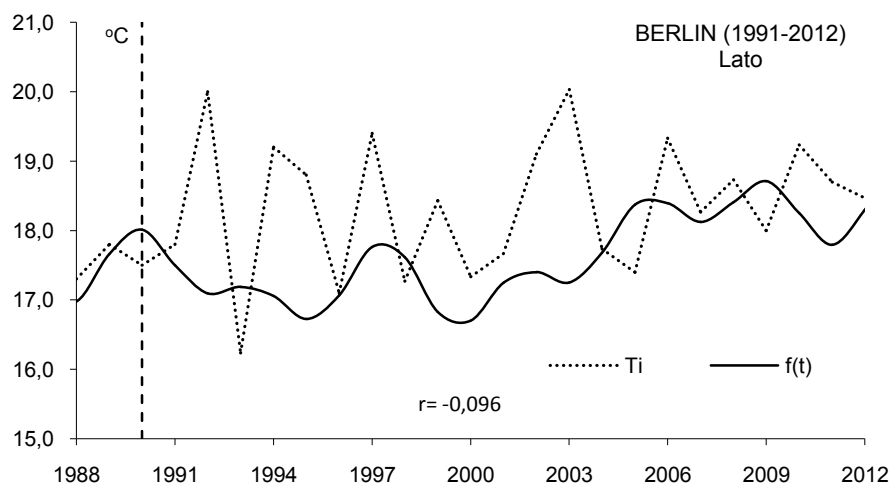
**Rys. 14.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Berlinie (1769-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 14.** Changes of mean air temperature in summer in Berlin (1769-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with a forecasts for the years 1991-2100



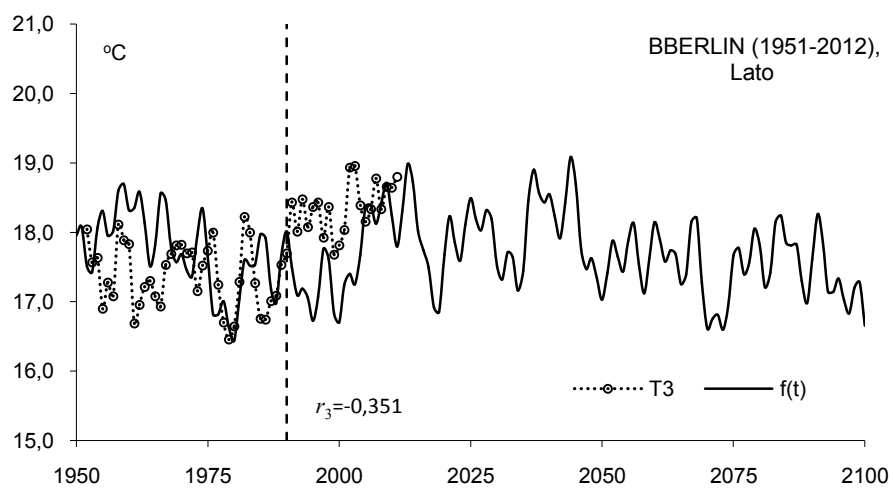
**Rys. 14a** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Berlinie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone (1951-2012),  $f(t)$  – wartości obliczone z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 14a.** Changes of mean air temperature in summer in Berlin (1951-2100);  $T_i$  – measured values (1951-2012),  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100



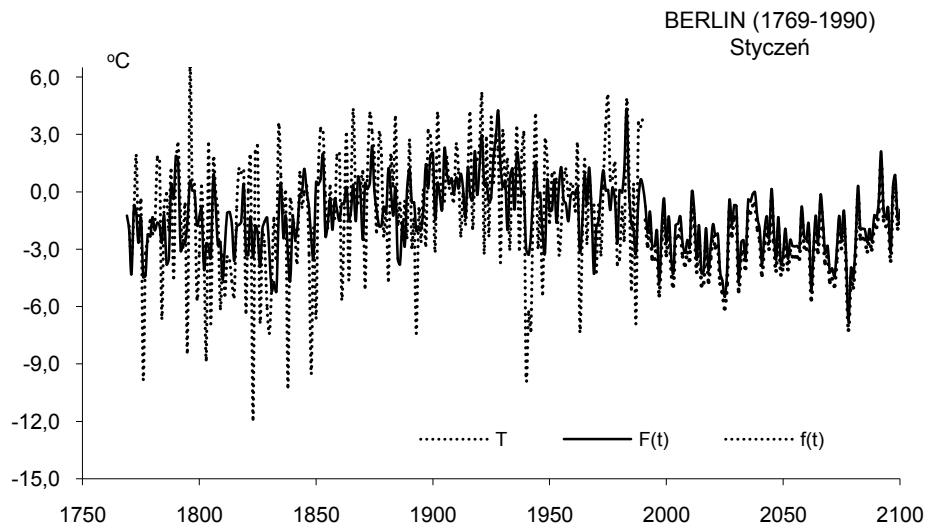
**Rys. 14b** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Berlinie (1991-2012);  $T_i$  – wartości zmierzone (1991-2012),  $f(t)$  – wartości obliczone z prognozą na lata 1991-2012

**Fig. 14b.** Changes of mean air temperature in summer in Berlin (1991-2012);  $T_i$  – measured values (1991-2012),  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2012



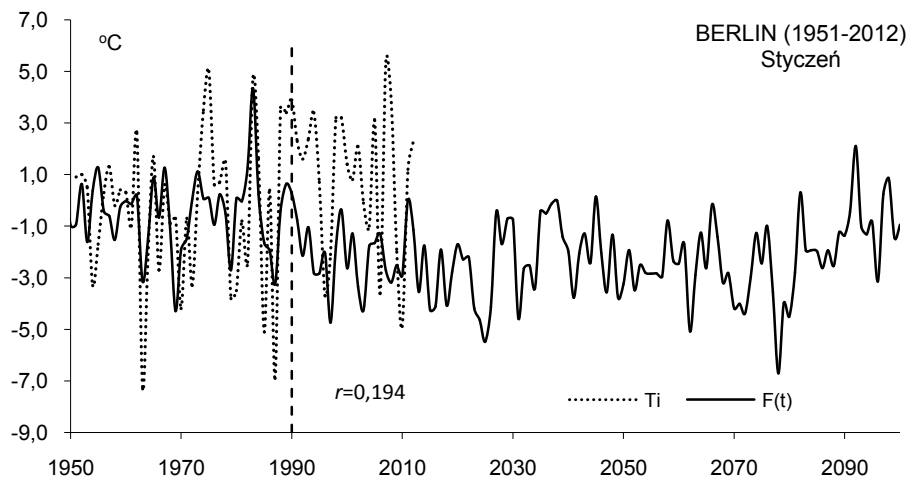
**Rys. 14c.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Berlinie (1951-2012);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie (1951-2012),  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 14c.** Changes of mean air temperature in summer in Berlin (1951-2012);  $T_3$  – measured values, 3-year moving averages (1951-2012),  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100



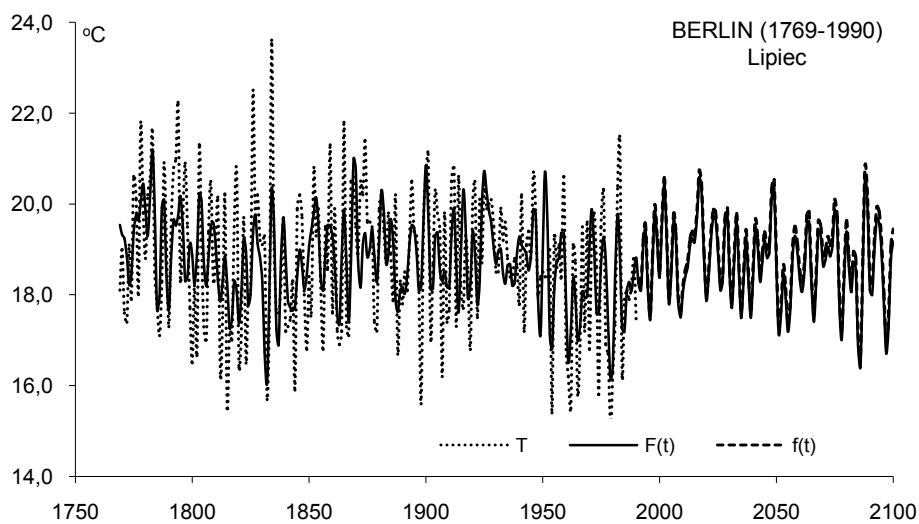
**Rys. 15.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Berlinie (1769-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 15.** Changes of mean air temperature in January in Berlin (1769-2100;  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with a forecasts for the years 1991-2100



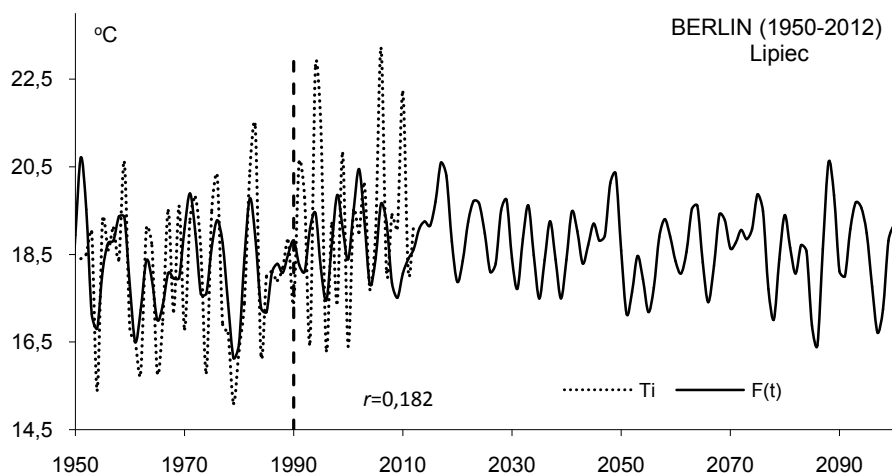
**Rys. 15a** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Berlinie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone (1951-2012),  $F(t)$  – wartości obliczone z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 15a.** Changes of mean air temperature in January in Berlin (1951-2100);  $T_i$  – measured values (1951-2012),  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100



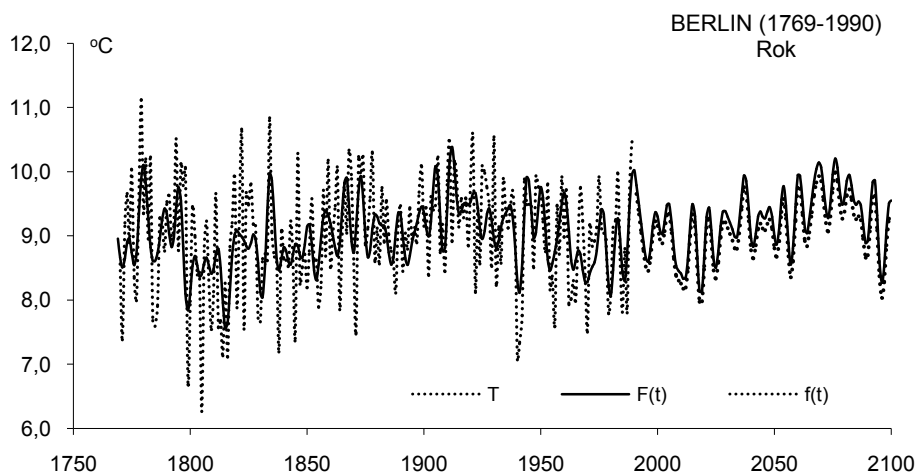
**Rys. 16.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Berlinie (1769-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 16.** Changes of mean air temperature in July in Berlin (1769-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with a forecasts for the years 1991-2100

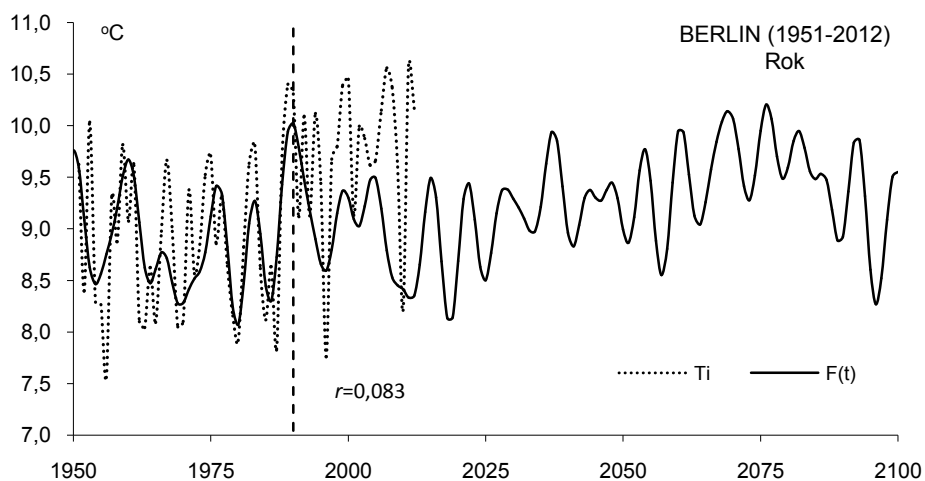


**Rys. 16a** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Berlinie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone (1769-1990),  $F(t)$  – wartości obliczone z prognozą na lata 1991-2100

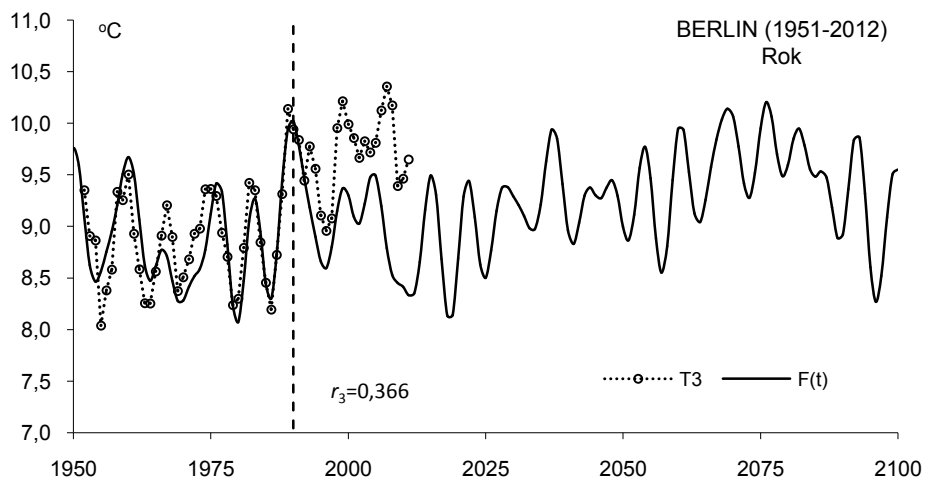
**Fig. 16a.** Changes of mean air temperature in July in Berlin (1951-2100);  $T_i$  – measured values (1769-1990),  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100



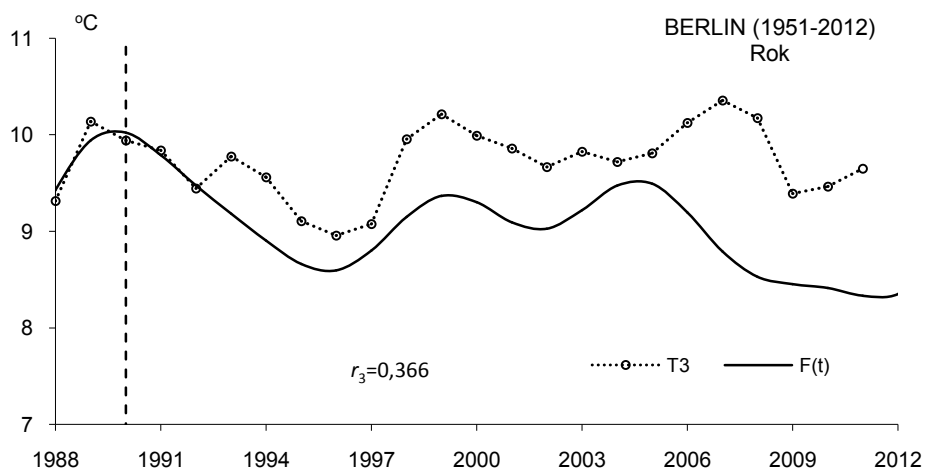
**Rys. 17.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Berlinie (1951-2012);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie,  $f(t)$  – wartości obliczone (1769-1990, z prognozą na lata 1991-2100)  
**Fig. 17.** Changes of yearly mean air temperature in Berlin (1951-2012);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average,  $f(t)$  – calculated values (1769-2990, with forecasts for the years 1991-2100)



**Rys. 17a** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Berlinie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone (1951-2012),  $F(t)$  – wartości obliczone z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 17a.** Changes of yearly mean air temperature in Berlin (1951-2100);  $T_i$  – measured values (1951-2012),  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100



**Rys. 17b.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Berlinie (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentnie 3-letnie (1769-1990),  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 17b.** Changes of average mean air temperature in Berlin (1951-2012);  $T_3$  – measured values, 3-year moving averages (1769-1990),  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100



**Rys. 17c.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Berlinie (1991-2012);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentnie 3-letnie (1991-2012),  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 17c.** Changes of average mean air temperature in Berlin (1951-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year moving averages (1991-2012),  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100

**Ocena prognoz zmian temperatury w Warszawie w latach 1999-2100  
według danych z 1779-1998 (Obserwatorium Astronomiczne)  
i 1951-2016 (Okęcie)**

Prognozy temperatury powietrza w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne) w zimie, lecie, styczniu, lipcu i roku otrzymano według interferencji cykli o okresach  $\Theta$ , amplitudach  $b$  i fazach  $c$  (tab. 4 i tab.4a).

Są one wypadkową nakładania się cykli: zima – 13 z najdłuższym 113,4 lat, lato – 13 z najdłuższym 75,9, styczeń – 9 z najdłuższym 116,9, lipiec – 9 z najdłuższym 102,8, rok – 9 z najdłuższym 106,1 lat, obecnych w widmach temperatury powietrza, ze składnikiem liniowym  $a_0 + at$  lub  $at=0$ .

**Tabela 4.** Cykle temperatury powietrza w Warszawie (1779-1998) – zima, lato, styczeń

**Table 4.** The cycles of air temperature in Warsaw(1779-1998) – winter, summer, January

Warszawa								
Zima			Lato			Styczeń		
$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$
7,1	0,4175	2,4521	3,9	0,3641	-0,7784	2,6	0,9280	-2,8418
10,3	0,2996	1,7114	7,1	0,3331	1,3276	3,3	0,7682	-1,5864
12,9	0,4887	1,1769	11,2	0,1139	0,9389	7,8	0,7486	-0,2256
15,3	0,4423	1,1935	14,2	0,1672	-1,1165	8,3	0,6442	2,0114
18,1	0,4416	1,9332	15,7	0,2517	-0,6862	8,7	0,4123	2,7596
20,1	0,1632	0,3849	19,1	0,1846	-0,4722	9,2	0,9003	-1,5833
22,5	0,2333	-2,5650	23,5	0,1166	-3,1350	22,5	0,6046	-2,8984
25,2	0,0842	-1,3204	25,9	0,0810	2,0726	66,5	0,4700	2,0910
28,1	0,0147	0,1270	29,8	0,2022	1,4964	116,9	0,7507	0,1344
32,5	0,1087	1,6750	35,6	0,0727	0,7218			
39,3	0,3132	-2,5117	42,4	0,1176	2,3673			
73,8	0,2229	1,9412	52,4	0,1160	1,2668			
113,4	0,5201	3,1386	75,9	0,3840	-2,3167			

**Tabela 4a.** Cykle temperatury powietrza w Warszawie (1779-1998) – Lipiec, rok

**Table 4a.** The cycles of air temperature in Warsaw(1779-1998) – July, year

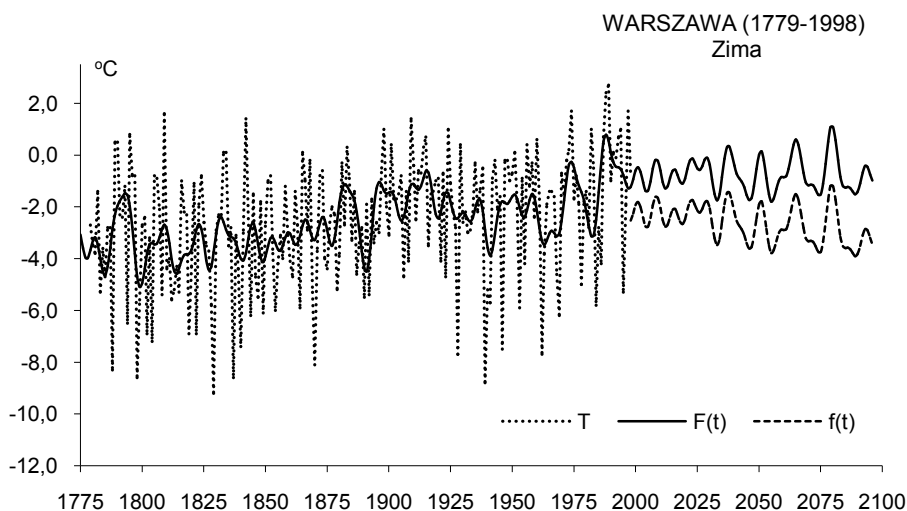
Lipiec			Rok				
$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$R$	$F_{obl}$
2,3	0,4913	-0,7533	4,0	0,1721	-1,7682	0,129	1,86
3,4	0,3516	-2,8145	4,7	0,2252	-1,1214	0,160	2,87
7,1	0,3834	1,4953	5,5	0,2076	-1,4487	0,166	3,12
7,9	0,2945	-0,5240	5,7	0,1615	1,9814	0,149	2,49
12,9	0,3346	-0,4188	7,8	0,2735	0,3040	0,194	4,28
20,4	0,3947	1,7183	11,3	0,1695	-0,9404	0,111	1,37
30,0	0,4100	-2,4146	12,8	0,2236	0,0026	0,156	2,74
83,0	0,3030	-0,6115	14,1	0,2039	-0,1043	0,170	3,25
102,8	0,3536	0,4917	106,1	0,1637	2,1264	0,120	1,61

Funkcje trendów czasowych – to wypadkowe interferencji cykli  $F(t) = a_0 + at + \dots$  (ze składnikiem liniowym) i  $f(t)$  (bez składnika liniowego,  $at=0$ ). Dokładność aproksymacji serii pomiarowej charakteryzuje współczynnik korelacji wielokrotnej  $R$ :

Warszawa		
Zima	$F(t) = -25,9473 t + 0,01187 t + \dots$ ,	$R = 0,480$
Lato	$F(t) = 16,84904 + 0,000524 t + \dots$ ,	$R = 0,552$
Styczeń	$F(t) = -30,0974 + 0,014021 t + \dots$ ,	$R = 0,528$
Lipiec	$F(t) = 16,24038 + 0,00046 t + \dots$ ,	$R = 0,532$
Rok	$F(t) = -3,78794 + 0,006076 t + \dots$ ,	$R = 0,585$

Synchroniczne są wahania średnich zmierzonych wartości temperatury powietrza w Warszawie (Okęcie) w zimie (XII-II) i lecie (VI-VIII) w 18-leciu 1999-2016 z prognozowanymi  $T = f(t)$ . W zimie (rys. 18a) współczynnik korelacji  $r = 0.494$  między średnimi wartościami zmierzonymi  $T_i$  i prognozowanymi  $f(t)$  jest większy od wartości krytycznej poziomu istotności 0,05 ( $r_{0,05} = 0,444$ ,  $n=18$ ). Ponadto w zimie (rys. 18b, 18c) współczynnik korelacji  $r_3 = 0.576$  między średnimi konsekwentnymi 3-letnimi wartościami zmierzonymi  $T_3$  i prognozowanymi  $f(t)$  na lata 1999-2016 jest istotny na poziomie 0,01 ( $r_{0,01} = 0,561$ ). Natomiast w lecie (rys. 19a, 19b) współczynnik korelacji  $r = 0.598$  między wartościami zmierzonymi na Okęciu  $T_i$  i prognozowanymi  $f(t)$  jest istotny na poziomie 0,01 ( $r_{0,01} = 0,561$ ), a wyjątkowo mniejszy  $r_3 = 0,492$  jest istotny na poziomie 0,05.

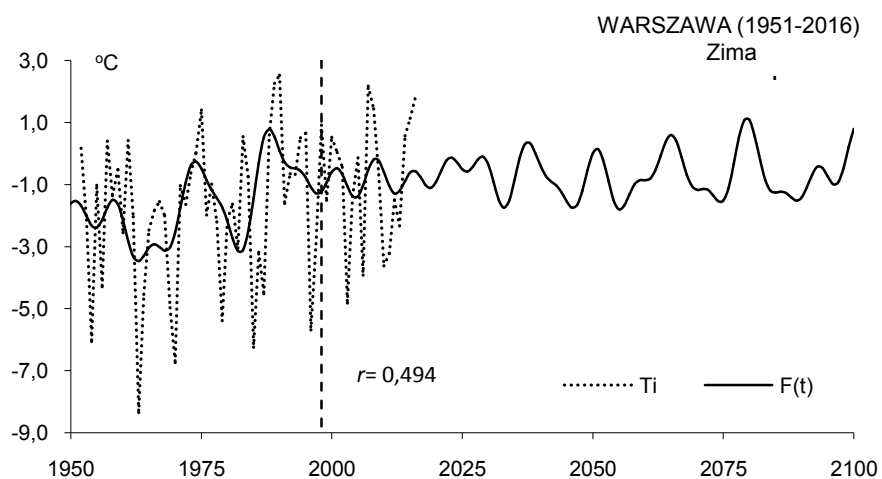
W styczniu (rys. 20a) współczynnik korelacji  $r = 0,355$  między  $T_i$  i  $F(t)$  nie jest istotny na poziomie 0,05, a  $r_3 = 0,492$  między  $T_3$  i  $F(t)$  jest istotny (rys 20b i 20c). W lipcu współczynniki korelacji  $r$  i  $r_3$  są ujemne (rys. 21a, 21b, 21c). Średnia roczna temperatura  $T_i$  i  $T_3$  na Okęciu (rys. 22a, 22b, 22c) jest bardzo mało skorelowana ( $r = 0,058$ ,  $r_3 = 0,221$ ) z wartościami prognozowanymi  $F(t)$ .



**Rys. 18.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne, 1779-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1999-2100

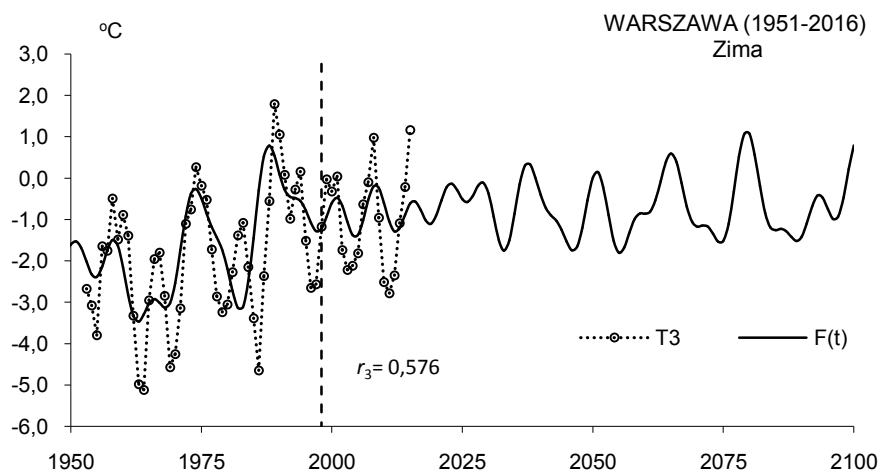
**Fig. 18.** Changes of mean air temperature in winter in Warsaw (Astronomical Observatory, 1779-2100;  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1991-2100





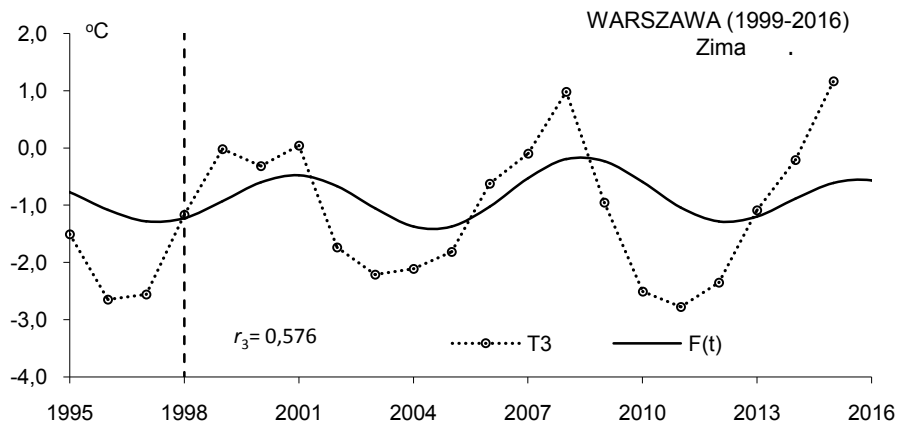
**Rys. 18a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Warszawie ( 1951-2100);  $T_i$  wartości zmierzzone (Okęcie, 1951-2016),  $F(t)$  – wartości obliczone (Observatorium Astronomiczne), z prognozą na lata 1999-2100

**Fig. 18a.** Changes of mean air temperature in winter in Warsaw (Okęcie, 1951-2016);  $T_i$  – measured values, (Okęcie, 1951-2016),  $F(t)$  – calculated values (Astronomical Observatory), with forecast for the years 1999-2100



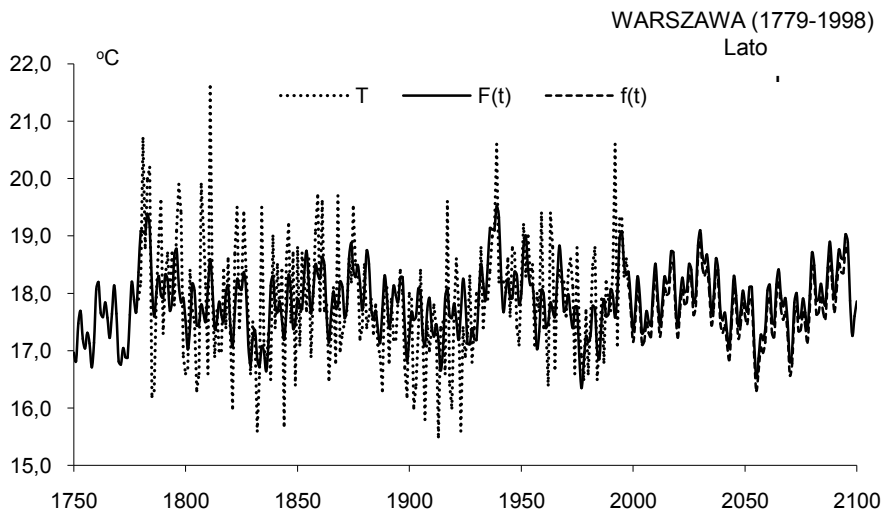
**Rys. 18b.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Warszawie (Okęcie, 1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzzone, średnie konsekwentne 3-letnie (Okęcie, 1951-2016),  $F(t)$  – wartości obliczone (Observatorium Astronomiczne), z prognozą na lata 1999-2100

**Fig. 18b.** Changes of mean air temperature in winter in Warsaw (Okęcie, 1951-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average (Okęcie, 1951-2016),  $F(t)$  – calculated values (Astronomical Observatory), with forecast for the years 1999-2100



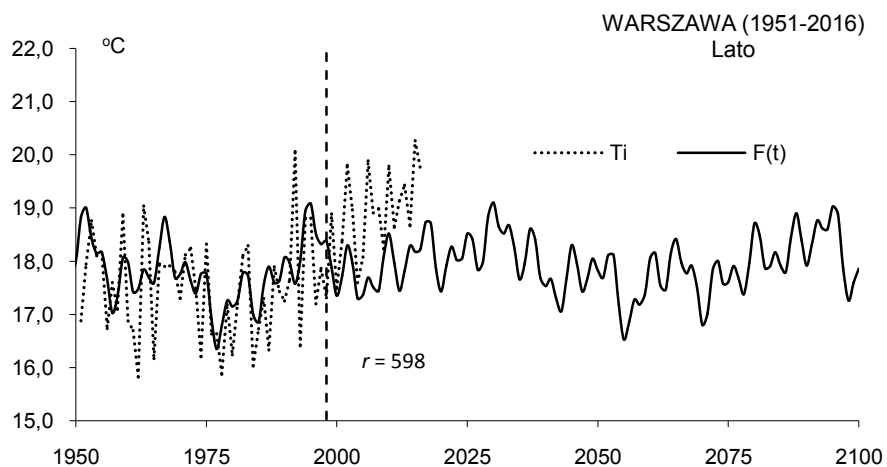
**Rys. 18c.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Warszawie (Okęcie, 1999-2016);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentnie 3-letnie,  $F(t)$  – wartości obliczone (Obserwatorium Astronomiczne), z prognozą na lata 1999-2016

**Fig. 18c.** Changes of mean air temperature in winter in Warsaw (Okęcie, 1999-2016);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average,  $F(t)$  – calculated values (Astronomical Observatory), with forecast for the years 1999-2016



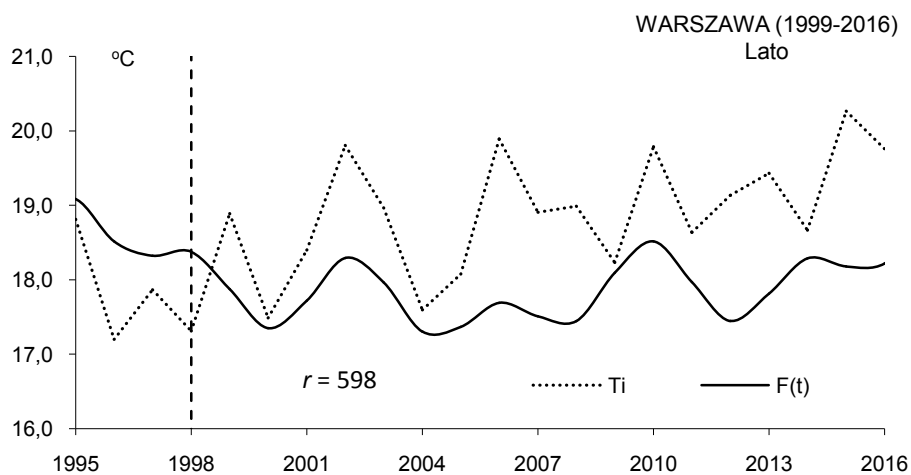
**Rys. 19.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne, 1779-2100),  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1999-2100

**Fig. 19.** Changes of mean air temperature in summer in Warsaw (Astronomical Observatory, 1779-2100),  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecast for the years 1991-2100



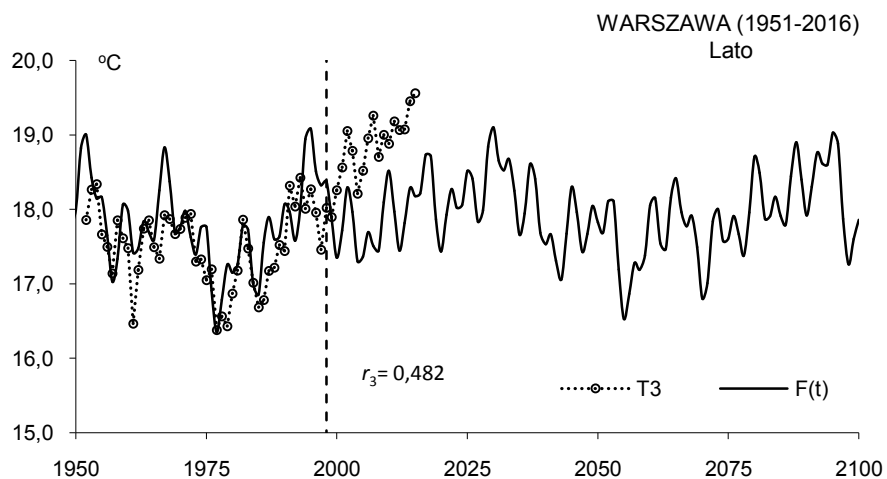
**Rys. 19a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Warszawie ( 1951-2100);  $T_i$  wartości zmierzone (Okęcie, 1951-2016);  $F(t)$  – wartości obliczone (Obserwatorium Astronomiczne), z prognozą na lata 1999-2100

**Fig. 19a.** Changes of mean air temperature in summer in Warsaw ( 1951-2100);  $T_i$  – measured values, (Okęcie, 1951-2016);  $F(t)$  – calculated values (Astronomical Observatory), with forecast for the years 1999-2100

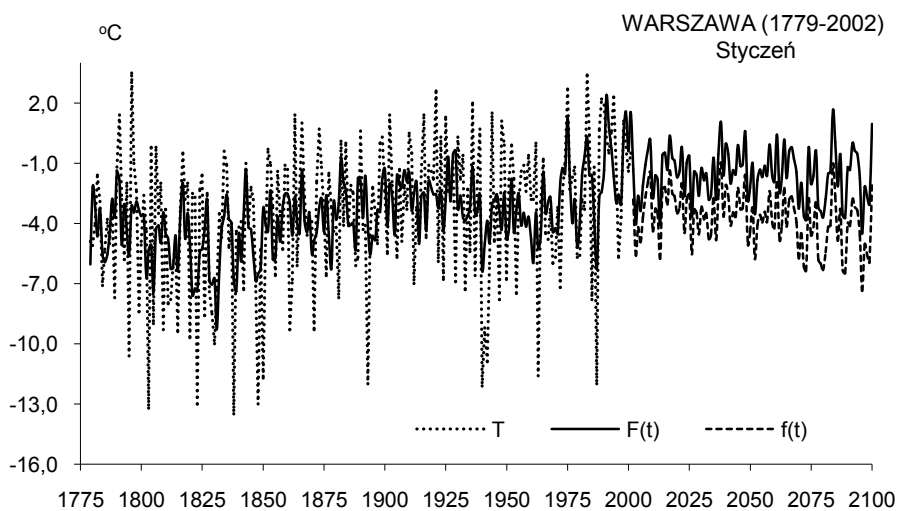


**Rys. 19b.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Warszawie (1999-2016);  $T_i$  – wartości zmierzone (Okęcie, 1999-2016),  $F(t)$  – wartości obliczone (Obserwatorium Astronomiczne), z prognozą na lata 1999-2016

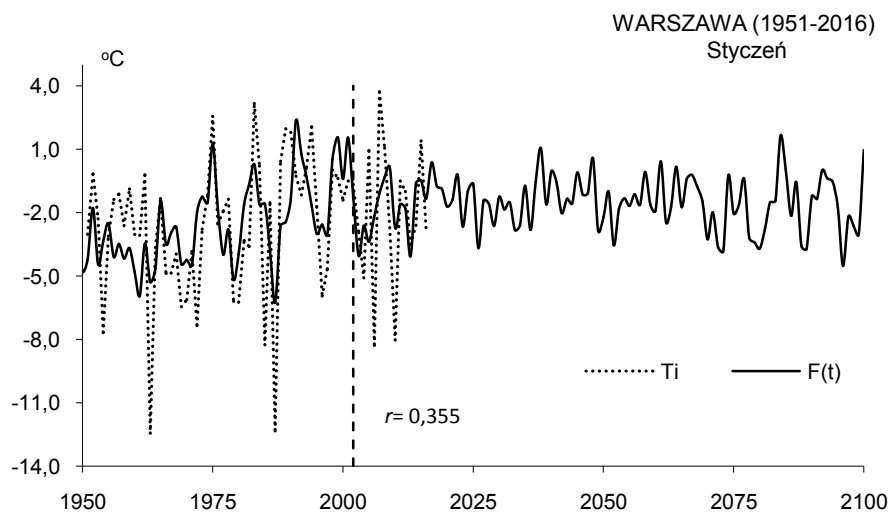
**Fig. 19b.** Changes of mean air temperature in summer in Warsaw (1999-2016);  $T_i$  – measured values (Okęcie, 1999-2016),  $F(t)$  – calculated values (Astronomical Observatory), with forecast for the years 1999-2016



**Rys. 19c.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Warszawie (1951-2100),  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwtywne 3-letnie (Okęcie, 1951-2016);  $F(t)$  – wartości obliczone (Observatorium Astronomiczne), z prognozą na lata 1999-2100  
**Fig. 19c.** Changes of mean air temperature in winter in Warsaw (1951-2100),  $T_3$  – measured values, 3-year moving average (Okęcie, 1951-2016);  $F(t)$  – calculated values (Astronomical Observatory), with forecast for the years 1999-2100

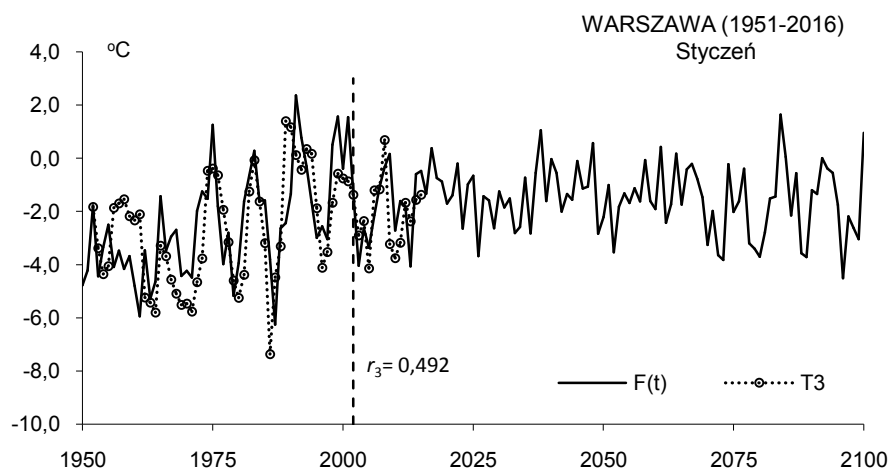


**Rys. 20.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Warszawie (Observatorium Astronomiczne, 1779-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100  
**Fig. 20.** Changes of mean air temperature in January in Warsaw (Astronomical Observatory, 1779-2100),  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecast for the years 2003-2100



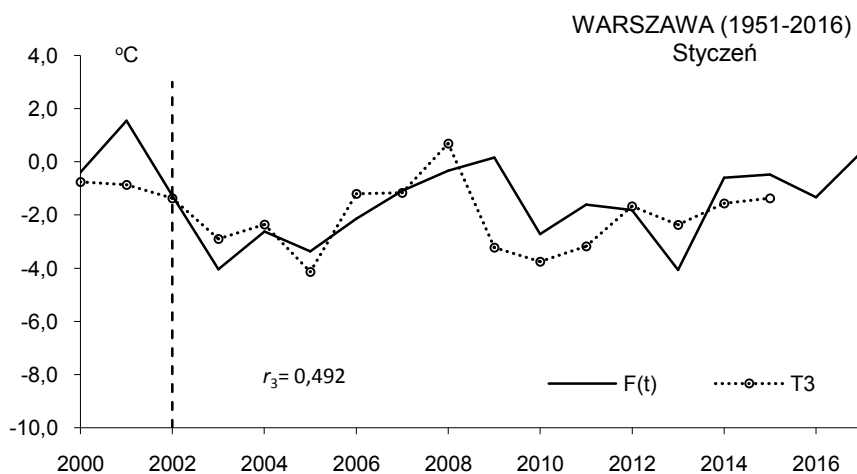
**Rys. 20a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Warszawie ( 1951-2100);  $T_i$  wartości zmierzone (Okęcie, 1951-2016);  $F(t)$  – wartości obliczone (Observatorium Astronomiczne), z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 20a.** Changes of mean air temperature in January in Warsaw ( 1951-2100);  $T_i$  – measured values, (Okęcie, 1951-2016);  $F(t)$  – calculated values (Astronomical Observatory), with forecast for the years 2003-2100

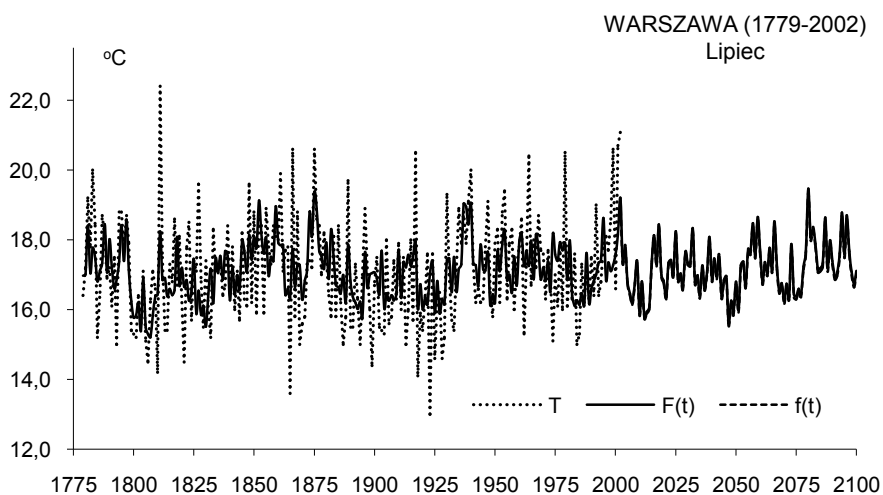


**Rys. 20b.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Warszawie (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie (Okęcie, 1951-2016);  $F(t)$  – wartości obliczone (Observatorium Astronomiczne), z prognozą na lata 1999-2100

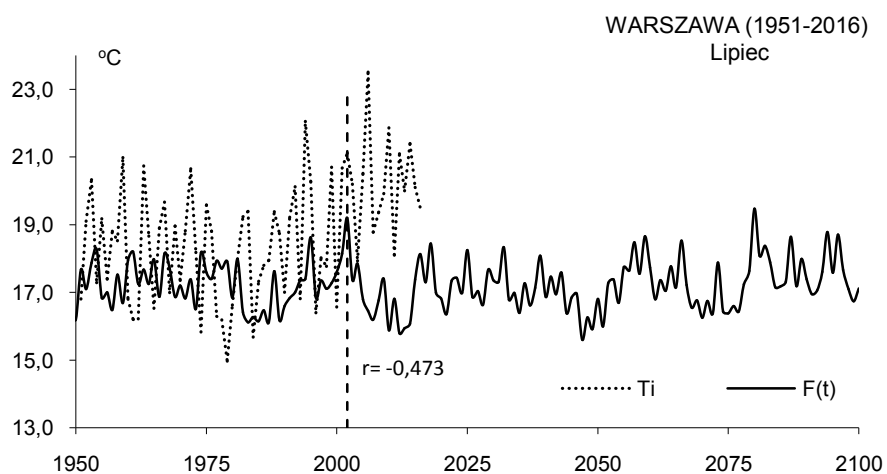
**Fig. 20b.** Changes of mean air temperature in January in Warsaw (1951-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average (Okęcie, 1951-2016);  $F(t)$  – calculated values (Astronomical Observatory), with forecast for the years 1999-2100



**Rys. 20c.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Warszawie (2003-2016);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie (Okęcie, 2003-2016);  $F(t)$  – wartości obliczone (Observatorium Astronomiczne), z prognozą na lata 2003-2016  
**Fig. 20c.** Changes of mean air temperature in January in Warsaw (2003-2016);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average (Okęcie, 2003-2016);  $F(t)$  – calculated values (Astronomical Observatory), with forecast for the years 2003-2016

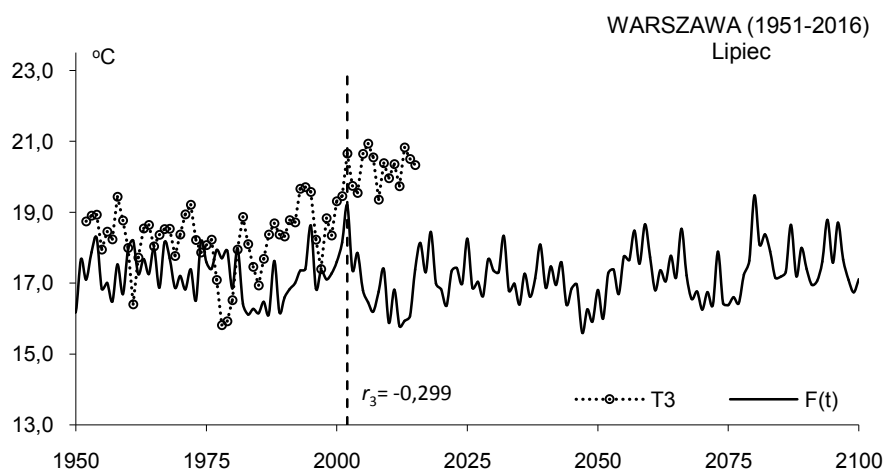


**Rys. 21.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Warszawie (Observatorium Astronomiczne, 1779-2100),  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100  
**Fig. 21.** Changes of mean air temperature in July in Warsaw (Astronomical Observatory, 1779-2100),  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecast for the years 2003-2100



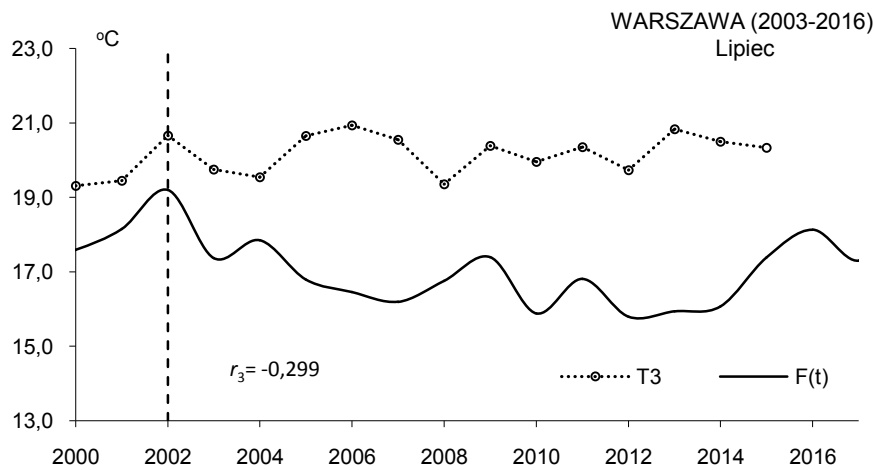
**Rys. 21a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Warszawie ( 1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzzone (Okęcie, 1951-2016);  $F(t)$  – wartości obliczone (Observatorium Astronomiczne), z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 21a.** Changes of mean air temperature in July in Warsaw ( 1951-2100);  $T_i$  – measured values, (Okęcie, 1951-2016);  $F(t)$  – calculated values (Astronomical Observatory), with forecast for the years 2003-2100



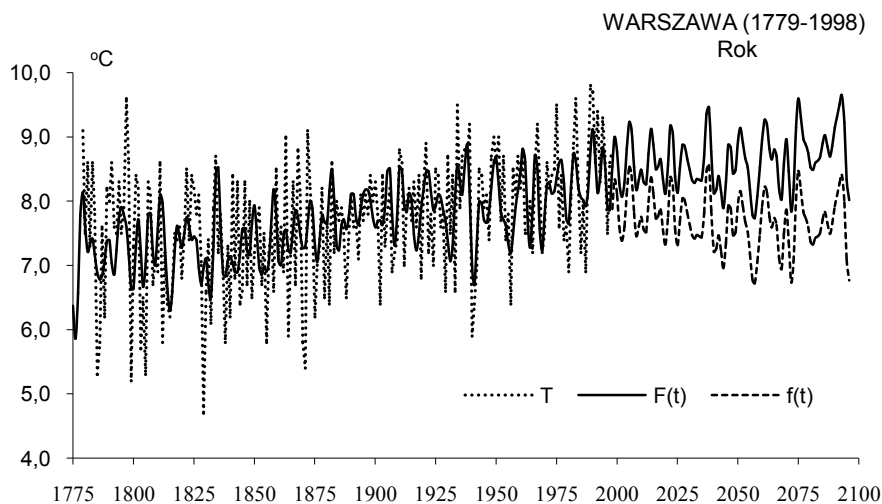
**Rys. 21b.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Warszawie (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzzone, średnie konsekwtywne 3-letnie (Okęcie, 1951-2016);  $F(t)$  – wartości obliczone (Observatorium Astronomiczne), z prognozą na lata 1999-2100

**Fig. 21b.** Changes of mean air temperature in July in Warsaw (1951-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average (Okęcie, 1951-2016);  $F(t)$  – calculated values (Astronomical Observatory, 1779-1998), with forecast for the years 1999-2100



**Rys. 21c.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Warszawie (2003-2016);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie (Okęcie, 2003-2016);  $F(t)$  – wartości obliczone (Obserwatorium Astronomiczne, z prognozą na lata 2003-2016)

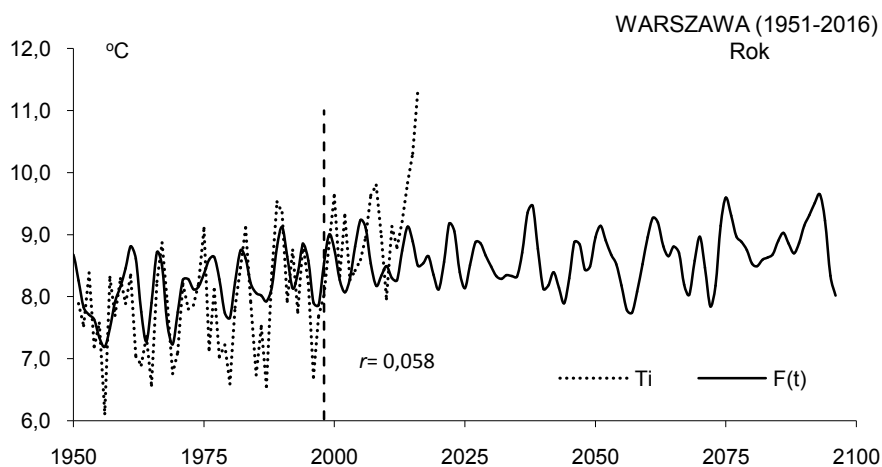
**Fig. 21c.** Changes of mean air temperature in July in Warsaw (2003-2016);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average (Okęcie, 2003-2016);  $F(t)$  – calculated values (Astronomical Observatory, with forecast for the years 2003-2016)



**Rys. 22.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne, 1779-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

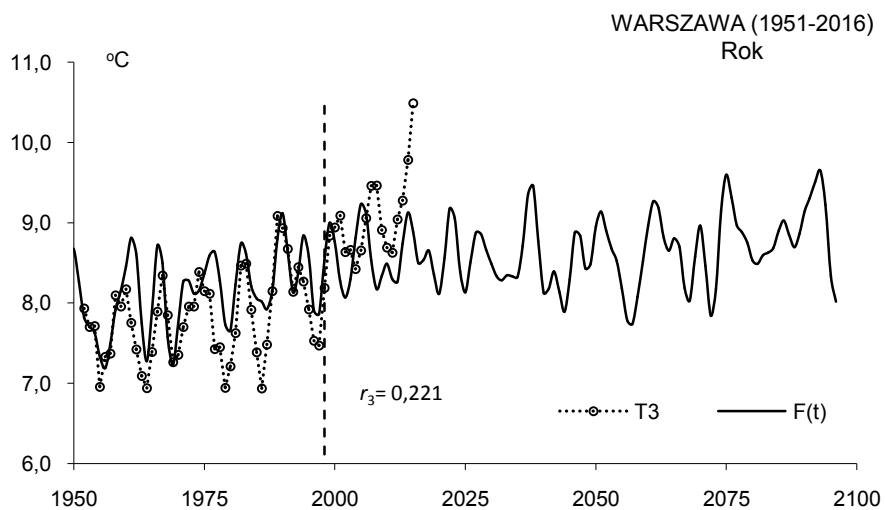
**Fig. 22.** Changes of yearly mean air temperature in Warsaw (Astronomical Observatory, 1779-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecast for the years 2003-2100





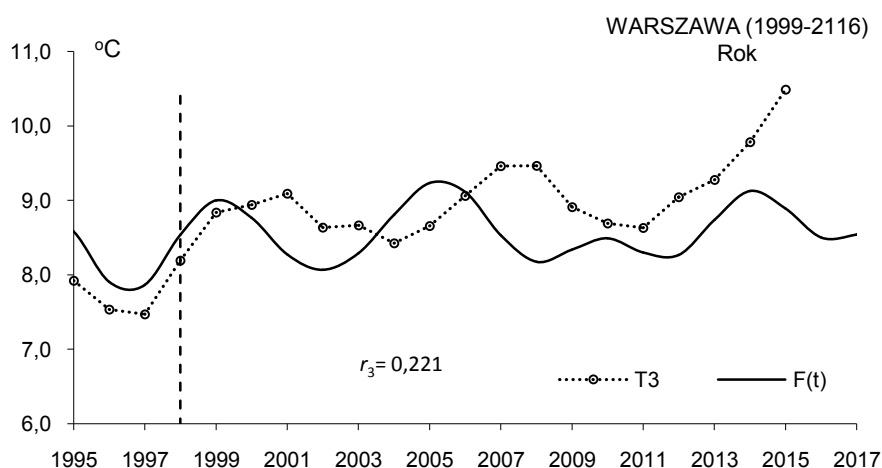
**Rys. 22a.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Warszawie ( 1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzzone (Okęcie, 1951-2016);  $F(t)$  – wartości obliczone (Observatorium Astronomiczne), z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 22a.** Changes of yearly mean air temperature in July in Warsaw ( 1951-2100);  $T_i$  – measured values, (Okęcie, 1951-2016);  $F(t)$  – calculated values (Astronomical Observatory), with forecast for the years 2003-2100



**Rys. 22b.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Warszawie (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzzone, średnie konsekwentne 3-letnie (Okęcie, 1951-2016);  $F(t)$  – wartości obliczone (Observatorium Astronomiczne, z prognozą na lata 1999-2100

**Fig. 22b.** Changes of yearly mean air temperature in Warsaw (1951-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average (Okęcie, 1951-2016);  $F(t)$  – calculated values (Astronomical Observatory, 1779-1998), with forecast for the years 1999-2100



**Rys. 22c.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Warszawie (1999-2016);  $T_3$  – wartości zmierzono, średnie konsekwentne 3-letnie (Okecie, 1999-2016);  $F(t)$  – wartości obliczone (Observatorium Astronomiczne, z prognozą na lata 1999-2016)

**Fig. 22c** Changes of yearly mean air temperature in Warsaw (1999-2016);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average (Okecie, 1999-2016);  $F(t)$  – calculated values (Astronomical Observatory, with forecast for the years 1999-2016)

## 9.2. Weryfikacja prognoz zmian temperatury powietrza w: Moskwie (1780-2002), Sztokholmie (1756-1994) i Zurychu (1864-1970)

### Ocena prognoz zmian temperatury w Moskwie w latach 2003-2100 według danych z 1780-2002 i 1951-2012

Prognozy temperatury powietrza w Moskwie w zimie, lecie, styczniu, lipcu i roku otrzymano według interferencji cykli o okresach  $\Theta$ , amplitudach  $b$  i fazach  $c$  (tab. 5 i tab.5a).

Są one wypadkową nakładania się cykli: zima – 12 z najdłuższym 133,0 lat, lato – 12 z najdłuższym 156,8, styczeń – 9 z najdłuższym 136,9, lipiec – 9 z najdłuższym 169,1, rok – 8 z najdłuższym 152,3 lat, obecnych w widmach temperatury powietrza, ze składnikiem liniowym  $a_0 + at$  lub  $at=0$ .

W przypadku cykli średniej rocznej temperatury powietrza podano również wartości współczynnika korelacji  $R$  i testu Fishera-Snedecora  $F_{obl}$ .

Funkcje trendów czasowych – to wypadkowe interferencji cykli  $F(t) = a_0 + at + \dots$  (ze składnikiem liniowym) i  $f(t)$  (bez składnika liniowego,  $at=0$ ). Dokładność aproksymacji serii pomiarowej w Moskwie w latach 1780-2002 charakteryzuje współczynnik korelacji wielokrotnej  $R$

Moskwa		
Zima	$F(t) = -21,4988 + 0,006646 t + \dots$	$R = 0,593$
Lato	$F(t) = 22,52894 - 0,002940 t + \dots$	$R = 0,640$
Styczeń	$F(t) = -33,1094 + 0,012127 t + \dots$	$R = 0,566$
Lipiec	$F(t) = 12,53531 + 0,003175 t + \dots$	$R = 0,602$
Rok	$F(t) = -6,60983 + 0,005636 t + \dots$	$R = 0,655$

**Tabela 5.** Cykle temperatury powietrza w Moskwie (1779-2002) – zima, lato, styczeń  
**Table 5.** The cycles of air temperature in Moscow (1779-2002) – winter, summer, January

Moskwa								
Zima			Lato			Styczeń		
Θ lat	b °C	c	Θ lat	b °C	c	Θ lat	b °C	c
4,2	0,6613	2,0945	3,9	0,3509	-1,6713	2,4	1,2791	0,2538
7,6	0,4369	2,8362	7,0	0,4966	1,8381	9,3	0,7953	0,4555
9,8	0,7620	0,1099	10,7	0,2488	1,5112	11,4	0,8650	2,8932
12,7	0,5920	-1,3430	13,3	0,2470	-1,0498	19,5	1,0882	-1,0722
18,6	0,5294	0,1292	15,0	0,1085	-0,0583	31,9	0,7486	-1,1346
22,5	0,3141	2,5733	21,2	0,3066	-0,7109	45,5	1,0042	1,6836
28,3	0,1118	-0,1663	25,4	0,1479	3,0180	59,9	0,8813	0,2365
38,5	0,2117	-2,9240	30,5	0,2258	-1,3753	85,4	0,4547	-1,1146
46,0	0,7656	-1,5093	39,9	0,3487	-0,2570	136,9	0,8426	-1,9512
59,9	0,6758	0,3941	51,4	0,5563	2,5042			
84,9	0,3865	-0,7559	156,8	0,7083	-2,2495			
133,0	0,7595	2,2288						

**Tabela 5a.** Cykle temperatury powietrza w Moskwie (1779-2002) – lipiec, rok  
**Table 5a.** The cycles of air temperature in Moscow (1779-2002) – July, year

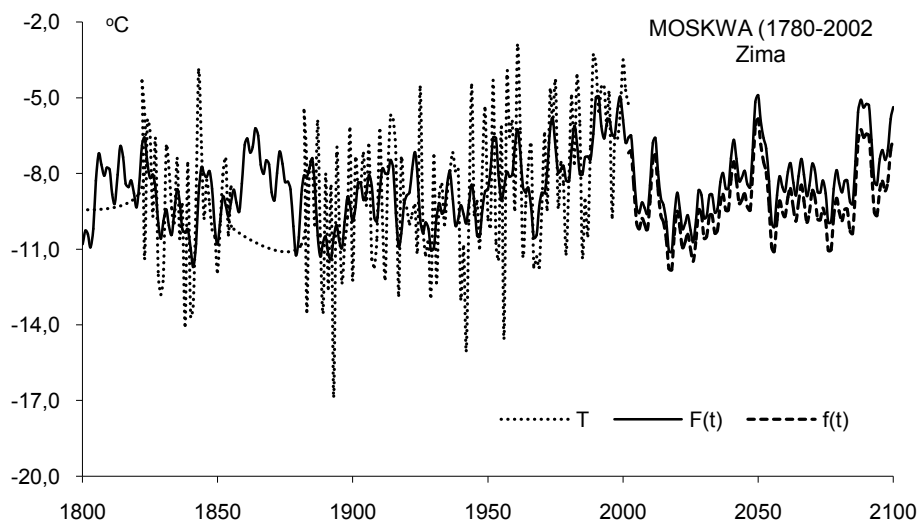
Lipiec			Rok				
Θ lat	b °C	c	Θ lat	b °C	c	R	F <sub>obl</sub>
5,7	0,5373	-3,0983	5,7	0,2633	1,7352	0,188	3,01
6,2	0,2873	2,2778	7,0	0,1889	1,8224	0,161	2,19
7,0	0,3780	1,4603	7,9	0,1918	1,5992	0,164	2,26
10,1	0,4691	1,0780	11,3	0,2331	-0,6399	0,138	1,59
13,2	0,2894	-1,8974	25,1	0,0974	-2,7457	0,149	1,85
21,1	0,4044	2,6927	60,2	0,1215	0,2890	0,261	6,00
51,6	0,3227	-1,8953	79,0	0,1998	-0,8028	0,146	1,79
84,7	0,8211	1,9748	152,3	0,6179	1,3101	0,475	23,91
169,1	0,9591	1,8460					

Zweryfikowano prognozy średniej temperatury ( $T_i$ ) w zimie (rys. 23- 23a), lecie (rys. 24-24a), styczniu (rys. 25, 25a, 25b), lipcu (rys. 26, 26a, 26b, 26c) i średniej rocznej (rys. 27-27a) w odniesieniu do wartości prognozowanych  $f(t)$ .

Ze względu na małą liczebność ( $n=10$ ) o poprawności prognoz temperatury powietrza w Moskwie świadczy przede wszystkim sprawdzenie czy wahania są synchroniczne (koincydencja ekstremów – minimów i maksimów) w przebiegu wieloletnim (2003-2012).

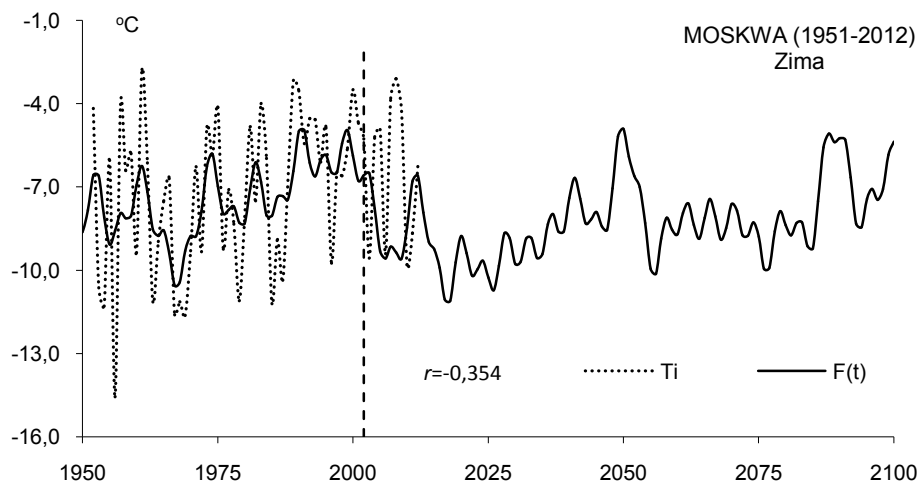
W przypadku zimy, lata i średniej rocznej współczynniki korelacji są ujemne (zima  $r = -0,354$ ,  $r = -0,288$ , rok  $r = -0,016$ ). Ze względu na małą liczbę przypadków  $n = 10$  traci też sens obliczanie średniej konsekwentnej 3-letniej, gdyż wtedy otrzymuje się bardziej ujemne wartości.

W styczniu współczynniki korelacji  $r = 0,335$  między  $T_i$  i  $f(t)$  nie jest istotny na poziomie 0,10 ( $n = 10$ ). Natomiast w lipcu współczynnik korelacji  $r = 0,753$  jest istotny na poziomie 0,01, a  $r_3 = 0,907$  między  $T_3$  i  $f(t)$  jest istotny na poziomie 0,001.



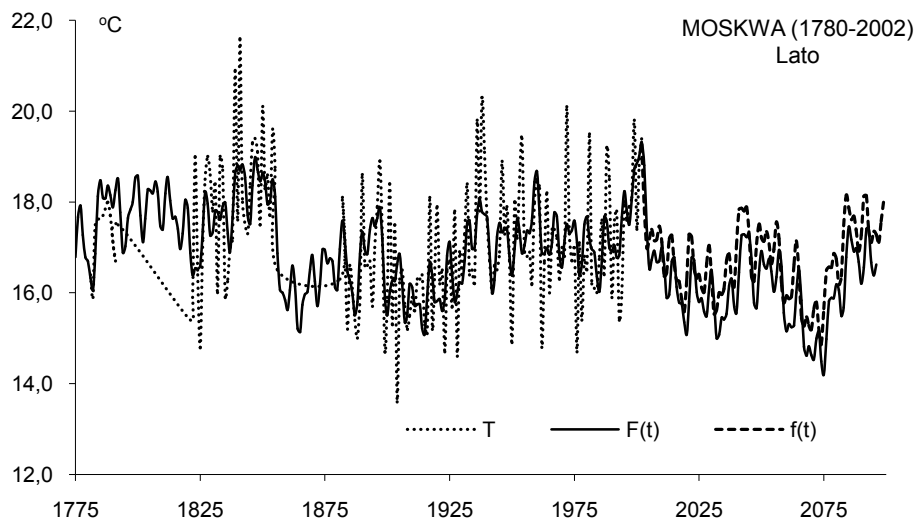
**Rys. 23.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Moskwie (1780-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 23.** Changes of mean air temperature in winter in Moscow (1780-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$  and  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100



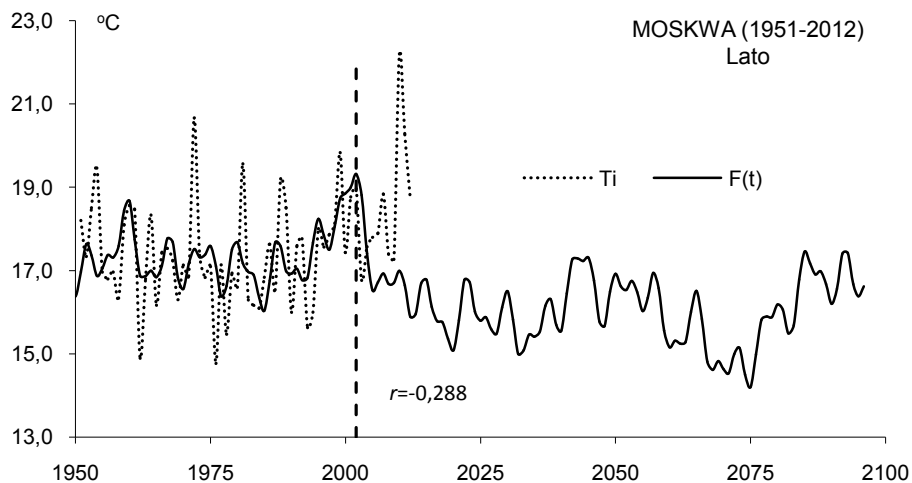
**Rys. 23a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Moskwie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone (1951-2012),  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 23a.** Changes of mean air temperature in winter in Moscow (1951-2100);  $T_i$  – measured values (1951-2012),  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2055



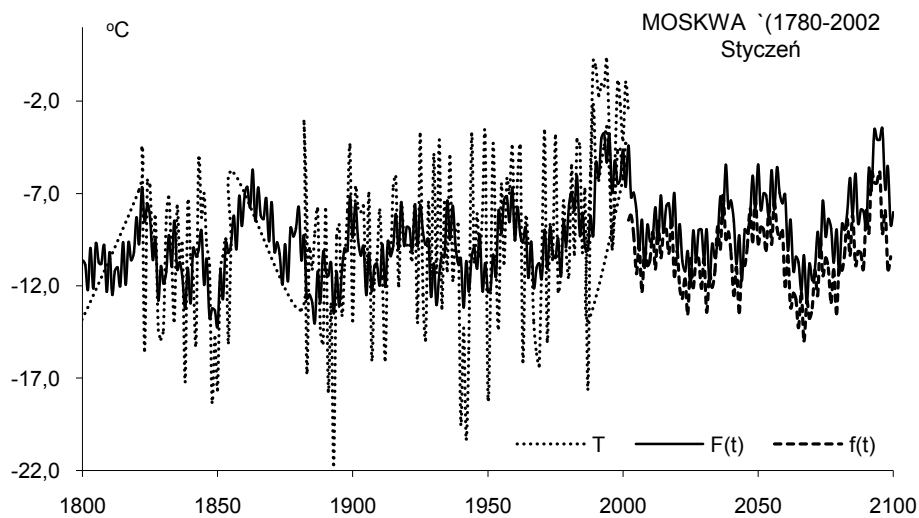
**Rys. 24.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Moskwie (1780-2002);  $T$  – wartości zmierzone  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 24.** Changes of mean air temperature in summer in Moscow (1780-2002);  $T$  – measured values,  $F(t)$  and  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100



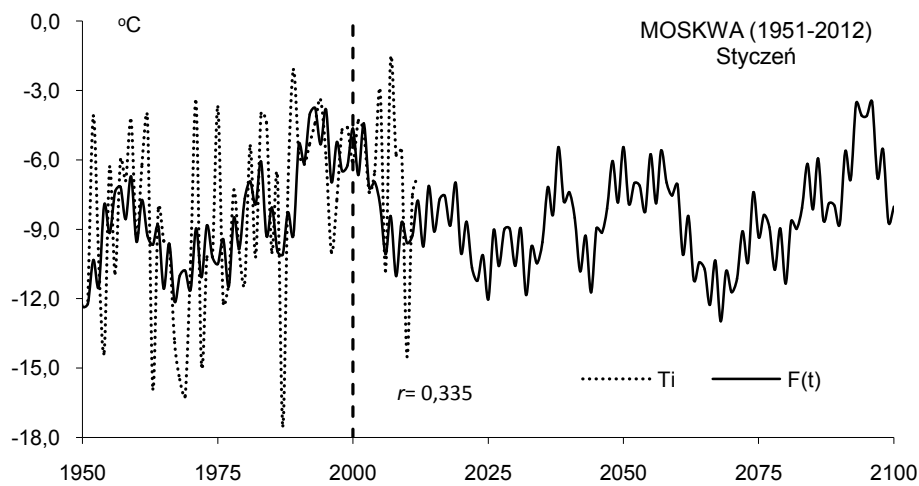
**Rys. 24a** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Moskwie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone (1951-2012);  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 24a.** Changes of mean air temperature in summer in Moscow (1951-2100);  $T_i$  – measured values (1951-2012);  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2055



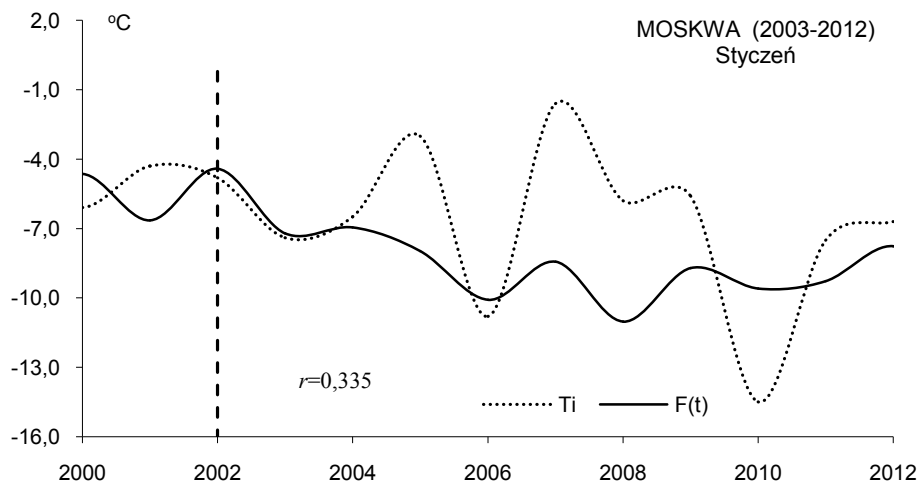
**Rys. 25.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Moskwie (1780-2002);  $T$  – wartości zmierzzone  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 25.** 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



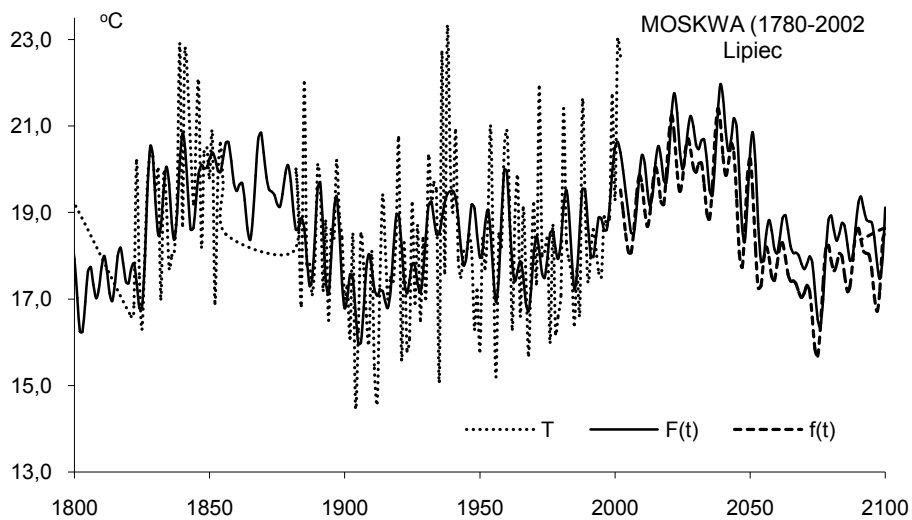
**Rys. 25a** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Moskwie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzzone (1951-2012);  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 25a.** Changes of mean air temperature in January in Moscow (1951-2100);  $T_i$  – measured values (1951-2012);  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100



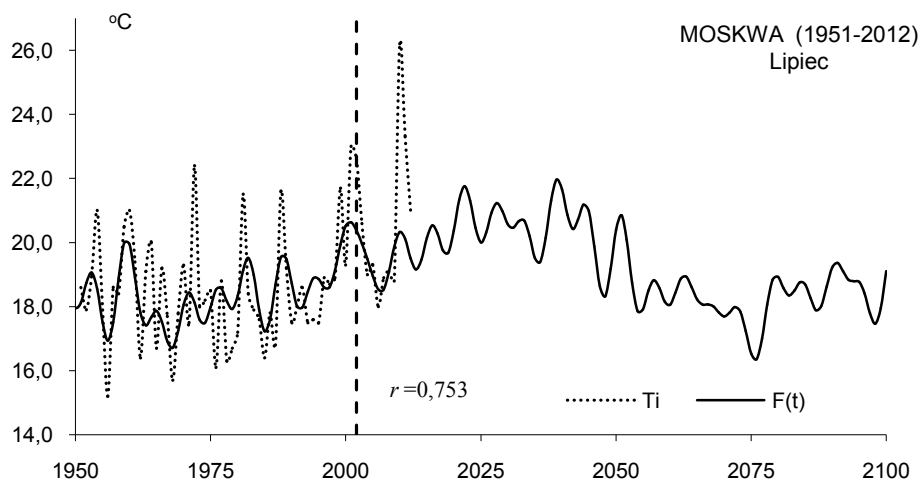
**Rys. 25b** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Moskwie (2003-2012);  $T_i$  – wartości zmierzone (2003-2012);  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2012

**Fig. 255.** Changes of mean air temperature in summer in Moscow (2003-2012);  $T_i$  – measured values (2003-2012);  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100

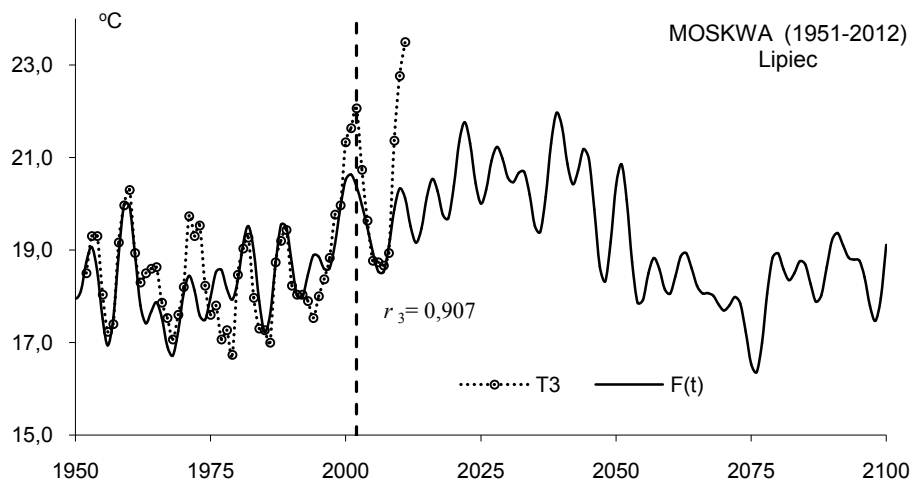


**Rys. 26.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Moskwie (1780-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 26.** Changes of mean air temperature in July in Moscow (1780-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100

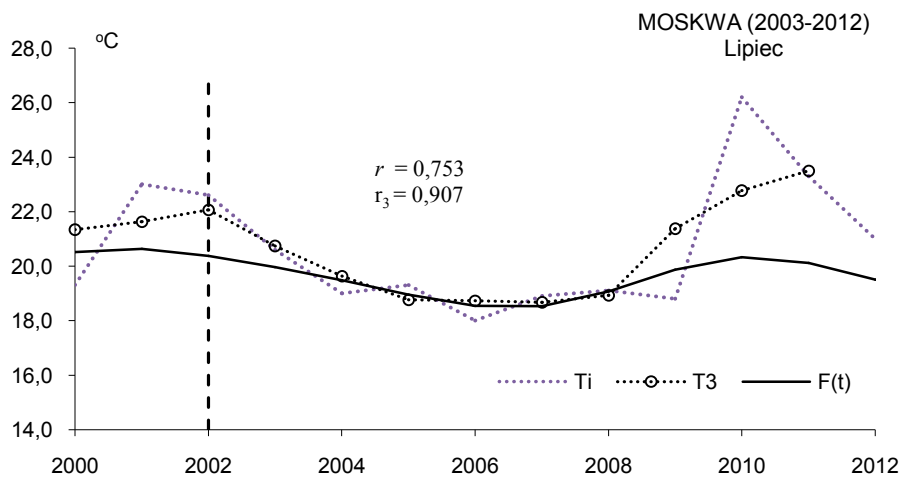


**Rys. 26a** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Moskwie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone (1951-2012);  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100  
**Fig. 26a.** Changes of mean air temperature in July in Moscow (1951-2100);  $T_i$  – measured values (1951-2012);  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100

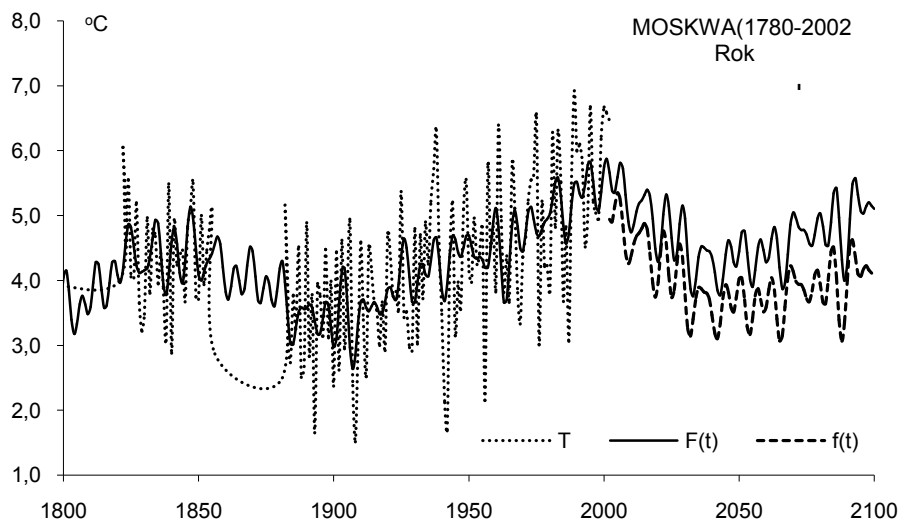


**Rys. 26b.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Moskwie (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie (1951-2012);  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100  
**Fig. 26b.** Changes of mean air temperature in July in Moscow (1951-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average (1951-2012);  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100

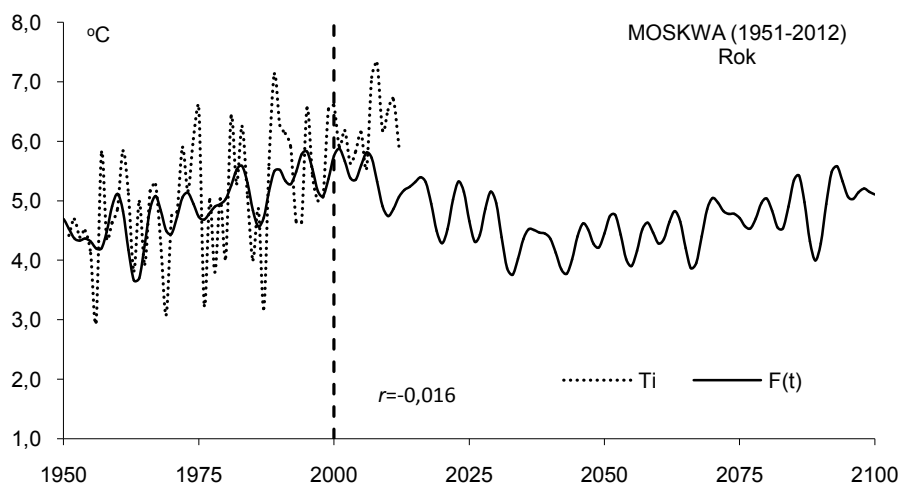




**Rys. 26c.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Moskwie (2003-2012),  $T_3$  – wartości zmierzone,  $T_3$  – średnie konsekwentne 3-letnie (2003-2012);  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100  
**Fig. 26c.** Changes of mean air temperature in July in Moscow (2003-2012);  $T_i$  – measured values,  $T_3$  – 3-year moving average (2003-2012);  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2012



**Rys. 27.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Moskwie (1780-2002);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone (1780-2002); z prognozą na lata 2003-2100  
**Fig. 27.** 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



**Rys. 27a** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Moskwie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone (1951-2012);  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 27a.** Changes of yearly mean air temperature in July in Moscow (1951-2100);  $T_i$  – measured values (1951-2012);  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100

### Ocena prognoz zmian temperatury w Sztokholmie w latach 1985-2100 według danych z 1756-1984 i 1951-2012

Prognozy temperatury powietrza w Sztokholmie w zimie, lecie, styczniu, lipcu i roku otrzymano według interferencji cykli o okresach  $\Theta$ , amplitudach  $b$  i fazach  $c$  (tab. 6 i tab.6a).

Są one wypadkową nakładania się cykli: zima – 13 z najdłuższym 86,3 lat, lato – 11 z najdłuższym 184,6, styczeń – 7 z najdłuższym 87,8, lipiec – 8 z najdłuższym 105,6, rok – 8 z najdłuższym 79,4 lat, obecnych w widmach temperatury powietrza.

Funkcje trendów czasowych – to wypadkowe interferencji cykli  $F(t) = a_0 + at + \dots$  (ze składnikiem liniowym) i  $f(t)$  (bez składnika liniowego,  $at=0$ ). Dokładność aproksymacji serii pomiarowej w Sztokholmie w latach 1780-2002 charakteryzuje współczynnik korelacji wielokrotnej  $R$  (rys. 28-32):

Sztokholm		
Zima	$F(t) = -18,828912 + 0,008543 t + \dots$	$R = 0,525$
Lato	$F(t) = 15,16525 + 0,000374 t + \dots$	$R = 0,541$
Styczeń	$F(t) = -22,465037 + 0,01016 t + \dots$	$R = 0,473$
Lipiec	$F(t) = 19,81922 - 0,00143 t + \dots$	$R = 0,482$
Rok	$F(t) = -2,49036 + 0,00449 t + \dots$	$R = 0,523$

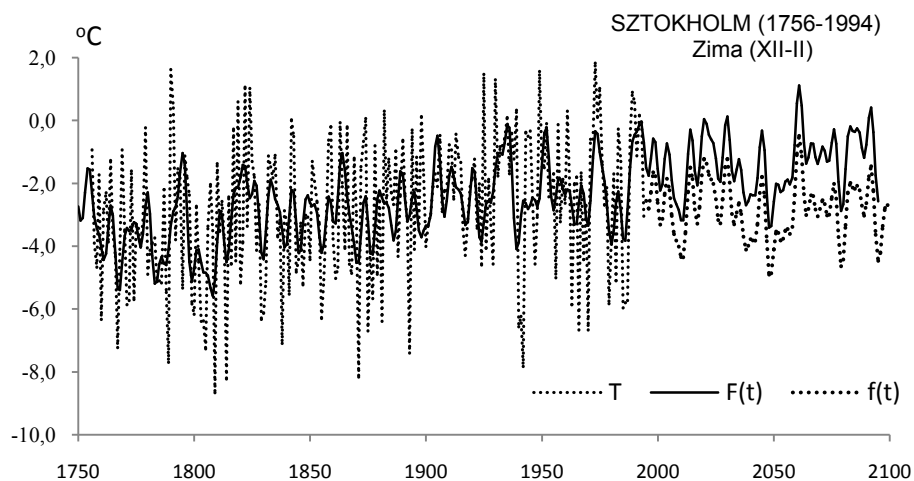
**Tabela 6.** Cykle temperatury powietrza w Sztokholmie (1756-1994) – zima, lato, styczeń  
**Table 6.** The cycles of air temperature in Stockholm(1756-1994) – winter, summer, January

Sztokholm								
Zima			Lato			Styczeń		
Θ lat	b °C	c	Θ lat	b °C	c	Θ lat	b °C	c
5,2	0,5220	-0,5684	6,0	0,1994	-3,0943	2,3	0,5540	1,5454
7,8	0,6588	0,5765	11,6	0,1887	2,2073	6,6	0,7367	-1,6145
10,0	0,3209	-0,2599	16,1	0,1823	-0,5240	9,2	0,9957	-1,3055
14,0	0,5246	0,8391	17,8	0,1794	-1,9104	15,2	0,6215	1,1805
17,9	0,2416	0,6092	19,9	0,2713	0,0790	22,2	0,7488	2,1216
19,7	0,2781	0,7322	24,0	0,2848	0,8928	47,2	0,2145	1,8760
22,2	0,5807	1,8524	30,0	0,3286	-2,8581	87,8	0,2272	2,8431
29,0	0,2725	2,7002	39,9	0,3616	-1,6759			
34,3	0,3113	0,4274	55,8	0,1151	2,1270			
39,7	0,2562	1,4168	89,4	0,1843	2,7569			
50,4	0,0460	0,7606	184,6	0,4983	-2,9288			
60,8	0,1347	1,0309						
86,3	0,2782	-0,1728						

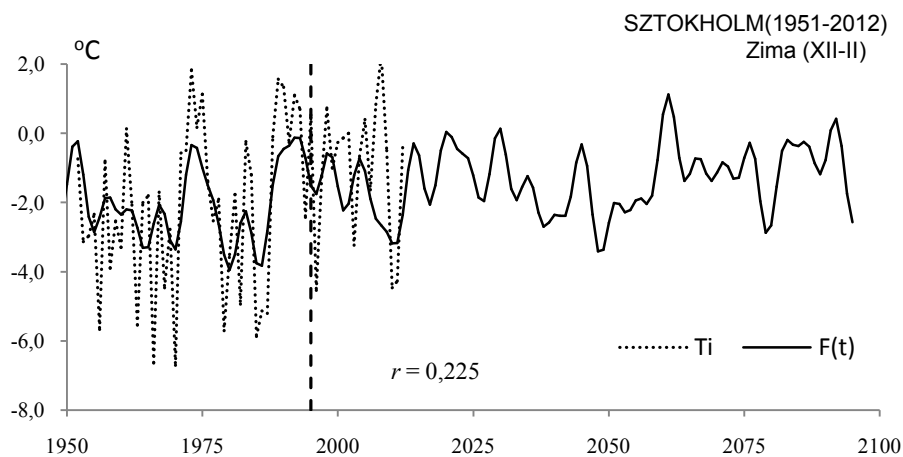
**Tabela 6a.** Cykle temperatury powietrza w Sztokholmie (1756-1994) – lipiec, rok  
**Table 6a.** The cycles of air temperature in Stockholm(1756-1994) – July, year

Lipiec			Rok				
Θ lat	b °C	c	Θ lat	b °C	c	R	$F_{obt}$
3,6	0,3834	1,4543	4,0	0,1953	-1,8131	0,135	2,20
5,1	0,3757	-2,5397	4,7	0,2203	-1,5501	0,152	2,79
6,8	0,3883	-0,4047	7,8	0,2943	0,3368	0,205	5,22
9,1	0,3562	2,4515	11,4	0,1605	2,3971	0,112	1,50
19,9	0,3867	0,4967	13,0	0,2472	2,0445	0,172	3,63
23,8	0,4114	3,0222	19,6	0,2574	-2,6845	0,172	3,63
40,4	0,3938	1,6298	39,3	0,2043	-0,5438	0,170	3,51
165,6	0,4790	2,9169	79,4	0,0325	-1,3492	0,062	0,46

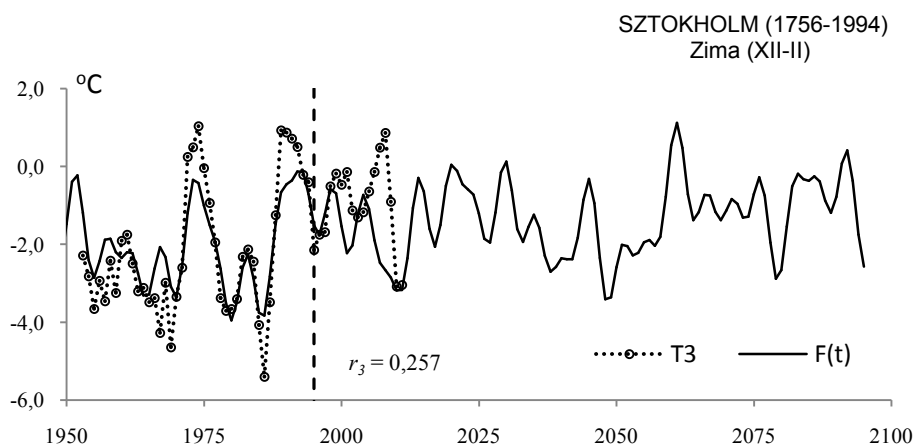
Prognozy temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1995-2100 w zimie (rys. 28, 28a, 28b) i lecie (rys. 29, 29a, 29b) zweryfikowano, porównując zmierzone średnie miesięczne wartości temperatury ( $T$ ) z prognozowanymi  $F(t)$ . Współczynniki korelacji w zimie ( $r = 0,225$ ,  $r_3 = 0,257$ ) i lecie ( $r = 0,125$ ,  $r_3 = 0,231$ ) w całym przedziale 1995-2012 nie jest istotny statystycznie na poziomie  $< 0,10$ , bowiem  $r_{0,10} = 0,400$  ( $n = 18$ ) Na uwagę jednak zasługuje widoczna zbieżność minimów i maksimów zmierzonych wartości temperatury powietrza i prognozowanej  $F(t)$ , mimo małych współczynnika korelacji  $r_3 = 0,257$  (rys. 28b) i  $r_3 = 0,231$  (rys. 29b). Koincydencja ekstremów zmierzonych wartości temperatury ( $T_3$ ) i prognozowanych  $f(t)$  występuje także w przypadku średniej rocznej przy jeszcze mniejszym współczynniku korelacji  $r = 0,156$  (rys. 32b) .



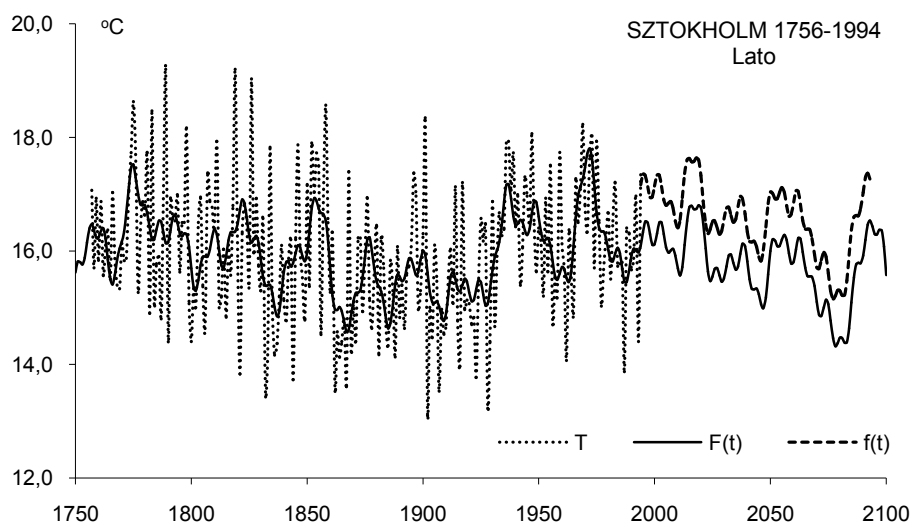
**Rys. 28.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Sztokholmie (1756-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1995-2100  
**Fig. 28.** Changes of mean air temperature in winter in Stockholm (1756-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1995-2100



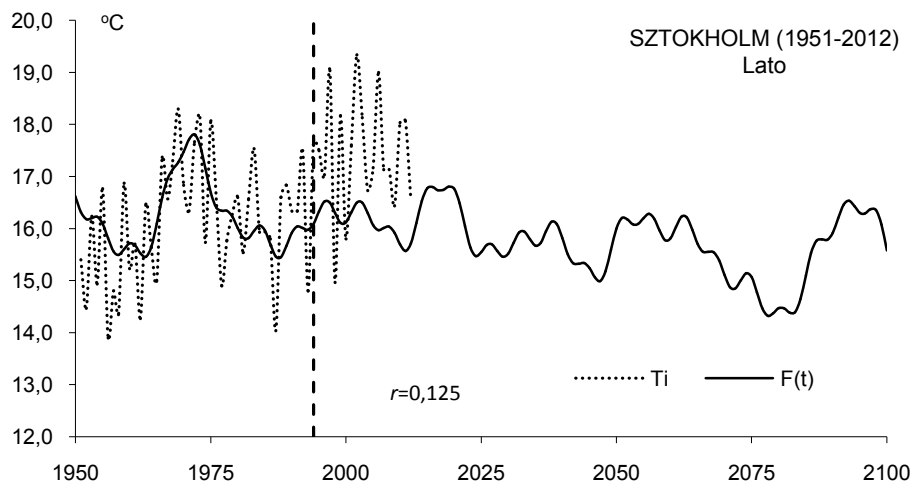
**Rys. 28a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Sztokholmie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1995-2100  
**Fig. 28a.** Changes of mean air temperature in winter in Stockholm (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1995-2100



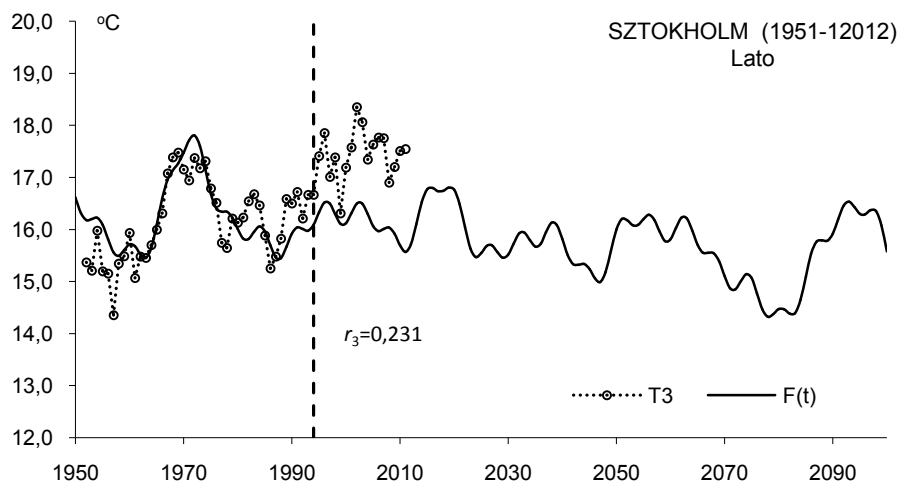
**Rys. 28b.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Sztokholmie (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwtywne 3-letnie,  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1995-2100  
**Fig. 28b.** Changes of mean air temperature in winter in Stockholm (1951-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year moving averages  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1995-2100



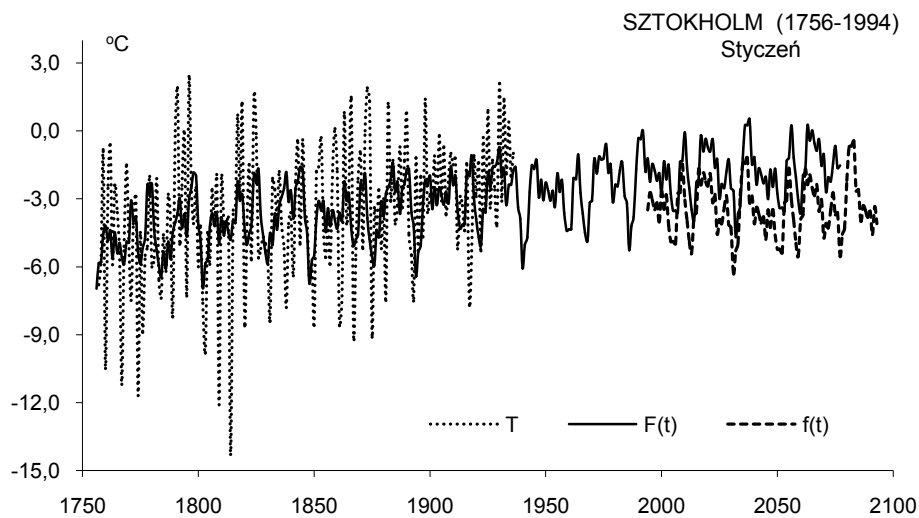
**Rys. 29.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Sztokholmie (1756-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1995-2100  
**Fig. 29.** Changes of mean air temperature in summer in Stockholm (1756-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1995-2100



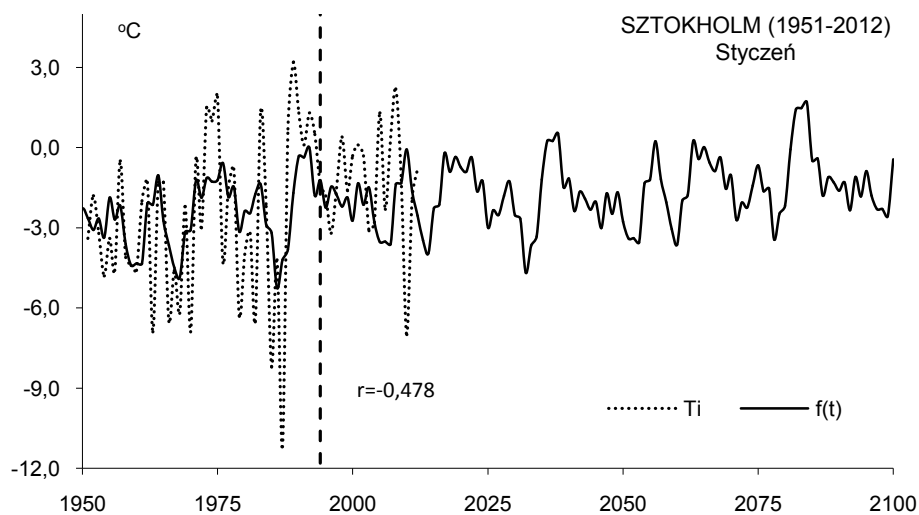
**Rys. 29a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Sztokholmie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzony,  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1995-2100  
**Fig. 29a.** Changes of mean air temperature in summer in Stockholm (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1995-2100



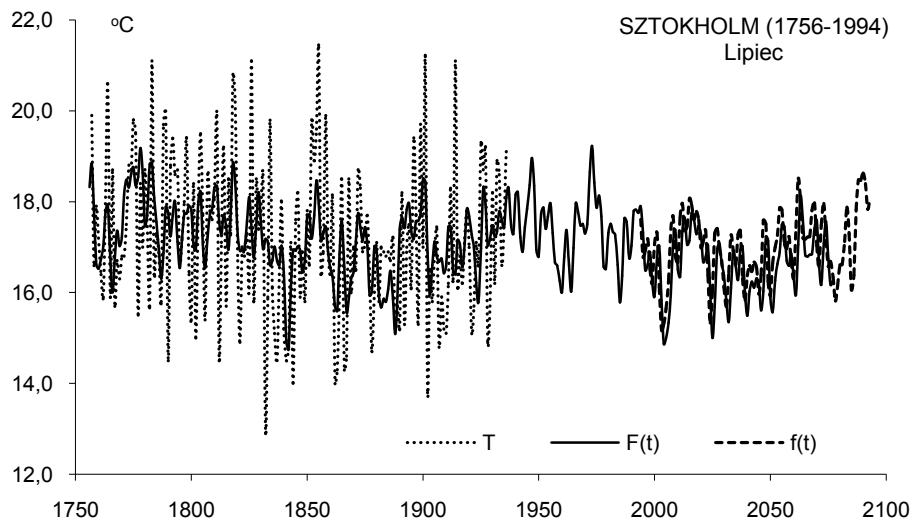
**Rys. 29b.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Sztokholmie (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzony, średnie konsekwentne 3-letnie,  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1995-2100  
**Fig. 29b.** Changes of mean air temperature in summer in Stockholm (1951-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year moving averages  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1995-2100



**Rys. 30.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Sztokholmie (1756-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1995-2100  
**Fig. 30.** Changes of mean air temperature in January in Stockholm (1756-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1995-2100

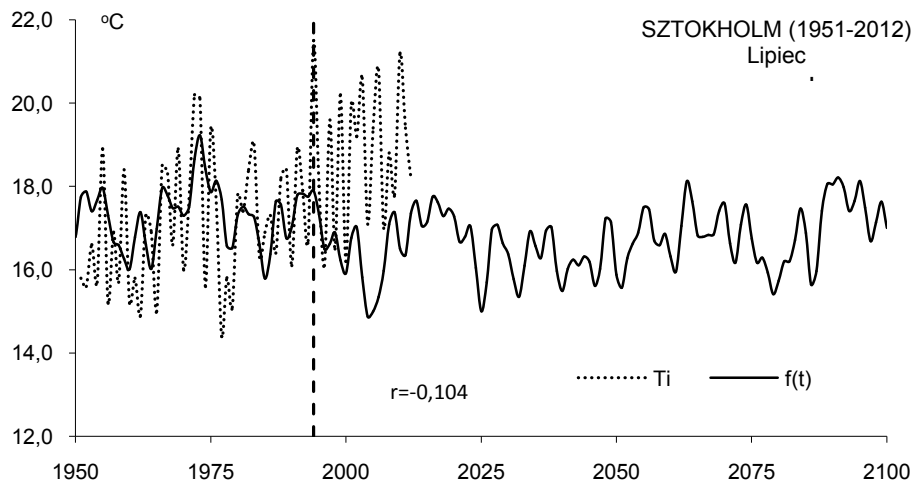


**Rys. 30a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Sztokholmie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1995-2100  
**Fig. 30a.** Changes of mean air temperature in January in Stockholm (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1995-2100



**Rys. 31.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Sztokholmie (1756-2100);  $T$  – wartości zmierzony,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1995-2100

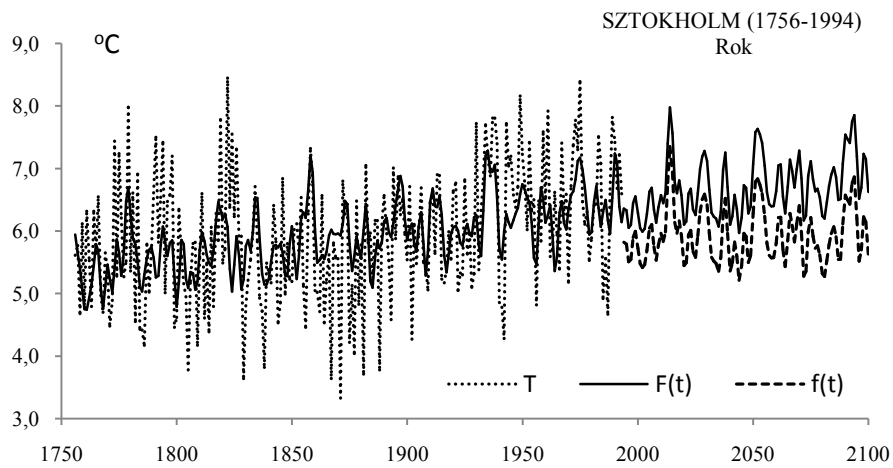
**Fig. 31.** Changes of mean air temperature in July in Stockholm (1756-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1995-2100



**Rys. 31a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Sztokholmie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzony,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1995-2100

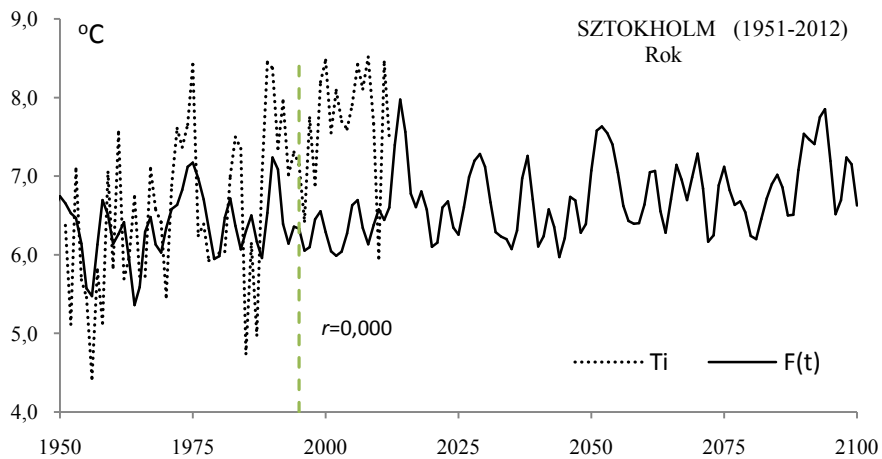
**Fig. 31a.** Changes of mean air temperature in July in Stockholm (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1995-2100





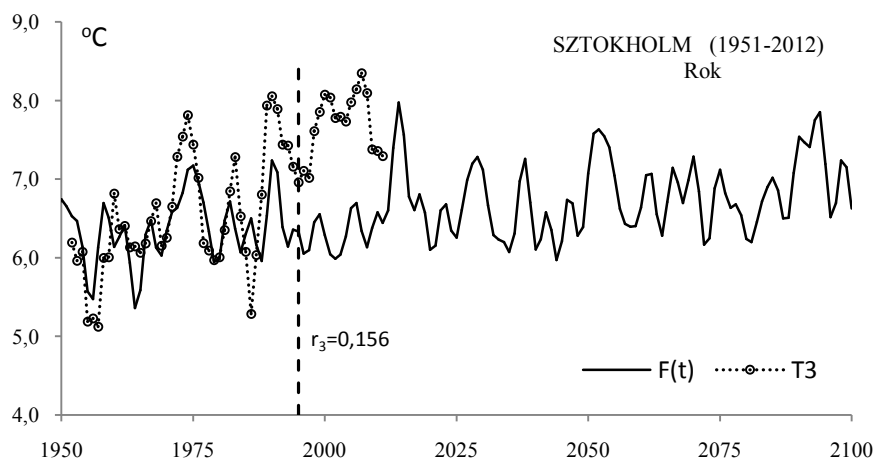
**Rys. 32.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Sztokholmie (1756-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1995-2100

**Fig. 32.** Changes of yearly mean air temperature in Stockholm (1756-2100);  $T$  – values measured  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1995-2100



**Rys. 32a** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Sztokholmie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone,  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1995-2100

**Fig. 32a** Changes of yearly mean air temperature in Stockholm (1951-2100);  $T_i$  – values measured  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1995-2100



**Rys. 32b** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Sztokholmie (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie,  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1995-2100  
**Fig. 32b** Changes of yearly mean air temperature in Stockholm (1951-2100);  $T_3$  – values measured, 3-year moving average,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1995-2100

### Ocena prognoz zmian temperatury w Zurychu w latach 1971-2100 według danych z 1864-1970 i 1951-2012

Prognozy temperatury powietrza w Zurychu w zimie, lecie, styczniu, lipcu i roku otrzymano według interferencji cykli o okresach  $\Theta$ , amplitudach  $b$  i fazach  $c$  (tab. 7 i tab. 7a).

Są one wypadkową nakładania się cykli: zima – 8 z najdłuższym 112,5 lat, lato – 8 z najdłuższym 58,2, styczeń – 8 z najdłuższym 94,2, lipiec – 8 z najdłuższym 62,8, rok – 7 z najdłuższym 70,6 lat, obecnych w widmach temperatury powietrza.

Funkcje trendów czasowych – to wypadkowe interferencji cykli  $F(t) = a_0 + at + \dots$  (ze składnikiem liniowym) i  $f(t)$  (bez składnika liniowego,  $at=0$ ). Dokładność aproksymacji serii pomiarowej w Sztokholmie w latach 1780-2002 charakteryzuje współczynnik korelacji wielokrotnej  $R$  (rys. 33-37):

#### Zurych

Zima	$F(t) = -9,84345 + 0,005227 t + \dots$	$R = 0,573$
Lato	$F(t) = 33,41028 - 0,00858 t + \dots$	$R = 0,662$
Styczeń	$F(t) = -19,4905 + 0,009881 t + \dots$	$R = 0,641$
Lipiec	$F(t) = 38,71212 - 0,01093 t + \dots$	$R = 0,731$
Rok	$F(t) = 6,858279 + 0,000933 t + \dots$	$R = 0,692$

Prognozy temperatury powietrza w Zurychu w latach 1971-2100 w zimie (rys. 33, 33a, 33b) i lecie (rys. 34, 34a, 34b) zweryfikowano, porównując zmierzone średnie miesięczne wartości temperatury ( $T$ ) z prognozowanymi  $F(t)$ . Współczynniki korelacji w zimie ( $r = 0,138$ ,  $r_3 = 0,128$ ) i lecie ( $r = 0,126$ ,  $r_3 = 0,193$ ) w całym przedziale 1971-2012 nie są istotne statystycznie na poziomie  $< 0,10$ , bowiem  $r_{0,10} = 0,400$  ( $n = 18$ ). W styczniu (rys. 35a) współczynnik korelacji  $r = -0,151$  jest ujemny. W lipcu widoczna jest zbieżność minimów i maksimów zmierzonych wartości temperatury powietrza i prognozowanych  $F(t)$ , mimo małych współczynnika korelacji  $r = 0,166$ ,

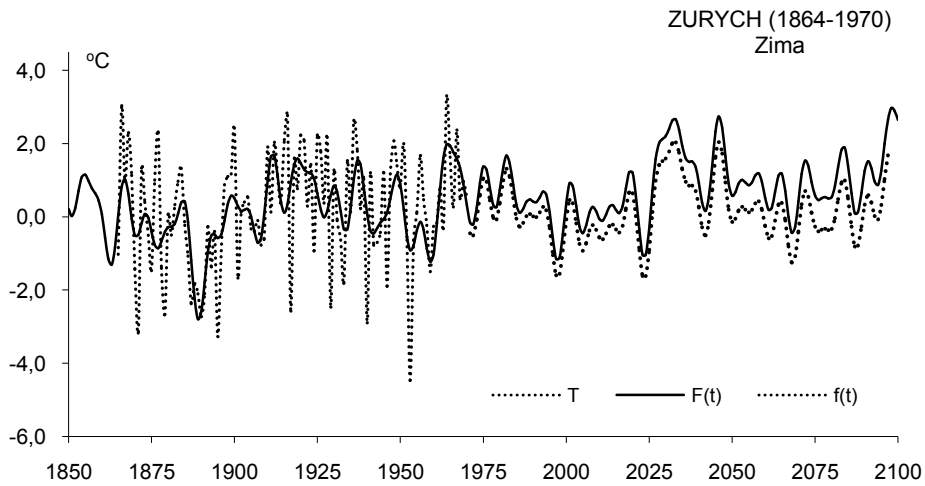
$r_3 = 0,325$  (rys. 36a, 36b)). Koincydencja ekstremów zmierzonych wartości temperatury ( $T_3$ ) i prognozowanych  $f(t)$  występuje także w przypadku średniej rocznej (rys. 37a, 37b, 37c) przy zbliżonych współczynnikach korelacji  $r = 0,322$  i  $r_3 = 0,404$ .

**Tabela 7.** Cykle temperatury powietrza w Zurychu (1864-1980) – zima, lato, styczeń  
**Table 7.** The cycles of air temperature in Zurich (1864-1980) – winter, summer, January

Zurych								
Zima			Lato			Rok		
Θ lat	$b$ °C	$c$	Θ lat	$b$ °C	$c$	Θ lat	$b$ °C	$c$
6,4	0,4214	-2,5536	4,0	0,1731	0,2300	2,3	0,7411	1,6977
9,0	0,5191	-0,7464	6,1	0,3886	0,0260	3,3	0,7499	-1,4409
13,5	0,4675	-1,5477	9,6	0,0749	-0,0678	7,5	0,7582	1,0821
16,5	0,3977	0,6850	10,9	0,1941	1,2133	9,1	0,6605	1,9480
22,1	0,3380	1,9953	14,7	0,1077	-2,5852	15,7	0,6928	0,7107
31,2	0,1790	0,2218	20,7	0,0493	-0,4061	22,1	0,6877	2,1428
59,3	0,6007	-0,5919	28,8	0,4550	1,1555	61,2	0,9159	-0,8373
112,5	0,2748	0,2837	58,2	0,2982	-0,4268	94,2	0,3461	-2,2445

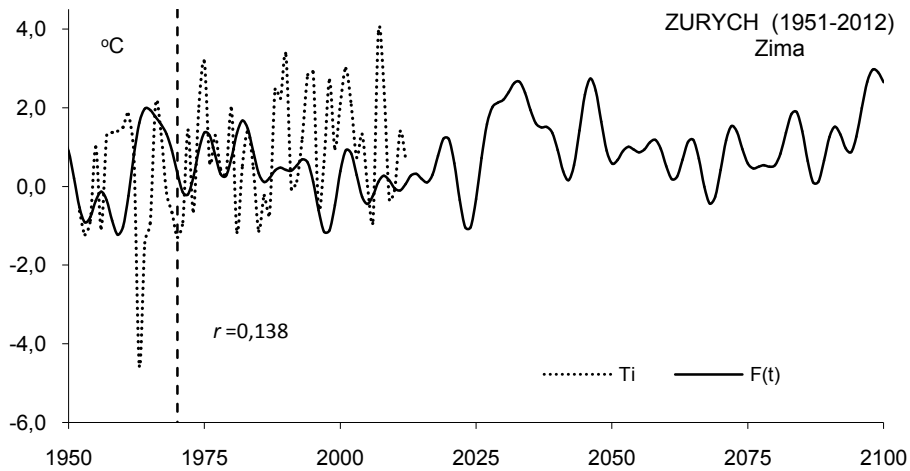
**Tabela 7a.** Cykle temperatury powietrza w Zurychu (1864-1980) – lipiec, rok  
**Table 7a.** The cycles of air temperature in Zurich (1864-1980) – July, year

Lipiec			Rok				
Θ lat	$b$ °C	$c$	Θ lat	$b$ °C	$c$	$R$	$F_{obl}$
2,4	0,4199	-0,1606	3,4	0,1600	3,0982	0,206	2,34
3,4	0,4030	1,0974	6,3	0,1975	-0,7604	0,219	2,67
3,8	0,4301	1,3054	7,5	0,2838	1,3350	0,369	8,37
4,0	0,4323	0,3048	9,1	0,1905	1,2524	0,270	4,16
5,2	0,5599	-1,8023	13,6	0,1950	-1,1465	0,254	3,65
6,1	0,7217	0,0656	30,7	0,1948	1,9226	0,254	3,65
29,0	0,6988	-1,9840	70,6	0,2553	-0,3358	0,299	5,20
62,8	0,4139	2,2265					



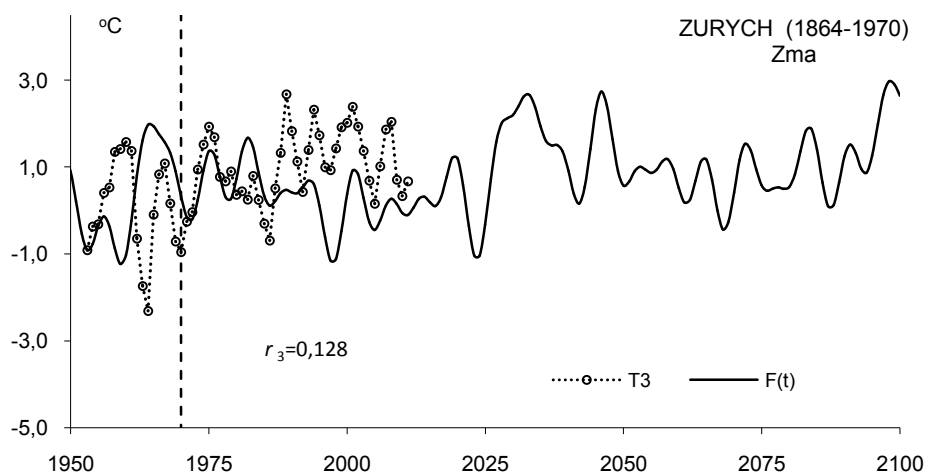
**Rys. 33.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Zurychu (1864-2100);  $T$  – wartości zmierzone  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1971-2100

**Fig. 33.** Changes of mean air temperature in winter in Zurich (1864-1970);  $T$  – measured values,  $F(t)$  and  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1971-2100

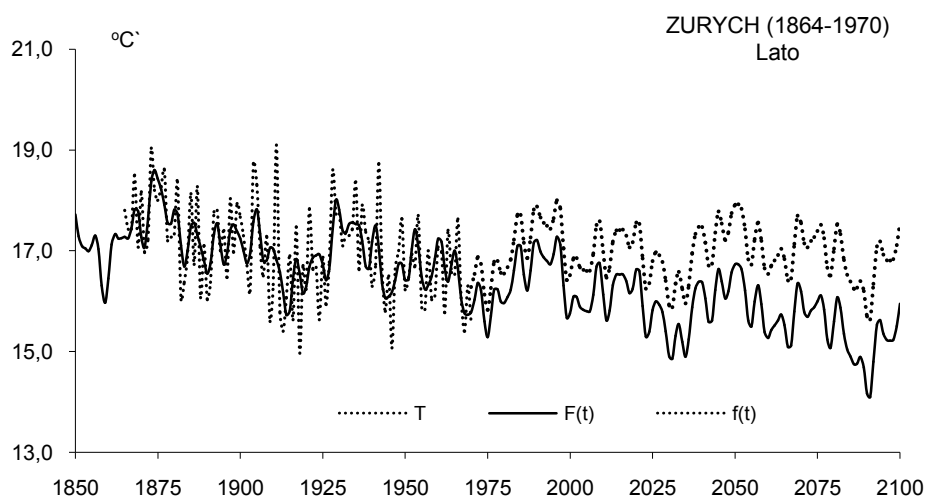


**Rys. 33a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Zurychu (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1971-2100

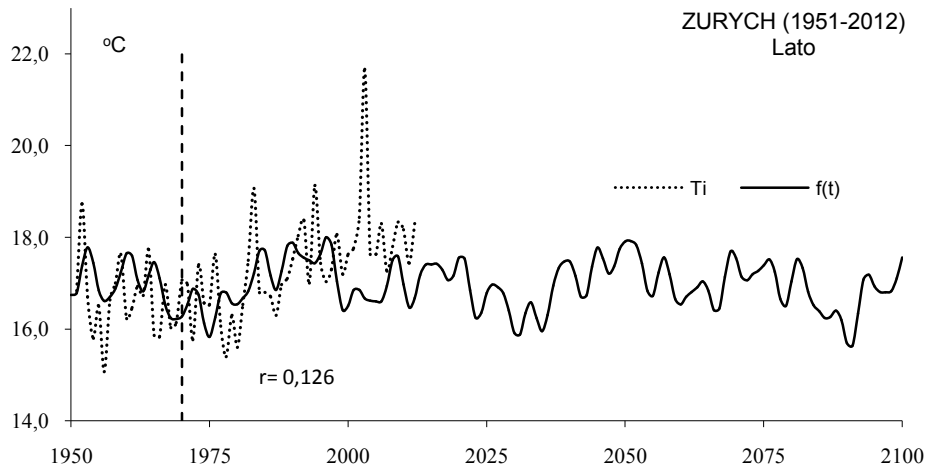
**Fig. 33a** Changes of mean air temperature in winter in Zurich (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1971-2100



**Rys. 33b.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Zurychu (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie,  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1971-2100  
**Fig. 33b.** Changes of mean air temperature in winter in Zurich (1951-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1971-2100

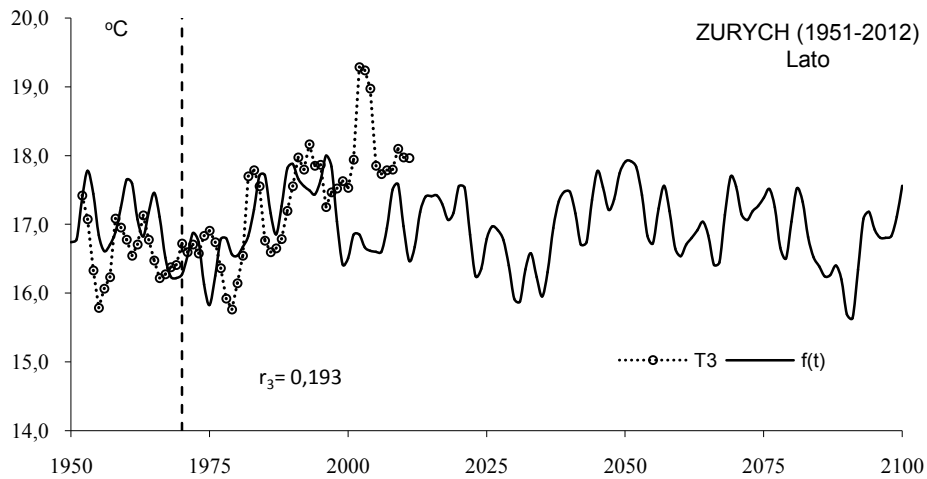


**Rys. 34.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Zurychu (1864-2100);  $T$  – wartości zmierzone  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1971-2100  
**Fig. 34.** Changes of mean air temperature in summer in Zurich (1864-1970);  $T$  – measured values,  $F(t)$  and  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1971-2100



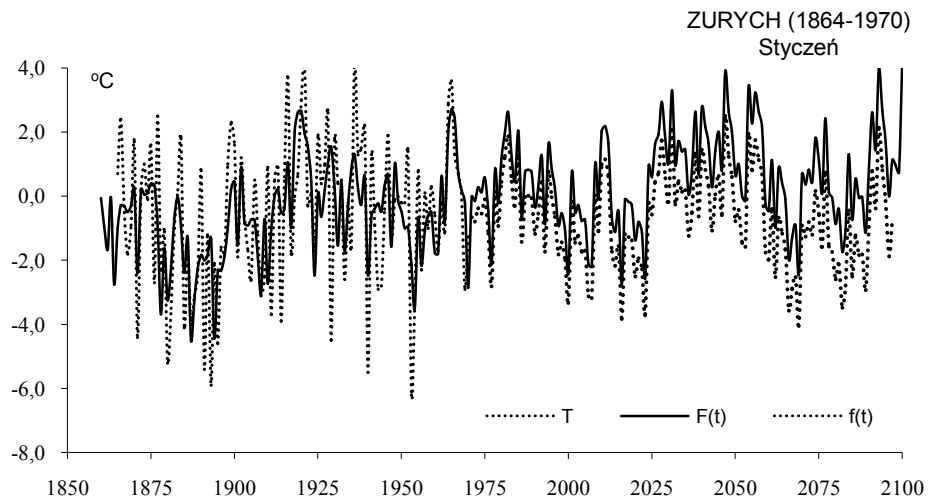
**Rys. 34a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Zurychu (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1971-2100

**Fig. 34a** Changes of mean air temperature in summer in Zurich (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1971-2100



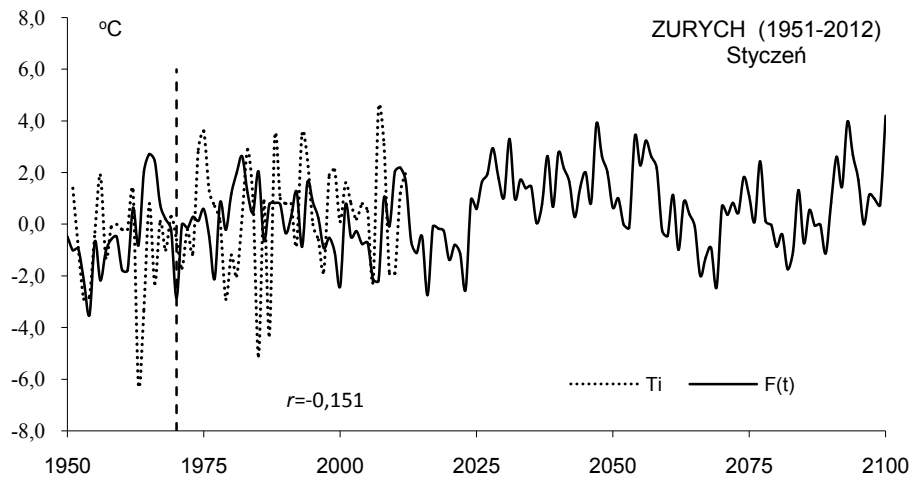
**Rys. 34b.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Zurychu (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie,  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1971-2100

**Fig. 34b.** Changes of mean air temperature in summer in Zurich (1951-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1971-2100



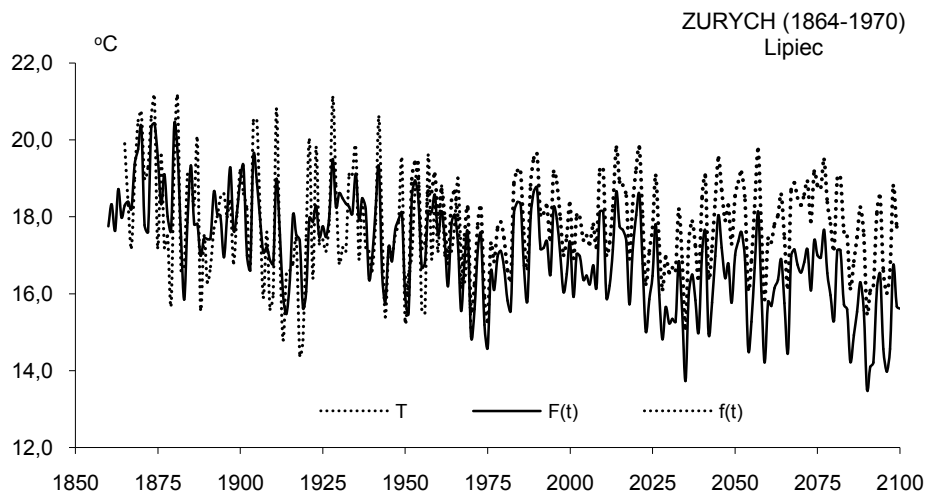
**Rys. 35.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Zurychu (1864-2100);  $T$  – wartości zmierzone  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1971-2100

**Fig. 35.** Changes of mean air temperature in January in Zurich (1864-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$  and  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1971-2100

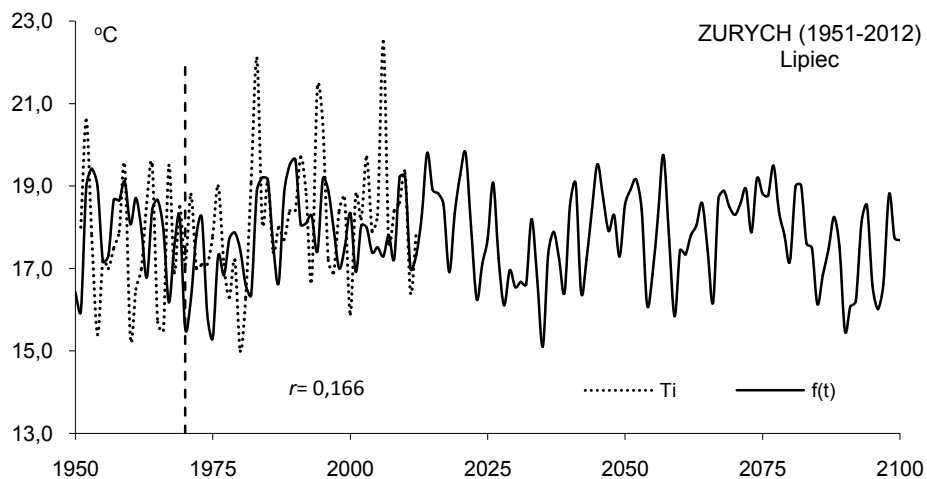


**Rys. 35a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Zurychu (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1971-2100

**Fig. 35a** Changes of mean air temperature in January in Zurich (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1971-2100

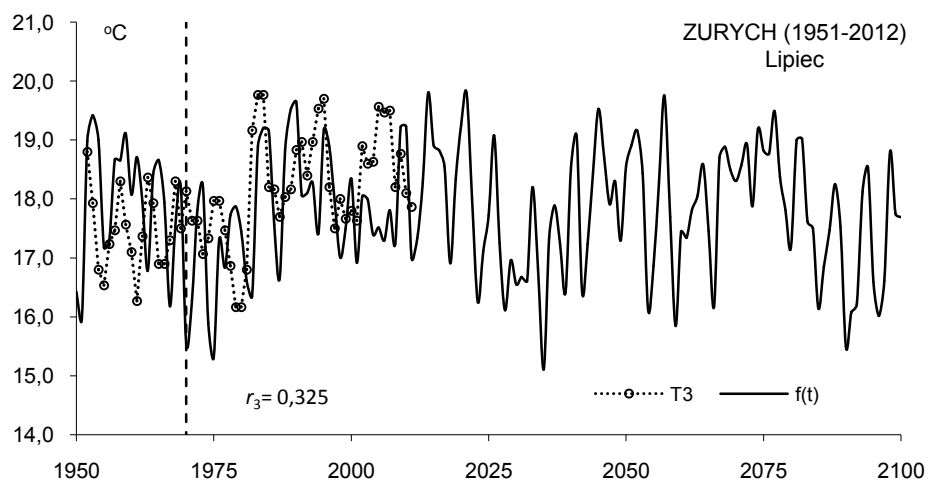


**Rys. 36.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Zurychu (1864-2100);  $T$  – wartości zmierzone  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1971-2100  
**Fig. 36.** Changes of mean air temperature in July in Zurich (1864-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$  and  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1971-2100



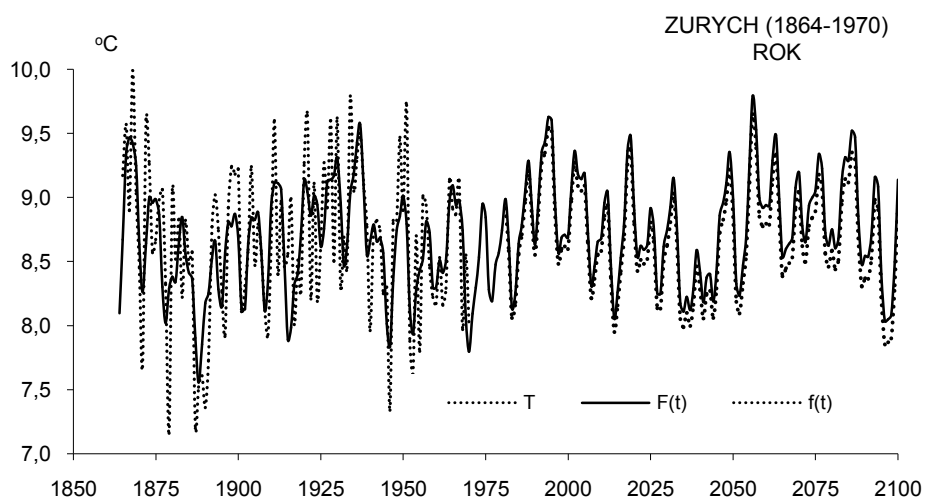
**Rys. 36a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Zurychu (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1971-2100  
**Fig. 36a.** Changes of mean air temperature in July in Zurich (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1971-2100





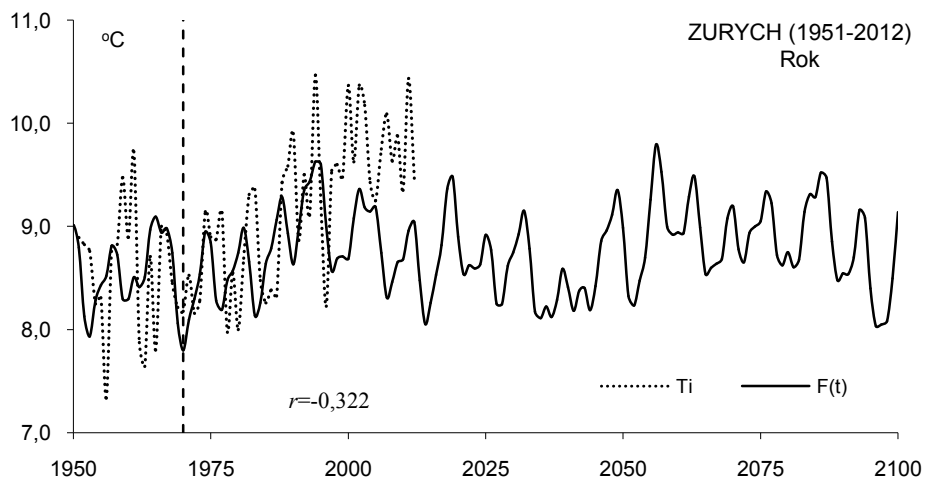
**Rys. 36b.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Zurychu (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentnie 3-letnie,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1971-2100

**Fig. 36b.** Changes of mean air temperature in July in Zurich (1951-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1971-2100



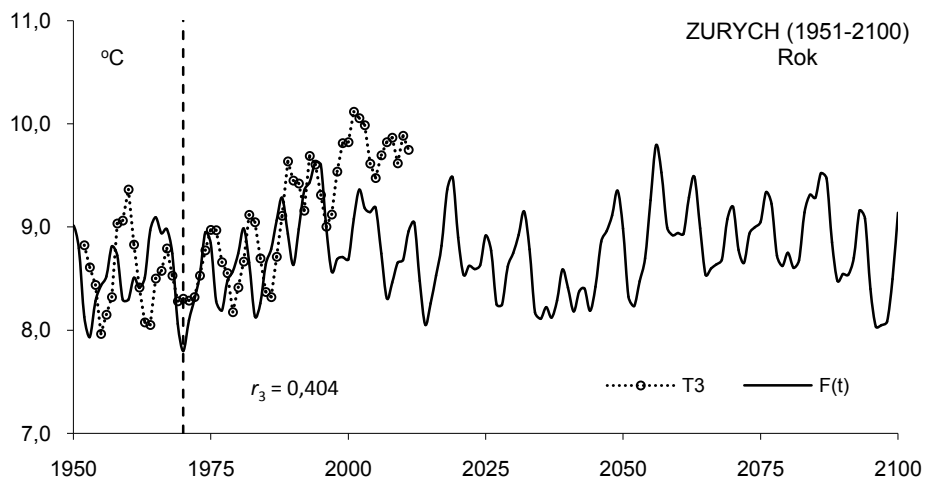
**Rys. 37.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Zurychu (1864-2100);  $T$  – wartości zmierzone  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1971-2100

**Fig. 37.** Changes of yearly mean air temperature in winter in Zurich (1864-1970);  $T$  – measured values,  $F(t)$  and  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1971-2100



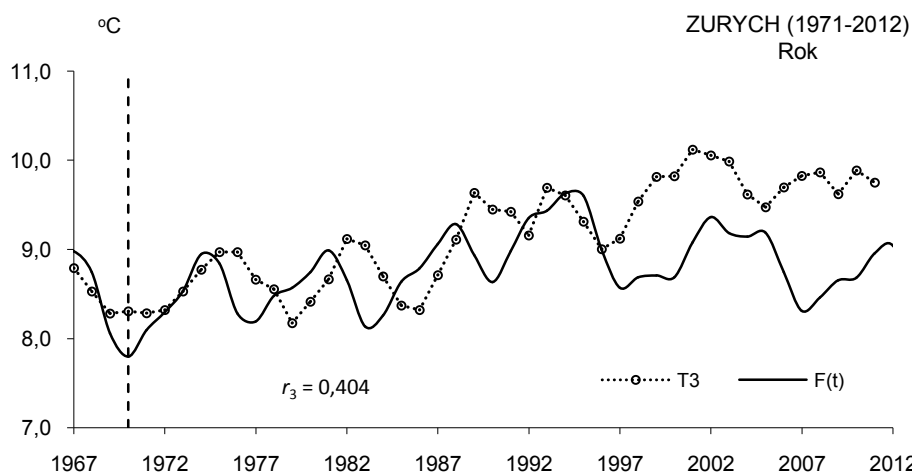
**Rys. 37a.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Zurychu (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1971-2100

**Fig. 37a.** Changes of yearly mean air temperature in winter in Zurich (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1971-2100



**Rys. 37b.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Zurychu (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzone  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1971-2100

**Fig. 37b.** Changes of yearly mean air temperature in winter in Zurich (1951-2100);  $T_{13}$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1971-2100



**Rys. 37c.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Zurychu (1971-2012);  $T_3$  – wartości zmierzone  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1971-2012

**Fig. 37c.** Changes of yearly mean air temperature in winter in Zurich (1971-2012);  $T_{i3}$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1971-2012

### 9.3. Weryfikacja prognoz zmian temperatury powietrza w: Rzymie (1811-1989), Wiedniu (1775-2002) i Kijowie (1812- 2002)

#### Ocena prognoz zmian temperatury w Rzymie w latach 1991-2100 według danych z 1811-1990 i 1951-2012

Prognozy temperatury powietrza w Rzymie w zimie, lecie, styczniu, lipcu i roku otrzymano według interferencji cykli o okresach  $\theta$ , amplitudach  $b$  i fazach  $c$  ( tab. 8 i tab.8a).

Są one wypadkową nakładania się cykli: zima –11 z najdłuższym 72,1 lat, lato – 12 z najdłuższym 139,5 styczeń – 8 z najdłuższym 69,7, lipiec – 9 z najdłuższym 64,1, rok– 8 z najdłuższym 144,4 lat, obecnych w widmach temperatury powietrza.

Funkcje trendów czasowych – to wypadkowe interferencji cykli  $F(t) = a_0 + at + \dots$  (ze składnikiem liniowym) i  $f(t)$  (bez składnika liniowego,  $at=0$ ) . Dokładność aproksymacji serii pomiarowej w Rzymie w latach 1811-1990 charakteryzuje współczynnik korelacji wielokrotnej  $R$  (rys. 38-42:

#### Rzym

Zima	$F(t) = 2,086457 + 0,003035 t + \dots$	$R = 0,558$
Lato	$F(t) = 25,53936 - 0,00107 t + \dots$	$R = 0,665$
Styczeń	$F(t) = 0,39477 + 0,003529 t + \dots$	$R = 0,509$
Lipiec	$F(t) = 24,40522 + 0,00004 t + \dots$	$R = 0,605$
Rok	$F(t) = 15,04063 + 0,000228 t + \dots$	$R = 0,659$

Tendencja wzrostowa temperatury powietrza w zimie w Rzymie w latach 1811-1990 wynosi  $a = 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}/100\text{lat}$ .

**Tabela 8.** Cykle temperatury powietrza w Rzymie (1811-1989) – zima, lato, styczeń  
**Table 8.** The cycles of air temperature in Rome (1811-1989) – winter, summer, January

Rzym								
Zima			Lato			Styczeń		
Θ lat	b °C	c	Θ lat	b °C	c	Θ lat	b °C	c
3,9	0,1832	-0,0281	3,9	0,2506	-0,2396	2,6	0,4095	-1,8352
5,5	0,2561	-0,8016	5,9	0,2450	2,5537	5,5	0,4583	-1,1944
7,9	0,1622	-2,5376	7,1	0,1372	-3,0935	7,3	0,3789	2,1190
11,8	0,1867	0,4439	9,0	0,1759	-0,6827	19,4	0,4071	3,1356
15,1	0,2177	-2,9995	10,7	0,2055	0,2037	22,9	0,1691	-0,0487
19,3	0,1526	-0,6126	13,8	0,2394	2,2730	27,4	0,3091	-0,4580
23,0	0,1063	1,6675	17,2	0,2328	1,3368	49,2	0,4024	0,9852
27,4	0,2110	-0,1218	20,5	0,2597	2,2829	69,7	0,4359	-0,8410
33,6	0,1796	2,1648	25,6	0,1738	0,7964			
48,0	0,3023	1,3843	40,3	0,1253	-0,8881			
72,1	0,4040	-1,0044	64,6	0,3607	1,4231			
			139,5	0,2440	3,1246			

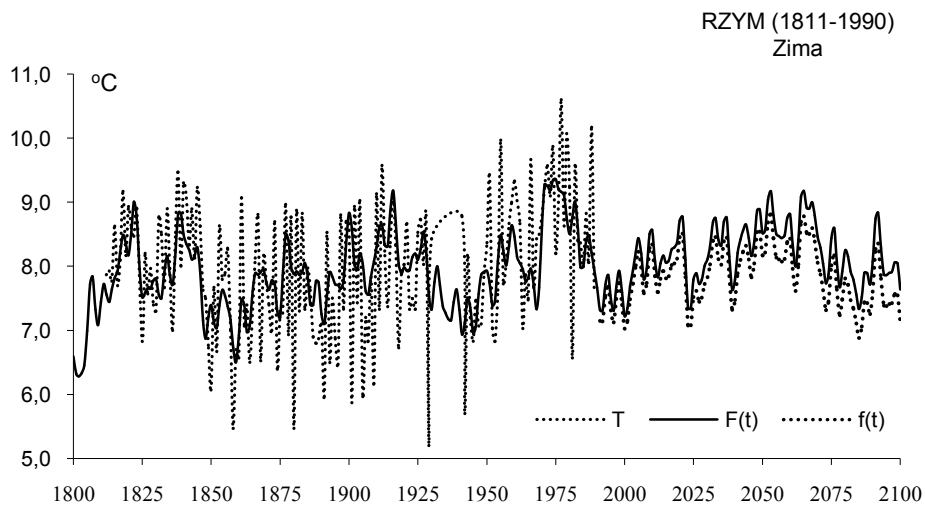
**Tabela 8a.** Cykle temperatury powietrza w Rzymie (1811-1989) – lipiec, rok  
**Table 8a.** The cycles of air temperature in Rome (1811-1989) – July, year

Lipiec			Rok				
Θ lat	b °C	c	Θ lat	b °C	c	R	F <sub>obl</sub>
3,9	0,3293	-0,3474	4,4	0,1262	-1,1259	0,17	2,32
4,4	0,2338	-0,4097	5,5	0,1467	-0,7007	0,20	3,31
5,9	0,3739	2,3726	8,1	0,1151	2,0821	0,18	2,65
8,2	0,2123	0,5529	10,7	0,164	0,7022	0,25	5,37
9,2	0,2847	3,0476	11,7	0,1828	-2,2047	0,28	6,79
10,9	0,2976	2,0734	20,6	0,1615	-0,8152	0,28	6,79
20,2	0,2883	-0,1036	56,3	0,193	-0,6481	0,27	6,43
30,7	0,2287	-2,7553	144,4	0,2357	-1,2984	0,30	8,27
64,1	0,5402	-0,1702					

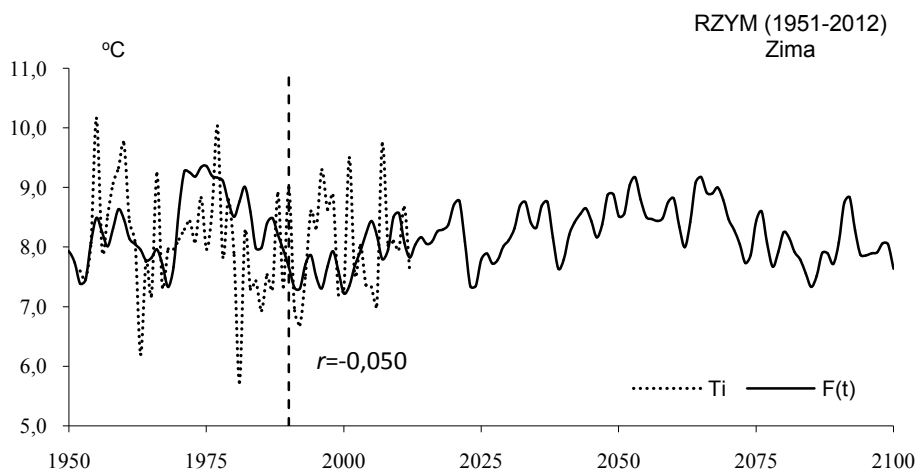
Prognozy temperatury powietrza w Rzymie w latach 1990-2100 w zimie (rys. 38, 38a) i lecie (rys. 39, 39a, 39b) zweryfikowano, porównując zmierzone średnie miesięczne wartości temperatury ( $T_i$ ) z prognozowanymi  $F(t)$ . Współczynniki korelacji w zimie ( $r = -0,050$ ), i lecie ( $r = 0,206$ ,  $r_3 = 0,131$ ) w całym przedziale 1990-2012 nie są istotne statystycznie na poziomie  $< 0,10$ , bowiem  $r_{0,10} = 0,340$  ( $n = 23$ ). W styczniu (rys. 40a) współczynnik korelacji  $r = -0,043$  jest ujemny. W lipcu (rys. 41a, 41b, 41c) jest koincydencja ekstremów zmierzonych wartości temperatury powietrza ( $T_i$ ,  $T_3$ ) i prognozowanych  $F(t)$ .

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).

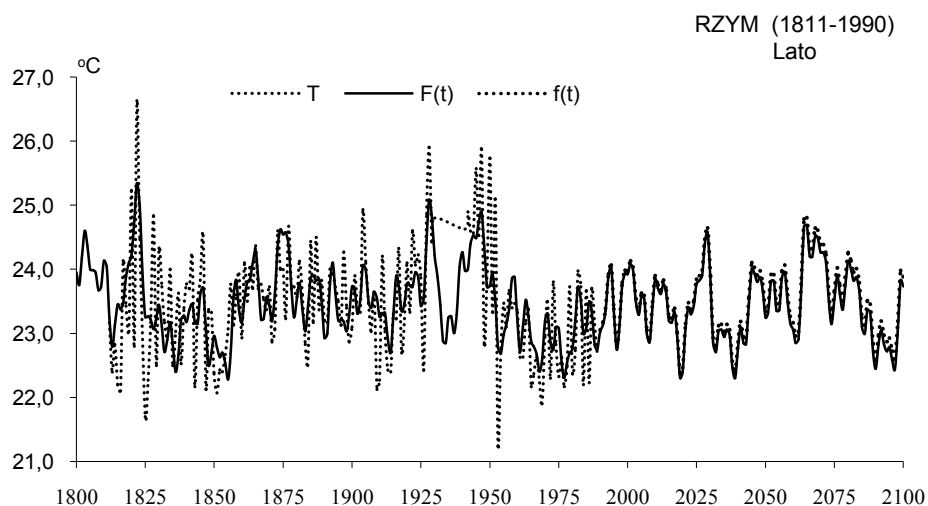
Jeszcze lepsza jest koincydencja ekstremów między średnimi konsekwentnymi 3-letnimi wartościami temperatury powietrza w lipcu w Rzymie w latach 1990-2012 i prognozowanymi  $f(t)$ . Współczynnik korelacji między  $T_3$  i  $f(t)$  wynosi  $r = 0,612$  i jest istotny prawie na poziomie 0,001 ( $r_{0,001} = 0,640$ ).



**Rys. 38.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Rzymie (1811-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1992-2100  
**Fig. 38.** Changes of mean air temperature in winter in Rome (1811-210);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1992-2100

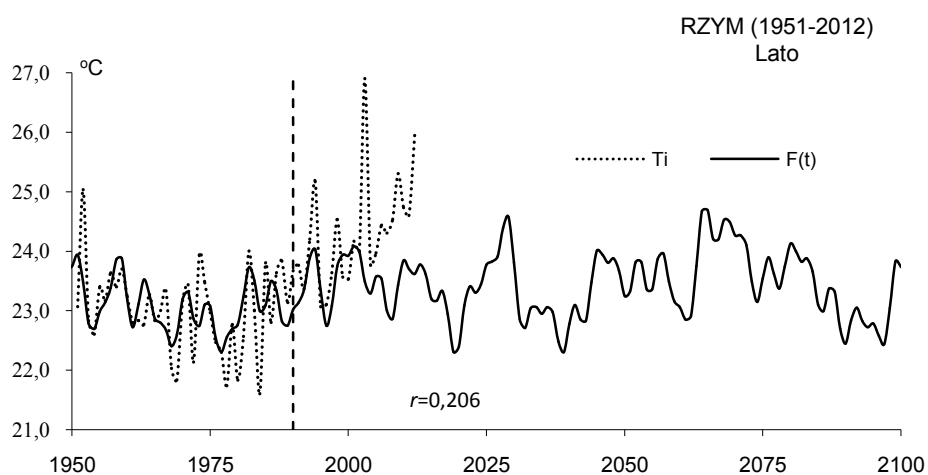


**Rys. 38a.** Zmiany (1811-1991) temperatury powietrza w zimie w Rzymie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone,  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1992-2100  
**Fig. 38a.** Changes of mean air temperature in Rome in winter (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1992-2100



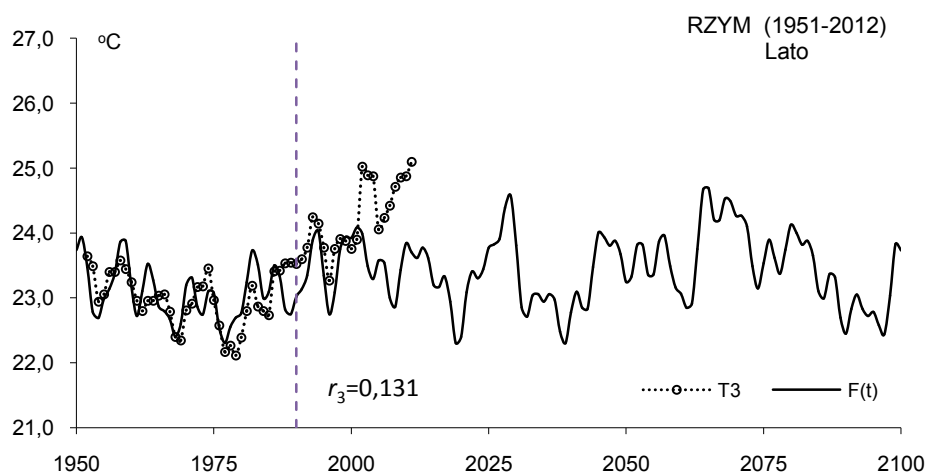
**Rys. 39.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Rzymie (1811-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1992-2100

**Fig. 39.** Changes of mean air temperature in summer in Rome (1811-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1992-2100

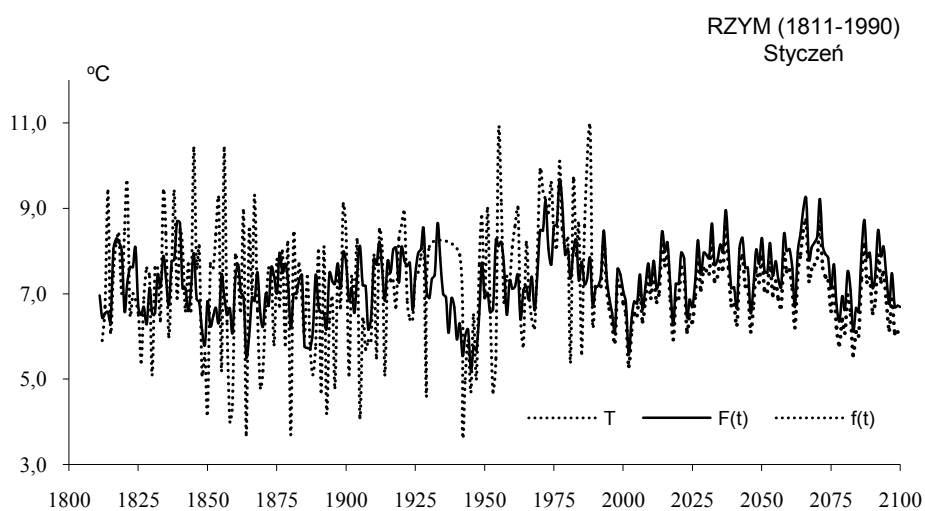


**Rys. 39a.** Zmiany temperatury powietrza w lecie w Rzymie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone,  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1992-2100

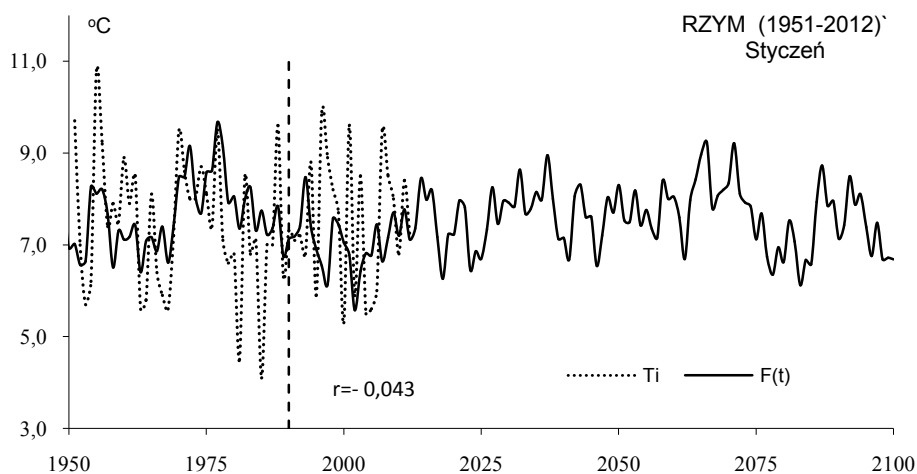
**Fig. 39a.** Changes of mean air temperature in Rome in summer (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1992-2100



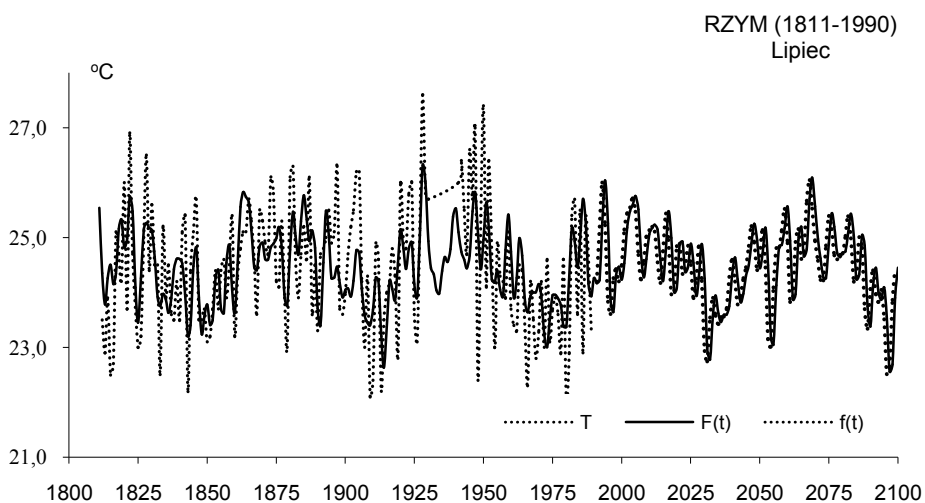
**Rys. 39b.** Zmiany temperatury powietrza w lecie w Rzymie (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie,  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1992-2100  
**Fig. 39b.** Changes of mean air temperature in Rome in summer (1951-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1992-2100



**Rys. 40** Zmiany (1811-1991) temperatury powietrza w styczniu w Rzymie (1811-1991);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 40** Changes of mean air temperature in Rome in January (1811-1991);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100

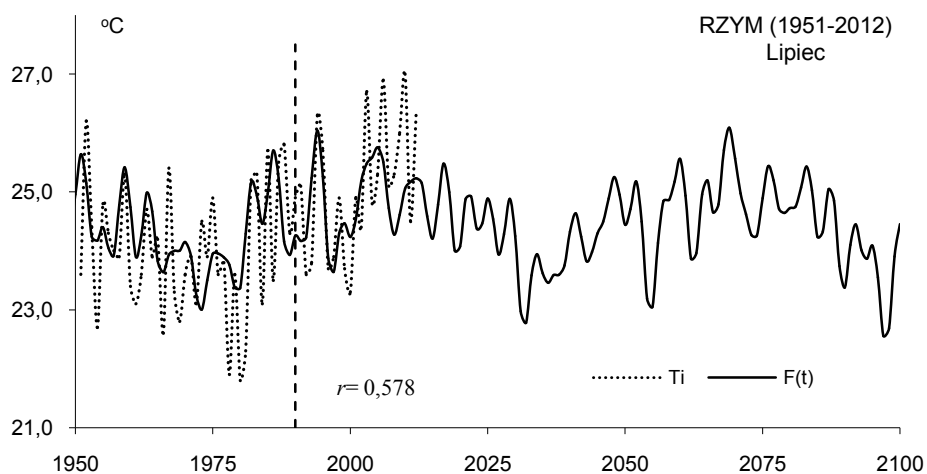


**Rys. 40a** Zmiany średniej temperatury powietrza w Styczniu w Rzymie (1951-2100;  $T_i$  – wartości zmierzzone (1951-2012),  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 40a.** Changes of mean air temperature in January in Rome (1951-2100);  $T_i$  – measured values, (1951-2012),  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100

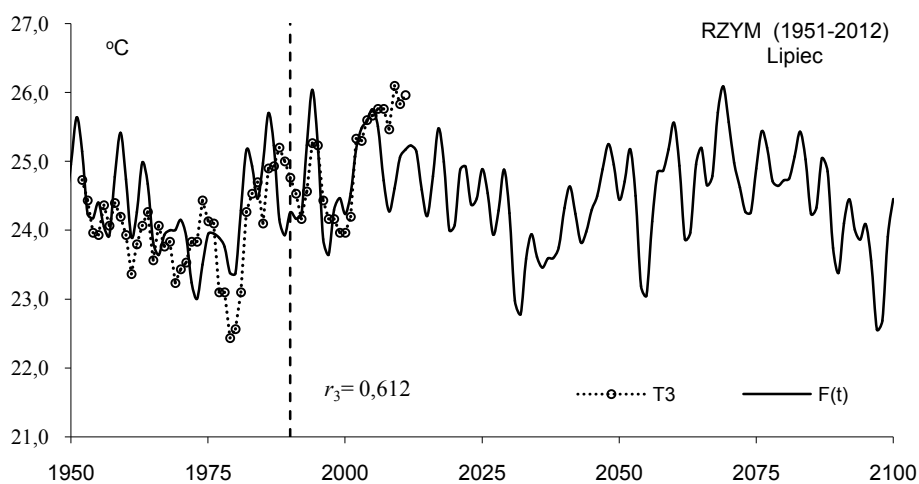


**Rys. 41.** Zmiany (1811-1991) temperatury powietrza w lipcu w Rzymie (1811-1991);  $T$  – wartości zmierzzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 41** Changes of mean air temperature in Rome in July (1811-1991);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100

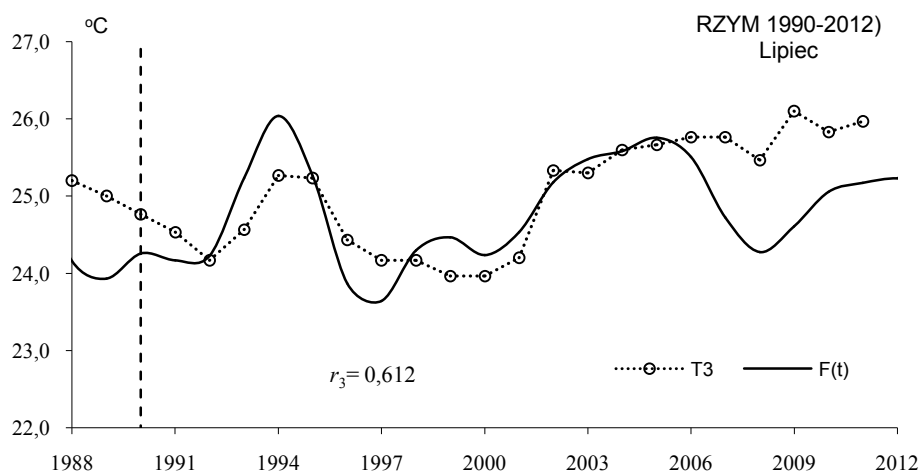




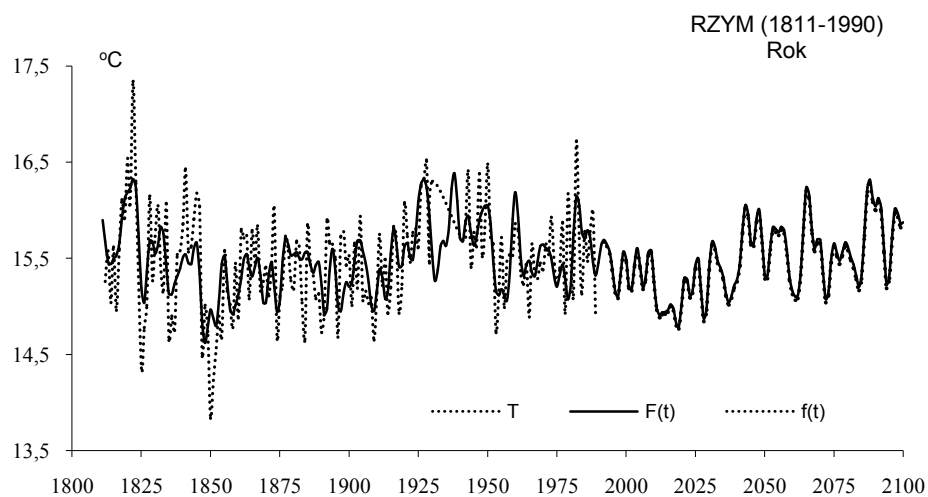
**Rys. 41a** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Rzymie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone (1951-2012),  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 41a.** Changes of mean air temperature in July in Rome (1951-2100);  $T_i$  – measured values, (1951-2012),  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100



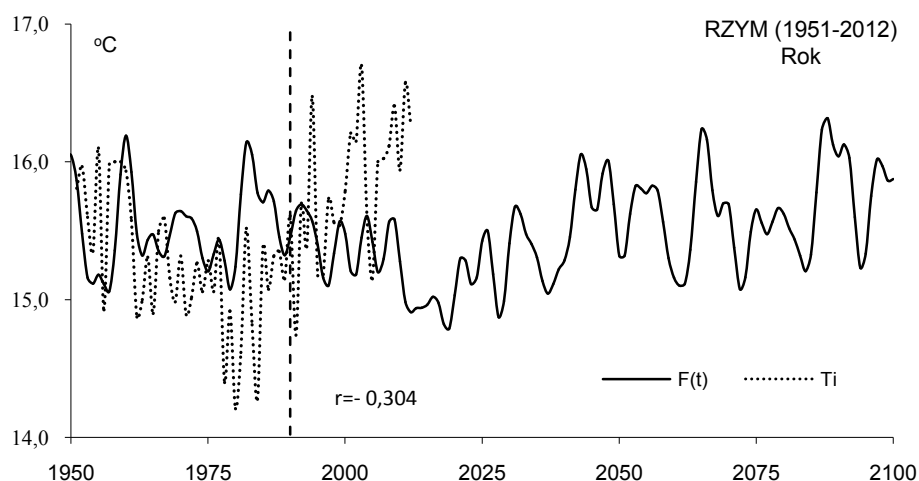
**Rys. 41b** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Rzymie w lecie (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie;  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 41b.** Changes of mean air temperature in July in Rome (1951-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100



**Rys. 41c** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Rzymie w lecie (1990-2012);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie;  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2012  
**Fig. 41c.** Changes of mean air temperature in July in Rome (1990-2012);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2012



**Rys. 42.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Rzymie (1811-2100);  $T$  – wartości zmierzone,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2100  
**Fig. 42.** Changes of yearly mean air temperature in Rome (1811-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100



**Rys. 42a.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Rzymie (1950-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone, 1951-2012,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 42a.** Changes of yearly mean air temperature in Rome (1950-2100);  $T_i$  – measured values 1951-2012,  $F(t)$ ,  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2100

### Ocena prognoz zmian temperatury w Wiedniu w latach 2003-2100 według danych z 1775-2002 i 1951-2012

Prognozy temperatury powietrza w Wiedniu w latach 2003-2100 w zimie, lecie, styczniu, lipcu i roku otrzymano według interferencji cykli o okresach  $\Theta$ , amplitudach  $b$  i fazach  $c$  (tab. 9 i tab.9a).

Są one wypadkową nakładania się cykli: zima – 13 z najdłuższym 89,8 lat, lato – 11 z najdłuższym 96,1, styczeń – 8 z najdłuższym 90,2, lipiec – 8 z najdłuższym 94,3, rok – 9 z najdłuższym 93,7 lat, obecnych w widmach temperatury powietrza.

Funkcje trendów czasowych – to wypadkowe interferencji cykli  $F(t) = a_0 + at + \dots$  (ze składnikiem liniowym) i  $f(t)$  (bez składnika liniowego,  $at=0$ ). Dokładność aproksymacji serii pomiarowej w Wiedniu w latach 1775-2002 charakteryzuje współczynnik korelacji wielokrotnej  $R$  (rys. 43-47):

Wiedeń		
Zima	$F(t) = -12,2564 + 0,006308 t + \dots$	$R = 0,476$
Lato	$F(t) = 20,43185 - 0,00091 t + \dots$	$R = 0,477$
Styczeń	$F(t) = -16,8255 + 0,008117 t + \dots$	$R = 0,504$
Lipiec	$F(t) = 19,30314 + 0,000131 t + \dots$	$R = 0,524$
Rok	$F(t) = 4,925207 + 0,002352 t + \dots$	$R = 0,551$

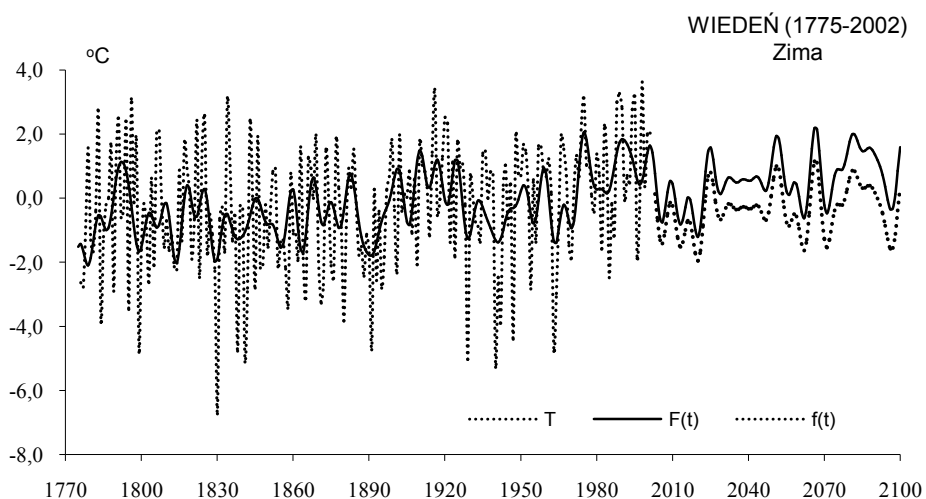
Prognozy temperatury powietrza w Wiedniu w latach 2003-2100 w zimie (rys. 43, 43a) i lecie (rys. 44, 44a, 44b, 44c) zweryfikowano, porównując zmierzone średnie miesięczne wartości temperatury  $T_i$  w Wiedniu (Hohe Warte) z prognozowanymi  $F(t)$ . Współczynnik korelacji w zimie ( $r = -0,202$ ) jest ujemny. Natomiast w lecie współczynnik korelacji  $r = 0,580$  ( $r_3 = 0,541$  jest mniejszy) w całym przedziale 2003-2012 jest istotny statystycznie na poziomie 0,05, bowiem  $r_{0,05} = 0,576$  ( $n = 10$ ). W styczniu (rys. 40a), lipcu (rys. 46a) i roku (47a) współczynniki korelacji  $r = -0,366$ ,  $r = -0,099$  i  $r = -0,668$  są ujemne.

**Tabela 9** Cykle temperatury powietrza w Wiedniu (1775-2002) – zima, lato, styczeń  
**Table 9.** The cycles of air temperature in Vienna ((1775-2002) – winter, summer, January

Wiedeń								
Zima			Lato			Styczeń		
Θ lat	<i>b</i> °C	<i>c</i>	Θ lat	<i>b</i> °C	<i>c</i>	Θ lat	<i>b</i> °C	<i>c</i>
7,1	0,3573	1,4701	5,0	0,2220	-0,9557	2,6	0,9286	-2,6710
8,3	0,4622	1,5366	7,0	0,2059	-2,9809	4,6	0,5864	-1,2761
11,0	0,2098	2,0987	9,0	0,1474	0,7285	5,5	0,6642	-1,2675
12,9	0,4176	1,0317	13,8	0,2145	1,5333	7,8	0,5528	-0,4083
15,4	0,2750	-0,2103	20,1	0,1048	0,4869	8,8	0,4053	-1,5677
18,5	0,3009	-2,8174	23,8	0,1926	2,0458	9,3	0,7910	-0,3471
22,8	0,1559	-2,3763	33,2	0,1314	0,6157	61,4	0,7475	-0,2869
25,9	0,2335	-0,4396	41,7	0,1755	-3,0671	90,2	0,3782	0,7250
29,7	0,1228	0,1845	50,2	0,1970	-2,8791			
33,5	0,1755	0,1203	67,4	0,2805	-3,0365			
41,0	0,3774	-2,4563	96,1	0,2664	-2,3159			
62,3	0,4032	2,7566						
89,8	0,3659	0,4244						

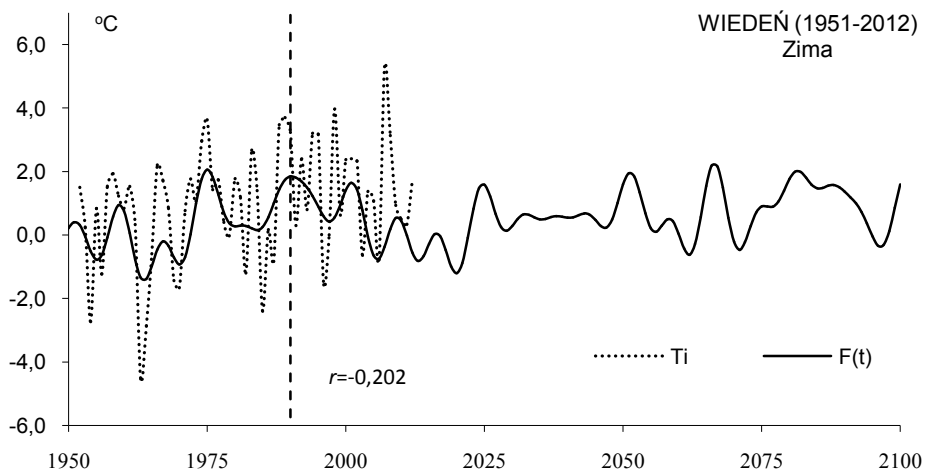
**Tabela 9a** Cykle temperatury powietrza w Wiedniu (1775-2002) – lipiec, rok  
**Table 9a.** The cycles of air temperature in Vienna ((1775-2002) – July, year

Lipiec			Rok				
Θ lat	<i>b</i> °C	<i>c</i>	Θ lat	<i>b</i> °C	<i>c</i>	<i>R</i>	<i>F<sub>obl</sub></i>
3,1	0,2935	-2,0380	4,7	0,2032	-1,1515	0,174	3,51
3,9	0,4350	-0,6432	5,5	0,2110	-1,3734	0,181	3,84
5,1	0,3559	-2,2810	7,8	0,1944	0,1221	0,181	3,84
5,9	0,5206	2,2761	10,5	0,1895	-1,9114	0,177	3,67
6,5	0,3378	0,7836	12,8	0,1881	-0,0143	0,199	4,66
9,2	0,3150	-2,5425	13,9	0,1536	1,0922	0,166	3,18
65,5	0,3993	-1,9780	41,6	0,2017	1,9889	0,161	3,02
94,3	0,2842	1,4572	63,1	0,1952	-2,1275	0,192	4,33
			93,7	0,2340	0,2257	0,212	5,33



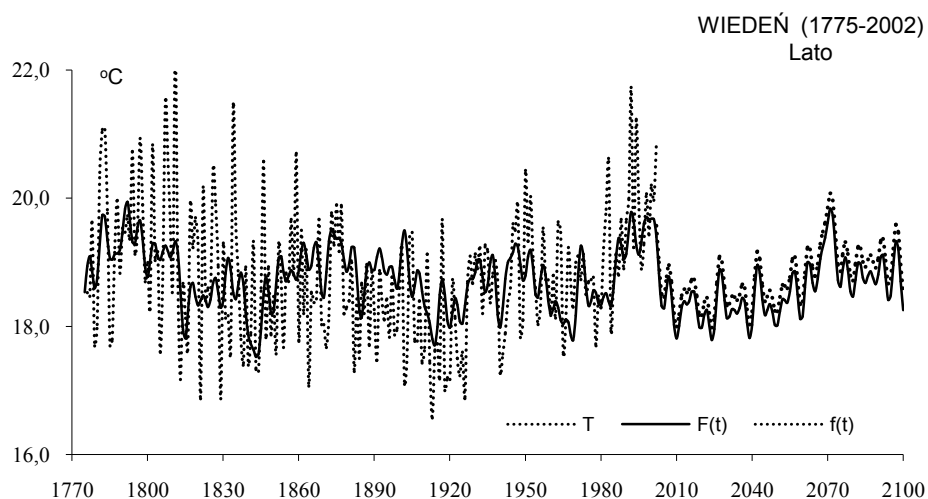
**Rys. 43.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Wiedniu (1775-2100);  $T$  – wartości zmierzone  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 43.** Changes of mean air temperature in winter in Vienna (1775-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$  and  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100



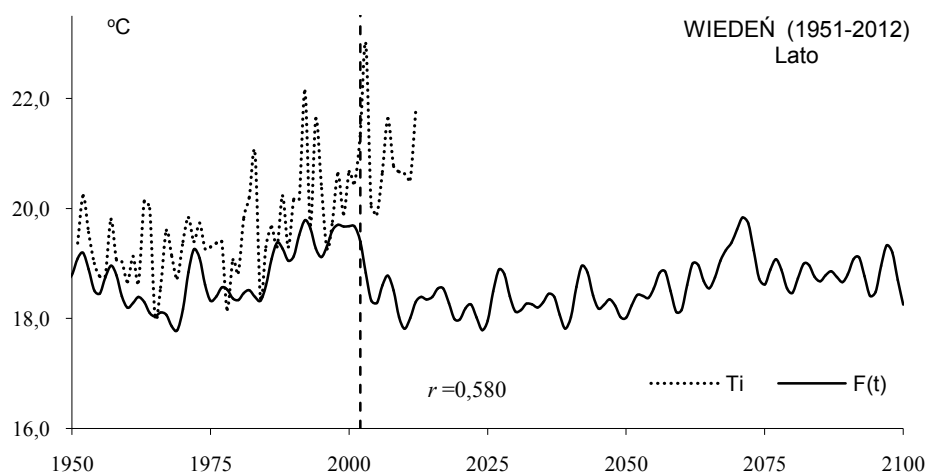
**Rys. 43a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Wiedniu (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 43a.** Changes of mean air temperature in winter in Vienna (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100



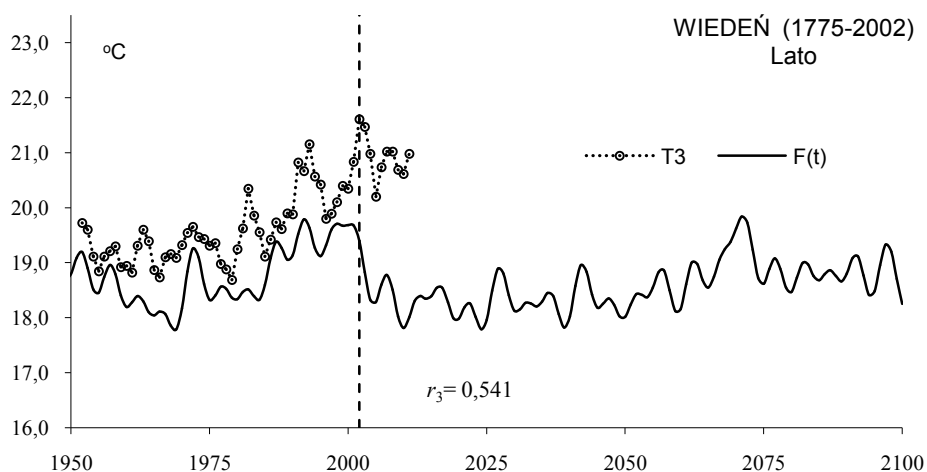
**Rys. 44.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Wiedniu (1775-2100);  $T$  – wartości zmierzone  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 44.** Changes of mean air temperature in summer in Vienna (1775-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$  and  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100

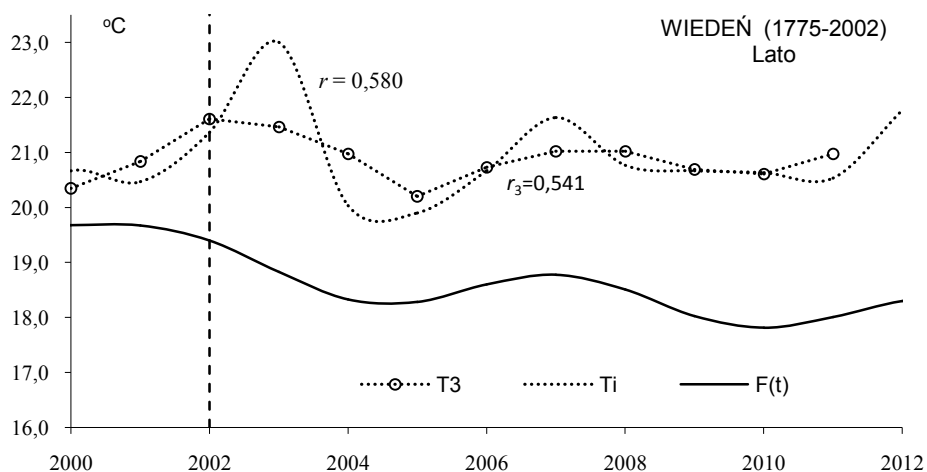


**Rys. 44a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Wiedniu (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

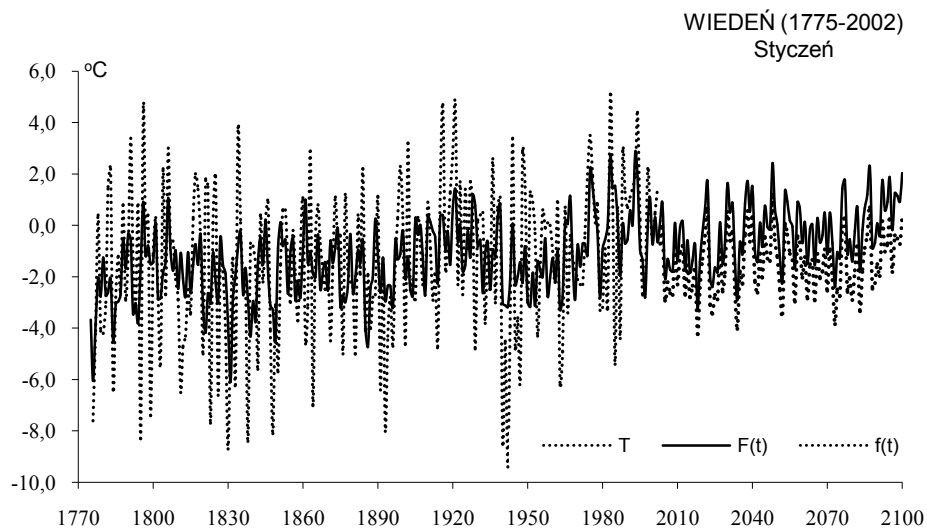
**Fig. 44a.** Changes of mean air temperature in summer in Vienna (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100



**Rys. 44b.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Wiedniu (1951-2100);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie,  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100  
**Fig. 44b.** Changes of mean air temperature in summer in Vienna 1951-2100);  $T_3$  – measured values, 3-year moving averages  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100

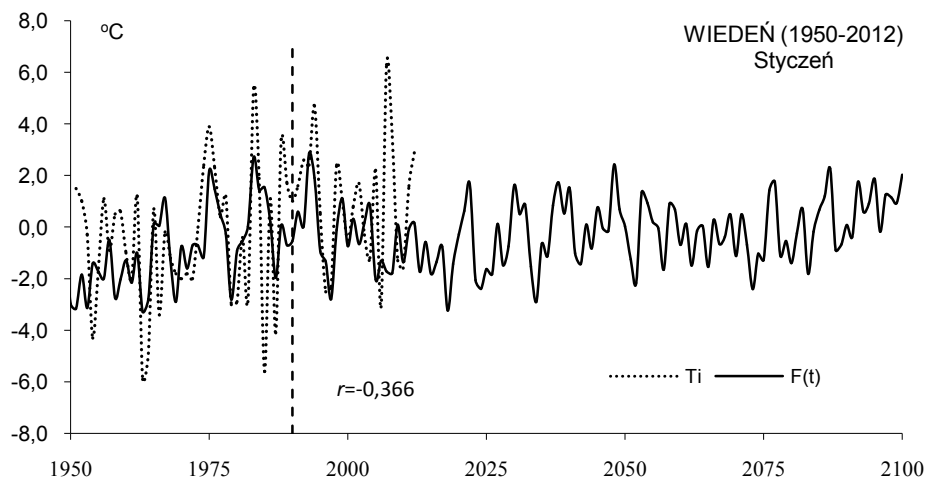


**Rys. 44c.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Wiedniu (1951-2100);  $T_i, T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie,  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100  
**Fig. 44c.** Changes of mean air temperature in summer in Vienna 1951-2100);  $T_i, T_3$  – measured values, 3-year moving averages  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100



**Rys. 45.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Wiedniu (1775-2100);  $T$  – wartości zmierzzone  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

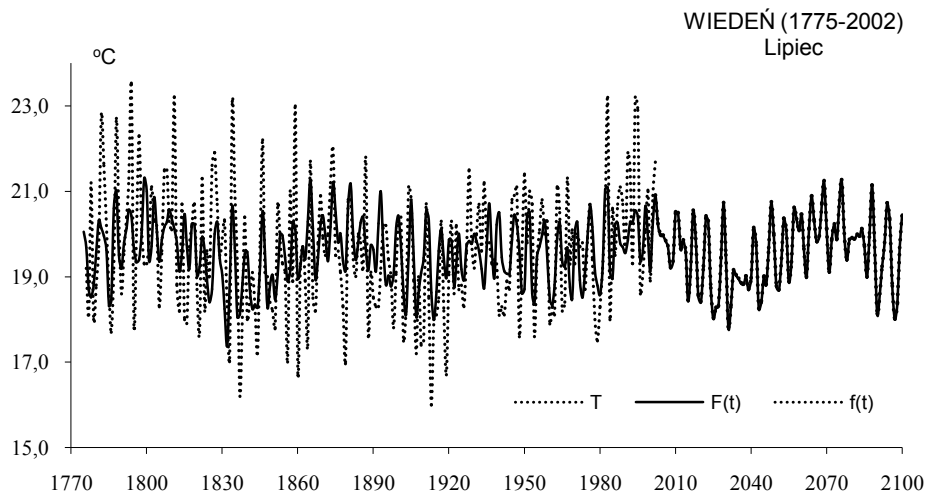
**Fig. 45.** Changes of mean air temperature in January in Vienna (1775-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$  and  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100



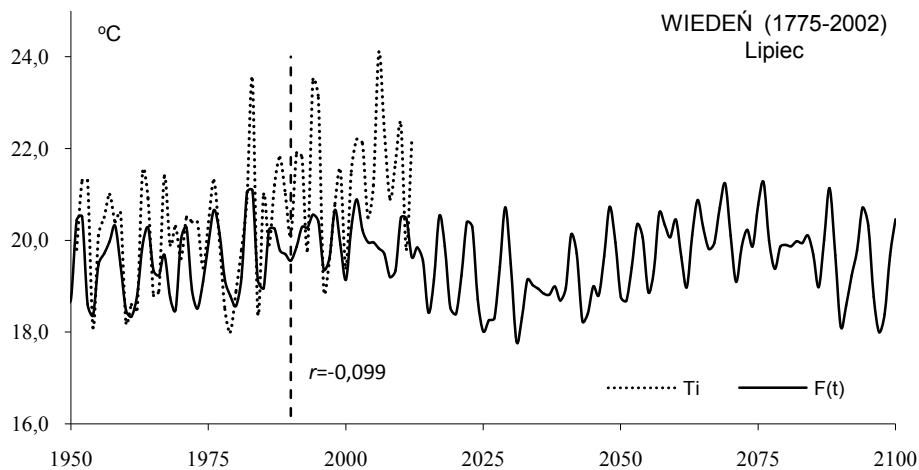
**Rys. 45a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Wiedniu (1951-2100);  $T_1$  – wartości zmierzzone  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 45a.** Changes of mean air temperature in January Vienna (1951-2100);  $T_1$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100

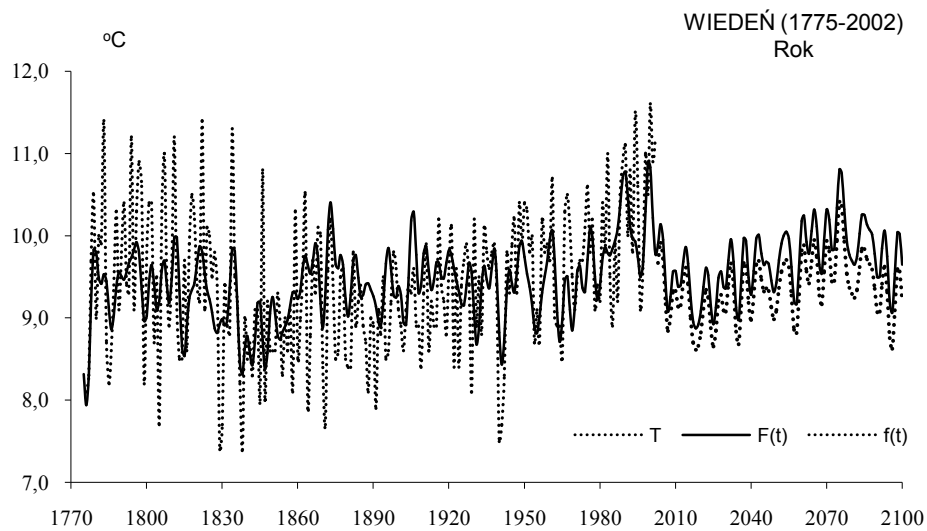




**Rys. 46.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Wiedniu (1775-2100);  $T$  – wartości zmierzone  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100  
**Fig. 46.** Changes of mean air temperature in July in Vienna (1775-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$  and  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100

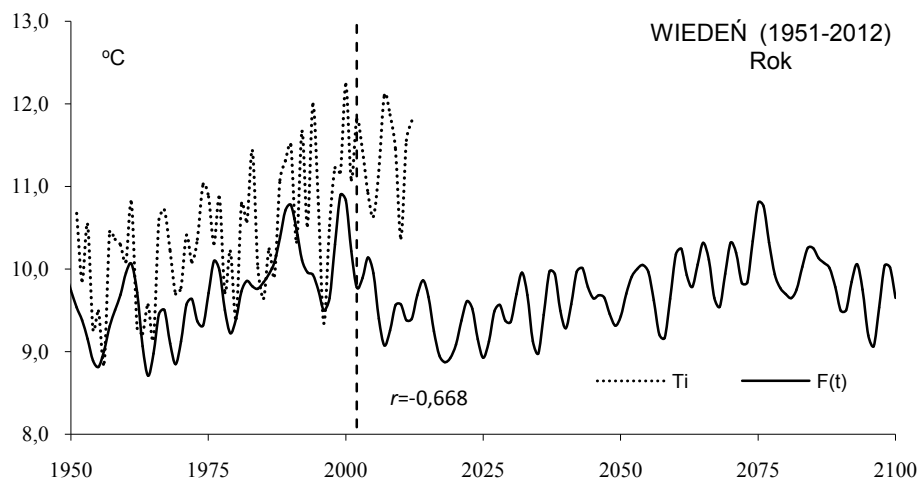


**Rys. 46a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Wiedniu (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100  
**Fig. 46a.** Changes of mean air temperature in July in Vienna (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100



**Rys. 47.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Wiedniu (1775-2100);  $T$  – wartości zmierzone  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 47.** Changes of yearly mean air temperature in Vienna (1775-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$  and  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100



**Rys. 47a.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Wiedniu (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 47a.** Changes of yearly mean air temperature in Vienna (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100

## Ocena prognoz zmian temperatury w Kijowie w latach 2003-2100 według danych z 1812-2002 i 1951-2012

Prognozy temperatury powietrza w Kijowie w zimie, lecie, styczniu, lipcu i roku otrzymano według interferencji cykli o okresach  $\Theta$ , amplitudach  $b$  i fazach  $c$  ( tab. 10 i tab.10a).

Są one wypadkową nakładania się cykli: zima –11 z najdłuższym 91,8 lat, lato – 12 z najdłuższym 48,2, styczeń – 9 z najdłuższym 97,8, lipiec– 9 z najdłuższym 118,3, rok – 9 z najdłuższym 95,1 lat, obecnych w widmach temperatury powietrza.

**Tabela 10.** Cykle temperatury powietrza w Kijowie (1812-2002) – zima, lato, styczeń

**Table 10.** The cycles of air temperature in Kiev ((1812-2002) – winter, summer, January

Kijów								
Zima			Lato			Styczeń		
$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$
3,3	0,2273	-1,6438	3,5	0,2838	1,8807	2,6	1,0288	-2,6909
7,8	0,6530	0,3918	5,1	0,2240	-2,3474	3,3	1,0286	-1,7184
11,2	0,6643	2,4394	7,0	0,3911	2,1740	4,5	1,0090	2,0722
12,9	0,6206	0,7835	9,0	0,2864	0,3238	7,9	1,1188	0,6440
15,2	0,3679	1,3002	11,4	0,0431	1,4760	8,3	0,9326	2,4223
19,1	0,4803	-1,3875	13,1	0,1605	3,0422	10,4	0,6384	-0,9440
25,4	0,2299	-2,6045	15,7	0,2820	-1,1599	15,8	0,9550	-0,0903
29,4	0,2023	2,9189	20,1	0,2304	-1,1668	44,9	0,8770	-1,6929
35,6	0,2466	2,5988	25,9	0,1576	0,4991	97,8	0,7201	-1,2440
45,6	0,4969	2,4178	30,3	0,2423	2,7905			
91,8	0,6407	-3,0599	37,3	0,0898	-2,1820			
			48,2	0,2074	-1,0544			

**Tabela 10a.** Cykle temperatury powietrza w Kijowie (1812-2002) – lipiec, rok

**Table 10a.** The cycles of air temperature in Kiev ((1812-2002) – July, year

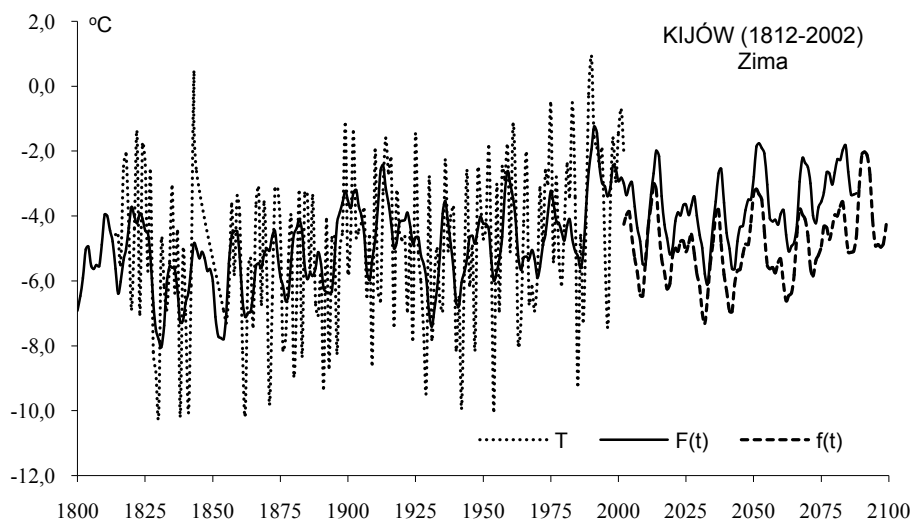
Lipiec			Rok				
$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$\Theta$ lat	$b$ °C	$c$	$R$	$F_{obl}$
3,5	0,4356	1,9734	3,2	0,1913	1,0898	0,134	1,64
5,1	0,4295	-2,2253	7,8	0,2737	0,2372	0,205	3,91
5,7	0,4238	3,0118	11,1	0,2972	-1,2975	0,169	2,63
6,2	0,5326	2,8651	12,8	0,2920	-0,3359	0,205	3,91
7,0	0,4877	2,2379	25,6	0,2414	0,9773	0,193	3,45
7,9	0,3651	-0,2474	30,0	0,2299	-2,0333	0,202	3,82
37,7	0,5961	1,0590	36,5	0,2178	-2,8467	0,214	4,28
69,7	0,5309	2,5512	46,7	0,1612	3,0150	0,195	3,54
118,3	0,0333	-2,1000	95,1	0,1038	1,1891	0,202	3,82

Funkcje trendów czasowych – to wypadkowe interferencji cykli  $F(t)= a_0+at + \dots$  (ze składnikiem liniowym) i  $f(t)$  (bez składnika liniowego,  $at=0$ ) . Dokładność aproksymacji serii pomiarowej w Kijowie w latach 1812-2002 charakteryzuje współczynnik korelacji wielokrotnej  $R$  (rys. 48-52):

Kijów

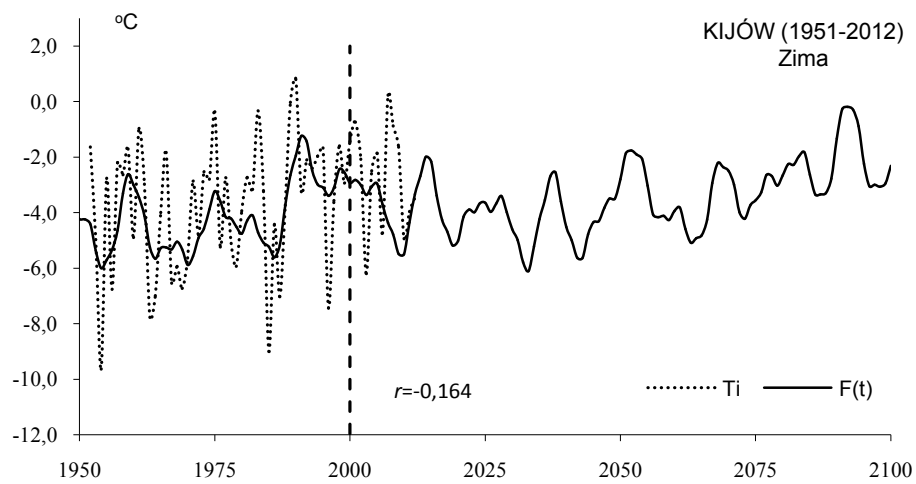
Zima	$F(t) = -25,0205 + 0,010493 t + \dots$	$R = 0,538$
Lato	$F(t) = 10,76711 + 0,04121 t + \dots$	$R = 0,603$
Styczeń	$F(t) = -26,1242 + 0,010498 t + \dots$	$R = 0,584$
Lipiec	$F(t) = 13,63281 + 0,003118 t + \dots$	$R = 0,615$
Rok	$F(t) = -5,32668 + 0,006506 t + \dots$	$R = 0,627$

Prognozy temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1995-2100 w zimie (rys. 48, 48a) i lecie (rys. 49, 49a) zweryfikowano, porównując zmierzone średnie miesięczne wartości temperatury ( $T$ ) z prognozowanymi  $F(t)$ . Współczynniki korelacji w zimie ( $r = -0,164$ ) i lecie ( $r = -0,409$ ) są ujemne. Na uwagę zasługuje widoczna zbieżność minimów i maksimów zmierzonych wartości temperatury powietrza i prognozowanej  $F(t)$  w styczniu. (rys. 50a, 50b). Współczynnik korelacji  $r = 0,339$ , ze względu na małą liczebność ( $n = 10$ ) nie jest istotny na poziomie 0,10. W lipcu (rys 51a) współczynnik korelacji  $r = 0,251$  jest także znacznie mniejszy od wartości krytycznej  $r_{0,10} = 0,497$ . W przypadku średniej rocznej współczynnik korelacji jest ujemny ( $r = -0,811$ ) (rys. 52b).

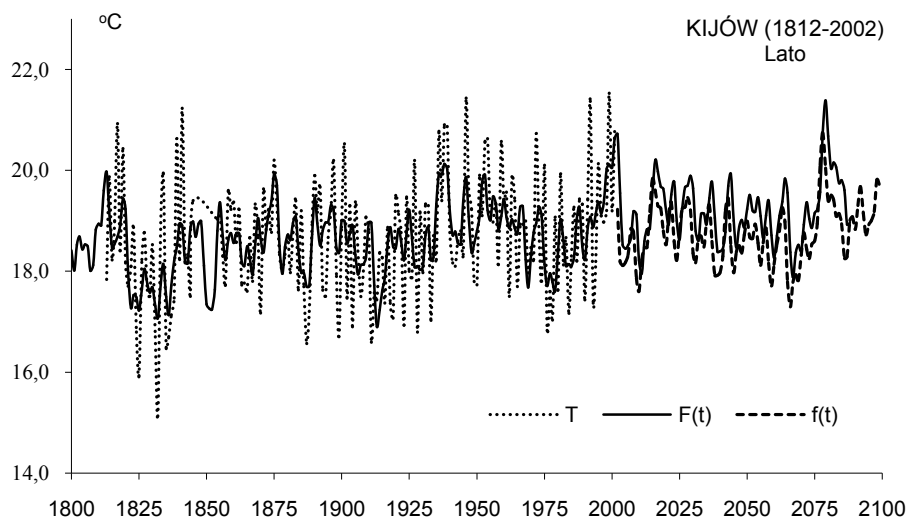


**Rys. 48.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Kijowie (1812-2100);  $T$  – wartości zmierzone  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

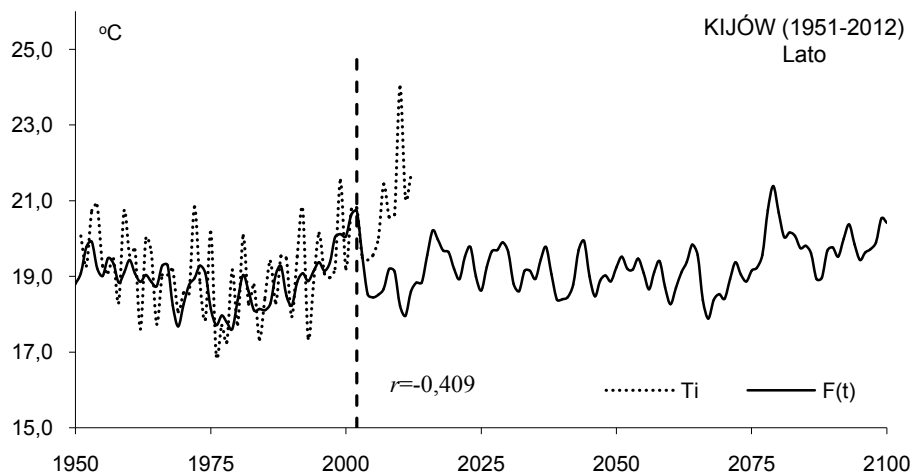
**Fig. 48.** Changes of mean air temperature in winter in Kiev (1812-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$  and  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100



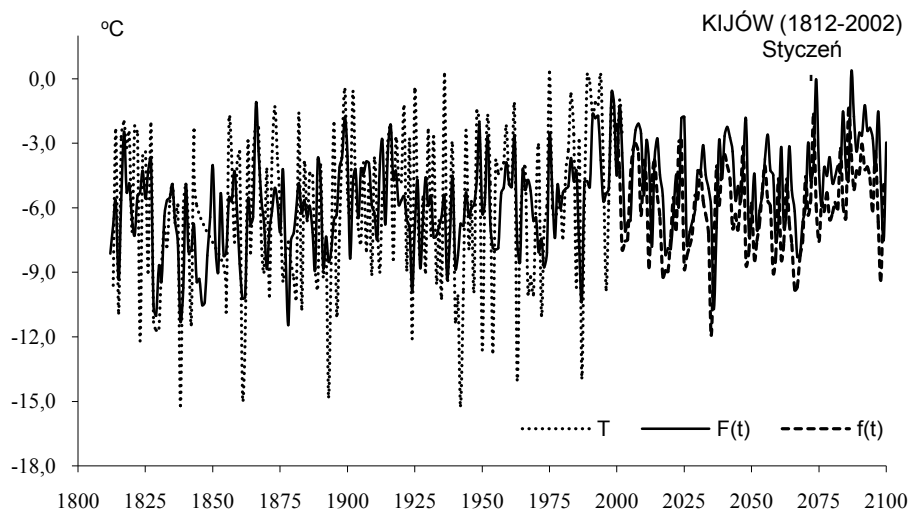
**Rys. 48a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Kijowie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100  
**Fig. 48a.** Changes of mean air temperature in winter in Kiev (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100



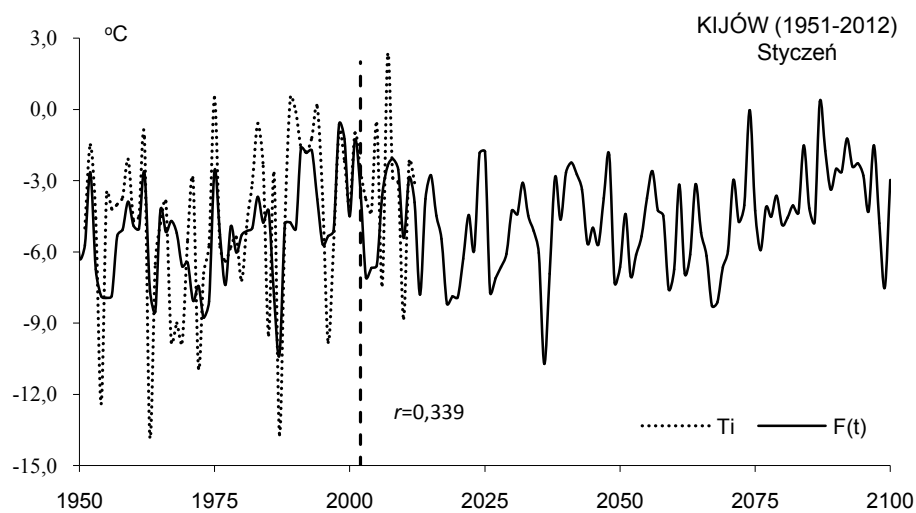
**Rys. 49.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Kijowie (1812-2100);  $T$  – wartości zmierzone  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100  
**Fig. 49.** Changes of mean air temperature in summer in Kiev (1812-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$  and  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100



**Rys. 49a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lecie w Kijowie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100  
**Fig. 49a.** Changes of mean air temperature in summer in Kiev (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100

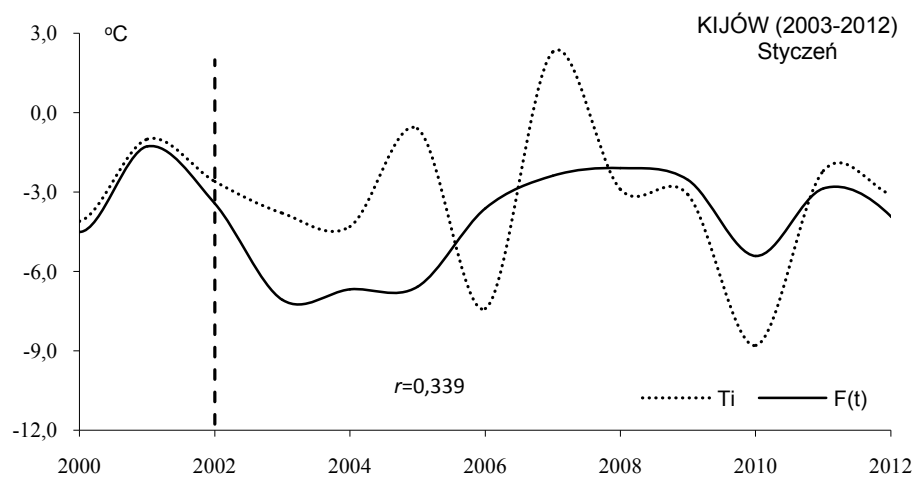


**Rys. 50.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Kijowie (1812-2100);  $T$  – wartości zmierzone  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100  
**Fig. 50.** Changes of mean air temperature in January in Kiev (1812-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$  and  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100



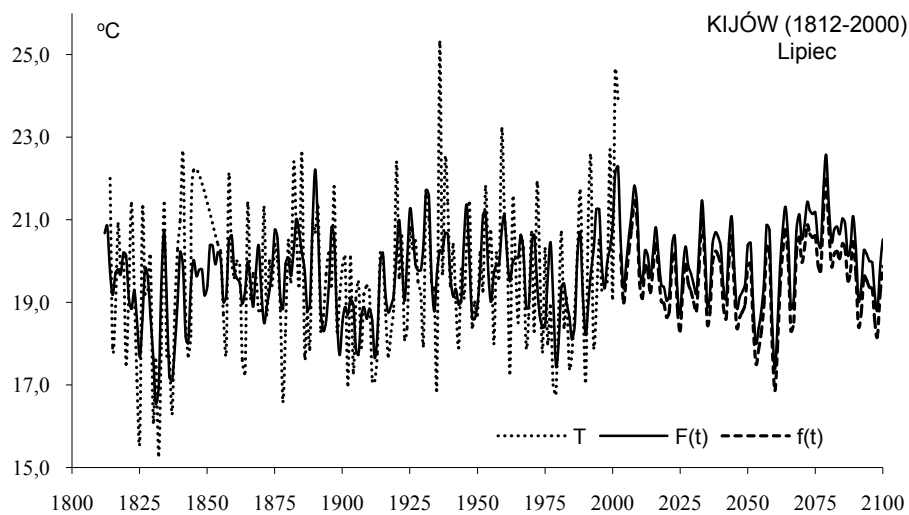
**Rys. 50a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Kijowie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzony  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 50a.** Changes of mean air temperature in January in Kiev (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100



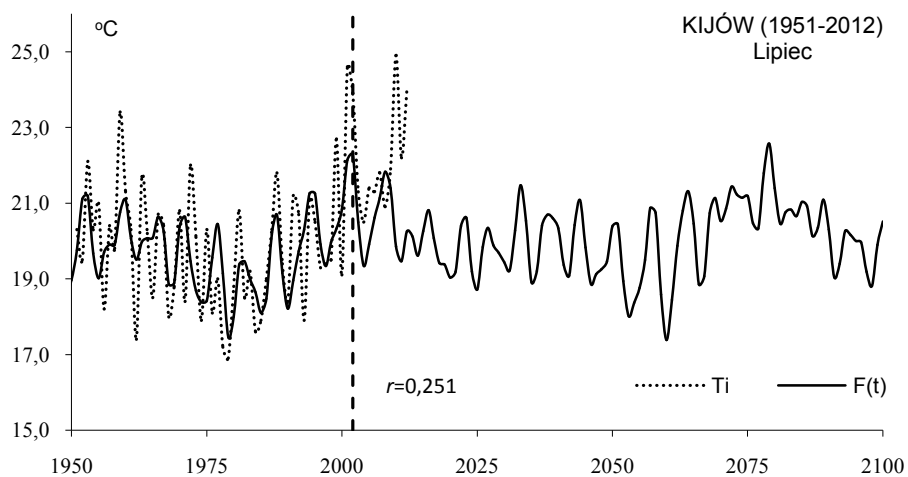
**Rys. 50b.** Zmiany średniej temperatury powietrza w styczniu w Kijowie (2003-2012);  $T_i$  – wartości zmierzony  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 50b.** Changes of mean air temperature in January in Kiev (2003-2012);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2012



**Rys. 51.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Kijowie (1812-2100);  $T$  – wartości zmierzone  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

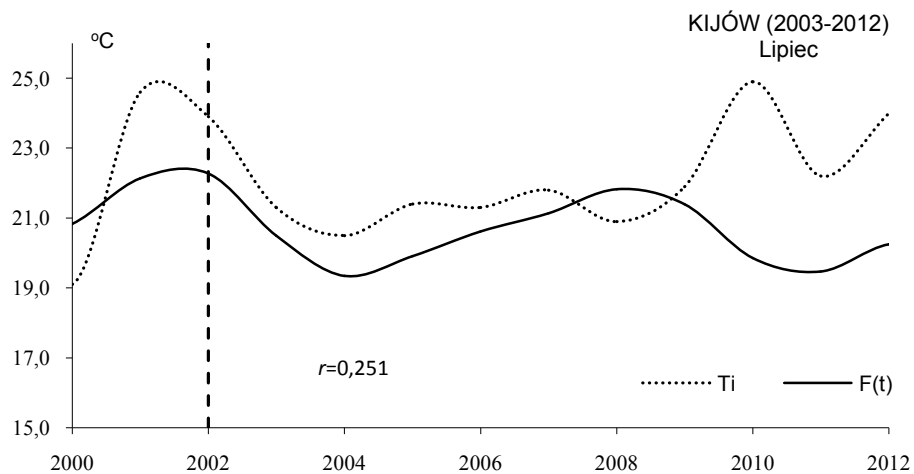
**Fig. 51.** Changes of mean air temperature in July in Kiev (1812-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$  and  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100



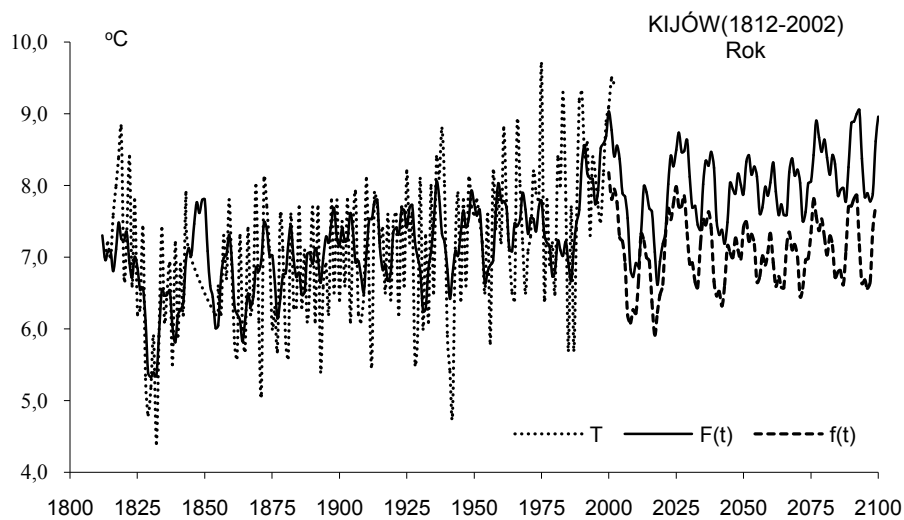
**Rys. 51a.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Kijowie (1951-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100

**Fig. 51a.** Changes of mean air temperature in July in Kiev (1951-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100

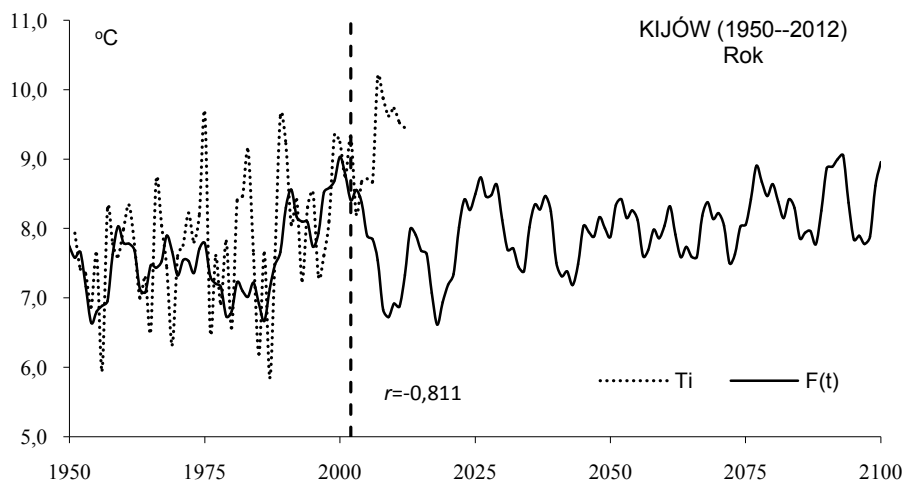




**Rys. 51b.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Kijowie (2003-2012;  $T_i$  – wartości zmierzone  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2012  
**Fig. 51b.** Changes of mean air temperature in July in Kiev (2003-2012);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2012



**Rys. 52.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Kijowie (1812-2100);  $T$  – wartości zmierzone  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100  
**Fig. 52.** Changes of yearly mean air temperature in July in Kiev (1812-2100);  $T$  – measured values,  $F(t)$  and  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100



**Rys. 52a.** Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza w Kijowie (1950-2100);  $T_i$  – wartości zmierzone  $F(t)$ ,  $f(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100  
**Fig. 52a.** Changes of yearly mean air temperature in Kiev (1950-2100);  $T_i$  – measured values,  $F(t)$  and  $f(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2100

\*\*\*

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 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, *Verification of forecasts of periodic changes in the climate of Warsaw in the period 1779-2010*, *Miscellanea Geographica*, vol.16, s. 16-22.

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.*, t. 57, z. 3-4, s. 343-362

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.* t. 60, z. 3-4, s. 133-161.



## X. WERYFIKACJA PROGNOZ OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W WARSZAWIE W 30-LECIU 1981-2010 (1993) I 20-LECIU 1991-2010 (2000)

### 10.1. Weryfikacja prognoz przebiegu rocznego opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1980-2100 według pomiarów z lat 1813-1979

Celem rozdziału jest weryfikacja prognoz zmian sum opadów atmosferycznych w Warszawie opracowanych w Zakładzie Klimatologii UW (Boryczka 1993, Boryczka i in. 2000).

– Boryczka J., 1993, *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII-XXI wieku*, Wyd. UW, Warszawa, ss. 400

Jest nim ocena synchroniczności przebiegów zmierzonych sum opadów w Warszawie i prognozowanych z wyprzedzeniem 30 lat (1980-2010) i 20 lat (1991-2010).

Prognozy opadów i ich weryfikację opracowano na podstawie wyników pomiarów w Warszawie-Observatorium (1813-1979) i Warszawie-Okęciu (1951-2010). Dane pochodzą z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

W prognozach i ich weryfikacji zastosowano metodę J. Boryczki „sinusoid regresji” (1998, 2010) wyznaczania okresów:

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

gdzie:  $t$  – czas,  $\Theta$  – okres,  $b$  – amplitudy,  $c$  – faza. Okres sinusoidy  $\Theta$  zmieniano z odstępem czasu 0,1 i 0,0833 roku.

Prognozy i rekonstrukcje opadów to wypadkowe nakładania się (interferencji)  $k$  cykli ze składnikiem liniowym  $at$ :

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

Istotność statystyczną okresów oceniano testem t- Studenta lub testem F 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. Dlatego też ekstrapolowane wartości – rekonstruowane ( $t < 0$ ) i prognozowane ( $t > n$ ) – cechują się wysokim poziomem wiarygodności.

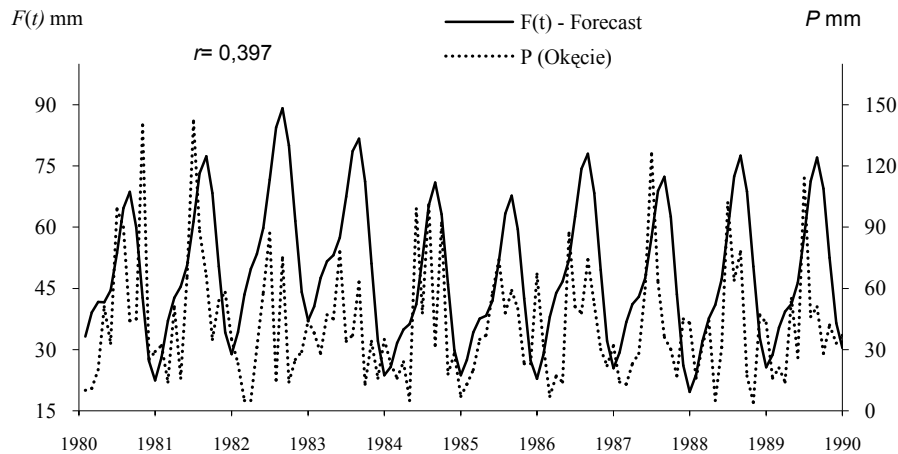
**Trend czasowy  $y = F(t)$**  (Boryczka, 1993, wzór 22', str. 300 i.306) opisuje zmiany miesięcznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1813-1980. Na przykład wzór empiryczny (ze składnikiem liniowym  $at = 0,00336t$ ) uwzględnia interferencję 15 cykli opadów: 0,50, 1,00, 1,25, 1,75, 2,50, 2,83, 3,50, 4,25, 5,33, 6,00, 11,67, 16,33, 19,17, 57,33 i 114,0 lat, wyznaczonych na podstawie wyników pomiarów w latach 1813-1979:

$$\begin{aligned}
F(t) = & 46,86 + 0,00336t + 8,393 \sin(-0,7807 + \frac{2\pi}{0,50} t) + 21,03 \sin(-2,209 + 2\pi t) + 2,327 \sin(-0,9353 + \frac{2\pi}{1,25} t) + \\
& + 2,27 \sin(2,665 + \frac{2\pi}{1,75} t) + 1,928 \sin(1,106 + \frac{2\pi}{2,50} t) + 2,412 \sin(-1,323 + \frac{2\pi}{2,83} t) + 3,072 \sin(2,338 + \frac{2\pi}{3,50} t) + \\
& + 1,282 \sin(1,613 + \frac{2\pi}{4,25} t) + 3,215 \sin(1,74 + \frac{2\pi}{5,33} t) + 2,466 \sin(-1,97 + \frac{2\pi}{6,00} t) + 2,288 \sin(-2,347 + \frac{2\pi}{11,67} t) + \\
& + 2,88 \sin(0,8387 + \frac{2\pi}{16,33} t) + 2,251 \sin(0,9387 + \frac{2\pi}{18,17} t) + 2,204 \sin(3,019 + \frac{2\pi}{57,33} t) + 2,23 \sin(-0,6612 + \frac{2\pi}{114} t)
\end{aligned}$$

Z modelu  $F(t)$  można obliczyć sumy opadów w kolejnych miesiącach, wstawiając odpowiedni czas  $t$ . Żeby zweryfikować prognozy opracowane według tego modelu (według pomiarów z lat 1813-1980) obliczono sumy miesięczne opadu wstawiając do wzoru czas:  $t-1812 + \Delta t$ , gdzie  $\Delta t$ : 0,0833, ..., 1,000 np. styczeń –  $t-1812+0,0833$ , lipiec –  $t-1812+0,5833$ , a średnia roczna suma  $y_{sr}$  ( $t_{sr} = \frac{-c_1}{2\pi} t$ ).

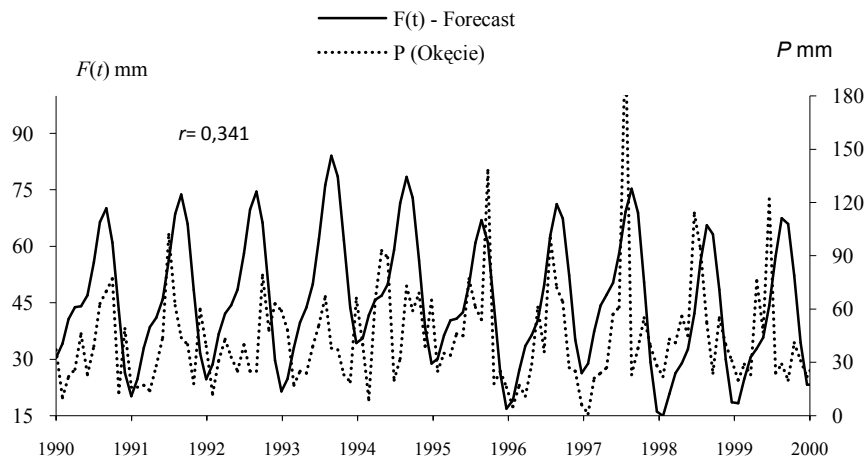
Weryfikacja obecna modelu empirycznego polega przede wszystkim na porównaniu 30-letniej serii wyników pomiarów opadów w Warszawie (sum miesięcznych ( $P$ ) z prognozowanymi  $F(t)$  na lata 1980-2010.

Porównano miesięczne sumy opadów zmierzone w Warszawie w 30-leciu 1981-2010 i prognozowane według modelu  $F(t)$  (rys. 1-5). Na ogół minima i maksima roczne miesięcznych sum opadów zmierzonych  $P$  i prognozowanych  $F(t)$  pokrywają się.

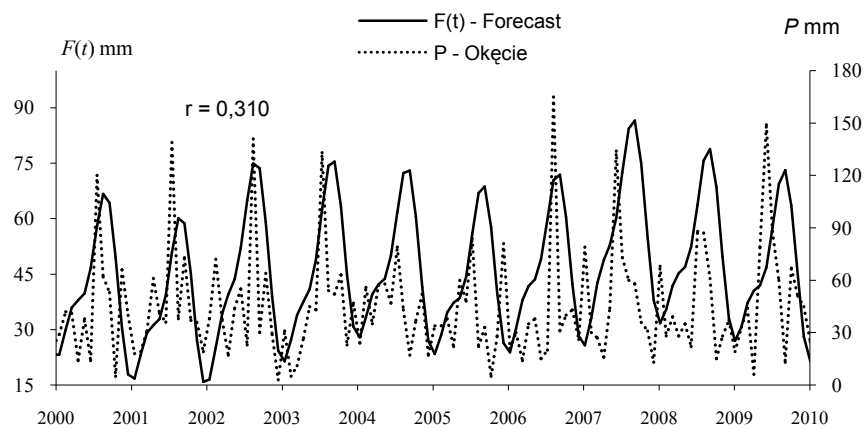


**Rys. 1.** Porównanie miesięcznych sum opadów w Warszawie w latach 1981-1990 zmierzonych na Okęcie ( $P$ ) i prognozowanych według modelu  $F(t)$

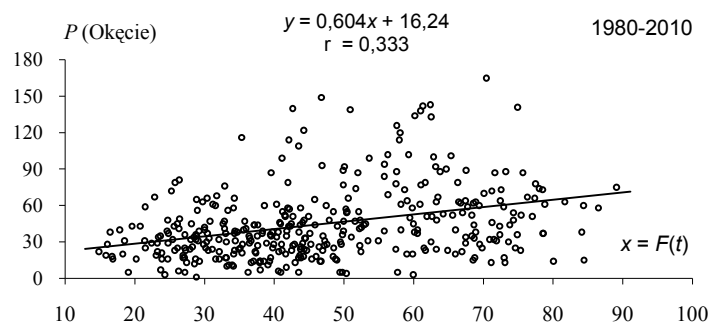
**Fig. 1.** Comparison of average monthly precipitation values in Warsaw in the period 1981-1990, measured in Okęcie and predicted totals based on the model  $F(t)$



**Rys. 2.** Porównanie miesięcznych sum opadów w Warszawie w latach 1991-2000 zmierzonych na Okęcie ( $P$ ) i prognozowanych według modelu  $F(t)$   
**Fig. 2.** Comparison of average monthly precipitation values in Warsaw in the period 1991-2000, measured in Okęcie and predicted totals based on the model  $F(t)$



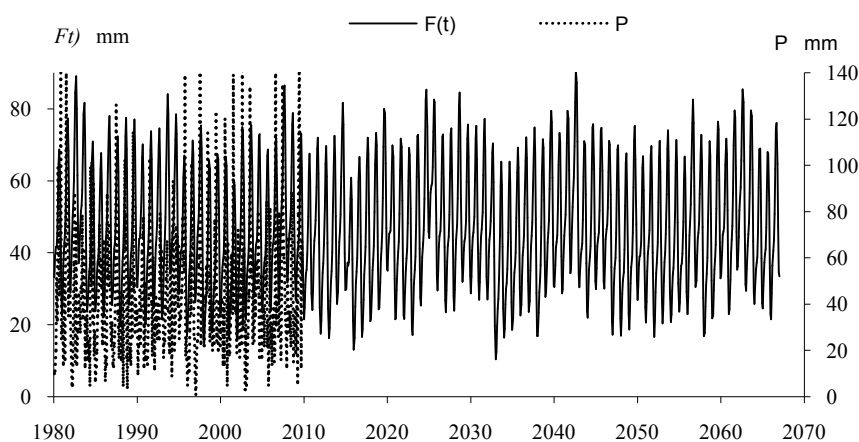
**Rys. 3.** Porównanie miesięcznych sum opadów w Warszawie w latach 2001-2010 zmierzonych na Okęcie ( $P$ ) i prognozowanych według modelu  $F(t)$   
**Fig. 3.** Comparison of average monthly precipitation values in Warsaw in the period 2001-2010, measured in Okęcie and predicted totals based on the model  $F(t)$



**Rys. 4.** Korelacja zmierzonych w Warszawie (Okęcie) miesięcznych sum opadów atmosferycznych ( $y$ ) w latach 1980-2010 i prognozowanych ( $x$ )

**Fig. 4.** Correlation of the measured precipitation values in Warsaw with those forecast ( $x$ ) (1980-2010)

Prognozę miesięcznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1980-2067, według modelu  $F(t)$ , przedstawiono na rys.5.



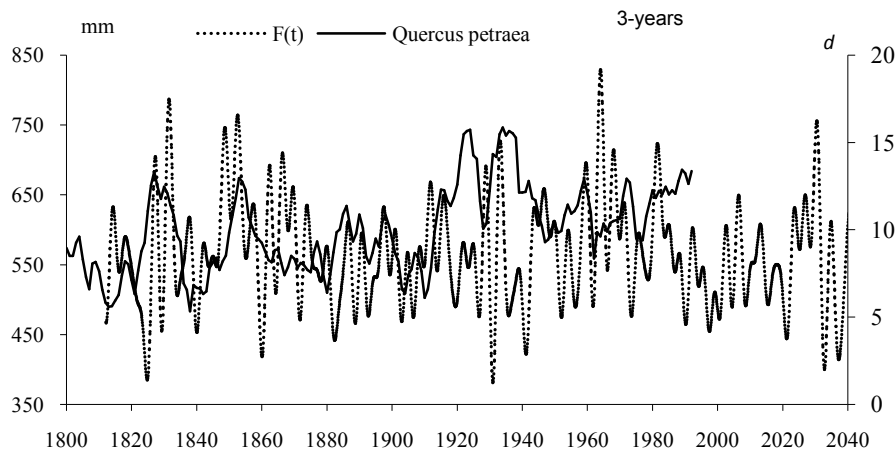
**Rys. 5.** Porównanie miesięcznych sum opadów w Warszawie zmierzonych na Okęciu ( $P$ ) w latach 1981-2010 i prognozowanych według modelu  $F(t)$ ,

**Fig. 5.** Comparison of average monthly precipitation values in Warsaw measured in Okęcie in the period 1981-2010, and predicted values based on the model  $F(t)$

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  $< 0,01$  ( $n=337$ ).

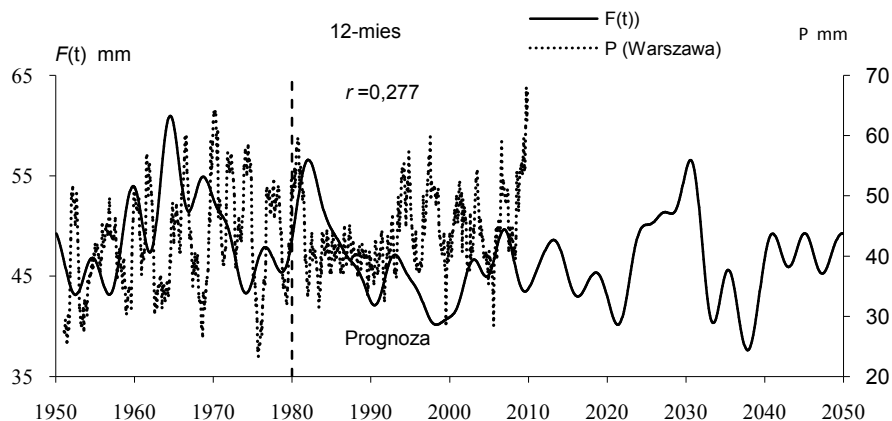
**Trend czasowy  $F(t)$**  (Boryczka, 1993, wzór 23' str. 301 i 307) opisuje zmiany średnich konsekwentnych 12- miesięcznych sum opadów atmosferycznych ( $P_i$ ) w Warszawie ( $t=0$  to rok 1812). Na przykład, wzór empiryczny uwzględnia interferencję cykli opadów, wyznaczonych na podstawie wyników pomiarów w latach 1813-1979 (rys. 6-10):

$$F(t) = 47,26 - 0,00077t + 2,681 \sin(-3,088 + 2\pi t/3,5) + 1,644 \sin(1,569 + 2\pi t/3,92) + \\ + 2,539 \sin(2,529 + 2\pi t/4,25) + 1,645 \sin(-2,145 + 2\pi t/4,42) + 1,881 \sin(-1,592 + 2\pi t/4,83) + \\ + 1,542 \sin(0,8651 + 2\pi t/5,08) + 2,96 \sin(2,254 + 2\pi t/5,33) + 2,4661 \sin(-1,551 + 2\pi t/6) + \\ + 1,131 \sin(2,569 + 2\pi t/9,67) + 2,196 \sin(-2,184 + 2\pi t/11,67) + 2,664 \sin(-0,6709 + 2\pi t/16,33) + \\ + 2,331 \sin(1,143 + 2\pi t/19,33) + 1,692 \sin(2,77 + 2\pi t/22,25) + 2,264 \sin(2,883 + 2\pi t/56,42) + \\ + 2,097 \sin(-0,6283 + 2\pi t/112,5)$$



**Rys. 6** Zmiany szerokości słojów dębu ( $d$ ) w Bodensee (Holandia) w latach 1800-1993 w odniesieniu do wahań opadów atmosferycznych według modelu  $F(t)$

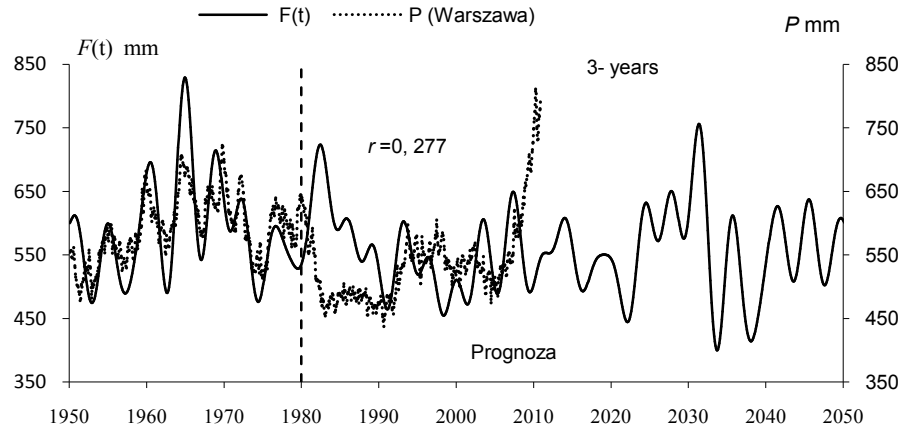
**Fig. 6** Changes in the widths of the oak tree rings ( $d$ ) in Bodensee (The Netherlands) in the years 1800-1993 relative to precipitation fluctuations based on the model  $F(t)$



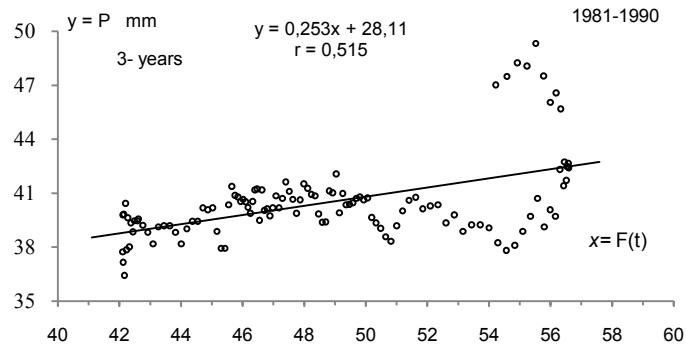
**Rys. 7.** Porównanie średnich konsekwentnych 12-miesięcznych sum opadów w Warszawie w latach 1950-2010 zmierzonych na Okęciu ( $P$ ) i prognozowanych według modelu  $F(t)$

**Fig. 7.** Comparison of average monthly precipitation values (12-month running mean) in Warsaw in the period 1950-2010, measured in Okęcie and predicted totals based on the model  $F(t)$



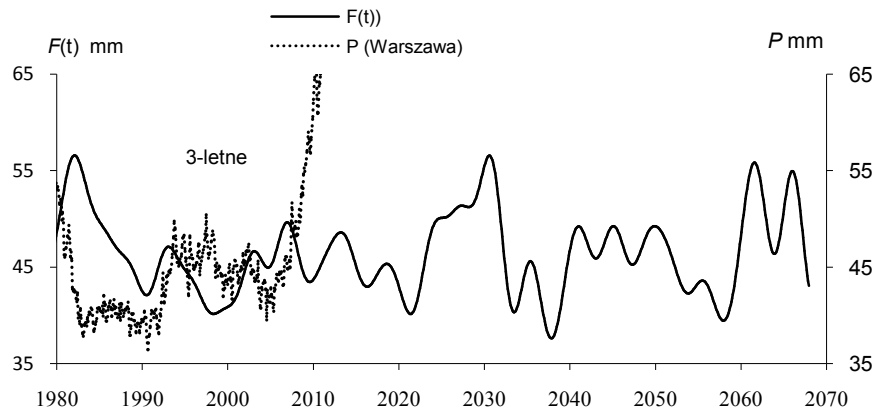


**Rys. 8.** Porównanie sum rocznych opadów (średnich konsekutywnych 3-letnich) w Warszawie w latach 2001-2010 zmierzonych na Okęciu (P) i prognozowanych według modelu  $y=F(t)$   
**Fig. 8.** Comparison of average year precipitation values (3- year moving average) in Warsaw in the period 2001-2010, measured in Okęcie and predicted totals based on the model  $y=F(t)$



**Rys. 9.** Korelacja zmierzonych w Warszawie (Okęcie) miesięcznych sum opadów atmosferycznych (średnich konsekutywnych 3- letnich,  $y$ ) w latach 1981-1990 i prognozowanych ( $x$ )  
**Fig. 9.** Correlation of average monthly precipitation totals (3-year moving average  $y$ ) in Warsaw (Okęcie) 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. 10.** Porównanie sum rocznych opadów (średnich konsekwentnych 3-letnich) w Warszawie zmierzonych na Okęciu (P) w latach 1980-2010 i prognozowanych według modelu  $y = F(t)$   
**Fig10.** Comparison of average yearly precipitation values (3-year moving average) in Warsaw in the period 2001-2010, measured in Okęcie and predicted totals based on the model  $y = F(t)$

## 10.2. Weryfikacja prognoz opadów atmosferycznych w Warszawie na lata 1990-2100 – w 20-lecie 1990-2010 (z 2000 r.)

Wiarygodne są też prognozy zmian opadów atmosferycznych w Warszawie na lata 1991-2100 opracowane na podstawie danych z Obserwatorium Astronomicznego z lat 1813-1990 (Boryczka i in., 2000; wzory s. 110-119, wykresy s. 129-147).

– 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*, ss. 209

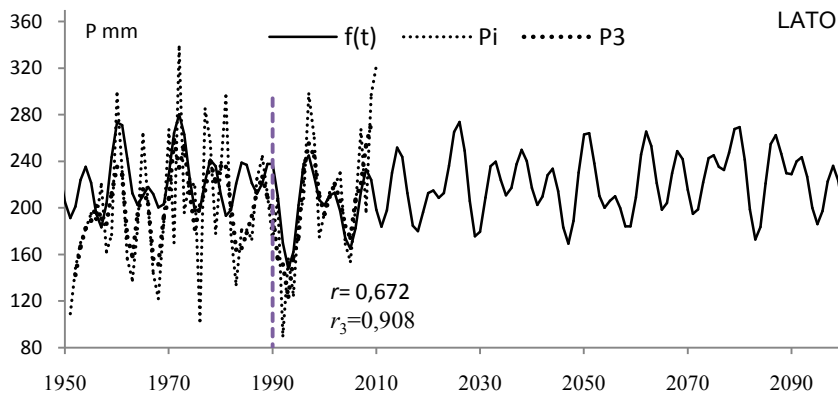
Równania opisujące interferencję cykli opadów otrzymano przyjmując rok 1813 jako początek osi czasu  $t=0$  ( $t = -113$  – rok 1700,  $t = 287$  – rok 2100).

Wahania zmierzonych sum opadów atmosferycznych w Warszawie-Okęcie (średnich konsekwentnych 3-letnich) i prognozowanych sum opadów na lata 1991-2010, według modeli  $f(t)$  (składnik liniowy  $at = 0$ ) i  $F(t)$  (składnik liniowy  $at \neq 0$ ) są na ogół dodatnio skorelowane. Świadczą o tym np. porównania (współczynniki korelacji) przebiegów czasowych zmierzonych i prognozowanych sum opadów atmosferycznych w lecie (VI-VIII), w zimie (XII-II) i roku (I-XII) (rys. 11-16).

Zweryfikowano prognozy sum opadów we wszystkich przedziałach czasu, porównując miesięczne (rys. 17-40), półroczne i roczne (rys. 41-50) sumy opadów zmierzony w latach 1990-2010 w Warszawie na Okęciu (P) z prognozowanymi  $f(t)$ .

**Trend czasowy  $P = f(t)$**  sum opadów atmosferycznych w Warszawie w lecie (bez składnika liniowego  $a_t$ ) w latach 1813-1990 jest wypadkową nakładania się 5 cykli, w tym najdłuższych 54 i 122 lat.

$$f(t) = 218,0 + 25,224 \sin(-1,741 + \frac{2\pi}{6}t) + 15,89 \sin(-1,716 + \frac{2\pi}{9}t) + \\ + 19,14 \sin(-0,3370 + \frac{2\pi}{13}t) + 8,843 \sin(1,717 + \frac{2\pi}{54}t) + 7,5885 \sin(1,003 + \frac{2\pi}{122}t)$$

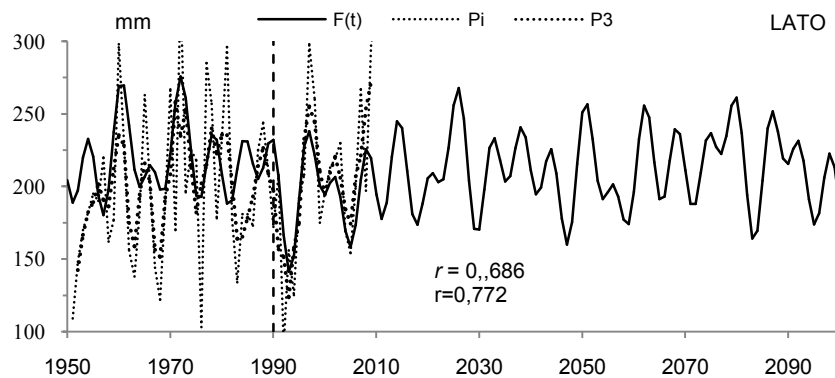


**Rys. 11.** Porównanie zmierzonych w lecie sum ( $P_i$  i średnich konsekwentnych 3-letnich  $P_3$ ) opadów atmosferycznych w Warszawie (Okęcie) z prognozami (1990-2100) według modelu  $f(t)$   
**Fig. 11.** Comparison of measured summer precipitation totals at Warsaw (Okęcie) ( $P_i$  and 3-year running average  $P_3$ ) with forecasts (1990-2100) prognostic model  $f(t)$

Współczynniki korelacji  $r = 0,672$  i  $r = 0,908$  sum letnich opadów atmosferycznych i średnich konsekwentnych 3-letnich sum w Warszawie (Okęcie) z prognozami (1990-2010) według modelu  $P=f(t)$  są wyjątkowo duże ( istotne na poziomie 0.01 według testu t-Studenta..

**Trend czasowy  $F(t)$**  sum opadów atmosferycznych w Warszawie w lecie (ze składnikiem liniowym  $at$ ) ma postać

$$F(t) = 222,9 - 0,05795t + 25,24 \sin(-1,746 + \frac{2\pi}{6}t) + 15,94 \sin(-1,717 + \frac{2\pi}{9}t) + 18,91 \sin(-0,3448 + \frac{2\pi}{13}t) + 9,429 \sin(1,822 + \frac{2\pi}{54}t) + 8,035 \sin(1,077 + \frac{2\pi}{122}t)$$



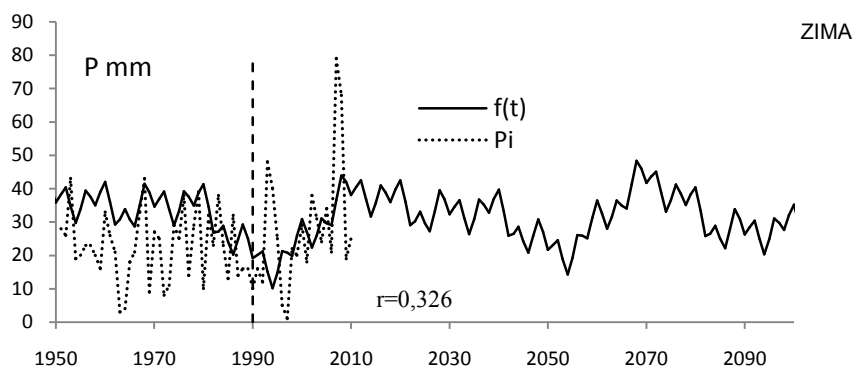
**Rys. 12** Porównanie zmierzonych w lecie sum ( $P_i$  i średnich konsekwentnych 3-letnich  $P_3$ ) opadów atmosferycznych w Warszawie (Okęcie) z prognozami (1990-2100) według modelu  $F(t)$   
**Fig. 12** Comparison of measured summer precipitation totals at Warsaw (Okęcie) ( $P_i$  and 3-year running average  $P_3$ ) with forecasts (1990-2100) prognostic model  $F(t)$

Współczynniki korelacji  $r = 0,686$  i  $r = 0,772$  sum średnich konsekwentnych 3-letnich sum opadów atmosferycznych w lecie w Warszawie (Okecie) z prognozami (1990-2010) według modelu  $F(t)$  są istotne na poziomie 0,05 według testu t-Studenta.

**Trend czasowy  $P = f(t)$**  średnich sum opadów atmosferycznych w Warszawie w zimie (bez składnika liniowego  $at$ ) w latach 1813-1990 jest wypadkową nakładania się 4 cykli, w tym najdłuższych 53 i 100 lat (rys. 13):

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

Współczynnik korelacji sum opadów atmosferycznych w zimie w Warszawie (Okecie) z prognozami (1990-2010) według modelu  $f(t)$  wynosi  $r = 0,326$

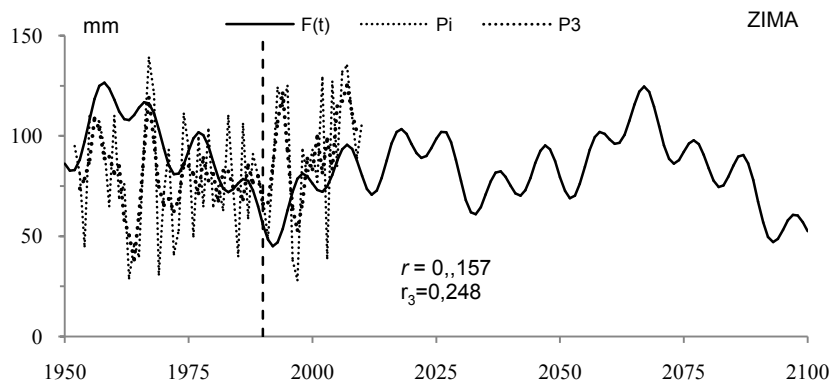


**Rys. 13.** Porównanie zmierzonych w zimie sum opadów atmosferycznych w Warszawie (Okecie) z prognozami (1990-2100) według modelu  $f(t)$

**Fig. 13.** Comparison of measured winter precipitation totals at Warsaw (Okecie) with forecasts (1990-2100) prognostic model  $f(t)$

**Trend czasowy  $P = F(t)$**  średnich sum opadów atmosferycznych w Warszawie w zimie (ze składnikiem liniowym  $at$ ) jest wypadkową nakładania się 4 cykli, w tym najdłuższych 53 i 100 lat:

$$F(t) = 93,11 - 0,03897t + 11,2\sin(-1,024 + \frac{2\pi}{10}t) + 8,672\sin(1,524 + \frac{2\pi}{21}t) + 15,83\sin(2,623 + \frac{2\pi}{53}t) + 9,643\sin(-1,131 + \frac{2\pi}{100}t)$$



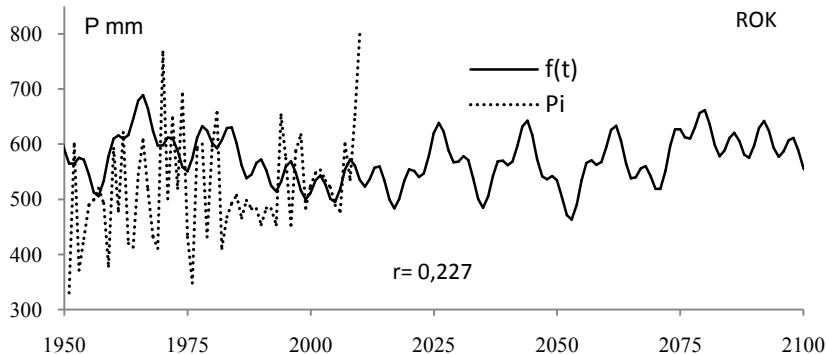
**Rys. 14.** Porównanie zmierzonych w zimie (średnich konsekwentnych 3-letnich) sum opadów atmosferycznych w Warszawie (Okęcie) z prognozami (1990-2010) według modelu  $F(t)$

**Fig. 14.** Comparison of measured winter precipitation totals at Warsaw (Okęcie) (3-year running average) with forecasts (1990-2100) prognostic model  $F(t)$

Współczynniki korelacji ( $r = 0,157$  i  $0,248$ ) sum i średnich konsekwentnych 3-letnich sum opadów atmosferycznych w zimie w Warszawie (Okęcie) z prognozami (1990-2010) według modelu  $F(t)$  są zbliżone do poziomu istotności 0,10 według testu t-Studenta.

**Trend czasowy  $P = f(t)$**  rocznych sum opadów w Warszawie (bez składnika liniowego  $at$ ) w latach 1813-1990 jest wypadkową nakładania się 5 cykli, w tym najdłuższych 58 i 112 lat:

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



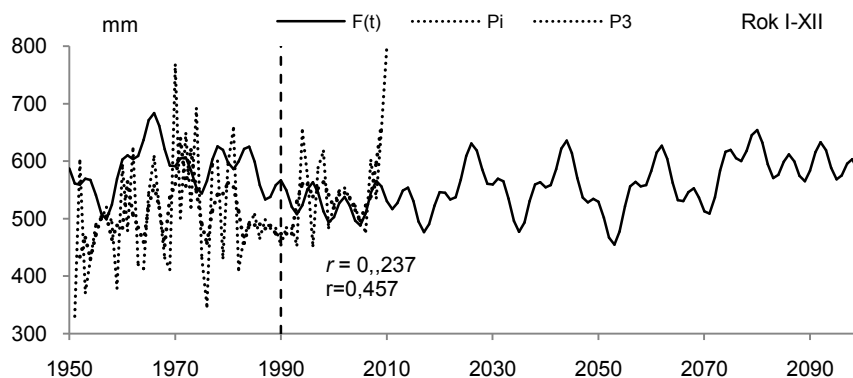
**Rys. 15.** Porównanie zmierzonych sum rocznych opadów atmosferycznych w Warszawie (Okęcie) z prognozami (1990-2067) według modelu  $f(t)$

**Fig. 15.** Comparison of measured yearly precipitation totals at Warsaw (Okęcie) with forecasts (1990-2067) prognostic model  $f(t)$ .

Współczynnik korelacji sum rocznych opadów atmosferycznych ( $P_i$ ) w Warszawie (Okęcie) z prognozami (1990-2010) według modelu  $f(t)$  wynosi  $r = 0,227$ .

**Trend czasowy  $P = F(t)$**  rocznych sum opadów w Warszawie (ze składnikiem liniowym  $at = -0,02481t$ ) jest wypadkową nakładania się 5 cykli, w tym najdłuższych 58 i 112 lat:

$$F(t) = 562,5 - 0,02481t + 28,22 \sin(-1,449 + \frac{2\pi}{6}t) + 32,02 \sin(-1,113 + \frac{2\pi}{16}t) + 27,59 \sin(0,8765 + \frac{2\pi}{19}t) + 26,99 \sin(-3,018 + \frac{2\pi}{58}t) + 26,73 \sin(-0,6907 + \frac{2\pi}{112}t)$$

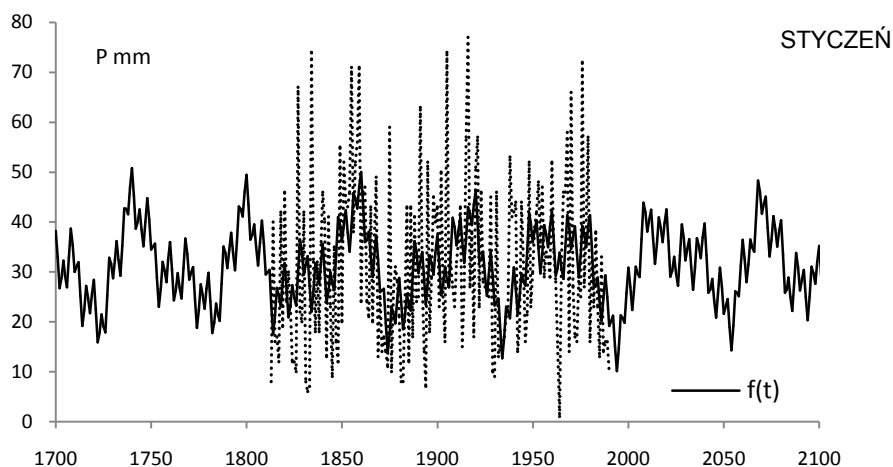


**Rys. 16.** Porównanie zmierzonych (średnich konsekwentnych 3-letnich) sum rocznych opadów atmosferycznych w Warszawie (Okęcie) z prognozami (1990-2067) według modelu  $F(t)$

**Fig. 16.** Comparison of measured yearly precipitation totals at Warsaw (Okęcie) (3-year running average) with forecasts (1990-2067) prognostic model  $F(t)$ .

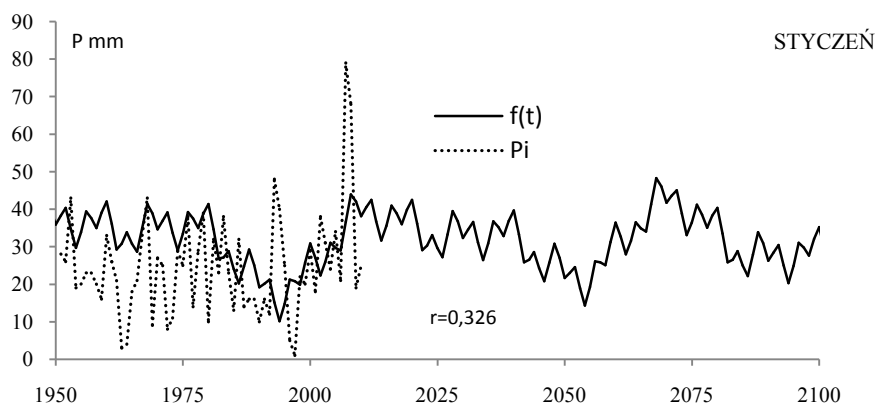
Współczynniki korelacji  $r = 0,237$  i  $r = 0,457$  sum rocznych opadów atmosferycznych w Warszawie (Okęcie) i średnich konsekwentnych 3-letnich sum z prognozami (1990-2010) według modelu  $F(t)$  są zbliżone do  $r_{0,10}$  i  $r_{0,05}$  według testu t-Studenta

## Weryfikacja prognoz miesięcznych sum opadów (rys. 17-40)



**Rys. 17.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w styczniu w latach 1700-2100,  $P$  – wartości zmierzone w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne) w latach 1813-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

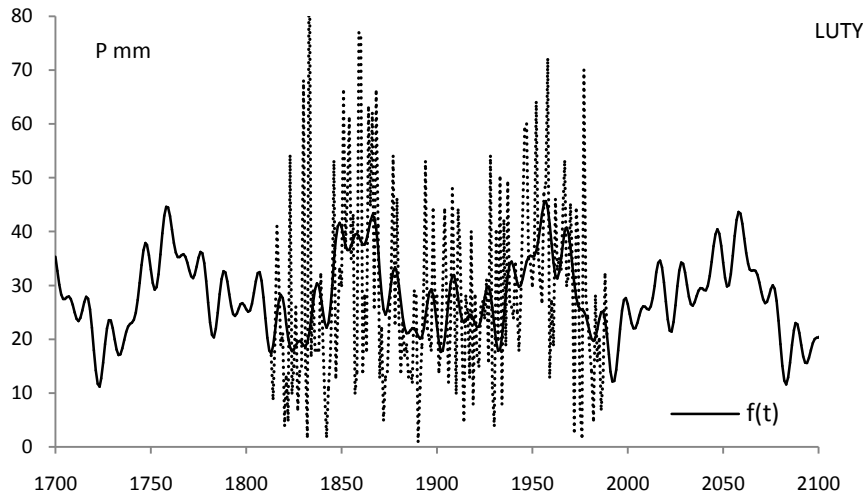
**Fig. 17.** Precipitation changes in Warsaw in January in the years 1700-2100,  $P$  – values measured in Warsaw (Astronomical Observatory) in the years 1813-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 18.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w styczniu w latach 1951-2100,  $P_i$  – wartości zmierzone na Okęciu  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

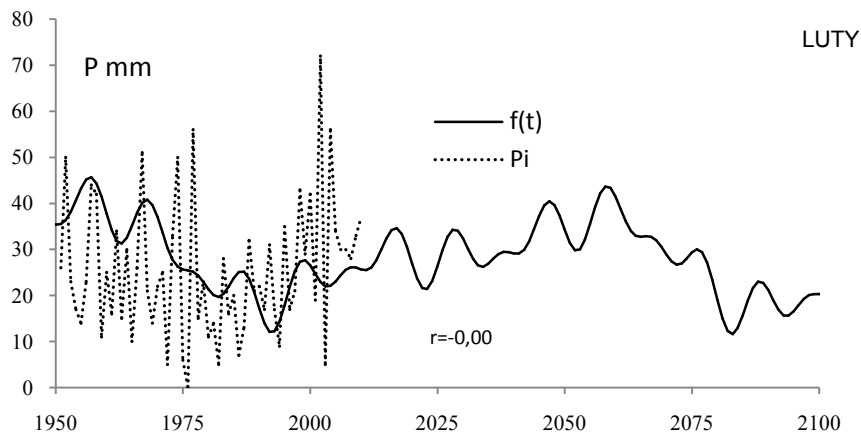
**Fig.18.** Precipitation changes in Warsaw in January in the years 1951-2035,  $P_i$  – values measured in Okęcie,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$f(t) = 31,24 + 3,918 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4}t + 3,096\right) + 3,830 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t - 2,252\right) + 5,062 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{30}t - 1,831\right) + 7,230 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{55}t + 3,086\right) + 1,234 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{100}t - 0,3768\right)$$



**Rys. 19.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w lutym w latach 1700-2100,  $P$  – wartości zmierzone w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne) w latach 1813-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 19.** Precipitation changes in Warsaw in February in the years 1700-2100,  $P$  – values measured in Warsaw (Astronomical Observatory) in the years 1813-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100

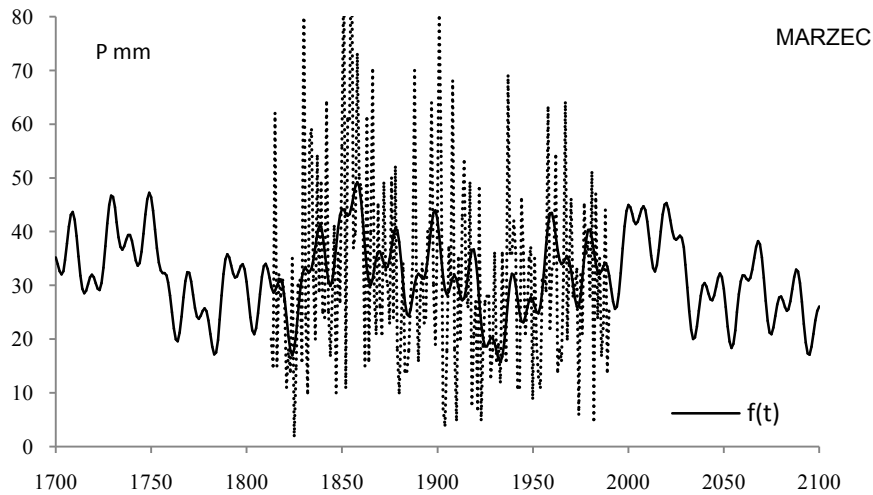


**Rys. 20.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w lutym w latach 1951-2100,  $P_i$  – wartości zmierzone na Okęciu,  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 20.** Precipitation changes in Warsaw in February in the years 1951-2100,  $P_i$  – values measured in Okęcie,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2035

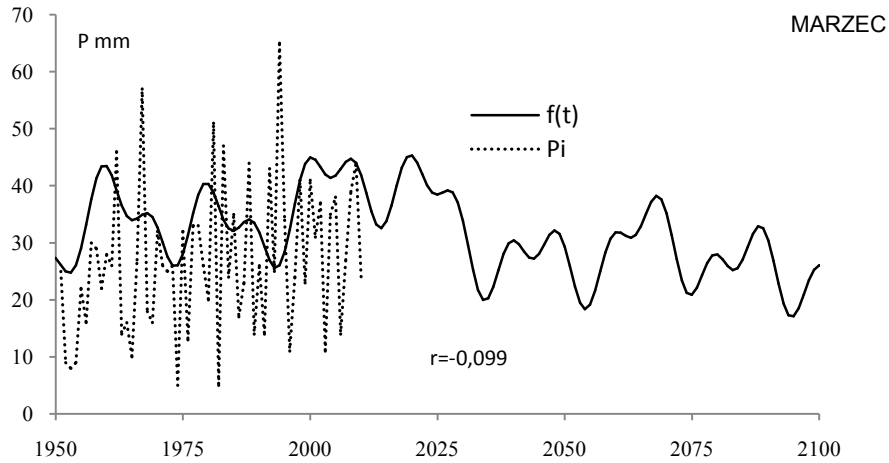
$$f(t) = 28,46 + 3,431 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t - 1,308\right) + 3,941 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15}t - 1,358\right) + 4,610 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{51}t + 2,354\right) + -7,213 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{93}t - 1,632\right)$$





**Rys. 21.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w marcu w latach 1700-2100,  $P$  – wartości zmierzone w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne) w latach 1813-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

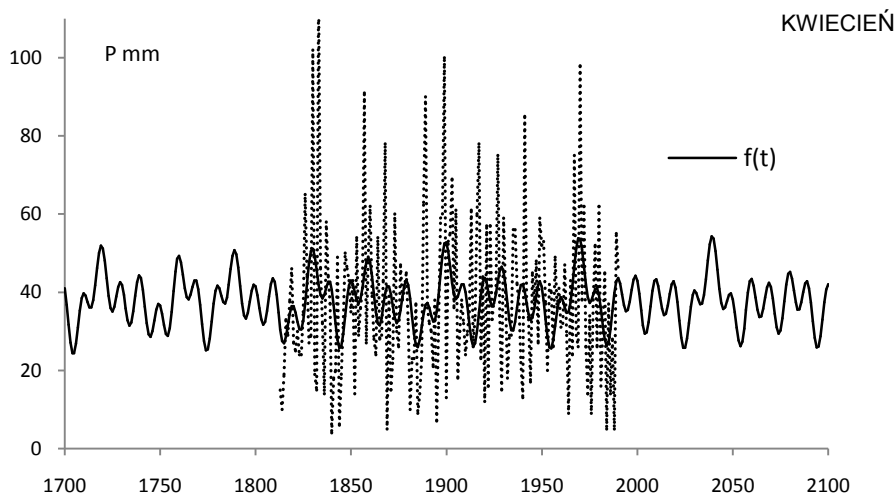
**Fig. 21.** Precipitation changes in Warsaw in March in the years 1700-2100,  $P$  – values measured in Warsaw (Astronomical Observatory) in the years 1813-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 22.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w marcu w latach 1951-2100,  $P_i$  – wartości zmierzone na Okęciu  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

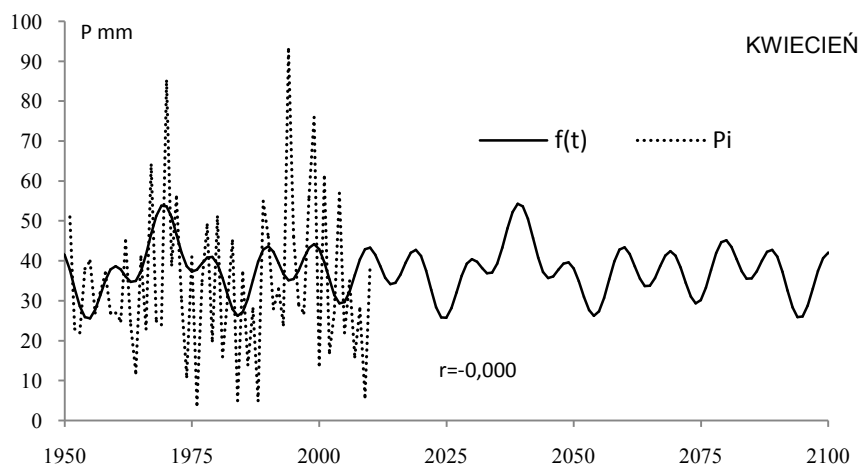
**Fig. 22.** Precipitation changes in Warsaw in March in the years 1951-2035,  $P_i$  – values measured in Okęcie,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2035

$$f(t) = 32,12 + 3,912 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t - 2,175\right) + 5,599 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{21}t + 1,354\right) + \\ + 4,631 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{54}t - 2,954\right) + 6,142 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{139}t - 0,6647\right)$$



**Rys. 23.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w kwietniu w latach 1700-2100,  $P_i$  – wartości zmierzone w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne) w latach 1813-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

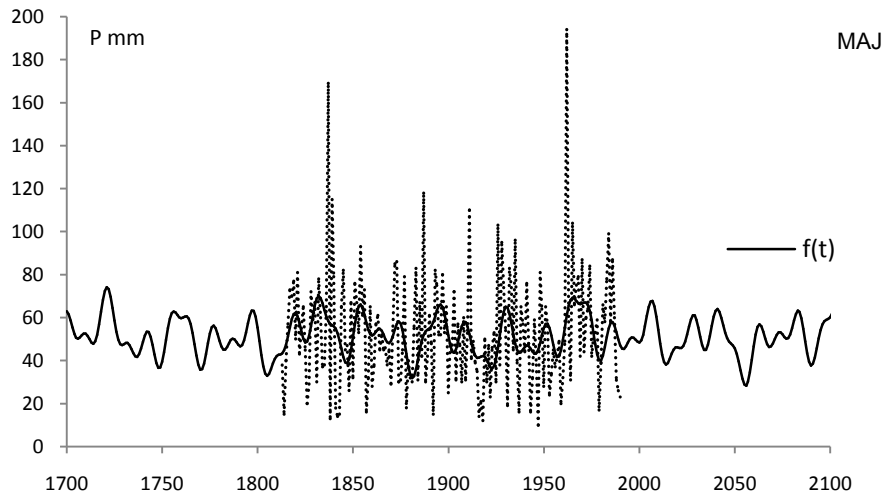
**Fig. 23.** Precipitation changes in Warsaw in April the years 1700-2100,  $P_i$  – values measured in Warsaw (Astronomical Observatory) in the years 1813-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 24.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w kwietniu w latach 1951-2100,  $P_i$  – wartości zmierzone na Okęciu  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

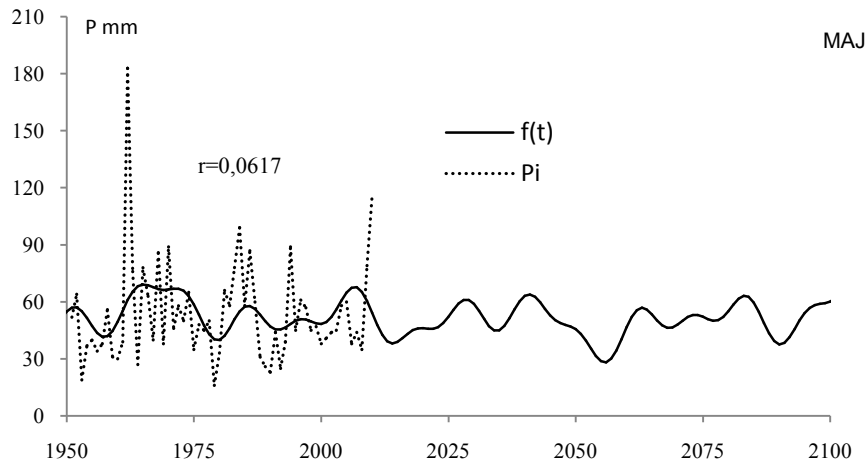
**Fig. 24.** Precipitation changes in Warsaw in April in the years 1951-2100  $P_i$  – values measured in Okęcie,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$f(t) = 37,92 + 5,933 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t - 2,407\right) + 4,833 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{23}t + 2,685\right) + 3,871 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{35}t - 1,356\right) + 1,892 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{64}t - 1,784\right)$$



**Rys. 25.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w maju w latach 1700-2100,  $P$  – wartości zmierzony w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne) w latach 1813-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

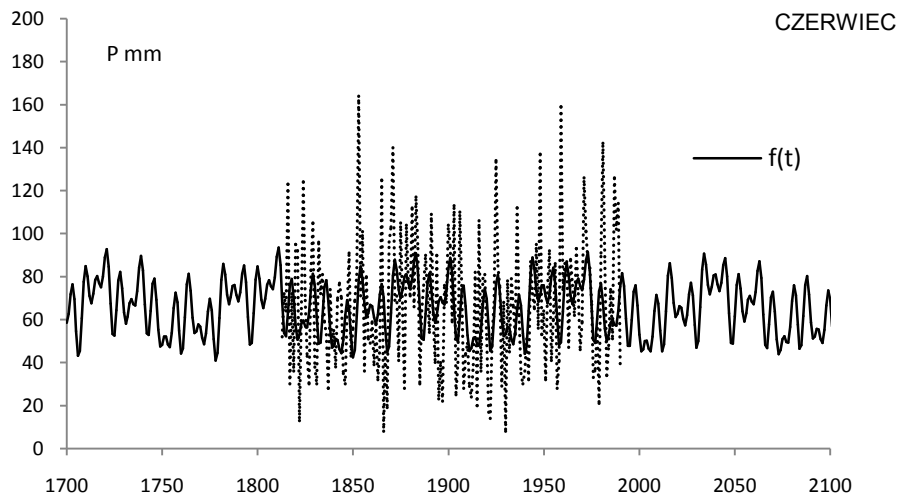
**Fig. 25.** Precipitation changes in Warsaw in May in the years 1700-2100,  $P$  – values measured in Warsaw (Astronomical Observatory) in the years 1813-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 26.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w maju w latach 1951-2100,  $P_i$  – wartości zmierzony na Okęciu  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

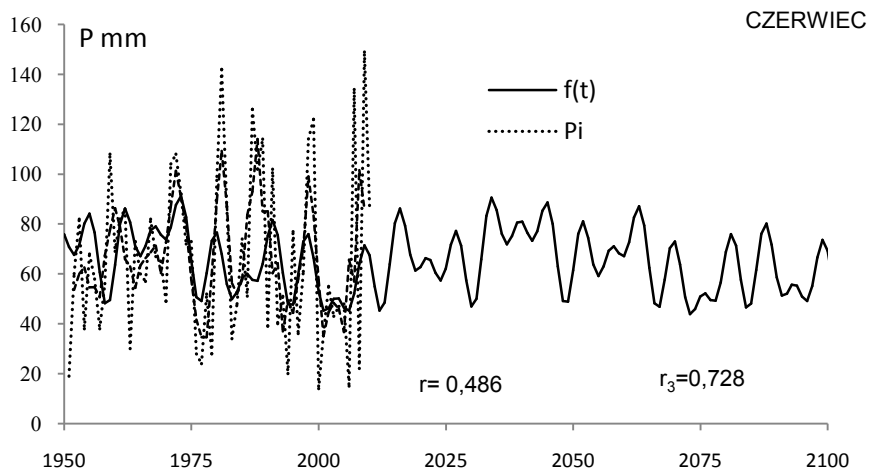
**Fig. 26.** Precipitation changes in Warsaw in May in the years 1951-2100,  $P_i$  – values measured in Okęcie,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$f(t) = 51,44 + 5,458 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11}t - 2,466\right) + 7,633 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{19}t + 0,4500\right) + 6,798 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{35}t - 1,064\right) + 3,498 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{65}t - 0,6282\right) + 3,119 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{133}t - 0,0014\right)$$



**Rys. 27.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w czerwcu w latach 1700-2100,  $P$  – wartości zmierzone w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne) w latach 1813-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

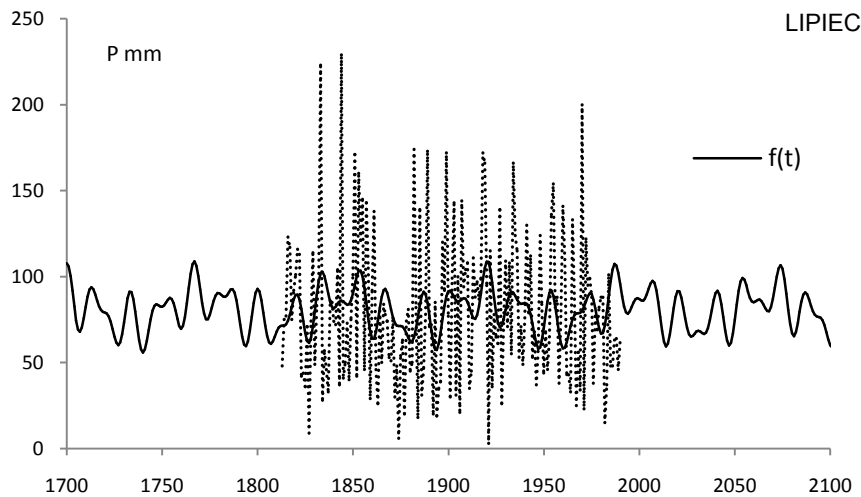
**Fig. 27.** Precipitation changes in Warsaw in June in the years 1700-2100,  $P$  – values measured in Warsaw (Astronomical Observatory) in the years 1813-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 28.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w czerwcu w latach 1951-2100,  $P_i$  – wartości zmierzone na Okęciu  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

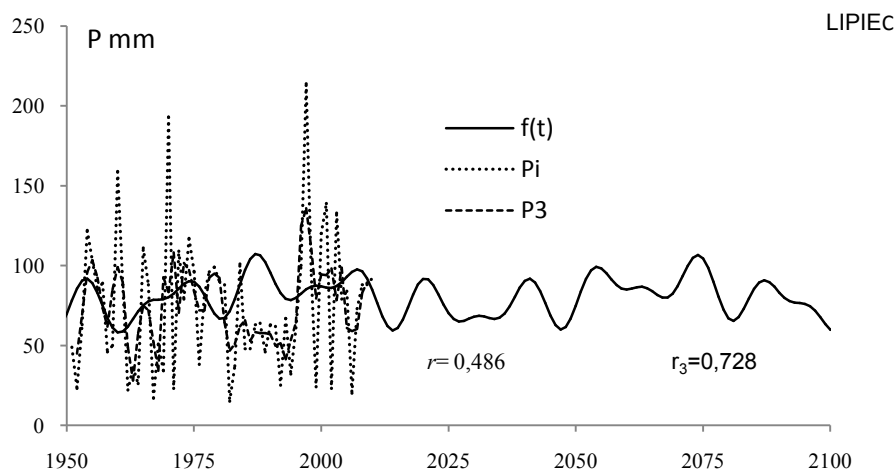
**Fig. 28.** Precipitation changes in Warsaw in June in the years 1951-2035,  $P_i$  – values measured in Okęcie,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$f(t) = 65,72 + 9,916 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6}t - 3,115\right) + 9,673 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9}t - 2,491\right) + 7,388 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{23}t + 2,648\right) + 8,310 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{80}t + 2,477\right)$$



**Rys. 29.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w lipcu w latach 1700-2100,  $P$  – wartości zmierzony w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne) w latach 1813-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

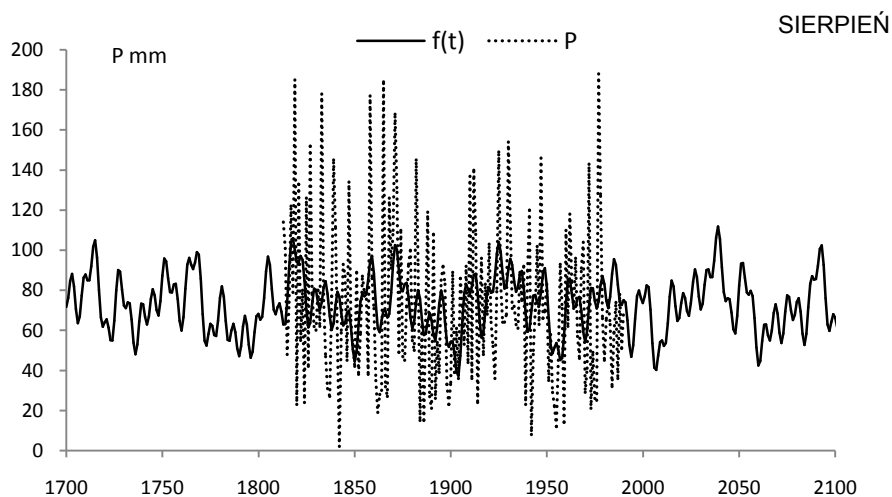
**Fig. 29.** Precipitation changes in Warsaw in July in the years 1700-2100,  $P$  – values measured in Warsaw (Astronomical Observatory) in the years 1813-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 30.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w lipcu w latach 1951-2100,  $P_i$  – wartości zmierzony na Okęciu  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

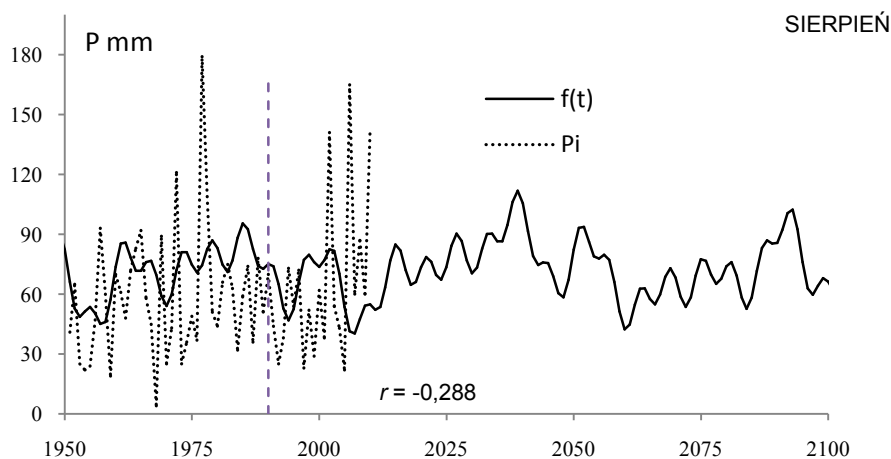
**Fig. 30.** Precipitation changes in Warsaw in July in the years 1951-2100,  $P_i$  – values measured in Okęcie,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$f(t) = 80,81 + 8,157 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11}t + 2,880\right) + 11,70 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17}t - 0,2923\right) + 8,803 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{74}t - 1,160\right)$$



**Rys. 31.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w sierpniu w latach 1700-2100,  $P$  – wartości zmierzone w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne) w latach 1813-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

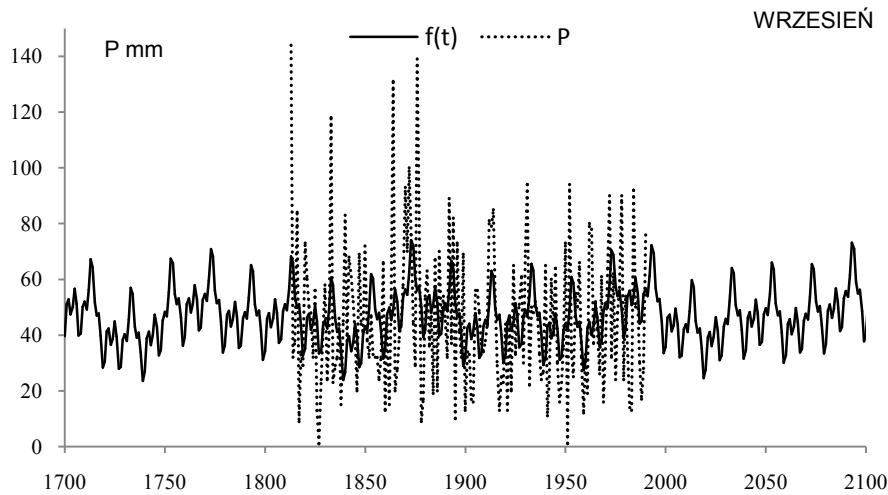
**Fig. 31.** Precipitation changes in Warsaw in August in the years 1700-2100,  $P$  – values measured in Warsaw (Astronomical Observatory) in the years 1813-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 32** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w sierpniu w latach 1951-2100,  $P_i$  – wartości zmierzone na Okęciu  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

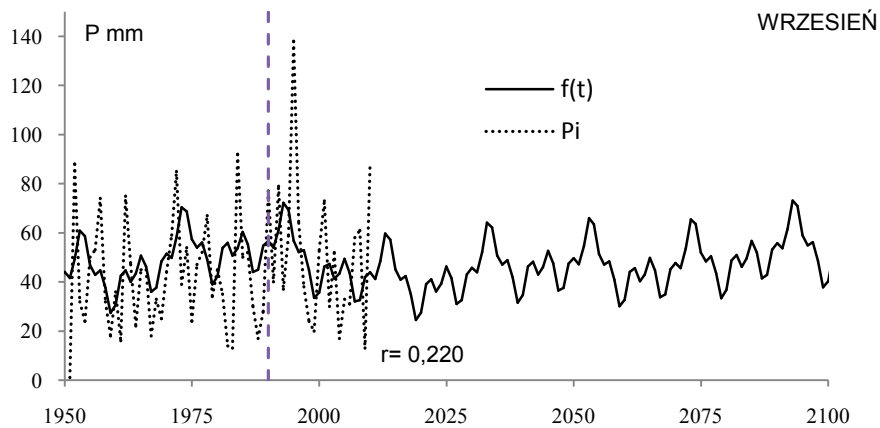
**Fig. 32.** Precipitation changes in Warsaw in August in the years 1951-2035,  $P_i$  – values measured in Okęcie,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2035

$$\begin{aligned}
 f(t) = & 72,82 + 8,841 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6}t - 2,728\right) + 9,420 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{13}t - 1,233\right) + \\
 & + 9,337 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{18}t - 1,043\right) + 11,21 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{55}t + 1,117\right) + \\
 & + 4,666 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{100}t + 0,1264\right)
 \end{aligned}$$



**Rys. 33.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie we wrześniu w latach 1700-2100,  $P$  – wartości zmierzone w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne) w latach 1813-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

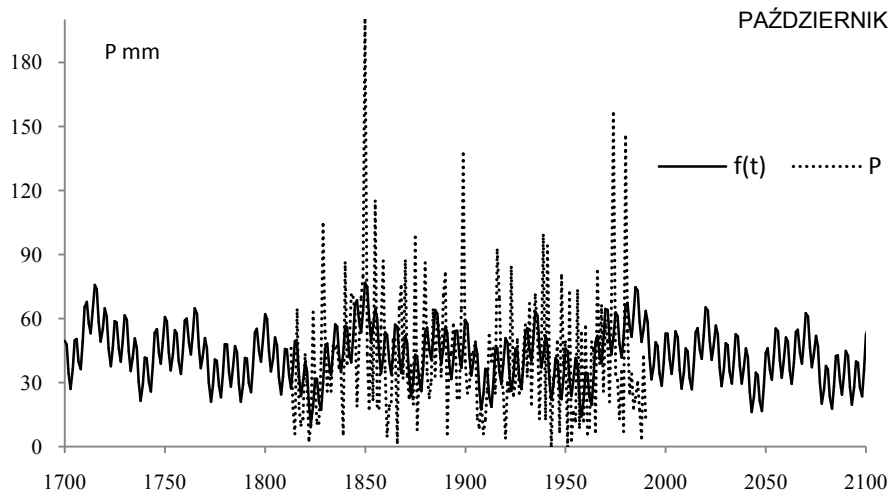
**Fig. 33.** Precipitation changes in Warsaw in September in the years 1700-2100,  $P$  – values measured in Warsaw (Astronomical Observatory) in the years 1813-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 34.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie we wrześniu w latach 1951-2100,  $P_i$  – wartości zmierzone na Okęciu  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

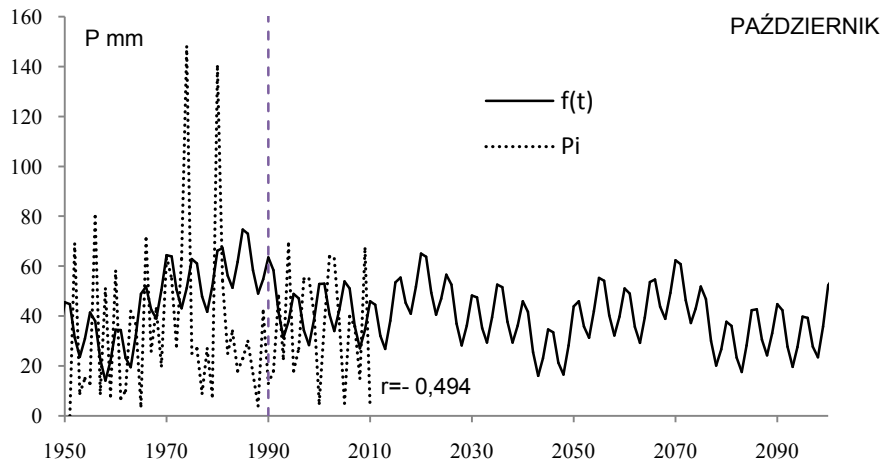
**Fig. 34.** Precipitation changes in Warsaw in September in the years 1951-2035,  $P_i$  – values measured in Okęcie,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2035

$$\begin{aligned}
 f(t) = & 46,55 + 6,016 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4}t + 1,036\right) + 7,911 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t + 1,194\right) + \\
 & + 6,782 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{20}t + 1,634\right) + 4,498 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{56}t + 1,074\right) + \\
 & + 4,418 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{100}t - 2,756\right)
 \end{aligned}$$



**Rys. 35.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w październiku w latach 1700-2100,  $P$  – wartości zmierzone w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne) w latach 1813-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 35.** Precipitation changes in Warsaw in October in the years 1700-2100,  $P$  on – values measured in Warsaw (Astronomical Observatory) in the years 1813-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100

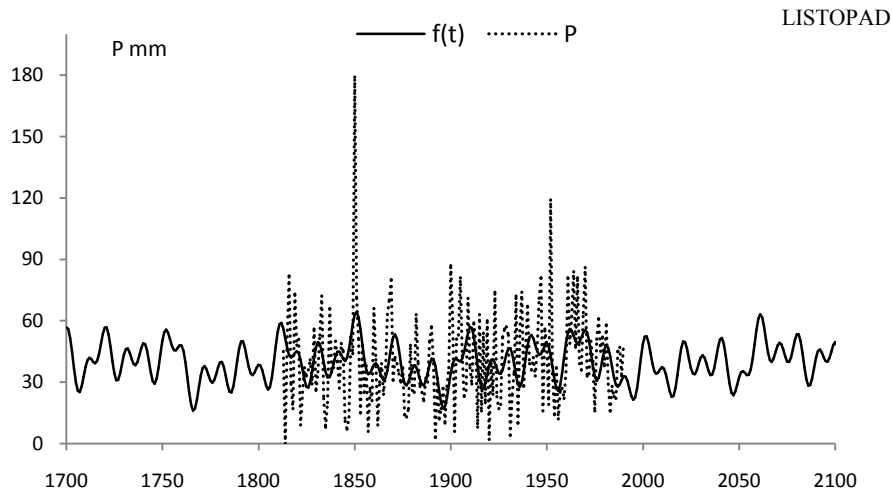


**Rys. 36.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w październiku w latach 1951-2100,  $P_i$  – wartości zmierzone na Okęciu  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 36.** Precipitation changes in Warsaw in October in the years 1951-2100,  $P_i$  – values measured in Okęcie,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

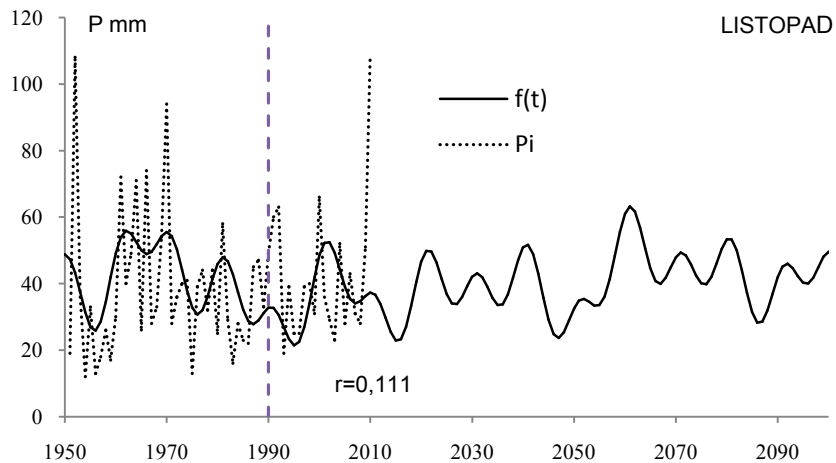
$$\begin{aligned}
 f(t) = & 42,81 + 11,52 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5}t - 1,478\right) + 6,567 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17}t + 0,4236\right) + \\
 & + 9,431 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{44}t + 2,985\right) + 4,011 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{67}t - 2,102\right) + \\
 & + 6,099 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{129}t - 0,8805\right)
 \end{aligned}$$





**Rys. 37.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w listopadzie w latach 1700-2100,  $P$  – wartości zmierzone w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne) w latach 1813-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

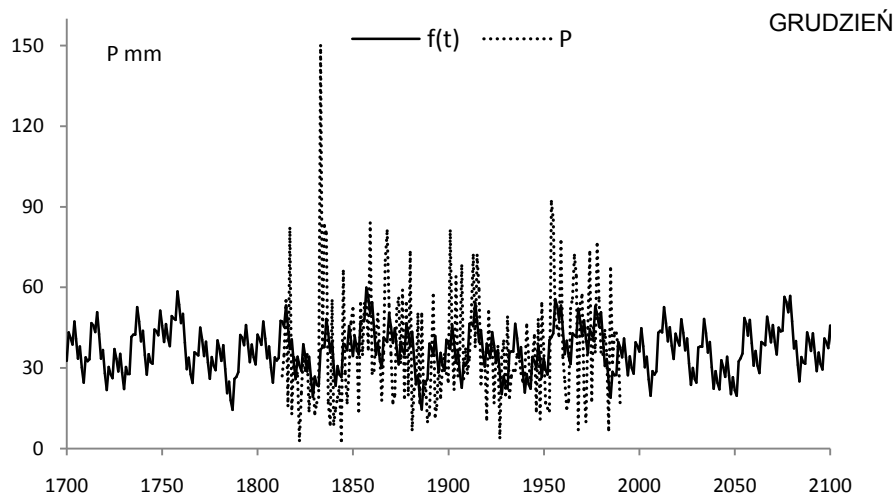
**Fig. 37.** Precipitation changes in Warsaw in November in the years 1700-2100,  $P$  – values measured in Warsaw (Astronomical Observatory) in the years 1813-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 38.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w listopadzie w latach 1951-2100,  $P_i$  – wartości zmierzone na Okęciu  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

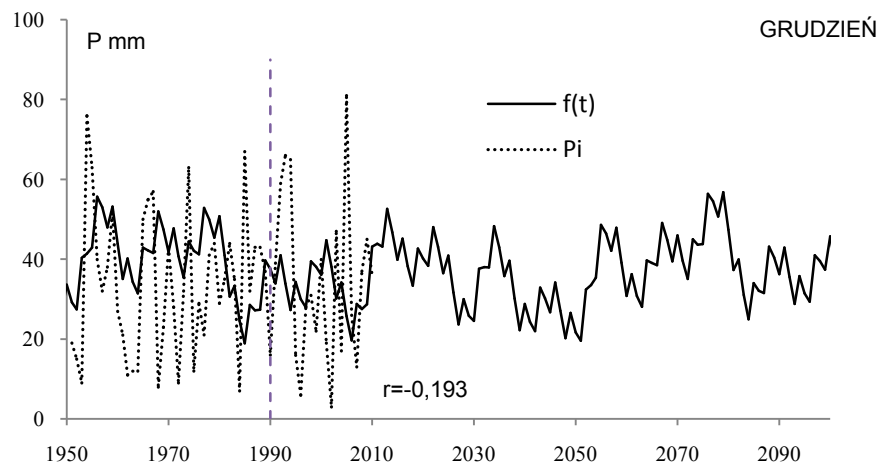
**Fig. 38.** Precipitation changes in Warsaw in November in the years 1951-2035,  $P_i$  – values measured in Okęcie,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$\begin{aligned}
 f(t) = & 39,52 + 7,444 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t + 2,813\right) + 7,450 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{19}t + 1,592\right) + \\
 & + 5,238 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{31}t + 0,9635\right) + 3,615 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{54}t + 2,740\right) + \\
 & + 4,567 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{115}t + 0,2251\right)
 \end{aligned}$$



**Rys. 39.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w grudniu w latach 1700-2100,  $P$  – wartości zmierzone w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne) w latach 1813-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 39.** Precipitation changes in Warsaw in December in the years 1700-2100,  $P$  – values measured in Warsaw (Astronomical Observatory) in the years 1813-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100

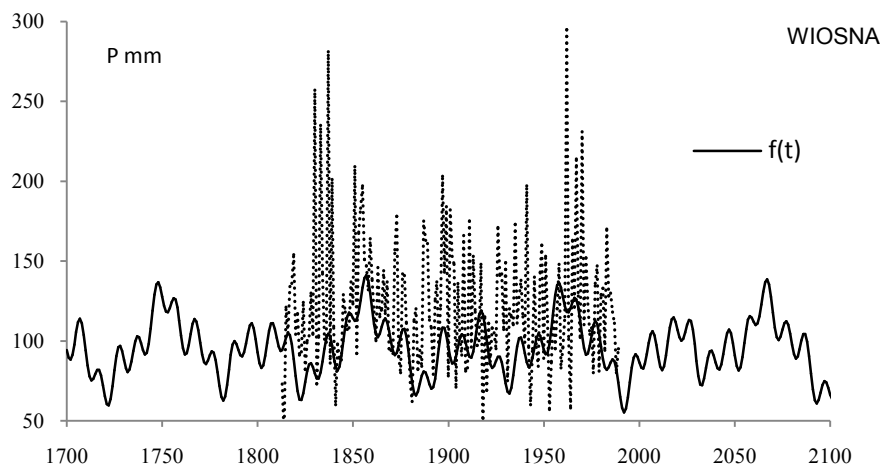


**Rys. 40.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w grudniu w latach 1951-2100,  $P_i$  – wartości zmierzone na Okęciu  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 40.** Precipitation changes in Warsaw in December in the years 1951-2100,  $P_i$  – values measured in Okęcie,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

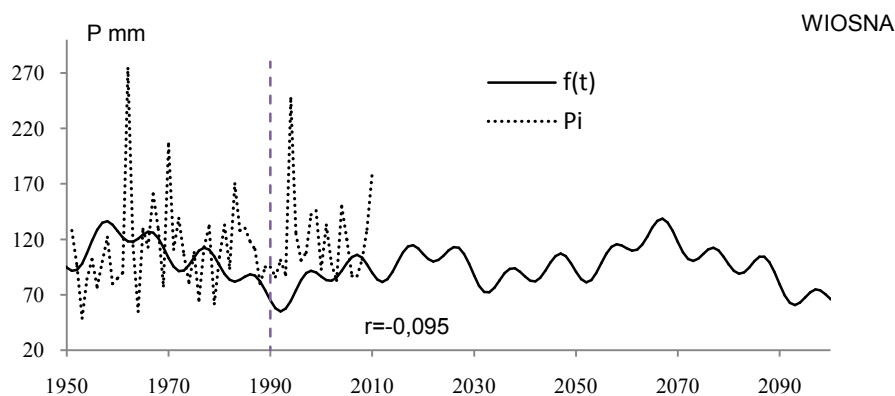
$$\begin{aligned}
 f(t) = & 36,49 + 4,934 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3}t - 3,109\right) + 7,061 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11}t + 0,9538\right) + \\
 & + 5,269 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{20}t + 0,6067\right) + 5,914 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{53}t + 2,267\right) + \\
 & + 2,767 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{113}t - 1,018\right)
 \end{aligned}$$

## Weryfikacja prognoz sezonowych i rocznych sum opadów (rys. 41-50)



**Rys. 41.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie wiosną w latach 1700-2100,  $P$  – wartości zmierzony w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne) w latach 1813-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

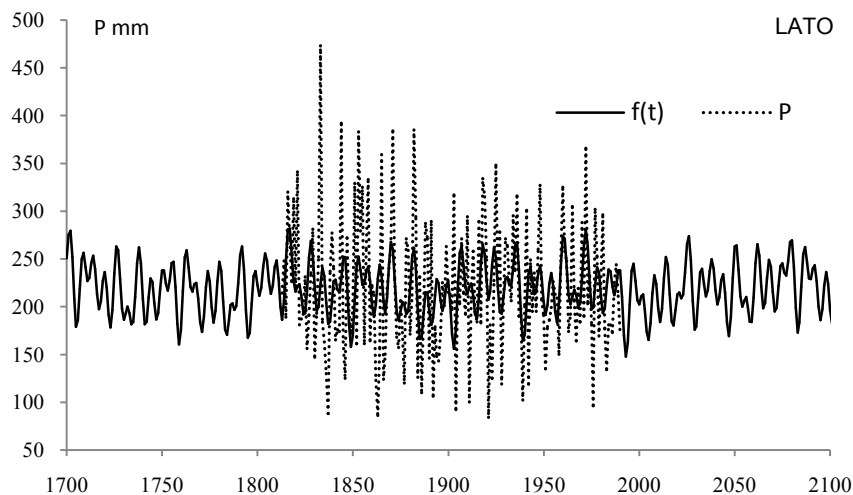
**Fig. 41.** Precipitation changes in Warsaw in spring in the years 1700-2100,  $P$  – values measured in Warsaw (Astronomical Observatory) in the years 1813-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast  $P$  for the years 1991-2100



**Rys. 42.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie wiosną w latach 1951-2100,  $P_i$  – wartości zmierzony na Okęciu  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

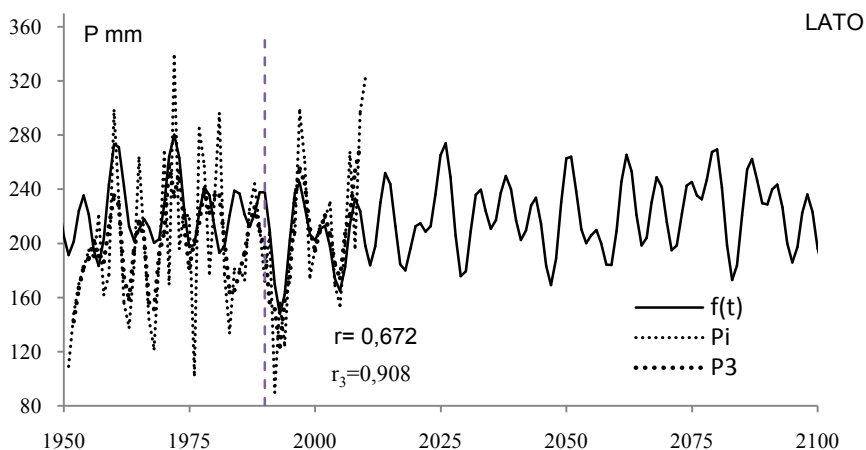
**Fig. 42.** Precipitation changes in Warsaw in spring in the years 1951-2100,  $P_i$  – values measured in Okęcie,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast  $P$  for the years 1991-2100

$$\begin{aligned}
 f(t) = & 121,9 + 13,07 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3}t - 3,015\right) + 11,51 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{19}t + 0,6313\right) + \\
 & + 12,98 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{34}t - 1,481\right) + 7,211 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{60}t - 1,845\right) + \\
 & + 6,331 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{128}t - 0,6359\right)
 \end{aligned}$$



**Rys. 43.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w lecie w latach 1700-2100,  $P$  – wartości zmierzony w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne) w latach 1813-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

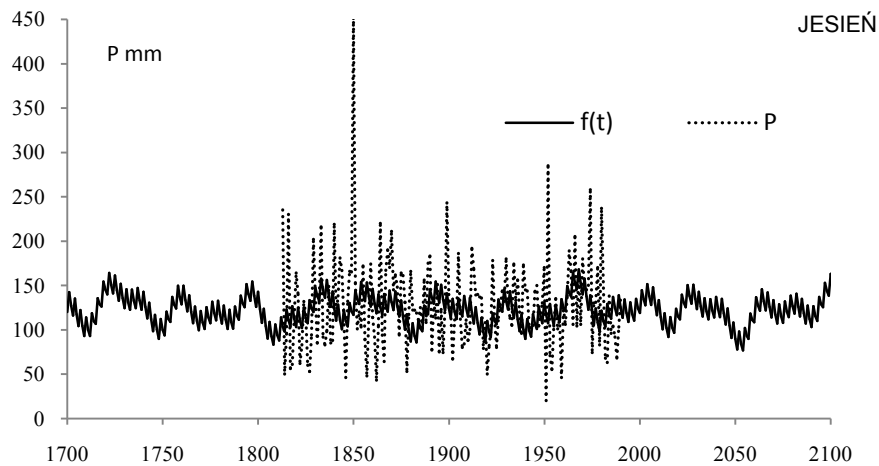
**Fig. 43.** Precipitation changes in Warsaw in summer in the years 1700-2100,  $P$  – values measured in Warsaw (Astronomical Observatory) in the years 1813-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 44.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w lecie w latach 1951-2100,  $P_i$  – wartości zmierzony na Okęciu  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

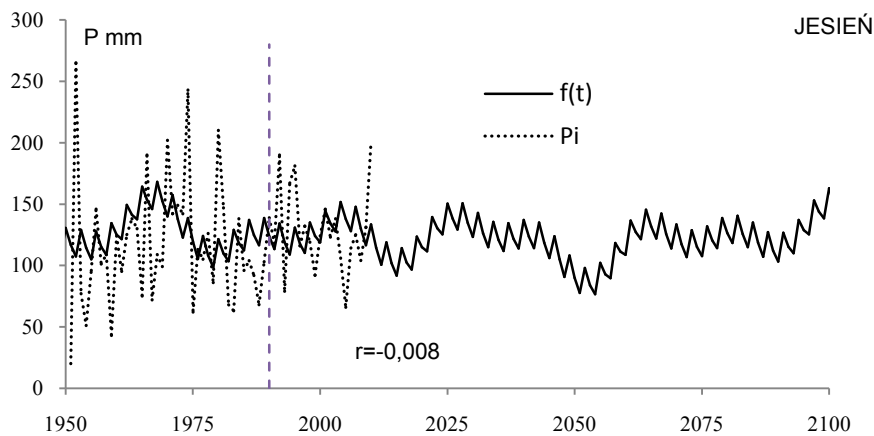
**Fig. 44.** Precipitation changes in Warsaw in summer in the years 1951-2100,  $P_i$  – values measured in Okęcie,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

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



**Rys. 45.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w jesieni w latach 1700-2100,  $P$  – wartości zmierzone w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne) w latach 1813-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

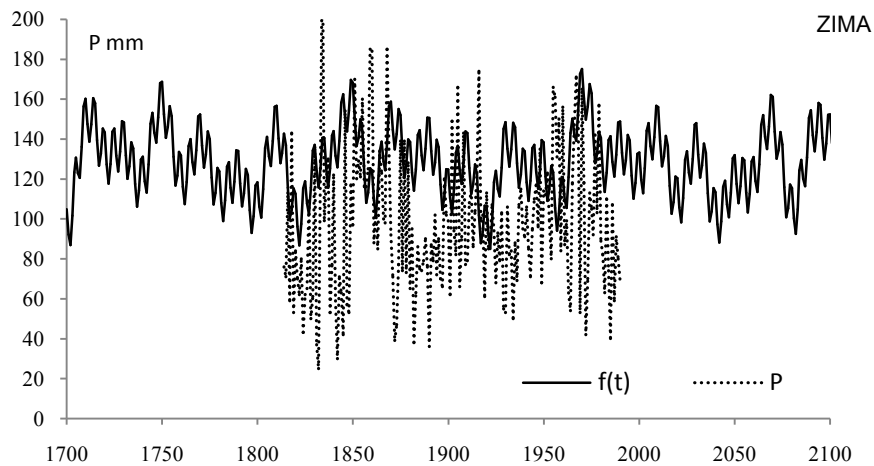
**Fig. 45.** Precipitation changes in Warsaw in Autumn in the years 1700-2100,  $P$  – values measured in Warsaw (Astronomical Observatory) in the years 1813-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 46.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w jesieni w latach 1951-2100,  $P_i$  – wartości zmierzone na Okęciu  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

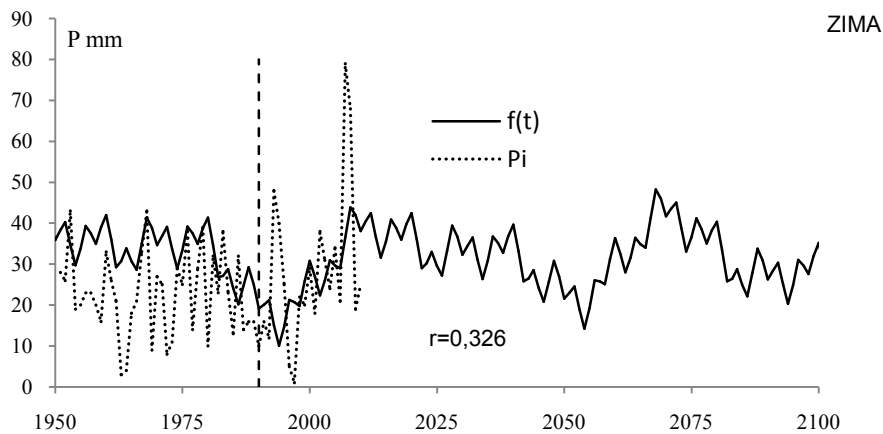
**Fig. 46.** Precipitation changes in Warsaw in Autumn in the years 1951-2100  $P_i$  – values measured in Okęcie,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2100

$$\begin{aligned}
 f(t) = & 128,0 + 13,51 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5}t - 0,3209\right) + 12,49 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{20}t + 2,526\right) + \\
 & + 9,694 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{32}t + 2,017\right) + 7,943 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{43}t + 2,955\right) + \\
 & + 10,16 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{120}t - 0,9553\right)
 \end{aligned}$$



**Rys. 47.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w zimie w latach 1700-2100,  $P$  – wartości zmierzane w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne) w latach 1813-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

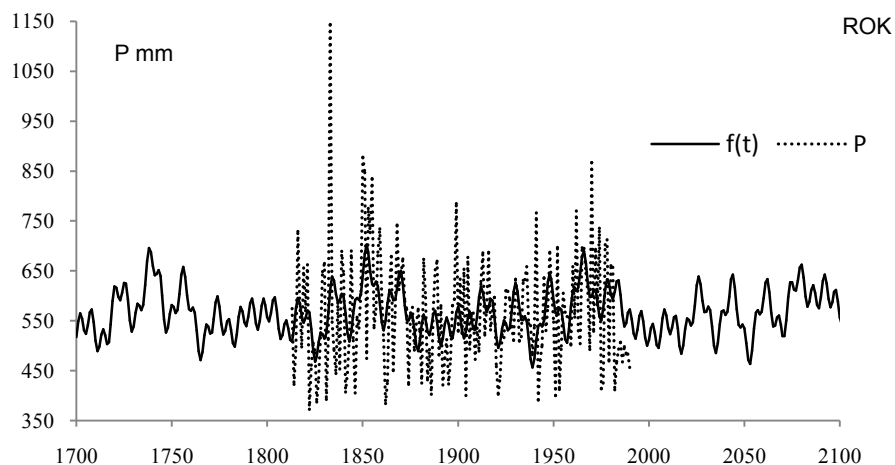
**Fig. 47.** Precipitation changes in Warsaw in winter in the years 1700-2100,  $P$  – values measured in Warsaw (Astronomical Observatory) in the years 1813-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast  $P$  for the years 1991-2100



**Rys. 48.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w zimie w latach 1951-2100,  $P_i$  – wartości zmierzane na Okęciu  $F(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

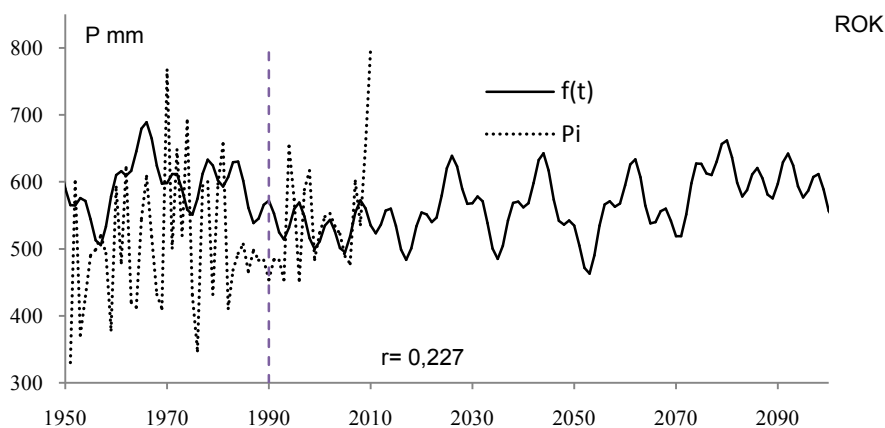
**Fig. 48.** Precipitation changes in Warsaw in winter in the years 1951-2035,  $P_i$  – values measured in Okęcie,  $F(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast  $P$  for the years 1991-2100

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



**Rys. 49.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w roku w latach 1700-2100,  $P$  – wartości zmierzony w Warszawie (Obserwatorium Astronomiczne) w latach 1813-1990,  $f(t)$  – obliczone z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 49.** Precipitation changes in Warsaw in year in the years 1700-2100,  $P$  – values measured in Warsaw (Astronomical Observatory) in the years 1813-1990,  $f(t)$  – calculated values, with a forecast for the years 1991-2100



**Rys. 50.** Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w roku w latach 1951-2100,  $P_i$  – wartości zmierzony na Okęciu  $f(t)$  – obliczone z wzoru z prognozą na lata 1991-2100

**Fig. 50.** Precipitation changes in Warsaw in year in the years 1951-2035,  $P_i$  – values measured in Okęcie,  $f(t)$  – values calculated on the basis of the formula and with a forecast for the years 1991-2035

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

## XI. NOWE PROGNOZY ZMIAN TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE W XXI WIEKU WEDŁUG POMIARÓW Z LAT 1779-2015

Prognozy tendencji temperatury powietrza w Warszawie na lata 1980-2100 według danych z lat 1779-1979 (Obserwatorium Astronomiczne) opracowano po raz pierwszy na podstawie tzw. modelu rekonstrukcyjno-prognostycznego wieloletnich zmian temperatury powietrza (Boryczka 1984, wzór 133). W modelu tym, oprócz interferencji 6 cykli o długościach  $\Theta_1=1$  rok,  $\Theta_2=11.2$  lat,  $\Theta_3=22$  lat,  $\Theta_4=18.6$  lat,  $\Theta_5=90$  lat,  $\Theta_6=220$  lat, uwzględniono dodatkowo modulację cyklu rocznego o częstości  $\Omega_1=2\pi$  przez cykle o częstościach mniejszych. Prognozy przebiegu rocznego temperatury powietrza w Warszawie w latach 1980-2100 wg modelu rekonstrukcyjno-prognostycznego zweryfikowano w 30-leciu 1981-2015 (rozdz. VIII).

Zweryfikowano także prognozy przebiegu rocznego temperatury powietrza w Warszawie w latach 1991-2100 (w miesiącach, sezonach i roku) w 25-leciu 1991-2015).

Na ogół, wiarygodne są prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie na lata 1991-2100 opracowane na podstawie danych z Obserwatorium Astronomicznego z lat 1779-1990 (Boryczka i in., 2000; wzory s. 110-119, wykresy s. 129-147). Porównano średnie wartości temperatury powietrza w różnych przedziałach czasu (miesiące, pory roku, rok) zmierzone w Warszawie na Okęciu ( $T$ ) z prognozowanymi  $f(t)$  na lata 1990-2015. Funkcje trendów czasowych temperatury powietrza  $T=f(t)$ , gdy  $at=0$  i  $T=F(t)$  – ze składnikiem liniowym  $at$  wzięto z Atlasu, t. XIV, s. 110-119.

Ponadto zweryfikowano prognozy zmian temperatury powietrza do roku 2100 w różnych miejscach Europy, dotyczących zimy i lata, miesiące styczeń i lipiec oraz średniej rocznej, opublikowanych w trzech tomach czasopisma *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* (rozdz. IX):

- Zima i lato (Boryczka i in., 2003, t. XVII, rozdz. V *Zmiany temperatury powietrza w Europie w XVIII-XX wieku. Prognozy po rok 2100*, s. 31-171)
- Styczeń i lipiec (Boryczka i in., 2005, t. XIX, rozdz. IV. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w ostatnich stuleciach*, s. 35-131)
- Rok (Stopa-Boryczka i in., 2007, t. XX-XXI, rozdz. III. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w XIX-XXI wieku*, s. 97-126)

Zweryfikowano prognozy zmian temperatury powietrza (do roku 2100) w 10 miastach wybranych spośród 40 miejsc Europy: Anglia środkowa (1659-1993), Greenwich (1659-1969), Paryż (1767-1995), Berlin (1769-1990), Warszawa (1779-1998 i 1779-2002), Moskwa (1780-2002), Sztokholm (1756-1994), Zurych (1864-1970), Rzym (1811-1989), Wiedeń (1775-2002) i Kijów (1812-2002) (rozdz. IX, rys. 1).

**Nowe prognozy** zmian temperatury powietrza w Warszawie w latach 2016-2100 opracowano na podstawie danych z lat 1779-2015. Utworzono nową serię średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza o dliczebności  $n=237$  lat, łącząc dane z lat 1779-1998 (Warszawa-Obserwatorium, seria homogeniczna, H. Lorenc) i 1999-2015 (Warszawa-Okęcie). Prognozy opracowano dla poszczególnych miesięcy, pór roku i roku, uwzględniając okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2015, gdzie  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora (tab. 1-17, rys. 1-51). Okresy  $\Theta$  – to minima lokalne zamieszczonych widm temperatury powietrza w przedziale  $2.1 \leq \Theta \leq 250$  lat z odstępem  $\Theta$  co 0,1 roku. Na ogół, spadki wariancji resztkowej  $\varepsilon^2$  przy  $\Theta \rightarrow 250$  lat świadczą, że istnieją cykle długie, które nie są obecne w widmach temperatury, lecz występują w widmach danych dendrologicznych. Dlatego też w prognozach uwzględniono dodatkowo cykl 179 lat (astronomiczny).



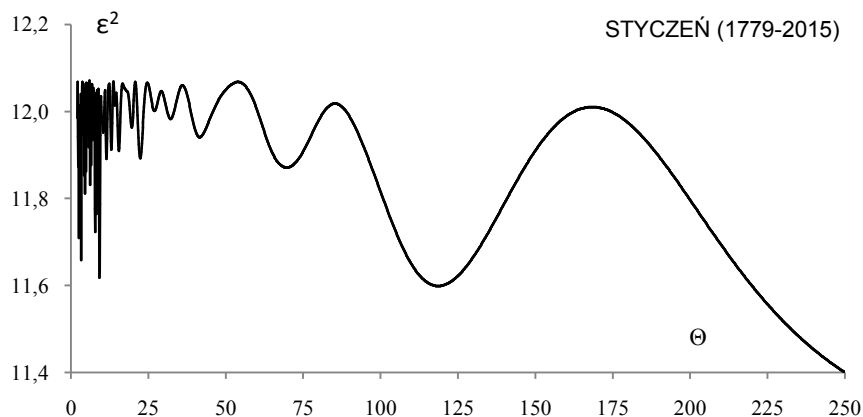
Rekonstrukcję temperatury powietrza w latach 1700-1778 i prognozę jej zmian w latach 2016-2100 przeprowadzono według dwóch rodzajów wypadkowych interferencji cykl:

1. ze składnikiem liniowym  $F(t) = a_0 + a t + \dots$  (tab. 1-17)
2. bez składnika liniowego  $-f(t)$ , ( $at=0$ ).

Dokładność aproksymacji wyników pomiarów charakteryzują współczynniki korelacji wielokrotnej  $R$ .

### 11.1. Nowe prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie w kolejnych miesiącach w latach 2016-2100

#### STYCZEŃ



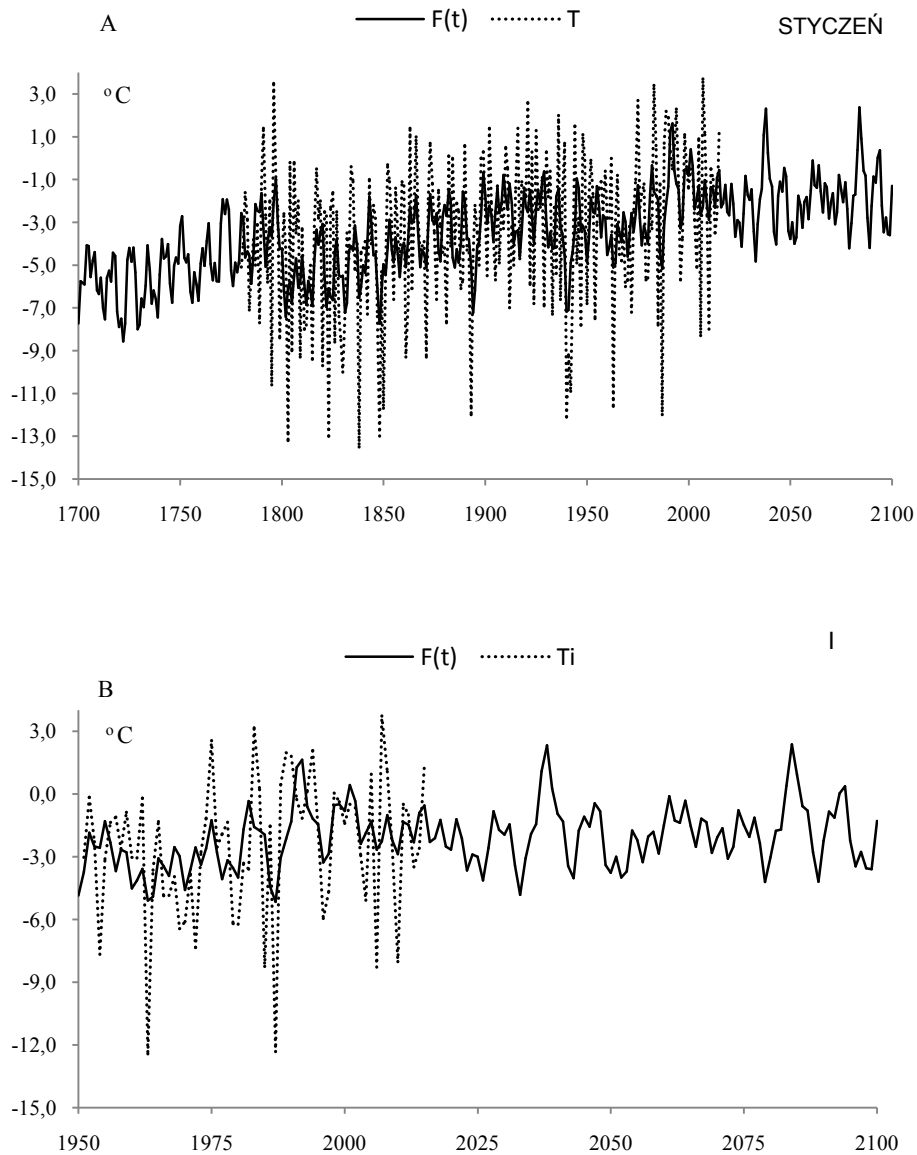
**Rys. 1.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w styczniu w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**Fig. 1.** Spectrum of air temperature in Warsaw in January in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

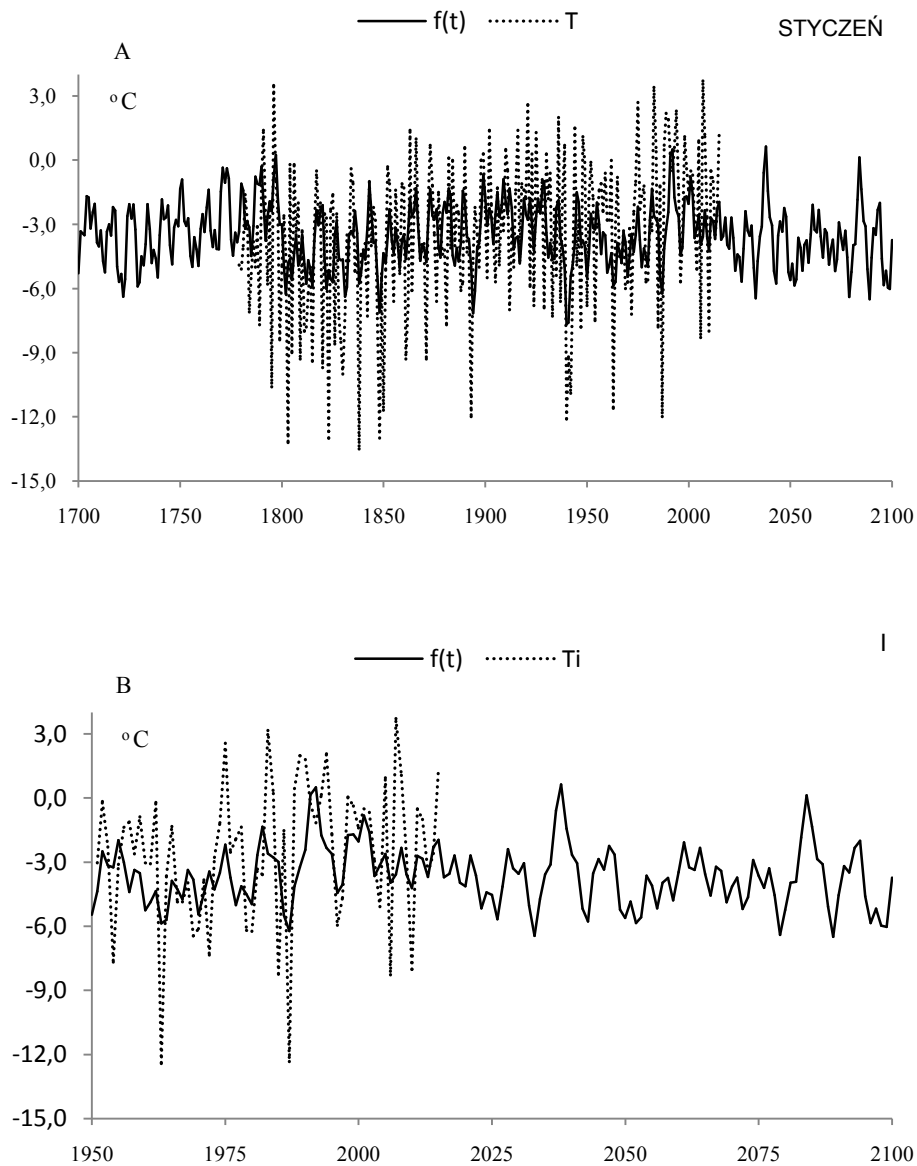
**Tabela 1.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie w styczniu, w latach 1779-2015,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora

**Table 1.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in January in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = -26.661941 + 0.012200 t + \dots ; R = 0.499199$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
3,3	0,893039	-1,572338	11,658	0,186	4,245
7,8	0,825048	-0,157752	11,723	0,171	3,564
9,2	0,991399	-1,595346	11,618	0,195	4,668
11,5	0,621747	0,268202	11,891	0,124	1,840
22,4	0,614503	1,048818	11,892	0,123	1,830
27,0	0,327573	-1,110038	12,001	0,079	0,737
41,6	0,450096	1,553101	11,940	0,106	1,346
69,7	0,408544	-2,195130	11,871	0,130	2,043
118,6	0,681712	1,827870	11,599	0,199	4,869
179,0	0,226912	2,713731	11,979	0,089	0,956



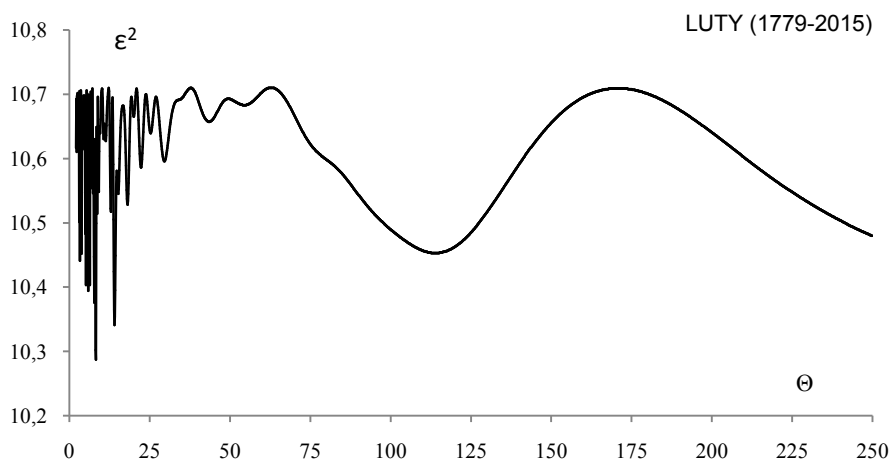
**Rys. 2.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w styczniu w latach 1700-2100 ,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)  
**Fig. 2.** Air temperature changes in Warsaw in January in the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015) , B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)



**Rys. 3** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w styczniu w latach 1700-2100 ,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 3.** Air temperature changes in Warsaw in January in the years 1700-2100.  $f(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1951-2015)

## LUTY



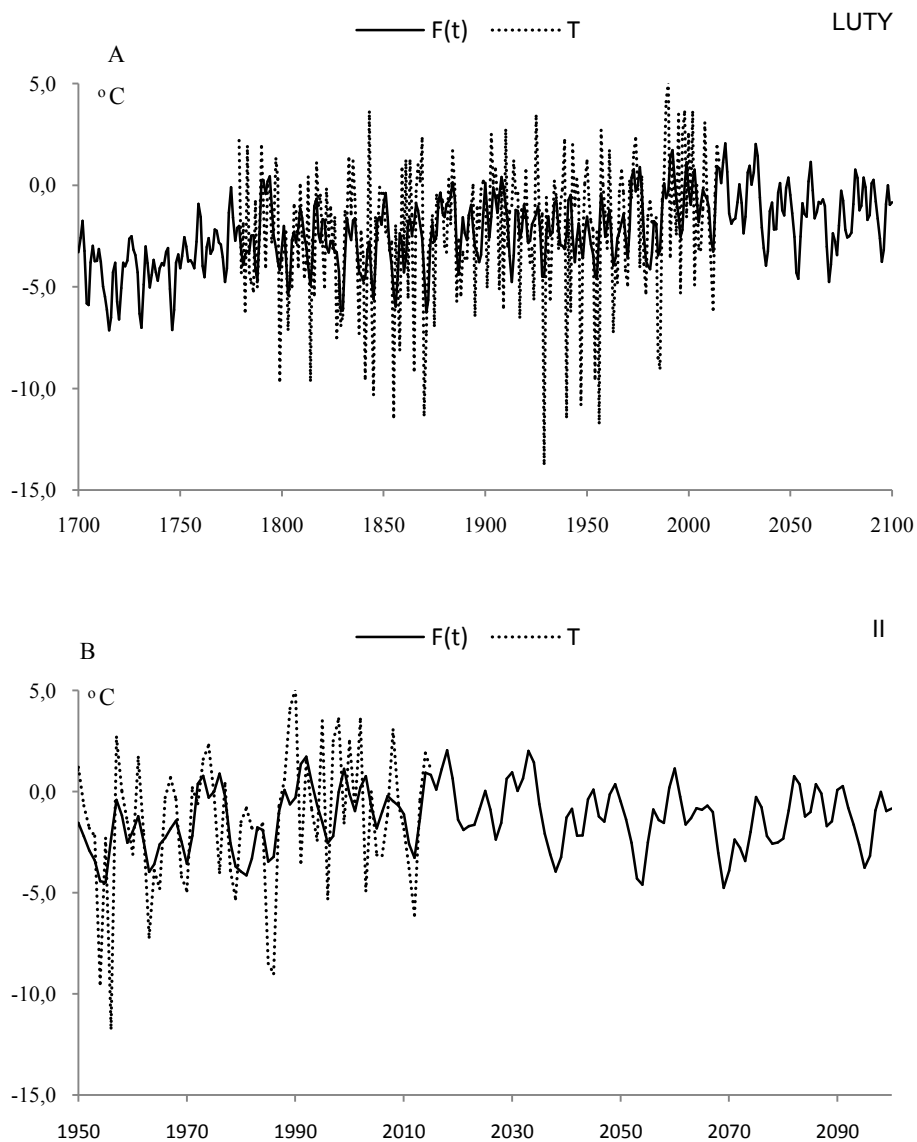
**Rys. 4.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w lutym w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**Fig. 4.** Spectrum of air temperature in Warsaw in February in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

**Tabela 2.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie w lutym, w latach 1779-2015,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$ - współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora

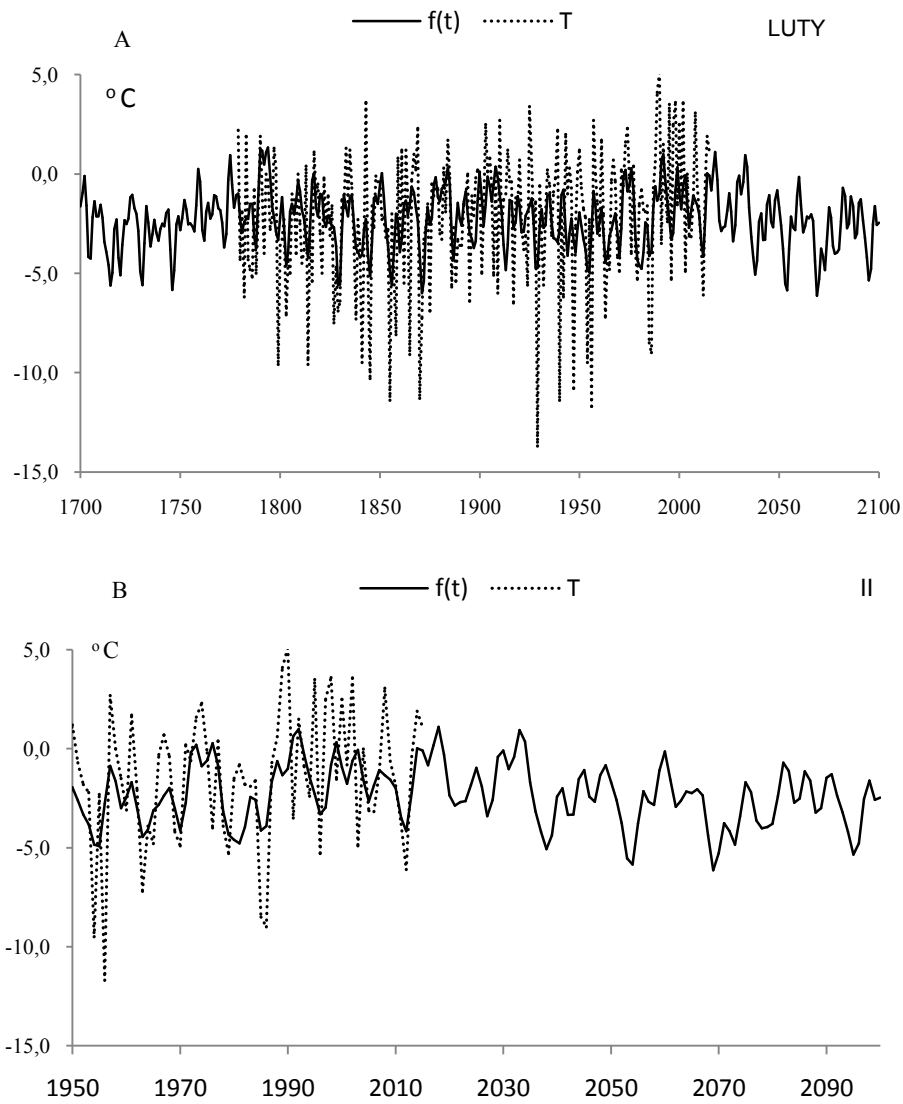
**Table 2.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in February in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = -17.859297 + 0.008225 t + \dots ; R = 0.475100$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
3,8	0,709653	1,380982	10,452	0,154	2,880
5,2	0,772345	-0,084968	10,403	0,168	3,451
8,3	0,940401	1,915582	10,287	0,198	4,826
14,0	0,845309	0,836635	10,341	0,185	4,182
15,2	0,545009	-2,984844	10,545	0,123	1,809
18,1	0,545568	0,938818	10,528	0,129	2,003
22,3	0,402748	-1,080805	10,586	0,106	1,343
29,6	0,447472	-1,468656	10,596	0,101	1,230
113,9	0,728428	-2,581096	10,453	0,154	2,868
179,0	0,190156	0,711293	10,702	0,019	0,044



**Rys. 5.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w lutym w latach 1700-2100 ,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

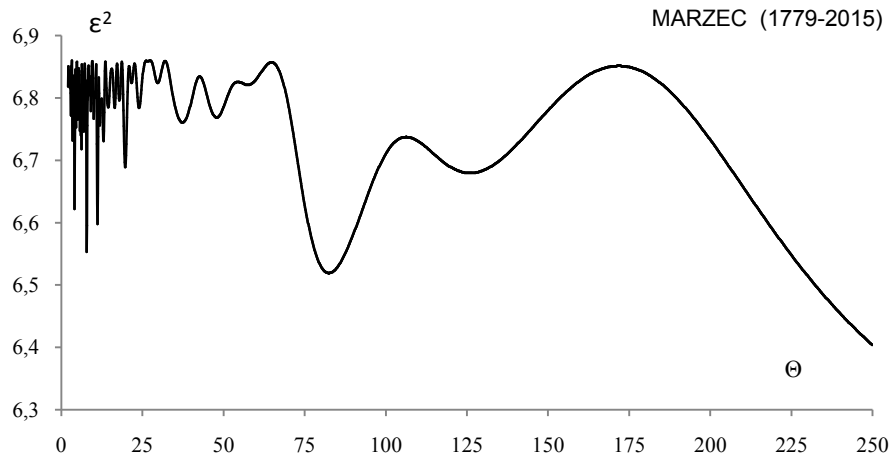
**Fig. 5.** Air temperature changes in Warsaw in February in the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)



**Rys. 6.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w lutym w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 6.** Air temperature changes in Warsaw in February in the years 1700-2100.  $f(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)

## MARZEC



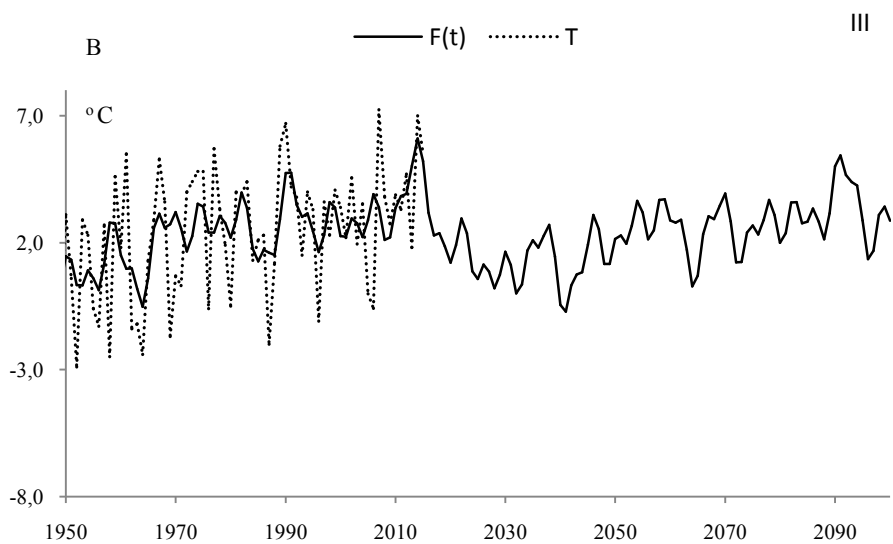
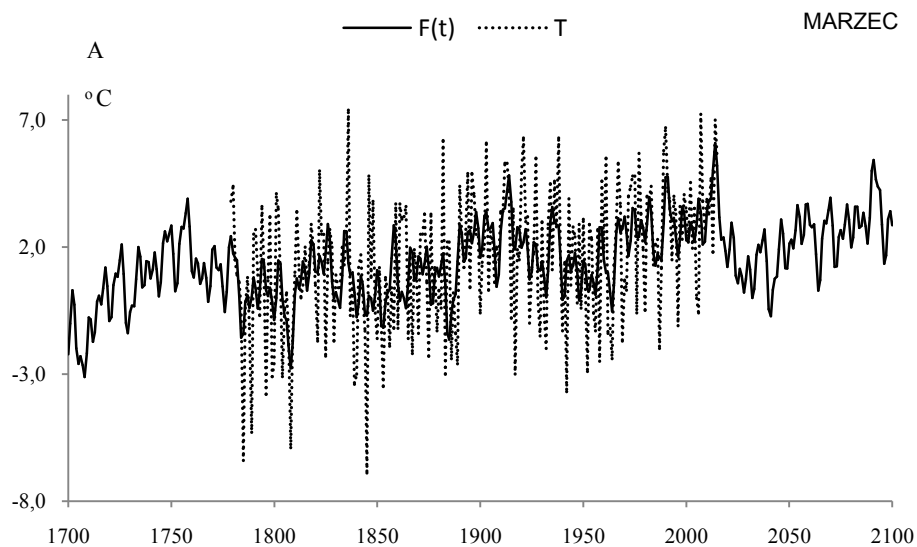
**Rys. 7.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w marcu w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**Fig. 7.** Spectrum of air temperature in Warsaw in March in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

**Tabela 3.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie w marcu, w latach 1779-2015,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{\text{obl}}$  – test Fishera-Snedecora

**Table 3.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in March in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{\text{obl}}$  – F-test)

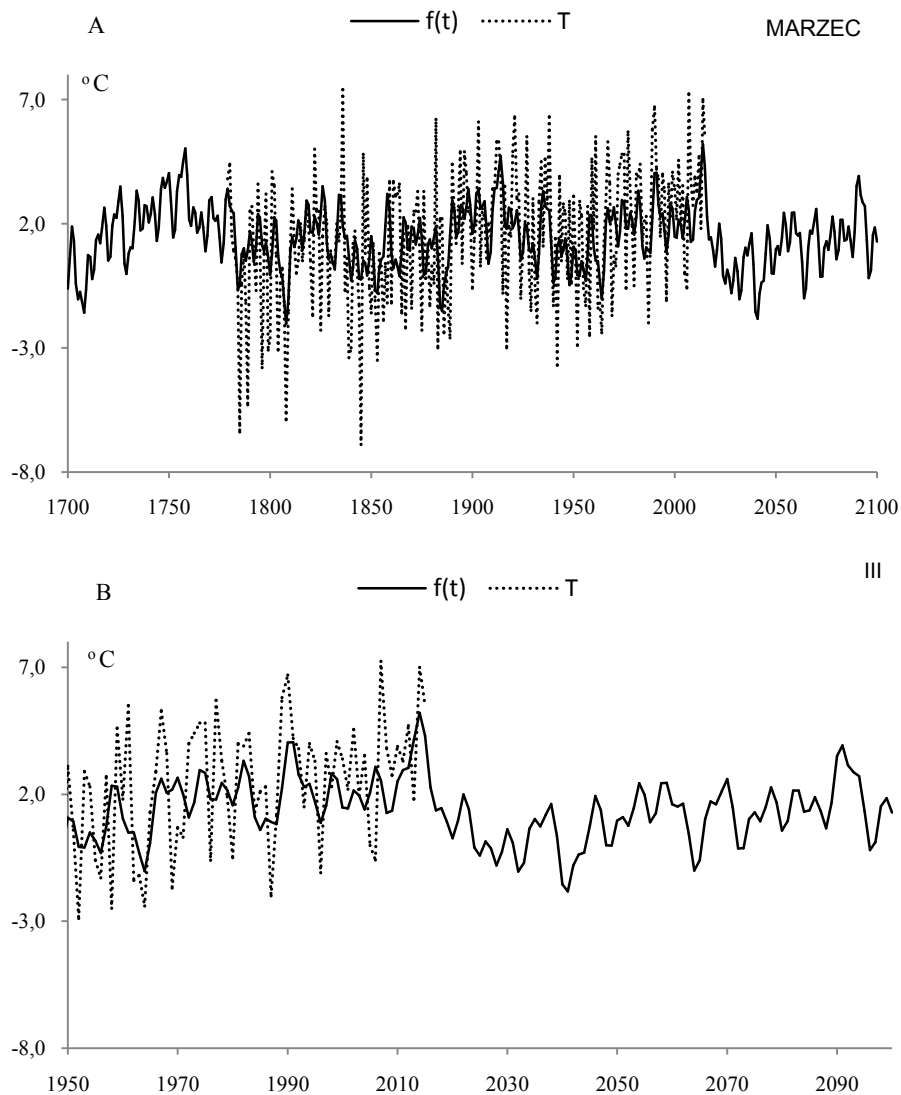
$F(t) = -13,616101 + 0,007933 t + \dots$ ; $R = 0,554855$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{\text{obl}}$
4,0	0,675738	-2,031860	6,622	0,188	4,338
7,8	0,753499	0,316330	6,553	0,213	5,631
11,1	0,679574	-0,936097	6,598	0,197	4,785
19,7	0,501169	0,099611	6,689	0,160	3,107
24,0	0,285052	2,235386	6,784	0,108	1,404
37,3	0,471306	1,636125	6,761	0,123	1,812
47,8	0,309835	1,129106	6,769	0,118	1,670
82,5	0,748354	0,511209	6,519	0,224	6,279
126,0	0,520667	1,893466	6,680	0,164	3,271
179,0	0,471861	2,411035	6,843	0,056	0,371



**Rys. 8.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w marcu w latach 1700-2100,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 8.** Air temperature changes in Warsaw in March in the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1951-2015)

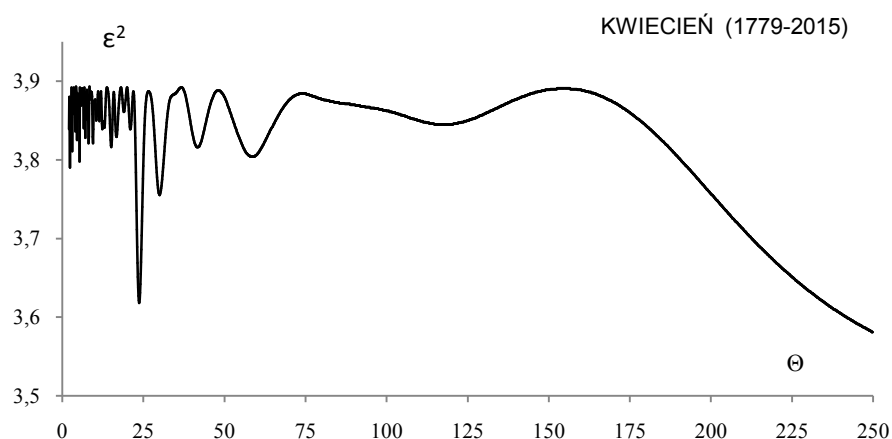




**Rys. 9.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w marcu w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 9.** Air temperature changes in Warsaw in March in the years 1700-2100.  $f(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1951-2015)

## KWIECIEŃ



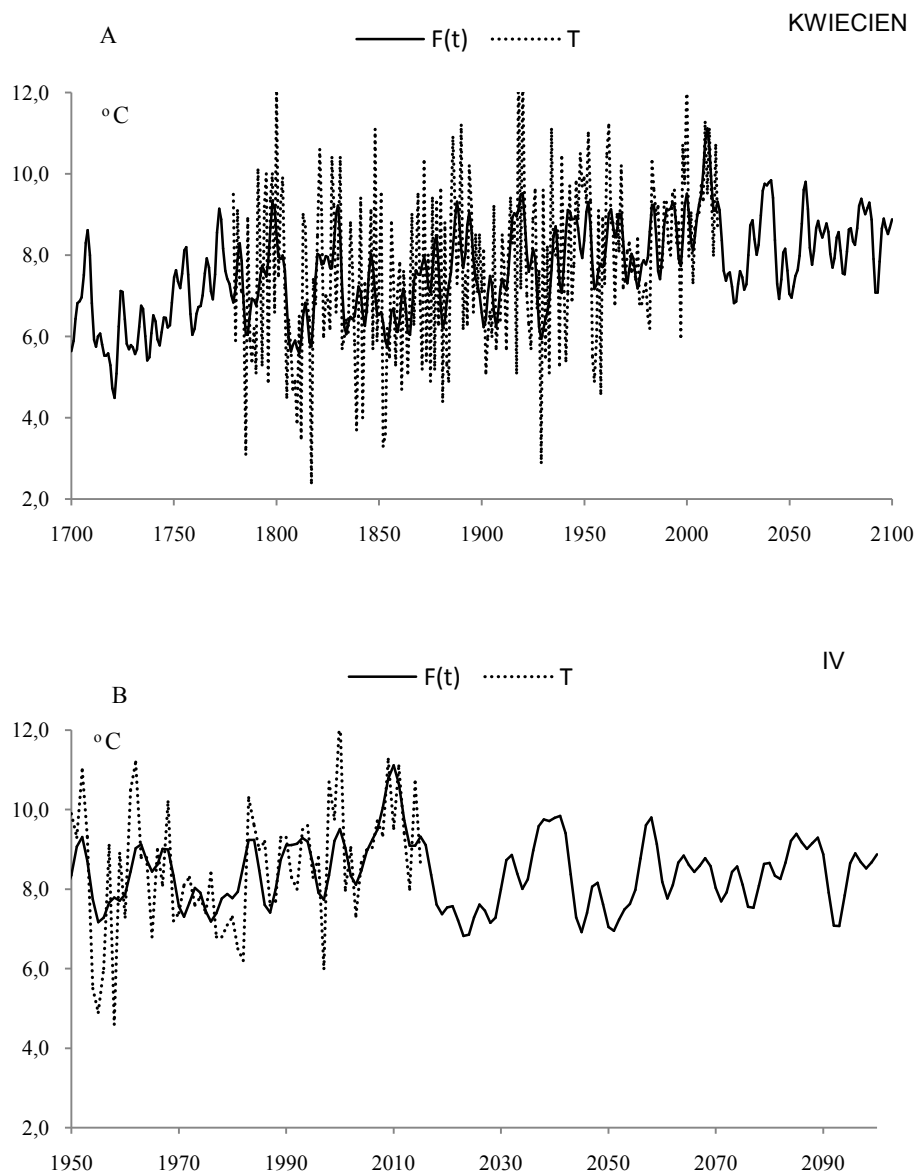
**Rys. 10.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w kwietniu w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**Fig. 10.** Spectrum of air temperature in Warsaw in April in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

**Tabela 4.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie w kwietniu, w latach 1779-2015,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{\text{obl}}$  – test Fishera-Snedecora

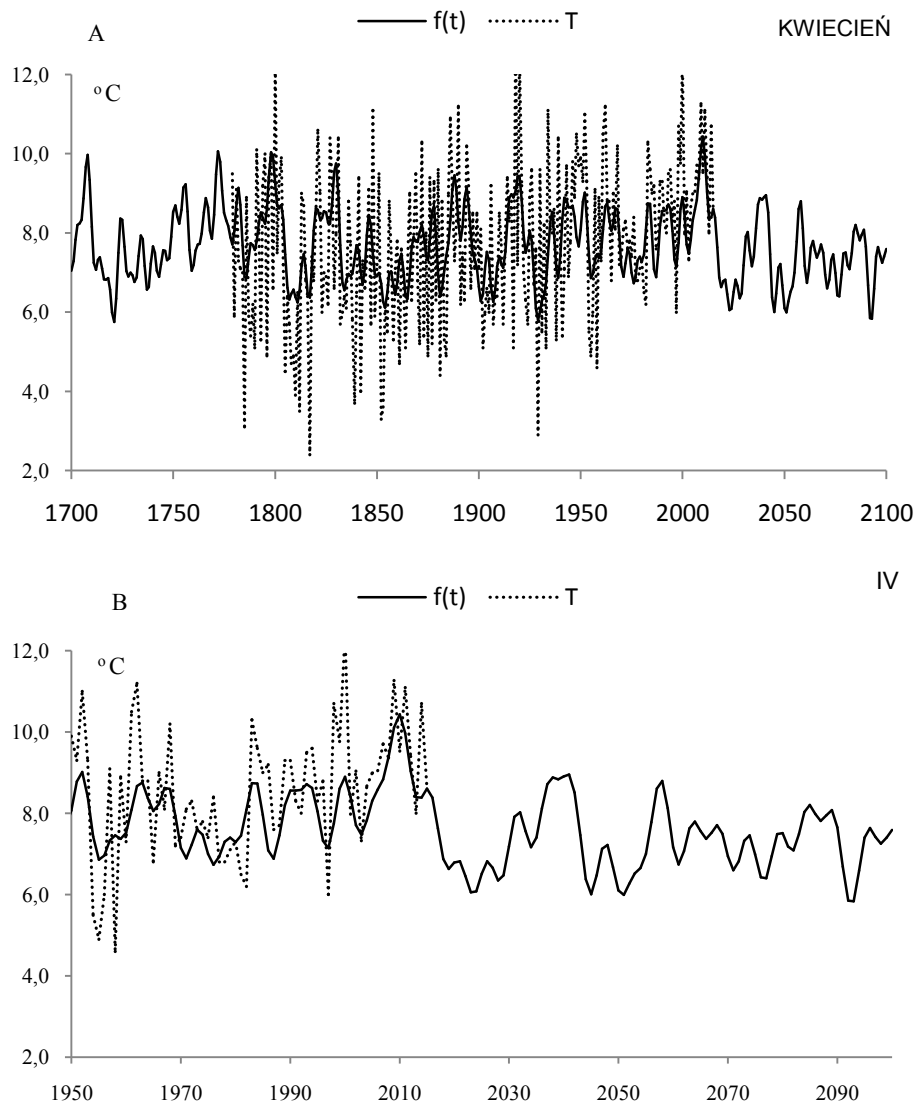
**Table 4.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in April in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{\text{obl}}$  – F-test)

$F(t) = -5,142801 + 0,006734 t + \dots$ ; $R = 0,551846$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{\text{obl}}$
5,3	0,428979	-0,278024	3,798	0,156	2,956
8,1	0,388023	2,169138	3,821	0,136	2,225
9,5	0,369097	-2,313739	3,821	0,136	2,225
15,1	0,354810	0,668963	3,816	0,140	2,383
23,7	0,704965	2,088525	3,618	0,266	8,998
30,0	0,464994	2,012326	3,755	0,188	4,346
41,7	0,330939	1,601704	3,816	0,140	2,383
58,6	0,324090	0,286687	3,804	0,151	2,764
117,6	0,276110	0,930817	3,845	0,111	1,471
179,0	0,352233	1,722310	3,847	0,108	1,409



**Rys. 11.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w kwietniu w latach 1700-2100,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

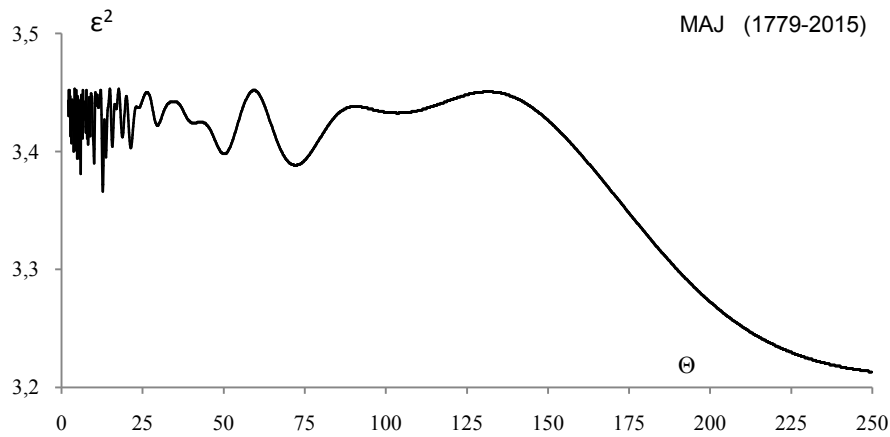
**Fig. 11.** Air temperature changes in Warsaw in April in the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)



**Rys. 12.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w kwietniu w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 12.** Air temperature changes in Warsaw in April in the years 1700-2100.  $f(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)

## MAJ



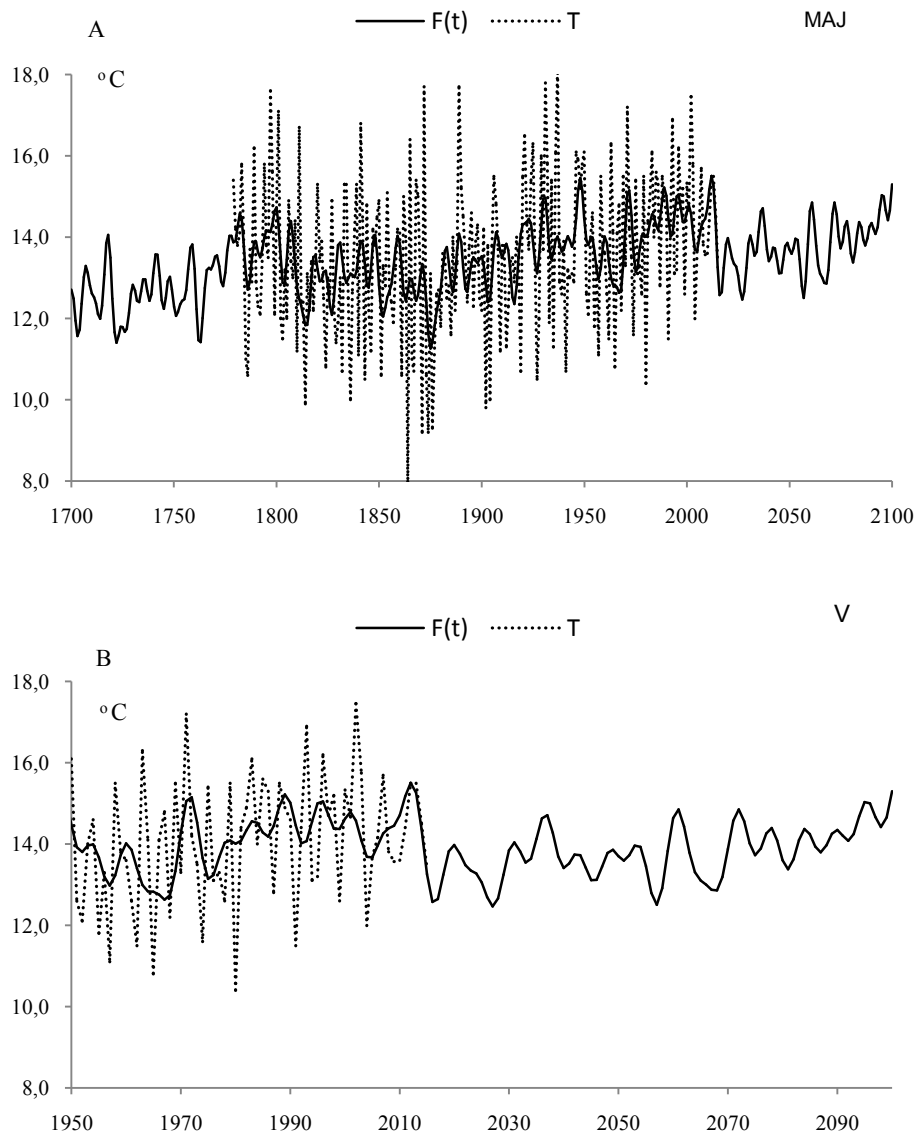
**Rys. 13.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w maju w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**Fig. 13.** Spectrum of air temperature in Warsaw in May in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

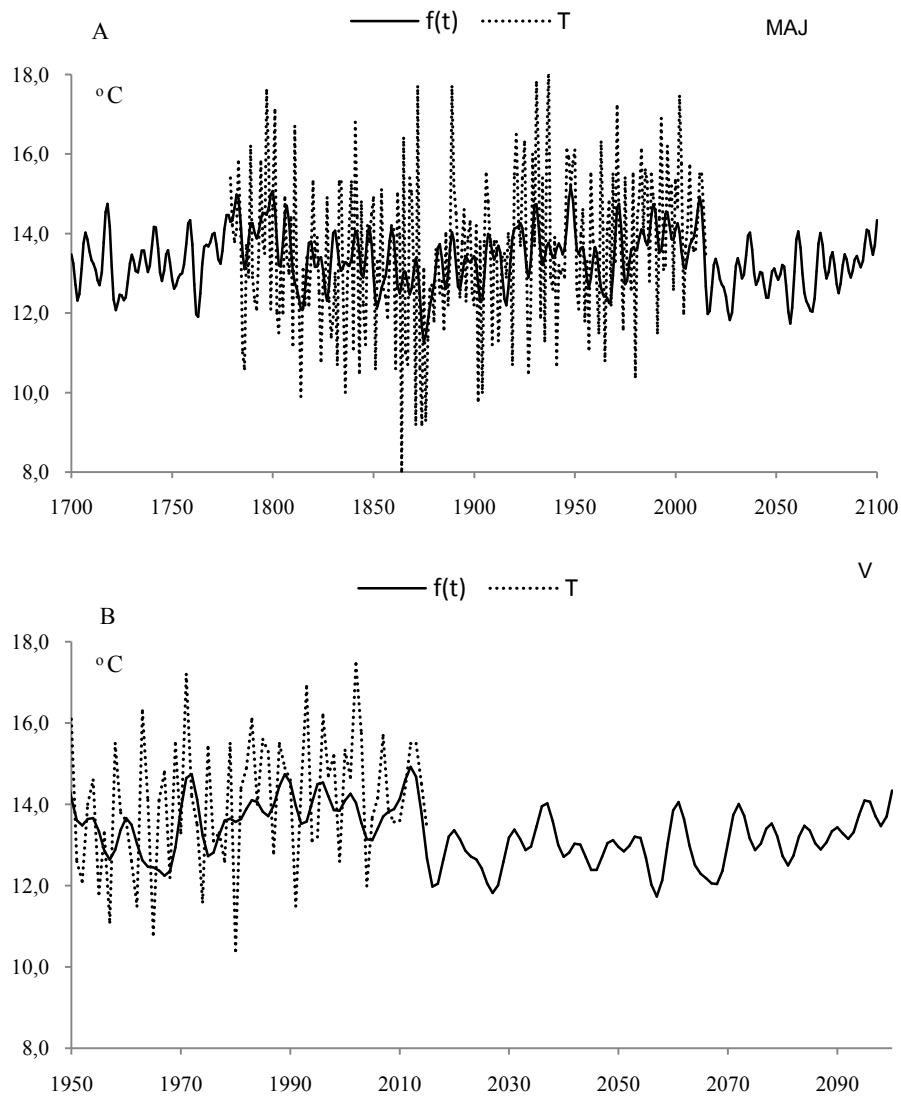
**Tabela 5.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie w maju w latach 1779-2015,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$ - współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora

**Table 5.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in May in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = 5,269454 + 0,004312 t + \dots$ ; $R = 0,440632$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
5,9	0,380966	0,411954	3,331	0,146	2,598
8,2	0,294853	-1,024626	3,356	0,119	1,696
10,1	0,366561	0,837486	3,34	0,137	2,272
12,7	0,402362	-0,354113	3,316	0,161	3,146
21,3	0,293088	-1,670283	3,353	0,122	1,803
29,6	0,238985	2,354023	3,372	0,097	1,125
50,2	0,293490	-2,846691	3,348	0,128	1,983
72,1	0,275945	-2,944678	3,338	0,139	2,344
103,7	0,170569	-0,857423	3,382	0,080	0,772
179,0	0,428489	1,757493	3,284	0,188	4,331



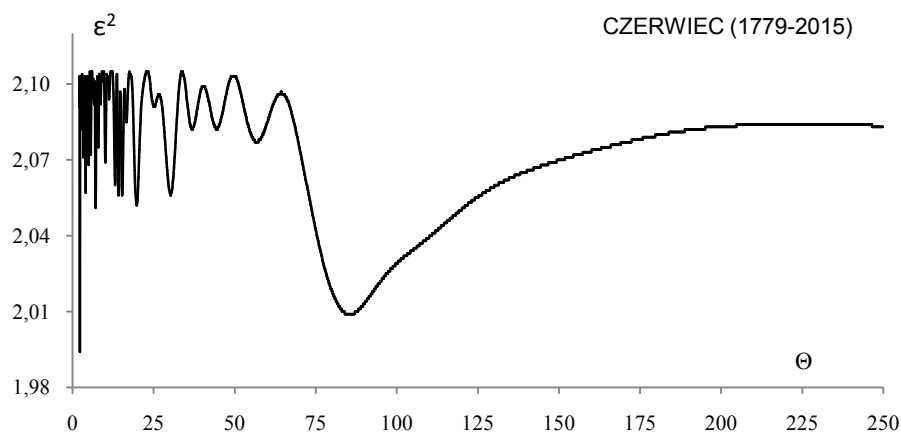
**Rys. 14.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w maju w latach 1700-2100,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)  
**Fig. 14.** Air temperature changes in Warsaw in May in the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1951-2015)



**Rys. 15.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w maju w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 15.** Air temperature changes in Warsaw in May in the years 1700-2100.  $f(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1951-2015)

## CZERWIEC



**Rys. 16.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w czerwcu w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

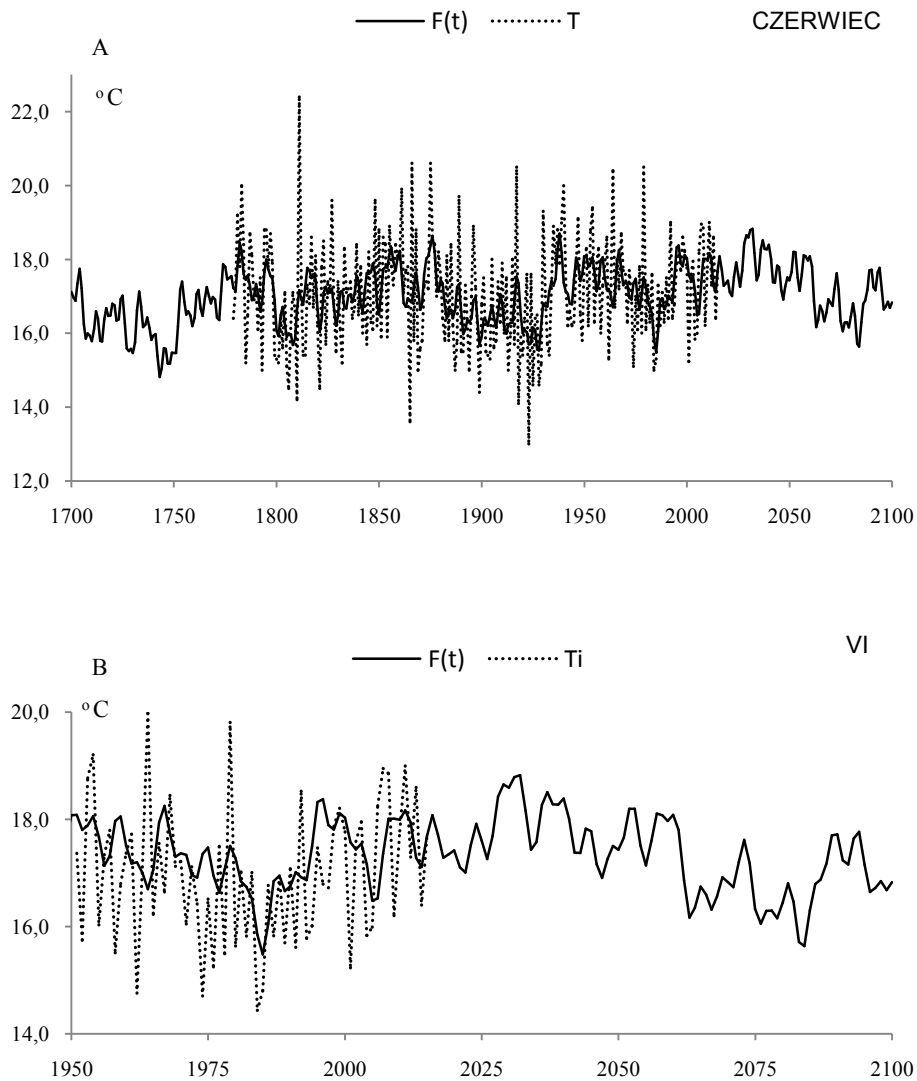
**Fig. 16.** Spectrum of air temperature in Warsaw in June in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

**Tabela 5.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie w czerwcu w latach 1779-2015,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$ - współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{\text{obl}}$  – test Fishera-Snedecora

**Table 5.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in June in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{\text{obl}}$  – F-test)

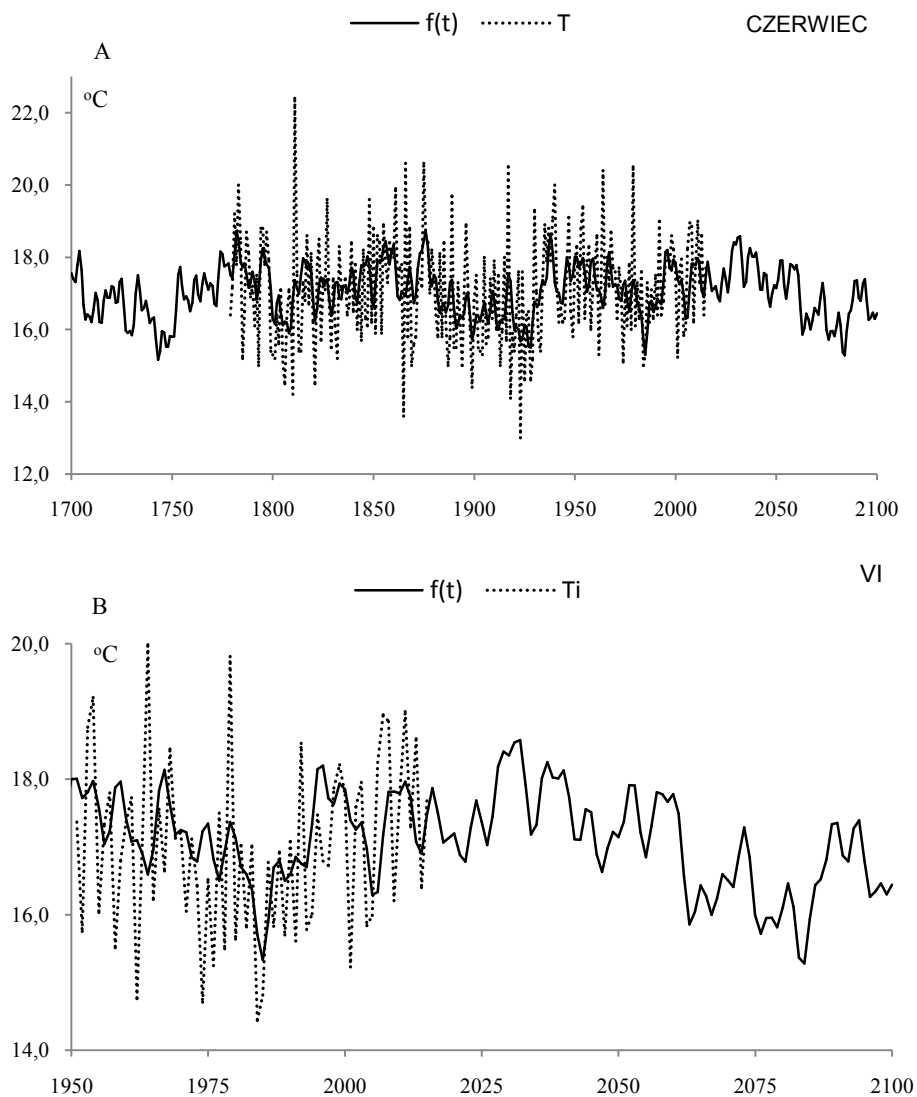
$F(t) = 13,121532 + 0,002075 t + \dots ; R = 0,473511$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{\text{obl}}$
4,1	0,311594	-2,595117	2,057	0,147	2,621
7,1	0,330904	1,489130	2,051	0,157	2,975
10,2	0,269768	1,674155	2,069	0,126	1,919
15,3	0,268398	-1,552697	2,056	0,149	2,680
19,8	0,326115	-3,093194	2,052	0,155	2,916
30,3	0,295230	1,423828	2,056	0,149	2,680
44,4	0,159316	1,485652	2,082	0,099	1,167
56,8	0,143804	-0,248260	2,077	0,110	1,455
85,5	0,526650	2,836182	2,009	0,211	5,515
179,0	0,349450	0,217507	2,079	0,106	1,339





**Rys. 17.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w czerwcu w latach 1700-2100,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

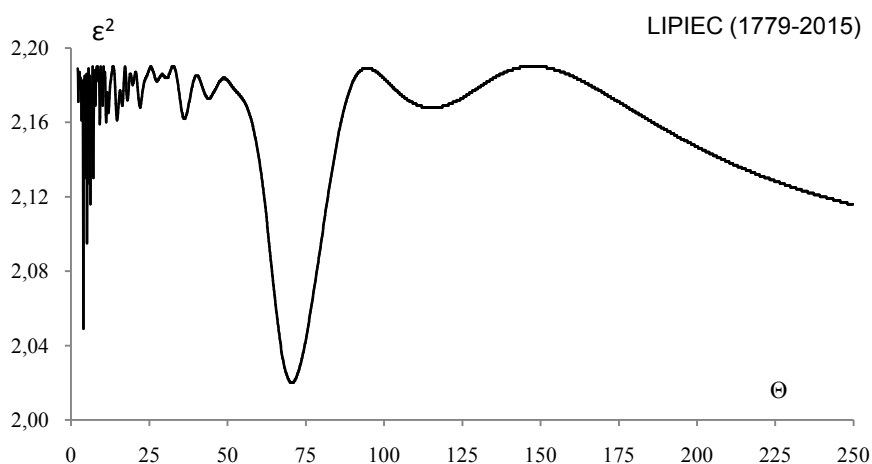
**Fig. 17.** Air temperature changes in Warsaw in June in the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1951-2015)



**Rys. 18.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w czerwcu w latach 1700-2100 ,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 18.** Air temperature changes in Warsaw in June in the years 1700-2100.  $f(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015) , B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1951-2015)

## LIPIEC



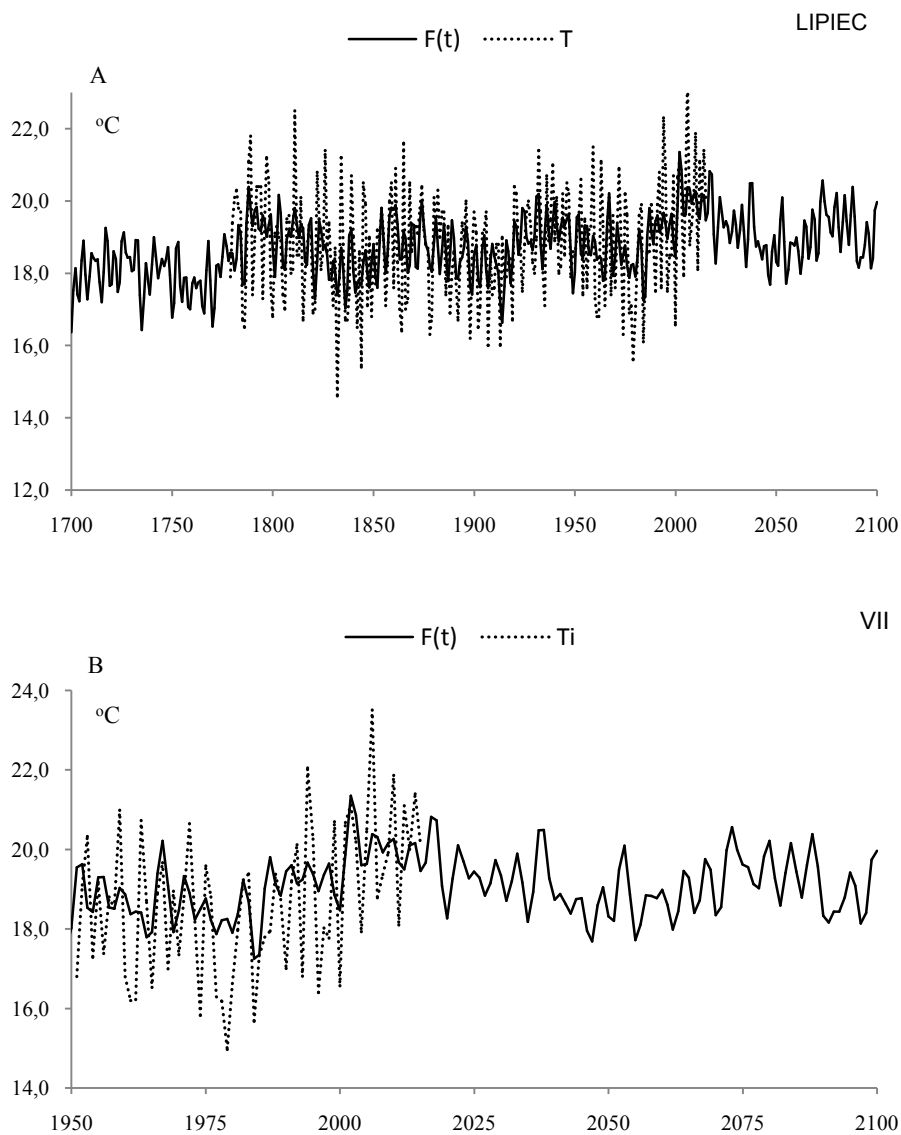
**Rys. 19.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w lipcu w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**Fig. 19.** Spectrum of air temperature in Warsaw in July the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

**Tabela 7.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie w lipcu w latach 1779-2015,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$ - współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora

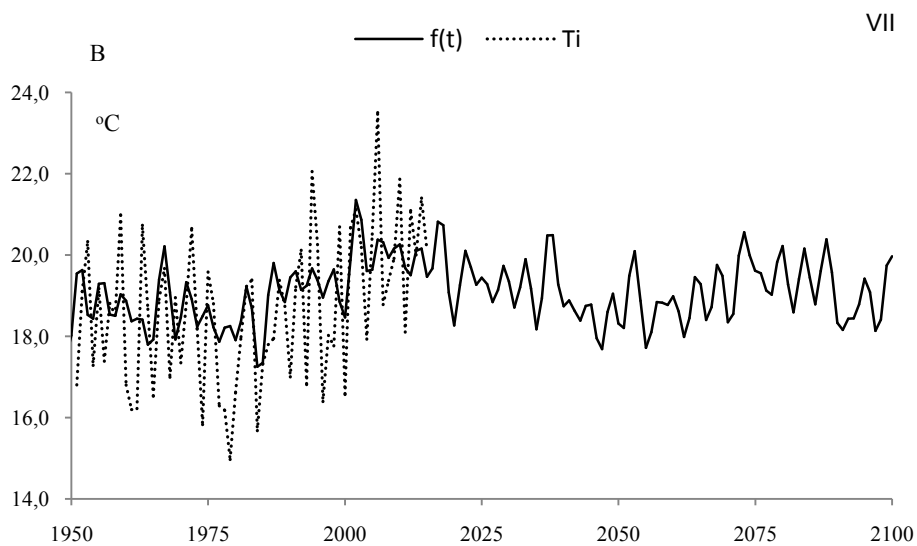
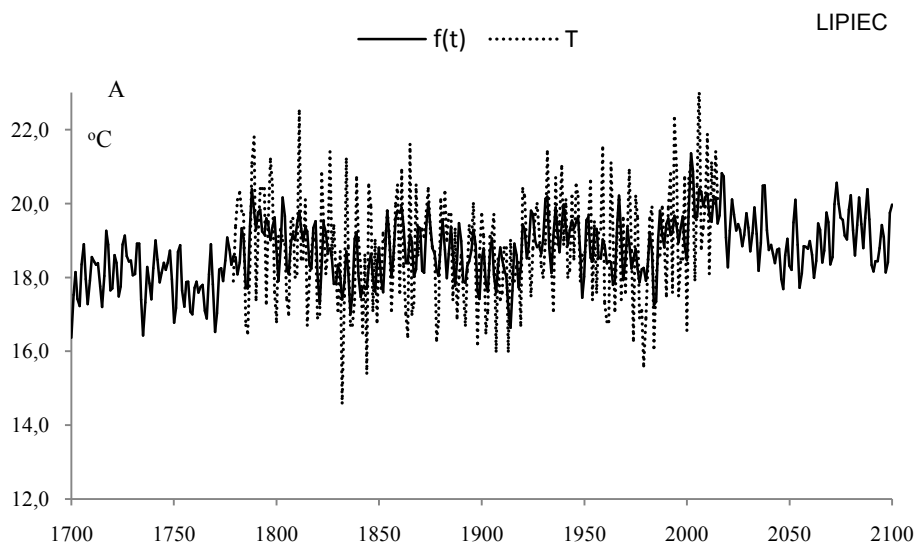
**Table 7.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in July in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = 13,01184 + 0,003012 t + \dots ; R = 0,531311$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
3,9	0,53423	-0,65613	2,049	0,254	8,178
5,1	0,44177	-2,23140	2,095	0,209	5,396
7,1	0,36442	1,46789	2,130	0,166	3,360
11,9	0,22417	-0,65347	2,165	0,108	1,390
16,3	0,21178	1,63563	2,169	0,099	1,169
22,0	0,16333	-1,33312	2,168	0,101	1,224
36,2	0,20441	-0,52013	2,162	0,114	1,557
70,5	0,54538	-1,65330	2,020	0,279	9,996
115,3	0,19164	-1,94130	2,168	0,101	1,224
179,0	0,24163	0,60784	2,167	0,103	1,280



**Rys. 20.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w lipcu w latach 1700-2100,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

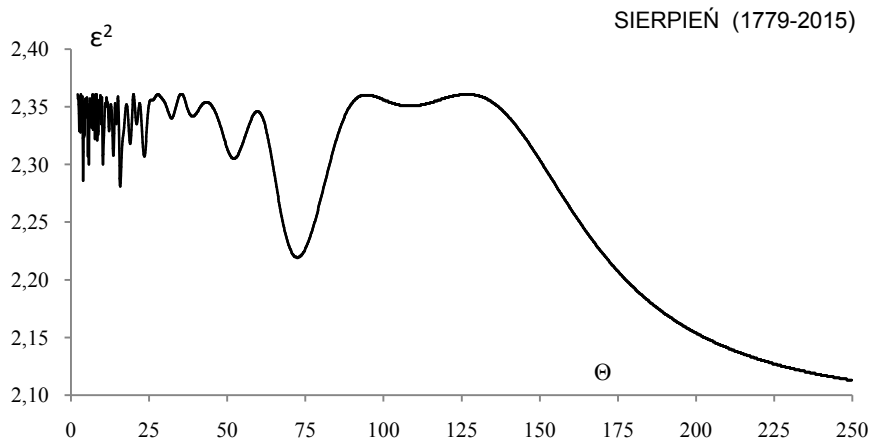
**Fig. 20.** Air temperature changes in Warsaw in July the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)



**Rys. 21** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w lipcu w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 21.** Air temperature changes in Warsaw in July the years 1700-2100.  $f(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1951-2015)

## SIERPIEŃ



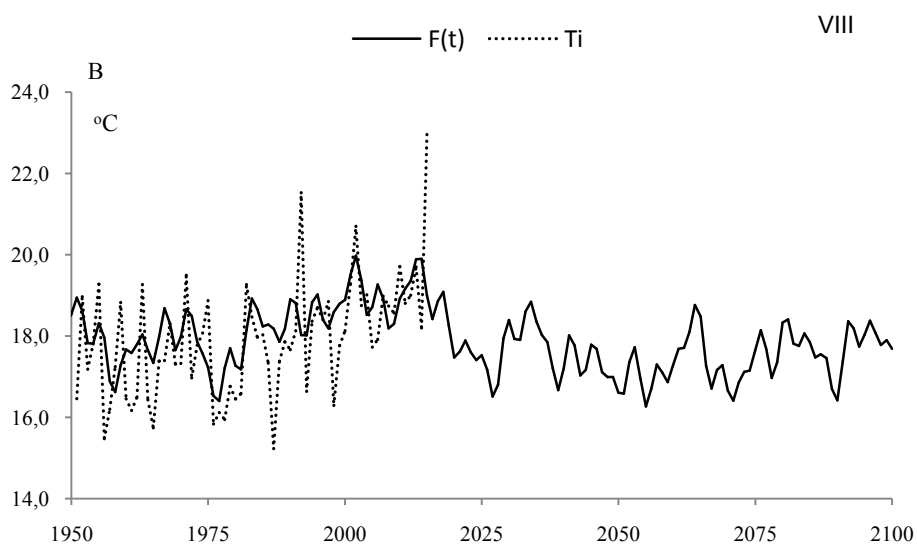
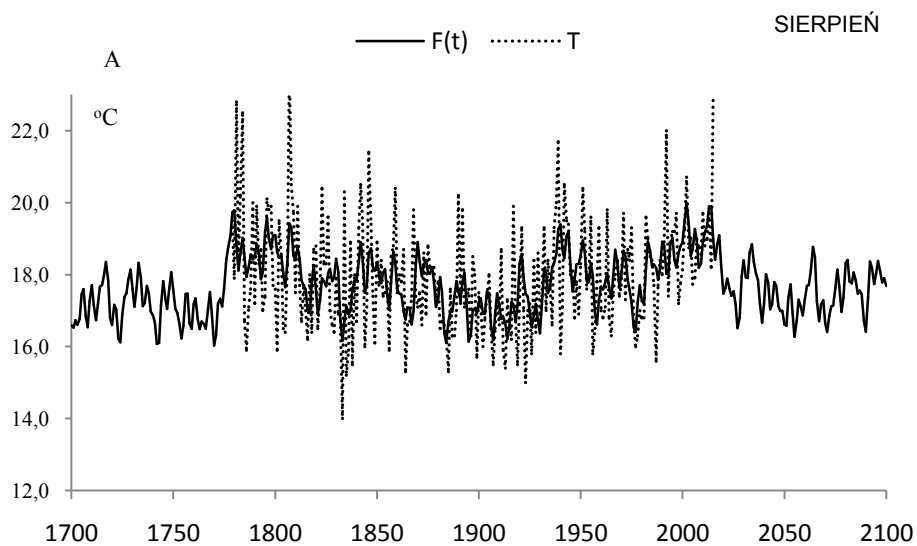
**Rys. 22.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w sierpniu w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**Fig. 22.** Spectrum of air temperature in Warsaw in August in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

**Tabela 8.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie w sierpniu w latach 1779-2015,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$ - współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora

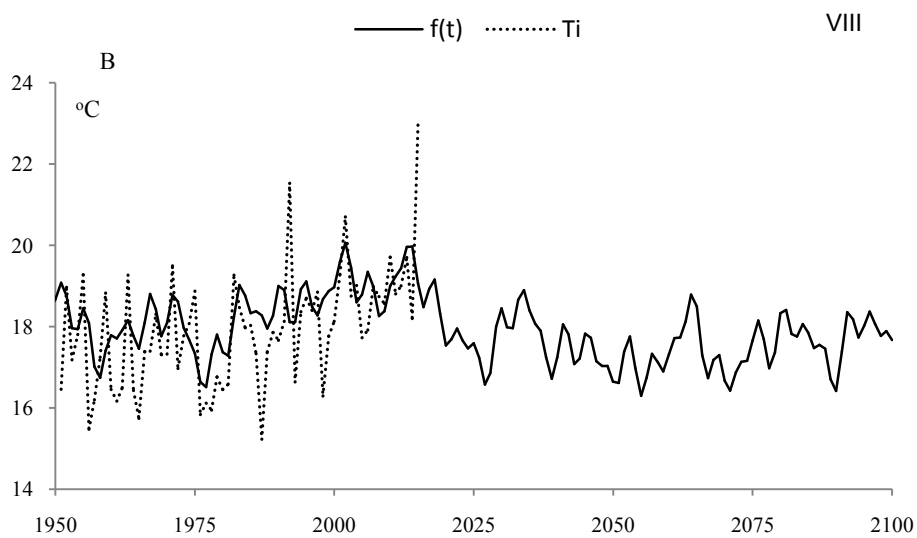
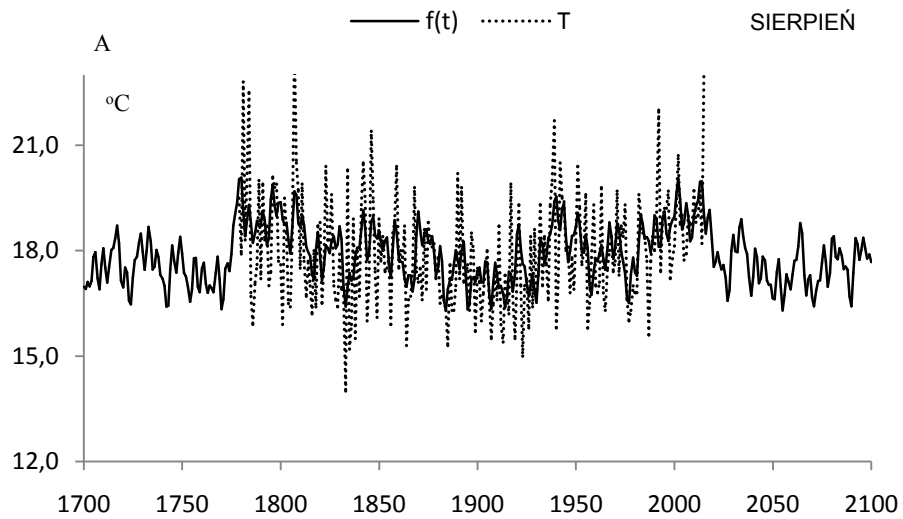
**Table 8.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in August in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = 15,904005 + 0,000968 t + \dots$ <span style="float: right;"><math>R = 0,541064</math></span>					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
3,9	0,377678	-0,932283	2,286	0,180	3,959
5,7	0,344937	1,119649	2,300	0,162	3,213
10,2	0,328463	-0,578129	2,300	0,162	3,213
15,8	0,413317	-2,256306	2,281	0,186	4,227
23,4	0,344036	1,358768	2,307	0,153	2,844
32,2	0,212982	-0,281279	2,340	0,097	1,133
52,1	0,245417	-0,766350	2,305	0,156	2,949
72,4	0,473534	2,959457	2,219	0,246	7,656
108,4	0,092564	-1,634453	2,351	0,069	0,573
179,0	0,557612	0,870403	2,196	0,265	8,978



**Rys. 23.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w sierpniu w latach 1700-2100,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 23.** Air temperature changes in Warsaw in August the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1951-2015)

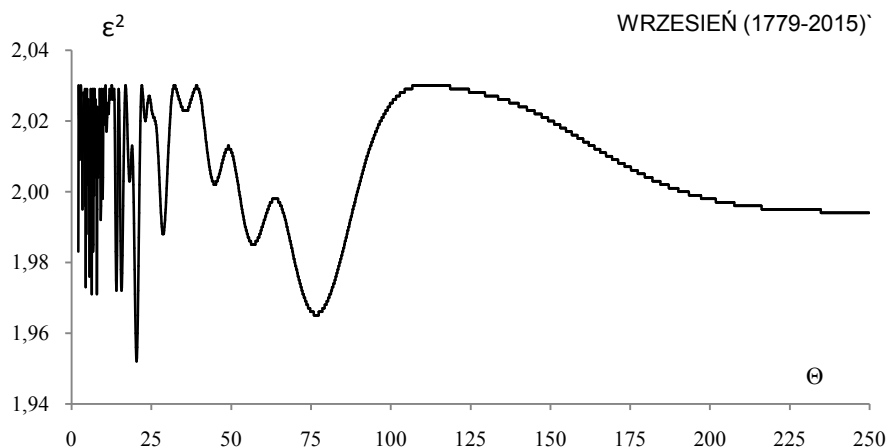


**Rys. 24.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w sierpniu w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 24.** Air temperature changes in Warsaw in August the years 1700-2100.  $f(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1951-2015)



## WRZESIEŃ



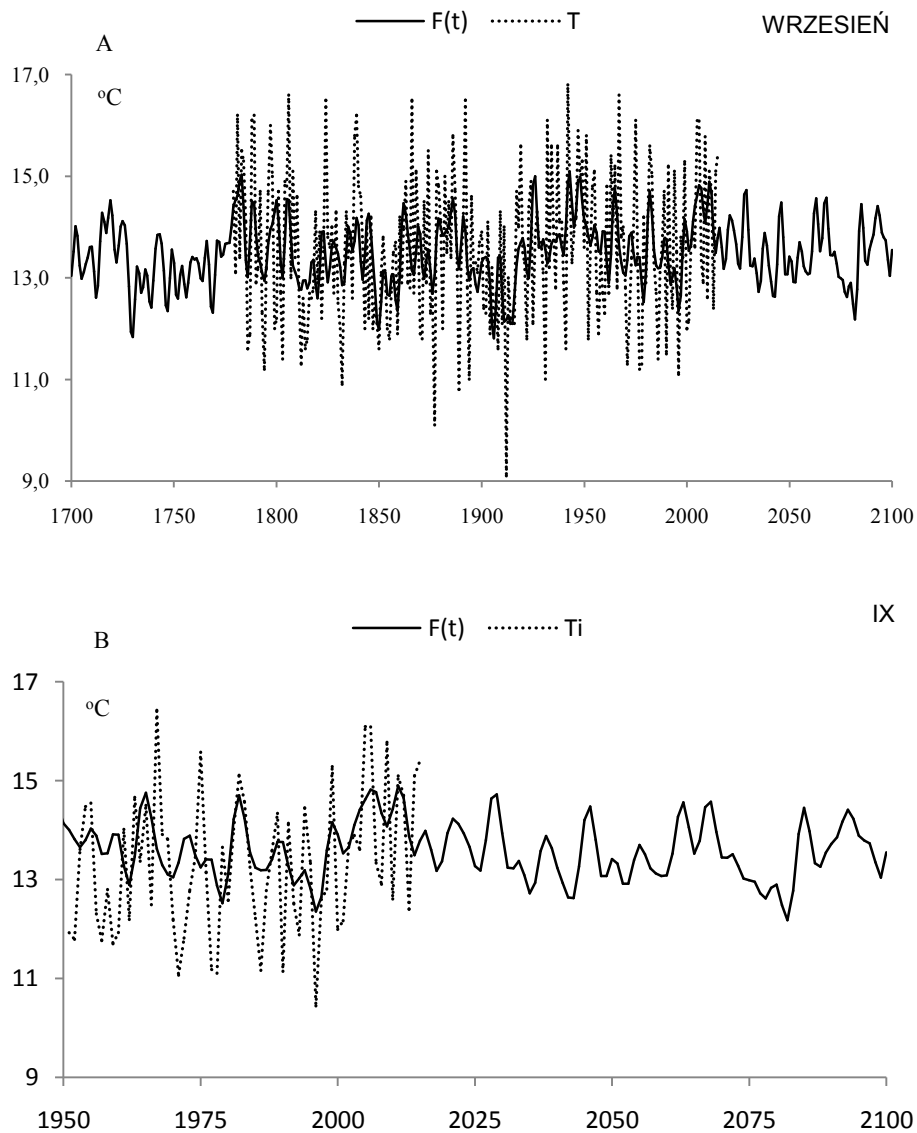
**Rys. 25.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie we wrześniu latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**Fig. 25.** Spectrum of air temperature in Warsaw in September in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

**Tabela 9.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie we wrześniu w latach 1779-2015,  $\epsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$ - współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora

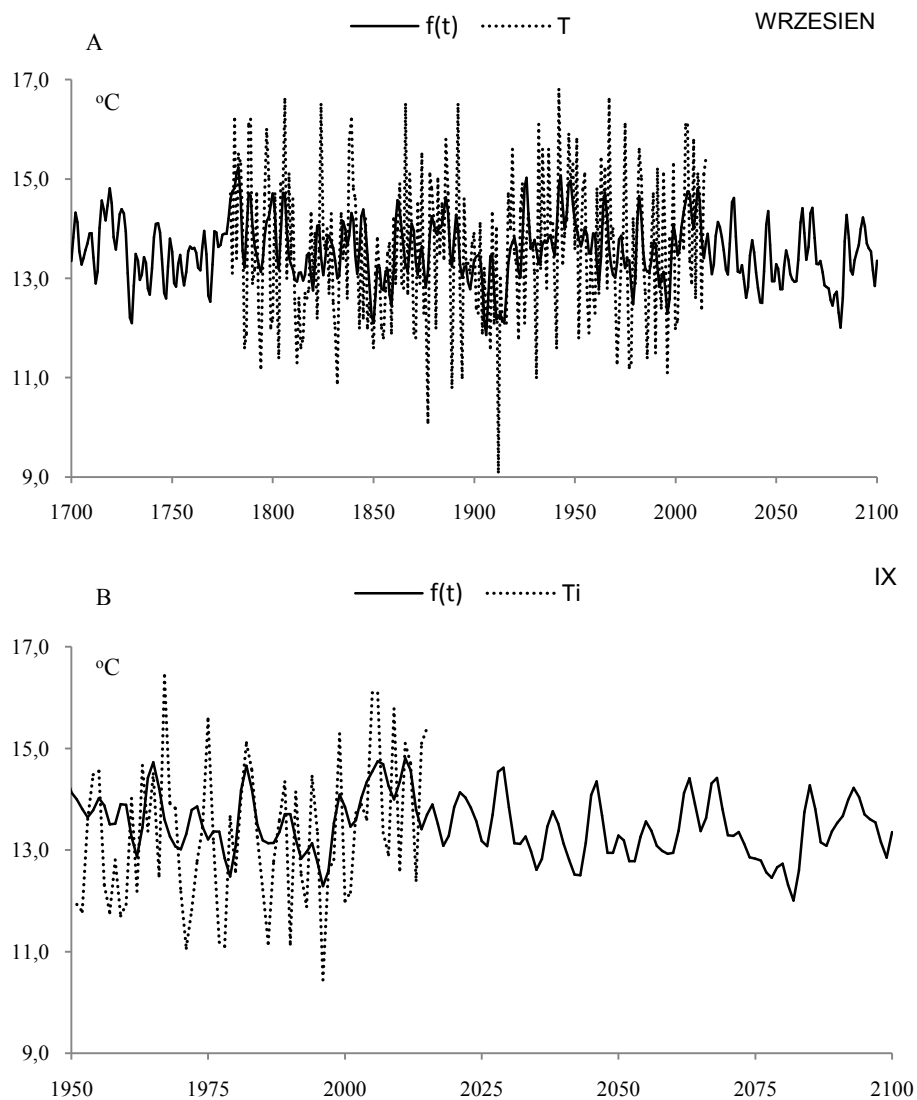
**Table 9.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in September in years 1779-2015, ( $\epsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = 11,123718 + 0,001253 t + \dots$ ; $R = 0,466054$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\epsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
4,3	0,256312	2,870359	1,996	0,131	2,056
5,7	0,330394	2,925937	1,976	0,164	3,276
8,0	0,336231	-2,972869	1,971	0,171	3,585
9,2	0,263188	-1,606922	1,992	0,138	2,298
20,4	0,358774	-0,557564	1,952	0,197	4,773
28,7	0,238150	1,895769	1,988	0,145	2,541
44,9	0,218028	2,041009	2,002	0,119	1,694
56,9	0,275780	0,471847	1,985	0,150	2,724
76,7	0,345555	-0,730818	1,965	0,180	3,958
179,0	0,192190	1,586445	2,005	0,112	1,514



**Rys. 26.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie we wrześniu w latach 1700-2100,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

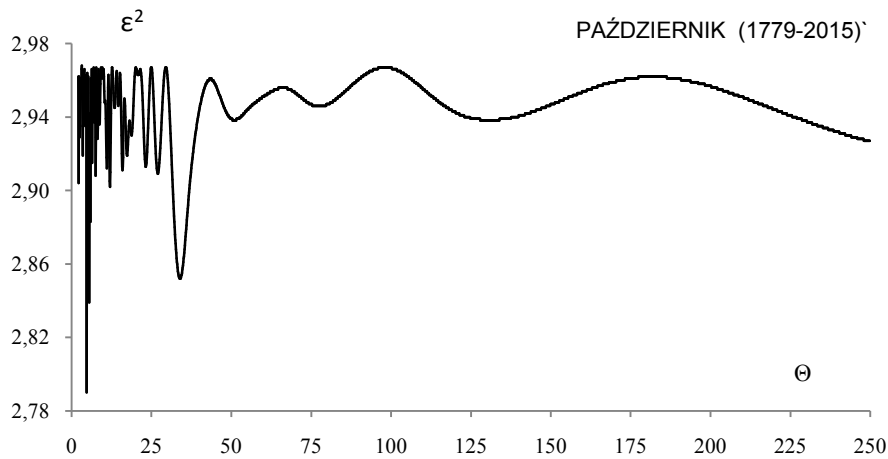
**Fig. 26.** Air temperature changes in Warsaw in September the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)



**Rys. 27.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie we wrześniu w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 27.** Air temperature changes in Warsaw in September the years 1700-2100.  $f(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)

## PAŹDZIERNIK



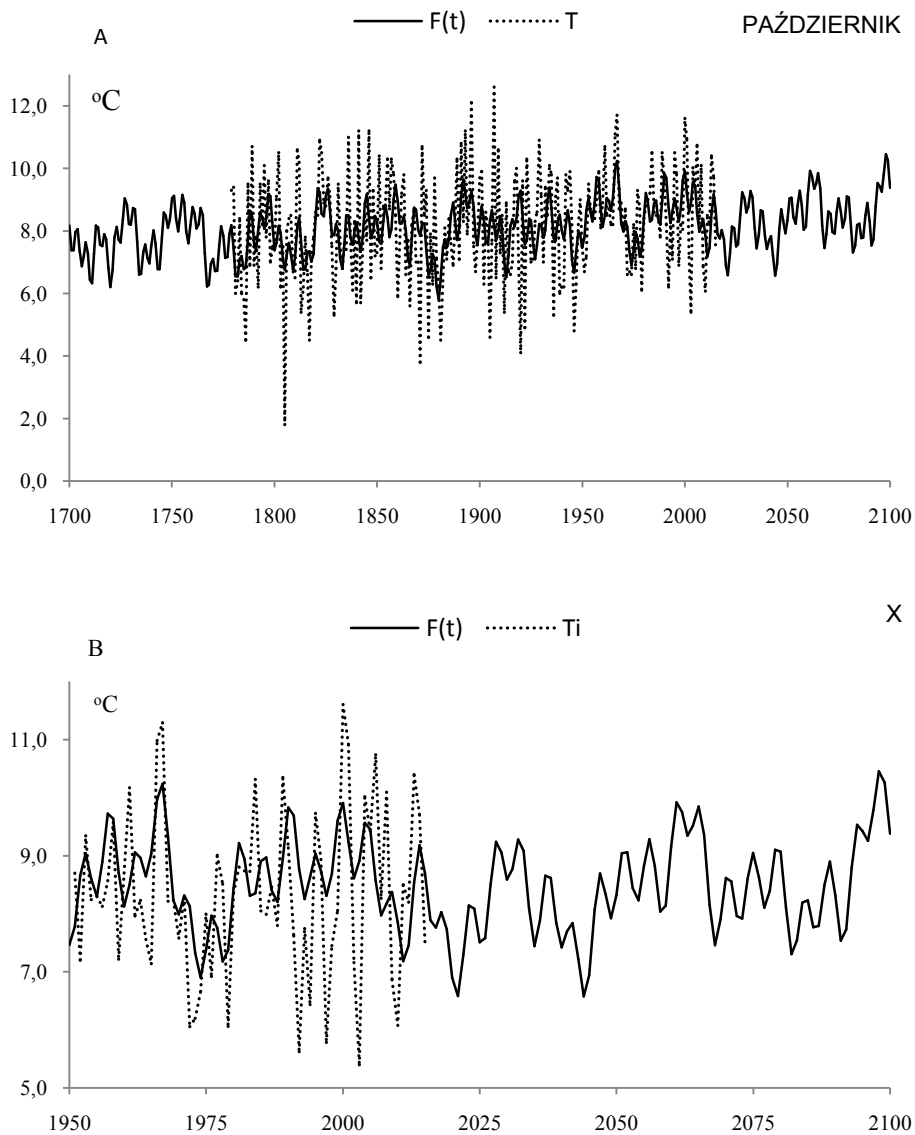
**Rys. 28.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w październiku w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**Fig. 28.** Spectrum of air temperature in Warsaw in October in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

**Tabela 10.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie w październiku w latach 1779-2015,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$ - współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora

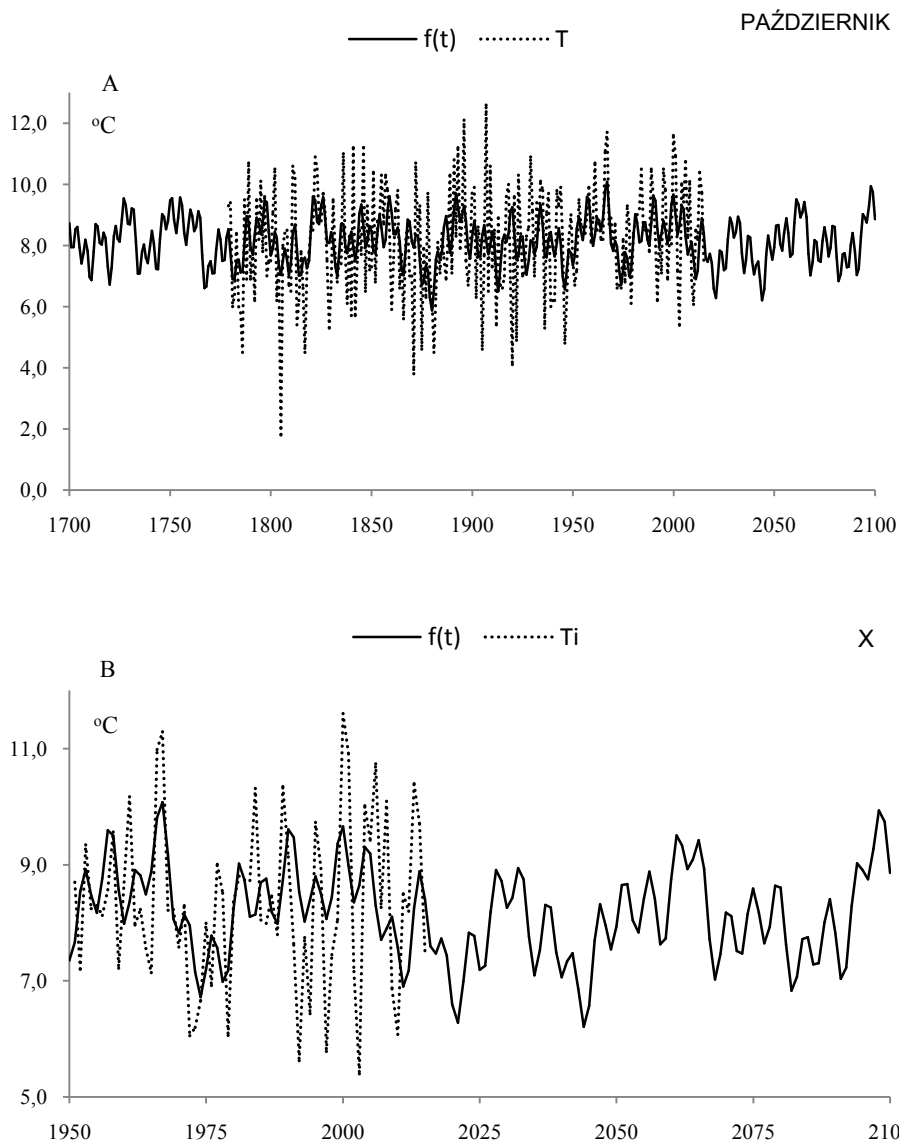
**Table 10.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in October in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = 2,957628 + 0,002717 t + \dots$ <span style="float: right;"><math>R = 0,460439</math></span>					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
4,7	0,592788	-1,444912	2,790	0,248	7,738
8,1	0,277770	-3,067112	2,928	0,122	1,788
12,0	0,352056	1,955035	2,902	0,154	2,866
15,9	0,331373	2,910631	2,911	0,143	2,490
23,3	0,336502	0,336559	2,913	0,141	2,407
34,0	0,497551	-2,841881	2,852	0,201	4,993
51,0	0,257225	-0,179574	2,938	0,107	1,378
77,5	0,170726	-2,439727	2,946	0,094	1,053
130,9	0,186343	0,766904	2,938	0,107	1,378
179,0	0,091061	2,384405	2,962	0,059	0,407



**Rys. 29.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w październiku w latach 1700-2100,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

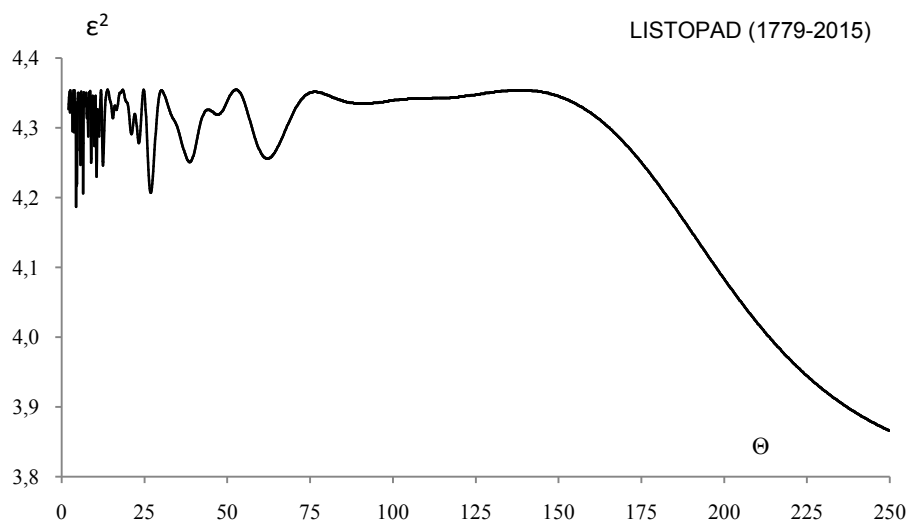
**Fig. 29.** Air temperature changes in Warsaw in October in the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)



**Rys. 30.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w październiku w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 30.** Air temperature changes in Warsaw in October in the years 1700-2100.  $f(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)

## LISTOPAD



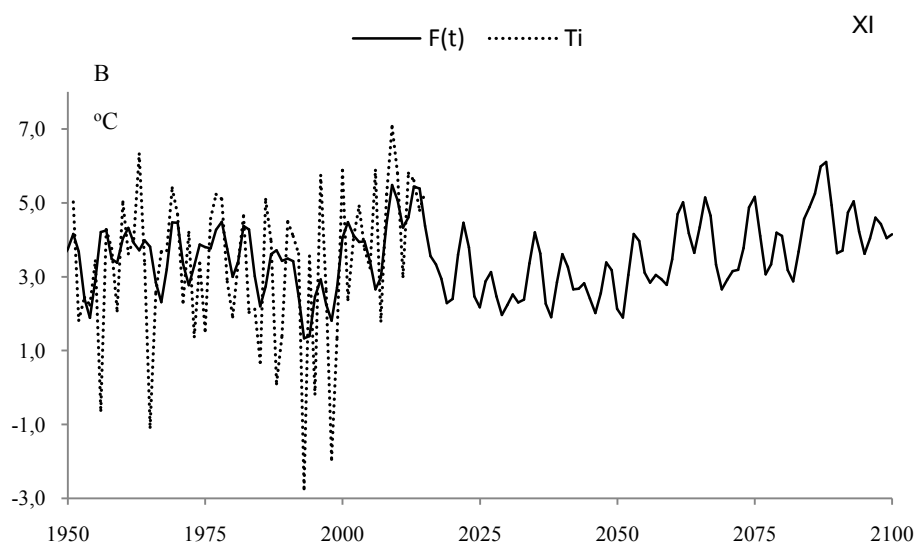
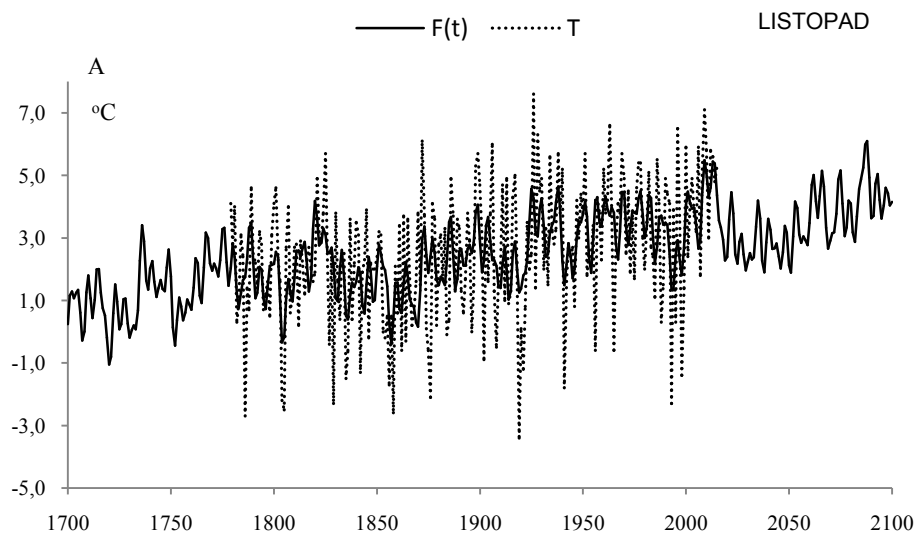
**Rys. 31** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w listopadzie w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**Fig. 31.** Spectrum of air temperature in Warsaw in November in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

**Tabela 11.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie w listopadzie w latach 1779-2015,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$ - współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora

**Table 11.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in November in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

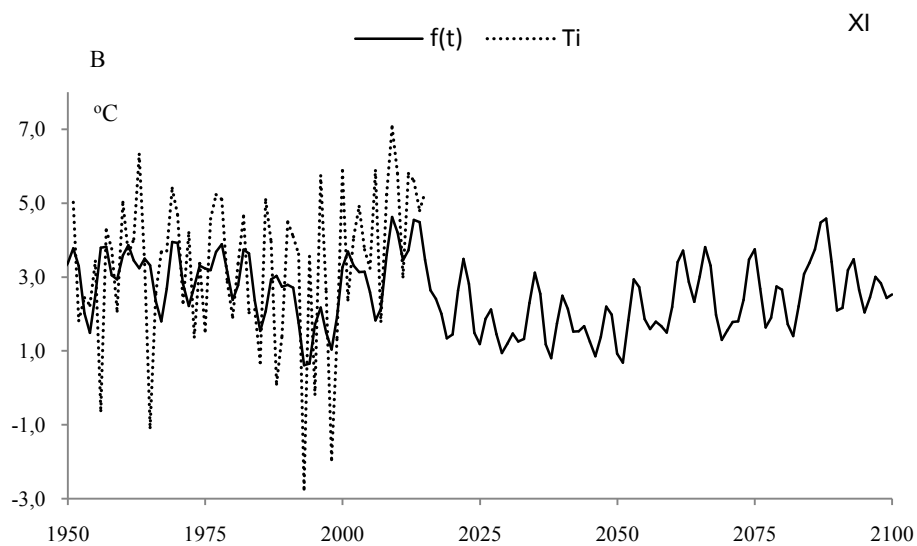
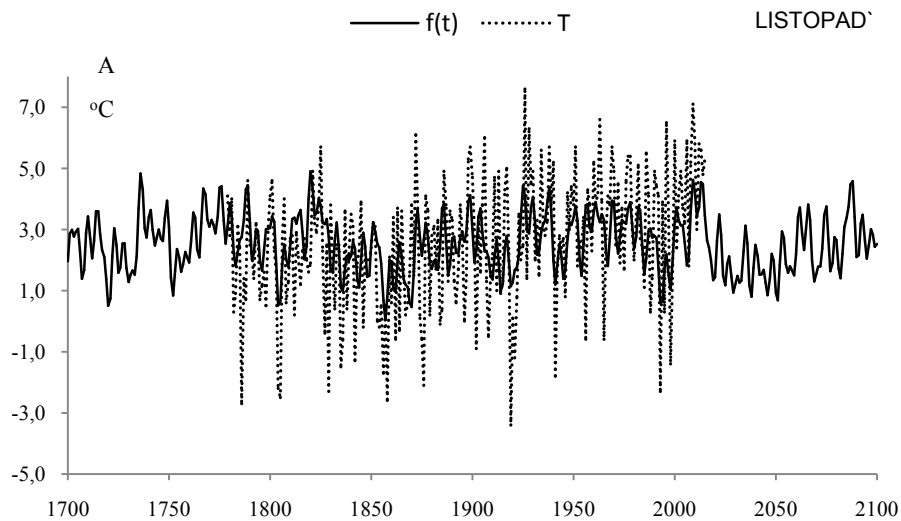
$F(t) = -13,374038 + 0,008345 t + \dots ; R = 0,558577$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
4,4	0,578513	-2,082499	4,187	0,197	4,771
6,5	0,550711	1,419779	4,206	0,185	4,214
10,6	0,444053	2,845683	4,230	0,170	3,518
12,5	0,405461	1,485269	4,246	0,159	3,058
26,9	0,479891	-2,903350	4,207	0,185	4,185
38,7	0,380676	1,877239	4,251	0,155	2,915
47,1	0,215306	2,530411	4,319	0,092	1,003
62,1	0,331020	-1,107531	4,256	0,151	2,772
90,9	0,164445	2,212001	4,335	0,069	0,562
179,0	0,454592	1,963825	4,226	0,172	3,633



**Rys. 32.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w listopadzie w latach 1700-2100,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 32.** Air temperature changes in Warsaw in November in the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1951-2015)

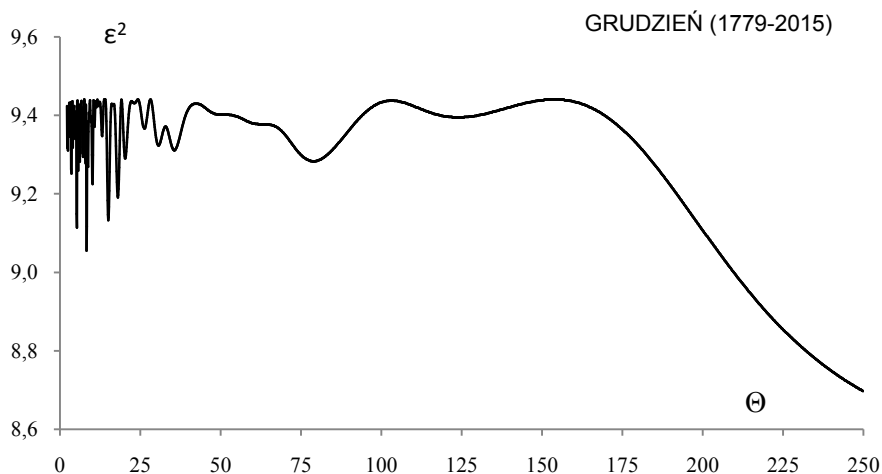




**Rys. 33.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w listopadzie w latach 1700-2100,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 33** Air temperature changes in Warsaw in November in the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)

## GRUDZIEŃ



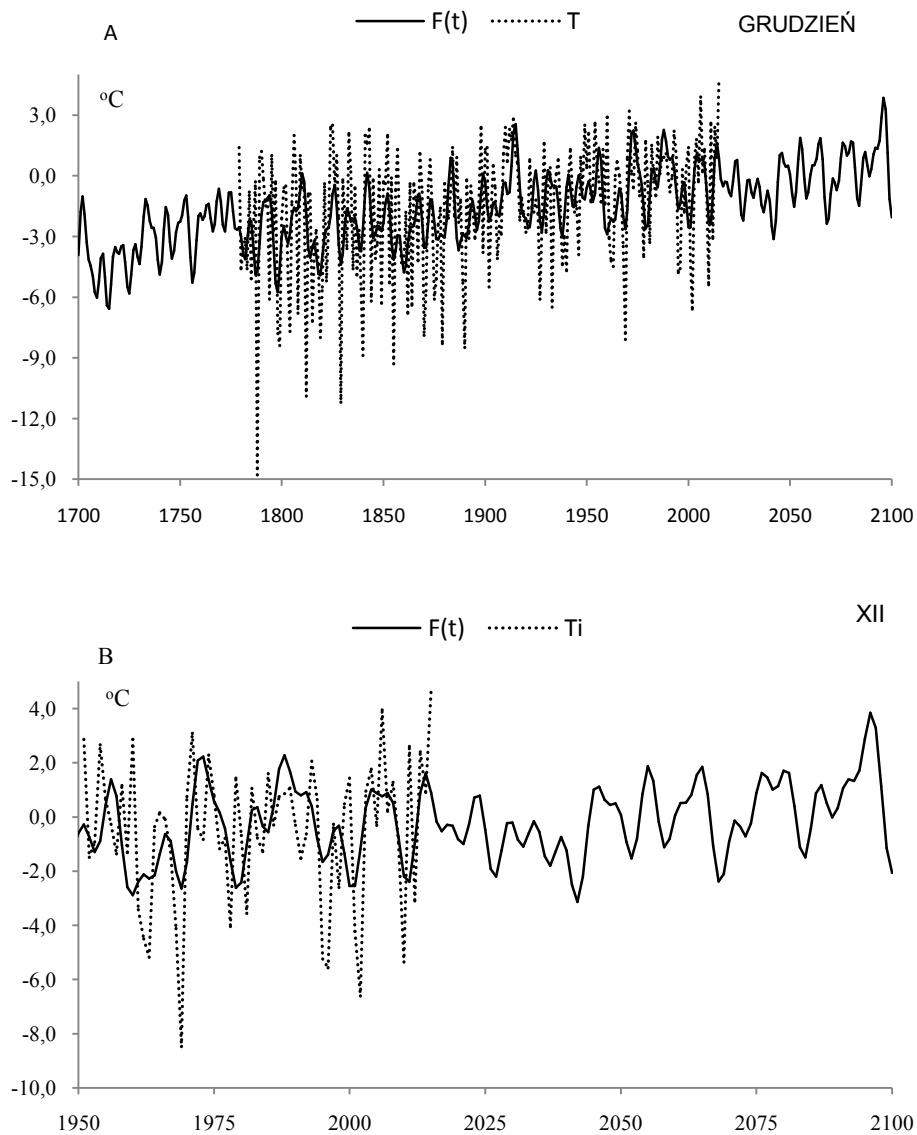
**Rys. 34.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w grudniu w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**Fig. 34.** Spectrum of air temperature in Warsaw in December in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

**Tabela 12.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie w grudniu w latach 1779-2015,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$ - współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora

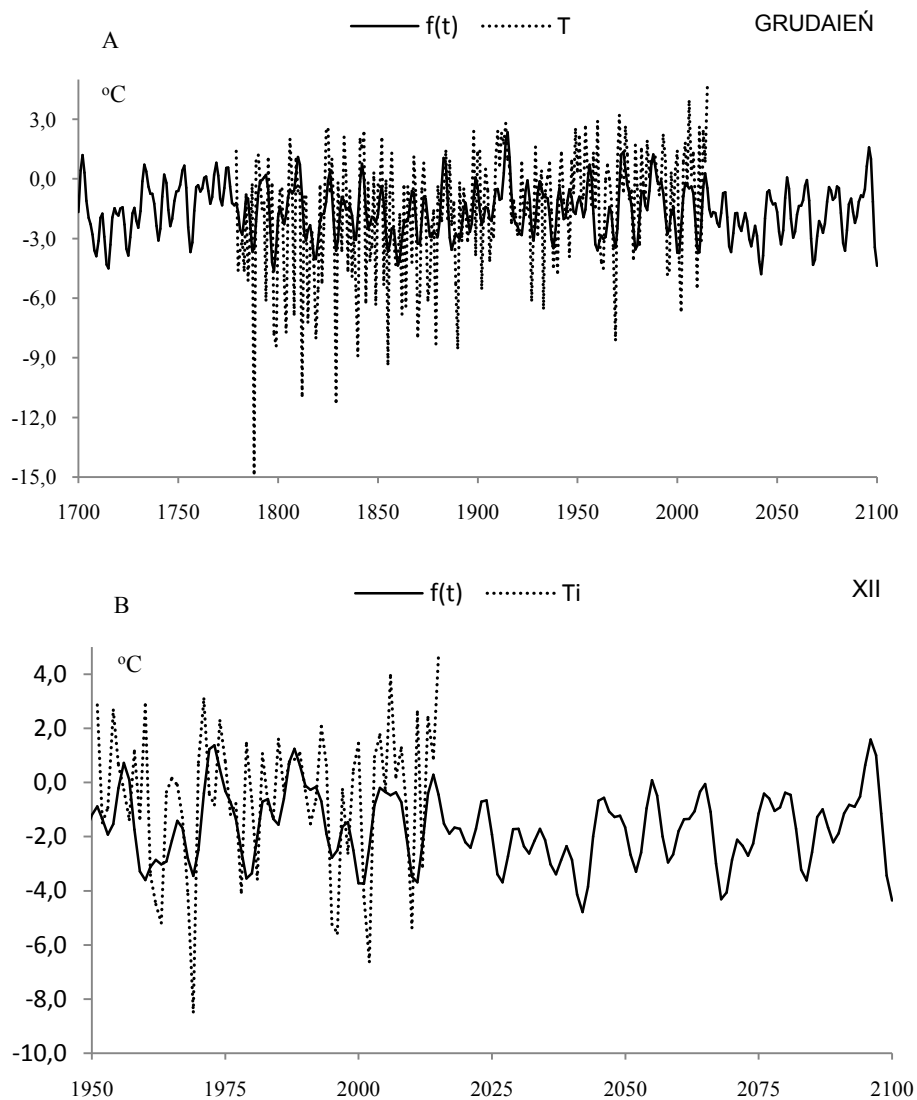
**Table 12.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in December in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = -23,215321 + 0,011385 t + \dots ; R = 0,521181$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
5,2	0,798205	0,257902	9,114	0,187	4,282
8,2	0,816046	-2,432625	9,055	0,203	5,082
10,1	0,614164	-1,560694	9,225	0,152	2,805
15,0	0,740751	-1,924443	9,133	0,181	4,026
18,0	0,542572	-1,510890	9,191	0,163	3,253
20,3	0,428702	0,857632	9,29	0,127	1,956
35,5	0,497382	2,459926	9,311	0,118	1,684
78,8	0,374445	-0,214951	9,283	0,130	2,047
123,9	0,178003	-0,042004	9,395	0,072	0,610
179,0	0,447598	2,214386	9,332	0,109	1,414



**Rys. 35.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w grudniu w latach 1700-2100,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 35.** Air temperature changes in Warsaw in December in the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)

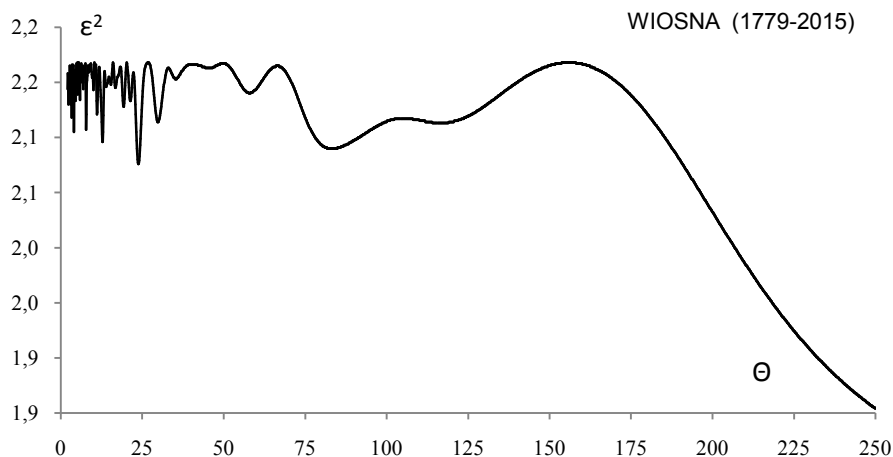


**Rys. 36.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w grudniu w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 36.** Air temperature changes in Warsaw in December in the years 1700-2100.  $f(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)

## 11.2. Nowe prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie w porach roku i roku w latach 2016-2100

### WIOSNA (III-V)



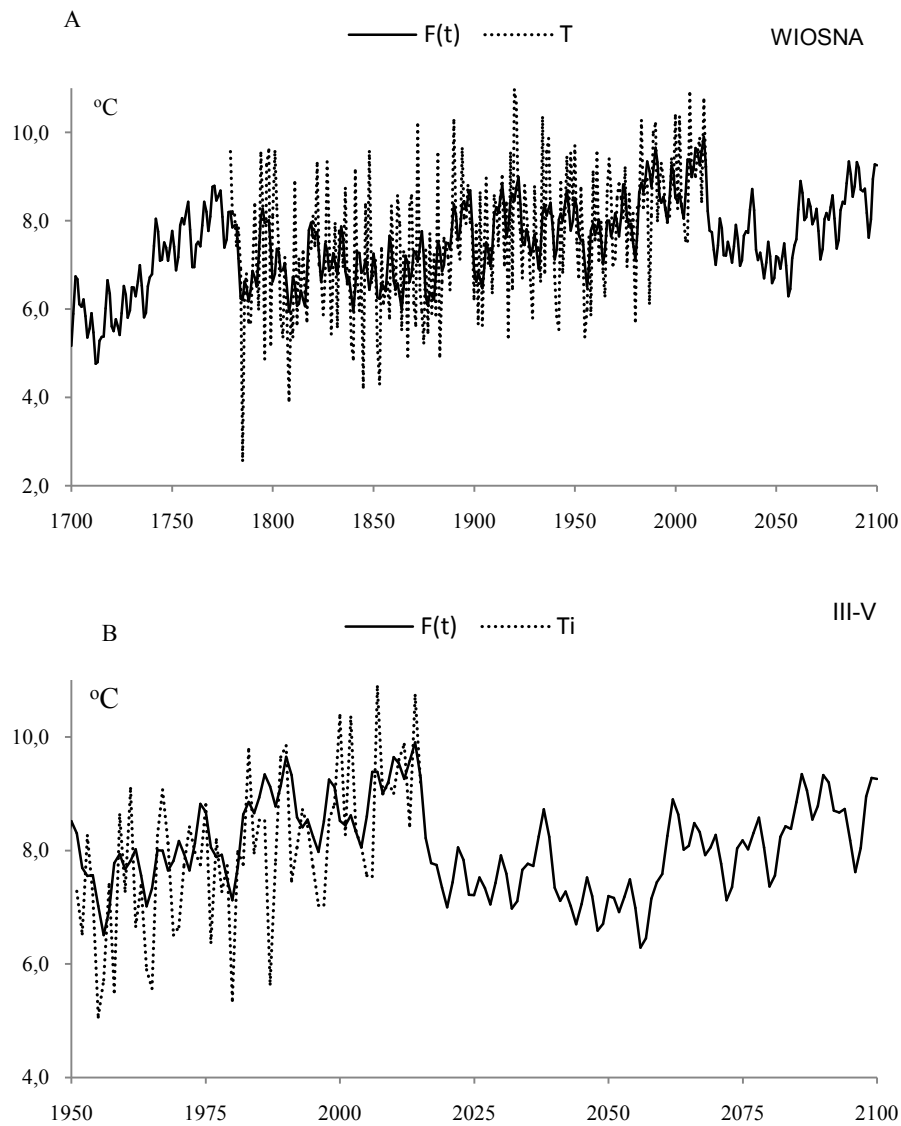
**Rys. 37.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie wiosną w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**Fig. 37.** Spectrum of air temperature in Warsaw in spring in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

**Tabela 13.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie wiosną w latach 1779-2015,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$ - współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora

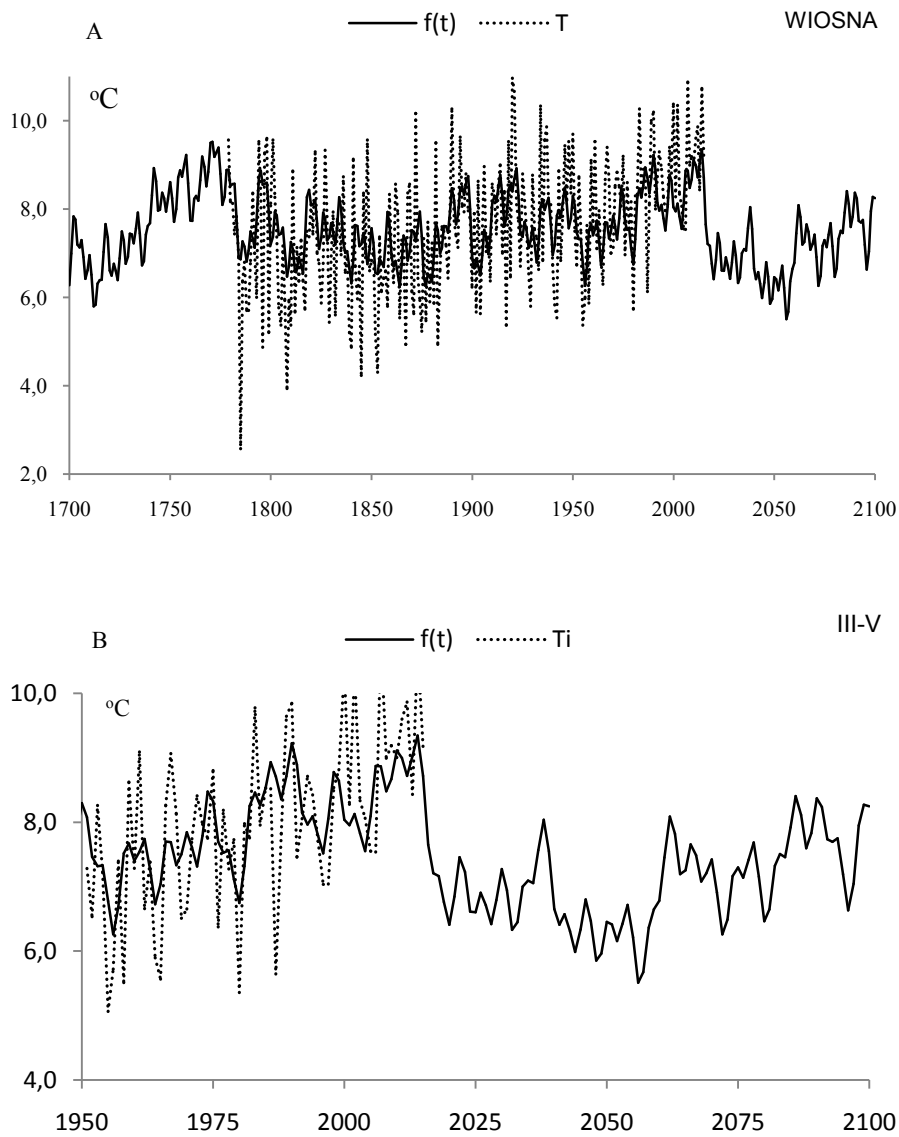
**Table 13.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in spring in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = -2.513870 + 0.005287 t + \dots ; R=0.602645$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
4,0	0,348527	-1,901137	2,105	0,169	3,478
7,8	0,338290	0,003243	2,107	0,166	3,362
12,8	0,350094	0,324643	2,096	0,181	4,002
19,3	0,191380	0,844771	2,128	0,134	2,160
23,9	0,382931	0,118414	2,076	0,205	5,182
29,9	0,295576	0,424110	2,114	0,156	2,959
58,0	0,150863	-1,619033	2,140	0,111	1,483
83,2	0,352335	1,163469	2,090	0,188	4,354
116,6	0,410779	0,428254	2,113	0,158	3,016
179,0	0,496662	2,026630	2,125	0,139	2,330



**Rys. 38.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie wiosną w latach 1700-2100,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

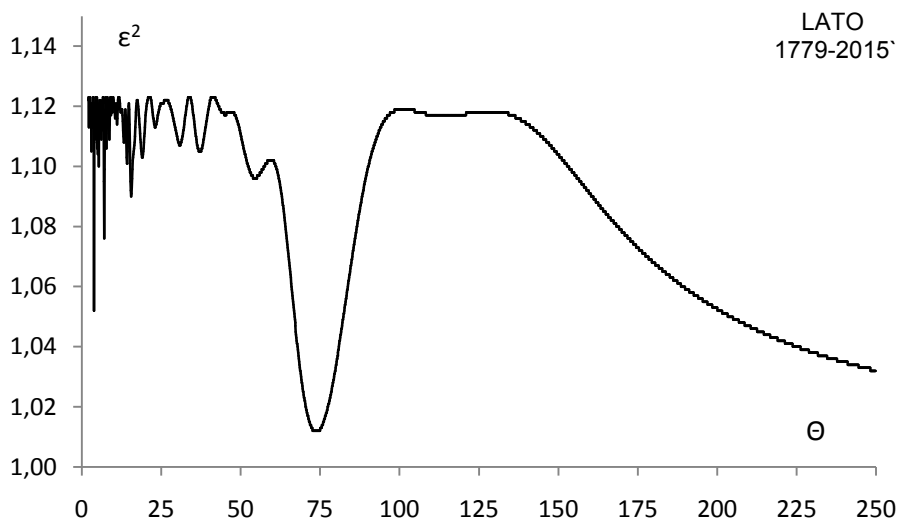
**Fig. 38.** Air temperature changes in Warsaw in spring in the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)



**Rys. 39.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie wiosną w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 39.** Air temperature changes in Warsaw in spring in the years 1700-2100.  $f(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)

### LATO (VI-VIII)



**Rys. 40.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w lecie w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

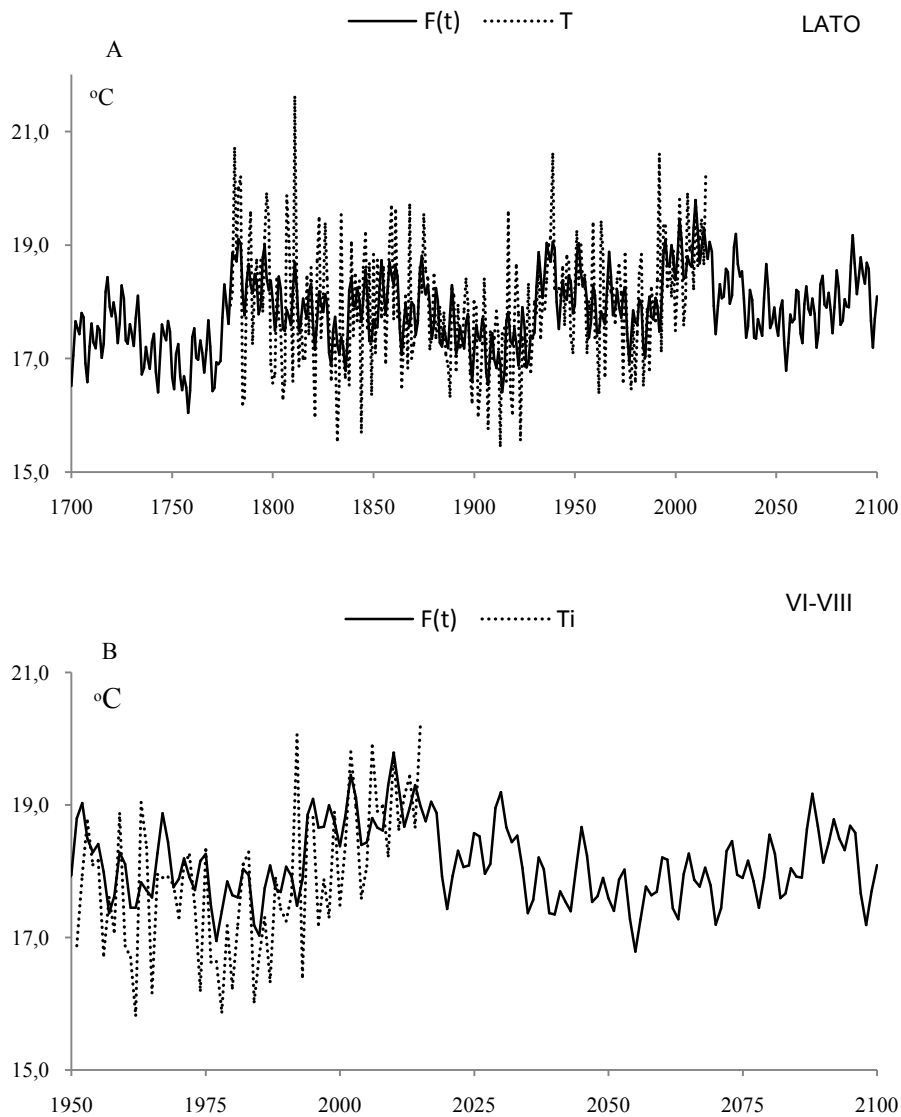
**Fig. 40.** Spectrum of air temperature in Warsaw in summer in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

**Tabela 14.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie w lecie w latach 1779-2015,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora

**Table 14.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in summer in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

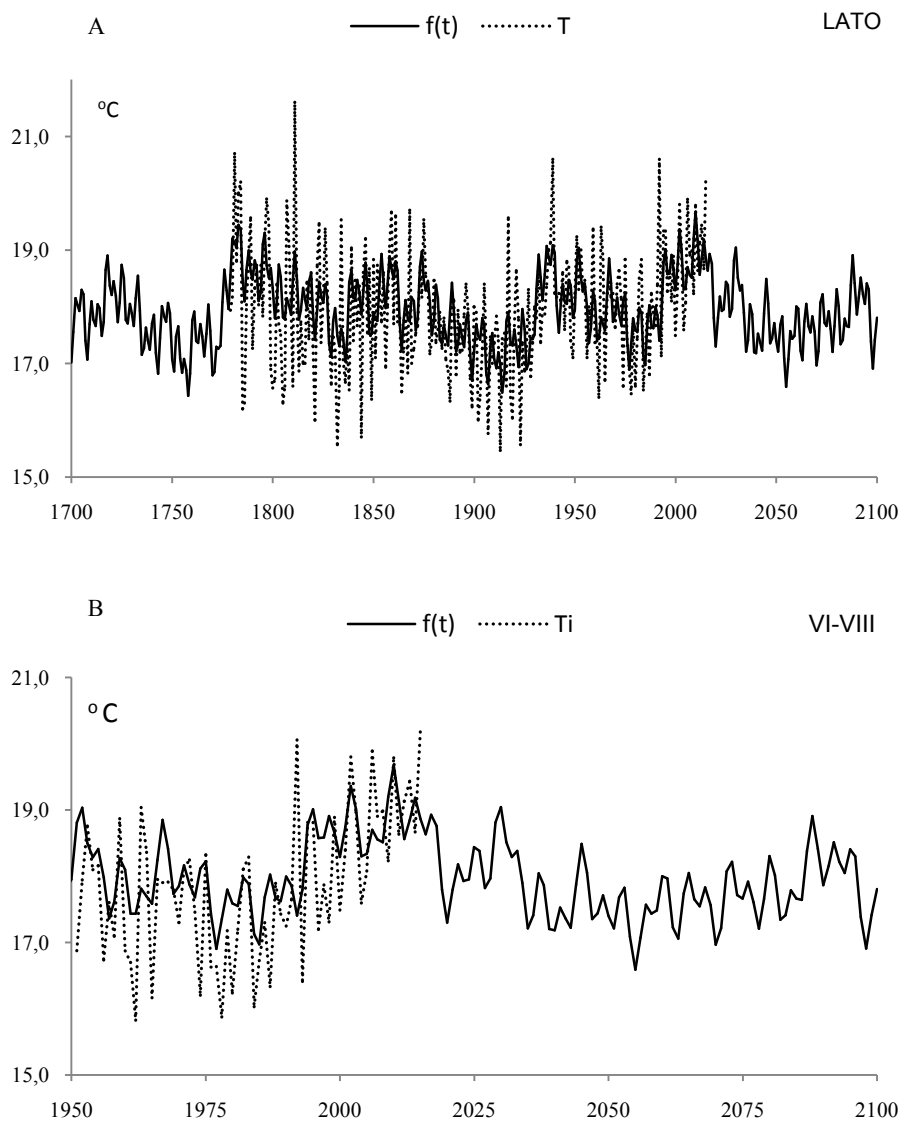
$F(t) = 14.083182 + 0.001975 t + \dots \quad R = 0.590157$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
3,9	0,374460	-0,815061	1,052	0,252	8,065
7,1	0,318813	1,395583	1,076	0,206	5,242
15,6	0,264537	0,934225	1,090	0,173	3,653
19,1	0,198072	-0,341803	1,103	0,135	2,213
30,9	0,149828	3,102266	1,107	0,122	1,777
37,2	0,124163	1,852935	1,105	0,129	1,995
54,6	0,152919	-2,669620	1,096	0,157	2,984
73,8	0,462745	-0,331330	1,012	0,315	13,068
114,3	0,011213	-1,987361	1,117	0,077	0,700
179,0	0,336280	0,633517	1,069	0,220	6,052





**Rys. 41.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w lecie w latach 1700-2100,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

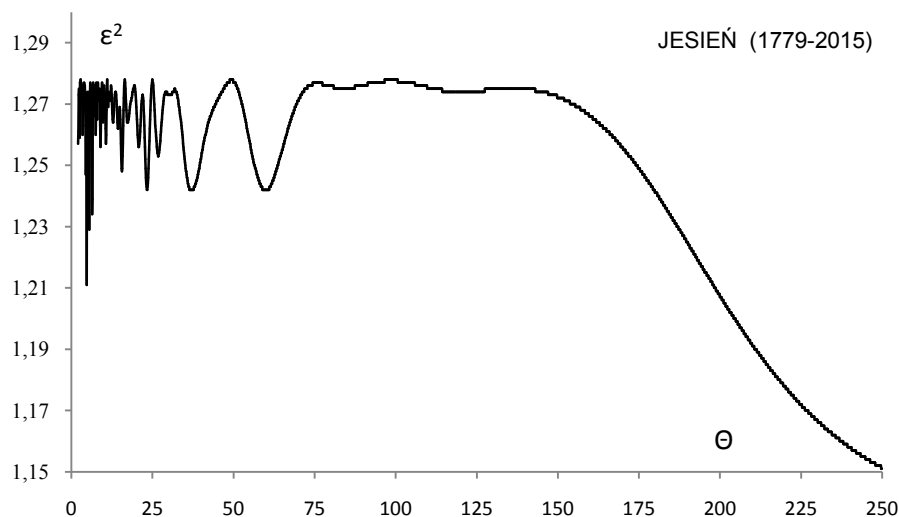
**Fig. 41.** Air temperature changes in Warsaw in summer in the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)



**Rys. 42.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w lecie w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 42.** Air temperature changes in Warsaw in summer in the years 1700-2100.  $f(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)

## JESIEŃ



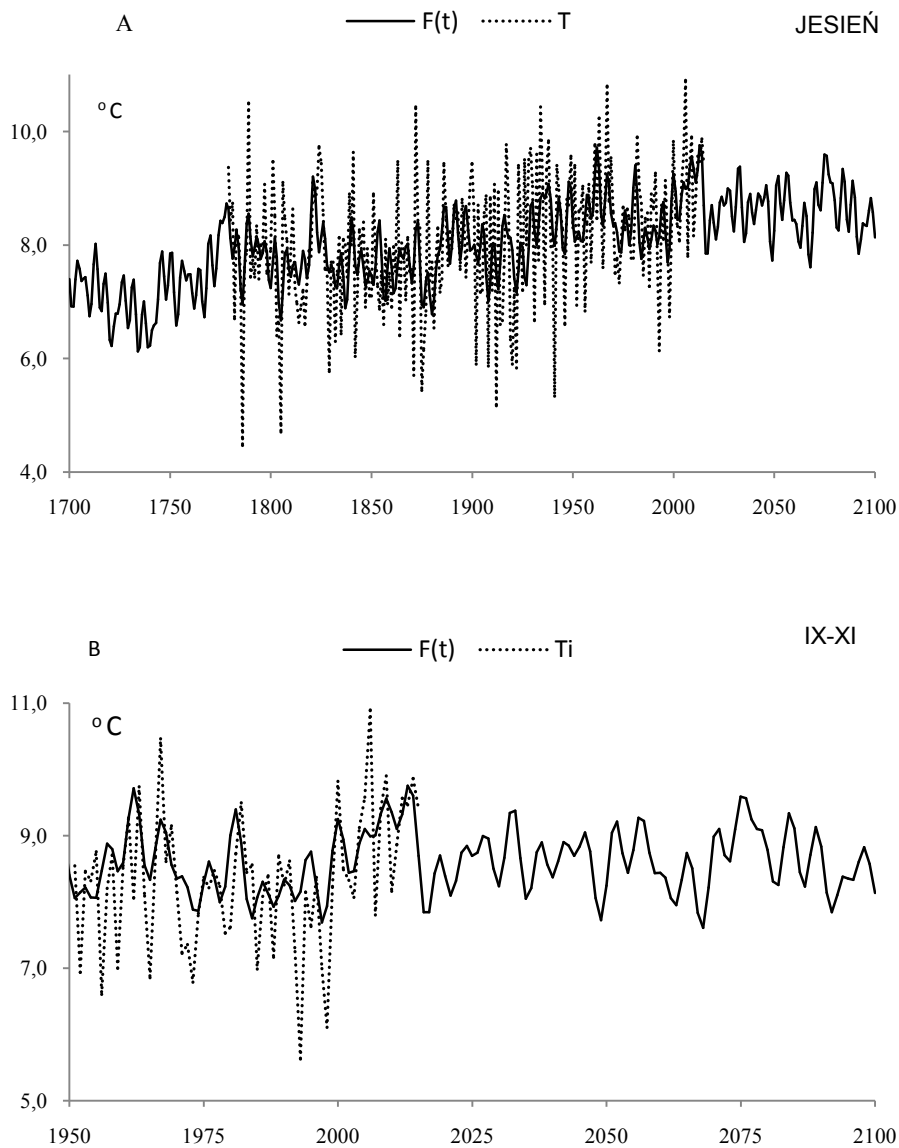
**Rys. 43.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie jesienią w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**Fig. 43.** Spectrum of air temperature in Warsaw in autumn in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

**Tabela 15.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie jesienią w latach 1779-2015,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$ - współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora

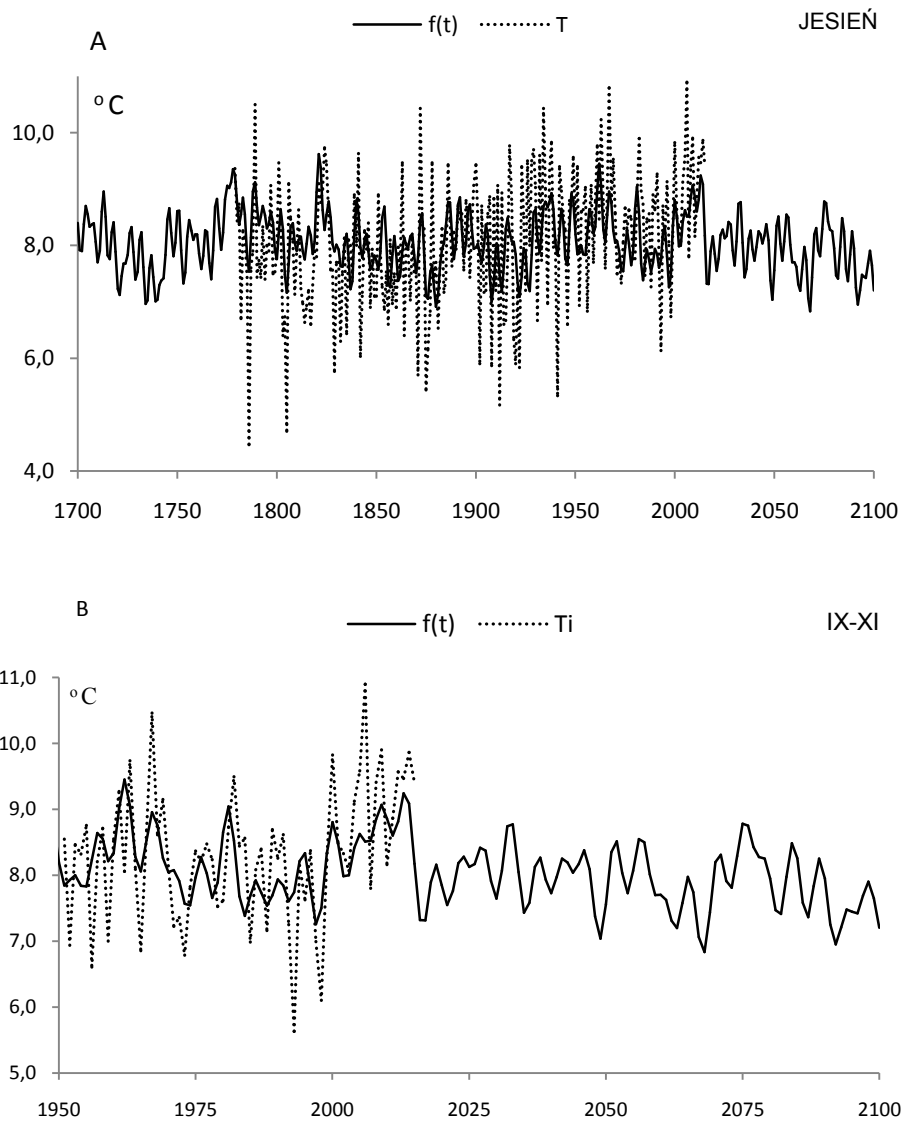
**Table 15.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in autumn n years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = -1.135666 - 0.004831 t + \dots \quad R = 0.546270$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
4,7	0,360353	-1,431111	1,211	0,227	6,449
6,4	0,293835	-1,935058	1,234	0,183	4,120
10,6	0,188804	2,713540	1,257	0,125	1,876
15,6	0,228174	2,179851	1,248	0,150	2,744
23,3	0,251999	0,503913	1,242	0,165	3,330
37,0	0,225785	0,123858	1,242	0,165	3,330
59,9	0,194540	-2,125116	1,242	0,165	3,330
84,0	0,100544	0,019486	1,275	0,039	0,177
120,2	0,098142	2,109809	1,274	0,048	0,270
179,0	0,220692	1,383849	1,243	0,163	3,232



**Rys. 44.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie jesienią w latach 1700-2100,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 44.** Air temperature changes in Warsaw in autumn in the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)



**Rys. 45.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie jesienią w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 45.** Air temperature changes in Warsaw in autumn in the years 1700-2100.  $f(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)

## ZIMA (XII-II)



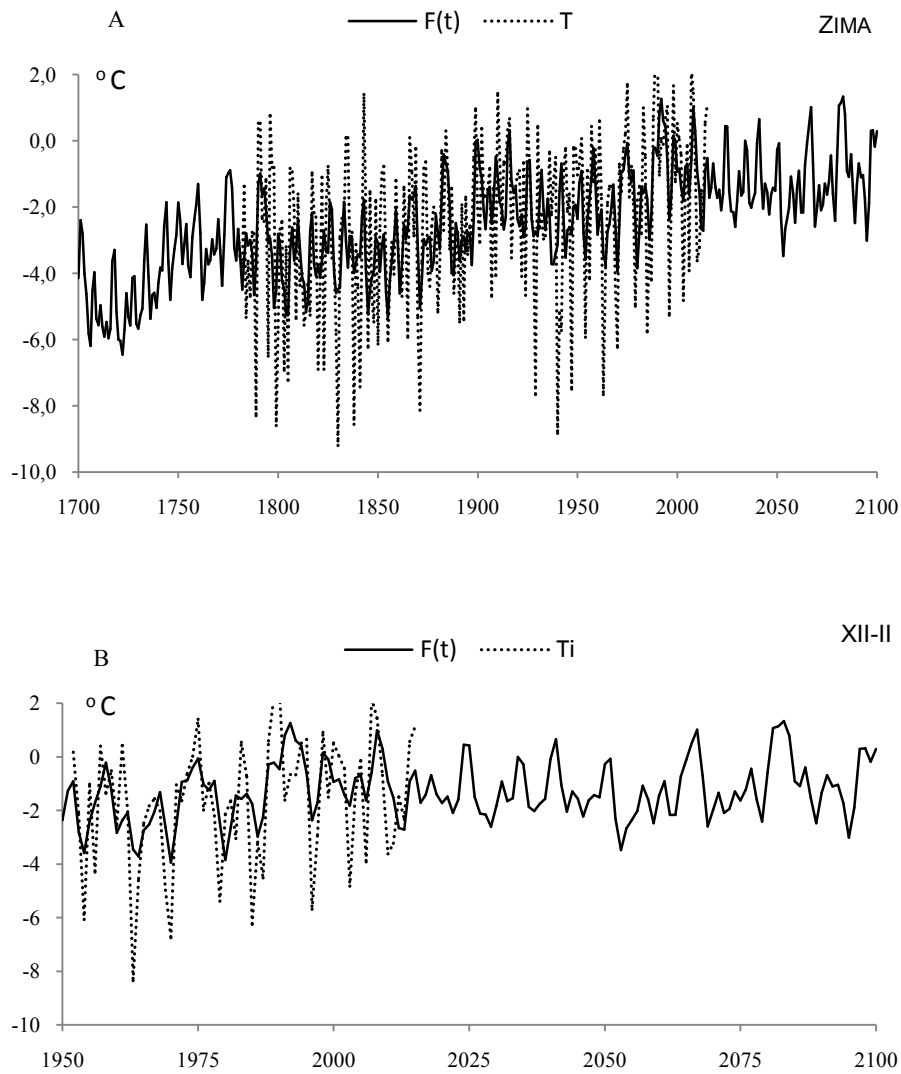
**Rys. 46.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w zimie w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**Fig. 46.** Spectrum of air temperature in Warsaw in winter in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

**Tabela 16.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie w zimie w latach 1779-2015,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$ - współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{\text{obl}}$  – test Fishera-Snedecora

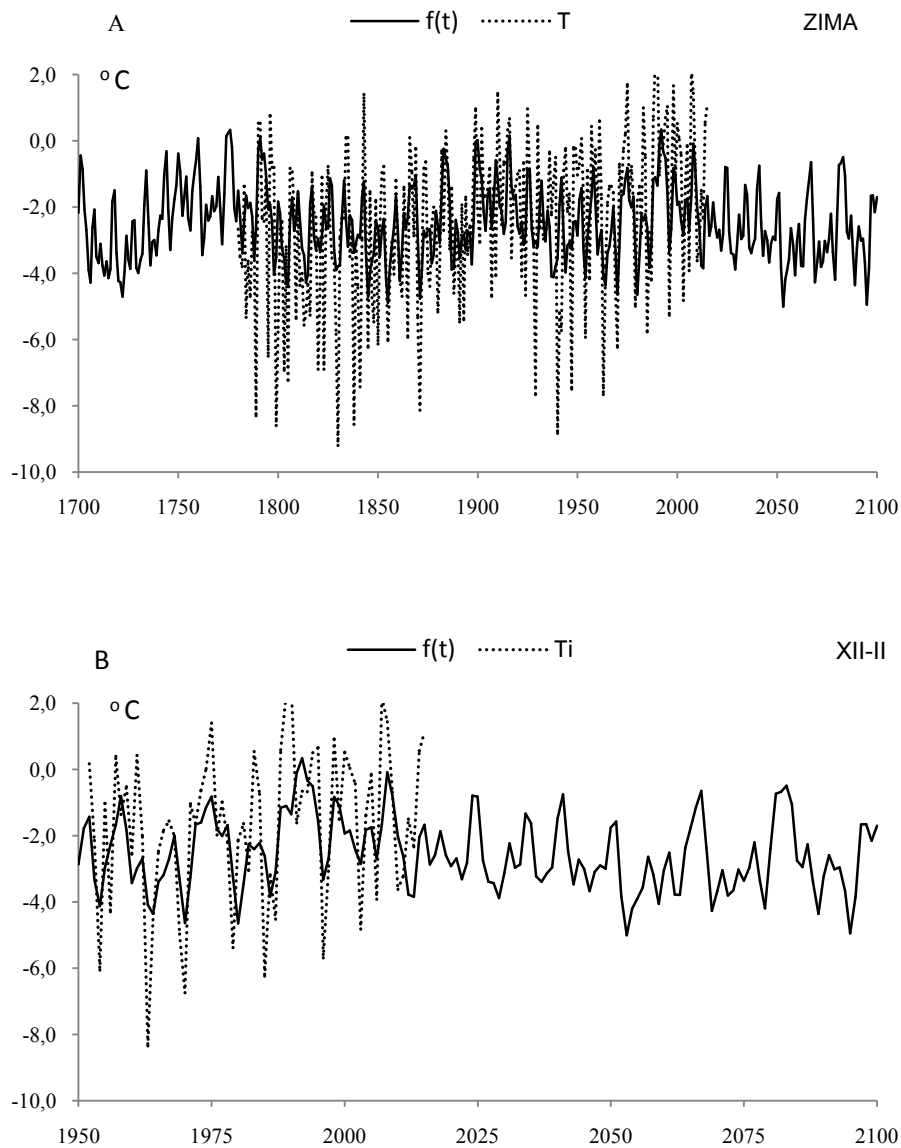
**Table 16.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in winter in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{\text{obl}}$  – F-test)

$F(t) = -1.135666 - 0.004831 t + \dots \quad R=0.546270$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{\text{obl}}$
3,3	0,572119	-1,333062	5,450	0,172	3,629
5,2	0,632682	-0,658662	5,409	0,192	4,555
8,3	0,830451	1,932767	5,280	0,245	7,561
15,3	0,463434	0,873822	5,493	0,149	2,673
18,1	0,421194	1,416745	5,490	0,150	2,739
22,3	0,306717	-1,492471	5,566	0,095	1,084
41,6	0,313256	1,783268	5,561	0,100	1,191
77,4	0,285585	-3,046547	5,499	0,145	2,541
118,5	0,532814	1,734579	5,427	0,184	4,147
179,0	0,290397	2,146905	5,561	0,100	1,191



**Rys. 47.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w zimie w latach 1700-2100,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 47.** Air temperature changes in Warsaw in winter in the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)



**Rys. 48.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w zimie w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 48.** Air temperature changes in Warsaw in winter in the years 1700-2100.  $f(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)



## ROK (I-XII)



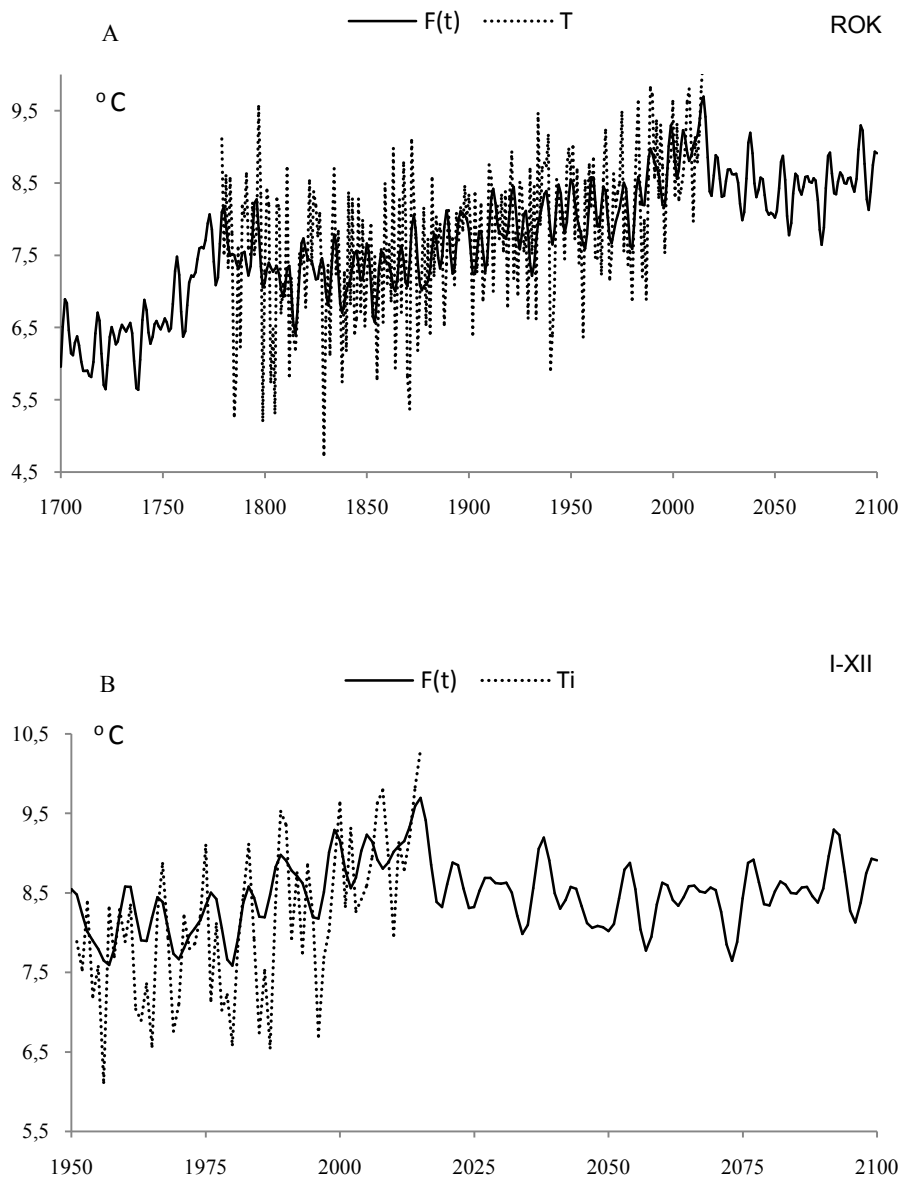
**Rys. 49.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w roku w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**Fig. 49.** Spectrum of air temperature in Warsaw in year in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

**Tabela 17.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie w roku w latach 1779-2015,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$ - współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{\text{obl}}$  – test Fishera-Snedecora

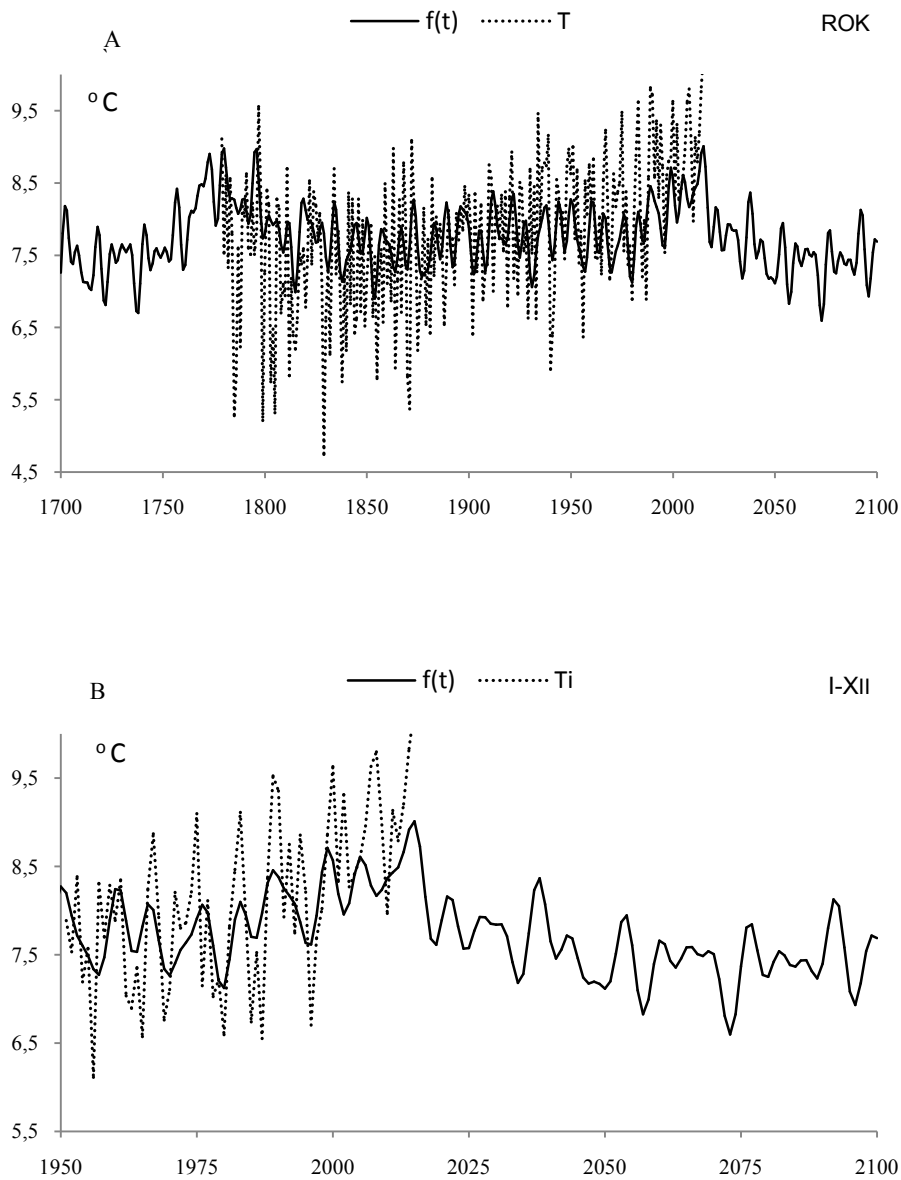
**Table 17.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in year in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{\text{obl}}$  – F-test)

$F(t) = -4.223020 + 0.006302 t + \dots$ ; $R=0.615894$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{\text{obl}}$
5,5	0,209272	-1,444850	0,969	0,146	2,571
7,8	0,280994	0,151764	0,947	0,208	5,384
12,9	0,223930	0,721688	0,961	0,171	3,579
23,9	0,138482	0,100674	0,975	0,123	1,826
30,4	0,067132	0,777781	0,983	0,084	0,847
45,3	0,051816	0,142821	0,982	0,090	0,968
57,1	0,102075	0,632669	0,972	0,135	2,197
78,1	0,112232	-3,067728	0,967	0,153	2,822
117,7	0,259512	0,763756	0,950	0,201	4,993
179,0	0,246319	1,315612	0,961	0,171	3,579



**Rys. 50.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w roku latach 1700-2100,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 50.** Air temperature changes in Warsaw in year in the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)



**Rys. 51.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w roku w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**Fig. 51.** Air temperature changes in Warsaw in year in the years 1700-2100.  $f(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)

## XII. ZAKOŃCZENIE

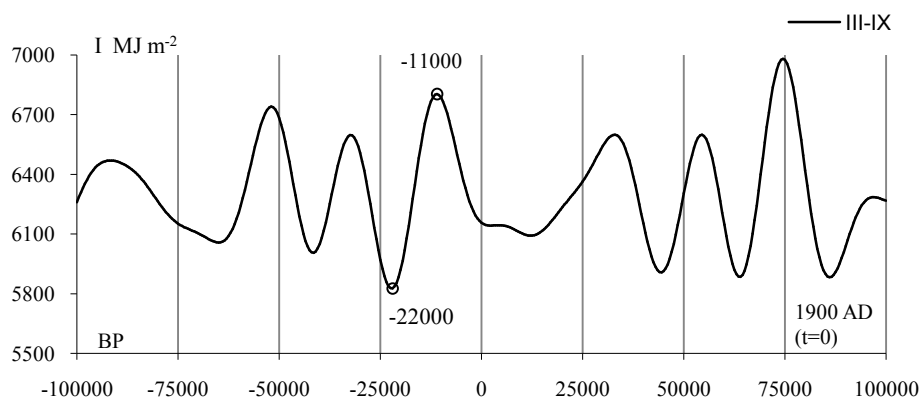
W *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXXVI. *Postęp badań zmian klimatu Ziemi w ostatnim tysiącleciu (XI-XXI)* przedstawiono zmiany klimatu Ziemi i ich przyczyny według promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ$ , izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon, substancji organicznych w polskich jeziorach, danych dendrologicznych, meteorologicznych, astronomicznych i historycznych. Dużo miejsca poświęcono weryfikacji dotychczasowych prognoz zmian klimatu Europy i nowym prognozom temperatury powietrza.

Na początku przedstawiono *Zmiany klimatu Ziemi według cykli parametrów orbity eliptycznej (rekonstrukcja od 1 miliona lat temu i prognoza na przyszły 1 milion lat)* (rozdz. II) według wyznaczonych dobowych sum promieniowania słonecznego  $I$  ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ) w lecie (VI-VIII) i w miesiącach marzec-wrzesień (III-IX) na górnej granicy atmosfery, wzdłuż równoleżnika  $\varphi = 65^\circ \text{N}$ . W obliczeniach sum promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ$  posłużono się teorią M. Milankoviča (1930). Przyjęto zakres zmian i długości cykli: mimośrodoru orbity Ziemi ( $0 \leq e \leq 0,066$ ) – 100 000 lat (zamiast 92 000 lat), nachylenia osi Ziemi do płaszczyzny ekliptyki ( $21^\circ 58' \leq \varepsilon \leq 24^\circ 36'$ ) – 40 000 lat oraz długości ekliptycznej peryhelium względem punktu równonocy wiosennej ( $\Omega$ ) – 21 000 lat.

Okresy zbliżone, tj. 23 000, 42 000 i 100 000 lat, wykryto wcześniej w zmianach izotopu tlenu  $^{18}\text{O}$  zawartego w węglanach wapnia osadów głębokomorskich (Hays i in. 1976).

Obliczenia sum promieniowania słonecznego w poszczególnych miesiącach w przedziale czasu  $-10\ 000 \leq t \leq 10\ 000$  z odstępem 5 (500 lat, jednostką czasu  $t$  jest 100 lat) wykonano z zastosowaniem programu Excel 2007.

Ostatnie zlodowacenie Ziemi wystąpiło podczas ostatniego głębokiego minimum ( $t_{\min} = -22\ 000$  lat temu,  $I_{\min} = 5784,871 \text{ MJm}^{-2}$ ) sum promieniowania słonecznego w miesiącach marzec-wrzesień. Natomiast holocenijskie ocieplenie (optimum klimatu) przypada na ostatnie lokalne „rozległe” maksimum ( $t_{\max} = -11\ 000$  lat BP,  $I_{\max} = 6815,937 \text{ MJm}^{-2}$ ) sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień (rys. 1)



**Rys. 1.** Zmiany sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień (III-IX) na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  w ciągu ostatnich -40 000 lat, z prognozą do 10 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ ) (Boryczka, 2015)

**Fig. 1.** Changes in the sums of solar radiation in the period March-September (III-IX) at the parallel  $\varphi = 65^\circ \text{N}$  in the last -40,000 years, with a forecast up to 10,000 years (1900 AD,  $t = 0$ ) (Boryczka, 2015)

Zmiany sum promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ$  w lecie (VI-VIII) i w okresach maj-lipiec (V-VII) oraz marzec-wrzesień (III-IX) w przedziale czasu:  $-1000\ 000 \leq t \leq 1000\ 000$  lat i  $-100\ 000 \leq t \leq 100\ 000$  lat przedstawiono na wykresach.

Zmianom klimatu Ziemi poświęcono również kolejny rozdz. III. *Rekonstrukcja (od -500 000 lat temu) i prognoza (do 500 000 lat AD) zmian klimatu Ziemi według zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniach lodowych z wyspy Devon i Grenlandii środkowej.*

W widmie oscylacji wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon w przedziałach  $0 < \Theta < 40\ 000$  i  $40\ 000 < \Theta < 120\ 000$  lat zawiera 11 „najsilniejszych” (istotnych na poziomie 0,01,  $F_{obl} > 7,020$ ) cykli: 4500, 4700, 6200, 7300, 8700, 11300, 16700, 24700, 45900, 58700 i 86100 lat. Trzy okresy: 24700 lat, 45900 lat i 86400 lat są zbliżone do okresów zmian długości ekliptycznej perihelium, nachylenia płaszczyzny orbity ( $\epsilon$ ) i mimośrodru eliptycznej orbity Ziemi ( $e$ ).

Wypadkową nakładania się tych 11 cykli w przedziale czasu  $t$  od -500 000 BP do 500 000 AD i od -200 000 BP do 100 000 AD ilustrują odpowiednie rysunki.

Interesujące jest porównanie zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon otrzymanych z interferencji najsilniejszych 11 cykli  $\Theta$  z sumami promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ$  N w okresie III-IX. Synchroniczność zmian promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ$  N i zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon można stwierdzić głównie w przedziale czasu  $t$  od -120 000 BP do 35 000 AD.

W rekonstrukcji klimatu w ostatnich dwóch tysiącleciach (w latach 0-1986) i w prognozach wykorzystano zawartość izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w części 0-1986 rdzenia lodowego z wyspy Devon (rys. 7). Zmiany klimatu Półkuli Północnej określa Interferencja 10 „najsilniejszych” ( $F_{obl} > 1,553$ ) cykli izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$ : 13,0, 18,0, 31,5, 39,5, 67,0, 168,0, 233,0, 316,5, 510,0 i 921,5 lat (ze składnikiem liniowym).

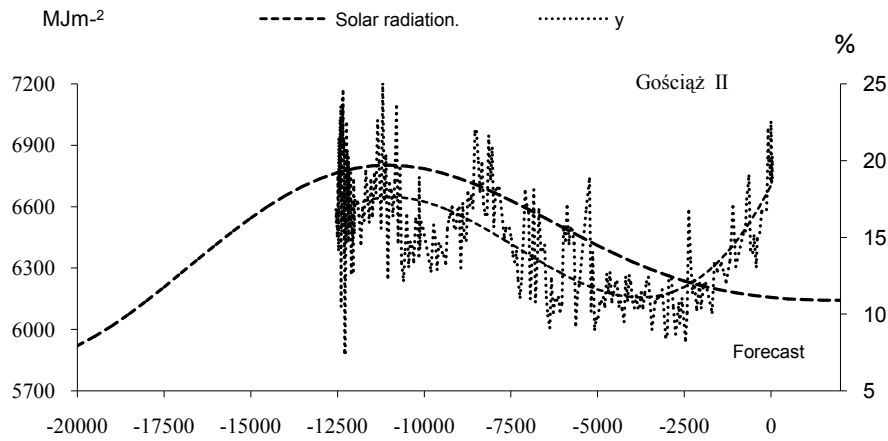
Opracowano też prognozy zmian klimatu w XXI-XXII wieku na podstawie zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w ośmiu rdzeniach lodowych pobranych z Grenlandii środkowej.

Duże znaczenie poznawcze ma rozdział IV. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w holocenie i ich przyczyny według substancji organicznych, węglanów wapnia i tlenków żelaza zdeponowanych w sadach jeziornych.*

W jego podrozdziale 4.5. *Holocenijskie ochłodzenia i ocieplenia klimatu i ich przyczyny według izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon oraz składu chemicznego osadów w Jez. Wikaryjskim i Jez. Gościąż* wykazano, że przyczyną holocenijskiego ocieplenia klimatu był wzrost sum promieniowania słonecznego w miesiącach marzec-wrzesień, wywołany zmianami orbity Ziemi.

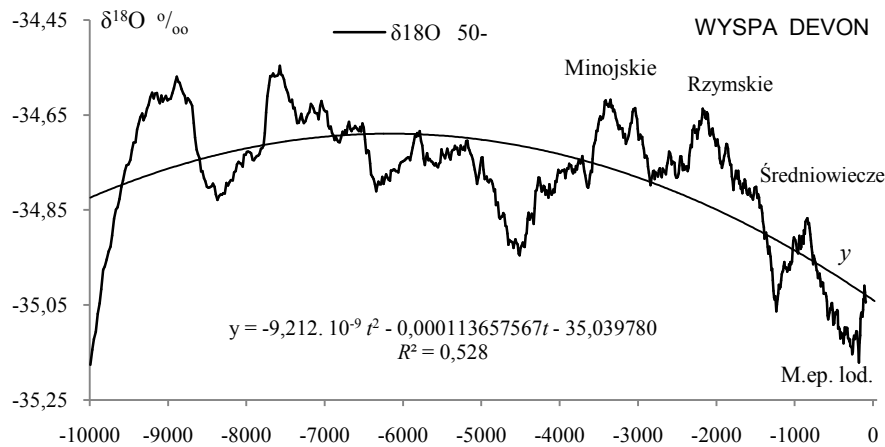
Należy zauważyć „równoległość” przebiegów wiekowych (od -12 000 lat temu): substancji organicznych (%), węglanów wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ) i tlenków żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), zdeponowanych w osadach Jez. Gościąż, z sumami promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ$  w okresie marzec-wrzesień. (np. rys. 2).

Maksima wykresów wielomianów regresji 3-go stopnia względem czasu  $t$  pokrywają się z „rozległym” maksimum sum promieniowania słonecznego w miesiącach III-IX.



**Rys 2.** Zmiany zawartości substancji organicznych w jeziorze Gościąg I w czasie  $-12750 \leq t \leq 0$  w odniesieniu do sum promieniowania słonecznego w okresie marzec-wrzesień na równoleżniku  $\varphi = 65^\circ \text{N}$   
**Fig. 2.** The change of the organic substance content in Lake Gościąg during  $-12750 \leq t \leq 0$  in reference to the sums of solar radiation in the period March-September at the paralel  $\varphi = 65^\circ \text{N}$

Daty holocentrycznych ociepleń klimatu według izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  50- (średnich konsekwentnych 50-warstwowych) w rdzeniu lodowym z wyspy Devon w przedziale czasu:  $-10\,000 \leq t \leq 0$  lat BP (rys. 3) są przesunięte (późniejsze) względem maksimumów temperatury w Grenlandii w holocenie określonej przez R.B. Alley'a (2000) na podstawie stosunku izotopu tlenu ( $\delta^{18}$ ) w rdzeniu lodowym GISP2.



**Rys. 3** Zmiany izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  50- (wyspa Devon) w przedziale czasu:  $-10\,000 < t < 0$  lat BP  
**Fig. 3.** Changes of isotope  $\delta^{18}\text{O}$  50-(Devon Island) in the time frame:  $-10\,000 < t < 0$  years BP

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

Istotne znaczenie dla wyjaśnienia przyczyn ochłodzeń i ociepleń klimatu w holoceenie ma wykrycie w widmach zmiennych sedymentologicznych takich samych okresów, które są obecne w widmach parametrów Układu słonecznego. Świadczy to, że okresowe zmiany substancji organicznych (%) zdeponowanych w osadach Jez. Wikaryjskiego i Jez. Gościąż oraz węglanów wapnia ( $C_aCO_3$ ) i tlenków żelaza ( $Fe_2O_3$ ) w osadach Jez. Gościąż (od 10 000 lat temu) są spowodowane ruchem największych planet wokół Słońca. Podobnie okresy (krótkie) izotopu tlenu  $\delta^{18}O$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon także świadczą o astronomicznych przyczynach holocenijskich wahań klimatu

Holocenijskie ochłodzenia i ocieplenia od -10 380 lat temu do teraźniejszości (do  $t = 0$  BP czyli do roku 1950 AD) określono także według zmian średnich konsekwentnych 10-warstwowych substancji organicznych w Jez. Gościąż (rys. 28-29, tab. 11).

O dużych ochłodzeniach i ociepleniach klimatu w Europie w okresie 0 n.e - XX wieku świadczą roczne przyrosty drzew rosnących w Europie. W rozdziale V *Rekonstrukcja zmian klimatu Europy w dwóch ostatnich tysiącleciach (0-XX) i prognoza w XXI-XXV według danych dendrologicznych* przedstawiono zmiany klimatu Europy na podstawie szerokości słoików 13 drzew z obszaru Europy (3 sosny, 3 świerki, 1 modrzew, 1 jodła i 5 dębów) według interferencji cykli. Za wyjątkowy pod względem termicznym uznano ten rok, w którym grubość słoika danego drzewa ( $d$ ) różni się od średniej wszystkich jego słoików ( $d_{sr}$ ) (od średniej wieloletniej) co najmniej o 2 odchylenia standardowe ( $\sigma$ ) zgodnie z definicją:  $d \leq d_{sr} - 2\sigma$  – wyjątkowo zimny (WZ),  $d \geq d_{sr} + 2\sigma$  – wyjątkowo ciepły (WC).

Przedstawiono też wahania klimatu według interferencji cykli  $F(t)$  średniej grubości słoików **3 sosen** (*Pinus sylvestris*): Forfjordalen (877-1994, Norwegia), Karhunspekkivi (1398-1993, Finlandia), Kola (1577-1997, Rosja) i **4 dębów** (*Quercus petraea*): Ardeny (1118-1986, Belgia), Bodensee (1275-1986, Holandia), Bourgogne (681-1991, Francja), Pomorze wschodnie (966-1985, Polska) rosnących w Europie w ostatnich dwóch tysiącleciach z prognozą do roku 2500 (0 n.e.-2500).

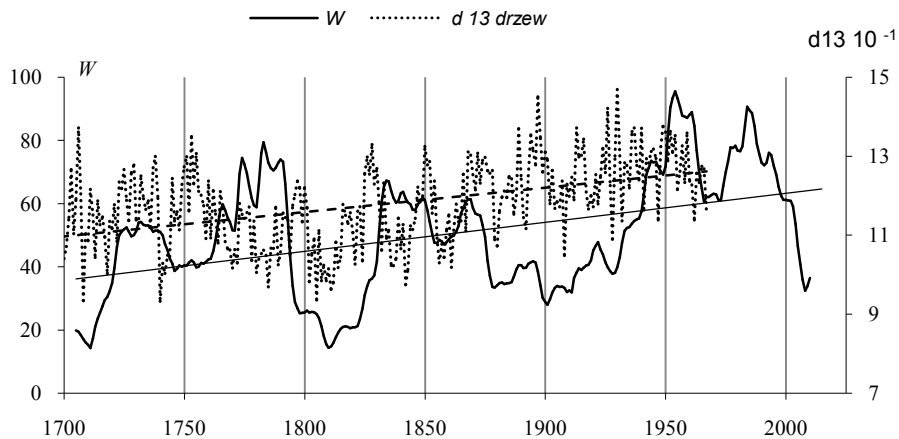
O wahaniami klimatu Europy świadczą również zmiany średniej grubości słoików z **11 drzew** (3 sosny, 2 świerki, 1 modrzew, 1 jodła, 4 dęby) w latach 0-2500 według interferencji cykli  $F(t)$  (rys. 29).

Interesujące są także daty minimów wiekowych ( $t_{min}$ ) rocznych przyrostów **najstarszych drzew** rosnących w Europie: sosna *Pinus sylvestris* – Forfjordalen (877-1994, Norwegia), dąb *Quercus petraea* – Bourgogne (681-1991, Francja), dąb *Quercus petraea* – Ardeny (1118-1986, Belgia) i modrzew *Larix decidua* – Les Merveilles 2 (988-1974, Francja). Są to minima szerokości słoików  $d_{min} \leq d_{sr} - 2\sigma$  mniejsze od średniej arytmetycznej ( $d_{sr}$ ) o 2 odchylenia standardowe ( $\sigma$ ), które wskazują bardzo mroźne zimy..

W rozdziale VI *Anomalie termiczne w Europie według danych meteorologicznych, dendrologicznych i źródeł historycznych w dwóch tysiącleciach (0 n.e. – XXI)* stwierdzono m.in., że w Warszawie w latach 1779-2015) wystąpiło 39 mroźnych zim, jednaście bardzo mroźnych zim i 4 najbardziej mroźne zimy w latach: 1799 (-8,6), 1830(-9,2), 1838 (-8,6), 1940 (-8,8 °C), według definicji:  $T \leq T_{sr} - \sigma$  – mroźne zimy,  $T \leq T_{sr} - 2\sigma$  – bardzo mroźne zimy,  $T \leq T_{sr} - 2,5\sigma$  – najbardziej mroźne zimy, gdzie średnia temperatura  $T_{sr} = -2,454$  °C, a odchylenie standardowe  $\sigma = 2,368$  °C.

O wpływie aktywności Słońca na klimat Europy świadczą np. proste regresji średniej grubości słoików ( $d$ ) z 13 drzew (3 sosny, 3 świerki, 1 modrzew, 1 jodła, 5 dębów, zob. rozdz. V) i liczb Wolfa ( $W$ ) o tendencji rosnącej (rys. 4):

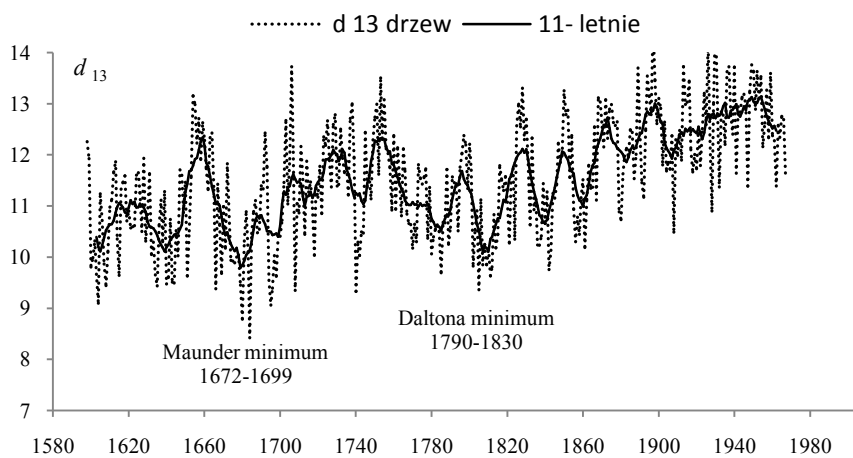
$$d = 0,006174t + 0,4794, \quad R^2 = 0,203; \quad W = 0,091793t - 120,312, \quad R^2 = 0,188$$



**Rys. 4.** Synchroniczne wahania średniej szerokości słoików 13 drzew rosnących w Europie ( $d$ ) i liczb Wolfa ( $W$ ) w latach 1700-2015 (średnie konsekwentne 11-letnie)

**Fig. 4.** Synchronous fluctuations of the average tree ring widths of 13 of trees growing in Europe ( $d$ ) and Wolf numbers ( $W$ ) in the years 1700-2015 (11-year moving average)

O wpływie aktywności Słońca na klimat Europy świadczy również koincydencja głównych minimów średniej grubości słoików z 13 drzew rosnących w Europie z minimami wiekowymi liczb Wolfa: Maunder minimum (1672-1699) i Daltona minimum (1790-1830) (rys. 5).



**Rys. 5.** Zmiany średniej szerokości słoików 13 drzew rosnących w Europie i ( liczb Wolfa )w latach 1598-1967 (11- – średnie konsekwentne 11-letnie)

**Fig. 5.** Changes of the average tree ring widths of 13 (B)trees growing in Europe (and Wolf numbers )in the years 1598-1967 (11- year moving average)



Kolejne cztery rozdziały poświęcono ocenie sprawdzalności dotychczasowych prognoz na podstawie wyników pomiarów: Oscylacji Północnoatlantyckiej (*NAO*) – z lat 1951-2015 (rozd. VII), temperatury powietrza w Warszawie (rozd. VIII) – 1951-2015, temperatury powietrza w innych miejscowości Europy (rozd. IX) –1951-2010 i opadów atmosferycznych w Warszawie (rozd. X) –1951-2010

W rozdziale VII. *Weryfikacja prognoz zmian Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1998-2100 według pomiarów z lat 1825-1997 (Atlas, t. XV, 2001)* zweryfikowano prognozy zmian wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w latach 1998-2100 opracowanych w tomie 15 Atlasu:

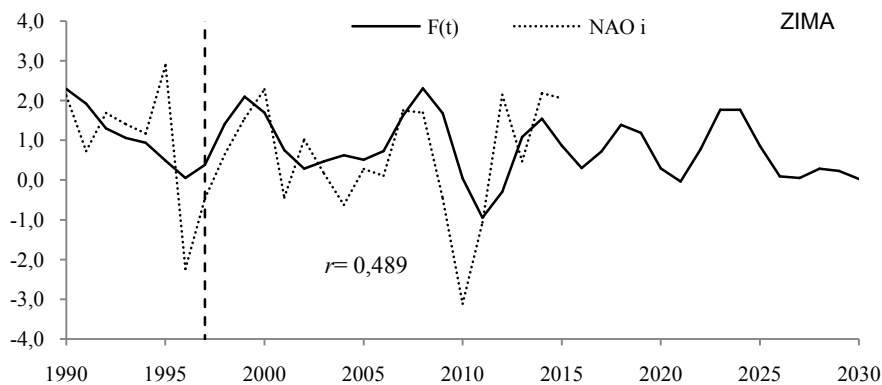
– Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Błażek E., Skrzypczuk J., 2001, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XV, *Prognozy zmian klimatu miast Europy* (rozd. III. *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na klimat Europy*) s. 39-46. Wyd. UW, ss. 249

Prognozy wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w poszczególnych miesiącach, porach roku i roku otrzymano według wypadkowej  $F(t)$  interferencji cykli, Najlepsza zgodność zmierzonych wartości wskaźnika *NAO* w latach 1998-2015 z prognozowanymi  $F(t)$  według danych 1825-1997 występuje w zimie (rys. 6). Funkcja aproksymująca  $F(t)$  – to wypadkowa interferencji 12 cykli (od 4,7 do 105,2 lat obecnych w widmie oscylacji) ze składnikiem liniowym  $F(t) = 1,482773 - 0,000494 t + \dots$  o współczynniku korelacji wielokrotnej  $R = 0,606$ :

$$\Theta \quad 4,7 \quad 5,0 \quad 5,8 \quad 7,8 \quad 8,3 \quad 8,8 \quad 11,3 \quad 12,5 \quad 15,5 \quad 37,1 \quad 71,5 \quad 105,2$$

$$R \quad 0,170 \quad 0,220 \quad 0,180 \quad 0,272 \quad 0,237 \quad 0,195 \quad 0,134 \quad 0,136 \quad 0,165 \quad 0,158 \quad 0,170 \quad 0,158$$

Na uwagę zasługują synchroniczne wahania zmierzonych wartości wskaźnika  $NAO_i$  i prognozowanych  $F(t)$  na lata 1998-2015. Współczynnik korelacji między wartościami zmierzonymi  $NAO_i$  w latach 1998-2015 i prognozowanymi  $F(t)$  wynosi  $r = 0,489$  (rys. 6).



**Rys. 6.** Zmiany y wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* w zimie (XII-II) w latach 1990-2025;  $F(t)$  – obliczone (ze składnikiem liniowym) z prognozą na lata 1998-2015,  $NAO_i$  – wartości zmierzone w latach 1998-2015,

**Fig. 6.** Secular changes of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in winter (XII-II) in the years 1990-2025;  $F(t)$  – calculated values (including the linear component), with a forecast for the years 1998-2015,  $NAO_i$  – values measured in the years 1998-2015

Jeszcze większa koincydencja ekstremów występuje w przypadku 3-letnich średnich konsekwentnych  $NAO_3$ . Współczynnik korelacji między wartościami zmierzonymi  $NAO_3$  i prognozowanymi  $F(t)$  wynosi  $r_3 = 0,601$ .

W rozdziale VIII. *Weryfikacja prognoz temperatury powietrza w Warszawie w miesiącach, porach roku i roku w 35-leciu 1981-2015 (1984) i 25-leciu 1991-2015 (2000)* zweryfikowano dwojakiemu rodzajowi prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie z 1984 i 2000 roku.

Najpierw w podrozdziale 8.1. *Weryfikacja prognoz przebiegu rocznego temperatury powietrza w Warszawie w latach 1980-2100 wg modelu rekonstrukcyjno-prognostycznego (w 30-leciu 1981-2015)* zweryfikowano prognozy temperatury powietrza w Warszawie na lata 1980-2100 według danych z lat 1779-1979 (Obserwatorium Astronomiczne), opracowane po raz pierwszy na podstawie tzw. modelu rekonstrukcyjno-prognostycznego wieloletnich zmian temperatury powietrza (Boryczka 1984, wzór 133):

– Boryczka J., 1984, *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu*, Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego, Nr 234., Wyd. UW, Warszawa, ss. 272.

Weryfikacja obecna tego modelu polega przede wszystkim na porównaniu 35-letniej serii wyników pomiarów temperatury powietrza (średnich konsekwentnych 3-letnich w styczniu i lipcu) w Warszawie-Okęcie ( $T$ ) z wartościami obliczonymi  $f(t)$  – na lata 1980-2015 (rys. 6). Na ogół jest dobra zgodność między minimami i maksimami temperatury powietrza w 35-leciu 1981-2015, według pomiarów i prognoz. Współczynnik korelacji  $r=0,262$  w styczniu jest zbliżony do wartości krytycznej  $r_{0,05} = 0,324$ , natomiast w lipcu, współczynnik korelacji  $r = 0,367$  jest istotny na poziomie 0.05 ( $r_{0,05} > 0,324$ ).

W podrozdziale 8.2. *Weryfikacja prognoz przebiegu rocznego temperatury powietrza w Warszawie w latach 1991-2100 (w miesiącach, sezonach i roku) (w 25-leciu 1991-2015)* sprawdzono prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie na lata 1991-2100 opracowane na podstawie danych z Obserwatorium Astronomicznego z lat 1779-1990 (Atlas, t. XIV; wzory s. 110-119, wykresy s. 129-147):

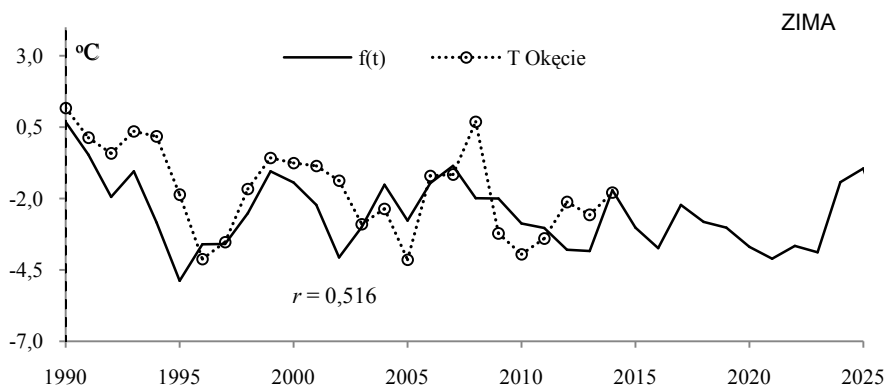
– Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Lorenc H., Kicińska B., Błażek E., Skrzypczuk J., 2000, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XIV *Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku*, ss. 209

Porównano średnie wartości temperatury powietrza w różnych przedziałach czasu (miesiące, pory roku, rok) zmierzone w Warszawie na Okęciu ( $T$ ) z prognozowanymi  $f(t)$  na lata 1990-2015.

Na przykład w zimie, trendy czasowe temperatury powietrza w Warszawie  $T = f(t)$  są wypadkową nakładania się 12 cykli obecnych w widmie temperatury, w tym najdłuższych 113.1 lat i 218.3 lat:

$$f(t) = -2,634 + \\ +0,5148\sin(2\pi/2,6-1,327) + 0,5715\sin(2\pi/3,5+0,5523) + 0,6238\sin(2\pi/5,2 + 0,05656) + \\ +0,4422\sin(2\pi/5,7 + 2,486) + 0,7067\sin(2\pi/7,7-0,7303) + 0,7349\sin(2\pi/8,3 - 2,370) + \\ +0,4829\sin(2\pi/8,7 - 0,3237) + 0,4078\sin(2\pi/12,9+0,1328) + 0,456\sin(2\pi/15,2+2,318) + \\ +0,4940\sin(2\pi/18,0-3,058) + 0,3645\sin(2\pi/113,1+2,040) + 0,8946\sin(2\pi/218,3+3,073)$$

O dobrej zgodności wyników pomiarów ( $T$ ) na Okęciu z prognozowanymi zmianami temperatury powietrza w zimie na lata 1991-2015 według interferencji cykli  $f(t)$  świadczy współczynnik korelacji  $r = 0.456$  większy od wartości krytycznej  $r_{0,05} = 0,380$  na poziomie istotności 0.05. W przypadku średnich konsekwentnych 3-letnich współczynnik korelacji  $r = 0.516$  jest znacznie większy i istotny na poziomie 0,01 ( $r_{0,01} = 0,487$ ). Synchroniczne są wahania zmierzonych wartości temperatury powietrza w Warszawie-Okęcie w zimie (średnich konsekwentnych 3-letnie w 25-leciu 1991-2015 i prognozowanych  $f(t)$ ) (rys. 7).



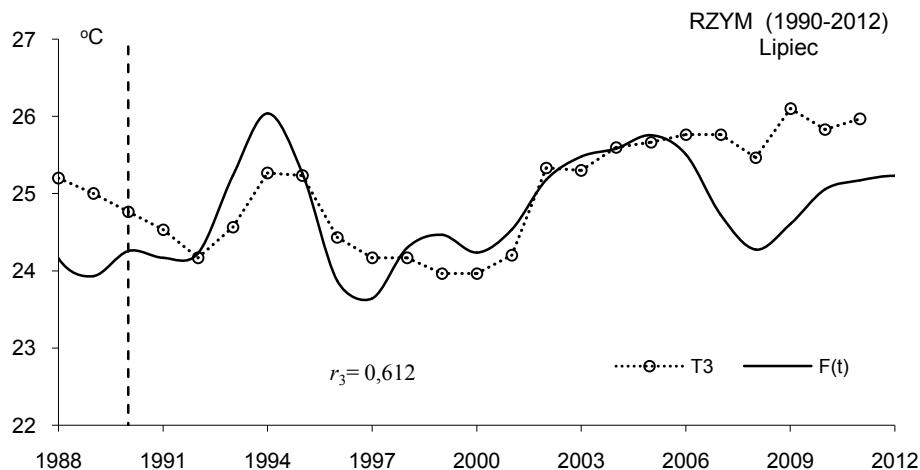
**Rys. 7.** Porównanie zmierzonych wartości temperatury powietrza w Warszawie-Okęcie w zimie,  $T$  – średnich konsekwentnych 3-letnich w 25-leciu 1991-2015 z prognozowanymi  $f(t)$   
**Fig. 7.** Comparison of measured air temperature values in Warsaw-Okęcie in Winter ( $T$  – 3-year moving average) during the 25-year period 1991-2015, with predicted values  $f(t)$

Celem rozdziału IX. *Weryfikacja prognoz zmian temperatury powietrza w Europie w latach 1970- 2100 opublikowanych w Atlasie t. XVII (2003), t. XIX (2005), t. XX-XXI (2007)* jest weryfikacja prognoz zmian temperatury powietrza do roku 2100 w różnych miejscach Europy, opublikowanych w trzech tomach czasopisma *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, dotyczących zimy i lata (t. XVII), miesięcy styczeń i lipiec (t. XIX) oraz średniej rocznej (t. XX-XXI):

- tom XVII. *Mroźne zimy i upalne lata w Polsce*, 2003, Wyd. UW, ss.297; rozdz. V *Zmiany temperatury powietrza w Europie w XVIII-XX wieku. Prognozy po rok 2100*, str. 31-171) (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Kirchenstein M., Błażek E., Skrzypczuk J)
- tom XIX. *Cechy termiczne klimatu Europy*, 2005, Wyd. UW, ss.184; rozdz. IV. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w ostatnich stuleciach*, str.. 35-131 (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Pietras K., Bijak S., J., Błażek E., Skrzypczuk J)
- tom. XX-XXI. *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych*, 2007, Wyd. UW, ss. 226; rozdz. III. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w XIX-XXI wieku*, str. 97-126 (Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Bijak S., Cebulski R., Błażek E., Skrzypczuk J.)

Zweryfikowano prognozy zmian temperatury powietrza (do roku 2100) w 10 miastach wybranych spośród 40 miejsc Europy: Anglia środkowa (1659-1993) – Greenwich (1659-1969), Paryż (1767-1995) , Berlin (1769-1990), Warszawa (1779-1998 i 1779-2002), Moskwa (1780-2002), Sztokholm (1756-1994) , Zurych (1864-1970), Rzym (1811-1989) , Wiedeń (1775-2002) i Kijów (1812- 2002).

Najbardziej wiarygodne okazały się prognozy zmian temperatury powietrza w Rzymie w lipcu według interferencji 8 cykli:  $\Theta$  lat 3,9 4,4 5,9 8,2 9,2 10,9 20,2 30,7 64,1 ze składnikiem liniowym  $F(t) = 24,40522 + 0,00004 t + \dots$ ,  $R=0,605$ . Koincydencja ekstremów występuje przede wszystkim w przypadku zmierzonych wartości temperatury powietrza (średnich 3-letnich konsekutywnych  $T_3$ ) i prognozowanych  $F(t)$  (rys. 8)



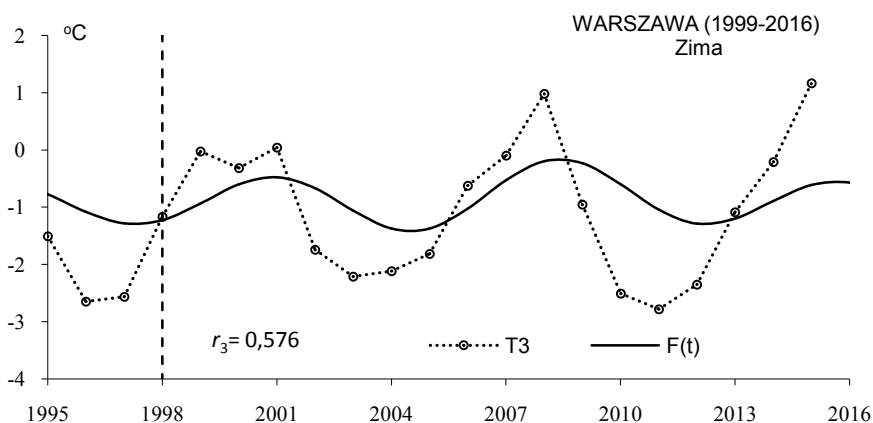
**Rys. 8** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Rzymie w lecie (1990-2012);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekutywne 3-letnie;  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 1991-2012  
**Fig. 8** Changes of mean air temperature in July in Rome (1990-2012);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average,  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 1991-2012

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. Jeszcze większa jest koincydencja ekstremów między średnimi konsekutywnymi 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  $r = 0,612$  i jest istotny prawie na poziomie 0,001 ( $r_{0,001} = 0,640$ )

Synchroniczne są wahania średnich zmierzonych wartości temperatury powietrza w Warszawie (Okęcie) w zimie (XII-II) i lecie (VI-VIII) w 18-leciu 1999-2016 z prognozowanymi np. w zimie według interferencji cykli  $f(t)$  i  $F(t)$ , ze składnikiem liniowym  $F(t) = -25,9473 t + 0,01187 t + \dots$ ,  $R = 0,480$ :

$\Theta$ lat	7,1	10,3	12,9	15,3	18,1	20,1	22,5	25,2	28,1	32,5	39,3	73,8	113,4
$b$ °C	0,418	0,300	0,489	0,442	0,442	0,163	0,233	0,084	0,015	0,109	0,313	0,223	0,520
$c$	2,452	1,711	1,177	1,194	1,933	0,385	-2,565	-1,320	0,127	1,675	-2,512	1,941	3,139

W zimie współczynnik korelacji  $r = 0,494$  między średnimi wartościami zmierzonymi  $T_i$  i prognozowanymi  $f(t)$  jest większy od wartości krytycznej poziomu istotności 0,05 ( $r_{0,05} = 0,444$ ,  $n=18$ ). Natomiast w zimie współczynnik korelacji  $r_3 = 0,576$  między średnimi konsekutywnymi 3-letnimi wartościami zmierzonymi  $T_3$  i prognozowanymi  $f(t)$  na lata 1999-2016 jest istotny na poziomie 0,01 ( $r_{0,01} = 0,561$ ) (rys. 9).



**Rys. 9** Zmiany średniej temperatury powietrza w zimie w Warszawie (Okęcie, 1999-2016);  $T_3$  – wartości zmierzone, średnie konsekwentne 3-letnie,  $F(t)$  – wartości obliczone (Obserwatorium Astronomiczne, z prognozą na lata 1999-2016)

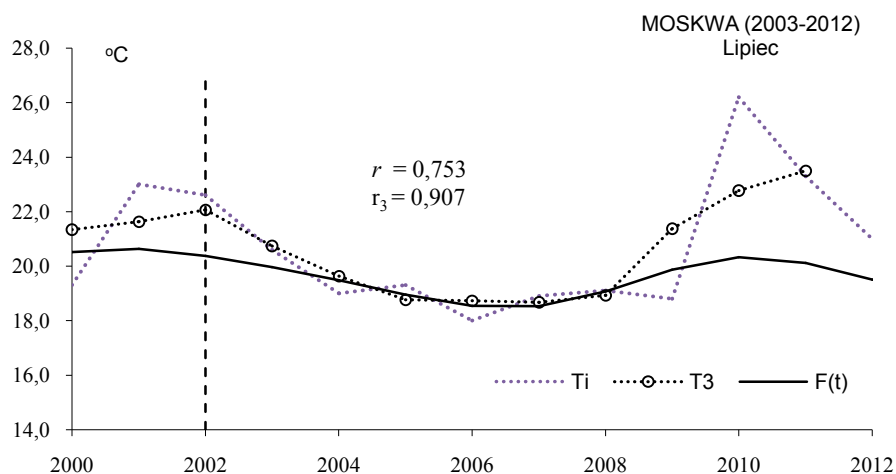
**Fig. 9.** Changes of mean air temperature in winter in Warsaw (Okęcie, 1999-2016);  $T_3$  – measured values, 3-year moving average,  $F(t)$  – calculated values (Astronomical Observatory, 1779-1998), with forecast for the years 1999-2016

W Moskwie, ze względu na małą liczebność ( $n=10$ ) o poprawności prognoz temperatury powietrza w Moskwie świadczy przede wszystkim sprawdzenie czy wahania są synchroniczne – czy występuje koincydencja ekstremów (minimów i maksimów) w przebiegu wieloletnim (2003-2012).

W przypadku zimy, lata i średniej rocznej temperatury w Moskwie, współczynniki korelacji są ujemne (zima  $r=-0,354$ ,  $r=-0,288$ , rok  $r=-0,016$ . W styczniu współczynniki korelacji  $r=0,335$  między  $T_i$  i  $f(t)$  nie jest istotny na poziomie 0,10 ( $n=10$ ). Natomiast w lipcu współczynnik korelacji  $r=0,753$  jest istotny na poziomie 0,01, a  $r_3=0,907$  między  $T_3$  i  $f(t)$  jest istotny na poziomie 0,001 (rys. 10).

W Moskwie w lipcu prognozowano według interferencji cykli ze składnikiem liniowym  $F(t) = 12,53531 + 0,003175 t + \dots$ ,  $R=0,602$  i bez składnika liniowego  $f(t)$ :

$\Theta$ lat	5,7	6,2	7,0	10,1	13,2	21,1	51,6	84,7	169,1
$b$ °C	0,5373	0,2873	0,378	0,4691	0,2894	0,4044	0,3227	0,8211	0,9591
$c$	-3,0983	2,2778	1,4603	1,078	-1,8974	2,6927	-1,8953	1,9748	1,846



**Rys. 10.** Zmiany średniej temperatury powietrza w lipcu w Moskwie (2003-2012),  $T_3$  – wartości zmierzone,  $T_3$  – średnie konsekwentne 3-letnie (2003-2012);  $F(t)$  – wartości obliczone, z prognozą na lata 2003-2100  
**Fig. 10.** Changes of mean air temperature in July in Moscow (2003-2012);  $T_i$  – measured values,  $T_3$  – 3-year moving average (2003-2012);  $F(t)$  – calculated values, with forecasts for the years 2003-2012

Celem rozdziału X. *Weryfikacja prognoz opadów atmosferycznych w Warszawie w 30-leciu 1981-2010 (1993) i 20-leciu 1991-2010 (2000) (rozdz. X)* jest weryfikacja prognoz zmian sum opadów atmosferycznych w Warszawie opracowanych w Zakładzie Klimatologii UW (Boryczka 1993, Boryczka i in. 2000).

W podrozdziale 10.1. *Weryfikacja prognoz przebiegu rocznego opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1980-2100 według pomiarów z lat 1813-1979* sprawdzono prognozy zmian sum opadów atmosferycznych w Warszawie w 30-leciu 1981-2010, opublikowane w książce :

– Boryczka J., 1993, *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII-XXI wieku*, Wyd. UW, Warszawa, ss. 400.

Trend czasowy  $F(t)$  (wzór 22', str. 300 i.306) opisuje zmiany miesięcznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1813-1980. Na przykład wzór empiryczny  $F(t)$  (ze składnikiem liniowym  $at = 0,00336t$ ) uwzględnia interferencję 15 cykli opadów: 0,50, 1,00, 1,25, 1,75, 2,50, 2,83, 3,50, 4,25, 5,33, 6,00, 11,67, 16,33, 19,17, 57,33 i 114,0 lat, wyznaczonych na podstawie wyników pomiarów w latach 1813-1979.

Oceniono synchroniczność przebiegów zmierzonych sum opadów w Warszawie i prognozowanych z wyprzedzeniem 30 lat (1980-2010).

Prognozy zmian sum opadów i ich weryfikację opracowano na podstawie wyników pomiarów w Warszawie: Obserwatorium (1813-1979) i Okęcie (1951-2010).

Weryfikacja obecna modelu empirycznego polega przede wszystkim na porównaniu 30-letniej serii wyników pomiarów opadów w Warszawie (sum miesięcznych  $P$ ) z prognozowanymi  $F(t)$  na lata 1980-2010. Na ogół minima i maksima roczne miesięcznych sum opadów zmierzonych  $P$  i prognozowanych  $F(t)$  pokrywają się.

Wiarygodne są też prognozy zmian opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1991-2100 sprawdzone w podrozdziale 10.2. *Weryfikacja prognoz opadów atmosferycznych w Warszawie na lata 1990-2100 – w 20-leciu 1990-2010 (z 2000 r.)*, opracowane na podstawie danych z Obserwatorium Astronomicznego z lat 1813-1990 i opublikowane w t. VIV Atlasu (wzory s. 110-119, wykresy s. 129-147):

- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Lorenc H., Kicińska B., Błazek E., Skrzypczuk J., 2000, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XIV *Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku*, ss. 209

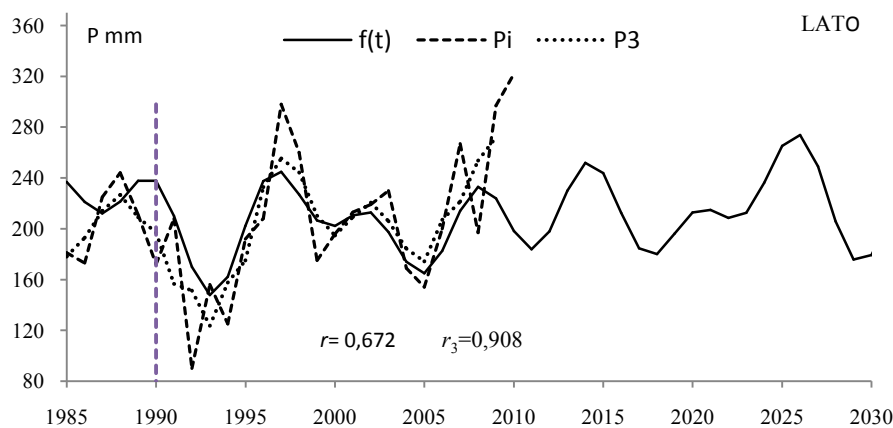
Trend czasowy  $f(t)$  sum opadów atmosferycznych w Warszawie np. w lecie (bez składnika liniowego  $a_0$ ) w latach 1813-1990 jest wypadkową nakładania się 5 cykli, w tym najdłuższych 54 i 122 lat.

$$f(t) = 218,0 + 25,224 \sin(-1,741 + \frac{2\pi}{6}t) + 15,89 \sin(-1,716 + \frac{2\pi}{9}t) + \\ + 19,14 \sin(-0,3370 + \frac{2\pi}{13}t) + 8,843 \sin(1,717 + \frac{2\pi}{54}t) + 7,5885 \sin(1,003 + \frac{2\pi}{122}t)$$

Równania opisujące interferencję cykli opadów otrzymano przyjmując rok 1813 jako początek osi czasu  $t=0$  ( $t = -113$  – rok 1700,  $t = 287$  – rok 2100)..

Porównano sumy opadów w różnych przedziałach czasu (miesiące, pory roku, rok) zmierzone w Warszawie na Okęciu ( $P$ ) z prognozowanymi  $f(t)$  na lata 1990-2010.

Wahania zmierzonych sum opadów atmosferycznych w Warszawie-Okęcie (średnich konsekwentnych 3-letnich) i prognozowanych sum opadów na lata 1991-2010, według modeli  $f(t)$  przedstawiono na rys. 10.



**Rys. 10.** Porównanie zmierzonych w lecie sum ( $P_i$  i średnich konsekwentnych 3-letnich  $P_3$ ) opadów atmosferycznych w Warszawie (Okęcie) z prognozami (1990-2030) według modelu  $f(t)$

**Fig. 10** . Comparison of measured summer precipitation totals at Warsaw (Okęcie) ( $P_i$  and 3-year running average  $P_3$ ) with forecasts (1990-2030) prognostic model  $f(t)$

W lecie, współczynniki korelacji  $r = 0,672$  i  $r_3 = 0,908$  sum letnich opadów atmosferycznych i średnich konsekwentnych 3-letnich sum w Warszawie (Okęcie) z prognozami (1990-2010) według modelu  $f(t)$  są wyjątkowo duże ( istotne na poziomie 0.01 według testu t-Studenta..

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

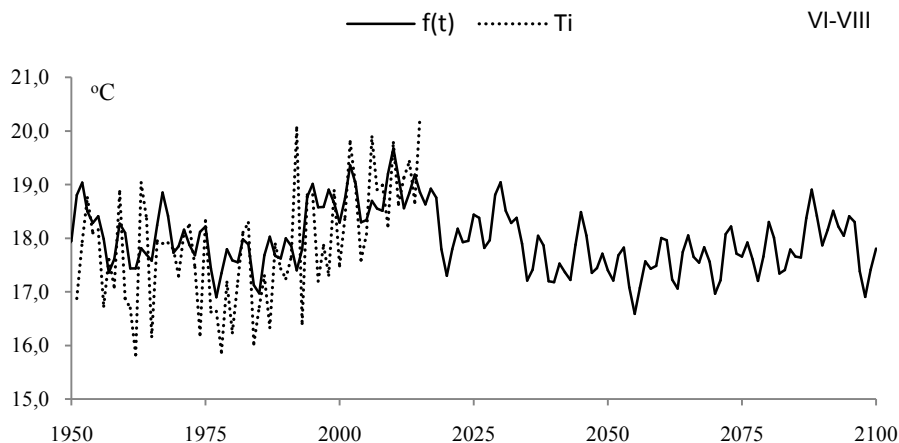
Jeżeli minimum lokalne widma oscylacji temperatury powietrza było poza przedziałem  $2.1 \leq \Theta \leq 250$  lat to w rekonstrukcji i prognozach na podstawie interferencji

cykli (ze składnikiem liniowym  $F(t)$  i bez składnika liniowego  $f(t)$ ) uwzględniono dodatkowo najdłuższy cykl  $\Theta = 179$  lat (astronomiczny).

W lecie uwzględniono 10 cykli o długości  $\Theta$  lat, amplitudzie  $b$  °C i fazie  $c$  ze składnikiem liniowym  $F(t) = 14.083182 + 0.001975 t + \dots$   $R=0.590157$ :

$\Theta$	3,9	7,1	15,6	19,1	30,9	37,2	54,6	73,8	114,3	179,0
$b$	0,3745	0,3188	0,2645	0,1981	0,1498	0,1242	0,1529	0,4627	0,0112	0,3363
$c$	-0,8151	1,3956	0,9342	-0,3418	3,1023	1,8529	-2,6696	-0,3313	-1,9874	0,6335

Prognozowane zmiany temperatury powietrza w Warszawie w lecie w latach 2016-2100 przedstawiono na rys. 11.



**Rys. 11.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w lecie w latach 1951-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100),  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

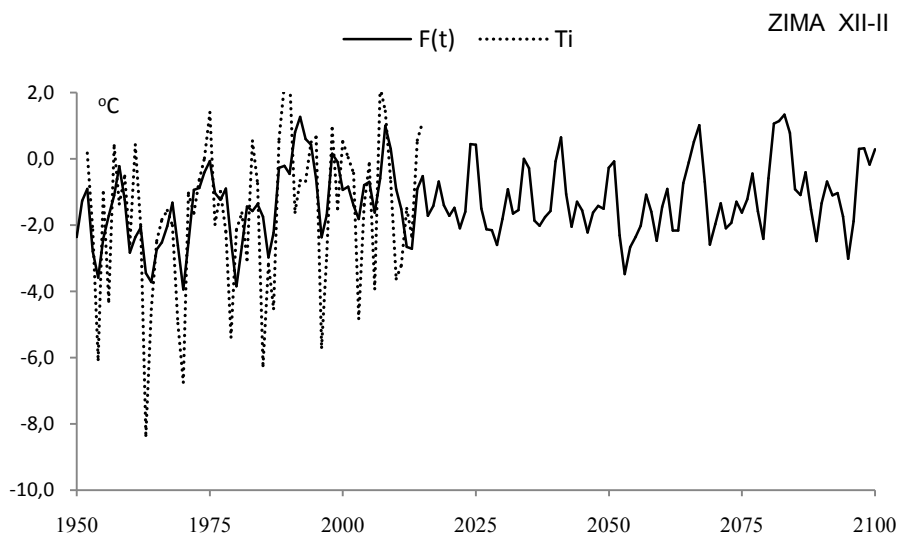
**Fig. 11.** Air temperature changes in Warsaw in summer in the years 1951-2100.  $f(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100),  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)

W zimie w rekonstrukcji (1700- 1778) i prognozach zmian temperatury powietrza w latach 2016-2100 uwzględniono także 10 cykli obecnych w widmie oscylacji ze składnikiem liniowym  $F(t) = -1.135666 - 0.004831 t + \dots$   $R=0.546270$

$\Theta$	3,3	5,2	8,3	15,3	18,1	22,3	41,6	77,4	118,5	179,0
$b$	0,5721	0,6327	0,8305	0,4634	0,4212	0,3067	0,3133	0,2856	0,5328	0,2904
$c$	-1,3331	-0,6587	1,9328	0,8738	1,4167	-1,4925	1,7833	-3,0465	1,7346	2,1469

Prognozowane zmiany temperatury powietrza w Warszawie w zimie w latach 2016-2100 przedstawiono na rys. 12.





**Rys. 12.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w zimie w latach 1951-2100,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100),  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)  
**Fig. 12.** Air temperature changes in Warsaw in winter in the years 1951-2100,  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100),  $T_i$  – values measured in Okęcie (1951-2015)

### XIII. LITERATURA

- Alley R.B., 2000, The Younger Dryas cold interval as viewed from central Greenland. *Quat. Sci. Rev.*, 19, 213-226.
- Bond G., Showers W., Cheseby M., Lotti r., Almasi P., Demenocal P., Priore P., Cullen H., Hajdas I., Bonani G., 1997 – *A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates*. *Sci.*, 278 (5341), 1257-1266
- Boryczka J., 1984, *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu* [Deterministic and stochastic model of multi-periodic climate changes], Wyd. UW, Warszawa
- Boryczka J., 1993, *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII-XXI wieku*, Wyd. UW, Warszawa, ss. 400
- Boryczka J., 1998, *Zmiany klimatu Ziemi*, Wyd. Akademickie Dialog, Warszawa, ss. 165
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Kirchenstein 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, ss. 297
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Pietras K., Bijak S., J., 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, ss. 184.
- 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*, Wyd. UW, ss. 417.
- 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.
- 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, s. 47-58.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 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, Wyd. WGRS UW, s. 25-32.
- 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 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, *Verification of forecasts of periodic changes in the climate of Warsaw in the period 1779-2010*, *Miscellanea Geographica*, vol. 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
- 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.
- Boryczka J., 2015, *Zmiany klimatu Ziemi* (wydanie drugie rozszerzone), Wyd. WGRS UW, Warszawa, ss. 280.
- 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.* LX 2015, 3-4, 133-161.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2015, *Zależność przebiegu rocznego temperatury powietrza od aktywności Słońca (na przykładzie Warszawy (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. WGRS UW, s. 363-375.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 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, Wyd. WGRS UW, s. 25-32.
- Briffa K., Cook E., 1990, *Methods of response function analysis* [W:] Cook E., Kairiukstis L. (red.) *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*, IASIA, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Fritts H.C., 1976, *Tree Rings and Climate*, Academic Press, London.
- Girguś R., Strupczewski W., 1965, *Wyjątki ze źródeł historycznych o nadzwyczajnych zjawiskach hydrologiczno-meteorologicznych na ziemiach polskich w wiekach od X do XVI*, (red. A. Rojecki), Wyd. K i Ł Warszawa.

- Lamb HH., 1974, Volcanic dust in the atmosphere with a chronology and assessment of meteorological, Phil. Transactions Roy. Soc. vol. 226.
- Marks L. 2016, *Zmiany klimatu w holocenie*, Przegląd Geologiczny, vol. 64, nr 1.
- 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.
- National Climatic Data Center; <http://www.ncdc.noaa.gov/cgi-bin/paleo/webmapper.cgi>
- Reznikov AP., 1982, *Priedskazaniye jestiwtiennych processow obuczajuszczijsja sistiemoj* [Forecasting of natural processes using a learning system], Novosibirsk.
- 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.
- Walanus A. Nalepka D. 2005, *Wiek rzeczywisty granic chronozon wyznaczonych w latach radiowęglowych*. Bot. Guidebooks, 28:313–321.
- Zielski A., Krapiec M., 2004, *Dendrochronologia*, PWN Warszawa.

## ZJAWISKA POGODOWE W X-XVI WIEKU WEDŁUG KRONIK HISTORYCZNYCH

### ZIMA 940/941 – POLSKA

Ostra zima. Ukazały się komety.

*Brak danych dotyczących przyrostów szerokości słoju dębów.*

### ZIMA 1069 – POLSKA ZACHODNIA

Ponieważ rzeki przez duże zimna były skute [lodem], wtargnął cesarz Henryk do ziemi Łużyczan...

*Spadek przyrostów szerokości słoju dębów.*

### ZIMA 1110/1111 – POLSKA PÓŁNOCNA

Niestrudzony Bolesław także zimową porą nie odpoczywał beczynny w spokoju, lecz wkroczył do Prus, krainy północnej, skutej lodami. Tam bowiem wkraczając wykorzystał lody na jeziorach i bagnach, które posłużyły mu za most[y], gdyż nie prowadzi[ł] żaden inny dostęp do owej krainy, jak tylko przez jeziora i bagna.

*Wzrost przyrostów szerokości słoju dębów.*

### ROK 1219 – POLSKA

W Polsce przez całe lato padał deszcz, który rzadko ustawał. Z powodu powodzi był głód; zima była bardzo ciężka.

*Spadek przyrostów szerokości słoju dębów.*

### ROK 1221 – EUROPA – POWODZIE

„Od świąt bowiem Wielkanocnych aż do jesieni ciągle panujące deszcze i słoty takie sprawiły rzek wylewy, że od nadzwyczajnego wód wezbrania lękano się w kraju prawdziwego prawie potopu. Ta straszliwa i niezwykła powódź wiele wsi w nizinach leżących całkiem niemal zniszczyła i zalała, przeszkodziła siewom wiosennym, a co w jesieni posiano, to zniweczyła do szczytu; nie wiele tylko miejsc, kędy pola na wzgórkach i innych wyżynach były położone, od tej plago ocalało. Zniszczone przeto takimi zalewami zboża wielką klęską dotknęły nie tylko Polskę, ale i wszystkie kraje okoliczne, gdzie podobne panowały powodzie. Bo gdy bydłom domowym zabrakło paszy, upadały naprzód obory, a potem nastął głód ciężki, który przez trzy lata nie ustając, siła ludzi, a zwłaszcza wieśniaków, dla braku żywności wymorzył i tak dalece wytępił, że wiele wsi i miasteczek z ludności ogołoconych stało prawie pustkami. Klęskę tę sprawioną zbytecznymi słotą, powiększyła jeszcze sroga i niezwykłej ostrości zima, która po tych deszczach nastąpiła ...”

### 18 PAŹDZIERNIKA 1225 – WISŁA

...ciągnęli... w dniu Szymona i Judy [28 października] pod Vogelsange'm przez Wisłę, która wówczas była zamrznięta wskutek silnego mrozu....

*Spadek przyrostów szerokości słoju dębów.*

### ROK 1270 – WISŁA (KRAKÓW) I INNE RZEKI

Ale nie z samych dziwów, lecz i niepogód nadzwyczajnych i powodzi stał się rok ten pamiętny u Polaków. Od dnia bowiem dwudziestego drugiego czerwca aż do połowy sierpnia ciągle i nawalne dniem i nocą padały deszcze, skąd rzeki wezbrane wystąpiwszy z brzegów, tak niezwykle wylały, że nie tylko zboża, łąki, niwy i polne obszary, ale nawet wsie z domostwami pozatapiały. Wisła, rzeka do takiej wzrosła wysokości, że całą przestrzeń między

Górą Lasotą a kościołem św. Stanisława na Skałce zalała, a silnym prądem bardzo wiele ludzi i domów, bydła, trzody, koni i drobnego dobytku porwała, pozrywała młyny, pola i lasy zamieniła w pustkowia, i nie tylko grunta ale i wsie z ich zabudowaniami i nieruchomościami zalawszy, role pozatapiane na długi czas potem uczyniła płonnymi i nieużytecznymi.

*Wzrost przyrostów szerokości słojuów dębów.*

#### **OKOŁO 1 LISTOPADA 1304 – POMORZE, MORZE BAŁTYCKIE**

Zdarzyła się bardzo silna burza na morzu, wskutek której zostało dużo domów, kościołów i wież zniszczonych i dużo okrętów rozbitych i zatopionych. Tej samej nocy powstał nowy port przy Rugii, który został nazwany „nową głębią”.

*Spadek przyrostów szerokości słojuów dębów.*

#### **ZIMA 1322/1323 – MORZE BAŁTYCKIE**

Było bowiem między Danią, słowiańskim krajem i Jutlandią zamrożone całe Morze Bałtyckie, tak że rozbójnicy, przychodząc ze słowiańskiego kraju, splądrowali niektóre okolice Danii, a pośrodku morza na lodzie były założone gospody dla przejezdnych.

*Spadek przyrostów szerokości słojuów dębów.*

#### **ROK 1322 – WISŁA, KRAKÓW**

W tym samym roku tak wielki był upał, że starzy ludzie stwierdzili, iż nigdy za swoich dni na ziemi krakowskiej takiego żaru nie zaznali, a rzeka Wisła wskutek wielkiej suszy tak bardzo zmniejszyła się, że w licznych miejscach stała się łatwa do przechodzenia w bród dla dziesięcio- i dwunastoletnich chłopców.

*Spadek przyrostów szerokości słojuów dębów.*

#### **ROK 1347, 21 WRZEŚNIA – POMORZE**

Roku pańskiego 1347, osiem dni przed dniem świętego Michała [29 września], spadło tak dużo śniegu, że wskutek ciężaru, które wywierał na drzewa, połamał gałęzie; po czym wkrótce wystąpił bardzo silny deszcz, [który] spowodował tak wielki wylew wód, że ludzie byli zmuszeni przebywać przez kilka dni na dachach.

*Spadek przyrostów szerokości słojuów dębów.*

#### **ROK 1412 – POLSKA I INNE KRAJE**

Zima w tym roku nadzwyczaj była ciepła, bez żadnego przymrozku i szronu, tak iż w Litwie nawet, kraju zimnym i mroźnym, około święta Oczyszczenia Najświętszej Maryi [2 lutego] ludzie mieli już jarzyny do jedzenia i kwiaty, co za dziwowisko wielkie i cud prawdziwy uważano.

*Wzrost przyrostów szerokości słojuów dębów.*

#### **ZIMA 1423 – MORZE BAŁTYCKIE**

Była tak mocna zima, że Bałtyk był pokryty lodem, że można było konno saniami wozić towary z Gdańska do Lubeki, a również z Pomorza do Danii.

*Wzrost przyrostów szerokości słojuów dębów.*

#### **ZIMA 1431/1432 – WISŁA DOLNA**

Także Wisła była wtedy pokryta bardzo mocnym lodem i stała od dnia świętej Katarzyny [25 listopada] aż do dnia świętego Jerzego [23 kwietnia].

*Spadek przyrostów szerokości słojuów dębów.*

## **20-21 LIPCA 1432 – NYSA LUŻYCKA, ZGORZELEC**

Okolo godziny jedenastej zaczął padać silny deszcz kroplami bez przerwy cały dzień i noc, tak że następnego dnia po dniu Praksedy, w poniedziałek w wigilię błogosławionej Marii Magdaleny, nastąpił o godzinie 18 wylew rzeki Nysy tak wielki, jaki tylko za naszych czasów kiedykolwiek był widziany, i [rzeka Nysa] wezbrała tak wysoko, że narobiła szkód prawie nie do naprawienia, zniszczyła wiele budowli, stodoły w pobliżu Nysy ze zbożem i sianem zupełnie zniszczyła, mosty całkowicie połamała i młyny, szczególnie te z czterema kołami w Clephiswalde, gruntownie zniszczyła i uniosła z sobą chatę stróża łaźniennego nad Nysą i kilka domów na ulicy Hottera przewróciła, także w tym czasie utonęło wielu ludzi...

*Wzrost przyrostów szerokości słojuów dębów.*

## **ZIMA 1453/1454 – ŚLĄSK**

W roku pańskim 1453 przed św. Michałem [29 września] po raz drugi zakwitły kolczaste róże, lecz później tak wielkie nastaly mrozy, że ludzie, konie i ptaki na polach ginęli z zimna. Mróz zaczął się w dniu Klemensa [23 listopada], lecz w dniach św. Andrzeja i Barbary, Poczęcia i Mikołaja aż do Łucji [tj. 13 grudnia] dawał się silnie we znaki. W sobotę po Łucji zmieniła się aura i przez cały tydzień był wielki wiatr i padał deszcz. Wskutek mrozu najbardziej ucierpiały drzewa orzechowe, winnice i wiele innych drzew.

*Wzrost przyrostów szerokości słojuów dębów.*

## **ZIMA 1455 – ZATOKA GDAŃSKA**

Tak [był] twardy, że można było do Niedzieli Palmowej [21 marca] jeździć po lodzie z Helu do Gdańska.

*Wzrost przyrostów szerokości słojuów dębów.*

## **ZIMA 1469/1470 – ŚLĄSK, ODRA**

Była najcieńsza zima ze wszystkich minionych lat, jaką ludzie mogli zapamiętać. Zaczęła się na Andrzeja [30 XI 1469] i trwała bezustannie aż do Tyburcjusza [14 IV 1470]. Odra w bardzo wielu miejscach była zamrznięta aż do dnia; wiele ryb w stawach z powodu lodu zginęło.

*Brak danych dotyczących przyrostów szerokości słojuów dębów.*

## **ROK 1473 – EUROPA – SUSZA**

Rok ten pamiętny był dla całej Europy i dla Królestwa Polskiego nadzwyczajnymi słońca upały i suszą nieprzerwaną; pojawienie się bowiem poprzednie komety zrządziło niesłychane skwary i brak wody, tak że źródła wszystkie powysychały i największe rzeki w Polsce można było w bród przebywać. Nie tylko pod Krakowem, Sandomierzem, Warszawą, Płockiem ale i pod Toruniem Wisła była tak płytka. Paliły się we wszystkich stronach Polski lasy, bory, krzaki i zarośla ogniem niewstrzymanym, który nie dał się ugasić, póki wszystkiej drzewiny z korzeniami nie strawił. Słychać było wszędy trzask i łomot upadających drzew. Pasieki także i barcie w lasach pogorzały, zasiewy wiosenne zbytńia susza powypalała.

*Brak danych dotyczących przyrostów szerokości słojuów dębów.*

## **ROK 1493 – POLSKA**

W tym roku zima w styczniu i lutym była tak łagodna, że drzewa w sadach zakwitły, trawa była duża, ptaki wily gniazda, lecz w marcu mróz wszystko zniszczył.

*Brak przyrostów i spadków szerokości słojuów dębów.*

#### **ZIMA 1495 – ZATOKA GDAŃSKA**

Również tego roku była ciężka zima, tak że lód leżał aż do wieczora zapustnego, że można było jechać wprost z wału ochronnego z załadowanymi saniami prosto na Hel i na Redę i z powrotem, i nikt nie wiedział, jak daleko morze było zamrożone.

*Spadek przyrostów szerokości słoju dębów.*

#### **ROK 1497 – MORZE BAŁTYCKIE, MIERZEJA WIŚLANA**

W tydzień Trzech Króli przyszła silna burza z północy i trwała cztery dni; wtedy została przerwana mierzeja i wówczas powstała nowa głębia w Królewcu.

*Spadek przyrostów szerokości słoju dębów.*

#### **WIOSNA – LATO 1500 – POLSKA**

... Tego samego roku żniwa były w Polsce, wbrew uświęconym zwyczajom, przed świętem Jana Chrzciciela [24 czerwca], bowiem wiosna i lato były dość gorące.

*Wzrost przyrostów szerokości słoju dębów o 13.*

#### **ROK 1507 – POLSKA**

W roku 1507 była bardzo łagodna zima, tak że nie zamarzła żadna rzeka. Także Wisła, a również Hab i Radunia, spływały bez lodu.

*Spadek przyrostów szerokości słoju dębów.*

#### **LATO 1528 – WISŁA, KRAKÓW**

W tym samym roku Wisła nadmiernie wylała, tak że woda w kościele bernardynów sięgała prawie wysokości człowieka i bernardyni do klasztoru jeździli statkami.

*Spadek przyrostów szerokości słoju dębów.*

#### **19 LIPCA 1528 – WISŁA, KRAKÓW**

Dnia 19 lipca: znowu w tym samym miesiącu około 19 rzeka Wisła tak bardzo wylała, że cały klasztor bernardynów i kościół woda zalała. Wyrządziła ludziom wielką szkodę na łąkach, ogrodach i polach obok leżących. Woda zatopiła bydło, trzodę, zboża, które miały być zżęte, siano i inny ludzki dobytek.

*Spadek przyrostów szerokości słoju dębów.*

#### **LATO 1530 – ŚLĄSK**

W roku 1530 było również suche lato, tak że młyny nie mogły mleć.

*Wzrost przyrostów szerokości słoju dębów.*

#### **LATO 1540 – POLSKA**

Latem 1540 roku tak potworna była susza, że skały, góry i doliny jakby ogniem były spalone i susza ta utrzymywała się aż do zimy.

*Wzrost przyrostów szerokości słoju dębów.*

#### **ZIMA 1553/1554 – ZATOKA GDAŃSKA**

Zima była tak sroga, że można było jechać saniami po lodzie aż na Hel, i trwała aż do niedzieli Palmowej [18 marca]. Potem lód spłynął bez szkód.

*Spadek przyrostów szerokości słoju dębów.*

#### **ZIMA 1556/1557 – POLSKA**

W końcu tego roku i na początku następnego zima była bardzo trwała; śniegi i wielkie mrozy trwały prawie od świętej Jadwigi [15 października] bez przerwy aż do Zwiastowania NMP [25 marca].

W roku 1557 przez prawie cały marzec aż do końca zalegały lody.

*Wzrost przyrostów szerokości słoju dębów.*

### **6 STYCZNIA 1564 – WARTA, GORZÓW WLKP.**

W dniu Trzech Króli zdarzył się okropnie duży przybór wody, która przez trzy tygodnie okrutnie szumiała i huczała i tak okrutny lód przed mostem spiętrzyła, iż wywołała zaniepokojenie; wszystkie mosty zostały zerwane; prócz tego przygotowane na środku trzy przęsła uległy zburzeniu. Następnie po obu stronach i przy tamie utworzyła okrutną warstwę oraz wyrwała duży otwór w murze miejskim koło ostatniego mostu zwodzonego, kamienie z fundamentu wyrzuciła na wierzch, co wywołało wśród ludzi wielkie zdumienie.

*Wzrost przyrostów szerokości słoju dębów.*

### **ZIMA 1571/1572 – POLSKA**

W tym roku była, jak podaje M.S. Codex Conventualis, bardzo sroga zima, bowiem od października aż do Wielkanocy bez przerwy trwała, a mróz do tego stopnia był ostry, że woda wylana w powietrze wcześniej zamarzała zanim spadła na ziemię.

*Wzrost przyrostów szerokości słoju dębów.*

### **9 STYCZNIA 1572 – TORUŃ**

Dnia 9 stycznia około 9 godziny w nocy nastąpiło w Toruniu straszliwe trzęsienie ziemi wraz z potężnym wiatrem sztormowym, a następnie ogromne oberwanie się chmury; na skutek tej ulewy znaczna część muru miejskiego została obalona, dziewiętnaście przęseł z mostów uniesionych i około trzystu ludzi utonęło.

*Spadek przyrostów szerokości słoju dębów.*

### **MARZEC-KWIECIEŃ 1572 – ODRA, WARTA I INNE RZEKI**

Do tego czasu taki olbrzymi wylew wód zewsząd zalał miasta i pola, o jakim z minionych lat pamięć nasza zaledwie raz jeden może sobie przypomnieć; przybrała Łaba, Odra, Hawela, Sprewa, Warta, na skutek tego rodzaju trwającego kataklizmu w licznych miejscach pola i lasy były spławne...

*Spadek przyrostów szerokości słoju dębów.*

### **ZIMA 1572/1573 – POLSKA**

Również w tym roku zima była bardzo ciężka i długa, a mianowicie od Wszystkich Świętych [1 listopada] do św. Walentego [14 lutego] itd., która w ciągu trzech dni ustąpiła wskutek bardzo silnych wiatrów.

*Spadek przyrostów szerokości słoju dębów o 2.*

### **LATO-JESIEŃ 1590 – POLSKA POŁUDNIOWO-ZACHODNIA**

Było bardzo gorące suche lato, tak że w kraju rzeki, jak Bóbr, Kwisa, Kaczawa, Widawa, Oława, Ślęza i wiele innych wyschły całkowicie. Odra również była tak płytka, że można było w każdym miejscu przejść ją w bród.

*Spadek przyrostów szerokości słoju dębów.*

### **8 CZERWCA – 23 SIERPNI 1593 – BYSTRZYCA, ŚWIDNICA**

Od święta Medarda [8 czerwca] do dnia 23 sierpnia codziennie z przerwami, bądź ustawicznie padały deszcze, wskutek czego przez całe lato aż do tego czasu zdarzyło się czternaście wylewów, które u nas utrudniły w zbiorach siana, a gdzie indziej zniszczyły wskutek zamulenia kielkujące zasiewy, a gwałtowne prądy uniosły bydło i ludzi.

*Wzrost przyrostów szerokości słoju dębów.*



**13 MARCA 1599 – ODRA, WROCLAW**

Odra. Pękał bardzo gruby lód; woda gwałtownie wzrosła, uniosła przy młynie Ukocha-nej Marii z mostu dwa przęsła, uczyniła duże szkody.

*Wzrost przyrostów szerokości słojuw dębów.*

- Girguś R., Strupczewski W., 1965, *Wyjątki ze źródeł historycznych o nadzwyczajnych zjawiskach hydrologiczno-meteorologicznych na ziemiach polskich w wiekach od X do XVI*, (red. A. Rojecki), Wyd. K i Ł Warszawa

**WYKAZ PRAC MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII  
DOTYCZĄCYCH CYKLICZNOŚCI I TENDENCJI ZMIAN KLIMATU  
W EUROPIE (1984-2015)**

1. Bogumiła Dąbrowska, 1984, *Wielookresowe zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1979* (Jerzy Boryczka).
2. Dorota Dębska, 1986, *Wielookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1813-1980* (Jerzy Boryczka).
3. Małgorzata Tomasiak, 1990, *Długookresowe zmiany temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie* (Jerzy Boryczka).
4. Katarzyna Grzęda, 1990, *Wielookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Krakowie w latach 1850-1987* (Jerzy Boryczka).
5. Konrad Klechta, 1990, *Wielookresowe zmiany temperatury powietrza w Krakowie w latach 1826-1985* (Jerzy Boryczka).
6. Joanna Puczyńska, 1991, *Klimat Polski w ujęciu historycznym – druga połowa XVIII wieku* (Danuta Martyn).
7. Anna Michalska, 1992, *Trend czasowy opadów atmosferycznych w Polsce w latach 1881-1980* (Jerzy Boryczka).
8. Anna Porowska, 1992, *Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Warszawie i Pradze w latach 1779-1976* (Jerzy Boryczka).
9. Jan Skrzypczuk, 1993, *Wiekowe zmiany temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach 1659-1973* (Jerzy Boryczka).
10. Małgorzata Kierzkowska, 1994, *Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Alpach (XIX-XX wiek)* (Jerzy Boryczka).
11. Edyta Olszewska, 1999, *Tendencja temperatury powietrza w Warszawie w latach 1966-1995* (Maria Stopa-Boryczka, Jerzy Boryczka).
12. Robert Duma, 1999, *Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Polsce w zależności od erupcji wulkanicznych i aktywności Słońca* (Jerzy Boryczka).
13. Adam Piotrowski, 2001, *Zmiany roczne pola temperatury powietrza w Kanadzie* (Jerzy Boryczka, Krzysztof Olszewski).
14. Anna Szarek, 2001, *Zmiany temperatury powietrza na Helu w okresie 1851-1995* (Jolanta Wawer).
15. Janusz Kołodziejek, 2001, *Klimat Norwegii* ( Danuta Martyn).
16. Mariola Górka, 2003, *Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1966-1995* (Maria Stopa-Boryczka).
17. Mariusz Tomaszewski, 2003, *Synchroniczne wahania temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w XIX i XX wieku w Polsce* (Jerzy Boryczka).
18. Rafał Płazewski, 2005, *Ostrość i śnieżność zim w Warszawie w latach 1965-1995* (Urszula Kosowska-Cezak).
19. Małgorzata Maciejak, 2005, *Tendencje zmian wilgotności powietrza w Polsce w latach 1966-1995* ( Maria Stopa-Boryczka).
20. Marta Maciejak, 2005, *Okresowe zmiany ciśnienia atmosferycznego w Warszawie i Krakowie w latach 1966-1995* ( Jerzy Boryczka).
21. \*Katarzyna Kalecińska, 2005, *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Warszawy w XVIII-XX wieku* (Jerzy Boryczka)
22. Przemysław Szaniawski, 2005, *Zmienność temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX wieku* ( Elwira Żmudzka).
23. Karol Styś, 2006, *Tendencje rocznych zmian zachmurzenia w Warszawie i Krakowie w latach 1966-1995* ( Katarzyna Grabowska).
24. Urszula Citko, 2006, *Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce* ( Jolanta Wawer).
25. Andrzej Tomaszewski, 2006, *Rola Oscylacji Północnoatlantyckiej w kształtowaniu opadów atmosferycznych we Wrocławiu w XX wieku* ( Elwira Żmudzka).
26. Ewa Leszczyńska, 2006, *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX – XX wieku (na przykładzie Wrocławia i Marsylii)* (Jerzy Boryczka).
27. Krzysztof Baczyński, 2007, *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Paryżu w XIX i XX wieku* ( Jerzy Boryczka).

28. Aleksandra Wojtczak, 2007, *Wpływ Oscylacji Południowej (ENSO) na wybrane elementy klimatu Australii i pacyficznych wybrzeży Ameryki Południowej* ( Krzysztof Olszewski).
29. Piotr Gieszc, 2008, *Okresowość i tendencje zmian klimatu Arktyki* (Jerzy Boryczka).
30. Hanna Gołdowska, 2008, *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Polsce w XIX - XX wieku* ( Jerzy Boryczka).
31. Michał Łopacki, 2008, *Wpływ aktywności Słońca na okresowe zmiany cyrkulacji atmosferycznej w Europie* ( Jerzy Boryczka).
32. Katarzyna Brakoniecka, 2009, *Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX i XX wieku i ich przyczyny* ( Jerzy Boryczka).
33. Łukasz Pawłowski, 2009, *Okresowe zmiany klimatu Szwecji w ostatnich stuleciach według danych dendrologicznych* (Jerzy Boryczka, Maria Stopa-Boryczka).
34. Grzegorz Maksymiuk, 2009, *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na opady atmosferyczne w Warszawie w latach 1825 -1998* ( Katarzyna Grabowska).

\*) Praca licencjacka

## ZAŁĄCZNIK

Urszula Kossowska-Cezak

### SPIS PUBLIKACJI (1964-2017)

1. Kossowska U., 1964, *Klimat Warszawy w świetle dotychczasowych badań*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 1, s. 35-51.
2. Kossowska U., Ostrowski J., 1964, *Mapy klimatyczne Europy (temperatura w styczniu i lipcu, wiatr, opady, podział klimatyczny, klimatogramy)*. Wielka Encyklopedia Powszechna PWN, t. 3, (z J. Ostrowskim).
3. Kossowska U., 1967, *Wpływ jezior na warunki termiczne i wilgotnościowe (na przykładzie wyników obserwacji w okresie lipca i sierpnia 1962 r.)*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 2, s. 32-61.
4. Stopa M., Kossowska U., 1967, *Różnice wskazań temperatury na psychrometrze Augusta i Assmanna*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 3, s. 51-67.
5. Kossowska U., Młynarska A., 1967. *Mapy klimatyczne Polski (temperatura w styczniu, lipcu i roku, opady, dzielnice klimatyczne)*. Wielka Encyklopedia Powszechna PWN, t. 9
6. Kossowska U., 1969, *Wstawki klimatyczne do haseł geograficznych*, Wielka Encyklopedia Powszechna PWN, t. 3-12, 1963-1969 (nieautoryzowane).
7. Kossowska U., 1970, *Warunki klimatyczne obszaru metropolitalnego Wielkiej Warszawy*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 4, s. 171-175.
8. Kossowska U., 1970, *Osobliwości klimatu wielkomięjskiego na przykładzie Warszawy*, Dokumentacja Geograficzna IG PAN, z. 6, s. 103-108
9. Kossowska U., 1973, *Przebieg roczny temperatury powietrza w Warszawie w różnych okresach obserwacyjnych*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 7, s. 87-96.
10. Kossowska U., 1973, *Osobliwości klimatu wielkomięjskiego na przykładzie Warszawy*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 7, s. 141-185.
11. Kopacz M., Kossowska U., 1973, *Warunki biometeorologiczne w mieście w miesiącach letnich (na przykładzie Warszawy)*, Problemy Uzdrawiskowe, z. 6, s. 119-122.
12. 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 Prezydium Stołecznej Rady Narodowej, Sekcja 4, nr 55, Warszawa, ss. 146.
13. Okołowicz W., Kossowska U., 1974, *Wpływ zieleni osiedlowej na warunki termiczne i wilgotnościowe (na przykładzie dotychczasowych badań w Warszawie)*. Zielen Miejska, z. 1, s. 75-88.
14. Kossowska U., 1975. *Artykuły i hasła do Encyklopedii Warszawy*. PWN: *Klimat. Zanieczyszczenie powietrza*. Merecki R., Warszawa, PWN.
15. Kossowska U., 1976, *Zmiany roczne różnic temperatury powietrza między śródmieściem a peryferiami Warszawy*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 8, s. 113-120.
16. Kossowska U., 1976, *Klimat Warszawy*. Kronika Warszawy, z. 2, s. 17-38.
17. Kossowska U., 1977, *Warunki termiczne Warszawy*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 9, s. 5-38.
18. Kossowska U., 1977, *Klimat miasta i rola zieleni w jego kształtowaniu*, *Roczniki Uniwersytetu Warszawskiego*, R. 17, s. 197-203.
19. Kossowska U., 1978, *Próba określenia wpływu zabudowy miejskiej na wielkość zachmurzenia (na przykładzie Warszawy)*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 10, s. 55-64.
20. Kossowska U., 1978, *Wpływ dużego kompleksu zieleni miejskiej na warunki termiczno-wilgotnościowe (na przykładzie warszawskiego Ogrodu Zoologicznego)*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 11, s. 11-35.
21. Kossowska U., 1980, *Klimatotwórcza rola parków miejskich*, *Acta Universitatis Lodzensis, Nauki Mat.-Przyr.*, seria II, z. 28, s. 121-131.
22. Kossowska U., 1981, *Zmienność temperatury powietrza jako wskaźnik bodźcowości klimatu*, *Problemy Uzdrawiskowe*, nr 1-4.
23. Kossowska U., 1981, *Pory roku (o klimacie Polski)*, *Ziemia 1978*, wyd. Kraj, Warszawa, s. 93-102.
24. Kossowska U., Kopacz-Lembowicz M., Lenart W., Martyn D., Olszewski K., 1981, *Przewodnik do ćwiczeń z meteorologii i klimatologii dla studentów geografii*. Wyd. UW, ss. 213.
25. Kossowska U., 1982, *Duże zmiany temperatury z dnia na dzień w Polsce*, *Prz. Geof.*, z. 3-4, s. 197-214.
26. Kossowska U., 1982, *O pokrywie śnieżnej w Polsce*. „*Ziemia 1979*”, wyd. Kraj, Warszawa, s. 86-92.
27. Kossowska-Cezak U., Martyn D., 1982, *Wpływ charakteru podłoża na warunki termiczno-wilgotnościowe w Ciechanowie*. „*Zapiski Ciechanowskie*”, nr 4, s. 127-139.

28. Kossowska -Cezak U., 1983, *Wpływ zieleni miejskiej na warunki termiczno-wilgotnościowe*, Prace i Studia Geogr., t. 4, s. 55-67.
29. Kossowska-Cezak, U., 1983, *Wiatr, wietrzyk czy zły duch? (O wiatrach w Polsce)*, Ziemia 1981, wyd. Kraj, Warszawa, s. 68-74.
30. Kossowska-Cezak, U., 1984, *Przebieg roczny temperatury i zmienność temperatury z dnia na dzień w Warszawie*. Materiały sympozjum naukowego *Udział nauki polskiej w Światowym Programie Klimatycznym*, Skierniewice, maj, s. 59-60.
31. Kossowska-Cezak, U., 1984, *Climate of the Biebrza ice-marginal valley*, Polish Ecological Studies, t. 10, nr 3-4.
32. Kopacz M., Kossowska-Cezak, U., Martyn D., Olszewski K., 1984, *Wpływ zieleni miejskiej na klimat lokalny*. [w:] *Wpływ zieleni na kształtowanie środowiska miejskiego*. PWN, Warszawa, s. 61-78
33. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Kossowska-Cezak U., Mierzwiński B., Wawer J., 1986, *Deformacja pól elementów meteorologicznych pod wpływem zabudowy*. [w:] *Materiały I Sesji Naukowej INFG*, Warszawa, s. 137-142
34. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Kossowska-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. UŁ, Łódź, 22-24 X 1984 r., s. 29-35.
35. Kossowska-Cezak, U., 1985, *Co nam przynioszą chmury? (O zachmurzeniu i opadach w Polsce)*, Ziemia 1982, Wyd. Kraj, Warszawa, s. 57-68.
36. Kossowska-Cezak U., 1986, *Variations de la température du jour au lendemain par rapport à la circulation atmosphérique*. *Miscellanea Geographica*, vol. 2, Wyd. UW, 1986, s. 85-89.
37. Kossowska-Cezak U., 1986, *Nad jezioro czy do lasu? (Klimat lokalny i jego uwarunkowania)*, Ziemia 1983, Wyd. Kraj, Warszawa, s. 79-84.
38. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Kossowska-Cezak, U., Mierzwiński B. Wawer J., 1986, *Deformacja pól elementów meteorologicznych pod wpływem zabudowy*. *Materiały I Sesji Naukowej INFG*, Warszaw, s.137-142.
39. Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Kossowska-Cezak, U., Mierzwiński B. Wawer J., 1986, *Deformation of fields of meteorological elements under the influence of buildings*. „*Miscellanea Geographica*”, vol. 2, s. 91-102
40. 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
41. Kossowska-Cezak U., 1987, *Duże zmiany temperatury powietrza z dnia na dzień a cyrkulacja atmosferyczna*, *Prz. Geofizyczny*, z. 3, s. 289-302.
42. Kossowska-Cezak U., 1987, *Warunki występowania dużych zmian temperatury z dnia na dzień w Polsce w okresie zimowym*. *Materiały sesji Ekstremalne zjawiska hydrologiczno-meteorologiczne i możliwości ich prognozowania*, Kraków 7-9 X, s. 32-35.
43. Kossowska-Cezak U., 1988, *L'influence de l'habitat urbain sur la variabilité de la température du jour au lendemain*, *Miscellanea Geographica*, vol. 3, 1986, Wyd. UW, s. 145-151.
44. Kossowska-Cezak U., 1988, *Zmienność temperatury z dnia na dzień w warunkach miejskich*, *Prz. Geof.*, z. 4, s. 429-439.
45. Kaczorowska Z., Kossowska-Cezak U., 1988, *Początki i rozwój klimatologii w Uniwersytecie Warszawskim*. *Prz. Geof.*, t. 53, z. 4, s. 461-471.
46. Kossowska-Cezak U., Mikulski Z., 1989, *Jan Walery Jędrzejewicz i jego obserwatorium w Płońsku*. *Prze. Geof.* t. 54, z. 3, s. 313-319.
47. Kossowska-Cezak U. 1989, *Romuald Merecki i jego Klimatologia ziem polskich*, *Prz. Geof.*, z. 4, s. 463-471.
48. Kossowska-Cezak U., 1989, *Ciepło...Zimno..., czyli o temperaturze powietrza w Polsce*, Ziemia 1984, Wyd. Kraj, Warszawa, s. 67-73.
49. Kossowska-Cezak U., Przybylska G., Olszewski K., 1991, *Klimat Kotliny Biebrzańskiej*, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, nr 372, s. 119-160
50. Kossowska-Cezak U., *Tomasz Stanecki i sieć meteorologiczna Wydziału Krajowego we Lwowie*, *Prz. Geof.*, z. 2, s. 141-146.
51. Kossowska-Cezak U., 1991, *O języku prac naukowych*, *Prz. Geof.* z. 2, s. 155-160.
52. Kaczorowska Z., Kossowska-Cezak U., 1992, *Klimatologia na studiach geograficznych w Uniwersytecie Warszawskim. (1918-1977)*. *Prace i Studia Geogr.*, t. 11, s. 719
53. Kossowska-Cezak U., 1992, *Wpływ zabudowy miejskiej na zmienność temperatury z dnia na dzień*, *Prace i Studia Geogr.*, t. 11, s. 95-114.
54. Kossowska-Cezak U., 1992, *The thermal and precipitation conditions of the summer months and seasons in Warsaw*, *Miscellanea Geographica*, vol. 5, Wyd. UW, s. 59-63.

55. Kossowska-Cezak U., 1992, *Warunki termiczno-opadowe miesięcy i sezonów letnich w Warszawie*, Gazeta Obserwatora IMGW, nr 4-6.
56. Kossowska-Cezak U., 1993, *Lato 1992 w Polsce na tle sezonów letnich ostatnich 120 lat*, Prz. Geof., z. 1, s. 67-74.
57. Kossowska-Cezak U., 1993, *O warunkach termicznych i opadowych miesięcy i sezonów letnich w Warszawie – raz jeszcze*, Gazeta Obserwatora IMGW, nr 2-3.
58. Kossowska-Cezak U., 1993, *Okresy z niedostatkami opadów w okresie 120-lecia 1871-1990 (na przykładzie Warszawy)*, Prz. Geof., z. 3-4, s. 213-222.
59. Kossowska-Cezak U., 1993, *Zmienność temperatury z dnia na dzień w Polsce*, Gazeta Obserwatora IMGW, nr 6.
60. Kossowska-Cezak U., 1994, *O monsunie europejskim*, Prz. Geof., z. 1, s. 65-73.
61. Kossowska-Cezak U., *Periods with precipitation shortage in Warsaw in the years 1871-1990*, Miscellanea Geographica, vol. 6, Wyd. UW, s. 103-107.
62. Kossowska-Cezak U., 1994, *Nauczanie o pogodzie i klimacie na poziomie szkolnym*. Materiały sympozjum *Problemy nauczania meteorologii w szkołach wyższych*, Łódź, listopad.
63. Kossowska-Cezak U., 1994, *Język tekstów naukowych (z doświadczeń redakcyjnych)*, [w:] *Polszczyzna i Polacy u schyłku XX wieku*. Komisja Kultury Słowa TNW, Warszawa, s. 239-244.
64. Kossowska-Cezak U., 1995, *Lato w Polsce na tle sezonów letnich ostatnich 120 lat*. Materiały konferencji *Klimat i bioklimat miast*, Wyd. UL, Łódź, s. 163-167.
65. Kossowska-Cezak U., 1996, *Monthly thermal and precipitation anomalies in Warsaw and their causes*, Miscellanea Geographica, vol. 7, Wyd. UW, s. 71-76.
66. Kossowska-Cezak U., 1996, *Miesięczne anomalie termiczno-opadowe w Warszawie i ich przyczyny*, 45 Zjazd PTG, wystąpienia. Słupsk-Ustka, wrzesień, s. 165-167.
67. Kossowska-Cezak U., 1996, *Średnie odchylenia temperatur ekstremalnych powietrza od wartości zmierzonych na Okęciu (°C) – okres chłodny XI-III (1) i okres ciepły V-IX (2) (na podstawie wybranych danych z lat 1951-1980)*. Atlas Warszawy, zeszyt 4, Środowisko fizycznogeograficzne – niektóre zagadnienia, PAN, IGIPIZ, Warszawa, s. 28 i 29.
68. Kossowska-Cezak U., 1997, *Miesięczne warunki termiczno-opadowe i ich zależność od cyrkulacji atmosferycznej*, Prace i Studia Geogr., t. 20, s. 125-144.
69. Kossowska-Cezak U., 1997, *Wpływ rozwoju terytorialnego Warszawy na warunki termiczne*, III Ogólnopolska konferencja *Klimat i bioklimat miast*, Łódź, 22-24 X. Streszczenia referatów, s. 16.
70. Kossowska-Cezak U., 1997, Nurzyńska M., *Zależność warunków wiatrowych w Warszawie od typu cyrkulacji atmosferycznej*, III Ogólnopolska konferencja *Klimat i bioklimat miast*, Łódź, 22-24 X. Streszczenia referatów, s. 74-75.
71. Kossowska-Cezak U., Bareja P., 1997, *Wpływ zabudowy miejskiej na kierunki i prędkość wiatru*. III Ogólnopolska konferencja *Klimat i bioklimat miast*, Łódź, 22-24 X. Streszczenia referatów, s. 75-76.
72. Kossowska-Cezak U., Mrugała Sz., 1997, *Występowanie okresów z opadami atmosferycznymi o anomalnej wysokości (na przykładzie Warszawy i Lublina)*. Sympozjum jubileuszowe 50 lat PTGeof. *Ekstremalne zjawiska meteorologiczne, hydrologiczne i oceanograficzne*, Warszawa, 12-14 XI, s. 54-57.
73. Kossowska-Cezak U., 1997, *Wstęp do meteorologii i klimatologii*. WGiSR, Warszawa, s. 74.
74. Kossowska-Cezak U., 1998, *The thermal and precipitation conditions during the winter seasons in Poland*, Miscellanea Geographica, vol. 8, Wyd. UW, s. 115-122.
75. Kossowska-Cezak U., 1998, *Wpływ rozwoju terytorialnego Warszawy na warunki termiczne*, Acta Universitatis Lodziensis, Folia Geographica Physica, 3, s. 51-57.
76. Kossowska-Cezak U., Nurzyńska M., 1998, *Zależność warunków wiatrowych w rejonie Warszawy-Okęcia od typu cyrkulacji atmosferycznej*, Acta Universitatis Lodziensis, Folia Geographica Physica, 3, s. 459-461.
77. Kossowska-Cezak U., Bareja P., 1998, *Wpływ zabudowy miejskiej Warszawy na kierunek i prędkość wiatru*, Acta Universitatis Lodziensis, Folia Geographica Physica, 3, s. 463-465.
78. Kossowska-Cezak U., 1998, *O języku prac naukowych raz jeszcze*, Prz. Geof., z. 3-4, s. 221-224.
79. Kossowska-Cezak U., 1998, *Wstęp do meteorologii i klimatologii (wydanie poprawione i rozszerzone)*. WGiSR, Warszawa.
80. Kossowska-Cezak U., Mrugała Sz., 1999, *Opady atmosferyczne o anomalnej wysokości (na przykładzie Warszawy i Lublina)*, Prz. Geof., z. 1-2, s. 39-51.
81. Kossowska-Cezak U., 1999, *Niedostatek i nadmiar opadów – uwagi metodyczne*. Materiały sesji naukowej *Niedobory i nadmiary opadów w ostatnim 30-leciu, ich przyczyny i skutki*, Warszawa, 25-26 października, s. 7-10.
82. Kossowska-Cezak U., Martyn D., Olszewski K., Kopacz-Lembowicz M., 2000, *Meteorologia i klimatologia. Pomiar – obserwacje – opracowania*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa-Łódź, ss. 260.
83. Kossowska-Cezak U., 2000, *Uwagi o języku i meteorologii i klimatologii*, Geografia w Szkole, nr 1, s. 3-9.
84. Kossowska-Cezak U., 2000, *Wstęp do meteorologii i klimatologii. Wydanie trzecie poprawione i poszerzone*. WGiSR, Warszawa, s. 80.
85. Kossowska-Cezak U., 2000, *The differences of temperature between the downtown and the peripheries of Warsaw in years 1933-1998*, Miscellanea Geographica, vol. 9, Wyd. UW, s. 53-57.

86. Kossowska-Cezak U., 2000, *Zakład Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego (1951-2000)*, Prace i Studia Geogr., t. 28, s. 17-31.
87. Kossowska-Cezak U., 2001, *Wspomnienia specjalizantki z lat 1959-1961*, Prace i Studia Geogr., t. 28, s. 308-310.
88. Kossowska-Cezak U., *Specjalizacja z klimatologii dziś*, Prace i Studia Geogr., t. 28, s. 311-313
89. Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2001, *Wkład Zakładu Klimatologii w badania klimatu Warszawy*, [w:] Prace i Studia Geogr., t. 28, Wyd. UW, Warszawa, s. 169-178.
90. Kossowska-Cezak U., 2001, *Kształcenie klimatologów w Uniwersytecie Warszawskim*, [w:] Prace i Studia Geogr., t. 29, Wyd. UW, Warszawa, s.47-52.
91. Kossowska-Cezak U., 2001, *Miesięczne i sezonowe anomalie temperatury i opadów – metody wyznaczania i częstość występowania*, [w:] Annales Universitatis M Curie-Skłodowska – sectio B – Geographia, Geologia, Mineralogia et Petrographia, t. LV/LVI, Nr 23 Wyd. UMCS, Lublin, s. 189-194
92. Kossowska-Cezak U., 2002, *Zmiany różnicy temperatury powietrza między śródmieściem a peryferiami Warszawy od 1933 do 2000 rok.*, Prz. Geof., z. 3-4.
93. Kossowska-Cezak U., 2002, *Anomalous months and seasons in terms of temperature and precipitation in the second half of the 20<sup>th</sup> century in Warsaw*, Miscellanea Geographica, vol. 10, s.131-138.
94. Kossowska-Cezak U., 2002, *Zmienność temperatury powietrza z dnia na dzień w Polsce*, Balneologia Polska, t. XLIII, Nr 3-4 , s. 85-91
95. Kossowska-Cezak U., 2003, *Współczesne ocieplenie a codzienne wartości temperatury średniej dobowej*, [w:] *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne*, Materiały III Konferencji Naukowej, 8-9 XII 2003, IMGW, Warszawa.
96. Kossowska-Cezak U., 2003, *Współczesne ocieplenie a częstość dni charakterystycznych*, Balneologia Polska, t.45, Nr 1-2, s. 92-100.
97. Kossowska-Cezak U., 2003, *The abrupt temperature increases and decreases in Warsaw in the second half of the 20<sup>th</sup> century*, [w:] M. Stopa-Boryczka (red.), *Studies on the climate of Warsaw*, Wyd. WGSR UW, Warszawa, s. 51-60..
98. Kossowska-Cezak U., 2003, *Uwarunkowania cyrkulacyjne dużych zmian temperatury z dnia na dzień w Warszawie*. [w:] *Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych*, Prace Geogr., nr 188, IGiPZ PAN.
99. Kossowska-Cezak U., Mikulski Z., 2003, *Jacka Krusińskiego Rozprawa o dostrzeżeniach meteorologicznych z 1803 r.*, Prz. Geof., nr 3-4.
100. Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2003, *The contribution of the Department of Climatology to the study of the climate of Warsaw*, [w:] M. Stopa-Boryczka (red.), *Studies on the climate of Warsaw*, Wyd. WGSR UW, Warszawa, s. 13-24.
101. Kopacz-Lembowicz M., Kossowska-Cezak U., Martyn D., Olszewski K., 2003, *The influence of urban greenery on local climate*, [w:] M. Stopa-Boryczka (red.), *Studies on the climate of Warsaw*. Wyd. WGSR UW, Warszawa, s. 111-129.
102. Żmudzka E., Kossowska-Cezak U., Dobrowolska M., *Circulation's requirements of the urban heat island variations in Warsaw*, [w:] K. Kłysik, T. Oke, K. Fortuniak, S; Grimmond, J. Wibig (red.), *Proceedings*, t. 1, 5th International Conference on Urban Climate, 1-5 IX 2003, Łódź.
103. Kossowska-Cezak U., Bocheński J., 2004, *Ciśnienie atmosferyczne w środkowej Polsce a typy cyrkulacji atmosferycznej B. Osuchowskiej-Klein*. Wiadomości IMGW, t. 27, nr 2, s. 17-26..
104. Kossowska-Cezak U., 2004, *Contemporary warming and daily values of temperature (on example of Warsaw)*, Miscellanea Geographica, vol.11, s. 119-126.
105. Kossowska-Cezak U., 2004, *Porozmawiajmy o monsunie europejskim*. Gazeta Obserwatora IMGW, nr 5, s. 20-22.
106. 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, s. 64-69
107. Kossowska-Cezak U., 2005, *Warunki odczucia ciepłego określone na podstawie temperatury średniej dobowej (na przykładzie Warszawy)*. Balneologia Polska, t.47, nr 1-2 , s. 49-55.
108. Kossowska-Cezak U., 2005, *Zmiany termicznych pór roku w Warszawie w okresie 1933-2004*. Prz. Geof., t. 50, nr 3-4, s. 265-277.
109. Kossowska-Cezak U., 2005, *Porozmawiajmy o izotermie*, Gazeta Obserwatora IMGW, nr 6 , s. 20-23
110. Kossowska-Cezak U., 2006, *Hasła w zakresie meteorologii i klimatologii*. Encyklopedia szkolna WSiP, Geografia, Warszawa
111. Kossowska-Cezak U., 2006, *Changes of the thermic seasons in Warsaw in the period 1933-2004*, Miscellanea Geographica, vol. 12, s. 87-94.
112. Kossowska-Cezak U., 2006. *Porozmawiajmy o... ciśnieniu atmosferycznym*. Gazeta Obserwatora IMGW, nr 2, s. 23-27.

113. Kossowska-Cezak U., 2006, *Zmiany termicznych pór roku w Warszawie w latach 1933-2004*. [W:] Materiały Zakładu Klimatologii WGiSR z X Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS (3 VI 2006), WGiSR, Warszawa, s. 55-60 (skrót poz. 114).
114. Kossowska-Cezak U., Skrzypczuk J., 2006, *Termiczne pory roku w Warszawie w latach 1951-2005*. [W:] Materiały Zakładu Klimatologii WGiSR z X Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS (3 VI 2006), WGiSR UW, Warszawa, s. 61-62
115. Kossowska-Cezak U., 2007, *Podstawy meteorologii i klimatologii*, Wyd. Szkoły Przymierza Rodzin, Warszawa, ss.179.
116. Kossowska-Cezak U., 2007, *Klimat Polski. Uwarunkowania fizycznogeograficzne i charakterystyka*. [W:] Materiały Zakładu Klimatologii WGiSR z XI Pikniku Naukowego Radia BIS (25 V 2007). WGiSR UW, Warszawa, s. 75-85 (Przedruk rozdziału z poz.118)
117. Wasilewski T., Kossowska-Cezak U., 2008, *Warunki synoptyczne występowania dużych zmian ciśnienia atmosferycznego i temperatury powietrza w Warszawie w latach 1986-1995*. [W:] Materiały Zakładu Klimatologii WGiSR UW na XII Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS (16 VI 2008). WGiSR UW., Warszawa, s. 74-77.
118. Kossowska-Cezak U., 2008, *Stratyfikacja temperatury powietrza w warstwie do 130 m nad poziomem podłoża w śródmieściu Warszawy (na podstawie badań otoczenia Pałacu Kultury i Nauki w 1960 r.). Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce, t. XXII, Wpływ zabudowy i zieleni osiedlowej na różnicowanie klimatu lokalnego w Warszawie*, Wyd. UW, s. 221-224
119. Kossowska-Cezak U., Bajkiewicz-Grabowska E., 2008, *Podstawy hydrometeorologii*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, ss. 253.
120. Kossowska-Cezak U., Maj S., Mikulski Z., 2009, *Biogramy geofizyków polskich*. [W:] Polskie Towarzystwo Geofizyczne 1947-2007. PTGeof./IMGW, Warszawa, s. 109-136.
121. Kossowska-Cezak U., 2009, *Warunki termiczne i opadowe w Warszawie w świetle serii obserwacyjnej z Okęcia (1947-2008)*. Zeszyty Naukowe Szkoły Wyższej Przymierza Rodzin w Warszawie, Seria Geograficzno-Turystyczna, nr 2., Warszawa, s. 29-48.
122. Kossowska-Cezak U., 2009, *Wojciech Jastrzębowski i jego „Karta Meteorograficzna ...”*. Rocznik Towarzystwa Naukowego Warszawskiego, t.71, 2008, Warszawa, s. 93-99.
123. Kossowska-Cezak U., 2010, *Fale upałów i okresy upalne – metody wyróżniania i wyniki zastosowania*. Prace Geograficzne, z. 123, IGI GP UJ, Kraków, s. 143-149.
124. Kossowska-Cezak U., 2010, *Występowanie pogody gorącej w Warszawie (1951-2009)*. Prz. Geof., t. 55, nr 1-2, s. 61-75.
125. Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2010, *Wkład Zakładu Klimatologii w badania klimatu Warszawy*, [W:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXIV, *Klimat Warszawy i miejscowości strefy podmiejskiej*, Wyd. UW, Warszawa, s. 13-25 (rozszerzona wersja pozycji 85).
126. Kossowska-Cezak U., Skrzypczuk J., 2010, *Zmiany warunków termicznych i opadowych w Warszawie określone na podstawie powojennej serii obserwacyjnej z Okęcia (1947-2009)*, [W:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXV, Wyd. UW, Warszawa, s. 363-386.
127. Kossowska-Cezak U., 2010, *O pogodzie upalnej w Warszawie raz jeszcze*. Prz. Geof., t. 55, nr 3-4, s. 205-208.
128. Kossowska-Cezak U., 2011, *Warunki termiczne i długość zim w Warszawie (1932/33-2009/10)*, Zeszyty Naukowe Szkoły Wyższej Przymierza Rodzin, seria Geograficzno-Turystyczna, nr 3, zeszyt 4, Warszawa, s. 31-44.
129. Kossowska-Cezak U., 2011, *Eugeniusz Romer – w 140. rocznicę urodzin*. Przegląd Geofizyczny, t. 56, nr 1-2, s. 111-121.
130. Kossowska-Cezak U., Skrzypczuk J., 2011, *Pogoda upalna w Warszawie (1947-2010)*, Prace i Studia Geograficzne, t. 47, *Badania klimatu w różnych skalach przestrzennych*, WGiSR UW, Warszawa, s. 139-146.
131. 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*, vol. 15, 103-114
132. 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. t. 56, nr 3-4, 181-200.
133. Kossowska-Cezak U., Skrzypczuk J., 2012, *Zmiany roczne i wieloletnie opadów atmosferycznych we wschodniej części Niziny Mazowieckiej (na przykładzie Warszawy-Okęcia i Siedlec)*, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXVI-XXVII. *Z badań klimatu Mazowsza (z uwzględnieniem większych miast)*, Wyd. UW, Warszawa, s. 540-559.
134. 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, nr. 2, s. 16-22.



135. Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2012, Exceptionally hot summers in Central and Eastern Europe (1951-2010). Global Conference on Global Warming 2012. Book of Abstract, July 8-12, 2012, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.
136. Kossowska-Cezak, U., Twardosz R., 2012, *Niezwykłe gorące miesiące i sezony letnie w Europie Środkowej i Wschodniej (1951-2010)*. Cz. I. *Niezwykłe gorące miesiące letnie*. Prz. Geof., 3-4, 299-324.
137. Kossowska-Cezak, U., Twardosz R., 2012, *Niezwykłe gorące miesiące i sezony letnie w Europie Środkowej i Wschodniej (1951-2010)*. Cz. II. *Niezwykłe gorące sezony letnie*. Prz. Geof., 3-4, 325-342.
138. Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2012, *Weryfikacja prognoz okresowych zmian klimatu Warszawy w latach 1779-2010*, Prz. Geof., LVII, 3-4, 325-362.
139. 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.
140. Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2013, *Exceptionally hot summers in Central and Eastern Europe (1951-2010)*. Theoretical and Applied. Climatology, nr 112, s. 617-628.
141. Kossowska-Cezak U., 2013, *Nadmiary i niedostaki opadów atmosferycznych we wschodniej części Niziny Mazowieckiej (na przykładzie Warszawy-Okęcia i Siedlec)*. Zeszyty Naukowe Szkoły Wyższej Przymierza Rodzin, seria Geograficzno-Turystyczna, nr 5, zeszyt 9, s. 9-42.
142. Kossowska-Cezak, U., Twardosz R., 2013, *Niezwykłe chłodne sezony letnie w Europie Środkowej i Wschodniej (1951-2010)*. Prz. Geof., t. 58, nr 1-2, s. 25-39.
143. Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2013, *Niezwykłe anomalie termiczne w strefie klimatu podbiegunowego obszaru Atlantycko-Europejskiego*, Problemy Klimatologii Polarnej nr 23, s. 93-105.
144. Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2013, *Exceptionally hot summers months in Central and Eastern Europe during the years 1951-2010*. [W:] *Causes, Impacts and Solutions to Global Warming* (red. I. Dincer I in.), Springer Science + Business Media, New York, s. 17-35.
145. Kossowska-Cezak U., Przybylska G., Olszewski K., 2013, *Klimat Kotliny Biebrzańskiej*, [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXX, *Klimat północno wschodniej Polski według podziału fizycznogeograficznego J. Kondrackiego i J. Ostrowskiego* Wyd. UW, Warszawa, s. 240-275 (wersja poprawiona pozycji 48)
146. Kossowska-Cezak U., 2014, *Zmiany wieloletnie liczby termicznych dni charakterystycznych w Warszawie (1951-2010)*. Prace Geograficzne UJ, zeszyt 136, Kraków, s. 7-28.
147. Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2014, *Zmiany wieloletnie średniej dobowej temperatury powietrza w Warszawie (1947-2013)*, Prz. Geof., t. 59, nr 3-4, s. 127-139.
148. Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2014, Exceptionally hot and cold summers in Europe (1951-2010). The 5th Global Conference on Global Warming, May 25-29, 2014, Peking University. Abstracts of Invited and Ordinary Lectures, s. 50.
149. 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. WGRS UW ss. 67-95.
150. Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2014, *Skrajności termiczne w klimacie Warszawy (1947-2013)*, Prace i Studia Geogr., Wyd. WGRS UW, t. 56 s. 119-145
151. Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2015, Extremely cold summers months in Central and Eastern Europe, 1951-2010. Nat. Hazards 75, 2013-2026.
152. Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2015, *Exceptionally hot and cold summers in Europe (1951-2010)*. Acta Geoph., t. 63, nr 1, s. 275-300.
153. 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. UW, s. 310-340.
154. Boryczka J. Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2015, *Zależność przebiegu rocznego temperatury powietrza od aktywności Słońca (na przykładzie Warszawy (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. UW, s. 363-375.
155. 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. UW, s. 376-388.
156. Boryczka J. Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2015, *Prognozy okresowych zmian temperatury powietrza w Europie w XX-XXI wieku i ich weryfikacja*, Prz. Geof. t. 60, z. 3-4, s. 133-161.
157. Kossowska-Cezak U., Twardosz R., 2015, *Niezwykłe zimne zimy i niezwykle gorące lata w Europie (1951-2010)*, Prz. Geof., t. 60, z. 3-4, s. 163-187.

158. Kossowska-Cezak U., 2015, 100 lat „Klimatologii ziem polskich” Romualda Mereckiego. *Prz. Geof.*, t. 60, z. 3-4, s. 237-243
159. Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2016, Exceptionally cold and mild winters in Europe (1951-2010). *Theoretical and Applied Climatology*, nr 125, s. 399-411.
160. Kossowska-Cezak U., Pelech S., Twardosz R., 2016, *Niezwykłe zimne miesiące zimowe w Europie (1951-2010)*, *Prz. Geof.*, t. 61, z. 3-4, s. 45-72.
161. Kossowska-Cezak U., 2016, *Ekstremalne maksimum czyli arogancja ignorancji*. *Prz. Geof.* t. 61, z. 1-2, s. 109-115.
162. Kossowska-Cezak U., Twardosz R., 2016, *Zależność liczby niezwykle zimnych i niezwykle ciepłych miesięcy w Europie (1951-2010) od liczby uwzględnionych stacji meteorologicznych*. *Prz. Geof.* t. 61, nr 3-4.
163. Kossowska-Cezak U., Twardosz R., Pelech S., 2016, *Extremely cold Winter months in Europe (1951-2010)*, *Acta Geophysica*, t. 64, s. 2609-2629.
164. Kossowska-Cezak U., Twardosz R., 2017, *Anomalie termiczne w Europie (1951-2010)*. IGiP UJ, Kraków, ss.183.
165. Kossowska-Cezak U., Twardosz R., 2017, *Współczesne anomalie termiczne na historycznych ziemiach polskich*, *Prz. Geof.* (w druku).

### Recenzje, notatki

1. *Sprawozdanie z działalności PTG w roku 1978*, *Czasopismo Geogr.*, 1979, z. 3, s. 265-275.
2. *Sprawozdanie z działalności PTG w roku 1979*, *Czasopismo Geogr.*, 1980, z. 3, s. 349-362.
3. *Kenneth Charles Edwards*, *Czasopismo Geogr.* 1980, z. 2, s. 249-250.
4. *Walne Zgromadzenie Delegatów Polskiego Towarzystwa Geofizycznego (Warszawa, 19 VI 1980 r.)*, *Prz. Geof.*, 1980, z. 3-4, s. 359-361.
5. *Sprawozdanie z działalności PTG w roku 1980*, *Czasopismo Geogr.*, 1981, z. 4, s. 473-484.
6. *VII Zjazd Towarzystwa Geogr.zo ZSRR*, *Czasopismo Geogr.*, 1981, z. 4, s. 484-486.
7. *Eecourrou G. Climat et environnement*, *Prz. Geof.*, 1983, z. 1, s. 130-132
8. *I Sesja Naukowa Instytutu Nauk Fizycznogeograficznych UW*, *Prz. Geof.*, 1987, z. 2, s. 212-214.
9. *Climat and agricultural land use in Monsoon Asia*, *Prz. Geof.*, 1987, z. 4, s. 485-488.
10. Mengelsen. R., *Praktische Wetterkunde*, *Prz. Geof.*, 1987, z. 4, s. 490.
11. Busch P., *Klimatologie*, *Prz. Geof.*, 1988, z. 1, s. 99-100.
12. Jungfer E., *Einführung in die Klimatologie*, *Prz. Geof.*, 1988, z. 2, s. 208-209.
13. Chandler T. J., *Modern meteorology and climatology*, *Prz. Geof.*, 1988, z. 3, s. 363-364.
14. Gates E. S., *Meteorology and climatology*, *Prz. Geof.*, 1988, z. 3, s. 364-366.
15. Walch D., *Wetterkunde*, *Prz. Geof.*, 1988, z. 3, s. 366.
16. Körber H.-G., *Vom Wetteraberglauben zur Wetterforschung*, *Prz. Geof.*, 1989, z. 1, s. 500-502.
17. Alexandersson H., Holmgren B. (red.) *Climatological extremes in the mountains*, *Prz. Geof.*, 1989, z. 1, s. 106-108.
18. Herman R. J., Goldberg R. A. *Sun, weather and climate*, *Prz. Geof.*, 1989, z. 2, s. 229-230.
19. Rocznik K. *Wetter und Klima in Deutschland*, *Prz. Geof.*, 1989, z. 2, s. 235.
20. *Walne Zgromadzenie Polskiego Towarzystwa Geofizycznego. (Warszawa, 18 X 1988 r.)*, *Prz. Geof.*, 1989, z. 3, s. 359-361.
21. *The Gaia atlas of planet management*, *Prz. Geof.*, 1989, z. 3, s. 391-393.
22. *Współczesne kierunki ostony meteorologicznej i hydrologicznej – Ogólnopolskie sympozjum naukowe (Kiekrz, 5-9 XII 1988 r.)*, *Prz. Geof.*, 1989, z. 4, s. 499-500.
23. Kington J. *The weather of the 1780s over Europe*, *Prz. Geof.*, 1989, z. 4, s. 506-508.
24. Schulze-Neuhoff H. *Das ungewöhnliche Wetterbuch*, *Prz. Geof.*, 1989, z. 4, s. 509-510.
25. Hardmann J. *Das Tropenklima*, *Prz. Geof.*, 1989, z. 4, s. 511-512.
26. Bender H.-U., Kummerle U., Ruhren von der N., Thierer M., Wiellert W. *Landshaftszonen*, *Czasopismo Geogr.*, 1989 z. 22, s. 212-213.
27. Wildegger R. *Praktisches Wetterlexikon*, *Gazeta Obserwatora IMGW*, 1988, nr 1-6 (wyd. 1990).
28. Uman M. *All about lightning*, *Wiadomości IMGW*, 1987, z. 4, s. 129-130 (wyd. 1990).
29. De Bont W. *Wolkonatl*, *Prz. Geof.*, 1990, z. 1-2, s. 130-131.
30. *Wetter und Wind ändern sich geschwind*, *Prz. Geof.*, 1990, z. 1-2, s. 131-132.
31. Hemming D. *Atlas of the surface heat balance of the continents*, *Prz. Geof.*, 1990, z. 3-4, s. 274-276.
32. *Meteorology source book*, *Prz. Geof.*, 1990, z. 3-4, s. 279.
33. Weischet W. *Einführung in die allgemeine Klimatologie*, *Prz. Geof.*, 1990, z. 3-4, s. 279-281.
34. Day R. A. *How to write and publish scientific paper*, *Prz. Geof.*, 1990, z. 3-4, s. 305-306.

35. *Meteorologia a ochrona środowiska – ogólnopolska sesja naukowa*, Prz. Geof., 1991, z. 1, s. 77-78.
36. *Climatic Atlas Climatigue – Canada*, Prz. Geof., 1991, z. 1, s. 79-80.
37. Busch P. Kuttler W. *Klimatologie*, Prz. Geof., 1991, z. 2, s. 179-180.
38. *Forty years of progress and achievement*, Prz. Geof., 1991, z. 3, s. 275.
39. Armberger E. I H. *Die tropische Inseln des Indischen und Pazifischen Ozeans*, Czasopismo Geogr., 1991, z. 4, s. 377.
40. *Das Klima von Berlin*, Prz. Geof., 1991, z. 4, s. 358.
41. Roth G. D. *Wetterkunde für alle*, Prz. Geof., 1991, z. 4, s. 359-360.
42. Banfield E. *1. Antigue barometers. An illustrated survey. 2. Barometers: Stick or cistern tube. 3. Barometers: Wheel or banjo. 4. Barometers: Aneroid and barographs*, Prz. Geof., 1991, z. 4, s. 361-362.
43. Collins P. R. *Care and restoration of barometers*, Prz. Geof., 1991, z. 4, s. 362.
44. Bradbury T. *Meteorology and flight*, Gazeta Obserwatora IMGW, 1992, nr 1-3, s. XXX.
45. *Telleconnections linking worldwide climate anomaliens. Scientific and societal impact*, Prz. Geof., 1992, z. 3-4, s. 249-250.
46. Armtz W. E., Fahrbach E. *El Niño. Klimaexperiment der Natur*, Prz. Geof., 1992, z. 3-4, s. 250-251.
47. Hackel H. *Meteorologie*, Prz. Geof., 1992, z. 3-4, s. 251.
48. Kuhn M. (red.) *Föhnstudion*, Prz. Geof., 1992, z. 3-4, s. 252.
49. *Walne Zgromadzenie Polskiego Towarzystwa Geofizycznego (Warszawa, 23 IX 1992 r.)*, Prz. Geof., z. 1, s. 87-89.
50. *Meyers Kleines Lexikon. Meteorologie*, Prz. Geof., 1993, z. 1, s. 93-94.
51. Banfield E. *Barometer makers and retailers, 1660-1900*, Prz. Geof., 1993, z. 1, s. 94-95.
52. Banfield E. *1. Antigue barometers. An illustrated survey. 2. Barometers: Stick or cistern tube. 3. Barometers: Wheel or banjo. 4. Barometers: Aneroid and barographs. 5. Barometer makers and retailers*, Kwartalnik Historii Nauki i Techniki, 1993, z. 1.
53. *Climate change: science, impact and policy. Proceedings of the Second World Climate Conference*, Prz. Geof., 1993, z. 2, s. 190-191.
54. *Glossary – Climate change*, Prz. Geof., 1993, z. 2, s. 191.
55. *Meteorological Calendar*, Prz. Geof., 1993, z. 2, s. 203.
56. Rowland-Endwistle T. *Wolken, Wind und Wetter*, Gazeta Obserwatora IMGW, 1993, nr 1.
57. Walter H. *Vegetation und Klimazonen*, Czasopismo Geogr., 1993, z. 2, s. 223.
58. Weischet W. *Einführung in die allgemeine Klimatologie*, Prz. Geof., 1993, z. 3-4, s. 329-330.
59. Fierro A. *Histoire de la météorologie*, Prz. Geof., 1993, z. 3-4, s. 332.
60. Malberg H. *Bauern Regeln*, Gazeta Obserwatora IMGW, 1993, nr 4-5.
61. *Meteorologischer Kalender 1993*, Gazeta Obserwatora IMGW, 1993, nr 6.
62. *Meteorologischer Kalender 1994*, Gazeta Obserwatora IMGW, 1994, nr 11.
63. Wege K. *Wetter. Ursachen und Phänomene*, Gazeta Obserwatora IMGW, 1993, nr 1.
64. Ling Ch. Ch. *Einführung in die Meteorologie*, Prz. Geof., 1994, z. 1, s. 109.
65. *Meteorological Calendar 1994*, Prz. Geof., 1994, z. 1, s. 110.
66. Minnaert M. *Licht und Farbe in der Natur*, Prz. Geof., 1994, z. 1, s. 110-111.
67. Graedel T. E., Crutzen P. J. *Atmospheric change. An Earth system perspective*, Prz. Geof., 1994, z. 2, s. 219-220.
68. *Atmosphäre, Klima, Umwelt*, Prz. Geof., 1994, z. 2, s. 220.
69. Eichenlaub V. L., Harman J. R., Numberger F. V., Stolle H. J. *The climatic atlas of Michigan*, Prz. Geof., 1994, z. 2, s. 223-224.
70. Flemming G. *Einführung in die Angewandte Meteorologie*, Gazeta Obserwatora IMGW, 1994, nr 2-4.
71. *Zebranie plenarne Zarządu Głównego PTGeof. (Warszawa, 9 IV 1994 r.)*, Prz. Geof., 1994, z. 3, s. 324-325.
72. Gates D. M. *Climate change and its biological consequences*, Prz. Geof., 1994, z. 3, s. 332-333.
73. *Bestandsaufnahme anthropogene Klimaänderungen: Mögliche Auswirkungen aus Österreich*, Prz. Geof., 1994, z. 3, s. 333.
74. Fabian P. *Atmosphäre und Umwelt*, Prz. Geof., 1994, z. 3, s. 334-335.
75. Borroughs W. J. *Die Weltwetter Maschine. Satellitentechnik, Wettervorhersage und Klimaveränderungen*, Prz. Geof., 1994, z. 3, s. 335-336 (z J. R. Ołędzki).
76. *Meteorological Calendar 1995*, Prz. Geof., 1994, z. 4, s. 433.
77. *Winter storms in Europe. 2. Sturm. 3. Hailstorm*, Gazeta Obserwatora IMGW, 1994, nr 6.
78. Hackel H. *Meteorologie*, Prz. Geof., 1995, z. 1, s. 97.
79. Schönwiese C.-D. *Klimatologie*, Prz. Geof., 1995, z. 1, s. 97-98.
80. *20-lecie Mazowieckiego Obserwatorium Geograficznego UW*, Prz. Geof., 1995, z. 1, s. 88.
81. *Zebranie plenarne Zarządu Głównego PTGeof. (Warszawa, 7 III 1995 r.)*, Prz. Geof., 1995, z. 2, s. 188-190 (z J. Krupa-Marchlewską).

82. Lauer W. *Klimatologie*, Prz. Geof., 1995, z. 2, s. 195.
83. Kruger L. *Wetter und Klima*, Prz. Geof., 1995, z. 2, s. 195-196.
84. Friesinger H. H. *The history of meteorology: to 1800*, Prz. Geof., 1995, z. 2, s. 197.
85. Jenkins J. *A Glossary of one hundred common weather words*, Prz. Geof., 1995, z. 2, s. 199-200.
86. *Some meteorological aspects of the D-Day. Invasion of Europe 6 June 1944*, Prz. Geof., 1995, z. 3, s. 324-325.
87. Dubois P. *Das Observatorium Lindenberg in seinen ersten 50 Jahren 1905-1995*. 2. Körber H.-G. *Die Geschichte des meteorologischen Observatoriums Potsdam*. 3. Lehmann A., Kalb M. *100 Jahre meteorologische Beobachtungen an der Säkularestation Potsdam 1893-1992*, Prz. Geof., 1995, z. 3, s. 325-326.
88. De Lucca J. L. *Elsevier's dictionary of climatology and meteorology*, Prz. Geof., 1995, z. 3, s. 326-327.
89. *Meteorologischer Kalender 1995*, *Gazeta Obserwatora IMGW*, 1995, nr 5.
90. *Wybór i opracowanie listów prof. Edwarda Stenza do Jana Kanarka*, Prz. Geof., 1995, z. 4, s. 409-432.
91. Graedel T. E., Crutzen P. J. *Atmosphere, climate and change*, Prz. Geof., 1995, z. 4, s. 447.
92. *Zebranie plenarne Zarządu Głównego PTGeof. (Warszawa, 30 I 1996 r.)*, Prz. Geof., 1996, z. 1-2, s. 117-118 (z J. Krupa-Marchlewską).
93. *Meteorological Calendar 1996. Meteorologischer Kalender 1996. Alaska Weather Calendar 1996*, Prz. Geof., 1996, z. 1-2, s. 123-124.
94. Frankenberg P. *Moderne Klimakunde. Grundwissen von Advektion bis Treibhausklima*. 2. Frankenberg P., Lauer J. R. *Das Klimatabellenbuch*, Prz. Geof., 1996, z. 3, s. 239-240.
95. *Physische Geographie – Wetter*, Prz. Geof., 1996, z. 3, s. 240.
96. Lamb H. H. *Climate, history and the modern world*, Prz. Geof., 1997, z. 1, s. 99.
97. *Environmental Map of World. Climatic Map of the World*, Prz. Geof., 1997, z. 1, s. 101.
98. Barron E. J. *Climate variation in the Earth history*. 2. Ennis C. A., Marcus N. H. *Biological consequences of global climate change*. 3. Shaw G. E. *Clouds and climate change*, Prz. Geof., 1997, z. 1, s. 101.
99. *Meteorologischer Kalender 1997. Meteorological Calendar 1997*, Prz. Geof., 1997, z. 1, s. 102.
100. *Zebranie plenarne Zarządu Głównego PTGeof. (Warszawa, 6 II 1997 r.)*, Prz. Geof., 1997, z. 2, s. 184-185 (z J. Krupa-Marchlewską).
101. *Posiedzenie Rady Redakcyjnej Przeglądu Geofizycznego (Warszawa, 29 IV 1997 r.)*, Prz. Geof., 1997, z. 2, s. 185-186.
102. Geiger R., Aron R. H., Todhunter P. *Climate near the ground*, Prz. Geof., 1997, z. 2, s. 187-188.
103. Weischet W. *Regionale Klimatologie. Teil 1. Die Neue Welt – Amerika, Neuseeland, Australien*, Prz. Geof., 1997, z. 2, s. 188-189.
104. Joussaume S. I. *Climat d'hier à demain*. 2. *Klimat: gestern – heute morgen*, Prz. Geof., 1997, z. 2, s. 189.
105. Peixoto J. R., Oort A. P. *Physics of climate*, Prz. Geof., 1998, z. 1-2, s. 107.
106. *McGraw-Hill Dictionary of Earth Science*. 2. *McGraw-Hill Dictionary of Geology and Mineralogy*, Prz. Geof., 1998, z. 1-2, s. 121-122.
107. *Meteorologischer Kalender 1998*, Prz. Geof., 1998, z. 1-2, s. 125.
108. *Ekstremalne zjawiska meteorologiczne, hydrologiczne i oceanograficzne – Sympozjum jubileuszowe z okazji 50-lecia Polskiego Towarzystwa Geofizycznego (Warszawa 12-14 XI 1997)*. 1997, z. 3-4, s. 243-244.
109. *Plenarne posiedzenie Zarządu Głównego PTGeof. (Warszawa 23 II 1998)*, Prz. Geof., 1998, z. 3-4, s. 244-245 (z J. Krupa-Marchlewską).
110. *Biuletyn Informacyjny Oddziału Wrocławskiego Polskiego Towarzystwa Geofizycznego*, Prz. Geof., 1998, z. 3-4, s. 245-246.
111. Feker F. *Das Klima der Städte*, Prz. Geof., 1998, z. 3-4, s. 250.
112. Walker A. *Zeichen am Himmel. Wolkensbilder und Wetterphänomene richtig verstehen*, Prz. Geof., 1998, z. 3-4, s. 250.
113. Körber H.-G. *Die Geschichte des Preussischen Meteorologischen Instituts in Berlin*, Prz. Geof., 1998, z. 3-4, s. 251.
114. Small G., Witheric M. *A modern dictionary of geography*, Prz. Geof., 1998, z. 3-4, s. 265.
115. *Plenarne posiedzenie Zarządu Głównego PTGeof. (Warszawa, 2 III 1999)*, Prz. Geof., 1999, z. 1-2, s. 93-94 (z J. Krupa-Marchlewską).
116. *Climatological normals (CLINO) for the period 1961-1990*, Prz. Geof., 1999, z. 1-2, s. 95-96.
117. Taba H. *The „Bulletin interviews*, Prz. Geof., 1999, z. 1-2, s. 96-97.
118. Bader S., Kunz P. *Klimarisikien – Herausforderung für die Schweiz*, Prz. Geof., z. 1-2, s. 99.
119. Bloetzer W., Egli T., Petrascheck A., Sauter J., Stoffel M. *Klimaänderungen und Naturgefahren in der Raumplanung*, Prz. Geof., 1999, z. 1-2, s. 99-100.

120. Barlag A.-B. *Planungsrelevante Klimaanalyse einer Industriestadt in Tallage*, Prz. Geof., 1999, z. 1-2, s. 100.
121. *Meteorologischer Kalender 1999. Alaska Weather Calendar*, Prz. Geof., 1999, z. 1-2, s. 100.
122. *Posiedzenie Rady Redakcyjnej „Prz.u Geofizycznego (Warszawa, 23 VI 1999)*, Prz. Geof., 1999, z. 3, s. 179.
123. *Documentary climate evidence for 1750-1850 and the fourteenth century*, Prz. Geof., 1999, z. 3, s. 181.
124. *Wolkenatlas für die Wetterbeobachtung auf See – Marin cloud atlas. 2. Wetterkundliche Lehrmittel. Die Wolken*, Prz. Geof., 1999, z. 3, s. 185.
125. Wiedersich B. *Das Wetter. Entstehung, Entwicklung, Vorhersage*, Prz. Geof., 1999, z. 3, s. 185.
126. Lüftner H. *Das Regionalklima im Ruhrgebiet*, Prz. Geof., 1999, z. 3, s. 186.
127. Barz W., Brinkmann B., Furger F. (red.) *Globale Umweltveränderungen. Symposium am 17 und 18 Juni 1996 in Münster*, Prz. Geof., 1999, z.3, s. 188-189.
128. Strasser M. *Klimadiagramme zur Köppenschen Klimaklassifikation*, Prz. Geof., 2000, z. 1, s. 94.
129. Jäger A., Bauer-Mirecka M. *Das Wetterjahr in Österreich*, Prz. Geof., 2000, z. 1, s. 94.
130. Blume G. *In Wind und Wetter – auf Türmen und Dächern*, Prz. Geof., 2000, z. 1, s. 94-95.
131. *Meteorologischer Kalender 2000. Alaska Weather Calendar*, Prz. Geof., 2000, z. 1, s. 95.
132. *Plenarne posiedzenie Zarządu Głównego PTGeof. (Warszawa, 17 IV 2000)*, Prz. Geof., 2000, z. 2, s. 193-194 (z J. Krupą-Marchlewską).
133. Jasiński J., Kroszczyński K., Rymarz Cz., Winnicki I. *Satelitarne obrazy procesów atmosferycznych kształtujących pogodę*, Prz. Geof., 2000, z. 3-4, s. 353.
134. Schröder P. *Die Klimate der Welt. Aktuelle Daten und Erläuterungen*, Prz. Geof., 2000, z. 3-4, s. 354-355.
135. McGregor G. R., Nieuwolt S. *Tropical climatology. Second edition*, Prz. Geof., 2000, z. 3-4, s. 357-358.
136. Walter H., Breckle S.-W. *Vegetation und Klimazonen*, Prz. Geof., 2000, 3-4, s. 358-359.
137. Pfister H. *Wetternachhersage. 500 Jahren Klimavariationen und Naturkatastrophen*, Prz. Geof., 2000, 3-4, s. 359.
138. Hackel H. *Farbatlas Wetterphänomene*, Prz. Geof., 2000, 3-4, s. 361.
139. *Scotland's weather. An antology*, Prz. Geof., 2000, 3-4, s. 361.
140. *Plenarne posiedzenie Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Geofizycznego (Warszawa, 9 II 2001)*. Prz. Geof., t. 46, 2001, z. 1-2, s. 145-147 (z J. Krupą-Marchlewską).
141. *Alaska Weather 2001 Calendar*. Prz. Geof., t. 46, 2001, z. 1-2, s. 152.
142. *Słownik meteorologiczny*. Prz. Geof., t. 2001, z. 3, s. 253-254.
143. *Gospodarowanie zasobami naturalnymi. w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Ogólnopolska konferencja naukowa (Mierki, 10-12 X 2001)*. Prz. Geof., t. 46, z. 4, s. 385-386.
144. *Plenarne posiedzenie Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Geofizycznego (Warszawa, 20 III 2002)*. Prz. Geof., t. 47, 2002, z. 1-2, s. 126-127 (z J. Krupą-Marchlewską).
145. *Strässer M. Klimadiagram Atlas der Erde. Teil 1: Europa und Nordamerika. Teil 2: Asien, Lateinamerika, Afrika, Australien und Ozeanien, Polarländer*. Prz. Geof., t. 47, 2002, z. 1-2, s. 131-132.
146. *Klimastatuobericht 2000*. Prz. Geof., t. 47, 2002, z. 1-2, s. 132-133.
147. *Wagner M. Das Schleswig-Holstein Wetter*. Prz. Geof., t. 47, 2002, z. 1-2, s. 132-133.
148. *2002 Alaska Weather Calendar*. Prz. Geof., t. 47, 2002, z. 1-2, s. 133-134.
149. Berner U., Streif H. (red.) *Klimafakten. Der Rückblick – Ein Schlüssel für Zukunft*. Prz. Geof., t. 47, 2002, z. 3-4, s. 261–262.
150. Wege K. *Die Geschichte der Wetterstation Zugspitze*. Prz. Geof., t. 47, 2002, z. 3-4, s. 265-266.
151. Binder E. *Bauern- und Wetterregeln*. Prz. Geof., t. 47, 2002, z. 3-4, s. 265-266.
152. *Plenarne posiedzenie Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Geofizycznego (Warszawa, 18 III 2003)*. Prz. Geof., t. 48, 2003, z. 1-2, s. 127-129 (z J. Krupą-Marchlewską).
153. Lauer W., Rafiqpoor M. D. *Die Klimate der Erde. Eine Klassifikation auf der Grundlage der Ökophysiologischen Merkmale der realen Vegetation*. Prz. Geof., t. 48, 2003, z. 1-2, s. 131-133.
154. *Oscylacja Północnego Atlantyku i jej rola w kształtowaniu zmienności warunków klimatycznych i hydrologicznych Polski*. Prz. Geof., t. 48, 2003, z. 1-2, s. 133-134.
155. Lynch D. K., Livingston W. *Color and Light in Nature*. Prz. Geof. t. 48, 2003, z. 1-2, s. 133–134.
156. Schlegel K. *Von Regenbogen zum Polarlicht. Leuchterachjungen in der Atmosphäre*. Prz. Geof., t. 48, 2003, z. 1-2, s. 136.
157. *Wolken – Malerei – klima in Geschichte und Gegenwart*. Prz. Geof., t. 48, 2003, z. 1-2, s. 136-137.
158. *Europäischer Meteorologischer Kalender 2001, 2002, 2003*. Prz. Geof., t. 48, 2003, z. 1-2, s. 137-138.
159. *Wetterinformation für die Öffentlichkeit – oberwie?* Prz. Geof. t. 48, 2003, z. 1-2, s. 138-139.
160. Berkes C. A. *Warmer World. The Greenhouse Effect and Climate Change*. Prz. Geof., t. 48, 2003, z. 3-4, s. 248-249.

161. Lorenc H., Mazur A. Współczesne problemy klimatu Warszawy. Monografie IMGW. Prz. Geof., t. 48, 2003, z. 3=4, s. 249-250.
162. Plenarne posiedzenie Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Geofizycznego (Warszawa, 22 II 2004). Prz. Geof., t. 49, 2004, z. 1-2, s. 98-100 (z J. Krupa-Marchlewską).
163. Matuszko D., *Chmury. Klasyfikacja, rozpoznawanie, pogoda*. Prz. Ceof., t. 49, 2004, z. 1-2.
164. Annales der Meteorologie 37. Annalen der Meteorologie 38. Prz. Geof., t. 49, 2004, z. 1-2, s. 101-102.
165. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 219. Hydrometeorologische Unternehmungen zum Problem der Klimaveränderungen. Prz. Geof., t. 49, 2004, z. 1-2, s. 102.
166. Selinger F. Vom „Nanok“ bis „Eismitte“. Meteorologische Unternehmungen in der Arktis 1940-1945. Prz. Ceof., t. 49, z. 1-2, s. 102.
167. Potter T. D., Colman B. R. Handbook of Weather, climate and water. Dynamic climate, physical meteorology, weather system and measurements. Prz. Geof., 49, 2004, z. 1-2, s. 105-106.
168. Barry R. G., Chorley R. J. Atmosphere, Weather and Climate. Eight edition. Prz. Geof., t. 49, 2004, z. 3-4, s. 185-186.
169. Trzeciak S. *Meteorologia morska z oceanografią*. Prz. Geof., t. 49, 2004, z. 3-4, s. 186-187.
170. Climate: Into the 21<sup>st</sup> Century (red. W. Borroughs). Prz. Geof., t. 49, 2004, z. 3-4, s. 189-190.
171. Zmarsly E., Kuttler W., Pethe H. Meteorologisch-Klimatologisches Grundwissen. Eine Einführung mit Übungen, Aufgaben und Lösungen. Prz. Geof., t. 49, 2004, z. 3-4, s. 190.
172. Pedgley D. Mountain weather. A practical guide for hillwalkers and climbers in the British Isles. Prz. Geof., t. 49, 2004, z. 3-4, s. 190-191.
173. Robinson A. Earthshock. Hurricanes, Volcanoes, Earthquakes, Tornadoes and other Forces of Nature. Prz. Geof., t. 49, 2004, z. 3-4, s. 193-194.
174. Dunlop S. *Pogoda*. Przewodnik ilustrowany. Gazeta Obserwatora IMGW, 2004, nr 6, s. 8.
175. Plenarne posiedzenie Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Geofizycznego (Warszawa, 8 II 2005). Prz. Geof., t. 50, 2005, z. 1-2, s. 135-136 (z J. Krupa-Marchlewską).
176. Nevtion D. E. Encyklopedia of Air. Prz. Geof., t. 50, 2005, z. 1-2, s. 137-138.
177. Historical Essays on Meteorology 1919. The diamond anniversary history volume of the American Meteorological Society. Prz. Geof., t. 50, 2005, z. 1-2, s. 138-139.
178. Szwejkowski Z. *Pogoda, klimat i środowisko*. Prz. Geof., t. 50, 2005, z. 1-2, s. 139-144.
179. Berner U., Streif. H. (red.) Klimafakten. Der Rückblick – Ein Schlüssel für die Zukunft (wyd. 4). Prz. Geof., t. 50, 2005, z. 1-2, s. 144-145.
180. Kusky T. M. Geological Hazards. A Sourcebook. Prz. Geof., t. 50, 2005, z. 1-2, s. 153-156.
181. Himalaya – Tibet. Le choc des continents. Prz. Geof., t. 50, 2005, z. 1-2, s. 156.
182. Kurz M. Die Dezemberstürme 1999. Prz. Geof., t. 50, 2005, z. 3-4, s. 289.
183. Kummer Ch. Wetterfest durch alle Jahreszeiten. Prz. Geof., t. 50, 2005, z. 3-4, s. 289.
184. Kirschenstein M. *Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu opadów w północno-zachodniej Polsce*. Prz. Geof., t. 50, 2005, z. 3-4, s. 290-291.
185. Auswirkungen des Hitzsommer 2003 auf die Gewässer. Dokumentation, Prz. Geof., t. 50, 2005, z. 3-4, s. 293-186.
186. Bulkeley R., Betsill M. Cities and Climate Change. Urban sustainability and global environmental governance. Prz. Geof., t. 50, 2005, z. 3-4, s. 294-295.
187. Elvingson P, Aren Ch. Air and the Environment. Prz. Geof., t. 50, 2005, z. 3-4, s. 295.
188. Plenarne posiedzenie Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Geofizycznego (Warszawa, 21 II 2006). Prz. Geof., t. 51, 2006, z. 1, s. 99-100 (z J. Krupa-Marchlewską).
189. Atlas klimatu Polski. Red. H. Lorenc. Prz. Geof., t. 51, 2006, z. 1, s. 101-102.
190. Aguado B. Burę J. E. Understanding Weather and Climate. Second Edition. Prz. Geof., t. 51, 2006, z. 1, s. 102-103.
191. Handbook of Atmospheric Science. Principles and Applications. Prz. Geof., t. 51, 2006, z. 1, s. 103-104.
192. Haaland S. Feuer und Flamme für die Heide. 5000 Jahre Kulturlandschaft in Europa. Prz. Geof., t. 51, 2006, z. 1, s. 110.
193. Wawra Ch. Im Land der Blauen Wolken. Prz. Geof., t. 51, 2006, z. 1, s. 113.
194. Glossary of Meteorology. Second Edition. Red. T. S. Glickmann. Prz. Geof., t. 51, 2006, z. 2, s. 177-178.
195. The Global Climate System Review. June 1966 - December 2001. Prz. Geof., t. 51, 2006, z. 2, s. 178-179.
196. La Niña and its Impacts. Facts and Speculation. Red. M. M. Glanz. Prz. Geof., t. 51, 2006, z. 2, s. 179-160.
197. Agrometeorologie related to extreme events, Prz. Geof., t. 51, 2006, z. 1, s. 181.
198. Marshak S. Barth. Portrait of a Planet. Second Edition. Prz. Geof., t. 51, 2006, z. 2, s. 183-184.
199. Welsh M. Waterfall Walks. Teesdale and the High Pennines, Prz. Geof., t. 51, 2006, z. 2, s. 184.

200. Colin D. Die schönsten Gratwanderungen der Schweiz. Staffélbach H. Urlandschaften der Schweiz. Die schönsten Wanderungen durch Wilde Bergwellen. Prz. Geof., t. 51, 2006, z. 2, s. 184-185.
201. Kachelaann J., Schöpfer S. Jak przewidywać pogodę? Meteorologia dla każdego. Prz. Geof., t. 51, 2006, z. 3-4, s. 267-268.
202. Staub F. *Chmury, niebo i pogoda. Jak to działa?* Prz. Geof., t. 51, 2006, z. 3-4, s. 268.
203. A Half Century of Progress in Meteorology. A Tribute to Richard Reed. Prz. Geof., t. 52, 2007, z. 1, s. 85.
204. Ward P. D., Out the thin Air. Dinosaurs, Birds, and Earth's Ancient Atmosphere.. Prz. Geof., t. 52, z. 1, s. 86.
205. Wege K. Die Entwicklung der meteorologischen Dienste in Deutschland. Prz. Geof., t. 52, 2007, s. 86-87.
206. Hermant A. Gewitter. Faszination eines Phänomens. Prz. Geof., t. 52, 2007, z. 1, s. 67-68.
207. Maier U., Kudlinski J., Müller-Westermeier G. Klimatologische Auswertung von Zeitreihen des Monatsmittels der Lufttemperatur und der monatlichen Niederschlagshöhe im 20. Jahrhundert. Prz. Geof., t. 52, 2007, z. 1, s. 88.
208. *Zebranie plenarne Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Geofizycznego* (Warszawa, 19 II 2007). Prz. Geof., t. 52, z. 2, s. 136-138 (z J. Krupą-Marchlerwską).
209. Steinhagen H. Biografien der Leiter des Meteorologischen Observatoriums Linderberg von 1905 bis 2005. Prz. Geof., t. 52, 2007, z. 2, s. 141.
210. Matuszko D. *Chmury i pogoda*. Prz. Geof., t. 52, 2007, z. 2, s. 141-142.
211. Matuszko D. (red.) *Klimat Krakowa w XX wieku*. Prz. Geof., t. 52, 2007, z. 2, s. 142-143.
212. Changnon S. A. Railroads and Weather. From Fogs<sup>o</sup> to Floods and Heat to Hurricanes. The Impacts of Weather and Climate to American Railroading. Prz. Geof., t. 52, 2001, z. 2, s. 143-144.
213. Rüttiman Ch. A. Magische Zentralschweiz Wanderunge zu Orten der Kraft. Prz. Geof., t. 52, 2007, z. 2, s. 144.
214. Kaiser M. Jak pogoda wpływa na zdrowie. Prz. Geof., t. 52, 2007, z. 3-4, s. 200.
215. Burt C. C. Extreme weather. A guide and record book. Prz. Geof., t. 53, 2008, z. 1, s. 97-98.
216. *Europäischer Meteorologischer Kalendar 2004, 2005, 2006; Kuropean Meteorological Calendar 2007, 2008*. Prz. Geof., t. 53, 2008, z. 1, s. 98-99.
217. Graniczny M., Mizerski W. *Katastrofy przyrodnicze*. Prz. Geof., t. 53, 2008, z. 1, s. 111-112.
218. Preventing and mitigating natural disasters. Working together for a safer world. Prz. Geof., t. 53, 2008, z. 1, s. 113-114.
219. *Zebranie plenarne Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Geofizycznego* (Warszawa, 18 II 2008). Prz. Geof., t. 53, 2008, z. 2, s. 216-218 (z J. Krupą-Marchlewską).
220. Möller D. Luft, Chemie, Physik, Biologie, Reinhaltung, Reht. Prz. Geof., t. 53, 2008, z. 2, s.221.
221. *Klimat rejonu Polskiej stacji Polarnej w Hornsundzie*. Prz. Geof., t. 53, 2008, z. 2, s. 222.
222. *Zmiany klimatyczne w Arktyce i Antarktyce w ostatnim pięćdziesięcioleciu XX wieku i ich implikacje środowiskowe*. Prz. Geof. t. 53, 2008, z. 2, s. 223.
223. Buckley B., Hopkins B. J., Whitaker R. *Pogoda*. Prz. Geof., t. 53, 2008, z. 2, s. 223-224.
224. Wasilewski T. *Zrozumieć pogodę*. Prz. Geof., t. 53, 2008, z. 2, s. 225-226.
225. Tinz. E., Hupfer P. Die thermischen Verhältnisse im Bereich der deutschen Ostseeküste unter besonderer Berücksichtigung des Bioklimas und der Eisverhältnisse. Prz. Geof., t. 53, 2008, z. 2, s. 226.
226. *Der kleine Wolkenatlas. Beschreibung, Entatehung, Vorkommen*. Prz. Geof., t. 53, 2006, z. 2, s. 226.
227. *Aviation Hazards. Education and Training Programme*. Prz. Geof., t. 53, 2008, z. 2. s. 227.
228. Wyszowski A., *Przewodnik do ćwiczeń terenowych z meteorologii i klimatologii*. Prz. Geof., t. 53, 2008, z. 3-4, s. 336-337.
229. Kocin P. J., Uccellini L.W. *Northeast Snowstorms. Volume I: Overview, Volume II: The cases*. Prz. Geof., t. 53, 2008, z.3-4, s. 337-339.
230. *Klimat i mikroklimat Pogórza Wielickiego*. Red. A. Bokwa. Prz. Geof., t. 3, 2008, z. 34, s. 339.
231. Weischet W., Endlicher W. *Einführung in die Allgemeine Klimatologie*. Prz. Geof., t. 53, 2008, z. 3-4, s. 340-341.
232. Fleming J. R. *The Callendar Effect*. Prz. Geof., t. 53, 2008, z. 3-4, s. 341-342.
233. *Weather, Climate and Water Services for everyone*. Prz. Geof., t. 53, 2008, z. 3-4, s. 342.
234. Woś A. *Badania klimatologiczne w głównych ośrodkach naukowych (zarys problematyki badawczej oraz historii katedr i zakładów w uniwersytetach akademiach rolniczych)*. [W:] *Historia geografii polskiej*. Prz. Geof., t. 54, 2009, z. 1-2, s. 127-128.
235. *Klimaforschung in der DDR. Ein Rückblick*. Prz. Geof., t. 54, 2009, z. 1-2, s. 128-129.
236. Maier U., Drohm Ch., Müller-Westmeier G. *Klimatologische Auswertung von Zeitreihen der Monatsmittel von Temperaturminima und temperaturmaxima im 20. Jahrhundert*. Prz. Geof., t. 54, 2009, z. 1-2, s. 129.

237. Cervený R. Wielkie katastrofy i anomalie klimatyczne w dziejach. *Prz. Geof.*, t. 54, 2009, z. 1-2, s. 129-130.
238. Hackel H. *Atlas chmur*. *Prz. Geof.*, t. 54, 2009, z. 1-2, s. 130-131.
239. Klejnowski R. *Atlas pogody*. *Prz. Geof.*, t. 54, 2009, z. 1-2, s. 132.
240. Beyrich F., Adam W. K. Site and Data Report for the Lindenberg Reference Site in the CEOP – Phase I. *Prz. Geof.*, t. 54, 2009, z. 1-2, s. 132-133.
241. Rebetez M. Helvetien im Treibhaus. Der Weltweite. Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Schweiz. *Prz. Geof.*, t. 54, 2009, z. 1-2, s. 133-134.
242. Elements. for Life. *Prz. Geof.*, t. 54, 2009, z. 1-2, s. 134.
243. Tour Matterhorn. Rund um den Berg der Berge. *Prz. Geof.*, t. 54, 2009, z. 1-2, s. 139.
244. Winkler P. Hohenpeißenberg 1771-2006 – das älteste Bergobservatorium der Welt. *Prz. Geof.*, t. 54, 2009, z. 3-4, s. 242-243.
245. *Zebranie plenarne Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Geofizycznego (Waszawa, 11 II 2010)*. *Prz. Geof.*, t. 55, 2010, z. 1-2, s. 100-103 (z J. Krupą-Marchlewską).
246. Ustrnul. Z., Czekierda D. *Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce*. *Prz. Geof.*, t. 55, 2010, z. 1-2, s. 107-109.
247. Hamblyn R. Wielka księga chmur. *Prz. Geof.*, t. 55, 2010, z. 3-4, s. 245-246.
248. *Zebranie plenarne Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Geofizycznego (Waszawa, 8 II 2011)*. *Prz. Geof.*, t. 56, 2011, z. 1-2, s. 138-140.
249. Woś A. Klimat Polski w drugiej połowie XX wieku. *Prz. Geof.*, t. 56, 2011, z. 1-2, s. 141-145.
250. Twardosz R., Łupikasza E., Niedźwiedz. *Zmienność i uwarunkowania cyrkulacyjne występowania postaci i typów opadów atmosferycznych na przykładzie Krakowa*. *Prz. Geof.*, t. 56, 2011, z. 3-4, s. 317-318.
251. Hackel H. *Pogoda i klimat*. *Prz. Geof.*, t. 56, 2011, z. 3-4, s. 318-319.
252. *Zebranie plenarne Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Geofizycznego (Waszawa, 21 II 2012)*. *Prz. Geof.*, t. 57, 2012, z. 1, s. 151-152 (z J. Krupą-Marchlewską).
253. Zmiany klimatyczne. Siły Natury. *Prz. Geof.*, t. 57, 2012, z. 1, s. 151-152.
254. Józef Lityński (1928-2013). *Prz. Geof.*, t. 28, 2013, z. 3-4, s. 229-233.
255. *Zebranie plenarne Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Geofizycznego (Waszawa, 24 II 2014)*. *Prz. Geof.*, t. 59, 2014, z. 1-2, s. 80-81 (z J. Krupą-Marchlewską).
256. *Zebranie plenarne Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Geofizycznego (Waszawa, 23 II 2015)*. *Prz. Geof.*, t. 60, 2015, z. 1-2, s. 104-105 (z J. Krupą-Marchlewską).
257. *Klimat a społeczeństwo i gospodarka (Warszawa, 5-6 V 2016)*, *Prz. Geof.*, t. 60, 2015, z. 1-2, s. 104-105.
258. *Zebranie plenarne Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Geofizycznego (Waszawa, 21 III 2016)*. *Prz. Geof.*, t. 61, 2016, z. 1-2, s. 130-140 (z J. Krupą-Marchlewską).

\* \* \*

Uzupełniono dotychczasowy spis publikacji, recenzji i notatek przedstawiony w rozdziale V. *Działalność naukowa i dydaktyczna oraz organizacyjna pracowników Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych UW (1960-2016 na str. 159-166 – w biogramie Urszula Kossowska-Cezak (1961-2004):*

- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2016, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XXXV. *Badania klimatu Europy w różnych skalach przestrzennych (w publikacjach Zakładu Klimatologii UW, 1952-2016)*, Wyd. WGSU UW, ss. 415