

JERZY BORYCZKA  
MARIA STOPA-BORYCZKA  
HALINA LORENC  
BOŻENA KICIŃSKA  
ELŻBIETA BŁAŻEK  
JAN SKRZYPCZUK

#### XIV. PROGNOZY ZMIAN KLIMATU WARSZAWY

# atlas

WSPÓLZALEŻNOŚCI  
PARAMETRÓW  
METEOROLOGICZNYCH  
I GEOGRAFICZNYCH  
W POLSCE

Warszawa 2000

### XIII. 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.

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.

Ponadto zweryfikowano prognozy zmian temperatury powietrza do roku 2100 w różnych miejscach Europy, dotyczących zimy i lata, miesięcy 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  $R$ .

### 13.1. Nowe prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie w kolejnych miesiącach w latach 2016-2100

#### STYCZEŃ



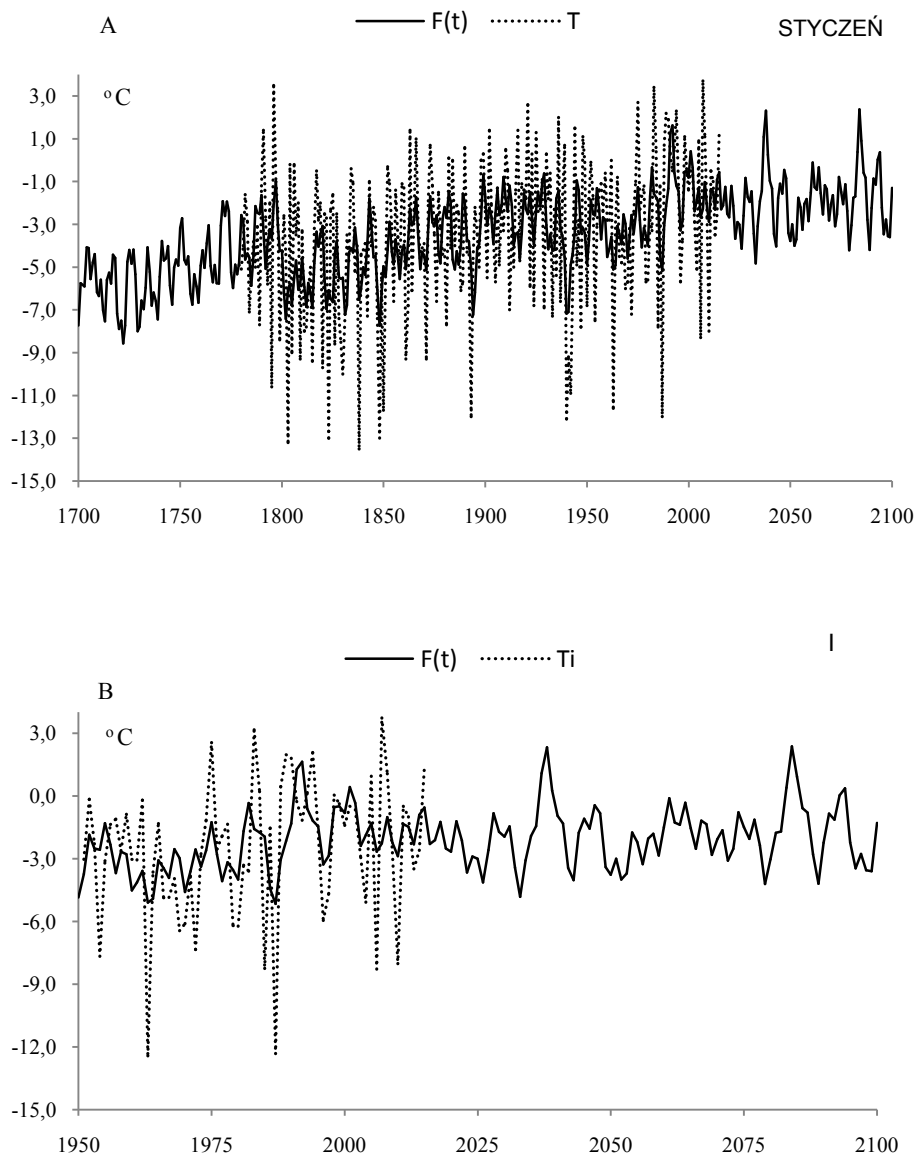
**Rys. 1.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w styczniu w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**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)

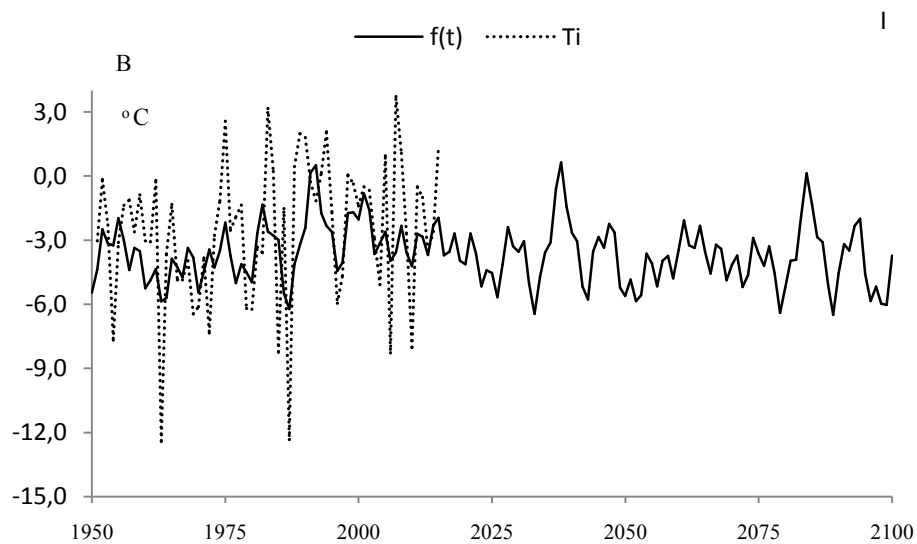
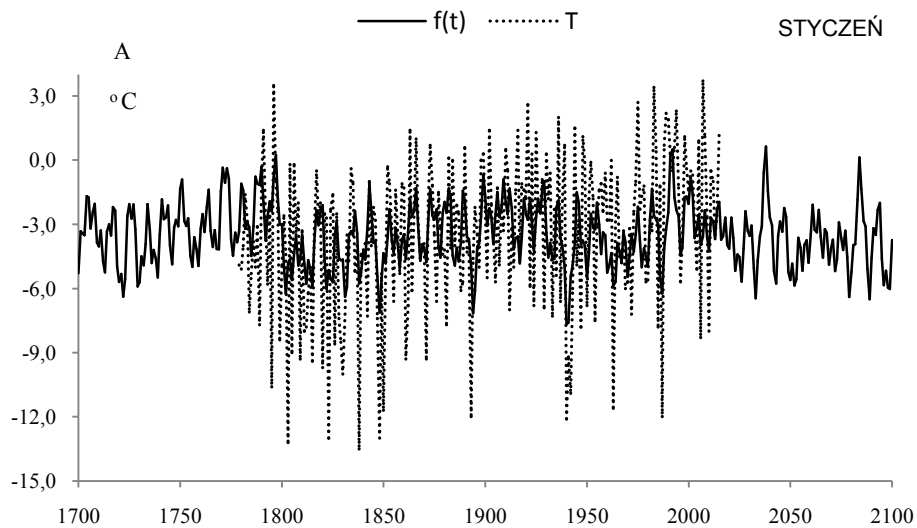
**Tabela 1.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie w styczniu, w latach 1779-2015,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{obl}$  – test Fishera-Snedecora

**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



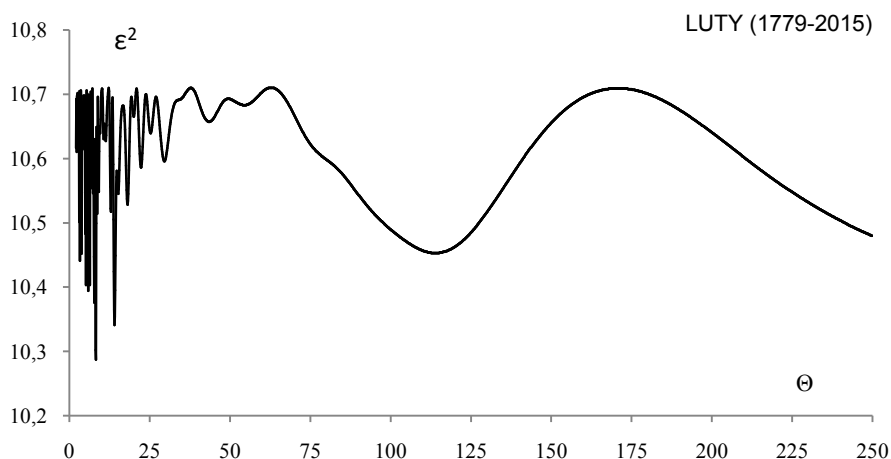
**Rys. 2.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w styczniu w latach 1700-2100,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)  
**Fig. 2.** Air temperature changes in Warsaw in January in the years 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 (1950-2015)

## LUTY



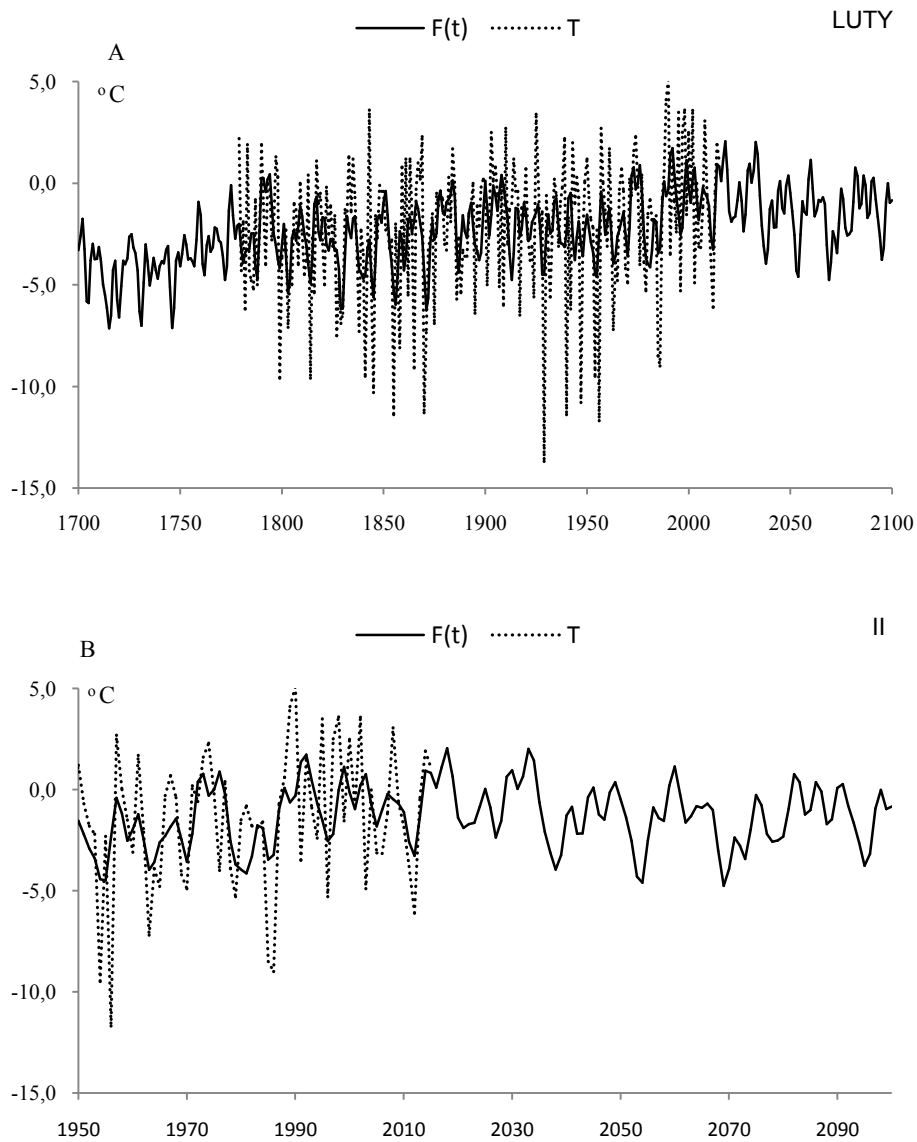
**Rys. 4.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w lutym w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**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

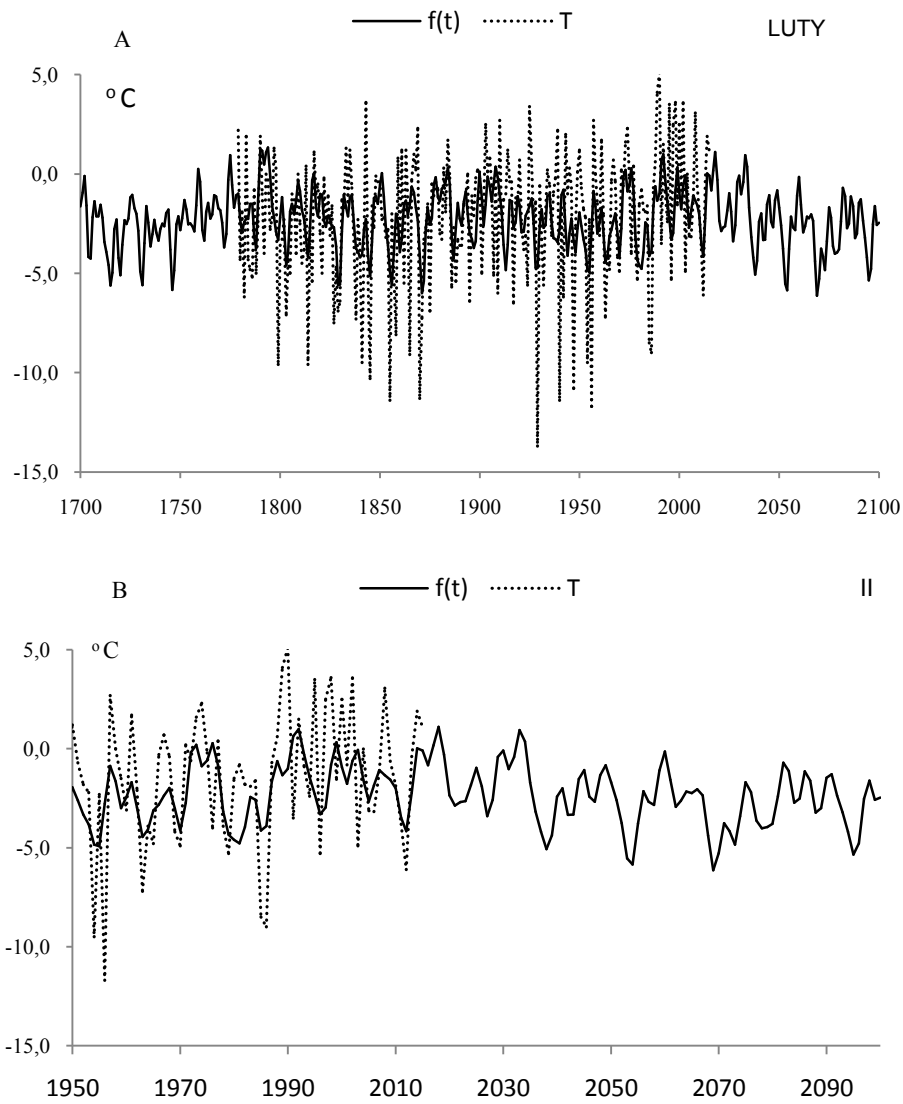
**Table 2.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in February in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = -17.859297 + 0.008225 t + \dots ; R = 0.475100$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
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)

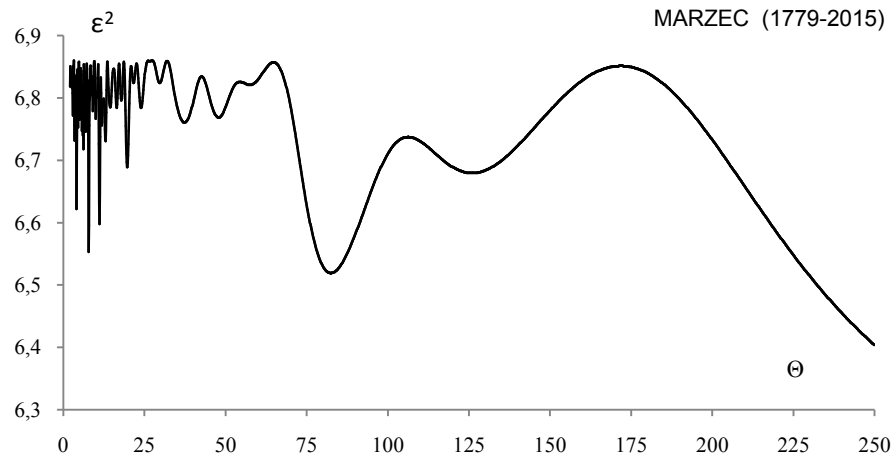


**Rys. 6.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w lutym w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**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



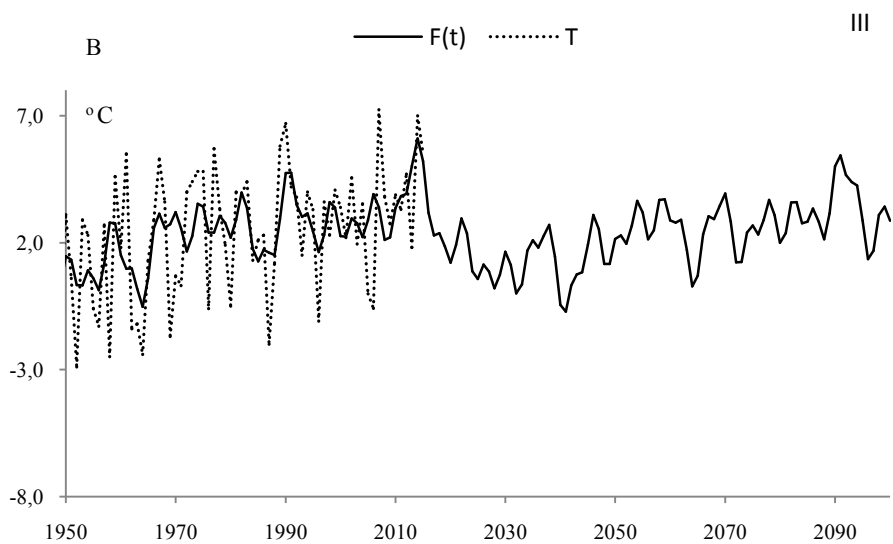
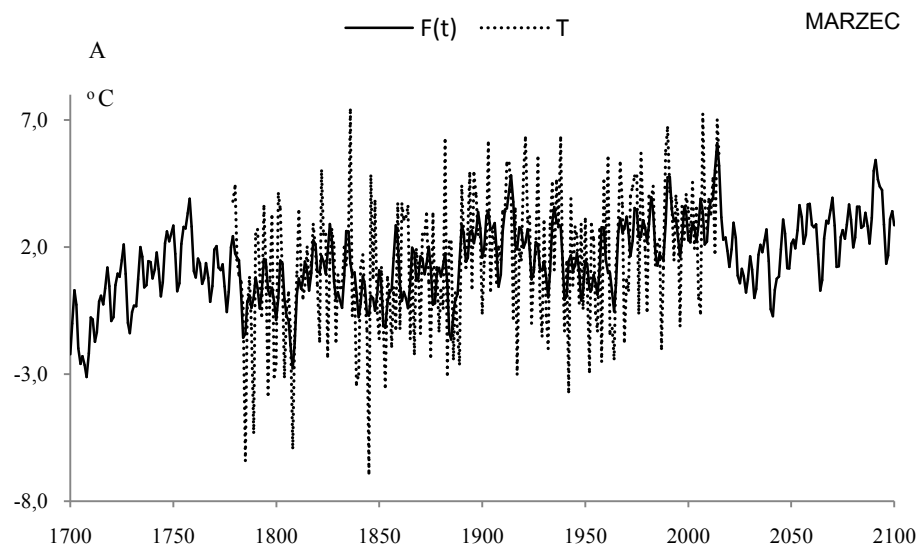
**Rys. 7.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w marcu w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**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

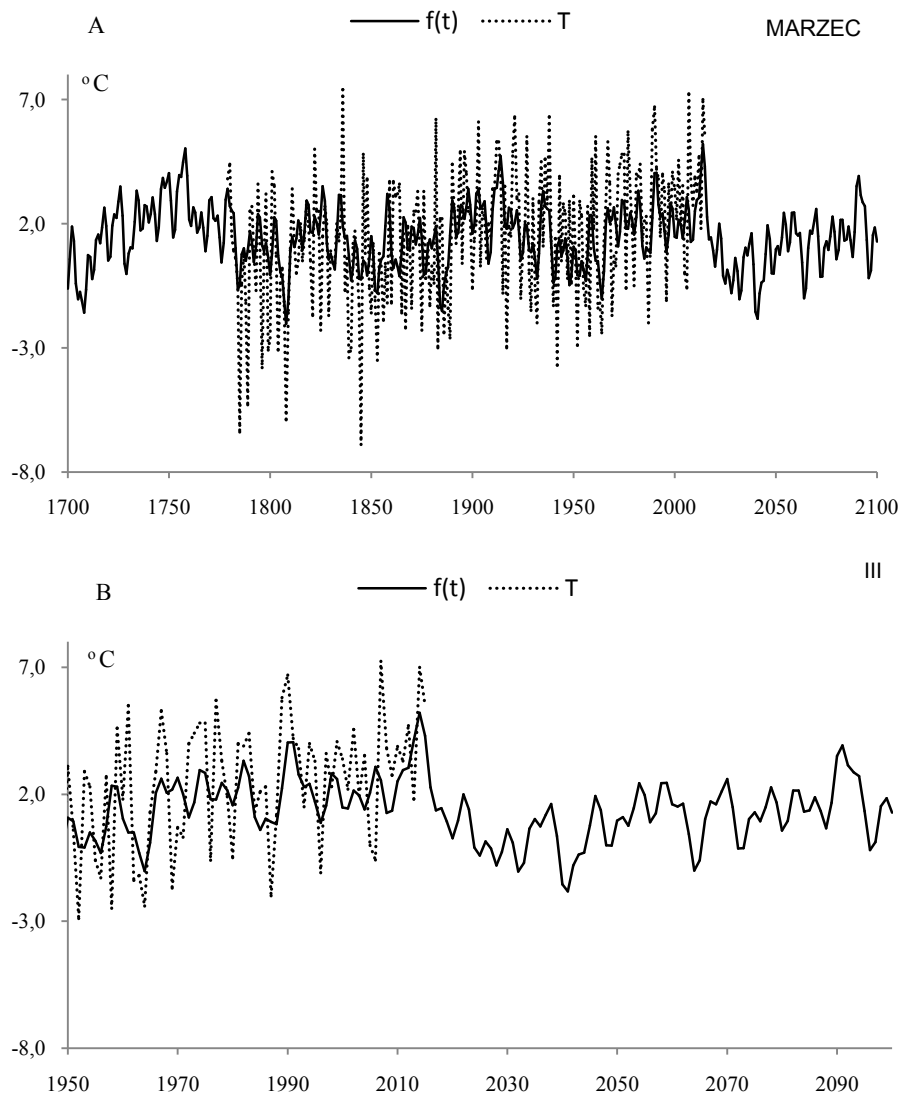
**Table 3.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in March in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{\text{obl}}$  – F-test)

$F(t) = -13,616101 + 0,007933 t + \dots$ ; $R = 0,554855$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{\text{obl}}$
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)

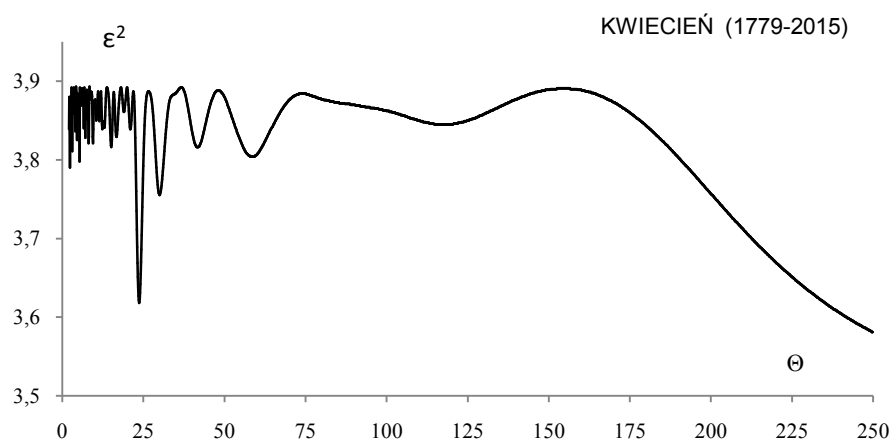
**Fig. 8.** Air temperature changes in Warsaw in March in the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1951-2015)



**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



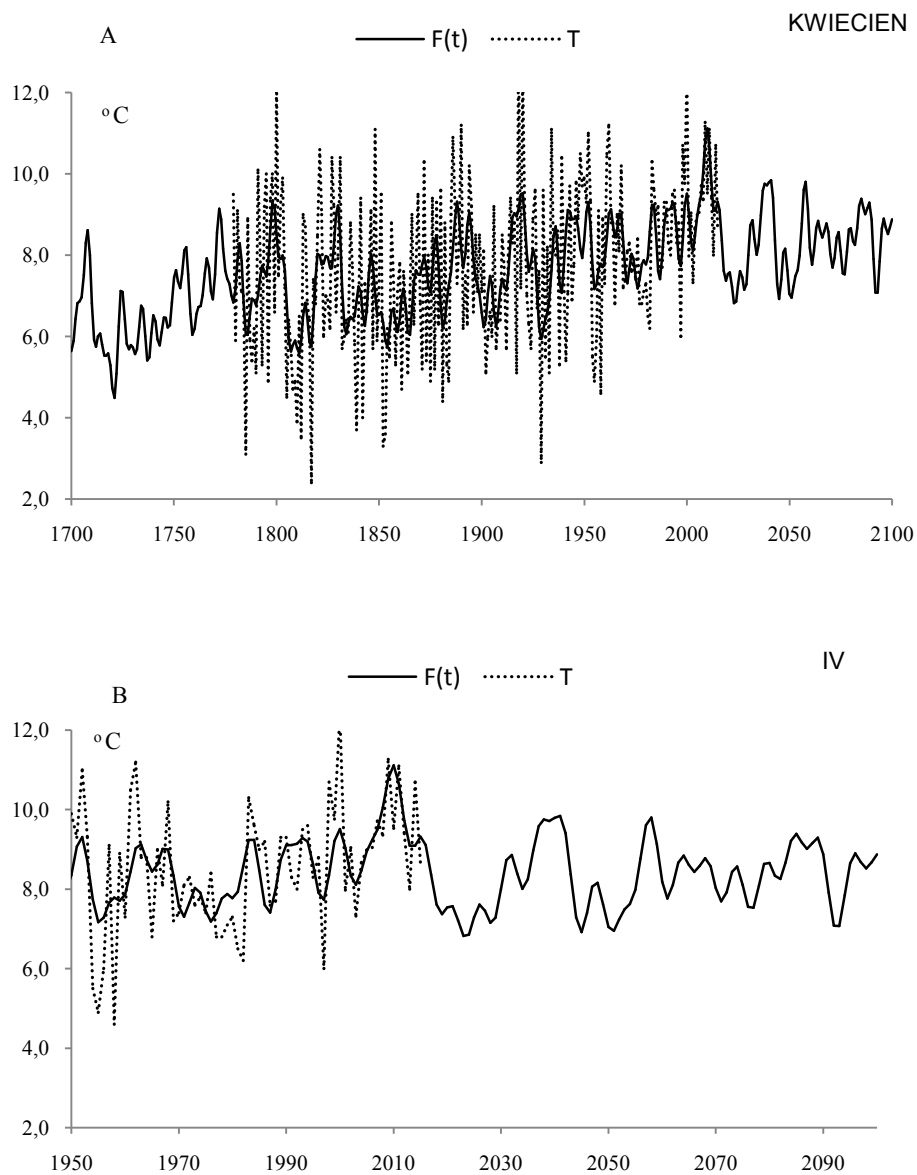
**Rys. 10.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w kwietniu w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**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)

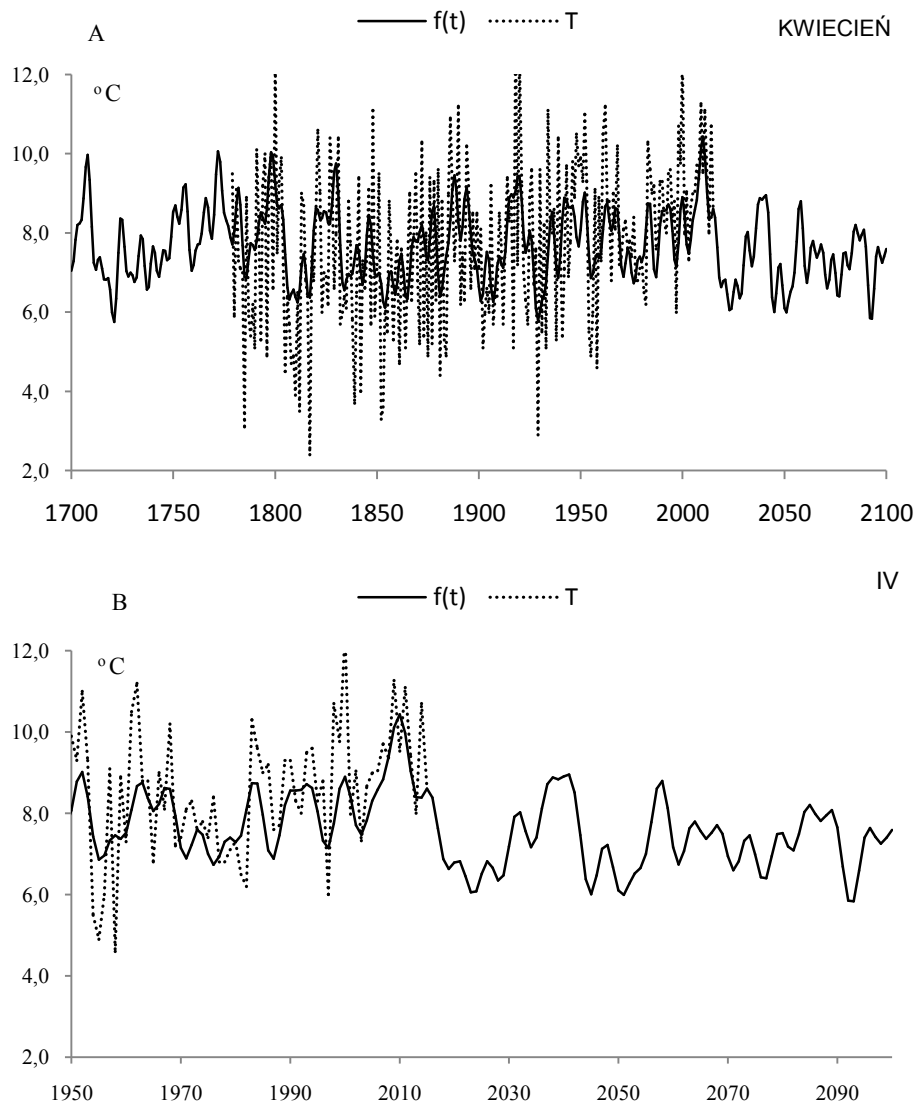
**Tabela 4.** Okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli temperatury powietrza w Warszawie w kwietniu, w latach 1779-2015,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej,  $F_{\text{obl}}$  – test Fishera-Snedecora

**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



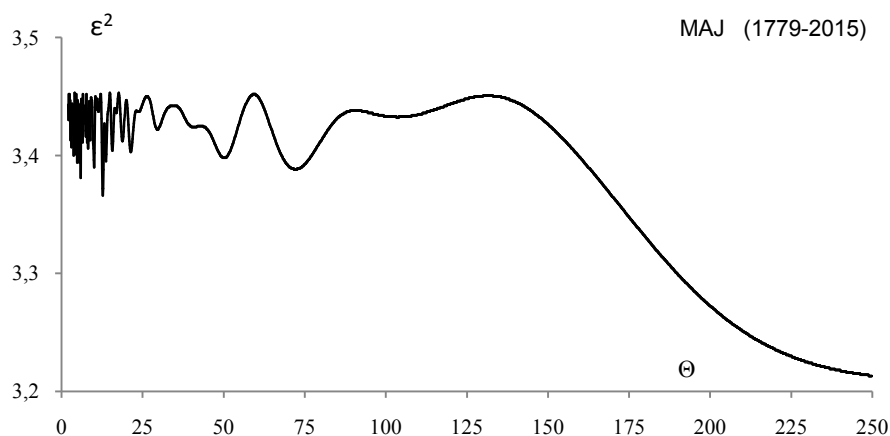
**Rys. 11.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w kwietniu w latach 1700-2100 ,  $F(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)  
**Fig. 11.** Air temperature changes in Warsaw in April in the 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



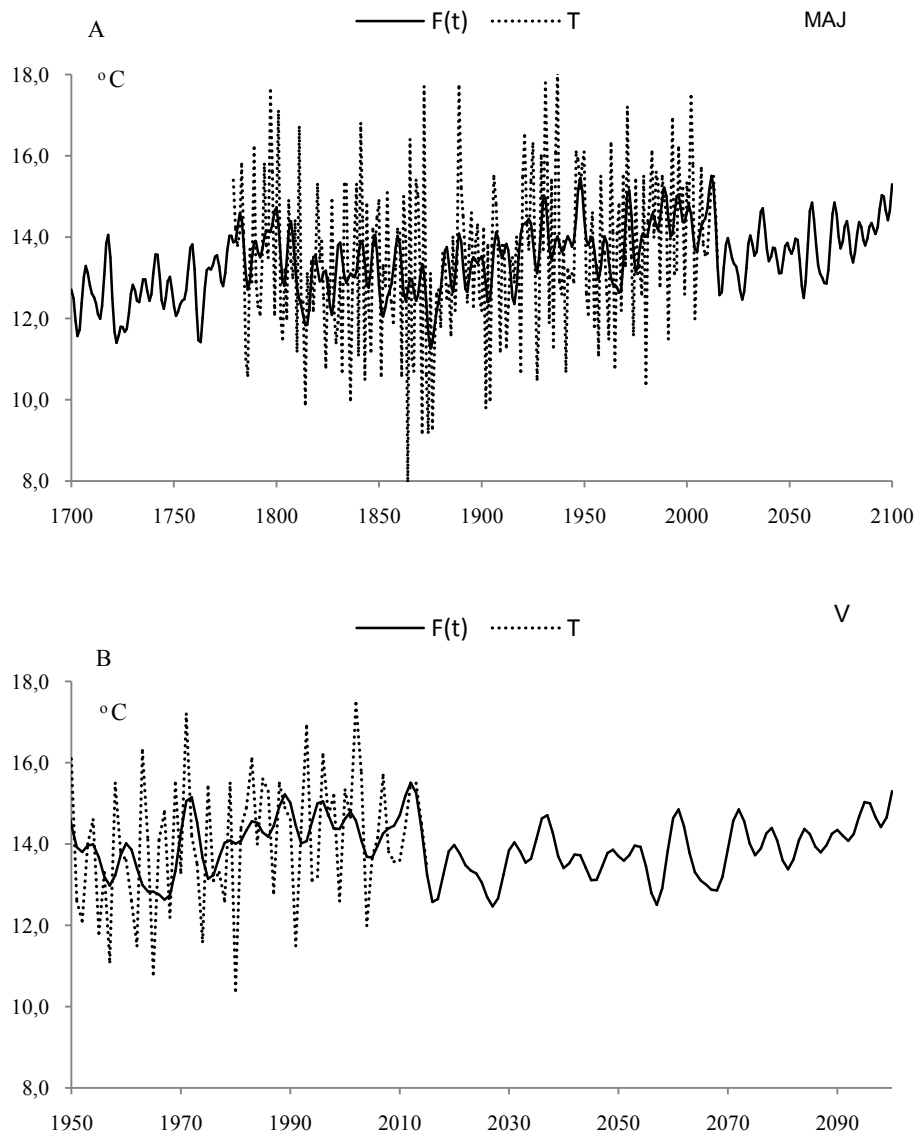
**Rys. 13.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w maju w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**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

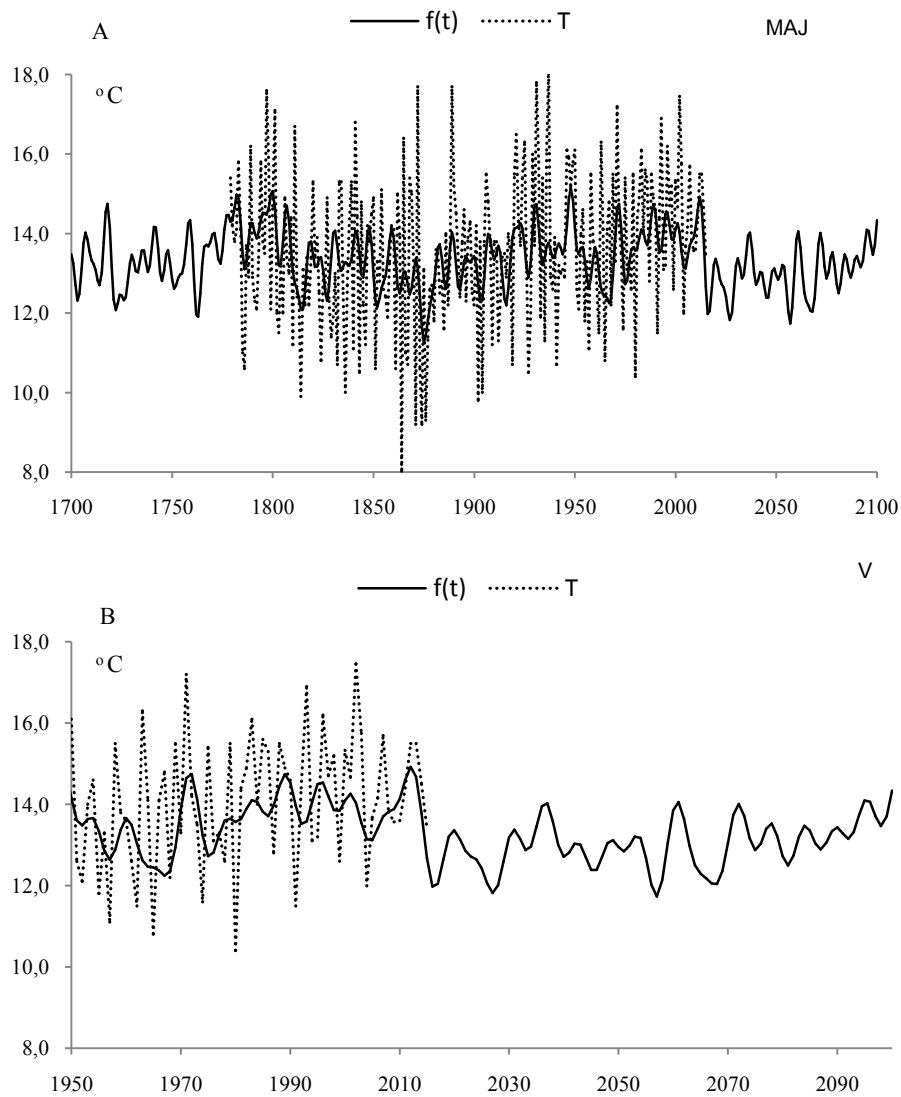
**Table 5.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in May in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = 5,269454 + 0,004312 t + \dots$ ; $R = 0,440632$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
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)

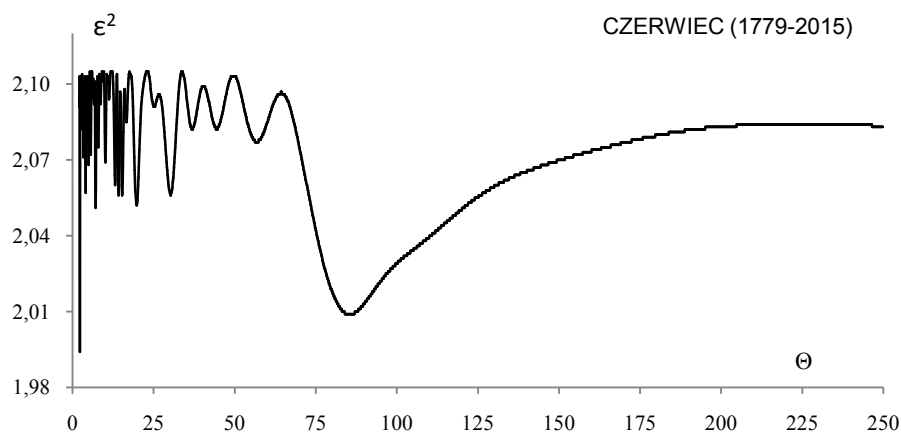




**Rys. 15.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w maju w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**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



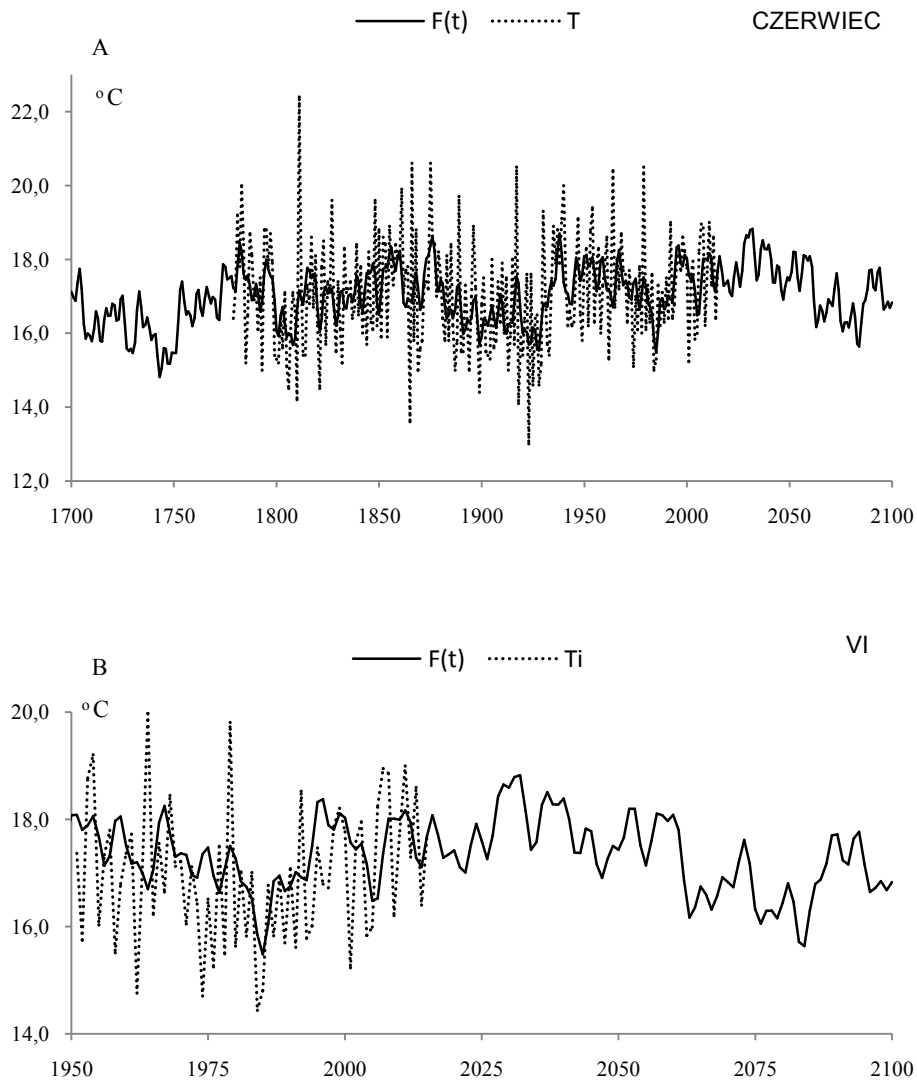
**Rys. 16.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w czerwcu w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**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

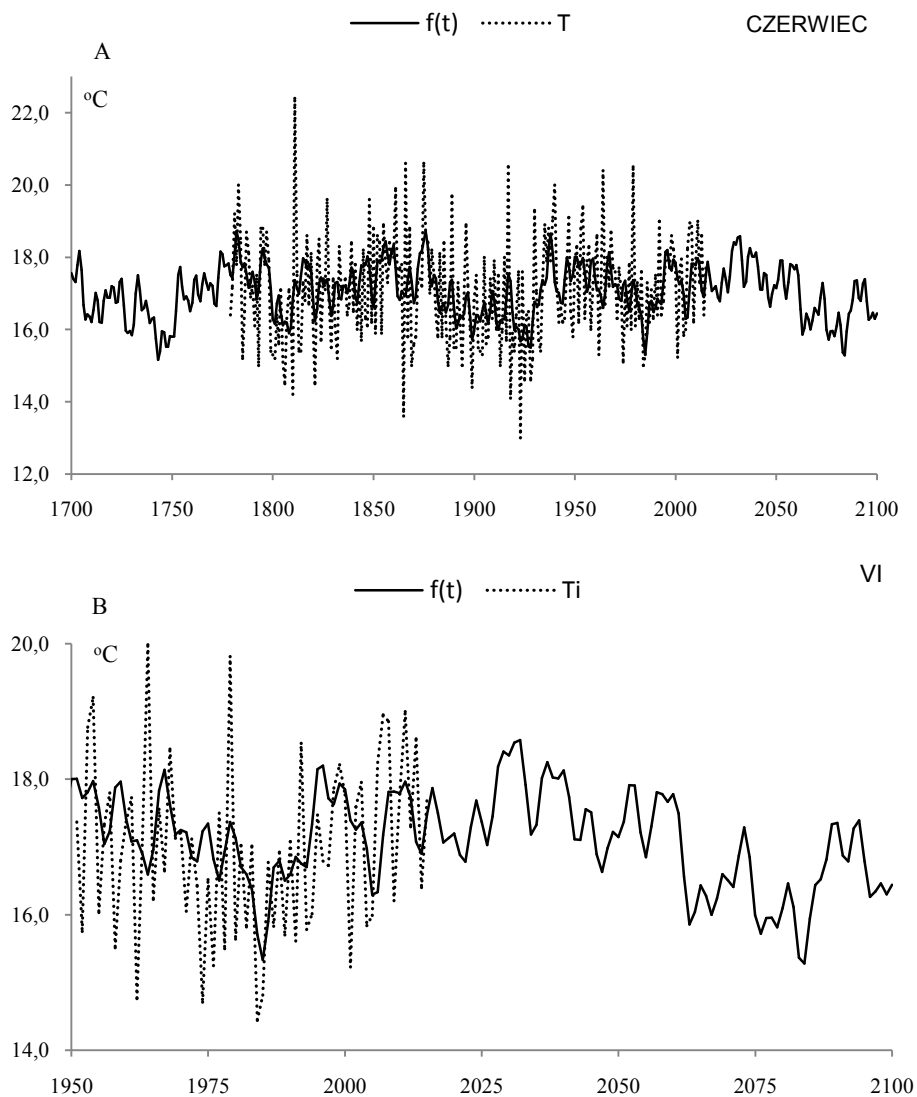
**Table 5.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in June in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{\text{obl}}$  – F-test)

$F(t) = 13,121532 + 0,002075 t + \dots$ ; $R = 0,473511$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{\text{obl}}$
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)

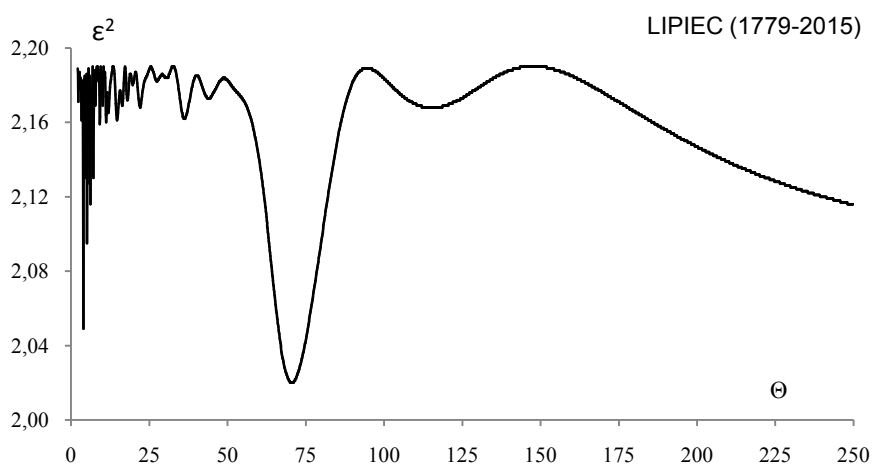
**Fig. 17.** Air temperature changes in Warsaw in June in the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1951-2015)



**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



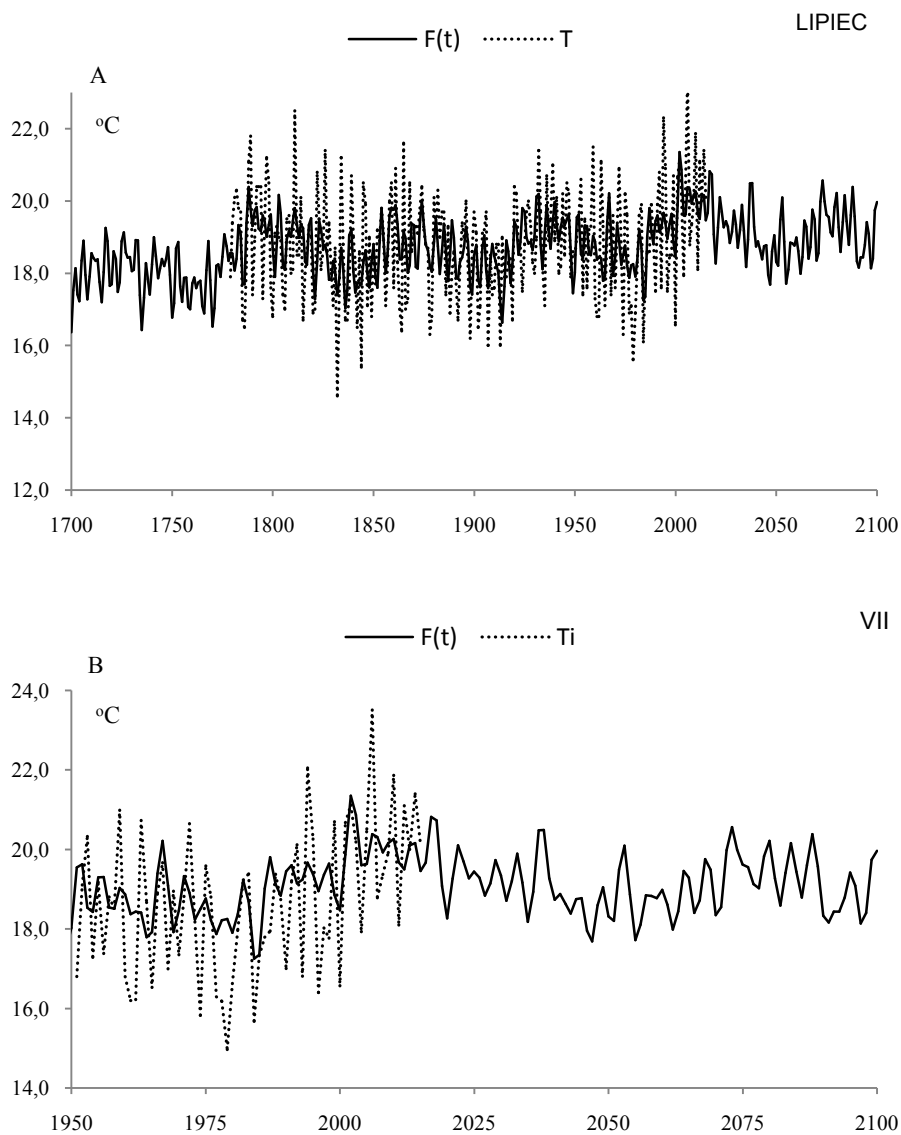
**Rys. 19.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w lipcu w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**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

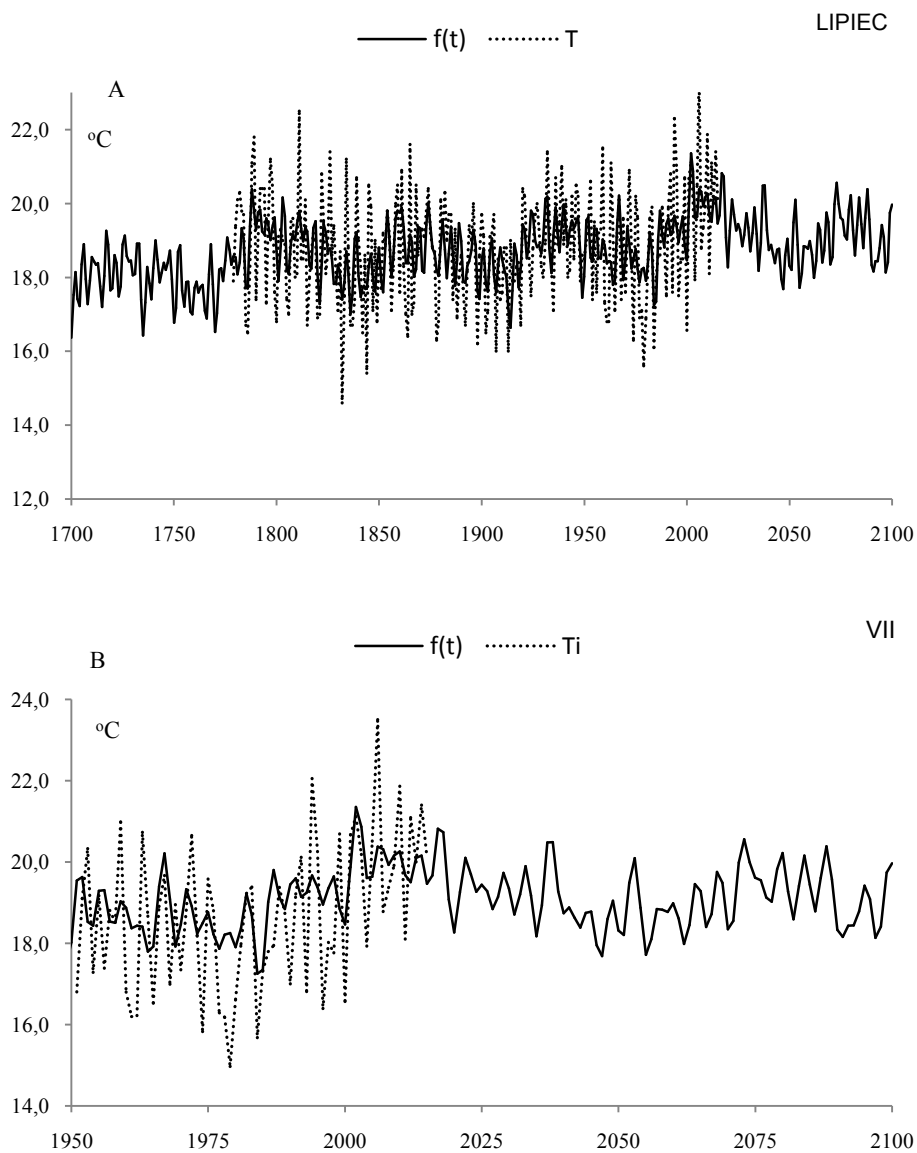
**Table 7.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in July in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = 13,01184 + 0,003012 t + \dots ; R = 0,531311$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
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)

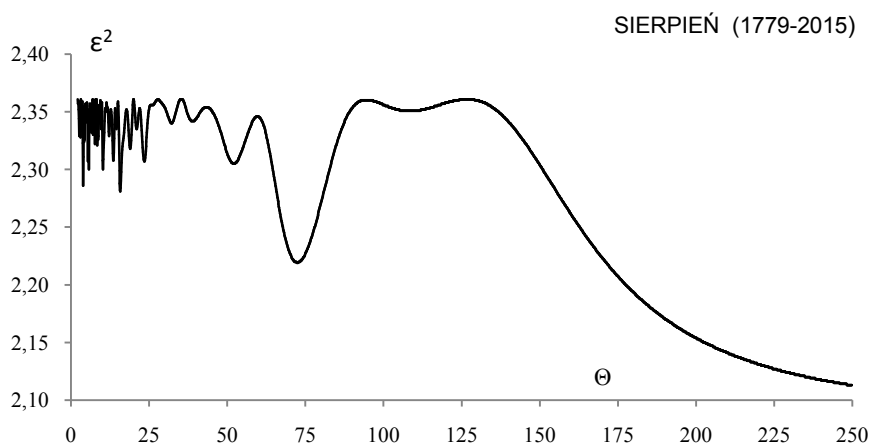
**Fig. 20.** Air temperature changes in Warsaw in July the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)



**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)

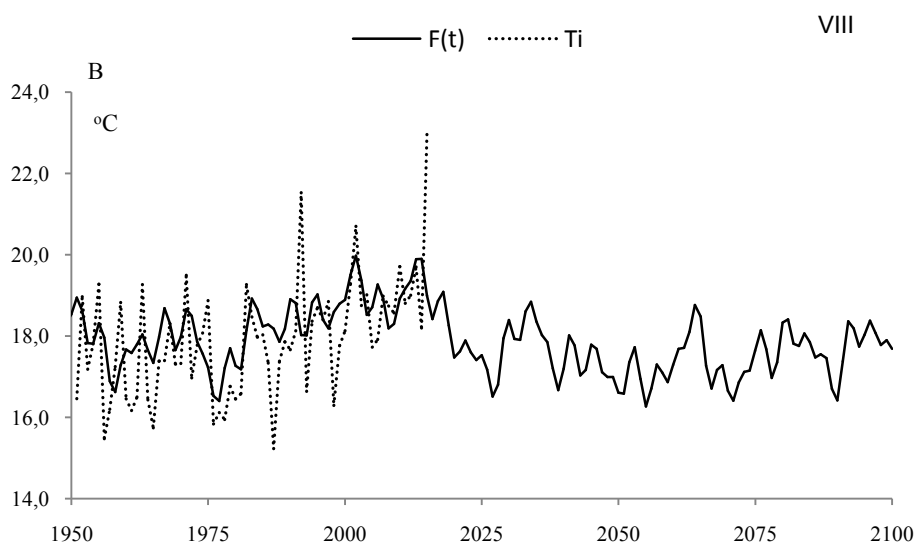
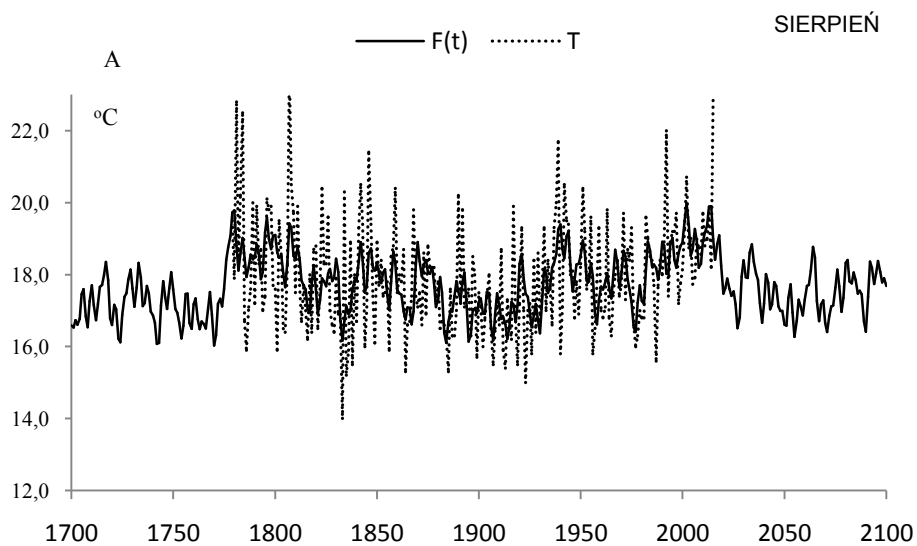
**Fig. 22.** Spectrum of air temperature in Warsaw in August in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

**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)

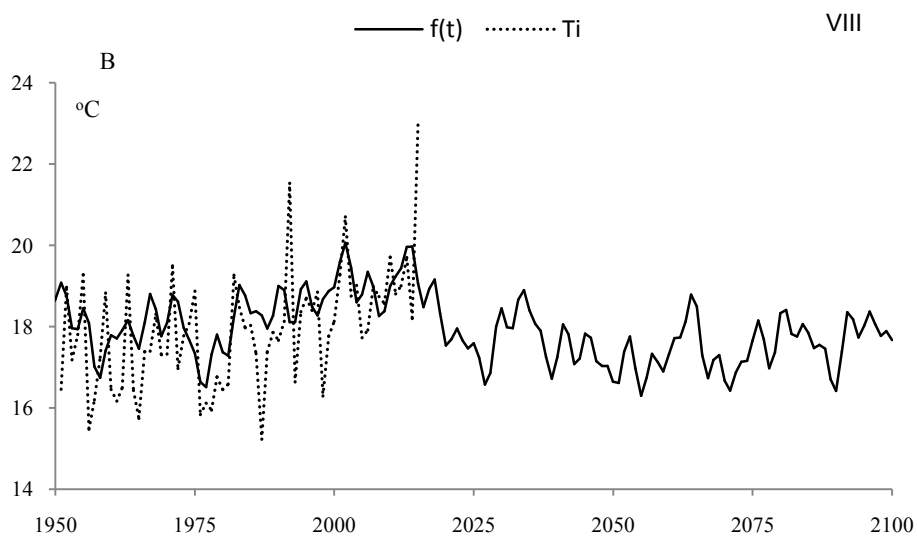
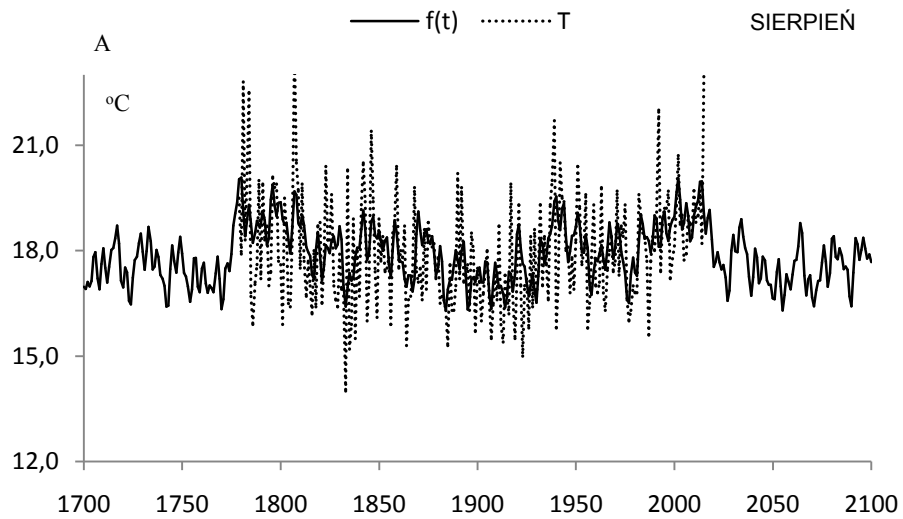
$F(t) = 15,904005 + 0,000968 t + \dots$ $R = 0,541064$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
3,9	0,377678	-0,932283	2,286	0,180	3,959
5,7	0,344937	1,119649	2,300	0,162	3,213
10,2	0,328463	-0,578129	2,300	0,162	3,213
15,8	0,413317	-2,256306	2,281	0,186	4,227
23,4	0,344036	1,358768	2,307	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)

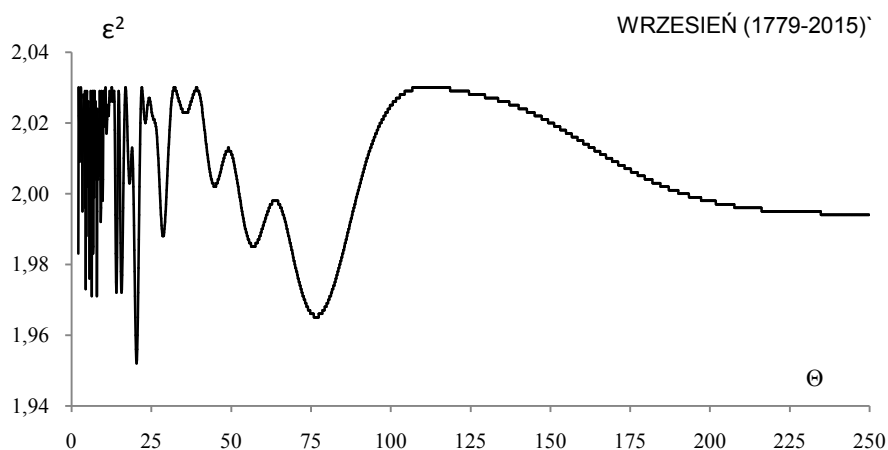
**Fig. 23.** Air temperature changes in Warsaw in August the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1951-2015)



**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



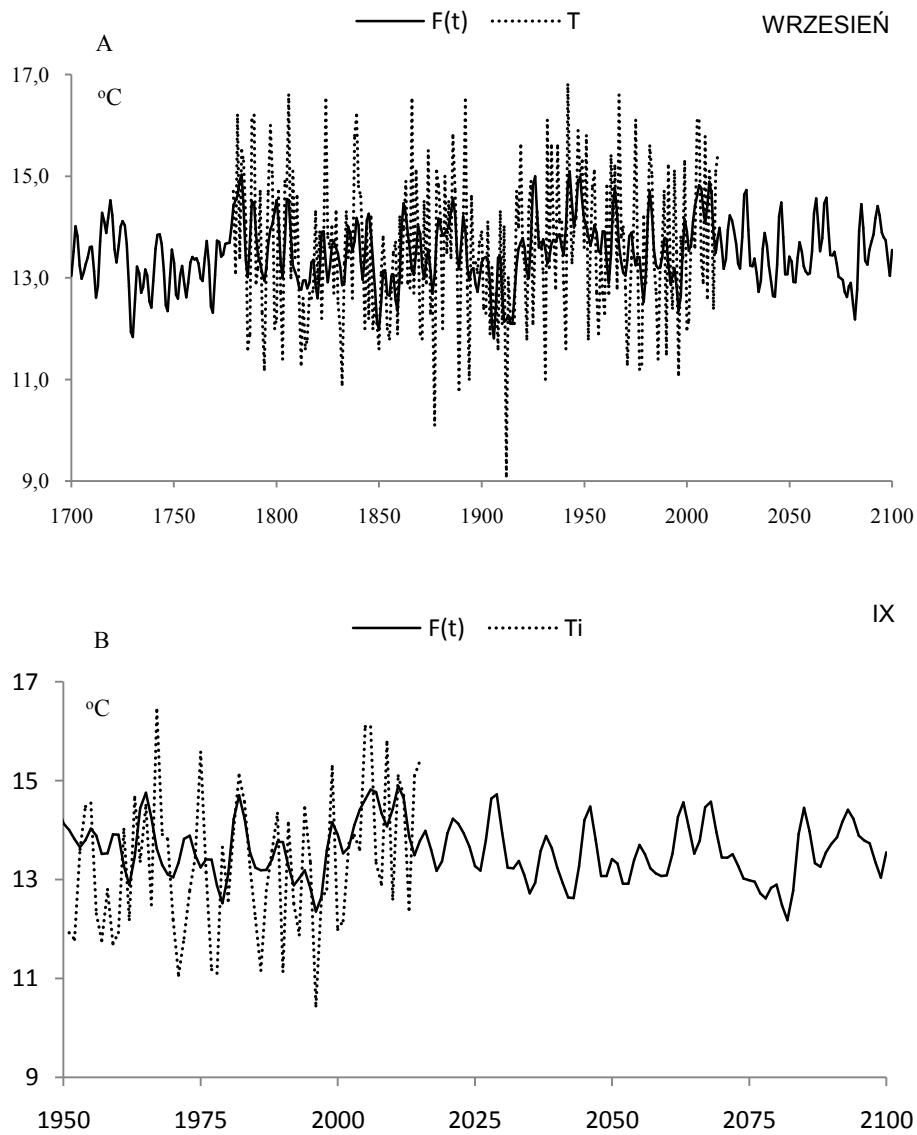
**Rys. 25.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie we wrześniu latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**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

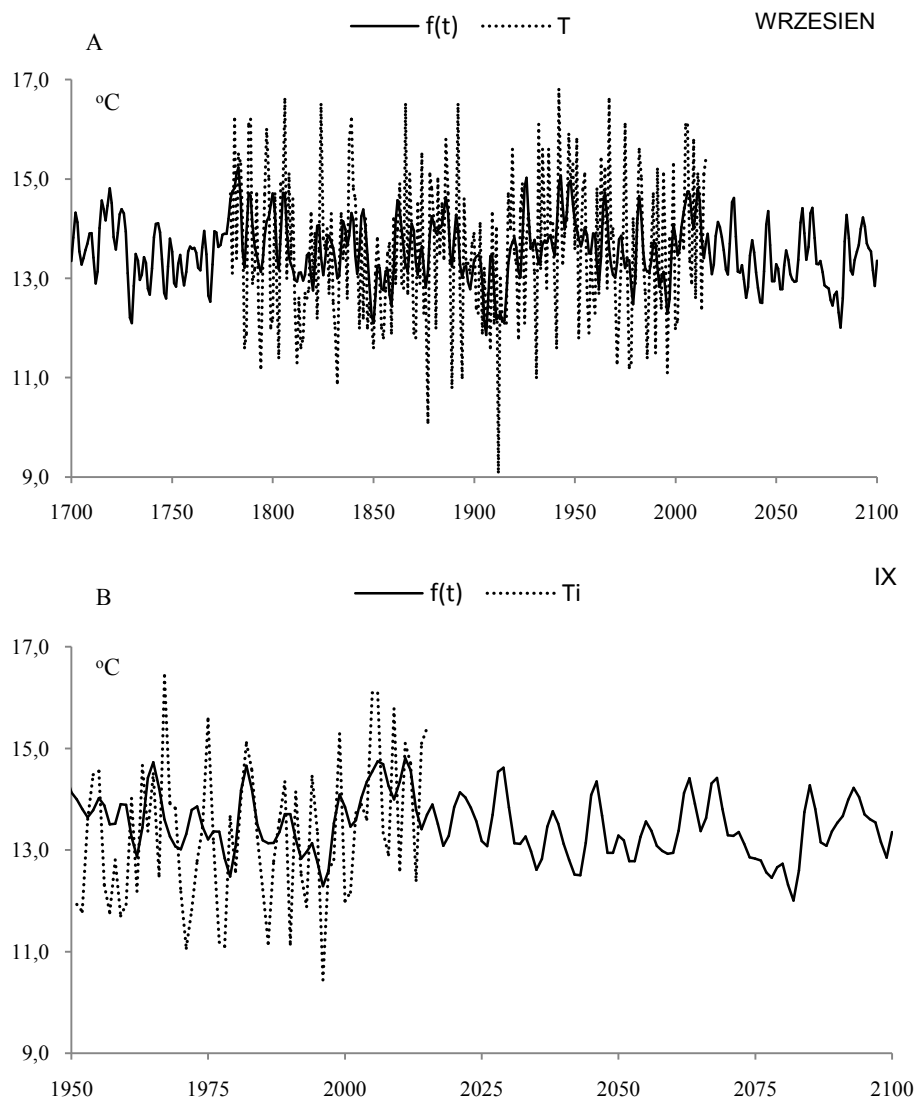
**Table 9.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in September in years 1779-2015, ( $\epsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = 11,123718 + 0,001253 t + \dots$ ; $R = 0,466054$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\epsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
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)

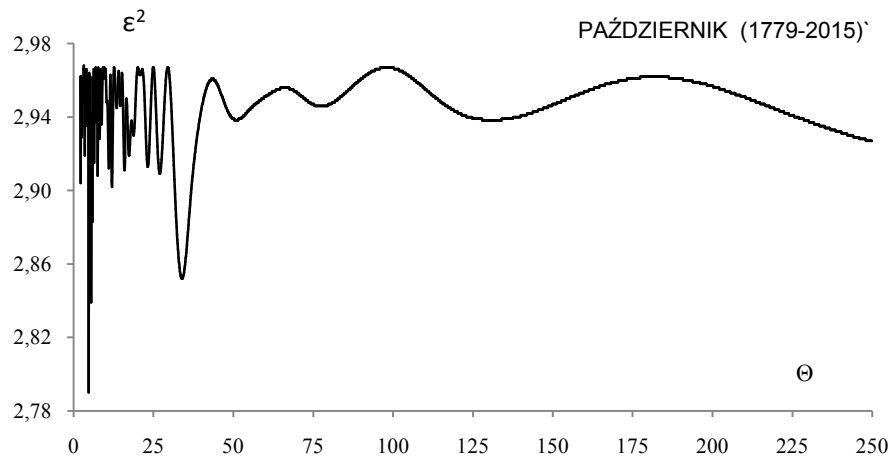
**Fig. 26.** Air temperature changes in Warsaw in September the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1950-2015)



**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



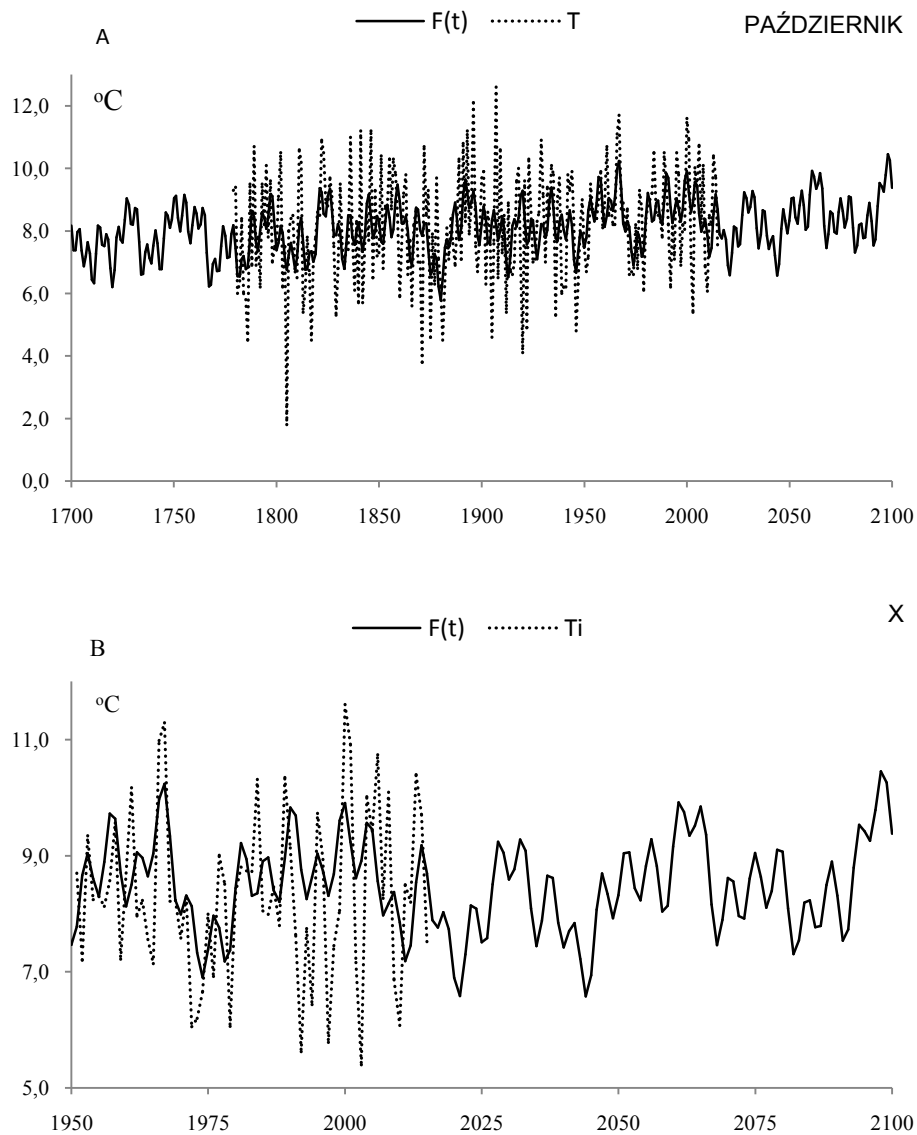
**Rys. 28.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w październiku w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**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

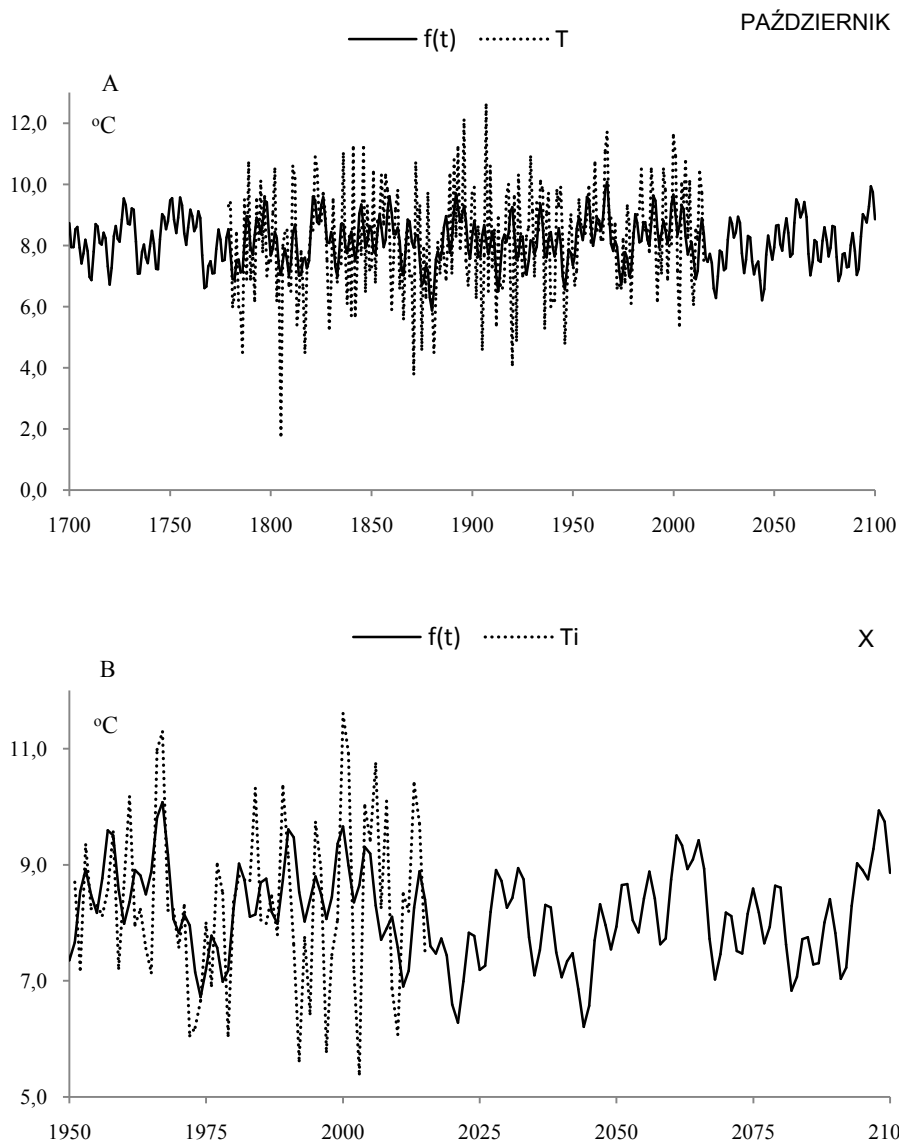
**Table 10.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in October in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = 2,957628 + 0,002717 t + \dots$ <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)

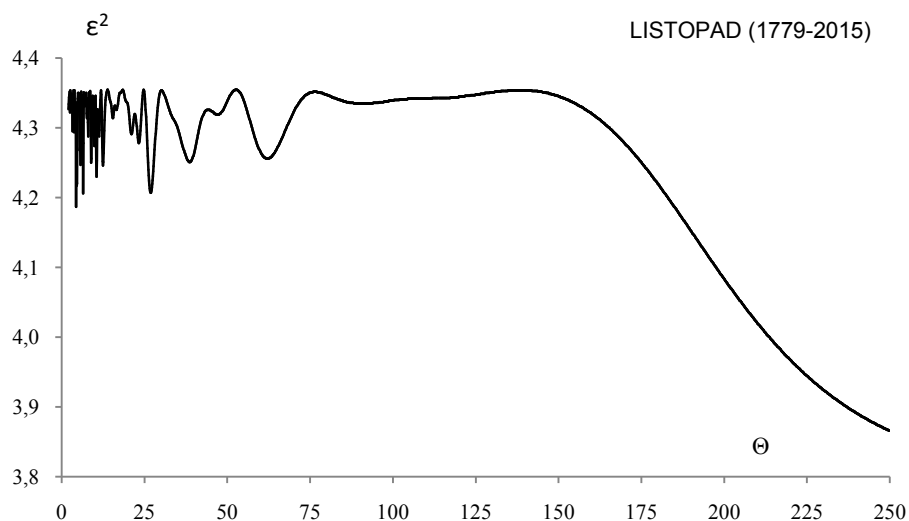


**Rys. 30.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w październiku w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**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



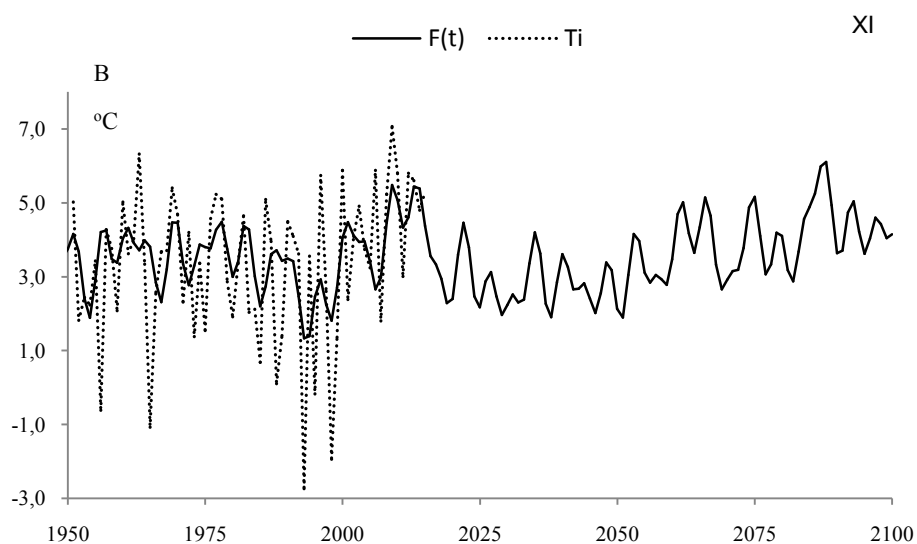
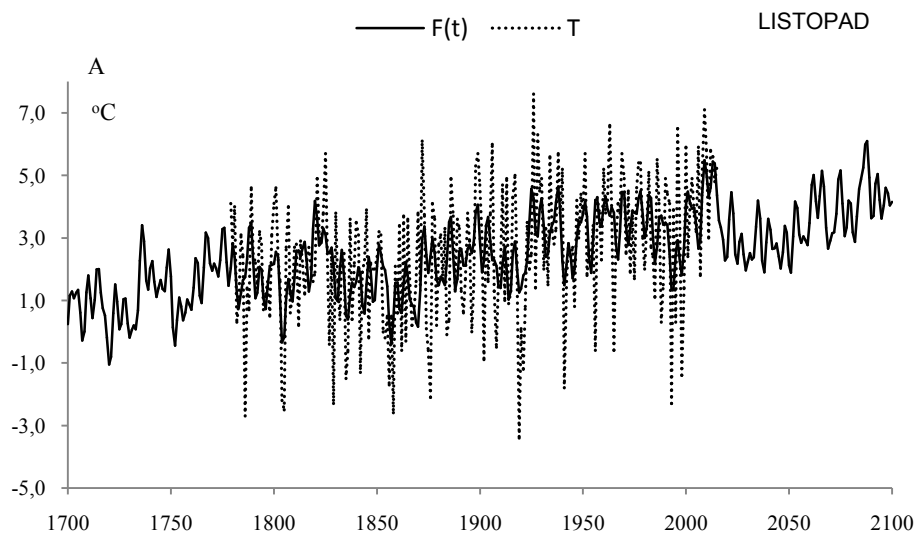
**Rys. 31** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w listopadzie w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**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

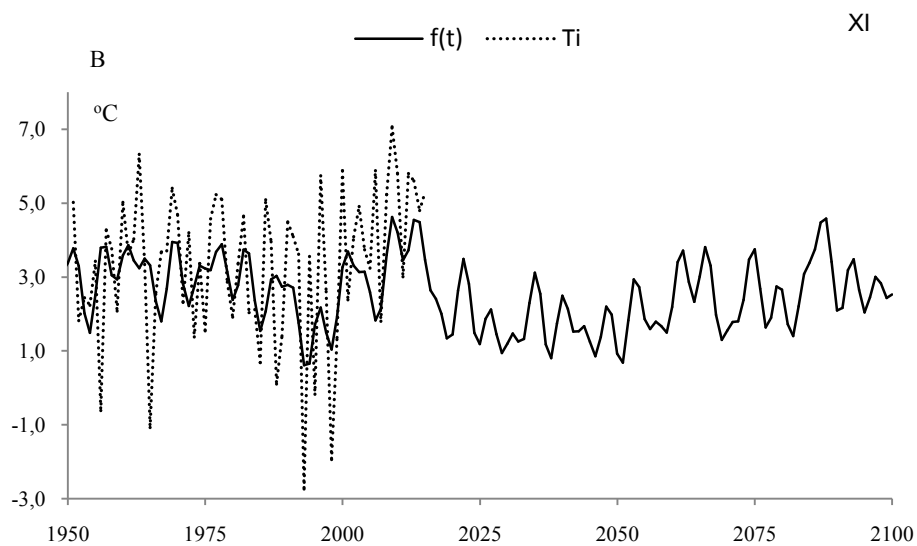
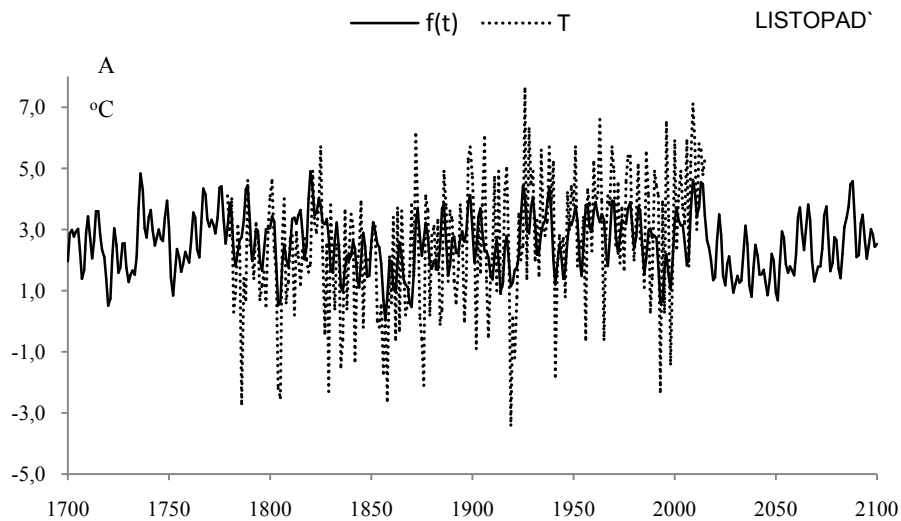
**Table 11.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in November in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = -13,374038 + 0,008345 t + \dots ; R = 0,558577$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
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)

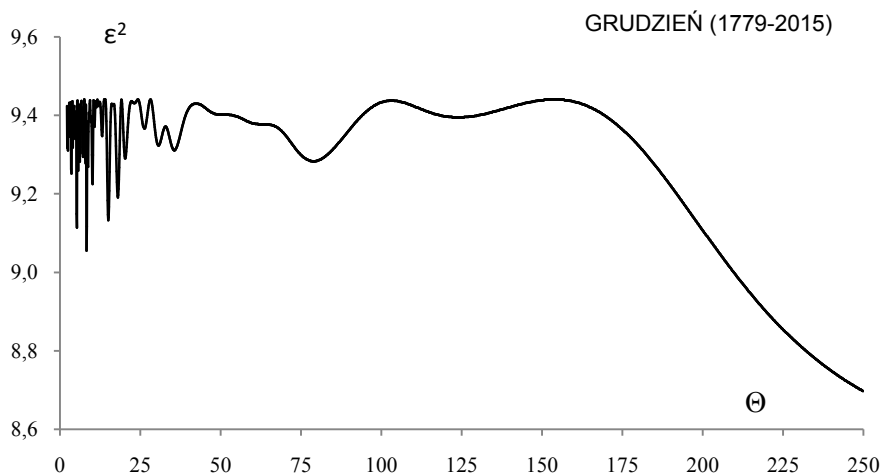
**Fig. 32.** Air temperature changes in Warsaw in November in the years 1700-2100.  $F(t)$  – calculated values (with a forecast for the years 2016-2100); A)  $T$  – values measured (1779-2015), B)  $T_i$  – values measured in Okęcie (1951-2015)



**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



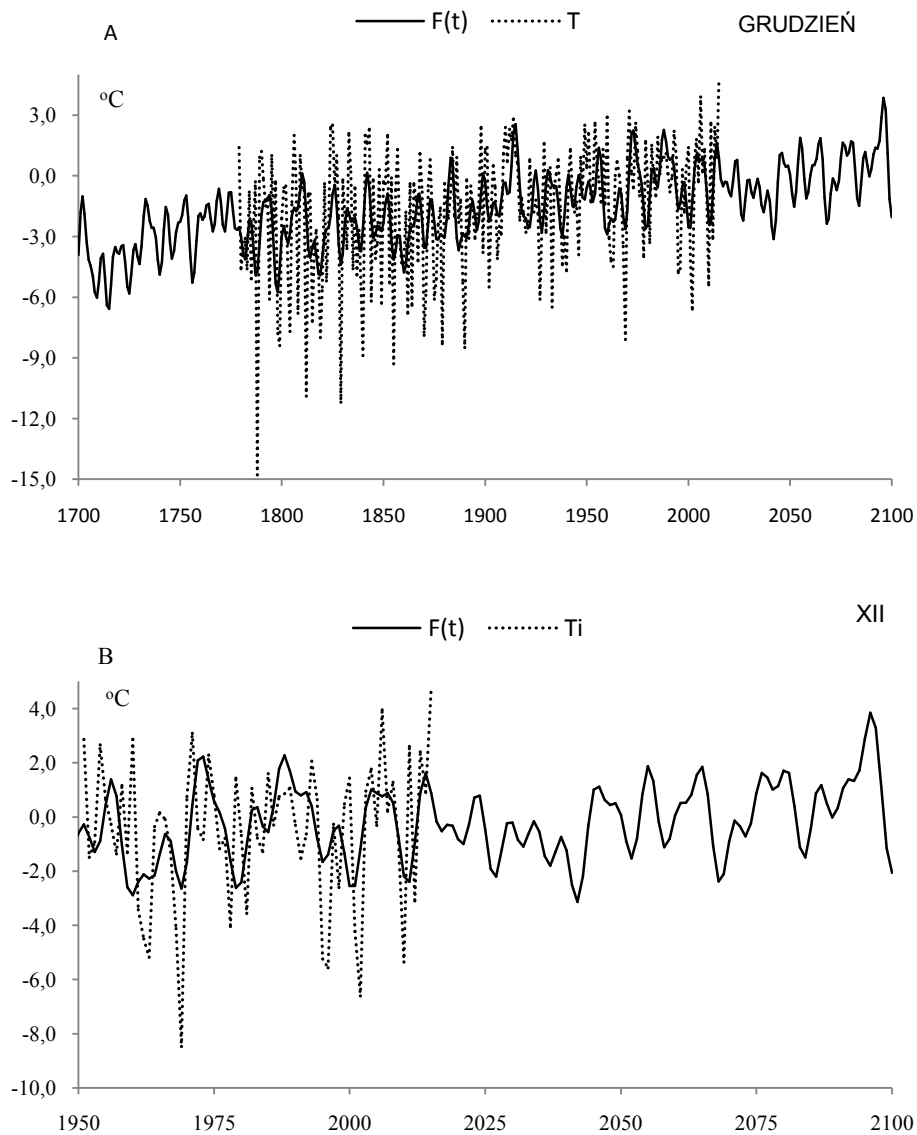
**Rys. 34.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w grudniu w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**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

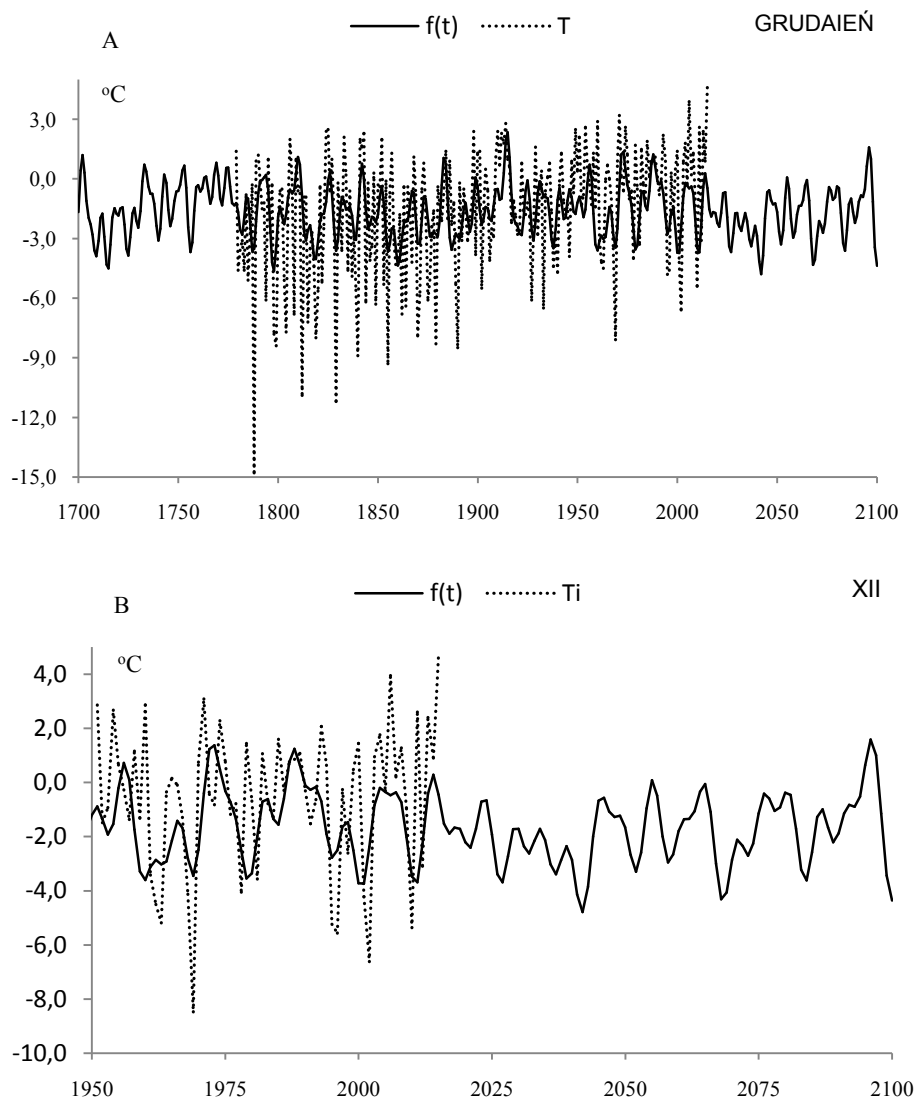
**Table 12.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in December in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = -23,215321 + 0,011385 t + \dots ; R=0,521181$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
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)

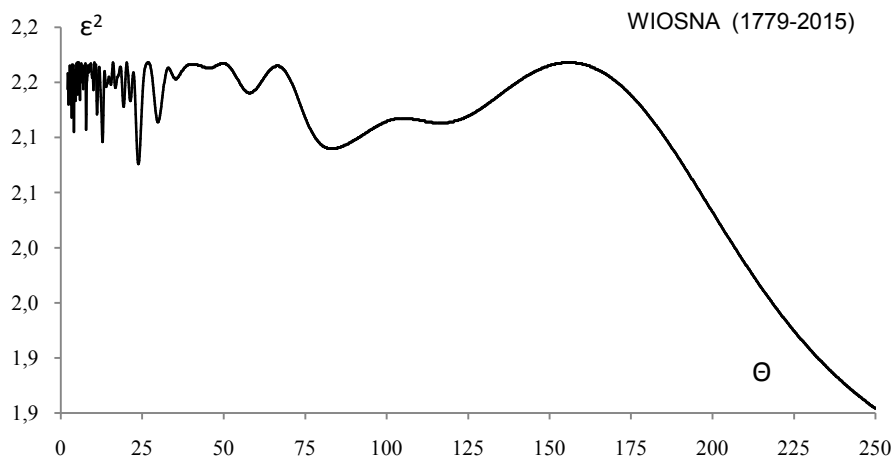


**Rys. 36.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w grudniu w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**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)

### 13.2. Nowe prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie w porach roku i roku w latach 2016-2100

#### WIOSNA (III-V)



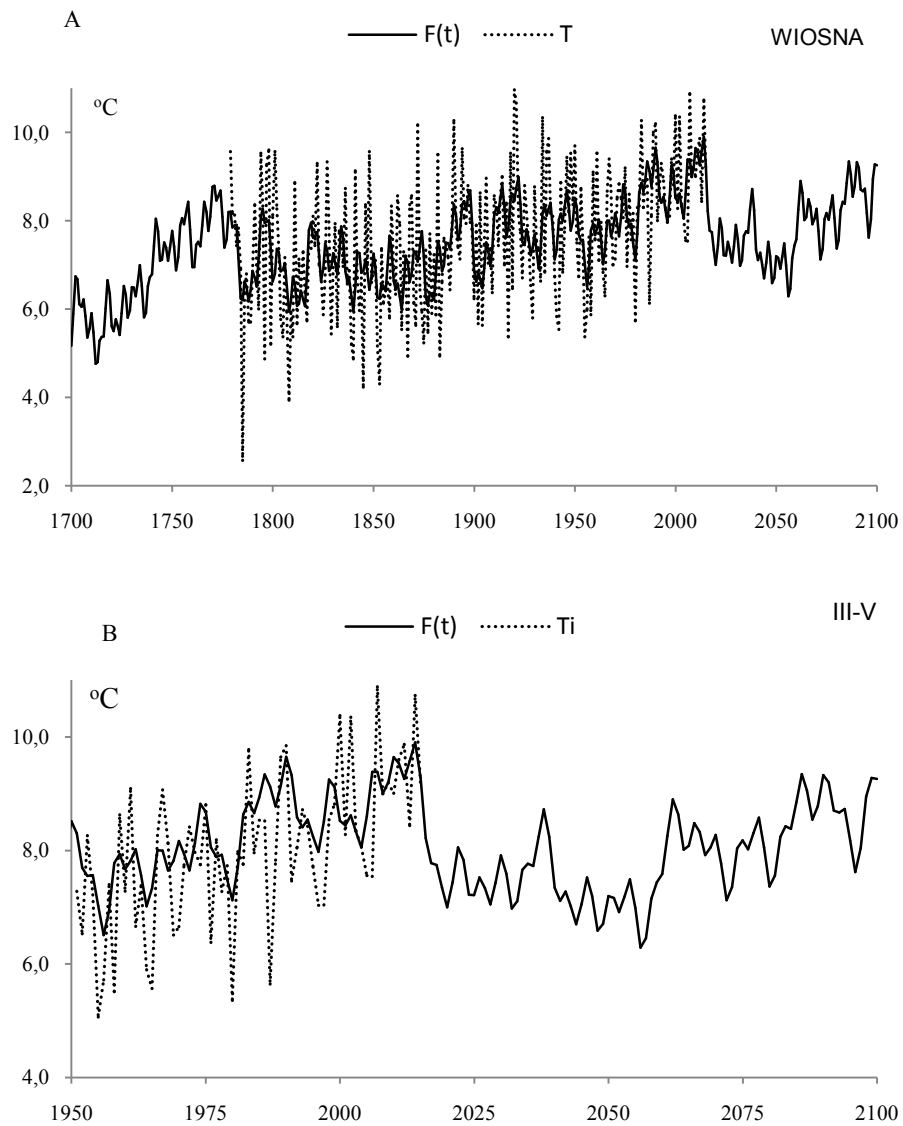
**Rys. 37.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie wiosną w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**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)

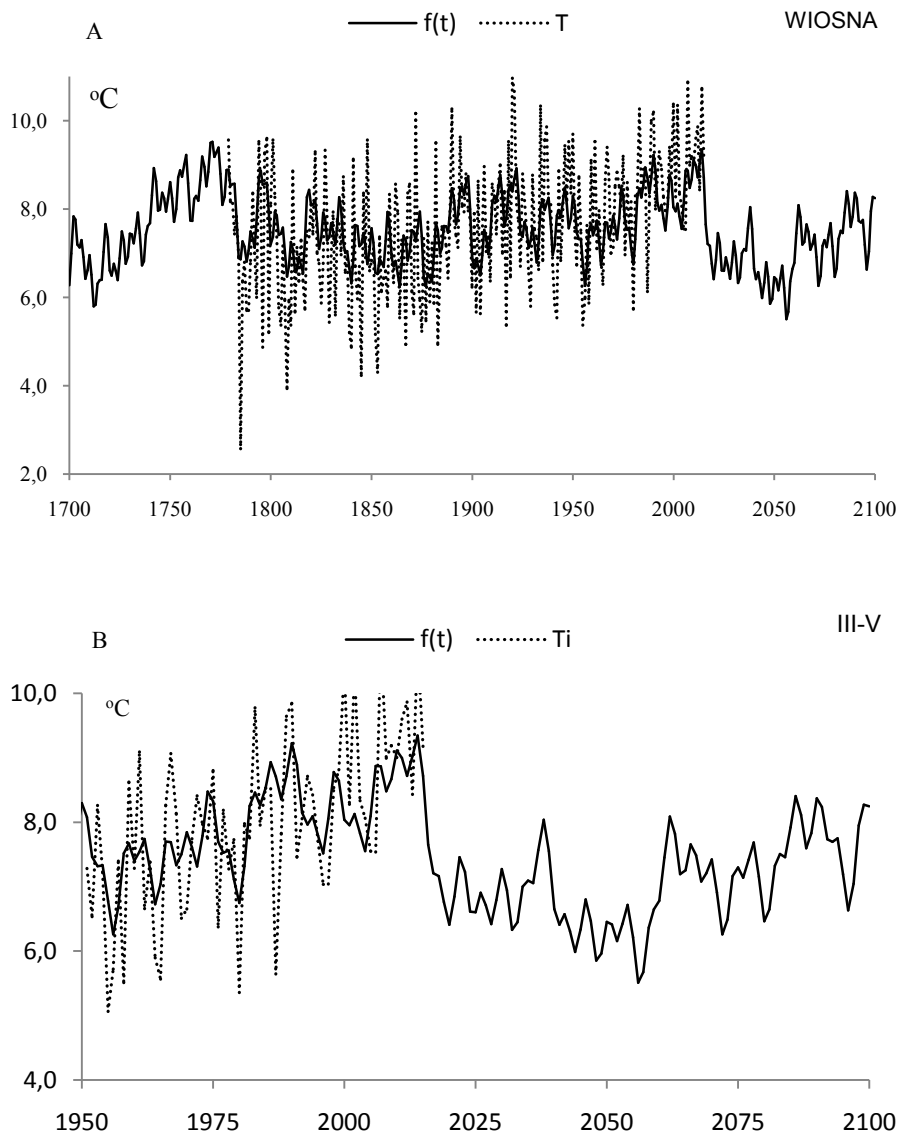
$F(t) = -2.513870 + 0.005287 t + \dots ; R=0.602645$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
4,0	0,348527	-1,901137	2,105	0,169	3,478
7,8	0,338290	0,003243	2,107	0,166	3,362
12,8	0,350094	0,324643	2,096	0,181	4,002
19,3	0,191380	0,844771	2,128	0,134	2,160
23,9	0,382931	0,118414	2,076	0,205	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)

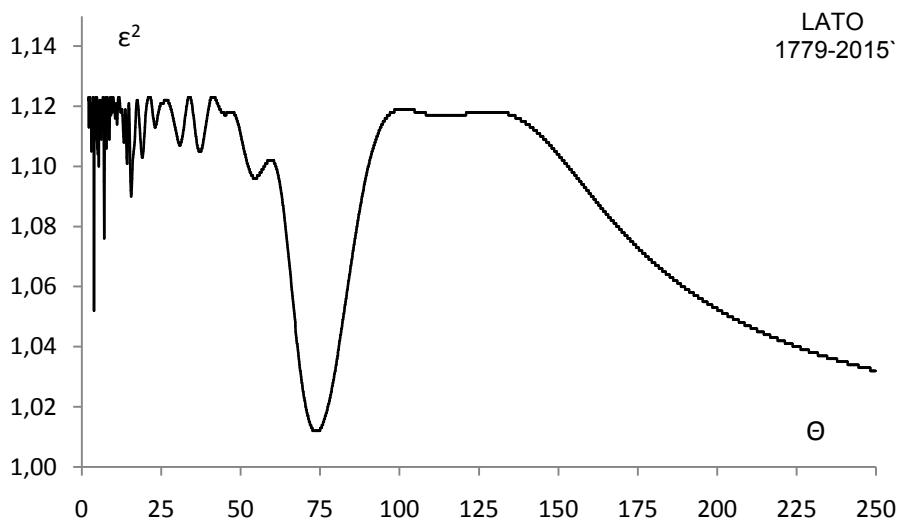




**Rys. 39.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie wiosną w latach 1700-2100,  $f(t)$  – wartości obliczone (z prognozą na lata 2016-2100); A)  $T$  – wartości zmierzone (1779-2015). B)  $T_i$  – zmierzone na Okęciu (1951-2015)

**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 (1951-2015)

### LATO (VI-VIII)



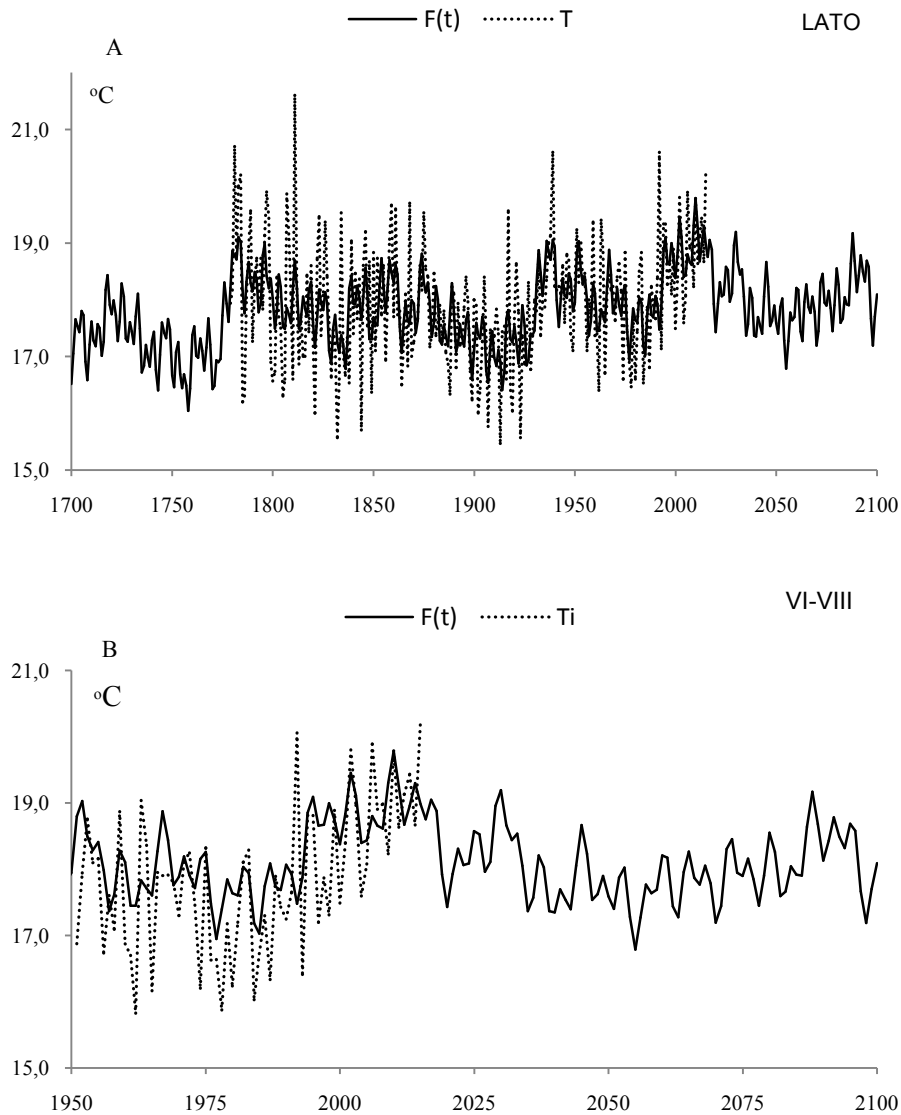
**Rys. 40.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w lecie w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**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,  $F_{\text{obl}}$  – test Fishera-Snedecora

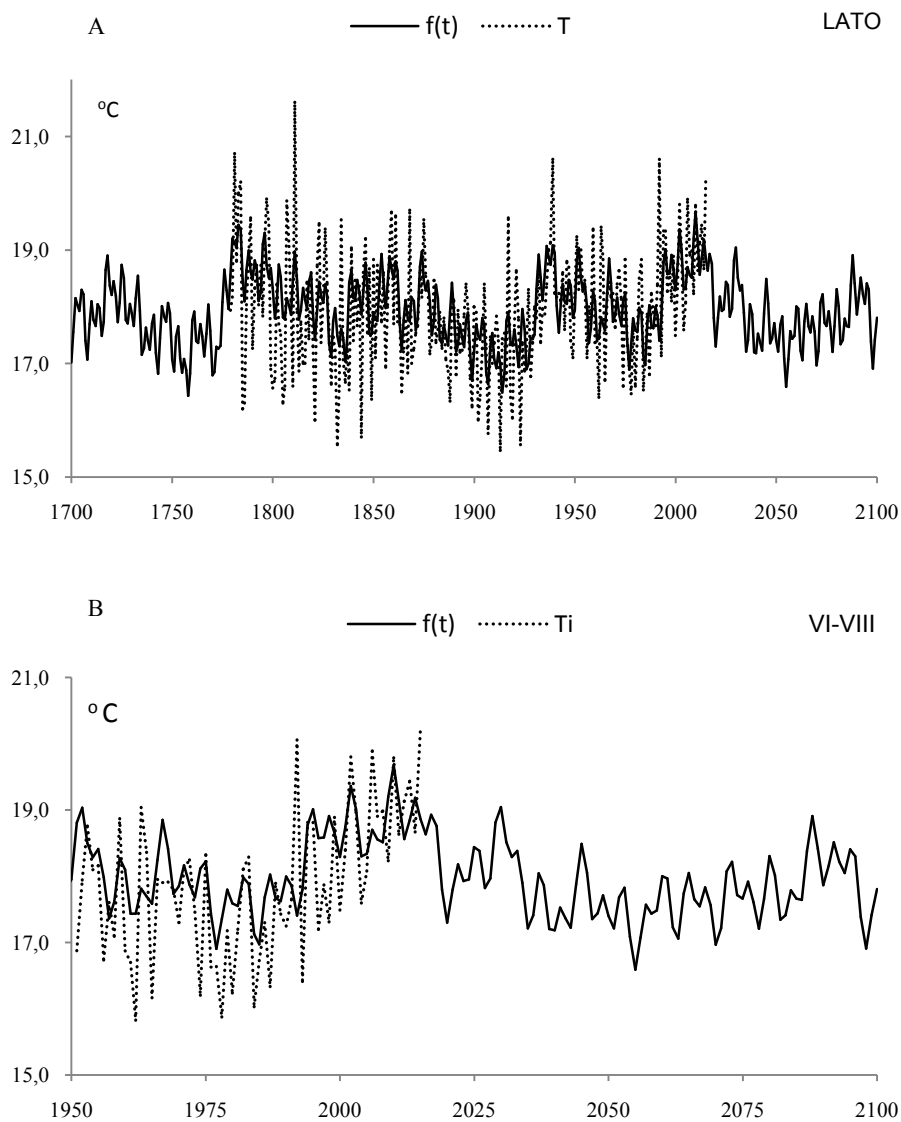
**Table 14.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in summer in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{\text{obl}}$  – F-test)

$F(t) = 14.083182 + 0.001975 t + \dots \quad R = 0.590157$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{\text{obl}}$
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



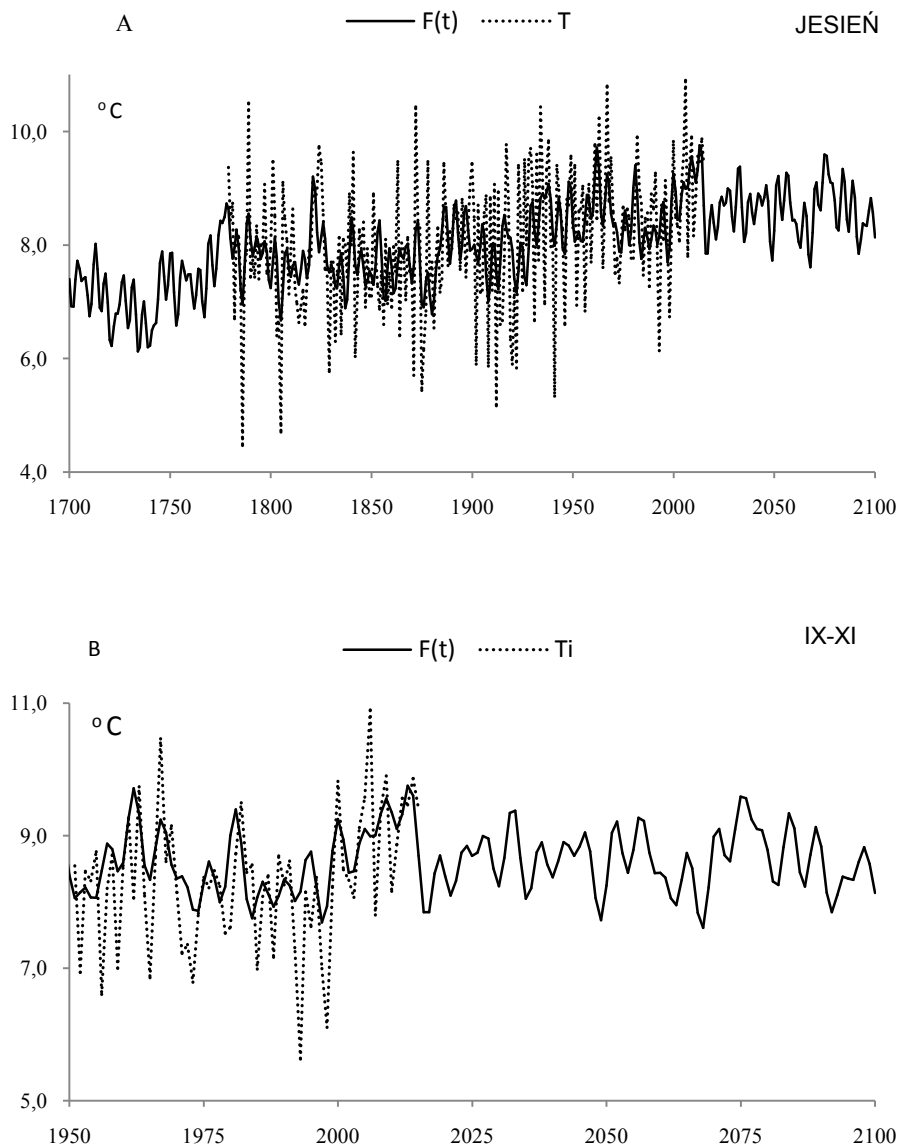
**Rys. 43.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie jesienią w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**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

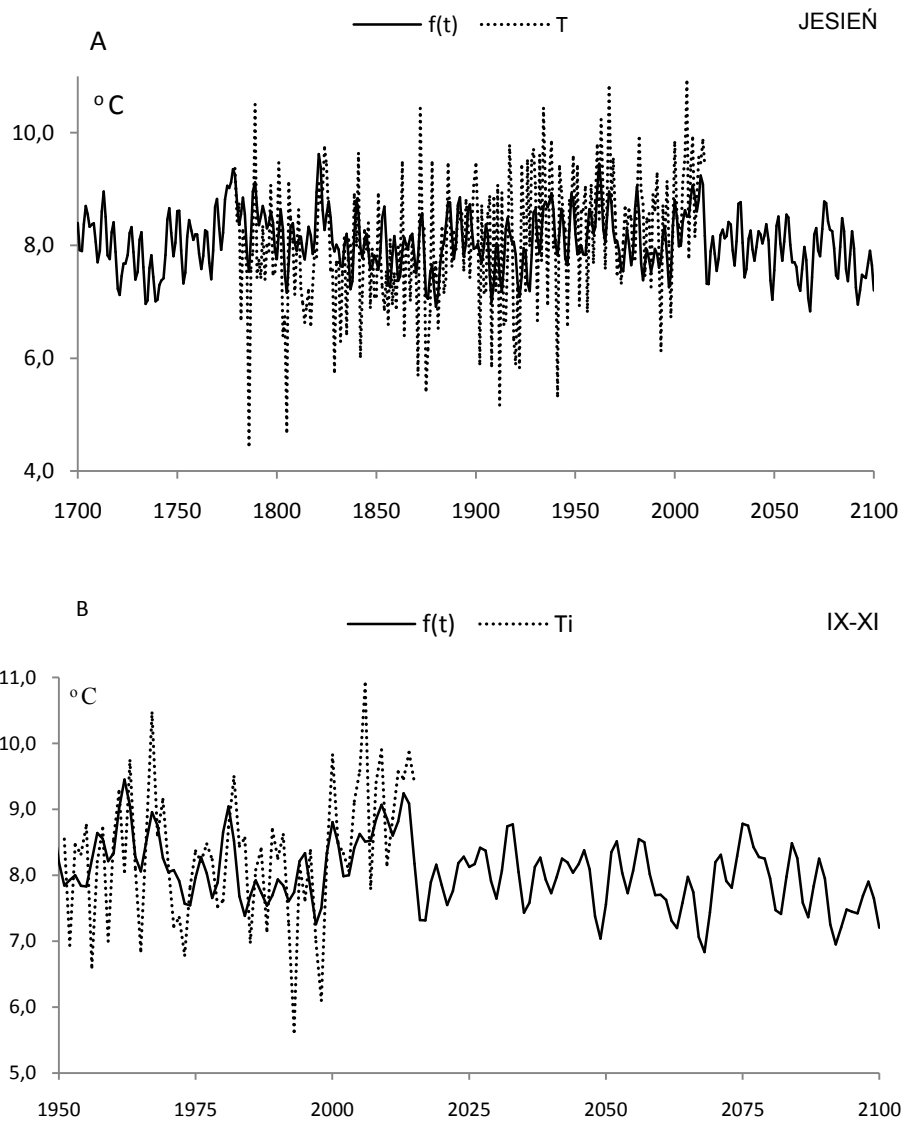
**Table 15.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in autumn in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{obl}$  – F-test)

$F(t) = -1.135666 - 0.004831 t + \dots \quad R = 0.546270$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{obl}$
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 (1951-2015)

## 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)

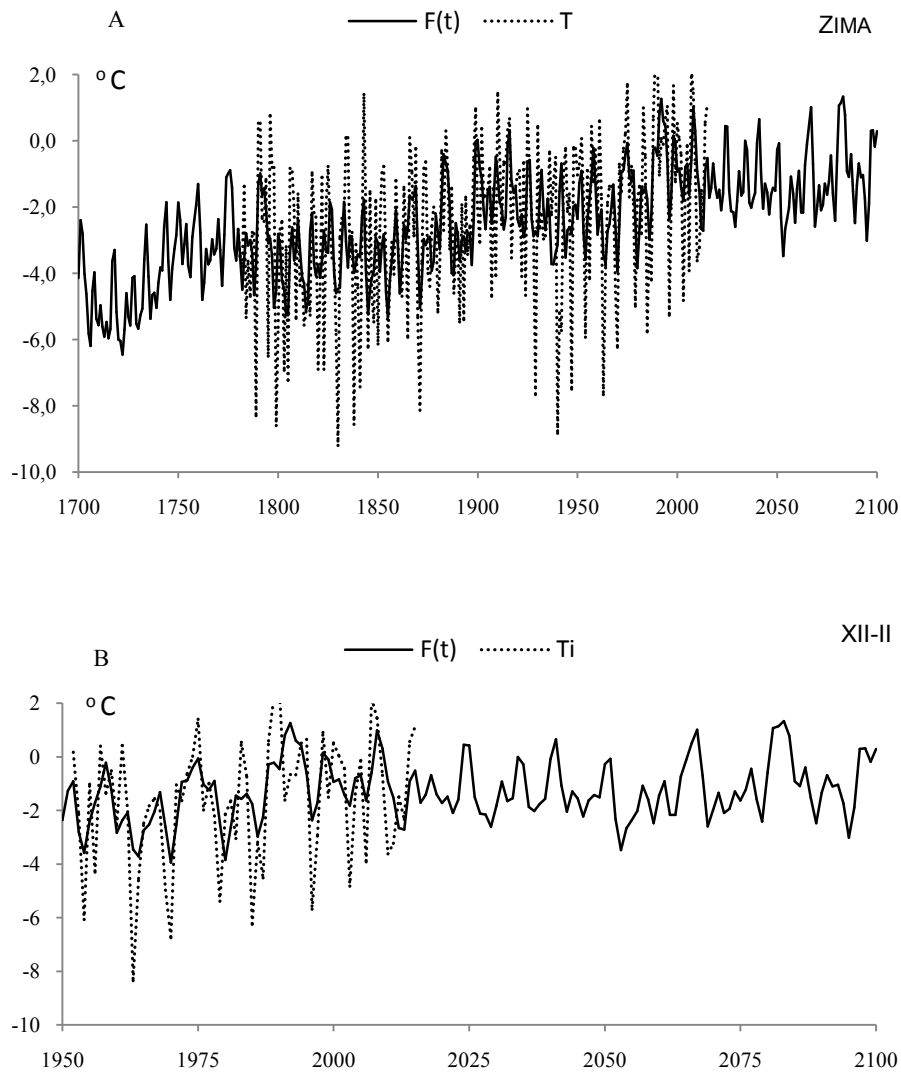
**Fig. 46.** Spectrum of air temperature in Warsaw in winter in the years 1779-2015 (in the strip 2,0-250 years,  $\Delta\Theta = 0,1$  year)

**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)

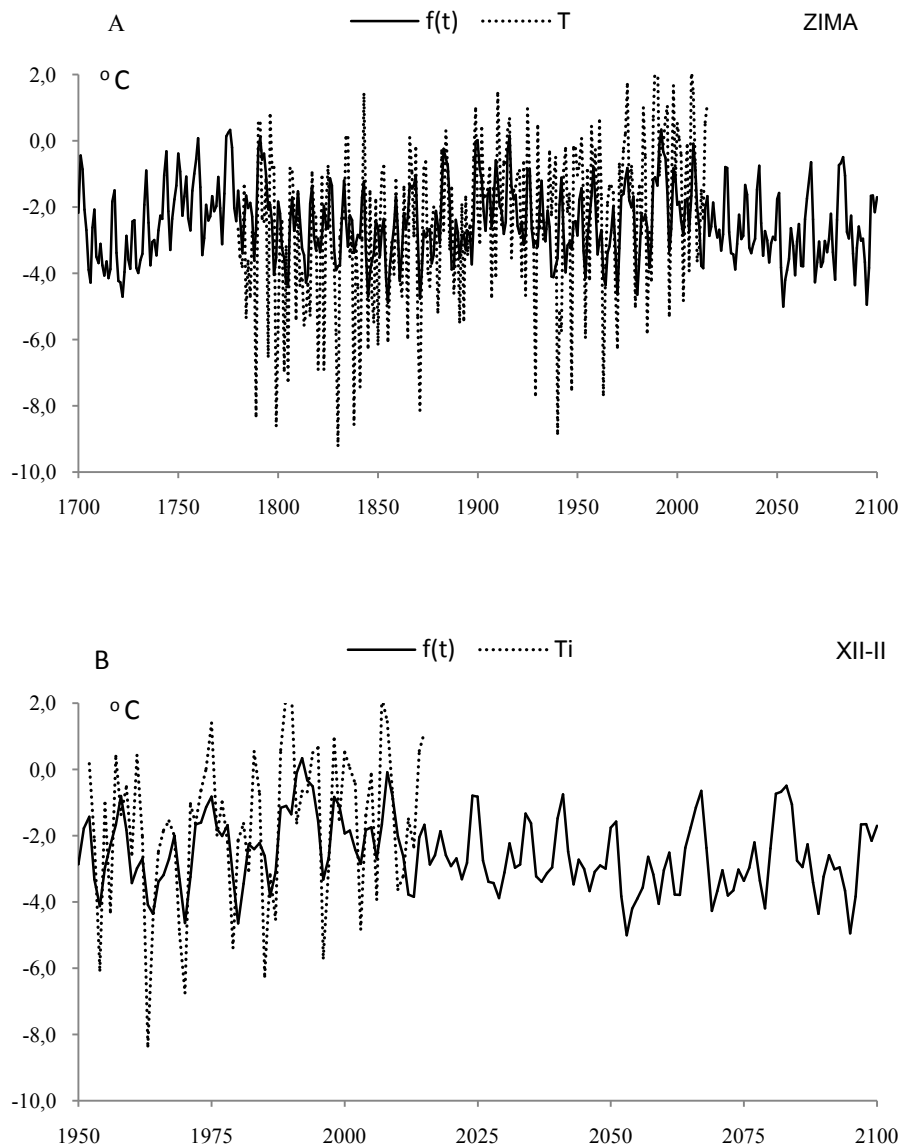
$F(t) = -1.135666 - 0.004831 t + \dots$ $R=0.546270$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{\text{obl}}$
3,3	0,572119	-1,333062	5,450	0,172	3,629
5,2	0,632682	-0,658662	5,409	0,192	4,555
8,3	0,830451	1,932767	5,280	0,245	7,561
15,3	0,463434	0,873822	5,493	0,149	2,673
18,1	0,421194	1,416745	5,490	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)



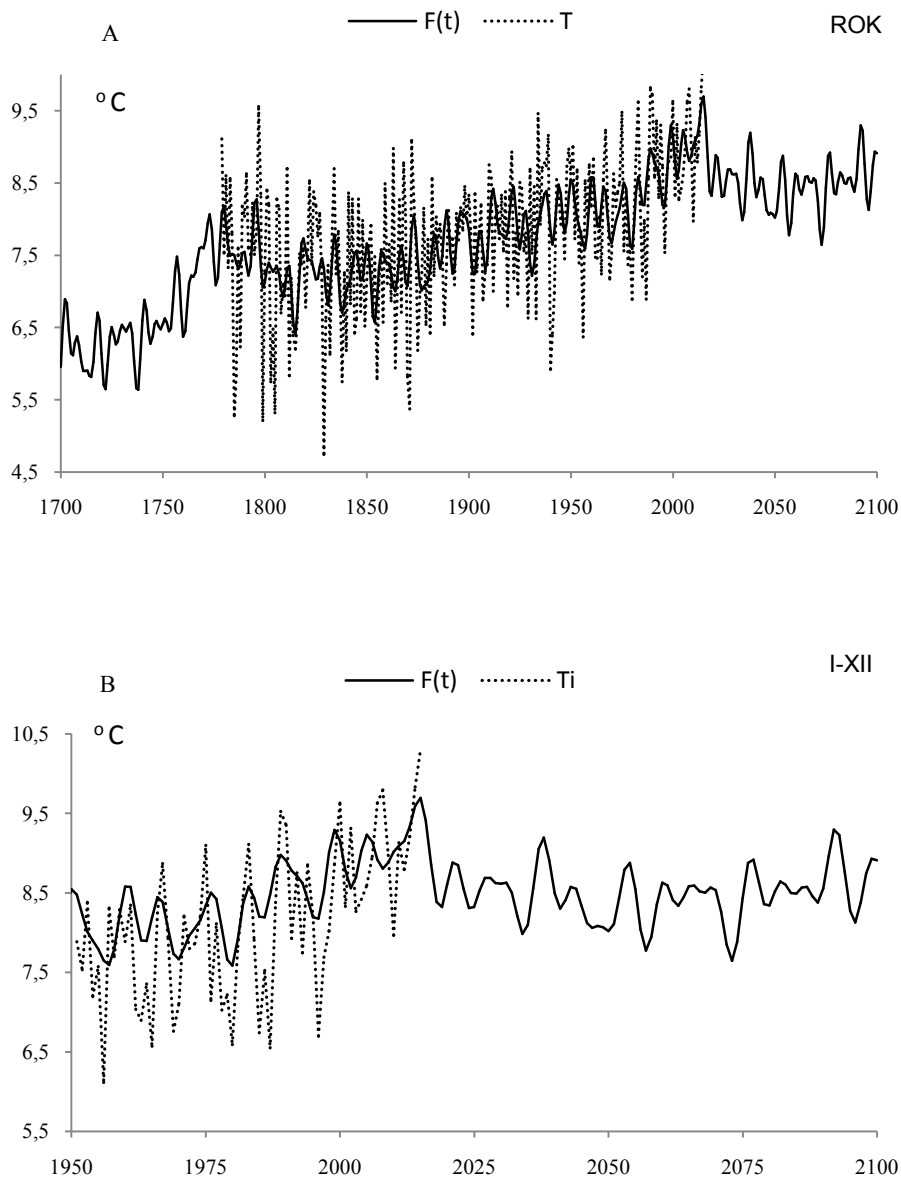
**Rys. 49.** Widmo temperatury powietrza w Warszawie w roku w latach 1779-2015 (w paśmie 2,0-250 lat,  $\Delta\Theta = 0,1$  roku)

**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

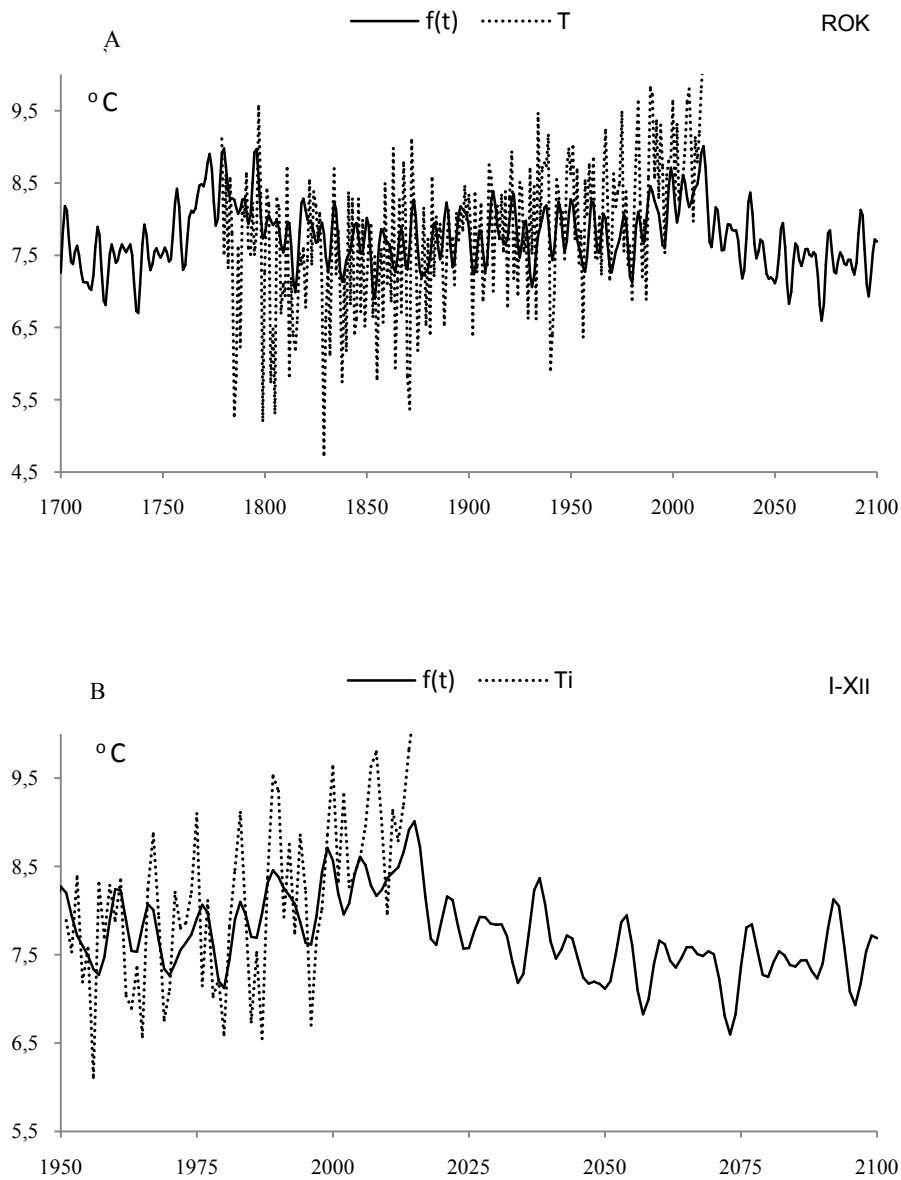
**Table 17.** Periods  $\Theta$ , amplitudes  $b$  and phases  $c$  of air temperature in Warsaw in year in years 1779-2015, ( $\varepsilon^2$  – rest variance,  $R$  – multiple correlation coefficient,  $F_{\text{obl}}$  – F-test)

$F(t) = -4.223020 + 0.006302 t + \dots ; R=0.615894$					
$\Theta$	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	$F_{\text{obl}}$
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)

#### XIV. CYKLICZNE WAHANIA TEMPERATURY I OPADÓW W POLSCE W XIX-XXI WIEKU\*

*Jerzy Boryczka, Maria Stopa-Boryczka*

**Streszczenie.** Celem pracy jest określenie zakresu zmian temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie i Krakowie w ostatnich dwóch stuleciach. Jest nim też wykazanie synchroniczności cyklicznych wahań klimatu w Polsce na przykładzie tych miast oraz prognoza zmian temperatury i opadów w XXI wieku. Z dotychczasowych badań długich ciągów pomiarów wynika, że w Warszawie (1779-1998) i Krakowie (1826-1998) występuje kilka cykli temperatury powietrza o znaczących amplitudach. Są to cykle około 3-5, 7-8, 10-13, 73-113 lat i cykl planetarny 178,9 lat. Widma i cykle temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, wskaźnika NAO i aktywności Słońca wyznaczono metodą „sinusoid regresji”. Interesujące są wykresy czasowych zmian: aktywności Słońca i wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku NAO wraz z prognozami sięgającymi po rok 2100. Rekonstrukcje i prognozy otrzymano na podstawie interferencji wykrytych cykli: liczb Wolfa prognozami wskaźnika NAO. Ciągi czasowe temperatury powietrza w ostatnich stuleciach w Europie świadczą, że współczesne ocieplenie klimatu może w dużym stopniu wynikać z przyczyn naturalnych. Nie bez znaczenia są prawie przystające proste regresji standaryzowanych wartości aktywności Słońca i temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000

**Słowa kluczowe:** temperatura, aktywność Słońca, widmo, wskaźnik NAO, prognoza

#### WSTĘP

Celem pracy jest określenie zakresu zmian temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie i Krakowie w ostatnich dwóch stuleciach. Jest nim też wykazanie synchroniczności cyklicznych wahań klimatu w Polsce na przykładzie tych miast oraz prognoza zmian temperatury i opadów w XXI wieku.

Z dotychczasowych badań długich ciągów pomiarów wynika, że w Warszawie, podobnie jak w innych miastach Polski (Kraków 1826-1990), Wrocław 1851-1980) i Europy (Anglia 1659-1773, Praga 1771-1980, Genewa 11826-1990, Zurych 1864-1980, Poczdam 1893-1992) występuje kilka cykli temperatury powietrza o znaczących amplitudach. Są to cykle około 3-5, 7-8, 10-13, 73-113 lat i cykl planetarny 178,9 lat [1,2,9,15,16].

Ich obecność prawie we wszystkich ciągach chronologicznych (miesięcznych i sezonowych wartości) świadczy, że cykliczność ta jest cechą pola temperatur powietrza w Europie i Polsce.

Widma i cykle temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, wskaźnika NAO i aktywności Słońca wyznaczono metodą „sinusoid regresji”:

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

gdzie:  $\Theta$  – okres,  $b$  – amplituda,  $c$  – przesunięcie fazowe,  $t$  – czas, zmieniając okres sinusoidy  $\Theta$  co 0,1 roku

Ciąg wartości wariancji resztkowej  $\varepsilon^2$ , odpowiadających zadawanym okresom  $\Theta$  – to widmo zmiennej  $y$ . Okresy  $\Theta$  – to minima lokalne wariancji resztkowej  $\varepsilon^2$

\*) Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2004, *Cykliczne wahania temperatury i opadów w Polsce w XIX-XXI wieku*, [w:] Acta Agrophysica., vol.3 (1), PAN, Kraków 2004, s. 21-33.

## SYNCHRONICZNOŚĆ CYKLI TEMPERATURY POWIETRZA, OPADÓW, CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ I AKTYWNOŚCI SŁOŃCA W POLSCE

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

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

**Tabela 1.** Cykle około 4-letnie temperatury powietrza w Europie  
**Table 1.** The close-to-4-year cycles of air temperature in Europe

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

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

**Tabela 2.** Cykle około 4-letnie opadów atmosferycznych w Polsce  
**Table 2.** The close-to-4-year cycles of precipitation in Poland

Stacjer Stations	Zima Winter		Wiosna Spring		Lato Summer		Jesień Autumn		Rok Yea	
	$\Theta$	$\Delta T$	$\Theta$	$\Delta T$	$\Theta$	$\Delta T$	$\Theta$	$\Delta T$	$\Theta$	$\Delta T$
Warszawa	4,8	21,0	3,6	25,0	3,4	40,0	2,6	21,8	3,6	68,6
Kraków	4,0	16,4	3,5	35,0	2,9	54,8	3,4	36,4	3,4	61,2
Wrocław	3,5	15,8	3,0	24,0	3,2	38,0	3,7	27,4	3,3	65,6

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

Taką samą okresowość ma cyrkulacja atmosferyczna: makrotyp E, południkowa (wg klasyfikacji Wangenheima-Girsa, 1891-1776) i cyklonalna (wg Osuchowskiej Klein, 1901-1975).

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

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

W Europie (i w Polsce) dominują około 8-letnie okresy temperatury powietrza o dużych amplitudach  $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$  (tab. 3):

**Tabela 3.** Cykle około 8-letnie temperatury powietrza w Europie  
**Table 3.** The close-to-8-year cycles of air temperature in Europe

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

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

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

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

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

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

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

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

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  $^{\circ}\text{C}$ ) w wybranych miejscowościach, w poszczególnych sezonach i w roku zestawiono poniżej (tab. 4):



**Tabela 4.** Cykle około 11-letnie temperatury powietrza w Europie  
**Table 4.** The close-to-11-year cycles of air temperature in Europe

Stacjer Stations	Zima Winter		Wiosna Spring		Lato Summer		Jesień Autumn		Rok Yea	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	11,9	0,5	11,2	0,7	11,3	0,3	11,4	0,2	11,1	0,3
Kraków	11,3	0,7	11,2	0,7	11,4	0,3	10,8	1,0	11,3	0,3
Praga	11,8	0,5	11,2	0,6	11,7	0,2	11,1	0,2	11,4	0,2
Genewa	11,1	0,4	11,2	0,4	11,3	0,4	11,2	0,1	11,1	0,2
Anglia Śr	11,1	0,4	11,2	0,4	11,3	0,4	11,2	0,1	11,1	0,2

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

Okazało się, że istotna statystycznie jest również okresowość około 11-letnia sezonowych sum opadów atmosferycznych w Polsce (tab. 5):

**Tabela 5.** Cykle około 11-letnie opadów atmosferycznych w Polsce  
**Table 5.** The close-to-11-year cycles of precipitation in Poland

Stacjer Stations	Zima Winter		Wiosna Spring		Lato Summer		Jesień Autumn		Rok Yea	
	Θ	%	Θ	%	Θ	%	Θ	%	Θ	%
Warszawa	10,1	25,9	12,0	23,7	11,2	13,8	10,2	10,6	11,3	9,5
Kraków	9,8	12,3	10,2	18,7	10,3	12,9	10,9	17,1	9,8	5,4
Wrocław	9,9	17,4	10,2	27,4	9,7	16,7	9,9	13,2	9,8	13,9

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

Przyczyną okresów około 11-letnich temperatury powietrza i opadów atmosferycznych jest niewątpliwie 11-letni cykl aktywności Słońca (i stałej słonecznej): 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  $r = 0,609$ .

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

**Tabela 6.** Cykle około 11-letnie liczb Wolfa i stałej słonecznej  
**Table 6.** The close-to-11-year cycles of Wolf's numbers and solar constant

Liczby Wolfa –Wolf's numbers		Stała słoneczna –Solar constant	
Θ	ΔW	Θ	Δs/s %
10,0	48,3	10,1	0,35
10,5	44,7	10,5	0,51
11,0	60,1	11,1	0,94
12,0	32,2	11,9	0,29

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% [10]. Cykliczność 9-14-letnia aktywności Słońca jest prawdopodobnie związana z okresami obiegu czterech największych planet dookoła Słońca. Okres 11,86 lat obiegu Jowisza dominuje w ciągach czasowych: wypadkowej siły grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce (11,8 lat,  $r = 0,40$ ), całkowitego momentu pędu planet (11,9 lat,  $r = 0,75$ ) i dyspersji masy planet w Układzie Słonecznym (11,9 lat,  $r = 0,58$ ).

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

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

#### WPLYW OSCYLACJI PÓŁNOCNEGO ATLANTYKU (NAO) NA KLIMAT WARSZAWY I KRAKOWA

Na klimat środkowej Europy (i Polski) dominujący wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego: Wyż Azorski i Niż Islandzki. Te dwa centra ciśnienia związane z różnicą temperatury między wodą Atlantyku Północnego i lądem są ze sobą ujemnie skorelowane. Jeżeli ciśnienie w Wyżu Azorskim rośnie, to ciśnienie w Niżu Islandzkim – maleje i przeciwnie. Jest to tzw. Oscylacja Północnego Atlantyku (North Atlantic Oscillation, NAO).

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

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

W badaniach posłużono się wskaźnikiem NAO, zdefiniowanym przez P. D. Jonesa i in. [7] jako standaryzowaną różnicę ciśnienia na poziomie morza między Gibraltarem i południowo-zachodnią Islandią.

W widmie wskaźnika *NAO* w latach 1825-1997 są obecne następujące okresy  $\Theta$  ( $R$  – współczynnik korelacji) (tab. 7):

**Tabela 7.** Okresy wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej NAO w latach 1825-1997  
**Table 7.** The periods of North Atlantic Oscillation (index NAO) in years 1825-1997

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

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

#### PROGNOZY ZMIAN KLIMATU WARSZAWY I KRAKOWA W XXI WIEKU

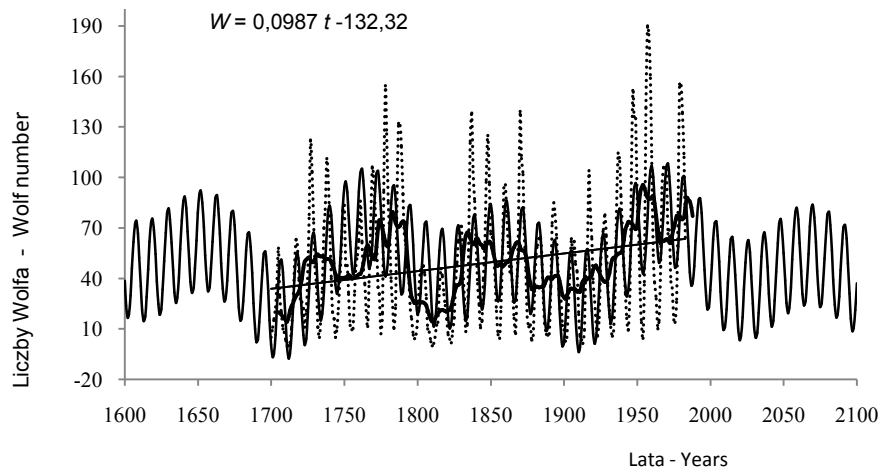
W badaniach zmian klimatu i ich przyczyn ważnym problemem jest wykrycie synchronicznych cykli: temperatury powietrza, opadów atmosferycznych i cyrkulacji strefowej (wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku NAO), warunkującej adwekcję mas powietrza nad Oceanu Atlantyckiego. Cykle – to składniki deterministyczne 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 200-letnie może być wykorzystana do rekonstrukcji klimatu w ostatnich stuleciach oraz w prognozach na XXI wiek.

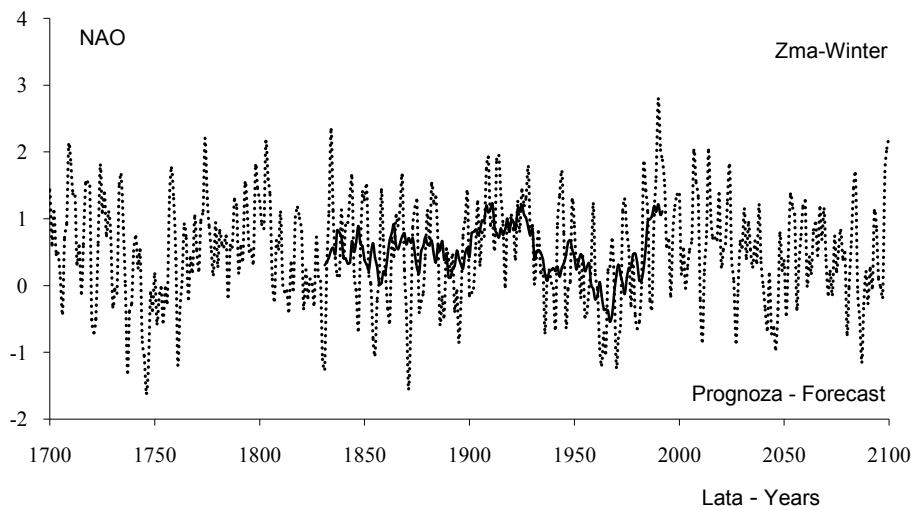
Interesujące są wykresy czasowych zmian: aktywności Słońca (liczb Wolfa, rys. 1) i wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku NAO (rys. 2) wraz z prognozami sięgającymi po rok 2100. Rekonstrukcje i prognozy otrzymano na podstawie interferencji wykrytych cykli: liczb Wolfa i wskaźnika NAO:

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

gdzie:  $\Theta_j$ ,  $b_j$ ,  $c_j$  – to parametry istotnych statystycznie cykli (na poziomie istotności 0,05).

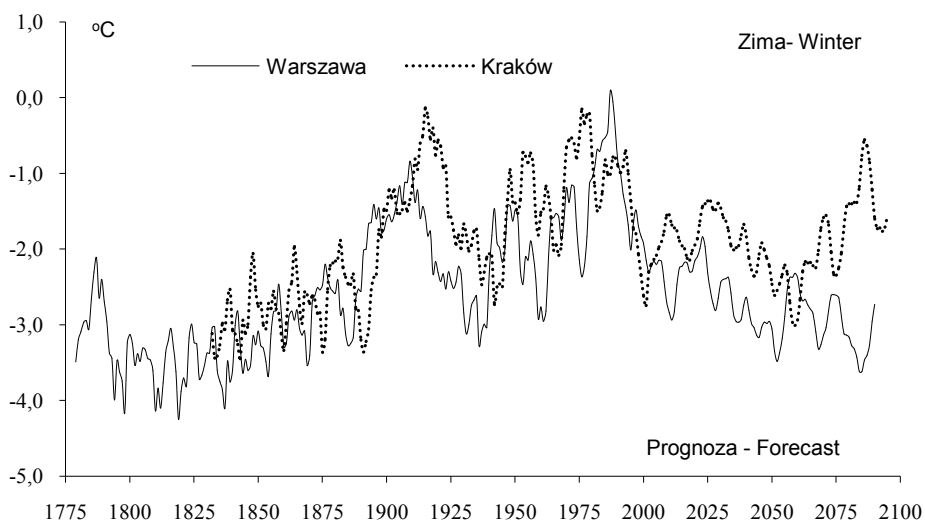


**Rys. 1.** Zmiany czasowe liczb Wolfa w latach 1600-2100 według interferencji cykli (linia pogrubiona – wartości z obserwacji)  
**Fig. 1.** Changes of Wolf numbers in the years 1600-2100 as per interferences of cycles (bold line – observed values )



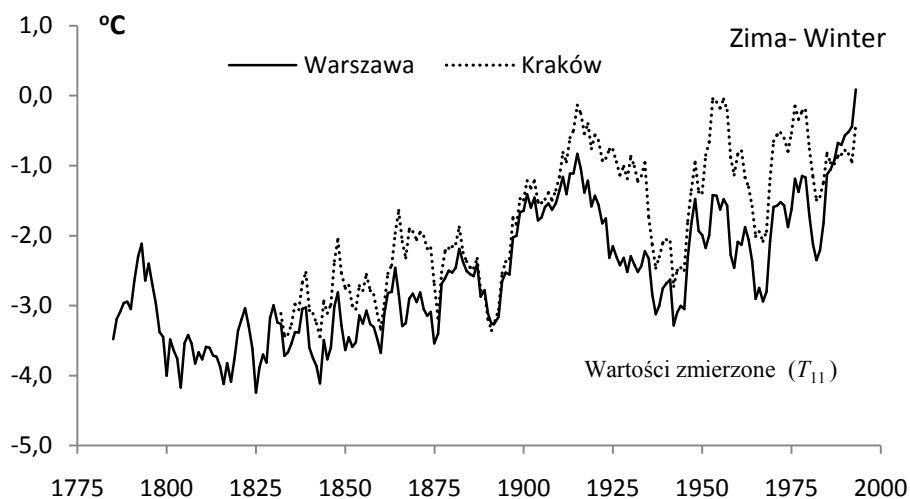
**Rys. 2.** Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1700-2100 według interferencji cykli (linia pogrubiona – wartości zmierzone)  
**Fig. 2.** Changes of North Atlantic Oscillation index (NAO) in the years 1700-2100 as per interferences of cycles (bold line – observed values)

Analogicznie opracowano prognozy temperatury powietrza podczas zimy w Warszawie i Krakowie (rys. 3) oraz zimowych sum opadów atmosferycznych w Warszawie i Krakowie (rys. 4).



**Rys. 3.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie i Krakowie. Prognozy do roku 2075 (wg interferencji) – Zima

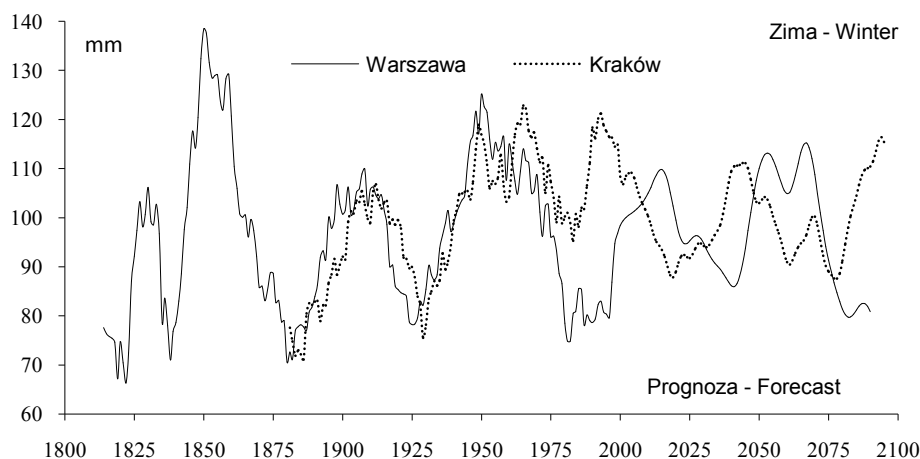
**Fig. 3.** Changes of air temperature in Warsaw and Cracow. Forecast until 2075 (as per interferences) – Winter



**Rys. 3a.** Zmiany temperatury powietrza w Warszawie i Krakowie. (wartości zmierzone – średnie konsekwentne 11-letnie) – Zima\*

**Fig. 3a.** Changes of air temperature in Warsaw and Cracow (measured values, 11-year moving average) – Winter

\*) Rys. 3a (wstawiono dodatkowo )



**Rys. 4.** Zmiany zimowych sum opadów atmosferycznych w Warszawie i Krakowie. Prognozy do roku 2075 (wg interferencji)

**Fig. 4.** Changes of Winter precipitation sums in Warsaw and Cracow. Forecast until 2075 (as per interferences)

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

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

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

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

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

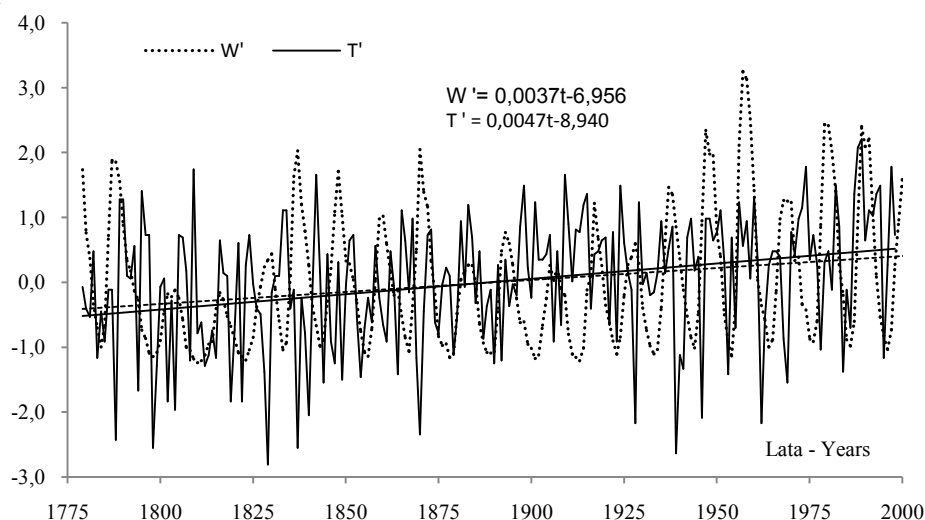
Prognozę Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO) w zimie w XXI wieku otrzymano na podstawie wyznaczonych okresów w latach 1826-1997: 2,4; 5,0; 5,8; 7,8; 8,3; 15,5; 21,5; 37,1; 71,5; 105,1 lat. Z nakładania się tych cykli wynika, że podczas zim 2001-2100 można oczekiwać spadku wskaźnika NAO, tj. zmniejszenia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

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

Najmroźniejsze zimy w Warszawie i Krakowie (średnie konsekwentne 11-letnie wartości temperatury około  $-4^{\circ}\text{C}$ ) wystąpią około roku 2050. Będą one nieco łagodniejsze niż na początku XIX wieku, ze względu na coraz większy udział czynników antropogenicznych. Natomiast lata chłodniejsze (średnie konsekwentne 11-letnie około  $17,5-18,0^{\circ}\text{C}$ ) wystąpią wcześniej, w drugiej dekadzie XXI wieku.

Zimowe sumy opadów atmosferycznych w Warszawie i Krakowie będą w pierwszej połowie XXI wieku oscylować wokół średniej wiekowej. Natomiast letnie sumy opadów w Warszawie będą zbliżone do sumy średniej, a w Krakowie – znacznie większe. Metody prognozowania sprawdzono też na przykładzie krótkiej, 30-letniej serii pomiarów w Zamościu z lat 1951-1980 [4]. Ekstrapolowanie wartości trendu czasowego – wypadkowej cykli: 3,25; 7,75; 12,6 lat – w latach 1981-1990 (poza przedział aproksymacji 1951-1980) są zbliżone do wyników pomiarów temperatury powietrza w dziesięcioleciu 1981-1990. Na uwagę zasługuje synchroniczność ekstremów wyrównanej temperatury powietrza w Zamościu z minimami i maksymami aktywności Słońca w cyklu 11-letnim. Maksima temperatury powietrza przypadają na daty maksimów plam słonecznych: 1957, 1968, 1979, 1989.

Ciągi czasowe temperatury powietrza w ostatnich stuleciach w Europie świadczą o współczesnym ociepleniu klimatu, które może w dużym stopniu wynikać z przyczyn naturalnych. Nie bez znaczenia są prawie przystające proste regresje standaryzowanych wartości aktywności Słońca i temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000:  $W' = 0,0037t - 6,956$ ,  $T' = 0,0047t - 8,940$  (rys. 5).



**Rys. 5.** Zbliżone równania prostych regresji liczb Wolfa i temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 (standaryzowanych średnich rocznych wartości)

**Fig. 5.** Congenial regression lines for straight lines of Wolf numbers and air temperature in Warsaw in the years 1779-2000 (of the standardized annual average values)

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

## PIŚMIENNICTWO

1. **Boryczka J.:** Zmiany klimatu Ziemi. Wyd. Akademickie Dialog, Warszawa, 1998.
2. **Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kicińska B., Śmudzka E.:** Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce. Zmiany wiekowe klimatu Polski, cz. VII, Warszawa, 1992.
3. **Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błaek E., Skrzypczuk J.:** Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce. Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie. cz. XIII, Warszawa, 1999.
4. **Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błaek E., Skrzypczuk J.:** Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce. Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku, cz. XIV. Wyd. UW, Warszawa, 2000.
5. **Brückner E.:** Klimaschwankungen seit 1700, nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der diluvialzeit, Geogr. Abhandl, IV, Wien, 1890.
6. **Gutry-Korycka M., Boryczka J.:** Long-term fluctuation of hydroclimate elements in North-Eastern Europe. Global Change regional Research Centres: Scientific Problem and Concept Developments. September 25-29, Warszawa, 1989.
7. **Jones P. D., Jonsson T., Wheeler D.:** Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gíblartar and South-West Iceland. Int. J. Climatol., 17, 1433-1450, 1997.
8. **Jokić P., Kouchowski K.:** Zmiany wybranych charakterystyk hydrologicznych Polski w bieżącym stuleciu. Dok. Geogr., 6, 1989.
9. **Kaczorowska Z.:** Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. Prace Geogr. PAN, Nr 33, 1962.
10. **Kondratiew K. J., Nikolski G. A.:** Solar radiation and solar activity. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 96, 1970.
11. **Koźuchowski K.:** Tendencje i wahania okresowe zlodzenia Bałtyku (1720-1992), [W:] Współczesne zmiany klimatyczne. Klimat Polski i regionu Morza Bałtyckiego na tle zmian globalnych. Rozprawy i Studia Uniw. Szczecin, (226) 152, 1994.
12. **Koźuchowski K., Boryczka J.:** Cykliczne wahania i trendy czasowe zmian poziomu morza w Świnoujściu (1811-1990). Przegl. Geofiz., XLII, z. 1, 1997.
13. **Malcher J., Schönwiese CH. D.:** Homogeneity, spatial correlation and spectra variance analysis of long European and North American air temperature records. Theor. Appl. Climat., 38, 1987.
14. **Marsz A. A. (red.):** Wpływ stanu termicznego powierzchni oceanu na modyfikację cyrkulacji atmosferycznej w wymiarze klimatologicznym. Materiały konferencji, Gdynia 6.V.1999, 1999.
15. **Michalska A.:** Długookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Polsce w latach 1881-1990. Zakład Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego, maszynopis pracy doktorskiej, 1998.
16. **Żmudzka E.:** Cykliczne zmiany temperatury powietrza w Polsce. Zakład Klimatologii Uniwersytetu warszawskiego, maszynopis pracy doktorskiej, 1998.



## CYCLIC TEMPERATURE AND PRECIPITATION FLUCTUATIONS IN POLAND IN 19th-21st CENTURY

*Jerzy Boryczka, Maria Stopa-Boryczka*

Institute of Climatology, University of Warsaw  
ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa  
e-mail: klimat@wgsr.uw.edu.pl

**A b s t r a c t .** The aim of this research is to determine the range of air temperature and precipitation fluctuations in Warsaw and Krakow, in the last two Centuries. This research is to show the synchronization of cyclic climate fluctuations in Poland on the example of the above cities, and also to forecast the temperature and precipitation variations in the 21st Century. Past analyses of long-term surveys (Warsaw 1779-1998, and Krakow 1826-1998) suggest several air temperature cycles of significant amplitudes. They are ca. 3-5, 7-8, 10-13 and 73-113 years long, and the planetary cycle lasts for 178.9 years. Spectres and cycles of air temperatures, precipitations, NAO indicator, and sun activity were calculated based on the „regression sine” method. Interesting are the graphs of temporal changes in sun activity, and the North Atlantic Oscillation (NAO) indicator with forecast until 2100. Reconstructions and forecasts were arrived at based on interferences of the detected cycles: Wolf numbers and NAO indicator. Temporal air temperature courses in Europe in the last centuries evidence that contemporary climate warming in a large degree may have resulted form natural causes. Not without any meaning are almost congruent regression straights of standardized values of sun activity and air temperature in Warsaw between 1779-2000.

**K e y w o r d s :** air temperature, Sun activity, North Atlantic Oscillation, spectrum, forecast

## XV. PROBLEMY BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU ZIEMI

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

Celem badań przedstawionych w tomie 33 *Atlasu* jest określenie zmian wiekowych klimatu Europy, prognozy i ich sprawdzalność, ze szczególnym uwzględnieniem Polski (Warszawy):

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

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

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

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

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

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

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

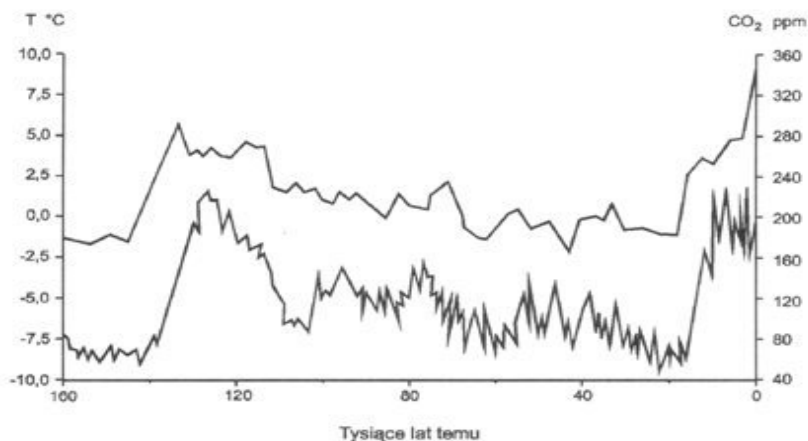
Ze względu na sprzężenie zwrotne między efektem cieplarnianym pary wodnej i temperatury powietrza wzrost stałej słonecznej powoduje dwukrotny przyrost temperatury (Wetherald i Manabe 1975). Zmiany ilości energii słonecznej dochodzącej do powierzchni Ziemi wynikają zarówno z długookresowych zmian parametrów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

Interesujące są wyniki badań stężenia CO<sub>2</sub> i temperatury (wg izotopu deuteru) w ciągu ostatnich 160 000 lat na podstawie rdzeni lodowych na stacji Vostok (WMO 1990, rys. 1). Zgodność dat dwóch głównych maksimum stężenia CO<sub>2</sub> i temperatury (współczesnych i odległych 125 000 lat temu) świadczy, że zawartość dwutlenku węgla w atmosferze może wynikać ze wzrostu temperatury powietrza.

Ocieplenie klimatu 125 000 lat temu było prawdopodobnie spowodowane znacznym wzrostem promieniowania słonecznego (maksimum krzywej Milankoviča ok. 125 000

lat temu). Tak więc było to naturalne ocieplenie, wynikające z nałożenia się trzech okresów zmian parametrów orbity Ziemi (90 000, 40 000, 21 000 lat). Regulatorem zawartości CO<sub>2</sub> w atmosferze (skorelowanej z temperaturą powietrza) są prawdopodobnie wody oceanów. Wzrostowi temperatury powietrza na Ziemi na ogół przypisywane jest podnoszenie się poziomu oceanów – średnio o 10-25 cm w ciągu ostatniego stulecia. Poziom Morza Bałtyckiego w latach 1811-1990 (w Świnoujściu) wzrasta średnio o 5,7 cm/100 lat (najszybciej jesienią – o 6,8 cm i zimą – o 5,7 cm/100 lat).

W prognozach przewidywany jest dalszy wzrost poziomu oceanów – ekspansja oceanów (objętości wód) ze wzrostem temperatury i topnienie lodowców. Według scenariusza emisji (IPCC 1995) poziom oceanów w roku 2100 podniesie się o prawie 50 cm (wg prognoz IPCC 1990 – o ponad 65 cm). Prognozuje się, że poziom oceanów podniesie się w roku 2100 o 15 cm – przy minimalnej emisji CO<sub>2</sub> i o 95 cm – przy emisji maksymalnej.



**Rys. 1.** Zmiany stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze (krzywa górna) i paleotemperatury (izotopu tlenu <sup>18</sup>O, krzywa dolna) w ciągu ostatnich 160 000 lat na podstawie rdzeni lodowych na stacji Vostok (WMO, 1990)  
**Fig. 1.** Changes of CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere (upper curve) and of the palaeotemperature (oxygen isotope <sup>18</sup>O, lower curve) during the last 160,000 years on the basis of the ice cores from the Vostok station (WMO, 1990)

Istnieje też ujemne sprzężenie zwrotne wywołane wzrostem zawartości CO<sub>2</sub> w atmosferze (efektem cieplarnianym). Ze wzrostem temperatury powietrza wzrasta parowanie wód oceanów, powodując większe zachmurzenie. Zachmurzenie ogranicza dopływ promieniowania słonecznego (bezpośredniego) do powierzchni Ziemi, przeciwdziałając globalnemu ociepleniu.

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

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

Tendencja rosnąca temperatury powietrza w XIX-XX wieku może częściowo wynikać z tzw. miejskich wysp ciepła – z coraz większej akumulacji ciepła przez zabudowę i inne powierzchnie sztuczne o małym albedo. Po prostu szare miasta pochłaniają więcej

energii słonecznej w dzień niż ich otoczenie (szczególnie w zimie). Miasta, w których znajdują się stacje meteorologiczne, są znacznie cieplejsze (przede wszystkim w nocy) od otaczających terenów. Na przykład różnica temperatury powietrza między śródmieściem Warszawy i peryferiami może osiągać nawet  $9,1^{\circ}\text{C}$  (jak 30.07 i 17.08.1992 r.).

Ciągi czasowe temperatury powietrza w ostatnich stuleciach w Europie świadczą, że współczesne ocieplenie klimatu może w dużym stopniu wynikać z przyczyn naturalnych. Tendencja rosnąca temperatury powietrza zwłaszcza zimą jest po prostu wypadkową nakładających się cykli naturalnych. Na przykład coraz cieplejsze zimy w Warszawie – o  $1,03^{\circ}\text{C}/100$  lat w latach 1779-1990 są efektem nałożenia się kilku okresów: 3,5; 5,5; 8,3; 12,9; 18,0; 38,3; 66,7; 113,1; 218,3 lat (rys. 3- 4). Ich wypadkowa (prosta regresji) wyjaśnia wzrost temperatury powietrza podczas zim o  $0,93^{\circ}\text{C}/100$  lat. Na zmienność antropogeniczną przypada zaledwie  $0,1^{\circ}\text{C}/100$  lat. Analogicznie, coraz cieplejsze zimy w Genewie – o  $0,5^{\circ}\text{C}/100$  lat, Pradze – o  $0,25^{\circ}\text{C}/100$  lat są efektem nakładania się cyklicznych wahań temperatury powietrza.

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

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

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

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

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

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

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

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

przedział 80-100 liczb Wolfa (Kondratiev 1965). Z wzoru K. Kondratieva i G. Nikol'skiego (1970):

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### Prognozy zmian klimatu i ich sprawdzalność

Problemem badań rozwiązywanym nadal jest weryfikacja prognoz zmian klimatu Ziemi, które powstały w Zakładzie Klimatologii UW, podejmowane kilkakrotnie (przez J. Boryczkę ze współautorami) na podstawie najdłuższej w danym czasie serii obserwacyjnych temperatury powietrza z Warszawy (Okęcie), tj. od 1779 roku i opadów atmosferycznych od 1813 – do roku 1979. Zweryfikowano najwcześniejsze prognozy zmian wartości średnich miesięcznych, sezonowych lub rocznych temperatury powietrza

w Warszawie – 1779-1979 (Boryczka, 1984, Boryczka i in., 1992) i 1779-1990 (Boryczka i in., 2000)

Weryfikacja tych prognoz polega zatem na zbadaniu synchroniczności przebiegów (koincydencji ekstremów) wartości temperatury zmierzonych ( $T$ ) i prognozowanych ( $f(t)$ ), z zastosowaniem odpowiednich testów statystycznych.

Porównano zmierzone wartości temperatury powietrza w Warszawie-Okęciu w latach 1951-2010 z prognozowanymi z wyprzedzeniem 31 lat i 20 lat. Dobrą sprawdzalnością cechują się prognozy temperatury powietrza w Warszawie na lata 1980-2010 i 1991-2010 z 1984 i 2000 roku, według cykli wykrytych metodą „sinusoid regresji” w seriach wyników pomiarów w Warszawie-Observatorium Astronomiczne w latach 1779-1979.

Porównano też zmierzone sumy opadów atmosferycznych w Warszawie (Okęcie) w latach 1951-2010 z prognozowanymi z wyprzedzeniem 31 lat i 20 lat. Dobrą sprawdzalnością cechują się prognozy opadów w Warszawie na lata 1980-2010 i 1991-2010 z 1993 i 2000 roku, według cykli wykrytych metodą „sinusoid regresji” w seriach wyników pomiarów.

Zweryfikowano również prognozy zmian temperatury powietrza w innych miejscach Europy, wybierając niektóre spośród 40 miast Europy, opublikowane w 3 tomach *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*: zima i lato (Boryczka i in., 2003), styczeń i lipiec (Boryczka i in., 2005) oraz rok (Stopa-Boryczka i in., 2007). Do wybranych miejsc należą: środkowa Anglia (1659-1993), Greenwich (1659-1969), Paryż (1767-1995), Berlin (1769-1990), Moskwa (1780-2002), Sztokholm (1756-1994) i Rzym (1811-1989).

Szczególną uwagę zwrócono na prognozy zmian temperatury powietrza w zimie i styczniu, ze względu na postępujące ocieplenie klimatu Europy. Do weryfikacji wykorzystano późniejsze wyniki pomiarów na stacjach: Warszawa (Okęcie, 1951-2015), Londyn (Gatwick, 1951-2012), Paryż (Montsouris, 1951-2011), Berlin (1951-2012), Moskwa (1951-2012), Sztokholm (1951-2012) i Rzym (1951-2012).

Ta pozytywna ocena prognoz wynika z synchronicznych przebiegów wieloletnich zmierzonych i obliczonych wartości temperatury (wypadkowa interferencji cykli), a także z istotnych statystycznie związków korelacyjnych (na poziomie ufności 95%).

## I. WPROWADZENIE

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

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

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

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

- Tom VII. Zmiany wiekowe klimatu Polski, 1992
- Tom IX. Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy, 1995
- Tom X. Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie, 1997
- Tom XI. Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie, 1998
- Tom XII. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu miast w Europie, 1999
- Tom XIII. Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie, 1999
- Tom XIV. Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku, 2000
- Tom XV. Prognozy zmian klimatu miast Europy, 2001

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tom XXV pt. *Zmiany klimatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku* zawiera oryginalne wyniki badań studenckich, przedstawione w rozdziale *Współczesne zmiany klimatu miast Europy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego*. Z kilkunastu prac magisterskich dotyczących wiekowych zmian klimatu Europy Zachodniej, Środkowej i Wschodniej (cykliczności, tendencji i prognoz klimatu) podano najważniejsze wyniki badań w odniesieniu do literatury klimatologicznej. Każdy problem badawczy scharakteryzowano wybierając 1 lub 3 prace magisterskie.

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

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

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

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



**UNIwersYTET WARSZAWSKI  
WYDZIAŁ GEOGRAFII I STUDIÓW REGIONALNYCH**

**JERZY BORYCZKA, MARIA STOPA-BORYCZKA**

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

# **atlas**

**WSPÓŁZALEŻNOŚCI  
PARAMETRÓW  
METEOROLOGICZNYCH  
I GEOGRAFICZNYCH  
W POLSCE**

**Warszawa 2015**

## SPIS TREŚCI (33)

I.	WPROWADZENIE	5
II.	PROBLEMY BADAN WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU ZIEMI	7
III.	NATURALNE I ANTROPOGENICZNE ZMIANY KLIMATU EUROPY Z WYODRĘBNIENIEM POLSKI (WAŻNIEJSZE WYNIKI BADAŃ)	17
3.1.	Zmiany wiekowe klimatu Polski	17
3.2.	Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy	38
3.3.	Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie	64
3.4.	Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie	80
3.5.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu miast w Europie	94
3.5.1.	Tendencje temperatury powietrza miast w Europie w XVII-XX wieku	94
3.5.2.	Cykliczność jako cecha pola temperatury powietrza w Europie	97
3.6.	Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie	114
3.6.1.	Synchroniczność krótkich cykli klimatu miast w Europie	114
3.7.	Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku	133
3.7.1.	Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Warszawy i ich uwarunkowania	133
3.7.2.	Okresowa zmienność opadów atmosferycznych w Warszawie	137
3.7.3.	Tendencje zmian klimatu Warszawy	140
3.7.4.	Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku	141
3.8.	Prognozy zmian klimatu miast Europy	149
3.8.1.	Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na klimat Europy	149
3.8.2.	Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na klimat Polski	152
3.8.3.	Ochłodzenie i ocieplenie klimatu Europy Środkowej kształtowane przez Niż Islandzki i Wyż Azorski	160
3.8.4.	Prognozy temperatury powietrza w miastach Europy Środkowej (Warszawa, Kraków, Praga, Genewa) w XXI wieku	163
IV.	POSTĘP BADAŃ NATURALNYCH ZMIAN KLIMATU EUROPY W PIERWSZEJ DEKADZIE XXI WIEKU W ODNIESIENIU DO DRUGIEJ POŁOWY XX WIEKU	179
4.1.	Mroźne zimy i upalne lata w Polsce	179
4.1.1.	Przeszłość i teraźniejszość klimatu Ziemi	179
4.1.2.	Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu klimatu Europy	186
4.1.3.	Mroźne zimy i upalne lata w Europie w XVIII-XXI wieku ze szczególnym uwzględnieniem Polski	191
4.1.4.	Widma temperatury powietrza w Europie	196
4.1.5.	Zmiany temperatury powietrza w Europie w XVIII-XX wieku. Rekonstrukcja i prognoza po rok 2100	206
4.2.	Cechy termiczne klimatu Europy	223
4.2.1.	Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie	226
4.2.2.	Zmiany temperatury powietrza w Europie w XVIII-XXI wieku. Prognozy po rok 2100	234
4.3.	Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych	258
4.3.1.	Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na temperaturę powietrza w Europie	258
4.3.2.	Synchroniczność cykli klimatycznych i dendrologicznych w Europie	263
4.3.3.	Prognozy zmian klimatu Europy w XXI wieku według szerokości słoju drzew	286
4.4.	Zmiany klimatu Warszawy i innych miast Europy w XVII-XXI wieku	296
4.4.1.	Wiekowe zmiany klimatu miast nizinnych Europy (Londyn, Warszawa, Moskwa)	297
4.4.2.	Wiekowe zmiany klimatu miast górskich Europy (Genewa, Zurych, Saentis, Sonnblick)	298
4.4.3.	Solarne i cyrkulacyjne uwarunkowania klimatu miast Europy (liczby Wolfa, NAO, typy Wangenheima i Osuchowskiej-Klein)	299
4.4.4.	Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na zróżnicowanie cech termicznych klimatu miast Europy (Paryż, Marsylia, Wrocław, Kraków, Warszawa)	300
4.4.5.	Wpływ NAO na zróżnicowanie cech opadowych klimatu miast środkowej Europy (Wrocław, Warszawa)	303
		377

4.4.6.	Badanie cykliczności i tendencji zmian temperatury powietrza w Europie na profilach : południkowym (Sztokholm, Warszawa, Ateny) i równoleżnikowym (Paryż, Warszawa, Moskwa)	305
4.4.7.	Badanie cykliczności i tendencji zmian temperatury powietrza w Europie (Szwecja) na podstawie danych dendrologicznych	306
V.	Z BADAŃ ZMIAN KLIMATU MIAST EUROPY W XXI WIEKU	310
5.1.	Weryfikacja prognoz okresowych zmian temperatury powietrza w Europie w XX-XXI wieku (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J.)	310
5.1.1.	Prognozy zmian temperatury powietrza w Warszawie ( z 1984 r. i inne)	311
5.1.2.	Prognozy zmian temperatury powietrza w innych miastach Europy	319
5.2.	Weryfikacja prognoz okresowych zmian opadów atmosferycznych w Polsce w latach 1813-2010 (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J.)	341
5.2.1.	Wpływ aktywności Słońca na opady atmosferyczne	343
5.2.2.	Sprawdzalność prognoz opadów atmosferycznych we Wrocławiu według pomiarów w latach 1859-1979	348
5.2.3.	Sprawdzalność prognoz opadów atmosferycznych w Warszawie według pomiarów w latach 1813-1979 i 1813-1990	353
VI.	FALE CIEPŁA I CHŁODU W PRZEBIEGU ROCZNYM TEMPERATURY POWIETRZA W WARSZAWIE (1951-2010)	363
6.1.	Zależność przebiegu rocznego temperatury powietrza od aktywności Słońca (na przykładzie Warszawy, 1951-2010) (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J.)	363
6.1.1.	Fale chłodu i ciepła w cyklu rocznym temperatury powietrza	364
6.1.2.	Cyrkulacyjne uwarunkowania fal chłodu i ciepła	367
6.1.3.	Wpływ aktywności Słońca na fale chłodu i ciepła	369
6.2.	The dependency between annual air temperature and solar activity. A case study of Warsaw in 1951-2010 (Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J.)	376
6.2.1.	Annual profiles of air temperature in cold and hot waves	377
6.2.2.	The impact of circulation on warm and cool waves	380
6.2.3.	The influence of solar activity on warm and cool waves	382
VII.	REKONSTRUKCJA I PROGNOZA ZMIAN KLIMATU ZIEMI W CZASIE OD - 1 000 000 BP DO 1 000 000 AD	389
7.1.	Zmiany klimatu Ziemi (od -1 000 000 BP do 1 000 000 AD) według promieniowania słonecznego na równoleżniku $\varphi = 65^{\circ}\text{N}$	389
7.2.	Zmiany klimatu Ziemi (od - 500 000 BP do 500 000 AD) według izotopu tlenu $\delta^{18}\text{O}$ w rdzeniu lodowym wyspy Devon (Arktyka Kanadyjska)	394
7.3.	Zmiany klimatu Ziemi (od -25 000 BP do 25 000 AD) według substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziora Gościąg	397
7.4.	Zależność aktywności Słońca i erupcji wulkanów od koncentracji masy planet w Układzie Słonecznym	400
VIII.	ZAKOŃCZENIE	403
IX.	LITERATURA	409
	ZAŁĄCZNIK 1. SPIS PUBLIKACJI (1960-2015) – Maria Stopa-Boryczka	417
	ZAŁĄCZNIK 2. SPIS PUBLIKACJI (1961-2015) – Jerzy Boryczka	431

## 15.2. Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy

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

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

Badania przeprowadzono pod kątem wpływu czynników geograficznych i antropogenicznych na pole temperatury powietrza w różnych skalach przestrzennych i czasowych. Najpierw opisano empirycznymi wzorami rozkłady temperatury powietrza w Europie w trzydziestoleciu 1931-1960, potem w Polsce w dziesięcioleciu 1951-1960. W ten sposób zbadano zależności temperatury powietrza od szerokości i długości geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza. Empiryczne wzory (tab. 1, rys. 13-24) to wielomiany ą stopnia, które umożliwiły wyznaczenie średnich gradientów w profilach południkowym, równoleżnikowym i hipsometrycznym (rys. 1-24).

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

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

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

Wpływ miasta na pole temperatury powietrza zależy głównie od pory doby i pory roku. Opisują go przebiegi dobowe i roczne oraz sinusoidy regresji wyznaczone z danych wszystkich stacji meteorologicznych całego miasta, fragmentów miasta o zabudowie zwartej i luźnej oraz terenów zieleni parkowej w latach 1961-1965. Najwięcej przykładów pochodzi z 1992 r., a dotyczą one zmian dobowych intensywności śródmiejskiej wyspy ciepła albo inaczej warunków meteorologicznych sprzyjających powstawaniu miejskiej wyspy ciepła w śródmieściu Warszawy. Materiałami źródłowymi w przypadku badań klimatu Warszawy są dane nie tylko ze stacji Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, lecz także wyniki pomiarów prowadzonych przez Zakład Klima-

tologii Uniwersytetu Warszawskiego w latach 1961-1965, 1969 i 1992. Poznane prawidłowości oddziaływania czynników geograficznych i antropogenicznych na pole temperatury powietrza w Polsce oraz próba ich oddzielenia mają istotne znaczenie w modelowaniu i prognozach przestrzenno-czasowych zmian warunków termicznych.

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

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

1. parametry US → aktywno Słońca → cyrkulacja atmosferyczna,
2. parametry US → erupcje wulkanów → promieniowanie.

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

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

MARIA STOPA-BORYCZKA  
JERZY BORYCZKA  
ELŻBIETA BŁAŻEK  
JAN SKRZYPCZUK

**IX. NATURAL AND ANTHROPOGENIC CHANGES  
OF THE CLIMAT OF WARSAW**

# atlas

OF INTERDEPENDENCE  
OF METEOROLOGICAL  
AND GEOGRAPHICAL  
PARAMETERS  
IN POLAND

WARSAWA 1995

## SPIS TREŚCI (9)

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

### Ważniejsze wyniki badań

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

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

nie zdeformowane przez wysokość n.p.m. Najbardziej go deformują kotliny śródgórskie w Alpach, Karpatach, Sudetach.

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

3. Różnice temperatury powietrza między miastem i otoczeniem: średniej dobowej  $\Delta T$ , maksymalnej  $\Delta T_{\max}$ , minimalnej  $\Delta T_{\min}$  i dobowej amplitudy  $\Delta A$  – zależnie od rodzaju powierzchni zestawiono w tabeli 2.

W mieście wahania dobowe temperatury powietrza są mniejsze niż poza miastem. Różnice dobowej amplitudy zmieniają się w ciągu roku od  $\Delta A = -0,6^{\circ}\text{C}$  w styczniu do  $\Delta A = -2,1^{\circ}\text{C}$  w lipcu i sierpniu. Zabudowa luźna mniej zniekształca dobowe wahania temperatury powietrza: różnica  $\Delta A$  zmienia się od  $-0,4^{\circ}\text{C}$  do  $-1,2^{\circ}\text{C}$  (w tych samych miesiącach). Najmniejsze jednak dobowe wahania temperatury powietrza  $\Delta A$  występują w zieleni parkowej: od  $-0,2^{\circ}\text{C}$  w lutym do  $-0,9^{\circ}\text{C}$  w sierpniu i wrześniu.

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

**Table 2.** Temperature difference measurement for various kinds of surface

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

Sinusoidy opisujące zmiany roczne różnic temperatury powietrza ( $\omega = \frac{2\pi}{365,25}$ )

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

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

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

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

Równowaga chwiejna powietrza przy kontrastach termicznych podłoża sprzyja rozwojowi prądów konwekcyjnych i turbulencji – wzmaga pionową wymianę powietrza. Jest to proces samooczyszczania się miasta – odprowadzania pyłów i innych substancji gazowych na większe wysokości. Innym mechanizmem samooczyszczenia się miasta z pyłów przemysłowych jest poziomy ruch powietrza, wynikający z różnicy temperatury powietrza między centrum i peryferiami. Odgrywa on dużą rolę przy słabych wiatrach i ciszach (bryza miejska). Na peryferiach miasta – przy małych prędkościach wiatru i czystym niebie często występują inwersje temperatury powietrza (w nocy przy równowadze stałej powietrza), powodujące stagnację chłodnego powietrza przy gruncie. Miejska wyspa ciepła nie sprzyja inwersjom temperatury powietrza, którym towarzyszą mgły – duża koncentracja aerozoli. Miejska wyspa ciepła wzmaga pionową turbulencyjną dyfuzję zanieczyszczenia powietrza, zmniejszając zawartość aerozoli w przyziemnej warstwie atmosfery (Stopa-Boryczka, 1992).

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

Hamują one konwekcję i pionowy turbulencyjny ruch powietrza. Z radiosondaży atmosfery, wykonanych w Legionowie w latach 1954-1959 wynika, że średnio w roku jest 265 dni z inwersją temperatury powietrza, w tym jest 156 dni z inwersją przyziemną i 109 dni z inwersją w swobodnej atmosferze, kiedy to temperatura wzrasta ku górze od pewnego poziomu (Nowosielski 1959).

Liczba dni z inwersją zależy od pory roku:

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

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

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

Należy podkreślić, że inwersjom temperatury powietrza towarzyszą zwykle małe prędkości wiatru lub cisze, przy których poziomy i pionowy turbulencyjny ruch powietrza jest niewielki. Sprzyjają one więc dużej koncentracji pyłów i  $\text{SO}_2$  w przyziemnej warstwie powietrza (aerozoli). Na przykład dwutlenek siarki  $\text{SO}_2$  łącząc się z kropelkami mgły tworzy kwas siarkawy  $\text{H}_2\text{SO}_3$ , a w tkankach roślin – kwas siarkowy  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

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

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

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

Na podstawie empirycznych wzorów – równań prostych, parabol, sinusoid i hiperpłaszczyzn regresji można ekstrapolować deformację pola temperatury powietrza przez miasto. Można oszacować różnice temperatury powietrza między miastem i otoczeniem wstawiając odpowiednie wartości zmiennych meteorologicznych. Istnieje więc możliwość prognozowania np. temperatury powietrza w dzielnicach miasta – przy projektowaniu nowej zabudowy. Można oszacować temperaturę powietrza tam, gdzie nigdy nie prowadzono żadnych pomiarów meteorologicznych. Przykładem może być opracowanie prognozy projektowanego osiedla mieszkaniowego w Białołęce Dworskiej – pracy wykonanej w ramach tematu rządowego (Stopa-Boryczka 1992).

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

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

parametry US → aktywność Słońca → cyrkulacja atmosferyczna  
parametry US → erupcje wulkanów → promieniowanie słoneczne

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

Identyfikacji przyczyn naturalnych zmian klimatu dokonano zgodnie z zasadą „widma oscylacji – cykle zmian – przyczyn i skutków są zbliżone”. Postępu w identy-

fikacji przyczyn naturalnych zmian klimatu dokonano dzięki nowej metodzie badań okresowości, tj. metodzie „sinusoid regresji” J. Boryczki.

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

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

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

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

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

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

Istnieje też zbieżność krótszych silnych cykli (tab. 5)

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

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

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

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

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

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

Podczas maksimum aktywności Słońca obserwuje się wyższą temperaturę powietrza niż w latach spokojnego Słońca. Minimum wiekowe temperatury powietrza przypada na najdłuższy cykl 11- letni aktywności Słońca (1811-1823). Natomiast maksimum krzywej trendu czasowego temperatury przypada w pobliżu maksimum absolutnego aktywności Słońca (1957 r.). Minimum wiekowe temperatury powietrza wystąpiło podczas wzmożonej aktywności wulkanicznej Ziemi: 1815 – wybuch wulkanu Tambora (Indonezja) o *DVI* = 3000, 1835 Coseguina (Nicaragua) o *DVI* = 4000. Najdłuższe cykle temperatury powietrza: 103,8 i 220,7 lat są zbliżone do najdłuższych cykli aktywności Słońca: 96,3 i 187,1 lat oraz erupcji wulkanów:  $\lg DVI - 91,8$  i  $223,8$  lat,  $\lg I - 90,5$  i  $221,5$  lat. To ocieplenie się klimatu w ostatnich dwóch stuleciach o 0, 6°C/100 lat jest wywołane głównie wzrostem aktywności Słońca i spadkiem aktywności wulkanicznej.

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

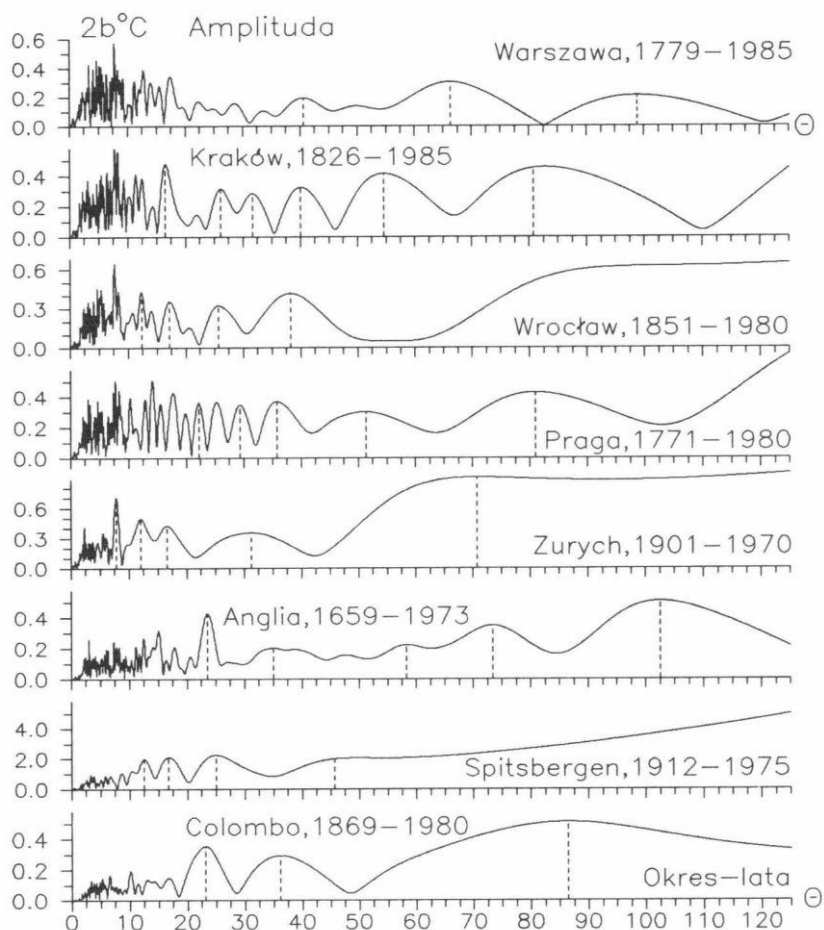
$$W = 34,73 + 0,0948 t, \quad R = 0,20$$

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

wulkanów  $\Delta t$ . Miarą antropogenicznych zmian temperatury powietrza w ostatnich dwóch stuleciach jest składnik liniowy  $\Delta T = at$  trendu czasowego temperatury powietrza – część która pozostaje po eliminacji kilkunastu naturalnych cykli (rytmów) temperatury. Składnik antropogenicznych zmian temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1979 wynosi  $a = 0, 15^\circ\text{C}/100$  lat. Wynika on głównie z rozbudowy miasta – z miejskiej wyspy ciepła (większa akumulacja ciepła przez zabudowę, pyły przemysłowe i  $\text{CO}_2$ ). O właściwej identyfikacji przyczyn naturalnych zmian klimatu świadczy zgodność prognoz klimatologicznych i astronomicznych na XXI wiek. W prognozach

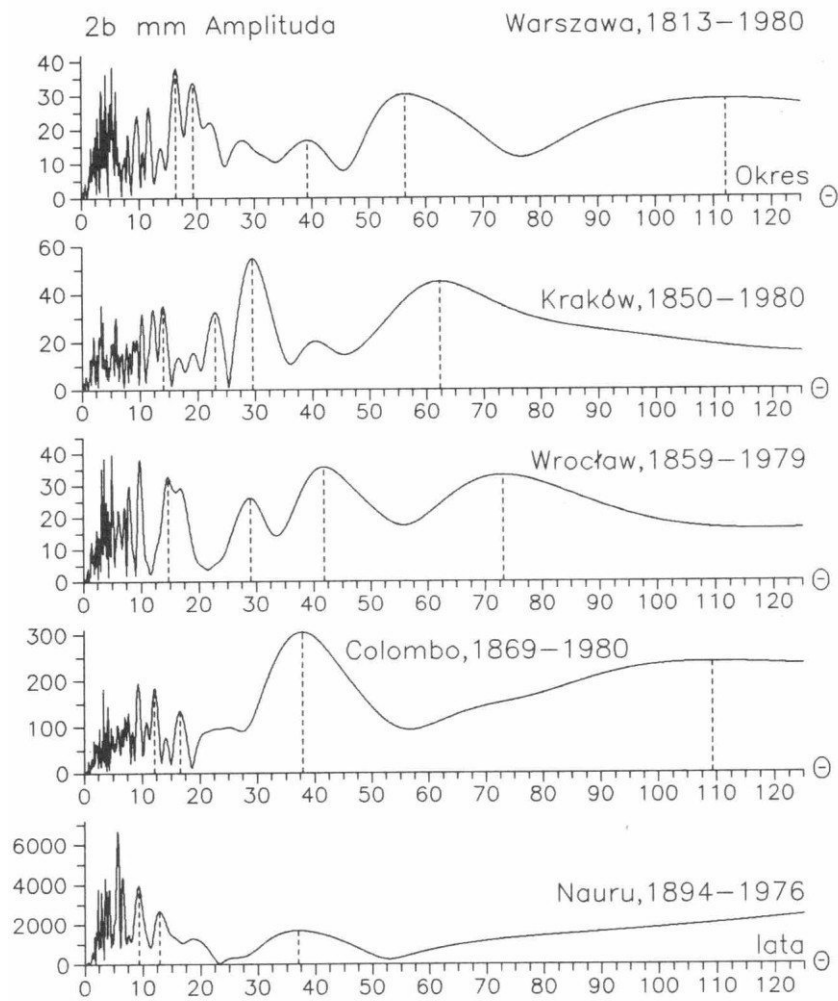
klimatologicznych  $T = f(t)$  nałożono na siebie 15 cykli temperatury powietrza o największych amplitudach obecnych w widmie oscylacji. Natomiast w prognozach astronomicznych rozwinięto ciąg chronologiczny w szereg Taylora (wg najmniejszych kwadratów) względem czterech parametrów Układu Słonecznego  $T = f(G, \cos \gamma, z, Z)$ . Obydwie krzywe wiekowych zmian temperatury powietrza w Warszawie w stuleciu XXI znajdują się poniżej średniej z lat 1779-1979. W połowie tego wieku XXI można oczekiwać pewnego ochłodzenia klimatu. Nie będzie ono jednak zbyt duże (takie, jak na przełomie XVIII-XIX wieku) ze względu na składnik antropogeniczny wskazujący wzrost temperatury o  $0,15^{\circ}\text{C}/100$  lat.

### Wykresy (rys.2-15)

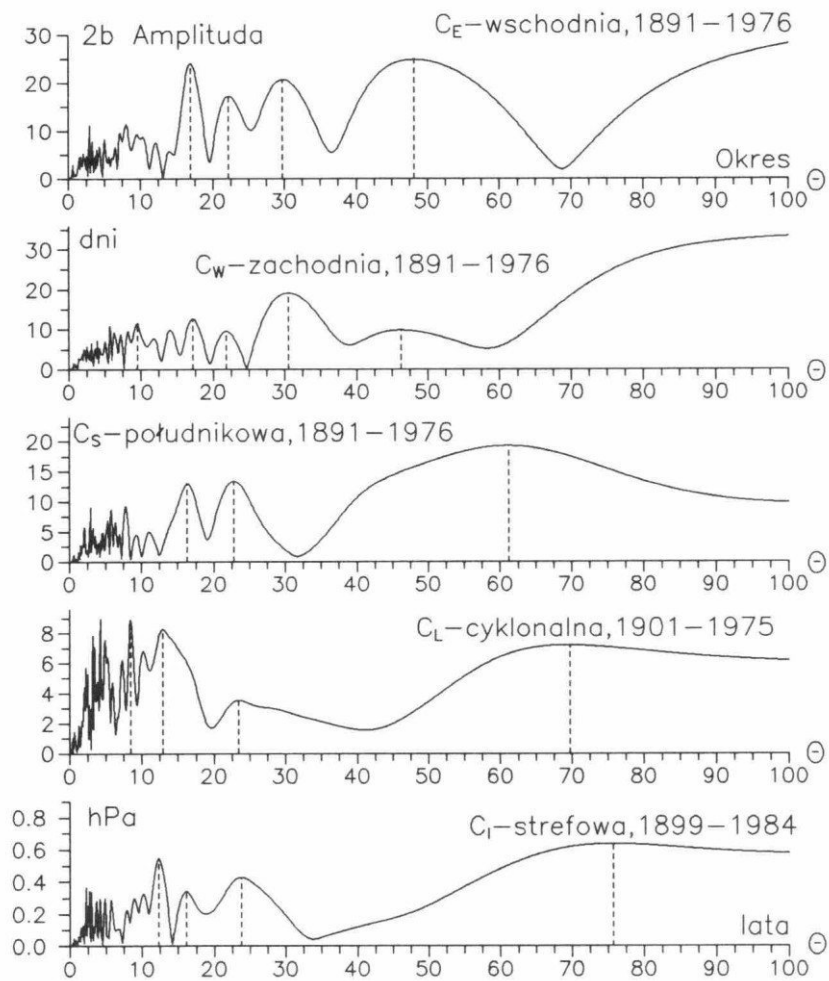


**Rys. 2** Gęste widma oscylacji temperatury powietrza w Warszawie, Krakowie, Wrocławiu, Pradze, Zurychu, Anglii środkowej i Colombo – w paśmie 0,25-125 lat

**Fig. 2.** Dense spectra of oscillation of the air temperature in Warsaw, Cracow, Wrocław, Prague, Zurich, England and Colombo in the strip 0.25-125 years

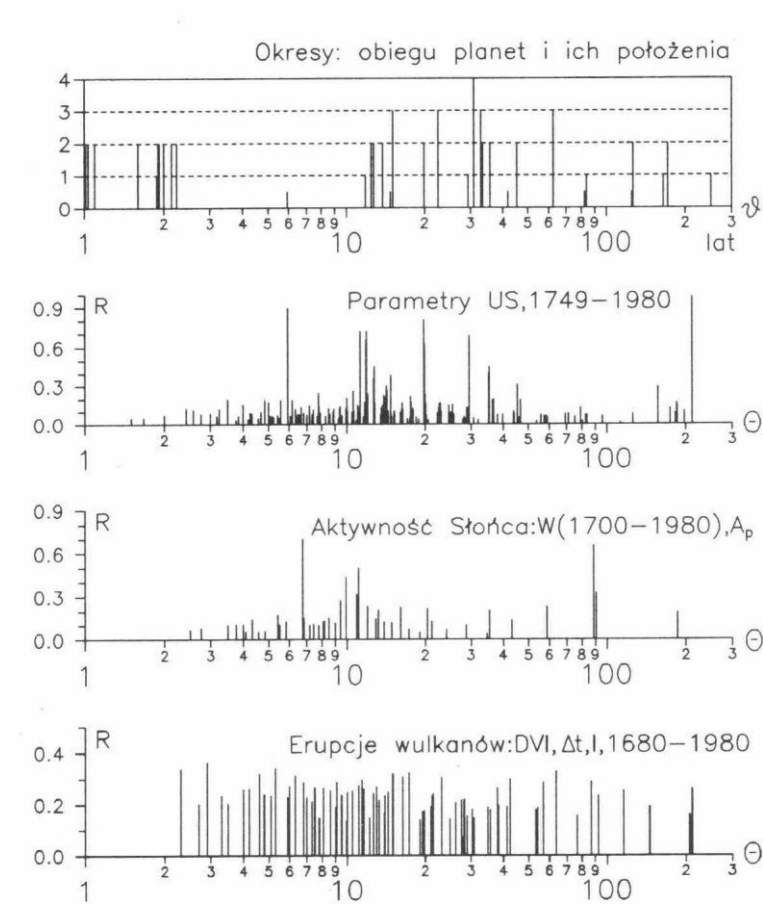


**Rys. 3.** Gęste widma oscylacji opadów atmosferycznych w Warszawie, Krakowie, Wrocławiu, Colombo i Nauru – w paśmie 0,25-125 lat  
**Fig. 3.** Dense spectra of oscillation of the precipitation in Warsaw, Cracow, Wrocław, Colombo and Nauru in the strip 0.25-125 years

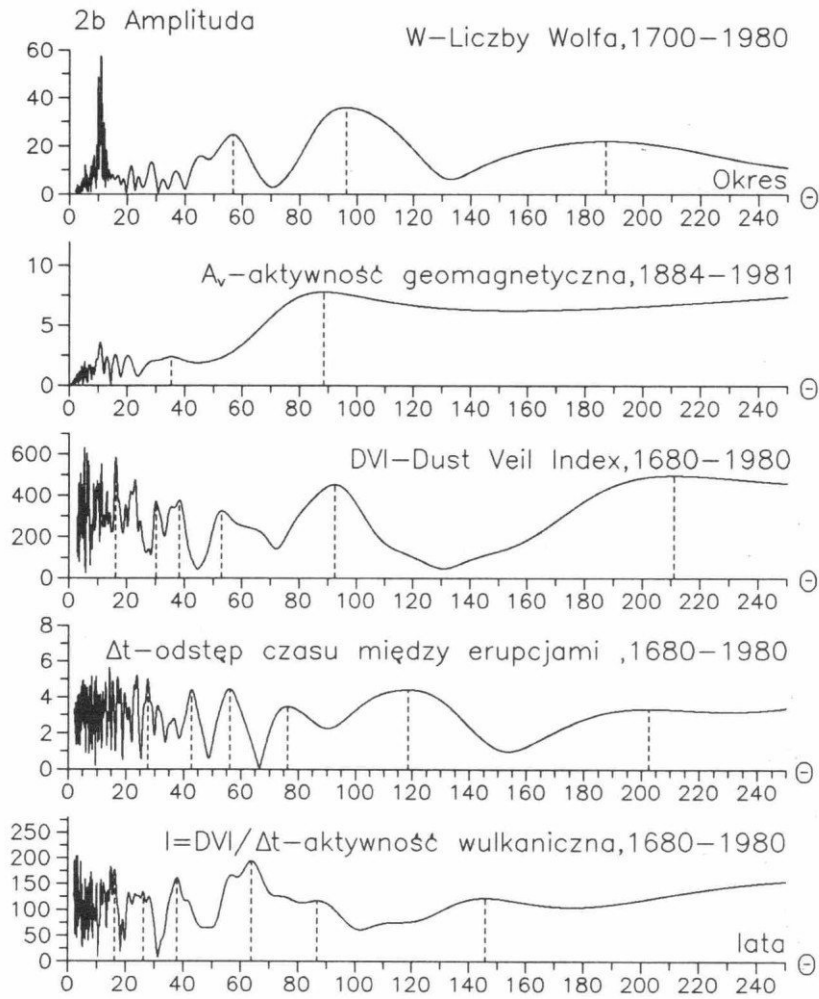


**Rys. 4.** Gęste widma oscylacji cyrkulacji atmosferycznej: wschodniej, zachodniej, południkowej, cyklonalnej i strefowej – w paśmie 0,25-125 lat  
**Fig. 4.** Dense spectra of oscillation of the circulation eastern, western, meridional, cyclonal and sonal in the strip 0.25-125 years



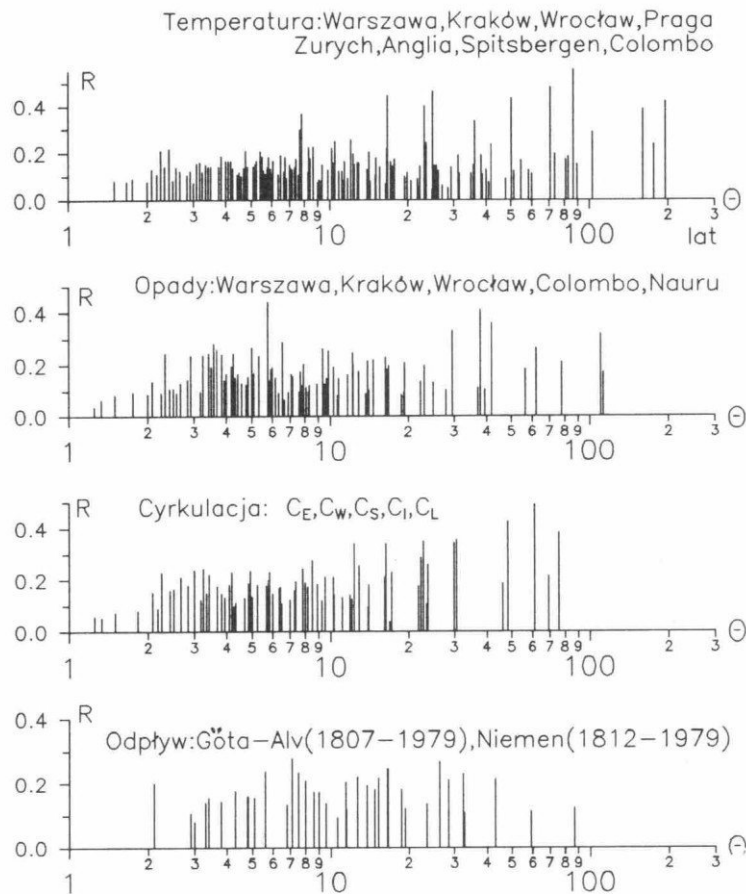


**Rys. 5.** Okresy obiegu planet i ich położenia, parametrów Układu Słonecznego, aktywności Słońca (liczb Wolfa  $W$  i  $A_p$ ) i erupcji wulkanów ( $DVI$  – Dust Veil Index)  
**Fig. 5.** The periods of planets and their position, the parameters of Solar System, the solar activity (Wolf numbers  $W$  and  $A_p$ ) and volcanic eruption ( $DVI$  – Dust Veil Index)

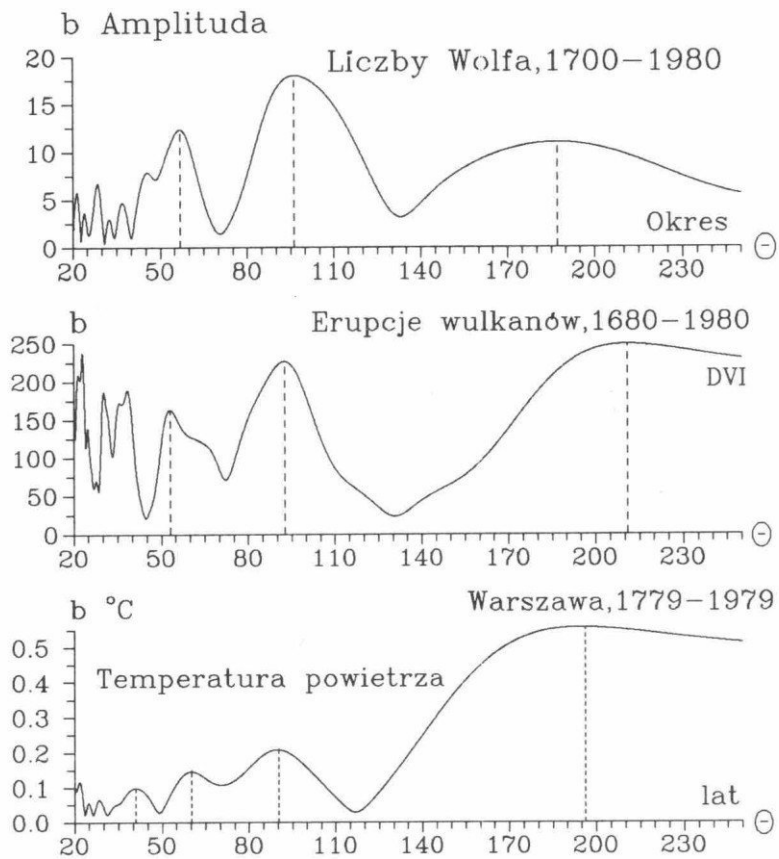


**Rys. 6.** Gęste widma oscylacji aktywności Słońca, aktywności geomagnetycznej, i erupcji wulkanów – wskaźnika zapylenia wulkanicznego Dust Veil Index (DVI), odstępów czasu między kolejnymi erupcjami ( $\Delta t$ ) i aktywności wulkanicznej  $I = DVI / \Delta t$  w paśmie 2,1-250 lat

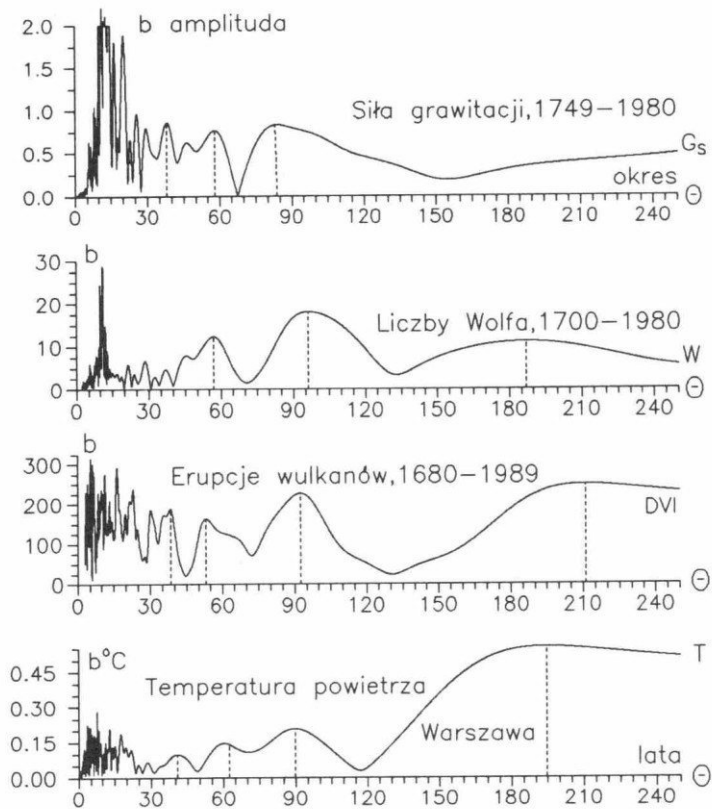
**Fig. 6.** Dense spectra of solar activity, geomagnetic activity and volcanic eruption ( Dust Veil Index – DVI), the time interval between volcanic eruptions ( $\Delta t$ ) and volcanic activity  $I = DVI / \Delta t$  in the strip 2.1-250 years



**Rys. 7.** Okresy rzeczywiste  $\Theta$ : temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, cyrkulacji atmosferycznej i odpływów rzek (Göta-Alv, Niemen) – w paśmie 0,25-250 lat  
**Fig. 7.** True periods  $\Theta$  of the air temperature, precipitation, atmospheric circulation and rivers (Göta-Alv, Niemen) in the strip 0.25-250 years

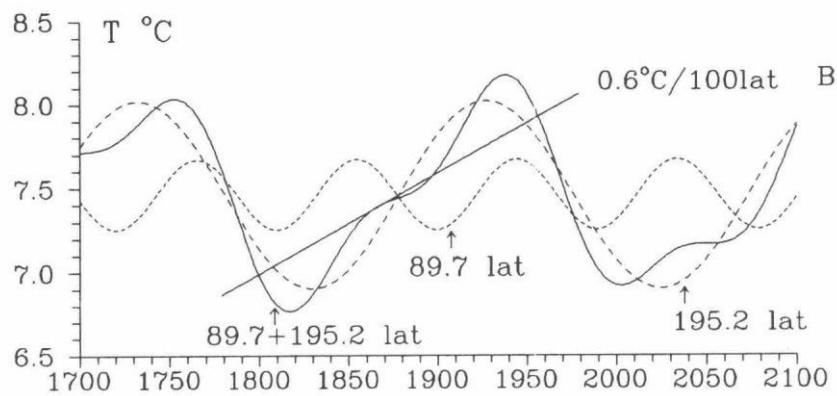
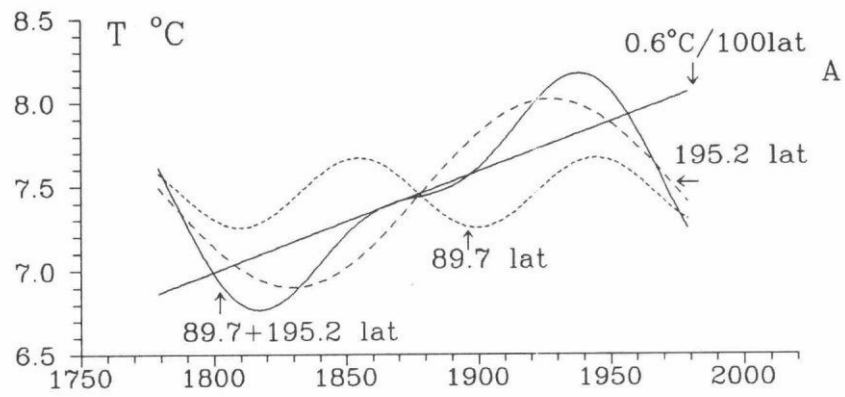


**Rys. 8.** Gęste widma oscylacji aktywności Słońca, erupcji wulkanów (Dust Veil Index) i temperatury powietrza w Warszawie (1779-1979) w paśmie 20-250 lat  
**Fig. 8.** Dense spectra of solar activity, volcanic eruption ( Dust Veil Index) and the air temperature in Warsaw (1779-1979) in the strip 20-250 years

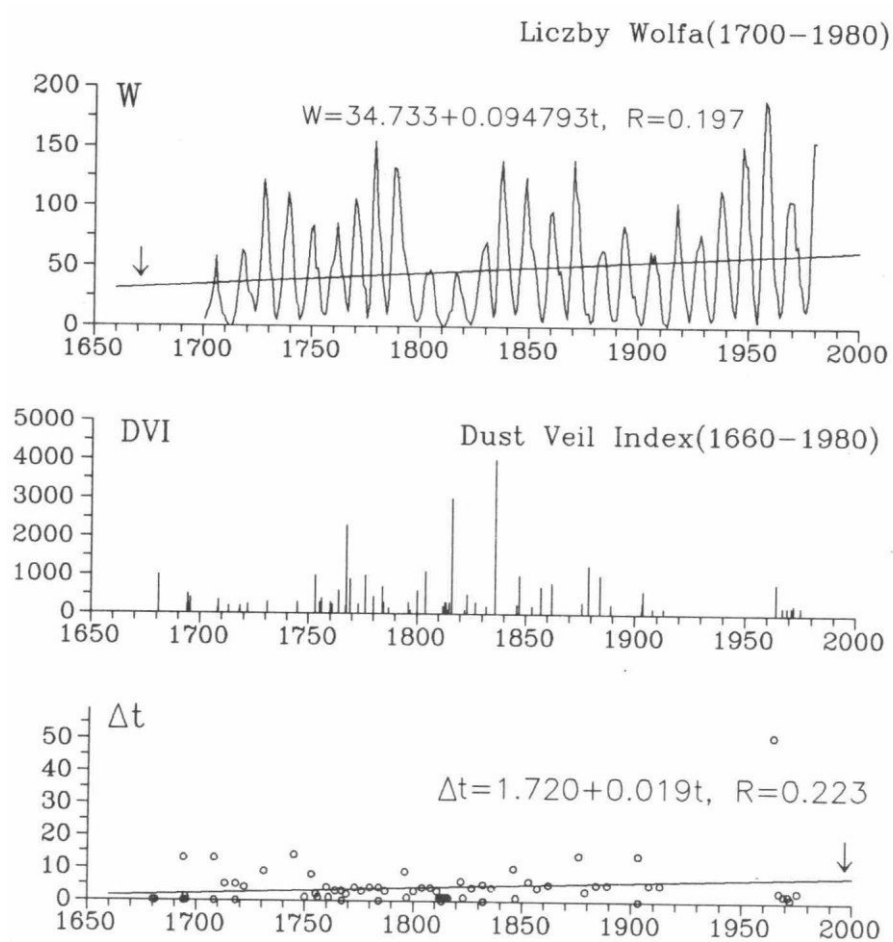


**Rys. 9.** Gęste widma oscylacji: wypadkowej siły grawitacji planet ( $G_s$ ) (składowej w kierunku środka masy), liczb Wolfa ( $W$ ), erupcji wulkanów ( $DVI$ ) i temperatury powietrza w Warszawie (1779-1979) w paśmie 20-250 lat

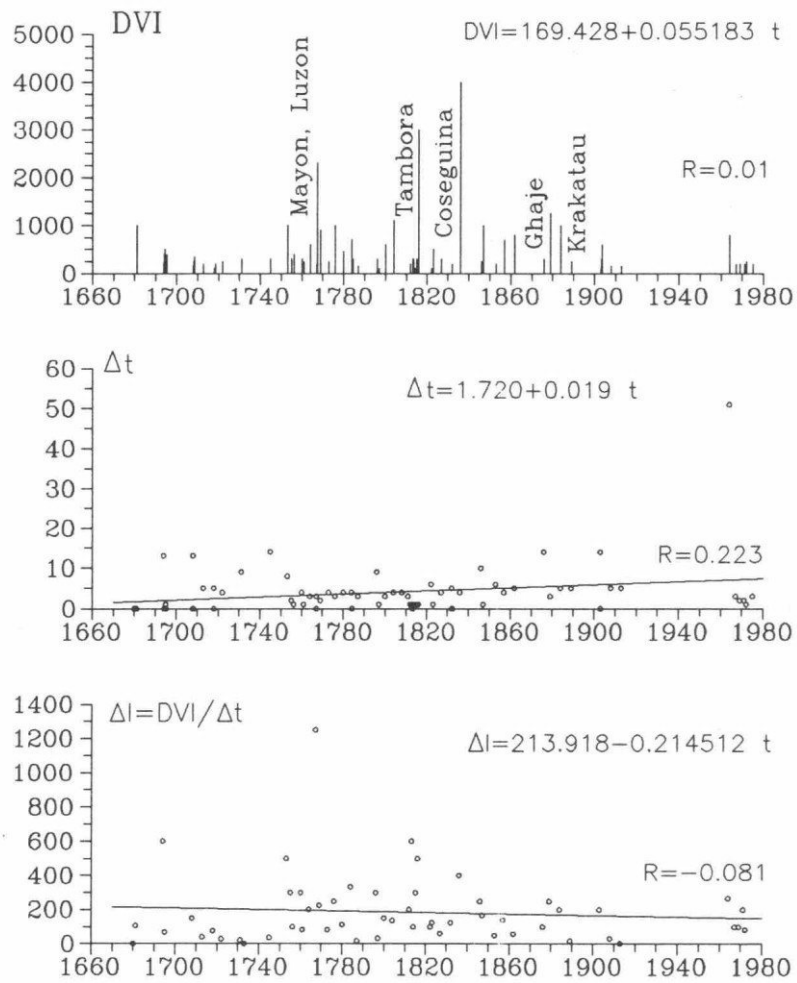
**Fig. 9.** Dense spectra of the resultant gravitation force of planets onto Sun ( $G_s$  – component into centre of mass) the Wolf numbers ( $W$ ), volcanic eruption ( $DVI$ ) and the air temperature in Warsaw (1779-1979)



**Rys. 10.** Naturalne zmiany temperatury powietrza w Warszawie (1700-2100): cykl 89,7 lat, cykl 195,2 lat, ich wypadkowa (linia ciągła), prosta regresji o nachyleniu  $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{lat}$   
**Fig. 10.** Natural changes of the air temperature in Warsaw (1700-2100): cycle 89,7 years, cycle 195,2 years, its resultant (solid line) and line of regression with a slope of curve =  $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ years}$

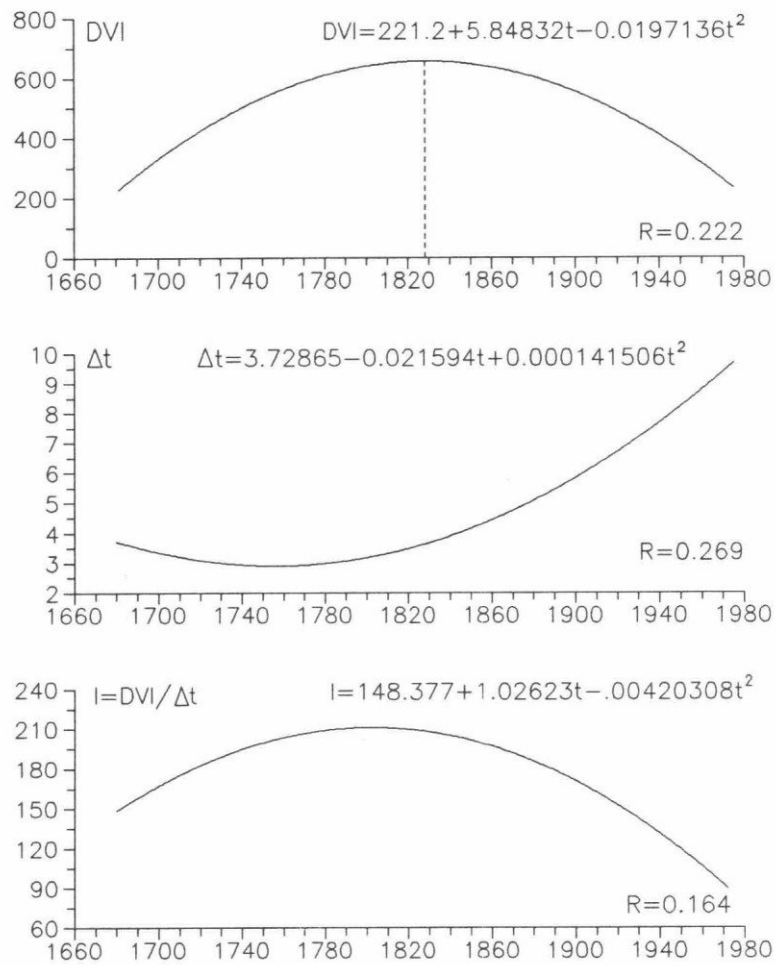


**Rys. 11.** Zmiany wiekowe aktywności Słońca – jej wzrost o 9,5/100 lat i wybuchów wulkanów – wskaźnika Dust Veil Index i odstępów czasu między kolejnymi erupcjami ( $\Delta t$ )  
**Fig. 11.** Secular changes of solar activity (increase of 9.5/100 years), eruption of volcanos (Dust Veil Index), and time interval between eruptions ( $\Delta t$ )



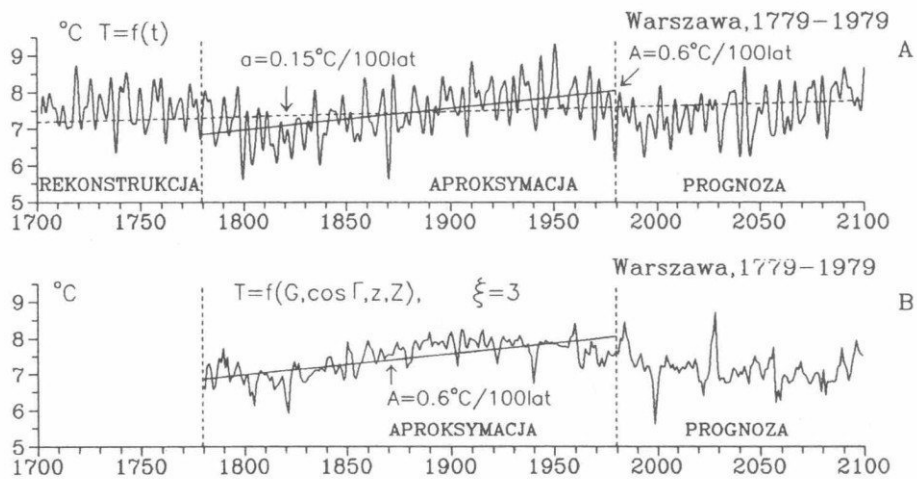
**Rys. 12.** Tendencja wiekowych zmian erupcji wulkanów: wskaźnika Dust Veil Index, odstępów czasu między erupcjami ( $\Delta t$ ) i wskaźnika aktywności wulkanicznej  $I = DVI/\Delta t$  w latach 1660-1980  
**Fig. 12.** Secular tendency of changes of volcanic activity Dust Veil Index, time interval between eruptions ( $\Delta t$ ) and index of volcanic activity  $I = DVI/\Delta t$  in the years 1660-1980





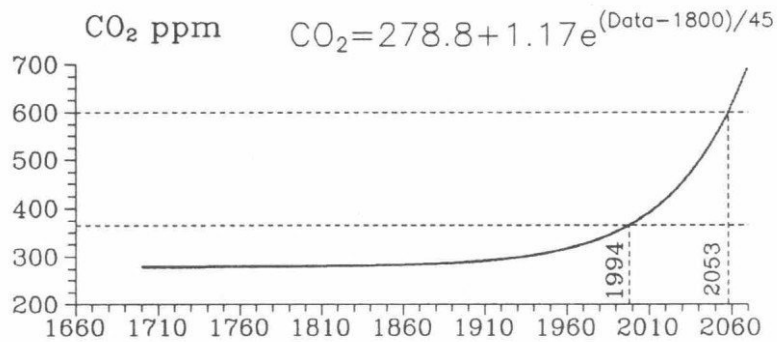
**Rys. 13.** Ekstrema wiekowe erupcji wulkanów na Ziemi w latach 1680-1980, wskaźnika  $DVI$ , odstępów czasu  $\Delta t$  i aktywności wulkanicznej  $I = DVI/\Delta t$

**Fig. 13.** Secular extremes of volcanic eruptions in the years 1680-1980, the time interval ( $\Delta t$ ) and volcanic activity ( $I = DVI/\Delta t$ )



**Rys. 14.** Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Warszawie w latach 1700-2100: A – prognoza wg naturalnych cykli  $T=f(t)$ , B – prognoza wg zmian parametrów Układu słonecznego  $T=f(G, \cos \Gamma, z, Z)$ . wypadkowy (naturalny i antropogeniczny) wzrost temperatury o  $A=0,6$  oC/100 lat. Składnik antropogeniczny  $a=0,15$  oC/100 lat

**Fig. 14.** Secular changes of the air temperature in Warsaw in years 1700-2100: A – forecast according to natural cycles  $T=f(t)$ , B – forecast according to changes parameters of Solar System  $T=f(G, \cos \Gamma, z, Z)$ . Resultant (natural and anthropogenic) increase of the air temperature when  $A=0,6$  oC/100 years. Anthropogenic component  $a=0,15$  °C/100 years



**Rys. 15.** Zmiany wiekowe koncentracji  $\text{CO}_2$  w atmosferze w latach 1690-2070 (wg empirycznego wzoru H. Oeschgera i U. Siegenthalera, 1987)

**Fig. 15.** Secular changes of carbon ( $\text{CO}_2$ ) in the atmosphere in the years 1690-2070 (according to H. Oeschger's and U. Siegenthalera's formula, 1987)

## Summary

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Table 2.** Temperature difference measurement for various kinds of surface

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

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

observed, though, for the park areas, where they range from  $-0.2^{\circ}\text{C}$  in February to  $-0.9^{\circ}\text{C}$  in August and September.

The sinusoid model, describing the annual changes of air temperature differences, namely  $(\omega = \frac{2\pi}{365,25})$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

It should be emphasized that inversions of air temperature are usually accompanied by low velocities of wind or by calms, when the horizontal and vertical turbulent movement of the air is very limited. They are conducive, therefore, to high concentrations of dusts and SO<sub>2</sub> in the ground-adjacent layer of the air (aerosols). Thus, for instance, the sulphur dioxide SO<sub>2</sub>, associating with the droplets of fog forms the sulphurous acid H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, and in the plant tissues – the sulphuric acid H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

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

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

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

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

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

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

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

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

Identification of the natural causes of climate changes was performed according to the principle: “the spectra of oscillations– the true cycles of causes and effects are similar”. An advance

in identification of the causes of natural climate changes was made possible due to the new method of J.Boryczka of determining the dense spectra of oscillations the true cycles.

It turned out that the spectra of oscillations of air temperature, precipitation, outflow of European rivers and atmospheric circulation are alike, as are the spectra of oscillations of the parameters of the solar system. All these spectra are dominated by the periods of rotation of the biggest planets (Jupiter, Saturn, Uranus and Neptune) around the sun and the periods of their mutual identical positions (expressed in years), see Table 3.

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

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

. It is quite telling that these periods are present in the spectra of oscillations of the air temperature in Warsaw in the years 1779-1990 (12-monthly moving averages), of the solar activity in the years 1700-1980 (Wolf numbers), and of volcanic eruptions in the years 1680-1980: the indicator of volcanic dust,  $\lg DVI$  (Dust Veil Index), along with the volcanic activity indicator  $\lg I = \lg\left(\frac{DVI}{\Delta t}\right)$ , where  $\Delta t$  is the time interval between two consecutive eruptions. Table 4 presents the strongest cycles (i.e. those with the greatest amplitudes) of the spectra of oscillations ( $R$  multiple correlation coefficient value).

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

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

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

**Table 5.** Characteristics of short strong cycles

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

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

During the last two centuries (1779-1990) air temperature in Warsaw has been increasing by  $0.6^{\circ}\text{C}$  in 100 years on the average, i.e.

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

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

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

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

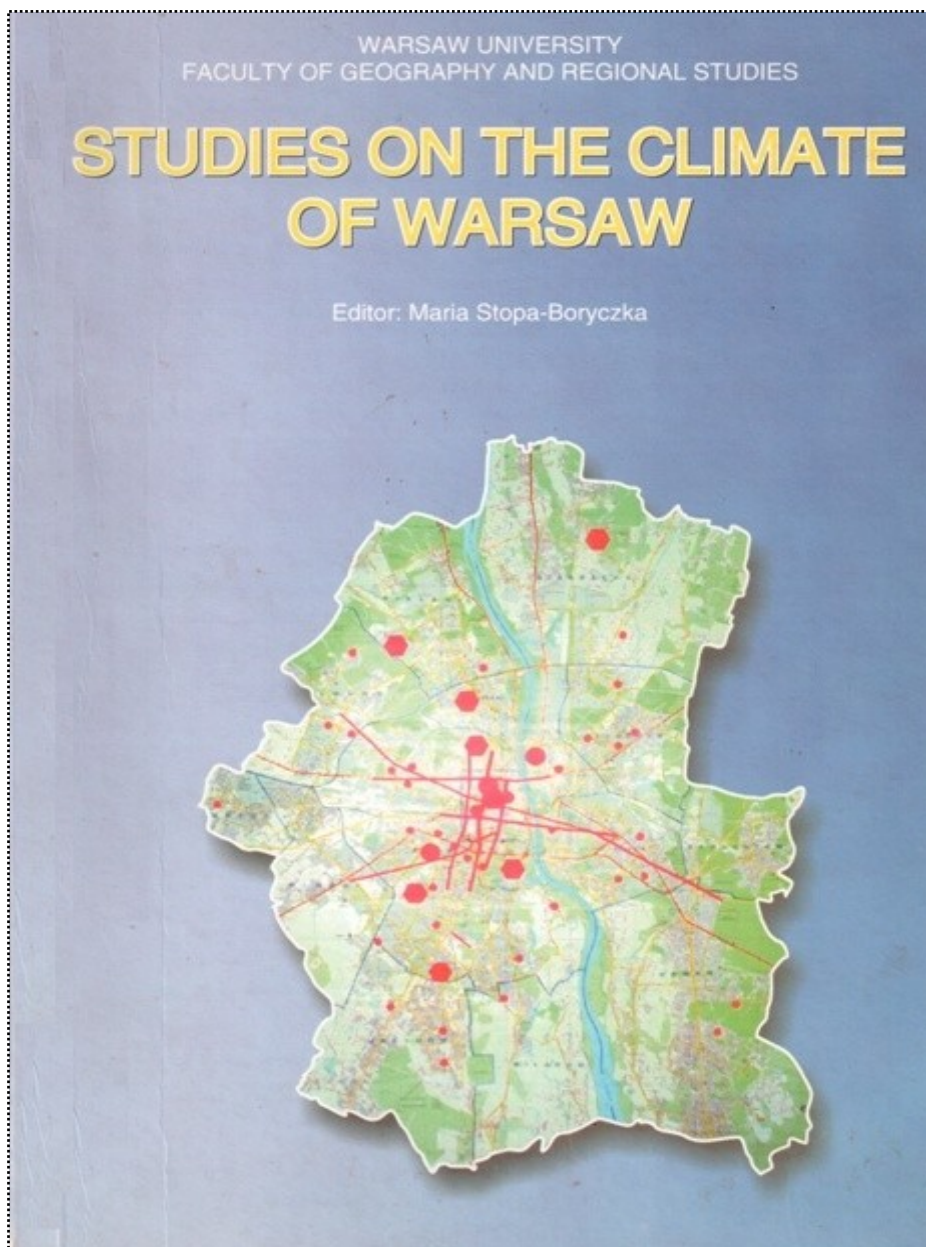
Besides this, there is a downward tendency in the secular trend of volcanic eruptions, both in terms of the Dust Veil Index and of the volcanic activity indicator  $I = \frac{DVI}{\Delta t}$ . Simultaneously there has been, on the average, an increase of the time intervals,  $t$ , between consecutive volcanic eruptions (see the parabole of regression in Fig. 205). The measure of antropogenic changes of air temperature during the last two centuries is constituted by the linear component of  $\Delta T = at$  of the temporal trend of air temperature – the part which remains after elimination of a dozen natural cycles (rhythms) of temperature. The antropogenic component of temperature changes in Warsaw in the years 1779-1979 amounted to  $a = 0.15^{\circ}\text{C}$  per 100 years. This results primarily from the expansion and growth of the town and the related increase of the heat island (bigger accumulation of heat by the buildings, industrial dusts and  $\text{CO}_2$ ).

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



### 15.3. Studies on the climate of Warsaw

Za syntezę badań klimatu Warszawy i innych miast Polski można uznać opracowanie zespołowe p.t. *Studies on the climate of Warsaw* (Editor: Maria Stopa-Boryczka, 2003). Spis treści (CONTENTS) informuje o rozwiązywanych problemach badawczych.



## CONTENTS

Maria STOPA-BORYCZKA , Studies on the climate of Warsaw in the second half of the 20th century	7
Urszula KOSSOWSKA-CEZAK, Jolanta WAWER, The contribution of the Department of Climatology to the study of the climate of Warsaw	13
Jerzy BORYCZKA – Changes in the climate of Warsaw from 18th to 21th century	25
Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA , The cyclic changes of the climate of Warsaw and their conditioning	35
Urszula KOSSOWSKA-CEZAK , The abrupt temperature increases and decreases in Warsaw in the second half of the 20th century	51
Elwira ŻMUDZKA , The variability of the growing season in Warsaw in the second half of the 20th century	61
Katarzyna GRABOWSKA, Storms in Warsaw against the background of other Polish towns	73
Jolanta WAWER, Dependence of the urban heat island on the atmospheric circulation types	91
Maria STOPA-BORYCZKA, Jerzy BORYCZKA, The influence of the manmade factors on the local climate of Warsaw	95
Maria KOPACZ-LEMBOWICZ, Urszula KOSSOWSKA-CEZAK Danuta MARTYN, Krzysztof OLSZEWSKI, The influence of urban greenery on local climate	111
Bożena KICIŃSKA – The aerosanitary conditions in the towns of Poland	131
Krzysztof OLSZEWSKI – The acidity of precipitation in Warsaw	147
Magdalena KUCHCIK – The influence of aerosanitary and bio-meteorological conditions on the health and mortality of the inhabitants of Warsaw	155
Maria STOPA-BORYCZKA, Maria KOPACZ-LEMBOWICZ, Jolanta WAWER – The findings of the research on the climate of Warsaw conducted at the Department of Climatology of Warsaw University	167
Maria KOPACZ-LEMBOWICZ – The application-oriented character of the reports elaborated at the Department of Climatology concerning urban climate .	177
The list of publications of the Department of Climatology concerning the climate of Warsaw	187
The list of Ph.D. dissertations and M.A. theses concerning the climate of Warsaw...	199

Directions of research of the Department of Climatology  
of the Warsaw University 1951-2009

Summary

The fundamental research conducted within the Department of Climatology of the Faculty of Geography and Regional Studies (previously Institute of Geography) at the Warsaw University concerns primarily the climate of Poland. This theme is contained in the research plans of the department since 1952. The theme would only undergo modifications as to its more precise formulation, referring frequently to the fresh currents in climatology.

The research in the domain of climate of Poland was initiated by Professor Romuald Gumiński, the first head of the Department of Climatology of the Institute of Geography at the Warsaw University (1951-1952).

The main research directions taken up at the Department of Climatology under the leadership of Professor Wincenty Okołowicz (the head of the Department in the years 1953-1973), with considerable assistance from Ass. Professor Zofia Kaczorowska (who worked at the Department between 1951 and 1972), include:

- The structure and regionalisation of the climate of Poland,
- The climate of the north-eastern Poland,
- The climate and bio-climate of towns.

The primary object of research at the Department is nowadays constituted by the problem of natural and anthropogenic changes in the climate of Europe, with special consideration of Poland. Within this domain attention should be paid to such subjects

- Empirical models of spatial and temporal variability of climate,
- Periodical changes of climate and their causes,
- Secular trends in climate changes,
- Anthropogenic climate changes,
- Forecasts of changes in the climate of Poland in the 21st century.

All of these research problems are being approached through both individual and team projects. The most important results of the teamwork include, first of all, the 14 volumes of the *Atlas of interdependencies of the meteorological and geographic parameters in Poland* (in Polish), published in the years 1974-2000. A *sui generis* synthesis of the individual work on the climate of Poland is constituted by the two issues of "Prace i Studia Geograficzne", published (in Polish) under the titles of *New methods of inquiry into the climate of Poland* (1997) and *From the study of the climate of Poland* (1998). The first of these issues was published on the occasion of the 45th anniversary of the establishment of the Department, while the second – to commemorate the 100th anniversary of birth of Professor Romuald Gumiński.

Among significant advances in the comparative study of natural and anthropogenic changes in Poland's climate in the first decade of the 21st century and the second half of the 20th century, are the postdoctoral dissertation of E. Żmudzka (2007), „Zmienność zachmurzenia w Polsce i jej uwarunkowania cyrkulacyjne (1951-2000)” [Cloud cover variability and circulation factors in Poland (1951-2000)] and the doctoral dissertation of K. Grabowska (2002), „Burze w Polsce i ich uwarunkowania (1951-1990)” [Thunderstorms and their preconditions in Poland (1951-1990)].

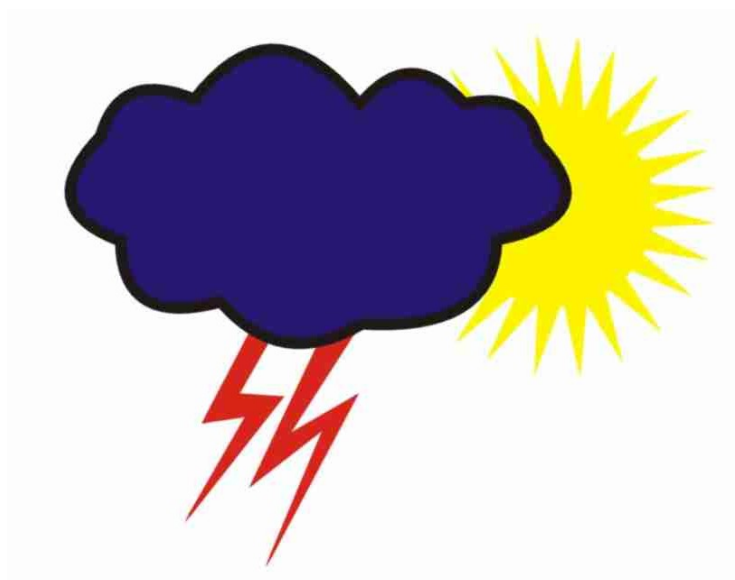
Substantial contributions to knowledge have also been made by studies whose results are presented in the following 6 volumes of „Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce” [Meteorological and Geographical Parameter Interdependence in Poland: an Atlas], published in 2002-2008. Volumes 20-21 and 22 are of particular importance.

#### **15.4. Klimat wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007**

Wyniki badań z niektórych prac magisterskich, w tym z 5 dotyczących osiedli, zamieszczono już we wcześniejszej publikacji p.t. *Klimat Wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii w latach 1952-2007* (2008).

**UNIwersytet WarsZawski**  
**Wydział Geografii i Studiów Regionalnych**  
**Zakład Klimatologii**

**KLIMAT WIELKIEJ WARSZAWY**  
**W PRACACH MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII**  
**W LATACH 1952-2007**



**Warszawa 2008**