

Okresowe wahania temperatury powietrza w Europie w XIX-XXI wieku i ich przyczyny

The cyclic fluctuations of air temperature in Europe
in the 19th-21st centuries and their causes

Jerzy Boryczka¹, Maria Stopa-Boryczka¹

Zarys treści: Wykazano dominującą rolę aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu klimatu w Europie w XIX-XXI w. Przebiegi średnich konsekwentnych 11-letnich wartości temperatury powietrza w 10 miejscowościach europejskich (uśrednionych obszarowo) i liczb Wolfa w latach 1840-2000 cechują się zbliżonymi ekstremami lokalnymi oraz zbliżoną okresowością. Przebiegi roczne współczynnika korelacji temperatury i Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-2000, opisane sinusoidami, cechują się znacznymi amplitudami. W seriach pomiarowych temperatury powietrza w Europie są obecne cykle około 8-, 11- i 100-letnie. Zbliżone okresy aktywności Słońca, wskaźnika NAO i temperatury powietrza upoważniają do prognozowania cech termicznych klimatu do 2100 r. na podstawie interferencji cykli.

Słowa kluczowe: aktywność Słońca, Oscylacja Północnoatlantycka, temperatura powietrza, Europa, prognozy

Key words: solar activity, North Atlantic Oscillation, air temperature, Europe, forecast

Wstęp

Celem pracy jest określenie zakresu wahań temperatury powietrza w Europie w ostatnich stuleciach i ich przyczyn. Istotne znaczenie ma wykazanie synchroniczności cykli temperatury powietrza na przykładzie niektórych miast Europy oraz prognoza zmian w XXI w.

W ciągu ostatnich 400 lat, tj. w latach 1600, 1700 i 1830 wystąpiły na Ziemi trzy duże ochłodzenia, cechujące się największymi spadkami temperatury powietrza. Najbardziej poznane jest to ostatnie ochłodzenie w Europie. O tym ochłodzeniu w Polsce świadczą przebiegi temperatury powietrza w XIX i XX w. w Warszawie i Krakowie (Trepiańska 1973, 1988). Wystąpiło ono podczas trzech najślabszych, wydłużonych

¹ Instytut Geografii Fizycznej, Uniwersytet Warszawski, ul. Krakowskie Przedmieście 30, 0-927 Warszawa.

(12-13-letnich) cykli aktywności Słońca (1798-1833). Ochłodzenie to pojawiło się w czasie najśłabszego 13-letniego cyklu plam słonecznych (1911-1823) od 1700 r. (absolutnego minimum wiekowego). To ostatnie ochłodzenie klimatu Ziemi (także w Europie) wystąpiło podczas wzmożonej aktywności wulkanicznej, po największych wybuchach wulkanów: 1803 – Cotopaxi, 1815 – Tambora, 1835 – Coseguina. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu są kształtowane wahaniem dopływu energii słonecznej do powierzchni Ziemi, zależnej od stałej słonecznej i zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze – pochłaniających i rozpraszających promieniowanie słoneczne.

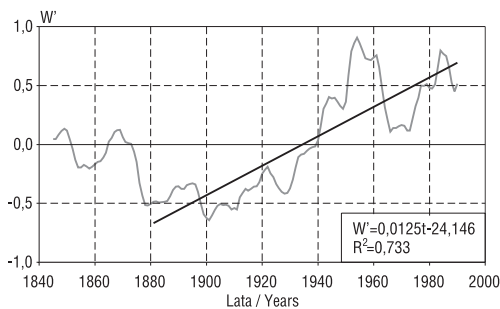
Wpływ aktywności Słońca na temperaturę powietrza w Europie

O dominującym udziale aktywności Słońca w kształtowaniu klimatu Ziemi w postępującym ociepleniu klimatu w XIX-XX w. świadczą synchroniczne zmiany średnich konsekutywnych 11-letnich liczb Wolfa (ryc. 1) i średniej rocznej temperatury powietrza w Europie w latach 1840-1994 – z 10 miejscowości europejskich, tj. z Paryża, Berlina, Sztokholmu, Warszawy, Krakowa, Pragi, Wiednia, Tallina, Bazylei i Oksfordu (ryc. 2). Tendencje standaryzowanych średnich rocznych wartości liczb Wolfa (W') i średniej rocznej temperatury powietrza (T') w latach 1881-1994 są określone zbliżonymi równaniami prostych regresji:

$$W' = 0,0125t - 24,146 \quad T' = 0,0117t - 22,549$$

o dużych współczynnikach determinacji $R^2=73,3\%$ i $78,5\%$. Tendencje liczb Wolfa i temperatury powietrza, po standaryzacji, są prawie równe 1,2/100 lat.

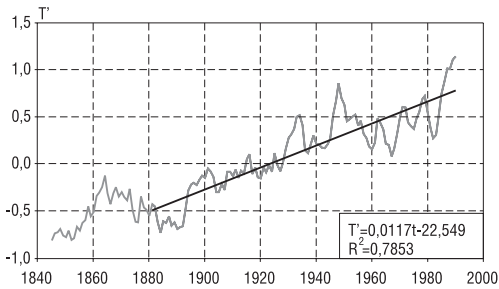
Druga połowa XX w. cechuje się dużym ociepleniem z minimum lokalnym w latach 60., zbliżonym do minimum lokalnego aktywności Słońca. Związek temperatury powietrza z aktywnością Słońca bardziej się uwidacznia w przypadku całej półkuli północnej (Bernes 2002).



Ryc. 1. Aktywność Słońca (standaryzowane liczby Wolfa) w latach 1840-2000

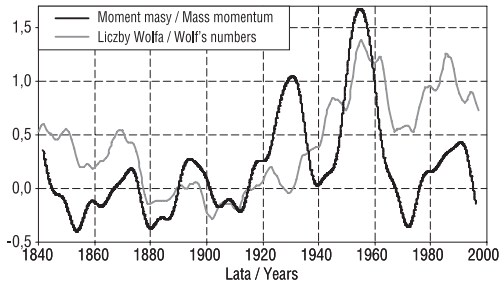
Fig. 1. Solar activity (standardised Wolf numbers) in the years 1840-2000

Istotne znaczenie w badaniu przyczyn zmian klimatu Ziemi ma zależność aktywności Słońca (liczb Wolfa) od zmian położenia środka masy czterech największych planet. Oddziaływania fizyczne (bliżej nieznanne) na Słońce poszczególnych planet można opisać wyodrębniając ich udział w zmienności momentu masy $M = \sum m_i r_i$ (m_i – masa planety, r_i – promień wodzący, parametry orbit – Reznikow 1982), tj. w zmianach położenia środka masy Układu Słonecznego, względem którego porusza się Słońce (Boryczka 2003). Interesująca jest „równoległość” zmian standaryzowanych średnich kon-



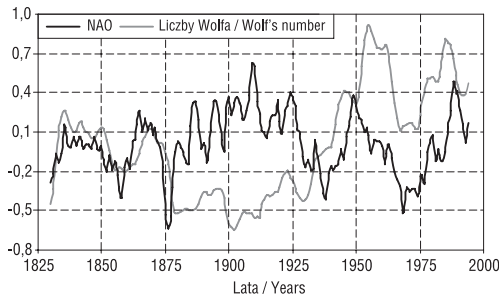
Ryc. 2. Tendencja zmian rocznej temperatury powietrza w Europie w latach 1840-2000

Fig. 2. The tendency of annual air temperature in Europe in the years 1840-2000



Ryc. 3. Zmiany aktywności Słońca (standardyzowanych liczb Wolfa) i momentu masy największych planet w latach 1840-2002

Fig. 3. Changes in solar activity (standardised Wolf numbers) and mass moments of the largest planets in the years 1840-2002



Ryc. 4. Zmiany Oscylacji Północnoatlantyckiej i aktywności Słońca (liczb Wolfa) w latach 1825-2000

Fig. 4. Changes of North Atlantic Oscillations and solar activity (Wolf numbers) in the years 1825-2000

sekutywnych 11-letnich liczb Wolfa i momentu masy 4 największych planet (ryc. 3). Synchroniczne są również wahania aktywności Słońca (tylko przy dużej liczbie plam słonecznych) i Oscylacji Północnoatlantyckiej (ryc. 4).

Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na temperaturę powietrza w Europie

Na klimat Europy dominujący wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego nad Atlantykiem: Niż Islandzki i Wyż Azorski. Te dwa centra ciśnienia, związane z różnicą temperatury między wodą Atlantyku Północnego i lądem, są w ciągu roku ze sobą ujemnie skorelowane. Przy dużej południkowej różnicy ciśnienia, tj. dużym gradiencie ciśnienia skierowanym na północ, powietrze znad Atlantyku na-

plywa z zachodu na wschód – nad obszar Europy, 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 występuje południkowy ruch powietrza na południe lub północ (cyrkulacja południkowa). Wówczas nad obszar Europy napływa powietrze z północy lub południa.

Klimat Europy Zachodniej i Środkowej jest kształtowany przez cyrkulację strefową, uwarunkowaną południkowym gradientem ciśnienia atmosferycznego $P_n = -\partial p / \partial \varphi$. Jako miarę południkowego gradientu ciśnienia przyjęto wskaźnik NAO (North Atlantic Oscillation), zdefiniowany przez P.D. Jonesa i in. (1997), tj. standaryzowaną różnicę ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza między Gibraltarem i południowo-zachodnią Islandią. Wartości wskaźnika NAO określają równoleżnikowy transport mas powietrza: w kierunku wschodnim – NAO > 0 i południkowym – NAO < 0 (Marsz 1999).

Tab. 1. Współczynniki korelacji (*r*) temperatury powietrza i wskaźnika NAO

Table 1. Correlation coefficient (*r*) of air temperature in Europe and NAO index

Stacje Stations	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Paryż	0,60	0,63	0,60	0,35	0,28	0,12	0,19	0,22	0,10	0,30	0,53	0,48
Berlin	0,65	0,66	0,60	0,25	0,27	0,12	0,15	0,20	0,30	0,25	0,50	0,54
Warszawa	0,57	0,55	0,49	0,12	0,13	0,13	0,13	0,08	0,27	0,25	0,30	0,41
Moskwa	0,36	0,45	0,40	-0,00	-0,04	-0,20	0,12	-0,00	0,11	0,20	-0,00	-0,10
Kraków	0,52	0,38	0,44	0,11	0,16	0,12	0,12	0,10	0,30	0,19	0,31	0,38
Wrocław	0,61	0,59	0,48	0,17	0,21	0,09	0,11	0,20	0,34	0,20	0,41	0,50
Lwów	0,49	0,44	0,40	0,12	-0,02	0,05	0,15	0,16	0,22	0,05	0,20	0,33
Wilno	0,53	0,55	0,48	0,08	0,07	0,03	0,02	0,05	0,29	0,24	0,34	0,40

Wartości istotne statystycznie na poziomie 0,05 wyróżniono pogrubioną czcionką

Values statistically significant at 0,05 in bold

Tab. 2. Zmiany roczne współczynnika korelacji temperatury powietrza w Europie z wskaźnikiem NAO w latach 1825-2000. Równania sinusoid regresji

Table 2. Annual changes of correlation coefficients of air temperature in Europe and the NAO index in the years 1825-2000. Equations of regression sinusoids

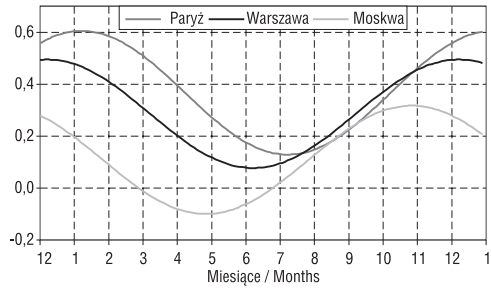
Stacje Stations	$r(t)$	R ² %
Paryż	$r = 0,367 + 0,238 \sin(2\pi t/12 + 0,9309)$	88,5
Berlin	$r = 0,374 + 0,244 \sin(2\pi t/12 + 1,1892)$	89,7
Wrocław	$r = 0,288 + 0,225 \sin(2\pi t/12 + 1,4209)$	85,6
Warszawa	$r = 0,108 + 0,209 \sin(2\pi t/12 + 1,4636)$	86,1
Kraków	$r = 0,261 + 0,169 \sin(2\pi t/12 + 1,4924)$	79,0
Lwów	$r = 0,216 + 0,173 \sin(2\pi t/12 + 1,6364)$	71,7
Wilno	$r = 0,257 + 0,251 \sin(2\pi t/12 + 1,4838)$	87,8
Moskwa	$r = 0,108 + 0,208 \sin(2\pi t/12 + 2,1838)$	68,7

O dużej zależności klimatu Europy od Oscylacji Północnoatlantyckiej w latach 1825-2000 świadczą istotne statystycznie współczynniki korelacji *r* między temperaturą powietrza w Europie, tj. w Paryżu, Berlinie, Warszawie, Moskwie, Krakowie, Wrocławiu, Lwowie i Wilnie, a wskaźnikiem NAO. Wartości współczynników korelacji *r* są największe w miesiącach zimowych, np. w styczniu zmieniają się od 0,65 w Berlinie do 0,36 w Moskwie (tab. 1). W miesiącach letnich są one zbliżone do zera, a nawet ujemne (nieistotne na poziomie 0,05).

Przebiegi roczne współczynnika korelacji temperatury powietrza ze

wskaźnikiem NAO opisują dobrze równania sinusoid regresji o dużych współczynnikach determinacji $R^2 \%$ (tab. 2). Przykładowo przedstawiono wykresy sinusoid opisujących przebieg roczny współczynnika korelacji r w Paryżu, Warszawie i Moskwie (ryc. 5).

Dodatknie wartości współczynnika korelacji r świadczą, że zimy są cieplejsze przy większych gradientach południkowych ciśnienia, a chłodniejsze – przy mniejszych. Wskaźnik NAO w latach 1825-2000 cechuje się okresowością kilku, kilkunastoletnią i około 100-letnią (tab. 3). W widmach wskaźnika NAO w styczniu i roku dominują cykle około 8-letnie.



Ryc. 5. Przebieg roczny współczynnika korelacji między temperaturą powietrza w Europie i wskaźnikiem NAO w latach 1825-2000

Fig. 5. Annual course of correlation coefficients between air temperature in Europe and NAO index in the years 1825-2000

Tab. 3. Okresy (Θ) Oscylacji Północnoatlantyckiej w latach 1825-2000 (R – współczynnik korelacji)

Table 3. The periods (Θ) of North Atlantic Oscillation in the years 1825-2000 (R – correlation coefficient)

Styczeń January		Lipiec July		Rok Year		Styczeń January		Lipiec July		Rok Year	
Θ	R	Θ	R	Θ	R	Θ	R	Θ	R	Θ	R
3,7	0,20	2,9	0,19	4,0	0,21	10,0	0,17	9,9	0,16	13,1	0,20
6,1	0,23	4,3	0,21	5,0	0,22	21,4	0,22	12,4	0,16	15,6	0,15
7,8	0,21	4,6	0,24	7,8	0,29	28,7	0,18	29,6	0,09	29,3	0,14
8,3	0,23	5,5	0,19	9,0	0,19	67,3	0,20	48,1	0,14	119,9	0,12
9,3	0,18	5,8	0,19	11,2	0,18	151,0	0,17	134,0	0,07		

Wartości istotne statystycznie na poziomie 0,05 wyróżniono pogrubioną czcionką

Values statistically significant at 0.05 in bold

Mroźne i łagodne zimy oraz ciepłe i chłodne lata w Europie

Zmienność wiekową temperatury powietrza w zimie i lecie w 40 miejscowościach europejskich scharakteryzowano zestawiając najmroźniejsze i najłagodniejsze styczenie oraz najcieplejsze i najchłodniejsze lipce (Boryczka i in. 2005).

Najmroźniejsze styczenie w Europie wystąpiły w Warszawie – 1838 (-13,5°C) i 1963 (-11,5°C), w Krakowie – 1848 (-12,4°C) i 1963 (-10,0°C). Najcieplejsze styczenie wystąpiły w Warszawie – 1796 (3,5°C) i 1983 (3,4°C), w Krakowie 1921 (3,5°C), w Moskwie – 1983 (-4,1°C). Najcieplejsze lipce natomiast były w Warszawie – 1834 (22,4°C), 1811 (22,3°C), 1826 (22,1°C), 1917 (20,3°C), 1964 (20,0°C) i 1979 (19,6°C), w Krakowie 1834 (22,6°C),

Tab. 4. Mroźne styczenie i gorące lipce (°C) w Warszawie w latach 1779- 2002
 Table 4. The case of frosty January and hot July (°C) in Warsaw in the years 1779-2002

Styczeń January				Lipiec July			
Mroźny Frost		Ciepły Warmest		Upalny Hot		Chłodny Coldest	
1838	-13,5	1796	3,5	1811	22,4	1923	13,0
1803	-13,2	1983	3,4	2002	21,1	1865	13,6
1823	-13,0	1975	2,7	2001	20,7	1918	14,1
1848	-13,0	1921	2,6	1866	20,6	1810	14,2
1940	-12,1	1994	2,3	1875	20,6	1899	14,4
1893	-12,0	1989	2,2	1999	20,6	1806	14,5
1987	-12,0	1936	2,0	1917	20,5	1821	14,5
1850	-11,7	1990	1,9	1979	20,5	1925	14,6
1963	-11,6	1944	1,5	1964	20,4	1928	14,6
1942	-10,9	1916	1,4	1783	20,0	1984	15,0

1932 (21,3°C) i 1983 (21,1°C). Najmroźniejsze i najłagodniejsze styczenie oraz najcieplejsze i najchłodniejsze lipce w Warszawie w latach 1779-2000 zestawiono w tabeli 4.

Najmroźniejsze dni występują przy napływie powietrza kontynentalnego ze wschodu i północo-wschodu, przy adwekcji chłodnego powietrza pochodzenia arktycznego, podczas bezchmurnej pogody w nocy (silnym wypromieniowaniu ciepła z podłoża). Najcieplejsze dni w lecie są zwykle spowodowane adwekcją gorącego powietrza zwrotnikowego z południa i południo-zachodu lub napływem powietrza pochodzenia kontynentalnego z południo-wschodu i wschodu.

Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie

Widma i okresy temperatury powietrza wyznaczono metodą sinusoid regresji J. Boryczki (1998), zmieniając okres sinusoidy Θ co 0,1 roku: $T = a_0 + b \sin(2\pi t/\Theta + c)$, gdzie: t – czas, Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe.

Temperatura powietrza w Europie cechuje się cyklicznością około 8, 11, 100 i 180 lat.

W Europie dominują około 8-letnie okresy temperatury powietrza o dużych amplitudach $\Delta T = 2b = T_{\max} - T_{\min}$ (°C). Na przykład, w styczniu wynoszą one w Warszawie – 8,3 (1,28°C), Krakowie – 8,3 (1,38°C), Pradze – 7,8 (1,52°C), Berlinie – 7,7 (1,94°C), Sztokholmie – 6,6 (1,48°C), Moskwie – 9,3 lat (1,60°C). W lipcu okresowość jest zbliżona, lecz amplitudy są prawie o połowę mniejsze (tab. 5).

Od dawna znana jest też cykliczność około 11-letnia temperatury powietrza, związana z cyklem 11-letnim plam słonecznych. Zakres wahań temperatury powietrza w tym około 11-letnim cyklu na ogół jest większy w zimie niż w lecie.

Krótkookresowe zmiany aktywności Słońca (stałej słonecznej) nie odgrywają istotnej roli w kształtowaniu klimatu Ziemi, ze względu na bardzo powolne przenikanie ciepła do głębszych warstw Ziemi. Większą rolę odgrywają długie cykle: około 100- i 180-letni. W otoczeniu maksimum plam słonecznych w tych cyklach jest kumulowana

Tab. 5. Okresy około 8-letnie temperatury powietrza w styczniu i lipcu w Europie ($\Delta T=2b$, °C)
 Table 5. 8-years periods of air temperature in Europe in January and July ($\Delta T=2b$, °C)

Stacje Stations	Styczeń January		Lipiec July		Stacje Stations	Styczeń January		Lipiec July	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT		Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	8,3	1,28	7,9	0,58	Genewa	8,4	0,84	7,9	0,54
Kraków	8,3	1,38	7,0	0,52	Wiedeń	7,8	1,10	6,5	0,68
Wrocław	8,3	1,50	6,4	0,52	Rzym	7,3	0,76	8,2	0,42
Lwów	8,3	1,28	7,3	0,62	Sztokholm	6,6	1,48	6,8	0,78
Praga	7,8	1,52	8,3	0,60	Kopenhaga	7,8	1,22	8,3	0,62
Berlin	7,7	1,94	8,2	0,58	Moskwa	9,3	1,60	7,0	0,76

Tab. 6. Okresy około 100-letnie temperatury powietrza w styczniu i lipcu w Europie ($\Delta T=2b$, °C)
 Table 6. 100-years periods of air temperature in January and July in Europe ($\Delta T=2b$, °C)

Stacje Stations	Styczeń January		Lipiec July		Stacje Stations	Styczeń January		Lipiec July	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT		Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	116,1	1,50	102,0	0,70	Bazylea	127,2	0,42	89,6	0,66
Kraków	102,0	0,86	-	-	Kopenhaga	87,0	0,10	-	-
Wrocław	129,0	2,20	148,0	0,72	Anglia	95,1	0,22	-	-
Lwów	118,0	1,14	-	-	Sztokholm	87,8	0,46	-	-
Praga	148,0	1,52	117,3	0,96	Ryga	120,9	1,42	115,5	0,32
Wiedeń	90,2	0,76	94,3	0,56	Greenwich	98,8	0,36	79,9	0,72

energia słoneczna w głębszych warstwach lądów i oceanów, która wywiera wpływ na prądy morskie i cyrkulację atmosferyczną.

Okresy około 100-letnie są obecne w wielu seriach pomiarowych temperatury powietrza w Europie (tab. 6).

Okresy około 100-letnie temperatury powietrza w styczniu wynoszą w Warszawie – 116,1, Krakowie – 102,0, Wiedniu – 90,2, Sztokholmie – 97,8, Greenwich – 98,8 lat. Zbliżona okresowość około 100-letnia występuje również w lipcu: w Warszawie – 102,0, w Wiedniu – 94,3, Rydze – 115,5 lat.

Tendencje zmian temperatury powietrza w Europie w XIX-XX wieku Prognozy po rok 2100

Tendencje temperatury powietrza w Europie określone według równań prostych regresji $T = A_0 + At$ (współczynniki kierunkowe A w °C/100 lat) podano w tabeli 7. Charakteryzują one średnie przyrosty temperatury powietrza na 100 lat w odpowiednich przedziałach czasowych. Na ogół tendencje temperatury powietrza w miastach europejskich w zimie są rosnące ($A > 0$), a w lecie malejące ($A < 0$) (tab. 7).

Tendencje temperatury powietrza (a), określone równaniami prostych regresji $T = a_0 + at$, w zimie są na ogół rosnące: Warszawa (1779-1998) – styczeń (1,36°C/100 lat),

Tab. 7. Tendencje zmian temperatury powietrza w niektórych miastach Europy (°C/100 lat)
 Table 7. The tendency of air temperature change in chosen cities in Europe (°C/100 years)

Stacje Stations	Okres Period	Styczeń January	Zima Winter	Lipiec July	Lato Summer	Rok Year
Warszawa	1779-1998	1,36	1,12	0,15	-0,06	0,58
Kraków	1827-1997	1,71	1,48	0,33	0,31	0,82
Wrocław	1792-2002	1,10	0,69	0,34	0,25	0,52
Lwów	1824-2002	0,53	0,53	0,20	-0,22	0,20
Praga	1771-1990	0,04	0,25	-1,13	-0,25	-0,02
Berlin	1769-1990	1,12	0,32	0,33	-0,39	0,13
Genewa	1769-1980	1,23	0,51	0,08	-0,40	0,51
Wiedeń	1775-2002	0,84	0,69	0,02	-0,08	0,27
Rzym	1811-1989	0,36	0,04	0,08	-0,10	0,09
Sztokholm	1756-1994	1,12	0,86	0,11	-0,08	0,46
Kopenhaga	1768-1991	1,13	0,94	0,01	0,05	0,55
Moskwa	1881-2002	3,54	1,65	0,92	-0,15	0,68

lipiec (0,15°C/100 lat), Kraków (1827-1997) – styczeń (1,71°C), lipiec (0,33°C), Sztokholm (1756-1994) – styczeń (1,12°C), lipiec (0,11°C), Moskwa (1881-2002) – styczeń (3,54°C), lipiec (0,92°C).

W Europie przede wszystkim zimy są coraz cieplejsze. Nie wiadomo, jaka część postępującego ocieplenia klimatu jest efektem oddziaływania czynników naturalnych, a jaka czynników antropogenicznych. Nie wiadomo, jaki w tym jest udział zmian aktywności Słońca (stałej słonecznej), pyłów wulkanicznych, ograniczających dopływ energii słonecznej do powierzchni Ziemi, i antropogenicznego efektu cieplarnianego atmosfery.

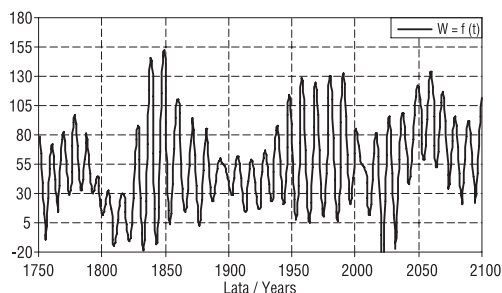
W prognozach zmian klimatu przyjęto założenie, że ekstrema wykrytych cykli temperatury powietrza będą się powtarzać nadal, tak jak w XIX-XX w. Do przyjęcia takiego założenia upoważnia obecność analogicznych cykli w ciągach czasowych aktywności Słońca (stałej słonecznej). Najdłuższe okresy, około 100- i 180-letni, powtarzają się wielokrotnie w ciągach chronologicznych paleotemperatury (¹⁸O/¹⁶O) i zawartości substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych (Boryczka 1998).

Prognozy (ekstrapolację) otrzymano na podstawie interferencji wykrytych cykli temperatury powietrza z wzoru:

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

gdzie: Θ_j , b_j , c_j – parametry cykli istotnych statystycznie, na poziomie istotności 0,05, at – składnik liniowy.

Jako przykład, przedstawiono zmiany aktywności Słońca, wskaźnika



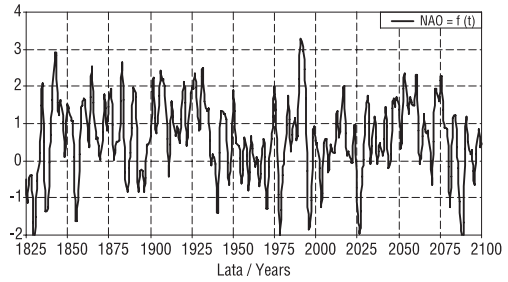
Ryc. 6. Aktywność Słońca w latach 1749-2100 – prognoza w 2003-2100 – Styczeń

Fig. 6. Sun activity in the years 1749-2100 – forecast in 2003-2100 – January

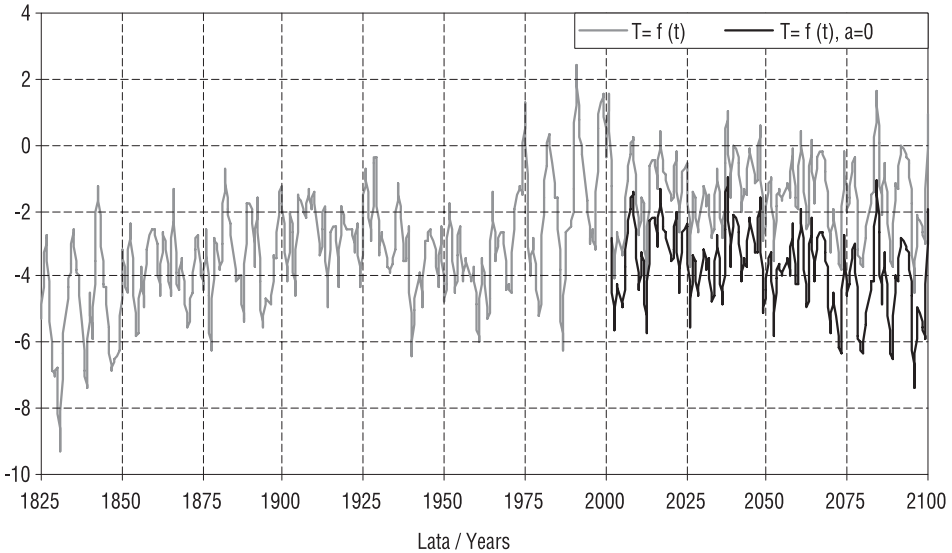
NAO i temperatury powietrza w Warszawie w XIX-XXI w., tj. z prognozą ich zmian do 2100 r. (ryc. 6-8).

Najmroźniejsze zimy w Warszawie (około -4°C) wystąpią około 2050 r. Będą one nieco łagodniejsze niż na początku XIX w., ze względu na coraz większy udział czynników antropogenicznych.

Prognozy ze składnikiem liniowym at (linia szara) uwzględniają wpływ czynników antropogenicznych na przebieg temperatury powietrza. Tendencji rosnącej antropogenicznej



Ryc. 7. Oscylacja Północnoatlantycka w latach 1825-2100 – prognoza w 2001-2100 – Styczeń
 Fig. 7. North Atlantic Oscillation in the years 1825-2100 – forecast in the years 2001-2100 – January



Ryc. 8. Temperatura powietrza w Warszawie w latach 1779-2100 – prognoza w 2003-2100 – Styczeń
 Fig. 8. Air temperature in Warsaw in the years 1779-2100 – forecasts 2003-2100 – January

części efektu cieplarnianego przypisuje się postępujące ocieplenie na Ziemi (IPCC 1990, 1995, 2005). Nie wiadomo jednak, jaka część tendencji rosnącej temperatury powietrza jest spowodowana wzrostem aktywności Słońca w XX w., a jaka część wynika z coraz większego stężenia CO_2 w atmosferze. Kluczem do rozwiązania tego problemu mogą być wyniki badań rdzeni lodowych Antarktydy sprzed 420 000 lat (Petit i in. 1999). Interesujące jest, że ocieplenia na Ziemi występują podczas maksimum promieniowania

słonecznego dochodzącego do Ziemi na równoleżniku 65° w odstępach czasu co 100 000 lat. Podczas maksimum promieniowania słonecznego i paleotemperatury O^{18}/O^{16} znacznie większe było stężenie CO_2 w atmosferze ziemskiej.

Literatura

- Boryczka J., 1998, *Zmiany klimatu Ziemi*, Wyd. Akademickie DIALOG, Warszawa.
- Boryczka J., 2003, *Trends in climate change in Europe and their causes*, Acta Univ. Wratislaviensis, 2542, Studia Geogr., 75, 98-107.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Pietras K., Bijak S., Błażek E., Skrzypczuk J., 2005, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce, Cechy termiczne klimatu Europy*, 19, Wyd. UW, Warszawa.
- Bernes C., 2002, *A Warmer World. The Greenhouse Effect and Climate Change*, Monitor 18, Swedish Environmental Protection Agency, SWE CLIM.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990, 1995, 2005.
- Jones P.D., Jónsson T., Wheeler D., 1997, *Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland*, Int. J. Climatol., 17, 1433-1450.
- Marsz A.A. (red.), 1999, *Wpływ stanu termicznego powierzchni oceanu na modyfikacje cyrkulacji atmosferycznej w wymiarze klimatologicznym*, Materiały konferencji, 6 maja 1999, WSM w Gdyni.
- Petit J.R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N.I., Barnola J.M., Basile I., Bender M., Chappellaz J., Davis M., Delaygue G., Delmotte M., Kotlyakov V.M., Legrand M., Lipenkov V.Y., Lorius C., Pépin L., Ritz C., Saltzman E., Stievenard M., 1999, *Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica*, Nature, 399, 429-436.
- Reznikow A.P., 1982, *Priedskazaniye jestiestwiennych processow obuczajuszcziesjsja sistiemoj*, Nowosybirsk.
- Trepińska J., 1973, *Zmiany w przebiegu temperatury powietrza w Krakowie w XIX i XX wieku*, Prz. Geofiz., 1-2, 39-49.
- Trepińska J., 1988, *Wieloletni przebieg ciśnienia i temperatury powietrza w Krakowie na tle ich zmienności w Europie*, Rozpr. Habilitacyjne UJ, 140, Kraków.

Summary

The progressive warming of the Earth's climate has mainly been caused by natural factors, that is, the increasing solar activity. The aspects which testify to the predominance of natural factors include: synchronous changes in the average air temperature in Europe over the years 1856-2000 (Fig. 2).

Synchronous changes in the average air temperature in the Europe in the years 1840-2000 the average consecutive 11-year cycle Wolf numbers (Fig. 1) and the distance of the mass centres (mass moments) of the largest planets in years 1840-2002 (Fig. 3) testify to the significant role that solar activity plays in the determining the Earth's climate.

Air temperature in Europe (and Poland) is characterised by cycles of ca. 8, 11 and 100 years. The cycles have been determined using the J. Boryczko's "sine curve regression" method ($T = a_0 + b \sin(2\pi t/\Theta + c)$, where: Θ – period, b – amplitude, c – phase shift).

Europe (including Poland) mainly features a ca. 8-year air temperature cycle of large amplitude $\Delta T = 2b = T_{\max} - T_{\min}$ (°C). For January the amplitude is e.g.: Warsaw – 8.3 (1.28°C), Cracow – 8.3 (1.38°C), Lwów – 8,3 (1.28°C), Copenhagen – 7.8 (0.62°C).

The 102- and 187-year long cycles of Sun activity play a major role in shaping the climate. Analogical periods can be observed in the data on air temperature. There are cycles for January air temperature in Europe with a period of ca. 100-years. The precise periods are as follows: Warsaw – 116.1, Cracow – 102.0. Winter air temperature (a), calculated using simple linear regression analysis $T = a_0 + at$, is increasing.

Forecasts have been obtained from the interferences of the detected air temperature cycles $y = a_0 + \sum b_j \sin$, where Θ_j , b_j , c_j are the parameters of the statistically significant cycles (at $p < 0.05$). It has been assumed in forecasts that the extremes of the large amplitude cycles identified will continue to reoccur, as in the 18th and 20th centuries. According to these forecasts, the 21th century is likely to witness a cooling process with an increasing number of cold winters.

