

**PROGNOZY ZMIAN  
KLIMATU WARSZAWY**

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

**XIV. THE FORECAST OF THE CLIMATE CHANGE IN  
WARSAW**

# atlas

OF INTERDEPENDENCE  
OF METEOROLOGICAL  
AND GEOGRAPHICAL  
PARAMETERS  
IN POLAND

Warszawa 2000

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

Pod redakcją naukową  
Marii Stopy-Boryczki

Redaktor  
Władysław Żakowski

Redaktor techniczny  
Joanna Świętochowska

Książka dofinansowana przez Komitet Badań Naukowych

© Copyright by Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego 2000

ISBN 83-235-0026-6

Skład i łamanie  
Jan Skrzypczuk

Druk i oprawa: Zakład Graficzny UW, zam. nr

## SPIS TREŚCI

|   |     |
|---|-----|
| I. WPROWADZENIE .....   | 7   |
| II. POSTĘP BADAŃ ZMIAN KLIMATU W OSTATNICH<br>DZIESIĘCIOLECIACH .....   | 11  |
| III. ZMIANY AKTYWNOŚCI SŁOŃCA I STAŁEJ<br>SŁONECZNEJ W XVIII-XX WIEKU .....   | 17  |
| IV. CYKLICZNE WAHANIA I TENDENCJA ZMIAN<br>OSCYLACJI PÓŁNOCNOATLANTYCKIEJ (NAO)<br>W XIX-XX WIEKU .....                 | 40  |
| V. WARSZAWSKA SERIA POMIARÓW TEMPERATURY<br>POWIETRZA NA STACJI OBSERWATORIUM<br>ASTRONOMICZNE W LATACH 1779-1997 ..... | 66  |
| 1. Dokumentacja historyczna prowadzonych pomiarów<br>temperatury powietrza w Warszawie od 1779 roku.....                | 66  |
| 2. Poprawki korygujące dotychczasową “serię warszawską”<br>temperatury powietrza w latach 1779-1997 .....               | 70  |
| 3. Zakres wahań temperatury powietrza w Warszawie<br>(Observatorium) w latach 1779-1997.....                            | 73  |
| VI. ZMIANY KLIMATU WARSZAWY W XVIII-XXI .....   | 97  |
| 1. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Warszawy i ich<br>uwarunkowania .....   | 97  |
| 2. Okresowa zmienność opadów atmosferycznych<br>w Warszawie .....   | 102 |
| 3. Tendencje zmian klimatu Warszawy .....   | 104 |
| 4. Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku .....  | 106 |

|  |     |
|--|-----|
| VII. STAN AEROSANITARNY WARSZAWY   |     |
| W ODNIESIENIU DO INNYCH MIAST POLSKI .....   | 176 |
| 1. Przestrzenny rozkład stężenia dwutlenku siarki w Polsce .   | 178 |
| 2. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na stężenia<br>zanieczyszczeń powietrza (SO <sub>2</sub> ) .....  | 179 |
| 3. Rozkład prawdopodobieństwa stężenia zanieczyszczeń<br>przy różnych kierunkach adwekcji powietrza .....  | 180 |
| 4. Synchroniczne wahania stężeń zanieczyszczeń powietrza<br>w Polsce .....   | 181 |
| 5. Podobieństwo stanu zanieczyszczenia powietrza dwu-<br>tlenkiem siarki w poszczególnych regionach Polski przy<br>różnych kierunkach adwekcji mas powietrza ..... | 182 |
| 6. Zanieczyszczenie atmosfery a zdrowie i zgony mieszkań-<br>ców Warszawy .....  | 193 |
| VIII. ZAKOŃCZENIE .....  | 198 |
| LITERATURA .....   | 202 |
| SUMMARY .....  | 207 |

## I. WPROWADZENIE

Modelowanie zmian i wahań klimatu, rekonstrukcja i prognoza oraz ich znaczenie dla gospodarczej działalności człowieka są jednym z ważniejszych problemów klimatologii – objętym programem Światowej Organizacji Meteorologicznej.

Celem pracy jest określenie zakresu cykliczności i tendencji zmian klimatu w XVIII-XX wieku. Jest nim też określenie prognoz zmian klimatu Polski w XXI wieku.

Rozwiązania tych problemów przedstawiono na przykładzie Warszawy. Miasto to jest dobrym punktem odniesienia w badaniach modelowych zmian klimatu środkowej Polski, a także Europy ze względu na położenie geograficzne (miasto nizinne) oraz najdłuższe serie pomiarów temperatury powietrza (1779-1995) i opadów atmosferycznych (1813-1995). Ponadto analizie statystycznej poddano ciągi chronologiczne: aktywności Słońca (1700-1993), stałej słonecznej (1700-1879), Oscylacji Północnoatlantycznej (*NAO*) w latach 1825-1997 i cyrkulacji atmosferycznej (1891-1984) w powiązaniu z temperaturą powietrza i opadami atmosferycznymi w Warszawie.

Ogólne cechy okresowości i tendencji zmian klimatu Warszawy na tle innych miast Polski i Europy zostały przedstawione we wcześniejszych pracach wykonanych w Zakładzie Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego (Boryczka, 1984, 1993, 1998; Boryczka, Stopa-Boryczka i inni, 1992, 1998, 1999).

Treść czternastego tomu Atlasu nawiązuje głównie do VII części (1992), dotyczącej zmian wiekowych klimatu Polski i ich uwarunkowań na przykładzie Warszawy.

Warszawa stała się też punktem odniesienia w 3 ostatnich częściach, poświęconych cykliczności i tendencji temperatury powietrza w Europie w sezonach, półroczach i roku (cz. XI, 1998) oraz poszczególnych miesiącach (cz. XII, 1999). W trzynastym tomie Atlasu pt. *Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie* (1999) znacznie rozszerzono zakres badań zmian klimatu na podstawie długiego ciągu chronologicznego Oscylacji Cyrkulacji Atlantycznej (*NAO*, 1825-1997) jako wskaźnika globalnych zmian klimatu. Po raz pierwszy wyznaczono krótkie cykle ciśnienia atmosferycznego i ekstremalnych wartości temperatury powietrza (maksymalnej i minimalnej) w Warszawie w ostatnim 30-leciu (1966-1995).

Prezentowany tom XIV z wyodrębnionym podtytułem *Prognozy zmian klimatu Warszawy* można uznać za syntezę dotychczasowych badań zmian klimatu w XVIII-XXI wieku.

Novum stanowią wyniki badań dotyczących stanu aerosanitarnego Warszawy w odniesieniu do innych miast Polski (Kicińska, 1999) oraz wpływu pogody i stężeń zanieczyszczeń atmosfery na zdrowie ludności miejskiej (Kuchcik, 2000).

Przed przystąpieniem do rozwiązania zasadniczego tematu dokonano oceny dotychczasowych badań w zakresie naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu Europy ze szczególnym uwzględnieniem Polski.

Dokonano też prezentacji „serii warszawskiej” obejmującej 218 lat pomiarów temperatury powietrza (1779-1997). Ponad 200 letnia seria temperatury powietrza w Warszawie – Obserwatorium, skorygowana przez prof. Halinę Lorenc, jest podstawą empirycznej oceny wiekowych zmienności i tendencji klimatu. Dokonano wnikliwej analizy materiałów historycznych, zawierających opis lokalizacji prowadzonych obserwacji i rodzajów termometrów (dokładności odczytów), terminów pomiarów, braków pomiarów itp. Wyszczególniono nawet okresy, w których zakłócona była jednorodność „serii warszawskiej”. Do najważniejszych zdarzeń zrywających homogeniczność serii pomiarowej należą: obserwacje na Zamku Królewskim prowadzone przez ks. J. F. Bystrzyckiego w latach 1779-1799 z przerwą w latach 1800-1803, obserwacje A. Magiera w latach 1803-1818 (w innym miejscu, w innych terminach i na odmiennej wysokości), obserwacje wykonywane w Obserwatorium Astronomicznym z wyodrębnieniem lat: 1818-1836, 1836-1840, 1841-1869, 1870-1885, 1886-1915 i inne (Lorenc, 2000).

Biorąc pod uwagę informacje historyczne oraz wykresy zmierzonych wartości temperatury powietrza w Warszawie i innych miejscowościach Polski i Europy (Berlin, Kraków, Kremsmünster, Praga, Uppsala, Wiedeń i Wilno) skorygowano serie pomiarów średnich miesięcznych, sezonowych i rocznych wartości temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1999.

Warszawską serię pomiarów temperatury powietrza ujednorodniono, stosując powszechnie znaną metodę różnic i test względnej jednorodności H. Alexanderssona na poziomie istotności 0,05. Porównanie skorygowanych ciągów chronologicznych średnich miesięcznych, sezonowych i rocznych wartości temperatury powietrza w Warszawie (Obserwatorium i inne) w latach 1779-1999 z dotychczasowymi przedstawiają zamieszczone wykazy (rozdz. V). W wyniku wprowadzonych poprawek największe rozbieżności występują w latach 1790-1826 i 1886-1914.

Efektom wprowadzonych poprawek korygujących jest spadek tendencji średniej rocznej temperatury powietrza w latach 1779-1999 z  $0,73^{\circ}\text{C}/100\text{lat}$  do  $0,55^{\circ}\text{C}/100\text{lat}$ . Odpowiednio mniejsze współczynniki regresji otrzymano również w miesiącach zimowych.

Zasadniczy trzon pracy stanowi rozdział VI poświęcony zmianom klimatu Warszawy w XVIII-XXI wieku.

Ważne problemy klimatologii dotyczące cykliczności zmian klimatu są rozwiązywane przez Zakład Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego za pomocą oryginalnej własnej metody J. Boryczki (1993). Na podstawie istniejących ciągów chronologicznych: temperatury i opadów atmosferycznych, cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca wnioskuje się o naturalnych przyczynach ocieplania klimatu w ostatnich dwóch stuleciach – wzrostu temperatury powietrza w Warszawie o  $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{lat}$ . To ocieplenie przypisuje się zwiększeniu aktywności Słońca w latach 1700-1980 o  $9,5/100\text{lat}$ . Jest to dość prawdopodobne, gdyż minimum wiekowe temperatury powietrza wystąpiło podczas minimum wiekowego aktywności Słońca. Przeprowadzone prace pozwoliły także oszacować zmienność temperatury powietrza w ostatnich dwóch stuleciach, wynikającą z czynników antropogenicznych. Antropogeniczny wzrost temperatury powietrza w Warszawie wynosi  $0,2^{\circ}\text{C}/100\text{lat}$ . Jest on wynikiem głównie rozbudowy miasta – miejskiej wyspy ciepła (większej akumulacji ciepła przez powierzchnie sztuczne). Znaczenie praktyczne mają prognozy naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu. Ekstrapolując trendy czasowe temperatury i opadów opracowano unikatowe (w krajowej



i zagranicznej literaturze) prognozy tendencji zmian klimatu w XXI wieku na przykładzie Warszawy.

Do nowych problemów rozwiązywanych w Zakładzie Klimatologii w ramach prac na stopień należy stan aerosanitarny miast Polski ze szczególnym uwzględnieniem Warszawy.

Głównym celem pracy doktorskiej Bożeny Kicińskiej (1999) jest określenie wpływu adwekcji mas powietrza na przestrzenny rozkład dwutlenku siarki w Polsce, z uwzględnieniem układów cyklonicznych i antycyklonicznych. Cel dodatkowy to wyodrębnienie sytuacji pogodowych sprzyjających dużej koncentracji dwutlenku siarki w powietrzu, zwłaszcza na obszarach o dużym zagrożeniu środowiska naturalnego związkami siarki. Są to aktualne problemy związane z ochroną atmosfery przed zbyt dużą zawartością toksycznych substancji.

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

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

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

Z przeprowadzonych badań wynika, że:

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

Celem pracy doktorskiej Magdaleny Kuchcik (2000) jest określenie wpływu pogody na koncentrację zanieczyszczeń powietrza w mieście. Jest nim też wyodrębnienie warunków biometeorologicznych o dużym zagrożeniu dla mieszkańców Warszawy ze szczególnym uwzględnieniem chorób układu krążenia i dróg oddechowych, kończących się zgonami.

Problemy rozwiązano na podstawie: codziennych map synoptycznych z lat 1994 i 1995 z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, stężeń zanieczyszczeń powietrza w Warszawie (dwutlenku siarki, tlenków azotu, tlenku węgla, ozonu i pyłów znajdujących się w powietrzu), udostępnionych przez Instytut Ochrony Środowiska, oraz podstawowych elementów meteorologicznych w Warszawie. Ponadto wykorzystano szczegółowe dane z Głównego Urzędu Statystycznego o zgonach osób zameldowanych w Warszawie.

W poszukiwaniu przyczyn zgonów istotne znaczenie ma wyróżnienie sytuacji meteorotropowych, głównie układów barycznych: niżowych, wyżowych i przejść frontów atmosferycznych nad Warszawą oraz adwekcji mas powietrza.

Wartość poznawczą ma również wyodrębnienie ekstremalnych warunków pogodowych i aerosanitarnych oraz innych zmiennych (tendencji dobowych) w poszczególnych porach roku o dużym zagrożeniu dla życia mieszkańców Warszawy.

Nie bez znaczenia dla mieszkańców stolicy mają warunki bioklimatyczne, określone wg skali odczucia termicznego. Na przykład dyskomfort, wynikający z przegrzania (podczas długotrwałych upałów) lub przechłodzenia (podczas silnych mrozów), na ogół prowadzi do wzrostu liczby zgonów.

## II. POSTĘP BADAŃ ZMIAN KLIMATU W OSTATNICH DZIESIĘCIOLECIACH

O astronomicznych przyczynach współczesnych zmian klimatu Ziemi świadczy silna korelacja aktywności Słońca (stałej słonecznej) ze zmianami zachodzącymi w Układzie Słonecznym.

Z parametrami Układu Słonecznego skorelowane są także zmienne charakteryzujące klimat: cyrkulacja atmosferyczna, temperatura powietrza, opady atmosferyczne, odpływy rzek, poziom morza, a nawet erupcje wulkaniczne.

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

W prognozach naturalnych zmian klimatu w XXI wieku przyjęto założenie, że wykryte cykle w seriach pomiarowych z XVIII-XX wieku będą się nadal powtarzać w przyszłym stuleciu.

Do przyjęcia takiego założenia upoważnia również obecność około 100- i 200-letnich cykli w ciągach czasowych: paleotemperatury, określonej na podstawie stosunku izotopów tlenu  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  (Johnsen i inni, 1970), substancji organicznych i węglanów wapnia zdeponowanych w jeziorach w Polsce (Boryczka, Wicik, 1994).

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

W prognozach zmian klimatu w przyszłym wieku niezbędne jest uwzględnienie długookresowych części widm, gdyż okresy długie, a zwłaszcza około 200-letnie, cechują się dużą amplitudą w sezonach – rzędu  $2^{\circ}\text{C}$ .

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

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

Część globalnych zmian klimatu Ziemi jest niewątpliwie efektem nakładania się krótkich i długich naturalnych okresów temperatury powietrza: quasi okresowe zmiany

klimatu w Warszawie w latach 1700-2100 w zimie i w lecie przedstawiono na wykresach w publikacjach wcześniejszych (Boryczka, 1993, 1998). Są to wypadkowe (superpozycje) istotnych statystycznie podanych już wcześniej okresów. Krzywe te dobrze aproksymują wyniki pomiarów temperatury powietrza w przedziale aproksymacji 1779-1980. Zgodne są daty ekstremów (głównych minimów i maksimów) z najchłodniejszymi i najcieplejszymi zimami i sezonami letnimi.

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

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

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

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

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

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

|      |      |            |        |
|------|------|------------|--------|
| 1989 | 1990 | 1991       | 1992   |
| 9,2  | 9,4  | <u>8,0</u> | 8,8 °C |

Sprawdziły się też prognozowane zimy w Warszawie wg danych z lat 1779-1990 i w Genewie wg danych z lat 1768-1980 (Boryczka, 1993). Zgodnie z prognozą zim w Warszawie w roku 1990 zakończyła się jedna z serii ciepłych zim. Zimy w Warszawie od 1991 roku są coraz chłodniejsze. Ekstrapolowanym wartościom trendu czasowego w latach 1987-1996 odpowiadają chłodniejsze zimy (na stacji Warszawa-Okęcie):

|     |             |      |      |      |             |      |            |             |             |             |
|-----|-------------|------|------|------|-------------|------|------------|-------------|-------------|-------------|
| Rok | 1987        | 1988 | 1989 | 1990 | 1991        | 1992 | 1993       | 1994        | 1995        | 1996        |
| °C  | <u>-4,2</u> | 0,6  | 2,4  | 2,1  | <u>-2,0</u> | -0,3 | <u>0,1</u> | <u>-0,3</u> | <u>-1,3</u> | <u>-1,6</u> |

Dobra jest także zgodność z wynikami pomiarów (na Okęciu) prognozowanych rocznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie (1813-1980), przedstawionych w pracy J. Boryczki (1993). Krzywej sum rocznych o tendencji malejącej w latach 1981-1990 odpowiada spadek zmierzonych sum opadów od 656 mm – w roku 1981 do 456 mm – w roku 1990, a następnie wzrost do 652 mm w 1993.

Dość dobra zgodność prognozowanych wartości temperatury powietrza ze zmierzonymi – poza przedziałem aproksymacji – świadczy, iż istnieją przyczynowo-skutkowe związki między okresami zmiennych klimatologicznych i astronomicznych.

Prognozy tendencji zmian klimatu na podstawie trendów czasowych można będzie sprawdzić jedynie metodami statystycznymi, dysponując małą próbą losową o liczebności co najmniej 30 lat. Prognozowane minimum wiekowe temperatury powietrza czy też opadów atmosferycznych – minimum krzywej trendu czasowego – może nie wystąpić w konkretnym roku, lecz w określonym przedziale czasu.

Metody prognozowania sprawdzono również na przykładzie krótkiej, 30-letniej serii pomiarów w Zamościu z lat 1951-1980 (Stopa-Boryczka, Boryczka, 1998). Ekstrapolowane wartości trendu czasowego – wypadkowej cykli: 3,25; 7,75; 12,6 lat – w latach 1981-1990 (poza przedział aproksymacji 1951-1980) są zbliżone do wyników pomiarów temperatury powietrza w dziesięcioleciu 1981-1990. Na uwagę zasługuje synchronizacja ekstremów krzywej wyrównanej temperatury powietrza w Zamościu z minimum i maksimum aktywności Słońca w cyklu 11-letnim. Maksima temperatury powietrza przypadają na daty maksimum plam słonecznych: 1957, 1968, 1979, 1989.

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

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

Okresowe wahania klimatu (ocieplenia i ochłodzenia) są analogiczne do okresów zmian aktywności Słońca – zbliżonych do okresów planetarnych  $P_j$  (obiegu czterech największych planet i ich wzajemnego położenia): 11,7; 12,8; 13,8; 19,9; 29,5; 35,9; 45,4; 84,0; 164,0; 171,4 lat.

Interesujący jest eksperyment polegający na wyznaczeniu trendu czasowego liczb

Wolfa  $W = a_0 + b \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{P_j}t + c_j\right)$  przy założeniu okresowości planetarnej  $P_j$ , z uwzględnieniem

modulacji najkrótszego okresu 11,7 lat przez okresy najdłuższe 84 i 171,4 lat.

Wypadkowe okresów planetarnych dobrze opisują zmienności 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 ochładzaniu klimatu w przyszłym – XXI stuleciu. Wypadkowe okresów temperatury powietrza w Warszawie podczas zim cechuje się głębokim minimum w latach 2000-2100, kiedy to prognozowane jest kolejne wiekowe minimum aktywności Słońca. Ochładzania klimatu wystąpiły podczas wiekowych minimów plam słonecznych: Maundera (1640-1710) i Daltona (1780-1850). Zauważono (Charvatova, Strestik, 1994), że podczas minimów wiekowych aktywności Słońca (co 179 lat) ruch środka masy Układu Słonecznego odbywa się po innych orbitach (chaotycznych) niż podczas maksimów (po orbitach uporządkowanych). Podobne minimum wiekowe aktywności Słońca (i ochładzania klimatu) autorzy ci prognozują w połowie przyszłego stulecia.

Podobnie Sazonow i Malkentin (1994) sugerują, że anomalne ciepłe zimy są wywołane specyficznym układem największych planet (Saturna, Neptuna, Urana, które znajdują się w koniunkcji ze Słońcem i Ziemią), deformującym heliosferę własnymi polami grawitacyjnymi.

Naturalne wahania klimatu są wywołane głównie zmiennością stałej słonecznej. Zmienia się ona w ciągu roku o  $\pm 3,3\%$  w wyniku różnej odległości Ziemi od Słońca: styczeń (147 mln km) –  $2,01 \text{ cal}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$ , lipiec (152 mln km) –  $1,94 \text{ cal}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$ . Stała słoneczna zależy od aktywności Słońca. Maksymalna jej wartość przypada na przedział 80-100 liczb Wolfa (Kondratiew, Nikolski, 1970).

Ze wzoru K. Kondratiewa i G. Nikolskiego (1970):

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

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

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

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

W sondażach przyszłości ważne jest, że okresowość zbliżona do wiekowej (120 lat) i dwuwiekowej (180 lat), która najbardziej kształtuje współczesne wahania klimatu, wy-

stępuje również w ciągach czasowych substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych sprzed 10 000 lat (w holocenie).

Jak już wspomniano, te długie okresy temperatury, aktywności Słońca i erupcji wulkanicznych (okołowiekowe i dwuwiekowe) powtarzają się wielokrotnie w osadach jeziornych – w akumulacji substancji organicznych.

W prognozach zmian klimatu XXI wieku można pominąć bardzo powolne zmiany, spowodowane długimi okresami wahań parametrów orbity Ziemi (90 000, 40 000, 21 000; Milankowicz, 1938). Można również pominąć najdłuższe holocenijskie cykle klimatu (powyżej 1000 lat) wykryte w cyklach czasowych zdeponowanych substancji organicznych w osadach jezior: Wikaryjskiego, Gościąż, Świętego (Boryczka, Wicik, 1994).

Ich ekstrema (ochładzania i ocieplania) prawdopodobnie będą powtarzać się, gdyż analogicznej okresowości ulegają parametry Układu Słonecznego. W prognozach nie można jednak zaniechać paru – stuletnich 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).

Cykliczne zmiany temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, cyrkulacji atmosferycznej, aktywności Słońca i parametrów Układu Słonecznego wykorzystane w identyfikacji astronomicznych przyczyn naturalnych wahań klimatu wykazują zbliżone rytmy (Boryczka, 1993).

Podobieństwo okresowości zmiennych klimatologicznych (temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, cyrkulacji atmosferycznej) i astronomicznych (aktywności Słońca, parametrów Układu Słonecznego) świadczy o bezpośrednim – poprzez aktywność Słońca i cyrkulację atmosferyczną – lub pośrednim oddziaływaniu grawitacyjnym planet na klimat Ziemi.

Mało prawdopodobne jest, by obecność kilkunastu pasm częstości zmian (okresów) zarówno w widmach zmiennych klimatologicznych, jak też zmiennych astronomicznych była przypadkowa.

O bezpośrednim oddziaływaniu grawitacyjnym planet na cyrkulację atmosferyczną świadczy brak niektórych cykli temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, cyrkulacji atmosferycznej w gęstym widmie oscylacji aktywności Słońca, a ich obecność w widmach oscylacji parametrów Układu Słonecznego.

Nowością jest wykazanie planetarnej 178,9-letniej okresowości (Boryczka, 1998): aktywności Słońca, stałej słonecznej, a także temperatury powietrza. Jest to przede wszystkim okres powtarzalności wartości parametrów Układu Słonecznego: odległości środka masy Układu Słonecznego od Słońca, przyspieszenia Słońca względem środka masy, wypadkowej siły grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce, planetarnych sił pływowych na Słońcu, dyspersji masy Układu Słonecznego i innych.

Problem cykliczności klimatu i jej przyczyn nie jest nadal rozwiązany w literaturze klimatologicznej. Nastąpił znaczny postęp jedynie w zakresie metod wykrywania rytmów klimatycznych: analiza harmoniczna, analiza autokorelacyjna, transformata Fouriera, metoda „sinusoid regresji”, a szczególnie w zakresie techniki obliczeniowej – komputerowej. Mało poznane są dotąd składniki deterministyczne (okresowe) i przyczyny wahań klimatu. Istotne znaczenie mają badania okresowości aktywności Słońca zarówno w długich przedziałach czasu, jak w ostatnim dziesięcioleciu.

Postępem w badaniach wiekowych zmian klimatu jest także wyodrębnienie dwóch składników trendu czasowego: naturalnego i antropogenicznego. Obserwowane zmiany wiekowe, np. temperatury powietrza, można traktować jako wypadkową zmian naturalnych uwarunkowanych aktywnością Słońca i zmian antropogenicznych wynikających z wpływu takich czynników, jak rozbudowa miasta, wzrost zawartości CO<sub>2</sub> (efekt cieplarniany) i pyłów (absorpcja promieniowania słonecznego) w atmosferze i innych. Autorzy wyszli z założenia, że składnik naturalny jest wynikiem nakładania się tych sinusoidalnych cykli. Natomiast składnik antropogeniczny cechuje się stałą tendencją zmian. Trzeba jednak pamiętać, że wyodrębnione przyrosty antropogeniczne temperatury powietrza i opadów atmosferycznych (i ich prognoza na lata 2000, 2100) nie zawsze wynikają z wpływu czynników antropogenicznych. Mogą to być również zmiany naturalne o bardzo długich nieznanach okresach, nie stwierdzonych na podstawie istniejących ciągów chronologicznych.

Tego rodzaju trendy czasowe elementów klimatu umożliwiły autorom dokonanie rekonstrukcji (od roku 1700) i prognozy (po rok 2100) klimatu Warszawy przez zwykłą ekstrapolację funkcji aproksymujących.

Trzeba zauważyć, że krzywa wiekowych zmian temperatury powietrza w stuleciu XXI znajduje się poniżej średniej rocznej z dwóch ostatnich stuleci. Biorąc jednak pod uwagę przyrosty antropogeniczne temperatury, które złagodzą jej naturalne spadki, może nie wystąpić zbytne ochłodzenie klimatu w przyszłym stuleciu. Oczywiście prognozy te – sondaż przyszłości – otrzymano przy założeniu, że ekstrema wykrytych cykli, które wystąpiły w XVIII-XX wieku, powtarzać się będą nadal.



### III. ZMIANY AKTYWNOŚCI SŁOŃCA I STAŁEJ SŁONECZNEJ W XVIII-XX WIEKU

Jedną z głównych naturalnych przyczyn współczesnych zmian klimatu jest aktywność Słońca, tzn. wszystkie okresowe zjawiska na nim zachodzące.

Cykliczne zmiany zachodzące na Słońcu (zmienność promieniowania krótkofalowego i pola magnetycznego plam słonecznych) odgrywają największą rolę w kształtowaniu zmian klimatu Ziemi, głównie przez zmiany stałej słonecznej. Przenoszone są one na Ziemi także poprzez jonosferę, warunkującą cyrkulację atmosferyczną – ruch cyklonów i antycyklonów w początkowej fazie ich rozwoju (Rakipowa, 1960).

O wpływie aktywności Słońca na cyrkulację atmosferyczną (na dystrybucję ciepła na Ziemi) świadczą analogiczne cykle cyrkulacji (wschodniej, zachodniej, południkowej, strefowej i cyklonalnej) i liczb Wolfa, a także parametrów Układu Słonecznego. Na przykład najsilniejszy cykl 30,5 lat cyrkulacji zachodniej jest prawie taki sam, jak najsilniejszy cykl (29,5 lat) dyspersji masy planet względem ekliptyki.

Cykliczną zmienność plam słonecznych stwierdzono już dawno (Swabe, 1843; Wolf, 1869-72). Najbardziej rozpowszechnionym wskaźnikiem aktywności Słońca w badaniach statystycznych są tzw. liczby Wolfa (liczby względne).

**Okresy liczb Wolfa**, wyznaczone metodą „sinusoid regresji” z odstępem  $\Delta\Theta = 0,1$  roku w przedziale 2,1-250 lat, znajdują się w X tomie *Atlasu współzależności meteorologicznych i geograficznych w Polsce* z wyodrębnionym podtytułem *Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie* (Boryczka, Stopa-Boryczka i inni, 1997). Minima lokalne wariancji resztkowej zestawiono w tab. 3. Podano okresy  $\Theta$ , wartości współczynnika korelacji, amplitudy  $b$  i fazy  $c$  poszczególnych cykli.

Daty maksimów  $t_{\max}$ ,  $W_{\max}$ , i minimów  $t_{\min}$ ,  $W_{\min}$  cyklu o długości  $\Theta$  określają wzory:

$$t_{\max} = \left(\frac{\pi}{2} - c\right) \frac{\Theta}{2\pi}, \quad t_{\min} = \left(\frac{3\pi}{2} - c\right) \frac{\Theta}{2\pi}.$$

Początkiem  $t = 0$  osi czasu są daty 1699, 1748;  $Data = 1699 + t$  lub  $Data = 1748 + t$ .

Tab. 1. Okresy, amplitudy ( $b$ ) i fazy ( $c$ ) aktywności Słońca w latach 1700-1993 i 1749-1993 ( $R$  – współczynnik korelacji)  
 Periods, amplitudes ( $b$ ) and phases ( $c$ ) solar activity in the years 1700-1993 and 1749-1993 ( $R$  – correlation coefficient)

| 1700–1993   |              |               |         | 1749–1993   |              |               |         |
|-------------|--------------|---------------|---------|-------------|--------------|---------------|---------|
| Okres       | $R$          | $b$           | $c$     | Okres       | $R$          | $b$           | $c$     |
| 8,1         | 0,164        | 9,355         | 2,3562  | 8,1         | 0,181        | 10,606        | -2,9359 |
| 8,4         | 0,171        | 9,752         | -1,7774 | 8,5         | 0,199        | 11,734        | -1,0059 |
| 9,5         | 0,132        | 7,534         | -1,5687 | 9,5         | 0,189        | 11,078        | 0,7609  |
| 10,0        | 0,423        | 21,141        | 1,8086  | 10,0        | 0,418        | 24,555        | 1,6700  |
| 10,5        | 0,393        | 22,383        | -2,7747 | .           | .            | .             | .       |
| <u>11,0</u> | <u>0,496</u> | <u>30,031</u> | -2,2691 | <u>11,0</u> | <u>0,495</u> | <u>28,960</u> | 1,1417  |
| 12,0        | 0,262        | 16,085        | -1,2397 | 11,9        | 0,266        | 15,634        | -1,0432 |
| 12,7        | 0,136        | 7,756         | 0,1122  | 12,8        | 0,103        | 12,849        | 0,2300  |
| 28,9        | 0,124        | 7,136         | 2,3047  | 29,7        | 0,113        | 6,669         | 1,7336  |
| 43,1        | 0,131        | 7,520         | 2,5014  | 41,3        | 0,146        | 8,582         | 2,2830  |
| 52,6        | 0,201        | 11,449        | -2,4398 | 53,3        | 0,175        | 10,260        | -2,5707 |
| 102,0       | 0,305        | 17,252        | -2,2280 | 100,8       | 0,279        | 16,452        | 0,7351  |
| 187,3       | 0,224        | 12,695        | -1,3420 | .           | .            | .             | .       |

Długość cyklu 11-letniego, wyznaczonego na podstawie serii obserwacji plam słonecznych 1700-1993 i 1749-1993, jest taka sama,  $\Theta = 11,0$  lat. Cykl ten nieco różni się amplitudą i oczywiście fazą:

|           | $\Theta$ | $2b$ | $c$     | $R$   |
|-----------|----------|------|---------|-------|
| 1700–1993 | 11,0     | 60,1 | -2,2691 | 0,496 |
| 1749–1993 | 11,0     | 57,9 | 1,1417  | 0,495 |

Cykl 11-letni aktywności Słońca w latach 1700-1993 opisuje równanie sinusoidy regresji:

$$W = 49,62 + 30,031 \sin\left(\frac{2\pi}{11,0}t - 2,2691\right)$$

o zakresie wahań  $W_{\max} - W_{\min} = 60,06$ .

Wyodrębniając poszczególne miesiące (np. wszystkie stycznie z lat 1749-1993) otrzymuje się taką samą długość cyklu 11,0 lat (z wyjątkiem maja –  $\Theta = 11,1$  lat). Zakres wahań liczb Wolfa w cyklu 11-letnim nieco różni się w poszczególnych miesiącach od 54,3 (marzec) do 62,5 (lipiec), tj. prawie o 14% (względem średniej 60,06).

Najmniej różnią się liczby Wolfa w ciągu roku podczas najłagodszego cyklu 13-letniego (1811-1823), a najbardziej w roku wystąpienia maksimum absolutnego (1957):

|      | I     | II           | III   | IV    | V     | VI    | VII   | VIII  | IX    | X     | XI    | XII   |
|------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1823 | 0,0   | 0,0          | 0,6   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,5   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 20,4  |
| 1957 | 165,0 | <u>130,2</u> | 157,4 | 175,2 | 164,6 | 200,7 | 187,2 | 158,0 | 235,8 | 253,8 | 210,3 | 239,4 |

Liczby Wolfa w październiku 1957 roku (253,8) są prawie o 100% większe niż w lutym tego roku (130,2). Przyczyna rozbieżności jest nieznana, częściowo możemy ją wytłumaczyć zmętnieniem atmosfery ziemskiej.

Cykl roczny aktywności Słońca w latach 1749-1980 o amplitudzie 1,8:

$$W = 50,54 + 0,936 \sin(2\pi t + 2,474)$$

cechuje się nieistotnym statystycznie współczynnikiem korelacji  $R = 0,015$ .

Tak więc nie ma statystycznych błędów w obserwacjach plam słonecznych, zależnych od zmian rocznych zmętnienia atmosfery. Nie ma też istotnej zależności liczby plam słonecznych od grawitacyjnego oddziaływania Ziemi na Słońce w jej ruchu obiegowym po orbicie.

Okresem o połowę mniejszej amplitudzie jest cykl 12-letni:

|           | $\Theta$ | $2b$  | $c$     | $R$   |
|-----------|----------|-------|---------|-------|
| 1700-1993 | 12,0     | 16,08 | -1,2397 | 0,262 |
| 1749-1993 | 11,9     | 15,63 | -1,0437 | 0,266 |

bardzo zbliżony do okresu obiegu Jowisza (11,86 lat) dookoła Słońca.

Dużą amplitudę ma także cykl wiekowy aktywności Słońca

$$W = 49,37 + 17,252 \sin\left(\frac{2\pi}{102,0}t - 2,2280\right)$$

Parametry tego cyklu wyznaczone na podstawie dwóch serii obserwacji mało się różnią:

|           | $\Theta$ | $2b$  | $c$     | $R$   |
|-----------|----------|-------|---------|-------|
| 1700-1993 | 102,0    | 17,25 | -2,2280 | 0,305 |
| 1749-1993 | 100,8    | 16,45 | 0,7351  | 0,279 |

Zbliżone są także daty ekstremów aktywności Słońca (minimów  $W_{\min}$  i maksimum  $W_{\max}$ ):

| 1700-1993  |            | 1749-1993  |            |
|------------|------------|------------|------------|
| $W_{\min}$ | $W_{\max}$ | $W_{\min}$ | $W_{\max}$ |
| 1608       | 1653       | 1610       | 1661       |
| 1710       | 1761       | 1711       | 1761       |
| 1812       | 1863       | 1812       | 1862       |
| 1914       | 1964       | 1913       | 1963       |
| 2016       | 2066       | 2013       | 2064       |

Aktywność Słońca w latach 1700-1993 w cyklu 102-letnim waha się w przedziale  $a_0 \pm b$ , czyli od 32,1 do 66,6 (od minimum do maksimum o 70%).

Na podstawie danych z lat 1700-1993 ( $n = 294$ ) wyznaczony został najdłuższy „okres”  $\Theta = 187,3$  lat, o najmniejszej amplitudzie:

$$W = 48,43 + 12,70 \sin\left(\frac{2\pi}{187,3}t - 1,342\right)$$

Oto daty minimów ( $W_{\min}$ ) i maksimum ( $W_{\max}$ ) aktywności Słońca w tym prawie dwuwiekowym cyklu:

| 1700-1993  |            |
|------------|------------|
| $W_{\min}$ | $W_{\max}$ |
| 1505       | 1593       |
| 1692       | 1786       |
| 1880       | 1973       |
| 2067       | 2160       |

Minimum w tym 187-letnim cyklu aktywności Słońca przypada na połowę przyszłego wieku (rok 2067).

Tendencja średnia aktywności Słońca  $\frac{\partial W}{\partial t} = A$ , określona równaniem prostej regresji  $W = A_0 + A t$ , jest rosnąca w latach 1700-1993 ( $A > 0$ ):

$$1700-1993 \quad W = 37,851 + 0,114257 \cdot t, \quad R = 0,24$$

$$1749-1993 \quad W = 38,054 + 0,11863 \cdot t, \quad R = 0,20$$

Roczne liczby Wolfa wzrastały w latach 1700-1993 średnio o 11,4/100 lat, a w latach 1749-1993 – o 11,9/100 lat.

**Tendencje miesięcznych liczb Wolfa** w latach 1749-1993 znacznie różnią się (wyrażone na 100 lat):

| I    | II   | III  | IV   | V   | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI  | XII  |
|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-----|------|
| 11,7 | 12,1 | 11,9 | 11,7 | 9,8 | 12,0 | 12,0 | 13,5 | 12,0 | 11,7 | 7,6 | 10,9 |

Wahania roczne współczynnika regresji  $A$  wynoszą maksymalnie 56% od największej wartości 13,5/100 lat w sierpniu do najmniejszej 7,6/100 lat w listopadzie. Aktywność Słońca w latach 1749-1993 wzrastała średnio: w sierpniu od 36,6 do 69,8, a w listopadzie – od 42,2 do 50,9.

Interesująca jest pewna analogia cykliczności aktywności Słońca (liczb Wolfa) w latach 1701-1879 i 1879-2058 po przesunięciu o 178,9 lat. Maksimum absolutne plam słonecznych w 1957 r. (189,9) pokrywa się z maksimum w roku 1778 (154,4). Największa niezgodność występuje w przypadku dwóch ostatnich 11-letnich cykli 1977-1985 i 1986-1997 w porównaniu z cyklami 1799-1810 i 1811-1823 (najślabszymi od 1700 roku). W latach 1811 i 1990, odległych od siebie o 179 lat, Słońce znajdowało się najbliżej środka masy Układu Słonecznego – w odległościach  $0,140R_0$  i  $0,152R_0$  ( $R_0$  – promień Słońca). Przyspieszenie Słońca bezpośrednio przed tymi datami zmieniało się od -0,5 do 4,5; natomiast po tych datach malało od 4,5 do -0,5.

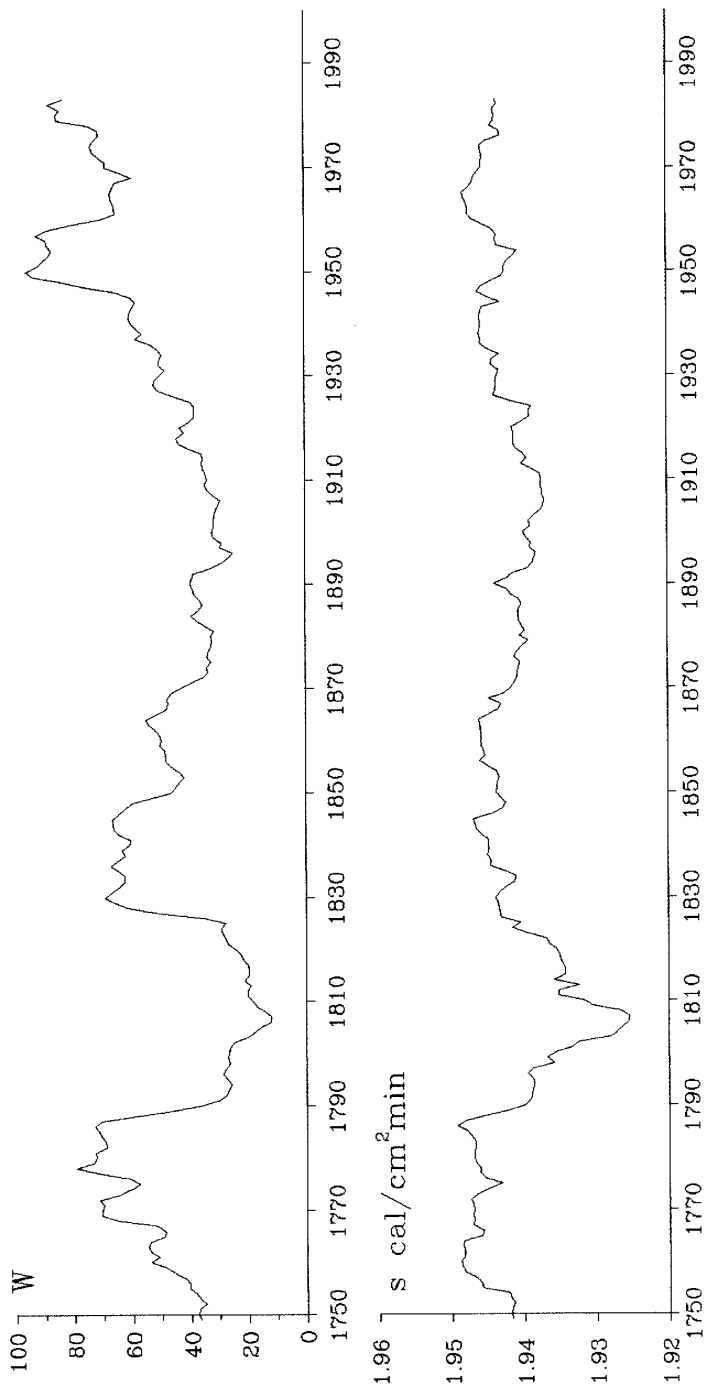
W badaniach przyczyn zmian klimatu fundamentalne znaczenie ma wzór empiryczny K.J. Kondratiewa i G.A. Nikolskiego (1970), określający zależność stałej słonecznej ( $s$ ) od liczb Wolfa ( $W$ ):

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

Wartości stałej słonecznej są najmniejsze w latach spokojnego Słońca, a największe przy wartościach liczb Wolfa 80 – 100.

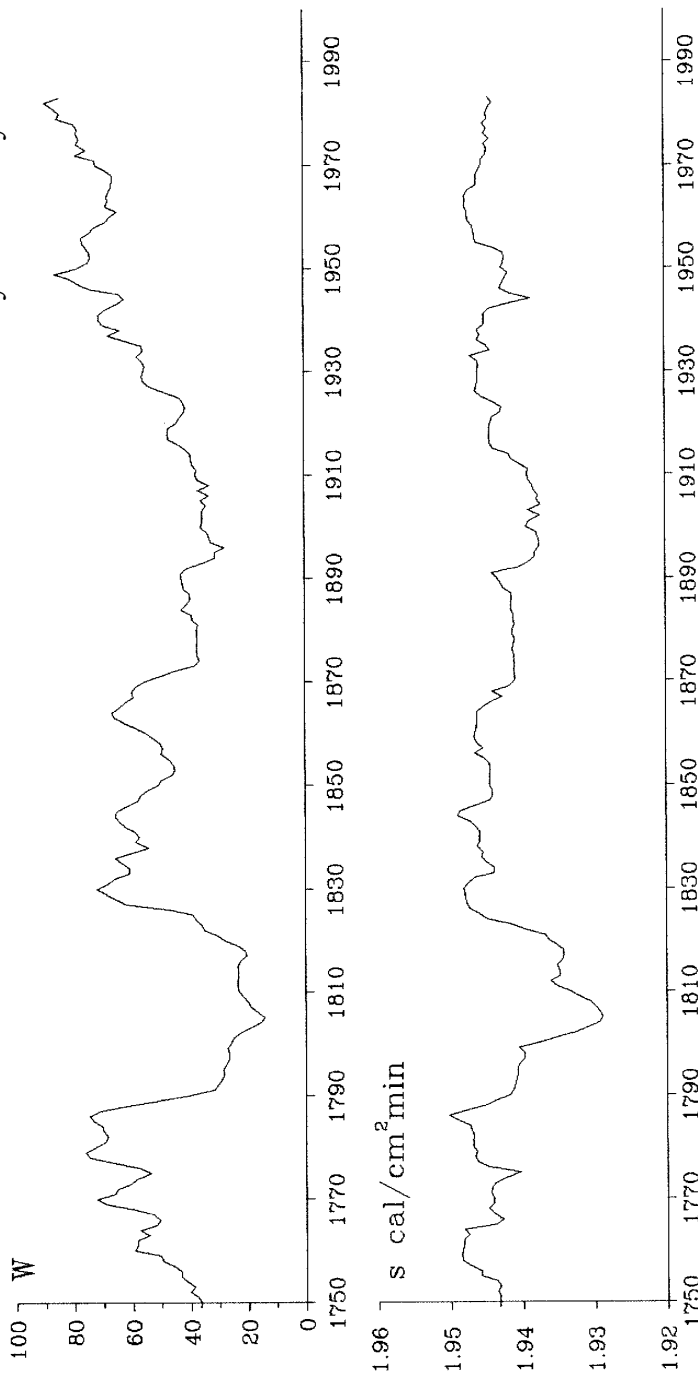
Średnie konsekwentne 11-letnie wartości liczb Wolfa ( $W$ ) i stałej słonecznej ( $s$ ) w poszczególnych miesiącach, sezonach i roku w latach 1749-1993 przedstawiają wykresy na rys. 1-19.

# Styczeń – January



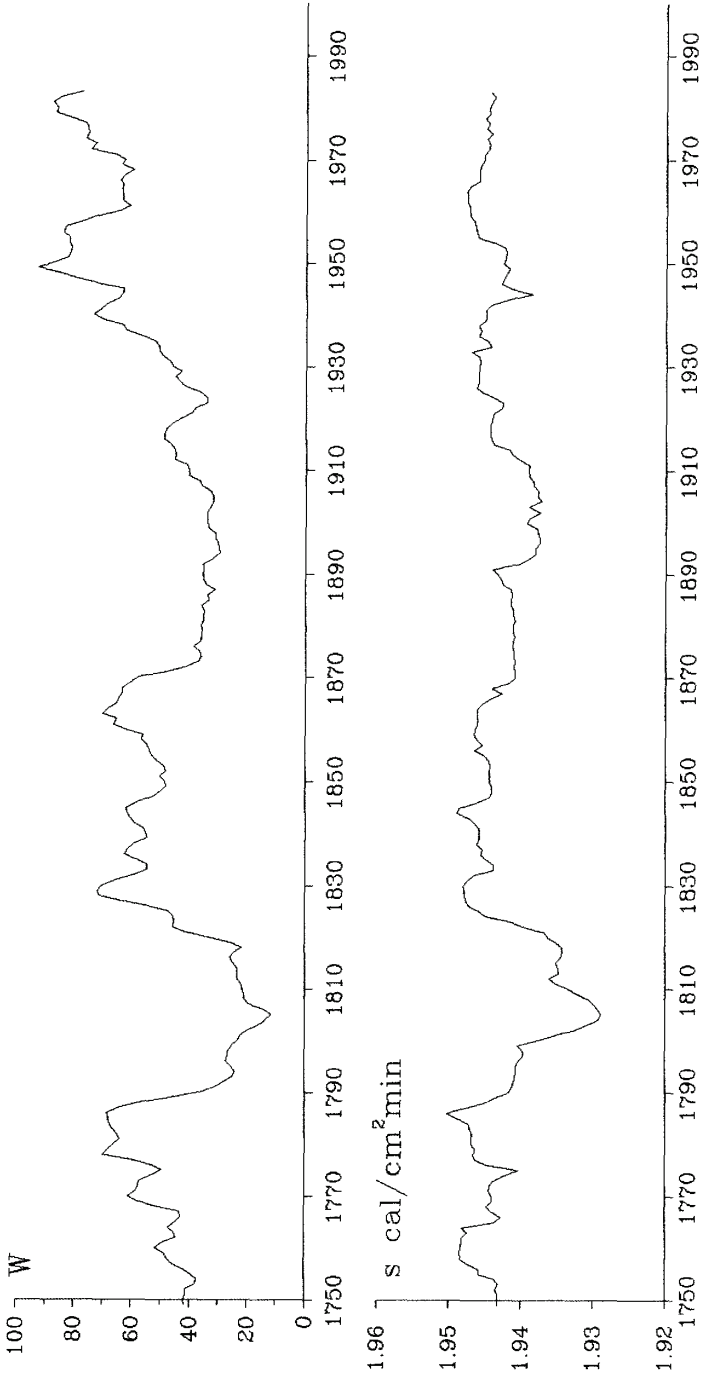
Rys. 1. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości liczb Wolfa (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 – styczeń  
Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 – January

## Luty – February



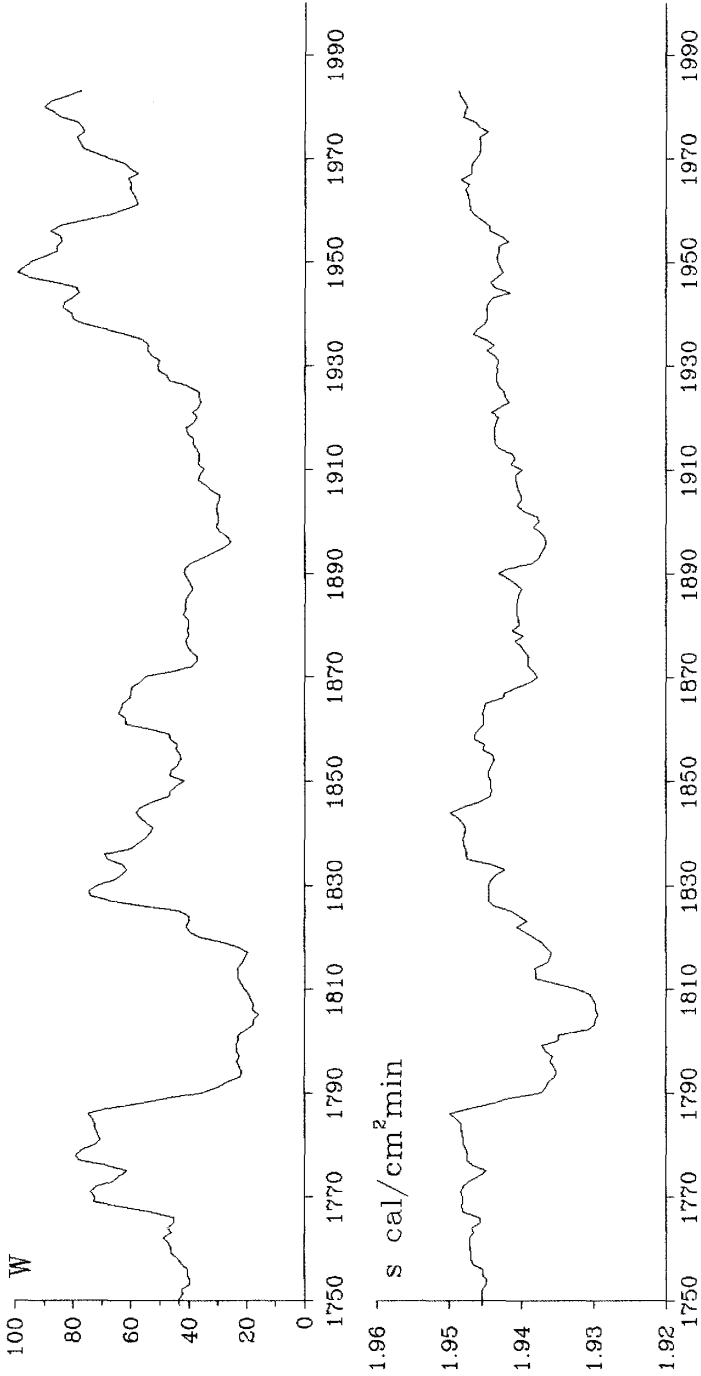
Rys. 2. Średnie konsekwentne 11-letnie wartości liczb Wolfa (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 - luty  
Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 – February

# Marzec – March



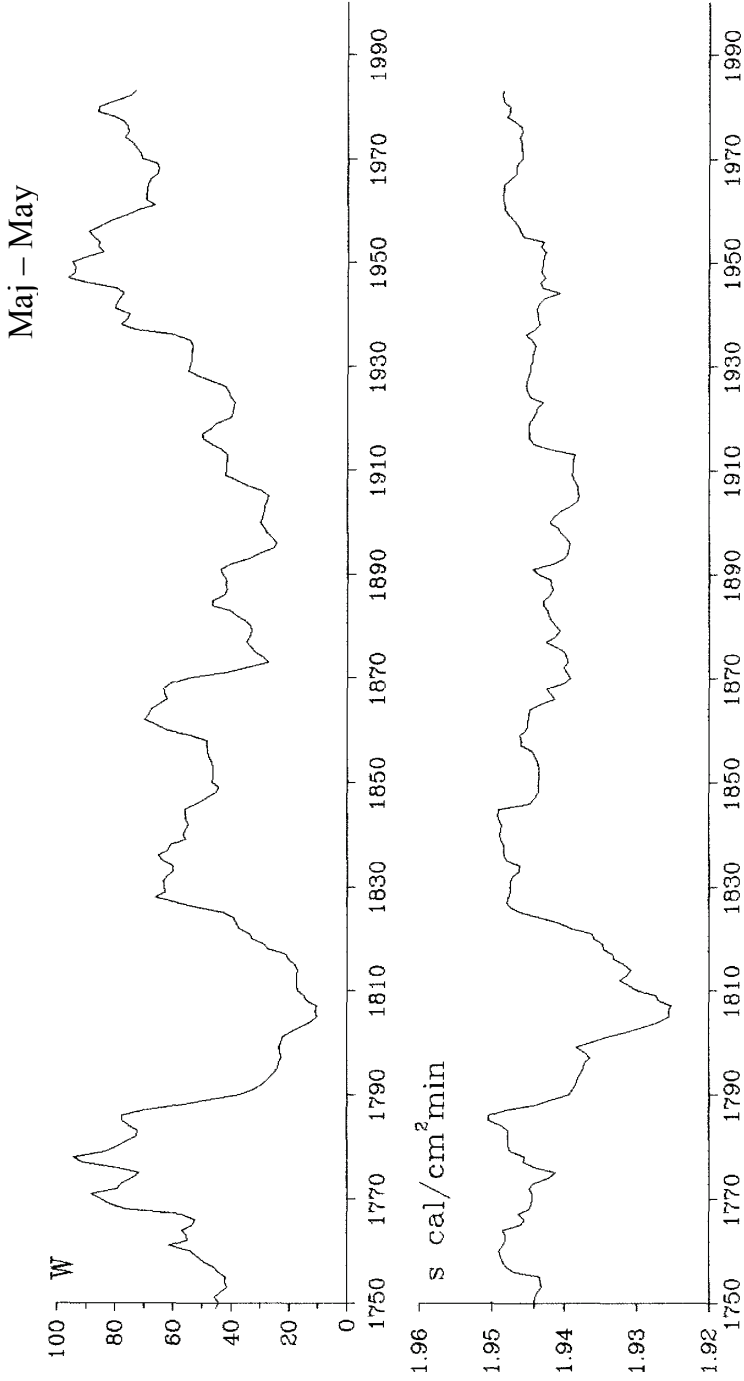
Rys. 3. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości liczb Wolfa (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 - marzec  
Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 – March

# Kwiecień – April

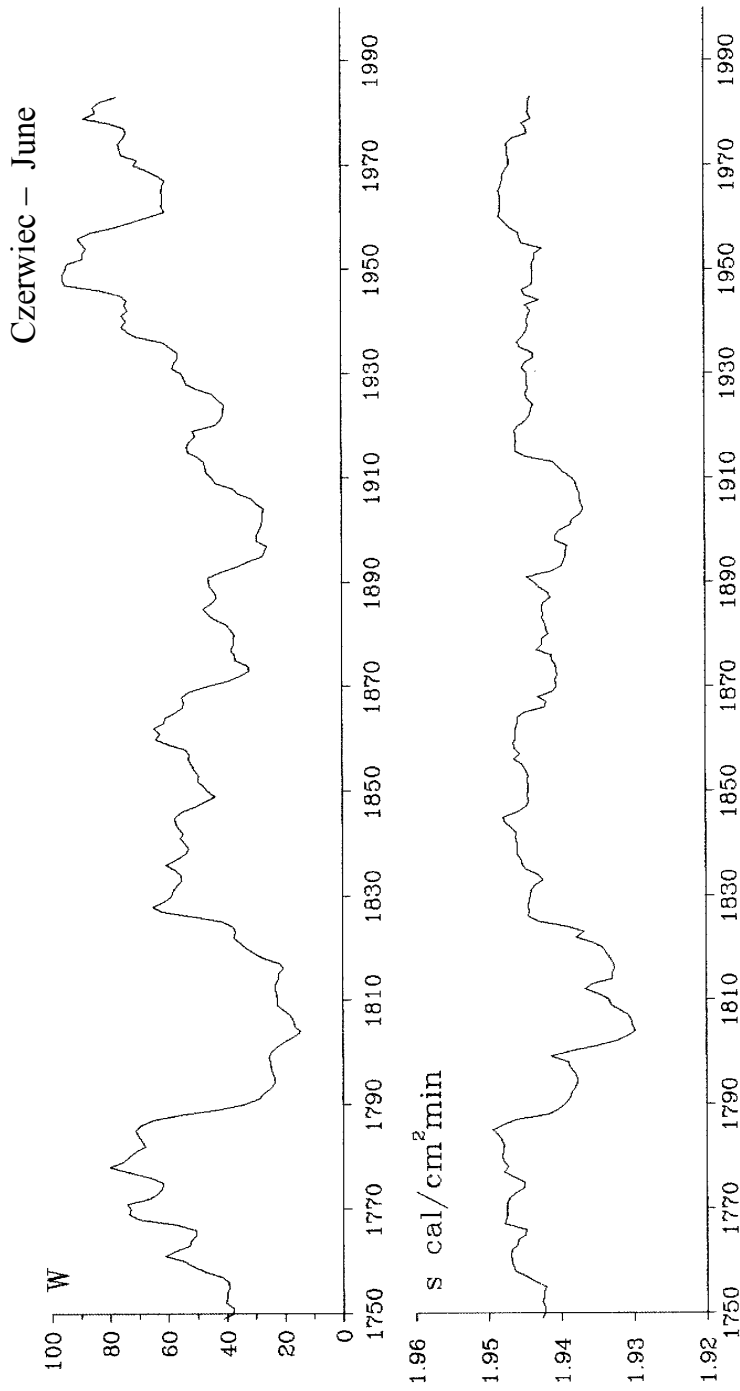


Rys. 4. Średnie konsekwentne 11-letnie wartości liczb Wolfa (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 – kwiecień  
Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 – April

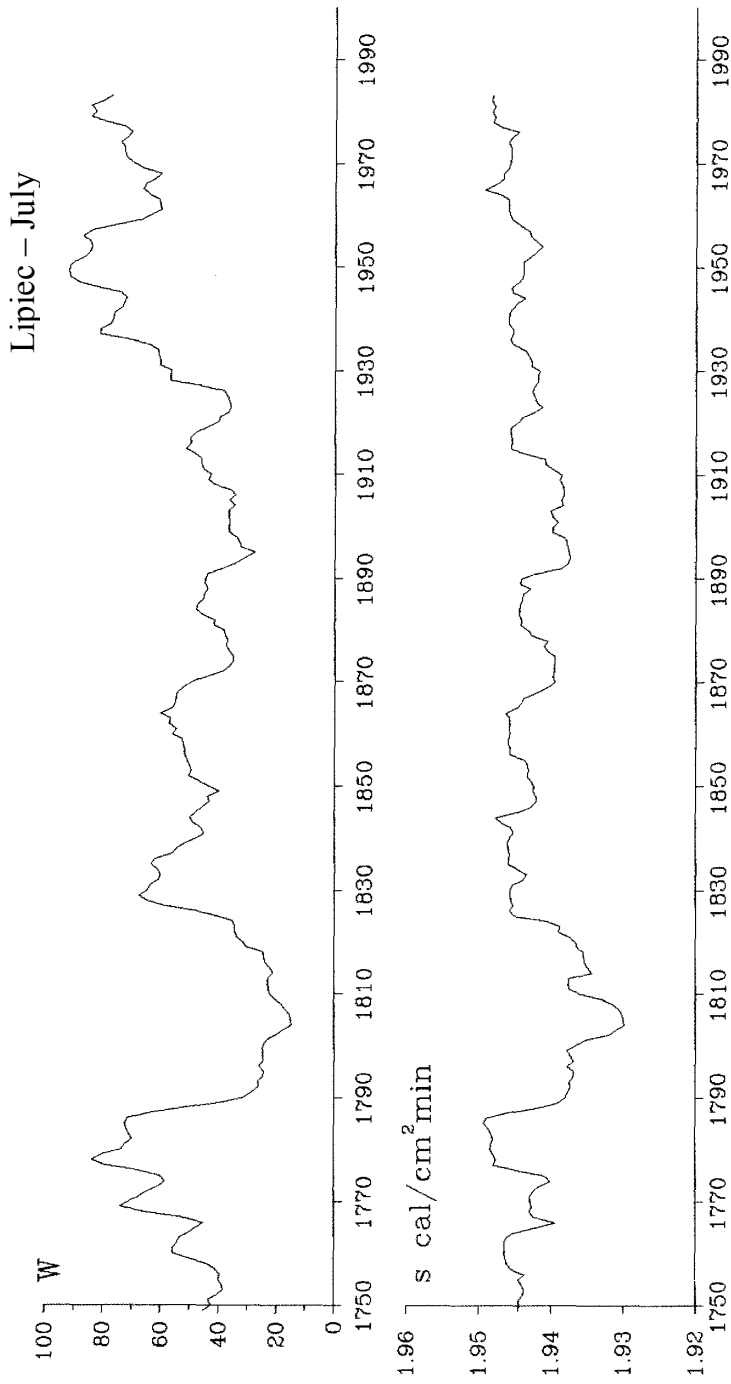




Rys. 5. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości liczb Wolfa (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 - maj  
 Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 – May

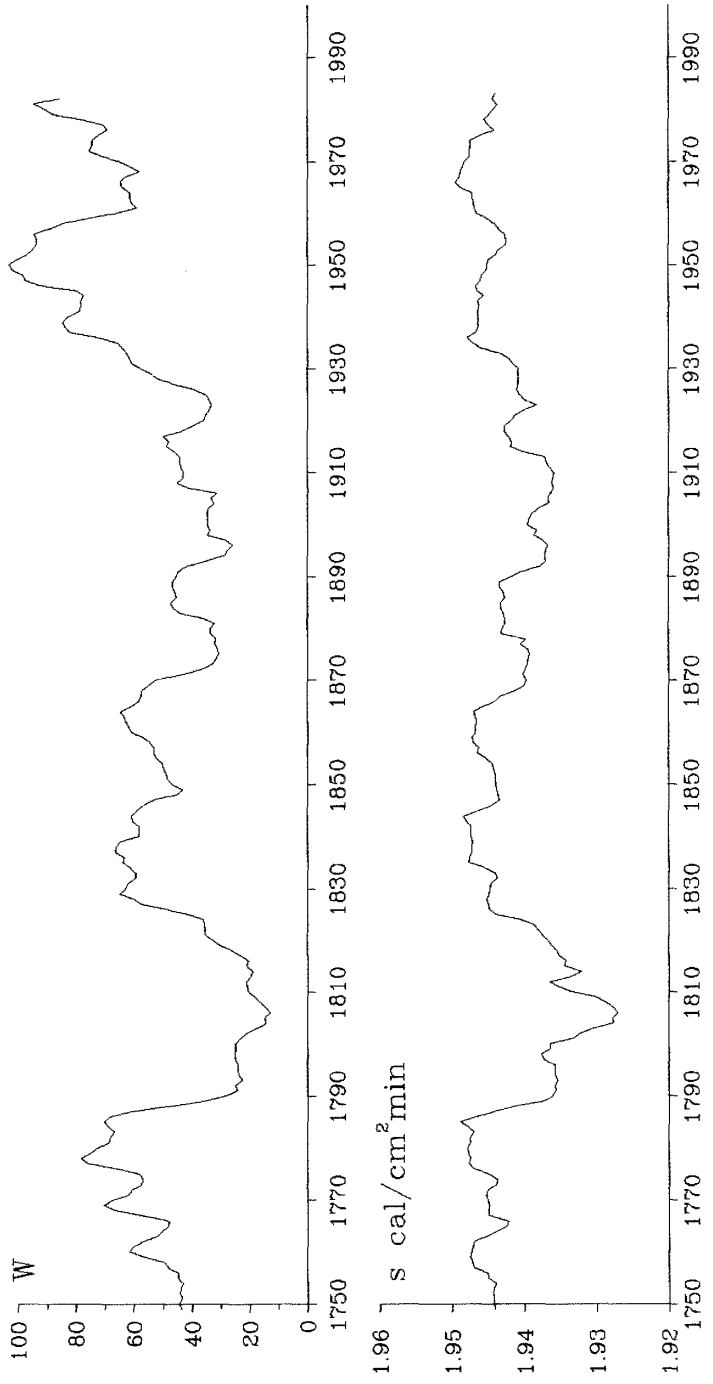


Rys. 6. Średnie konsekwentne 11-letnie wartości liczb Wolfa (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 - czerwiec  
 Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 – June



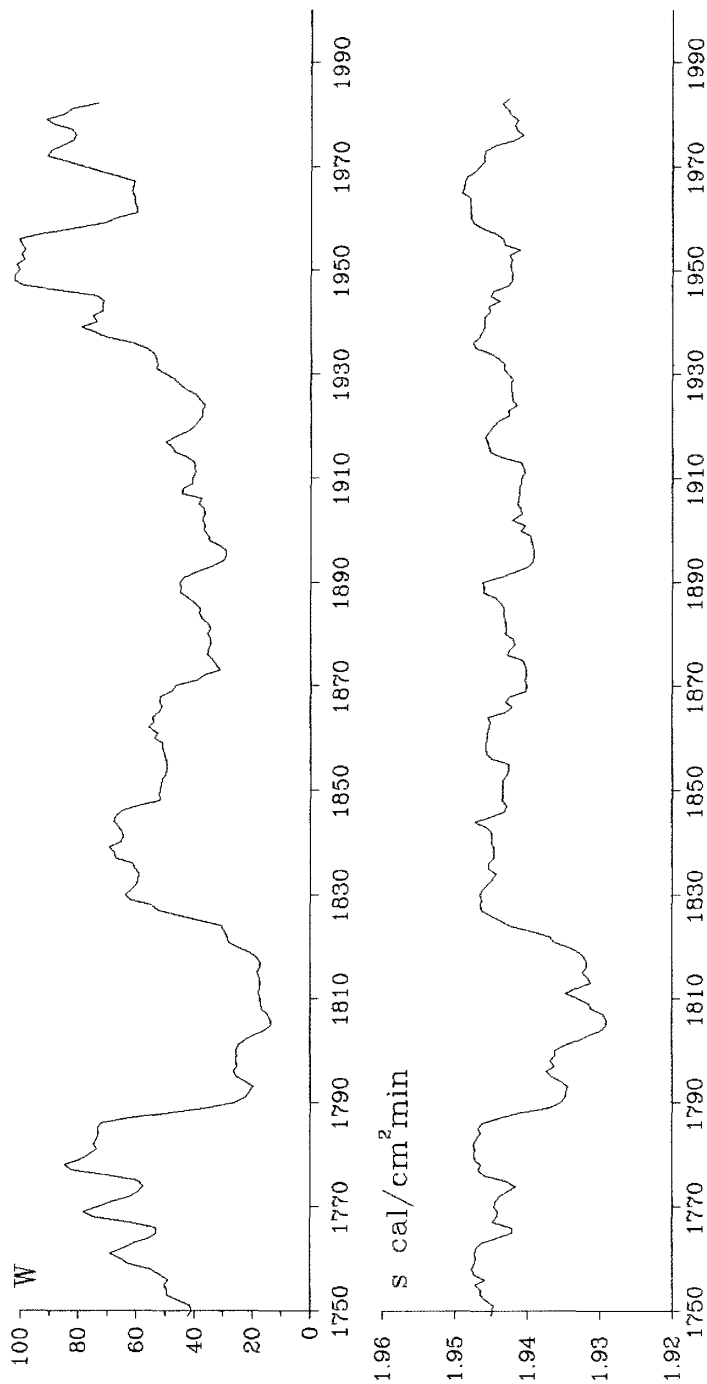
Rys. 7. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości liczb Wolfa (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 - lipiec  
 Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 – July

# Sierpień – August



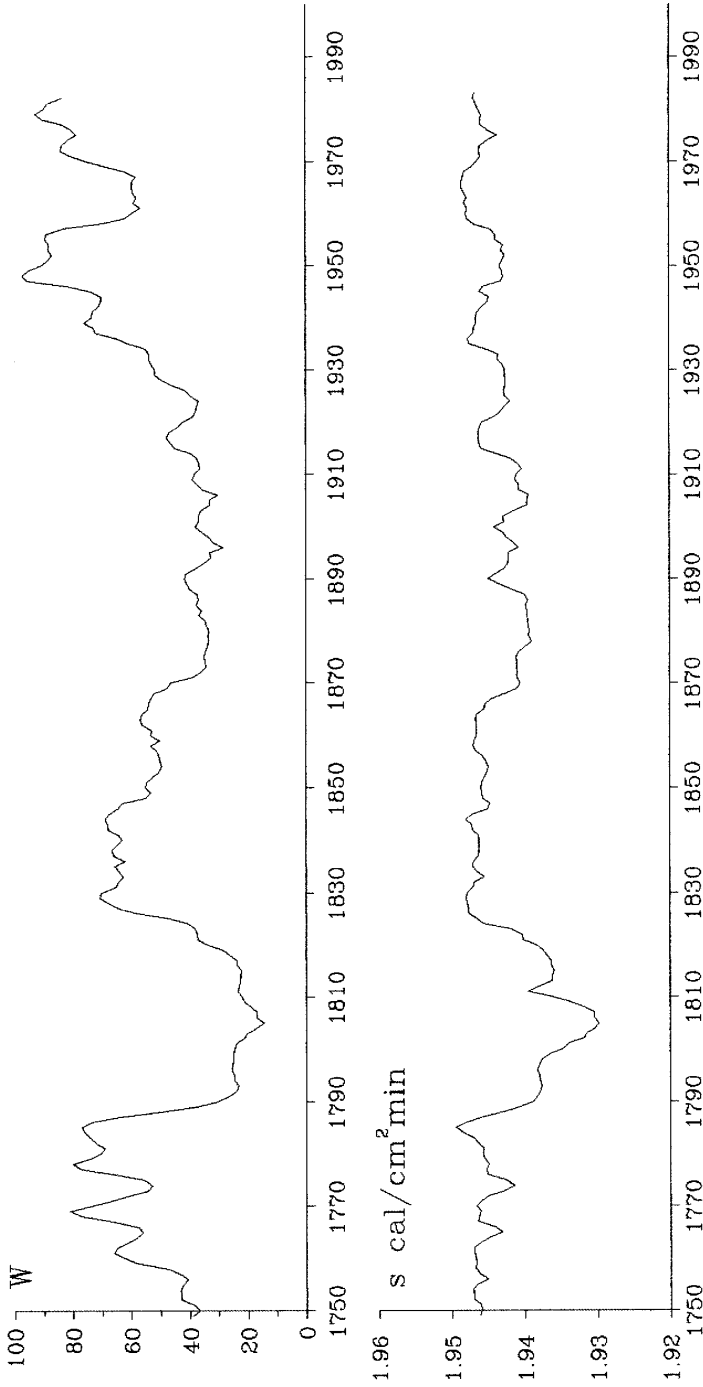
Rys. 8. Średnie konsekwentne 11-letnie wartości liczb Wolfa (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 - sierpień  
Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 – August

# Wrzesień – September



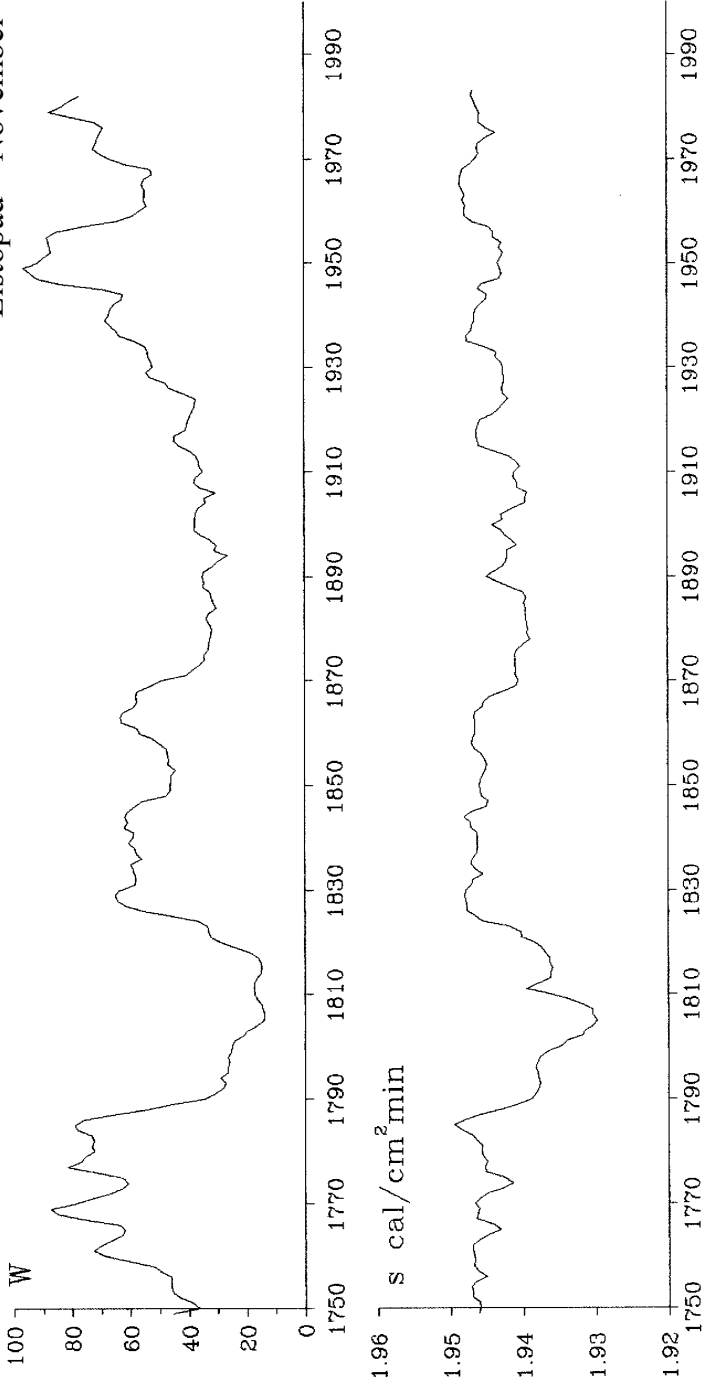
Rys. 9. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości liczb Wolfa (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 - wrzesień  
Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 – September

# Październik – October



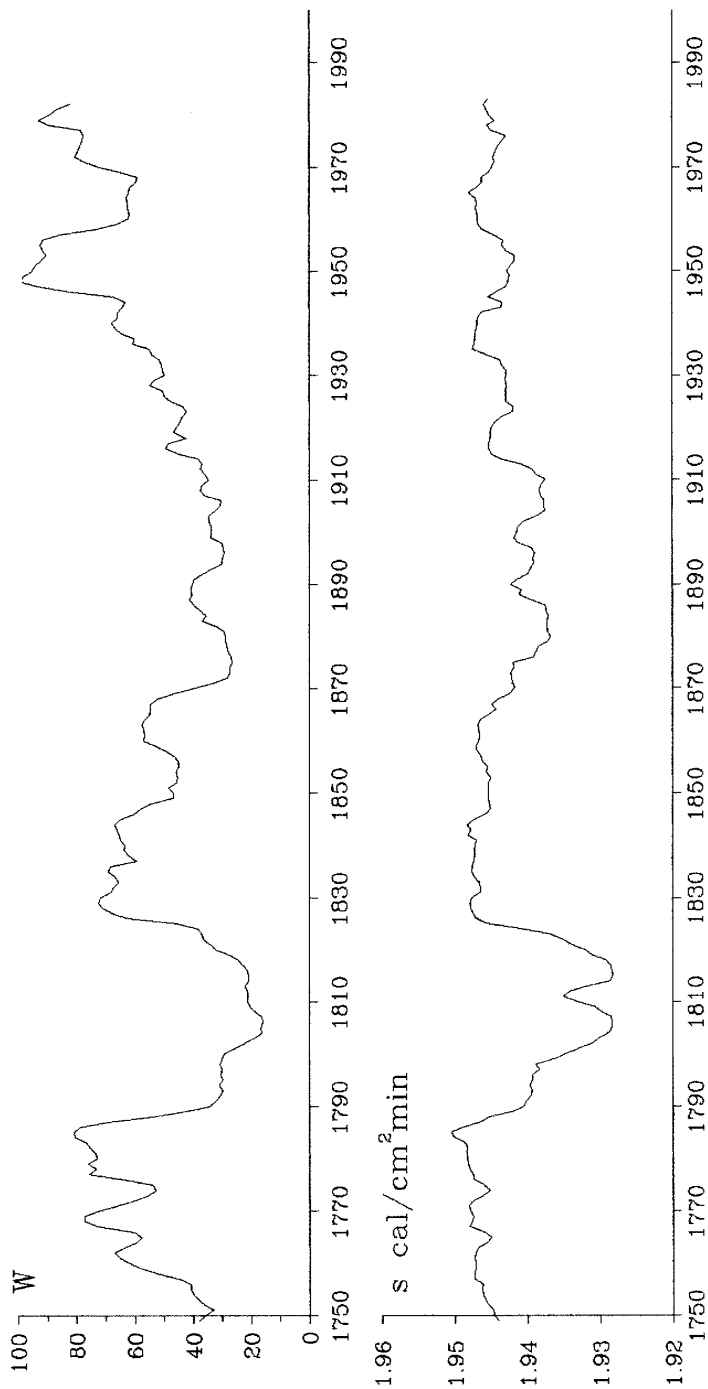
Rys. 10. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości liczb Wolf'a (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 - październik  
Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 – October

Listopad – November



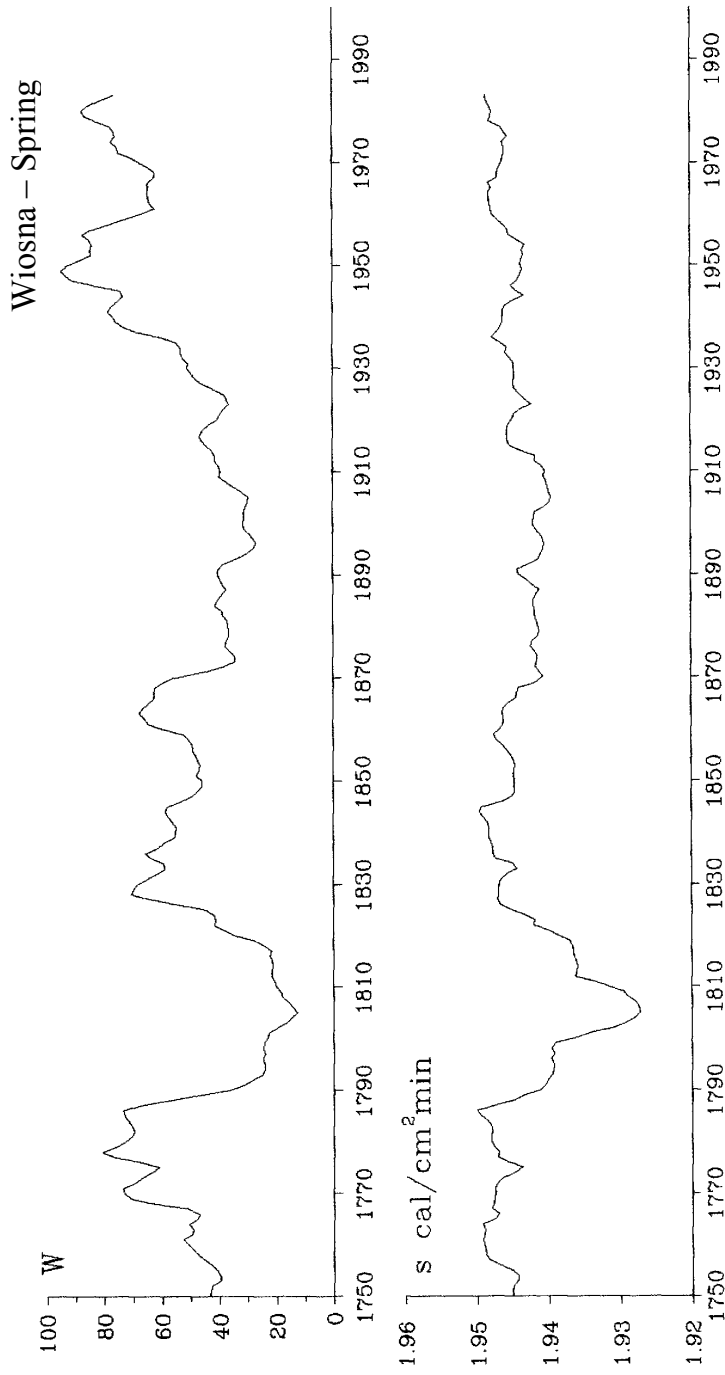
Rys. 11. Średnie kolejnoletnie wartości liczb Wolfa (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 - listopad  
Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 – November

# Grudzień – December

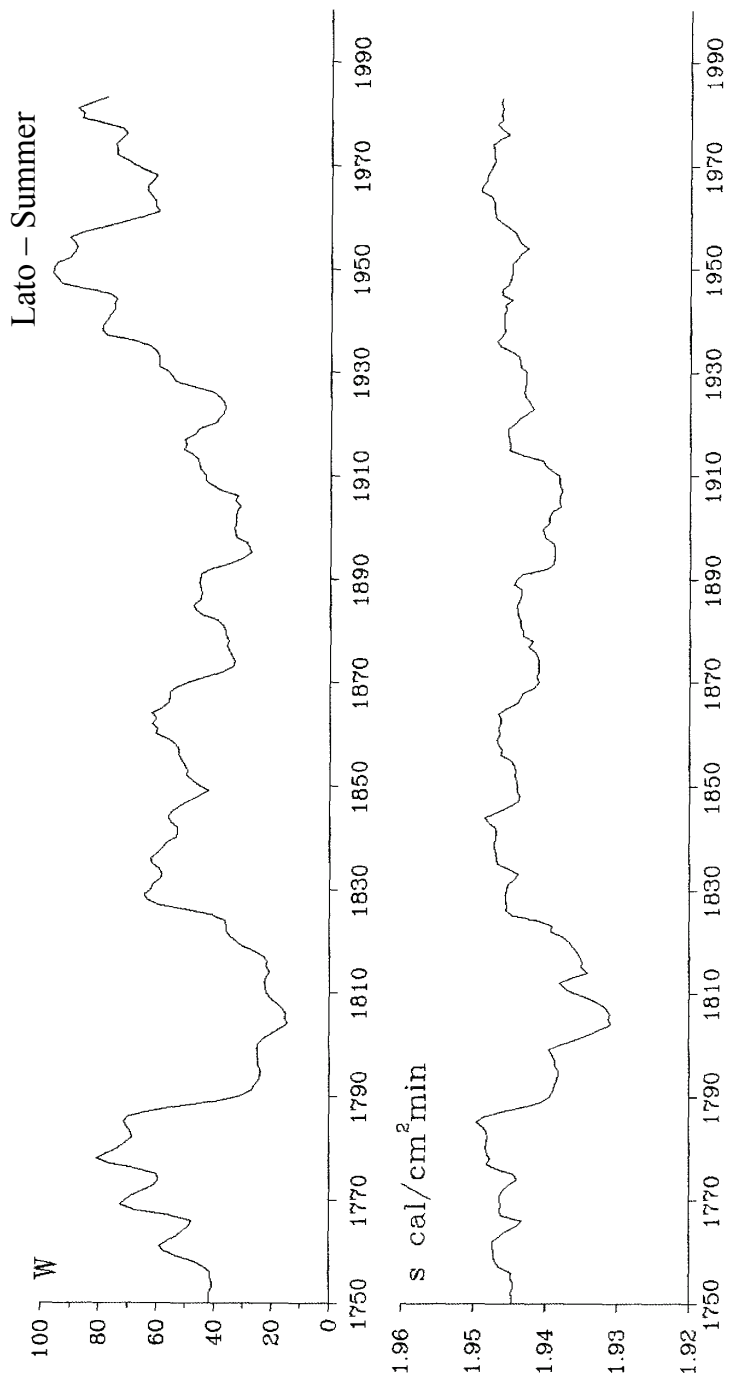


Rys. 12. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości liczb Wolfa (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 - grudzień  
Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 – December

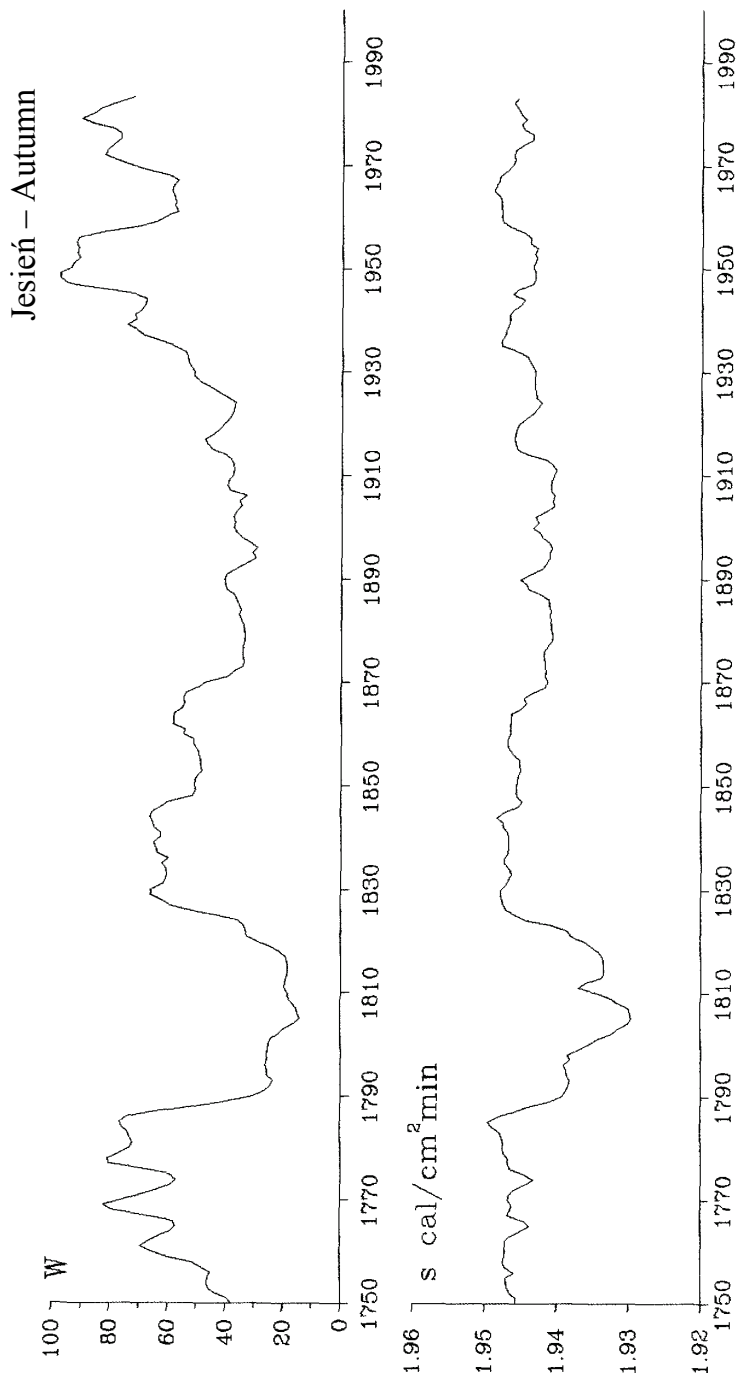




Rys. 13. Średnie kolejno 11-letnie wartości liczb Wolfa (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 - wiosna  
 Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 - spring

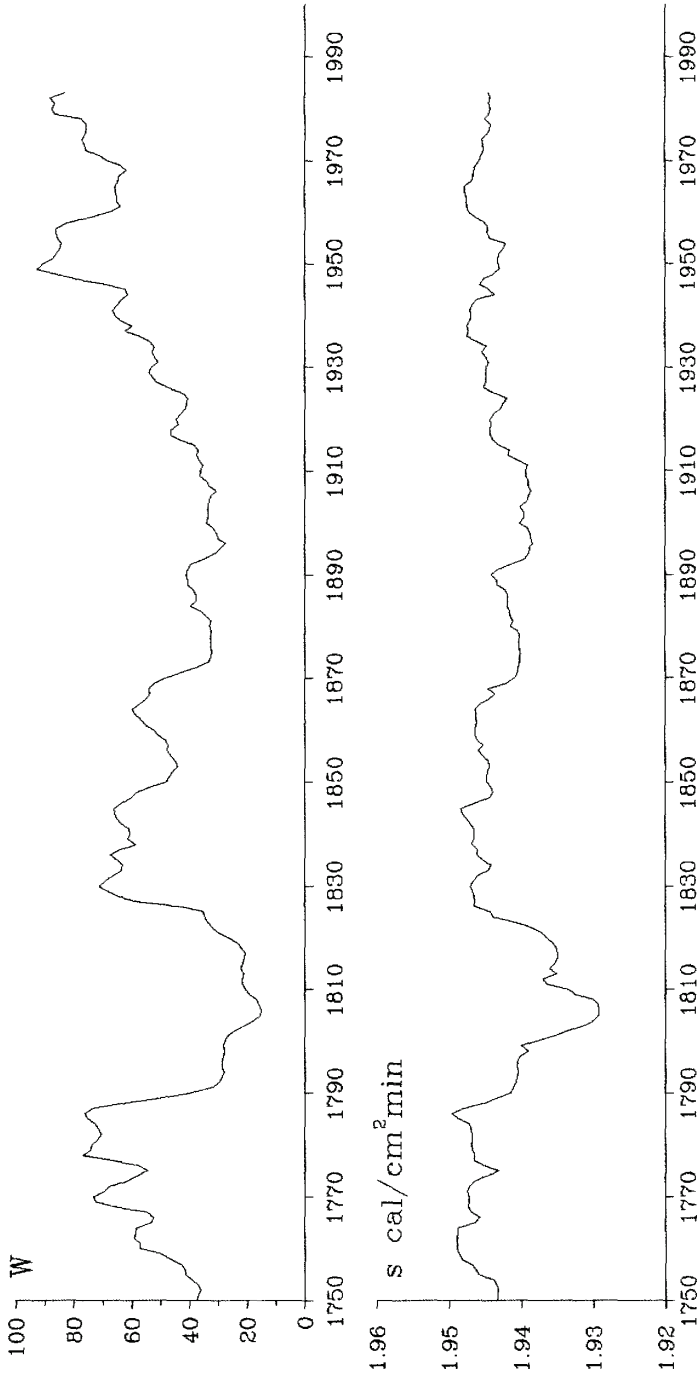


Rys. 14. Średnie kolejno 11-letnie wartości liczb Wolfa (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 - lato  
 Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 - summer



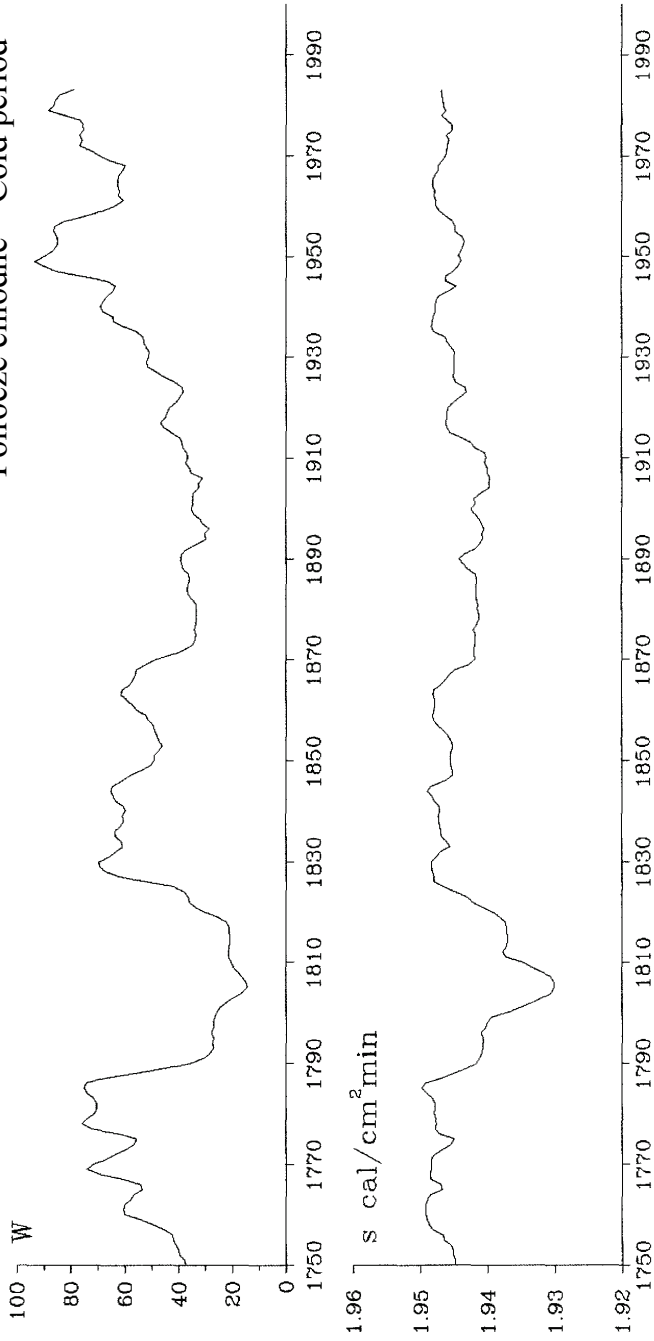
Rys. 15. Średnie konsekwentne 11-letnie wartości liczb Wolfa (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 - jesień  
 Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 – autumn

## Zima – Winter



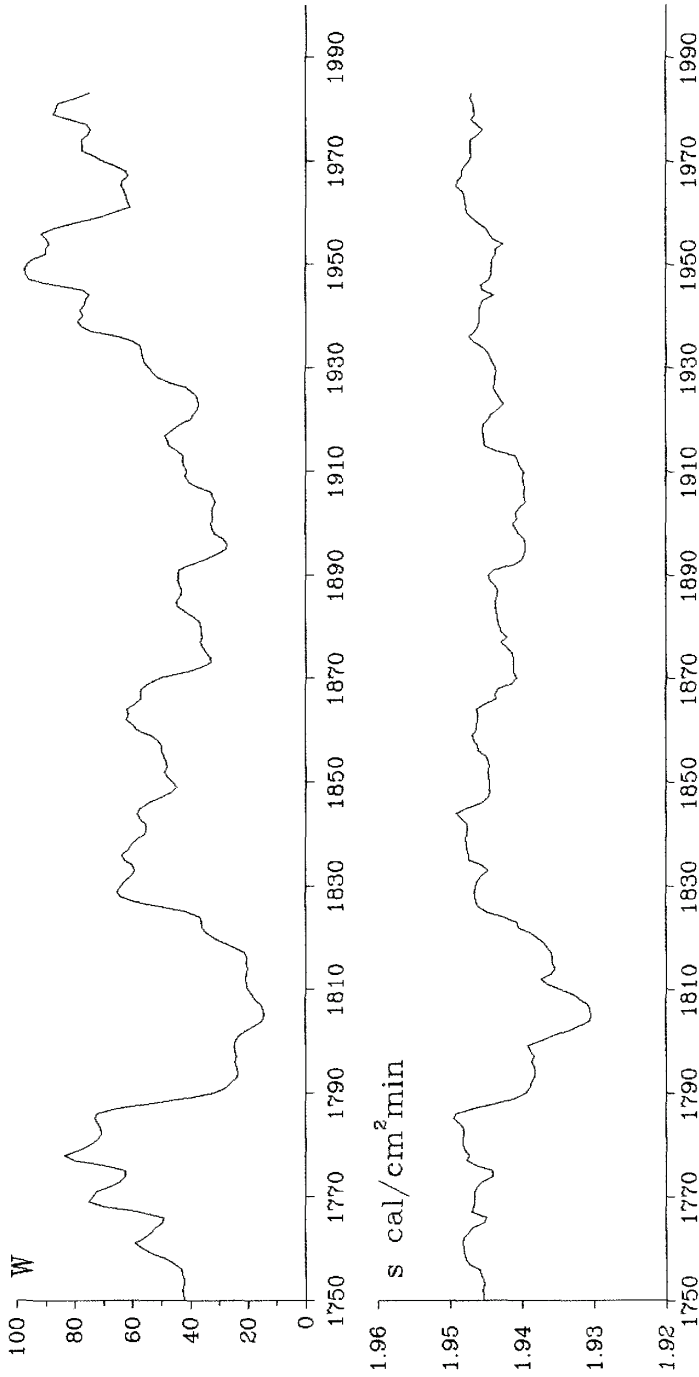
Rys. 16. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości liczb Wolfa (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 - zima  
Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 – winter

## Półrocze chłodne – Cold period

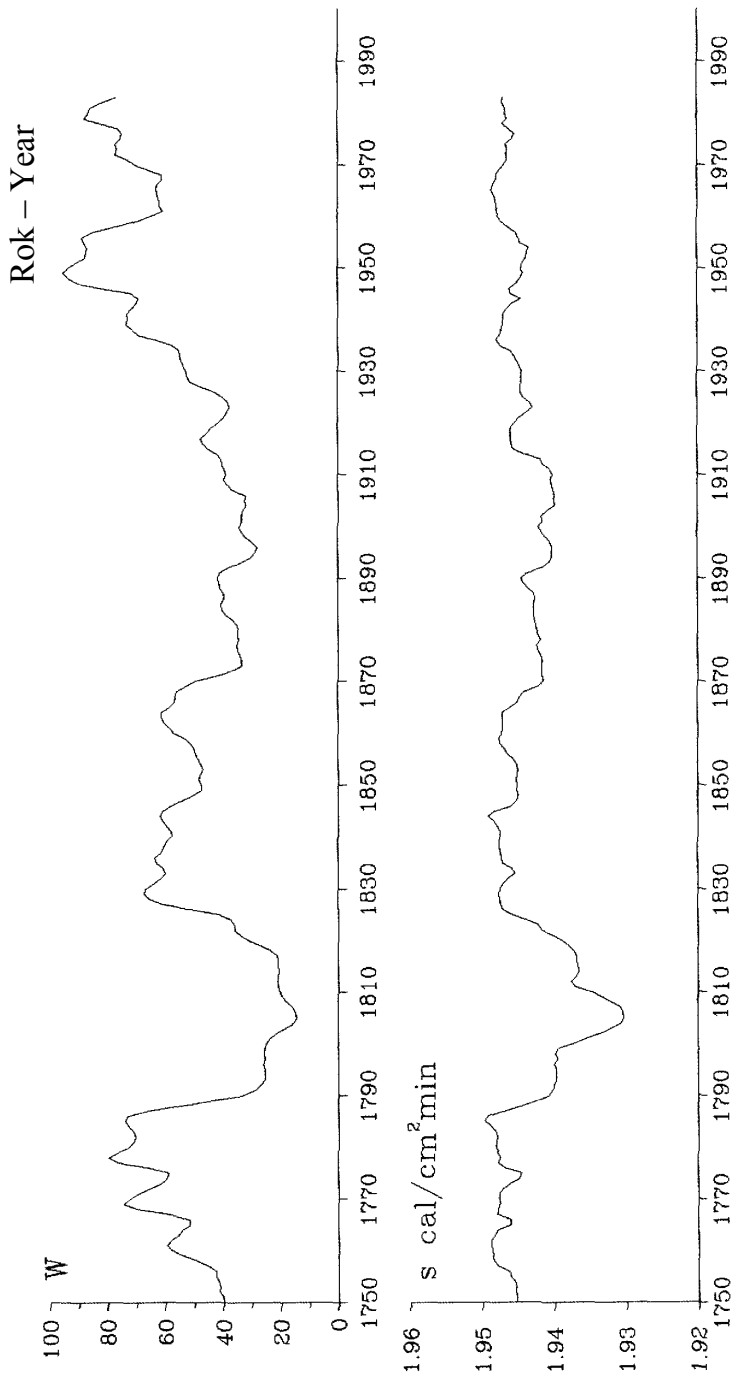


Rys. 17. Średnie kolejno 11-letnie wartości liczb Wolfa (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 – półrocze chłodne  
Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 – cold period

## Półrocze ciepłe – Warm period



Rys. 18. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości liczb Wolfa (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 – półrocze ciepłe  
Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 – warm period



Rys. 19. Średnie kolejno 11-letnie wartości liczb Wolfa (W) i stałej słonecznej (s) w latach 1749-1993 - luty  
 Consecutive 11-year averages of Wolf's numbers values (W), and the solar constant (s) in the years 1749-1993 – February

#### IV. CYKLICZNE WAHANIA I TENDENCJE ZMIAN OSCYLACJI PÓŁNOCNOATLANTYCKIEJ (NAO) W XIX-XXI WIEKU

Klimat zachodniej i środkowej Europy (także Polski) jest kształtowany przez cyrkulację strefową, uwarunkowaną południkowym gradientem ciśnienia atmosferycznego ( $-\frac{\partial p}{\partial \varphi}$ ). Obserwuje się współzależność między cyrkulacją strefową w zimie i zmianą

mi pola temperatury wody północnego Atlantyku. Miarą południkowego gradientu barycznego jest tzw. wskaźnik J. C. Rogersa (1984) Oscylacji Północnoatlantyckiej (*NAO*, North Atlantic Oscillation index). Jest nią różnica ciśnienia na poziomie morza w zimie (XII-III) między Azorami (Ponta Delgata:  $\varphi = 37,7^\circ\text{N}$ ,  $\lambda = 25,7^\circ\text{W}$ ) i południową Islandią (Akureyri:  $\varphi = 65,7^\circ\text{N}$ ,  $\lambda = 18,1^\circ\text{W}$  lub Stykkisholmur:  $\varphi = 65,0^\circ\text{N}$ ,  $\lambda = 22,8^\circ\text{W}$ , J. Hurrell, 1995). Wskaźniki *NAO*, zdefiniowane przez J. C. Rogersa (1984) i J. Hurrella (1995), są miarami równoleżnikowego transportu mas powietrza: w kierunku wschodnim – *NAO* > 0 i zachodnim – *NAO* < 0.

O dużej zależności klimatu północnej Polski od wskaźnika *NAO* (1864-1995) świadczą istotne statystycznie współczynniki korelacji. Według A. A. Marsza współczynniki korelacji między temperaturą powietrza np. w Koszalinie i wskaźnikiem *NAO* (Hurrella) w latach 1864–1995 wynoszą:

|          | I    | II   | III  | I-III |
|----------|------|------|------|-------|
| <i>r</i> | 0,44 | 0,61 | 0,62 | 0,70  |

Dodatnie wartości współczynnika korelacji (*r*) świadczą, że zimy w północno-zachodniej Polsce są cieplejsze przy większych gradientach południkowych ciśnienia, a chłodniejsze – przy mniejszych. Podczas intensywniejszej cyrkulacji strefowej (zachodniej) więcej ciepła zakumulowanego w wodach północnego Atlantyku jest przekazywana atmosferze.

Pionowy strumień ciepła z oceanu do atmosfery deformuje globalną cyrkulację atmosferyczną. Zimowe wychłodzenie wód północnego Atlantyku przy dużych południkowych gradientach ciśnienia (wskaźnika *NAO*) utrzymuje się nawet podczas całego lata.

Wskaźnik *NAO* J. Hurrella (1995) w latach 1864-1995 (132 lata) cechuje się zmiennością okresową o częstościach: 0,12879 (7,76 lat), 0,02273 (44,0 lat) i 0,01515 (66,0 lat), wg analizy spektralnej (Marsz, 1999).

**Zbadano okresowość wskaźnika *NAO*** (North Atlantic Oscillation), zdefiniowanego przez P. D. Jonesa i innych (1997) jako różnicę ciśnienia na poziomie morza między Gibraltarem i południowo-zachodnią Islandią.



W tym celu utworzono 172-letnie ciągi czasowe średnich sezonowych: wiosna (III-V), lato (VI-VIII), jesień (IX-XI), zima (XII-II), zima morska (XII-III) i rocznych (I-XII) wartości NAO w latach 1825-1997.

Parametry cykli: okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$ , fazy  $c$ , wyznaczono metodą „sinusoid regresji” (Boryczka, 1993, 1998):

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

zmieniając okres z odstępem  $\Delta\Theta = 0,1$  roku w przedziale 2,1-172 lat.

Wyniki badań zestawiono w tab. 4-11 (Boryczka, Stopa-Boryczka i inni, 1999). Oprócz parametrów cykli ( $\Theta$ ,  $b$ ,  $c$ ) podano minima lokalne wariancji resztkowej  $\varepsilon^2$  i współczynniki korelacji  $R$ .

Okresy  $\Theta$  podane w tabelach to minima lokalne ciągu czasowego wariancji resztkowej  $\varepsilon_{2,1}^2, \dots, \varepsilon_{172}^2$  (maksima lokalne współczynnika korelacji  $R$ ).

W widmach wskaźnika NAO podobnie jak w widmach temperatury powietrza w Warszawie (1779-1990) i Wrocławiu (1851-1980) dominują cykle około 8-letnie:

|          |          | III-V | VI-VIII | IX-XI | XII-II     | I-XII | XII-III |
|----------|----------|-------|---------|-------|------------|-------|---------|
| NAO      | $\Theta$ | 7,2   | 7,8     | 7,7   | <u>7,8</u> | 7,8   | 7,7     |
|          | $R$      | 0,16  | 0,18    | 0,21  | 0,27       | 0,30  | 0,29    |
| Warszawa | $\Theta$ | 7,8   | 7,8     | 6,5   | <u>7,7</u> | 7,7   |         |
|          | $R$      | 0,20  | 0,15    | 0,20  | 0,23       | 0,22  |         |
| Wrocław  | $\Theta$ | 7,2   | 7,8     | 8,7   | 7,6        | 7,7   |         |
|          | $R$      | 0,15  | 0,17    | 0,20  | 0,33       | 0,29  |         |

Interesujące jest porównanie dat maksimów zimowych cykli: NAO, temperatury powietrza w Warszawie i Wrocławiu z zimowymi cyklami aktywności Słońca (1749-1993):

Wskaźnik  $NAO = 0,1315 + 0,4778 \sin\left(\frac{2\pi}{7,8}t - 0,1266\right), \quad R = 0,27$

Liczby Wolfa  $W = 51,93 + 10,40 \sin\left(\frac{2\pi}{8,1}t + 2,8659\right), \quad R = 0,17$

Warszawa  $T = -2,65 + 0,756 \sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 0,6870\right), \quad R = 0,23$

Wrocław  $T = -0,719 + 0,983 \sin\left(\frac{2\pi}{7,6}t + 0,4152\right), \quad R = 0,33$

Oto daty maksimów w tych około 8-letnich cyklach:

|              |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| NAO          | 1936 | 1944 | 1952 | 1960 | 1967 | 1975 | 1983 | 1991 | 1999 | 2007 |
| Liczby Wolfa | 1934 | 1942 | 1950 | 1958 | 1966 | 1974 | 1982 | 1990 | 1999 | 2007 |
| Warszawa     | 1936 | 1944 | 1951 | 1959 | 1967 | 1974 | 1982 | 1990 | 1997 | 2005 |
| Wrocław      | 1936 | 1944 | 1951 | 1959 | 1966 | 1974 | 1982 | 1989 | 1997 | 2004 |

Trzeba podkreślić, że w widmie przyspieszenia Słońca w jego ruchu dookoła środka masy Układu Słonecznego w latach 1749-1980 dominuje cykl 7,8-letni:

$$\ddot{s} = 0,667 + 1,130 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,75}t + 1,21\right)$$

Jest to okres cechujący się największym współczynnikiem korelacji  $R = 0,245$ .

Maksima przyspieszenia Słońca ( $\ddot{s}$ ) występują w pobliżu wymienionych dat: 1934, 1942, 1950, 1958, 1966, 1974, 1981, 1989, 1997, 2005. Mało prawdopodobne jest, by ta zbieżność okresów i synchroniczność ekstremów w tych około 8-letnich cyklach: wskaźnika *NAO*, temperatury powietrza, aktywności Słońca i przyspieszenia Słońca była przypadkowa.

W ciągach czasowych: wskaźnika *NAO*, temperatury powietrza w Warszawie i Wrocławiu występuje również cykliczność około 11-letnia zbliżona do cyklu 11,0-letniego plam słonecznych:

|            |          | III-V | VI-VIII | IX-XI | XII-II | I-XII | XII-III |
|------------|----------|-------|---------|-------|--------|-------|---------|
| <i>NAO</i> | $\Theta$ | 11,1  | 10,3    | 12,1  | 11,3   | 11,2  | 11,2    |
|            | <i>R</i> | 0,13  | 0,20    | 0,11  | 0,14   | 0,16  | 0,11    |
| Warszawa   | $\Theta$ | 11,2  | 11,3    | .     | 10,2   | 11,2  |         |
|            | <i>R</i> | 0,16  | 0,10    | .     | 0,11   | 0,10  |         |
| Wrocław    | $\Theta$ | 11,1  | .       | 10,6  | 12,3   | 10,5  |         |
|            | <i>R</i> | 0,19  | .       | 0,16  | 0,16   | 0,15  |         |

Synchroniczne są również zimowe cykle: 11,3-letni wskaźnika *NAO* i 11,0-letni aktywności Słońca (1749-1993):

$$NAO = 0,135 + 0,2381 \sin\left(\frac{2\pi}{11,3}t + 2,2315\right), \quad R = 0,135$$

$$W = 51,68 + 29,89 \sin\left(\frac{2\pi}{11,0}t + 0,9238\right), \quad R = 0,488$$

Maksima *NAO* i liczb Wolfa (*W*) występują prawie w tych samych latach:

|             |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <i>NAO</i>  | 1926 | 1937 | 1948 | 1959 | 1971 | 1982 | 1993 | 2005 |
| Liczy Wolfa | 1926 | 1937 | 1948 | 1959 | 1970 | 1981 | 1992 | 2003 |

W widmach średnich rocznych wartości wskaźnika *NAO* (1825-1997) i temperatury powietrza w Europie dominują dwa planetarne cykle wzajemnego położenia największych planet: 12,78 lat (Jowisz-Neptun) i 13,81 lat (Jowisz-Uran), a także występują okresy zbliżone do okresu obiegu Jowisza dookoła Słońca (11,86 lat):

|             |             | Okres $\Theta$ | <i>R</i>     |
|-------------|-------------|----------------|--------------|
| <i>NAO</i>  |             | <u>13,1</u>    | <u>0,208</u> |
| Warszawa    | (1779–1990) | 12,9           | 0,162        |
| Wrocław     | (1851–1980) | 12,4           | 0,197        |
| Kraków      | (1825–1990) | 11,3           | 0,168        |
| Praga       | (1771–1980) | <u>14,1</u>    | <u>0,203</u> |
| Zurych      | (1864–1980) | <u>13,2</u>    | <u>0,271</u> |
| Poczdám     | (1892–1992) | 11,0           | 0,251        |
| Anglia      | (1659–1973) | 11,1           | 0,115        |
| Spitsbergen | (1911–1975) | <u>12,5</u>    | <u>0,423</u> |
| Genewa      | (1768–1980) | 12,9           | 0,171        |

Są to też cykle parametrów Układu Słonecznego:

|                                       | Okres $\Theta$ | $R$   |
|---------------------------------------|----------------|-------|
| Siła grawitacji planet                | 11,9           | 0,717 |
| Siły pływowe na Słońcu                | 12,8           | 0,415 |
| Odległość środka masy US od ekliptyki | 11,8           | 0,652 |
| Przyspieszenie Słońca                 | 12,8           | 0,223 |
| Aktywność Słońca                      | 11,9           | 0,266 |

W widmie jesiennych wartości wskaźnika *NAO* dominuje „silny” cykl około 30-letni ( $\Theta = 29,9$  lat), zbliżony do 29,5-letniego cyklu odległości środka masy ( $z$ ) od płaszczyzny ekliptyki:

$$NAO = 0,135 + 0,271 \sin\left(\frac{2\pi}{29,9}t + 0,3028\right), \quad R = 0,204$$

$$z = 0,018 + 0,1160 \sin\left(\frac{2\pi}{29,5}t + 2,02\right), \quad R = 0,682$$

Maksima wskaźnika *NAO* w cyklu 29,9-letnim odpowiadają mniej więcej minimum odległości  $z$  w cyklu 29,5-letnim.

Najdłuższe okresy sezonowe i roczne wartości wskaźnika *NAO* wynoszą:

|          | III-V | VI-VIII     | IX-XI | XII-II       | XII-III | I-XII |
|----------|-------|-------------|-------|--------------|---------|-------|
| $\Theta$ | 106,3 | <u>83,2</u> | 75,3  | <u>105,1</u> | 74,1    | 52,6  |
| $R$      | 0,089 | 0,174       | 0,161 | 0,159        | 0,196   | 0,091 |

Cykle: letni 83,2 lat i zimowy 105,1 lat, istotnie statystycznie, są zbliżone do okresu 84,015 lat obiegu Urana dookoła Słońca.

Jak wiadomo (Boryczka, Stopa-Boryczka i inni, 1998), okres około stuletni jest obecny w widmach temperatury powietrza w Europie:

|          | Wiosna   |       | Lato     |       | Jesień   |       | Zima     |       | Rok      |       |
|----------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
|          | $\Theta$ | $R$   | $\Theta$ | $R$   | $\Theta$ | $R$   | $\Theta$ | $R$   | $\Theta$ | $R$   |
| Warszawa | .        | .     | 91,2     | 0,147 | 104,4    | 0,181 | 113,1    | 0,100 | 104,7    | 0,079 |
| Kraków   | 83,4     | 0,180 | 91,8     | 0,287 | 91,7     | 0,163 | 90,9     | 0,150 | 82,9     | 0,173 |
| Praga    | 76,4     | 0,142 | 76,9     | 0,243 | 75,0     | 0,181 | 98,5     | 0,086 | 80,9     | 0,161 |
| Genewa   | 73,1     | 0,259 | 76,6     | 0,355 | 74,6     | 0,222 | 93,4     | 0,082 | 75,8     | 0,432 |
| Anglia   | 102,8    | 0,224 | 101,9    | 0,124 | 104,9    | 0,290 | 99,1     | 0,158 | 102,5    | 0,287 |

Analogiczna okresowość wskaźnika *NAO*, temperatury powietrza w Europie, aktywności Słońca i parametrów Układu Słonecznego, a także dyspersja długości okresów świadczą o deterministyczno–stochastycznych zmianach klimatu Europy. Cykle *NAO* to składnik deterministyczny cyrkulacji strefowej, warunkującej zmiany temperatury powietrza w Europie i w Polsce.

**Tendencje Oscylacji Północnoatlantycznej (*NAO*)** w latach 1825-1997 i 1966-1995 określają równania prostych regresji  $NAO = a_0 + A t$  (tab. 2, 3).

Tendencje wskaźnika *NAO* w latach 1825-1997 w miesiącach letnich są malejące: czerwiec  $A = -0,06$ , lipiec  $A = -0,07$ , sierpień  $A = -0,08/10$  lat. Najbardziej istotne statystycznie są spadki wskaźnika *NAO* w lecie (VI-VIII – o 0,068/10 lat ( $R = -0,340$ )) i półroczu ciepłym (IV-IX) – o 0,042/10 lat ( $R = -0,296$ ). Średnie roczne wartości wskaźnika *NAO* w latach 1825-1997 maleją nieznacznie – o 0,012/10 lat ( $R = -0,120$ ).

Należy zauważyć, że przedział obserwacji 1825-1997 (173 lata) obejmuje prawie cały okres planetarny (178,9 lat) zmian klimatycznych.

Tab. 2. Tendencje Oscylacji Północnoatlantyckiej (*NAO*) w latach 1825-1997  
The tendency of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in years 1825-1997

|         | $NAO = A_0 + A t$           | $A/10$ lat | $r$           |
|---------|-----------------------------|------------|---------------|
| I       | $NAO = 0,404 + 0,001902 t$  | 0,019      | 0,051         |
| II      | $NAO = 0,781 - 0,001441 t$  | -0,014     | -0,034        |
| III     | $NAO = -0,241 + 0,003358 t$ | 0,033      | 0,095         |
| IV      | $NAO = 0,513 - 0,002336 t$  | 0,023      | -0,067        |
| V       | $NAO = -0,166 - 0,000625 t$ | -0,006     | -0,024        |
| VI      | $NAO = 0,511 - 0,006219 t$  | -0,062     | <u>-0,211</u> |
| VII     | $NAO = 1,082 - 0,006666 t$  | -0,067     | <u>-0,212</u> |
| VIII    | $NAO = 1,488 - 0,007500 t$  | -0,075     | <u>-0,212</u> |
| IX      | $NAO = -0,025 - 0,001502 t$ | -0,015     | -0,048        |
| X       | $NAO = 0,676 + 0,002142 t$  | 0,021      | 0,068         |
| XI      | $NAO = -0,636 + 0,005041 t$ | 0,050      | 0,142         |
| XII     | $NAO = 0,296 - 0,000502 t$  | -0,005     | -0,013        |
| III-V   | $NAO = 0,033 + 0,000150 t$  | 0,002      | 0,000         |
| VI-VIII | $NAO = 1,025 - 0,006831 t$  | -0,068     | <u>-0,340</u> |
| IX-XI   | $NAO = -0,470 + 0,002120 t$ | 0,021      | 0,111         |
| XII-II  | $NAO = 0,505 - 0,000101 t$  | 0,001      | -0,004        |
| XII-III | $NAO = 0,316 + 0,000797 t$  | 0,008      | 0,037         |
| X-III   | $NAO = -0,014 + 0,001821 t$ | 0,018      | 0,112         |
| IV-IX   | $NAO = 0,569 - 0,004193 t$  | -0,042     | <u>-0,296</u> |
| I-XII   | $NAO = 0,275 - 0,001192 t$  | -0,012     | -0,120        |

Zmiany wskaźnika *NAO* w tym długim przedziale czasu lepiej opisują równania wielomianu regresji 2-go stopnia:

$$\begin{array}{ll} \text{zima} & NAO = 0,369 + 0,004579 t - 0,00002705 t^2, \quad R = 0,048, \\ \text{lato} & NAO = 0,541 + 0,009853 t - 0,00009644 t^2, \quad R = 0,402 \end{array}$$

o zmiennych tendencjach: zima  $\frac{\partial NAO}{\partial t} = 0,004579 - 0,000054 \cdot t$ , lato  $\frac{\partial NAO}{\partial t} = 0,009853$

- 0,0001928·*t*, wyrażonych na 1 rok. Maksima tych parabol regresji przypadają na lata: 1909 – zima i 1875 – lato.

Wahania średnich zimowych wartości temperatury powietrza w Warszawie i wskaźnika *NAO* w latach 1826-1990 są na ogół synchroniczne. W lecie korelacja między temperaturą powietrza w Warszawie i wskaźnikiem *NAO* jest znacznie mniejsza.

Tendencje wskaźnika *NAO* w krótszym 30-letnim przedziale czasu 1966-1995 są znacznie większe niż w latach 1825-1997 (tab. 2 i 3).

Tab. 3. Tendencje Oscylacji Północnoatlantyckiej (*NAO*) w 30-leciu 1966-1995  
The tendency of North Atlantic Oscillation index (*NAO*) in years 1966-1995

|         | $NAO = a_0 + a t$            | $a/10 \text{ lat}$ | $r$    |
|---------|------------------------------|--------------------|--------|
| I       | $NAO = -14,069 + 0,095081 t$ | 0,951              | 0,379  |
| II      | $NAO = -10,166 + 0,068618 t$ | 0,686              | 0,314  |
| III     | $NAO = -9,184 + 0,063526 t$  | 0,635              | 0,337  |
| IV      | $NAO = -5,624 + 0,033597 t$  | 0,336              | 0,177  |
| V       | $NAO = 6,379 - 0,043695 t$   | -0,437             | -0,183 |
| VI      | $NAO = 10,704 - 0,072403 t$  | -0,724             | -0,442 |
| VII     | $NAO = 2,028 - 0,014850 t$   | -0,148             | -0,096 |
| VIII    | $NAO = -6,705 + 0,042641 t$  | 0,426              | 0,054  |
| IX      | $NAO = 5,938 - 0,040029 t$   | -0,400             | -0,050 |
| X       | $NAO = 4,536 - 0,031248 t$   | -0,312             | -0,183 |
| XI      | $NAO = -2,784 + 0,019103 t$  | 0,191              | 0,084  |
| XII     | $NAO = -5,767 + 0,038959 t$  | 0,386              | 0,030  |
| III-V   | $NAO = -4,627 + 0,029236 t$  | 0,292              | 0,279  |
| VI-VIII | $NAO = 2,729 - 0,019443 t$   | -0,194             | -0,194 |
| IX-XI   | $NAO = 4,050 - 0,026754 t$   | -0,267             | -0,249 |
| XII-II  | $NAO = -11,245 + 0,076212 t$ | 0,762              | 0,467  |
| XII-III | $NAO = -11,039 + 0,075059 t$ | 0,751              | 0,532  |
| X-III   | $NAO = -7,263 + 0,049305 t$  | 0,493              | 0,537  |
| IV-IX   | $NAO = 1,938 - 0,014749 t$   | -0,147             | -0,207 |
| I-XII   | $NAO = -2,055 + 0,013325 t$  | 0,133              | 0,234  |

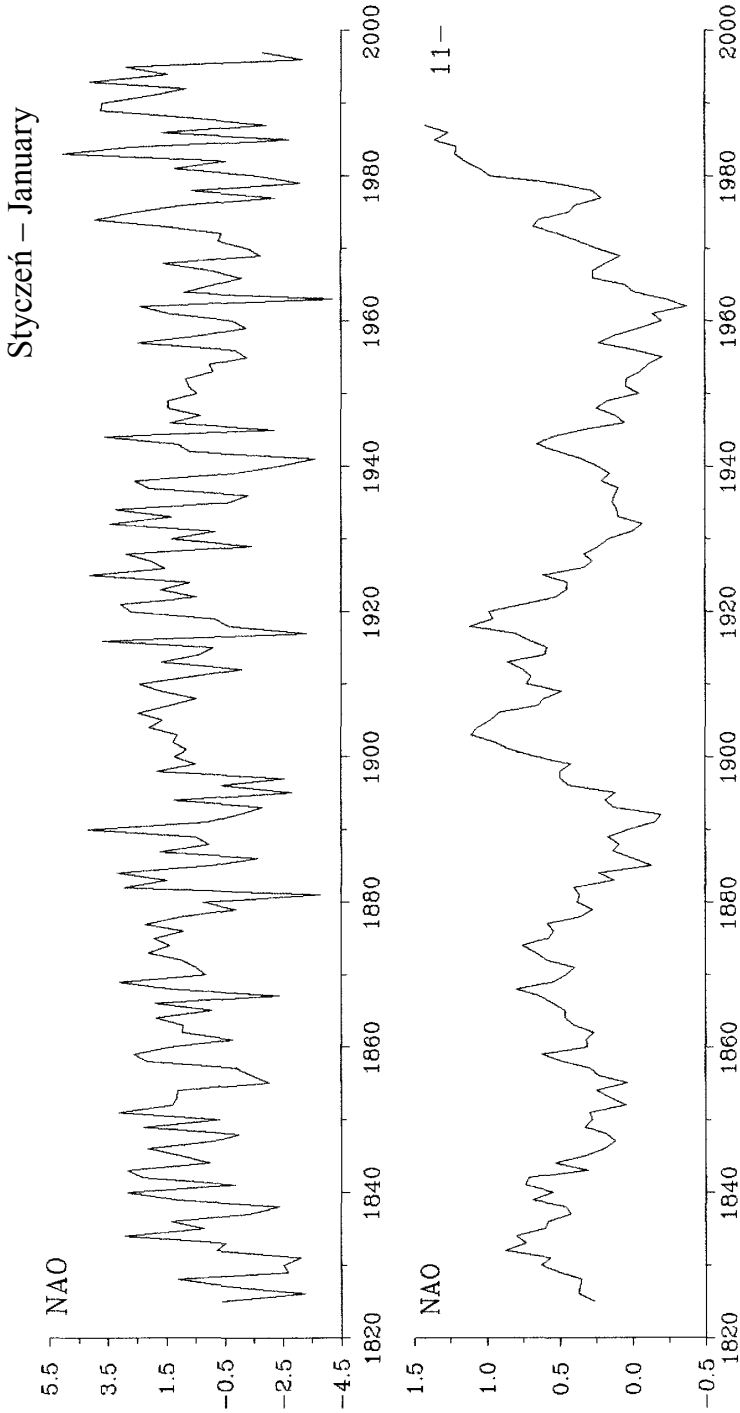
Po prostu wynika to z aproksymacji łuków sinusoid o omówionych wcześniej okresach. Jeżeli aproksymujemy sinusoidę równaniem prostej w przedziale od minimum do maksimum, to tendencja  $\frac{\partial NAO}{\partial t} = a > 0$  (jest rosnąca). W przypadku aproksymacji linią

prostą odcinka sinusoidy od maksimum do minimum – tendencja  $\frac{\partial NAO}{\partial t} = a < 0$  jest

malejąca.

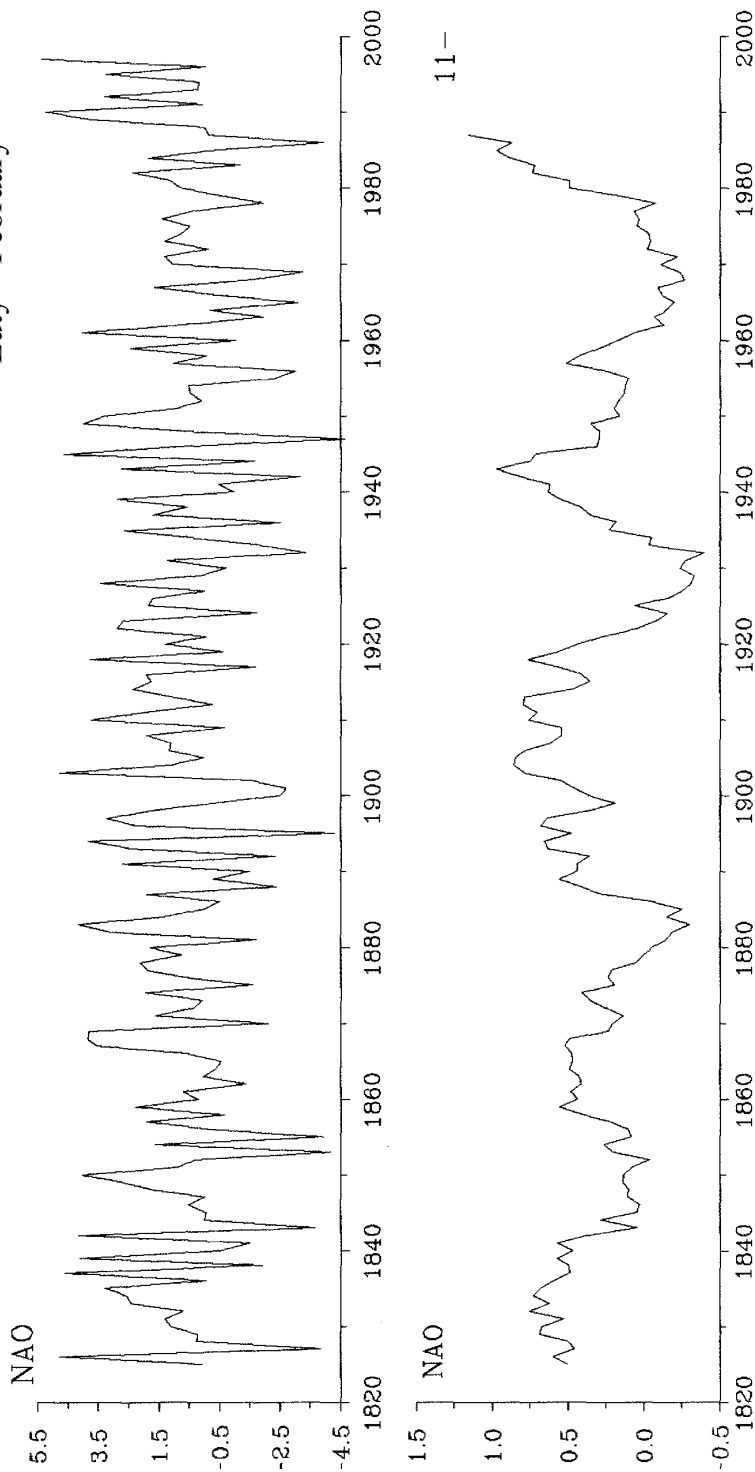
Tendencje średnich miesięcznych wartości wskaźnika *NAO* w 30-leciu 1966-1995 zawierają się w przedziale:  $-0,072 - 0,95/10 \text{ lat}$ . Natomiast tendencje wiekowe wskaźnika *NAO* (tj. w latach 1825-1997) zmieniają się w ciągu roku w przedziale znacznie mniejszym:  $-0,075 - 0,050/10 \text{ lat}$ .

Średnie arytmetyczne i średnie konsekwtywne 11-letnie (11-) wartości wskaźnika *NAO* w poszczególnych miesiącach, sezonach i roku w latach 1825-1997 przedstawiają wykresy na rys. 20-39.



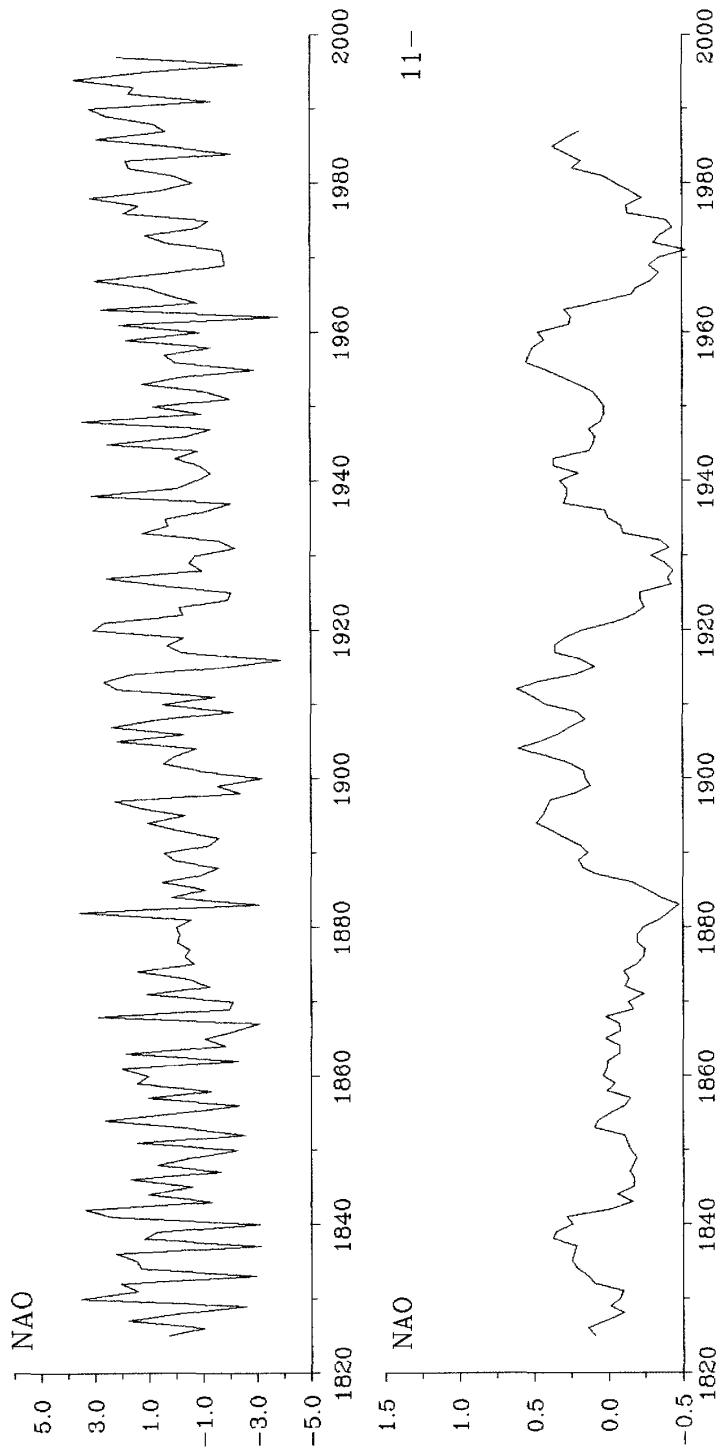
Rys. 20. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie sekwencyjne 11-letnie (11-) – styczeń  
 Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) – January

# Luty – February



Rys. 21. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie kolejno 11-letnie (11-) – luty  
Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) – February

## Marzec – March

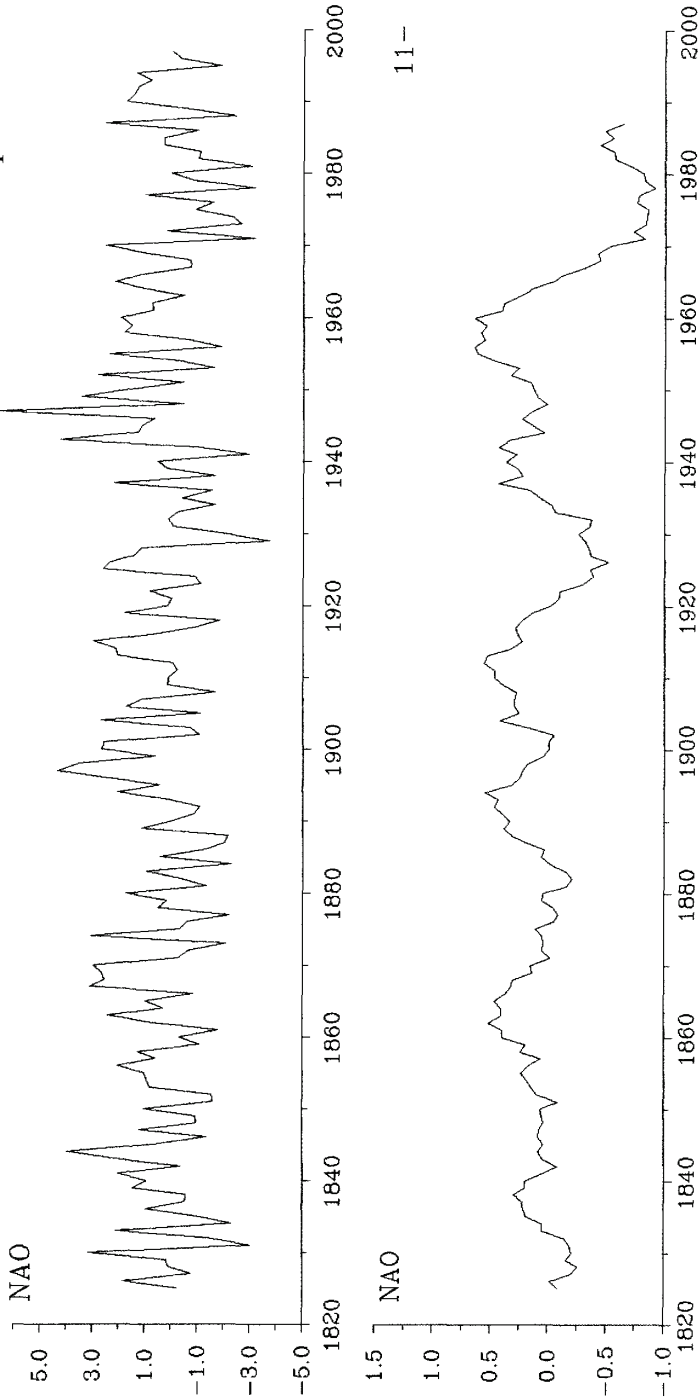


11 –

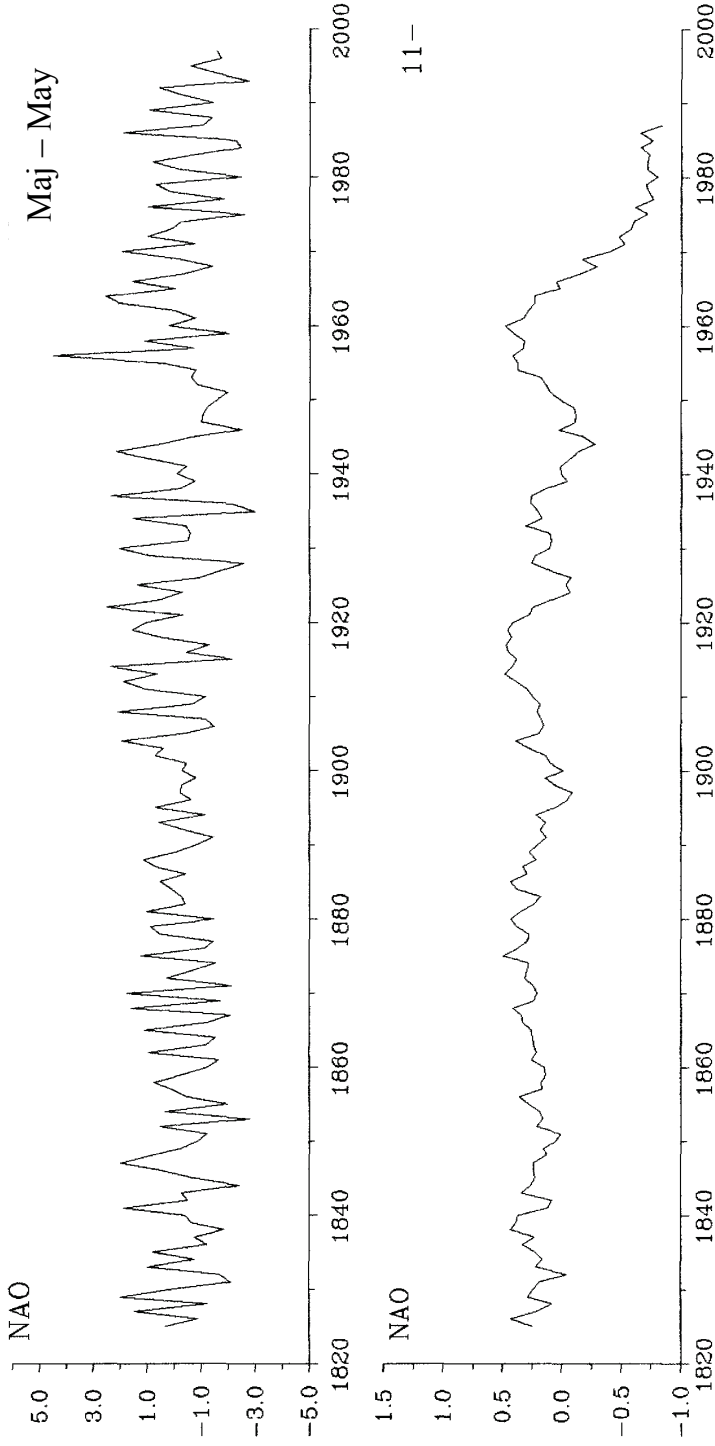
Rys. 22. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie konsekwtywne 11-letnie (11-) – marzec  
 Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) – March



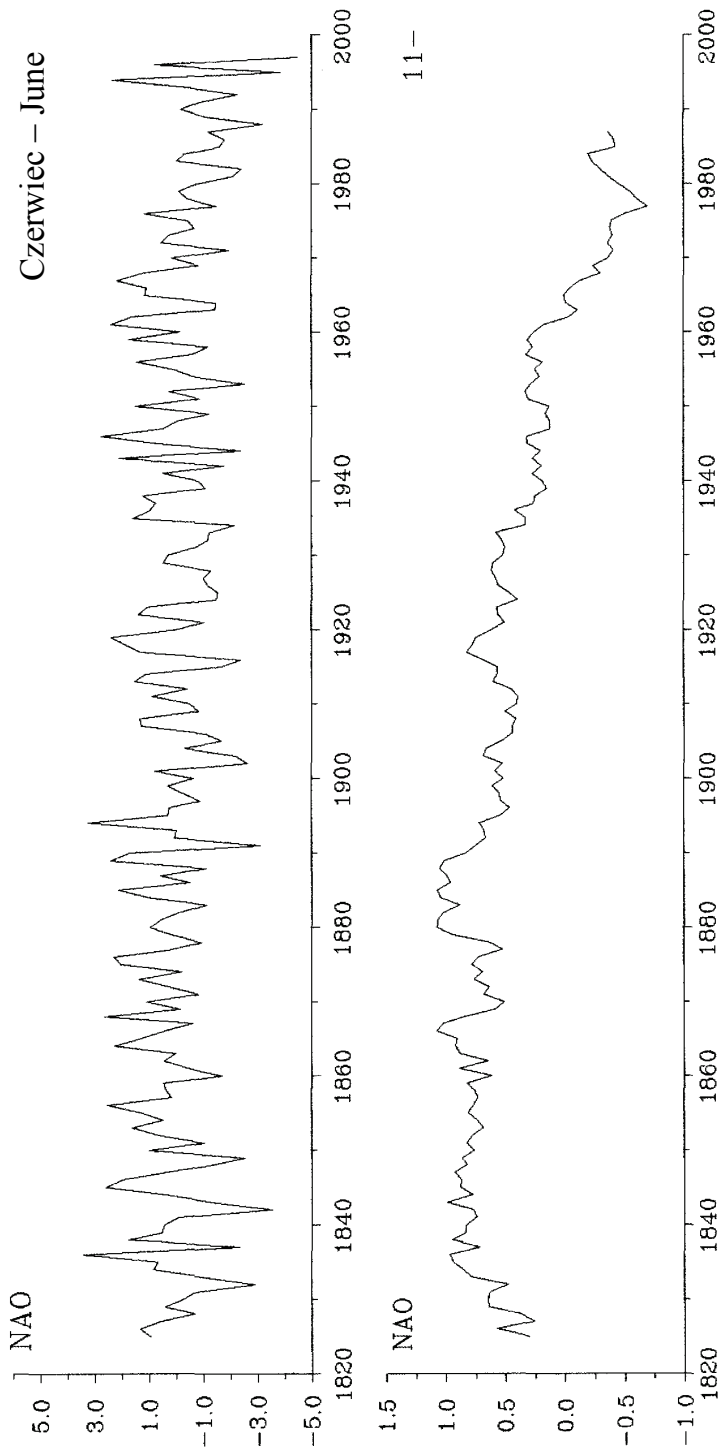
# Kwiecień – April



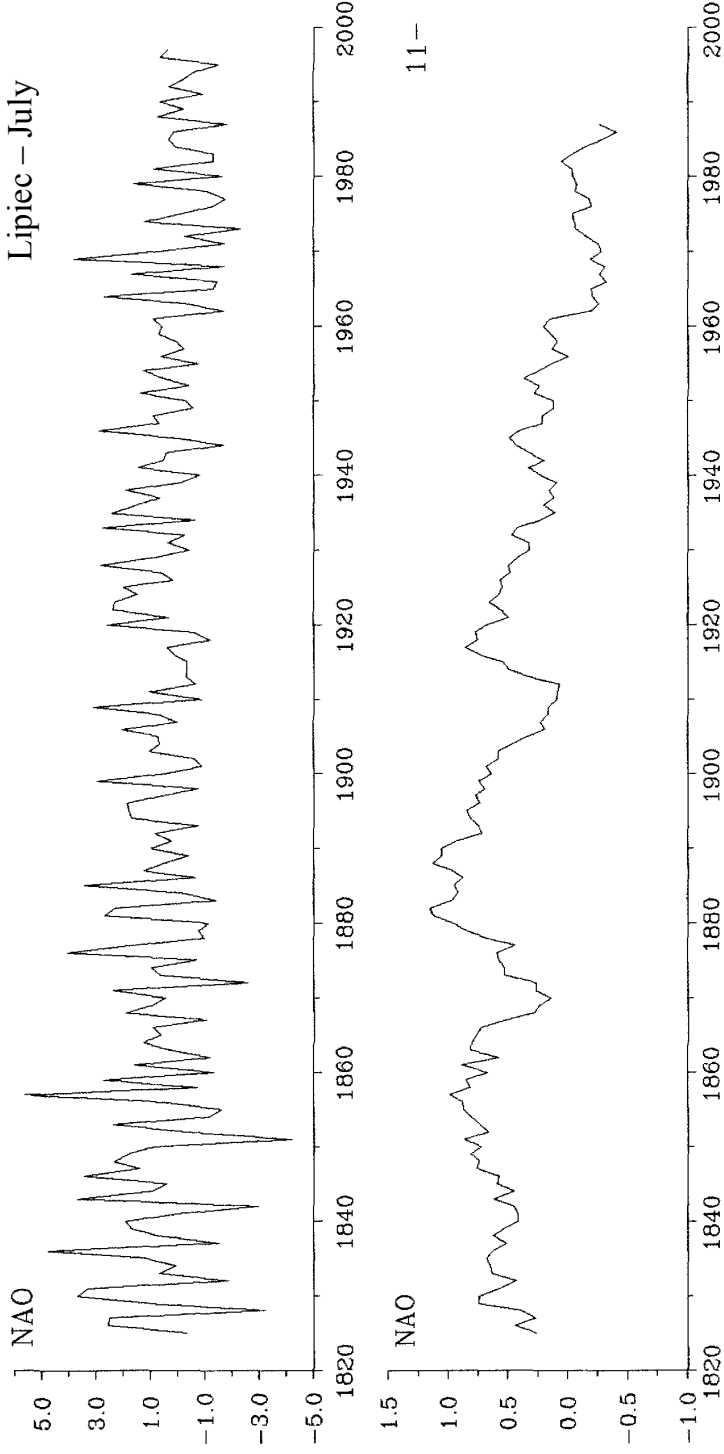
Rys. 23. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie konsekutywne 11-letnie (11-) – kwiecień  
Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) – April



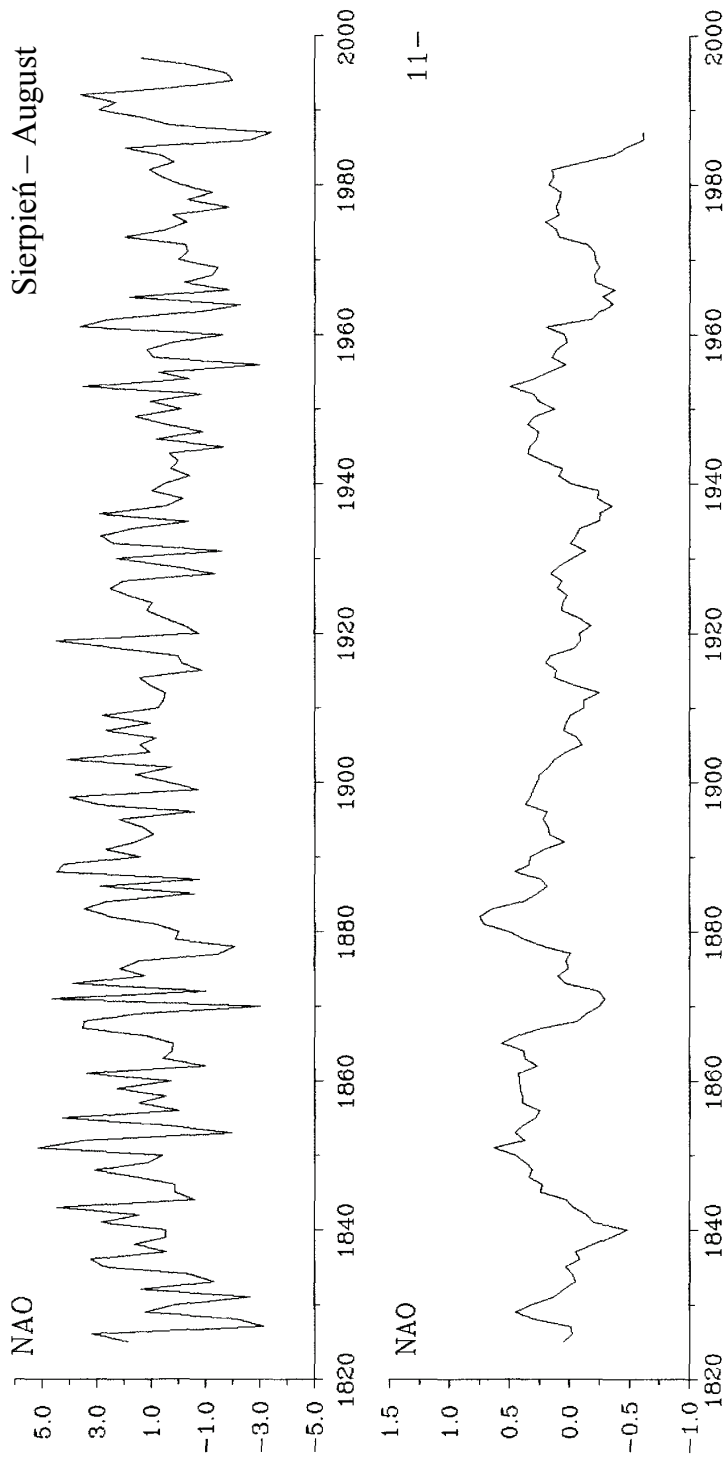
Rys. 24. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie konsekwtywne 11-letnie (11-) - maj  
 Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) - May



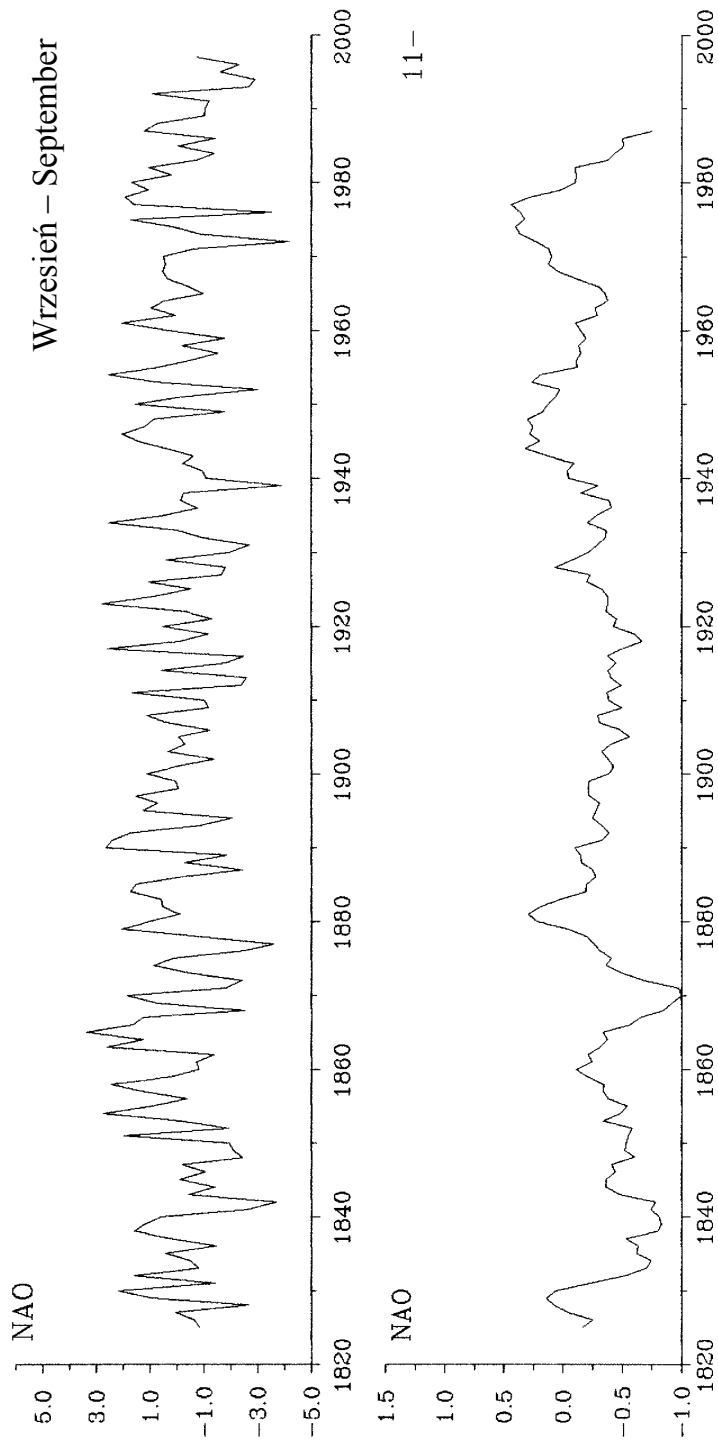
Rys. 25. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie konsekwentne 11-letnie (11-) – czerwiec  
 Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) – June



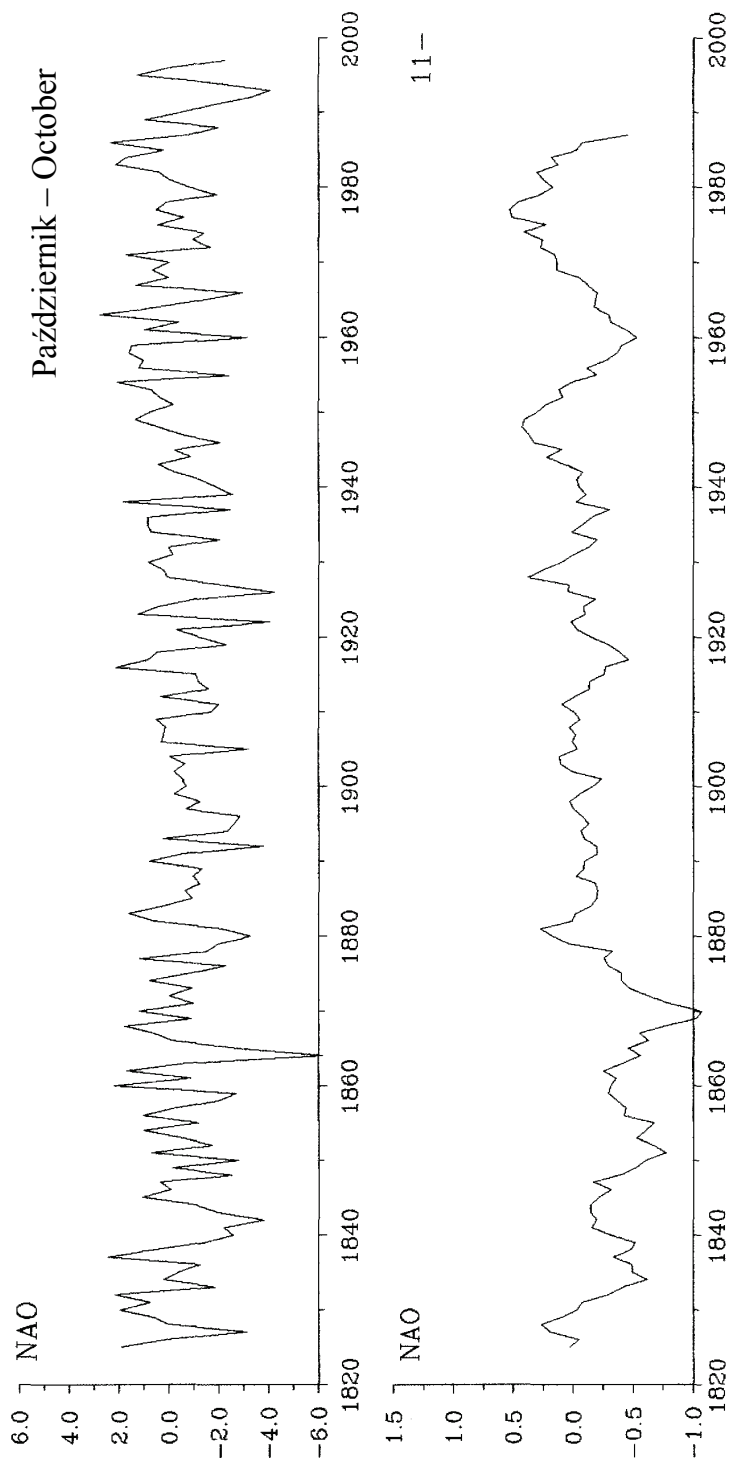
Rys. 26. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie konsekwtywne 11-letnie (11-) – lipiec  
 Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) – July



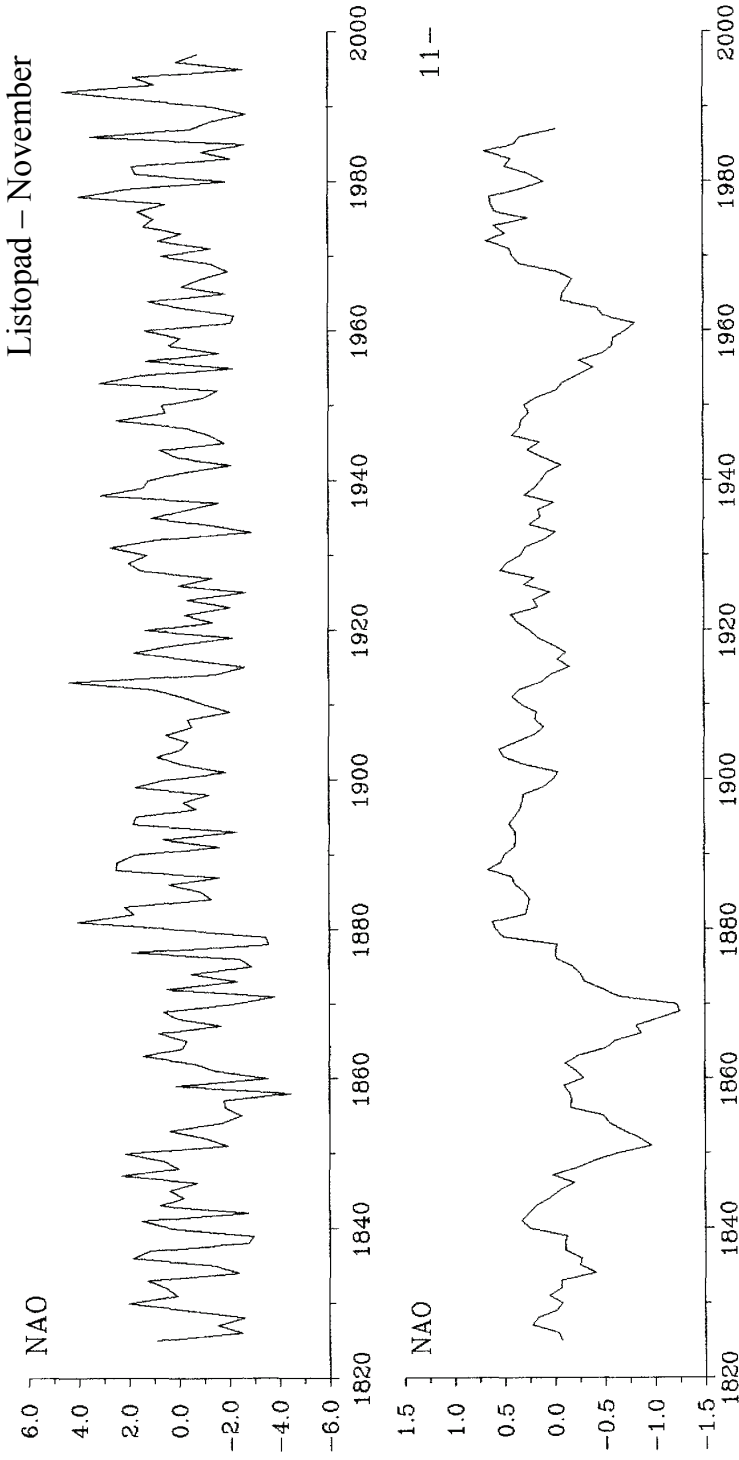
Rys. 27. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie konsekwtywne 11-letnie (11-) – sierpień  
 Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) – August



Rys. 28. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie kolejnoletnie 11-letnie (11-) – wrzesień  
 Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) – September



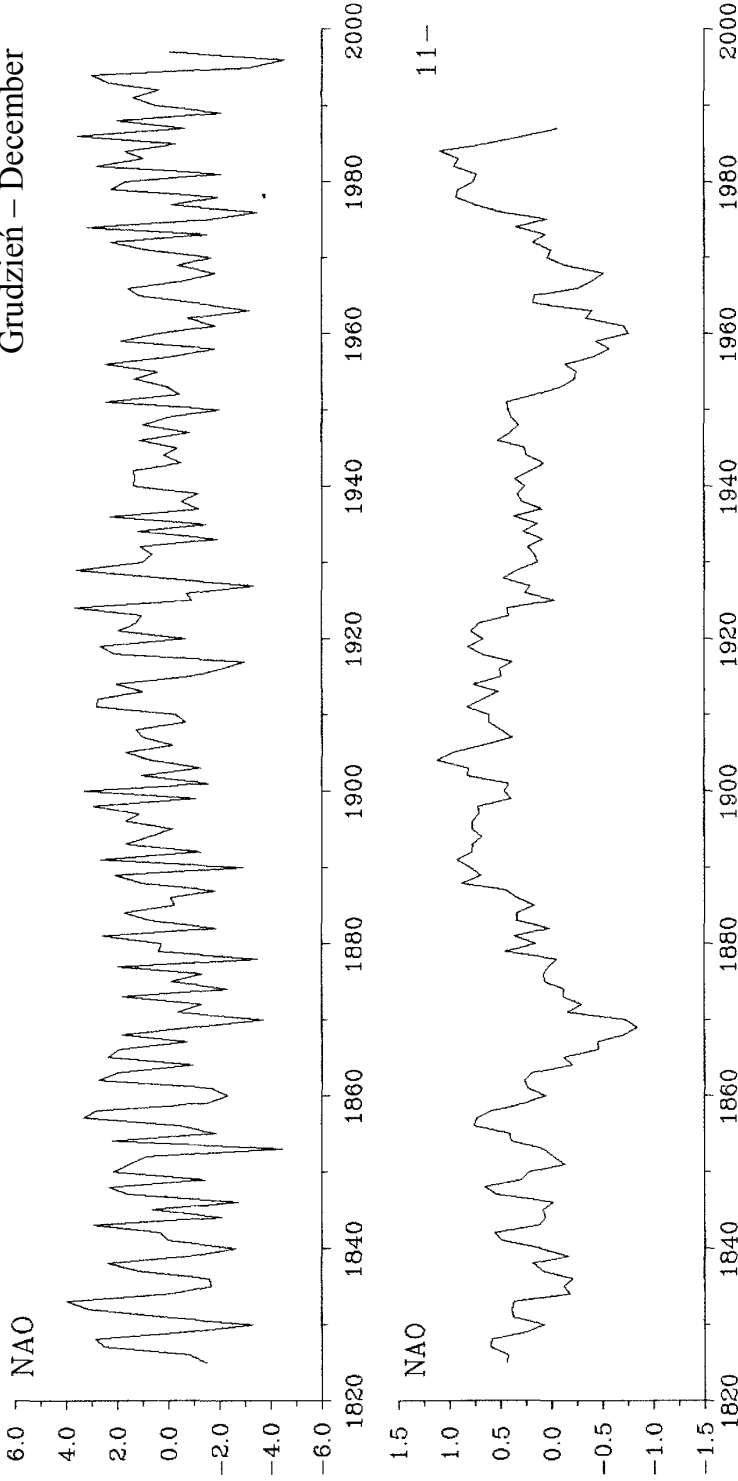
Rys. 29. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne 11-letnie (11-) – październik  
 Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) – October



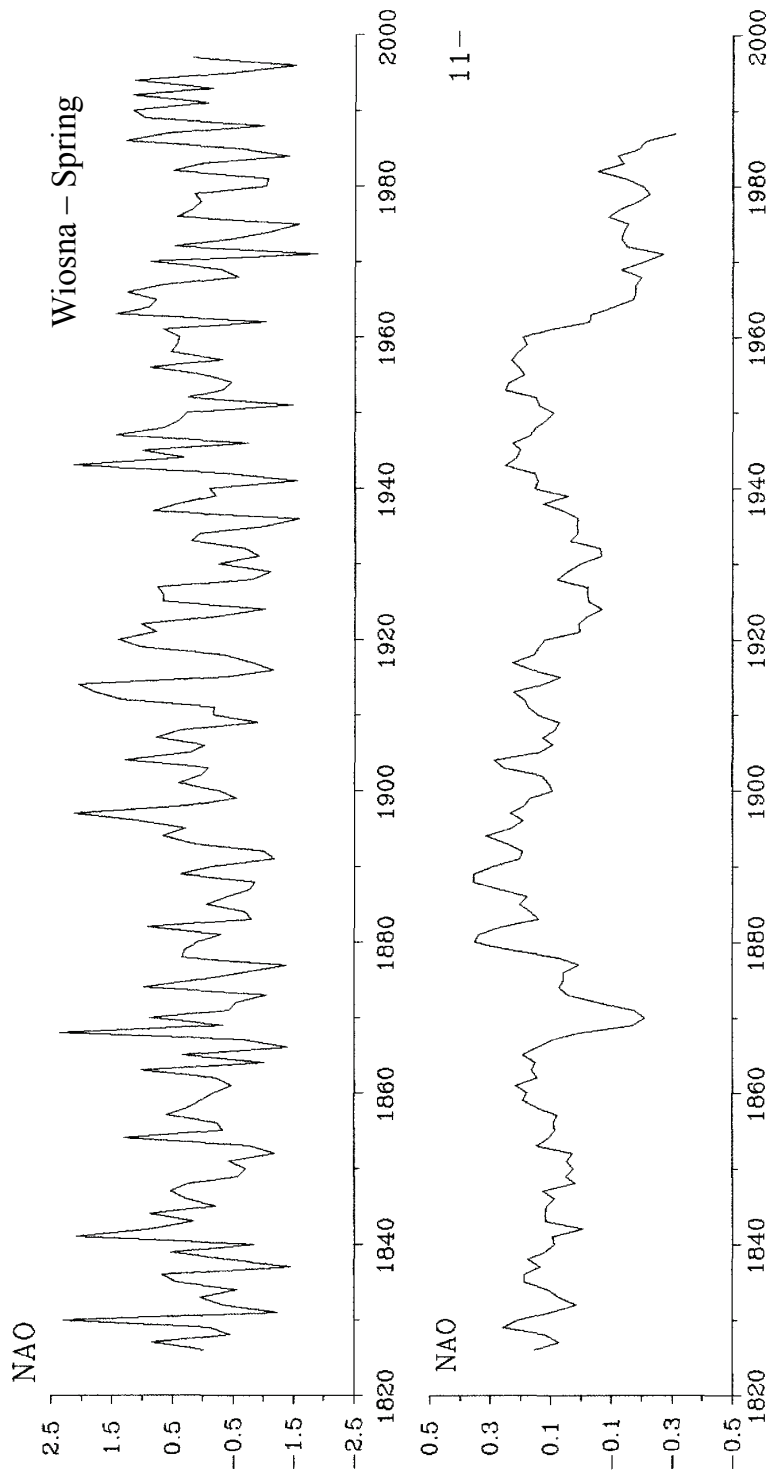
Rys. 30. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantycznej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie konsekwtywne 11-letnie (11-) – listopad  
 Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) – November



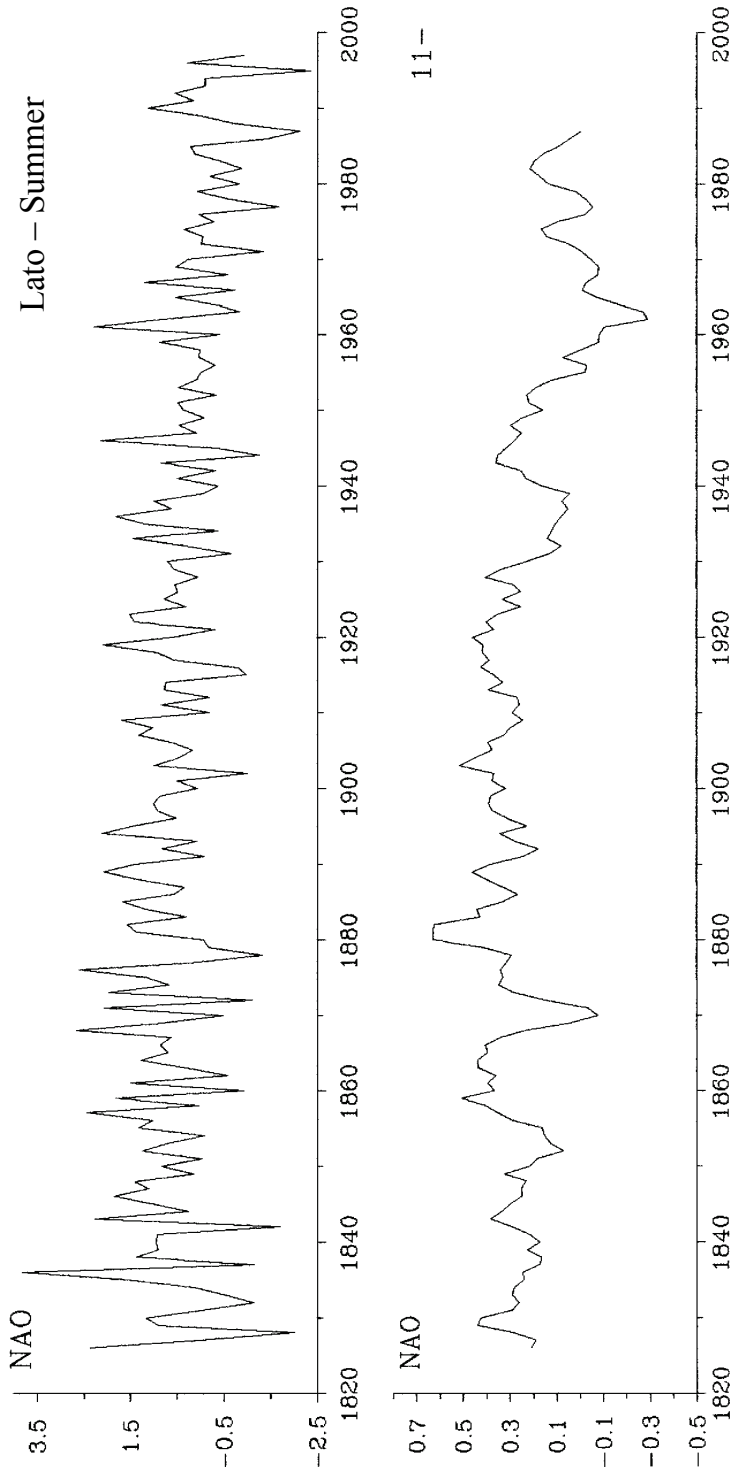
# Grudzień – December



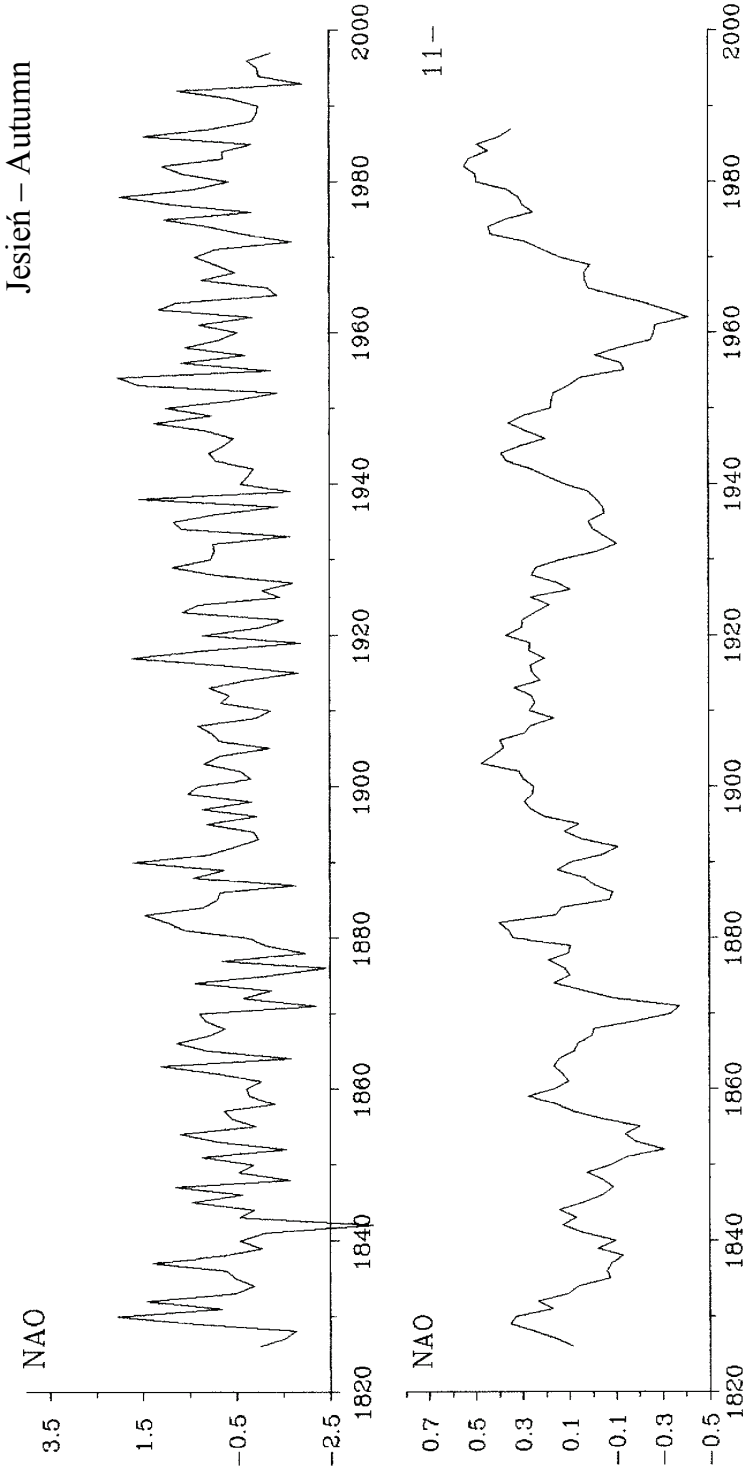
Rys. 31. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie konsekwtywne 11-letnie (11-) – grudzień  
Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) – December



Rys. 32. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie konsekwentne 11-letnie (11-) – wiosna  
 Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) – spring

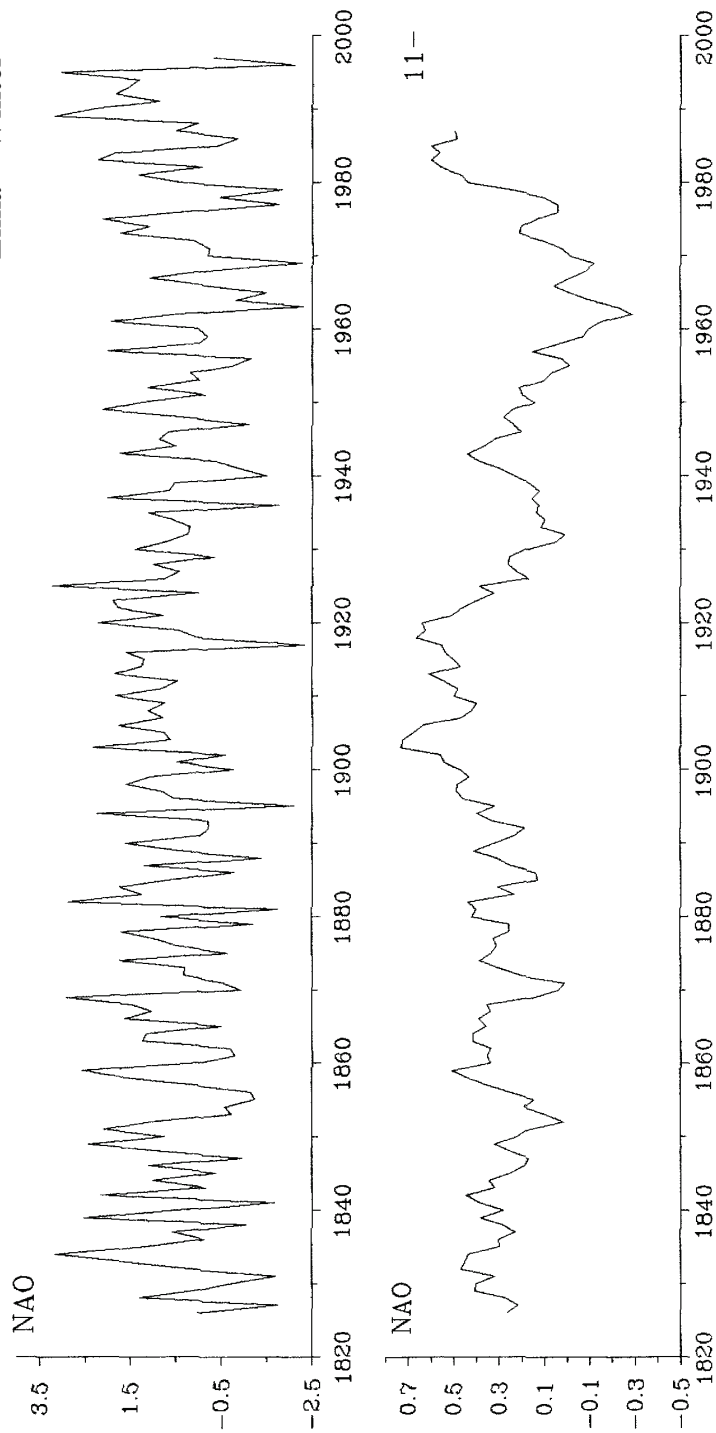


Rys. 33. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie konsekwtywne 11-letnie (11-) - lato  
 Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) - summer

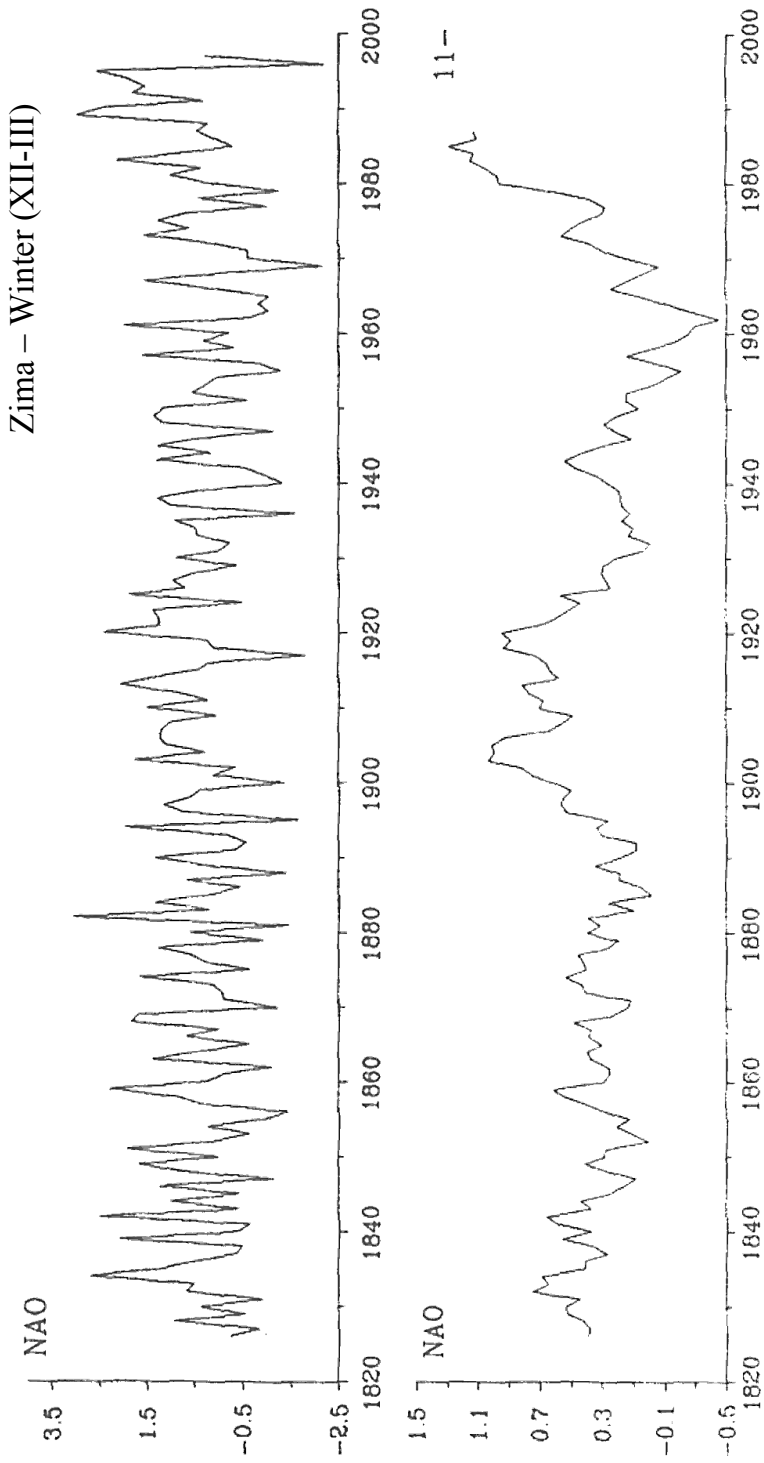


Rys. 34. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie konsekwtywne 11-letnie (11-) – jesień  
 Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) – autumn

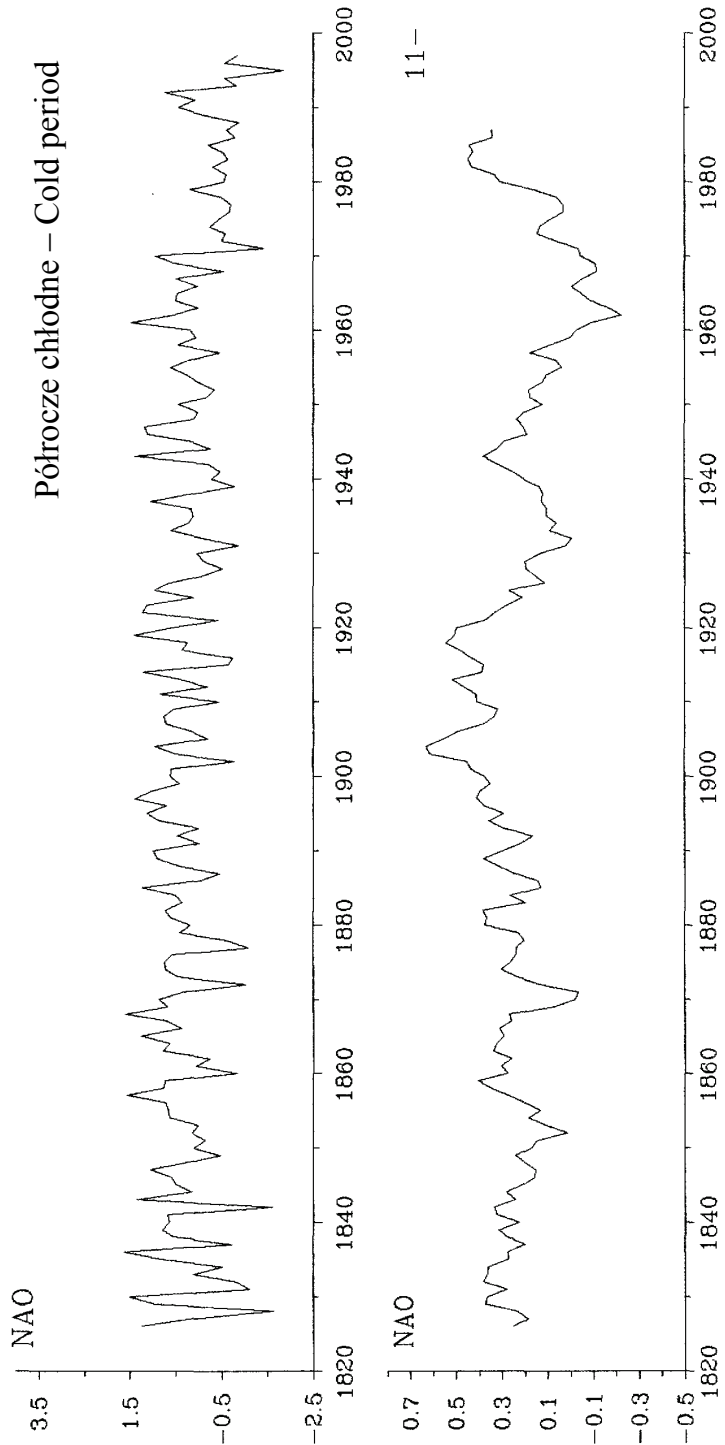
# Zima – Winter



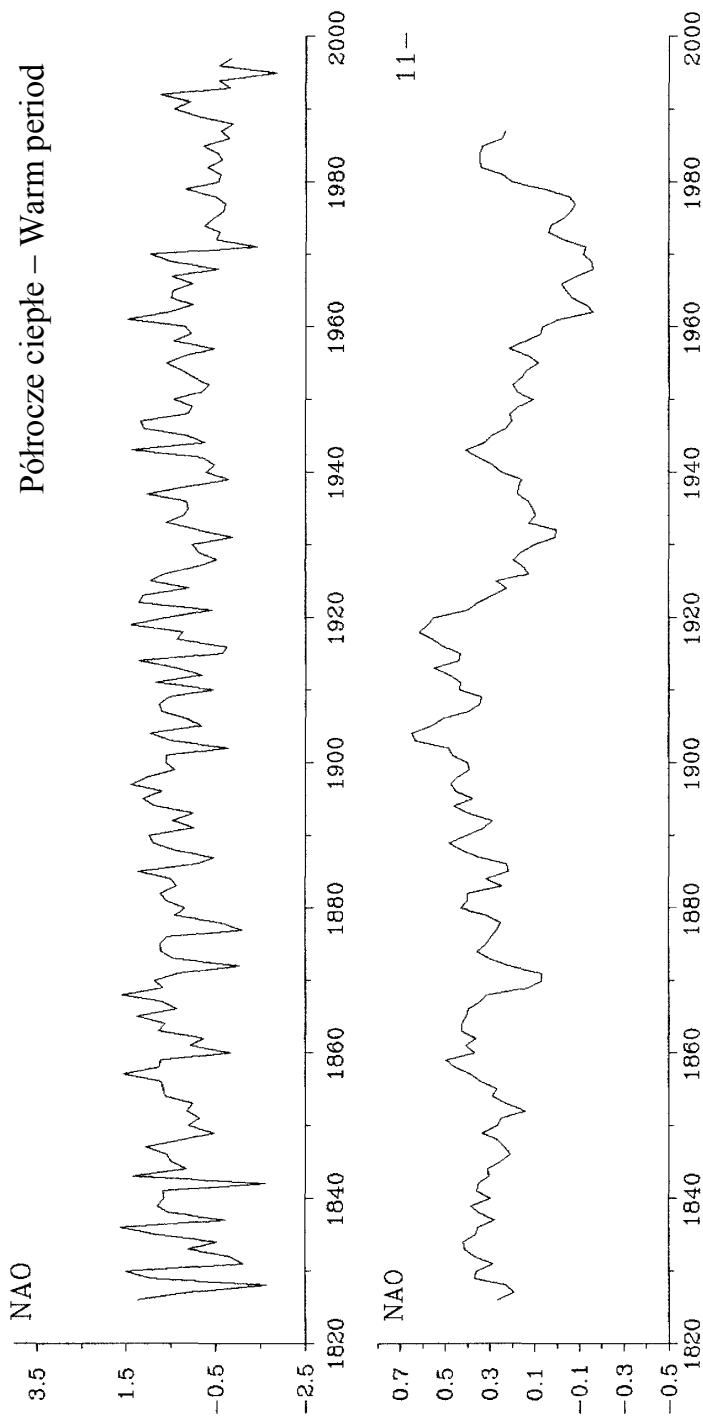
Rys. 35. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie konsekwentne 11-letnie (11-) – zima  
Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) – winter



Rys. 36. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie konsekwtywne 11-letnie (11-) – zima (XII-III)  
 Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) – winter (XII-III)

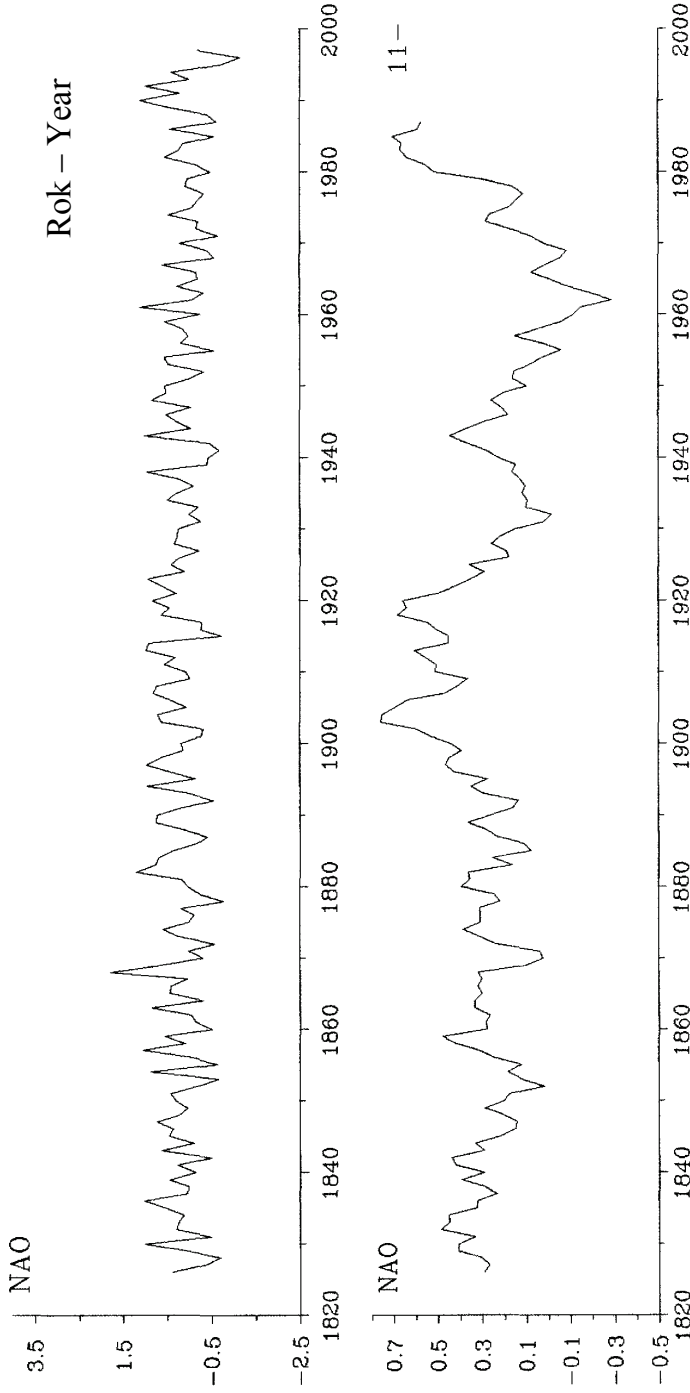


Rys. 37. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie konsekwentne 11-letnie (11-) – półrocze chłodne  
 Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) – cold period



Rys. 38. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie konsekwentne 11-letnie (11-) – półrocze ciepłe  
 Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) – warm period





Rys. 39. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1825-1997: średnie arytmetyczne, średnie kolejno 11-letnie (11-) – rok  
 Changes of North Atlantic Index (NAO) in years 1825-1997: averages values, consecutive 11-years averages (11-) – year

## **V. WARSZAWSKA SERIA POMIARÓW TEMPERATURY POWIETRZA NA STACJI OBSERWATORIUM ASTRONOMICZNE W LATACH 1779-1997**

Zmiany klimatu i ich przyczyny należą do najważniejszych problemów współczesnej klimatologii. Ze względu na działalność gospodarczą i zagrożenia życia na Ziemi istotne znaczenie ma zakres wahań klimatu (ochłodzenie i ocieplenie) i obserwowane tendencje.

Dlatego też z uznaniem trzeba przyjąć inicjatywę prof. dr hab. Haliny Lorenc skorygowania ponad dwuwiekowej zmienności temperatury powietrza w Warszawie (1779-1997) na podstawie porównania jej z najdłuższymi seriami pomiarowymi w Europie (Kraków, Berlin, Praga, Sztokholm, Wiedeń, Wilno, Kremsmünster).

Fundamentalne znaczenie w badaniach zmian klimatu Polski ma ujednorodnienie warszawskiej serii pomiarowej średnich miesięcznych i średniej rocznej wartości temperatury powietrza, sięgając do materiałów historycznych. Wprowadzono istotne poprawki do ciągu chronologicznego średnich miesięcznych i rocznych wartości temperatury powietrza w Warszawie: w latach 1790-1799 – 0,7°C, 1808-1919 – 0,4°C, 1820-1826 – 1,0°C, 1886-1914 – 0,7°C. W konsekwencji zmniejsza to zasadniczo zakres wahań temperatury w latach 1779-1914 i tendencje w ostatnich dwóch stuleciach od 0,73°C/100lat do 0,53°C/100lat. Ponadto wyodrębniły się dwa przedziały czasowe: 1779-1900 – o tendencji prawie zerowej i 1901-1997 – o tendencji rosnącej aż o 0,84°C/100lat. Za poprawnością wprowadzonych zmian w serii warszawskiej świadczy spłaszczenie głębokiego minimum temperatury powietrza w latach 1820-1826 w porównaniu z Wilnem i Sztokholmem. Logiczne wydaje się też obniżenie średnich rocznych wartości temperatury powietrza w latach 1886-1914, które po korekcie bardziej się różnią od temperatury w Wiedniu.

Wprowadzone poprawki sprawiają, że krzywe średnich konsekwentnych 5-letnich i 11-letnich temperatury powietrza cechują się podobnymi ekstremami. Szczególne znaczenie ma skorygowanie danych w latach 1808-1826 podczas wystąpienia największego ochłodzenia klimatu w Polsce. Na ten przedział czasu przypada minimum absolutne aktywności Słońca (najslabszy cykl 13-letni 1811-1823).

### **1. Dokumentacja historyczna prowadzonych pomiarów temperatury powietrza w Warszawie od 1779 roku**

Pierwsze instrumentalne pomiary temperatury powietrza w Polsce rozpoczęto w Warszawie w grudniu 1654 r. w ramach meteorologicznej „sieci florentyńskiej”. Prawdopodobnie pomiary były prowadzone na terenie Klasztoru Ojców Jezuitów na Starym

Mieście, gdyż zachował się jedyny fragment wyników pomiarów z maja 1655 r. (od 10 do 15 maja), odnaleziony na początku lat sześćdziesiątych XX wieku (Rojecki, 1968).

Następną serię pomiarów temperatury powietrza zawdzięczamy Francuzom. J. E. Guettard (przyrodnik, członek Królewskiej Akademii Nauk w Paryżu) prowadził obserwacje od 1 lipca 1760 r. do 5 maja 1762 r., a ks. J. Delsue – od 6 maja 1762 r. do 31 marca 1763 r. (Rojecki, 1968). Kompletną serię pomiarów temperatury powietrza opublikował J. E. Guettard w Paryżu w 1768 r.

Wyniki późniejszych pomiarów od 1 stycznia 1779 r. zachowały się do naszych czasów. Zawdzięczamy je ks. Janowi Fryderykowi Bończy-Bystrzyckiemu (1737-1821), wychowankowi Akademii Wileńskiej, astronomowi nadwornemu króla Stanisława Augusta. Pomiary prowadził codziennie od 31 grudnia 1778 r. przez 21 lat. Pomiary te były początkiem serii systematycznych pomiarów temperatury powietrza w Warszawie – najdłuższej w Polsce, trwającej z małymi przerwami do dnia dzisiejszego.

Pomiary temperatury powietrza rozpoczęte z dniem 1 stycznia 1779 r. ks. Bystrzycki wykonywał termometrem ze skalą Réaumur'a (Rojecki, 1968). Temperaturę powietrza mierzył trzykrotnie w ciągu doby (rano o wschodzie Słońca, w godzinę po południu i wieczorem o zachodzie Słońca).

Kontynuatorem pomiarów temperatury powietrza w Warszawie na Starym Mieście (przy ul. Piwnej 47) był Antoni Szeliga-Magier – profesor Liceum Warszawskiego, członek Warszawskiego Królewskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk. Prowadził on te pomiary przez 26 lat tj. od roku 1803 do 31 grudnia 1828 r.

W dniu 25 listopada 1825 r. rozpoczęto ciągłe pomiary temperatury powietrza w Obserwatorium Astronomicznym w Warszawie na terenie Ogrodu Botanicznego. Rozpoczął je Jan Baranowski – dyrektor Obserwatorium i prowadził pomiary w terminach 6<sup>h</sup>, 12<sup>h</sup>, 18<sup>h</sup>, (czasu lokalnego) do 1835 r.

Od 1886 r. w Warszawie funkcjonowała druga stacja meteorologiczna przy Muzeum Przemysłu i Rolnictwa – jednoczesnych pomiarów temperatury powietrza.

W pomiarach temperatury powietrza w Warszawie (Obserwatorium) można wyróżnić 12 udokumentowanych przedziałów czasu, mogących zakłócać jednorodność „serii warszawskiej”:

### **1. 10.1.1779-31.12.1799 r. – obserwacje ks. J. F. Bystrzyckiego (Zamek Królewski)**

Pomiary były wykonywane termometrem Réaumur'a z dokładnością 1/4°R. Odczyty temperatury – w trzech terminach: o świcie, w południe i wieczorem. W serii pomiarów temperatury J. Michalczewski (1985) wyrażał wartości terminowe w °C, a średnie dobowe obliczono z trzech odczytów terminowych. Przerwy w pomiarach 18.09-25.11.1787 r. i 15.09-14.12.1790 r. uzupełniono metodą regresji liniowej, wykorzystując opublikowane średnie dobowe wartości temperatury powietrza w Wilnie, Pradze i Stężyicy.

### **2. 1800-1803 r. – przerwa w pomiarach temperatury powietrza**

Przyjęto dane zrekonstruowane przez J. Michalczewskiego na podstawie sąsiednich miejscowości: Wilna, Wrocławia, Pragi, Wiednia z zastosowaniem równań hiperpłaszczyzn regresji.

### **3. 1.10.1803 - 31.12.1828 r. – pomiary A. Magiera (ul. Piwna 47)**

Temperaturę powietrza odczytywano w skali Réaumur'a w trzech terminach: z rana (6<sup>h</sup> a), po południu (2<sup>h</sup> p) i wieczorem (10<sup>h</sup> p) z dokładnością przeważnie 1/2°R, a czasami 1°R. Seria danych J. Michalczewskiego uwzględnia wyniki pomiarów A. Magiera do roku 1928, a nie z Obserwatorium Astronomicznego, czynnego od listopada 1826 r.

**4. 1.01.1828 - 31.05.1836 r. – pomiary temperatury powietrza w Obserwatorium Astronomicznym (Al. Ujazdowskie)**

Pomiary temperatury powietrza rozpoczęto 25 listopada 1825 r. w trzech terminach: 6<sup>h</sup>, 12<sup>h</sup>, 18<sup>h</sup> czasu miejscowego. Wyniki pomiarów zostały zhomogenizowane przez J. Michalczewskiego (1985) na podstawie danych z Krakowa. Średnie dobowe wartości temperatury powietrza w Warszawie oszacowano z równania płaszczyzny regresji. Posłużono się średnią ruchomą i odchyleniem średniej arytmetycznej od średniej konsekwtywnej 1-miesięcznej. Ponad 70% tych odchyleń o rozkładzie zbliżonym do normalnego zawiera się w przedziale (-0,4°C, 0,4°C).

**5. 1.06.1836-31.12.1840 r. – Obserwatorium Astronomiczne**

Zmieniono terminy pomiarów temperatury powietrza na godz. 4, 10, 16, 22 czasu miejscowego. Dane te są najbardziej wiarygodne, gdyż średnie dobowe z tych czterech terminów są najbardziej zbliżone do średnich rzeczywistych. Dane te można znaleźć tylko w publikacjach J. Kowalczyka (1881) i W. Gorczyńskiego (1913).

**6. 1.01.1841 - 31.12.1869 r. – Obserwatorium Astronomiczne**

Od 1841 r. zmieniono pierwszy termin obserwacji z godz. 4 na 6. Wyniki tych pomiarów są gorsze ze względu na większą rozbieżność średniej arytmetycznej od średniej dobowej rzeczywistej.

**7. 1.01.1870 - 31.12.1885 r. – Obserwatorium Astronomiczne**

Od roku 1870 w Europie wprowadzono nowe terminy obserwacyjne: 7<sup>h</sup>, 13<sup>h</sup> (lub 14<sup>h</sup>), 21<sup>h</sup> wg czasu średniego słonecznego (miejscowego) – tzw. godziny manheimskie. Średnią dobową temperaturę powietrza obliczono wzorem Kämza:

$$\bar{T} = (T_7 + T_{13} + 2 \cdot T_{21})/4$$

Dane obserwacyjne były publikowane w rocznikach Głównego Obserwatorium Geofizycznego w Petersburgu (GGO).

**8. 1.01.1886-31.12.1915 r. – Stacja meteorologiczna „Warszawa-Muzeum”**

Pomiary temperatury powietrza wykonywano na wysokości 23,3 m nad gruntem (taras pawilonu muzealnego od strony Wisły) z osłoną drewnianą termometrów (klatka). Przyjęto takie same terminy obserwacji (godz. 7, 13, 21), jak w Obserwatorium Astronomicznym. Tak samo obliczano średnie dobowe wartości temperatury powietrza (wzorem Kämza). Różnice średniej dobowej temperatury powietrza między „Muzeum” i „Obserwatorium” wynoszą: półrocze zimowe – 0,3°C, półrocze letnie – 0,7°C. Ta seria zawyżonych wartości temperatury powietrza potraktowana została przez J. Michalczewskiego jako dane z „Obserwatorium Astronomicznego”. Wynikało to z gorszej jakości pomiarów temperatury powietrza w „Obserwatorium Astronomicznym”. Danych obserwacyjnych (codziennych odczytów

temperatury powietrza w „Obserwatorium Astronomicznym”) od roku 1885 nie umieszczano w Rocznikach Głównego Obserwatorium w Petersburgu. Wątpliwe jednak jest zastąpienie danych obserwacyjnych wykonanych na stacji „Obserwatorium Astronomiczne” danymi z pomiarów na dachu budynku Muzeum. W miesiącach letnich zawyżenie wartości temperatury powietrza sięga 2°C. Stąd też można uważać, że w ten sposób „zerwana” została jednorodność serii warszawskiej w latach 1886-1914. Materiały obserwacyjne ze stacji meteorologicznej „Warszawa-Muzeum” z lat 1886-1910 opublikowano w tomach 7-21 „Pamiętnika Fizjogeograficznego” i „Wiadomościach Matematycznych”, tom 22 z 1918 r.

#### **9. 1916-1939 r. – Obserwatorium Astronomiczne**

Wyniki pomiarów temperatury powietrza z tych lat pochodzą z różnych punktów pomiarowych, zlokalizowanych na terenie Warszawy. Są one zawarte w „Rocznikach Meteorologicznych” Państwowego Instytutu Meteorologicznego lub znajdują się w miesięcznych „Wykazach Klimatologicznych” z Obserwatorium Astronomicznego. Średnie różnice temperatury powietrza między tymi danymi na stacji Warszawa-Obserwatorium i pozostałymi miejscami obserwacji w Warszawie wynoszą 0,5-0,7°C.

#### **10. 1940-1944 r. – Obserwatorium Astronomiczne (okres wojny)**

Podczas okupacji niemieckiej narzucono inny termin obserwacji południowej – późniejszy – o godz. 14 czasu miejscowego. Pogorszyło to wartości średnich dobowych obliczanych nadal wzorem Kämza, które bardziej odbiegają od średnich rzeczywistych (tj. średnich arytmetycznych z cogodzinnych pomiarów). Dane pochodzą z zestawień miesięcznych opracowanych przez Obserwatorium Astronomiczne. Okupacyjne władze niemieckie nie zamknęły działalności stacji meteorologicznej „Warszawa-Obserwatorium”.

Podczas powstania warszawskiego i w późniejszych miesiącach do marca 1945 roku nastąpiła 9-miesięczna przerwa w pomiarach temperatury powietrza. Luka w pomiarach została uzupełniona przez J. Michalczewskiego na podstawie danych pochodzących z: Sobieszyna, Radomia i Mławy z zastosowaniem metody regresji wielokrotnej. Rekonstrukcja temperatury powietrza w tych miesiącach w Warszawie nie budzi zastrzeżeń pod względem merytorycznym.

#### **11. 1.04.1945-31.12.1950 r. – Stacja meteorologiczna: „Obserwatorium Bielany”**

Po wojnie rozpoczęto pomiary temperatury powietrza na nowej stacji meteorologicznej „Warszawa-Bielany”, później w „Obserwatorium Astronomicznym” i na Okęciu. Do „serii warszawskiej” pomiarów temperatury powietrza włączono najpierw dane z Bielany, a potem z Okęcia. Zachowano dotychczasowe terminy obserwacji: 7, 13, 21 czasu miejscowego i sposób obliczania średniej dobowej.

## 12. Po roku 1950

Od stycznia 1951 r. J. Michalczewski (1985) włączył do „serii warszawskiej” dane obserwacyjne ze stacji meteorologicznej „Okęcie” zamiast właściwych wyników pomiarów temperatury powietrza ze stacji „Warszawa-Observatorium”. Dane te to średnie arytmetyczne z 24 terminów obserwacyjnych (średnie dobowe rzeczywiste). Ze względu jednak na warunki jednorodności długiej serii pomiarowej wprowadzenie do „serii warszawskiej” mniejszych wartości temperatury powietrza z peryferii miasta (średnio o 0,6°C) nie jest wskazane. Oczywiście dane obserwacyjne z „Observatorium” są obciążone pewnym błędem wynikającym z wiekowych zmian otoczenia miejsca wykonywanych pomiarów (są one w kolejnych latach prawdopodobnie coraz bardziej zawyżone).

W „serii warszawskiej” skorygowanej przez H. Lorenc zamieszczono średnie miesięczne i roczne wartości temperatury powietrza (od 1951 do 1983 r.) ze stacji meteorologicznej Warszawa-Observatorium, a nie z „Okęcia”, i wydłużono ciąg danych do roku 1997.

W czasie ostatnich 218 lat do pomiarów temperatury powietrza stosowano różnego rodzaju termometry, napełniane alkoholem lub rtęcią. Do danych obserwacyjnych nie zawsze wprowadzano poprawki „instrumentalne”. Termometry ze zbiorniczkami o różnej bezwładności cieplnej były skalowane w stopniach Réaumur’a lub Celsjusza o najmniejszych podziałkach 0,5 lub 1°R. Ponadto terminy pomiarów były wielokrotnie zmieniane, a także miejsca obserwacji i ekspozycje przyrządów. Jednorodność serii pomiarowej najbardziej jednak jest zakłócona zmianą terminów pomiarów temperatury powietrza i sposobem obliczenia średniej „dobowej” wartości. Duże zakłócenia jednorodności serii sprawiają także różne wysokości nad powierzchnią gruntu umieszczonych termometrów („ul. Piwna” – 22,4 m od 1.10.1803-31.12.1825, „Observatorium” – 9,5 m od 1.01.1828 do 31.12.1869, „Muzeum” – 23,3 m od 1.01.1886 do 31.12.1914).

## 2. Poprawki korygujące dotychczasową „serię warszawską” temperatury powietrza w latach 1779-1997

Dotychczasową „serię warszawską” testowano wstępnie przez porównanie jej z seriami pomiarowymi temperatury powietrza w innych sąsiednich, niezbyt odległych miejscowościach: Berlin, Kraków(Observatorium, stacja historyczna), Kremsmünster, Praga-Klementinum, Sztokholm, Uppsala, Wiedeń i Wilno, uznanymi jako serie referencyjne (jednorodne).

W porównaniach posłużono się ciągami średnich miesięcznych i rocznych wartości temperatury powietrza z miejscowości położonych w północnej i środkowej Europie, gdzie początki obserwacji przypadają mniej więcej na ten sam czas.

Serie średnich miesięcznych, sezonowych i rocznych wartości temperatury powietrza w Warszawie (pierwotne) i Berlinie, Krakowie, Sztokholmie, Wiedniu cechują się dużymi współczynnikami korelacji, większymi w zimie niż w lecie (tab.4). Na przykład współczynniki korelacji w przypadku serii średnich rocznych wartości wynoszą: Warszawa-Berlin – 0,832, Warszawa-Kraków – 0,894, Warszawa-Sztokholm – 0,758, War-

szawa-Wiedeń – 0,822. Świadczy to o zbliżonej cyrkulacji atmosferycznej na obszarze obejmującym te miejscowości.

Przedziały czasu, w których „zerwana” została jednorodność „serii warszawskiej”, można określić bezpośrednio z porównania wykresów czasowych zmian temperatury powietrza w Warszawie (średnich miesięcznych, sezonowych i rocznych) z analogicznymi wykresami zmian temperatury w Berlinie, Krakowie, Sztokholmie i Wiedniu.

Zakłócenia jednorodności (z omówioną dokumentacją historyczną) są bardziej „czytelne”, gdy porównuje się wykresy średnich ruchomych (konsekwentnych) wartości 5-letnich i 11-letnich.

Największa rozbieżność między „Serią Warszawską pierwotną” i seriami: „Berlińską”, „Krakowską”, „Sztokholmską” i „Wiedeńską” pokrywa się z przedziałami czasu:  
 1790-1799 – obserwacja Bystrzyckiego,  
 1808-1828 – obserwacja Magiera,  
 1886-1915 – zastąpienie serii „Obserwatorium” serią „Muzeum”,  
 po 1951 – zastąpienie serii „Obserwatorium” serią „Okęcie”.

Tab. 4. Współczynniki korelacji średniej miesięcznej, sezonowej i rocznej temperatury powietrza w °C w latach 1792-1995

| Miesiące, sezony i rok | Warszawa-Berlin | Warszawa-Kraków | Warszawa-Sztokholm | Warszawa-Wiedeń |
|------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| Styczeń                | 0,9310          | 0,9620          | 0,6854             | 0,8744          |
| Luty                   | 0,9196          | 0,9602          | 0,7167             | 0,8804          |
| Marzec                 | 0,8963          | 0,9561          | 0,7503             | 0,9140          |
| Kwiecień               | 0,8280          | 0,9117          | 0,6480             | 0,8059          |
| Maj                    | 0,8161          | 0,8614          | 0,7304             | 0,7415          |
| Czerwiec               | 0,7913          | 0,8645          | 0,6391             | 0,7531          |
| Lipiec                 | 0,7713          | 0,8561          | 0,6396             | 0,6794          |
| Sierpień               | 0,7804          | 0,7705          | 0,6796             | 0,6970          |
| Wrzesień               | 0,7632          | 0,8804          | 0,6689             | 0,7466          |
| Październik            | 0,8326          | 0,9091          | 0,6781             | 0,8322          |
| Listopad               | 0,8554          | 0,9476          | 0,6467             | 0,8403          |
| Grudzień               | 0,8297          | 0,9398          | 0,5500             | 0,8418          |
| Wiosna                 | 0,8402          | 0,9024          | 0,7423             | 0,8229          |
| Lato                   | 0,7355          | 0,7739          | 0,6576             | 0,6868          |
| Jesień                 | 0,7989          | 0,9110          | 0,6751             | 0,8212          |
| Zima                   | 0,9056          | 0,9561          | 0,7220             | 0,8712          |
| Rok                    | 0,8322          | 0,8935          | 0,7583             | 0,8220          |

1. Z dokumentacji historycznej wynika, że ostatnie 10 lat obserwacji ks. J. Bystrzyckiego to wartości „zaniżone”. Prawdopodobnie jest to związane z zamianą termometru spirytusowego na termometr rtęciowy i ze zmianą oprawy termometru, a także wprowadzeniem bliżej nieokreślonej poprawki. W latach tych różnice średniej rocznej temperatury powietrza między Warszawą i Sztokholmem są zbyt małe, a między Warszawą i Wiedniem – za duże. Podobnie różnice temperatury powietrza między Warszawą i Wilnem są za małe.

Dlatego też w „serii warszawskiej poprawionej” do wartości oryginalnych zmierzonych przez ks. J. Bystrzyckiego w latach 1790-1799 dodano średnią poprawkę  $\Delta T = +0,7^{\circ}\text{C}$ .

2. Drugim przedziałem czasu, w którym zerwano serię, są lata 1808-1828. Na podstawie przebiegów czasowych temperatury powietrza na stacjach referencyjnych ustalono dwie różne poprawki dla zanizonych wartości „magierowskich”: 1807-1819 –  $\Delta T = +0,4^{\circ}\text{C}$ , 1820-1828 –  $\Delta T = +1,0^{\circ}\text{C}$ .
3. Trzecim przedziałem czasu, wymagającym korekty temperatury powietrza w „serii warszawskiej pierwotnej”, są lata 1886-1915. J. Michalczewski zastąpił dane z „Observatorium” danymi z „Muzeum” uważając, że są bardziej wiarygodne. Nie wiadomo na pewno, że nie umieszczenie codziennych danych z „Observatorium” w Rocznikach GGO w Petersburgu wynikało tylko ze złej jakości obserwacji. W „serii warszawskiej poprawionej” rekonstruowano wynik pomiarów temperatury powietrza wykonanych w „Observatorium Astronomicznym” w latach 1886-1915. Według W. Gorczyńskiego (1913) różnica temperatury powietrza między „Muzeum” i „Observatorium” wynosi:  $0,3^{\circ}\text{C}$  – w półroczu chłodnym;  $0,8^{\circ}\text{C}$  – w półroczu letnim. Z porównania danych z dwóch wspólnych lat 1886 i 1915 wynika, że różnica średnich rocznych wartości między „Muzeum” i „Observatorium” jest równa  $+0,7^{\circ}\text{C}$ .

Zakładając nadal, że „Muzeum” ma bardziej wiarygodne dane niż „Observatorium”, odjęto od średnich rocznych wartości temperatury w „Muzeum” poprawkę  $+0,7^{\circ}\text{C}$ . W przypadku miesięcy poprawki są różne i mają różny znak.

4. Czwartym przedziałem czasu, gdzie zerwana została jednorodność ciągu wyników pomiarów temperatury powietrza „Warszawa-Observatorium Astronomiczne”, są lata po 1951 r. Serie średnich miesięcznych i rocznych wartości (obliczonych przez J. Michalczewskiego na podstawie średnich dobowych rzeczywistych – z 24 terminów, z „Okęcia”) wycofano. Zastąpiono ją oryginalnymi danymi ze stacji „Warszawa-Observatorium”.

„Serię warszawską” poprawioną uznano jako serię jednorodną stacji meteorologicznej Warszawa-Observatorium w latach 1779-1997.

Uzasadnieniem jednorodności nowej „serii warszawskiej” jest też weryfikacja hipotezy zerowej ( $H_0$ ) – o jednorodności serii – testem Alexanderssona. W tym celu obliczono różnice  $q$  między wartościami temperatury powietrza w Warszawie i poszczególnych stacjach referencyjnych. Utworzono serie różnic standaryzowanych  $z_i$ , zakładając rozkład normalny:

$$z_i = \left( \frac{q_i - q}{s} \right)$$

gdzie:  $q$  – średnia arytmetyczna,  $s$  – odchylenie standardowe różnic.

Weryfikacja hipotezy zerowej tym testem polega na znalezieniu wartości maksymalnej  $T(v)$  przy zmiennym  $v$  ( $1 \leq v \leq n$ ):

$$T_{\max} = \max[v z_1^2 (n-v) z_n^2]$$

i porównaniu jej z wartościami krytycznymi ( $T_{kryt}$ ) na poziomie istotności 0,05.

Jednorodne serie średnich miesięcznych, sezonowych i rocznych wartości temperatury powietrza dla Warszawy-Observatorium w latach 1779-1999 zestawiono w tab. 5.



Wynikiem wprowadzenia poprawek w dotychczasowej „serii warszawskiej” temperatury powietrza było „złagodzenie” największego ochłodzenia klimatu w Warszawie na początku XIX w. i „powiększenie” ocieplenia w latach 1886-1915. Istotne jest, że w nowej serii zachowana jest kolejność chłodnych i ciepłych lat (ten sam znak miesięcznych, sezonowych i rocznych przyrostów  $\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)$ ).

Niewątpliwie nowa „seria warszawska” temperatury powietrza w latach 1779-1999 jest bardziej wiarygodna od dotychczasowej i lepsza w zastosowaniu do badań wiekowych zmian klimatu Polski, Europy, Ziemi. Nie można wykluczyć, że w przyszłości inni autorzy mogą nieco zmienić te poprawki, korzystając z innych metod uzupełniania danych, np. stosując równania regresji wielokrotnej itp. Oczywiście też jest, że w tych dość odległych miejscowościach cyrkulacja atmosferyczna jest nieco odmienna. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu na dość dużym obszarze północnej i środkowej Europy są w przybliżeniu synchroniczne. Świadczą o tym także niezbyt duże współczynniki determinacji ( $r^2$ ), zmieniające się w ciągu roku: Warszawa-Sztokholm – 30,3-56,3%, Warszawa-Wiedeń – 46,2-83,5%, Warszawa-Kraków – 59,3-92,5%.

W weryfikacji danych zastosowano test dotyczący zmiennych losowych. W ciągach czasowych średnich miesięcznych, sezonowych i rocznych wartości temperatury powietrza w Warszawie i innych miejscowościach Europy występują składniki deterministyczne (okresowe), np. cykl roczny, około 8-letni, 11-letni i inne. W poszczególnych miejscowościach mogą być mierzone wyjątkowo małe czy też duże wartości temperatury powietrza nie zawsze w tym samym czasie.

Są to jednak trudne do rozwiązania problemy dotyczące wszystkich uzupełnionych serii pomiarów temperatury powietrza, także serii preferencyjnych.

### **3. Zakres wahań temperatury powietrza w Warszawie (Obserwatorium) w latach 1779-1997**

W ciągu ostatnich dwóch stuleci można wyróżnić cztery przedziały czasu znacznie różniące się klimatem (rys. 40-56):

#### **1. 1779-1800 (ocieplenie)**

Lata te można traktować jako optimum klimatu. Średnia roczna temperatura powietrza w dziesięcioleciu 1791-1800 wynosi 7,8°C.

#### **2. 1801-1889 (ochłodzenie)**

Największe ochłodzenie klimatu wystąpiło w latach 1811-1820 podczas najsłabszego wydłużonego cyklu (13-letniego) aktywności Słońca (1811-1823). Średnia dziesięcioletnia 7,0°C jest mniejsza od średniej z 218 lat (7,7°C) o 0,7°C. Wówczas wystąpił najchłodniejszy rok 1829 o średniej temperaturze 4,7°C.

To największe ochłodzenie klimatu Warszawy (i Europy) przypada jednocześnie na maksimum wiekowe aktywności wulkanicznej. Na początku XIX wieku wybuchły wulkany o największym wskaźniku zapylenia atmosfery *DVI* (dust veil index H. Lamba, 1974): wulkany Tambora o *DVI* = 3000 w 1815 r., Cosequina o *DVI* = 4000 w 1835 r. Powstała w stratosferze po tych wybuchach warstwa aerozoli siarczanowych mogła w znacznym stopniu zmniejszyć dopływ promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi.

### 3. 1890-1980 (postępujące ocieplenie)

W tym stuleciu temperatura powietrza „systematycznie” wzrastała zwłaszcza zimą od  $0,2^{\circ}\text{C}$  do  $0,4^{\circ}\text{C}$  na końcu lat siedemdziesiątych XX wieku.

### 4. 1981-1999 (duże ocieplenie)

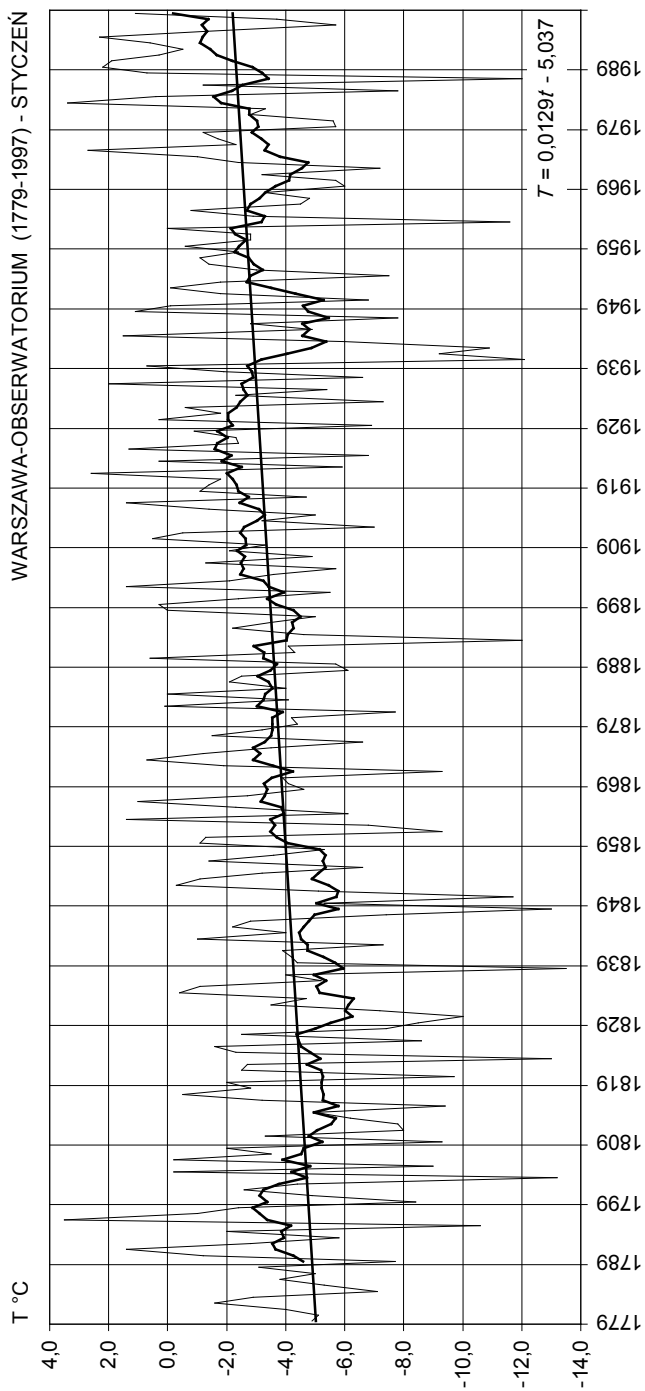
Tendencja temperatury jest rosnąca. Dwa ostatnie 10-lecia są najcieplejsze w 218-letniej historii pomiarów temperatury powietrza w Warszawie ze średnimi  $8,5$  i  $8,6^{\circ}\text{C}$ .

Najcieplejszy był rok 1989 o średniej temperaturze  $9,8^{\circ}\text{C}$ .

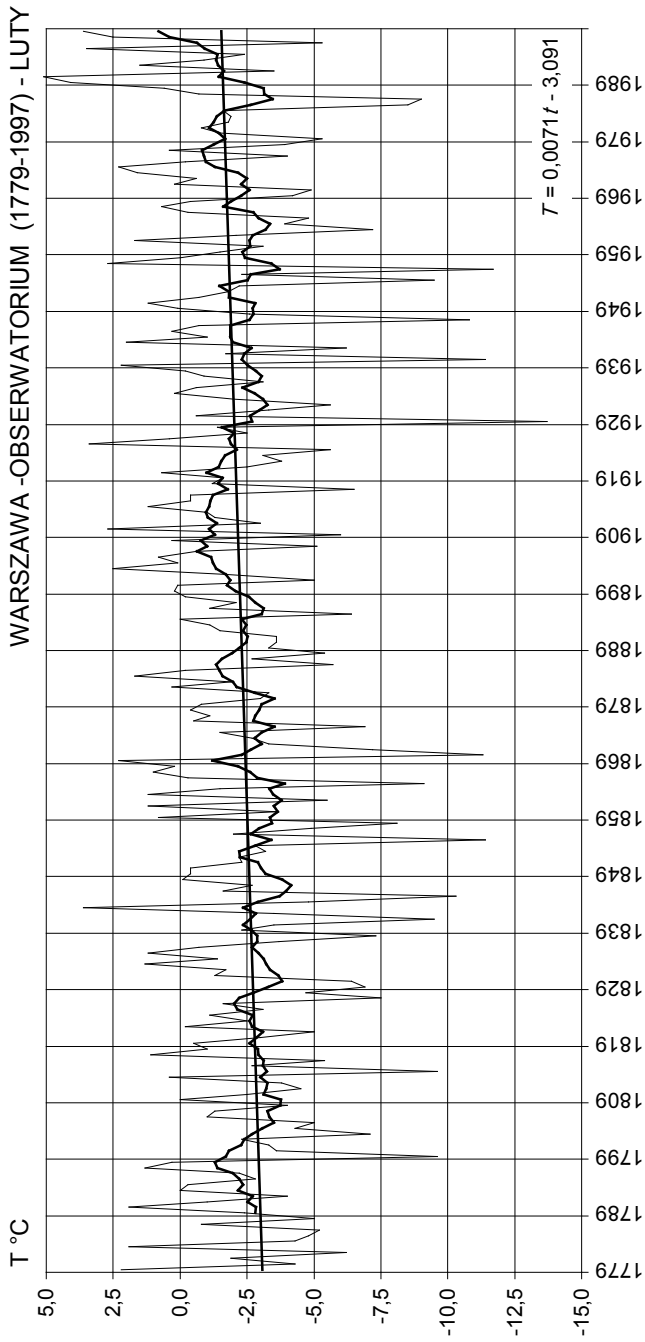
Głównymi przyczynami obserwowanego postępującego ocieplenia klimatu Warszawy (i Europy) są przyczyny naturalne. Pomijając bardzo powolne zmiany spowodowane długimi okresami wahań parametrów orbity Ziemi do czynników naturalnych można zaliczyć:

- Wzrost aktywności Słońca (liczb Wolfa) o  $22,2/100$  lat. W ostatnich dwóch stuleciach wzrosła ona średnio o  $34,5$  (tj. o ponad  $50\%$  w odniesieniu do średniej).
- Wraz ze wzrostem aktywności Słońca wzrosła stała słoneczna (wahająca się w ciągu roku o  $\pm 3,3\%$  w wyniku zmiany odległości od Słońca). Maksymalna wartość stałej słonecznej w cyklu 11-letnim plam słonecznych przypada na przedział liczb Wolfa  $80-100$  (Kondratiew, Nikolski, 1970). Tendencja stałej słonecznej jest rosnąca i jest prawdopodobnie jedną z głównych przyczyn postępującego ocieplenia
- Obserwuje się malejącą tendencję wskaźnika *DVI* po roku 1880 i większe odstępy czasu między kolejnymi eksplozywnymi wybuchami wulkanów. Ma to duży wpływ na coraz większy dopływ energii słonecznej do powierzchni Ziemi (absorpcja i rozpraszanie promieniowania krótkofalowego Słońca).
- To postępujące ocieplenie może być wynikiem nakładania bardzo długiego holocenijskiego cyklu klimatu – jego fazy cieplej i czynników antropogenicznych (efektu cieplarnianego atmosfery wywołanego przez  $\text{CO}_2$  i miejskich wysp ciepła).

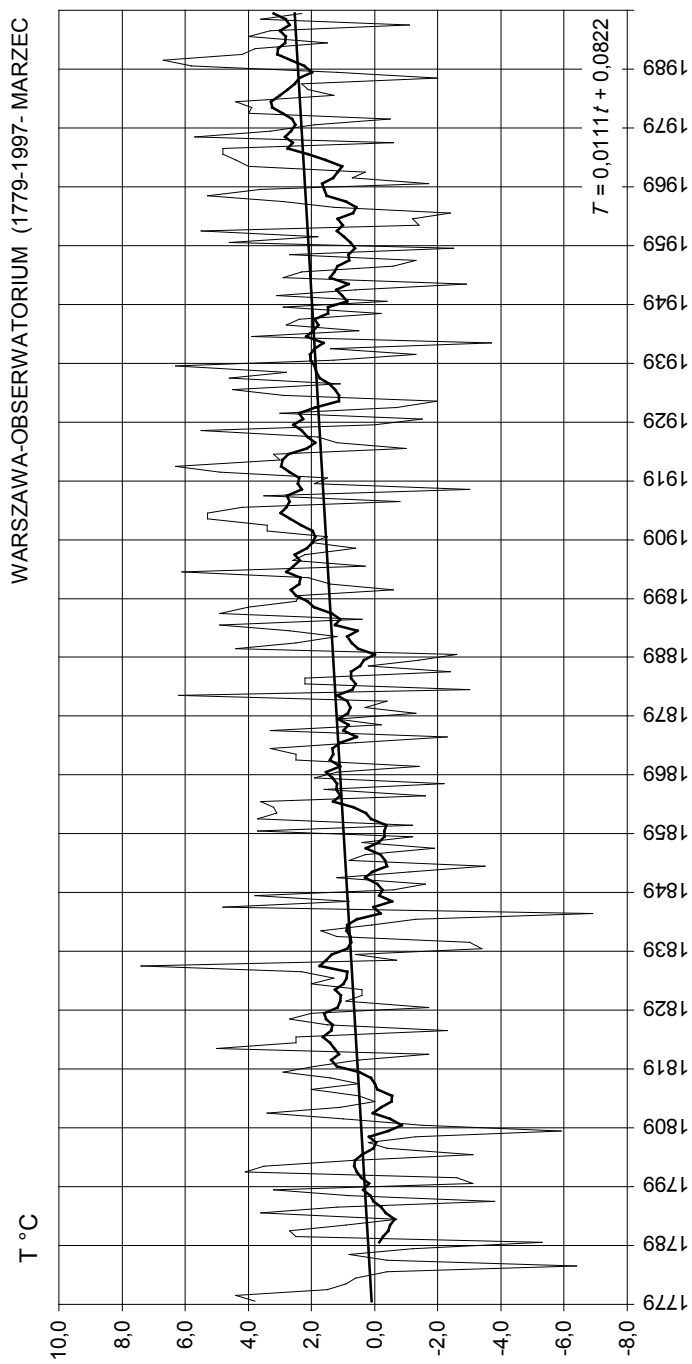
Średnie i średnie konsekwentne 11-letnie wartości temperatury powietrza w poszczególnych miesiącach, sezonach i roku w Warszawie w latach 1779-1997 przedstawiono na rys. 40-56. Tendencje temperatury powietrza określają równania prostych regresji  $T = At + A_0$ .



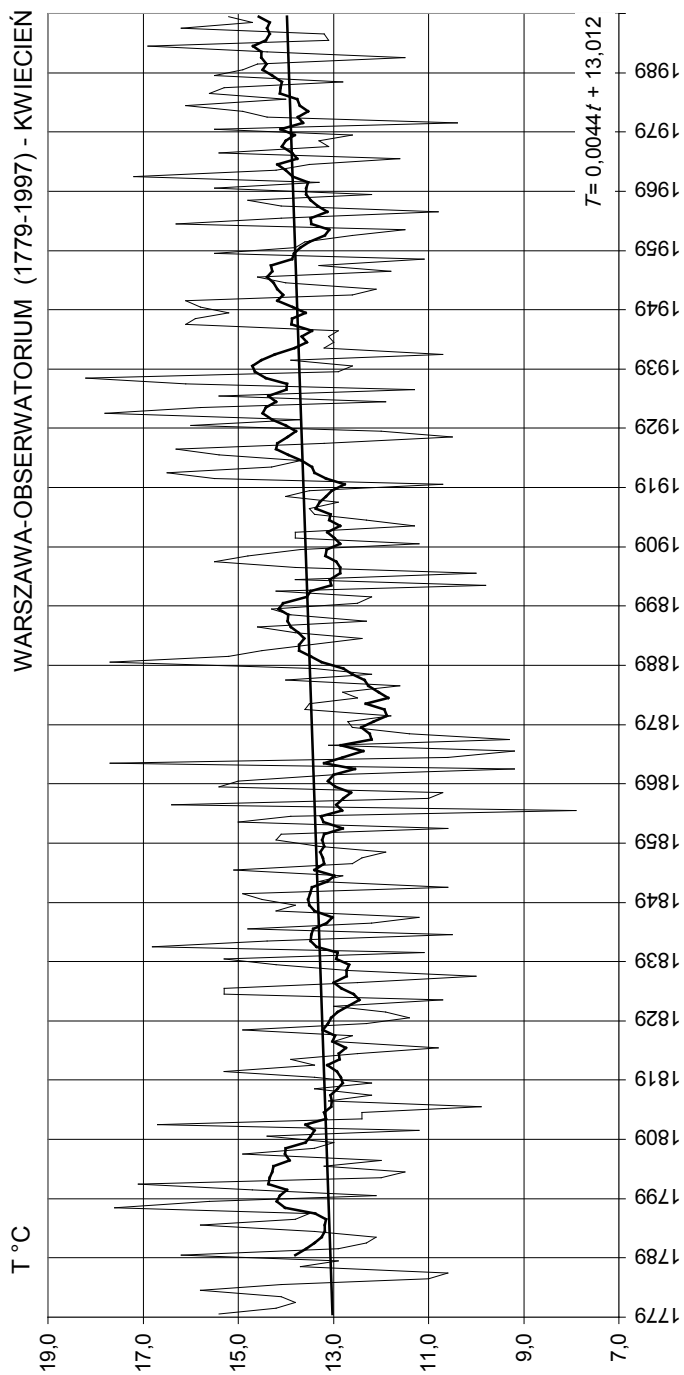
Rys. 40. Temperatura powietrza na stacji Warszawa-Observatorium w latach 1779-1997 – styczeń  
Air temperature changes in Warsaw (Observatorium) in years 1779-1997 – January



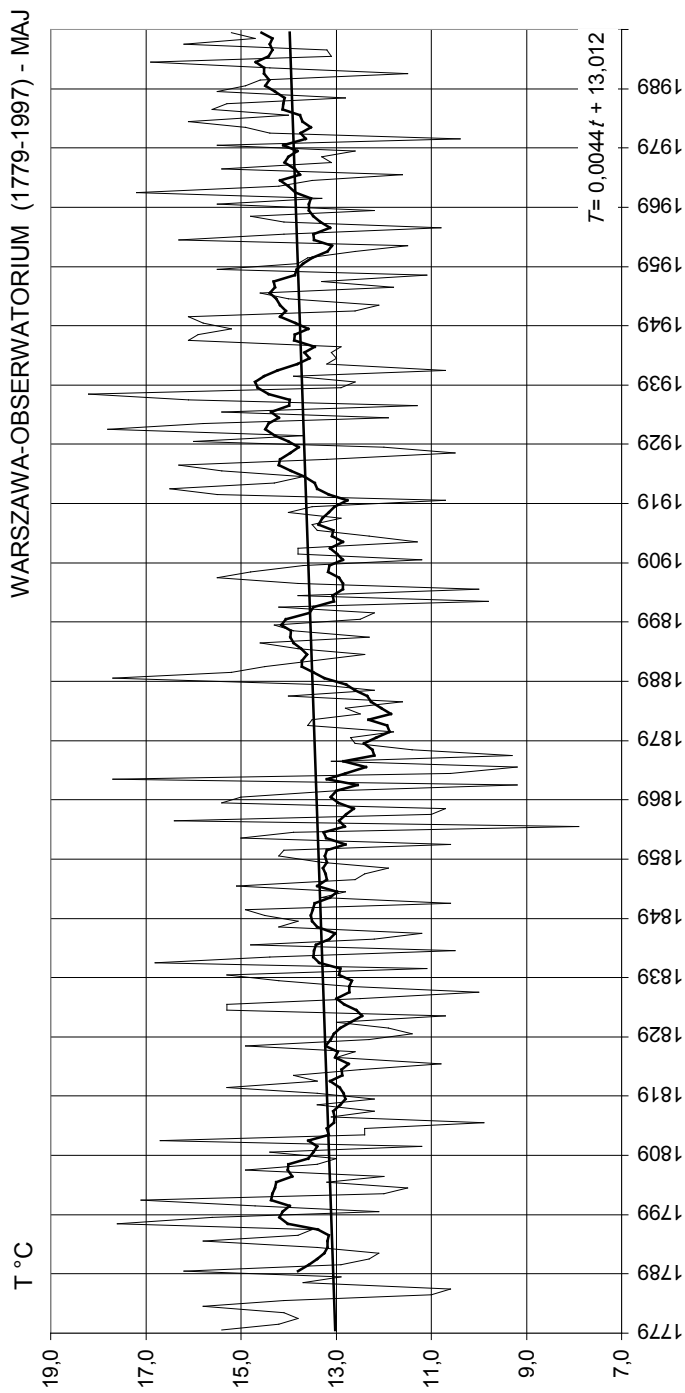
Rys. 41. Temperatura powietrza na stacji Warszawa-Observatorium w latach 1779-1997 – luty  
 Air temperature changes in Warsaw (Observatorium) in years 1779-1997 – February



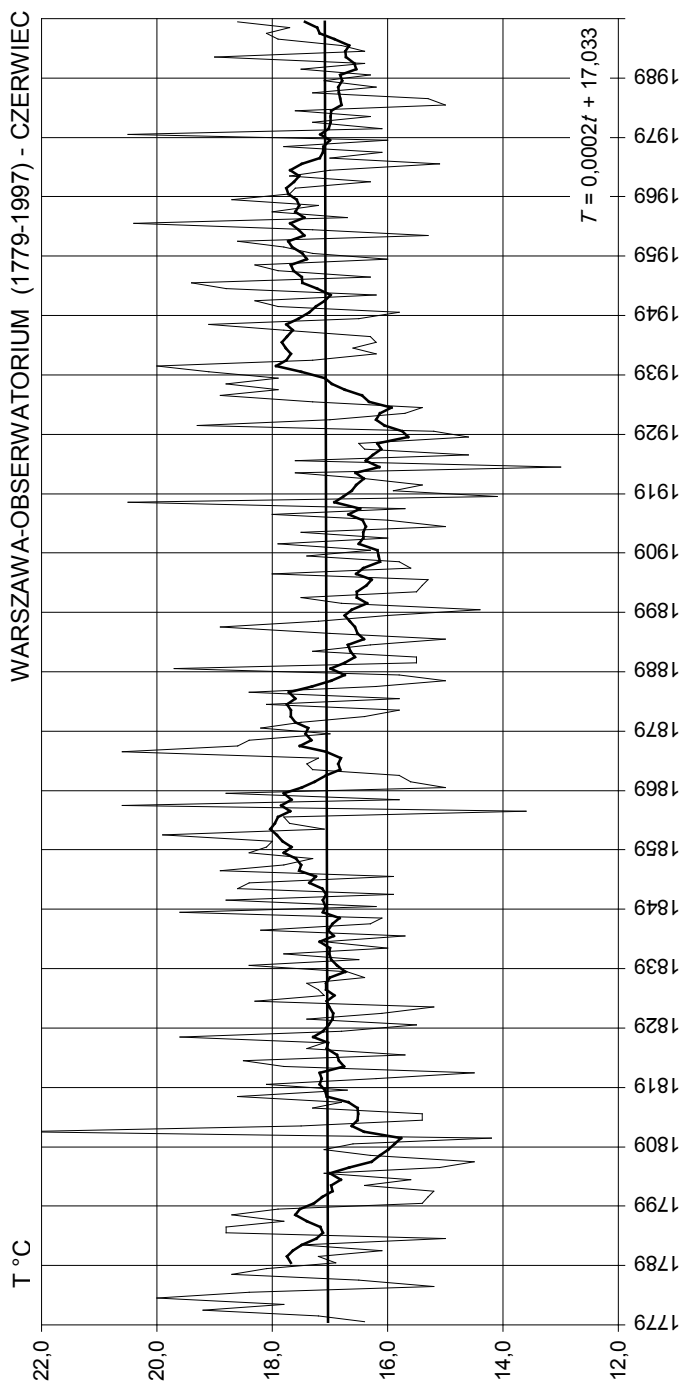
Rys. 42. Temperatura powietrza na stacji Warszawa-Observatorium w latach 1779-1997 – marzec  
Air temperature changes in Warsaw (Observatorium) in years 1779-1997 – March



Rys. 43. Temperatura powietrza na stacji Warszawa-Observatorium w latach 1779-1997 – kwiecień  
 Air temperature changes in Warsaw (Observatorium) in years 1779-1997 – April

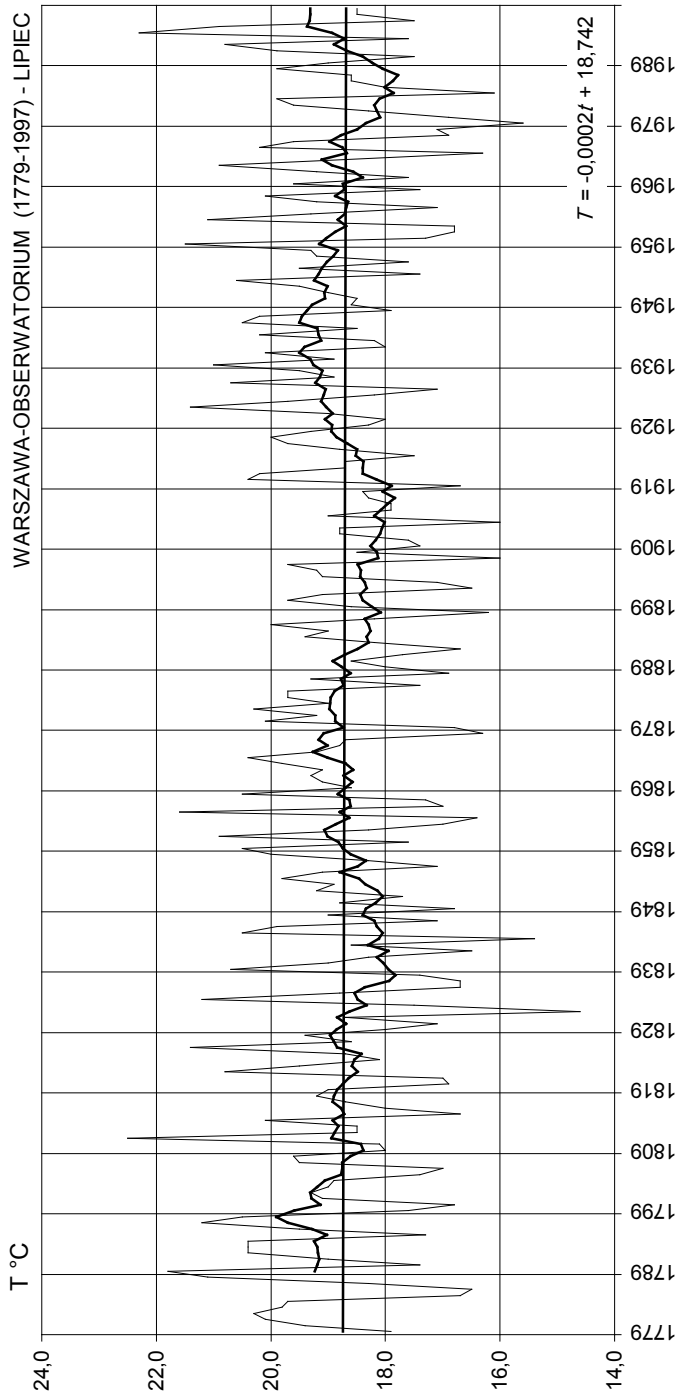


Rys. 44. Temperatura powietrza na stacji Warszawa-Observatorium w latach 1779-1997 – maj  
Air temperature changes in Warsaw (Observatorium) in years 1779-1997 – May

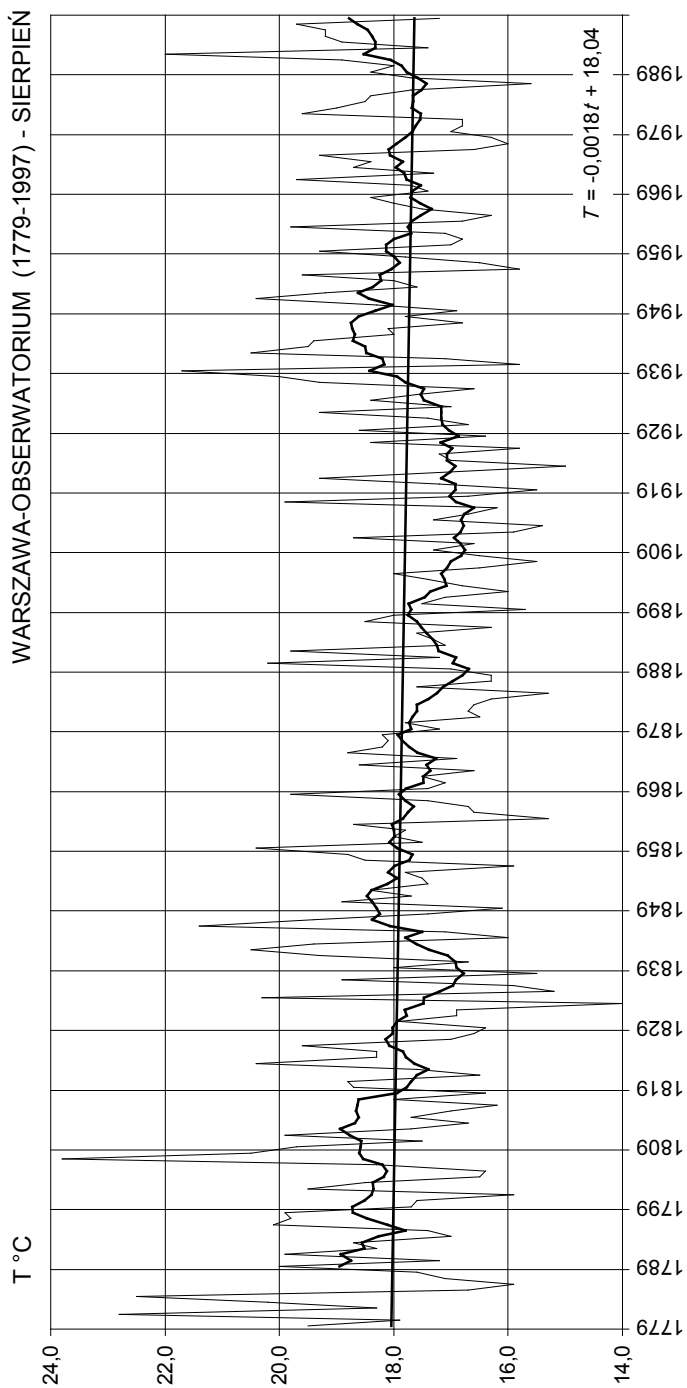


Rys. 45. Temperatura powietrza na stacji Warszawa-Observatorium w latach 1779-1997 – czerwiec  
Air temperature changes in Warsaw (Observatorium) in years 1779-1997 – June

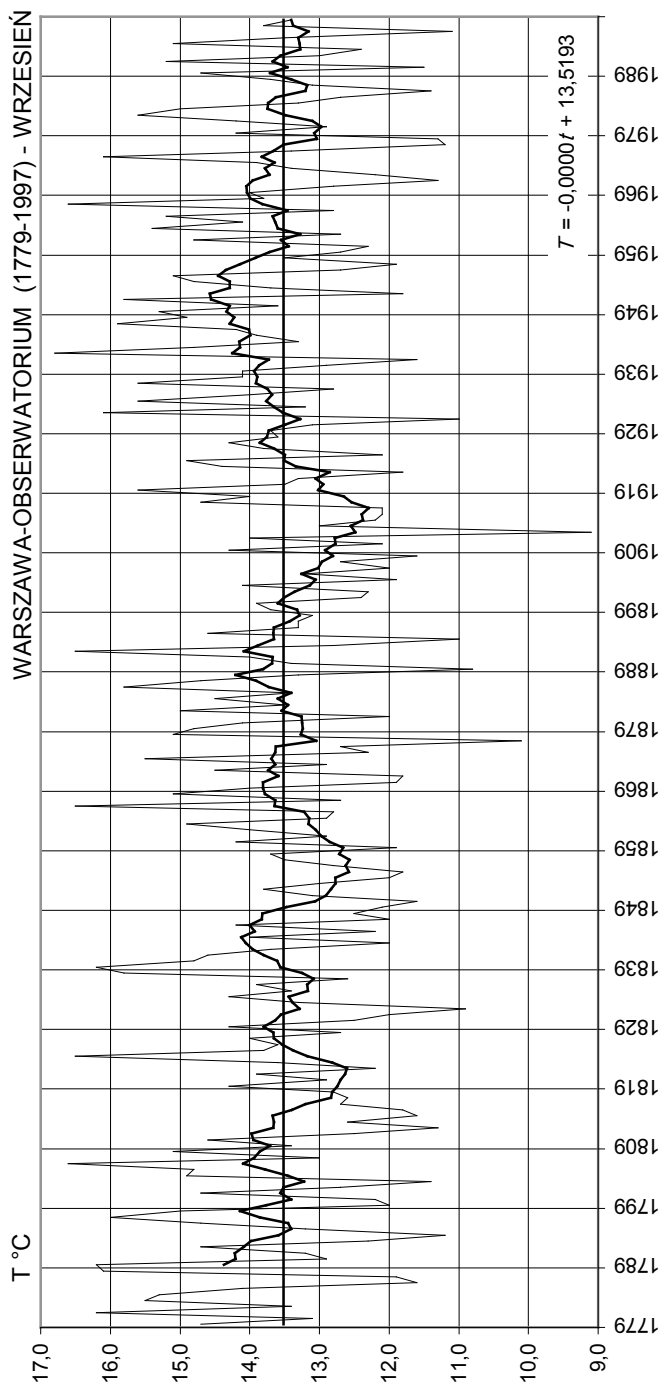




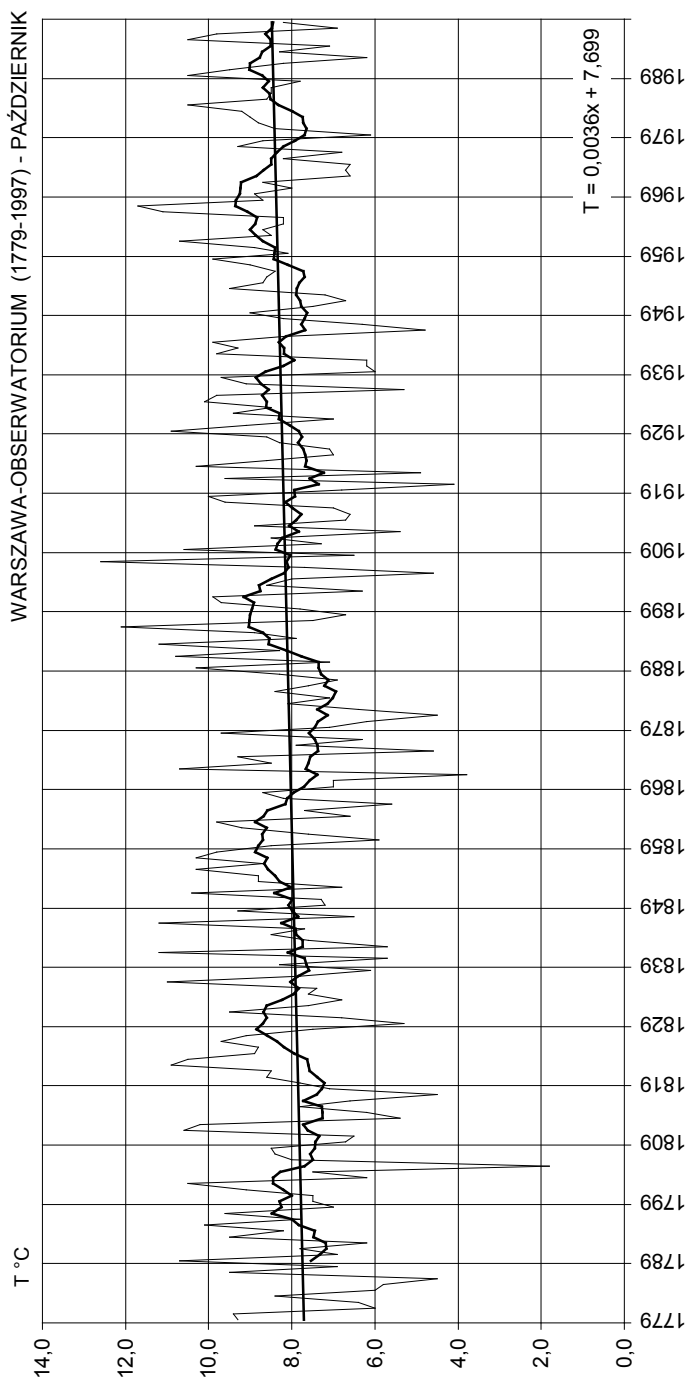
Rys. 46. Temperatura powietrza na stacji Warszawa-Observatorium w latach 1779-1997 – lipiec  
 Air temperature changes in Warsaw (Observatorium) in years 1779-1997 – July



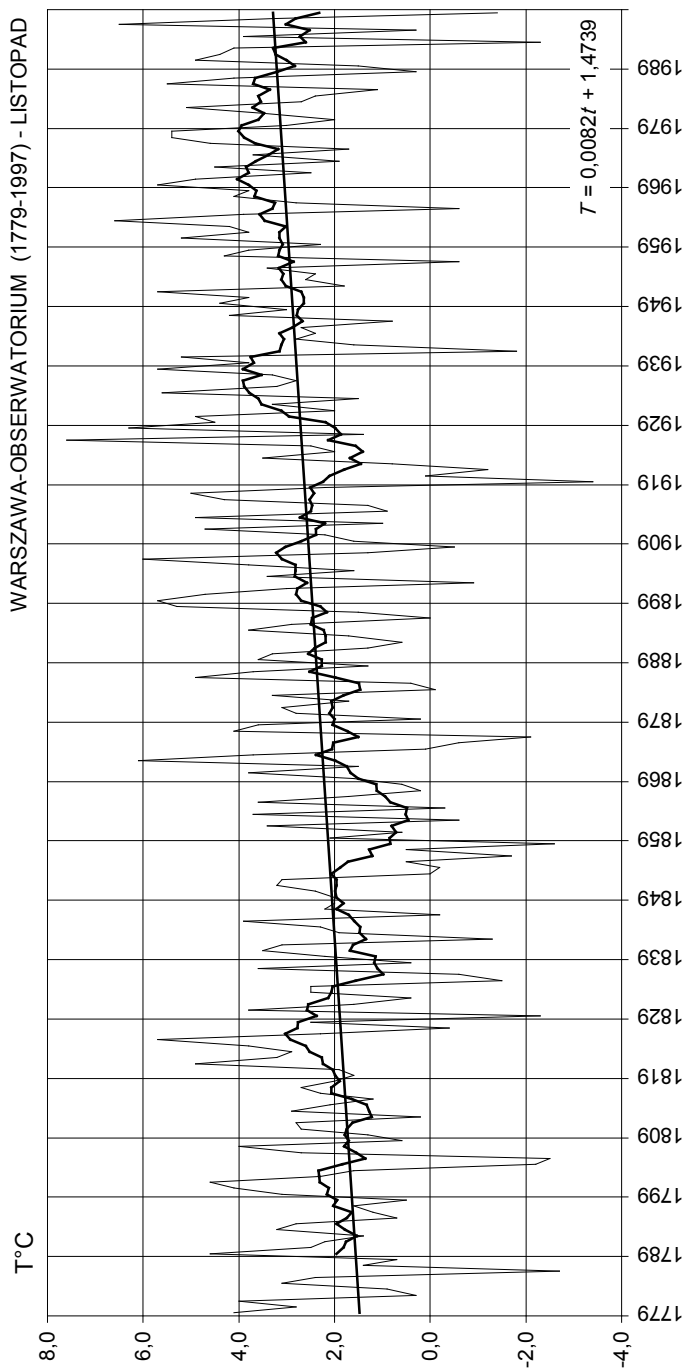
Rys. 47. Temperatura powietrza na stacji Warszawa-Observatorium w latach 1779-1997 – sierpień  
 Air temperature changes in Warsaw (Observatorium) in years 1779-1997 – August



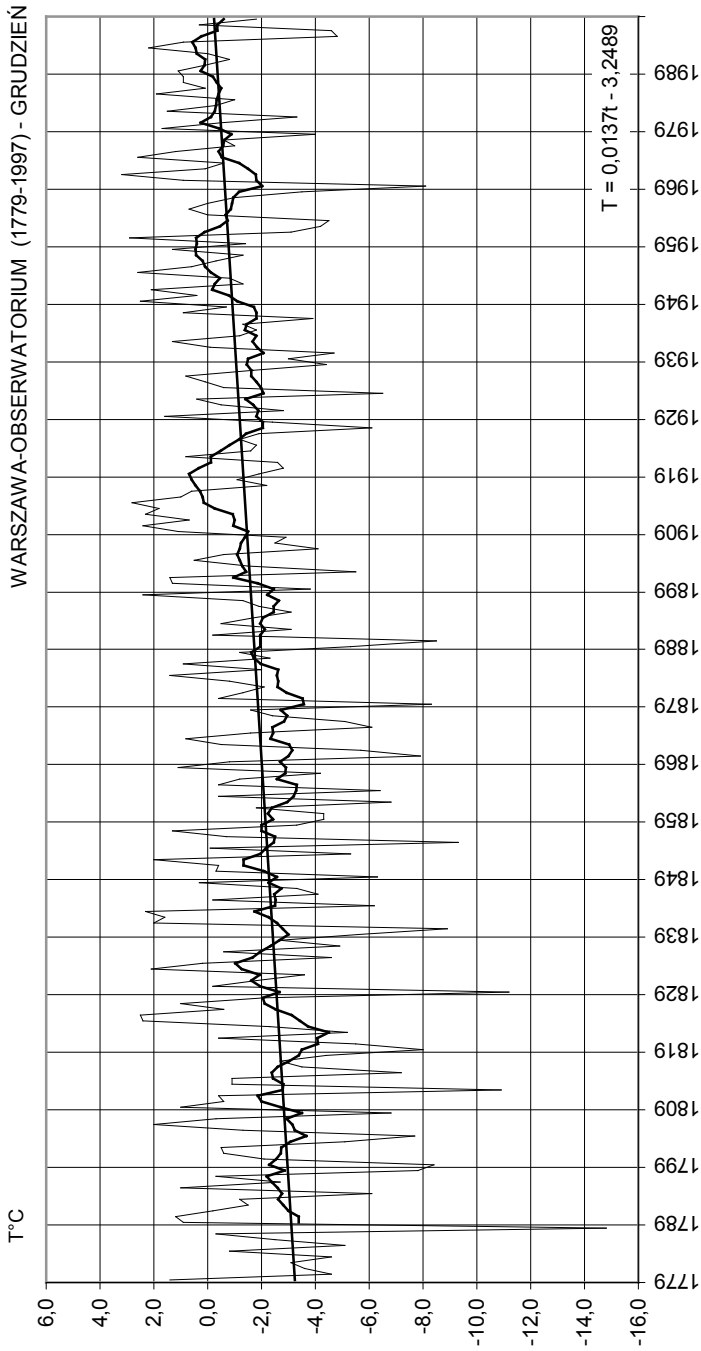
Rys. 48. Temperatura powietrza na stacji Warszawa-Observatorium w latach 1779-1997 – wrzesień  
Air temperature changes in Warsaw (Observatorium) in years 1779-1997 – September



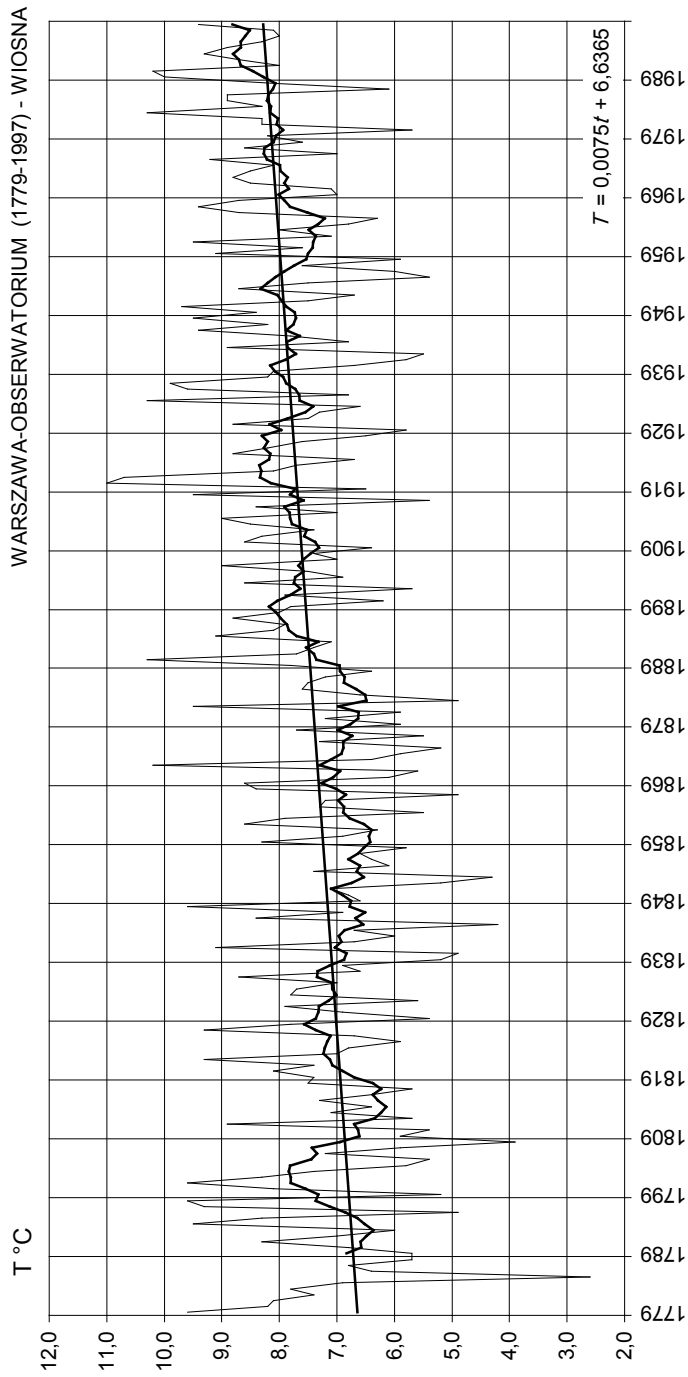
Rys. 49. Temperatura powietrza na stacji Warszawa-Observatorium w latach 1779-1997 – październik  
 Air temperature changes in Warsaw (Observatorium) in years 1779-1997 – October



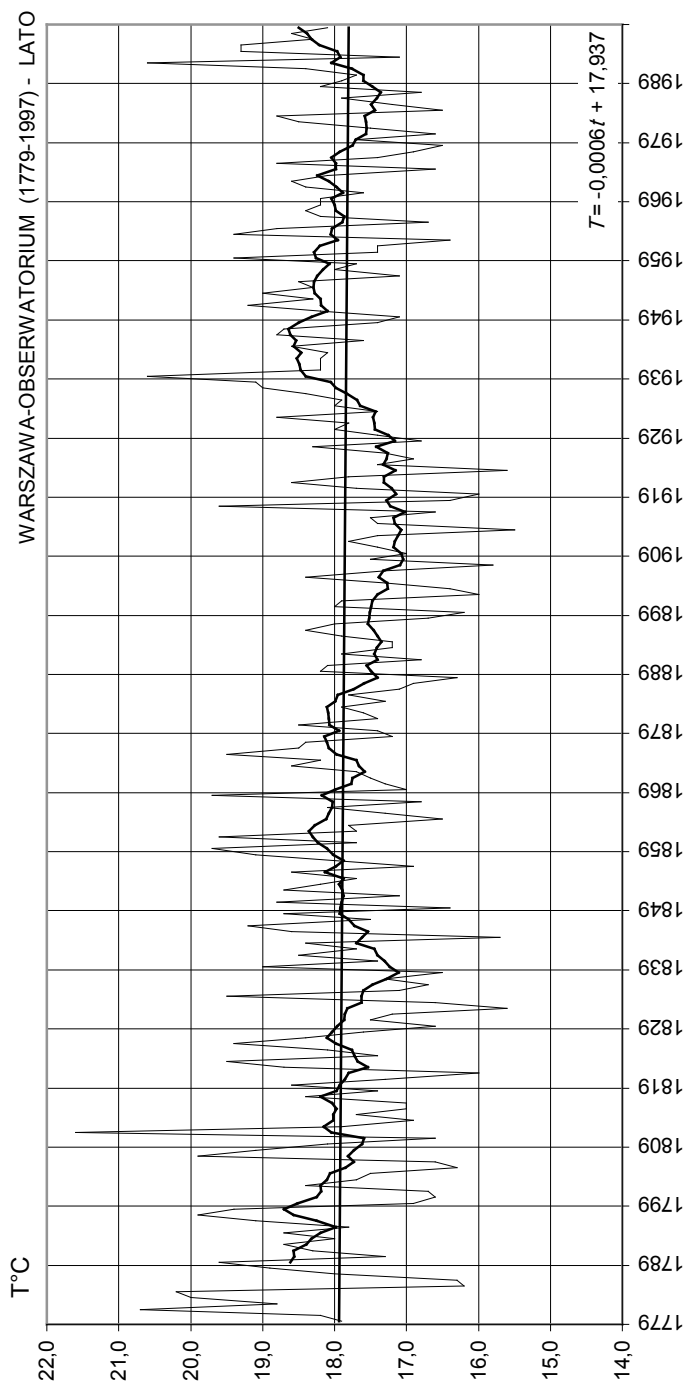
Rys. 50. Temperatura powietrza na stacji Warszawa-Observatorium w latach 1779-1997 – listopad  
Air temperature changes in Warsaw (Observatorium) in years 1779-1997 – November



Rys. 51. Temperatura powietrza na stacji Warszawa-Observatorium w latach 1779-1997 – grudzień  
 Air temperature changes in Warsaw (Observatorium) in years 1779-1997 – December

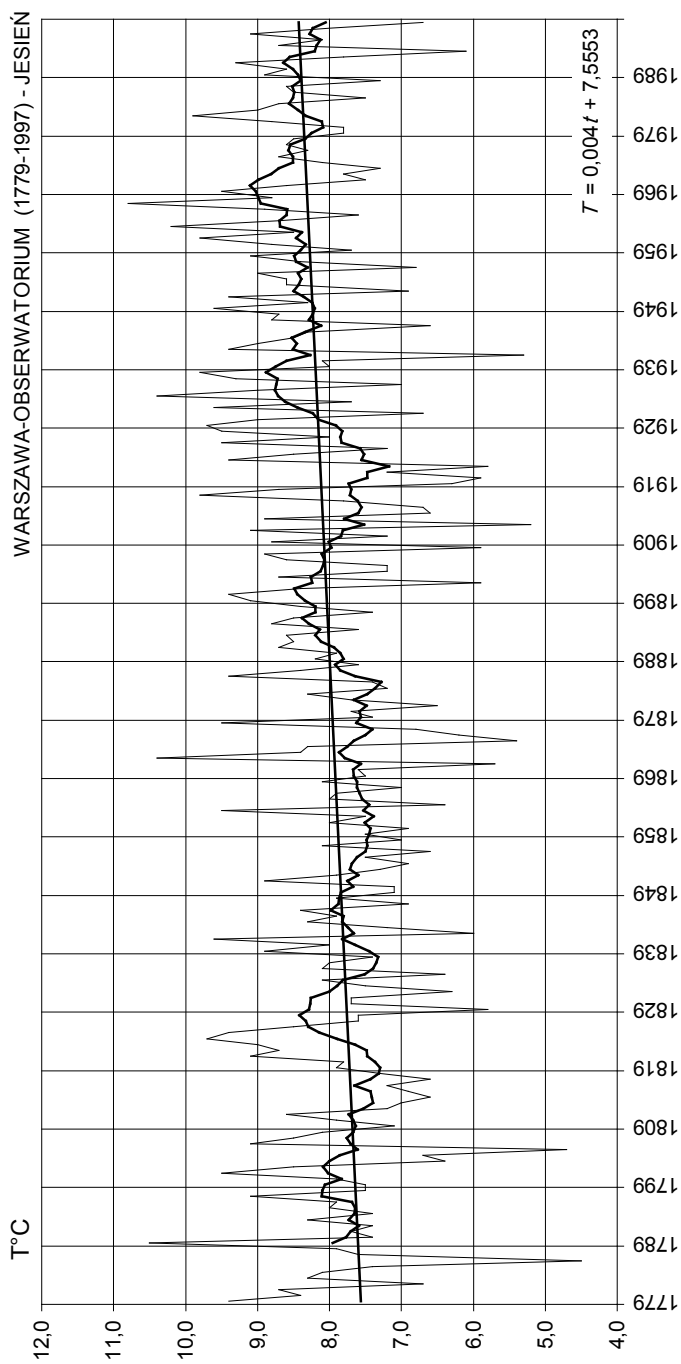


Rys. 52. Temperatura powietrza na stacji Warszawa-Observatorium w latach 1779-1997 – wiosna  
 Air temperature changes in Warsaw (Observatorium) in years 1779-1997 – spring

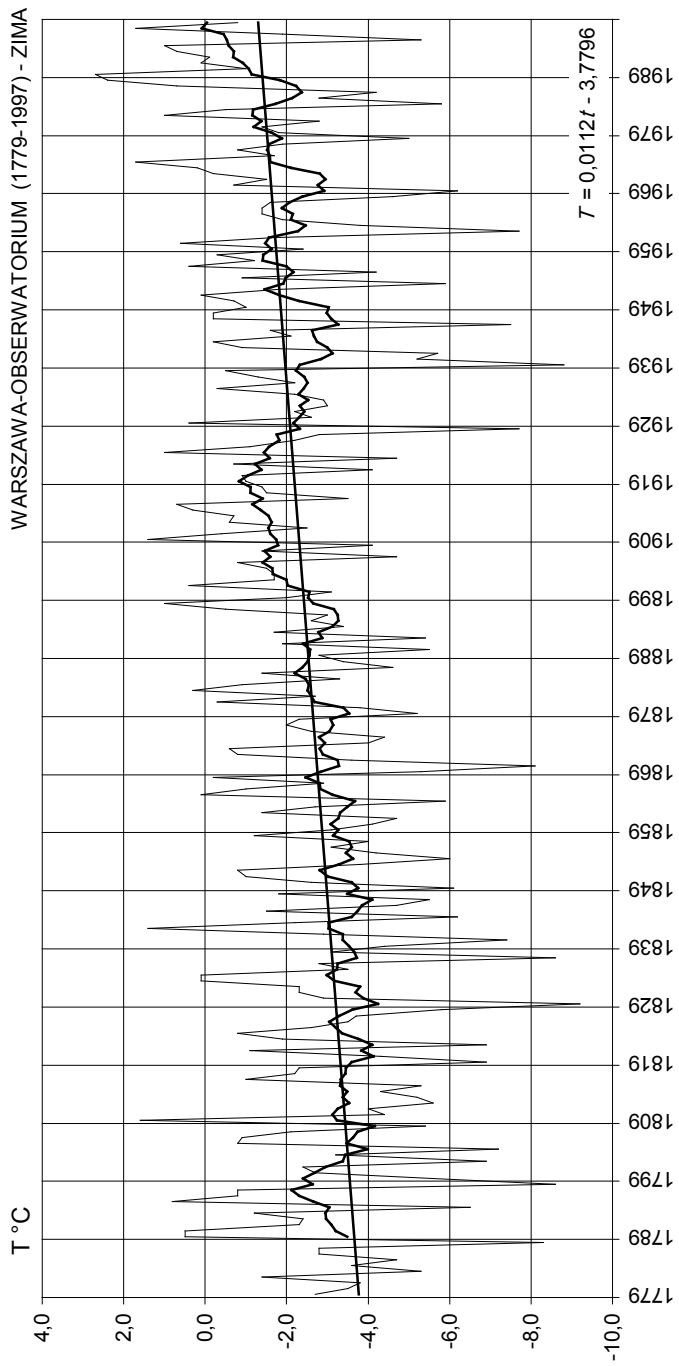


Rys. 53. Temperatura powietrza na stacji Warszawa-Observatorium w latach 1779-1997 – lato  
 Air temperature changes in Warsaw (Observatorium) in years 1779-1997 – summer

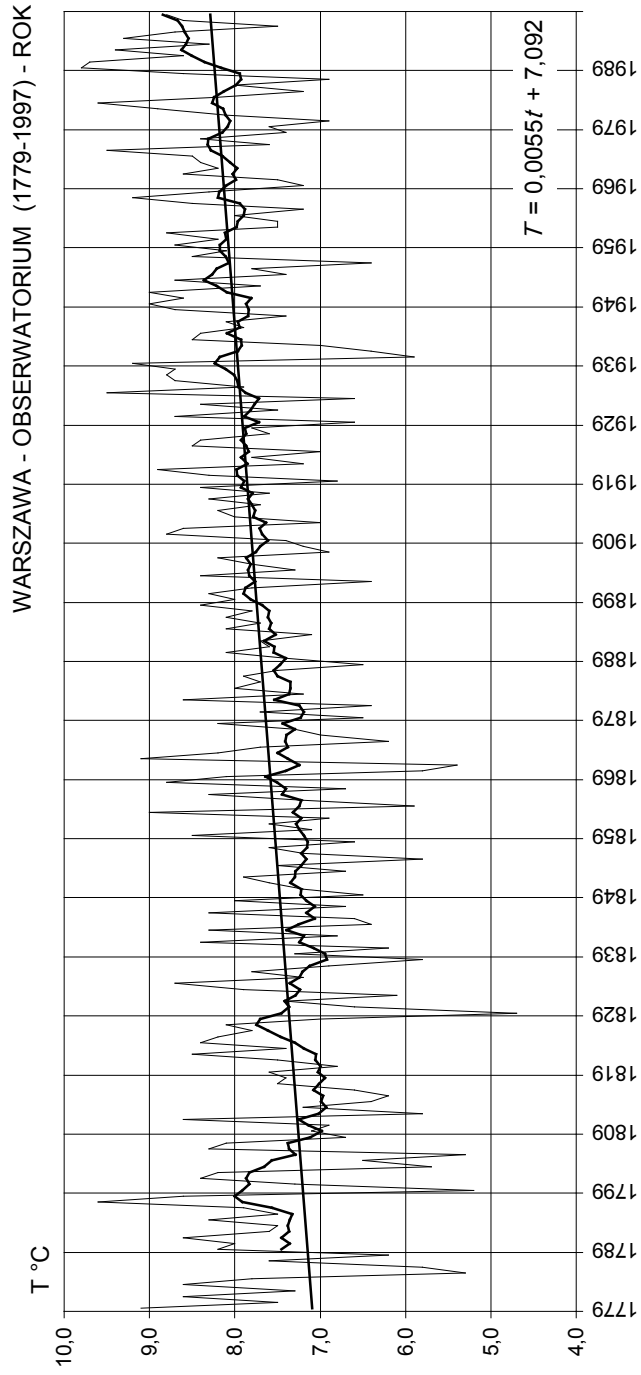




Rys. 54. Temperatura powietrza na stacji Warszawa-Observatorium w latach 1779-1997 – jesień  
 Air temperature changes in Warsaw (Observatorium) in years 1779-1997 – autumn



Rys. 55. Temperatura powietrza na stacji Warszawa-Observatorium w latach 1779-1997 – zima  
 Air temperature changes in Warsaw (Observatorium) in years 1779-1997 – winter



Rys. 56. Temperatura powietrza na stacji Warszawa-Observatorium w latach 1779-1997 – rok  
 Air temperature changes in Warsaw (Observatorium) in years 1779-1997 – year

Tab. 5. Temperatura powietrza na stacji Warszawa-Observatorium w latach 1779-1999 (H. Lorenc, 2000)  
 The air temperature in station Warsaw-Observatorium in years 1779-1999 (H. Lorenc, 2000)

| Lata | I     | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII   | III-<br>V | VI-<br>VIII | IX-<br>XI | XII-<br>II | I-<br>XII |
|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-----------|-------------|-----------|------------|-----------|
| 1779 | -4,9  | 2,2  | 3,8  | 9,5  | 15,4 | 16,4 | 17,9 | 19,5 | 14,7 | 9,3  | 4,1  | 1,4   | 9,6       | 17,9        | 9,4       | -2,7       | 9,1       |
| 1780 | -5,1  | -4,3 | 4,4  | 5,9  | 14,2 | 17,2 | 19,4 | 17,9 | 13,1 | 9,4  | 2,8  | -4,6  | 8,2       | 18,2        | 8,4       | -3,5       | 7,5       |
| 1781 | -4,0  | -1,9 | 1,5  | 9,1  | 13,8 | 19,2 | 20,1 | 22,8 | 16,2 | 6,0  | 4,0  | -3,6  | 8,1       | 20,7        | 8,7       | -3,8       | 8,6       |
| 1782 | -1,6  | -6,2 | 0,9  | 7,3  | 14,1 | 17,8 | 20,3 | 18,3 | 13,4 | 6,4  | 0,3  | -3,1  | 7,4       | 18,8        | 6,7       | -1,4       | 7,3       |
| 1783 | -2,9  | 1,9  | 0,6  | 7,1  | 15,8 | 20,0 | 19,8 | 20,2 | 15,5 | 8,4  | 0,9  | -4,6  | 7,8       | 20,0        | 8,3       | -5,3       | 8,6       |
| 1784 | -7,1  | -4,3 | -0,4 | 7,0  | 14,1 | 18,4 | 19,7 | 22,5 | 15,3 | 6,0  | 3,1  | -0,8  | 6,9       | 20,2        | 8,1       | -3,6       | 7,8       |
| 1785 | -5,3  | -4,8 | -6,4 | 3,1  | 11,0 | 15,2 | 16,7 | 16,7 | 14,1 | 5,8  | 2,4  | -5,1  | 2,6       | 16,2        | 7,4       | -4,7       | 5,3       |
| 1786 | -3,8  | -5,2 | -0,4 | 8,9  | 10,6 | 16,5 | 16,5 | 15,9 | 11,6 | 4,5  | -2,7 | -2,5  | 6,4       | 16,3        | 4,5       | -2,8       | 5,8       |
| 1787 | -5,0  | -0,8 | 0,8  | 5,9  | 13,7 | 18,7 | 18,3 | 17,1 | 11,9 | 9,5  | 1,4  | -0,3  | 6,8       | 18,0        | 7,6       | -2,8       | 7,6       |
| 1788 | -3,1  | -5,0 | -1,2 | 5,4  | 12,9 | 18,1 | 21,1 | 17,6 | 16,1 | 6,9  | 0,7  | -14,8 | 5,7       | 18,9        | 7,9       | -8,3       | 6,2       |
| 1789 | -7,7  | -2,4 | -5,3 | 6,2  | 16,2 | 16,9 | 21,8 | 20,0 | 16,2 | 10,7 | 4,6  | 0,9   | 5,7       | 19,6        | 10,5      | 0,5        | 8,2       |
| 1790 | -1,2  | 1,9  | 2,5  | 5,1  | 12,9 | 17,2 | 17,4 | 17,2 | 12,9 | 6,9  | 2,5  | 1,2   | 6,8       | 17,3        | 7,4       | 0,5        | 8,0       |
| 1791 | 1,4   | -1,0 | 2,7  | 10,1 | 12,3 | 16,1 | 19,0 | 19,9 | 13,2 | 7,8  | 2,2  | -0,2  | 8,3       | 18,3        | 7,7       | -2,3       | 8,6       |
| 1792 | -2,8  | -4,0 | 0,9  | 8,0  | 12,1 | 17,5 | 20,4 | 18,3 | 14,7 | 6,2  | 1,4  | -1,5  | 7,0       | 18,7        | 7,4       | -2,4       | 7,6       |
| 1793 | -5,8  | 0,0  | -0,7 | 5,3  | 13,4 | 15,0 | 20,4 | 18,7 | 12,3 | 9,5  | 3,2  | -1,2  | 6,0       | 18,0        | 8,3       | -1,2       | 7,5       |
| 1794 | -2,0  | -0,3 | 3,6  | 9,2  | 15,8 | 18,8 | 20,4 | 17,0 | 11,2 | 8,2  | 2,8  | -6,1  | 9,5       | 18,7        | 7,4       | -6,5       | 8,3       |
| 1795 | -10,6 | -2,8 | 1,2  | 10,0 | 13,8 | 18,8 | 17,3 | 17,4 | 13,2 | 10,1 | 0,7  | 1,0   | 8,3       | 17,8        | 8,0       | 0,8        | 7,5       |
| 1796 | 3,5   | -2,2 | -3,8 | 4,9  | 13,5 | 17,8 | 19,5 | 20,1 | 14,7 | 7,8  | 1,2  | -2,7  | 4,9       | 19,1        | 7,9       | -0,8       | 7,9       |
| 1797 | -1,0  | 1,3  | 0,8  | 9,4  | 17,6 | 18,7 | 21,2 | 19,8 | 16,0 | 9,6  | 1,6  | -0,3  | 9,3       | 19,9        | 9,1       | -0,8       | 9,6       |
| 1798 | -2,4  | 0,3  | 3,2  | 10,0 | 15,6 | 17,9 | 20,5 | 19,9 | 15,0 | 7,0  | 0,5  | -7,8  | 9,6       | 19,4        | 7,5       | -8,6       | 8,6       |
| 1799 | -8,4  | -9,6 | -3,1 | 6,6  | 12,1 | 15,4 | 17,6 | 17,7 | 12,0 | 7,5  | 3,1  | -8,4  | 5,2       | 16,9        | 7,5       | -5,6       | 5,2       |
| 1800 | -4,9  | -3,6 | -2,6 | 12,3 | 14,7 | 15,3 | 16,8 | 17,6 | 12,2 | 7,5  | 4,1  | -2,1  | 8,1       | 16,6        | 7,9       | -2,7       | 7,3       |
| 1801 | -2,6  | -3,3 | 4,1  | 7,5  | 17,1 | 15,2 | 19,1 | 15,9 | 14,7 | 9,1  | 4,6  | -0,6  | 9,6       | 16,7        | 9,5       | -2,4       | 8,4       |
| 1802 | -4,4  | -2,3 | 3,5  | 9,3  | 12,0 | 16,4 | 19,3 | 19,5 | 12,7 | 10,5 | 2,3  | -0,5  | 8,3       | 18,4        | 8,5       | -6,9       | 8,2       |
| 1803 | -13,2 | -7,1 | 0,7  | 9,9  | 11,5 | 15,6 | 19,0 | 18,5 | 11,4 | 6,2  | 1,6  | -5,1  | 7,4       | 17,7        | 6,4       | -3,2       | 5,7       |
| 1804 | -9,0  | -4,3 | -3,1 | 7,2  | 13,2 | 17,1 | 18,9 | 16,5 | 14,9 | 7,5  | -2,2 | -7,7  | 5,8       | 17,5        | 6,7       | -7,2       | 6,5       |
| 1805 | -0,2  | -5,0 | -0,4 | 4,5  | 12,0 | 15,1 | 17,4 | 16,4 | 14,8 | 1,8  | -2,5 | -1,3  | 5,4       | 16,3        | 4,7       | -0,8       | 5,3       |
| 1806 | -0,2  | -1,0 | 0,2  | 6,4  | 14,9 | 14,5 | 17,0 | 18,3 | 16,6 | 8,0  | 2,7  | 2,0   | 7,2       | 16,6        | 9,1       | -0,9       | 8,3       |
| 1807 | -3,5  | -1,3 | -1,3 | 5,7  | 13,4 | 16,3 | 19,5 | 23,8 | 13,0 | 8,4  | 4,0  | -0,3  | 5,9       | 19,9        | 8,5       | -2,1       | 8,1       |
| 1808 | -2,0  | -4,0 | -5,9 | 4,7  | 13,0 | 17,1 | 19,6 | 20,5 | 15,1 | 8,5  | 0,6  | -6,8  | 3,9       | 19,1        | 8,1       | -5,4       | 6,7       |
| 1809 | -9,3  | 0,0  | -1,5 | 4,9  | 14,4 | 16,6 | 18,0 | 19,7 | 13,4 | 6,7  | 1,3  | 1,0   | 5,9       | 18,1        | 7,1       | 1,6        | 7,1       |
| 1810 | -3,3  | -2,5 | 1,0  | 3,9  | 11,2 | 14,2 | 18,1 | 17,5 | 14,6 | 6,5  | 2,7  | -0,6  | 5,4       | 16,6        | 7,9       | -4,4       | 6,9       |
| 1811 | -8,0  | -4,5 | 3,4  | 6,5  | 16,7 | 22,4 | 22,5 | 19,9 | 12,5 | 10,6 | 2,8  | -0,4  | 8,9       | 21,6        | 8,6       | -4,0       | 8,6       |
| 1812 | -7,8  | -3,8 | 1,1  | 3,5  | 12,4 | 17,5 | 18,5 | 17,7 | 11,3 | 10,2 | 0,2  | -10,9 | 5,7       | 17,9        | 7,2       | -5,6       | 5,8       |
| 1813 | -6,2  | 0,4  | 0,0  | 9,0  | 12,4 | 15,4 | 18,5 | 16,7 | 12,6 | 5,4  | 2,9  | -0,9  | 7,1       | 16,9        | 7,0       | -5,2       | 7,2       |
| 1814 | -5,0  | -9,6 | 0,5  | 8,7  | 9,9  | 15,4 | 20,1 | 17,7 | 11,6 | 6,2  | 2,1  | -0,9  | 6,4       | 17,7        | 6,6       | -4,3       | 6,4       |
| 1815 | -9,4  | -2,7 | 2,0  | 6,8  | 13,1 | 17,3 | 16,7 | 17,0 | 11,8 | 7,8  | 1,2  | -7,2  | 7,3       | 17,0        | 6,9       | -5,3       | 6,2       |
| 1816 | -3,2  | -5,4 | 0,5  | 6,4  | 12,2 | 16,8 | 18,0 | 16,2 | 12,7 | 6,6  | 2,3  | -3,5  | 6,4       | 17,0        | 7,2       | -1,0       | 6,6       |
| 1817 | -0,5  | 1,1  | 1,4  | 2,4  | 13,4 | 18,6 | 18,7 | 18,0 | 12,6 | 4,5  | 2,7  | -2,7  | 5,7       | 18,4        | 6,6       | -2,2       | 7,5       |
| 1818 | -2,8  | -1,0 | 2,9  | 7,4  | 12,2 | 16,7 | 19,2 | 16,4 | 12,8 | 7,1  | 2,0  | -4,4  | 7,5       | 17,4        | 7,3       | -2,3       | 7,4       |
| 1819 | -2,0  | -0,5 | 1,9  | 6,8  | 13,4 | 18,1 | 19,0 | 18,7 | 14,3 | 7,8  | 1,6  | -8,0  | 7,4       | 18,6        | 7,9       | -6,9       | 7,6       |
| 1820 | -9,7  | -3,0 | 0,5  | 8,5  | 15,3 | 16,2 | 16,9 | 18,8 | 12,9 | 8,6  | 1,9  | -5,5  | 8,1       | 17,3        | 7,8       | -4,3       | 6,8       |
| 1821 | -2,5  | -5,0 | -1,7 | 10,6 | 13,4 | 14,5 | 17,0 | 16,5 | 13,9 | 8,5  | 4,9  | -0,4  | 7,4       | 16,0        | 9,1       | -1,1       | 7,5       |

Cd. tab. 5.

| Lata | I     | II    | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII   | III-V | VI-VIII | IX-XI | XII-II | I-XII |
|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|---------|-------|--------|-------|
| 1822 | -2,7  | -0,2  | 5,0  | 9,0  | 13,9 | 17,8 | 20,8 | 17,6 | 12,2 | 10,9 | 3,2  | -5,2  | 9,3   | 18,7    | 8,7   | -6,9   | 8,5   |
| 1823 | -13,0 | -2,5  | 2,5  | 6,0  | 12,5 | 18,5 | 19,5 | 20,4 | 13,6 | 10,5 | 2,9  | -2,3  | 7,0   | 19,5    | 9,0   | -1,9   | 7,4   |
| 1824 | -2,3  | -1,1  | 2,5  | 7,0  | 10,8 | 15,7 | 18,1 | 18,3 | 16,5 | 8,9  | 3,8  | 2,4   | 6,8   | 17,4    | 9,7   | -0,8   | 8,4   |
| 1825 | -1,6  | -3,1  | -2,3 | 6,9  | 13,0 | 17,4 | 18,7 | 18,3 | 13,8 | 8,8  | 5,7  | 2,5   | 5,9   | 18,1    | 9,4   | -2,6   | 8,2   |
| 1826 | -8,6  | -1,6  | 1,5  | 6,2  | 12,6 | 17,1 | 21,4 | 19,6 | 13,6 | 9,7  | 2,3  | -0,6  | 6,7   | 19,4    | 8,5   | -3,5   | 7,8   |
| 1827 | -2,5  | -7,5  | 2,7  | 10,4 | 14,9 | 19,6 | 18,6 | 17,0 | 14,0 | 9,1  | -0,4 | 1,0   | 9,3   | 18,4    | 7,6   | -3,7   | 8,1   |
| 1828 | -7,4  | -4,7  | 2,0  | 9,2  | 12,3 | 16,8 | 19,4 | 16,6 | 12,7 | 7,5  | 2,5  | -2,1  | 7,8   | 17,6    | 7,6   | -5,8   | 7,0   |
| 1829 | -8,5  | -6,9  | -1,7 | 6,6  | 11,4 | 15,5 | 18,0 | 16,4 | 14,3 | 5,3  | -2,3 | -11,2 | 5,4   | 16,6    | 5,8   | -9,2   | 4,7   |
| 1830 | -10,0 | -6,4  | 0,9  | 8,0  | 11,9 | 17,4 | 17,1 | 17,9 | 12,5 | 6,8  | 3,8  | -0,2  | 6,9   | 17,5    | 7,7   | -2,9   | 6,6   |
| 1831 | -7,2  | -1,3  | 0,4  | 10,4 | 13,0 | 16,1 | 18,7 | 16,9 | 12,0 | 9,5  | 1,6  | -1,8  | 7,9   | 17,2    | 7,7   | -2,3   | 7,4   |
| 1832 | -3,5  | -1,7  | 0,4  | 5,7  | 10,7 | 15,2 | 14,6 | 16,9 | 10,9 | 7,6  | 0,4  | -3,6  | 5,6   | 15,6    | 6,3   | -2,3   | 6,1   |
| 1833 | -4,7  | 1,3   | 2,0  | 6,0  | 15,3 | 18,3 | 17,5 | 14,0 | 13,3 | 6,8  | 2,5  | 2,1   | 7,8   | 16,6    | 7,5   | 0,1    | 7,9   |
| 1834 | -0,4  | -1,4  | 1,3  | 6,4  | 15,3 | 17,1 | 21,2 | 20,3 | 14,3 | 7,6  | 2,5  | 0,2   | 7,7   | 19,5    | 8,1   | 0,1    | 8,7   |
| 1835 | -1,1  | 1,2   | 2,3  | 6,1  | 12,5 | 17,2 | 18,8 | 15,2 | 13,4 | 7,4  | -1,5 | -4,6  | 7,0   | 17,1    | 6,4   | -3,5   | 7,2   |
| 1836 | -5,2  | -0,7  | 7,4  | 8,8  | 10,0 | 17,4 | 16,7 | 15,9 | 13,9 | 11,0 | -0,6 | -0,6  | 8,7   | 16,7    | 8,1   | -2,8   | 7,8   |
| 1837 | -4,0  | -3,7  | -0,7 | 7,7  | 12,7 | 16,4 | 16,7 | 18,9 | 12,6 | 7,8  | 3,6  | -4,9  | 6,6   | 17,3    | 8,0   | -8,6   | 6,9   |
| 1838 | -13,5 | -7,3  | 0,6  | 5,8  | 14,2 | 16,7 | 17,4 | 15,5 | 15,8 | 6,1  | 0,4  | -2,7  | 6,9   | 16,5    | 7,4   | -3,1   | 5,8   |
| 1839 | -4,4  | -2,3  | -3,4 | 3,7  | 15,3 | 18,4 | 20,7 | 18,0 | 16,2 | 8,3  | 2,2  | -5,6  | 5,2   | 19,0    | 8,9   | -4,4   | 7,3   |
| 1840 | -4,2  | -3,5  | -3,0 | 6,5  | 11,1 | 16,5 | 19,0 | 16,7 | 14,8 | 5,7  | 3,5  | -8,9  | 4,9   | 17,4    | 8,0   | -7,4   | 6,2   |
| 1841 | -3,9  | -9,5  | 1,2  | 9,4  | 16,8 | 17,8 | 18,3 | 19,3 | 14,6 | 11,2 | 3,1  | 2,0   | 9,1   | 18,5    | 9,6   | -2,9   | 8,4   |
| 1842 | -7,3  | -3,5  | 1,7  | 4,0  | 14,4 | 16,0 | 16,5 | 20,5 | 13,7 | 5,7  | -1,3 | 1,6   | 6,7   | 17,7    | 6,0   | 1,4    | 6,8   |
| 1843 | -1,0  | 3,6   | 0,1  | 7,3  | 10,5 | 17,1 | 18,6 | 19,4 | 12,0 | 7,6  | 1,9  | 2,3   | 6,0   | 18,4    | 7,2   | -2,2   | 8,3   |
| 1844 | -4,0  | -4,8  | -1,3 | 6,6  | 14,8 | 15,7 | 15,4 | 16,0 | 14,0 | 8,5  | 2,3  | -6,2  | 6,7   | 15,7    | 8,3   | -6,2   | 6,4   |
| 1845 | -2,2  | -10,3 | -6,9 | 7,4  | 12,2 | 18,2 | 20,5 | 17,1 | 12,2 | 7,7  | 3,9  | -0,2  | 4,2   | 18,6    | 7,9   | -1,5   | 6,6   |
| 1846 | -2,8  | -1,6  | 4,8  | 9,1  | 11,2 | 16,3 | 19,9 | 21,4 | 14,2 | 11,2 | -0,2 | -4,1  | 8,4   | 19,2    | 8,4   | -4,7   | 8,3   |
| 1847 | -7,4  | -2,7  | 0,8  | 5,7  | 14,2 | 16,1 | 17,1 | 19,4 | 12,0 | 6,5  | 2,2  | -3,3  | 6,9   | 17,5    | 6,9   | -5,5   | 6,7   |
| 1848 | -13,0 | -0,1  | 3,8  | 11,1 | 13,8 | 19,6 | 19,0 | 17,4 | 12,5 | 9,3  | 2,0  | 0,3   | 9,6   | 18,7    | 7,9   | -1,8   | 8,0   |
| 1849 | -5,3  | -0,4  | -0,6 | 5,9  | 14,5 | 16,2 | 16,8 | 16,1 | 12,1 | 7,2  | 2,0  | -6,3  | 6,6   | 16,4    | 7,1   | -6,1   | 6,5   |
| 1850 | -11,7 | -0,4  | -1,6 | 7,2  | 14,9 | 18,8 | 18,8 | 18,9 | 11,6 | 7,3  | 2,4  | -0,3  | 6,8   | 18,8    | 7,1   | -2,6   | 7,2   |
| 1851 | -5,1  | -2,3  | 1,2  | 9,5  | 10,6 | 15,9 | 17,7 | 17,7 | 13,1 | 10,4 | 3,2  | -0,4  | 7,1   | 17,1    | 8,9   | -1,0   | 7,6   |
| 1852 | -0,3  | -2,2  | -1,1 | 3,3  | 13,3 | 18,6 | 19,2 | 18,4 | 13,8 | 6,8  | 3,1  | 2,0   | 5,2   | 18,7    | 7,9   | -0,8   | 7,9   |
| 1853 | -1,1  | -3,2  | -3,5 | 3,6  | 12,8 | 18,4 | 18,9 | 17,4 | 13,0 | 8,8  | 0,0  | -5,3  | 4,3   | 18,2    | 7,3   | -3,8   | 6,7   |
| 1854 | -3,2  | -2,8  | 0,8  | 6,2  | 15,1 | 15,9 | 19,8 | 17,5 | 12,0 | 8,8  | -0,2 | -0,1  | 7,4   | 17,7    | 6,9   | -6,0   | 7,5   |
| 1855 | -6,6  | -11,4 | 0,3  | 5,5  | 12,6 | 18,9 | 19,1 | 17,8 | 11,8 | 10,3 | 0,5  | -9,3  | 6,1   | 18,6    | 7,5   | -4,2   | 5,8   |
| 1856 | -1,4  | -2,0  | -1,9 | 8,8  | 12,4 | 17,8 | 17,1 | 15,9 | 12,8 | 8,7  | -1,7 | -0,7  | 6,4   | 16,9    | 6,6   | -3,1   | 7,2   |
| 1857 | -3,6  | -4,9  | 0,4  | 7,5  | 11,9 | 17,3 | 18,3 | 18,5 | 13,5 | 10,3 | 0,5  | 1,3   | 6,6   | 18,0    | 8,1   | -4,0   | 7,6   |
| 1858 | -5,3  | -8,1  | -1,2 | 5,3  | 13,3 | 18,4 | 20,0 | 18,8 | 13,7 | 9,8  | -2,6 | -3,3  | 5,8   | 19,1    | 7,0   | -1,2   | 6,6   |
| 1859 | -1,1  | 0,8   | 3,7  | 7,1  | 14,2 | 18,1 | 20,5 | 20,4 | 11,9 | 8,5  | 2,1  | -4,3  | 8,3   | 19,7    | 7,5   | -3,1   | 8,5   |
| 1860 | -1,3  | -3,6  | -1,2 | 7,8  | 14,1 | 18,0 | 17,6 | 17,5 | 14,2 | 5,9  | 0,6  | -4,3  | 6,9   | 17,7    | 6,9   | -4,1   | 7,1   |
| 1861 | -9,3  | 1,2   | 3,7  | 4,7  | 10,6 | 19,9 | 20,9 | 18,0 | 12,9 | 7,6  | 3,4  | -1,8  | 6,3   | 19,6    | 8,0   | -4,7   | 7,6   |
| 1862 | -6,8  | -5,5  | 3,1  | 7,6  | 15,0 | 17,1 | 18,3 | 17,8 | 14,0 | 9,2  | -0,6 | -6,8  | 8,6   | 17,7    | 7,5   | -1,4   | 6,9   |
| 1863 | -1,4  | 1,2   | 3,2  | 6,6  | 13,9 | 17,7 | 17,0 | 18,7 | 14,9 | 9,8  | 3,7  | -0,4  | 7,9   | 17,8    | 9,5   | -2,7   | 9,0   |
| 1864 | -6,1  | -1,5  | 3,6  | 5,1  | 7,9  | 17,8 | 16,4 | 15,3 | 12,9 | 6,6  | -0,3 | -6,4  | 5,5   | 16,5    | 6,4   | -5,9   | 5,9   |
| 1865 | -2,3  | -9,1  | -1,6 | 7,1  | 16,4 | 13,6 | 21,6 | 16,6 | 12,8 | 7,7  | 3,6  | -0,4  | 7,3   | 17,3    | 8,0   | 0,1    | 7,2   |

Cd. tab. 5.

| Lata | I     | II    | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | III-V | VI-VIII | IX-XI | XII-II | I-XII |
|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|---------|-------|--------|-------|
| 1866 | 1,0   | -0,3  | 1,6  | 9,0  | 11,0 | 20,6 | 17,0 | 16,7 | 16,5 | 5,6  | 1,7  | -1,2 | 7,2   | 18,1    | 7,9   | -1,0   | 8,3   |
| 1867 | -2,7  | 1,0   | -2,2 | 6,3  | 10,7 | 15,8 | 17,3 | 17,4 | 12,7 | 8,2  | 0,2  | -4,2 | 4,9   | 16,8    | 7,0   | -2,9   | 6,7   |
| 1868 | -4,6  | 0,2   | 1,9  | 7,8  | 15,4 | 18,8 | 20,5 | 19,8 | 15,1 | 8,7  | 0,6  | 1,1  | 8,4   | 19,7    | 8,1   | -0,2   | 8,8   |
| 1869 | -4,1  | 2,3   | 1,2  | 9,5  | 15,0 | 15,0 | 18,6 | 17,4 | 14,0 | 7,0  | 1,6  | -0,8 | 8,6   | 17,0    | 7,5   | -5,3   | 8,1   |
| 1870 | -3,9  | -11,3 | -1,4 | 6,8  | 13,0 | 15,6 | 19,1 | 17,1 | 11,9 | 7,0  | 3,8  | -7,9 | 6,1   | 17,3    | 7,6   | -8,1   | 5,8   |
| 1871 | -9,3  | -7,2  | 2,5  | 5,2  | 9,2  | 15,8 | 19,3 | 17,5 | 11,8 | 3,8  | 1,5  | -5,7 | 5,6   | 17,5    | 5,7   | -3,6   | 5,4   |
| 1872 | -1,9  | -3,3  | 2,5  | 10,3 | 17,7 | 17,3 | 19,1 | 16,6 | 14,5 | 10,7 | 6,1  | -0,5 | 10,2  | 17,7    | 10,4  | -0,8   | 9,1   |
| 1873 | 0,7   | -2,7  | 3,3  | 5,4  | 10,6 | 17,4 | 19,8 | 18,6 | 12,9 | 8,5  | 3,7  | 0,8  | 6,4   | 18,6    | 8,4   | -0,6   | 8,2   |
| 1874 | -1,2  | -1,5  | 0,6  | 8,0  | 9,2  | 17,2 | 20,4 | 16,9 | 15,5 | 9,3  | 0,1  | -1,6 | 5,9   | 18,2    | 8,3   | -4,0   | 7,7   |
| 1875 | -3,5  | -6,9  | -2,3 | 4,9  | 13,1 | 20,6 | 19,2 | 18,8 | 12,3 | 4,6  | -0,6 | -6,1 | 5,2   | 19,5    | 5,4   | -4,4   | 6,2   |
| 1876 | -6,6  | -0,5  | 3,3  | 9,4  | 9,3  | 18,6 | 18,8 | 18,2 | 12,7 | 7,9  | -2,1 | -5,1 | 7,3   | 18,5    | 6,2   | -2,6   | 7,0   |
| 1877 | -1,5  | -1,1  | -0,2 | 5,2  | 11,4 | 18,4 | 18,7 | 18,1 | 10,1 | 6,3  | 4,1  | -2,4 | 5,5   | 18,4    | 6,8   | -2,0   | 7,3   |
| 1878 | -3,2  | -0,4  | 1,2  | 9,3  | 12,6 | 17,0 | 16,3 | 18,2 | 15,1 | 9,7  | 3,6  | -1,6 | 7,7   | 17,2    | 9,5   | -2,3   | 8,2   |
| 1879 | -4,4  | -0,8  | -1,3 | 6,3  | 12,7 | 18,2 | 16,8 | 17,2 | 14,8 | 7,1  | 0,2  | -8,3 | 5,9   | 17,4    | 7,4   | -5,2   | 6,5   |
| 1880 | -4,2  | -3,0  | 0,3  | 9,6  | 11,8 | 17,5 | 20,1 | 17,8 | 14,1 | 6,2  | 2,8  | -0,4 | 7,2   | 18,5    | 7,7   | -3,8   | 7,7   |
| 1881 | -7,7  | -3,3  | -0,4 | 4,4  | 13,6 | 16,4 | 19,2 | 16,5 | 12,0 | 4,5  | 3,1  | -1,3 | 5,9   | 17,4    | 6,5   | -0,3   | 6,4   |
| 1882 | 0,1   | 0,3   | 6,2  | 8,8  | 13,5 | 15,8 | 20,3 | 16,7 | 15,0 | 6,4  | 1,7  | -2,1 | 9,5   | 17,6    | 7,7   | -2,7   | 8,6   |
| 1883 | -4,1  | -1,9  | -3,0 | 5,3  | 12,5 | 18,1 | 19,0 | 16,6 | 13,5 | 8,1  | 3,3  | -0,8 | 4,9   | 17,9    | 8,3   | 0,3    | 7,2   |
| 1884 | 0,0   | 1,7   | 2,2  | 4,9  | 12,8 | 15,8 | 19,7 | 16,3 | 14,5 | 7,1  | -0,1 | 1,4  | 6,6   | 17,3    | 7,2   | -0,9   | 8,0   |
| 1885 | -4,0  | -0,2  | 2,2  | 9,0  | 11,6 | 18,4 | 19,7 | 15,3 | 13,4 | 8,4  | 0,4  | -2,0 | 7,6   | 17,8    | 7,4   | -3,3   | 7,7   |
| 1886 | -2,1  | -5,7  | -2,4 | 10,9 | 14,0 | 16,2 | 17,4 | 17,6 | 15,8 | 7,6  | 4,9  | 0,9  | 7,5   | 17,1    | 9,4   | -1,4   | 7,9   |
| 1887 | -2,5  | -2,7  | 0,2  | 9,1  | 12,2 | 15,0 | 19,3 | 16,3 | 14,7 | 6,9  | 3,7  | -2,3 | 7,2   | 16,9    | 8,4   | -4,6   | 7,5   |
| 1888 | -6,1  | -5,4  | -1,4 | 7,3  | 13,4 | 15,8 | 16,9 | 16,3 | 13,3 | 8,3  | 1,3  | -1,2 | 6,4   | 16,3    | 7,6   | -3,4   | 6,5   |
| 1889 | -5,7  | -3,3  | -2,6 | 8,3  | 17,7 | 19,7 | 18,0 | 17,0 | 10,8 | 10,3 | 3,6  | -5,3 | 7,8   | 18,2    | 8,2   | -2,8   | 7,4   |
| 1890 | 0,6   | -3,6  | 4,4  | 11,2 | 15,2 | 15,5 | 18,6 | 20,2 | 13,4 | 7,1  | 3,3  | -8,5 | 10,3  | 18,1    | 7,9   | -5,5   | 8,1   |
| 1891 | -4,3  | -3,6  | 2,5  | 6,2  | 14,5 | 15,5 | 17,7 | 17,2 | 14,0 | 10,8 | 1,3  | -0,2 | 7,7   | 16,8    | 8,7   | -1,9   | 7,6   |
| 1892 | -4,1  | -1,5  | 1,2  | 7,5  | 13,5 | 17,3 | 16,7 | 19,8 | 16,5 | 8,3  | 0,6  | -3,1 | 7,4   | 17,9    | 8,5   | -5,4   | 7,7   |
| 1893 | -12,0 | -1,1  | 2,7  | 6,3  | 12,4 | 16,3 | 18,2 | 17,1 | 12,8 | 11,2 | 1,7  | -0,5 | 7,1   | 17,2    | 8,6   | -1,7   | 7,1   |
| 1894 | -4,6  | 0,0   | 4,9  | 10,2 | 13,8 | 15,0 | 19,4 | 17,3 | 11,0 | 7,9  | 3,8  | -1,7 | 9,1   | 17,2    | 7,6   | -3,4   | 8,1   |
| 1895 | -2,2  | -6,4  | 0,4  | 9,2  | 14,6 | 17,0 | 19,0 | 17,6 | 14,6 | 8,9  | 2,9  | -3,1 | 8,1   | 17,9    | 8,8   | -2,6   | 7,7   |
| 1896 | -3,5  | -1,1  | 4,9  | 6,6  | 12,3 | 18,9 | 20,0 | 16,3 | 13,3 | 12,1 | 0,0  | -1,9 | 7,9   | 18,4    | 8,5   | -3,0   | 8,1   |
| 1897 | -5,0  | -2,1  | 4,0  | 8,5  | 13,9 | 17,2 | 18,2 | 18,5 | 13,3 | 7,5  | 1,5  | -1,3 | 8,8   | 18,0    | 7,4   | -0,5   | 7,8   |
| 1898 | 0,0   | -0,2  | 2,5  | 7,1  | 14,3 | 16,0 | 16,2 | 18,0 | 13,1 | 6,7  | 5,3  | 2,4  | 8,0   | 16,7    | 8,4   | 1,0    | 8,4   |
| 1899 | 0,3   | 0,2   | 2,4  | 8,5  | 12,5 | 14,4 | 18,6 | 15,7 | 13,7 | 7,8  | 5,7  | -3,8 | 7,8   | 16,2    | 9,1   | -2,0   | 8,0   |
| 1900 | -2,4  | 0,1   | -0,6 | 7,1  | 12,2 | 16,8 | 19,7 | 17,5 | 13,9 | 9,7  | 4,7  | 1,3  | 6,2   | 18,0    | 9,4   | -3,1   | 8,3   |
| 1901 | -5,5  | -5,0  | 1,4  | 8,1  | 14,2 | 17,5 | 19,1 | 17,1 | 12,4 | 9,9  | 3,0  | 1,4  | 7,9   | 17,9    | 8,4   | 0,4    | 7,8   |
| 1902 | 1,4   | -1,7  | 2,1  | 5,1  | 9,8  | 15,5 | 16,5 | 16,0 | 12,3 | 6,3  | -0,9 | -5,5 | 5,7   | 16,0    | 5,9   | -1,7   | 6,4   |
| 1903 | -2,1  | 2,5   | 6,1  | 6,0  | 13,8 | 15,4 | 17,1 | 16,8 | 14,1 | 8,6  | 3,4  | -1,5 | 8,6   | 16,4    | 8,7   | -1,7   | 8,4   |
| 1904 | -3,6  | 0,1   | 0,3  | 6,6  | 10,0 | 15,3 | 19,1 | 17,4 | 11,9 | 8,0  | 1,6  | 0,5  | 6,9   | 17,3    | 7,2   | -1,5   | 7,3   |
| 1905 | -5,7  | 0,8   | 2,6  | 6,0  | 13,8 | 18,0 | 19,2 | 18,0 | 13,2 | 4,6  | 3,8  | -0,6 | 7,5   | 18,4    | 7,2   | -0,8   | 7,8   |
| 1906 | -1,3  | -0,6  | 2,2  | 9,2  | 15,5 | 15,6 | 19,7 | 16,5 | 12,0 | 7,7  | 6,0  | -4,1 | 9,0   | 17,3    | 8,6   | -4,7   | 8,2   |
| 1907 | -4,9  | -5,1  | 0,6  | 5,7  | 14,8 | 15,8 | 16,0 | 15,5 | 12,7 | 12,6 | 1,3  | -2,5 | 7,0   | 15,8    | 8,9   | -1,4   | 6,9   |
| 1908 | -2,1  | 0,3   | 2,0  | 6,4  | 13,7 | 17,4 | 18,5 | 16,5 | 11,6 | 6,5  | -0,5 | -2,9 | 7,4   | 17,5    | 5,9   | -4,1   | 7,2   |
| 1909 | -3,3  | -6,0  | 1,5  | 6,4  | 11,2 | 16,3 | 17,4 | 17,3 | 14,3 | 10,6 | 1,6  | 1,1  | 6,4   | 17,0    | 8,8   | 1,4    | 7,4   |

Cd. tab. 5.

| Lata | I     | II    | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | III-V | VI-VIII | IX-XI | XII-II | I-XII |
|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|---------|-------|--------|-------|
| 1910 | 0,5   | 2,7   | 3,4  | 8,5  | 13,8 | 17,9 | 17,6 | 16,6 | 12,1 | 7,3  | 2,2  | 2,4  | 8,6   | 17,4    | 7,2   | -0,4   | 8,8   |
| 1911 | -0,5  | -3,0  | 3,4  | 7,7  | 13,8 | 16,0 | 18,8 | 18,7 | 14,0 | 8,5  | 4,7  | 0,7  | 8,3   | 17,8    | 9,1   | -2,5   | 8,6   |
| 1912 | -7,0  | -1,3  | 5,3  | 5,7  | 11,3 | 17,5 | 18,8 | 15,9 | 9,1  | 5,4  | 1,0  | 2,3  | 7,4   | 17,4    | 5,2   | -0,6   | 7,0   |
| 1913 | -3,2  | -1,0  | 5,3  | 8,0  | 12,3 | 15,0 | 16,0 | 15,4 | 13,0 | 8,9  | 4,9  | 1,8  | 8,5   | 15,5    | 8,9   | -0,7   | 8,0   |
| 1914 | -5,0  | 1,2   | 4,2  | 9,4  | 13,4 | 16,0 | 19,0 | 17,3 | 12,2 | 6,7  | 0,9  | 2,8  | 9,0   | 17,4    | 6,6   | 0,3    | 8,2   |
| 1915 | -1,4  | -0,4  | -0,8 | 8,3  | 13,5 | 18,0 | 17,9 | 16,7 | 12,1 | 6,6  | 1,3  | 1,0  | 7,0   | 17,5    | 6,7   | 0,7    | 7,7   |
| 1916 | 1,4   | -0,4  | 3,5  | 8,8  | 12,9 | 15,7 | 17,9 | 16,2 | 12,1 | 7,0  | 4,3  | 0,6  | 8,4   | 16,6    | 7,8   | -3,5   | 8,3   |
| 1917 | -4,7  | -6,5  | -3,0 | 5,1  | 14,0 | 20,5 | 18,3 | 19,9 | 14,7 | 9,6  | 5,0  | -2,2 | 5,4   | 19,6    | 9,8   | -1,5   | 7,6   |
| 1918 | -1,1  | -1,2  | 1,9  | 13,2 | 13,5 | 14,1 | 18,4 | 16,7 | 14,0 | 10,0 | 2,2  | -1,1 | 9,5   | 16,4    | 8,7   | -1,4   | 8,4   |
| 1919 | -1,4  | -1,6  | 1,5  | 7,2  | 10,7 | 15,9 | 16,7 | 15,5 | 15,6 | 6,8  | -3,4 | -1,9 | 6,5   | 16,0    | 6,3   | -1,0   | 6,8   |
| 1920 | -1,8  | 0,7   | 4,9  | 12,5 | 15,5 | 15,4 | 20,4 | 17,2 | 13,5 | 4,1  | 0,1  | -2,8 | 11,0  | 17,7    | 5,9   | -0,9   | 8,3   |
| 1921 | 2,6   | -2,5  | 6,3  | 9,2  | 16,5 | 16,4 | 20,2 | 19,3 | 13,3 | 9,6  | -1,2 | -2,6 | 10,7  | 18,6    | 7,2   | -4,1   | 8,9   |
| 1922 | -5,9  | -3,8  | 3,0  | 7,0  | 14,3 | 17,6 | 18,7 | 17,0 | 11,8 | 4,9  | 0,8  | 0,8  | 8,1   | 17,8    | 5,8   | -0,7   | 7,2   |
| 1923 | 0,3   | -3,1  | 3,2  | 6,3  | 13,7 | 13,0 | 18,7 | 15,0 | 14,4 | 10,3 | 3,5  | -1,6 | 7,7   | 15,6    | 9,4   | -4,7   | 7,8   |
| 1924 | -6,8  | -5,6  | -1,0 | 5,7  | 15,4 | 17,6 | 17,5 | 17,0 | 14,9 | 8,6  | 2,0  | -1,8 | 6,7   | 17,4    | 8,5   | 1,0    | 7,0   |
| 1925 | 1,3   | 3,4   | 1,2  | 8,9  | 16,3 | 14,6 | 18,8 | 17,2 | 12,1 | 7,0  | 2,5  | -1,2 | 8,8   | 16,9    | 7,2   | -1,1   | 8,5   |
| 1926 | -2,4  | 0,4   | 1,8  | 9,6  | 13,2 | 16,4 | 19,7 | 15,8 | 13,8 | 7,1  | 7,6  | -1,9 | 8,2   | 17,3    | 9,5   | -2,2   | 8,4   |
| 1927 | -2,3  | -2,5  | 5,5  | 6,7  | 10,5 | 16,5 | 20,0 | 18,4 | 14,3 | 8,3  | 1,4  | -6,1 | 7,6   | 18,3    | 8,0   | -2,8   | 7,6   |
| 1928 | -0,9  | -1,4  | 0,0  | 7,6  | 12,0 | 14,6 | 19,3 | 16,4 | 13,6 | 8,6  | 6,3  | -2,4 | 6,5   | 16,8    | 9,5   | -7,7   | 7,8   |
| 1929 | -6,9  | -13,7 | -1,5 | 2,9  | 16,0 | 15,2 | 18,3 | 18,6 | 13,7 | 10,9 | 4,5  | 1,6  | 5,8   | 17,4    | 9,7   | 0,4    | 6,6   |
| 1930 | 0,3   | -0,6  | 3,0  | 9,6  | 13,7 | 19,3 | 18,0 | 16,7 | 13,1 | 9,1  | 4,9  | -2,8 | 8,8   | 18,0    | 9,0   | -2,6   | 8,7   |
| 1931 | -1,8  | -3,3  | -0,7 | 5,5  | 17,8 | 17,0 | 19,0 | 17,4 | 11,0 | 7,0  | 2,0  | -0,5 | 7,5   | 17,8    | 6,7   | -2,2   | 7,5   |
| 1932 | -0,6  | -5,6  | -2,0 | 8,2  | 15,8 | 15,7 | 21,4 | 19,3 | 16,1 | 9,4  | 3,3  | 0,4  | 7,3   | 18,8    | 9,6   | -3,0   | 8,4   |
| 1933 | -7,3  | -2,0  | 2,9  | 5,1  | 11,9 | 15,4 | 19,7 | 17,0 | 13,2 | 8,5  | 1,5  | -6,5 | 6,6   | 17,4    | 7,7   | -2,9   | 6,6   |
| 1934 | -2,3  | 0,2   | 4,5  | 11,1 | 15,4 | 17,3 | 18,2 | 18,4 | 15,6 | 10,1 | 5,6  | -0,6 | 10,3  | 18,0    | 10,4  | -2,2   | 9,5   |
| 1935 | -5,4  | -0,6  | 1,1  | 8,1  | 11,3 | 18,9 | 17,1 | 17,6 | 14,0 | 9,8  | 3,2  | 0,1  | 6,8   | 17,9    | 9,0   | -0,3   | 7,9   |
| 1936 | 2,0   | -3,1  | 4,6  | 8,0  | 16,1 | 17,9 | 20,7 | 16,6 | 12,8 | 5,3  | 2,8  | 0,8  | 9,6   | 18,4    | 7,0   | -2,2   | 8,7   |
| 1937 | -6,6  | -0,9  | 2,8  | 8,6  | 18,2 | 18,8 | 18,9 | 19,3 | 15,6 | 9,1  | 3,3  | -1,7 | 9,9   | 19,0    | 9,3   | -1,3   | 8,8   |
| 1938 | -1,9  | -0,2  | 6,3  | 5,3  | 12,9 | 17,9 | 19,5 | 20,0 | 14,1 | 9,7  | 5,7  | -4,4 | 8,2   | 19,1    | 9,8   | -0,5   | 8,7   |
| 1939 | 0,7   | 2,2   | 1,3  | 10,4 | 12,6 | 19,1 | 21,0 | 21,7 | 14,1 | 6,0  | 3,8  | -3,0 | 8,1   | 20,6    | 8,0   | -8,8   | 9,2   |
| 1940 | -12,1 | -11,4 | -1,3 | 7,6  | 13,9 | 20,0 | 18,9 | 15,8 | 12,9 | 6,2  | 5,2  | -4,7 | 6,7   | 18,2    | 8,1   | -5,2   | 5,9   |
| 1941 | -9,2  | -1,7  | 1,4  | 5,4  | 10,7 | 17,3 | 20,1 | 17,1 | 11,6 | 6,2  | -1,8 | -0,1 | 5,8   | 18,2    | 5,3   | -5,7   | 6,4   |
| 1942 | -10,9 | -6,2  | -3,7 | 7,1  | 13,2 | 16,2 | 18,0 | 20,5 | 16,8 | 9,8  | 1,6  | 1,3  | 5,5   | 18,2    | 9,4   | -0,9   | 7,0   |
| 1943 | -6,0  | 2,0   | 3,9  | 9,7  | 13,0 | 16,6 | 18,2 | 19,5 | 14,8 | 9,3  | 2,8  | -1,2 | 8,9   | 18,1    | 9,0   | -0,2   | 8,5   |
| 1944 | 1,5   | -1,0  | 0,5  | 6,9  | 13,1 | 16,2 | 20,2 | 19,4 | 13,3 | 9,9  | 2,4  | -1,8 | 6,8   | 18,6    | 8,5   | -2,1   | 8,4   |
| 1945 | -4,9  | 0,3   | 2,8  | 7,8  | 12,9 | 16,3 | 18,5 | 18,0 | 13,9 | 8,2  | 2,7  | -1,3 | 7,8   | 17,6    | 8,3   | -1,6   | 7,9   |
| 1946 | -2,8  | -0,7  | 2,4  | 9,8  | 16,1 | 17,8 | 20,5 | 18,1 | 14,2 | 4,8  | 0,8  | -3,9 | 9,4   | 18,8    | 6,6   | -7,5   | 8,1   |
| 1947 | -7,8  | -10,8 | -0,2 | 8,9  | 15,9 | 19,1 | 20,2 | 16,8 | 15,9 | 6,3  | 4,2  | 0,9  | 8,2   | 18,7    | 8,8   | -0,2   | 7,4   |
| 1948 | 1,1   | -2,6  | 2,9  | 10,5 | 15,2 | 16,5 | 17,9 | 17,8 | 14,9 | 8,2  | 3,0  | -0,7 | 9,5   | 17,4    | 8,7   | -0,2   | 8,7   |
| 1949 | -0,1  | 0,1   | -0,4 | 9,7  | 15,8 | 15,8 | 18,6 | 16,9 | 15,3 | 9,0  | 4,4  | 2,5  | 8,4   | 17,1    | 9,6   | -1,0   | 9,0   |
| 1950 | -6,8  | 1,2   | 3,1  | 9,9  | 16,1 | 17,9 | 18,5 | 18,3 | 13,6 | 7,5  | 3,8  | 0,4  | 9,7   | 18,2    | 8,3   | -0,7   | 8,6   |
| 1951 | -1,8  | -0,7  | 0,6  | 9,3  | 12,6 | 18,3 | 19,0 | 20,4 | 15,8 | 6,7  | 5,7  | 2,1  | 7,5   | 19,2    | 9,4   | 0,1    | 9,0   |
| 1952 | -0,1  | -1,8  | -2,9 | 11,0 | 12,1 | 16,2 | 19,5 | 19,2 | 11,8 | 7,2  | 1,8  | -1,3 | 6,7   | 18,3    | 6,9   | -1,8   | 7,7   |
| 1953 | -1,8  | -2,2  | 2,9  | 9,3  | 14,0 | 18,8 | 20,6 | 17,6 | 13,7 | 9,5  | 2,6  | -0,8 | 8,7   | 19,0    | 8,6   | -5,9   | 8,7   |

Cd. tab. 5.

| Lata | I     | II    | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | III-<br>V | VI-<br>VIII | IX-<br>XI | XII-<br>II | I-<br>XII |
|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|-------------|-----------|------------|-----------|
| 1954 | -7,5  | -9,5  | 2,3  | 5,5  | 14,6 | 19,4 | 17,4 | 18,0 | 14,8 | 8,7  | 2,4  | 2,6  | 7,5       | 18,3        | 8,6       | -0,9       | 7,4       |
| 1955 | -3,0  | -2,3  | -0,6 | 4,9  | 11,8 | 16,3 | 19,5 | 19,6 | 15,1 | 8,6  | 3,4  | 0,6  | 5,4       | 18,5        | 9,0       | -4,2       | 7,8       |
| 1956 | -1,4  | -11,7 | -1,3 | 6,0  | 13,3 | 17,9 | 17,6 | 15,8 | 12,7 | 8,4  | -0,6 | -0,3 | 6,0       | 17,1        | 6,8       | 0,4        | 6,4       |
| 1957 | -1,1  | 2,7   | 2,7  | 9,1  | 11,1 | 18,3 | 19,2 | 16,5 | 11,9 | 9,0  | 4,3  | -1,3 | 7,6       | 18,0        | 8,4       | -1,2       | 8,5       |
| 1958 | -2,4  | 0,0   | -2,5 | 4,6  | 15,5 | 16,0 | 19,3 | 17,8 | 13,5 | 9,9  | 3,8  | 1,3  | 5,9       | 17,7        | 9,1       | -0,3       | 8,1       |
| 1959 | -0,6  | -1,5  | 4,6  | 8,9  | 13,8 | 17,3 | 21,5 | 19,3 | 12,7 | 8,1  | 2,3  | -1,4 | 9,1       | 19,4        | 7,7       | -2,4       | 8,7       |
| 1960 | -2,8  | -3,1  | 1,8  | 7,3  | 13,6 | 17,8 | 17,3 | 17,0 | 12,3 | 8,9  | 5,2  | 2,9  | 7,6       | 17,4        | 8,8       | 0,6        | 8,2       |
| 1961 | -2,8  | 1,7   | 5,5  | 10,5 | 12,6 | 18,6 | 16,8 | 16,8 | 14,8 | 10,7 | 3,8  | -3,1 | 9,5       | 17,4        | 9,8       | -1,7       | 8,8       |
| 1962 | 0,0   | -2,1  | -1,4 | 11,2 | 11,5 | 15,3 | 16,8 | 17,1 | 12,7 | 8,5  | 4,2  | -4,2 | 7,1       | 16,4        | 8,5       | -7,7       | 7,5       |
| 1963 | -11,6 | -7,2  | -1,2 | 8,8  | 16,3 | 17,3 | 21,1 | 19,8 | 15,4 | 8,7  | 6,6  | -4,5 | 6,0       | 19,4        | 10,2      | -3,8       | 7,5       |
| 1964 | -2,9  | -3,9  | -2,4 | 8,8  | 14,1 | 20,4 | 19,3 | 16,8 | 14,1 | 8,2  | 3,9  | 0,0  | 6,8       | 18,8        | 8,7       | -1,9       | 8,0       |
| 1965 | -0,8  | -4,8  | 1,3  | 6,8  | 10,8 | 16,7 | 17,1 | 16,3 | 15,2 | 8,2  | -0,6 | 0,7  | 6,3       | 16,7        | 7,6       | -1,4       | 7,2       |
| 1966 | -4,5  | -0,3  | 2,9  | 9,0  | 14,1 | 18,0 | 19,2 | 17,5 | 12,8 | 11,1 | 2,8  | 0,0  | 8,7       | 18,2        | 8,9       | -1,4       | 8,5       |
| 1967 | -4,8  | 0,7   | 5,3  | 8,1  | 14,8 | 17,2 | 20,1 | 18,0 | 16,6 | 11,7 | 4,1  | -1,0 | 9,4       | 18,4        | 10,8      | -1,6       | 9,2       |
| 1968 | -3,3  | -0,4  | 3,6  | 10,2 | 12,2 | 18,7 | 17,4 | 18,4 | 13,8 | 8,7  | 3,8  | -3,5 | 8,7       | 18,2        | 8,8       | -4,6       | 8,3       |
| 1969 | -6,0  | -4,2  | -1,7 | 7,2  | 15,5 | 17,7 | 19,6 | 17,4 | 14,0 | 8,9  | 5,7  | -8,1 | 7,0       | 18,2        | 9,5       | -6,2       | 7,2       |
| 1970 | -5,7  | -4,9  | 0,7  | 7,4  | 13,3 | 17,6 | 17,6 | 17,7 | 12,8 | 8,0  | 4,9  | 0,9  | 7,1       | 17,6        | 8,6       | -0,7       | 7,5       |
| 1971 | -3,2  | 0,2   | 0,3  | 8,1  | 17,2 | 16,3 | 19,2 | 19,7 | 11,3 | 8,7  | 2,5  | 3,2  | 8,5       | 18,4        | 7,5       | -1,5       | 8,6       |
| 1972 | -7,2  | -0,6  | 4,0  | 8,3  | 14,2 | 17,7 | 20,9 | 17,3 | 12,2 | 6,6  | 4,5  | 0,1  | 8,8       | 18,6        | 7,8       | -0,2       | 8,2       |
| 1973 | -2,4  | 1,6   | 4,4  | 7,6  | 13,5 | 17,0 | 18,7 | 18,7 | 13,4 | 6,7  | 1,9  | -0,6 | 8,5       | 18,1        | 7,3       | 0,2        | 8,4       |
| 1974 | -1,0  | 2,3   | 4,8  | 7,8  | 11,6 | 15,1 | 16,3 | 18,4 | 13,9 | 6,6  | 3,7  | 2,6  | 8,1       | 16,6        | 8,1       | 1,7        | 8,5       |
| 1975 | 2,7   | -0,2  | 4,8  | 7,4  | 15,4 | 17,0 | 20,2 | 19,3 | 16,1 | 8,2  | 1,7  | 1,2  | 9,2       | 18,8        | 8,7       | -1,7       | 9,5       |
| 1976 | -2,3  | -4,0  | -0,6 | 8,4  | 13,1 | 16,1 | 19,6 | 16,6 | 13,4 | 6,8  | 4,6  | -1,0 | 7,0       | 17,4        | 8,3       | -0,8       | 7,6       |
| 1977 | -1,7  | 0,4   | 5,7  | 6,8  | 13,3 | 17,8 | 16,9 | 16,0 | 11,2 | 9,3  | 5,4  | -0,6 | 8,6       | 16,9        | 8,6       | -1,9       | 8,4       |
| 1978 | -1,2  | -3,9  | 3,3  | 6,8  | 12,6 | 16,0 | 17,1 | 16,3 | 11,3 | 8,7  | 5,4  | -4,0 | 7,6       | 16,5        | 8,5       | -5,0       | 7,4       |
| 1979 | -5,7  | -5,3  | 1,9  | 7,1  | 15,5 | 20,5 | 15,6 | 17,0 | 14,2 | 6,1  | 3,0  | 1,7  | 8,2       | 17,7        | 7,8       | -1,8       | 7,6       |
| 1980 | -5,6  | -1,5  | -0,5 | 7,3  | 10,4 | 16,1 | 16,9 | 16,8 | 12,9 | 8,4  | 2,0  | -0,5 | 5,7       | 16,6        | 7,8       | -1,4       | 6,9       |
| 1981 | -2,8  | -0,8  | 4,0  | 6,5  | 14,4 | 17,3 | 18,3 | 16,8 | 14,2 | 8,8  | 3,5  | -3,3 | 8,3       | 17,5        | 8,8       | -2,8       | 8,1       |
| 1982 | -3,3  | -1,8  | 3,9  | 6,2  | 14,9 | 16,3 | 19,6 | 19,6 | 15,6 | 9,0  | 5,1  | 1,5  | 8,3       | 18,5        | 9,9       | 1,0        | 8,9       |
| 1983 | 3,4   | -1,9  | 4,4  | 10,3 | 16,1 | 17,6 | 19,9 | 19,0 | 15,0 | 9,2  | 2,7  | -0,3 | 10,3      | 18,8        | 9,0       | -0,5       | 9,6       |
| 1984 | 0,4   | -1,6  | 1,3  | 9,6  | 14,0 | 15,0 | 16,1 | 18,5 | 13,3 | 10,5 | 2,4  | -1,0 | 8,3       | 16,5        | 8,7       | -5,8       | 8,2       |
| 1985 | -7,8  | -8,5  | 2,1  | 9,0  | 15,6 | 15,3 | 18,0 | 18,4 | 12,7 | 8,6  | 1,1  | 1,9  | 8,9       | 17,2        | 7,5       | -2,8       | 7,2       |
| 1986 | -1,2  | -9,0  | 2,3  | 9,2  | 15,3 | 17,3 | 18,6 | 17,7 | 11,4 | 8,5  | 5,5  | 0,1  | 8,9       | 17,9        | 8,5       | -4,2       | 8,0       |
| 1987 | -12,0 | -0,7  | -2,0 | 7,6  | 12,8 | 16,2 | 18,6 | 15,6 | 13,1 | 8,5  | 4,1  | 0,9  | 6,1       | 16,8        | 8,6       | 0,7        | 6,9       |
| 1988 | 0,7   | 0,6   | 1,2  | 7,7  | 15,5 | 17,1 | 19,9 | 17,7 | 13,7 | 7,8  | 0,3  | 0,9  | 8,1       | 18,2        | 7,3       | 2,4        | 8,6       |
| 1989 | 2,2   | 4,1   | 5,8  | 9,3  | 14,9 | 16,3 | 19,0 | 18,4 | 14,7 | 10,5 | 1,5  | 1,1  | 10,0      | 17,9        | 8,9       | 2,7        | 9,8       |
| 1990 | 1,9   | 5,1   | 6,7  | 9,3  | 14,6 | 17,5 | 17,5 | 18,0 | 11,5 | 9,5  | 4,9  | 0,1  | 10,2      | 17,7        | 8,6       | -1,0       | 9,7       |
| 1991 | 0,3   | -3,5  | 4,2  | 8,3  | 11,5 | 16,4 | 19,9 | 18,9 | 15,2 | 8,2  | 4,4  | -0,8 | 8,0       | 18,4        | 9,3       | 0,1        | 8,6       |
| 1992 | -0,5  | 1,5   | 3,8  | 8,0  | 14,4 | 19,0 | 20,8 | 22,0 | 13,0 | 6,2  | 4,1  | 0,0  | 8,7       | 20,6        | 7,8       | -0,1       | 9,4       |
| 1993 | 0,6   | -0,9  | 1,5  | 9,5  | 16,9 | 16,4 | 17,6 | 17,4 | 12,4 | 8,3  | -2,3 | 2,2  | 9,3       | 17,1        | 6,1       | 0,7        | 8,3       |
| 1994 | 2,3   | -2,4  | 4,0  | 9,6  | 13,1 | 16,8 | 22,3 | 18,9 | 15,1 | 7,1  | 3,9  | 0,9  | 8,9       | 19,3        | 8,7       | 1,0        | 9,3       |
| 1995 | -1,3  | 3,5   | 3,3  | 8,3  | 13,2 | 17,9 | 20,9 | 19,2 | 13,5 | 10,5 | 0,3  | -4,8 | 8,3       | 19,3        | 8,1       | -5,3       | 8,7       |
| 1996 | -5,7  | -5,3  | -1,1 | 8,8  | 16,2 | 18,1 | 17,5 | 19,2 | 11,1 | 9,8  | 6,5  | -4,6 | 8,0       | 18,3        | 9,1       | -1,9       | 7,5       |
| 1997 | -3,7  | 2,5   | 3,6  | 6,0  | 14,7 | 17,7 | 18,5 | 19,7 | 13,8 | 6,9  | 3,3  | 0,3  | 8,1       | 18,6        | 8,0       | 1,7        | 8,6       |
| 1998 | 1,1   | 3,6   | 2,3  | 10,7 | 15,2 | 18,6 | 18,5 | 17,2 | 13,4 | 8,2  | -1,4 | -1,8 | 9,4       | 18,1        | 6,7       | -0,8       | 8,8       |
| 1999 | 0,3   | -1,0  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |           |             |           |            |           |



## VI. ZMIANY KLIMATU WARSZAWY W XVIII-XXI WIEKU

Dotychczasowe badania długich ciągów pomiarów wykazały, że w Warszawie, podobnie jak w innych miastach Polski (Kraków 1826-1990, Wrocław 1851-1980), czy też europejskich (Praga 1771-1980, Genewa 1768-1980, 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 planetarny 178,9 lat. Ich obecność prawie we wszystkich ciągach chronologicznych (miesięcznych i sezonowych wartości) i synchroniczność wahań (zbliżone daty ekstremów), głównie 8, 10-13, 180-letniego, wskazują, że cykliczność ta jest cechą pola temperatury powietrza w Polsce i Europie.

Wyniki badań krótszych serii pomiarów temperatury powietrza z lat 1951-1990 w Polsce (Żmudzka, 1998) potwierdziły częściowo tę tezę o cykliczności pola temperatury powietrza. Rozszerzeniem są krótkie i średnie cykle temperatury powietrza oraz ich przestrzenne zróżnicowanie (okresów, amplitud i faz) na terenie Polski. Synchroniczność krótkich i średnich cykli temperatury powietrza w latach 1951-1990 autorka wykazała na podstawie map izarytm, uwzględniających dane z 58 stacji meteorologicznych reprezentujących wszystkie jednostki fizycznogeograficzne Polski. Nie bez znaczenia jest wyznaczenie parametrów cykli: okresów, amplitud i faz z zastosowaniem tej samej metody badań „sinusoid regresji” (Boryczka, 1993).

### 1. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Warszawy i ich uwarunkowania

W ostatnich 400 latach wystąpiły trzy główne ochłodzenia klimatu Ziemi o najmniejszej średniej globalnej temperaturze na półkuli północnej w pobliżu dat: 1600, 1700, 1830 (Groverman i Landsberg, 1979, Schönwiese, 1992).

Najbardziej poznane na podstawie danych instrumentalnych jest to ostatnie, największe ochłodzenie w Europie (Genewa - Boryczka, 1998, Berlin – Wójcik i inni, 1999) i Polsce (wg serii warszawskiej i krakowskiej). Trzeba zauważyć, że wystąpiło ono podczas trzech najsłabszych, wydłużonych (12-13- letnich) cykli aktywności Słońca (1798-1833). Ochłodzenie to pojawiło się w czasie najsłabszego 13-letniego cyklu plam słonecznych (1811-1823), podczas absolutnego minimum wiekowego (od 1700 r.).

Rok 1811 był szczególnie pod względem stanu Układu Słonecznego, kiedy to odległość Słońca od środka masy Układu była najmniejsza (0,14 część promienia Słońca), a przyspieszenie Słońca – największe. Wtedy stała słoneczna zmniejszyła się o 0,5%.

To ostatnie globalne ochłodzenie klimatu (także w Polsce) wystąpiło podczas wzmożonej aktywności wulkanicznej, po największych eksplozywnych erupcjach wulkanów: 1803 – Cotopaxi ( $DVI = 1100$ ), 1815 – Tambora ( $DVI = 3000$ ), 1835 – Co-sequina ( $DVI = 4000$ , maksimum absolutne).

W Polsce podczas ostatniego ochłodzenia klimatu (1798-1833) średnia roczna temperatura powietrza spadła, np. w Warszawie do 4,6°C w roku 1779 i do 4,8°C w 1829 r. Najmroźniejsze zimy wystąpiły w Polsce w latach 1779 i 1830 o średniej temperaturze -8,9 i -9,3°C.

Okazało się, że ochłodzenia i ocieplenia klimatu w ostatnich stuleciach są efektem nakładania się długich i krótkich cykli temperatury powietrza, skorelowanych z okresowymi zmianami aktywności Słońca (stałej słonecznej) – zależnych od parametrów Układu Słonecznego.

W rekonstrukcji i prognozach ochłodzeń i ociepleń klimatu fundamentalne znaczenie ma wykrycie prawdziwych (realnych) okresów zmiennych klimatologicznych (skutków) i zmiennych astronomicznych (domniemyanych przyczyn). Identyfikacja przyczyn polega na sprawdzeniu, czy „cykliczność skutków i przyczyn jest taka sama”. W tym celu zastosowano metodę J. Boryczki „sinusoid regresji” (1998) wyznaczania prawdziwych cykli. Metoda ta polega na aproksymacji wyników pomiarów (także niekompletnych), wykonanych w dowolnych odstępach czasu kolejnymi sinusoidami regresji:

$$y = a_0 + b \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\Theta}t + c\right), \text{ gdzie: } \Theta - \text{okres, } b - \text{amplituda, } c - \text{faza.}$$

Kluczowe znaczenie w identyfikacji przyczyn ochłodzeń i ociepleń klimatu ma planetarny 178,9-letni okres zmian parametrów Układu Słonecznego, aktywności Słońca (liczb Wolfa) i stałej słonecznej. Na przykład wykresy zmian: przyspieszenia Słońca (względem środka masy US, rys. 57), liczb Wolfa i stałej słonecznej z lat 1700-1879 i 1879-1993 (po upływie 178,9 lat) prawie pokrywają się.

Ten prawie dwuwiekowy okres wykryto (metodą „sinusoid regresji”) w ciągach czasowych temperatury powietrza w Europie i Polsce:

| Miejscowość          | Zima     |            | Lato     |            | Rok      |            |
|----------------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|
|                      | $\Theta$ | $\Delta t$ | $\Theta$ | $\Delta t$ | $\Theta$ | $\Delta t$ |
| Warszawa (1779-1990) | 218,3    | 1,8        | 208,2    | 0,3        | 223,9    | 1,1        |
| Genewa (1768-1980)   | 216,6    | 1,0        | 147,4    | 0,7        | 166,3    | 0,7        |
| Anglia (1659-1973)   | 170,2    | 0,6        | 220,8    | 0,4        | 175,6    | 0,4        |

Analogiczna cykliczność występuje w ciągach czasowych: aktywności Słońca (liczb Wolfa), erupcji wulkanów ( $DVI$ ,  $\Delta VI = DVI/\Delta t$ ,  $\Delta t$  – odstęp między erupcjami) i parametrów Układu Słonecznego (siła pływowa na Słońcu  $\Delta G$ , dyspersja masy w Układzie Słonecznym  $B$ ).

| Zmienne                                   | Okres (lata) |
|---|--------------|
| Aktywność Słońca (1700-1993)              | 187,3        |
| Stała słoneczna (1700-1993)               | 187,0        |
| Erupcje wulkanów (1680-1980):             |              |
| $DVI$ (dust veil index)                   | 257,0        |
| $\Delta VI$                               | 206,7        |
| Parametry Układu Słonecznego (1700-2000): |              |
| Siły pływowe na Słońcu ( $\Delta G$ )     | 170,1        |
| Dyspersja masy ( $B$ )                    | 175,1        |

Należy zaznaczyć, że okresy długie wyznaczone metodami statystycznymi ( $f(t + \Theta) = f(t) + \varepsilon_i$ ,  $\varepsilon_i$  – składnik losowy) cechują się znaczną dyspersją (szerokość połówkowa pasma widma jest dość duża).

Dużym zakresem wahań charakteryzują się również około 100-letnie cykle temperatury powietrza w Europie i Oscylacji Północnoatlantycznej (NAO):

| Miejscowość          | Zima     |            | Lato     |            | Rok      |            |
|----------------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|
|                      | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ | $\Theta$ | $\Delta T$ |
| Warszawa (1779-1990) | 113,1    | 0,7        | 91,2     | 0,4        | 104,7    | 0,2        |
| Praga (1771-1980)    | 98,5     | 0,5        | 76,9     | 0,8        | 80,9     | 1,0        |
| Genewa (1768-1980)   | 93,4     | 0,4        | 76,6     | 1,0        | 76,0     | 0,6        |
| Anglia (1659-1973)   | 99,1     | 0,6        | 101,9    | 0,3        | 102,5    | 0,5        |
| NAO (1825-1997)      | 105,1    | 0,6        | 83,2     | 0,5        | –        | –          |

Te długie okresy temperatury powietrza skorelowane są z podobnymi cyklami zmiennych astronomicznych i geologicznych:

| Zmienne   | Okres (lata) |
|---|--------------|
| Aktywność Słońca (1700-1993)                    | 102,0        |
| Aktywność Słońca (1749-1993)                    | 100,8        |
| Stała słoneczna (1700-1993)                     | 102,0        |
| Erupcje wulkanów (1680-1980):                   |              |
| <i>DVI</i> (dust veil index)                    | 91,8         |
| $\Delta VI$                                     | 90,5         |
| $\Delta t$                                      | 118,6        |
| Parametry Układu Słonecznego (1700-2000):       |              |
| Siły pływowe na Słońcu ( $\Delta G$ )           | 91,4         |
| Dyspersja masy ( <i>B</i> )                     | 84,1         |
| Odległość środka masy US od Słońca ( <i>S</i> ) | 101,3        |
| Okres obiegu Urana                              | 84,0         |

O realności tych okresów: planetarnego 178,9-letniego i około 100-letniego świadczy też ich obecność w ciągach chronologicznych zmiennych sedymentologicznych: paleotemperatury – stosunku izotopów tlenu  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  (Johnsen i inni, 1970) i substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych (Boryczka, Wicik, 1994):

| Zmienne sedymentologiczne                      | Okres (lat) |     |
|--|-------------|-----|
| Paleotemperatura $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ | 180         | 78  |
| Gościąg (substancje organiczne)                | 206         | 103 |
| Gościąg (węglany wapnia)                       | 180         | 87  |
| Wikaryjskie (substancje organiczne)            | 200         | –   |
| Wielki Staw (warstewki piasku)                 | 180         | 138 |

Stała słoneczna (*s*), warunkująca dopływ energii słonecznej do powierzchni Ziemi, zmienia się o 0,2% w cyklu 187,8-letnim i o 0,4% – w cyklu 102-letnim (w stosunku do średniej  $\bar{s} = 1,94 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ ):

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

$$s = 1,9435 + 0,004154 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{102,0}t - 2,1359\right)$$

Zakres zmian energii słonecznej w poszczególnych cyklach stałej słonecznej wynosi: cykl 187,8 lat – 5490 MJ·m<sup>-2</sup>, cykl 102,0 lat – 5950 MJ·m<sup>-2</sup>. Nadwyżka energii słonecznej w czasie  $\frac{\Theta}{2}$  (gdzie  $s > a_0$ ) jest akumulowana głównie w głębszych warstwach oceanów.

Tym najdłuższym okresem stałej słonecznej, wywołującym wahania energii słonecznej  $\pm 2745$  MJ·m<sup>-2</sup> i  $\pm 2975$  MJ·m<sup>-2</sup>, odpowiadają dwa najdłuższe cykle temperatury powietrza w Europie i Polsce.

W Polsce (i Europie) dominuje w zimie około 8-letni cykl temperatury powietrza:

Warszawa (1779-1990)  $T = -2,65 + 0,756 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 0,6870\right)$

Wrocław (1851-1980)  $T = -0,72 + 0,983 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,6}t + 0,4152\right)$

NAO (1825-1997)  $NAO = 0,1315 + 0,4778 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,8}t - 0,1266\right)$

Liczby Wolfa (1700-1993)  $W = 51,93 + 10,40 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,1}t + 2,8659\right)$

Przyspieszenie Słońca (1700-2000)  $\ddot{s} = 0,667 + 1,130 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,8}t + 1,21\right)$

Maksima tych zimowych cykli: temperatury powietrza, Oscylacji Północnoatlantycznej (NAO), aktywności Słońca i przyspieszenia Słońca przypadają na te same lata (rys. 58).

Okresy temperatury powietrza w Warszawie w poszczególnych miesiącach zawierają się w przedziałach: 4-8, 9-14, 15-18, 20-24, 27-35, 38-44, 47-66, 73-101, 147-207 lat.

Temperatura powietrza w obu półroczach: chłodnym (X-III) i ciepłym (IV-IX) ulega podobnej periodyczności:

|       |          |      |      |      |      |      |      |      |     |
|-------|----------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| X-III | ⊖        | 4    | 13   | 18   | 22   | 67   | 98   | 205  | lat |
|       | <i>b</i> | 0,25 | 0,30 | 0,26 | 0,22 | 0,30 | 0,18 | 0,86 | °C  |
| IV-IX | ⊖        | 4    | 14   | 18   | 23   | 54   | 83   | 172  | lat |
|       | <i>b</i> | 0,13 | 0,14 | 0,18 | 0,18 | 0,23 | 0,29 | 0,29 | °C  |
| I-XII | ⊖        | 4    | 13   | 17   | 60   | .    | 89   | 194  | lat |
|       | <i>b</i> | 0,16 | 0,20 | 0,13 | 0,13 | .    | 0,20 | 0,56 | °C  |

Według oscylogramu korelacji (maksima lokalne współczynnika korelacji wielokrotnej) najdłuższy cykl średniej rocznej temperatury powietrza jest równy 217 lat.

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

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

$$W = 50,17 + 12,8 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{59}t - 1,901\right) \quad 1748 \quad (t = 0)$$

$$C = 95,09 + 19,68 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{61}t + 1,525\right) \quad 1890 \quad (t = 0)$$

Maksima tych sinusoid regresji występują w tym samym czasie:

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

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

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

$$W = 48,09 + 19,84 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{91}t + 0,012\right)$$

Ich minima przypadają na lata:

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

Minimum średniej rocznej temperatury powietrza w cyklu 194 lat:

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

występuje w latach: 1636, 1830, 2024 – znacznie różniących się od dat minimów wiekowych aktywności Słońca w cyklu 179 lat: 1698, 1872, 2051.

Najdłuższymi cyklami temperatury powietrza w Warszawie w poszczególnych miesiącach są:

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

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

| I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1825 | 1829 | 1820 | 1832 | 1848 | 1846 | 1845 | 1867 | 1832 | 1799 | 1807 | 1797 |
| 2013 | 2005 | 2027 | 2031 | 2010 | 1996 | 2003 | 2014 | 2012 | 1995 | 2007 | 1999 |

## 2. Okresowa zmienność opadów atmosferycznych w Warszawie

Cykliczność miesięcznych, sezonowych, półrocznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1813-1980 przedstawiono w tomie VII *Atlasu* (Boryczka, Stopa-Boryczka i inni, 1992).

Okresy miesięcznych sum opadów są zawarte w przedziałach: 3-6, 9-13, 15-23, 30-44, 51-67, 74-100, 113-124 lat.

Długości najdłuższych cykli ( $\Theta$ ) i ich amplitudy ( $b$ ) wynoszą:

|                 | I   | II  | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| $\Theta$ (lata) | 100 | 93  | 139 | 64  | 133 | 80  | 74  | 100  | 100 | 129 | 115 | 113 |
| $b$ (mm)        | 2,1 | 7,9 | 6,7 | 2,5 | 3,8 | 8,1 | 8,3 | 4,2  | 4,5 | 7,5 | 4,4 | 4,0 |

We wszystkich miesiącach (z wyjątkiem października) występuje okres 9-13 lat, zbliżony do 11-letniego cyklu aktywności Słońca:

|                 | I   | II  | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X | XI  | XII |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|---|-----|-----|
| $\Theta$ (lata) | 10  | 10  | 10  | 10  | 11  | 9   | 11  | 13   | 10  | - | 10  | 11  |
| $b$ (mm)        | 3,9 | 3,2 | 4,0 | 5,8 | 5,7 | 9,8 | 8,2 | 9,5  | 7,9 | - | 7,2 | 7,0 |

Na przykład w miesiącach I kwartału maksima cykli 10-letnich występują w latach:

|     |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| I   | 1817 | 1827 | 1837 | 1847 | 1857 | ... | 1917 | 1927 | 1937 | 1947 | 1957 |
| II  | 1818 | 1828 | 1838 | 1848 | 1858 | ... | 1918 | 1928 | 1938 | 1948 | 1958 |
| III | 1818 | 1828 | 1838 | 1848 | 1858 | ... | 1918 | 1928 | 1938 | 1948 | 1958 |
| IV  | 1818 | 1828 | 1838 | 1848 | 1858 | ... | 1918 | 1928 | 1938 | 1948 | 1958 |

o maksymalnej aktywności Słońca  $W_{\max}$  w latach:

1817, 1830, 1837, 1848, 1860, ..., 1917, 1927, 1937, 1947, 1957.

W drugiej połowie XIX wieku i na początku XX wieku maksima opadów atmosferycznych występują podczas minimów aktywności Słońca  $W_{\min}$ :

1867, 1878, 1889, 1901, 1913, 1923.

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

|                 |      |      |      |      |      |
|-----------------|------|------|------|------|------|
| $\Theta$ (lata) | 6    | 16   | 19   | 58   | 112  |
| $2b$ (mm)       | 28,4 | 36,0 | 31,6 | 30,9 | 30,0 |

Dwa najdłuższe cykle opisują równania sinusoid regresji:

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

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

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

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

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

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

|      |            |      |            |
|------|------------|------|------------|
| Data | $P_{\max}$ | Data | $P_{\min}$ |
| 1756 | 654 (mm)   | 1764 | 468 (mm)   |
| 1852 | 684        | 1824 | 466        |
| 1965 | 690        | 1938 | 457        |
| 2025 | 641        | 2017 | 486        |

Maksimum opadów  $P_{\max} = 690$  mm przypada w Warszawie na rok 1965, a minimum  
 $P_{\min} = 486$  mm wystąpi w roku 2017.

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

Istotnym rozszerzeniem badań okresowości opadów atmosferycznych w Polsce jest  
praca A. Michalskiej (1998). Stosując tę samą metodę "sinusoid regresji" wyznaczenia  
cykli (Boryczka, 1993) poddano analizie statystycznej 130-letnie ciągi chronologiczne  
(1861-1990) sezonowych i rocznych sum opadów w 6 miejscowościach w Polsce (Ko-  
szalin, Bydgoszcz, Poznań, Wrocław, Kraków i Warszawa).

Istotną statystycznie okresowością około 11-letnią cechują się sezonowe sumy opa-  
dów atmosferycznych w Polsce. Amplitudy  $\Delta P = P_{\max} - P_{\min}$  w stosunku do średnich se-  
zonowych ( $\Delta P \cdot P^{-1}$  w %) są duże:

| Miejscowość | Wiosna   |      | Lato     |      | Jesień   |      | Zima     |      | Rok      |      |
|-------------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|
|             | $\Theta$ | %    | $\Theta$ | %    | $\Theta$ | %    | $\Theta$ | %    | $\Theta$ | %    |
| Koszalin    | 11,9     | 16,6 | 9,9      | 9,7  | 11,1     | 22,8 | 10,1     | 17,6 | 11,1     | 10,6 |
| Bydgoszcz   | 10,9     | 22,4 | 11,3     | 17,7 | 12,2     | 23,9 | 10,0     | 24,7 | 11,6     | 12,4 |
| Poznań      | 10,5     | 21,0 | 9,9      | 23,4 | 10,7     | 19,3 | 10,0     | 24,7 | 10,7     | 15,2 |
| Warszawa    | 12,0     | 23,7 | 11,2     | 13,8 | 10,2     | 10,6 | 10,1     | 25,9 | 11,3     | 9,5  |
| Wrocław     | 10,2     | 27,4 | 9,7      | 16,7 | 9,9      | 13,2 | 9,9      | 17,4 | 9,8      | 13,9 |
| Kraków      | 10,2     | 18,7 | 10,3     | 12,9 | 10,9     | 17,1 | 9,8      | 12,3 | 9,8      | 5,4  |

Zakres zmienności sezonowych sum opadów w niektórych porach roku (wiosna, zi-  
ma) przekracza 25%.

W przypadku Warszawy wyniki tych badań potwierdzają omówioną już cykliczność  
opadów atmosferycznych (z lat 1813-1980). Podobnie jest w przypadku opadów we

Wrocławiu (1859-1980) i Krakowie (1850-1987), których cykliczność określono wcześniej (np. Boryczka, 1993).

Istnieje zbieżność prawdziwych okresów opadów atmosferycznych w Warszawie (1813-1980) z okresami otrzymanymi metodą autokorelacji (Kozuchowski, 1990), w paśmie dużych częstości zmian. Oto porównanie okresów opadów w Warszawie (1881-1980) z obliczonymi metodą autokorelacji:

|                |      |      |     |     |     |     |     |     |
|----------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Autorzy Atlasu | 39,3 | 10,7 | 6,0 | 4,8 | 3,5 | 2,5 | 2,3 | lat |
| K. Kozuchowski | 39,9 | 11,0 | 6,7 | 4,7 | 3,4 | 2,7 | 2,4 | lat |

Roczne sumy opadów w Warszawie ulegają m.in. okresowości 39,3 lat, znacznie różniącemu się od cyklu 35-letniego, stwierdzonego przez E. Brücknera (1890).

Niedoskonałość metody autokorelacyjnej występuje w pasmach średnich częstości, a szczególnie małych częstości zmian (długich okresów).

Interesujące są też wyniki badań A. Ewerta (1984), dotyczące przestrzenno-czasowych zmienności opadów atmosferycznych w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem północno-zachodniej części Polski. Wyrównując np. ciągi chronologiczne opadów (1891-1980), cyrkulacji atmosferycznej (1891-1976), zachodniej składowej wiatru geostroficznego na poziomie 500 hPa w sektorze atlantycko-europejskim (1881-1976) autor wyjaśnia mechanizm występowania ekstremów wiekowych.

Innym wskaźnikiem opadów atmosferycznych są odpływy rzek. Istotne znaczenie w określeniu wiekowych odpływów rzek mają wcześniejsze prace J. Stachy (1968, 1970) oraz J. Jokiel i K. Kozuchowskiego (1989). J. Stachy stwierdza istotną statystyczną zależność między cyklami odpływów rzek i cyklami aktywności Słońca oraz zmianami wiekowymi cyrkulacji zachodniej, wschodniej, południowej wg klasyfikacji Wangenheima.

Natomiast J. Jokiel i K. Kozuchowski dokonali analizy spektralnej (autokorelacyjnej) odpływów rzek. Trzeba zaznaczyć, że tylko okresy krótkie (do kilkunastu lat), wyznaczone tą metodą, są wiarygodne.

Wszędzie zmienność opadów atmosferycznych w Polsce była badana przez Z. Kaczorowską (1962) z zastosowaniem analizy harmonicznej. Wyznaczanie jednak kolejnych wyrazów szeregu Fouriera jest mało „precyzyjną” metodą wykrywania okresów opadów atmosferycznych. Okazuje się, że tylko niektóre z przyjętych *a priori* harmonik są przypadkowo równe prawdziwym okresom (np. cykl 70 lat).

### 3. Tendencje zmian klimatu Warszawy

Średnia globalna temperatura powietrza w latach 1890-1985 wzrosła od 0,2°C w strefie okołorównikowej do 5°C w strefie polarnej w czasie zim. Wzrost średniej globalnej temperatury, obliczonej na podstawie pomiarów temperatury powietrza i powierzchni mórz w latach 1861-1991, wynosi średnio 0,5°C (IPCC, 1990).

W Europie i Polsce są coraz cieplejsze przede wszystkim zimy: w Warszawie o 1°C/100 lat, Krakowie – o 1,4°C, Pradze – o 0,25°C, Genewie – o 0,5°C, Anglii Środkowej – o 0,3°C (tab. 6).



Tab.6. Tendencje temperatury powietrza w Europie (i Polsce) w °C/100 lat

The tendency of air temperature in Europe (and Poland) in °C/100 years

| Miejscowość          | Wiosna | Lato  | Jesień | Zima | Rok   |
|----------------------|--------|-------|--------|------|-------|
| Warszawa (1779-1990) | 0,79   | 0,13  | 0,66   | 1,03 | 0,66  |
| Kraków (1826-1990)   | 0,99   | 0,32  | 0,81   | 1,38 | 0,93  |
| Wrocław (1851-1980)  | 0,37   | -0,70 | 0,05   | 0,12 | -0,04 |
| Praga (1771-1980)    | 0,00   | -0,25 | -0,11  | 0,25 | -0,03 |
| Zurych (1864-1980)   | -0,15  | -0,90 | 0,38   | 0,65 | 0,03  |
| Genewa (1768-1980)   | -0,12  | -0,19 | 0,14   | 0,51 | 0,08  |
| Poczdám (1893-1992)  | 0,50   | 0,92  | 1,11   | 0,10 | 0,66  |
| Anglia (1659-1973)   | 0,21   | 0,01  | 0,19   | 0,32 | 0,18  |

Inaczej jest w sezonie letnim – coraz chłodniejszym w niektórych miejscowościach: w Pradze – o 0,25°C/100 lat, Genewie – o 0,19°C/100 lat. Średnie roczne wartości temperatury w: Wrocławiu, Pradze, Zurychu, Genewie mają prawie zerowe tendencje.

Wraz ze wzrostem średniej globalnej temperatury powietrza obserwuje się podnoszenie poziomu oceanów – średnio o 10-15 cm w ostatnim stuleciu.

Poziom Morza Bałtyckiego wg stanów wody w Świnoujściu w latach 1811-1990 podnosi się średnio o 4,5 cm/100 lat: wiosna – 1,4, lato – 3,8, jesień – 6,8, zima – 5,7 cm/100lat (Kozuchowski, Boryczka, 1997). Ekwiwalentem obecnej pokrywy lodowej (lody Antarktydy, Arktyki i lodowce górskie) jest różnica poziomu oceanów 59,1-83,3 m (Boryczka, 1998). Obecnie pokrywa lodowa na Ziemi stanowi 43,8-61,7 % masy lodu sprzed 18000 lat, kiedy to poziom Atlantyku obniżył się o 135 m (rekonstrukcje linii brzegowych w III fazie würm, Lamb, 1972-77, zob. Schönwiese, 1992). Średnie tempo wzrostu poziomu oceanów w ciągu tych 18 000 lat wynosi zatem 75 cm/100 lat.

Nie wiadomo, jaka część postępującego ocieplenia klimatu w XIX-XX wieku jest wywołana przyczynami naturalnymi, a jaka czynnikami antropogenicznymi. Istnieje jednak możliwość oszacowania składnika naturalnego  $T'(t)$  trendu czasowego temperatury powietrza. Składnik naturalny  $T'(t)$  – to wypadkowa nakładających się cykli naturalnych, skorelowanych ze zmiennymi astronomicznymi.

Jeżeli przez punkty empiryczne  $(t_i, T_i)$  poprowadzimy prostą regresji  $T = A_0 + At$ , a przez punkty „naturalne”  $(t_i, T'_i)$  prostą  $T' = B_0 + Bt$ , to różnica  $a = A - B$  wskazuje tendencję antropogeniczną.

Postępujące ocieplenie klimatu Europy (i Polski) jest przede wszystkim efektem interferencji naturalnych cykli temperatury synchronicznych z cyklami zmiennych astronomicznych i geologicznych. Na przykład tendencja rosnąca temperatury powietrza podczas zim w Warszawie  $A = 1^\circ\text{C}/100$  lat jest wynikiem nakładania się kilku wykrytych cykli. Uwzględnienie tylko najdłuższych okresów: 38,3, 66,7, 113,1, 218,3 lat wyjaśnia część  $B = 0,89^\circ\text{C}/100$  lat postępującego ocieplenia. Na czynniki antropogeniczne przypada zaledwie  $0,1^\circ\text{C}/100$  lat. Podobnie jest podczas zim w Genewie, gdzie tendencję rosnącą  $A = 0,5^\circ\text{C}/100$  lat wyjaśnia nakładanie się dłuższych okresów: 28,8, 46,7, 93,7, 216,6 lat ( $B = 0,48$ ,  $a = 0,02^\circ\text{C}/100$  lat).

Tendencje sezonowych, półrocznych i rocznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1813-1990, określone równaniami prostych regresji  $P = C_0 + Ct$  (współczynniki regresji  $C$  w mm/100lat), wynoszą:

| Zima | Wiosna | Lato | Jesień | P. chłodne | P. ciepłe | Rrok |
|------|--------|------|--------|------------|-----------|------|
| 5,6  | -7,2   | -3,1 | 0,9    | 3,3        | -6,7      | -4,2 |

Sumy wiosenne i letnie opadów w Warszawie maleją średnio o 7,2 mm/100lat i 3,1 mm/100lat, sumy zimowych opadów są coraz większe – o 5,6 mm/100lat. Tendencja rocznych sum opadów jest w Warszawie malejąca –  $C = -4,2$  mm/100lat.

Postępujące ocieplenie klimatu np. Warszawy o  $0,66^{\circ}\text{C}/100$  lat może być wywołane wzrostem aktywności Słońca (stałej słonecznej) w latach 1779-1993 – o 16,8/100 lat (rys. 59)

$$T = 6,915 + 0,006572 t$$

$$W = 20,80 + 0,168364 t$$

Natomiast obserwuje się spadek aktywności wulkanicznej na Ziemi w ostatnich dwóch stuleciach (1680-1980); tendencję malejącą wskaźnika  $DVI$  ( $-49/100$  lat), a rosnącą – odstępów czasu między erupcjami  $\Delta t$  ( $1,9$  lat/100 lat).

Nie bez znaczenia jest coraz większa koncentracja masy w Układzie Słonecznym względem płaszczyzny ekliptyki (dyspersja masy maleje).

#### 4. Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku

W prognozach zmian klimatu Polski przyjęto założenie, że ekstrema wykrytych cykli temperatury powietrza będą się powtarzać nadal, tak jak w XVIII-XX wieku. Do przyjęcia takiego założenia upoważnia obecność analogicznych cykli w ciągach czasowych: aktywności Słońca (stałej słonecznej) i parametrów Układu Słonecznego. Najdłuższe okresy około 100- i 200-letni powtarzają się wielokrotnie w ciągach chronologicznych paleotemperatury ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) i zawartości substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych.

Sprawdziły się dotychczasowe prognozy temperatury powietrza w Warszawie na podstawie danych z lat 1799-1980 – prognozowane minimum wiekowe średniej rocznej temperatury w roku 1980 (Boryczka, 1993). Średnia roczna temperatura  $6,6^{\circ}\text{C}$  w roku 1980, wg pomiarów ze stacji Warszawa-Okęcie, jest najmniejszą wartością w 30-leciu 1966-1995.

Prognozy temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie w XXI wieku na podstawie danych: średnich miesięcznych, sezonowych i rocznych z lat 1779-1990 i 1813-1990 przedstawiają wykresy (na rys. 60-78) trendów czasowych  $T = T(t)$ ,  $P = P(t)$  – zestawionych na końcu rozdz. VI.

Najcieplejsze i najchłodniejsze, najwilgotniejsze i najsuchsze: miesiące, sezony i lata w Warszawie (1779-2100, 1813-2100) podano w tab. 7-11.

Prognozowane ekstrema średnich miesięcznych, sezonowych i rocznych wartości temperatury powietrza i sum opadów atmosferycznych w latach 1991-2100 w Warszawie zestawiono w tab. 3.

Są to wypadkowe z nakładania się (interferencji) zimowych i letnich cykli temperatury powietrza, wykrytych na podstawie danych z lat 1779-1990.

Najmroźniejsze zimy, o średniej temperaturze  $-7^{\circ}\text{C}$ , wystąpią prawdopodobnie w połowie przyszłego stulecia – około roku 2050. Według wypadkowej letnich cykli temperatury powietrza chłodne lata wystąpią w pierwszych dwóch dekadach przyszłego wieku.

Postępującego globalnego ocieplenia nie można przypisać jedynie czynnikom antropogenicznym – antropogenicznej części efektu cieplarnianego, wywołanego wzrostem

zawartości CO<sub>2</sub> w atmosferze. Wzrosty i spadki temperatury powietrza są skorelowane ze wzrostami i spadkami zmierzonej masy CO<sub>2</sub> w atmosferze (ppm), a nie ze wzrostami i spadkami CO<sub>2</sub> (wyrażonymi w Gt), pochodzącymi ze spalania paliw. Około 125 000 lat temu, podczas globalnego ocieplenia wystąpił wzrost koncentracji CO<sub>2</sub> w atmosferze podobny jak teraz. Świadczą o tym krzywe zmian stężenia CO<sub>2</sub> i paleotemperatury w ciągu ostatnich 160000 lat odtworzone na podstawie izotopu tlenu z rdzeni lodowych na stacji Wostok (WMO, 1990). Zmiany stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze (w ppm) i paleotemperatury (w °C) są synchroniczne. Maksimum sprzed 125 000 lat – to naturalne ocieplenie klimatu Ziemi, spowodowane wzrostem promieniowania słonecznego. Jest to maksimum promieniowania na krzywej M. Milankowicza (1938), otrzymanej z nakładania się okresów zmian parametrów orbity Ziemi.

Tak więc „równoległość” krzywych zmian stężenia CO<sub>2</sub> i paleotemperatury nie jest dowodem, że postępujące ocieplenie jest wywołane antropogenicznym efektem cieplarnianym. Wspiera to tezę, że zawartość dwutlenku węgla (zmierzona masa CO<sub>2</sub>, ppm) zależy od temperatury wód oceanów.

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

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

O istnieniu realnych (deterministycznych) okresów opadów atmosferycznych o poprawności modeli statystycznych świadczy sprawdzalność prognoz zmian klimatu Polski w XX wieku. Dobra jest także zgodność z wynikami pomiarów (na Okęciu) prognozowanych rocznych sum opadów atmosferycznych w Warszawie (1813-1980) przedstawionych w pracy J. Boryczki (1993). Krzywej sum rocznych o tendencji malejącej w latach 1981-1990 odpowiada spadek zmierzonych sum opadów: od 656 mm – w roku 1981 do 456 mm – w roku 1990, a następnie wzrost do 652 mm w 1993.

Dość dobra zgodność prognozowanych wartości temperatury i opadów atmosferycznych ze zmierzonymi – poza przedziałem aproksymacji – świadczy, iż istnieją przyczynowo-skutkowe związki między okresami zmiennych klimatologicznych i astronomicznych.

Postępem w badaniach wiekowych zmian klimatu jest także wyodrębnienie dwóch składników trendu czasowego: naturalnego i antropogenicznego. Obserwowane zmiany wiekowe np. temperatury powietrza można traktować jako wypadową zmian naturalnych uwarunkowanych aktywnością Słońca i zmian antropogenicznych wynikających z wpływu takich czynników, jak rozbudowa miasta, wzrost zawartości CO<sub>2</sub> (efekt cieplarniany) i pyłów (absorpcja promieniowania słonecznego) w atmosferze i innych. Autorzy wyszli z założenia, że składnik naturalny jest wynikiem nakładania się tych sinusoidalnych cykli. Natomiast składnik antropogeniczny cechuje się stałą tendencją zmian. Trzeba jednak pamiętać, że wyodrębnione przyrosty antropogeniczne temperatury i opadów atmosferycznych (i ich prognoza na lata 2000-2100) nie zawsze wynikają

z wpływu czynników antropogenicznych. Mogą to być również zmiany naturalne o bardzo długich nieznanym okresie, nie stwierdzonych na podstawie istniejących ciągów chronologicznych.

Tego rodzaju trendy czasowe elementów klimatu umożliwiły autorom dokonanie rekonstrukcji (od roku 1700) i prognozy (po rok 2100) klimatu Warszawy przez zwykłą eksplorację funkcji aproksymujących.

Trzeba zauważyć, że krzywa wiekowych zmian temperatury powietrza w stuleciu XXI znajduje się poniżej średniej rocznej z dwóch ostatnich stuleci. Biorąc jednak pod uwagę przyrosty antropogeniczne temperatury, które złagodzą jej naturalne spadki, może nie wystąpić zbytne ochłodzenie klimatu w przyszłym stuleciu. Oczywiście prognozy te – sondaż przyszłości – otrzymano przy założeniu, że ekstrema wykrytych cykli, które wystąpiły w XVIII-XX wieku, powtarzać się będą nadal.

Antropogeniczne przyrosty temperatury  $\Delta t = at$  ulegają rocznym zmianom. Oto wartości współczynnika liniowego  $a$  (w  $^{\circ}\text{C}/100$  lat) w poszczególnych miesiącach:

|     | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII  | IX   | X    | XI   | XII  |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| $A$ | 0,59 | 0,01 | 0,21 | 0,21 | 0,07 | 0,03 | 0,01 | -0,26 | 0,08 | 0,20 | 1,16 | 1,48 |

Antropogeniczne przyrosty temperatury  $\Delta T = at$  w odniesieniu do roku 1778 ( $t = 0$ ,  $\Delta T = 0$ ) mają wartości ( $^{\circ}\text{C}$ ):

|      | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII  | IX   | X    | XI   | XII  |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| 1900 | 0,72 | 0,01 | 0,26 | 0,26 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | -0,32 | 0,10 | 0,24 | 1,42 | 1,81 |
| 2000 | 1,31 | 0,02 | 0,47 | 0,47 | 0,16 | 0,07 | 0,02 | -0,58 | 0,18 | 0,44 | 2,57 | 3,28 |
| 2100 | 2,91 | 0,03 | 0,08 | 0,68 | 0,23 | 0,10 | 0,03 | -0,84 | 0,26 | 0,64 | 3,74 | 4,76 |

Składniki liniowe  $a_0 + at$  trendu temperatury powietrza w półroczach chłodnym (X-III) i ciepłym (IV-IX) oraz w roku (I-XII) wynoszą:

$$\begin{aligned} \text{X-III} & T = -0,1385 + 0,00483t + \dots \\ \text{IV-IX} & T = 14,52 + 0,00041t + \dots \\ \text{I-XII} & T = 7,263 + 0,00181t + \dots \end{aligned}$$

Antropogeniczne przyrosty temperatury powietrza w miesiącach półrocza chłodnego są dodatnie ( $a > 0$ , dominacja efektu cieplarnianego wynikającego ze wzrostu zawartości  $\text{CO}_2$  w atmosferze), a w miesiącach półrocza ciepłego – bardzo małe lub ujemne ( $a < 0$ , dominacja absorpcji promieniowania słonecznego przez pyły naturalne lub przemysłowe pochodzące z emisji wtórnej).

Antropogeniczne przyrosty temperatury ( $\Delta T$ ) są największe w grudniu:  $a = 1,48^{\circ}\text{C}/100$  lat, a spadki w sierpniu:  $a = -0,26^{\circ}\text{C}/100$  lat. Średnie wartości stałej tendencji zmian wynoszą: półrocze chłodne –  $a = 0,48^{\circ}\text{C}/100$  lat, półrocze ciepłe –  $a = 0,04^{\circ}\text{C}/100$  lat, rok –  $a = 0,19^{\circ}\text{C}/100$  lat.

Przyrosty ( $\Delta T$  w  $^{\circ}\text{C}$ ) średniej rocznej temperatury powietrza nie są zbyt duże:

|            | 1900 | 2000 | 2100 |
|------------|------|------|------|
| $\Delta T$ | 0,23 | 0,42 | 0,61 |

W latach 2000, 2100 wyniosą one odpowiednio 0,4 i 0,6°C. Tendencja rosnąca temperatury powietrza może też wynikać, ze wzrostu akumulacji ciepła przez zabudowę (w dzień) – rozbudowy miast.

Te małe wartości przyrostów antropogenicznych  $\Delta T$  temperatury powietrza w niektórych miesiącach wynikają prawdopodobnie z przeciwnego oddziaływania na pole temperatury powietrza pyłów – absorbujących promieniowanie słoneczne i dwutlenku węgla – wywołującego efekt cieplarniany atmosfery.

Ekstremalne wartości temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie w 30-leciu 1966-1995 (średnie miesięczne, średnie maksymalne, średnie minimalne, absolutne maksima, absolutne minima) zestawiono w tab. 12-16. Uzupełnieniem informacji są ekstremalne wartości ciśnienia atmosferycznego w latach 1966-1995, podane w tab. 17-18.

Jeszcze bardziej wiarygodne są prognozy średnich konsekwentnych 11-letnich wartości temperatury powietrza (°C) i sum opadów atmosferycznych (Pmm) w Warszawie w latach 1991-2100, przedstawione na wykresach na rys. 79-97. Są to krzywe średnich ruchomych 11-letnich ekstrapolowanych wartości trendów czasowych temperatury  $T(t)$  i opadów  $P(t)$ .

Funkcje trendów czasowych temperatury powietrza  $T(t)$  w Warszawie:

Styczeń

$$T = -3,734 + 1,016 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{2,6}t + 2,426\right) + 0,6558 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,5}t - 0,6561\right) + 0,6535 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,8}t + 2,718\right) +$$

$$+ 0,7148 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,6}t + 0,6532\right) + 0,8569 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 1,821\right) + 1,056 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,3}t + 0,7635\right) +$$

$$+ 0,5900 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{13,0}t + 0,5444\right) + 0,5849 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,4}t + 1,928\right) + 0,5959 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{27,5}t - 1,162\right) +$$

$$+ 0,5427 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{62,5}t - 0,2586\right) + 0,5881 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{122,7}t + 2,761\right) + 1,166 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{204,7}t + 3,000\right)$$

$$T = -4,915 + 0,0118t + 1,016 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{2,6}t + 2,425\right) + 0,667 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,5}t - 0,6526\right) + 0,6569 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,8}t + 2,727\right) +$$

$$+ 0,7157 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,6}t + 0,6356\right) + 0,8535 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 1,820\right) + 1,072 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,3}t + 0,7560\right) +$$

$$+ 0,5883 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{13,0}t + 0,5276\right) + 0,5903 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,4}t + 1,882\right) + 0,5783 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{27,5}t - 1,080\right) +$$

$$+ 0,5092 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{62,5}t - 0,1398\right) + 0,6507 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{122,7}t + 1,787\right) + 0,2585 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{204,7}t + 2,954\right)$$

Luty

$$T = -2,428 + 0,6328 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,1}t + 0,3323\right) + 0,8384 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,8}t + 0,6604\right) + 0,6783 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,2}t - 0,4824\right) +$$

$$+ 0,7666 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,9}t + 1,180\right) + 0,9710 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 1,495\right) + 0,8687 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,2}t + 2,171\right) +$$

$$+ 0,4233 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,9}t - 0,8869\right) + 0,8333 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,1}t + 1,105\right) + 0,7137 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,4}t - 2,799\right) +$$

$$+ 0,7591 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17,8}t + 2,155\right) + 0,4785 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{109,4}t + 1,416\right) + 0,5250 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{201,9}t + 2,669\right)$$

$$T = -2,966 + 0,0005046t + 0,6315 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,1}t + 0,3309\right) + 0,8420 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,8}t + 0,6557\right) + 0,6841 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,2}t + 1,168\right) +$$

$$+ 0,7674 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,9}t + 1,168\right) + 0,974 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 1,493\right) + 0,8626 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,2}t + 2,158\right) +$$

$$+ 0,4199 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,9}t - 0,8797\right) + 0,8362 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,1}t + 1,076\right) + 0,6950 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,4}t - 2,804\right) +$$

$$+ 0,7459 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17,8}t + 2,120\right) + 0,5822 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{109,4}t + 1,063\right) + 0,2189 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{201,9}t + 2,178\right)$$

Marzec

$$\begin{aligned} T = & 1,1999 + 0,4542 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,0}t - 1,744\right) + 0,5557 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,4}t - 0,8081\right) + 0,5914 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,0}t - 1,893\right) + \\ & + 0,8599 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,8}t + 0,1382\right) + 0,5092 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,1}t - 1,771\right) + 0,7344 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11,1}t + 0,01626\right) + \\ & + 0,4569 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{13,0}t + 0,5645\right) + 0,4656 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,2}t + 1,546\right) + 0,4652 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{19,8}t + 1,856\right) + \\ & + 0,4891 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{38,5}t - 0,1659\right) + 0,5266 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{71,3}t + 2,423\right) + 0,8823 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{221,2}t - 3,137\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T = & 0,7146 + 0,0455t + 0,4537 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,0}t - 1,739\right) + 0,5601 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,4}t - 0,8122\right) + 0,5944 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,0}t - 1,892\right) + \\ & + 0,8635 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,8}t + 0,1301\right) + 0,5139 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,1}t - 1,766\right) + 0,7443 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11,1}t - 0,02506\right) + \\ & + 0,4559 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{13,0}t + 0,5534\right) + 0,4062 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,2}t + 1,510\right) + 0,4727 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{19,8}t + 1,827\right) + \\ & + 0,4883 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{38,5}t - 0,1916\right) + 0,4614 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{71,3}t + 2,278\right) + 0,5697 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{221,2}t + 3,084\right) \end{aligned}$$

Kwiecień

$$\begin{aligned} T = & 7,456 + 0,4319 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,1}t - 0,04808\right) + 0,4420 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,5}t + 2,335\right) + 0,4256 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,3}t + 2,519\right) + \\ & + 0,4410 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,0}t + 0,3718\right) + 0,4537 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,2}t + 0,02135\right) + 0,3621 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,5}t - 1,268\right) + \\ & + 0,3378 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{13,0}t + 0,9486\right) + 0,3752 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,7}t - 2,075\right) + 0,3927 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17,0}t + 0,6803\right) + \\ & + 0,6866 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{23,8}t + 2,280\right) + 0,3693 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{30,5}t - 2,275\right) + 0,6555 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{229,7}t - 3,094\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T = & 7,214 + 0,002277t + 0,4316 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,1}t - 0,04927\right) + 0,4394 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,5}t + 2,337\right) + 0,4222 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,3}t + 2,519\right) + \\ & + 0,4406 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,0}t + 0,3667\right) + 0,4584 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,2}t + 0,02198\right) + 0,3653 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,5}t - 1,269\right) + \\ & + 0,3358 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{13,0}t + 0,9396\right) + 0,3761 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,7}t - 2,073\right) + 0,3935 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17,0}t + 0,6825\right) + \\ & + 0,6792 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{23,8}t + 2,262\right) + 0,3567 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{30,5}t - 2,236\right) + 0,4972 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{229,7}t + 3,132\right) \end{aligned}$$

Maj

$$\begin{aligned} T = & 13,50 + 0,3665 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,4}t - 2,544\right) + 0,4234 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 0,4298\right) + 0,3539 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t - 2,166\right) + \\ & + 0,3127 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,9}t + 0,3545\right) + 0,3511 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,9}t + 0,07473\right) + 0,3338 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,8}t + 0,3325\right) + \\ & + 0,2974 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{18,7}t + 0,8488\right) + 0,3478 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{21,0}t + 0,4772\right) + 0,3168 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{29,9}t + 2,558\right) + \\ & + 0,4117 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{45,3}t - 1,983\right) + 0,2083 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{99,13}t - 0,7269\right) + 0,5738 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{187,5}t + 2,400\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T = & 13,30 + 0,00188t + 0,3676 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,4}t - 2,542\right) + 0,4239 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 0,4219\right) + 0,3517 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t - 2,165\right) + \\ & + 0,3127 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,9}t + 0,3545\right) + 0,3511 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,9}t + 0,07473\right) + 0,3338 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,8}t + 0,3325\right) + \\ & + 0,2974 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{18,7}t + 0,8488\right) + 0,3478 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{21,0}t + 0,4772\right) + 0,3168 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{29,9}t + 2,558\right) + \\ & + 0,4117 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{45,3}t - 1,983\right) + 0,2083 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{99,1}t - 0,7269\right) + 0,5738 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{187,5}t + 2,400\right) \end{aligned}$$

Czerwiec

$$\begin{aligned} T = & 17,05 + 0,4982 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{2,3}t - 0,6322\right) + 0,3217 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,4}t - 3,050\right) + 0,3023 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,1}t + 1,452\right) + \\ & + 0,3320 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,9}t + 1,294\right) + 0,3062 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,1}t - 2,121\right) + 0,05399 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,5}t + 1,105\right) + \\ & + 0,3123 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{13,0}t - 1,295\right) + 0,2970 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,5}t + 0,03496\right) + 0,4197 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{20,4}t + 3,095\right) + \\ & + 0,3088 \sin\left(\frac{2\pi}{43,4}t + 2,266\right) + 0,2370 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{59,8}t + 1,583\right) + 0,3576 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{97,8}t + 2,523\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T = & 16,88 + 0,001613t + 0,4986 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{2,3}t - 0,6350\right) + 0,3222 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,4}t - 3,047\right) + 0,3027 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,1}t + 1,447\right) + \\ & + 0,3303 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,9}t + 1,292\right) + 0,3043 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,1}t - 2,111\right) + 0,05201 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,5}t + 1,071\right) + \\ & + 0,31543 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{13,0}t - 1,294\right) + 0,3005 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,5}t + 0,04602\right) + 0,4192 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{20,4}t + 3,101\right) + \\ & + 0,3004 \sin\left(\frac{2\pi}{43,4}t + 2,195\right) + 0,2458 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{59,8}t + 1,576\right) + 0,3109 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{97,8}t + 2,513\right) \end{aligned}$$



## Lipiec

$$\begin{aligned}
 T = & 18,65 + 0,4263 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,9}t - 1,246\right) + 0,3087 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,6}t - 0,4015\right) + 0,4696 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,1}t + 1,689\right) + \\
 & + 0,4297 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,2}t + 1,834\right) + 0,3384 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,1}t - 2,092\right) + 0,2149 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 1,199\right) + \\
 & + 0,1957 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,1}t - 1,810\right) + 0,3025 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11,4}t + 0,5977\right) + 0,2903 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,6}t + 0,07375\right) + \\
 & + 0,09521 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,8}t + 1,947\right) + 0,2780 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{66,8}t - 1,352\right) + 0,3071 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{184,7}t + 3,027\right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T = & 18,53 + 0,001087t + 0,4268 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,9}t - 1,247\right) + 0,3105 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,6}t - 0,4051\right) + 0,4699 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,1}t + 1,688\right) + \\
 & + 0,4275 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,2}t + 1,833\right) + 0,3269 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,1}t - 2,084\right) + 0,2149 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 1,199\right) + \\
 & + 0,1979 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,1}t - 1,804\right) + 0,3039 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11,4}t + 0,5996\right) + 0,2905 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,6}t + 0,07585\right) + \\
 & + 0,095941 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,8}t + 0,2049\right) + 0,2895 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{66,8}t - 1,299\right) + 0,2548 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{184,7}t + 3,107\right)
 \end{aligned}$$

## Sierpień

$$\begin{aligned}
 T = & 17,70 + 0,4867 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,9}t - 1,561\right) + 0,3586 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,4}t - 2,180\right) + 0,4471 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,7}t + 0,7338\right) + \\
 & + 0,3415 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,7}t - 2,289\right) + 0,2619 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10,2}t + 1,623\right) + 0,01563 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,6}t + 0,7260\right) + \\
 & + 0,3759 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{16,1}t + 1,513\right) + 0,3984 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{23,2}t + 1,065\right) + 0,2181 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{27,2}t + 0,4237\right) + \\
 & + 0,2443 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{32,5}t + 1,630\right) + 0,3575 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{42,6}t + 2,787\right) + 0,2689 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{132,3}t - 0,2937\right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T = & 17,80 - 0,009062t + 0,4863 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,9}t - 1,561\right) + 0,3580 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,4}t - 2,181\right) + 0,4475 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,7}t + 0,7360\right) + \\
 & + 0,3419 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,7}t - 2,289\right) + 0,2613 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10,2}t + 1,630\right) + 0,01453 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,6}t + 0,6710\right) + \\
 & + 0,3780 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{16,1}t + 1,520\right) + 0,3986 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{23,2}t + 1,074\right) + 0,2135 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{27,2}t + 0,4214\right) + \\
 & + 0,2431 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{32,5}t + 1,631\right) + 0,3673 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{42,6}t + 2,796\right) + 0,2686 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{132,3}t - 0,3539\right)
 \end{aligned}$$

### Wrzesień

$$\begin{aligned}
 T = & 13,55 + 0,3607 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,5}t - 0,5727\right) + 0,3917 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,7}t + 2,315\right) + 0,3872 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,4}t + 2,998\right) + \\
 & + 0,2495 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,0}t - 1,483\right) + 0,3246 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,2}t - 0,0388\right) + 0,2340 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,3}t + 1,075\right) + \\
 & + 0,3864 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,9}t + 2,908\right) + 0,4349 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{19,9}t - 0,3241\right) + 0,3529 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{27,4}t + 0,9513\right) + \\
 & + 0,3760 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{57,6}t + 2,642\right) + 0,2080 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{94,3}t + 2,653\right) + 0,2320 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{197,6}t + 2,399\right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T = & 13,52 + 0,002537t + 0,3610 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,5}t - 0,5732\right) + 0,3914 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,7}t + 2,316\right) + 0,3868 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,4}t + 2,999\right) + \\
 & + 0,2495 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,0}t - 1,483\right) + 0,3553 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,2}t - 0,0398\right) + 0,2349 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,3}t + 1,072\right) + \\
 & + 0,3860 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,9}t + 2,909\right) + 0,4352 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{19,9}t - 0,3222\right) + 0,3547 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{27,4}t + 0,9500\right) + \\
 & + 0,3750 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{57,6}t + 2,630\right) + 0,2030 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{94,3}t + 2,661\right) + 0,2184 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{197,6}t + 2,365\right)
 \end{aligned}$$

### Październik

$$\begin{aligned}
 T = & 7,947 + 0,3587 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{2,6}t - 0,05767\right) + 0,3154 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,5}t + 2,940\right) + 0,5962 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 0,4671\right) + \\
 & + 0,5082 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,5}t - 0,2477\right) + 0,2947 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,5}t - 0,3693\right) + 0,2204 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11,0}t + 1,456\right) + \\
 & + 0,3564 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11,9}t + 2,478\right) + 0,3161 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,9}t + 1,618\right) + 0,3107 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{26,9}t + 3,044\right) + \\
 & + 0,3680 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{32,8}t - 1,880\right) + 0,3488 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{69,0}t + 2,110\right) + 0,3634 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{110,4}t - 2,533\right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T = & 7,534 + 0,003876t + 0,359 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{2,6}t - 0,0572\right) + 0,3143 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,5}t + 2,937\right) + 0,5969 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 0,4578\right) + \\
 & + 0,5088 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,5}t - 0,2455\right) + 0,2984 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,5}t - 0,3836\right) + 0,2160 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11,0}t + 1,444\right) + \\
 & + 0,3501 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11,9}t + 2,450\right) + 0,3089 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,9}t + 1,611\right) + 0,2810 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{26,9}t + 3,004\right) + \\
 & + 0,3710 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{32,8}t - 1,877\right) + 0,3031 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{69,0}t + 1,957\right) + 0,2535 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{110,4}t - 2,349\right)
 \end{aligned}$$

## Listopad

$$\begin{aligned}
 T = & 2,298 + 0,4091 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,8}t - 2,049\right) + 0,4392 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t - 0,09162\right) + 0,5414 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,5}t + 0,6872\right) + \\
 & + 0,5314 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t - 1,297\right) + 0,4160 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,1}t - 2,548\right) + 0,4010 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,0}t - 0,3760\right) + \\
 & + 0,4124 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10,6}t + 1,609\right) + 0,3784 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11,3}t + 0,5833\right) + 0,4124 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,5}t + 2,978\right) + \\
 & + 0,4150 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{22,1}t + 1,712\right) + 0,1572 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{100,4}t + 2,591\right) + 1,008 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{235,6}t + 3,043\right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T = & 1,909 + 0,03568t + 0,4081 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,8}t - 2,042\right) + 0,4418 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t - 0,09927\right) + 0,5425 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,5}t + 0,6876\right) + \\
 & + 0,5302 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t - 1,293\right) + 0,4158 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,1}t - 2,534\right) + 0,4014 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,0}t - 0,3695\right) + \\
 & + 0,4096 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10,6}t + 1,589\right) + 0,3862 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11,3}t + 0,5811\right) + 0,3999 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,5}t + 2,977\right) + \\
 & + 0,4180 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{22,1}t + 1,702\right) + 0,09281 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{100,4}t + 2,472\right) + 0,7857 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{235,6}t + 2,921\right)
 \end{aligned}$$

## Grudzień

$$\begin{aligned}
 T = & -1,772 + 0,7887 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,5}t + 0,5964\right) + 0,9109 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,2}t - 0,1161\right) + 0,6821 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,1}t + 2,684\right) + \\
 & + 0,7286 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,2}t + 2,833\right) + 0,5307 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,7}t - 0,5709\right) + 0,5956 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10,0}t - 1,923\right) + \\
 & + 0,7504 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,0}t + 1,359\right) + 0,5950 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17,9}t - 3,007\right) + 0,4780 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{20,6}t - 1,243\right) + \\
 & + 0,5682 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{35,4}t + 2,587\right) + 0,5979 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{69,0}t + 2,489\right) + 0,1393 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{109,1}t - 2,996\right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T = & -3,194 + 0,01335t + 0,7937 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,5}t + 0,5955\right) + 0,9299 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,2}t - 0,1111\right) + 0,6658 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,1}t + 2,625\right) + \\
 & + 0,6913 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,2}t + 2,811\right) + 0,5420 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,7}t - 0,5991\right) + 0,6149 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10,0}t - 1,878\right) + \\
 & + 0,7317 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,0}t + 1,297\right) + 0,5193 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17,9}t - 3,035\right) + 0,5354 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{20,6}t - 1,224\right) + \\
 & + 0,4434 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{35,4}t + 2,426\right) + 0,3807 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{69,0}t + 2,250\right) + 0,2865 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{109,1}t + 0,1503\right)
 \end{aligned}$$

Wiosna

$$\begin{aligned}
 T = & 7,412 + 0,3608 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,4}t - 0,8782\right) + 0,3866 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,0}t + 2,961\right) + 0,2685 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,9}t + 3,062\right) + \\
 & + 0,3982 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,8}t + 0,6666\right) + 0,3292 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11,2}t + 0,9570\right) + 0,3103 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,9}t + 0,9181\right) + \\
 & + 0,2514 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,2}t + 1,969\right) + 0,4049 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{23,9}t + 2,792\right) + 0,3068 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{72,9}t + 2,789\right) + \\
 & + 0,6986 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{217,5}t + 2,979\right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T = & 7,257 + 0,00146 \cdot t + 0,3622 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,4}t - 0,8791\right) + 0,3854 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,0}t + 2,960\right) + 0,2666 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,9}t + 3,059\right) + \\
 & + 0,3992 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,8}t + 0,6596\right) + 0,3323 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11,2}t + 0,9487\right) + 0,3095 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,9}t + 0,9153\right) + \\
 & + 0,2513 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,2}t + 1,949\right) + 0,3984 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{23,9}t + 2,777\right) + 0,2814 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{72,9}t + 2,720\right) + \\
 & + 0,6013 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{217,5}t + 2,939\right)
 \end{aligned}$$

Lato

$$\begin{aligned}
 T = & 17,810 + 0,3927 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,9}t + 0,1769\right) + 0,2666 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 1,869\right) + 0,2484 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,2}t - 1,224\right) + \\
 & + 0,2253 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t - 1,737\right) + 0,2747 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,1}t - 1,389\right) + 0,08968 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,4}t - 0,1413\right) + \\
 & + 0,1762 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,8}t - 0,2554\right) + 0,2644 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,9}t + 1,476\right) + 0,2181 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{22,5}t + 0,2921\right) + \\
 & + 0,2304 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{44,0}t - 3,034\right) + 0,2390 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{91,2}t + 2,720\right) + 0,1317 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{208,2}t - 2,804\right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T = & 17,690 - 0,00143 \cdot t + 0,3923 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,9}t + 0,1814\right) + 0,2679 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 1,875\right) + 0,2486 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,2}t - 1,226\right) + \\
 & + 0,2254 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t - 1,737\right) + 0,2753 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,1}t - 1,399\right) + 0,08944 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,4}t - 0,1493\right) + \\
 & + 0,1722 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,8}t - 0,2480\right) + 0,2680 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,9}t + 1,486\right) + 0,2183 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{22,5}t + 0,3032\right) + \\
 & + 0,2480 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{44,0}t - 2,999\right) + 0,2500 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{91,2}t + 2,264\right) + 0,2211 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{208,2}t - 2,969\right)
 \end{aligned}$$

Jesień

$$\begin{aligned} T = & 7,904 + 0,3500 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 1,829\right) + 0,3746 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,5}t + 1,330\right) + 0,3181 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t - 0,2453\right) + \\ & + 0,2107 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,1}t + 0,3758\right) + 0,1822 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,6}t + 2,364\right) + 0,2109 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17,9}t - 2,041\right) + \\ & + 0,2885 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{104,4}t - 2,927\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T = & 7,249 + 0,006177 \cdot t + 0,3446 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 1,805\right) + 0,3698 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,5}t + 1,328\right) + 0,3180 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t - 0,2487\right) + \\ & + 0,2150 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9,1}t + 0,3106\right) + 0,1879 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,6}t + 2,311\right) + 0,2020 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17,9}t - 1,864\right) + \\ & + 0,1127 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{104,4}t - 2,333\right) \end{aligned}$$

Zima

$$\begin{aligned} T = & -2,634 + 0,5148 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{2,6}t - 1,327\right) + 0,5715 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,5}t + 0,5523\right) + 0,6238 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,2}t + 0,05656\right) + \\ & + 0,4422 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,7}t + 2,486\right) + 0,7067 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 0,7303\right) + 0,7836 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,3}t - 2,370\right) + \\ & + 0,4829 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,7}t - 0,3237\right) + 0,4078 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,9}t + 0,1328\right) + 0,4560 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,2}t + 2,318\right) + \\ & + 0,4940 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{18,0}t - 3,058\right) + 0,3645 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{113,1}t + 2,040\right) + 0,8946 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{218,3}t + 3,073\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T = & -3,721 + 0,01025 \cdot t + 0,5218 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{2,6}t - 1,332\right) + 0,5674 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,5}t + 0,5448\right) + 0,6281 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,2}t + 0,06199\right) + \\ & + 0,4266 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,7}t + 2,484\right) + 0,7091 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 0,7349\right) + 0,7349 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,3}t - 2,368\right) + \\ & + 0,4920 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,7}t - 0,3439\right) + 0,4082 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,9}t + 0,1191\right) + 0,4379 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,2}t + 2,252\right) + \\ & + 0,4685 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{18,0}t - 3,097\right) + 0,5029 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{113,1}t + 1,197\right) + 0,2097 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{218,3}t + 2,497\right) \end{aligned}$$

### Półrocze chłodne

$$\begin{aligned}
 T = & -0,5771 + 0,3498 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,2}t - 0,5000\right) + 0,4270 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,1}t - 0,8363\right) + 0,3188 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,5}t + 1,316\right) + \\
 & + 0,3038 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,7}t + 2,639\right) + 0,4246 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,8}t + 0,8721\right) + 0,3790 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,3}t - 1,976\right) + \\
 & + 0,3222 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,9}t + 0,2023\right) + 0,2770 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{69,4}t + 2,215\right) + 0,1614 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{109,3}t + 1,791\right) + \\
 & + 0,7969 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{237,5}t - 2,945\right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T = & -0,3721 + 0,00954 \cdot t + 0,3537 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,2}t - 0,5166\right) + 0,4289 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,1}t - 0,8423\right) + 0,3170 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,5}t + 1,315\right) + \\
 & + 0,2914 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,7}t + 2,643\right) + 0,4275 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,8}t + 0,8302\right) + 0,3956 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{8,3}t - 1,971\right) + \\
 & + 0,3223 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,9}t + 0,1731\right) + 0,2072 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{69,4}t + 1,807\right) + 0,2797 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{109,3}t + 0,8030\right) + \\
 & + 0,2061 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{237,5}t - 2,924\right)
 \end{aligned}$$

### Półrocze ciepłe

$$\begin{aligned}
 T = & 14,66 + 0,1872 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{2,4}t + 2,350\right) + 0,1958 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,9}t + 0,1327\right) + 0,2382 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 2,082\right) + \\
 & + 0,1864 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,9}t + 2,949\right) + 0,2179 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t - 1,489\right) + 0,1803 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,1}t - 1,792\right) + \\
 & + 0,1562 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,8}t + 0,05582\right) + 0,1905 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,7}t + 1,759\right) + 0,1379 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{18,8}t + 0,2232\right) + \\
 & + 0,2319 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{23,3}t + 1,660\right) + 0,1186 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{95,7}t - 3,137\right) + 0,2976 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{206,5}t + 2,916\right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T = & 14,60 + 0,0005058 \cdot t + 0,1866 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{2,4}t + 2,351\right) + 0,1960 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3,9}t + 0,1291\right) + 0,2375 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 2,079\right) + \\
 & + 0,1855 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,9}t + 2,952\right) + 0,2179 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t - 1,489\right) + 0,1797 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,1}t - 1,788\right) + \\
 & + 0,1576 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,8}t + 0,04983\right) + 0,1904 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15,7}t + 1,759\right) + 0,1390 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{18,8}t + 0,2084\right) + \\
 & + 0,2304 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{23,3}t + 1,643\right) + 0,1117 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{95,7}t - 3,085\right) + 0,2653 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{206,5}t + 2,899\right)
 \end{aligned}$$

Rok

$$\begin{aligned} T = & 7,606 + 0,2652 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 2,068\right) + 0,1975 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,5}t + 1,195\right) + 0,1861 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,7}t + 2,770\right) + \\ & + 0,1016 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t + 1,393\right) + 0,1769 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,4}t - 0,6569\right) + 0,2681 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 0,6979\right) + \\ & + 0,1801 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,9}t + 0,3615\right) + 0,1532 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,0}t + 1,007\right) + 0,1676 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17,7}t - 3,014\right) + \\ & + 0,1229 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{69,7}t + 2,516\right) + 0,5475 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{223,9}t - 3,085\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T = & 7,356 + 0,002366 \cdot t + 0,2627 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4,7}t + 2,059\right) + 0,1967 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,5}t + 1,194\right) + 0,1822 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5,7}t + 2,775\right) + \\ & + 0,09961 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6,5}t + 1,378\right) + 0,1767 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,4}t - 0,6535\right) + 0,2688 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7,7}t - 0,7022\right) + \\ & + 0,1800 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12,9}t + 0,3563\right) + 0,1544 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{14,0}t + 0,9523\right) + 0,1561 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17,7}t - 3,010\right) + \\ & + 0,08633 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{69,7}t + 2,265\right) + 0,3849 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{223,9}t - 3,131\right) \end{aligned}$$

Funkcje trendów czasowych opadów atmosferycznych  $P(t)$  w Warszawie:

Styczeń

$$\begin{aligned} P = & 31,24 + 3,918 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4}t + 3,096\right) + 3,830 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t - 2,252\right) + 5,062 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{30}t - 1,831\right) + \\ & + 7,230 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{55}t + 3,086\right) + 1,234 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{100}t - 0,3768\right) \end{aligned}$$

$$P = 30,71 + 0,00631 t + 3,912 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4}t + 3,097\right) + 3,819 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t - 2,250\right) + 5,035 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{30}t - 1,830\right)$$

Luty

$$\begin{aligned} P = & 28,46 + 3,431 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t - 1,308\right) + 3,941 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15}t - 1,358\right) + \\ & + 4,610 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{51}t + 2,354\right) + 7,213 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{93}t - 1,632\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P = & 26,63 + 0,02166 t + 3,428 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t - 1,292\right) + 4,005 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{15}t - 1,349\right) + \\ & + 4,521 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{51}t + 2,358\right) + 6,915 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{93}t - 1,571\right) \end{aligned}$$

Marzec

$$P = 32,12 + 3,912 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t - 2,175\right) + 5,599 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{21}t + 1,354\right) + \\ + 4,631 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{54}t - 2,954\right) + 6,142 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{139}t - 0,6647\right)$$

$$P = 34,11 - 0,02360t + 3,983 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t - 2,188\right) + 5,588 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{21}t + 1,393\right) + \\ + 5,039 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{54}t - 3,008\right) + 5,309 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{139}t - 0,6626\right)$$

Kwiecień

$$P = 37,92 + 5,933 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t - 2,407\right) + 4,833 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{23}t + 2,685\right) + \\ + 3,871 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{35}t - 1,356\right) + 1,892 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{64}t - 1,784\right)$$

$$P = 36,33 + 0,01877 \cdot t + 5,892 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t - 2,404\right) + 4,793 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{23}t + 2,691\right) + \\ + 3,826 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{35}t - 1,320\right) + 1,735 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{64}t - 1,763\right)$$

Maj

$$P = 51,44 + 5,458 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11}t - 2,466\right) + 7,633 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{19}t + 0,4500\right) + 6,798 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{35}t - 1,064\right) + \\ + 3,498 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{65}t - 0,6282\right) + 3,119 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{133}t - 0,0014\right)$$

$$P = 49,76 + 0,01989t + 5,468 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11}t - 2,459\right) + 7,745 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{19}t + 0,4482\right) + 6,794 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{35}t - 1,034\right) + \\ + 3,440 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{65}t - 0,5708\right) + 3,506 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{133}t - 0,1185\right)$$

Czerwiec

$$P = 65,72 + 9,916 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6}t - 3,115\right) + 9,673 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9}t - 2,491\right) + \\ + 7,388 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{23}t + 2,648\right) + 8,310 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{80}t + 2,477\right)$$

$$P = 69,60 - 0,04594 \cdot t + 10,00 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6}t - 3,120\right) + 9,751 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9}t - 2,491\right) + \\ + 7,541 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{23}t + 2,634\right) + 9,372 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{80}t + 2,514\right)$$



Lipiec

$$P = 80,81 + 8,157 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11}t + 2,880\right) + 11,70 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17}t - 0,2923\right) + \\ + 8,803 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{74}t - 1,160\right)$$

$$P = 75,96 + 0,05741 \cdot t + 8,075 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11}t + 2,892\right) + 12,00 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17}t - 0,2797\right) + \\ + 9,605 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{74}t - 1,137\right)$$

Sierpień

$$P = 72,82 + 8,841 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6}t - 2,728\right) + 9,420 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{13}t - 1,233\right) + \\ + 9,337 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{18}t - 1,043\right) + 11,21 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{55}t + 1,117\right) + \\ + 4,666 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{100}t + 0,1264\right)$$

$$P = 76,90 - 0,04834t + 8,891 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6}t - 2,735\right) + 9,362 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{13}t - 1,251\right) + \\ + 9,226 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{18}t - 1,041\right) + 11,09 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{55}t + 1,171\right) + \\ + 4,170 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{100}t - 0,0224\right)$$

Wrzesień

$$P = 46,55 + 6,016 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4}t + 1,036\right) + 7,911 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t + 1,194\right) + \\ + 6,782 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{20}t + 1,634\right) + 4,498 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{56}t + 1,074\right) + \\ + 4,418 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{100}t - 2,756\right)$$

$$P = 49,48 - 0,03463 \cdot t + 6,026 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4}t + 1,042\right) + 7,861 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t + 1,201\right) + \\ + 6,815 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{20}t + 1,634\right) + 4,320 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{56}t + 1,171\right) + \\ + 4,920 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{100}t - 2,689\right)$$

### Październik

$$P = 42,81 + 11,52 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5}t - 1,478\right) + 6,567 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17}t + 0,4236\right) + \\ + 9,431 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{44}t + 2,985\right) + 4,011 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{67}t - 2,102\right) + \\ + 6,099 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{129}t - 0,8805\right)$$

$$P = 41,43 + 0,01640 \cdot t + 11,52 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5}t - 1,477\right) + 6,657 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17}t + 0,4203\right) + \\ + 9,245 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{44}t + 2,969\right) + 3,987 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{67}t - 2,105\right) + \\ + 6,439 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{129}t - 0,8854\right)$$

### Listopad

$$P = 39,52 + 7,444 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t + 2,813\right) + 7,450 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{19}t + 1,592\right) + \\ + 5,238 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{31}t + 0,9635\right) + 3,615 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{54}t + 2,740\right) + \\ + 4,567 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{115}t + 0,2251\right)$$

$$P = 35,81 + 0,04390 \cdot t + 7,342 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t + 2,802\right) + 7,537 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{19}t + 1,558\right) + \\ + 5,192 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{31}t + 0,9549\right) + 2,889 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{54}t + 2,743\right) + \\ + 4,561 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{115}t + 0,2137\right)$$

### Grudzień

$$P = 36,49 + 4,934 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3}t - 3,109\right) + 7,061 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11}t + 0,9538\right) + \\ + 5,269 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{20}t + 0,6067\right) + 5,914 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{53}t + 2,267\right) + \\ + 2,767 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{113}t - 1,018\right)$$

$$P = 35,72 + 0,00910 \cdot t + 4,929 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3}t - 3,107\right) + 7,050 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{11}t + 0,9511\right) + \\ + 5,263 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{20}t + 0,6042\right) + 5,795 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{53}t + 2,261\right) + \\ + 2,743 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{113}t - 1,012\right)$$

Wiosna

$$P = 121,9 + 13,07 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3}t - 3,015\right) + 11,51 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{19}t + 0,6313\right) + \\ + 12,98 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{34}t - 1,481\right) + 7,211 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{60}t - 1,845\right) + \\ + 6,331 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{128}t - 0,6359\right)$$

$$P = 123,1 - 0,01438 \cdot t + 13,07 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3}t - 3,015\right) + 11,43 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{19}t + 0,6322\right) + \\ + 12,99 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{34}t - 1,494\right) + 7,435 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{60}t - 1,869\right) + \\ + 6,003 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{128}t - 0,6161\right)$$

Lato

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

$$P = 222,9 - 0,05795 \cdot t + 25,24 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6}t - 1,746\right) + 15,94 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9}t - 1,717\right) + \\ + 18,91 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{13}t - 0,3448\right) + 9,429 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{54}t + 1,822\right) + \\ + 8,035 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{122}t + 1,077\right)$$

Jesień

$$P = 128,0 + 13,51 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5}t - 0,3209\right) + 12,49 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{20}t + 2,526\right) + \\ + 9,694 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{32}t + 2,017\right) + 7,943 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{43}t + 2,955\right) + \\ + 10,16 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{120}t - 0,9553\right)$$

$$P = 124,7 + 0,03956 \cdot t + 13,51 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5}t - 0,3225\right) + 12,43 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{20}t + 2,530\right) + \\ + 9,478 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{32}t + 2,008\right) + 7,494 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{43}t + 2,924\right) + \\ + 10,45 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{120}t - 0,9641\right)$$

Zima

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

$$P = 93,11 - 0,03897 \cdot t + 11,20 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t - 1,024\right) + 8,672 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{21}t + 1,524\right) + \\ + 15,83 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{53}t + 2,623\right) + 9,643 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{100}t - 1,131\right)$$

Półrocze chłodne

$$P = 209,6 + 17,81 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5}t - 0,2662\right) + 15,78 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t - 1,644\right) + \\ + 18,97 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17}t + 0,3435\right) + 22,96 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{57}t - 2,809\right) + \\ + 21,15 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{108}t - 0,9746\right)$$

$$P = 207,6 + 0,02291 \cdot t + 17,81 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5}t - 0,2667\right) + 15,76 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{10}t - 1,642\right) + \\ + 19,07 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{17}t + 0,3436\right) + 22,61 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{57}t - 2,806\right) + \\ + 21,04 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{108}t - 0,9693\right)$$

Półrocze ciepłe

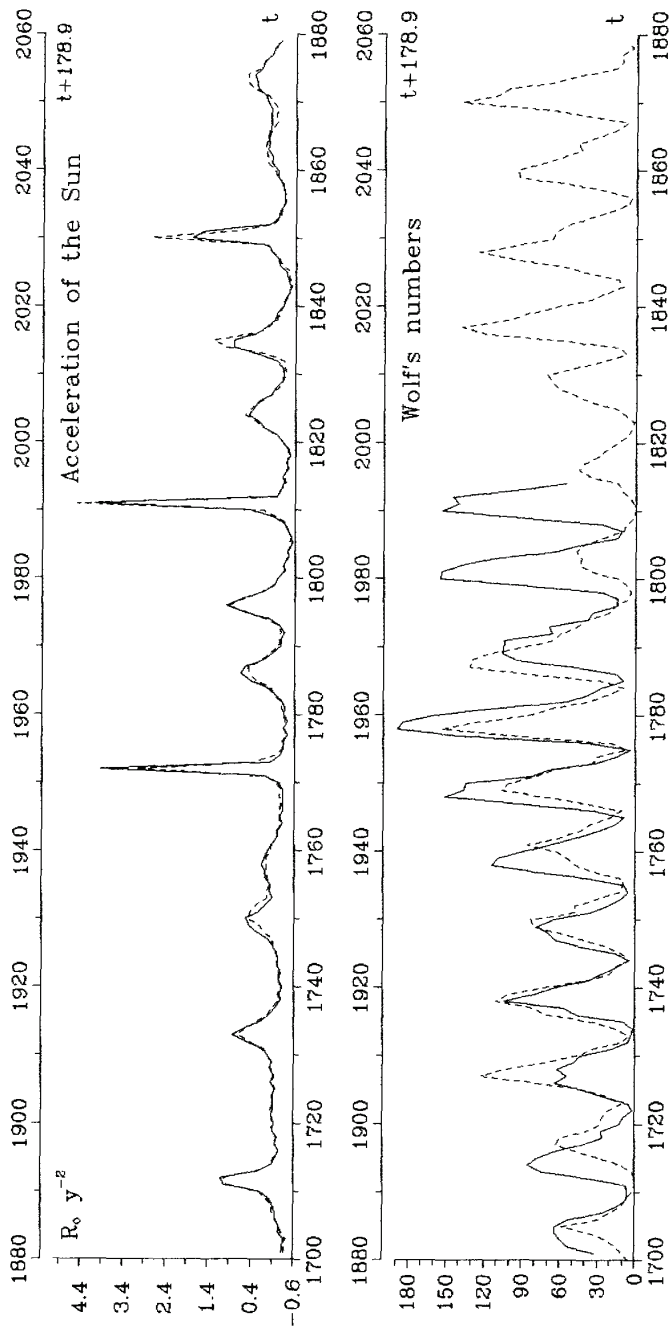
$$P = 355,3 + 28,07 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6}t - 1,775\right) + 17,54 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{16}t - 1,116\right) + \\ + 20,14 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{19}t + 0,7210\right) + 9,415 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{52}t + 1,031\right)$$

$$P = 355,2 + 0,00057 \cdot t + 28,07 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6}t - 1,775\right) + 17,54 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{16}t - 1,116\right) + \\ + 20,14 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{19}t + 0,7210\right) + 9,41 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{52}t + 1,030\right)$$

Rok

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

$$\begin{aligned} P = & 562,5 - 0,02481 \cdot t + 28,22 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{6}t - 1,449\right) + 32,02 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{16}t - 1,113\right) + \\ & + 27,59 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{19}t + 0,8765\right) + 26,99 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{58}t - 3,018\right) + \\ & + 26,73 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{112}t - 0,6907\right) \end{aligned}$$

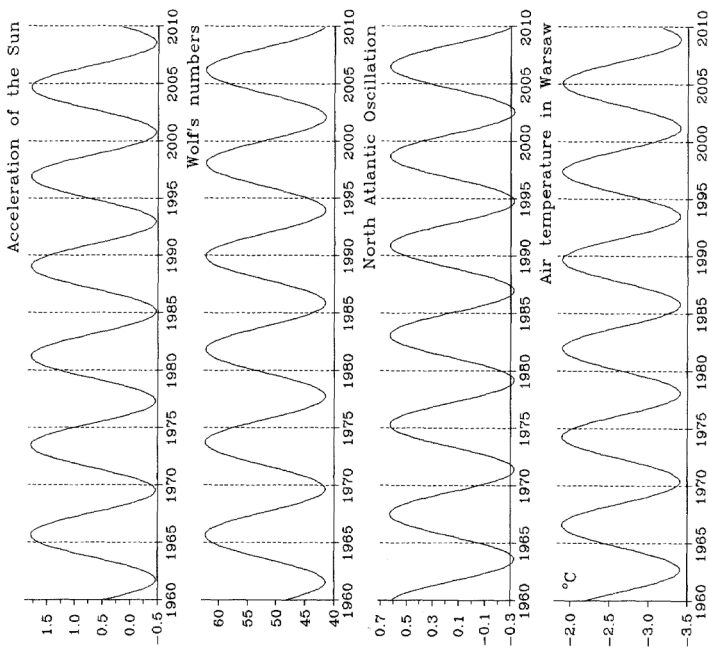


Rys. 57. Przyspieszenie Słońca i liczby Wolfa w latach 1700-1878,9 (krzywa przerywana) i 1879-2057,8 (krzywa ciągła – tj. po 178,9 latach.

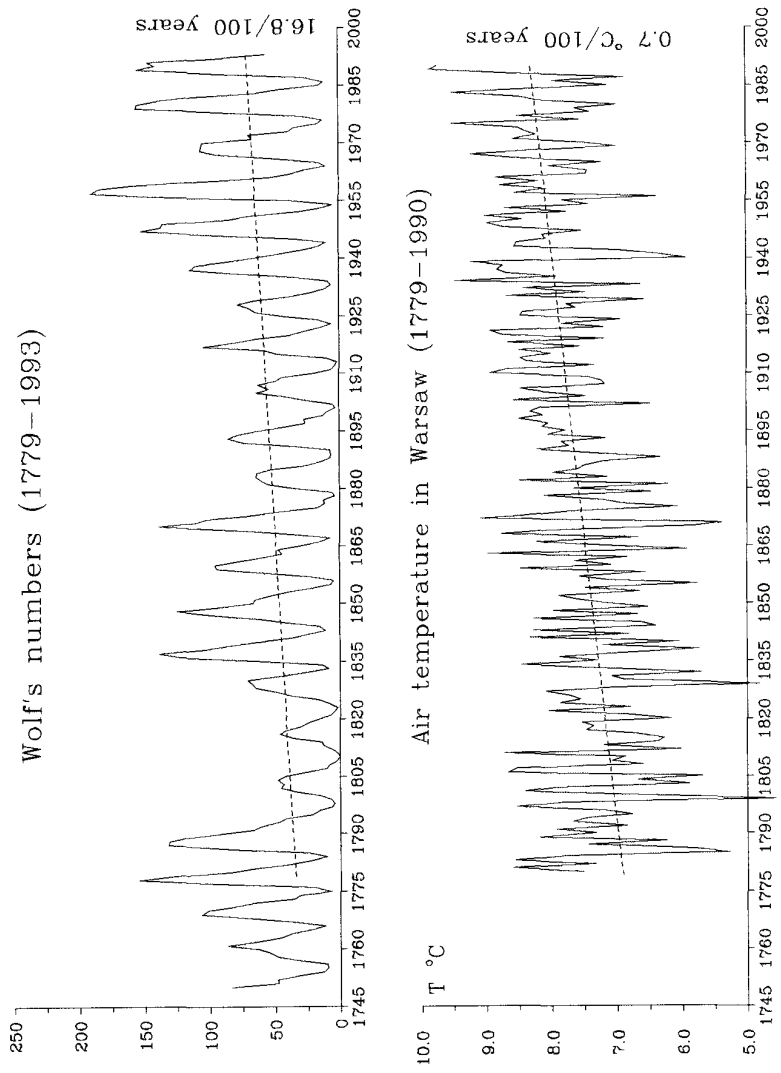
Stała słoneczna w latach 1749-1815 i 1927,8-1993 (po 178,9 latach)

Acceleration of the sun and Wolf's numbers in the years 1700-1878,9 (broken curve) and 1879-2057,8 (solid curve) – i.e. after 178,9 years.

Solar constant in the years 1749-1815 and 1927,8-1993 (after 178,9 years)



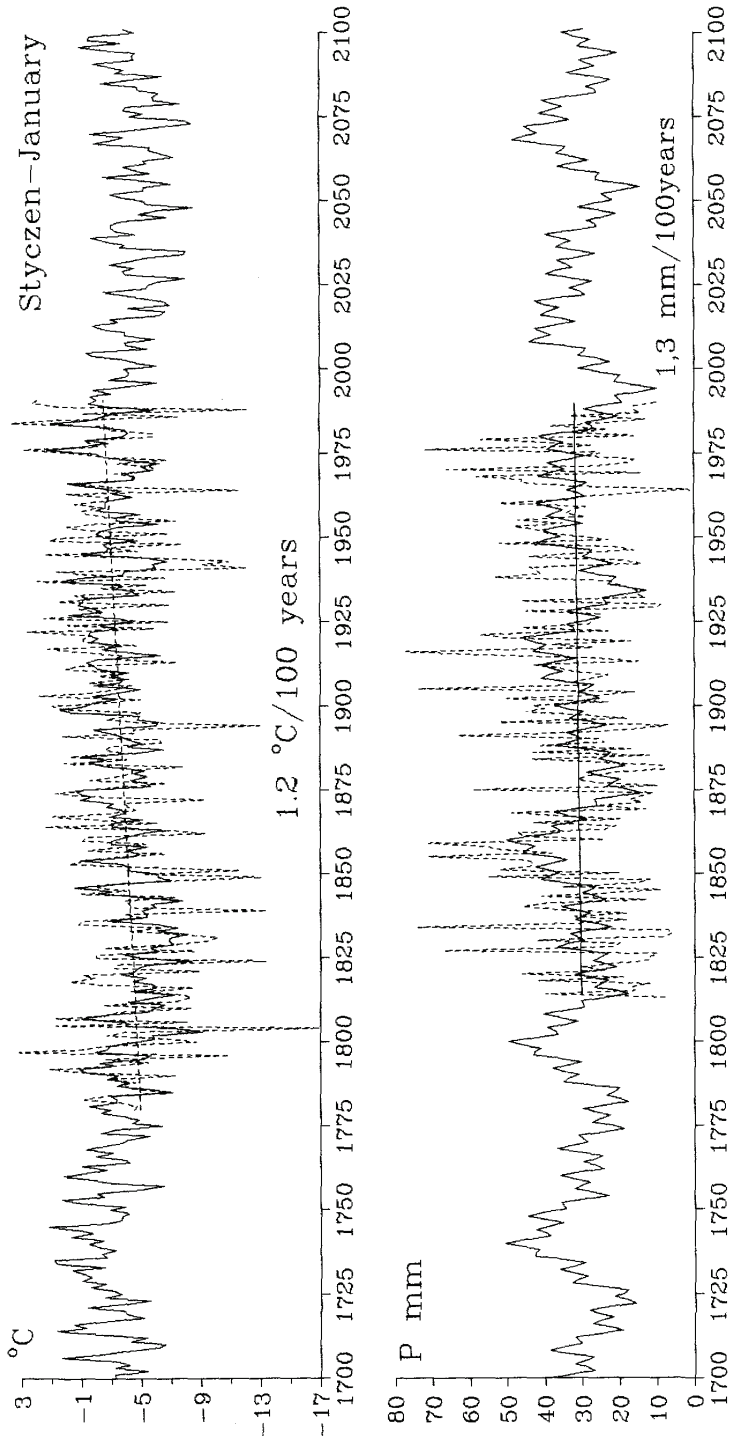
Rys. 58. Cykle około 8-letnie przyspieszenia Słońca. Liczb Wolf'a, wskaźnika Oscylacji Północnoatlantycznej *NAO* i temperatury powietrza podczas zim w Warszawie  
 The close-to-8-year cycles of the acceleration of the sun, and of Wolf's number, and of North Atlantic Oscillation index *NAO*, and of air temperature in Warsaw during winters



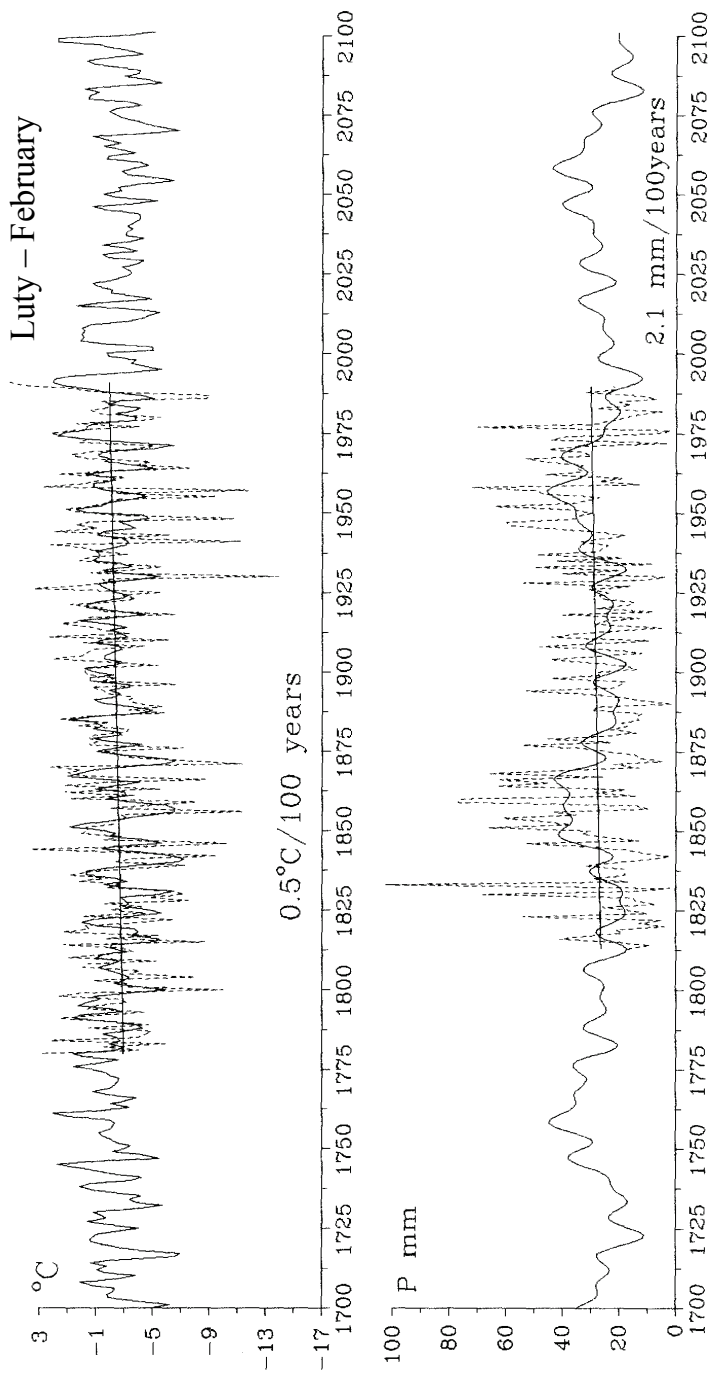
Rys. 59. Tendencje rosnące liczb Wolfa – o 16,8/100 lat i temperatury powietrza w Warszawie – o 0,66°C/100 lat w latach 1779-1990

The increasing trend of the Wolf's numbers – by 16,8 per 100 years, and of the air temperature in Warsaw – by 0,66°C/100 years in the years 1779-1990

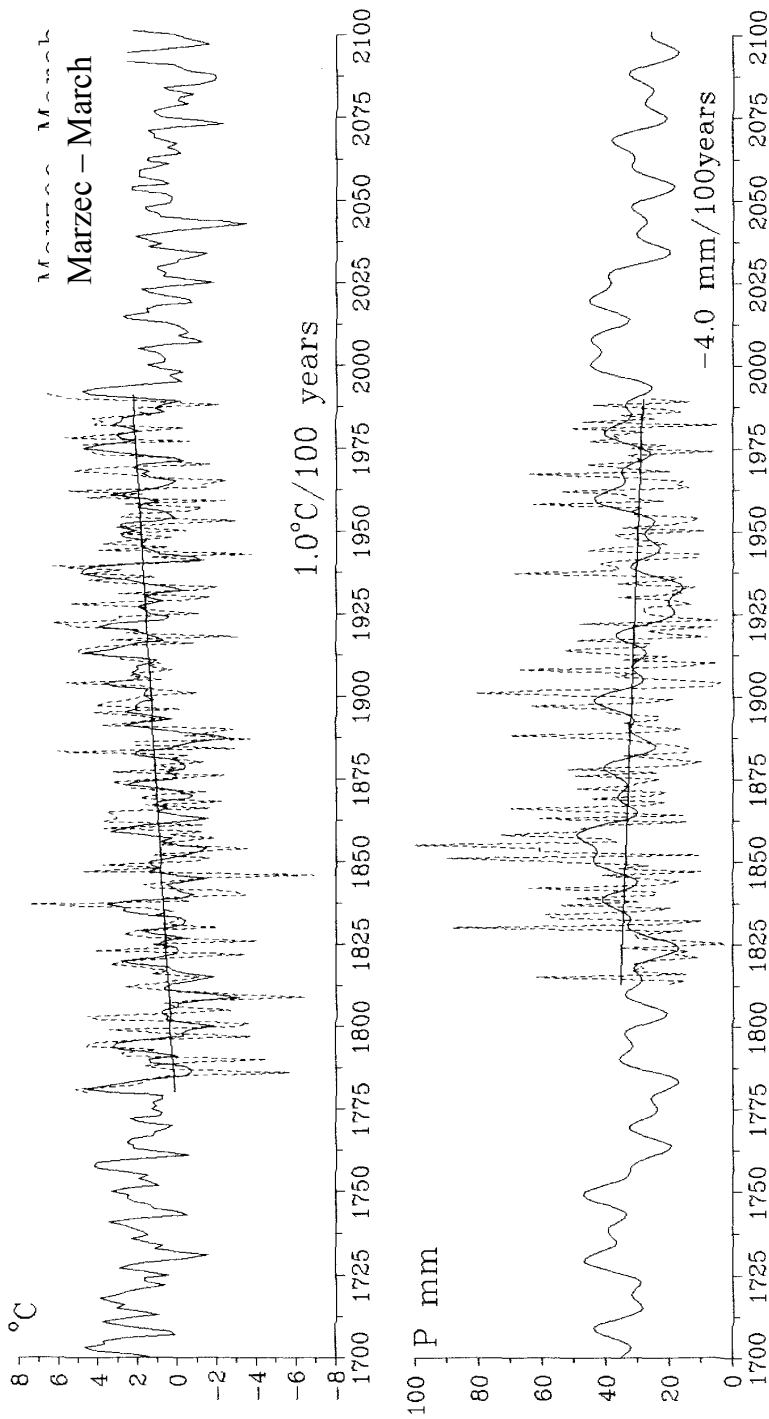




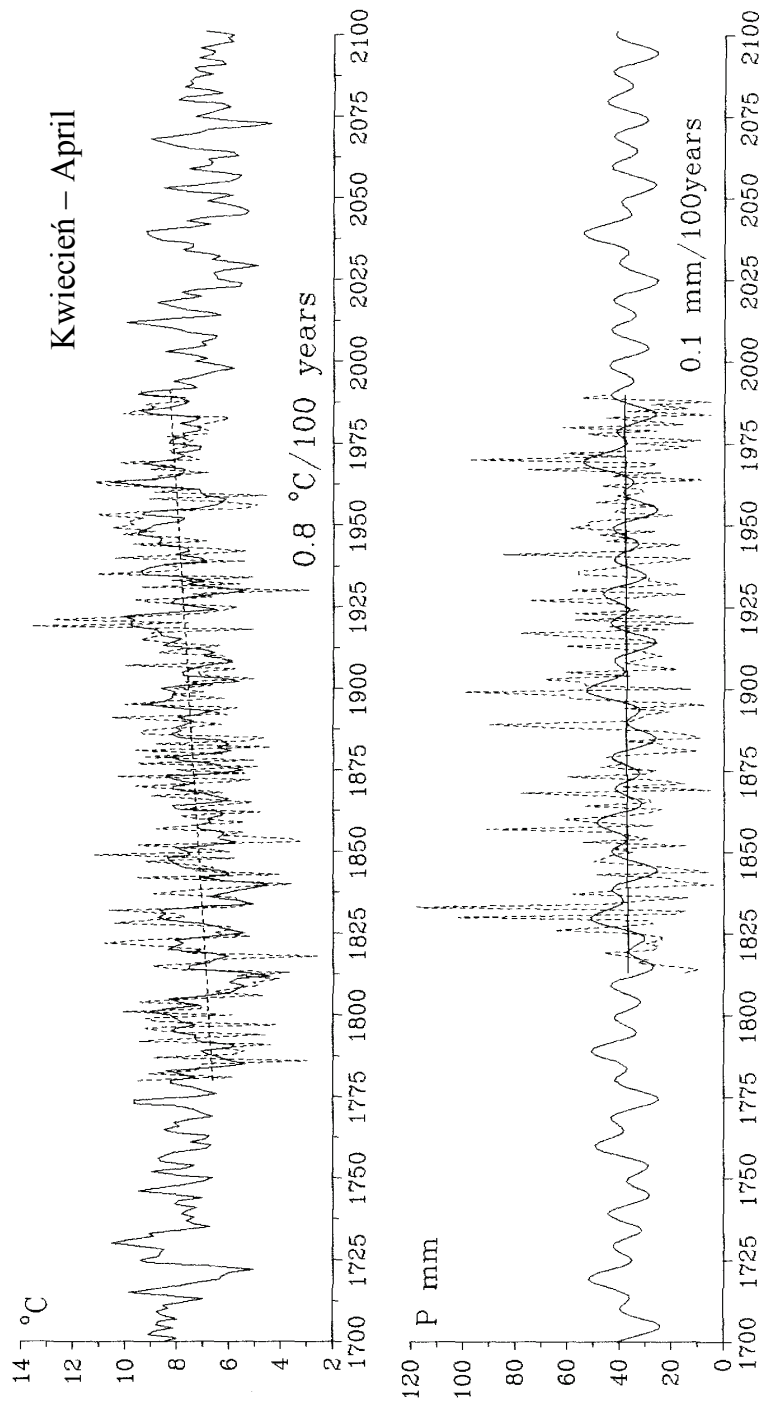
Rys. 60. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku – styczeń  
 Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>th</sup> centuries – January



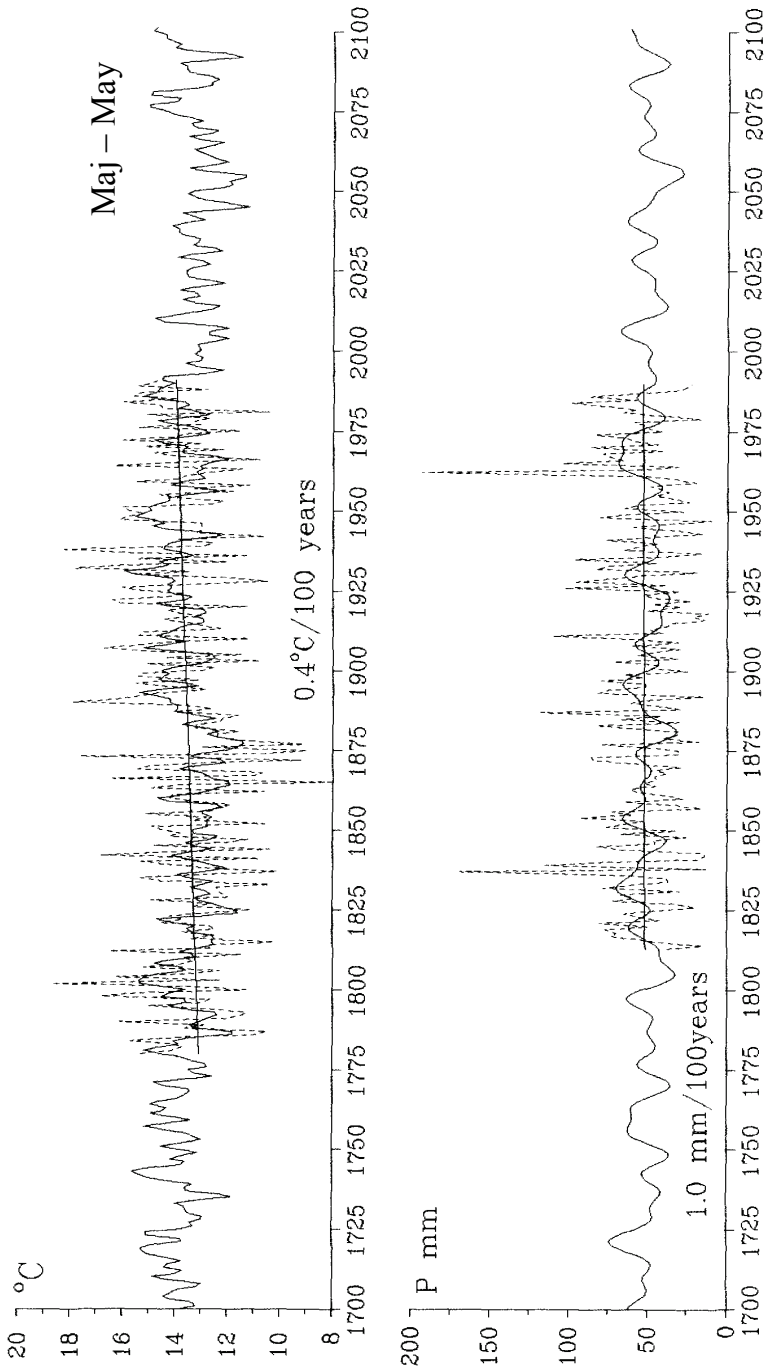
Rys. 61. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku – luty  
 Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>th</sup> centuries – February



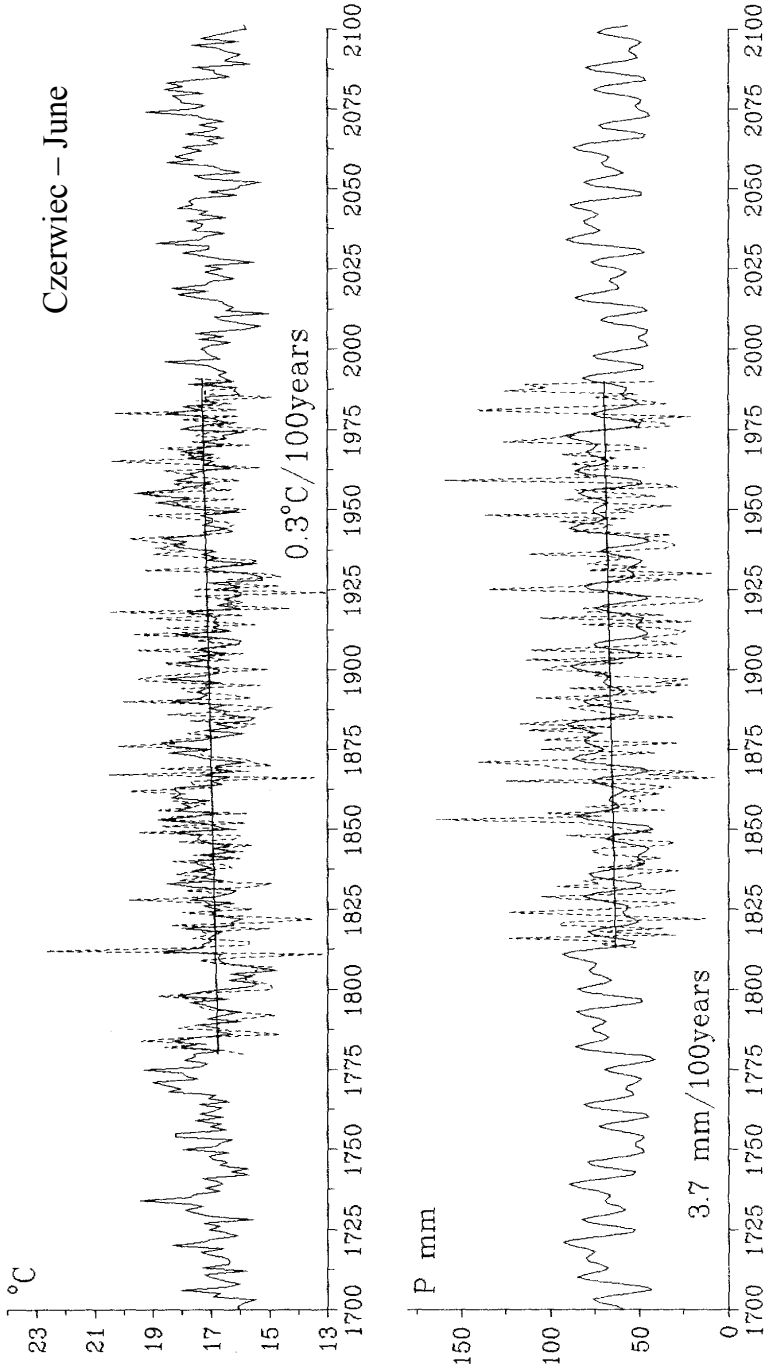
Rys. 62. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku - marzec  
 Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>st</sup> centuries - March



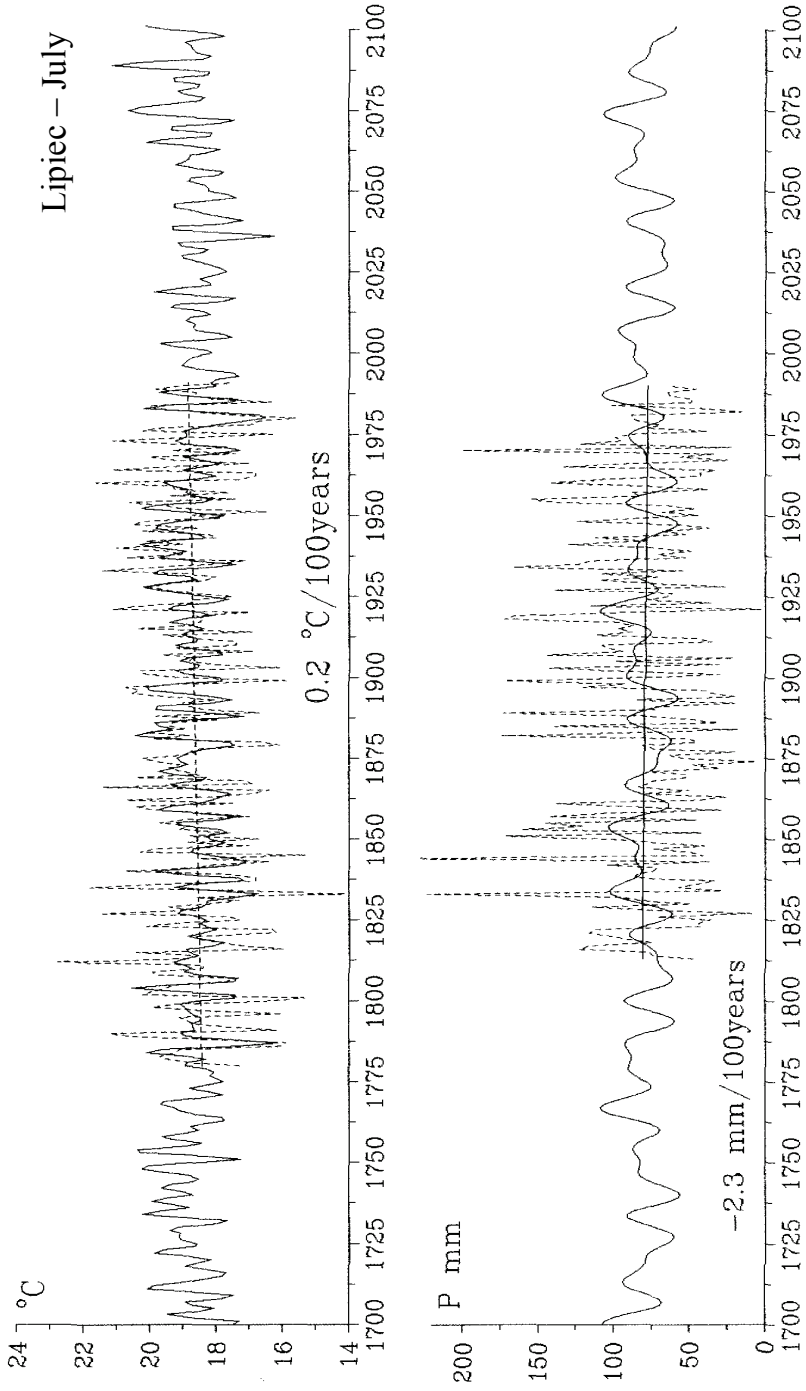
Rys. 63. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku – kwiecień  
 Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>st</sup> centuries – April



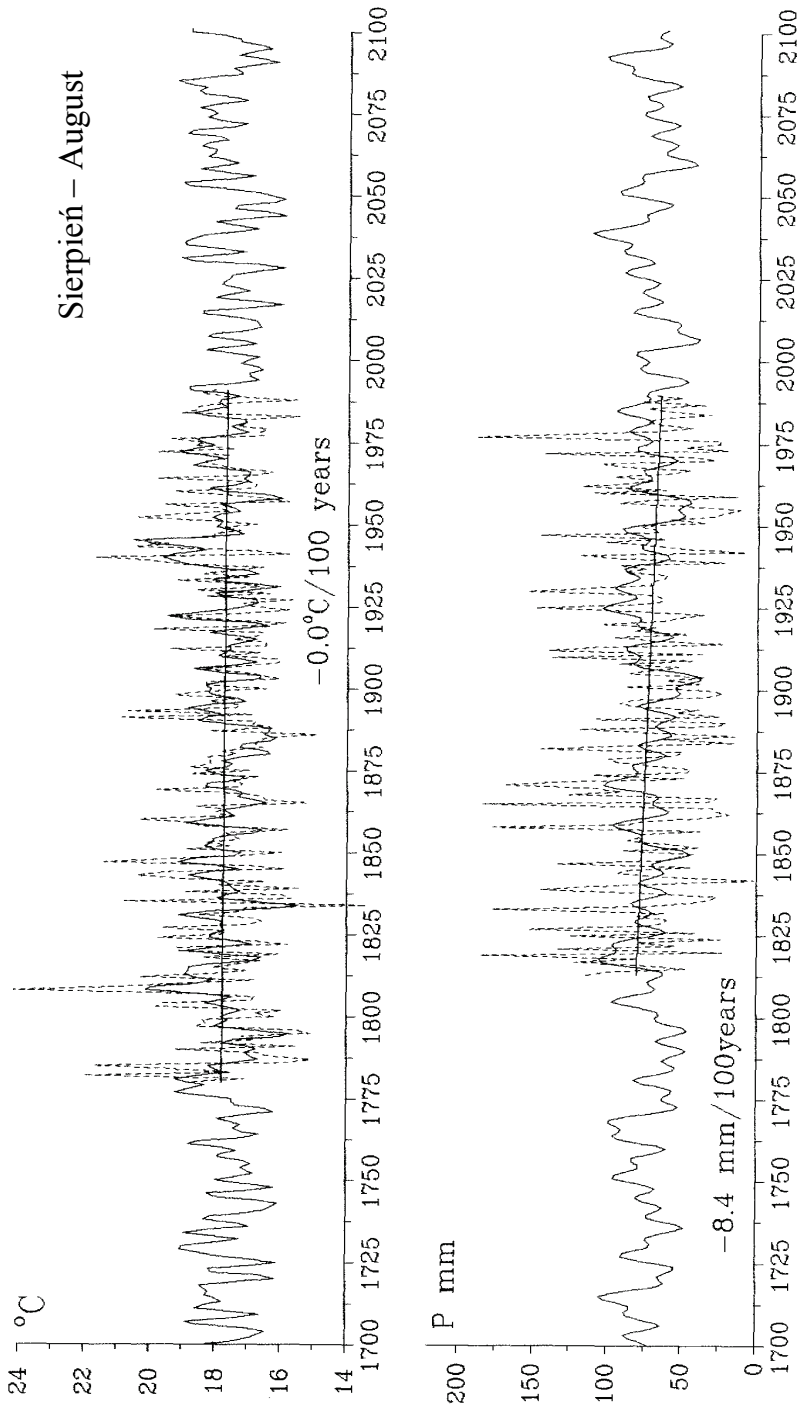
Rys. 64. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku – maj  
 Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>st</sup> centuries – May



Rys. 65. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku – czerwiec  
 Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>th</sup> centuries – June

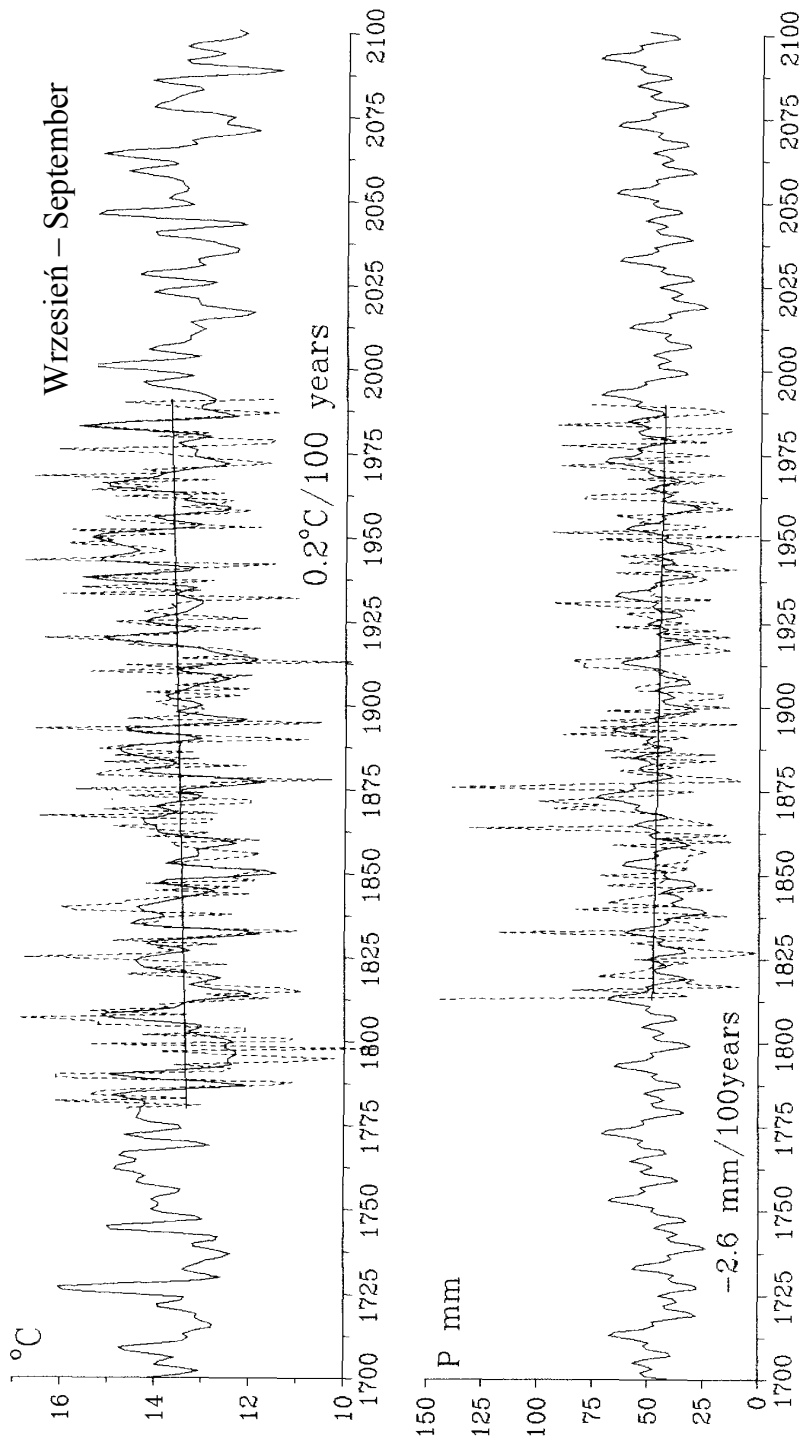


Rys. 66. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku – lipiec  
 Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>th</sup> centuries – July



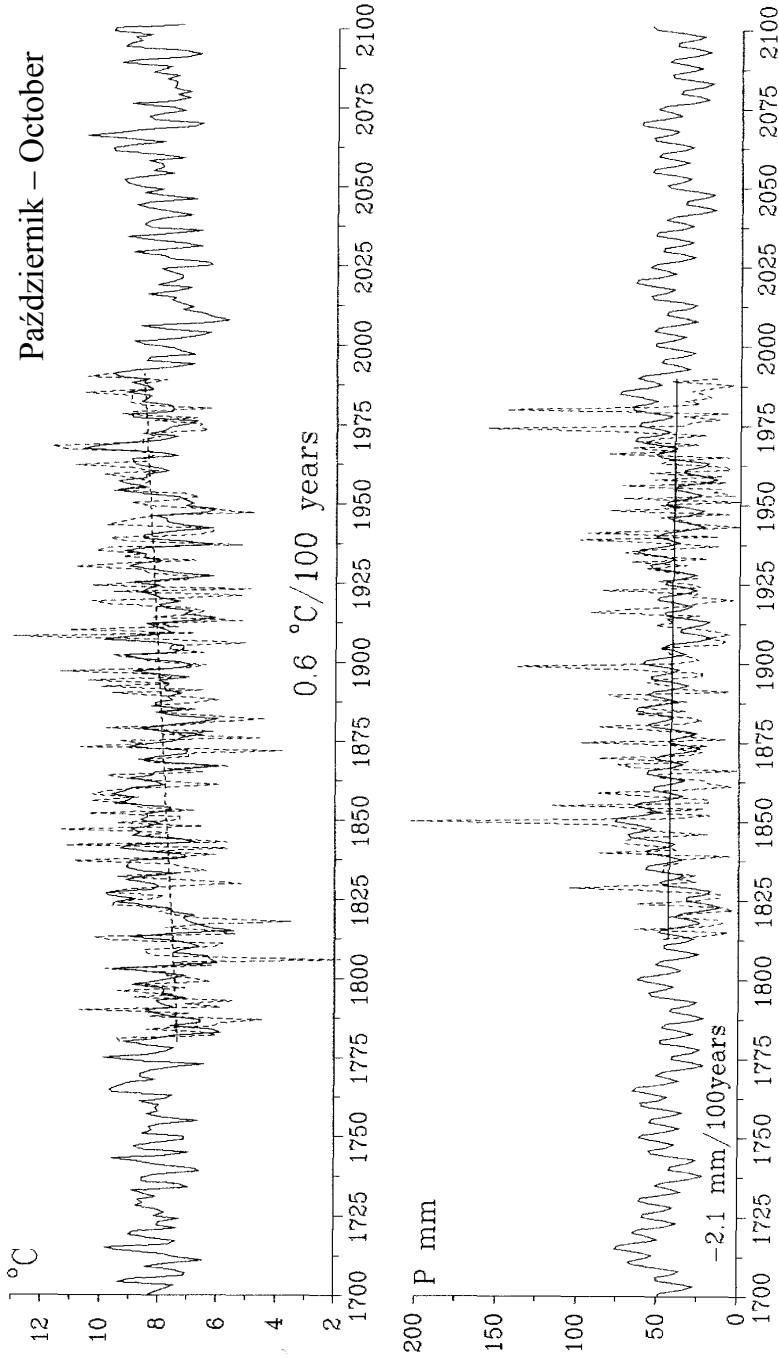
Rys. 67. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku – sierpień  
 Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>th</sup> centuries – August



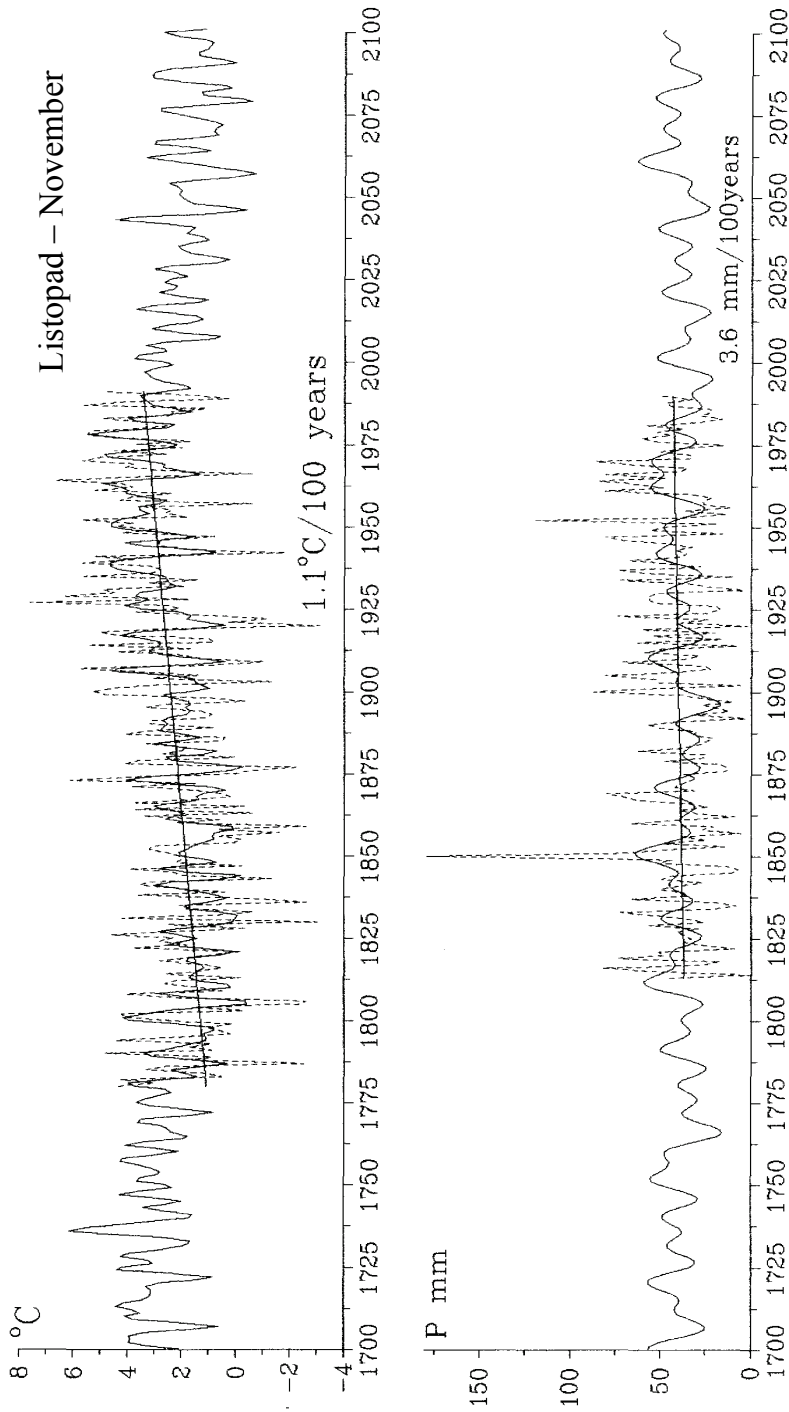


Rys. 68. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku – wrzesień  
 Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>st</sup> centuries – September

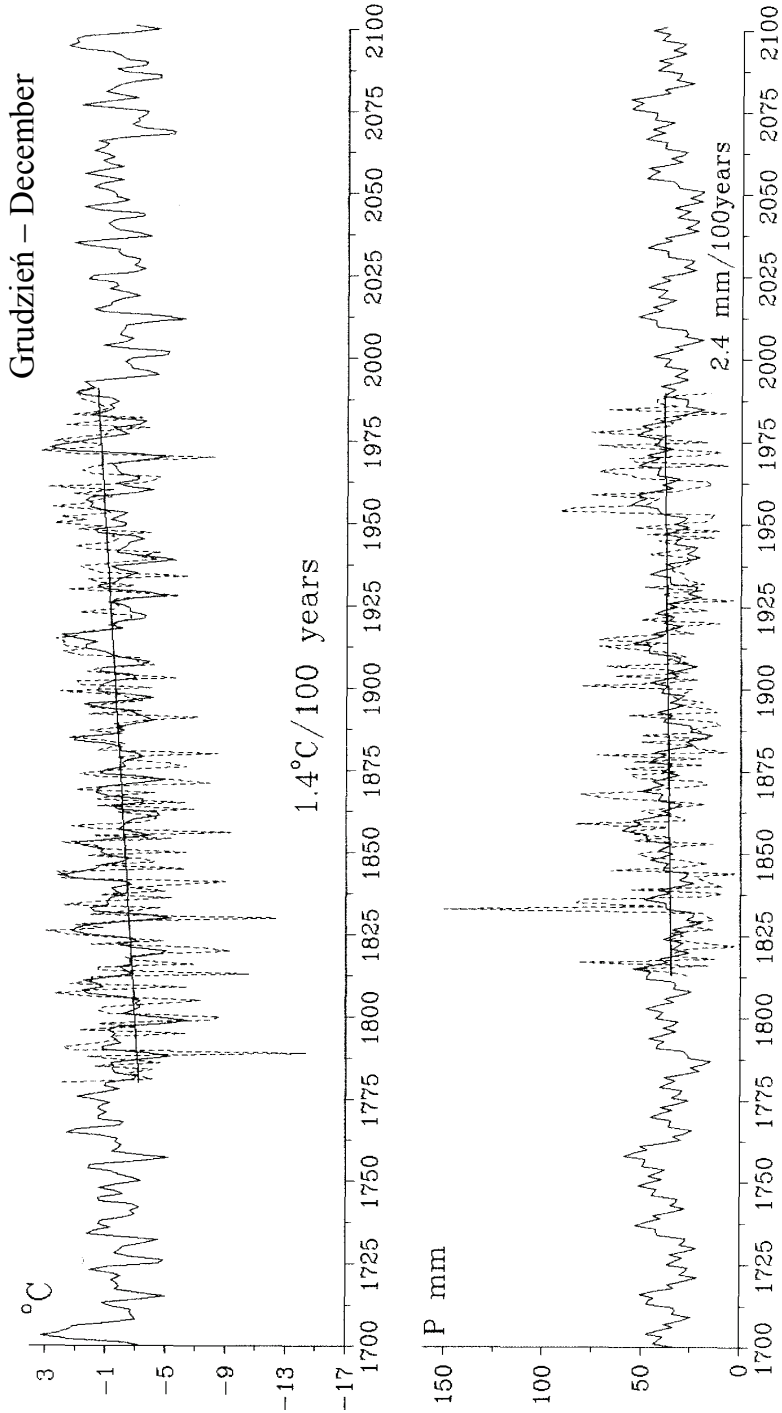
Październik – October



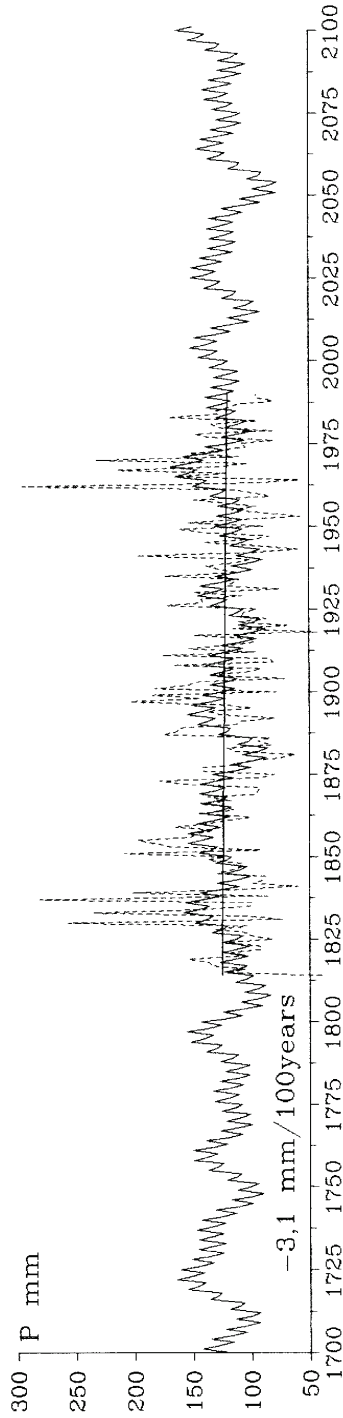
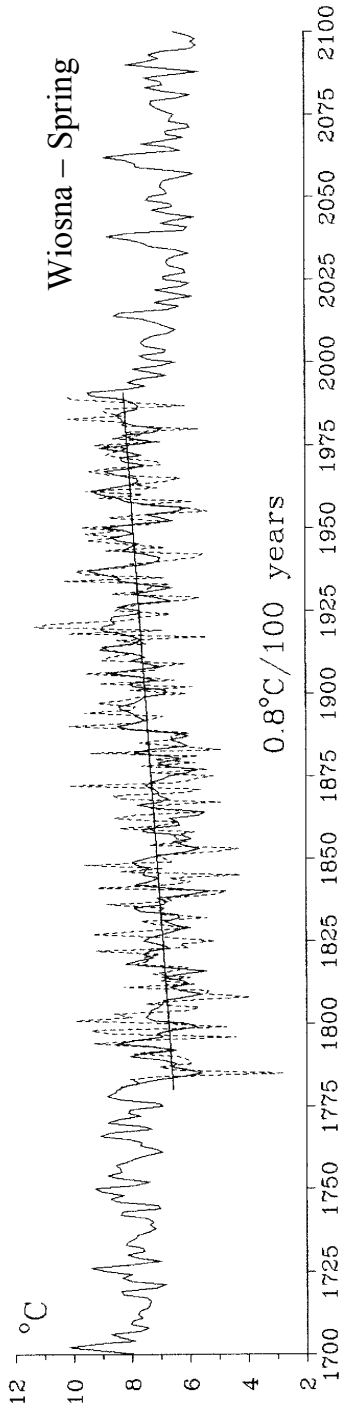
Rys. 69. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku – październik  
Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>th</sup> centuries – October



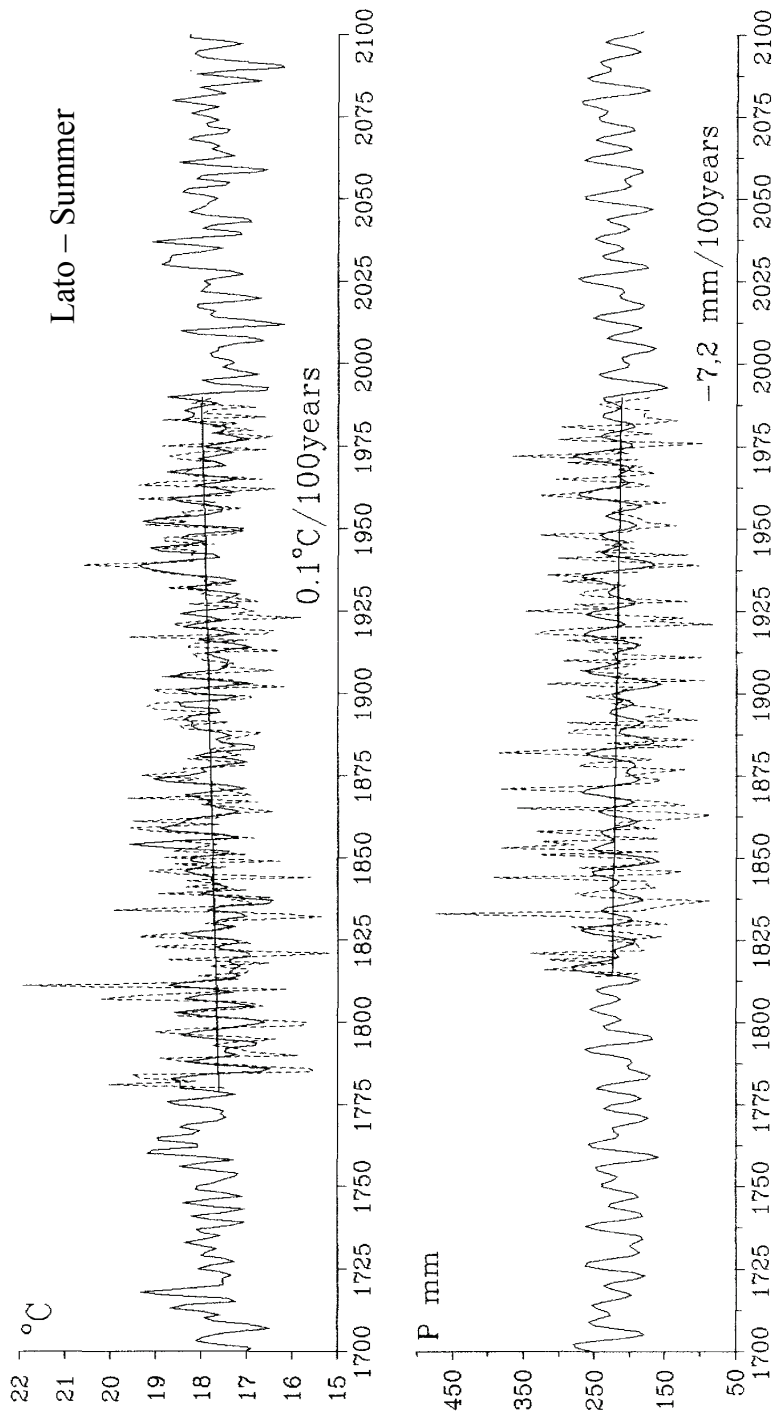
Rys. 70. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku – listopad  
 Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>st</sup> centuries – November



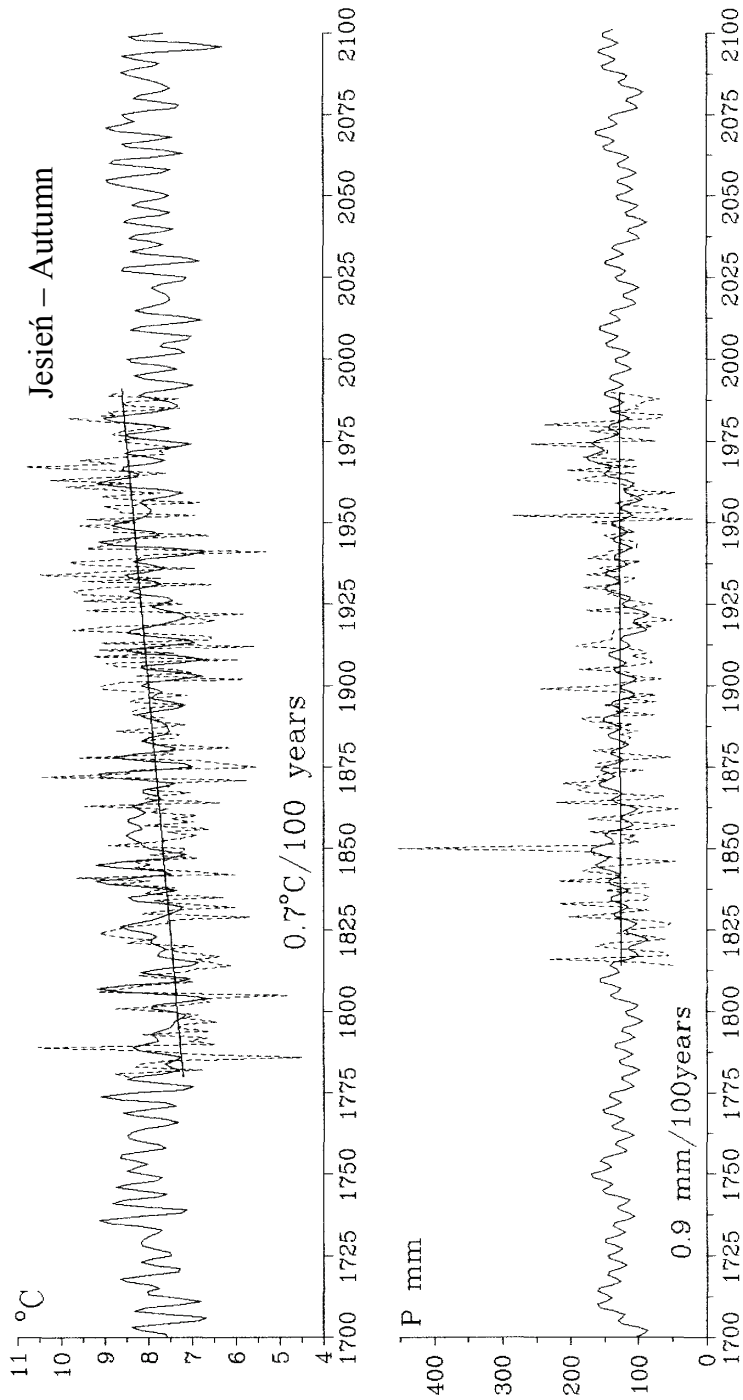
Rys. 71. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku – grudzień  
 Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>st</sup> centuries – December



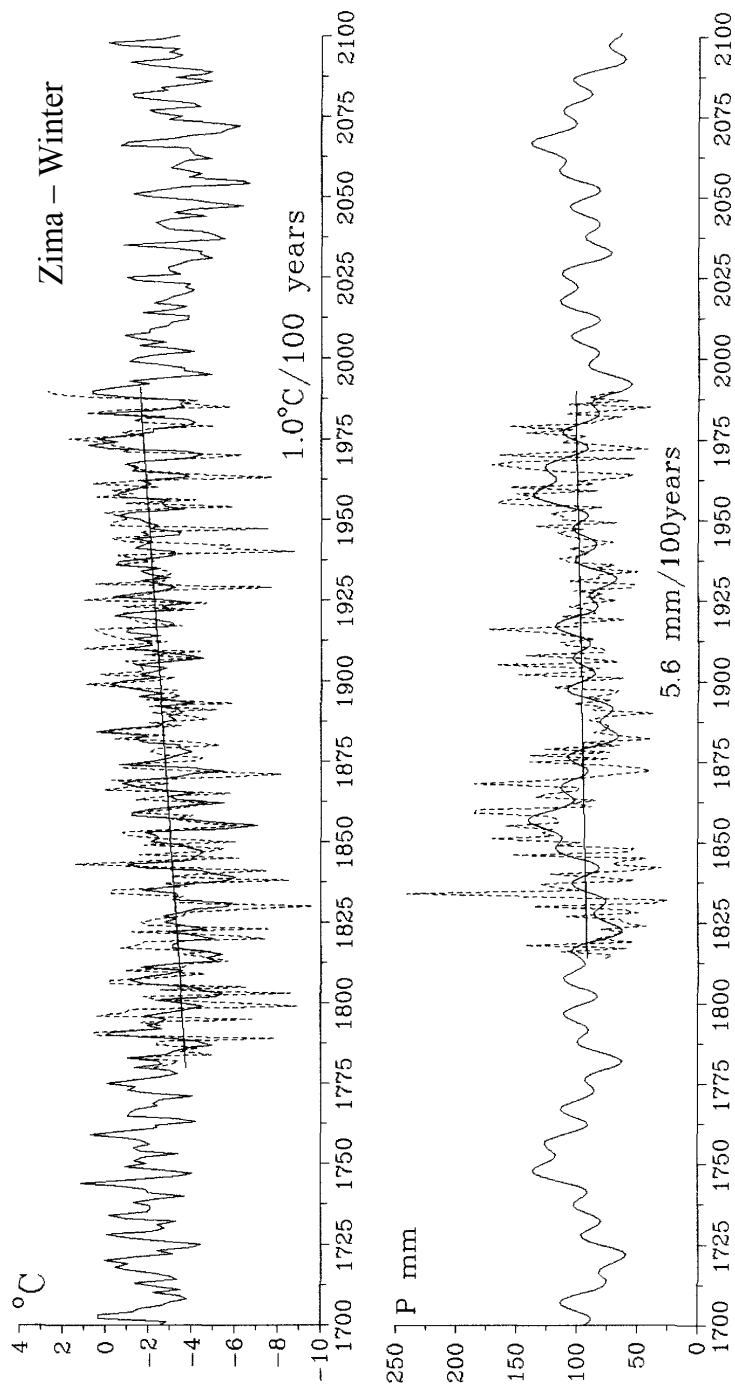
Rys. 72. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku – wiosna  
 Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>st</sup> centuries – spring



Rys. 73. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku - lato  
 Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>th</sup> centuries - summer



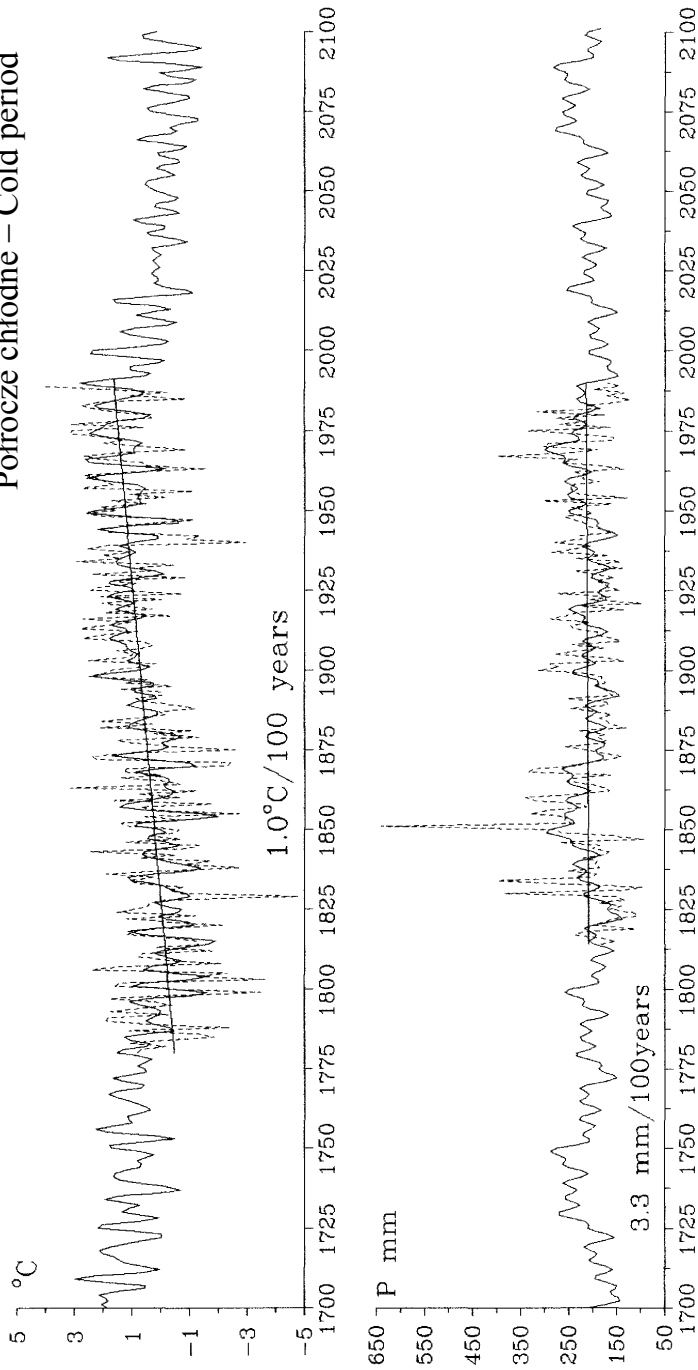
Rys. 74. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku – jesień  
 Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>th</sup> centuries – autumn



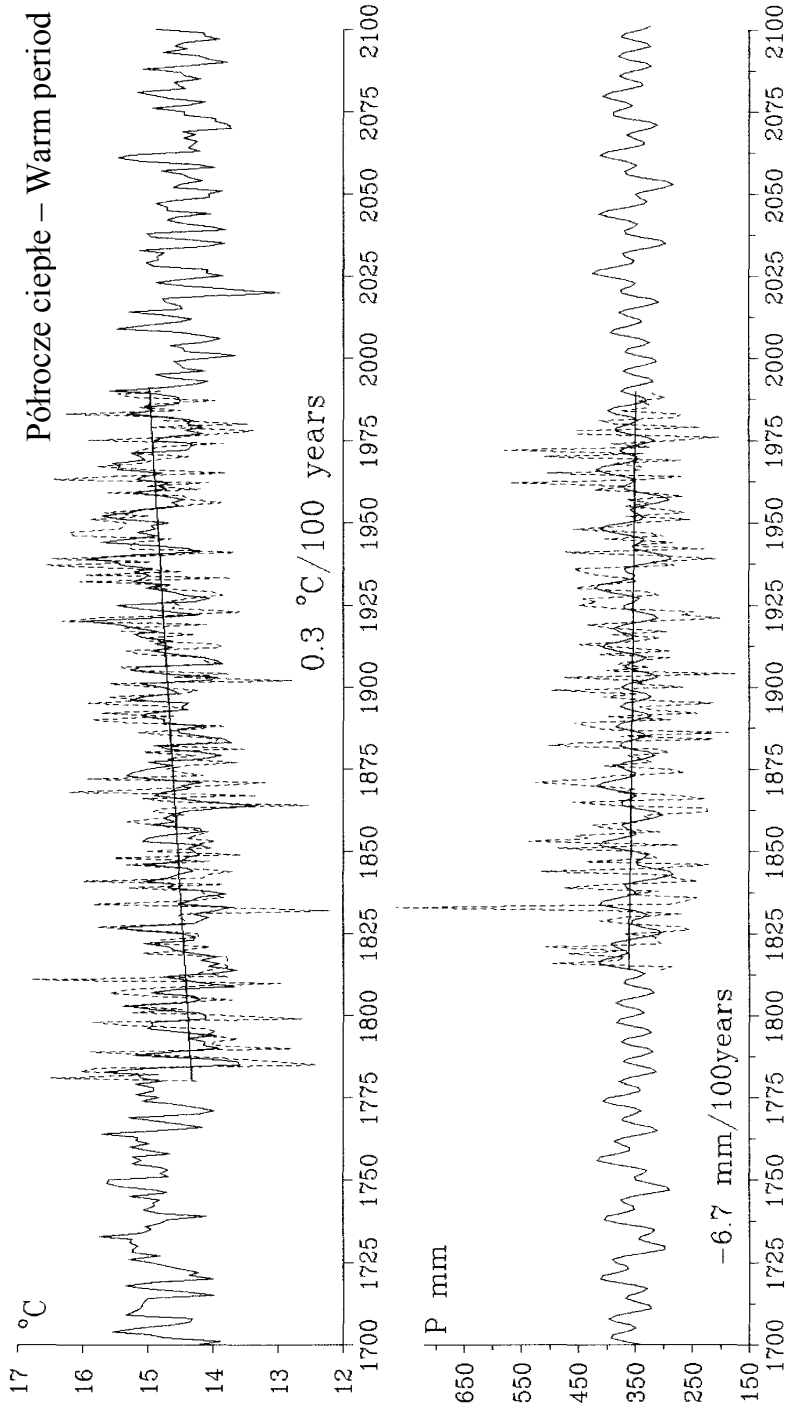
Rys. 75. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku - zima  
 Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>th</sup> centuries - winter



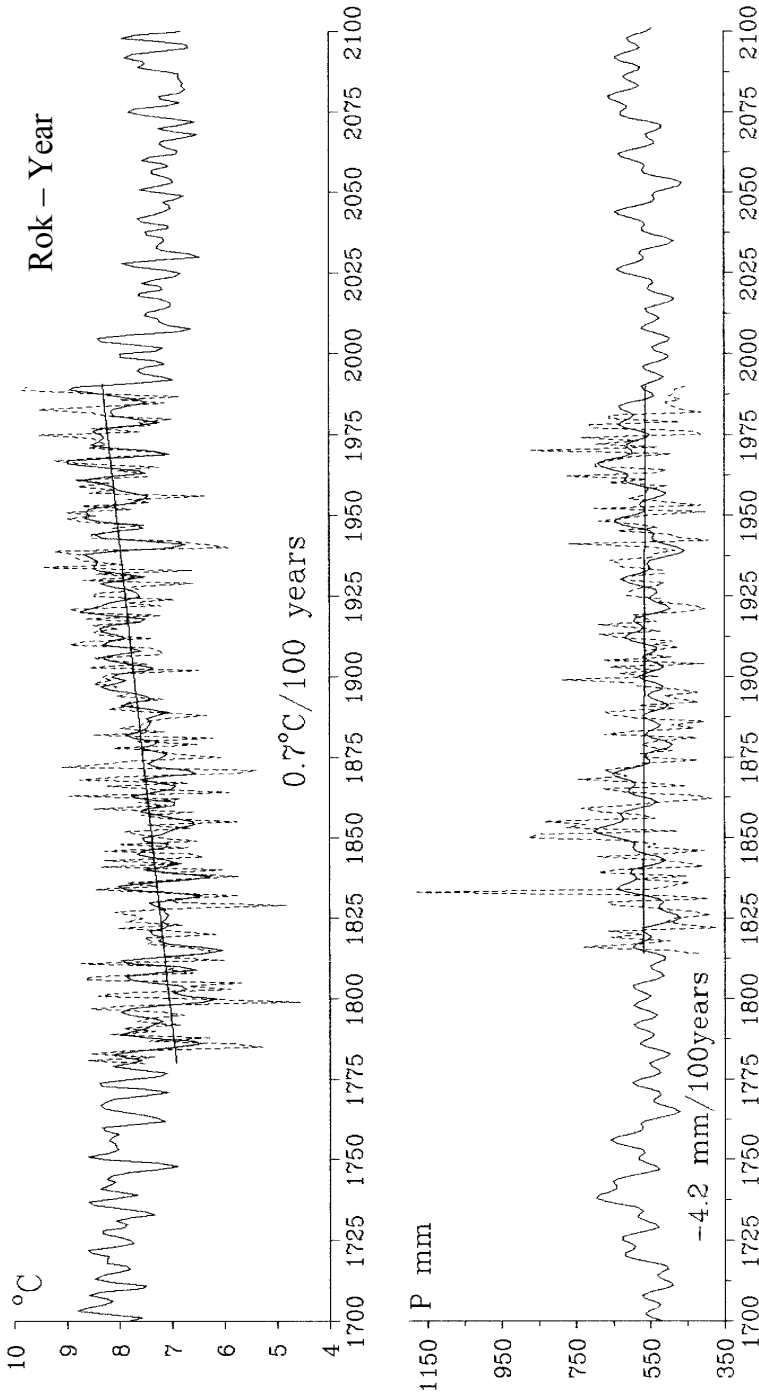
## Półrocze chłodne – Cold period



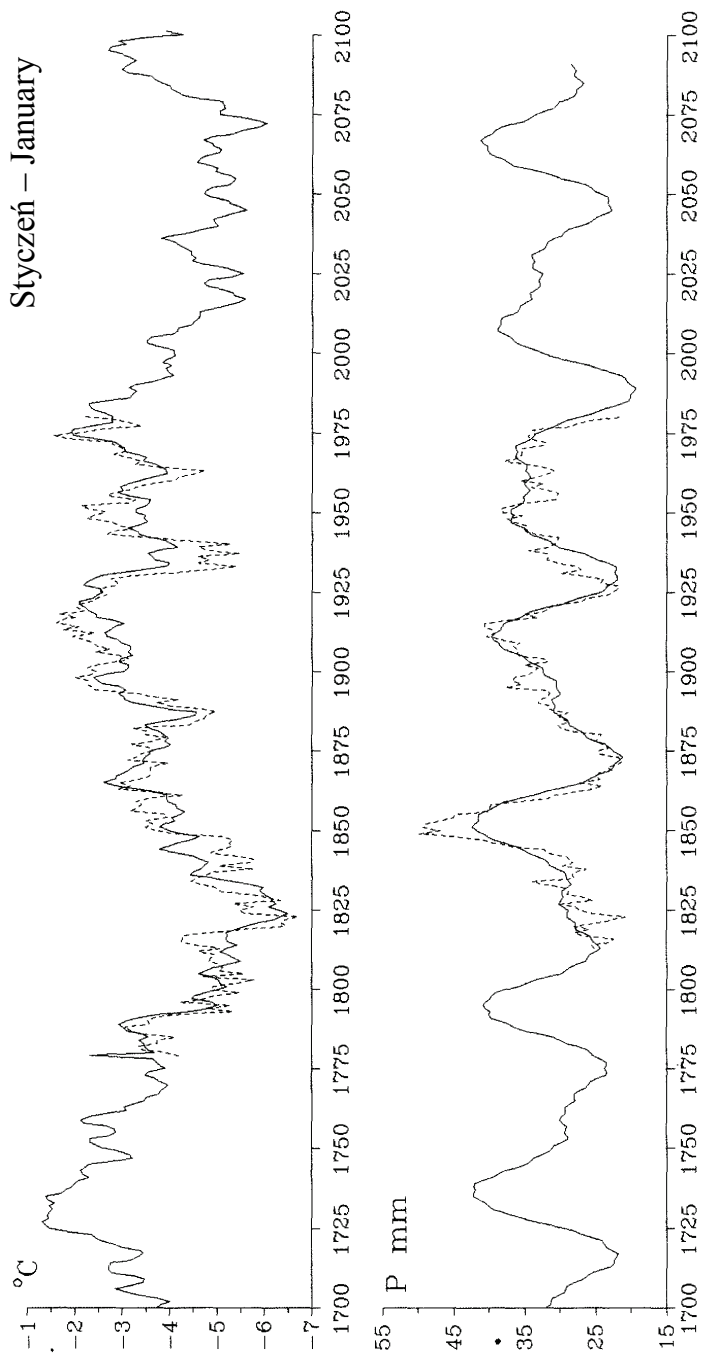
Rys. 76. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku – półrocze chłodne  
Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>th</sup> centuries – cold period



Rys. 77. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku – półrocze ciepłe  
 Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>st</sup> centuries – warm period



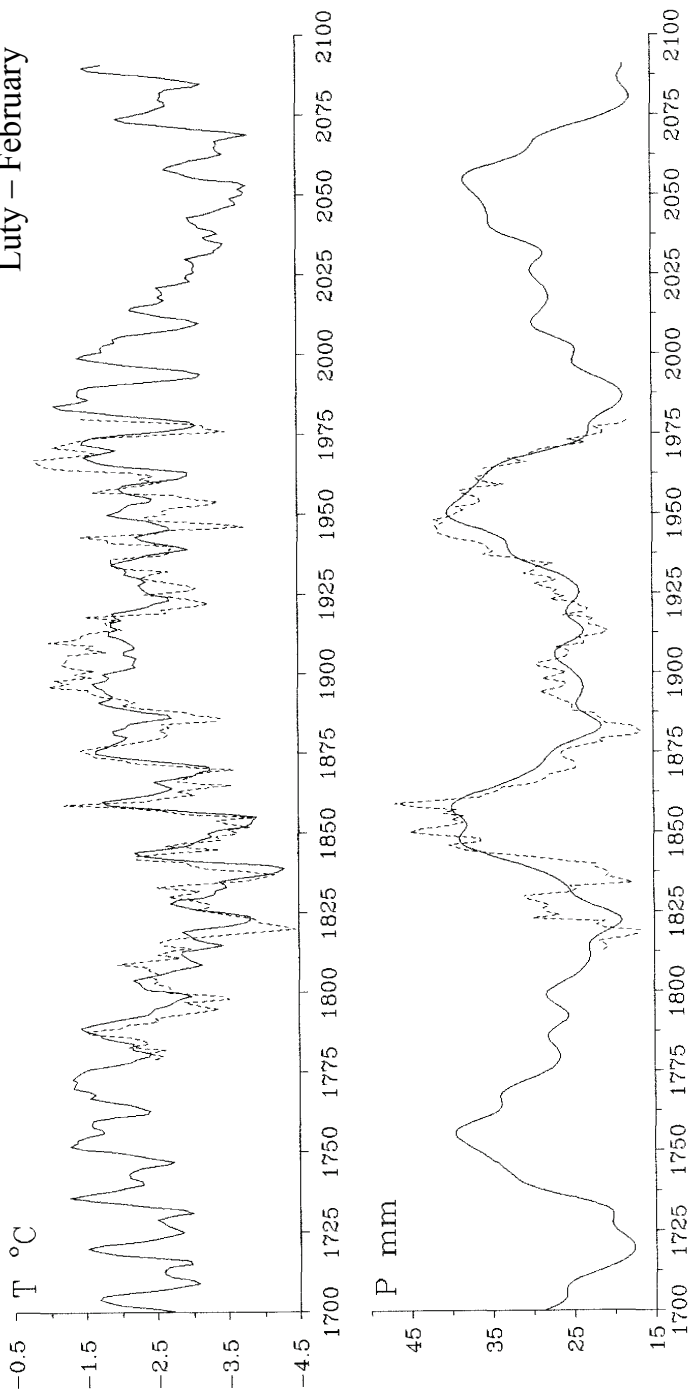
Rys. 78. Zmiany temperatury powietrza  $T$  i opadów atmosferycznych  $P$  w Warszawie w XVIII-XXI wieku – rok  
 Changes of air temperature  $T$  and precipitation  $P$  in Warsaw in 18<sup>th</sup>-21<sup>th</sup> centuries – year



Rys. 79. Średnie kolejnoletnie 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [ $\text{mm}$ ]) w Warszawie w latach 1700-2100 – styczeń

Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]), and precipitation ( $P$  [ $\text{mm}$ ]) in Warsaw in the years 1700-2100 – January

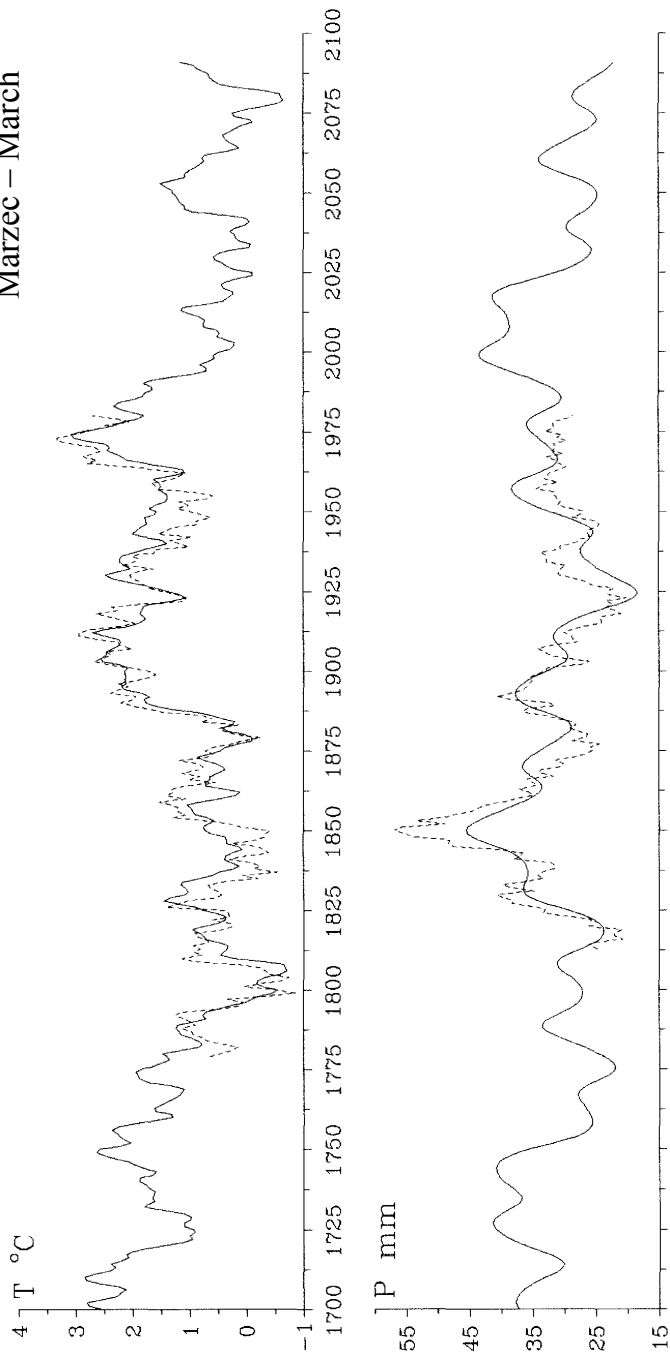
## Luty – February



Rys. 80. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – luty

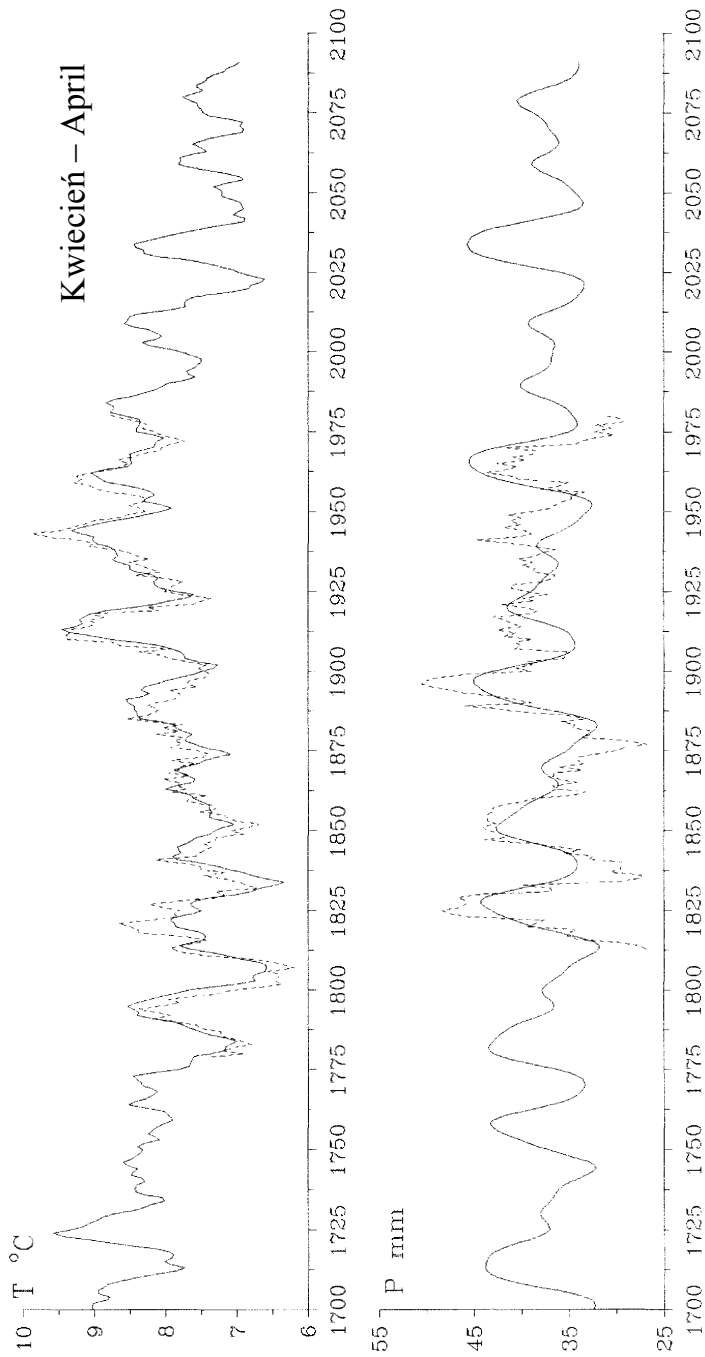
Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]), and precipitation ( $P$  [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – February

## Marzec – March

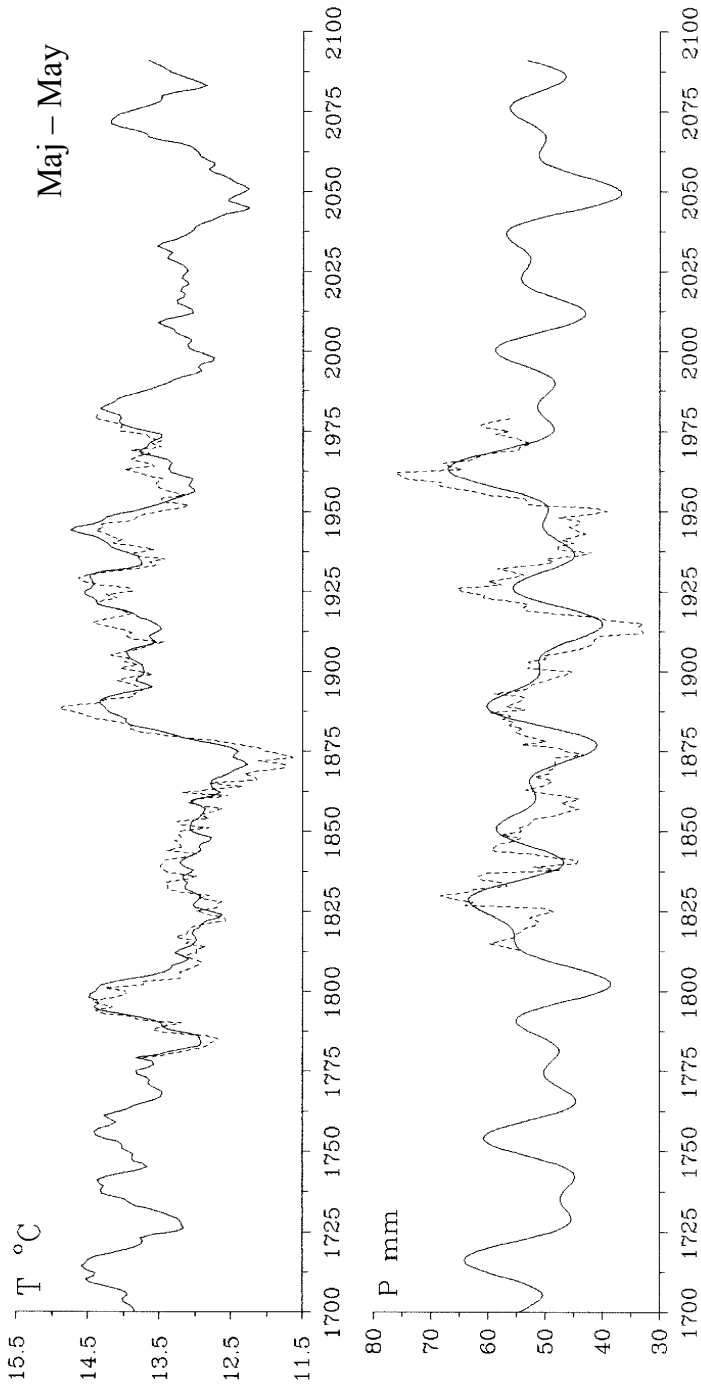


Rys. 81. Średnie konsekwentne 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – marzec

Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]), and precipitation ( $P$  [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – March



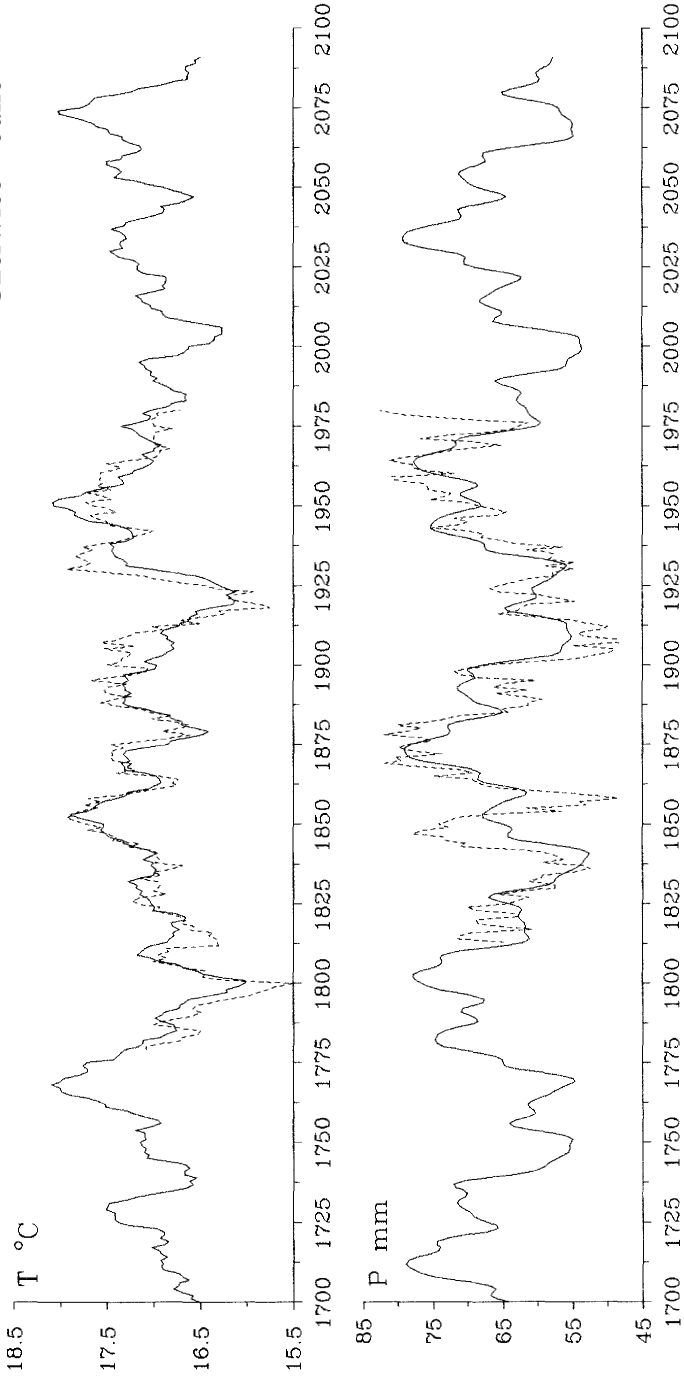
Rys. 82. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [ $\text{mm}$ ]) w Warszawie w latach 1700-2100 –  
kwiecień  
Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]), and precipitation ( $P$  [ $\text{mm}$ ]) in Warsaw in the years 1700-2100 – April



Rys. 83. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [ $\text{mm}$ ]) w Warszawie w latach 1700-2100 – maj  
 Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]), and precipitation ( $P$  [ $\text{mm}$ ]) in Warsaw in the years 1700-2100 – May



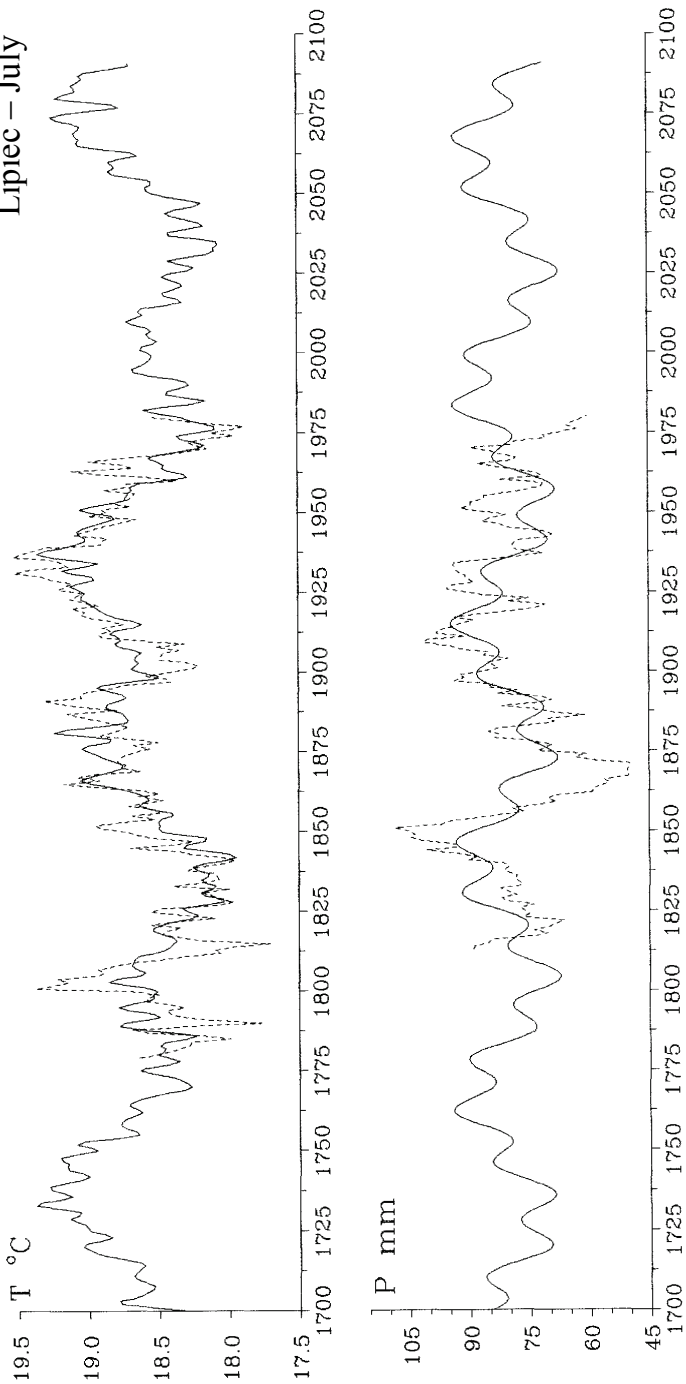
# Czerwiec – June



Rys. 84. Średnie konsekwentne 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 –  
czerwiec

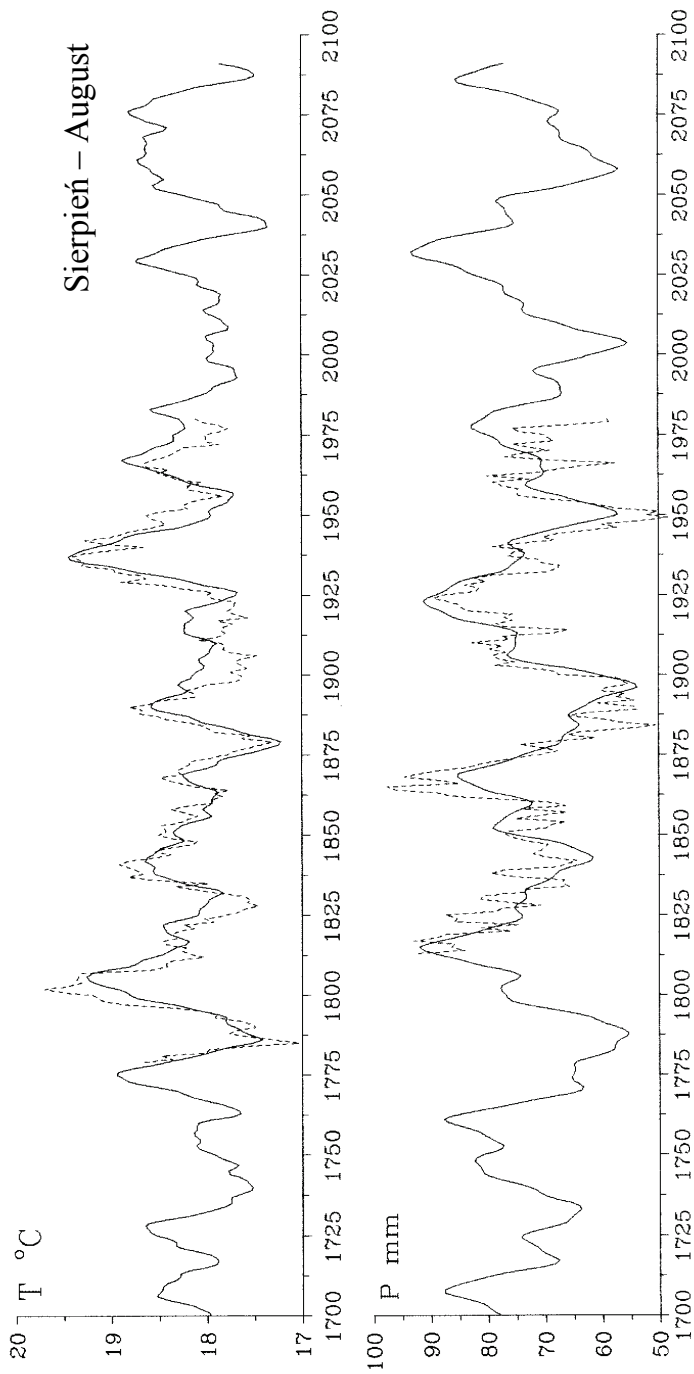
Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]), and precipitation ( $P$  [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – June

# Lipiec – July



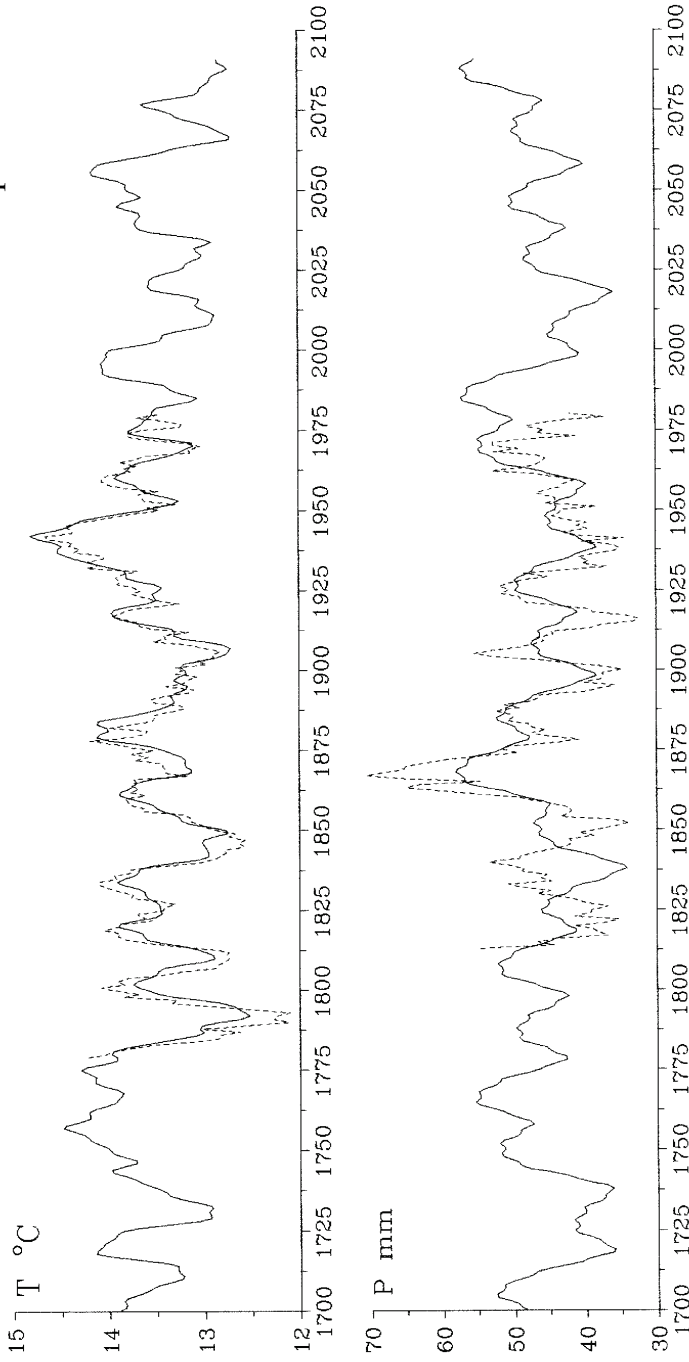
Rys. 85. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – lipiec

Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]), and precipitation ( $P$  [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – July



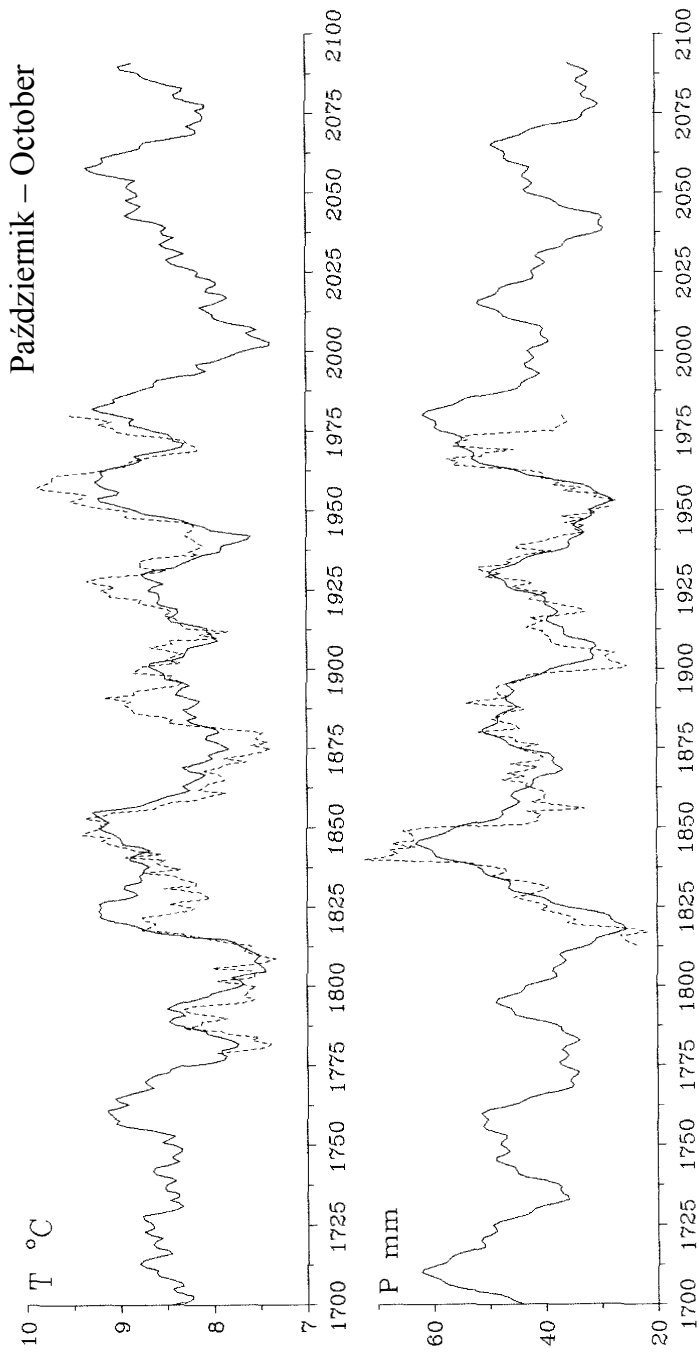
Rys. 86. Średnie kolejno 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [°C]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – sierpień  
 Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [°C]), and precipitation ( $P$  [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – August

## Wrzesień – September



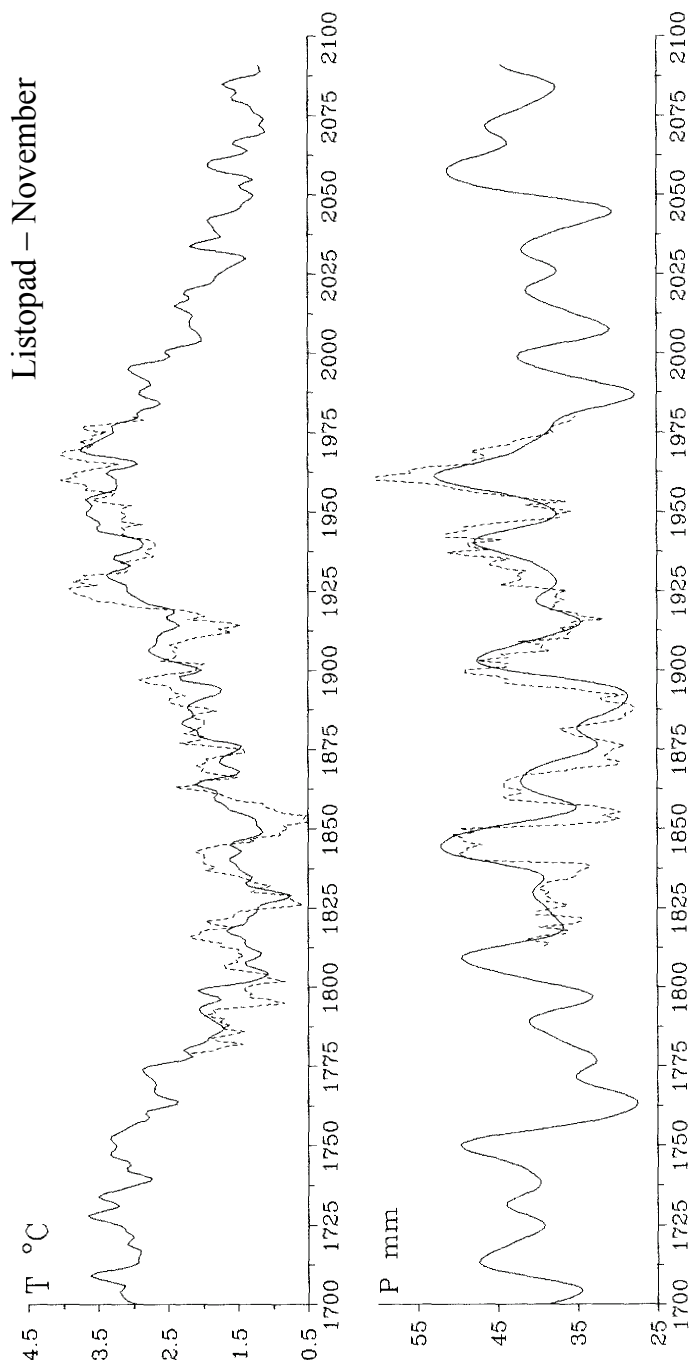
Rys. 87. Średnie kolejatywne 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [°C]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – wrzesień

Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [°C]), and precipitation ( $P$  [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – September



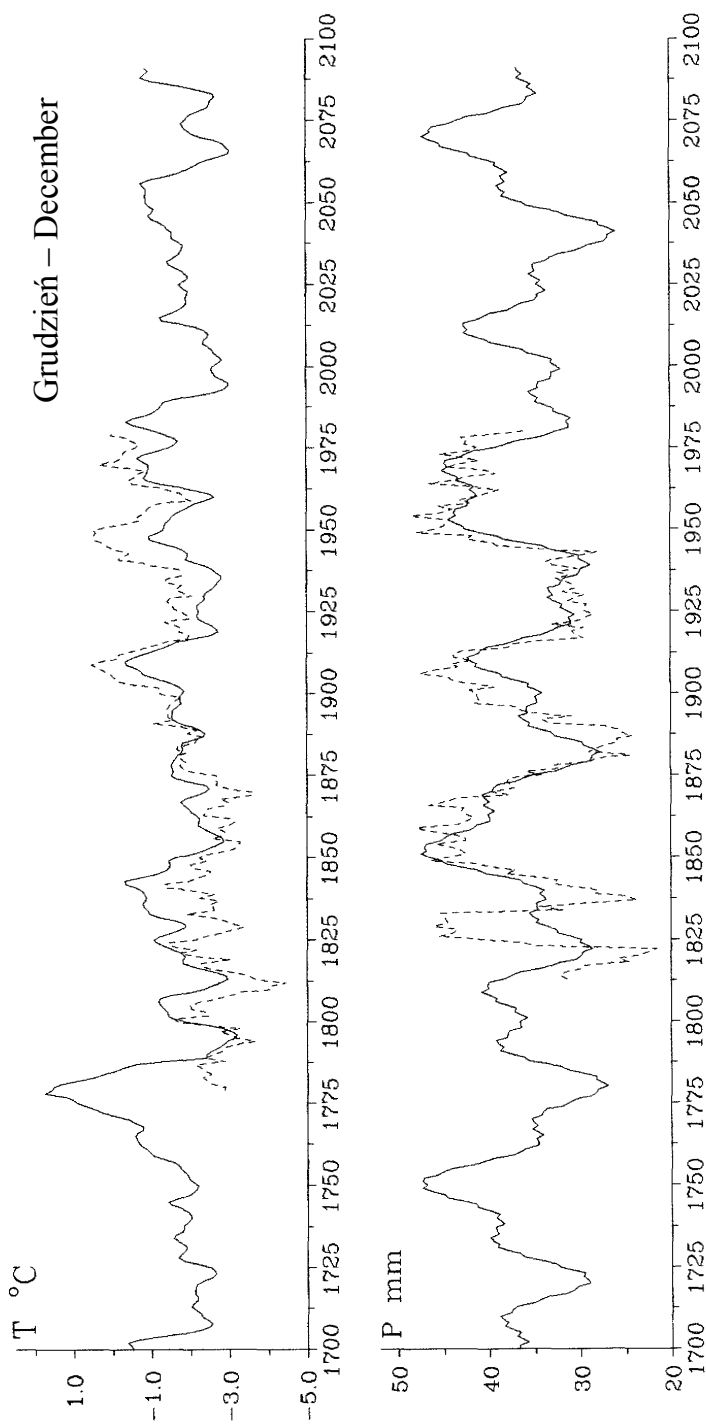
Rys. 88. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [°C]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – październik

Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [°C]), and precipitation ( $P$  [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – October

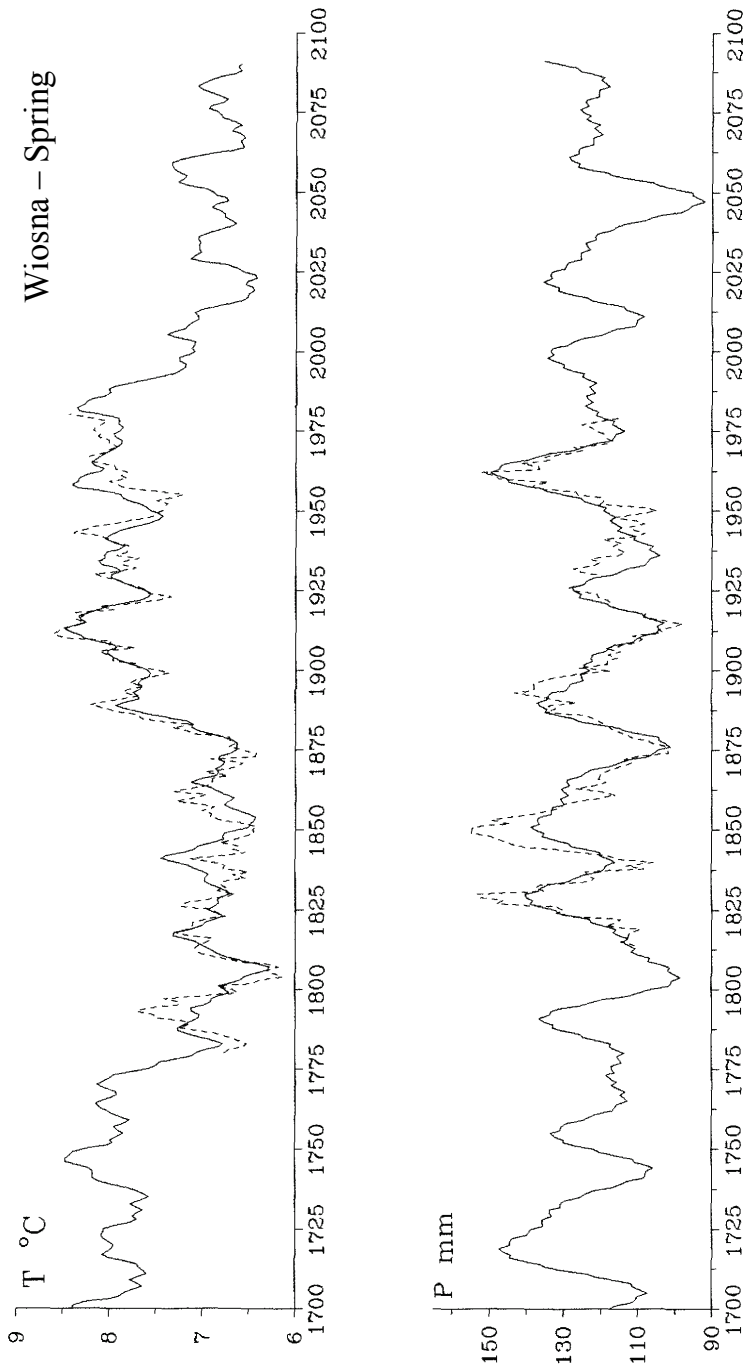


Rys. 89. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – listopad

Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]), and precipitation ( $P$  [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – November

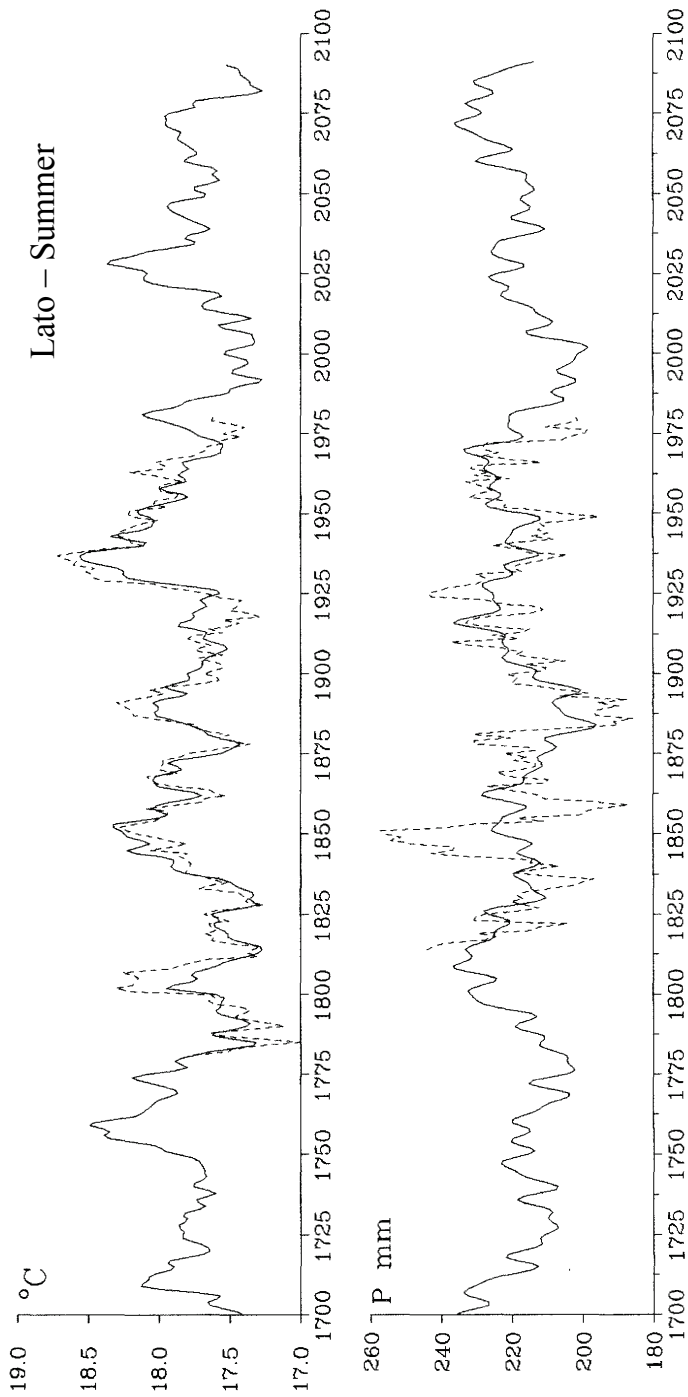


Rys. 90. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – grudzień  
 Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]), and precipitation ( $P$  [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – December

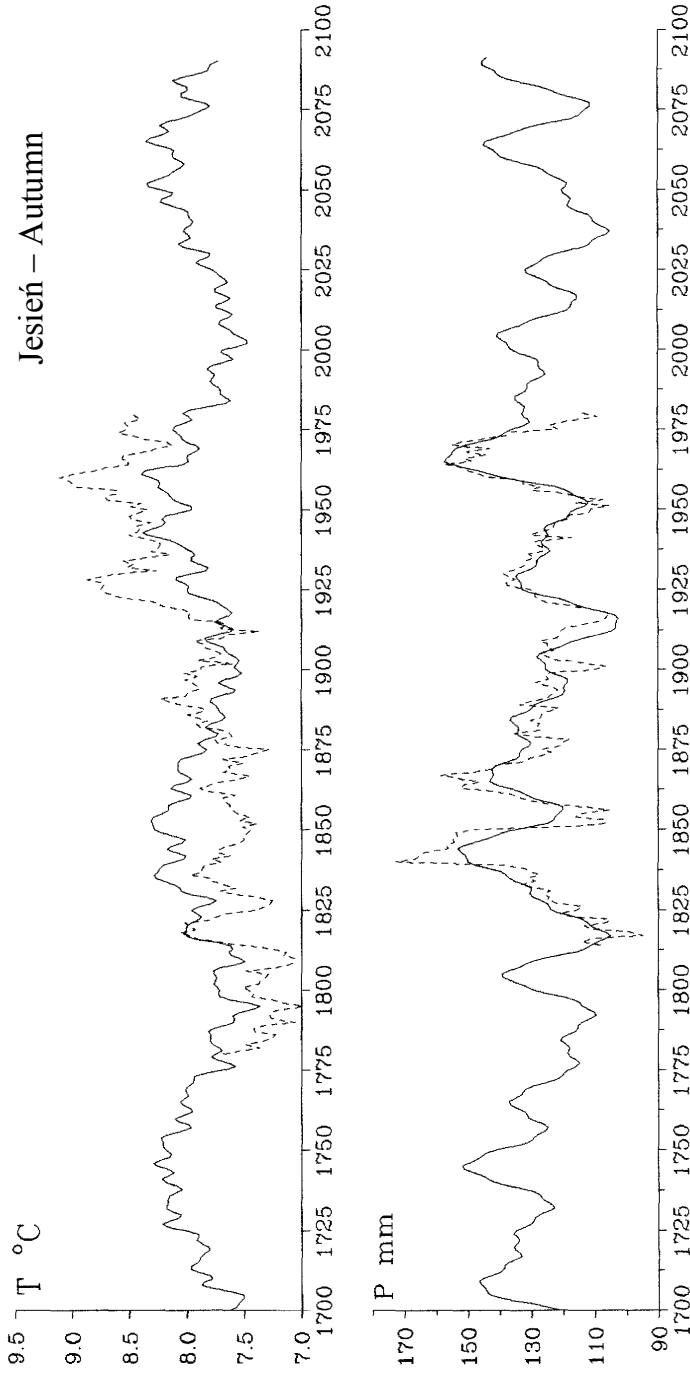


Rys. 91. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [°C]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – wiosna  
 Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [°C]), and precipitation ( $P$  [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – spring



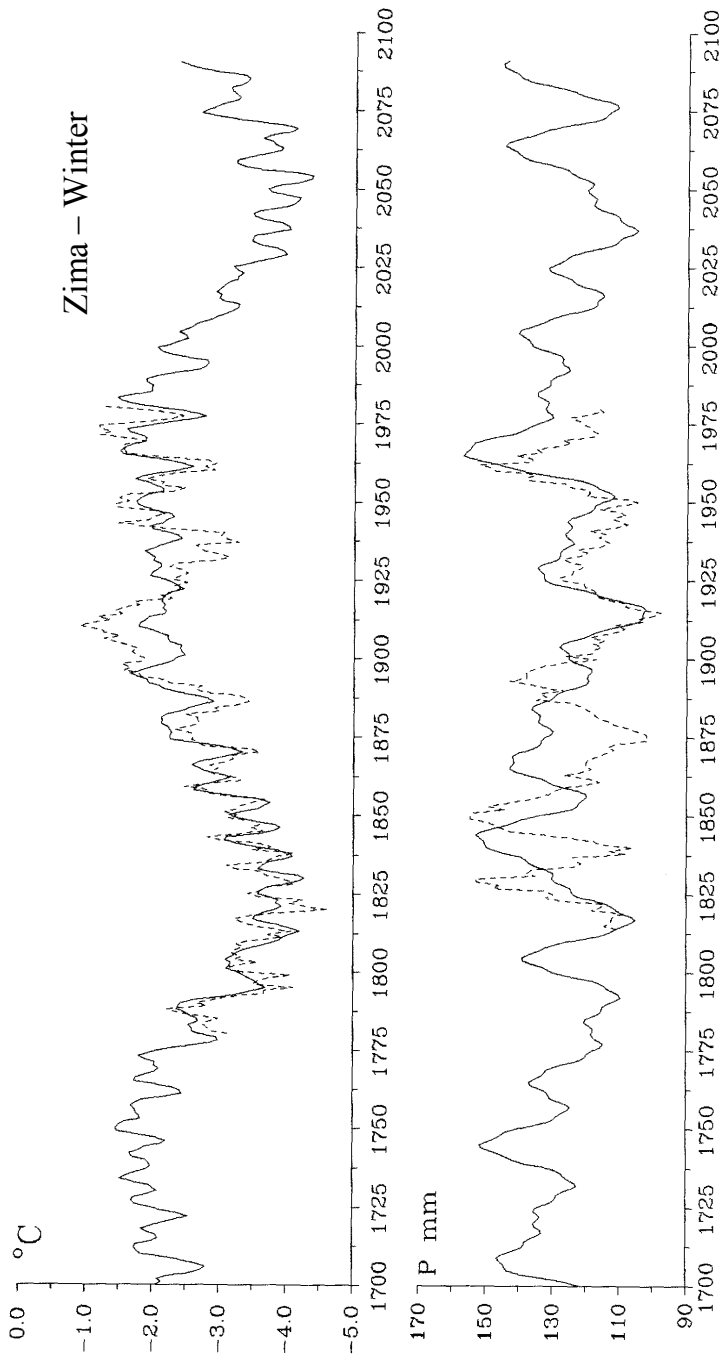


Rys. 92. Średnie konsekwentne 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – lato  
 Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]), and precipitation ( $P$  [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – summer



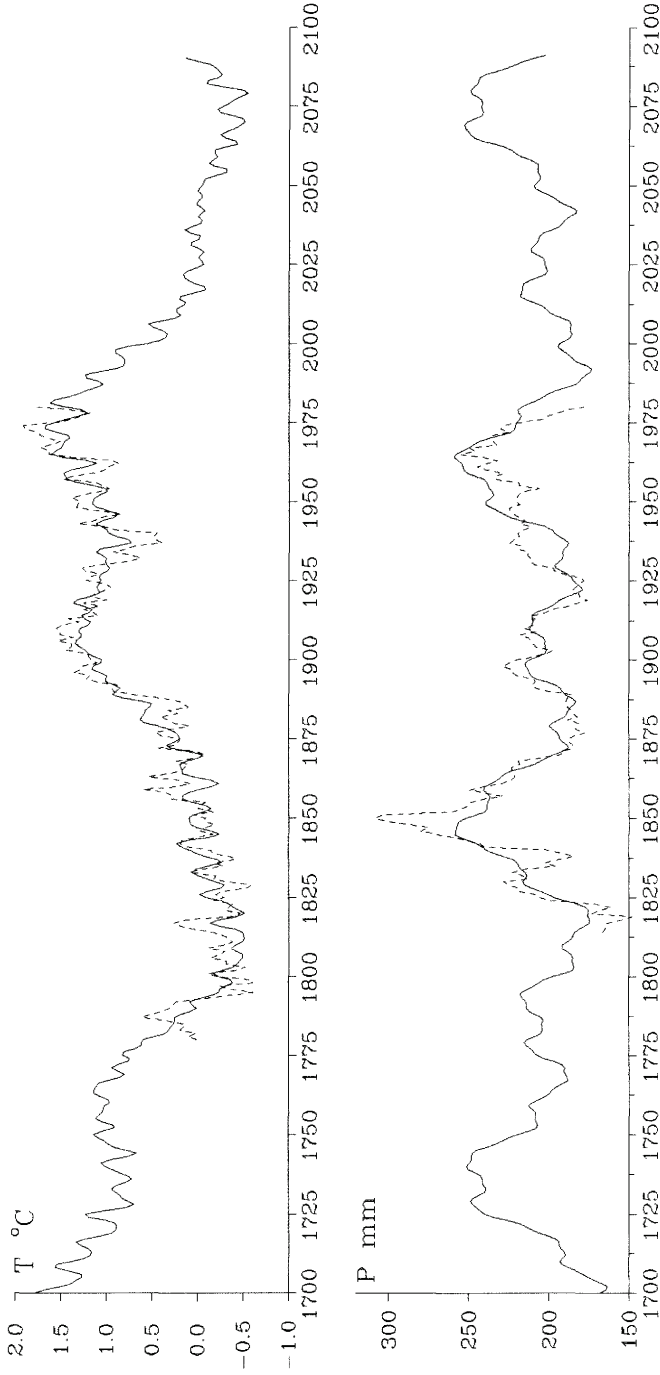
Rys. 93. Średnie konsekutywne 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [°C]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – jesień

Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [°C]), and precipitation ( $P$  [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – autumn



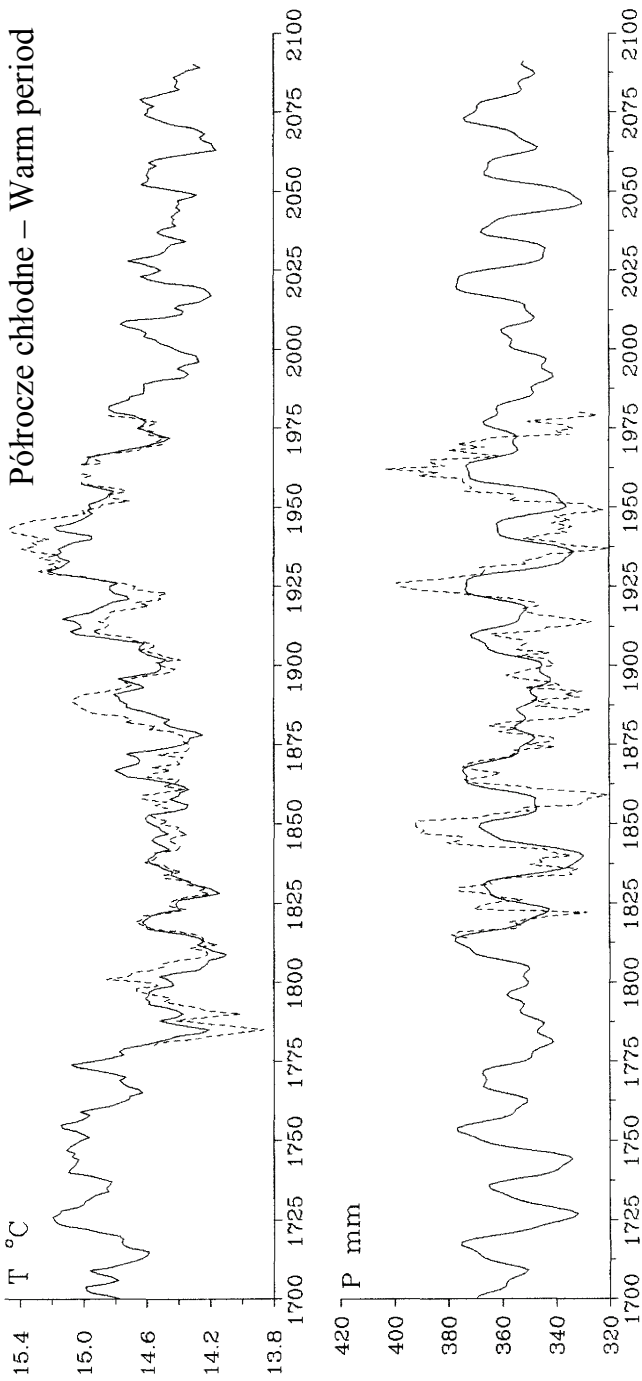
Rys. 94. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – zima  
 Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]), and precipitation ( $P$  [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – winter

## Półrocze chłodne – Cold period

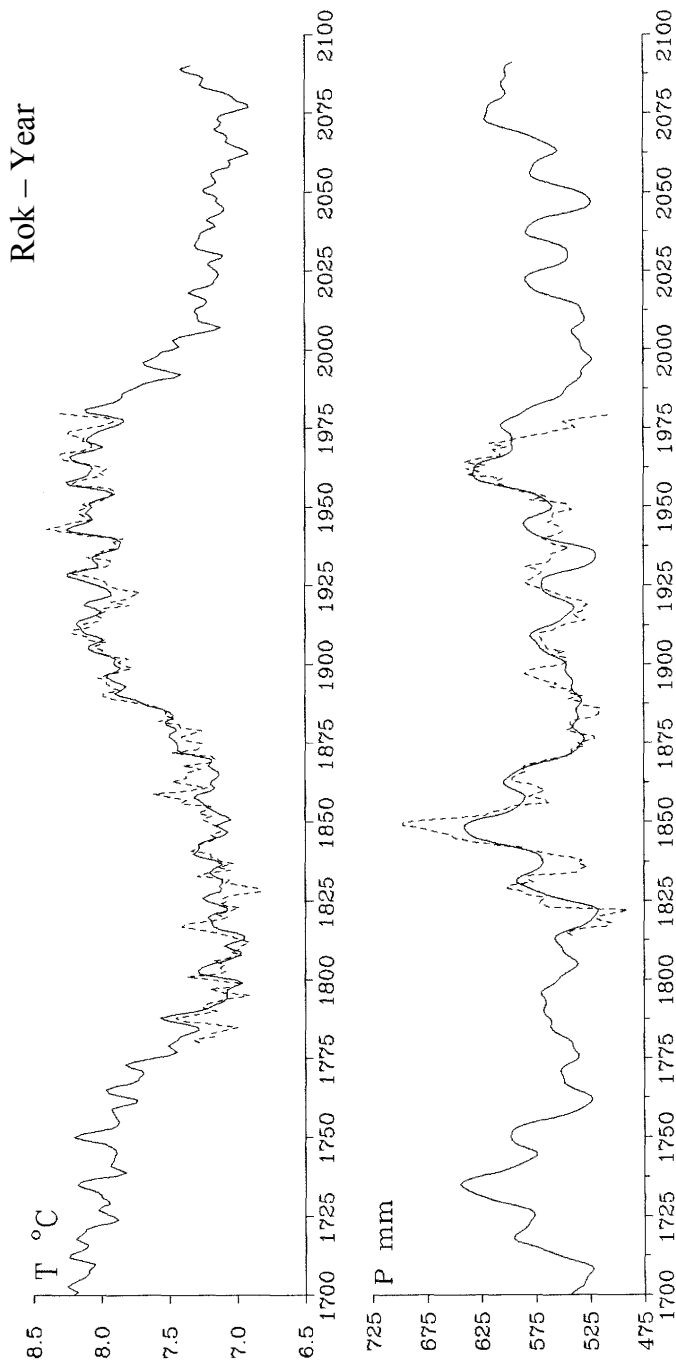


Rys. 95. Średnie konsekwtywne 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [°C]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – półrocze chłodne

Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [°C]), and precipitation ( $P$  [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – cold period



Rys. 96. Średnie konsekwentne 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [°C]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – półrocze ciepłe  
 Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [°C]), and precipitation ( $P$  [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – warm period



Rys. 97. Średnie konsekwentne 11-letnie wartości temperatury powietrza ( $T$  [°C]) i opadów atmosferycznych ( $P$  [mm]) w Warszawie w latach 1700-2100 – rok

Consecutive 11-years averages of the air temperature values ( $T$  [°C]), and precipitation ( $P$  [mm]) in Warsaw in the years 1700-2100 – year

Tab. 7. Największe wartości temperatury powietrza w Warszawie: średnie miesięczne, sezonowe i roczne w latach: 1779-1800, 1801-1900, 1901-2000, 2001-2100

The maximum air temperature values in Warsaw: monthly, seasonal, and annual averages in the years 1779-1800, 1801-1900, 1901-2000, and 2001-2100

|         | 1779-1800 |      | 1801-1900   |      | 1901-2000 |      | 2001-2100 |      |
|---------|-----------|------|-------------|------|-----------|------|-----------|------|
|         | Max       | Rok  | Max         | Rok  | Max       | Rok  | Max       | Rok  |
| I       | 3,2       | 1796 | <u>1,4</u>  | 1863 | 3,6       | 1983 | -1,0      | 2095 |
| II      | 2,7       | 1779 | 3,6         | 1843 | 5,1       | 1990 | 2,0       | 1991 |
| III     | 5,2       | 1780 | 7,5         | 1836 | 6,7       | 1990 | 4,8       | 1991 |
| IV      | 10,1      | 1800 | 11,2        | 1848 | 13,6      | 1918 | 10,0      | 2011 |
| V       | 16,8      | 1797 | 18,7        | 1801 | 18,2      | 1837 | 15,0      | 2076 |
| VI      | 19,4      | 1783 | 22,7        | 1811 | 20,5      | 1917 | 19,2      | 2073 |
| VII     | 21,1      | 1789 | 22,8        | 1811 | 21,6      | 1959 | 21,1      | 2088 |
| VIII    | 22,0      | 1781 | <u>24,2</u> | 1807 | 21,7      | 1939 | 19,3      | 2084 |
| IX      | 16,1      | 1781 | 16,9        | 1806 | 16,8      | 1942 | 15,5      | 2000 |
|         |           | 1788 |             |      |           |      |           |      |
|         |           | 1789 |             |      |           |      |           |      |
| X       | 10,7      | 1789 | 11,4        | 1896 | 13,0      | 1907 | 10,6      | 2065 |
| XI      | 4,8       | 1789 | 6,1         | 1872 | 7,6       | 1926 | 4,5       | 2042 |
| XI      | 1,9       | 1779 | 3,0         | 1825 | 3,4       | 1971 | 1,7       | 2094 |
| XII-II  | 0,5       | 1796 | 1,4         | 1843 | 2,7       | 1990 | -0,1      | 2098 |
| III-V   | 9,4       | 1798 | 10,1        | 1872 | 11,3      | 1920 | 8,9       | 2062 |
|         |           |      |             | 1890 |           |      |           |      |
| VI-VIII | 20,0      | 1781 | 21,9        | 1811 | 20,6      | 1939 | 19,1      | 2037 |
| IX-XI   | 10,5      | 1789 | 10,5        | 1872 | 10,8      | 1967 | 9,0       | 2055 |
| I-XII   | 8,6       | 1781 | 9,1         | 1872 | 9,9       | 1989 | 8,4       | 2005 |
|         |           | 1783 |             |      |           |      |           |      |

Tab. 8. Najmniejsze wartości temperatury powietrza w Warszawie: średnie miesięczne, sezonowe i roczne w latach: 1779-1800, 1801-1900, 1901-2000, 2001-2100

|         | 1779-1800 |              | 1801-1900    |      | 1901-2000   |      | 2001-2100 |      |
|---------|-----------|--------------|--------------|------|-------------|------|-----------|------|
|         | Max       | Rok          | Max          | Rok  | Max         | Rok  | Max       | Rok  |
| I       | -10,9     | 1795         | <u>-16,9</u> | 1803 | -12,1       | 1940 | -8,5      | 2047 |
| II      | -10,0     | 1799         | -11,4        | 1855 | -13,9       | 1929 | -6,8      | 2069 |
| III     | -5,6      | 1785         | -6,9         | 1845 | -3,7        | 1942 | -3,5      | 2042 |
| IV      | 3,0       | 1785         | 2,6          | 1817 | 2,9         | 1929 | 4,4       | 2072 |
| V       | 10,5      | 1786         | 7,9          | 1864 | 10,4        | 1980 | 11,2      | 2044 |
| VI      | 14,6      | 1785         | 13,1         | 1810 | 13,0        | 1923 | 15,0      | 2010 |
| VII     | 15,3      | 1800         | 14,1         | 1832 | <u>15,6</u> | 1979 | 16,2      | 2035 |
| VIII    | 15,1      | 1786<br>1794 | 13,4         | 1833 | 15,5        | 1982 | 16,0      | 2043 |
| IX      | 9,3       | 1797         | 10,3         | 1877 | 9,3         | 1912 | 11,4      | 2088 |
| X       | 4,5       | 1786         | 1,8          | 1805 | 4,8         | 1946 | 5,7       | 2007 |
| XI      | -2,5      | 1786         | -3,0         | 1829 | -3,1        | 1919 | -0,7      | 2056 |
| XII     | -14,3     | 1788         | -12,3        | 1829 | -8,2        | 1969 | -6,2      | 2011 |
| XII-II  | -8,9      | 1799         | -9,6         | 1830 | -8,8        | 1940 | -6,7      | 2054 |
| III-V   | 2,8       | 1785         | 3,9          | 1808 | 5,4         | 1955 | 5,6       | 2088 |
| VI-VIII | 15,5      | 1785         | 15,2         | 1821 | 15,8        | 1923 | 16,2      | 2012 |
| IX-XI   | 4,5       | 1786         | 4,8          | 1805 | 5,3         | 1941 | 6,3       | 2096 |
| I-XII   | 4,6       | 1799         | 4,8          | 1829 | 5,9         | 1940 | 6,5       | 2030 |

Tab. 9. Największe i najmniejsze sumy opadów w Warszawie: średnie miesięczne, sezonowe i roczne w latach: 1813-1900, 1901-1990

The minimum and maximum precipitation values in Warsaw: monthly, seasonal, and annual averages in the years 1813-1900 and 1901-1990

|         | 1813-1900 |      |     |      | 1901-1990 |      |     |      |
|---------|-----------|------|-----|------|-----------|------|-----|------|
|         | Max       | Rok  | Min | Rok  | Max       | Rok  | Min | Rok  |
| I       | 74        | 1834 | 6   | 1832 | 77        | 1916 | 1   | 1964 |
| II      | 103       | 1833 | 1   | 1890 | 72        | 1958 | 2   | 1976 |
| III     | 100       | 1825 | 2   | 1855 | 81        | 1901 | 4   | 1904 |
| IV      | 118       | 1833 | 4   | 1840 | 98        | 1970 | 5   | 1984 |
| V       | 169       | 1837 | 13  | 1838 | 194       | 1962 | 10  | 1947 |
| VI      | 164       | 1853 | 8   | 1866 | 159       | 1959 | 8   | 1930 |
| VII     | 229       | 1844 | 6   | 1874 | 200       | 1970 | 3   | 1921 |
| VIII    | 185       | 1819 | 2   | 1842 | 188       | 1977 | 8   | 1942 |
| IX      | 144       | 1813 | 1   | 1827 | 94        | 1852 | 1   | 1951 |
| X       | 203       | 1850 | 2   | 1866 | 156       | 1974 | 0   | 1943 |
| XI      | 179       | 1850 | 0   | 1814 | 119       | 1952 | 2   | 1920 |
| XII     | 150       | 1833 | 3   | 1822 | 92        | 1954 | 4   | 1927 |
| XII-II  | 241       | 1834 | 25  | 1832 | 174       | 1916 | 40  | 1985 |
| III-V   | 281       | 1837 | 40  | 1814 | 295       | 1962 | 43  | 1918 |
| VI-VIII | 473       | 1833 | 86  | 1863 | 366       | 1972 | 84  | 1921 |
| IX-XI   | 454       | 1850 | 43  | 1862 | 285       | 1952 | 20  | 1951 |
| I-XII   | 1184      | 1833 | 372 | 1822 | 867       | 1970 | 391 | 1942 |



Tab. 10. Największe i najmniejsze wartości średnie miesięczne, sezonowe i roczne temperatury powietrza (1779-2000) i opadów atmosferycznych (1813-2000) w Warszawie  
 The minimum and maximum values measured: monthly, seasonal, and annual averages of air temperatures (1779-2000) and precipitation (1813-2000) in Warsaw

|         | Temperatura powietrza (1779-2000) |      |       |      | Opad atmosferyczny (1813-2000) |      |     |      |
|---------|-----------------------------------|------|-------|------|--------------------------------|------|-----|------|
|         | Max                               | Rok  | Min   | Rok  | Max                            | Rok  | Min | Rok  |
| I       | 3,6                               | 1983 | -16,9 | 1803 | 77                             | 1916 | 1   | 1964 |
| II      | 5,1                               | 1990 | -13,5 | 1929 | 103                            | 1833 | 1   | 1890 |
| III     | 7,5                               | 1836 | -6,9  | 1845 | 100                            | 1825 | 2   | 1855 |
| IV      | 13,6                              | 1918 | 2,6   | 1817 | 118                            | 1833 | 4   | 1840 |
| V       | 18,7                              | 1801 | 7,9   | 1864 | 194                            | 1962 | 10  | 1947 |
| VI      | 22,7                              | 1811 | 13,0  | 1923 | 164                            | 1853 | 8   | 1860 |
|         |                                   |      |       |      |                                |      |     | 1930 |
| VII     | 22,8                              | 1811 | 14,1  | 1832 | 229                            | 1844 | 3   | 1921 |
| VIII    | 24,2                              | 1807 | 13,4  | 1933 | 188                            | 1977 | 2   | 1842 |
| IX      | 16,9                              | 1806 | 9,3   | 1797 | 144                            | 1813 | 1   | 1827 |
|         |                                   |      |       | 1912 |                                |      |     | 1951 |
| X       | 13,0                              | 1907 | 1,8   | 1805 | 203                            | 1850 | 0   | 1943 |
| XI      | 7,6                               | 1926 | -3,1  | 1919 | 179                            | 1850 | 0   | 1814 |
| XI      | 3,4                               | 1971 | -14,3 | 1788 | 150                            | 1833 | 3   | 1822 |
| XII-II  | 2,7                               | 1990 | -9,6  | 1830 | 241                            | 1834 | 25  | 1832 |
| III-V   | 11,3                              | 1920 | 2,8   | 1785 | 295                            | 1962 | 40  | 1814 |
| VI-VIII | 21,9                              | 1811 | 15,2  | 1821 | 473                            | 1833 | 84  | 1921 |
| IX-XI   | 10,8                              | 1967 | 4,5   | 1786 | 454                            | 1850 | 20  | 1951 |
| I-XII   | 9,9                               | 1989 | 4,6   | 1793 | 1184                           | 1833 | 372 | 1822 |

Tab. 11. Największe i najmniejsze wartości: średnie miesięczne, sezonowe i roczne temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie  
 The minimum and maximum values: monthly, seasonal, and annual averages of air temperature and precipitation in Warsaw in the years 2000-2100

|         | Temperatura powietrza |      |      |      | Opad atmosferyczny |      |     |       |
|---------|-----------------------|------|------|------|--------------------|------|-----|-------|
|         | Max                   | Rok  | Min  | Rok  | Max                | Rok  | Min | Rok   |
| I       | -1,0                  | 2095 | -8,5 | 2047 | 48                 | 2068 | 10  | 1994  |
| II      | 2,0                   | 1991 | -6,8 | 2069 | 44                 | 2058 | 12  | 20083 |
| III     | 4,8                   | 1991 | -3,5 | 2042 | 45                 | 2020 | 17  | 2095  |
| IV      | 10,0                  | 2011 | 4,4  | 2072 | 54                 | 2039 | 26  | 2025  |
| V       | 15,0                  | 2076 | 11,2 | 2044 | 68                 | 2007 | 28  | 2056  |
| VI      | 19,2                  | 2073 | 15,0 | 2010 | 91                 | 2034 | 44  | 2073  |
| VII     | 21,1                  | 2088 | 16,2 | 2035 | 107                | 2074 | 59  | 2014  |
| VIII    | 19,3                  | 2084 | 16,0 | 2043 | 112                | 2039 | 40  | 2007  |
| IX      | 15,5                  | 2000 | 11,4 | 2088 | 73                 | 2093 | 25  | 2019  |
| X       | 10,6                  | 2065 | 5,7  | 2007 | 65                 | 2020 | 16  | 2043  |
| XI      | 4,5                   | 2042 | -0,7 | 2056 | 63                 | 2061 | 21  | 1995  |
| XI      | 1,7                   | 2094 | -6,2 | 2011 | 57                 | 2079 | 20  | 2051  |
| XII-II  | -0,1                  | 2098 | -6,7 | 2054 | 139                | 2067 | 55  | 1992  |
| III-V   | 8,9                   | 2062 | 5,6  | 2088 | 163                | 2100 | 77  | 2054  |
| VI-VIII | 19,1                  | 2037 | 16,2 | 2012 | 274                | 2026 | 148 | 1993  |
| IX-XI   | 9,0                   | 2055 | 6,3  | 2096 | 162                | 2069 | 88  | 2042  |
| I-XII   | 8,4                   | 2005 | 6,5  | 2030 | 662                | 2080 | 463 | 2053  |

Tab. 12. Największe i najmniejsze wartości: średnie miesięczne, sezonowe i roczne temperatury powietrza w Warszawie w 30-leciu 1966-1995

The minimum and maximum values: monthly, seasonal, and annual averages of air temperature in Warsaw in the 30-year period 1966-1995

|       | Średnie miesięczne |      |       |      | Średnie maksymalne |      |      |      |
|-------|--------------------|------|-------|------|--------------------|------|------|------|
|       | Max                | Rok  | Min   | Rok  | Max                | Rok  | Min  | Rok  |
| I     | 3,2                | 1983 | -12,3 | 1987 | 5,8                | 1983 | -7,7 | 1987 |
| II    | 4,7                | 1990 | -9,6  | 1986 | 9,1                | 1990 | -5,7 | 1986 |
| III   | 6,6                | 1990 | -2,2  | 1987 | 11,5               | 1990 | 1,2  | 1969 |
| IV    | 9,5                | 1068 | 5,6   | 1982 | 15,4               | 1983 | 10,5 | 1982 |
| V     | 16,5               | 1993 | 9,9   | 1980 | 22,7               | 1993 | 15,2 | 1980 |
| VI    | 19,8               | 1979 | 14,4  | 1984 | 26,0               | 1979 | 19,1 | 1984 |
| VII   | 22,0               | 1994 | 15,0  | 1979 | 26,5               | 1992 | 19,8 | 1979 |
| VIII  | 19,5               | 1971 | 15,2  | 1987 | 28,6               | 1992 | 20,3 | 1987 |
| IX    | 16,4               | 1967 | 11,1  | 1971 | 21,9               | 1967 | 15,0 | 1978 |
|       |                    |      |       | 1979 |                    |      |      |      |
|       |                    |      |       | 1990 |                    |      |      |      |
| X     | 11,3               | 1967 | 5,7   | 1993 | 16,1               | 1967 | 9,2  | 1992 |
| XI    | 5,4                | 1969 | -2,7  | 1993 | 8,3                | 1986 | 0,1  | 1993 |
| XII   | 3,1                | 1971 | -8,5  | 1969 | 4,9                | 1971 | -5,5 | 1969 |
| I-XII | 3,5                | 1989 | 6,6   | 1980 | 13,9               | 1989 | 10,4 | 1980 |

Tab. 13. Największe i najmniejsze wartości: średnie miesięczne i średnie minimalne temperatury powietrza w Warszawie w 30-leciu 1966-1995

The minimum and maximum values: monthly and minimum averages of air temperature in Warsaw in the 30-year period 1966-1995

|       | Średnie miesięczne |      |       |      | Średnie maksymalne |      |       |      |
|-------|--------------------|------|-------|------|--------------------|------|-------|------|
|       | Max                | Rok  | Min   | Rok  | Max                | Rok  | Min   | Rok  |
| I     | 3,2                | 1983 | -12,3 | 1987 | 1,0                | 1983 | -16,4 | 1987 |
| II    | 4,7                | 1990 | -9,6  | 1986 | 1,2                | 1989 | -13,4 | 1986 |
| III   | 6,6                | 1990 | -2,2  | 1987 | 2,0                | 1990 | -5,9  | 1987 |
| IV    | 9,5                | 1968 | 5,6   | 1982 | 4,9                | 1983 | 0,7   | 1983 |
| V     | 16,5               | 1993 | 9,9   | 1980 | 10,6               | 1983 | 4,8   | 1980 |
| VI    | 19,8               | 1979 | 14,4  | 1984 | 13,0               | 1979 | 8,8   | 1976 |
| VII   | 22,0               | 1994 | 15,0  | 1979 | 15,5               | 1972 | 10,8  | 1979 |
| VIII  | 19,5               | 1971 | 15,2  | 1987 | 14,5               | 1992 | 9,4   | 1976 |
| IX    | 16,4               | 1967 | 11,1  | 1971 | 11,6               | 1967 | 6,7   | 1972 |
|       |                    |      |       | 1979 |                    |      |       |      |
|       |                    |      |       | 1990 |                    |      |       |      |
| X     | 11,3               | 1967 | 5,7   | 1993 | 7,3                | 1966 | 1,0   | 1979 |
| XI    | 5,4                | 1969 | -2,7  | 1993 | 2,8                | 1969 | -5,5  | 1993 |
|       |                    |      |       |      |                    | 1977 |       |      |
| XII   | 3,1                | 1971 | -8,5  | 1969 | 1,1                | 1971 | -11,9 | 1969 |
| I-XII | 9,5                | 1989 | 6,6   | 1980 | 5,1                | 1989 | 2,2   | 1969 |

Tab. 14. Największe i najmniejsze wartości: średnie miesięczne i ekstremalne temperatury powietrza w Warszawie w 30-leciu 1966-1995

The minimum and maximum values: monthly and extreme averages of air temperature in Warsaw in the 30-year period 1966-1995

|       | Średnie miesięczne |      |       |                      | Ekstremalne |                |       |                |
|-------|--------------------|------|-------|----------------------|-------------|----------------|-------|----------------|
|       | Max                | Rok  | Min   | Rok                  | Max         | Data           | Min   | Data           |
| I     | 3,2                | 1983 | -12,3 | 1987                 | 13,8        | 12.01.<br>1993 | -30,7 | 8.01.<br>1987  |
| II    | 4,7                | 1990 | -9,6  | 1986                 | 17,2        | 25.02.<br>1990 | -27,6 | 1.02.<br>1970  |
| III   | 6,6                | 1990 | -2,2  | 1987                 | 22,9        | 21.03.<br>1974 | -21,6 | 5.03.<br>1971  |
| IV    | 9,5                | 1968 | 5,6   | 1982                 | 18,2        | 30.04.<br>1972 | -5,6  | 12.04.<br>1986 |
| V     | 16,5               | 1993 | 9,9   | 1980                 | 31,6        | 31.05.<br>1979 | -3,1  | 1.05.<br>1971  |
| VI    | 19,8               | 1979 | 14,4  | 1984                 | 33,1        | 1.06.<br>1979  | 1,8   | 2.06.<br>1975  |
| VII   | 22,0               | 1994 | 15,0  | 1979                 | 35,9        | 30.07.<br>1994 | 4,8   | 6.07.<br>1976  |
| VIII  | 19,5               | 1971 | 15,2  | 1987                 | 36,4        | 1.08.<br>1994  | 3,0   | 27.08.<br>1977 |
| IX    | 16,4               | 1967 | 11,1  | 1971<br>1979<br>1980 | 29,7        | 4.09.<br>1967  | -1,6  | 28.09.<br>1977 |
| X     | 11,3               | 1967 | 5,7   | 1993                 | 25,9        | 5.10.<br>1966  | -9,6  | 31.10.<br>1988 |
| XI    | 5,4                | 1969 | -2,7  | 1993                 | 18,2        | 1.11.<br>1968  | -17,0 | 29.11.<br>1989 |
| XII   | 3,1                | 1971 | -8,5  | 1969                 | 14,2        | 19.12.<br>1989 | -24,8 | 21.12.<br>1969 |
| I-XII | 9,5                | 1989 | 6,6   | 1980                 | 36,4        | 1.08.<br>1994  | -30,7 | 8.01.<br>1987  |

Tab. 15. Największe i najmniejsze wartości: średnie maksymalne i absolutne maksima temperatury powietrza w Warszawie w 30-leciu 1966-1995

The minimum and maximum values: maximum averages and absolute maxima of air temperature in Warsaw in the 30-year period 1966-1995

|       | Średnie maksymalne |      |      |      | Absolutne maksimum |                |      |                |
|-------|--------------------|------|------|------|--------------------|----------------|------|----------------|
|       | Max                | Rok  | Min  | Rok  | Max                | Data           | Min  | Data           |
| I     | 5,8                | 1983 | -7,7 | 1987 | 13,8               | 12.01.<br>1993 | 1,7  | 26.01.<br>1987 |
| II    | 9,1                | 1990 | -5,7 | 1986 | 17,2               | 25.02.<br>1990 | 0,5  | 1.02.<br>1986  |
| III   | 11,5               | 1990 | 1,2  | 1969 | 22,9               | 21.03.<br>1974 | 5,9  | 31.03.<br>1969 |
| IV    | 15,4               | 1983 | 10,5 | 1982 | 28,2               | 30.04.<br>1977 | 17,2 | 28.04.<br>1980 |
| V     | 22,7               | 1993 | 15,2 | 1980 | 31,6               | 31.05.<br>1979 | 22,2 | 11.05.<br>1991 |
| VI    | 26,0               | 1979 | 19,1 | 1984 | 33,1               | 1.06.<br>1979  | 25,3 | 3.06.<br>1984  |
| VII   | 26,5               | 1992 | 19,8 | 1979 | 33,9               | 30.07.<br>1994 | 24,4 | 14.07.<br>1979 |
| VIII  | 28,6               | 1990 | 20,3 | 1987 | 36,4               | 1.08.<br>1994  | 26,2 | 9.08.<br>1977  |
| IX    | 21,9               | 1967 | 15,0 | 1978 | 29,7               | 4.09.<br>1967  | 20,8 | 17.09.<br>1978 |
| X     | 16,1               | 1967 | 9,2  | 1992 | 25,9               | 5.10.<br>1966  | 13,6 | 8.10.<br>1974  |
| XI    | 8,3                | 1986 | 0,1  | 1993 | 18,2               | 1.11.<br>1968  | 7,5  | 19.11.<br>1988 |
| XII   | 4,9                | 1971 | -5,5 | 1969 | 14,2               | 19.12.<br>1989 | 0,5  | 4.12.<br>1969  |
| I-XII | 13,9               | 1989 | 10,5 | 1980 | 36,4               | 1.08.<br>1994  | 26,8 | 5.08.<br>1980  |

Tab. 16. Największe i najmniejsze wartości: średnie minimalne i absolutne minima temperatury powietrza w Warszawie w 30-leciu 1966-1995

The minimum and maximum values: minimum averages and absolute minima of air temperature in Warsaw in the 30-year period 1966-1995

|       | Średnie minimalne |              |       |      | Absolutne minimum |                |       |                |
|-------|-------------------|--------------|-------|------|-------------------|----------------|-------|----------------|
|       | Max               | Rok          | Min   | Rok  | Max               | Data           | Min   | Data           |
| I     | 1,0               | 1983         | -16,4 | 1987 | -4,7              | 21.01.<br>1983 | -30,7 | 8.01.<br>1987  |
| II    | 1,2               | 1989         | -13,4 | 1986 | -4,0              | 14.02.<br>1990 | -27,6 | 1.02.<br>1970  |
| III   | 2,0               | 1990         | -5,9  | 1987 | -3,3              | 14.03.<br>1990 | -21,6 | 5.03.<br>1971  |
| IV    | 4,9               | 1983         | 0,7   | 1983 | -1,5              | 5.04.<br>1970  | -5,6  | 12.04.<br>1986 |
| V     | 10,6              | 1983         | 4,8   | 1980 | 5,6               | 1.05.<br>1988  | -3,1  | 1.05.<br>1971  |
| VI    | 13,3              | 1979         | 8,8   | 1976 | 8,1               | 23.06.<br>1968 | 1,8   | 2.06.<br>1975  |
| VII   | 15,5              | 1972         | 10,8  | 1979 | 10,5              | 9.07.<br>1975  | 4,8   | 6.07.<br>1976  |
| VIII  | 14,5              | 1992         | 9,4   | 1976 | 9,3               | 15.08.<br>1982 | 3,0   | 27.08.<br>1973 |
| IX    | 11,6              | 1967         | 6,7   | 1972 | 6,1               | 24.09.<br>1984 | -1,6  | 28.09.<br>1977 |
| X     | 7,3               | 1966         | 1,0   | 1979 | 2,2               | 6.10.<br>1989  | -9,6  | 31.10.<br>1988 |
| XI    | 2,8               | 1969<br>1977 | -5,5  | 1969 | -1,1              | 13.11.<br>1978 | -17,0 | 29.11.<br>1989 |
| XII   | 1,1               | 1971         | -11,9 | 1969 | -3,9              | 9.12.<br>1971  | -24,8 | 21.12.<br>1969 |
| I-XII | 5,1               | 1989         | 2,2   | 1969 | -10,4             | 8.01.<br>1990  | -30,7 | 8.01.<br>1987  |

Tab. 17. Największe i najmniejsze wartości: średnie miesięczne i ekstremalne ciśnienia atmosferycznego w Warszawie w 30-leciu 1966-1995

The minimum and maximum values: monthly and extreme averages of air pressure in Warsaw in the 30-year period 1966-1995

|       | Średnie |                              |      |              | Ekstremalne |                |     |                |
|-------|---------|------------------------------|------|--------------|-------------|----------------|-----|----------------|
|       | Max     | Rok                          | Min  | Rok          | Max         | Data           | Min | Data           |
| I     | 1013    | 1989                         | 994  | 1986         | 1035        | 2.01.1993      | 965 | 15.01.1981     |
| II    | 1013    | 1976                         | 995  | 1970         | 1032        | 14.02.<br>1994 | 958 | 26.02.<br>1989 |
| III   | 1009    | 1974                         | 995  | 1973<br>1988 | 1031        | 12.03.<br>1972 | 860 | 1.03.<br>1990  |
| IV    | 1005    | 1984                         | 996  | 1983         | 1022        | 9.04.1969      | 971 | 19.04.1980     |
| V     | 1007    | 1992                         | 997  | 1983<br>1984 | 1023        | 15.05.<br>1992 | 976 | 13.05.<br>1995 |
| VI    | 1004    | 1973<br>1976<br>1972<br>1984 | 997  | 1980         | 1017        | 1.06.<br>1982  | 982 | 1.06.<br>1980  |
| VII   | 1006    | 1969                         | 997  | 1980         | 1014        | 1.07. 991      | 980 | 19.07.1970     |
| VIII  | 1007    | 1973                         | 999  | 1089         | 1019        | 4.08.1981      | 976 | 9.08.1978      |
| IX    | 1007    | 1971<br>1977                 | 997  | 1984         | 1024        | 27.09.<br>1977 | 977 | 24.09.<br>1984 |
| X     | 1011    | 1985<br>1987                 | 994  | 1974         | 1029        | 18.10.<br>1993 | 996 | 22.10.<br>1974 |
| XI    | 1013    | 1993                         | 994  | 1969         | 1031        | 18.11.1985     | 965 | 28.11.1983     |
| XII   | 1005    | 1972<br>1991                 | 994  | 1994         | 1033        | 20.12.<br>1972 | 959 | 3.12.<br>1976  |
| I-XII | 1005    | 1972<br>1991                 | 1000 | 1966         | 1035        | 2.01.<br>1993  | 958 | 26.02.<br>1989 |

Tab. 18. Największe i najmniejsze wartości: średnie miesięczne i maksima ciśnienia atmosferycznego w Warszawie w 30-leciu 1966-1995

The minimum and maximum values: monthly averages and maxima of air pressure in Warsaw in the 30-year period 1966-1995

|       | Ciśnienie |                              |      |              | Maksymalne |                |      |  |
|-------|-----------|------------------------------|------|--------------|------------|----------------|------|--|
|       | Max       | Rok                          | Min  | Rok          | Max        | Data           | Min  | Data   |
| I     | 1013      | 1989                         | 994  | 1986         | 1035       | 2.01.<br>1993  | 1011 | 29.01.<br>1986   |
| II    | 1013      | 1976                         | 995  | 1970         | 1032       | 14.02.<br>1994 | 1011 | 3.02.<br>1977  |
| III   | 1009      | 1974                         | 995  | 1973<br>1988 | 1031       | 12.03.<br>1972 | 1009 | 10.03.<br>1978   |
| IV    | 1005      | 1984                         | 996  | 1983         | 1022       | 9.04.<br>1969  | 1006 | 4.04.<br>1986  |
| V     | 1007      | 1992                         | 997  | 1983<br>1984 | 1023       | 15.05.<br>1992 | 1007 | 7.05.<br>1983<br>10.05.<br>1984<br>1.05.<br>1987                   |
| VI    | 1004      | 1973<br>1976<br>1972<br>1964 | 997  | 1980         | 1017       | 1.06.<br>1982  | 1003 | 12.06.<br>1988   |
| VII   | 1006      | 1969                         | 997  | 1980         | 1014       | 1.07.<br>1991  | 1006 | 2.07.<br>1966<br>15.07.<br>1974                                    |
| VIII  | 1007      | 1973                         | 999  | 1989         | 1019       | 4.08.<br>1981  | 1009 | 16.08.<br>1977<br>1.08.<br>1980<br>29.08.<br>1982<br>5.08.<br>1984 |
| IX    | 1007      | 1971<br>1977                 | 997  | 1984         | 1024       | 27.09.<br>1977 | 1005 | 2.09.<br>1984  |
| X     | 1011      | 1985<br>1987                 | 994  | 1974         | 1029       | 18.10.<br>1993 | 1006 | 12.10.<br>1974   |
| XI    | 1013      | 1993                         | 994  | 1969         | 1031       | 18.11.<br>1985 | 1009 | 7.11.<br>1977  |
| XII   | 1005      | 1972<br>1991                 | 994  | 1994         | 1033       | 20.12.<br>1972 | 1010 | 1.12.<br>1993  |
| I-XII | 1005      | 1972<br>1991                 | 1000 | 1966         | 1035       | 2.01.<br>1993  | 1023 | 6.01.<br>1966<br>7.11.<br>1968                                     |

## VII. STAN AEROSANITARNY WARSZAWY W ODNIESIENIU DO INNYCH MIAST POLSKI

Istotnym czynnikiem kształtującym klimat Ziemi są substancje gazowe i pyły pochodzenia naturalnego wyrzucane do atmosfery podczas eksplozywnych erupcji wulkanicznych. Znaczący udział mają również zanieczyszczenia atmosfery pochodzenia antropogenicznego, ze spalania węgla i innych paliw. Postępujące globalne ocieplenie klimatu przypisywane jest zwykle wzrostowi zawartości dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) w atmosferze. Przypisywane jest ono antropogenicznej części efektu cieplarnianego atmosfery.

Przeciwnie, ochładzające oddziaływanie na klimat ma dwutlenek siarki ( $\text{SO}_2$ ), emitowany do atmosfery podczas spalania węgla zawierającego siarkę. Aerozole siarczanowe, powstające w wyniku fizyczno-chemicznych przemian związków siarki mają znaczny wpływ na dopływ promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi. Rozpraszają i absorbują one promieniowanie słoneczne przechodzące przez atmosferę ziemską.

Podobnie, pył zawarty w atmosferze rozprasza i absorbuje znaczną część promieniowania słonecznego, powodując spadek temperatury powietrza.

Przestrzenny rozkład stężenia zanieczyszczeń atmosfery na obszarze Polski przy niezmiennym położeniu źródeł emisji (elektrowni, elektrociepłowni, kominów fabryk) zależy przede wszystkim od cyrkulacji atmosferycznej – od kierunku napływu mas powietrznych nad terytorium Polski. Przykładowo określono wpływ adwekcji mas powietrznych na przestrzenny rozkład stężeń dwutlenku siarki w Polsce, z uwzględnieniem układów cyklonalnych i antycyklonalnych. Wyodrębniono sytuacje pogodowe sprzyjające dużej koncentracji dwutlenku siarki w powietrzu na obszarach o największym zanieczyszczeniu powietrza (Kicińska, 1999).

Przestrzenny rozkład stężenia dwutlenku siarki na terenie Polski jest zdeterminowany lokalizacją głównych emitatorów zanieczyszczeń atmosfery (kominów fabryk, elektrociepłowni itp.). Rozprzestrzenianie się pyłów i substancji gazowych emitowanych przez te źródła jest uwarunkowane częstością przeważających kierunków wiatru, zależnym od położenia centrów cyklonów i antycyklonów nad Europą.

Rozkład stężenia  $\text{SO}_2$  w otoczeniu ( $x, y, z = 0$ ) źródła emisji (na powierzchni Ziemi) o wysokości  $h$  i wydajności  $Q$  opisuje na ogół funkcja eksponencjalna (np. wzory Suttona):

$$s_i = f(x, y, 0, h, Q, v, C)$$

gdzie:  $v$  – prędkość wiatru,  $C$  – współczynnik dyfuzji turbulencyjnej.

Maksymalne stężenie  $\text{SO}_2$  występuje w kierunku smugi dymu ( $y = 0$ ) – w kierunku wiejącego wiatru w różnej odległości, zależnej od wysokości źródła ( $h$ ), prędkości wiatru ( $v$ ) i intensywności turbulencji ( $K$ ). Przy dużej prędkości wiatru (intensywnym pionowym mieszananiu turbulencyjnym) odległość maksymalnego stężenia może wynosić kilkadziesiąt metrów, a przy małej prędkości wiatru – kilka km. Mierzone stężenie  $\text{SO}_2$



w określonym miejscu jest wypadkową nakładających się smug dymów o różnej orientacji. Jest sumą cząstkowych stężeń zanieczyszczeń pochodzących z różnych źródeł o liczebności  $k$ :

$$\sum_{i=1}^k s_i \cdot$$

Przestrzenny rozkład stężenia  $\text{SO}_2$  w Polsce opisano na podstawie codziennych wyników pomiarów z 54 stacji monitoringu zanieczyszczeń powietrza z lat 1993-1997, zlokalizowanych przeważnie w miastach (rys. 98). Dane pochodzą z podstawowej sieci monitoringu zanieczyszczeń powietrza nad którą nadzór merytoryczny sprawuje Instytut Ochrony Środowiska. Zawartość dwutlenku siarki w powietrzu jest oznaczana głównie metodą kolorymetryczną z p-rozaniłą

Cyrkulację atmosferyczną, warunkującą rozkład  $\text{SO}_2$  w Polsce, opisują kierunki adwekcji mas powietrznych i rodzaje układów barycznych w latach 1993-1997. Określono je na podstawie analizy codziennych map synoptycznych (z czterech terminów) Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (Kicińska, 1999).

Emisja dwutlenku siarki w latach 1993-1997 cechowała się małymi zmianami: 2,7 mln ton w 1993 r. i 2,4 mln ton w 1996 r. Stała była też w tych latach lokalizacja głównych źródeł emisji  $\text{SO}_2$  w Polsce, elektrowni i elektrociepłowni (rys. 99). Tendencja spadkowa emisji związków siarki do atmosfery występowała wówczas w całej Europie. Zależność stężenia dwutlenku siarki w Polsce od kierunków adwekcji mas powietrznych i od rodzaju układów barycznych określono metodami statystycznymi. Wyznaczono stosunki korelacyjne:

$$e_{xy} = \left( \frac{s_{xj}^2}{s_x^2} \right)^{1/2}$$

gdzie:  $s_x^2$  – wariancja całkowita stężenia dwutlenku siarki,

$s_{xj}^2$  – wariancja średnich warunkowych stężeń dwutlenku siarki przy różnych kierunkach napływu mas powietrznych lub różnych rodzajach układów barycznych.

Istotność statystyczną stosunków korelacyjnych ( $e_{xy}$ ) oceniono stosując test Fishera-Snedecora – charakterystykę:

$$F = \frac{e_{xy}^2 (n-s)}{(1-e_{xy}^2) (s-1)}$$

gdzie:  $n$  – liczebność próby,  $s$  – liczba wyróżnionych kierunków adwekcji lub układów barycznych.

Weryfikowano hipotezę zerową o braku zależności korelacyjnej stężenia  $\text{SO}_2$  od rozpatrywanych czynników.

Na podstawie teoretycznych rozkładów gęstości prawdopodobieństwa (ich dystrybuant) wyznaczono, z jakim prawdopodobieństwem średnie dobowe stężenia dwutlenku siarki mogą przekraczać przyjęte *a priori* wartości progowe i dopuszczalne normy prawne.

W tym celu do danych empirycznych stężenia dwutlenku siarki w wybranych miejscowościach dopasowano rozkłady teoretyczne:

gamma:  $f(x) = \left[ \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \right] x^{\lambda-1} e^{-x}$

logarytmiczno-normalny:  $f(x) = \frac{1}{x\delta(2\pi)^{1/2}} \cdot \exp\left\{ -\frac{[Y - E(y)]^2}{2\delta^2} \right\}$

wykładniczy:  $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$

gdzie:  $\Gamma$  – funkcja gamma,  $E(y)$  – wartość oczekiwana zmiennej  $Y = \ln x$ ,  $\delta$  – odchylenie standardowe,  $\lambda$  – parametr funkcji.

Miarą dopasowania były wartości testu zgodności  $\chi^2$  oraz testu Kołmogorowa-Smirnowa.

Na wybranych stacjach pomiarowych określono podobieństwo poszczególnych kierunków adwekcji mas powietrza pod względem rozpatrywanych cech opisujących zanieczyszczenie powietrza dwutlenkiem siarki. Cechami tymi były: średnie stężenia  $\text{SO}_2$ , percentyle 0,50 i 0,95 średniego dobowego stężenia  $\text{SO}_2$ , średnie oraz bardzo duże wzrosty i spadki stężenia  $\text{SO}_2$  z dnia na dzień przy danym kierunku adwekcji. Zastosowano analizę skupień (metodę aglomeracji). Wykorzystano grupowanie hierarchiczne J. H. Warda, w którym skupienia są tworzone tak, by suma kwadratów odległości przy kolejnych łączeniach była jak najmniejsza. Za funkcję podobieństwa przyjęto odległości euklidesowe w przestrzeni wielowymiarowej:

$$d = [\sum (x_i - y_i)^2]^{1/2},$$

gdzie:  $x_i$  – wartość cechy w punkcie  $x$ ,  $y_i$  – wartość cechy w punkcie  $y$ .

## 1. Przestrzenny rozkład stężenia dwutlenku siarki w Polsce

Polska należy do krajów europejskich o największym zanieczyszczeniu powietrza związkami siarki. Według danych Europejskiego Programu Monitoringu Środowiska średnie roczne stężenie w 1994 r. mierzone ilością  $S$  w  $\text{SO}_2$  wahało się na pozamiejskich obszarach Europy od poniżej 1 do ponad  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , w tym w Polsce od ok. 5 do powyżej  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tak duże zanieczyszczenie powietrza w Polsce dwutlenkiem siarki uwarunkowane jest dużą emisją własną tego gazu, położeniem w sąsiedztwie uprzemysłowionych regionów Europy oraz warunkami meteorologicznymi sprzyjającymi dużej koncentracji zanieczyszczeń w powietrzu.

Stwierdzono sezonową zmienność średniego dobowego stężenia dwutlenku siarki w Polsce z maksimum w miesiącach zimowych i minimum w miesiącach letnich (tab. 19, rys. 100).

Tab. 19. Średnie dobowe stężenie dwutlenku siarki w porach roku i półroczach (w  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
Mean daily values sulphur dioxide concentration in seasons of the year  
and half-years (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

| Stacje   | Średnie dobowe stężenie | Pory roku |      |        |       | Półrocza |        |
|----------|-------------------------|-----------|------|--------|-------|----------|--------|
|          |                         | Wiosna    | Lato | Jesień | Zima  | Chłodne  | Ciepłe |
| Bytom    | 75,0                    | 61,8      | 33,4 | 64,0   | 145,2 | 111,6    | 39,1   |
| Kielce   | 14,8                    | 12,2      | 3,2  | 10,6   | 33,9  | 25,3     | 4,5    |
| Łeba     | 5,4                     | 5,0       | 3,0  | 4,3    | 9,5   | 7,7      | 3,2    |
| Suwałki  | 2,9                     | 1,9       | 0,7  | 1,8    | 7,2   | 5,0      | 0,8    |
| Warszawa | 20,4                    | 19,8      | 9,0  | 22,2   | 30,7  | 16,5     | 11,0   |

Największe średnie dobowe stężenie dwutlenku siarki w ciągu całego roku obserwuje się na Górnym Śląsku (w Bytomiu w półroczu chłodnym 111,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , w półroczu ciepłym 39,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Natomiast najmniej zanieczyszczone dwutlenkiem siarki jest powietrze w północnej części Polski. W tej części kraju nawet w półroczu chłodnym średnie dobowe stężenie dwutlenku siarki jest mniejsze od 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (w Suwałkach tylko 5,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), a w półroczu ciepłym spada poniżej 5,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (w Suwałkach 0,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Cykl roczny stężenia dwutlenku siarki w Polsce jest wynikiem sezonowych zmian emisji tego gazu, która jest większa zimą niż latem ze względu na dodatkowe jej źródła (małe elektrociepłownie, lokalne kotłownie i paleniska domowe). Cykl roczny stężenia  $\text{SO}_2$  wynika również z okresowej zmienności warunków pogodowych. W półroczu ciepłym intensywniejsza jest transformacja dwutlenku siarki i jego usuwanie z atmosfery niż w półroczu chłodnym (wzmoczona konwersja fotochemiczna, większy zasięg warstwy mieszania turbulencyjnego, obfitsze opady atmosferyczne).

Tendencje średniego miesięcznego stężenia dwutlenku siarki w latach 1993-1997, określone równaniami prostych regresji, są na ogół nieznacznie malejące i istotne statystycznie na poziomie istotności 0,05.

## 2. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na stężenie dwutlenku siarki

Zależność średniego dobowego stężenia dwutlenku siarki od kierunku adwekcji mas powietrza jest na obszarze Polski z reguły istotna statystycznie. Regionami, gdzie zależność ta jest największa, są: wybrzeże i Górny Śląsk. Stosunki korelacyjne ( $e_{xy}$ ) przekraczają tam 0,30-0,40. Zależność stężenia dwutlenku siarki od kierunku napływu mas powietrza zmienia się w ciągu roku i jest zróżnicowana przestrzennie. Jest ona uwarunkowana przede wszystkim położeniem punktów pomiarowych względem głównych źródeł emisji oraz sezonowymi zmianami szybkości przemian dwutlenku siarki.

Największe stężenie  $\text{SO}_2$  na większości obszaru Polski występuje przy napływie mas powietrza z kierunków: południowo-wschodniego i wschodniego, zwłaszcza w półroczu chłodnym (tab. 20, rys. 100). Obszarem o najgorszych warunkach aerosanitarnych jest wówczas Górny Śląsk, gdzie średnie dobowe stężenie  $\text{SO}_2$  przekracza często 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Przy tej sytuacji synoptycznej miasta Górnego Śląska znajdują się w zasięgu bezpośredniego oddziaływania dużych emitorów zlokalizowanych we wschodniej części tego obszaru.

Tab. 20. Średnie dobowe stężenie dwutlenku siarki w półroczu chłodnym przy różnych sytuacjach synoptycznych w wybranych punktach pomiarowych (w  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Daily average concentration of sulphur dioxide in the cool half-year for different synoptic situations in selected measurement points (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

| Stacje   | Średnie dobowe stężenie | Kierunek napływu mas powietrza |      |       |       |       |      |      |      |       |
|----------|-------------------------|--------------------------------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
|          |                         | N                              | NE   | E     | SE    | S     | SW   | W    | NW   | Cisza |
| Bytom    | 111,6                   | 74,2                           | 93,7 | 144,7 | 164,5 | 123,2 | 99,5 | 78,7 | 68,5 | 118,7 |
| Kielce   | 25,3                    | 15,1                           | 11,5 | 19,7  | 21,8  | 26,3  | 31,0 | 34,1 | 25,7 | 21,9  |
| Leba     | 7,7                     | 3,2                            | 8,1  | 14,4  | 16,6  | 11,6  | 5,4  | 3,2  | 3,0  | 6,7   |
| Suwałki  | 5,0                     | 1,6                            | 4,0  | 5,2   | 8,6   | 6,2   | 4,3  | 3,1  | 3,5  | 5,0   |
| Warszawa | 29,2                    | 19,8                           | 29,2 | 31,1  | 45,4  | 41,6  | 25,3 | 20,3 | 17,4 | 28,9  |

Przy południowo-wschodnim kierunku adwekcji także północna część Polski, zwłaszcza wybrzeże, charakteryzują się dużym stężeniem  $\text{SO}_2$ , przekraczającym w półroczu chłodnym nieraz dwukrotnie wartość średnią w tej połowie roku. W Szczecinie podczas adwekcji mas powietrza z tego kierunku notowano przypadki stężenia  $\text{SO}_2$  przekraczającego 50, a nawet  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Oznacza to, że głównym źródłem zanieczyszczenia powietrza w tym regionie są przemysłowe obszary południowej i środkowej Polski.

Odmierna sytuacja panuje w południowej części Polski (poza obszarem Górnego Śląska), zwłaszcza w półroczu ciepłym (rys. 100). Największe stężenie  $\text{SO}_2$  obserwuje się tutaj przy adwekcji mas powietrza z południo-zachodu i zachodu. Prawdopodobnie spowodowane jest to „importem” dwutlenku siarki emitowanego głównie w Niemczech i Czechach.

W ciągu całego roku najkorzystniejsze warunki aerosanitarne panują w całej Polsce przy adwekcji z północy i północo-zachodu (rys. 101). Przy napływie tych najczystszych mas powietrza średnie dobowe stężenie  $\text{SO}_2$  jest na północy Polski mniejsze o  $51,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (w półroczu chłodnym w Suwałkach tylko  $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Mniejszy wpływ na średnie dobowe stężenie dwutlenku siarki mają układy baryczne: cykloniczne i antycykloniczne. W półroczu chłodnym bardzo niekorzystny jest rozwój układów antycyklonicznych, które powodują wzrost koncentracji  $\text{SO}_2$  nawet o 50%. Podczas pogody wyżowej mniej sprzyjające są warunki rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza (mniejsza konwekcja i turbulencja). Znacznie korzystniejsza jest w półroczu chłodnym pogoda niżowa, podczas której średnie dobowe stężenie  $\text{SO}_2$  jest mniejsze o 20-40% od wartości średniej. W półroczu ciepłym niekorzystny wpływ układów antycyklonicznych słabnie.

### **3. Rozkłady prawdopodobieństwa stężenia dwutlenku siarki przy różnych kierunkach adwekcji powietrza**

Dla przedstawienia zmian ryzyka wystąpienia dużego stężenia dwutlenku siarki wraz ze zmianami kierunku adwekcji mas powietrza wyznaczono teoretyczne rozkłady gęstości prawdopodobieństwa aproksymujące stężenie dwutlenku siarki przy różnych sytuacjach synoptycznych. Dane empiryczne opisano wykorzystując rozkłady: gamma, logarymiczno-normalny i wykładniczy. Miarą dopasowania były wartości testu  $\chi^2$  oraz testu Kołmogorowa-Smirnowa na poziomie istotności 0,05.

Stwierdzono, że w przypadku stacji pomiarowych o dużym zanieczyszczeniu powietrza dwutlenkiem siarki i kierunków adwekcji sprzyjających dużej koncentracji  $\text{SO}_2$  dane empiryczne najlepiej opisuje rozkład gamma. Histogramy stężeń  $\text{SO}_2$  przy kierunkach adwekcji mas powietrza cechujących się małym zanieczyszczeniem lepiej opisuje rozkład wykładniczy. Uniwersalny jest rozkład logarymiczno-normalny, który najczęściej najlepiej opisujące histogramy stężenia dwutlenku siarki.

Na podstawie dystrybuant wybranych rozkładów wyznaczyć można najwyższe wartości stężenia  $\text{SO}_2$ , jakich można oczekiwać przy poszczególnych kierunkach adwekcji mas powietrza. Są one najczęściej bardzo zróżnicowane. Np. w Warszawie (na zachodnich krańcach miasta) średnie dobowe stężenie  $\text{SO}_2$ , które z prawdopodobieństwem 98% nie będzie przekroczone, wynosi przy napływie mas powietrza z północo-zachodu

44  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , przy napływie mas powietrza z południa – 117  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (rys. 102). W Bytomiu analogiczne wartości stężenia wynoszą: przy adwekcji mas powietrza z północo-zachodu – 74  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , przy adwekcji z południo-wschodu – 288  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Istotne znaczenie praktyczne ma to, że dystrybuanty teoretyczne poszczególnych rozkładów umożliwiają wyznaczenie prawdopodobieństwa przekroczenia średnich dobowych wartości stężenia dopuszczalnych według norm prawnych: w latach 1993-97 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  na obszarach chronionych, a 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  na obszarach specjalnie chronionych (od roku 1998 na obszarach chronionych – 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Wyznaczono prawdopodobieństwo przekraczania tych wartości przy różnych sytuacjach synoptycznych na wszystkich stacjach, na których stwierdzono systematyczne przekroczenia norm. We wszystkich rozpatrywanych punktach zagrożenie wystąpieniem tak dużego stężenia  $\text{SO}_2$  pojawia się tylko przy niektórych kierunkach adwekcji (tab. 21). Np. w Bytomiu prawdopodobieństwo przekroczenia normy 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  przy napływie mas powietrza z południo-wschodu wynosi aż 7,5%, natomiast przy napływie mas powietrza z zachodu lub północo-zachodu w ogóle nie ma zagrożenia tak dużym stężeniem  $\text{SO}_2$ . W Warszawie prawdopodobieństwo wystąpienia tak dużej koncentracji dwutlenku siarki pojawia się wyłącznie przy adwekcji mas powietrza z kierunków od południowego (2,0%) do półdniowo-wschodniego (0,1%).

Tab. 21. Prawdopodobieństwo przekroczenia przez średnie dobowe stężenie dwutlenku siarki 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  przy różnych kierunkach napływu mas powietrza  
Probabilities that the mean daily sulphur dioxide concentration will exceed 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for various directions of the air inflow

| Stacje   | Kierunek napływu mas powietrza |     |     |     |     |     |     |     |
|----------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|          | N                              | NE  | E   | SE  | S   | SW  | W   | NW  |
| Bytom    | x                              | 0,1 | 4,2 | 7,5 | 3,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| Katowice | x                              | 0,2 | 2,8 | 2,2 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | x   |
| Warszawa | 0,0                            | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

x – brak oszacowania

Zróznicowanie prawdopodobieństwa wystąpienia określonych wartości stężenia dwutlenku siarki przy różnych rodzajach układów barycznych jest znacznie mniejsze. Interesujące jest, że w większości przypadków zarówno bardzo małe, jak i bardzo duże wartości stężenia dwutlenku siarki są bardziej prawdopodobne przy układach antycyklonicznych niż przy cyklonicznych.

#### 4. Synchroniczne wahania stężenia zanieczyszczeń powietrza w Polsce

Analiza zmienności stężenia dwutlenku siarki z dnia na dzień pozwoliła stwierdzić, że obszar Polski jest pod tym względem bardzo zróżnicowany. W północnej części kraju dominują bardzo małe zmiany stężenia z dnia na dzień (rzędu  $\pm 1-2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), a przypadki zmian przekraczających 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  zdarzają się sporadycznie. W Polsce Południowej duże wahania stężenia  $\text{SO}_2$  ( $\pm 20-50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) są częste, w skrajnych przypadkach występować mogą wzrosty lub spadki stężenia przekraczające w ciągu doby 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Skokowe wzrosty stężenia dwutlenku siarki pojawiają się na większości obszaru Polski szczególnie często w dniach z adwekcją mas powietrza z południo-wschodu i wschodu (zarówno pierwszego dnia, jak i w kolejnych dniach napływu mas powietrza

z tych kierunków). Znacznym wzrostom koncentracji dwutlenku siarki sprzyja też sytuacja bezadwekcyjna.

Poszczególne kierunki adwekcji mas powietrza są znacznie mniej zróżnicowane pod względem częstości dużych spadków stężenia  $\text{SO}_2$  z dnia na dzień.

Napływ najczystszych w warunkach polskich mas powietrza z sektora północnego prowadzi do zminimalizowania i znacznego ujednoczenia zmian stężenia  $\text{SO}_2$  na całym obszarze kraju. Świadczą o tym współczynniki korelacji wiążące opisywane zmiany w różnych punktach pomiarowych, które w przypadku wielu punktów, nawet odległych, przekraczają 0,50-0,60. Z kolei adwekcja mas powietrza z południa i południo-wschodu oraz sytuacja bezadwekcyjna w największym stopniu różnicują poszczególne regiony.

## **5. Podobieństwo stanu zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki w poszczególnych regionach Polski przy różnych kierunkach adwekcji mas powietrza**

Stan zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki w Polsce opisano przez: średnie, małe (percentyl 0,50) i bardzo duże (percentyl 0,95) stężenie, średnie wzrosty i spadki stężenia z dnia na dzień, bardzo duże spadki (percentyl 0,05) i bardzo duże wzrosty (percentyl 0,95) stężenia z dnia na dzień przy określonych kierunkach adwekcji.

Na podstawie macierzy informacji (odległości euklidesowe w przestrzeni wielowymiarowej) wyodrębniono metodą J. H. Warda kierunki, przy których stan aerosanitarny w poszczególnych punktach pomiarowych jest zbliżony. Porównanie dendrogramów grupowania hierarchicznego z różnych punktów pomiarowych pozwoliło wykazać wyraźne zróżnicowanie obszaru Polski pod względem podobieństwa bądź niepodobieństwa stanu aerosanitarnego przy poszczególnych kierunkach adwekcji mas powietrza.

Ogólnie, w Polsce wyróżnić można obszary, na których przeciwstawić można (jako stwarzające odmienne warunki aerosanitarnie) następujące sektory adwekcji mas powietrza (rys. 103):

- północno-zachodni (korzystny) i południowo-wschodni (niekorzystny),
- północny (korzystny) i południowy (niekorzystny),
- północno-wschodni (korzystny) i południowo-zachodni (niekorzystny).

Pierwszy z wyróżnionych obszarów obejmuje północno-zachodnią, środkową oraz częściowo południową Polskę. Warunki aerosanitarnie panujące tutaj w czasie napływu mas powietrza z sektora południowo-wschodniego różnią się od typowych w dniach z adwekcją z sektora północno-zachodniego pod względem wszystkich rozpatrywanych cech. Najwyraźniej różnica ta zaznacza się na wybrzeżu. Sektory: południowo-wschodni (napływ mas znad lądu) i północno-zachodni (napływ mas znad morza) dzieli tutaj stopień niepodobieństwa maksymalny w skali wszystkich rozpatrywanych w pracy punktów pomiarowych. Różnica między warunkami aerosanitarnymi panującymi przy adwekcji mas powietrza z tych sektorów zmniejsza się w głąbi lądu, w wyniku większego rozproszenia źródeł emisji  $\text{SO}_2$ .

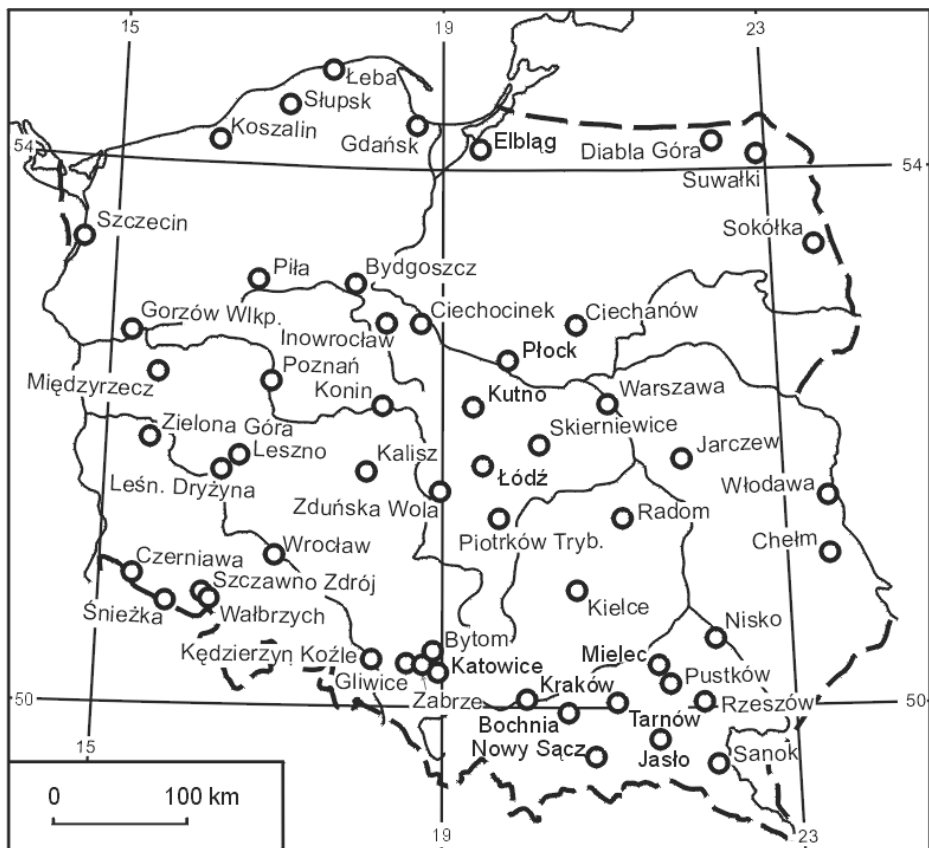
Wschodnia oraz południowa część kraju wykazują pod omawianym względem pewną odrębność. Na północno-wschodzie sektorami przeciwstawnymi sobie pod względem warunków aerosanitarnych są: północny i południowy, w południowo-zachodniej Pol-

sce oraz na obszarze położonym na wschód i północo-wschód od Górnego Śląska i Krakowa kierunki: południowo-zachodni i północno-wschodni.

Przeprowadzona analiza umożliwiła sformułowanie następujących najważniejszych uogólnionych wniosków:

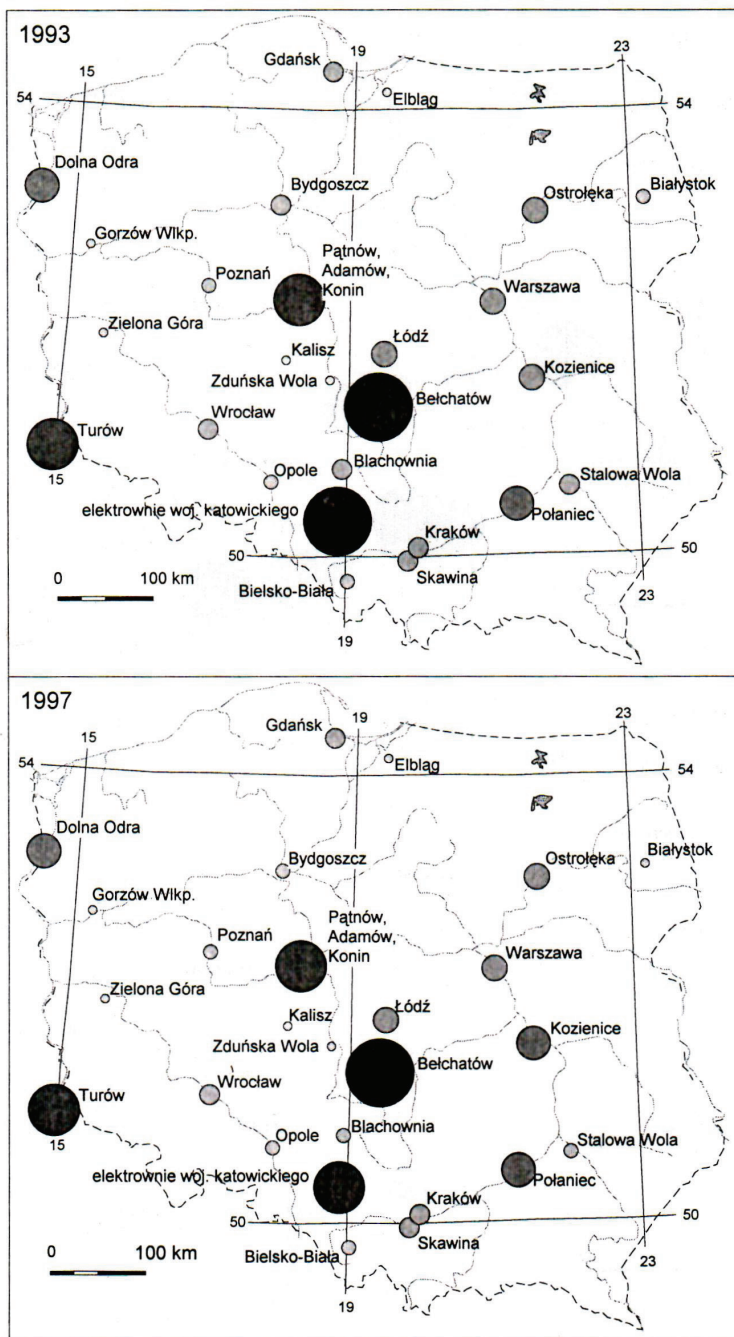
- cyrkulacja atmosferyczna w istotny sposób wpływa na zanieczyszczenie powietrza w Polsce dwutlenkiem siarki, przy czym rola kierunku adwekcji mas powietrza jest znacznie silniejsza niż rola rodzaju układu barycznego;
- zależność zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki od kierunku adwekcji mas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

Ocena stanu aerosanitarnego Polski, jak i jego powiązanie z warunkami cyrkulacyjnymi mają istotne znaczenie praktyczne. Uwzględnienie danych z licznych punktów pomiarowych oraz wskazanie prawidłowości przestrzennych prezentowanego układu zależności pozwalają na pewne rozszerzenie wyników na obszary, na których nie jest prowadzony monitoring zanieczyszczeń powietrza. Wyniki te mogą również posłużyć do prognozy stanu aerosanitarnego w poszczególnych regionach przy różnych sytuacjach synoptycznych.

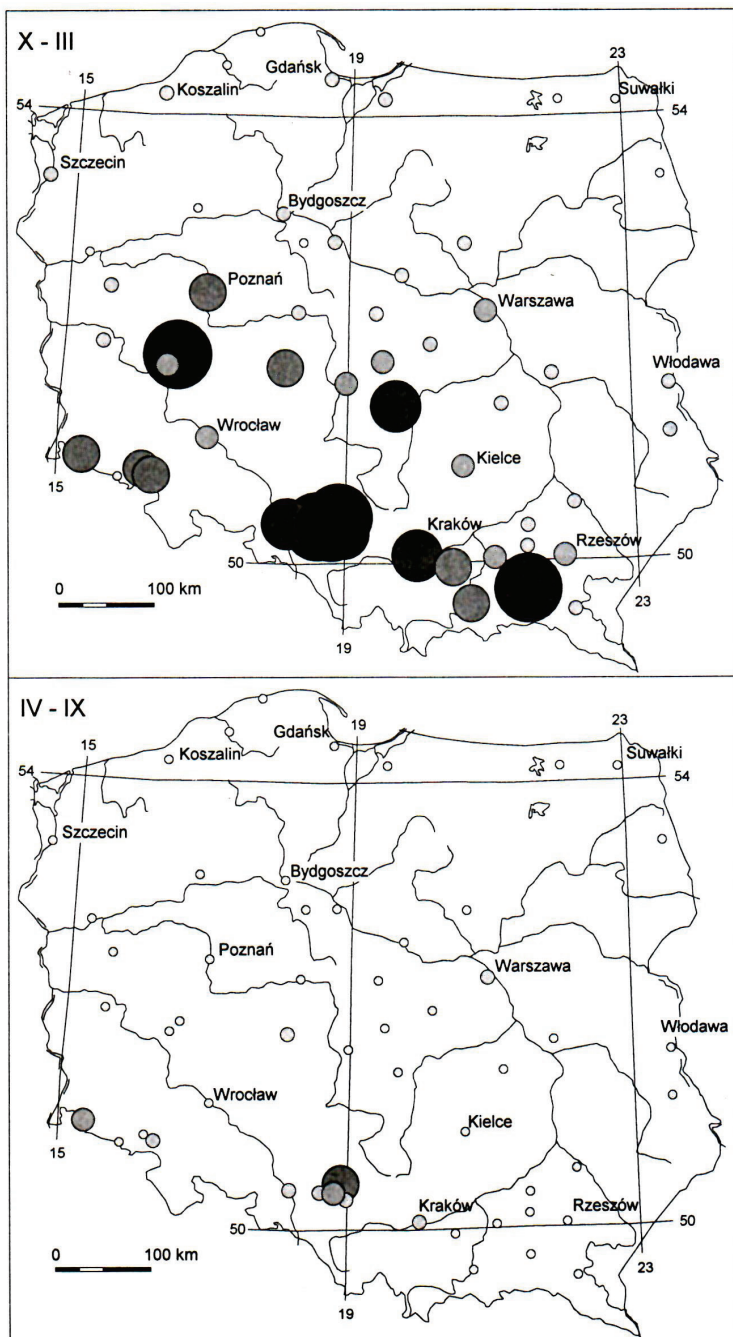


Rys. 98. Rozmieszczenie stacji pomiarowych  
Locations of the measurement stations

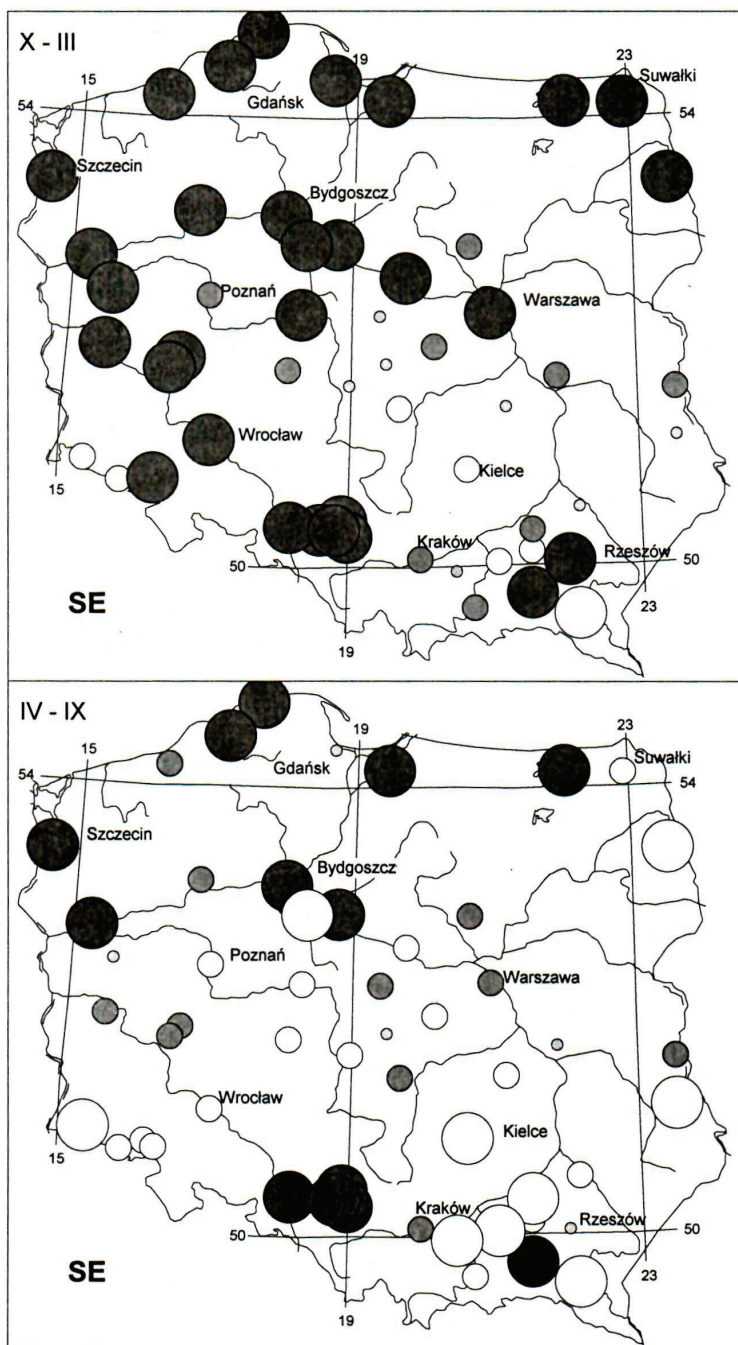




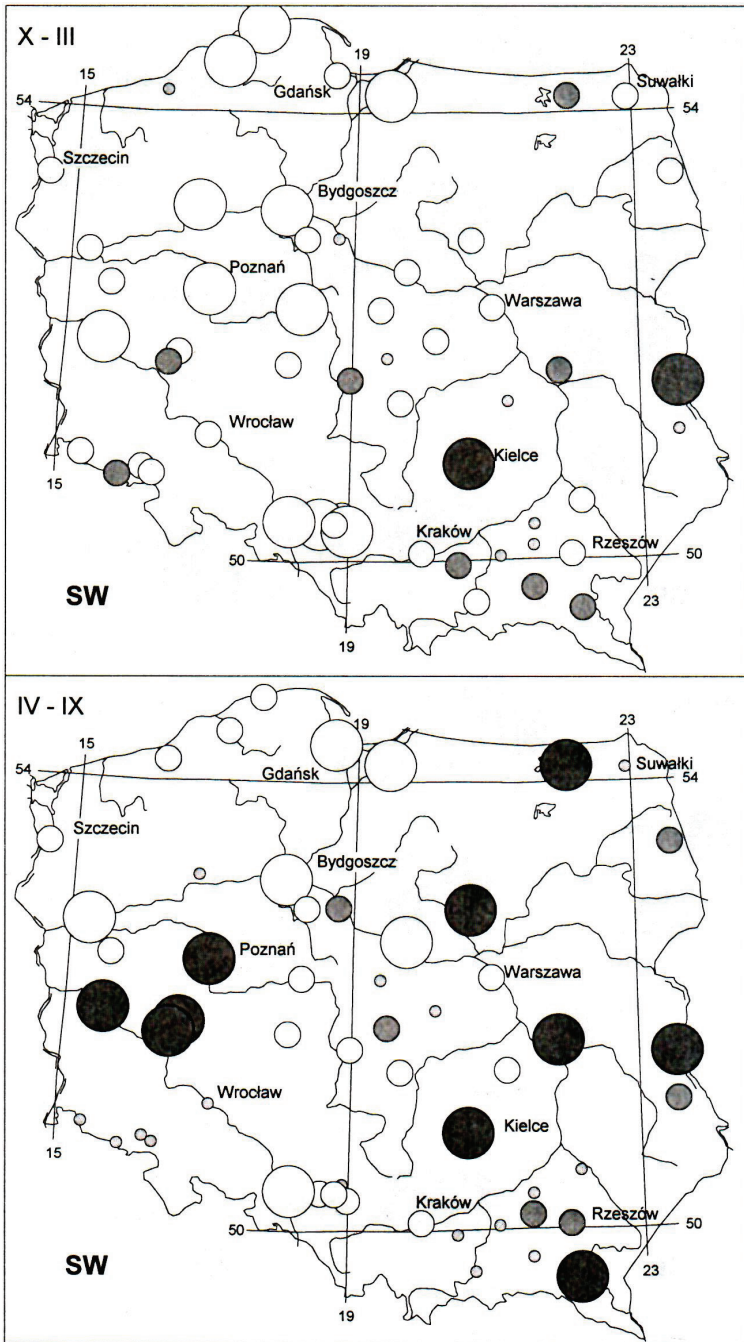
Rys. 99. Objasnienia do rysunku – s. 190



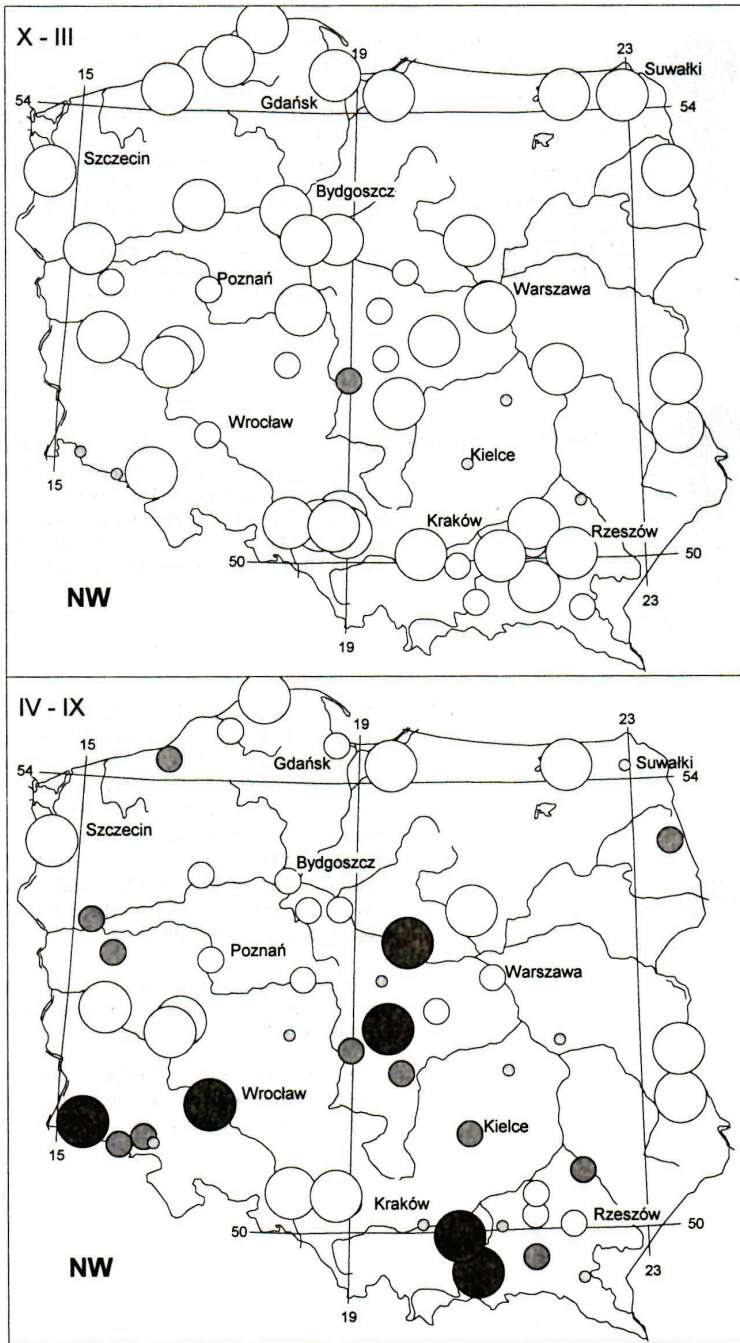
Rys. 100. Objasnienia do rysunku – s. 190



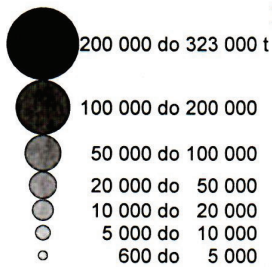
Rys. 101. Objaśnienia do rysunku – s. 190



Rys. 101. Objasnienia do rysunku – s. 190



Rys. 101. Objasnienia do rysunku – s. 190

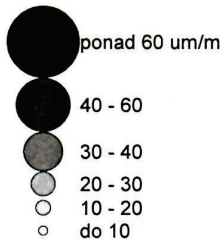


Rys. 99. Emisja dwutlenku siarki z elektrowni i elektrociepłowni w Polsce w latach 1993 i 1997

Emission of sulphur dioxide from power generation and co-generation plants in Poland in 1993 and 1997

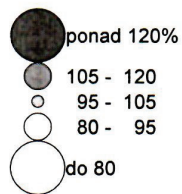
Źródła danych: *Emitor 1993. Emisja zanieczyszczeń środowiska w elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych.* 1994, Centrum Informatyki Energetyki, Zakład Energometrii, Warszawa.

*Emitor 1997. Emisja zanieczyszczeń środowiska w elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych.* 1998, Agencja Rynku Energii SA, Warszawa



Rys. 100. Średnie dobowe stężenie dwutlenku siarki w Polsce w półroczach: chłodnym (X-III) i ciepłym (IV-IX) w latach 1993-1997

Mean daily values of sulphur dioxide concentrations in Poland in the cold (X - III) and warm (IV - IX) half-years in the period 1993-1997

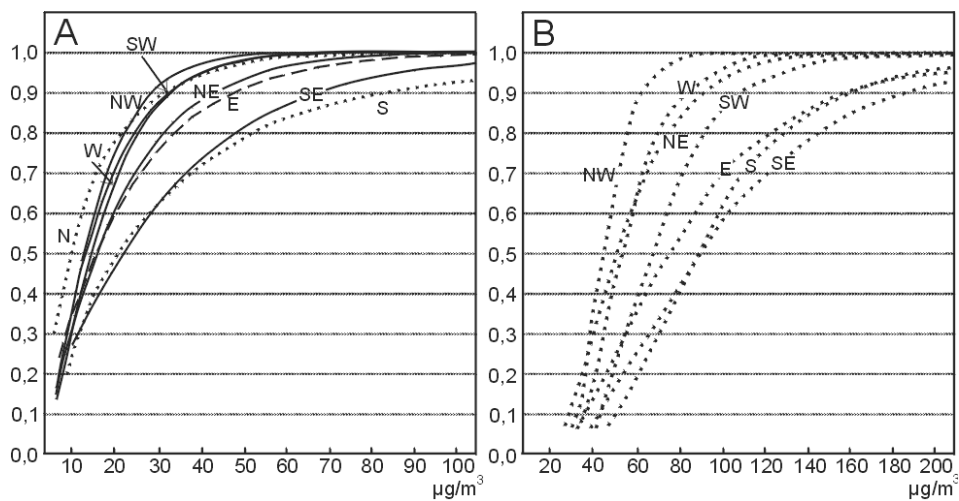


Rys. 101. Średnie dobowe stężenie dwutlenku siarki w Polsce przy adwekcji mas powietrza z południo-wschodu (SE), południo-zachodu (SW) i północo-zachodu (NW) w półroczach: chłodnym i ciepłym (1993-1997)

Mean daily values of sulphur dioxide concentration in Poland during the advection of air masses from south-east (SE), south-west (SW) and north-west (NW) in the cold and warm half-years (1993-1997)

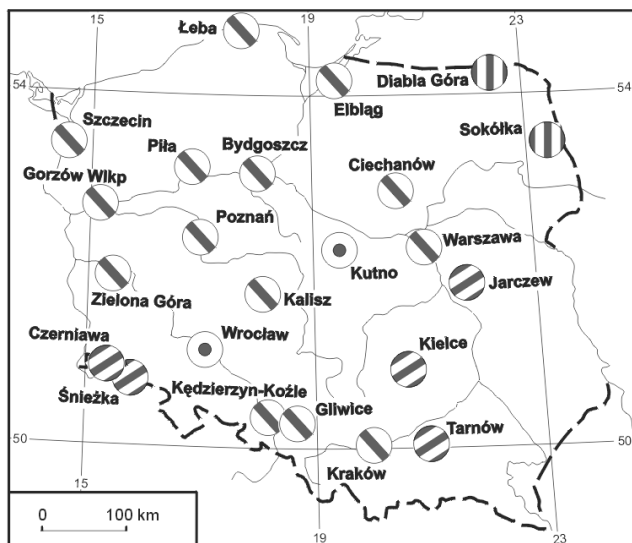
% średniej wartości stężenia dwutlenku siarki w danym punkcie pomiarowym w półroczu chłodnym lub ciepłym

% of the mean values of sulphur dioxide concentration in a given measurement point in the cold or warm half-year



Rys. 102. Krzywe dystrybuant teoretycznych rozkładów prawdopodobieństwa: logarymiczno-normalnego (linia kropkowana), gamma (linia ciągła), wykładniczego (linia przerywana) średniego dobowego stężenia dwutlenku siarki przy różnych kierunkach adwekcji mas powietrza w Warszawie (A) i Bytomiu (B)

Curves of the cumulative distribution functions of the following probability distributions: log-normal (dotted line), gamma (continuous line) and exponential (broken line) of the mean daily sulphur dioxide concentrations for different directions of the air masses inflow in Warsaw (A) and Bytom (B)



Stacje, na których największym niepodobieństwem w stosunku do siebie odznaczają się sektory:

- ☐ północno-zachodni (korzystny) i południowo-wschodni (niekorzystny)
- ☐ północny (korzystny) i południowy (niekorzystny)
- ☐ północno-wschodni (korzystny) i południowo-zachodni (niekorzystny)

● Stacje bez wyraźnego układu podobieństwa poszczególnych kierunków adwekcji mas powietrza

Rys. 103. Kierunki adwekcji, przy których zanieczyszczenie powietrza dwutlenkiem siarki jest maksymalnie różne

Stacje, na których największym niepodobieństwem w stosunku do siebie odznaczają się sektory:

- północno-zachodni (korzystny) i południowo-wschodni (niekorzystny)
- północny (korzystny) i południowy (niekorzystny)
- północno-wschodni (korzystny) i południowo-zachodni (niekorzystny)

Stacje bez wyraźnego układu podobieństwa poszczególnych kierunków adwekcji mas powietrza

Directions of the air inflow for which pollution of the air with the sulphur dioxide displays the biggest differentiation

Stations, at which the largest diddilarity characterises the sectors:

- north-western (advantageous) and south-eastern (disadvantageous)
- northern (advantageous) and southern (disadvantageous)
- north-eastern (advantageous) and south-western (disadvantageous)

Stations without a clear setting of similarities between the individual directions of the air inflow



## 6. Zanieczyszczenie atmosfery a zdrowie i zgony mieszkańców Warszawy

Problemom ochrony zdrowia i życia mieszkańców Warszawy poświęcona została druga praca doktorska, wykonana w Zakładzie Klimatologii UW *Wpływ warunków aerosanitarnych i biometeorologicznych na zgony mieszkańców Warszawy* (Kuchcik, 2000, promotor: M. Stopa-Boryczka).

Wyodrębniono w niej typy pogód i stan aerosanitarny w Warszawie o dużym zagrożeniu dla życia ludności miejskiej.

Problemy te rozwiązywano na podstawie codziennych wyników pomiarów stężeń dwutlenku siarki (SO<sub>2</sub>), tlenków azotu (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>), tlenku węgla (CO), ozonu (O<sub>3</sub>) oraz pyłów w atmosferze, z lat 1994-1995 przy ul. Kruczej.

Typy pogód (układy baryczne, fronty i masy powietrza) w badanym przedziale czasu określono na podstawie codziennych map synoptycznych (z 4 terminów) opracowanych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

Dane o codziennych zgonach w Warszawie (osób zameldowanych), spowodowanych chorobami krążenia, udostępnił Główny Urząd Statystyczny.

W badaniach zależności liczby zgonów od stężeń zanieczyszczenia atmosfery zastosowano znowu metody statystyczne: analizę regresji liniowej; nieliniowej dwóch zmiennych (równanie prostej regresji, wielomian 6 stopnia), regresję wielokrotną, rozkłady prawdopodobieństwa. Współczynniki korelacji cząstkowej i wielokrotnej zweryfikowano testami: Fishera-Snedecora i T-Studenta, a empiryczne rozkłady prawdopodobieństwa – testami zgodności Chi-kwadrat.

Średnie miesięczne stężenia zanieczyszczeń powietrza w Warszawie (ul. Krucza) w latach 1994-1995 (CO – w mg·m<sup>-3</sup>, pozostałe – w µg·m<sup>-3</sup>) zestawiono niżej.

|      | CO  | SO <sub>2</sub> | NO   | NO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | O <sub>3</sub> | Pył   |
|------|-----|-----------------|------|-----------------|-----------------|----------------|-------|
| I    | 1,2 | 39,6            | 15,7 | 32,2            | 56,2            | 19,2           | 46,9  |
| II   | 1,1 | 42,9            | 15,0 | 39,3            | 60,5            | 21,8           | 62,9  |
| III  | 1,0 | 35,2            | 10,4 | 35,7            | 50,9            | 33,6           | 51,9  |
| IV   | 0,8 | 22,4            | 6,0  | 36,3            | 45,2            | 47,0           | 47,8  |
| V    | 0,7 | 14,0            | 7,3  | 39,1            | 50,4            | 51,8           | 47,6  |
| VI   | 0,6 | 11,9            | 3,3  | 32,0            | 37,1            | 48,0           | 45,0  |
| VII  | 0,6 | 10,7            | 3,3  | 31,9            | 34,7            | 60,4           | 40,04 |
| VIII | 0,7 | 15,8            | 9,1  | 37,5            | 51,9            | 50,1           | 44,8  |
| IX   | 0,8 | 16,4            | 16,6 | 38,5            | 61,6            | 27,3           | 44,5  |
| X    | 1,5 | 30,5            | 33,3 | 42,6            | 92,5            | 15,6           | 77,2  |
| XI   | 1,0 | 43,3            | 24,8 | 35,1            | 72,0            | 17,8           | 70,3  |
| XII  | 1,3 | 49,4            | 24,8 | 38,6            | 75,9            | 17,6           | 68,2  |

Średnie stężenia tych zanieczyszczeń w poszczególnych porach roku i średnie roczne wynoszą:

|        | CO  | SO <sub>2</sub> | NO   | NO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | O <sub>3</sub> | Pył  |
|--------|-----|-----------------|------|-----------------|-----------------|----------------|------|
| Wiosna | 0,8 | 23,9            | 7,9  | 49,3            | 48,8            | 44,1           | 49,1 |
| Lato   | 0,6 | 12,8            | 5,2  | 33,8            | 41,2            | 52,8           | 43,4 |
| Jesień | 1,4 | 30,1            | 24,9 | 38,7            | 75,4            | 11,1           | 64,0 |
| Zima   | 1,2 | 44,0            | 18,5 | 36,7            | 64,2            | 19,5           | 59,3 |
| Rok    | 0,9 | 27,8            | 13,8 | 36,5            | 57,0            | 33,8           | 54,0 |

Średnie roczne stężenia; tlenku węgla, dwutlenku siarki, dwutlenku azotu i pyłów są zbliżone do norm dopuszczalnych stężeń: CO – 0,120 mg/m<sup>3</sup>, SO<sup>2</sup> – 32 µg/m<sup>3</sup>, NO<sup>2</sup> – 50 µg/m<sup>3</sup>, pył – 50 µg/m<sup>3</sup>.

Oto średnia dobowa liczba zgonów w Warszawie w latach 1994-1995 – ogółem i z powodu chorób krążenia w porach roku.

|        | Ogółem | Choroby krążenia |
|--------|--------|------------------|
| Wiosna | 52,8   | 24,7             |
| Lato   | 50,0   | 21,8             |
| Jesień | 50,2   | 21,7             |
| Zima   | 53,8   | 24,7             |

Wpływ poszczególnych zanieczyszczeń powietrza na dobową liczbę zgonów (zg) opisują równania hiperplaszczyzn regresji (standaryzowane):

|        |  |           |
|--------|--|-----------|
| X-III  | $zg = 0,269 \cdot CO - 0,063 \cdot SO_2 - 1,629 \cdot NO - 0,367 \cdot NO_2 - 1,642 \cdot NO_x + 0,070 \cdot O_3 - 0,116 \cdot p,$ | R = 0,216 |
| IV-IX  | $zg = 0,140 \cdot CO + 0,060 \cdot SO_2 - 0,512 \cdot NO - 0,632 \cdot NO_2 + 1,118 \cdot NO_x + 0,297 \cdot O_3 + 0,040 \cdot p,$ | R = 0,410 |
| I-XIII | $zg = 0,386 \cdot CO + 0,068 \cdot SO_2 - 1,473 \cdot NO - 0,504 \cdot NO_2 + 1,546 \cdot NO_x + 0,190 \cdot O_3 + 0,100 \cdot p,$ | R = 0,309 |

Oto współczynniki korelacji cząstkowej liczby zgonów względem poszczególnych składników zanieczyszczeń atmosfery:

|        | CO    | SO <sub>2</sub> | NO     | NO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | O <sub>3</sub> | Pył   |
|--------|-------|-----------------|--------|-----------------|-----------------|----------------|-------|
| X-III  | 0,126 | -0,055          | -0,084 | -0,054          | 0,065           | 0,055          | 0,086 |
| IV-IX  | 0,107 | 0,060           | -0,117 | -0,127          | 0,138           | 0,267          | 0,035 |
| I-XIII | 0,190 | 0,052           | -0,125 | -0,093          | 0,101           | 0,138          | 0,077 |

Znacznie większa jest zależność dobowych sum zgonów spowodowanych chorobami układu krążenia od tych substancji gazowych, zwłaszcza w półroczu chłodnym:

|        |  |           |
|--------|--|-----------|
| X-III  | $zg = 0,395 \cdot CO + 0,056 \cdot SO_2 - 3,074 \cdot NO - 0,569 \cdot NO_2 + 2,943 \cdot NO_x + 0,032 \cdot O_3 + 0,011 \cdot p,$ | R = 0,534 |
| IV-IX  | $zg = 0,103 \cdot CO + 0,092 \cdot SO_2 - 0,367 \cdot NO - 0,500 \cdot NO_2 + 0,857 \cdot NO_x + 0,216 \cdot O_3 + 0,142 \cdot p,$ | R = 0,407 |
| I-XIII | $zg = 0,618 \cdot CO + 0,213 \cdot SO_2 - 1,095 \cdot NO - 0,181 \cdot NO_2 + 0,707 \cdot NO_x + 0,295 \cdot O_3 + 0,061 \cdot p,$ | R = 0,352 |

W przypadku chorób układu krążenia współczynniki korelacji cząstkowej są nieco większe:

|        | CO    | SO <sub>2</sub> | NO     | NO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | O <sub>3</sub> | Pył   |
|--------|-------|-----------------|--------|-----------------|-----------------|----------------|-------|
| X-III  | 0,196 | -0,056          | -0,162 | -0,090          | 0,125           | 0,027          | 0,009 |
| IV-IX  | 0,078 | 0,083           | -0,084 | -0,100          | 0,106           | 0,197          | 0,122 |
| I-XIII | 0,215 | 0,058           | -0,143 | -0,080          | 0,103           | 0,097          | 0,053 |

Zależność liczby zgonów od zanieczyszczenia atmosfery jest bardziej „czytelna” w przypadku średnich 5-cio dniowych (pięciodniowych sum zgonów):

|                  |  |         |
|------------------|--|---------|
| Zgony ogółem     | $zg = 0,623 \cdot CO + 0,233 \cdot SO_2 - 0,763 \cdot NO - 0,100 \cdot NO_2 + 0,414 \cdot NO_x + 0,379 \cdot O_3 + 0,189 \cdot p,$ | R=0,549 |
| Choroby krążenia | $zg = 0,655 \cdot CO + 0,230 \cdot SO_2 - 1,670 \cdot NO - 0,258 \cdot NO_2 + 1,251 \cdot NO_x + 0,255 \cdot O_3 + 0,132 \cdot p,$ | R=0,603 |

O znaczącym wpływie zanieczyszczeń atmosfery na zgony mieszkańców Warszawy świadczą istotne statystycznie (na poziomie istotności 0,05) współczynniki korelacji cząstkowej:

| Zgony                   | CO   | SO <sub>2</sub> | NO    | NO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | O <sub>3</sub> | Pył  |
|-------------------------|------|-----------------|-------|-----------------|-----------------|----------------|------|
| Ogółem                  | 0,35 | 0,16            | -0,10 | -0,03           | 0,04            | 0,25           | 0,13 |
| Choroby układu krążenia | 0,38 | 0,17            | -0,23 | -0,08           | 0,14            | 0,18           | 0,09 |

Największy wpływ na liczbę zgonów mają: tlenek węgla (CO) i ozon (O<sub>3</sub>): zgony ogółem –  $r(z, \text{CO}) = 0,35$ ,  $r(z, \text{O}_3) = 0,25$ , zgony spowodowane chorobami układu krążenia –  $r(z, \text{CO}) = 0,38$ ,  $r(z, \text{O}_3) = 0,18$ . Istotny wpływ na liczbę dobowych zgonów ma także dwutlenek siarki – odpowiednio  $r(z, \text{SO}_2) = 0,16$ ,  $r(z, \text{SO}_2) = 0,17$ .

Miarą łącznego wpływu substancji gazowych: CO, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> i pyłów ( $P$ ) na liczbę zgonów są dość duże wartości współczynniki korelacji wielokrotnej ( $R$ ) i współczynniki determinacji ( $R^2$  wyrażone w %):

| Zgony                   | X-III |           | IV-IX |           | I-XII<br>(dobowe) |           | I-XII<br>(5-cio dobowe) |           |
|-------------------------|-------|-----------|-------|-----------|-------------------|-----------|-------------------------|-----------|
|                         | $R$   | $R^2$ (%) | $R$   | $R^2$ (%) | $R$               | $R^2$ (%) | $R$                     | $R^2$ (%) |
| Ogółem                  | 0,22  | 4,7       | 0,41  | 16,9      | 0,31              | 9,5       | 0,55                    | 30,1      |
| Choroby układu krążenia | 0,42  | 17,2      | 0,41  | 16,6      | 0,35              | 12,4      | 0,60                    | 36,0      |

Równania hiperpłaszczyzn regresji 5-cio dobowych sum zgonów (zg) względem zanieczyszczeń CO, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, pył wyjaśnia ją 36% wariacji ( $R^2 = 1 - \frac{\varepsilon^2}{s^2}$ ,  $s^2$  – wariancja liczby zgonów,  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa).

Proste porównania wskazują, że liczba zgonów w dni o dużych stężeniach zanieczyszczeń powietrza jest większa niż w dni o czystym powietrzu. Na przykład w lecie liczby zgonów w zależności od stężeń:  $x < \frac{1}{2}\bar{x}$ ,  $x < \frac{3}{2}\bar{x}$  ( $\bar{x}$  – średnie stężenie) wynoszą:

| Zgony                   | stężenia        | CO   | SO <sub>2</sub> | NO   | NO <sub>2</sub> | O <sub>3</sub> | Pył  |
|-------------------------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|----------------|------|
| Ogółem                  | $< 0,5 \bar{x}$ | 43,0 | 46,9            | 47,5 | 51,6            | 48,9           | 48,4 |
|                         | $> 1,5 \bar{x}$ | 59,5 | 55,6            | 52,8 | 51,4            | 66,6           | 60,0 |
| Choroby układu krążenia | $< 0,5 \bar{x}$ | 15,0 | 18,7            | 20,5 | 22,8            | 19,9           | 20,8 |
|                         | $> 1,5 \bar{x}$ | 26,4 | 25,2            | 23,5 | 22,9            | 29,7           | 27,5 |

Zarówno współczynnik korelacji cząstkowej liczby zgonów względem ozonu (O<sub>3</sub>), jak też powyższe zestawienie wskazuje, iż z zawartością ozonu w powietrzu wiąże się duża umieralność ludności miejskiej, zwłaszcza w lecie.

Umieralność wśród mieszkańców Warszawy zależy od rodzaju mas powietrza napływających nad obszar Polski. Świadczą o tym wartości standaryzowanej liczby zgonów  $Z = \frac{z - \bar{z}}{s}$ , gdzie  $\bar{z}$  – średnia liczba zgonów,  $s$  – odchylenie standardowe (zakres zmienności  $Z$  to w przybliżeniu przedział  $\pm 3$ ):

|                         |     |      |      |     |      |     |
|-------------------------|-----|------|------|-----|------|-----|
| Zgony                   | PPm | PPms | PA   | PAs | PPk  | PZ  |
| Ogółem                  | 0,6 | -2,3 | -0,4 | 1,2 | -0,2 | 2,1 |
| Choroby układu krążenia | 0,0 | -0,8 | -0,7 | 1,3 | -1,2 | 1,8 |

Najkorzystniejsze jest powietrze polarne morskie stare (PPms), podczas którego liczba zgonów jest znacznie mniejsza od średniej rocznej ( $Z = 2,3$ , w przypadku średniej rocznej  $Z = 0$ ). Natomiast bardzo „niebezpieczne” jest powietrze zwrotnikowe (PZ), któremu towarzyszy największa liczba zgonów ( $Z = 2,1$ ), znacznie przekraczająca średnią ( $Z = 0$ ).

Negatywny wpływ pogody na zdrowie i zgony ludności polega na zakłóceniu bilansu energetycznego organizmu. Bilans cieplny na powierzchni skóry człowieka zależy przede wszystkim od temperatury powietrza, wilgotności i prędkości wiatru. Przy dużych prędkościach wiatru straty energii cieplnej organizmu są duże ze względu na intensywne turbulencyjne wychładzanie. Z większą wilgotnością powietrza wiąże się większe przewodnictwo cieplne materiałów ochronnych (izolacyjnych) – większa strata ciepła.

Istotną rolę w bilansie organizmu ludzkiego odgrywają zdolności absorpcyjne skóry i odzieży (albedo), a także wypromieniowanie ciepła (promieniowanie długofalowe), zależne od różnicy temperatury skóry i otoczenia (także temperatury powierzchni ziemi, ścian budynków).

Uproszczeniem badań (Kuchcik, 2000) w tym zakresie jest wykrycie korelacji między liczbą zgonów mieszkańców Warszawy i temperaturą efektywną, określającą w przybliżeniu odczucie termiczne człowieka. Oto nieco inaczej zapisane empiryczne wzory Missenarda definiujące temperaturę efektywną:

$$TE = t - 0,4(t - 10,0) \cdot (1 - f), \quad \text{gdy } v \leq 0,2 \text{ m/s}$$

$$TE = 37,0 - \frac{37,0 - t}{0,68 - 0,14f + \frac{1}{1,76 + 1,40v^{0,75}}} - 0,29t \cdot (1 - f), \quad \text{gdy } v > 0,2 \text{ m/s}$$

gdzie:  $t$  – temperatura powietrza (w  $^{\circ}\text{C}$ ),  $v$  – prędkość wiatru (w  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $f$  – wilgotność względna (jest ułamkiem  $0 \leq f \leq 1$ ).

Należy zauważyć, że zależność temperatury efektywnej od temperatury powietrza ( $t$ ), wilgotności powietrza ( $f$ ) i prędkości wiatru ( $v$ ) jest nieliniowa i słuszna tylko w przyjętych jednostkach.

Zależność standaryzowanej liczby zgonów od przedziałów odczuć ciepła (wg klasyfikacji M. Baranowskiej) charakteryzuje zestawienie:

|                      | Zgony ogółem | Zgony spowodowane chorobami układu krążenia |
|----------------------|--------------|---|
| Bardzo gorąco        | 3,4          | 2,2   |
| Gorąco               | -1,6         | -1,0  |
| Ciepło               | -0,4         | -0,4  |
| Komfort              | -0,1         | 0,6   |
| Chłodno              | 0,2          | -0,1  |
| Zimno i bardzo zimno | -1,1         | -1,3  |

Tak więc liczba zgonów jest największa w dni z odczuciem ciepła „bardzo gorąco” (wg temperatury efektywnej). Potwierdzeniem tego są również współczynniki korelacji między liczbą zgonów a temperaturą efektywną w wyodrębnionych klasach odczucia ciepła. W przypadku 5-cio dniowych sum konsekwentnych wartości współczynników korelacji są następujące:

|               | Zgony ogółem | Zgony spowodowane chorobami układu krążenia |
|---------------|--------------|---|
| Bardzo gorąco | 0,29         | 0,20  |
| Gorąco        | -0,15        | -0,11                                       |
| Ciepło        | -0,11        | -0,07                                       |
| Komfort       | -0,06        | 0,02  |
| Chłodno       | 0,06         | -0,02                                       |
| Zimno         | 0,06         | -0,00                                       |
| Bardzo zimno  | 0,15         | 0,09  |

W klasie odczucia termicznego „bardzo gorąco” wartości temperatury efektywnej odpowiada znaczący wzrost liczby zgonów w Warszawie ( $r = 0,29$ ). Podobnie jest w przypadku dni z odczuciem „bardzo zimno” (w °TE) ( $r = 0,15$ ).

Należy zauważyć, że zależność temperatury efektywnej od temperatury powietrza ( $t$ ), wilgotności powietrza ( $f$ ) i prędkości wiatru ( $v$ ) jest nieliniowa i słuszna tylko w przyjętych jednostkach.

## VIII. ZAKOŃCZENIE

Celem pracy jest określenie składników deterministycznych (okresowych) czasowej zmienności klimatu Polski w XVIII-XX wieku. Jest nim też identyfikacja naturalnych przyczyn ochłodzeń i ociepleń klimatu Polski, a także prognozy temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie w XXI wieku. W prognozach zmian klimatu Polski przyjęto założenie, że ekstrema wykrytych cykli temperatury i opadów będą się powtarzać nadal, tak jak w XVIII-XX wieku. Do przyjęcia takiego założenia upoważnia obecność analogicznych cykli w ciągach czasowych: aktywności Słońca (stałej słonecznej) i parametrów Układu Słonecznego oraz ich synchroniczność (koincydencja ekstremów). Najdłuższe okresy około 100- i 200-letni powtarzają się wielokrotnie w ciągach chronologicznych paleotemperatury ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) i zawartości substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych. Najmroźniejsze zimy, o średniej temperaturze  $-7^{\circ}\text{C}$ , wystąpią prawdopodobnie w połowie przyszłego stulecia – około roku 2050. Według wypadkowej letnich cykli temperatury powietrza chłodne lata wystąpią w pierwszych dwóch dekadach przyszłego wieku. Maksimum wiekowe opadów 720 mm wystąpi mniej więcej w latach 2030, 2063, 2068. Najmniejsze sumy roczne, rzędu 400 mm, wystąpią prawdopodobnie w pobliżu dat: 2033, 2040.

Globalne ocieplenie i zjawiska regionalne – niekorzystne dla mieszkańców Ziemi – są przeważnie przypisywane działalności człowieka. Przypisywane są one przede wszystkim antropogenicznej części efektu cieplarnianego atmosfery – wzrostowi zawartości dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) w atmosferze, pochodzącemu ze spalania węgla i innych paliw.

Raport IPCC (1990), prognozujący wzrost temperatury powietrza na Ziemi w roku 2030 o  $1,5\text{-}4,5^{\circ}\text{C}$ , był zbyt pesymistyczny. Pojawiły się później katastrofalne prognozy o stopieniu lodów Antarktydy i Arktyki, a także lodowców wysokogórskich i zatopieniu części kontynentów przez wody oceanów. Historia klimatu Ziemi i proste obliczenia (Boryczka, 1998) wskazują, że taki proces trwałby co najmniej kilkanaście tysięcy lat.

Analogicznie, ochłodzenie klimatu w latach czterdziestych przyczyniło się do podjęcia badań nad wpływem pyłów wulkanicznych na klimat. Pojawiły się wówczas katastrofalne prognozy o całkowitym zlodowaceniu Ziemi. Prognozowano, że spadek globalnego promieniowania całkowitego o  $1,5\text{-}1,6\%$  prowadzi do nieodwracalnego zlodowacenia, postępującego od biegunów ku równikowi.

Kolejny raport IPCC (1995) jest bardziej optymistyczny, prognozowane są przyrosty antropogeniczne temperatury powietrza o  $1\text{-}3,5^{\circ}\text{C}$  w roku 2100 (o połowę mniejsze), po uwzględnieniu rozproszenia promieniowania słonecznego przez areozole siarczanowe, pochodzące z emisji do atmosfery  $\text{SO}_2$ .

Modele cyrkulacji – scenariusze  $2\times\text{CO}_2$  (po podwojeniu przedindustrialnej koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze – 280 ppm) mają obecnie raczej znaczenie metodyczne.

Rozwiązania numeryczne równań ruchu atmosfery, z uwzględnieniem ważniejszych sił działających na obracającej się Ziemi, stanów fizycznego i chemicznego powietrza aż do stratosfery, są znaczącym postępem w rozwoju fizyki atmosfery.

Przypisywanie jednak postępującego ocieplenia tylko antropogenicznej części efektu cieplarnianego jest niepewnym, słabo uzasadnionym założeniem. Nie wiadomo bowiem, jaka część tendencji rosnącej temperatury powietrza przypada na czynniki naturalne, a jaka na antropogeniczne. Mało znane są tendencje koncentracji w atmosferze naturalnych gazów śladowych (pary wodnej, naturalnego CO<sub>2</sub>), które powodują zasadniczą część naturalną efektu cieplarnianego – w latach przedindustrialnych +33°C (różnica między temperaturą ówczesną a planetarną).

Znaczącą rolę w kształtowaniu klimatu Ziemi będą nadal odgrywały (także w XXI wieku) eksplozywne erupcje wulkanów, powodujące powstanie warstwy wulkanicznych aerozoli siarczanowych w stratosferze. Wskazują na to długie serie wyników pomiarów promieniowania całkowitego i temperatury powietrza, skorelowane ze wskaźnikami koncentracji pyłów wulkanicznych w atmosferze. Dopływ energii słonecznej do powierzchni Ziemi zależy przede wszystkim od stałej słonecznej, której zmienność warunkować będzie wahania klimatu w przyszłym stuleciu.

Wyniki badań przedstawione w tej części Atlasu wskazują, by współczesne zmiany klimatu interpretować w odniesieniu do zmian klimatu w czwartorzędzie, a szczególnie w holocenie. Wskazują również potrzebę opracowania prognoz zarówno naturalnych, jak też antropogenicznych tendencji zmian klimatu w XXI wieku.

Zmiany klimatu, jego wahania i tendencje, a w szczególności prognozy mają duże znaczenie w planowaniu rozwoju wszystkich działów gospodarki: rolnictwa, budownictwa, energetyki, komunikacji itp.

Dlatego też najważniejsze jest zbadanie najdłuższych serii pomiarów w Polsce, na podstawie których określa się zakres wahań klimatu, temperatury powietrza i opadów atmosferycznych i dokonuje się sondaży przyszłości.

Nadal aktualne jest poznanie wieloletnich zmian i opracowanie prognozy klimatu przy wykorzystaniu metod modelowania z uwzględnieniem powiązań z działalnością człowieka. Globalne ocieplenie i anomalie klimatu w różnych strefach kuli ziemskiej zagrażają życiu na Ziemi.

Do najbardziej niekorzystnych zjawisk można zaliczyć wichury i sztormy oraz powodzie, osuwiska ziemi i lawiny, które wywołują 85% strat ekonomicznych. Do innych zjawisk ekstremalnych należą trzęsienia ziemi i erupcje wulkaniczne. Duże straty powodują susze, fale upałów (pożary lasów) i mrozów. Do katastrof najgroźniejszych dla ludzi i gospodarki w roku 1998 można zaliczyć (*Zmiany klimatu*, 1999):

- tajfun w Indiach, który w czerwcu spowodował śmierć 10 000 osób;
- huragan, który spustoszył Amerykę Środkową na przełomie października i listopada, powodując śmierć około 9200 osób;
- huragan Georges, który przeszedł nad Karaibami i Zatoką Meksykańską na przełomie września i października i przyczynił się do śmierci ponad 4000 osób;
- letnią powódź w Bangladeszu, Indiach i Nepalu, na skutek której liczba ofiar śmiertelnych wyniosła 4750;
- letnią powódź w Chinach, która przyczyniła się do liczby ofiar szacowanej na 3656;

- burze śnieżne w styczniu oraz silne gradobicie w maju 1998 r. w Ameryce Północnej, które spowodowały straty liczone w miliardach dolarów amerykańskich.

W roku 1997 zjawisko El Niño spowodowało długotrwałe susze w Azji Południowo-Wschodniej. Natomiast w 1998 r. prawie cały ten obszar został zatopiony przez nadzwyczaj ulewne deszcze monsunowe, wywołane zjawiskiem El Niño. Zjawisko El Niño oddziałuje na warunki pogodowe w wielu regionach świata, a spowodowane jest nagłym ochłodzeniem się wód wschodniego Pacyfiku, nawet o 2°C poniżej średniej wieloletniej temperatury. Ulewne deszcze związane z tym zjawiskiem wystąpiły również w północnej i wschodniej Australii i Nowej Zelandii, południowej części Afryki, północno-wschodniej części Ameryki Południowej oraz Ameryce Środkowej. Natomiast susze spowodowane przez El Niño wystąpiły m.in. na zachodnim wybrzeżu Ameryki Południowej oraz w południowo-zachodnich stanach USA.

Oceniając straty na świecie powstałe w wyniku zjawisk ekstremalnych w 1998 r., można stwierdzić, że były one największe w Azji i Ameryce Północnej oraz Środkowej.

Nie można wykluczyć, iż w przyszłości niektóre zjawiska ekstremalne, np. powódzie, susze, wystąpią w Europie. Dlatego też z inicjatywy Polskiego Komitetu Narodowego ds. Międzynarodowego Programu „Zmiany Globalne Geosfery i Biosfery” przy Prezydium PAN wspólnie z Instytutem Ochrony Środowiska i Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej z udziałem licznych Zakładów Klimatologii w Polsce powstał projekt „Narodowego Programu Klimatycznego”.

Uznano, że badania naukowe w zakresie prognoz zmian klimatu, głównie zjawisk ekstremalnych, powinny w przyszłości koncentrować się wokół następujących problemów:

1. Miniony, obecny i przewidywany klimat Polski w aspekcie jego zmian i zmienności.
  - 1.1. Zmiany klimatu Polski w okresie holocenu, w tym zwłaszcza ostatniego tysiąclecia, w aspekcie zmian opadowych i bilansu wodnego.
  - 1.2. Współczesne tendencje zmian klimatu z uwzględnieniem ekstremalnych zjawisk klimatycznych i towarzyszących klęsk żywiołowych oraz zmian poziomu Morza Bałtyckiego.
  - 1.3. Projekcja zmian klimatu Polski na tle najnowszych symulacji.
  - 1.4. System monitoringu i okresowych ocen klimatu Polski.
2. Wpływ zmian klimatu na ekosystemy i systemy społeczno-gospodarcze oraz sposoby przeciwdziałania negatywnym skutkom ich zmian.
  - 2.1. Ocena zmian ekosystemów lądowych i wodnych pod wpływem zmian klimatycznych i antropopresji oraz sposoby ochrony przed negatywnymi skutkami tych wpływów.
  - 2.2. Metody adaptacji systemów wodno-gospodarczych do zmieniających się warunków klimatycznych.
  - 2.3. Ocena zmian w produkcji roślinnej i zwierzęcej w zmienionych warunkach klimatycznych oraz mechanizmy adaptacji rolnictwa do zmian klimatu.
  - 2.4. Podstawy adaptacji gospodarki leśnej do zmienionych warunków klimatycznych.
3. Strategie redukcji emisji i pochłaniania i ich skutki społeczno-gospodarcze.
  - 3.1. Systemowa metodologia obliczania emisji i wychwytu gazów cieplarnianych na potrzeby tworzenia sektorowych strategii redukcji emisji i zwiększenia pochłaniania tych gazów.



- 3.2. Makroekonomiczne i sektorowe strategie redukcji emisji i zwiększenia pochłaniania gazów cieplarnianych oraz skutki społeczno-gospodarcze ich wdrażania.
- 3.3. Opracowanie zasad działania i wdrażania mechanizmów ekonomicznych i finansowych przewidzianych przez Ramową Konwencję Narodów Zjednoczonych w Sprawie Zmian Klimatu i Protokół z Kioto oraz strategii finansowania wdrożenia postanowień Protokołu z Kioto.
- 3.4. Zmiany koncentracji gazów cieplarnianych i ozonu w atmosferze na terenie Polski.

Największe znaczenie w prognozach zmian klimatu i zjawisk ekstremalnych w XXI wieku ma wykrycie składników deterministycznych (okresowych) trendów czasowych zmiennych meteorologicznych. Najważniejsze jest określenie roli wahań aktywności Słońca (stałej słonecznej) w kształtowaniu (poprzez cyrkulację atmosferyczną) zmian klimatu – w tym zjawisk ekstremalnych. Kluczowym problemem jest lepsze wykazanie, że wahania stałej słonecznej są uwarunkowane zmianami parametrów Układu Słonecznego, o czym informują dotychczasowe badania statystyczne. Umożliwi to wyodrębnienie naturalnych wahań (ociepleń i ochłodzeń) klimatu w Europie i w Polsce. Można będzie odpowiedzieć na pytanie, jaką część tendencji rosnącej temperatury powietrza (postępującego ocieplenia) można przypisać czynnikom naturalnym (wraz z erupcjami wulkanów), a jaką – czynnikom antropogenicznym (efektowi cieplarnianemu).

Ważne jest zatem określenie cykli krótkich i długich: temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, poziomu Morza Bałtyckiego, a w szczególności zjawisk ekstremalnych, nasilających się podczas ociepleń klimatu: sztormów, powodzi, susz, fal upałów i mrozów, burz, trąb powietrznych itp.

Dokładniejszych badań wymaga także okresowość katastrofalnych erupcji wulkanicznych i trzęsień ziemi, zagrażających życiu.

Problemy te będą rozwiązywane nadal w Zakładzie Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego w ramach badań własnych i prac dyplomowych.

## LITERATURA

- Alexandersson H., 1986, *A homogeneity test applied to precipitation data*, J. Climat., vol.6, s. 661-675.
- Boryczka J., 1984, *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu*, Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego, Nr 234, Warszawa.
- Boryczka J., 1993, *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII-XXI wieku*, Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., 1997, *Wahania klimatu Ziemi zdeterminowane cyklicznością parametrów Układu Słonecznego*, Prace i Studia Geograficzne, t. 20, Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., 1998, *Postęp badań współczesnych wahań klimatu w drugiej połowie XX wieku*, Prace i Studia Geograficzne, t. 22, Wyd. WGSR UW, Warszawa.
- Boryczka J., 1998, *Zmiany klimatu Ziemi*, Wyd. Akademickie DIALOG, Warszawa.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1984, *The multiperiodical changes of air temperature in Warsaw*, Miscellanea Geographica, Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2000, *Zmiany klimatu Polski w XVIII-XXI wieku*, Acta Universitatis Nicolai Copernici, Geografia XXXI – Nauki Matematyczno-Przyrodnicze, z. 106, Toruń.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kicińska B., Żmudzka E., 1992, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce, cz. VII, Zmiany wiekowe klimatu Polski*, Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błazek E., Skrzypczuk J., 1997, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce, cz. X, Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie*, Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błazek E., Skrzypczuk J., 1998, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce, cz. XI, Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie*, Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błazek E., Skrzypczuk J., 1999, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce, cz. XII, Ocieplenia i ochłodzenia klimatu miast w Europie*, Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błazek E., Skrzypczuk J., 1999, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce, cz. XIII, Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie*, Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., Wicik B., 1994, *Record of holocene climatic cycles in lake sediments in Central Poland*, Miscellanea Geographica, nr 6.

- Brazdil R., Kożuchowski K., 1986, *Some aspects of precipitation variability in Poland in the period of 1881-1980*, Scripta Fac. Sci. Nat. Univ. Purk. Brun., vol. 16.
- Brückner E., 1890, *Klimaschwankungen seit 1700 nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluviäzeit*, Geogr. Abh., H. 4/2, Wien.
- Budyko M.I., 1971, *Klimat i žizn*, Gidromietieoizdat, Leningrad.
- Budyko M.I., 1974, *Izmienienija klimata*, Gidromietieoizdat, Leningrad.
- Budyko M.I., Piwowarowa Z.I., 1967, *Wlijanije wulkanicznych izwierzenij na prichodziaszczuju k powierchnosti Ziemi solnieczniju radiacju*, Mietieorologija i Gidrologija, no. 10.
- Charvatova I., Strestik J., 1994, *Udział długofalowych naturalnych zmian w obecnym ociepleniu globalnym (w): Globalne ocieplenie a współczesne zmiany klimatyczne w Polsce*, Materiały Międzynarodowej Konferencji, Szczecin 31 V - 1 VI 1993.
- Cyberski J., 1995, *Współczesne i prognozowane zmiany bilansu wodnego i jego rola w kształtowaniu zasolenia wód Bałtyku*, Wyd. Uniw. Gdańsk., Rozprawy i Monografie nr 206, Gdańsk.
- Dąbrowska B., 1984, *Wielookresowe zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1979*, (maszynopis pracy magisterskiej), Warszawa.
- Dębska D., 1986, *Wielookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1813-1980*, (maszynopis pracy magisterskiej), Warszawa.
- Ewert A., 1984, *Opady atmosferyczne na obszarze Polski w przekroju rocznym*, cz. I i cz. II, Wyd. Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Słupsku.
- Gorczyński W., 1913, *Notatka historyczna o dostrzeżeniach warszawskich nad temperaturą powietrza*, Sprawozd. Tow. Nauk. Warsz., z. 2
- Groveman B. S., Landsberg H. E., 1979, *Simulated Northern Hemisphere Temperature Departures 1579-1980*, Geophys. Res. Let., 6, s. 767-769.
- Grzęda K., 1990, *Wielookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Krakowie w latach 1850-1987*, (maszynopis pracy magisterskiej), Warszawa.
- Gutry-Korycka M., Boryczka J., 1989, *Long-term fluctuation of hydroclimate elements in North-Eastern Europe*, Global Change Regional Research Centres: Scientific Problems and Concept Developments, September 25-29, Warszawa.
- Gutry-Korycka M., Boryczka J., 1990, *Długookresowe zmiany elementów bilansu wodnego*, Przegl. Geofiz., XXXV, z. 3-4.
- Haurwitz B., 1946, *Relation between solar activity and the lower atmosphere*, Trans. Am. Geoph. Union, XXVII.
- Hurrell J., 1995, *Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperature and precipitation*, Science, 269, s. 676-679.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC-1990, IPCC-1995, WMO.*
- Jones P. D., Jonsson T., Wheeler D., 1997, *Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland*, Int. J. Climatol., 17, s. 1433-1450.
- Johnsen S. J., Dansgaard W., Clausen H. B., Longway C. C., 1970, *Climatic oscillations 1200-2000 A.D.*, Nature, nr 227, London.
- Jokiel P., Kożuchowski K., 1989, *Zmiany wybranych charakterystyk hydrologicznych Polski w bieżącym stuleciu*, Dok. Geogr., 6.
- Kaczorowska Z., 1962, *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*, Prace Geogr. PAN Nr 33.

- Kicińska B., 1999, *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na stężenie dwutlenku siarki w powietrzu w Polsce*, (maszynopis rozprawy doktorskiej), Warszawa.
- Kierzkowska M., 1992, *Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Alpach (XIX-XX wiek)*, (maszynopis pracy magisterskiej), Warszawa.
- Klechta K., 1990, *Wielookresowe zmiany temperatury powietrza w Krakowie w latach 1826-1985*, (maszynopis pracy magisterskiej), Warszawa.
- Kondratiew K.J., Nikolski G.A., 1970, *Solar radiation and solar activity*, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., no 96.
- Kowalczyk J., 1881, *O spostrzeżeniach meteorologicznych w Warszawie*, Pam. Fizjogr., I-II, 1881-1882, Warszawa.
- Kożuchowski K. (red.), 1990, *Materiały do poznania historii klimatu w okresie obserwacji instrumentalnych*, Wyd. Uniw. Łódzkiego, Łódź.
- Kożuchowski K., 1994, *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.
- Kożuchowski K., Boryczka J., 1997, *Cykliczne wahania i trendy zmian poziomu Morza Bałtyckiego w Świnoujściu (1811-1990)*, Przegl. Geofiz., R. XLII, z. 1.
- Kożuchowski K., Stolarczuk, Wibig J., 1994, *Wskaźniki cyrkulacji atmosferycznej na poziomie 500 hPa nad Polska i południowym Bałtykiem w latach 1951-1990* (w): *Współczesne zmiany klimatyczne. Klimat Polski i regionu Morza Bałtyckiego na tle zmian globalnych*, Rozprawy i Studia Uniw. Szczecin., (226) 152.
- Kuchcik M., 2000, *Wpływ warunków aerosanitarnych i biometeorologicznych na zgony mieszkańców Warszawy*, (maszynopis rozprawy doktorskiej), Warszawa
- Lamb H.H., 1974, *Volcanic dust in the atmosphere with a chronology and assessment of meteorological*, Philosoph. Transactions Roy. Soc., ser. A, No 226.
- Landsberg H. E., 1979, *Climatic fluctuation*, Mc Graw Hill Yearbook Science and Technology, Mc Graw Hill Book Co., New York.
- Landsberg H. E., 1980, *Variable solar emission, the „Maunder Minimum” and climatic temperature fluctuation*, Arch. Meteor. Geoph. Bioclimat., ser. B, vol. 28.
- Lockwood J. G., 1979, *Causes of climate*, London.
- Lockwood J. G., 1984, *Procesy klimatotwórcze*, PWN, Warszawa.
- Lorenc H., 1994, *Symptomy zmian klimatu w strefach ograniczonych wpływów antropogenicznych*, Mat. Bad. IMGW, Meteorologia, 19.
- Lorenc H., 2000, *Studia nad 202-letnią (1779-1998) serią temperatury powietrza w Warszawie oraz ocena jej wiekowych tendencji*, Mat. Bad. IMGW, Meteorologia, 31.
- Malcher J., Schönwiese Ch.D., 1987, *Homogeneity, spatial correlation and spectral variance analysis of long European and North American air temperature records*, Theor. Appl. Climat., 38.
- Manley G., 1974, *Central England temperatures: monthly means 1659 to 1973*, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., no 100.
- Marsz A. A. (red.), 1999, *Wpływ stanu termicznego powierzchni oceanu na modyfikacje cyrkulacji atmosferycznej w wymiarze klimatologiczny*, Materiały Konferencji Gdynia 6.V.1999.
- Michalczewski J., 1985, *Temperatura średnia dobowa w Warszawie w latach 1779-1983*, (maszynopis), Warszawa.

- Michalska A., 1992, *Trend czasowy opadów atmosferycznych w Polsce w latach 1881-1980*, (maszynopis pracy magisterskiej), Warszawa.
- Michalska A., 1998, *Długookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Polsce*, (maszynopis rozprawy doktorskiej), Warszawa.
- Milankowicz M., 1938, *Matematyčeskaja klimatologija i astronomiczeskaja teorija koliebanij klimata*, Moskwa.
- Morawska-Horawska M., 1984, *Współczesne zmiany zachmurzenia i usłonecznienia w Krakowie na tle 120-lecia*, Przegł. Geofiz., XXIX, nr 3.
- Morlet J., 1983, *Sampling theory and wave propagation*, NATO ASI Series, FI Springer.
- Olszewska E., 1999, *Tendencja temperatury powietrza w Warszawie w latach 1965-1995*, (maszynopis pracy magisterskiej), Warszawa.
- Osborn T. J., Briffa K. R., Tett S. F. B., Jones P. D., Trigo R. M., 1999, *Evaluation of the North Atlantic Oscillation as stimulated by a coupled climate model*, Climate Dynamics (in press).
- Rakipowa L. R., 1960, *O wozdiejstwie solniecznoj aktywnosci na obszczuju cirkulacju atmosfery*, Astronom. sbornik, III i IV.
- Reznikow A.P., 1982, *Priedskazanije jestiestwiennych processow obuczajuszcziesja sistiemoj*, Nowosybirsk.
- Rogers J. C., 1984, *A comparison of the mean winter pressure distribution in the extremes of the North Atlantic Oscillation and Southern Oscillation*, (w:) H. Van Loon (red.), Studies in Climate, NCAR Technical Note, February 1984, Boulder, Colorado, s. 208-241.
- Rojecki A., 1968, *O obserwacjach meteorologicznych w Warszawie w wiekach XVII-XIX*, Przegł. Geofiz., z. 1.
- Sazonow B. I., Malkentin E.K., 1994, *Znaczny wzrost temperatur zimowych w Europie Północnej (1989-1993)*, Rozprawy i Studia Uniw. Szczecin., (226) 152.
- Schönwiese Ch. D., 1983, *Spectral auto-variance, cross variance and coherence analysis of long air temperature series* (w): II Inter. Meeting of Statistical Climatology, Lisboa.
- Schönwiese Ch. D., 1992, *Klima im Wandel*, Tatsachen Irrtumer, Risiken Deutsche Verlags Anstalt GmbH, Stuttgart.
- Schönwiese Ch. D., Rapp J., Fuchs T., Denhard M., 1993, *Klimatrend-Atlas Europa 1891-1990*, Berichte des Zentrums Für Umweltforschung, Nr. 20, Frankfurt am Main.
- Skrzypczuk J., 1993, *Wiekowe zmiany temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach 1659-1973*, (maszynopis pracy magisterskiej), Warszawa.
- Stachy J., 1968, *Zmniejszenie się odpływu rzek polskich w bieżącym stuleciu*, Prace PIHM, 95, Warszawa.
- Stachy J., 1970, *Wieloletnia zmienność odpływu rzek polskich*, PIHM, Warszawa.
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1998, *Cechy kontynentalne klimatu Polski Południowo-Wschodniej, Problemy współczesnej klimatologii i agrometeorologii regionu lubelskiego*, Wyd. UMCS, Lublin.
- Tomasik M., 1990, *Długookresowe zmiany temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie*, (maszynopis pracy magisterskiej), Warszawa.
- Trepińska J., 1973, *Zmiany w przebiegu temperatury powietrza w Krakowie w XIX i XX wieku*, Przegł. Geofiz., z. 1-2.

- Wójcik G., Majorowicz J., Marciniak K., Przybylak R., Safanda J., Zielski A., 1999, *Temperatura powietrza w Polsce Południowo-Zachodniej w okresie XVII-XX w. w świetle danych klimatologicznych, geotermicznych i dendroklimatycznych, Zmiany i zmienność klimatu Polski*, Ogólnopolska konferencja naukowa, Łódź 4-6.XI.1999.
- Wpływ stanu termicznego powierzchni oceanu na modyfikacje cyrkulacji atmosferycznej w wymiarze klimatologicznym*, 1999, Materiały Konferencji, Gdynia 6 V 1999 r., Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej, Wydz. Nawigacji, WSM, Gdynia.
- Zmiany klimatu*, Biuletyn Informacyjny, Instytut Ochrony Środowiska, Ośrodek Ochrony Klimatu, nr 8/9, 1999.
- Żmudzka E., 1998, *Cykliczne zmiany temperatury powietrza w Polsce*, (maszynopis rozprawy doktorskiej), Warszawa.

## SUMMARY

The purpose of the report is to present the account on the identification of the deterministic (periodical) components in the variability of the climate of Poland in time in the 18<sup>th</sup>-20<sup>th</sup> centuries. Along with this, the subject of the paper is constituted by the identification of the natural causes of the coolings and warmings of the climate in Poland, as well as the forecast of air temperature and precipitation in Warsaw in the 21<sup>st</sup> century. It was assumed in the forecasts of climate of Poland that the extremes of the identified cycles of temperature and precipitation will be repeated in the same way as in the 18<sup>th</sup>-20<sup>th</sup> centuries. Adoption of this assumption is justified by the presence of the analogous cycles in the time series of solar activity (solar constant) and the parameters of the solar system, as well as their synchronicity (coincidence of the extrema). The longest periods, of about 100 and 200 years, are repeated many times over in the chronological series of the palaeotemperatures (<sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O) and the organic matter content of the lake deposits. The coldest winters, with average temperatures of approximately  $-7^{\circ}\text{C}$  will most probably occur in the middle of the next century, at about the year 2050. According to the resultant of the summer cycles of temperature cool summers will occur in the first two decades of the next century. The secular maximum of precipitation – 720 mm per annum – will occur more or less in the years 2030, 2063, 2068. The lowest annual precipitation, of the order of 400 mm, will most probably take place at around the years 2033 and 2040.

The global warming and the regional phenomena – disadvantageous for the inhabitants of the Earth – are usually attributed to human activity. They are first of all attributed to the anthropogenic part of the greenhouse effect in the atmosphere – the increase of the carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) content in the atmosphere, originating from the combustion of coal and other fuels.

The IPCC (1990) report, forecasting the increase of air temperature on the Earth in the year 2030 by 1.5-4.5<sup>o</sup>C, was too pessimistic. Soon afterwards, the catastrophic forecasts of the melting of Arctic and Antarctic ice caps, as well as the mountain glaciers, leading to the inundation of a part of continents by the ocean waters, appeared. The history of the Earth's climate and the simple calculations (Boryczka, 1988) indicate that such a process would have lasted for a least a dozen thousand years.

Analogously, the cooling of climate in the 1940s, motivated to the undertaking of the studies on the influence of volcanic dust on climate. At that time, the catastrophic forecasts appeared of the complete glaciation of the Earth. It was forecasted that the drop in the global radiation sum by 1.5-1.6% would lead to the irreversible glaciation, proceeding from the poles towards the equator.

The subsequent report of the IPCC (1995) is more optimistic, the forecasted anthropogenic increments of temperature attain from 1 to 3.5°C by the year 2100 (i.e. the increase has been cut by half), after the dispersion of the solar radiation by the sulphate aerosols, originating from the emission of the sulphur dioxide, SO<sub>2</sub>, had been accounted for.

The circulation models – the 2×CO<sub>2</sub> scenarios (i.e. the course of events after the doubling of the pre-industrial concentration of carbon dioxide – 280 ppm) have nowadays rather methodological significance. The numerical solutions to the equations of motion of the atmosphere, with consideration of the more important forces acting on the revolving Earth, the physical and chemical states of the air up to the level of the stratosphere, constitute a significant advance in the development of the physics of atmosphere.

Yet, attribution of the progressing climate warming solely to the anthropogenic part of the greenhouse effect is an uncertain, poorly justified assumption. It is namely not known what part of the increasing trend in the air temperature is due to the natural factors, and what – to the anthropogenic ones. Little is known about the tendencies of atmospheric concentration of the natural trace gases (water vapour, natural CO<sub>2</sub>), which are responsible for the essential part of the greenhouse effect – amounting to +33°C in the pre-industrial years (the difference between the then temperature and the planetary one).

An essential role in the shaping of the Earth's climate will still be played, also in the 21<sup>st</sup> century, by the explosive volcanic eruptions, bringing about the appearance of the layer of volcanic sulphate aerosols in the stratosphere. This fact is being demonstrated through the long time series of the measurements of total radiation and air temperature, correlated with the indicators of concentration of volcanic dusts in the atmosphere. The inflow of solar energy to the surface of the Earth depends first of all on the solar constant, whose variability will condition the fluctuations of climate in the next century.

The results of the studies presented in this part of the Atlas indicate that one should interpret the contemporary changes of climate in the light of climate changes in the Quaternary and especially in the Holocene. These results point out also the need of elaborating the forecasts of both natural and anthropogenic tendencies of climate changes in the 21<sup>st</sup> century.

Changes of climate, its fluctuations and trends, and the respective forecasts, have high significance in planning of development of all the sectors of economy: agriculture, construction, energy, transport, etc.

That is also why it is most important to study the longest measurement series in Poland, serving as the basis for determining the range of variation of climate, air temperature and precipitation, and for probing into the future.

It is still essential to identify the long-term changes and to elaborate the forecasts of climate with the use of the methods of modelling, due account being taken of the connections with the human activity. The global warming and the anomalies of climate in various zones of the globe threaten the life on Earth.

The most disadvantageous changes include hurricanes, storms, as well as floods, landslides, avalanches, which bring altogether 85% of economic losses. Other extreme phenomena include earthquakes and volcanic eruptions. Large losses are also caused by droughts, heat waves (forest fires), and frosts.



The highest significance in the forecasts of climate changes and of the extreme phenomena in the 21<sup>st</sup> century must be attributed to the identification of the deterministic (periodical) components of the temporal trends in the meteorological variables. It is most important to determine the role of the fluctuations in the solar activity (solar constant) in the shaping (by the intermediary of the atmospheric circulation) of climate changes – including the extreme phenomena. The key problem is to better demonstrate that the fluctuations of the solar constant are conditioned by the changes in the parameters of the solar system, as evidenced by the statistical studies to date. This will make it possible to separate the natural shifts (warmings and coolings) of climate in Europe and in Poland. It will become possible to answer the question: what part of the increasing trend of air temperature (progressing warming) can be attributed to natural factors (volcanic eruptions included), and what part – to anthropogenic factors (the proper greenhouse effect).

Thus, it is important to identify the short- and long-term cycles of: air temperature, precipitation, Baltic Sea level, and in particular – of the extreme phenomena, which intensify during the climate warmings: storms, floods, droughts, heat and frost waves, hurricanes, tornadoes, etc.

More detailed studies should also be conducted of the periodicity of the catastrophic volcanic eruptions and earthquakes, dangerous to life.

All these problems will still be studied at the Laboratory of Climatology of the University of Warsaw, both in the framework of own research projects and of the diploma works.