

Profesorowi Jerzemu Boryczce
W 70. rocznicę urodzin i 45-lecie pracy naukowej

MARIA STOPA-BORYCZKA
JERZY BORYCZKA
SZYMON BIJAK
ROBERT CEBULSKI
ELŻBIETA BŁAŻEK
JAN SKRZYPCZUK

**XX-XXI THE CYCLIC CHANGES OF CLIMATE IN EUROPE
IN THE LAST MILLENNIUM ACCORDING
TO DENDROLOGICAL DATA**

atlas

OF INTERDEPENDENCE
OF METEOROLOGICAL
AND GEOGRAPHICAL
PARAMETERS
IN POLAND

Warszawa 2007

MARIA STOPA-BORYCZKA
JERZY BORYCZKA
SZYMON BIJAK
ROBERT CEBULSKI
ELŻBIETA BŁAŻEK
JAN SKRZYPCZUK

**XX-XXI CYKLICZNE ZMIANY KLIMATU EUROPY
W OSTATNIM TYSIĄCLECIU WEDŁUG
DANYCH DENDROLOGICZNYCH**

atlas

WSPÓLZALEŻNOŚCI
PARAMETRÓW
METEOROLOGICZNYCH
I GEOGRAFICZNYCH
W POLSCE

Warszawa 2007

Redakcja naukowa
Maria STOPA-BORYCZKA

Redaktor
Władysław ŻAKOWSKI

Opracowanie edytorskie
Jan SKRZYPCZUK

© Copyright by Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego 2007

ISBN 978-83-89502-77-3

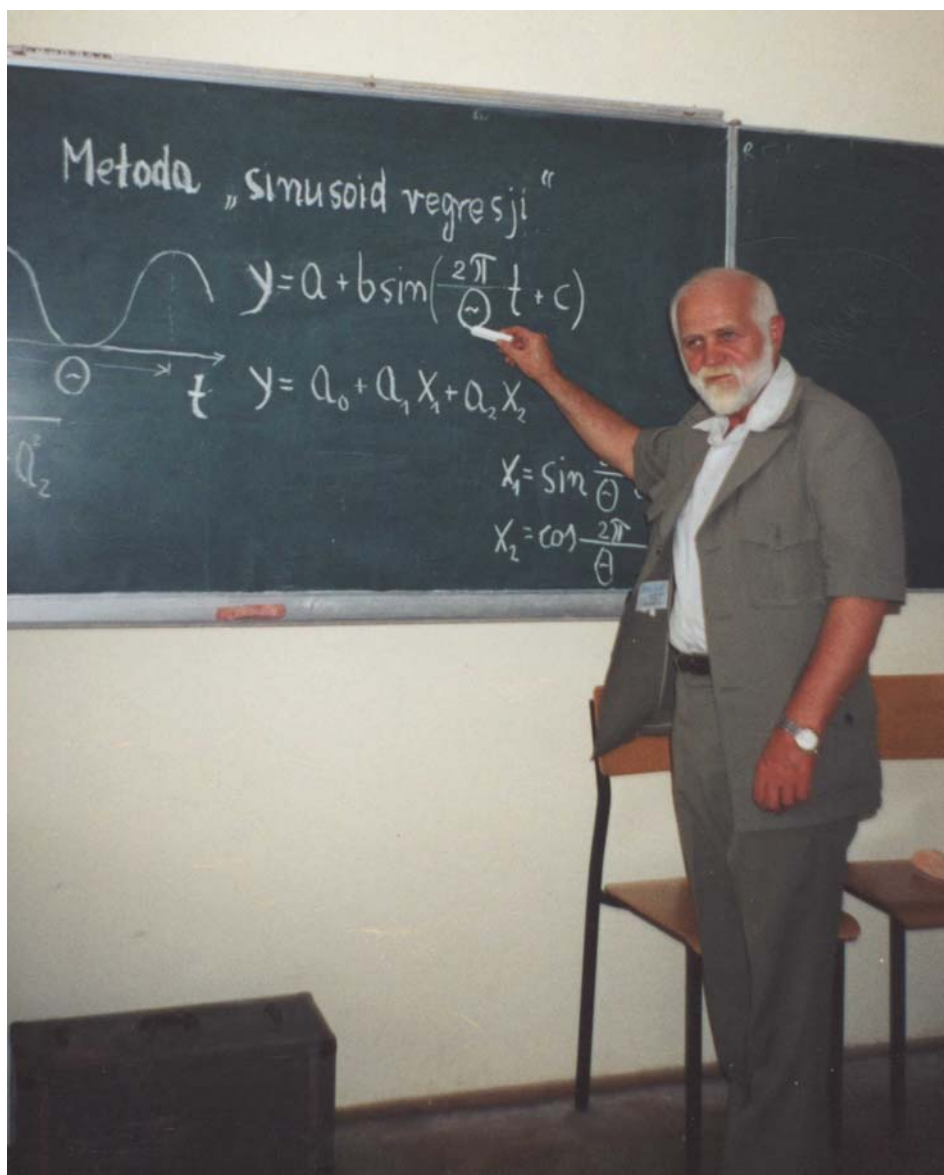
Skład i łamanie
Jan SKRZYPCZUK

Druk i oprawa: Zakład Graficzny UW, zam. nr

SPIS TREŚCI

DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWA I DYDAKTYCZNA PROF. DR HAB. JERZEGO BORYCZKI . . .	7
ACADEMIC AND RESEARCH ACTIVITY OF PROFESSOR JERZY BORYCZKA	25
I. WPROWADZENIE	33
II. CECHY TERMICZNE KLIMATU EUROPY	37
1. Zmiany roczne gradientów temperatury powietrza	37
2. Profile gradientów rocznej amplitudy temperatury powietrza	41
3. Przestrzenny rozkład gradientów temperatury powietrza	43
4. Gradienty horyzontalne temperatury powietrza w °C/100 km	45
5. Deformacja pola temperatury powietrza przez czynniki lokalne	48
III. OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU EUROPY W XIX-XXI WIEKU	67
1. Wpływ aktywności Słońca na temperaturę powietrza w Europie	67
2. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na temperaturę powietrza w Europie . .	69
3. Mroźne i łagodne zimy oraz ciepłe i chłodne lata w Europie	71
4. Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie	72
5. Tendencje zmian temperatury powietrza w Europie w XIX-XX wieku. Prognozy do roku 2100	74
IV. CYKLICZNE ZMIANY KLIMATU EUROPY W OSTATNIM TYSIĄCLECIU WEDŁUG CIĄGÓW DENDROLOGICZNYCH	127
1. Zarys badań dendroklimatycznych	127
2. Synchroniczność cykli klimatycznych i dendrologicznych w Europie	129
2.1. Cykl 4-letni temperatury powietrza, opadów i cyrkulacji atmosferycznej . . .	130
2.2. Cykl 8-letni temperatury, cyrkulacji atmosferycznej, aktywności Słońca i rocznych przyrostów drzew	131
2.3. Cykl 11-letni temperatury powietrza, opadów, aktywności Słońca i rocznych przyrostów drzew	133
2.4. Cykle 100. i 180-letni temperatury powietrza, aktywności Słońca i rocznych przyrostów drzew	135
3. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na klimat Europy	137
4. Prognozy zmian klimatu Europy w XXI wieku	138
V. ZMIANY KLIMATU POLSKI W OSTATNICH STULECIACH WEDŁUG ROCZNYCH PRZYROSTÓW DĘBÓW	177
1. Największe ochłodzenia i ocieplenia w kronikach z X-XVI wieku nawiązujące do osobliwości rocznych przyrostów dębów w Polsce	177
2. Zależność szerokości słoje dębów od miesięcznych wartości temperatury i sum opadów atmosferycznych w Polsce	183
3. Lata wskaźnikowe dębów w Polsce	197
4. Widma i parametry cykli rocznych przyrostów dębów w Polsce	200
5. Prognozy zmian rocznych przyrostów dębów w Polsce w XXI wieku	211

VI. ROLA CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ W KSZTAŁTOWANIU OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH I STANÓW WODY RZEKI GÓRSKIEJ	219
1. Cel, tezy i zakres pracy	219
2. Cechy fizyczno-geograficzne badanej zlewni karpackiej	220
2.1. Położenie geograficzne zlewni, układ dorzecza	220
2.2. Warunki klimatyczne zlewni	221
2.3. Dane empiryczne	222
3. Empiryczne i teoretyczne rozkłady prawdopodobieństwa opadów atmosferycznych i stanów wody w rzece karpackiej	223
3.1. Wybór teoretycznych rozkładów prawdopodobieństwa	223
3.2. Porównanie dystrybuant empirycznych i teoretycznych	223
3.3. Wyznaczenie sum opadów o prawdopodobieństwie przewyższenia	224
4. Ekstrema i tendencje zmian opadów atmosferycznych i stanów wody w przekrojach wodowskazowych oraz ich uwarunkowania	225
4.1. Przyczyny tendencji malejącej zmian stanów wody w rzece Skawie	225
5. Okresowe zmiany opadów atmosferycznych i stanów wody w rzece górskiej oraz ich przyczyny	228
5.1. Metoda badania okresowości ciągów chronologicznych	228
5.2. Wyniki analizy okresowej zmienności elementów klimatologicznych i hydrologicznych	230
5.3. Synchroniczność cykli badanych zmiennych	233
6. Zależność opadów atmosferycznych oraz średnich i ekstremalnych stanów wody w rzece górskiej od cyrkulacji atmosferycznej	234
6.1. Wybór metod analizy regresji	234
6.2. Próba uwzględnienia zmian koryta rzeki w ciągach chronologicznych stanów wody	234
6.3. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na pole opadów w zlewni Skawy	235
6.4. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na stany wody w przekrojach wodowskazowych Skawy	236
6.5. Zależność stanów wody Skawy od opadów atmosferycznych	236
6.6. Zależność częstości ekstremalnych stanów wody w przekrojach wodowska- zowych zlewni karpackiej od cyrkulacji atmosferycznej	240
7. Prognoza zmian opadów atmosferycznych oraz średnich i ekstremalnych stanów wody w rzece karpackiej do roku 2025	242
7.1. Przyjęte metody prognozowania oraz jego statystycznej oceny	242
7.2. Prognoza sum rocznych opadów atmosferycznych do roku 2025	243
7.3. Prognoza rocznych wartości stanów wody do roku 2025	243
8. Podsumowanie	247
VII. ZAKOŃCZENIE	251
SUMMARY	255
LITERATURA	259
WYKAZ PRAC MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII DOTYCZĄCYCH CYKLICZNOŚCI I TENDENCJI ZMIAN KLIMATU W EUROPIE	265



Profesor Jerzy Boryczka

DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWA I DYDAKTYCZNA PROF. DR HAB. JERZEGO BORYCZKI

Prof. dr hab. Jerzy Boryczka urodził się 1 lipca 1937 roku w Kozienicach-Nowinach. Liceum Ogólnokształcące ukończył w Kozienicach w roku 1955. Jest absolwentem Wydziału Matematyczno-Fizycznego Uniwersytetu Warszawskiego (specjalizacja – astronomia). Tytuł magistra astronomii otrzymał w dniu 26 czerwca 1961 r. na podstawie pracy pt. *Wyznaczenie wysokości satelity kołowego z jednej obserwacji współrzędnych i ich pochodnych względem czasu* – wykonanej dla celów geofizycznych (Biuletyn Polskich Obserwacji Satelitów Ziemi, nr 3, Warszawa 1961; COSPAR, Waszyngton 1962).

W tym samym roku – od 1 października 1961 rozpoczął pracę w Zakładzie Klimatologii Instytutu Geograficznego Uniwersytetu Warszawskiego. Najpierw pracował jako asystent, w latach 1963-1968 – starszy asystent, 1968-1988 – adiunkt, a od 1 czerwca 1988 – na stanowisku docenta. Od 1 marca 1991 r. do chwili obecnej pracuje na stanowisku profesora nadzwyczajnego Uniwersytetu Warszawskiego.

Obrona pracy doktorskiej pt. *Turbulencyjna transformacja pyłu i gazów w atmosferze ziemskiej i jej zależność od parametrów klimatologicznych* odbyła się 10 czerwca 1968 r. Rada Instytutu Geograficznego UW nadała stopień naukowy doktora nauk przyrodniczych.

W pracy doktorskiej określono zmiany roczne: intensywności pionowego turbulencyjnego ruchu powietrza i przestrzennych rozkładów stężeń dymów i opadu pyłu w otoczeniu wysokich źródeł emisji (kominów fabrycznych). W tym celu wykonano roczną serię pomiarów gradientowych prędkości wiatru i dobowej amplitudy temperatury powietrza (Jelonki i stacja UW). Porównano również istniejące wzory na rozkład koncentracji i opad pyłu w otoczeniu źródeł punktowych, uwzględniając przybliżone rozwiązanie (autora) ogólnego równania dyfuzji turbulencyjnej.

Po przedstawieniu rozprawy pt. *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu* i złożeniu kolokwium w dniu 26 kwietnia 1983 r. Rada Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych UW nadała stopień naukowy doktora habilitowanego nauk geograficznych w zakresie klimatologii.

I. Działalność naukowa

Prof. dr hab. Jerzy Boryczka jest autorem lub współautorem ponad 180 – publikacji naukowych: 26 książek i 124 artykułów naukowych. Ponadto jest autorem kilku prac popularno-naukowych i kilku recenzji książek opublikowanych.

Największy i znaczący wkład w rozwój klimatologii (w odniesieniu do literatury polskiej i zagranicznej) mają wyniki badań przedstawione w publikacjach:

1. *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu*, „Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego” nr 234, Wyd. UW, Warszawa, 1984, ss. 272.
2. *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII-XXI wieku*, Wyd. UW, Warszawa, 1993, ss. 400.
3. *Zmiany klimatu Ziemi*, Wyd. Akademickie „Dialog”, Warszawa, 1993, ss. 165.
4. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*: t. VII (1992), t. IX (1995), t. X (1997), t. XI (1998), t. XII (1999), t. XIII (1999), t. XIV (2000), t. XVII (2003).
5. *Trends in climate change in Europe and their causes*. Studia Geograficzne, nr 75, Acta Universitatis Wratislaviensis, nr 2542, Wrocław. 2003.
6. *Warming and Cooling of the Earth's Climate and their Causes*, Miscellanea Geographica, 2004, t. 12, s. 31-41.

Dużą wartość poznawczą mają również liczne artykuły naukowe z zakresu zmian klimatu, opublikowane w ostatnim trzydziestoleciu w czasopismach krajowych i zagranicznych (36 – w jęz. angielskim, 4 – w jęz. rosyjskim). Do ważniejszych pozycji bibliograficznych można zaliczyć też publikacje: 33 (1979), 56 (1989), 59 (1989), 72 (1992), 79 (1993), 83 (1994), 87 (1996), 90 (1996), 94 (1997), 102 (1998), 104 (1999), 108 (2000), 135 (2004), 140, 141, 142 (2006), 145, 146, 147 (2007).

Przedstawiono w nich nowe metody badań i nowe koncepcje identyfikacji astronomicznych przyczyn współczesnych i holocenijskich wahań klimatu Ziemi, a także prognozy naturalnych zmian klimatu Europy (i Polski) w XXI wieku.

Do głównych osiągnięć naukowych należy zaliczyć wyniki badań w zakresie zmian klimatu Ziemi i ich przyczyn:

1. Wprowadzenie do literatury klimatologicznej nowej metody J. Boryczki „*sinusoid regresji*” badań okresowości zjawisk przyrodniczych. Polega ona na wyznaczaniu cykli tj. okresów, amplitud i faz przez dopasowanie do wyników pomiarów (wg najmniejszych kwadratów) kolejnych sinusoid regresji o domniemanych okresach np. 0,1; 0,2; ..., n lat. Okresy – to minima lokalne widma – ciągu wartości wariancji resztkowej (maksyma współczynnika korelacji).

Do walorów metody należą:

Metodę można stosować, gdy odstęp czasu między pomiarami nie są równe (np. erupcje wulkaniczne). Można ją stosować, gdy seria pomiarowa nie jest kompletna – nie jest „uzupełniona” – występują braki. Umożliwia wyznaczenie gęstości widma – nie tylko w zakresie krótkookresowym 0-0,5 n (jak w innych metodach), lecz także w zakresie długookresowym 0,5 n - n (tj. w całym przedziale 0- n). Wyznaczane są wszystkie parametry cyklu: okres, amplituda i faza. Umożliwia porównanie długookresowej części widma wg serii np. 50-letniej z krótkookresową częścią widma serii 100-letniej.

2. Identyfikacja naturalnych (astronomicznych) przyczyn wahań klimatu Ziemi. Fundamentalne znaczenie ma wykazanie analogicznej cykliczności zmiennych: *astro-*

nomicznych – aktywność Słońca (*liczby Wolfa*), aktywność geomagnetyczna, stała słoneczna, parametry Układu Słonecznego (wypadkowa siła grawitacji planet, planetarne siły pływowe na Słońcu, przyspieszenie Słońca, dyspersja masy w US), *geologicznych* – erupcje wulkaniczne (*dust veil index DVI*, odstęp czasu między erupcjami, wskaźnik aktywności wulkanicznej), *klimatologicznych* – cyrkulacja atmosferyczna (wschodnia, zachodnia, południkowa, strefowa, North Atlantic Oscillation index NAO, cyklonalna), temperatura powietrza, opady atmosferyczne, *hydrologicznych* – odpływy rzek, poziom Morza Bałtyckiego.

Dzięki wprowadzeniu do badań oryginalnej metody autora „*sinusoid regresji*” wyznaczenia optymalnych cykli dokonano znaczącego postępu w identyfikacji astronomicznych przyczyn zmian klimatu (współczesnych i holocenijskich – sprzed 10 tys. lat) wg zasady identyfikacyjnej: „okresowość przyczyn i skutków jest zbliżona”. Mało prawdopodobne jest, aby obecność kilkunastu synchronicznych cykli o długościach od 3,5 do 180 i kilkuset lat w ciągach chronologicznych zmiennych meteorologicznych i dendrologicznych (szerokość słoii drzew) i sedymentologicznych ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) była przypadkowa.

Kluczowe znaczenie w identyfikacji przyczyn zmian klimatu ma wykazanie planetarnej 178,9-letniej cykliczności parametrów Układu Słonecznego, aktywności Słońca (liczb Wolfa) i stałej słonecznej. Implikuje to tezy o:

- kształtowaniu aktywności Słońca (i stałej słonecznej) przez wypadkowe siły grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce i ruch Słońca dookoła środka masy US,
- wpływie pól grawitacyjnych planet (wraz z Księżycem Ziemi) na daty erupcji wulkanicznych i ostatecznie tezę o wpływie zmian parametrów Układu Słonecznego na klimat Ziemi.

3. Wyodrębnienie w chronologicznych seriach pomiarowych dwóch składników: $T = T' + \Delta T$ – naturalnego T' i antropogenicznego ΔT . Składnik naturalny T' – to wypadkowa nakładających się cykli. Jeżeli przez wartości zmierzone poprowadzimy prostą regresji $T = A_0 + At$, a przez wartości teoretyczne T' – prostą $T' = B_0 + Bt$, to różnica współczynników regresji $a = B - A$ jest tendencja antropogenicznych zmian. Jest to równoważne wprowadzeniu składnika liniowego (antropogenicznego) at do funkcji trendu czasowego $T = f(t)$.

4. Wyjaśnienie postępującego ocieplenia klimatu w XIX- XX wieku – coraz cieplejszych zim w Europie np. w: Warszawie (1779-2000) – o $1,1^\circ\text{C}/100$ lat, Lwowie (1824-2002) – o $0,5^\circ\text{C}/100$ lat, Wiedniu (1775-2002) – o $0,7^\circ\text{C}/100$ lat, Moskwie (1779-2002) – o $1,6^\circ\text{C}/100$ lat) jako wypadkową interferencji naturalnych cykli temperatury, wynikającą z tendencji rosnącej aktywności Słońca i spadkowej aktywności wulkanicznej oraz wzrostu antropogenicznego efektu cieplarnianego.

5. Opracowanie nowych w literaturze klimatologicznej dwojakiego rodzaju prognoz zmian klimatu Polski (i Europy) w XXI wieku: tzw. klimatologicznych i astronomicznych. W prognozach klimatologicznych podstawowe znaczenie mają wykryte składniki deterministyczne (okresowe) w seriach pomiarowych. Polegają one na ekstrapolacji funkcji trendu czasowego (wypadkowej interferencji sinusoidalnych cykli).

Tego rodzaju prognozy zmian temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w XXI wieku zawiera przede wszystkim t. XIV i t. XVII *Atlasu*. Natomiast tzw. prognozy astronomiczne otrzymano ekstrapolując wielomiany regresji 4. stopnia względem parametrów Układu Słonecznego.

6. Na podstawie substancji organicznych zdeponowanych w osadach polskich jezior (Wikaryjskie, Gościąż, Święte) i określenia czasu metodą radioaktywnego węgla ^{14}C uściślono daty holocenijskich ochłodzeń i ociepleń klimatu w Polsce. Znaczącym osiągnięciem jest wykrycie w ciągach chronologicznych: substancji organicznych, węglanów wapnia (sprzed 12 000 lat) okresów bardzo długich (kilkaset i kilka tysięcy lat) – analogicznych do okresów parametrów Układu Słonecznego. Jest to pierwsza (w historii holocenu) próba wyjaśnienia przyczyn holocenijskich wahań klimatu.

Jest też autorem ponad 30 recenzji nie opublikowanych, w tym w latach 1993-1995 – 19 recenzji *Projektów badawczych* zleconych przez Komitet Badań Naukowych (Wspólna 1/3). Opracował ponad 15 ekspertyz, dotyczących oceny stanu zanieczyszczenia powietrza w otoczeniu projektowanych źródeł emisji np.:

- *Obliczanie maksymalnych stężeń pyłu i SO_2 emitowanych przez E.C. Powiśle wg założeń projektu koncepcyjnego modernizacji* – zamówiona przez WAN BiG, 1965 r.
- *Koreferat do Projektu Wstępnego Elektrowni Kozienice, cz. III ciepłna, t. 3. Zanieczyszczenie terenu od wybuchów elektrowni* (z W. Okołowiczem) – zamówiona przez Centralny Urząd Gospodarki Wodnej, Warszawa 1968 r..

Większość wyników badań była prezentowana na międzynarodowych konferencjach lub sympozjach naukowych:

- *25th International Geographical Congress, Paris-Alpes* (1984);
- Kongres Geograficzny, Moskwa;
- *Palaeocology and Palaeohydrology of Balkan Peninsula and Adjecene Areas*, Symposium in Bulgaria, Varna, (29.09-4.10.1985, z B. Wicikiem);
- Konferencja CEB-III-RWPG, *Urban Ecological Studies in Central and Eastern Europe*, Proceedings of the International Symposium Warszawa-Jabłonna (24-25.09.1986, z M. Stopą-Boryczką i M. Kopacz-Lembowicz);
- X Czesko-polskie Sympozjum, Praga (6-9.06 .1988);
- Konferencja Klimatyczna, Brno (maj 1989);
- *European climate reconstructed from documentary data: methods and results „European paleoclimate and men”*, Stuttgart (1992, z M. Gutry-Korycką);
- Warszawa-Mądralin (1992);

- *International Conference, Polish National Committee for IGBP – Global Change*, Kraków (17-20 October 1995);
- Międzynarodowa Naukowa Konferencja Kaliningrad/Swietlogorsk, Rosja (4-7 czerwca 2001);
- Konferencje międzynarodowe: Kraków (2004, 2006, 2007);
- Konferencja międzynarodowa, Wrocław (2002);
- *Proceedings Conference “Landscape Science – Traditions and Trends”*, September 8-12, Ivan Franko National University of Lviv, Lwów (2004).

W latach 1990-1991 był kierownikiem badań w ramach konkursu Ministerstwa Edukacji Narodowej (1990) – wg projektu badawczego pt. „Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Polski”. Natomiast w latach 1991-1993 był głównym wykonawcą w ramach projektu zatwierdzonego przez Komitet Badań Naukowych pt. *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy* – grantu P6 nr 66238.

Współpracował w zakresie badań naukowych z zagranicą: w ramach programów: CEB-III-RWPG (1986), INFOEOL (1990,1992), Global Change IGBP (1989, 1993), Seminariów Polsko-Czeskich (1986, Praha 1989). Współpracuje w zakresie klimatologii z Uniwersytetami w: Lwowie, Moskwie i Petersburgu.

Niektóre publikacje były nagrodzone przez Ministra Edukacji Narodowej:

- *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* – cz. I (1974) i cz. II (1976) i przez Rektora Uniwersytetu Warszawskiego;
- *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* – cz. IV (1986), cz. V (1989), cz. VI (1990), cz. VII (1992) i cz. VIII (1994);
- *Holocene climatic in the light of statistical analysis of laminated sediments from the Gościąg Lake*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Matematyka-Fizyka, z. 57, Geochronometria nr 5, 1989, (z K. Więckowskim, B. Wicikiem);
- *Influence of the city of fields of meteorological variable*, Urban Ecological Studies in Central and Eastern Europe, Proceedings of the International Symposium Warszawa-Jabłonna, 24-25 September 1990, Ossolineum, Wrocław (z M. Stopą-Boryczką, M. Kopacz-Lembowicz);
- *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII-XXI wieku*, Wyd. UW, Warszawa 1993, ss.400; *Zmiany klimatu Ziemi*, Wyd. Akademickie „Dialog”, Warszawa 1998, ss. 165;
- *Zmiany klimatu i ich przyczyny. Hipotezy i fakty*, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka (red.). Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego z VI Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS pod hasłem „Co nauka daje sztuce?”, 8 VI 2002, Warszawa.

Tomy X i XI *Atlasu* były opracowane w ramach nowego projektu 3. letnich badań naukowych (w latach 1995-1998) pt. *Modele naturalnych i antropogenicznych zmian*

klimatu Polski – złożonego w Komitecie Badań Naukowych (kontynuacja zakończonego – oceną bardzo dobrą grantu nr 6 6238 92 02).

Jest redaktorem dwóch jubileuszowych tomów z okazji 50 lat działalności naukowej i dydaktycznej Zakładu Klimatologii: „Prace i Studia Geograficzne”: t. 28 (2001, z M. Stopą-Boryczką) i t. 29 (2001, z U. Kossowską-Cezak). Jest również redaktorem kilku ostatnich części *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* oraz publikacji z Pikników Naukowych Polskiego Radia BIS:

- *Zmiany klimatu i ich przyczyny. Hipotezy i fakty*, VI Piknik pod hasłem „Co nauka daje sztuce?”, 8. 06 2002.
- *Klimat Europy. Przeszłość – teraźniejszość – przyszłość*, VIII Piknik pod hasłem „Nauka bez granic”, 22 V 2004
- *Prognozy pogody w przysłowiach i ich sprawdzalność w Polsce*. X Piknik pod hasłem „Świat za 10 lat”, 3.06.2006
- *Cykliczność i tendencje zmian klimatu Polski*. XI Piknik pod hasłem „Matematyka i my”, 26.05.2007.

II. Działalność dydaktyczna

Prof. dr hab. Jerzy Boryczka od prawie 40 lat prowadzi wykłady i ćwiczenia na specjalizacji klimatologicznej – z następujących przedmiotów:

1. *Meteorologia dynamiczna* (IV rok, 45 godz.),
2. *Matematyczne podstawy klimatologii* (III rok, 90 godz.),
3. *Metody badań i opracowań klimatologicznych* (IV rok, 90 godz.).

Od 1994 r. prowadził również wykłady z przedmiotu „*Klimatologia dynamiczna*” dla II roku Międzywydziałowych Studiów Ochrony Środowiska (30 godz.).

Prowadził też sporadycznie wykłady na Studiach Podyplomowych Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych nt. *Zmian klimatu Ziemi*.

W latach 1969, 1970 prowadził wykłady z *Elementów Fizyki Atmosfery* na specjalizacji klimatologicznej na Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie (4 godz. co 2 tygodnie)

Opiekował się ponad 50 pracami dyplomowymi z zakresu klimatologii (w tym 42 prac magisterskich i 11 prac licencyjnych). Jest promotorem czterech prac doktorskich:

1. dr Jolanta Wawer – *Cechy termiczne klimatu Warszawy* (1994),
2. dr Anna Michalska – *Długookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Polsce* (1996),
3. dr Elwira Żmudzka – *Cykliczne zmiany temperatury powietrza w Polsce* (1998),
4. dr Robert Cebulski – *Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu opadów atmosferycznych i stanów wody rzeki górskiej* (2007).

i opiekunem dwóch planowanych prac doktorskich:

1. Mgr Katarzyny Pietras pt. *Wpływ zbiorowisk leśnych na klimat lokalny w Puszczy Boreckiej* (Studia Doktoranckie),

2. Mgr Andrzeja Kurowskiego pt. *Okresowe zmiany opadów atmosferycznych w Europie i ich uwarunkowania cyrkulacyjne* (studia – konsultacje indywidualne).

Jest współautorem skryptu *Ćwiczenia z klimatologii* i autorem podręcznika *Wstęp do metod matematycznych klimatologii*.

Dużo czasu poświęca na konsultacje w zakresie zastosowań metod statystycznych w pracach magisterskich, licencjackich i doktorskich różnych specjalności, czy też w publikacjach.

Za 20-letnią pracę pedagogiczną Uchwałą Rady Państwa został odznaczony „Złotym Krzyżem Zasługi” (22 września 1982, nr 1724-82-27).

III. Działalność organizacyjna

Prof. dr hab. Jerzy Boryczka w latach 1.10.1987-31.12.1990 był Pełnomocnikiem Dziekana ds. Informatycznych.

Początkowo był pełnomocnikiem ds. Międzynarodowego Układu Jednostek Fizycznych (SI). Zajmował się: obliczeniami EMC, wykonywanymi w Centrum Informatycznym Uniwersytetu Warszawskiego – planami, koordynacją wydziałowych zleceń obliczeń, stosowanymi programami oraz zakupami sprzętu informatycznego.

Od 1 grudnia 1990 r. do 3 września 1993 r. był członkiem Komisji Senackiej Uniwersytetu Warszawskiego ds. Informatycznych, wspomagając dalszą komputeryzację Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych UW. Jest autorem kilku programów komputerowych opracowanych w języku FORTRAN (wspólnie z pracownikami Centrum Informatycznego UW). Do najważniejszych należy program badania okresowości dowolnych zmiennych metodą „sinusoid regresji” (bor1.exe – wyznaczanie widma i okresów, bor2.exe – wyznaczanie amplitud i faz poszczególnych cykli, bor3.exe – interferencja cykli), który jest często wykorzystywany w pracach magisterskich, doktorskich i habilitacyjnych.

Przez wiele lat organizował badania terenowe podczas ćwiczeń terenowych i praktyk specjalizacyjnych np. w latach 1962-1963 – nad Jez. Śniardwy (Wyspa Szeroki Ostrów), później – w okolicach Suwałk. Organizował badania INTERKOSMOS TELEFOTO-78 w zakresie meteorologii, w kilku miejscowościach w okolicy Płocka – objętych zdjęciami satelitarnymi. Wyniki tych pomiarów, wykonanych głównie przez studentów stanowiły podstawę dwuczęściowego opracowania (nagroda Rektora I stopnia, 1979). Organizował badania naukowe w zakresie meteorologii w kilku miejscowościach, leżących w dorzeczu Wilgi (na zamówienie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej). Wielokrotnie organizował ćwiczenia terenowe i praktyki studenckie w Warszawie, realizując temat rządowy PR-5 pt. *Charakterystyka i ocena warunków klimatycznych Białolęki Dworskiej oraz określenie wpływu zabudowy na ich zmiany* (nagroda zespołowa Rektora UW).

W latach sześćdziesiątych był członkiem Komisji Rzecznawców przy Radzie Ochrony Powietrza Atmosferycznego (ROPA), a w siedemdziesiątych – członkiem

Rady Naukowej przy Wojewódzkiej Radzie Narodowej w Warszawie. Nieco później należał do Międzynarodowej Organizacji Naukowej KAPG.

Od 1 lutego 1991 do 31 sierpnia 1993 był Zastępcą Dyrektora Instytutu Nauk Fizycznogeograficznych WGSR.

Z dniem 1 stycznia 2004 r. objął funkcję Kierownika Zakładu Klimatologii, którą pełni do chwili obecnej – do 31 grudnia 2007 r.

W latach 1996-1998 był członkiem Rady Naukowej Studiów Doktoranckich.

Jest członkiem:

1. Rady Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego,
2. Rady Naukowej Instytutu Geografii Fizycznej WGSR.

Jest członkiem trzech towarzystw naukowych:

1. Polskiego Towarzystwa Astronomicznego (od 1961 r.),
2. Polskiego Towarzystwa Geofizycznego (od 1968 r.),
3. Polskiego Towarzystwa Geograficznego (od 1973 r.).

Z okazji Jubileuszu wszyscy współpracownicy i przyjaciele życzą Panu Profesorowi Jerzemu Boryczce wiele zdrowia oraz dalszych tak interesujących jak dotychczas badań nad zmianami klimatu Ziemi i ich przyczynami, dedykując Jemu niniejszy podwójny tom *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. XX i XXI, pt. *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych*, Warszawa 2007.

PUBLIKACJE (1961-2007)

1961

1. *Wyznaczanie wysokości satelity kołowego z jednej obserwacji współrzędnych i ich pochodnych względem czasu*, Biuletyn polskich obserwacji satelitów Ziemi, nr 5, Warszawa, s. 29-39.

1962

2. *Determination of the distance ad a satellite with a quasicircular orbit – on the basis of one observation of the coordinates, and their derivatives in relation to time* COSPAR, Waszyngton, ss. 10.

1964

3. *Próba wyznaczenia klimatycznego wskaźnika turbulencyjnego na podstawie temperatur ekstremalnych w przyziemnej warstwie atmosfery*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 1, s. 70-103.
4. *Zależność klimatycznego wskaźnika turbulencyjnego od wysokości przy różnym stopniu zachmurzenia*, Przegląd Geofizyczny, t. IX, z. 3-4, s. 216-226.
5. *Kształtowanie się niektórych elementów meteorologicznych zależnie od pionowej turbulencyjnej wymiany ciepła*, Przegląd Geograficzny, t. XXXVI, z. 1, s. 119-129.
6. *Turbulencyjne rozprzestrzenianie się pyłów i innych zanieczyszczeń powietrza w różnych porach roku w zależności od charakteru podłoża ze szczególnym uwzględnieniem warunków miejskich*, Przegląd Geofizyczny, t. IX, z. 2, s. 121-137 (z W. Okołowiczem).

1966

7. *Próba klasyfikacji warunków miejskich dla celów klimatologicznych*, „Przegląd Geograficzny”, t. XXXVIII, z. 1, s. 118-123.

1967

8. *Pattern of certain meteorological elements depending on vertical turbulent exchange of heat*, The Scientific Publication Foreign Cooperation Center of the Central Institute for Scientific, Technical and Economic Information, Warsaw, Poland 1967, ss. 10.

9. *Turbulent diffusion of dust and other air contaminants in different season of the ground*, Especially under Urban Conditions, The Scientific Publication Foreign Cooperation Center of the Central Institute for Scientific, Technical and Economic Information, Warsaw, Poland, ss. 16 (z W. Okołowiczem).

10. *Wpływ wilgotności gruntu i zbiorników wodnych na zawartość pary wodnej w przyziemnej warstwie powietrza*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 2 s. 145-165.

11. *Parametry określające intensywność turbulencyjnej wymiany powietrza i ich zależność od warunków meteorologicznych i charakteru podłoża*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 3, s. 90-127.

12. *Zależność natężenia oświetlenia od wysokości Słońca przy różnym stopniu zachmurzenia w porze letniej*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 3, s. 36-50 (z W. Okołowiczem).

1968

13. *Ćwiczenia z klimatologii*, Wyd. UW, Warszawa 1968 (z M. Stopą, G. Przybylską), ss. 181.

1970

14. *Próba porównania różnych rozkładów gęstości i opadu pyłu oraz ich przystosowanie do opracowań klimatologicznych*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 4, s. 51-132.

15. *Wpływ ukształtowania powierzchni i warunków meteorologicznych na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń powietrza (na przykładzie Kudowy)*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 4, s. 133-143 (z W. Okołowiczem, M. Stopą, G. Przybylską).

16. *Pionowa transformacja pary wodnej w warunkach miejskich*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 4, s. 207-211.

17. *Zmiany roczne w turbulencyjnym ruchu powietrza*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 5, s. 43-64.

1973

18. *Turbulencyjna transformacja pyłu i gazów w atmosferze ziemskiej i jej zależność od parametrów klimatologicznych*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 6, s. 85-110.

19. *Turbulencyjna transformacja pyłu i gazów w atmosferze ziemskiej i jej zależność od parametrów klimatologicznych* (skrót pracy doktorskiej), Dokumentacja Geograficzna, z. 6, s. 69-74.

20. *Rozkład zanieczyszczeń powietrza w otoczeniu punktowych źródeł emisji w warunkach miejskich*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 7, s. 21-39.

21. *Badania współzależności parametrów meteorologicznych metodą płaszczyzn głównych*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 7, s. 109-139.

1974

22. *Wstęp do metod matematycznych klimatologii*, cz. I, Wyd. UW, Warszawa 1974, ss. 309.

23. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. I, Wyd. UW, Warszawa (z M. Stopą-Boryczką), ss. 276.

1975

24. *Prognoza geograficznego rozkładu parametrów meteorologicznych na obszarze Polski*, Przegląd Geograficzny, t. XX, z. 4, s. 325-328.

25. *Dwuwymiarowy rozkład prawdopodobieństwa elementów i zjawisk meteorologicznych w Polsce*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 8, s. 35-56.

1976

26. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. II, Wyd. UW, Warszawa, ss. 451 (z M. Stopą-Boryczką).

1977

27. *Zależność parametrów meteorologicznych od wysokości nad poziomem morza w Polsce*, Przegląd Geofizyczny, t. XXII, z. 2, 1977, s. 121-130 (z M. Stopą-Boryczką).

28. *Zależność wilgotności powietrza od współrzędnych geograficznych na obszarze Polski*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 9, s. 73-110.

29. *Empiryczne równania klimatu Polski*, Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, ss. 288.

1978

30. *Empiryczne równania klimatu Polski*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 10, s.117-126.

31. *Wielowymiarowy normalny rozkład prawdopodobieństwa zbioru parametrów meteorologicznych*, Przegląd Geofizyczny, t. XXIII, z. 2, s. 115-128.

32. *Zależność parametrów meteorologicznych od temperatury powietrza w Polsce*, Prace i Studia IG UW – Klimatologia, z. 11, s. 147-175 (z M. Stopą-Boryczką).

1979

33. *Nowa metoda wyznaczania okresowych zmian parametrów meteorologicznych*, Przegląd Geofizyczny, t. XXIV, z. 1, s. 45-56.

1980

34. *Nowa metoda wyznaczania trendu pól zmiennych meteorologicznych*, Przegląd Geofizyczny, t. XXV, z. 3-4, s. 265-282.

35. *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu*, Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego, nr 234, Wyd. UW, Warszawa, ss. 272.

36. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, pt. *Geograficzne gradienty parametrów wilgotności powietrza w Polsce*, cz. III, Wyd. UW, Warszawa, ss. 322 (z M. Stopą-Boryczką).

37. *O dokładności empirycznych funkcji trendu pól zmiennych meteorologicznych*, Przegląd Geofizyczny, t. XXV, z. 3-4.

38. *The influence of activity of the Sun on air temperature and precipitation on Mountain*, X Międzynarodowa Konferencja Karpacka, Kraków (z M. Stopą-Boryczką).

1982

39. *Ocena klimatu lokalnego do projektu osiedla mieszkaniowego w Białolecie Dworskiej*, Człowiek i Środowisko, t. 6, z. 3-4, s. 335-349 (z M. Stopą-Boryczką, M. Kopacz-Lembowicz, E. Ryczywolską, A. Górką).

1983

40. *Holocenijskie cykle klimatu w środkowej Polsce na podstawie statystycznej analizy osadów jeziornych*, Przegląd Geofizyczny, t. XXVIII, z. 3-4, s. 291-302 (z B. Wicikiem).

41. *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu*, Materiały Zjazdu Geografów Polskich, Toruń.

1984

42. *Aproksymacja pola opadów atmosferycznych w Polsce*, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 288, s. 201-214 (z M. Stopą-Boryczką, K. Styś).

43. *Aproksymacja pola temperatury powietrza w Polsce*, Symposium Naukowe „Udział nauki polskiej w światowym programie klimatycznym”, Skierniewice (M. Stopą-Boryczką, J. Wawer).

44. *Centennial air temperature fluctuation in Warsaw*, 25th International Geographica Congress, Abstracts of Papers, t. I, Paris-Alpes 1984 (z M. Stopą-Boryczką).

45. *The multiperiodical changes of air temperature in Warsaw*, *Miscellanea Geographica*, Wyd. UW, s. 87-96 (z M. Stopą-Boryczką).

46. *Prognoza temperatury powietrza na rok 2000 w Warszawie*, Przewodnik Ogólnopolskiego Zjazdu Towarzystwa Geograficznego, Lublin 13-15 IX, s. 101-105.

47. *Trend wiekowy temperatury powietrza w Warszawie (1500-2500)*, Materiały I Ogólnopolskiej Konferencji na temat: Klimat i bioklimat miast, Wyd. UŁ, Łódź 22-24 XI, s. 204-213.

1985

48. *Posiednikowyye cikly klimata w jużnoj Polzi na fonie staticzeskowo analiza otlożenij w gornych oziarach*, IGCP Projekt 158, Palaeocollgy and Palaeohydrology of the Balkan Peninsula and Adjacent Areas, Symposium in Bulgaria, Varna 29 IX 1985 (z B. Wicikiem, M. Gutry-Korycką).

1986

49. *Matematyczny model klimatu Polski*, I Sesja Naukowa INFG UW, Warszawa s. 117-130 (z M. Stopą-Boryczką).

50. *A mathematical model of Poland's climate*, *Miscellanea Geographica*, Wyd. UW, Warszawa, s. 55-69 (z M. Stopą-Boryczką).

51. *Wlanije goroda na pole metieorologiczieskich pierirmirnyh*, CEB-III-RWPG, Jabłonna 24-25 września, ss. 11 (M. Stopą-Boryczką, M. Kopacz-Lembowicz).

52. *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu*, Dokumentacja Geograficzna, Wyd. PAN, Warszawa.

53. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, pt. *Klimat północno-wschodniej Polski*, cz. IV, Wyd. UW, Warszawa, s. 511 (z M. Stopą-Boryczką i inni).

1988

54. *Deformation of the field of air temperature due the relief of Poland*, *Miscellanea Geographica*, Wyd. UW, Warszawa, s. 113-125 (z M. Stopą-Boryczką).

55. *Attempt at analysis of holocene climate cycles on the basis of lake sediments*, *Miscellanea Geographica*, Wyd. UW, Warszawa, s. 99-104 (z B. Wicikiem, M. Gutry-Korycką).

1989

56. *Wpływ czynników antropogennych na klimat lokalny Warszawy*, *Acta Universitatis Carolinae 1989, Geographica*, No 2, Praha, s. 49-66 (M. Stopą-Boryczką).

57. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, pt. *Z badań klimatu Polski*, cz. V, Wyd. UW, Warszawa, s. 284 (z M. Stopą-Boryczką, B. Kicińską, E. Żmudzką).

58. *The multiperiodical changes of air temperature and precipitation in Poland*, Materiały Konferencji Klimatycznej, Brno, maj (z M. Stopą-Boryczką).

59. *Holocene climatic in the light of statistical analysis of laminated sediments from the Gościąż Lake*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Matematyka-Fizyka*, z. 57, *Geochronometria* nr 5, 1989, s. 75-85 (z K. Więckowskim, B. Wicikiem).

60. *Long-term fluctuation of hydroclimate elements in North-Eastern Europe*, *Global Change Regional Research Centers: Scientific Problems and Concept Developments*, September 25-29, Warszawa, s. 33-47 (M. Gutry-Korycką).

61. *Zmiany klimatu Ziemi w stuleciach XVIII-XXI i ich przyczyny*, „Współczesne zmiany klimatyczne w Polsce”, Materiały Konferencji 12-14 grudnia, Łódź, s. 15-16.

1990

62. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, pt. *Wpływ Oceanu Atlantyckiego i rzeźby terenu na klimat Polski*, cz. VI, Wyd. UW, Warszawa, ss. 334 (z M. Stopą-Boryczką, B. Kicińską, E. Żmudzka).

63. *Współczesne zmiany klimatu Ziemi i ich przyczyny*, Materiały Konferencji, 25-28 września, Przesieka k/Jeleniej Góry.

64. *Changes in Earth's climate in the 18th through 21st centuries and their reasons*, *Miscellanea Geographica*, Wyd. UW, s. 71-78, Warszawa.

65. *Influence of the city of fields of meteorological variable*, *Urban Ecological Studies in Central and Eastern Europe*, Proceedings of the International Symposium Warszawa-Jabłonna, 24-25 September, Wrocław (z M. Stopą-Boryczką, M. Kopacz-Lembowicz).

66. *Deformacja pola temperatury powietrza w Warszawie pod wpływem czynników antropogenicznych*, *Problemy współczesnej klimatologii*, Conference Papers 4, Sympozjum Ogólnopolskie, Stare Pole k/Malborka, 7-9 październik 1988, s. 131-146 (z M. Stopą-Boryczką).

67. *Długookresowe zmiany elementów bilansu wodnego w Polsce w zlewisku Bałtyku*, *Przegląd Geofizyczny*, t. XXXV, z. 3-4, Łódź 1991, s. 175-188 (z M. Gutry-Korycką)

1991

68. *Mapy gradientów temperatury i opadów w Polsce*, *Acta Universitatis Wratislaviensis*, No 1213, *Prace Instytutu Geograficznego*, seria A, t. V, Wrocław, s. 180-188 (z M. Stopą-Boryczką).

1992

69. *Naturalny i antropogeniczny trend temperatury powietrza w Warszawie*, *Prace i Studia Geograficzne*, t. 17, Wyd. UW.

70. *Naturalne zmiany temperatury powietrza w Warszawie*, *Materiały II Ogólnopolskiej Konferencji „Klimat i bioklimat miast”*, Wyd. UL, Łódź, 9-11 grudnia.

71. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, pt. *Zmiany wiekowe klimatu Polski*, cz. VII, Wyd. UW, Warszawa, ss. 438 (z M. Stopą-Boryczką, B. Kicińską, E. Żmudzka).

72. *The influence of Parameters of the Solar System on Earth's Climate*, *Miscellanea Geographica*, t. 5, Wyd. UW, Warszawa, s. 33-44.

73. *Periodical changes of precipitation in Poland and their causes*. *Miscellanea Geographica*, t. 5, Wyd. UW, Warszawa s. 100-104 (z M. Gutry-Korycką, K. Łopata).

74. *Long-term fluctuation of hydroclimate elements in Poland*, *European climate reconstructed from documentary data: methods and results*, Special Issue: ESF Project European Palaeoclimate and Man 2, Stuttgart-Jena-New York, *Palaeoclimate Research*, v. 7, s. 152-175 (z M. Gutry-Korycką).

75. *Wpływ Oceanu Atlantyckiego i Morza Bałtyckiego na klimat Polski*, *Badania Fizjograficzne na Polską Zachodnią*, t. XLIV, seria A, *Geografia Fizyczna*, Wyd. UP s. 153-158 (z M. Stopą-Boryczką).

1993

76. *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII-XXI wieku*, Wyd. UW, Warszawa, ss. 400.

77. a. *The influence of the eruptions of volcanoes on the Earth's climate in the 17th – 21st century*, “Scientific activities of Professor Władysław Gorczyński and their continuation”, Symposium in Nicholas Copernicus University, Toruń, 16-17 September s. 24-25.

b. *Wpływ erupcji wulkanów na klimat Ziemi w XVII-XXI wieku*, „Działalność naukowa Profesora Władysława Gorczyńskiego i jej kontynuacja”, Sympozjum w Uniwersytecie Mikołaja Kopernika, Toruń 16-17 września, s. 22-23.

78. *Długookresowe fluktuacje elementów obiegu wody*, Przemiany stosunków wodnych w Polsce w wyniku procesów naturalnych i antropogenicznych, Kraków, s. 277-298 (red. I. Dynowska, z M. Gutry-Korycką).

79. *The natural changes of climate in Europe in the 18th – 21st centuries*, Early Meteorological Instrumental Records in Europe, Methods and results, Zeszyty Naukowe UJ MLXIX, Prace Geograficzne, z. 95, Prace Instytutu Geograficznego, z. 117, Kraków 1993, s. 128-137.

1994

80. *Positive and negative effects of the urban heat island in Warsaw*, “Urban ecological studies in Europe”, II European Meeting of the INFECOL, Warsaw-Mądralin, 15-17 December, 1992 (z M. Stopą-Boryczką, M. Kopacz-Lembowicz).

81. *Positive and negative effects of the urban heat island in Warsaw*, Memorabilia Zoologica, 49 ‘, Proceedings of the II European Meeting of the International Network for Urban Ecology”, s. 68-80 (z M. Stopą-Boryczką, M. Kopacz-Lembowicz).

82. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, pt. *Cechy oceaniczne klimatu Europy*, cz. VIII, Wyd. UW, Warszawa, ss.405 (z M. Stopą-Boryczką, M. Wągrowską, J. Śmiałkowskim).

83. *Deformacja pól temperatury i opadów w Polsce po wpływie rzeźby terenu*, IX Seminarium Polsko-Czeskie, Warszawa, s. 95-119.

84. *Record of holocene climatic cycles in Lake sediments in Central Poland*, Miscellanea Geographica, t. 6, Wyd. UW, Warszawa, s. 69-77 (z B. Wicikiem).

85. *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Kotliny Warszawskiej*, Materiały Zjazdu PTG w Lublinie, 1-4 września (z M. Stopą-Boryczką).

86. *Cykliczne zmiany klimatu w różnych szerokościach geograficznych i ich przyczyny*, Współczesne badania klimatologiczne, Conf. Papers, 23, IGIPIZ PAN, Warszawa (Radzików, 7-8 listopada 1984), s. 111-124.

1995

87. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, pt. *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy*, cz. IX, Wyd. UW Warszawa, ss. 320, (z M. Stopą-Boryczką, E. Błażek, J. Skrzypczukiem).

1996

88. *The tendency of natural changes of the Earth's climate and identification of its causes*, Proceedings of International Conference on Climate Dynamics and the Global Change Perspective, Cracow, October 17-20, Zeszyty Naukowe UJ MCLXXXVI, Prace Geograficzne, z. 102, Prace Inst. Geograficznego UJ, z. 124, s. 293-299.

89. *Modeli otażajuszczije prirodnyje i antropogenyje izmienenija klimata*, Prirodnyje resursy: racjonalnoje ispolzowanije i ochrana, Wyd. MGU, Moskwa, s. 101-116 (z M. Stopą-Boryczką).

90. *Tendencje zmian klimatu Polski*, 45 Zjazd Polskiego Towarzystwa Geograficznego, „Polska w Europie Bałtyckiej”, Słupsk-Ustka, 18-21 września, s. 183-185 (z M. Stopą-Boryczką).

91. *Natural warming of the Earth's climate in 18th trough 20th centuries*, Miscellanea Geographica, z. 7, Wyd. UW, Warszawa, s. 41-53.

92. *Globalne ocieplenie klimatu jako efekt zmian Układu Słonecznego*, Materiały Konferencji „Metody badań wpływu czynników antropogenicznych na warunki klimatyczne i hydrologiczne w obszarach zurbanizowanych”, 12-14 września, Katowice.

1997

93. *Cykliczne wahania i trendy zmian poziomu morza w Świnoujściu (1811-1990)*, Przegląd Geofizyczny, R. XLII, t. 1, s. 31- 48 (z K. Kożuchowskim).

94. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, pt. *Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie*, cz. X, Wyd. UW, Warszawa, ss. 220 (z M. Stopą-Boryczką, E. Błażek, J. Skrzypczukiem).

95. *Wahania klimatu Ziemi zdeterminowane cyklicznością parametrów Układu Słonecznego*, Prace i Studia Geograficzne, t.20, Wyd. UW, Warszawa, s. 200-233.

96. *Natural and antropogenic changes of climate in Europe*, Acta Universitatis Carolinae, Geographica, XXXII, Praha (z M. Stopą-Boryczką).

97. *Tendencje wiekowe temperatury powietrza w Europie*, Materiały 46 Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Rynia-Warszawa, 18-21 września, s. 130-133.

98. *Problemy współczesnej klimatologii w zakresie zmian klimatu*, Materiały 46 Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Rynia-Warszawa, 18-21 września s. 127-130.

1998

99. *Problems of contemporary climatology in the domain of climate change*, Miscellanea Geographica, z. 8, Wyd. UW.

100. *Cechy kontynentalne klimatu Polski Południowo-Wschodniej*, Problemy współczesnej klimatologii i agrometeorologii regionu lubelskiego, Wyd. UMCS, Lublin s. 111-114 (z M. Stopą-Boryczką).

101. *Współczesne zmiany klimatu i ich uwarunkowania*, Materiały 47 Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Sosnowiec 23-26 września 1998, Wyd. Nauk o Ziemi UŚ (z M. Stopą-Boryczką).

102. *Postęp badań współczesnych wahań klimatu Ziemi w drugiej połowie XX wieku*, Prace i Studia Geograficzne, t. 22, Wyd. UW, Warszawa, s. 51-63.

103. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, pt. *Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie*, cz. XI, Wyd. UW, Warszawa, ss. 258 (z M. Stopą-Boryczką, E. Błażek, J. Skrzypczukiem).

1999

104. *Klimat Polski a naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi*, „Geografia na przełomie wieków – jedność w różnorodności”, Materiały sesji jubileuszowej 18-20 czerwca 1998, Warszawa, s. 135-147.

105. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, pt. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu miast w Europie*, cz. XII, Wyd. UW, Warszawa, ss. 255 (z M. Stopą-Boryczką, M. Wągrowską, E. Błażek, J. Skrzypczukiem).

106. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, pt. *Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie*, cz. XIII, Wyd. UW, Warszawa, ss.83 (z M. Stopą-Boryczką, E. Błażek, J. Skrzypczukiem).

2000

107. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, pt. *Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku*, cz. XIV, Wyd. UW, Warszawa ss. 200 (z M. Stopą-Boryczką, H. Lorenc, B. Kicińską, E. Błażek, J. Skrzypczukiem).

108. *Changes of climate in Poland during recent centuries*, Polish Geography, Problems, Reserches, Applications (ed. Z. Chojnicki, J. J. Parysek), Adam Mickiewicz University, Wyd. „Bogucki”, Poznań 2000 (The present book has been published on the occasion of the 29th International Geographical Congress in Seoul).

109. *Zmiany klimatu Polski w XVIII-XXI wieku*, Acta Universitatis Nicolai, Geografia XXXI – Nauki Matematyczno-Przyrodnicze, z. 106, Toruń 2000, s. 55-79, (z M. Stopą-Boryczką).

110. *The warmings and coolings of the climate of Warsaw during the last centuries and their conditioning*, Miscellanea Geographica, z. 9, Wyd. UW, s. 39-51 (z M. Stopą-Boryczką).

111. *Tendency of climate in Poland*, Materiały VII Ukraińskiego Towarzystwa Geograficznego, Kijów.

2001

112. *Postęp badań przyczyn zmian klimatu w drugiej połowie XX wieku*, Prace i Studia Geograficzne, t. 28, s. 137-156.
113. *Kalendarz ważniejszych wydarzeń w Zakładzie Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego (1951-2000)*, Prace i Studia Geograficzne, t. 28, Wyd. UW (z M. Stopą-Boryczką) s. 313-328.
114. *Zmiany klimatu Warszawy od XVIII do XXI wieku*, Prace i Studia Geograficzne, nr 180, Badania środowiska fizycznogeograficznego aglomeracji warszawskiej. Wyd. IGPZ PAN.
115. *Wiekowe zmiany temperatury powietrza i opadów w Warszawie*. (z M. Stopą-Boryczką), *Atlas klimatycznego ryzyka upraw roślin w Polsce* (red. Cz. Koźmińskiego), Wyd. Akademii Rolniczej w Szczecinie, Szczecin (plansza 28).
116. *Przewidywane średnie sezonowe i roczne zmiany temperatury powietrza na wybranych stacjach* (z M. Stopą-Boryczką), *Atlas klimatycznego ryzyka upraw roślin w Polsce* (red. Cz. Koźmińskiego), Wyd. Akademii Rolniczej w Szczecinie, Szczecin (plansza 28).
117. *The forecast of the climate in Warsaw*, Obszczestwo, Okružajuszczaja Średa. Razwitiu Geografii w Stranach Cienralnoj i Wostocznoj Ewropu. Mieźduradnaja Naucznaia Konferencja, Kaliningrad/ Swietlogorsk, Rosija, 4-7 junja 2001 goda, Tiezisyy dokladow, cz. I, Izdatielstwo Kaliningradskogo Gosudarstwiennogo Uniwersitieta, s. 166 (z M. Stopą-Boryczką).
118. *Współczesne zmiany klimatu i ich przyczyny*, Encyklopedia Multimedialna PWN (z M. Stopą-Boryczką).
119. *Czynniki kształtujące klimat Ziemi*, Encyklopedia Multimedialna PWN (z M. Stopą-Boryczką).
120. *Klimat Polski w pracach Andrzeja Ewerta – pierwszego doktoranta seminarium doktorskiego Zakładu Klimatologii*, Prace i Studia Geograficzne t. 28 s. 193-198 (z M. Stopą-Boryczką).
121. *Wspomnienia pośmiertne, Andrzej Ewert (1938-2001)*, Przegląd Geofizyczny (z M. Stopą-Boryczką i M. Kirschenstein).
122. *50 lat działalności naukowej i dydaktycznej Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego (1951-2001)*, Prace i Studia Geograficzne, t. 29, s. 13-28 (z M. Stopą-Boryczką).
123. *Klimat Ziemi. Przeszłość, terażniejszość, Przyszłość*, Prace i Studia Geograficzne, t. 29, s. 55-72.

2002

124. *The progress in the study of the causes of climate changes on the Earth*, Miscellanea Geographica, vol. 10, s. 77-88.
125. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. XVI, *Prognozy zmian klimatu Polski* (z M. Stopą-Boryczką., D. Baranowskim, K. Grabowską, E. Błażek, J. Skrzypczukiem), Wyd. UW, Warszawa, ss. 212.
126. *The 50 years of research and teaching activity of the Department of Climatology at the University of Warsaw* (z M. Stopą-Boryczką), Miscellanea Geographica, vol. 10, s. 89-102.
127. *Zmiany klimatu I ich przyczyny. Hipotezy i fakty*, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka (red.). Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego z VI Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS pod hasłem „Co nauka daje sztuce?”, 8 VI 2002, Warszawa, ss.73.

2003

128. *Changes in the climate of Warsaw from 18th to 21st century*, M. Stopa-Boryczka (red.), *Studies on the climate of Warsaw*, Wyd. WGSU UW, Warszawa, s. 25-33.
129. *Cykliczne wahania temperatury i opadów w Polsce w XIX-XXI wieku* (z M. Stopą-Boryczką), Materiały Konferencji, Kraków, czerwiec 2003 r.

130. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. XVII, *Mroźne zimy i upalne lata w Polsce* (z M. Stopą-Boryczką, D. Baranowskim, M. Kirschenstein, E. Błażek, J. Skrzypczukiem), Wyd. UW, Warszawa, ss. 297.

131. *Trends in climate change in Europe and their causes*, "Man and Climate in the 20th Century" (red. J.L. Pyka i inni), *Studia Geograficzne*, nr 75, *Acta Universitatis Wratislaviensis*, nr 2542, Wrocław, s. 98-107.

132. *Cykliczne zmiany klimatu Warszawy i ich uwarunkowania*, „Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych” (z M. Stopą-Boryczką), *Prace Geograficzne*, nr 188, IGiPZ PAN.

133. *The cyclic changes of the climate of Warsaw and their conditioning*, Stopa-Boryczka M. (red.), *Studies on the climate of Warsaw* (z M. Stopą-Boryczką), Wyd. WGSR UW, Warszawa, s. 35-50.

134. *The influence of the man-made factors on the local climate of Warsaw*, M. Stopa-Boryczka (red.), *Studies on the climate of Warsaw* (z M. Stopą-Boryczką), Wyd. WGSR UW, Warszawa, s. 95-110.

2004

135. *Mit efektu cieplarnianego*, *Przegląd Geofizyczny*, z. 1-2, s. 43-56.

136. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. XVIII, *Groźne zjawiska pogodowe w Polsce* (z M. Stopą-Boryczką, K. Grabowską, J. Wawer, E. Błażek, J. Skrzypczukiem), Wyd. UW, Warszawa, ss. 217.

137. *Climate of the Europe – Past, Present, Future* (z M. Stopą-Boryczką), *Miscellanea Geographica* vol. 11, s. 101-118.

138. *Cykliczne wahania temperatury i opadów w Polsce w XIX-XXI wieku* (z M. Stopą-Boryczką), *Acta Agrophysica*, PAN, vol. 3 (1).

139. *The influence of the North Atlantic Oscillations (NAO) on the climate of Warsaw and Lviv* (z M. Stopą-Boryczką, J. Wawer), *Proceedings Conference "Landscape Science – Traditions and Trends"* September 8-12, Ivan Franko National University of Lviv, Lviv

140. *Klimat Europy. Przeszłość – teraźniejszość – przyszłość*, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka (red.), *Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego z VIII Pikniku Naukowego Polskie go Radia BIS pod hasłem „Nauka bez granic”, 22 V 2004*, Warszawa, ss. 77.

2005

141. *Klimat*, A. Richling, K. Ostaszewska (red.) *Geografia fizyczna Polski* (z M. Stopą-Boryczką), Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, s. 84-127.

142. *Zmiany klimatu Polski w XIX-XXI wieku ze szczególnym uwzględnieniem Wyżyny Małopolskiej*, M. Strzyż, A. Świercz (red.) *Środowisko przyrodnicze jako przedmiot badań interdyscyplinarnych: teoria i praktyka* (z M. Stopą-Boryczką), Wyd. Instytut Geografii Akademii Świętokrzyskiej, Kielce, s. 33-34.

143. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. XIX, *Cechy termiczne klimatu Europy* (z M. Stopą-Boryczką, Sz. Bijakiem, K. Pietras, E. Błażek, J. Skrzypczukiem), 2007, Wyd. UW, Warszawa, ss. 184.

2006

144. *The influence of the North Atlantic Oscillations (NAO) on the climate of Warsaw and Lviv* (z B. Muchą, M. Stopą-Boryczką, J. Wawer), *Miscellanea Geographica*, vol. 12, s. 75-80.

145. *Warming and Cooling of the Earth's Climate and their Causes*, *Miscellanea Geographica*, vol. 12, s. 31-41.

146. *Cyclic Temperature and Precipitation Fluctuations in Poland in the 19th-21st Centuries* (z M. Stopą-Boryczką), *Miscellanea Geographica*, vol. 12, s. 43-53.

147. *Zmiany klimatu Polski ze szczególnym uwzględnieniem Wyżyny Małopolskiej*, (z M. Stopą-Boryczką), *Regionalne Studia Ekologiczno-Krajobrazowe. Problemy Ekologii Krajobrazu*, t. 16/1, Warszawa, s. 297-305.

148. *Prognozy pogody w przysłowiach i ich sprawdzalność w Polsce*. Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego z X Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS pod hasłem „Świat za 10 lat”, w dniu 03 VI 2006, Wyd. UW, Warszawa, ss. 85. (współautor 3 artykułów i red. z M. Stopą-Boryczką), ss. 85.

2007

149. *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. XX i XXI, *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych* (z M. Stopą-Boryczką, Sz. Bijakiem, R. Cebulskim, E. Błażek, J. Skrzypczukiem), 2007, Wyd. UW, Warszawa, ss. 250.

150. *Cechy termiczne klimatu Europy*, (red. K. Ostaszewska) „Znaczenie badań krajobrazowych dla zrównoważonego rozwoju” (z M. Stopą-Boryczką), WGSR, Warszawa, s. 203-217.

151. *Okresowe wahania temperatury powietrza w Europie w XIX-XXI wieku i ich przy czyny* (z M. Stopą-Boryczką). Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych (red. K. Piotrowicz, R. Twardosz), Kraków, s. 163-173.

152. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w XVIII-XXI wieku i ich przyczyny* (z M. Stopą-Boryczką), Acta Agrophysica PAN, vol. 9(3), s. 555-570.

153. *Cykliczność i tendencje zmian klimatu Polski*, *Materiały Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego z XI Pikniku Naukowego Polskiego Radia BIS*, w dniu 26.05.2007 w Warszawie pod hasłem „Matematyka I my” (współautor 8 artykułów i red. z M. Stopą-Boryczką), ss. 90.

154. *Okresowe zmiany klimatu Europy według ciągów dendrologicznych* (z M. Stopą-Boryczką i Sz. Bijakiem), *Materiały XXXII Ogólnopolskiego Zjazdu Agrometeorologów i Klimatologów. Zasoby i Zagrożenia klimatyczne*, Akademia Rolnicza w Szczecinie – Uniwersytet Szczeciński, Kołobrzeg 13-15 września 2007.

155. *Cykliczne zmiany klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu według danych dendrologicznych* (z M. Stopą-Boryczką i Sz. Bijakiem), *Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Klimat ziem polskich w czasach historycznych na tle klimatu Europy”*, Toruń, 11-13 października 2007.

Prace popularnonaukowe, wywiady, recenzje

156. *Sputnik w meteorologii*, audycja radiowa, 30 XI 1963 r. o godz. 16.15, „Redakcja Przyrodnicza”, program II PR.

157. Brand J. C., 1972, *Introduction to the Solar Wind*, „Wiadomości Służby Hydrologicznej” t. VIII, z. 2, s. 72.

158. Fraser J. I., Haber F. C., Muller G. H., 1973, *The Study of Time*, „Przegląd Geofizyczny”, z. 3-4, s. 342-343.

159. Gerstenberger M., 1973, *Das Himmelsjahr, Sonne, Mond und Sterne in Jahr*, Stuttgart, t. XIX, z. 2, s. 170.

160. *Atlas Klimatyczny Polski*, 1974, „Przegląd Geofizyczny”, t. XIX, z. 3-4, s. 258 (z M. Stopą-Boryczką).

161. Muller R., 1975, *Sonne, Satelliten, Kometen und Blitze*, „Wiadomości Meteorologii i Gospodarki Wodnej”, t. XXIII, z. 1, s. 66.

162. *Prognoza na 500 lat*, „Kurier Polski” z dni 10-13 IV 1982 r. (A. Market).

163. Reznikow A. P., 1983, *Priedskazaniye jestiestwiennych prociesow obuczajuszciejsja sistiemoj*, „Przegląd Geofizyczny”, t. XXVIII, z. 3-4, s. 448-450.

164. *Spokojne Słońce przyczyną mroźnej zimy*, „Głos Pomorza”, Koszalin-Słupsk, R. XXXV, nr 18, 22 01. 1987.

165. *Czy pogoda zawirowała ?*, „Przegląd Reader's Digest”, grudzień 1997 (Anna Sobczyk).

166. *Stochastic Climate Models* (red. P. Imkeller J.-S. von Storch). „Progres in Probabilisty”, vol. 49, Birkhauser Verlag, Bessel-Boston-Berlin 1999, ss. 398, tab., rys.

167. *Jak będą wyglądać Polska i Europa w wyniku globalnego ocieplenia*, „Przegląd”, 23 VI 2001 r. s. 22.

168. *Przyczyny zmian klimatu*, VI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 8.06. 2002, s. 26-29.

169. *50 lat działalności naukowej i dydaktycznej Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego*, VI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 8.06.2002, s. 10-15 (z M. Stopą-Boryczką).

170. *Klimat Europy w XVIII-XXI wieku*, VI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 8.06. 2002, s. 32-33.

171. *Dokumentacja historyczna prowadzonych pomiarów temperatury powietrza w Warszawie od 1779 roku*, VI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 8.06. 2002, s. 35-37 (z innymi autorami).

172. *Pole temperatury powietrza w Europie a typy cyrkulacji atmosferycznej*, VI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 8.06.2002, s. 55-57 (z innymi autorami).

173. *Przeszłość, teraźniejszość i przyszłość klimatu Europy*, VIII Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 22.05..2004, s.25-29 (z innymi autorami).

174. *Wprowadzenie, VIII Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS*, 22.05.2004, s. 7-9 (z M. Stopą-Boryczką).

175. *Tajemnice zimy. Będzie mróz za 50 lat, Tylko zimy żal*, „Super Express”, nr 1, 29-30 stycznia 2005 (rozmawiała Ewa Jabłońska).

176. *Cykliczne wahania temperatury i opadów w Polsce w XIX-XXI wieku*, X Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 3.06.2006, s. 49-54 (z innymi autorami).

177. *Prognozy pogody w przysłowiacz i ich sprawdzalność w Polsce*, X Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 3.06.2006, s. 65-69 (z M. Stopą-Boryczką i M. Tońską).

178. *Wprowadzenie, X Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS*, 3.06.2006, s. 7-10 (z M. Stopą-Boryczką).

179. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w XVIII-XXI wieku i ich przyczyny*, XI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, s. 19-25 (z M. Stopą-Boryczką).

180. *Cykliczność i tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce*, XI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, s. 27-35 (z innymi autorami).

181. *Cykliczność i tendencje ciśnienia atmosferycznego w Polsce*, XI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, s. 37-43 (z innymi autorami).

182. *Okresowe zmiany opadów atmosferycznych w Polsce*, XI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, s. 43-48 (z innymi autorami).

183. *Tendencje i zmiany okresowe burz w Polsce*, XI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, s. 53-58 (z innymi autorami).

184. *Maksymalne dobowe sumy opadów atmosferycznych i częstość opadów 10 mm w Warszawie i Krakowie*, XI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, s. 59-62 (z innymi autorami).

185. *Liczba dni z pokrywą śnieżną w Warszawie i Krakowie*, XI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS, 26.05.2007, s. 63-65 (z innymi autorami).

186. *Wprowadzenie, XI Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS*, 26.05.2007, s. 7-9 (z M. Stopą-Boryczką).

ACADEMIC AND RESEARCH ACTIVITY OF PROFESSOR JERZY BORYCZKA

Professor Jerzy Boryczka was born on 1 July 1937 in Kozienice-Nowiny. He completed secondary education at the general secondary school in Kozienice in 1955 and graduated from Warsaw University's Faculty of Mathematics and Physics, with Astronomy as his main specialisation. He was awarded the title of Master of Astronomy (*magister astronomii*) on 26 June 26, 1961 for the dissertation entitled *Determining the Height of a Circular Orbit Satellite in One Observation of Coordinates and Their Derivatives Relative to Time*, carried out for geophysical purposes (*Biuletyn Polskich Obserwacji Satelitów Ziemi*, No. 3, Warszawa 1961; COSPAR, Washington 1962).

On 1 October 1961 Professor Jerzy Boryczka started work in the Climatology Department of Warsaw's University Institute of Geography. First he worked as an assistant, in 1963-1968 - as a senior assistant, in 1968-1988 – as a lecturer, and since 1 June 1988 – as an assistant professor. Starting from 1 March 1991, he has held the post of associate professor (*profesor nadzwyczajny*).

Professor Jerzy Boryczka defended his doctoral dissertation entitled *Turbulence Transformation of Dusts and Gases in the Earth's Atmosphere and Its Dependence on Climatological Parameters* on 10 June 1968. The Council of Warsaw's University Institute of Geography awarded him the academic degree of Doctor of Natural Sciences.

In his dissertation, Professor Jerzy Boryczka determined annual fluctuations concerning the intensity of vertical turbulent air movements and spatial distribution of smoke concentration and dust fall in the vicinity of high emission sources (factory chimneys). To this end, an annual series of gradient measurements of wind velocity and daily amplitudes of air temperature was carried out (Jelonki and Warsaw University station). He also compared the existing formulas for concentration distribution and dust fall in the vicinity of point sources, taking account of his approximated solution of the general equation for turbulence diffusion.

After submitting and defending the dissertation entitled *The Deterministic and Stochastic Model of Multicyclical Climate Changes*, on 26 April 1983, the Council of the Faculty of Geography and Regional Studies of Warsaw University awarded Jerzy Boryczka the postdoctoral degree in geographic sciences, specialisation of climatology.

I. Research activity

Professor Jerzy Boryczka authored or co-authored over 150 scientific publications: 26 books and 124 articles. He also wrote several publications popularising science and a number of book reviews.

His most considerable and lasting contributions to climatology (in the literature of the subject in Poland and abroad) include the research findings published in the following publications:

1. "The Deterministic and Stochastic Model of Multicyclical Climate Changes", *Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego*, No. 234, Wyd. UW, Warszawa, 1984, pp. 272 (in Polish);
2. *Natural and Anthropogenic Changes of the Earth's Climate in the Period from the 18th Till the 21st Century*, Wyd. UW, Warszawa, 1993, pp. 400 (in Polish);
3. *Changes of the Earth's Climate*, Wyd. Akademickie Dialog, Warszawa, 1993, pp. 165 (in Polish);
4. *Atlas of Interrelationships Between Meteorological and Geographical Parameters in Poland*: Vol. VII (1992), Vol. IX (1995), Vol. X (1997), Vol. XI (1998), Vol. XII (1999), Vol. XIII (1999), Vol. XIV (2000), Vol. XVII (2003) (in Polish).
5. "Trends in Climate Change in Europe and Their Causes". *Studia Geograficzne*, No. 75, *Acta Universitatis Vratislaviensis*, No. 2542, Wrocław, 2003
6. "Warming and Cooling of the Earth's Climate and Their Causes", *Miscellanea Geographica*, 2006, Vol. 12, pp. 31-41.

Over the past thirty years, Professor Jerzy Boryczka has also published many articles discussing climate change in scientific periodicals in Poland and abroad (including 36 in English and 4 in Russian). Major items in his scientific bibliography are also publications: 33 (1979), 56 (1989), 59 (1989), 72 (1992), 79 (1993), 83 (1994), 87 (1996), 90 (1996), 94 (1997), 102 (1998), 104 (1999), 108 (2000), 135 (2004), 140, 141, 142 (2006), 145, 146, 147 (2007).

In his works, Professor Jerzy Boryczka presented new research methods and novel concepts concerning the identification of astronomic causes of contemporary and Holocene fluctuations in the Earth's climate as well as forecasts relating to the natural changes of climate in Europe (and Poland) in the 21st century.

His main scientific achievements include the research findings concerning changes in the Earth's climate and their causes:

1. Introduction of the new, "regression sinusoid" method into climatology to explore the cyclicity of natural phenomena. In this method, cycles (that is, periods), amplitudes and phases are determined by adjusting consecutive regression sinusoids with presumed cycles of (e.g.) 0,1; 0,2; ..., n years to the measurements results (using the smallest square values). The cycles are local minimums of the spectrum – the sequence of residual variance (correlation coefficient maximums). The advantages of this method are the following:

It can be used when the intervals between the measurements are not equal (as for example in volcanic eruptions) or when the measurement series is not complete, and there are some gaps. It also allows to determine the dense spectrum – not only for short-term cycles of 0- 0,5 n (as in other methods), but also for long-term cycles of 0.5 n - n

(that is in the entire interval 0- n), and to define all the cycle parameters: period, amplitude and phase. This method also makes it possible to compare the long-term section of the spectrum in shorter, e.g. 50-year series with the short-term section of the spectrum in longer, e.g. 100-year series.

2. Identification of natural, astronomic causes of fluctuations in the Earth's climate. Of fundamental significance is proving the analogous cyclicality of the following variables: *astronomic* – solar activity (*Wolf numbers*), geomagnetic activity, solar constant, Solar system parameters (resultant force of planetary gravitation, planetary tidal forces on the Sun, solar acceleration, mass dispersion in the Solar System); *geological* – volcanic eruptions (*Dust Veil Index – DVI*, time intervals between eruptions, volcanic activity index); *climatological* – atmospheric circulation (eastern, western, longitudinal, zonal, North Atlantic Oscillation index - NAO, cyclonic, air temperature, precipitation); *hydrological* – river runoff, the Baltic Sea water level.

Thanks to the novel and original method of regression sinusoids to determine optimum cycles, a considerable progress could be made in the identification of astronomic causes of climate changes (contemporary and Holocene, i.e. 10,000 years ago), based on the identification principle stating that 'the periodicity of causes and effects is similar'. It is highly unlikely that the presence of more than a dozen synchronous cycles with lengths varying from 3.5 to 180 and several hundred years in chronological sequences of meteorological and dendrological (tree-ring width) as well as sedimentological variables ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) could only be accidental.

In the identification of the causes of climate changes, it is crucial to determine the planetary 178.9-year cyclicality of the Solar System parameters, solar activity (Wolf numbers) and the solar constant. This implies the following theses:

- on the shaping of solar activity (and the solar constant) by resultant forces of the gravitational impact of the planets on the Sun and the Sun's revolution around the mass of the Solar System;
- on the impact of the planets' gravitational fields (including the Moon) on the dates of volcanic eruptions, and, ultimately, the thesis on the impact of the changes in the Solar System parameters on the Earth's climate.

3. Isolating two components in the chronological measurement series: $T = T^* + \Delta T$ – natural T^* and anthropogenic ΔT . The natural T^* component is the resultant of the overlapping cycles. If we lead the regression straight line $T = A_0 + At$ through the measured values, and the straight line $T^* = B_0 + Bt$ through the theoretical values T^* , the difference in the regression coefficients $a = B - A$ will be the tendency of anthropogenic changes. This is synonymous with the introduction of the linear (anthropogenic) component at into the time trend function $T = f(t)$.

4. Explanation of the progressing warming of climate in the 19th and 20th centuries – increasingly warmer winters in Europe, e.g. in: Warsaw (1779-2000) – by 1.1°C/100 years, Lviv (1824-2002) – by 0.5°C/100 years, Vienna (1775-2002) – by 0.7°C/100 years, Moscow (1779-2002) – by 1.6°C/100 years) as the resultant of natural interferences of temperature cycles arising from the increasing activity of the Sun and the decreasing volcanic activity, and the growing anthropogenic greenhouse effect.

5. Preparing twofold forecasts of changes in Polish (and European) climate in the 21st century: climatological and astronomical, which is a novel approach in climatology. In climatological predictions, the deterministic (cyclical) components detected in measurement series are of paramount importance. They involve the extrapolation of the time trend function (resultant of the sinusoidal cycles).

Such predictions concerning changes in air temperature and precipitation in the 21st century were mainly published in Vol. XIV and Vol. XVII of the *Atlas*, while the so-called astronomic predictions were produced by an extrapolation of regression polynomials of the fourth degree relative to the parameters of the Solar System.

6. Based on the organic substances deposited in the sediments of the Polish lakes (Wikaryjskie, Gościąż, Święte) and determination of time using the radioactive carbon ¹⁴C method, the dates of Holocene climate warmings and coolings in Poland were identified in more detail. A major achievement was the detection of very long cycles (lasting several hundred and several thousand years) in the chronological sequences of organic substances and calcium carbonate (dating back 12,000 years), which are analogous to the cycles of the Solar system parameters. This was the first attempt to explain the causes of climatic fluctuations in the Holocene.

Professor Jerzy Boryczka is also the author of some 30 unpublished reviews, including 19 reviews prepared in the years 1993-1995 for the “research projects”, commissioned by the Committee of Scientific Research (Wspólna 1/3). He prepared over 15 expert’s studies concerning air pollution in the vicinity of planned emission sources, such as:

- “Calculation of Maximum Dust and Sulphur Dioxide Concentration Emitted by the Powiśle Heat and Power Generating Plant Based on the Draft Modernisation Concept”, commissioned by WAN BiG in 1965.
- “Supplementary Paper for the Draft Concept of the Koziencice Power Station”. Part III Heat, Vol. 3. “Site Contamination Following Power Station Explosions” (with W. Okołowicz) – commissioned by the Central Water Management Authority, Warszawa 1968.

Most of his research findings were presented at international conferences or symposiums, including:

25th International Geographical Congress, Paris-Alpes (1984); Geographical Congress, Moscow; Paleocology and Paleohydrology of the Balkan Peninsula and Adjacent Areas, Symposium in Bulgaria, Varna, (29 September – 4 October 1985), with B. Wicik); CEB-III-COMECON Conference, Urban Ecological Studies in Central and Eastern Europe, Proceedings from the International Symposium Warsaw-Jabłonna (24-25 September 1986, with M. Stopa-Boryczka and M. Kopacz-Lembowicz); 10th Czech-Polish Symposium, Prague (6-9 June 1988); Climate Conference, Brno (May 1989); European climate reconstructed from documentary data: methods and results: “European Paleoclimate and Men”, Stuttgart (1992, with M. Gutry-Korycka); Warszawa-Mądralin (1992); International Conference, Polish National Committees for IGBP – Global Change, Kraków (17-20 October 1995); International Scientific Conference Kaliningrad/Svietlogorsk, Russia (4-7 June 2001); international conferences: Kraków (2004, 2006, 2007); International Conference, Wrocław (2002); Proceedings from the Conference “Landscape Science – Traditions and Trends” September 8-12, Ivan Franko National University of Lviv, Lviv (2004).

In 1990-1991, Professor Jerzy Boryczka was the research manager in the competition organised by the Ministry of National Education (1990), based on the research project “Natural and Anthropogenic Changes in Poland’s Climate”. In 1991-1993, he was the main contractor in the project endorsed by the Committee of Scientific Research “Natural and Anthropogenic Changes in Warsaw’s Climate” (grant P6 no. 66238).

Professor Jerzy Boryczka has taken part in various research projects abroad, as part of such programmes as: CEB-III-COMECON (1986), INFOEOL (1990,1992), Global Change IGBP (1989, 1993), Polish-Czech Seminars (1986, Praha 1989). He is also involved in cooperation in the field of climatology with the universities in: Lviv, Moscow and Petersburg.

Some of his publications received awards of the Minister of National Education:

- *Atlas of Interrelationships Between Meteorological and Geographical Parameters in Poland* – Part I (1974) and Part II (1976), and of the President of Warsaw University;
- *Atlas of Interrelationships Between Meteorological and Geographical Parameters in Poland* – Vol. IV (1986), Vol. V (1989), Vol. VI (1990), Vol. VII (1992) and Vol. VIII (1994);
- “Holocene Climatic Change in the Light of Statistical Analysis of Laminated Sediments from the Gościąż Lake”, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Matematyka-Fizyka*, 57, *Geochronometria* No. 5, 1989, (with K. Więckowski and B.Wicik);
- “Influence of the City on Fields of Meteorological Variables”, *Urban Ecological Studies in Central and Eastern Europe*, Proceedings from the International Symposium Warszawa-Jabłonna, 24-25 September 1990, Ossolineum, Wrocław (with M. Stopa-Boryczka, M. Kopacz-Lembowicz);

- *Natural and Anthropogenic Changes of the Earth's Climate in the Period from the 18th Till the 21st Century*, Wyd. UW, Warszawa 1993, pp. 400; *Changes of the Earth's Climate*, Wyd. Akademię „Dialog”, Warsaw 1998, pp. 165 (in Polish);

- *Changes of the Earth's Climate and Their Causes. Hypotheses and Facts*, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka (eds.). Materials of the Climatology Department of Warsaw University's Faculty of Geography and Regional Studies from the 6th Science Picnic of Polskie Radio BIS “What Does Science Give Art?”, 8 June 2002, Warszawa.

Volumes X and XI of the *Atlas* were prepared as part of a three-year research project (carried out in 1995-1998) entitled: “Models of Natural and Anthropogenic Changes of Poland's Climate”, submitted to the Committee of Scientific Research (a follow-up to the very well evaluated grant no. 6238 92 02).

He was the editor of two jubilee volumes celebrating 50 years of scientific and didactic activity of the Climatology Department: *Prace i Studia Geograficzne*, vol. 28 (2001, with M. Stopa-Boryczka) and vol. 29 (2001, with U. Kossowska-Cezak). He was also the editor of the recent volumes of the *Atlas of Interrelationships Between Meteorological and Geographical Parameters in Poland* and materials from the Science Picnics of Polskie Radio BIS:

- *Changes of the Earth's Climate and Their Causes. Hypotheses and Facts*, 6th Picnic “What Does Science Give Art?”, 8 June 2002.

- Europe's Climate. The Past – the Present – the Future, 8th Picnic “Science Without Borders”, 22 May 2004.

- *Weather Forecasts in Proverbs and How They Work in Poland*. 10th Picnic in Warsaw “The World in 10 Years”, 3 June 2006.

- Cyclicity and Tendencies in Changes of Poland's Climate. 11th Picnic, “Maths and Us”, 26 May 2007.

II. Didactic activity

For nearly 40 years Professor Jerzy Boryczka has held lectures and classes for students specialising in climatology:

1. *Dynamic Meteorology* (Year IV, 45 hours);
2. *Mathematical Foundations of Climatology* (Year III, 90 hours);
3. *Methods of Climatological Research and Studies* (Year IV, 90 hours).

Since 1994, he has also held lectures in Dynamic Climatology for Year II students of the Inter-faculty Studies in Environmental Protection (30 hours). He has also given some lectures for postgraduate students of the Faculty of Geography and Regional Studies on changes in the Earth's climate.

In 1969 and 1970, he lectured on the Elements of Atmospheric Physics for students specialising in climatology at the Maria Curie-Skłodowska University in Lublin (4 hours every 2 weeks).

Professor Jerzy Boryczka has supervised over 50 dissertations in climatology (including 42 MA theses and 11 BA theses). He has also supervised four doctoral dissertations:

1. dr Jolanta Wawer – *Thermal Characteristics of Warsaw's Climate* (1994)
2. dr Anna Michalska – *Long-term Precipitation Changes in Poland* (1996)
3. dr Elwira Żmudzka – *Cyclic Air Temperature Changes in Poland* (1998)
4. dr Robert Cebulski – *Role of Atmospheric Circulation in Shaping Precipitation and Water Levels in Mountain Rivers* (2007).

He also supervises two planned PhD dissertations:

1. mgr Katarzyna Pietras – *Impact of Forest Communities on the Local Climate in the Borecka Primeval Forest* (doctoral studies),
2. mgr Andrzej Kurowski – *Cyclic Precipitation Changes in Europe and their Circulation Factors* (studies – individual consultations).

Professor Jerzy Boryczka is the co-author of the university textbook *Classes in Climatology* and author of the *Introduction to Mathematical Methods in Climatology*. He also devotes a lot of time to consultations concerning the application of statistical methods in BA, MA and PhD dissertations in various specialisations and in publications.

By a resolution of the State Council, Professor Jerzy Boryczka was awarded the Golden Cross of Merit for his 20-year didactic activity (22 June 1982, no. 1724-82-27).

III. Organisational activity

In the period 1 October 1987 – 31 December 1990, Professor Jerzy Boryczka was the Dean's Plenipotentiary for IT, and initially – plenipotentiary for the SI system. He dealt with EMC computations performed at Warsaw University's IT Centre, plans, coordination of computations requests made by the Faculty, software used and IT hardware purchases.

From 1 December 1990 till 3 September 1993, Professor Jerzy Boryczka was a member of the Warsaw University Senate IT Committee, supporting further computerisation of the Faculty of Geography and Regional Studies. He is the author of several computer programs devised in the FORTRAN language (jointly with the staff of the University's IT Centre). Most important of them are applications to compute the periodicity of any variables using the "regression sinusoid" method (bor1.exe – for determining spectrums and cycles, bor2.exe – for determining amplitudes and phases of individual cycles, bor3.exe – cycle interference), which is frequently used in MA, PhD and postdoctoral dissertations.

For many years, Professor Jerzy Boryczka organised field research during field classes and specialisation placements, for example: in 1962-1963 – at Lake Śniardwy (Szeroki Ostrów island), and later – in the vicinity of Suwałki. He organised the INTERKOSMOS

TELEFOTO-78 meteorological study in several locations near Płock covered by satellite imagery. The results of these measurements, made mainly by students, provided the basis for a two-part study (Warsaw University President Award of the 1st Degree, 1979). He also organised meteorological research in several locations in the Wilga river basin (commissioned by the Institute of Meteorology and Water Economy), and many field research programmes and students placements in Warsaw while carrying out the government FP-5 project entitled: “Characteristics and Evaluation of Climatic Conditions in Białołęka Dworska and Assessing Impact of Buildings on Their Changes” (Warsaw University President team award).

In the 1960s, Professor Jerzy Boryczka was a member of the Experts’ Committee of the Council for the Protection of Atmospheric Air (ROPA), and in the 1970s – a member of the Scientific Council of the Provincial State Council in Warsaw. Later he was a member of KAPG, an international scientific organisation.

From 1 February 1991 till 31 August 1993 he was the Deputy Director of the Faculty’s Institute of Physical Geography.

Since 1 January 2004, Professor Jerzy Boryczka has been the Head of the Climatology Department (with term of office until 31 December 2007). In 1996-1998, he was a member of the Scientific Council of Doctoral Studies.

He is a member of the Council of Warsaw University’s Faculty of Geography and Regional Studies and the Scientific Council of the Faculty’s Institute of Physical Geography.

Professor Jerzy Boryczka is a member of three scientific societies:

1. Polish Astronomical Society (since 1961),
2. Polish Society of Geophysics (since 1968),
3. Polish Geographical Society (since 1973).

On the occasion of his Jubilee, all friends and colleagues wish him the best of health and further interesting studies in climatic changes and their causes, and dedicate to Professor Jerzy Boryczka this double volume of the *Atlas of Interrelationships Between Meteorological and Geographical Parameters in Poland*, Vol. XX and XXI: *Cyclical Changes of European Climate in the Last Millennium on the Basis of Dendrological Data*, Warsaw 2007.

I. WPROWADZENIE

Treść XX-XXI tomu *Atlasu* nawiązuje bezpośrednio do tomu XVII i XIX, dotyczących mroźnych i łagodnych zim oraz najcieplejszych i chłodnych okresów letnich w Polsce na tle Europy, i do tomu VIII, poświęconego cechom oceanicznym klimatu Europy ze szczególnym uwzględnieniem Polski (Boryczka, Stopa-Boryczka i inni 1994, 2003, 2005).

Celem tego tomu jest określenie tendencji zmian cech termicznych klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu (ze szczególnym uwzględnieniem ostatnich stuleci XVIII-XXI) z wyeksponowaniem ich przyczyn.

Najpierw określono cechy termiczne klimatu Europy, wynikające z jej położenia w umiarkowanych szerokościach geograficznych – w sąsiedztwie Oceanu Atlantyckiego i strefowego ukształtowania jej powierzchni. Badania przeprowadzono na podstawie wyników pomiarów temperatury powietrza w latach 1931-1960 i 1961-1990. Pola temperatury powietrza opisano empirycznymi modelami – wielomianami regresji pierwszego, drugiego, trzeciego i czwartego stopnia $T = f(\varphi, \lambda, H)$ względem trzech współrzędnych: szerokości i długości geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza. Symulują one zarówno zmienność strefową temperatury powietrza (uwarunkowaną dopływem promieniowania słonecznego), jak też oddziaływanie Oceanu Atlantyckiego i wpływ wysokości nad poziomem morza.

Oryginalną część pracy stanowi rozdział III pod tytułem *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w XIX-XXI wieku*. Zawiera on wykresy widm i przebiegów wieloletnich temperatury powietrza wraz z prostymi regresjami na przykładzie średnich rocznych w 40 miejscowościach europejskich. Widma temperatury powietrza wyznaczono metodą sinusoid regresji, a tendencje zmian określono równaniami prostych regresji. Szczególne znaczenie mają jednak prognozy temperatury powietrza do 2100 roku na podstawie interferencji silniejszych cykli zawartych w widmach. Prognozy wskazują na naturalne ochładzanie klimatu Europy w XXI wieku. Według tych prognoz w XXI wieku można oczekiwać ochłodzenia, które częściowo może być złagodzone przez czynniki antropogeniczne (efekt cieplarniany i miejskie wyspy ciepła). W prognozach przyjęto założenia, że ekstrema wykrytych cykli (obecnych w widmach temperatury powietrza) o dość dużych amplitudach (istotnych statystycznie) będą się powtarzać nadal, tak jak w XVIII-XX wieku.

W tabelach zestawiono po 10 najchłodniejszych lat i po 10 najcieplejszych lat w XVIII-XX wieku. Kolejna seria tabel dotyczy krótkich, średnich i długich cykli temperatury powietrza w 40 miejscowościach europejskich reprezentujących prawie wszystkie jednostki fizycznogeograficzne.

Ochłodzenia i ocieplenia klimatu są kształtowane wahaniami dopływu energii słonecznej do powierzchni Ziemi, zależnej od aktywności Słońca (stałej słonecznej) i za-

wartości pyłów wulkanicznych w atmosferze – pochłaniających i rozpraszających promieniowanie słoneczne.

Najbardziej poznane (na podstawie danych instrumentalnych) jest ostatnie, największe ochłodzenie w Europie. 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 (ok. 1700 r.). To ostatnie globalne ochłodzenie klimatu (także w Europie) wystąpiło podczas wzmożonej aktywności wulkanicznej, po największych wybuchach wulkanów: 1813 r. – Cotopaxi, 1815 r. – Tambora, 1835 r. – Cosequina.

Temperatura powietrza w Europie w 1829 r. wynosiła: 1,9°C – Tallin, 3,6 – Sztokholm, 4,7 – Warszawa, 5,2 – Wrocław, 7,4 – Wiedeń, a w 1830 r.: 5,3 – Wrocław, 5,4 – Lwów.

W Europie przede wszystkim zimy są coraz cieplejsze. Na przykład w Warszawie zimy są cieplejsze o 1,1°C/100lat, a lata chłodniejsze prawie o 0,1°C/100 lat. Jeszcze większy wzrost temperatury powietrza podczas zimy występuje w Krakowie – 1,5°C/100 lat i Moskwie – 1,6°C/100 lat. Średnia roczna temperatura powietrza wzrosła w Warszawie o 0,06°C, Krakowie – o 0,8°C, Moskwie – o 0,7°C na 100 lat.

Nie wiadomo, jaka część postępującego ocieplenia klimatu jest efektem oddziaływania czynników naturalnych, a jaka – czynników antropogenicznych.

Najłagodniejsze zimy wystąpiły w ostatniej dekadzie XX wieku, co znalazło swój wyraz w średnich rocznych: 1990 r. – Tallin (6,6°C), Mińsk (7,7), Monachium (9,2), Odessa (9,2), Kijów (9,3), Warszawa (9,7), Wrocław (10,0), Berlin (10,4), Genewa (10,4), Kopenhaga (10,8), Wiedeń (11,1), Zagrzeb (12,6), Marsylia (15,6).

Najcieplejsze pory letnie wystąpiły w 1811 roku, co tylko częściowo znalazło odbicie w średnich rocznych: Kremsmuenster (9,6°C), Monachium (9,7), Odessa (9,7), Wiedeń (11,2), Praga (11,3), Rzym (11,3), Innsbruck (11,4).

Według średnich rocznych wyróżnia się rok 2000: Ateny (19,3°C), Marsylia (15,5), Zagrzeb (13,4), Wiedeń (11,6), Wrocław (10,3), Kijów (9,1), Lwów (9,0), Mińsk (7,8), Tallin (7,1), Moskwa (6,7), Oxford (6,6).

Na klimat Europy dominujący wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego: Niż Islandzki i Wyż Azorski. Te dwa centra ciśnienia związane z różnicą temperatury między wodą Atlantyku Północnego i lądem są w ciągu roku ze sobą ujemnie skorelowane. O wpływie aktywności Słońca na cyrkulację atmosfery (na dystrybucję ciepła na Ziemi) świadczą analogiczne cykle cyrkulacji atmosfery i liczb Wolfa, a także temperatury powietrza.

Wskaźnik NAO w latach 1825-2000 cechuje się okresowością 8-letnią, kilkunastoletnią i 106,3-letnią, a temperatura powietrza w Europie cechuje się okresowością 8-, 11-, 100- i 180-letnią.

Temperatura powietrza podczas zim w Warszawie i wskaźnik NAO cechuje analogiczna cykliczność z dominującym okresem 7,8-letnim. Podobieństwo tych cykli świadczy, iż zimy w Warszawie są kształtowane przez okresowe wahania Oscylacji

Północnoatlantyckiej NAO (cyrkulacji strefowej). Oto zimowe okresy około 8-letnie temperatury powietrza na innych stacjach w Europie i ich amplitudy: Kraków – 8,3 (1,87°C), Wrocław – 8,3 (1,53°C), Lwów – 8,3 (1,30°C), Praga – 8,3 (1,06°C), Berlin – 7,7 (1,54°C), Genewa – 7,7 (0,62°C), Wiedeń – 8,3 (0,87°C), Rzym – 7,9 (0,30°C), Sztokholm – 7,8 (1,33°C), Kopenhaga – 7,8 (1,24°C), Moskwa – 7,9 (0,76°C).

W lecie okresowość jest zbliżona, amplitudy są prawie o połowę mniejsze.

Średnia roczna temperatury powietrza wykazuje podobną cykliczność: Kraków – 8,3 (0,86°C), Kopenhaga – 8,3 (0,24°C), Berlin – 7,8 (0,72°C), Kijów – 7,8 (0,54°C), Lwów – 8,3 (0,42°C), Marsylia – 7,8 (0,22°C), Moskwa – 7,9 (0,38°C), Oslo – 7,8 (0,60°C), Paryż – 7,8 (0,32°C), Praga – 7,8 (0,48°C), Rzym – 8,1 (0,24°C), Sztokholm – 7,8 (0,58°C), Warszawa – 7,8 (0,52°C), Wiedeń – 7,8 (0,38°C), Wilno – 7,8 (0,64°C), Wrocław – 7,8 (0,50°C), Zagrzeb – 8,2 (0,46°C).

Dużą rolę w kształtowaniu klimatu odgrywają długie cykle: 102- i 187-letnie aktywności Słońca. Analogiczne okresy są obecne w widmach temperatury powietrza. Oto zimowe cykle około 100-letnie temperatury powietrza w Europie: Warszawa – 113,4, Kraków – 90,0, Wrocław – 123,3, Lwów – 108,8, Praga – 116,3, Wiedeń – 89,8, Bazylea – 85,5, Kopenhaga – 80,5, Sztokholm – 86,3, Uppsala – 102,7. Dla porównania zestawiono też najdłuższe cykle średnich rocznych: Berlin – 170,4, Genewa – 98,1, Kijów – 95,1, Kopenhaga – 87,0, Kraków – 245,2, Lwów – 125,4, Moskwa – 152,3, Oslo – 181,9, Praga – 116,1, Ryga – 91,6, Rzym – 144,4, Uppsala – 162,5, Warszawa – 106,1, Wiedeń – 93,7, Wrocław – 125,8, Wilno – 182,9.

Okresy prawie dwuwiekowe są zbliżone do okresu planetarnego 178,9 lat, po upływie którego powtarzają się wartości parametrów Układu Słonecznego. Ich długości wynoszą: Kraków (lipiec – 179,8), Lwów (lipiec – 158,8), Berlin (lipiec – 154,4), Kopenhaga (lipiec – 175,2), Anglia środkowa (styczeń – 191,1), Uppsala (styczeń – 193,3), Innsbruck (styczeń – 164,2), Trondheim (styczeń – 207,7 lat).

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

Analogiczne okresy około 8. i 11-letnie są obecne w chronologicznych ciągach rocznych przyrostów drewna tj. szerokości pierścieni (słoi) dębów rosnących w Polsce (tab. 1.1).

Tabela 1.1. Okresy (Θ lat) około 8. i 11- letnie szerokości pierścieni dębów (*Quercus robur*) rosnących w Polsce (XVIII-XX wieku), R – współczynnik korelacji

Table 1.1. Close-to-8 and 11-years cycles (Θ years) of English oak (*Quercus robur*) tree ring widths from Poland (XVIII-XX century); R – correlation coefficient

Miejsce	Θ	R	Θ	R	Miejsce	Θ	R	Θ	R
Gdańsk	8,0	0,127	11,6	0,219	Roztocze	7,6	0,147	11,2	0,194
Gołdap	7,8	0,154	10,8	0,130	Suwałki	7,5	0,278	11,8	0,172
Hajnówka	7,9	0,144	11,2	0,258	Toruń	7,7	0,161	11,4	0,181
Koszalin	8,6	0,193	11,1	0,127	Warszawa	7,7	0,175	11,1	0,124
Kraków	7,7	0,235	11,5	0,137	Wrocław	8,3	0,206	11,6	0,162

Ciągi chronologiczne szerokości pierścieni drzew: sosny, świerka i modrzewia w Europie cechują się również podobnymi okresami około 100. i 200-letnimi (tab. 1.2).

Tabela 1.2. Okresy (Θ lat) około 35-, 100. i 200-letnie szerokości pierścieni drzew (sosna, świerk, modrzew) rosnących w Europie
 Table 1.2. Approximately 35-, 100- and 180-year cycles (Θ years) of ring widths of trees growing in Europe (pine, spruce and larch)

Drzewo	Przedział czasu	Θ	R	Θ	R	Θ	R
Sosna							
Forfjorddalen (Norway)	877-1994	35	0,148	112	0,178	189	0,121
Kola (Russia)	1577-1997	33	0,259	109	0,394	186	0,277
Świerk							
Stonnggrandes (Norway)	1403-1997	35	0,165	114	0,191	–	–
Falkenstein (Germany)	1540-1995	46	0,225	110	0,298	189	0,414
Modrzew							
Pinega 1 (Russia)	1598-1990	32	0,286	103	0,177	217	0,286

Należy podkreślić duży udział mgr Szymona Bijaka – doktoranta Zakładu Dendrometrii SGGW w Warszawie, w opracowaniu rozdziałów IV i V dotyczących cykliczności klimatu Europy, ze szczególnym uwzględnieniem Polski, na podstawie danych dendrologicznych.

Istotny jest również ostatni rozdział VI pt. *Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu opadów atmosferycznych i stanów wody rzeki górskiej*, opracowany przez Roberta Cebulskiego – autoreferat pracy doktorskiej obronionej na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego. Obrona pracy doktorskiej odbyła się w dniu 29 maja 2007 r. (promotor – prof. dr hab. Jerzy Boryczka, recenzenci: prof. dr hab. Tadeusz Niedźwiedz, UŚ i dr hab. Artur Magnuszewski, UW).

Celem tej pracy jest określenie wpływu cyrkulacji atmosferycznej na pole opadów atmosferycznych i stany wody w korycie rzeki górskiej na przykładzie Skawy. Jest nim wykazanie analogicznych okresów opadów atmosferycznych i stanów wody oraz istotnych zależności regresyjnych od: aktywności Słońca, Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) i częstości typów cyrkulacji. Dużą wartość poznawczą mają zbliżone widma i okresy, wyznaczone metodą „sinusoid regresji”, badanych zmiennych tj. stanów wody w rzece górskiej, opadów atmosferycznych, wskaźników cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca.

II. CECHY TERMICZNE KLIMATU EUROPY

W pracy określono najważniejsze cechy termiczne klimatu Europy, wynikające z jej położenia w umiarkowanych szerokościach geograficznych – w sąsiedztwie Oceanu Atlantyckiego i strefowego ukształtowania jej powierzchni.

Miarami wpływu położenia geograficznego i wysokości nad poziomem morza na temperaturę powietrza są składowe gradienty pola: poziome – południkowy i równoleżnikowy oraz pionowy hipsometryczny. Składowe gradienty pola wyznaczono na podstawie równań hiperpłaszczyzn regresji oraz wielomianów regresji czwartego stopnia względem szerokości (φ) i długości geograficznej (λ) oraz wysokości nad poziomem morza (H). W przypadku równań hiperpłaszczyzn regresji gradientami są współczynniki regresji, a wielomianów – pochodne cząstkowe względem φ , λ , H . Nazwano je gradientami geograficznymi. Badania przeprowadzono na podstawie wyników pomiarów temperatury powietrza na stacjach meteorologicznych w latach 1961-1990, 1931-1960 (CLINO, 1962, 1971)

W tym celu, pole temperatury powietrza w Europie opisano empirycznymi modelami – wielomianami regresji pierwszego, drugiego, trzeciego i czwartego stopnia $T = f(\varphi, \lambda, H)$ względem trzech współrzędnych: szerokości geograficznej φ , długości geograficznej λ i wysokości nad poziomem morza H . Symulują one zarówno zmienność strefową temperatury powietrza (uwarunkowaną dopływem promieniowania słonecznego) jak też oddziaływanie Oceanu Atlantyckiego oraz wpływ wysokości nad poziomem morza.

Dobrym narzędziem badań ogólnych cech klimatu Europy okazało się równanie hiperpłaszczyzny regresji (wielomian pierwszego stopnia):

$$T = a_0 + a_1\varphi + a_2\lambda + a_3H.$$

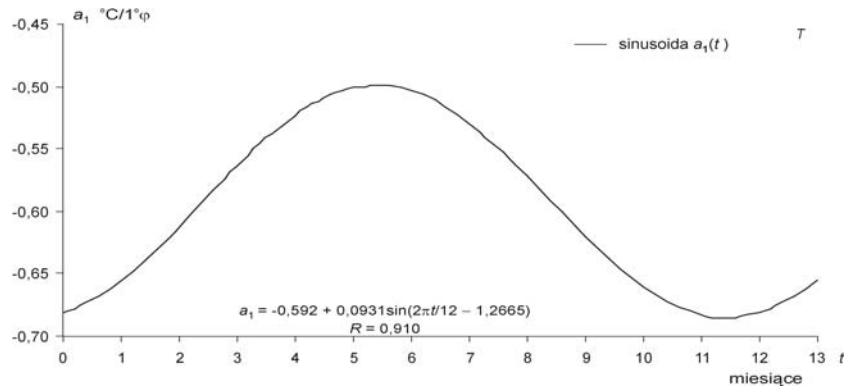
Współczynniki regresji cząstkowej a_1 , a_2 , a_3 – to gradienty pola temperatury powietrza:

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = a_1 \text{ – południkowy, } \frac{\partial T}{\partial \lambda} = a_2 \text{ – równoleżnikowy, } \frac{\partial T}{\partial H} = a_3 \text{ – hipsometryczny,}$$

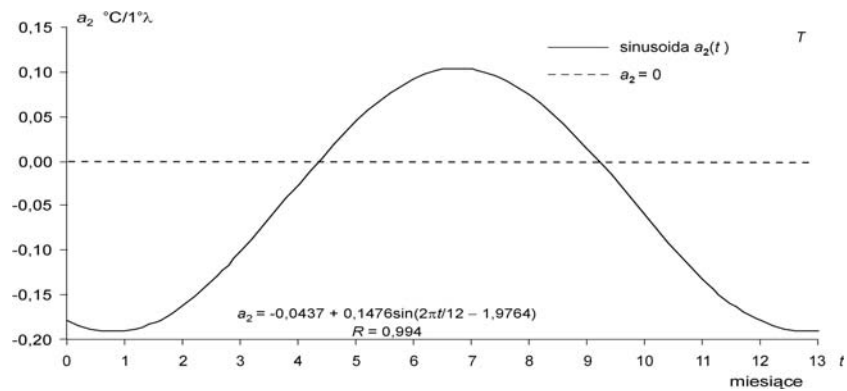
wyrażone odpowiednio w $^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\varphi$, $^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\lambda$, $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$

1. Zmiany roczne gradientów temperatury powietrza

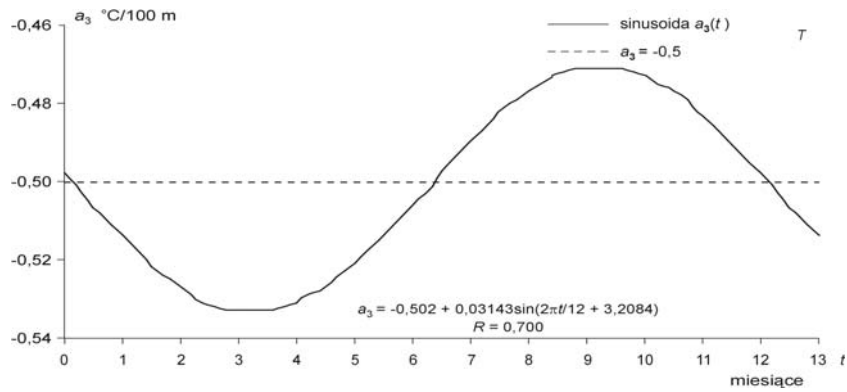
Zmiany roczne gradientów temperatury powietrza: południkowego a_1 , równoleżnikowego a_2 i hipsometrycznego a_3 w Europie, opisane równaniami sinusoid regresji o okresie $\Theta = 1$ rok przedstawiono na rysunkach 2.1-2.3.



Rys. 2.1. Zmiany roczne gradientu południkowego a_1 temperatury powietrza w Europie w latach 1961-1990
 Fig. 2.1. The annual changes of the longitudinal gradient a_1 of air temperature in Europe in years 1961-1990



Rys. 2.2. Zmiany roczne gradientu równoleżnikowego a_2 temperatury powietrza w Europie latach 1961-1990
 Fig. 2.2. The annual changes of the latitudinal gradient a_2 of air temperature in Europe in years 1961-1990



Rys. 2.3. Zmiany roczne gradientu hipsometrycznego a_3 temperatury powietrza w Europie w latach 1961-1990
 Fig. 2.3. The annual changes of the hypsometric gradient a_3 of air temperature in Europe in years 1961-1990

Gradient południkowy (a_1) wskazuje o ile zmienia się temperatura powietrza wzdłuż południka, gdy przesuniemy się ku północy o $\Delta\varphi = 1^\circ$. Gradient południkowy temperatury powietrza a_1 jest ujemny w ciągu całego roku ($a_1 < 0$). Sinusoida przebiegu rocznego ma maksimum $-0,5^\circ\text{C}/1^\circ\varphi$ w maju, a minimum w miesiącach zimowych: listopad, grudzień $-0,68$, styczeń $-0,65^\circ\text{C}/1^\circ\varphi$. Gradient równoleżnikowy (a_2) wyraża zmiany temperatury powietrza ku wschodowi, gdy odległość (λ) od Oceanu Atlantyckiego wzrośnie o $\Delta\lambda = 1^\circ$. Gradient równoleżnikowy zmienia znak w ciągu roku, z dodatniego $a_2 > 0$ w miesiącach półrocza ciepłego IV-IX ($a_{2\max} = 0,1^\circ\text{C}/1^\circ\lambda$ – w lipcu) na ujemny $a_2 < 0$ w miesiącach półrocza chłodnego ($a_{2\min} = -0,2^\circ\text{C}/1^\circ\lambda$ – w styczniu i grudniu).

Natomiast gradient hipsometryczny (a_3) jest miarą zmian temperatury powietrza ze wzrostem wysokości n.p.m. o $\Delta H = 100$ m. Jego minimum $-0,53^\circ\text{C}/100\text{m}$ przypada w marcu, a maksimum $-0,47^\circ\text{C}/100\text{m}$ – we wrześniu.

Średnie wartości gradientów: południkowego, równoleżnikowego i hipsometrycznego w poszczególnych porach roku zestawiono w tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Gradienty temperatury powietrza w Europie w latach 1961-1990: południkowy (a_1 $^\circ\text{C}/1^\circ\varphi$), równoleżnikowy (a_2 $^\circ\text{C}/1^\circ\lambda$) i hipsometryczny (a_3 $^\circ\text{C}/100\text{m}$), (R^2 – współczynnik determinacji, R – współczynnik korelacji wielokrotnej)

Table 2.1. Gradients of air temperature in Europe in years 1961-1990: longitudinal (a_1 $^\circ\text{C}/1^\circ\varphi$), latitudinal (a_2 $^\circ\text{C}/1^\circ\lambda$) and hipsometric (a_3 $^\circ\text{C}/100$ m), (R^2 – coefficient of the determination, R – coefficient of the multiple correlation)

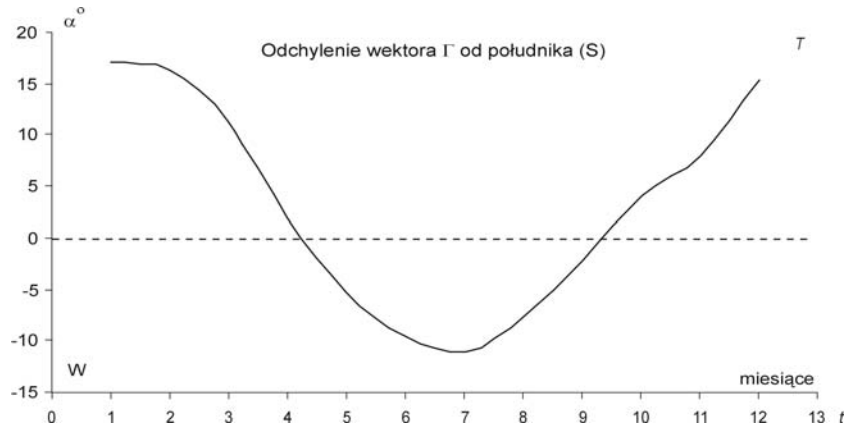
Pory roku	a_0	a_1	a_2	a_3	$R^2\%$	R
Zima	37,88	-0,6599	-0,1922	-0,53	86,12	0,928
Wiosna	37,96	-0,5591	-0,0325	-0,52	86,03	0,927
Lato	43,73	-0,5256	0,0867	-0,49	84,86	0,921
Jesień	42,45	-0,6237	-0,0367	-0,47	87,40	0,935
Półrocze chłodne	38,77	-0,6410	-0,1390	-0,50	86,60	0,931
Półrocze ciepłe	42,24	-0,5431	0,0517	-0,50	85,59	0,925
Rok	40,50	-0,5921	-0,0437	-0,50	86,10	0,928

Gradient południkowy a_1 temperatury powietrza spełnia zasadę strefowości klimatu Ziemi w ciągu całego roku. Średni roczny spadek temperatury powietrza ze wzrostem szerokości geograficznej na obszarze Europy wynosi $-0,6^\circ\text{C}/1^\circ\varphi$. Gradient równoleżnikowy a_2 temperatury powietrza w Europie charakteryzuje jej zmienność z zachodu na wschód – spadek o $0,14^\circ\text{C}/1^\circ\lambda$ w półroczu chłodnym, a jej wzrost o $0,05^\circ\text{C}/1^\circ\lambda$ w półroczu ciepłym. Natomiast gradient hipsometryczny a_3 temperatury powietrza opisuje średni jej spadek o $0,5^\circ\text{C}/100$ m ze wzrostem wysokości nad poziomem morza.

Należy podkreślić, że w ten sposób wyznaczone gradienty a_1 , a_2 , a_3 na podstawie równania hiperpłaszczyzny regresji wyodrębniają zmienność poziomą i pionową temperatury powietrza. Gradient hipsometryczny $a_3 = -0,5^\circ\text{C}/100\text{m}$ jest zbliżony do gradientu wilgotnoadiabatyicznego – określonego na podstawie sondażu aerologicznych w przyziemnej warstwie atmosfery. Trzeba zauważyć, że gradient południkowy $a_1 = -0,6^\circ\text{C}/1^\circ\varphi$,

nie odbiega też od średniego na półkuli północnej $0,5-0,6^\circ$ (Chromow, 1969; Witwicki, 1980).

Odchylenia gradientów horyzontalnych $\Gamma = [a_1, a_2]$ od południka (S) tj. ich azymuty astronomiczne $\alpha = \arctang(a_2/a_1)$ w poszczególnych miesiącach przedstawiono na rysunku 2.4.



Rys. 2.4. Azymuty astronomiczne gradientu horyzontalnego temperatury powietrza (wektora Γ) w Europie w latach 1961-1990

Fig. 2.4. Horizontal gradient astronomic azimuth of air temperature (vectors Γ) in Europe in years 1961-1990

Są one miarą ocieplającego zimą ($\alpha > 0$) i ochładzającego latem ($\alpha < 0$) oddziaływania Oceanu Atlantyckiego na klimat Europy.

W zmienności temperatury powietrza wzdłuż południków i równoleżników można metodą sinusoid regresji wyodrębnić tzw. fale termiczne, zastępując czas współrzędnymi geograficznymi Φ, Λ (uporządkowanymi rosnąco): $T = a_0 + b \sin(2\pi\Phi/\Theta + c)$, $T = a_0 + b \sin(2\pi\Lambda/\Theta + c)$.

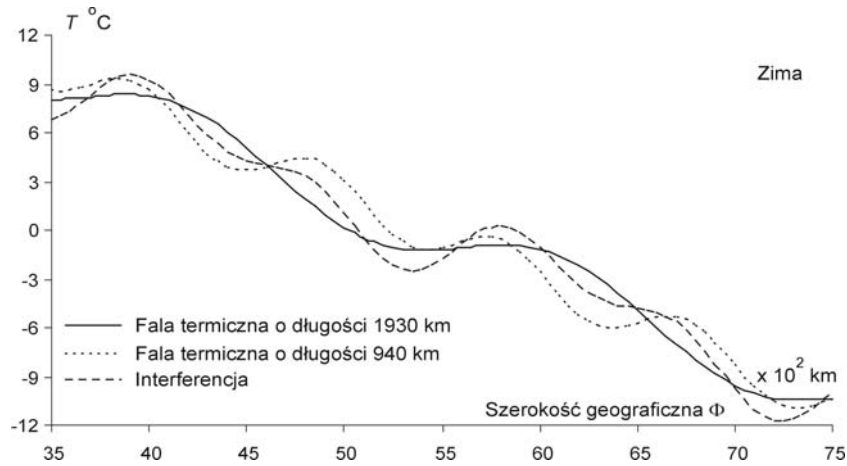
Widma (falogramy) południkowych i równoleżnikowych zmian temperatury powietrza w zimie w Europie wyznaczono zmieniając Φ, Λ co 0,1 tj. co 10 km. Widmo południkowych zmian zawiera dwie najsilniejsze fale o długościach 940, 1930 km i amplitudach 2,6; 3,6°C. Zależność temperatury od szerokości geograficznej Φ , wyrażonej w setkach km dobrze opisuje wzór (współczynnik korelacji wielokrotnej $R = 0,722$):

$$T = 25,949 - 0,481549\Phi + 1,2929\sin(2\pi\Phi/9,4 + 0,542330) + 1,7947\sin(2\pi\Phi/19,3 + 0,522529).$$

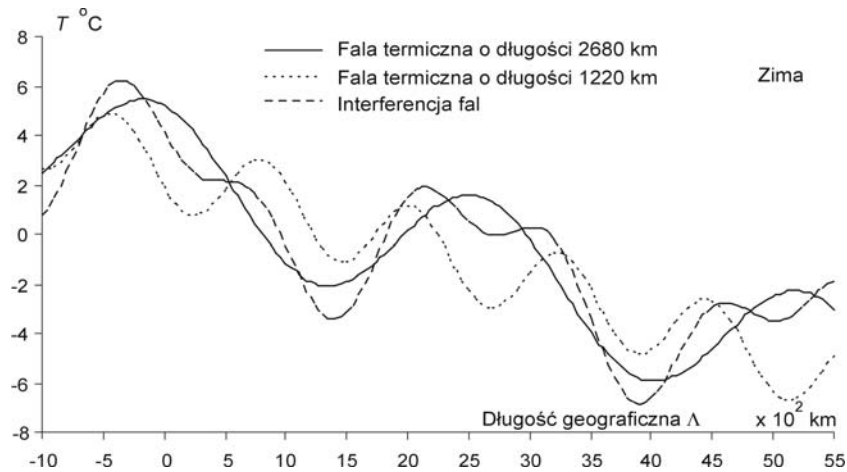
Widmo równoleżnikowych zmian temperatury w zimie zawiera także dwie najsilniejsze fale o długościach 1220, 2680 km i amplitudach 2,8, i 5,3°C. Zależność temperatury powietrza od długości geograficznej opisuje wzór ($R = 0,455$):

$$T = 2,318 - 0,132193\Lambda + 1,3897\sin(2\pi\Lambda/12,2 + 2,579177) + 2,6350\sin(2\pi\Lambda/26,8 + 1,772588).$$

Wykresy wyznaczonych fal termicznych i ich interferencję (wypadkową) przedstawiono na rysunkach 2.5-2.6.



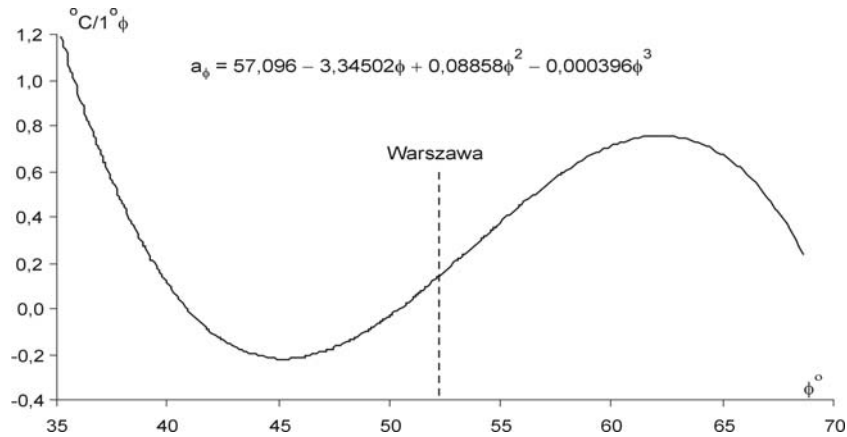
Rys. 2.5. Profil południkowy temperatury powietrza w zimie w Europie
 Fig. 2.5. Profile of the longitudinal of air temperature in winter in Europe



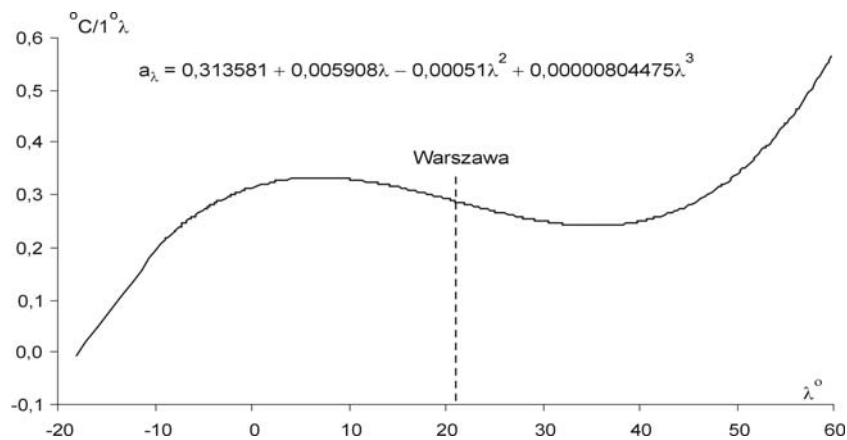
Rys. 2.6. Profil równoleżnikowy temperatury powietrza w zimie w Europie
 Fig. 2.6. Profile of the latitudinal of air temperature in winter in Europe

2. Profile gradientów rocznej amplitudy temperatury powietrza

Gradyenty południkowy, równoleżnikowy i hipsometryczny rocznej amplitudy temperatury powietrza w Europie (A) określono jako pochodne $a_\varphi = dA/d\varphi$, $a_\lambda = dA/d\lambda$, $a_H = dA/dH$ wielomianów regresji czwartego stopnia $A(\varphi)$, $A(\lambda)$, $A(H)$. Gradyenty a_φ , a_λ , a_H nie są jednakowe w Europie. Ich profile południkowy, równoleżnikowy i hipsometryczny przedstawiają wykresy na rysunkach 2.7-2.9.



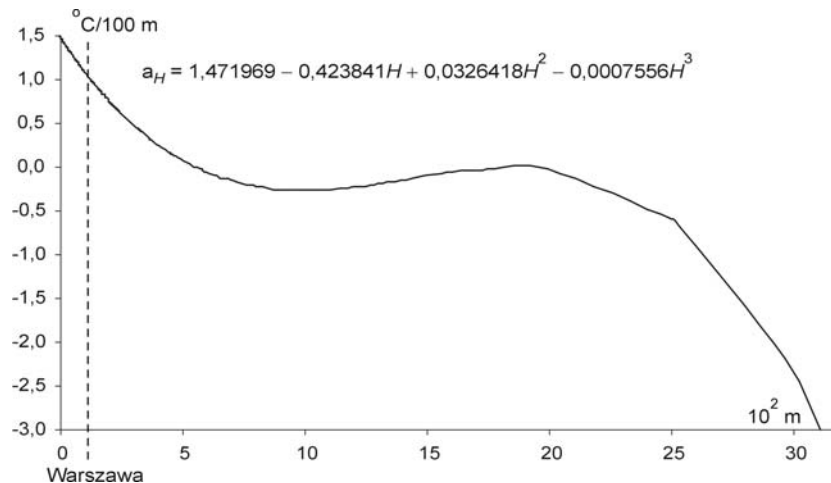
Rys. 2.7. Profil południkowy gradientu a_ϕ amplitudy rocznej temperatury powietrza w Europie
 Fig. 2.7. Profile of the longitudinal gradient a_ϕ of the annual amplitude of the air temperature in Europe



Rys. 2.8. Profil równoleżnikowy gradientu a_λ amplitudy rocznej temperatury powietrza w Europie
 Fig. 2.8. Profile of the latitudinal gradient a_λ of the annual amplitude of the air temperature in Europe

Gradient południkowy amplitudy rocznej a_ϕ temperatury powietrza w Europie ma minimum $-0,22^\circ\text{C}/1^\circ\phi$ na równoleżniku $\phi = 45,4^\circ$ – poza obszarem Polski. Na północ i południe od tego równoleżnika, gradient południkowy amplitudy rocznej a_ϕ rośnie, osiągając $1,22^\circ\text{C}/1^\circ\phi$ na szerokości geograficznej $35,1^\circ$ i $0,76^\circ\text{C}/1^\circ\phi$ w szerokości $62,4^\circ$. W Warszawie $a_\phi = 0,14^\circ\text{C}/1^\circ\phi$.

Gradient równoleżnikowy a_λ amplitudy rocznej temperatury powietrza w Europie ma maksimum lokalne $0,33^\circ\text{C}/1^\circ\lambda$ na południku $\lambda = 7,0^\circ$ i minimum $0,24^\circ\text{C}/1^\circ\lambda$ na południku $\lambda = 35,3^\circ$. Na krańcach Europy gradient a_λ osiąga ekstremalne wartości: minimum absolutne $0,01^\circ\text{C}/1^\circ\lambda$ przy długości $\lambda = -18,1^\circ$ i maksimum absolutne $0,56^\circ\text{C}/1^\circ\lambda$ przy $\lambda = 59,8^\circ$. W Warszawie $a_\lambda = 0,4^\circ\text{C}/1^\circ\lambda$.



Rys. 2.9. Profil hipsometryczny gradientu a_H amplitudy rocznej temperatury powietrza w Europie
 Fig. 2.9. Profile of the hypsometric gradient a_H of the annual amplitude of the air temperature in Europe

Gradient hipsometryczny a_H amplitudy rocznej temperatury powietrza w Europie ma dwa ekstrema absolutne – maksimum $1,58^\circ\text{C}/100\text{ m}$ na poziomie morza $H = 0$ i minimum $-3^\circ\text{C}/100\text{ m}$ na wysokości ponad 3000 m . Ponadto istnieją dwa ekstrema lokalne: minimum $-0,26^\circ\text{C}/100\text{ m}$ na wysokości 1000 m i maksimum $-0,02^\circ\text{C}/100\text{ m}$ na wysokości 1775 m .

Cechy oceaniczne i kontynentalne klimatu Europy dobrze charakteryzują profile rocznej amplitudy temperatury powietrza $A(\lambda)$ i jej gradientu równoleżnikowego a_λ . Gradient zerowy rocznej amplitudy $a_\lambda = 0^\circ\text{C}/1^\circ\lambda$ występuje w pobliżu południka -18° . Gradient równoleżnikowy jest dodatni na obszarze Europy (amplituda roczna temperatury wzrasta na wschód). Wynika to niewątpliwie z adwekcji mas powietrza polarnomorskiego nad obszar Europy.

3. Przestrzenny rozkład gradientów temperatury powietrza

Gradient pola temperatury powietrza w każdym punkcie powierzchni Europy wyznaczono z wielomianu regresji czwartego stopnia $T = f(\Phi, \Lambda, H)$ względem szerokości Φ i długości geograficznej Λ oraz wysokości nad poziomem morza H . We wzorach Φ i Λ wyrażono w setkach km, a wysokość H – w hm.

Gradient pola temperatury powietrza – to wektor, którego składowymi są pochodne cząstkowe:

$$\text{grad } T = [A_1, A_2, A_3] = \left[\frac{\partial T}{\partial \Phi}, \frac{\partial T}{\partial \Lambda}, \frac{\partial T}{\partial H} \right]$$

Składowe horyzontalne – poziome $\frac{\partial T}{\partial \Phi}, \frac{\partial T}{\partial \Lambda}$ wyrażono w $^\circ\text{C}/100\text{ km}$, przekształcając współrzędne geograficzne: $\Phi = 1,111 \varphi^\circ, \Lambda = 1,111 \lambda^\circ \cos \varphi^\circ$.

Tak zdefiniowane gradienty oddzielają w każdym miejscu wpływ szerokości geograficznej (Φ), długości geograficznej Λ (odległości od Oceanu Atlantyckiego) i wysokości nad poziomem morza (H).

Szczególnym przypadkiem jest wielomian regresji pierwszego stopnia tj. równanie hiperpłaszczyzny regresji, które określa średnie gradienty poziome (w $^{\circ}\text{C}/100\text{km}$): południkowy A_1 i równoleżnikowy A_2 oraz hipsometryczny A_3 ($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$):

$$T = A_0 + A_1\Phi + A_2\Lambda + A_3H$$

Składowe [A_1, A_2, A_3] gradientu pola temperatury powietrza w Europie w poszczególnych porach roku i półroczach zestawiono w tabeli 2.2.

Tabela 2.2. Gradienty temperatury powietrza w Europie w latach 1961-1990: południkowy (A_1 $^{\circ}\text{C}/100\text{km}$), równoleżnikowy (A_2 $^{\circ}\text{C}/100\text{km}$) i hipsometryczny (A_3 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) (R^2 – współczynnik determinacji, R – współczynnik korelacji wielokrotnej)

Table 2.2. Gradients of air temperature in Europe in years 1961-1990: longitudinal (A_1 $^{\circ}\text{C}/100\text{km}$), latitudinal (A_2 $^{\circ}\text{C}/100\text{km}$) and hypsometric (A_3 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$), (R^2 – coefficient of the determination, R – coefficient of the multiple correlation)

Pory roku	A_0	A_1	A_2	A_3	$R^2\%$	R
Zima	42,25	-0,6818	-0,2422	-0,53	83,68	0,915
Wiosna	38,45	-0,5157	-0,0333	-0,52	87,28	0,934
Lato	41,54	-0,4313	0,1164	-0,50	86,21	0,929
Jesień	43,22	-0,5776	-0,0444	-0,47	88,15	0,939
Półrocze chłodne	41,90	-0,6404	-0,1746	-0,50	86,09	0,928
Półrocze ciepłe	40,83	-0,4629	0,0728	-0,50	89,24	0,945
Rok	41,37	-0,5516	-0,0509	-0,50	89,97	0,949

Na przykład pole temperatury powietrza w Europie w zimie opisuje dobrze wielomian regresji czwartego stopnia:

$$T = -0,0003902\Phi + 0,003456\Lambda - 0,01662H - 0,03208\Phi^2 + 0,03972\Phi\Lambda - 0,01204\Lambda^2 + 0,0007182\Lambda H - 0,003197H^2 + 0,0005909\Phi^3 - 0,001467\Phi^2\Lambda - 0,008975\Phi^2H + 0,0008215\Phi\Lambda^2 + 0,006083\Phi\Lambda H - 0,001445\Phi H^2 - 0,002473\Lambda^3 - 0,002251\Lambda^2H - 0,004735\Lambda H^2 + 0,001200H^3 - 0,00000326\Phi^4 + 0,00001205\Phi^3\Lambda + 0,00000870\Phi^3H - 0,00001955\Phi^2\Lambda^2 - 0,0001333\Phi^2\Lambda H + 0,00007796\Phi^2H^2 + 0,00004013\Phi\Lambda^3 + 0,0004342\Phi\Lambda^2H + 0,00006192\Phi\Lambda H^2 - 0,0001279\Phi H^3 + 0,00000351\Lambda^4 + 0,0001095\Lambda^3H + 0,00000174\Lambda^2H^2 + 0,00006381\Lambda H^3 + 0,00006402H^4 + 34,34$$

Przestrzenny rozkład gradientów południkowych $A_1 = \frac{\partial T}{\partial \Phi}$ w Europie wskazuje, że

wpływ szerokości geograficznej na pole temperatury powietrza jest zdeformowany oddziaływaniem Oceanu Atlantyckiego (Stopa-Boryczka, Boryczka i in., 1990, 1994, 2005).

Zgodnie z zasadą strefowości klimatu Ziemi, układ izarytm $A_1 = \text{const.}$ powinien być równoleżnikowy. Wpływ Oceanu Atlantyckiego na pole temperatury objawia się odchyleniem izarytm A_1 od miejscowych równoleżników. Przyjmują one kierunek sektora południowo-zachodniego – SW.

Izolinie $-0,4^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$ przebiegającą wzdłuż Europy można przyjąć za granicę strefy największego oddziaływania polarno-morskich mas powietrza. Przez środkową Europę przechodzi izolinia $-0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$, świadcząca o malejącym zniekształceniu pola temperatury przez ocean. Układ izolinii $A_1 = \text{const.}$ jest najbardziej zbliżony do równoleżnikowego pod koniec wiosny (maj) – po wyrównaniu temperatury między wodą i lądem.

Specyfiką pola temperatury powietrza w Europie jest zmiana znaku gradientu równoleżnikowego $A_2 = \frac{\partial T}{\partial \Lambda}$ w ciągu roku – z ujemnego w zimie na dodatni – w lecie.

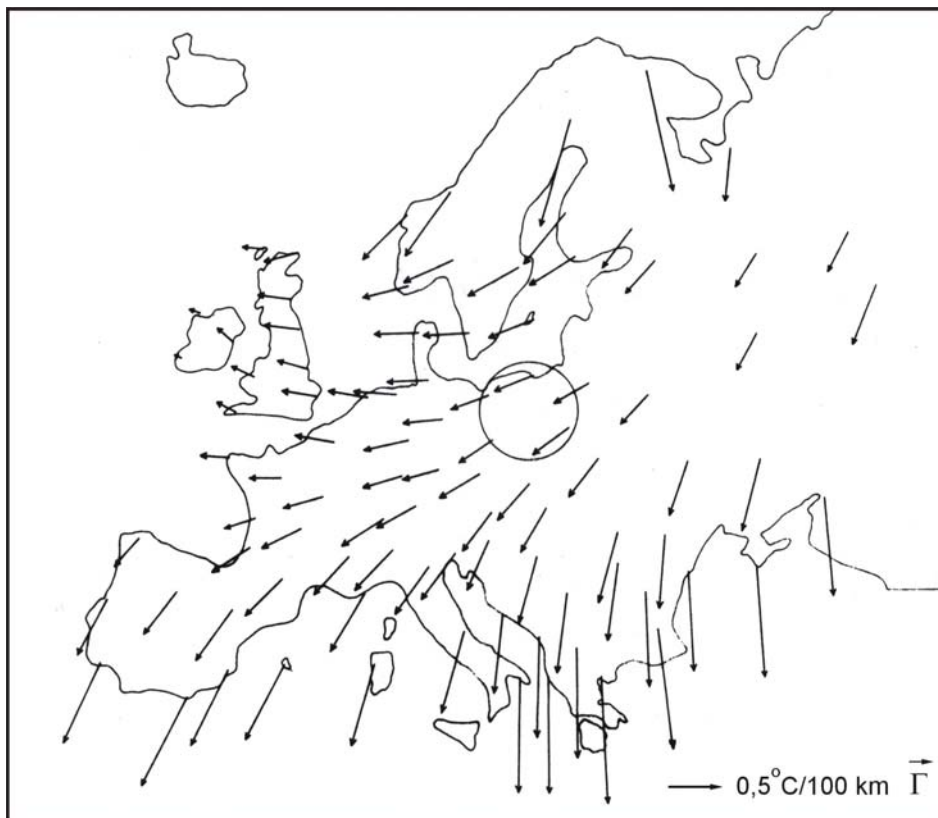
Spadek temperatury powietrza zimą z zachodu na wschód, a w lecie – przeciwnie ze wschodu na zachód świadczy o cechach oceanicznych i kontynentalnych klimatu Europy. Pod koniec wiosny dochodzi do wyrównania temperatury powietrza między zachodnią i wschodnią Europą. Wtedy w całej Europie występują prawie zerowe gradienty równoleżnikowe $A_2 \approx 0$. Gradienty równoleżnikowe A_2 ponownie zmieniają znak (z dodatniego na ujemny) na początku jesieni. Największymi równoleżnikowymi spadkami temperatury powietrza $-A_2$ od $0,2^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$ do powyżej $0,8^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$ charakteryzują się miesiące zimowe.

Gradienty hipsometryczne temperatury powietrza $A_3 = \frac{\partial T}{\partial H}$ zmieniają się w Europie zależnie od miejsca i pory roku. Najmniejsze spadki temperatury powietrza $-A_3$ ze wzrostem wysokości nad poziomem morza występują na wiosnę – dominują izolinie $-0,4^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Natomiast największe hipsometryczne spadki temperatury $-A_3$ są w miesiącach zimowych. Wtedy ich zakres zmian sięga od zera do poniżej $2^{\circ}\text{C}/100$. Rozkład izarytm gradientu hipsometrycznego $\frac{\partial T}{\partial H}$ koresponduje z profilami południkowymi $H(\Phi)$ i równoleżnikowym $H(\Lambda)$ wysokości nad poziomem morza w Europie.

4. Gradienty horyzontalne temperatury powietrza w $^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$

Nowością w badaniach klimatu Europy są mapy gradientów horyzontalnych $\Gamma = \left[\frac{\partial T}{\partial \Phi}, \frac{\partial T}{\partial \Lambda} \right]$ temperatury powietrza w Europie – wektorów o składowej południkowej $A_1 = \frac{\partial T}{\partial \Phi}$ i równoleżnikowej $A_2 = \frac{\partial T}{\partial \Lambda}$ (rys. 2.10-2.11).

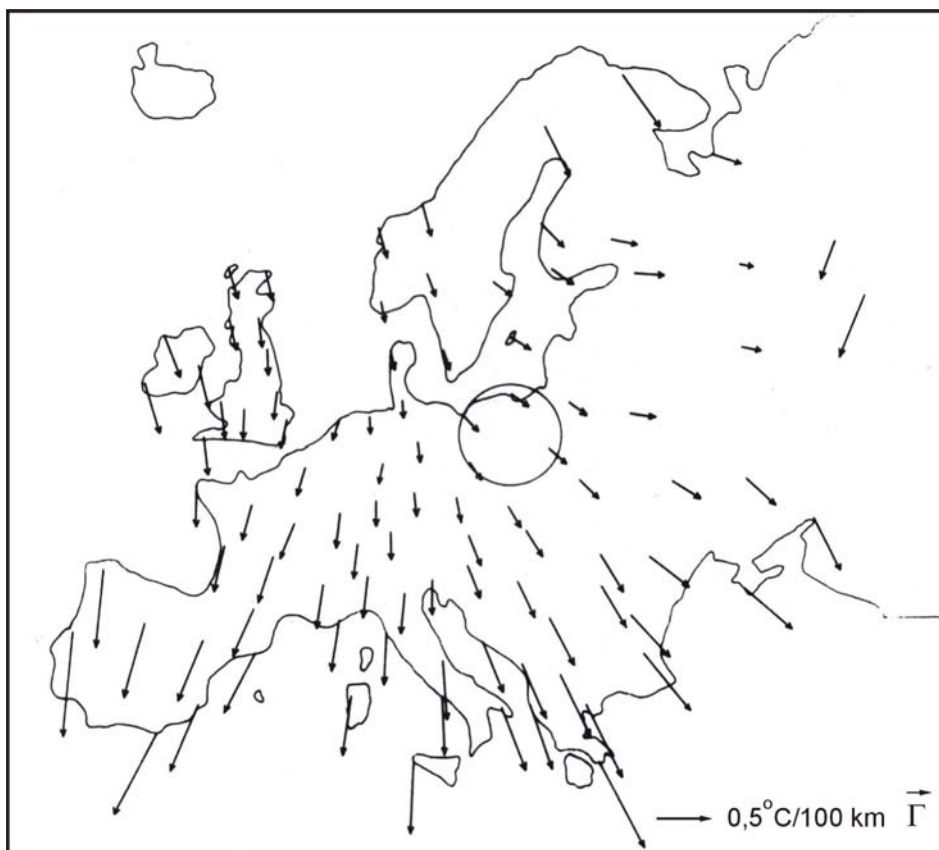
Gradient horyzontalny temperatury powietrza Γ powinien być skierowany na południe Europy – zgodnie z zasadą strefowości klimatu Ziemi. Astrefowość pola temperatury powietrza określa kąt między wektorem Γ i miejscowym południkiem tzn. azymut astronomiczny (α). Odchylenie gradientu horyzontalnego Γ od południka miejscowego na zachód ($\alpha < 180^{\circ}$) wskazuje na przewagę cech oceanicznych klimatu w Europie. Natomiast odchylenie wektora Γ od południka miejscowego na wschód ($\alpha < 0$) świadczy o przewadze cech kontynentalnych klimatu. Zwrot wektora Γ (strzałka) – to kierunek wzrostu temperatury powietrza. Jego długość to przyrost temperatury powietrza w $^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$.



Rys. 2.10. Gradienty horyzontalne temperatury powietrza w Europie – zima
 Fig. 2.10. Horizontal gradients of air temperature in Europe – winter

Na obszarze Europy przeważają kierunki gradientu horyzontalnego temperatury powietrza Γ : w zimie z sektora południowo-zachodniego, a w lecie – sektora południowo-wschodniego. Zimowy wzrost temperatury powietrza w kierunku południowo-zachodnim wywołuje ocieplający wpływ mas powietrza polarnego morskigo z Oceanu Atlantyckiego i ochładzający – mas powietrza napływającego z głębi kontynentu. Natomiast letni wzrost temperatury powietrza w kierunku południowo-wschodnim wynika z ochładzającego w tym czasie wpływu Oceanu – z przeciwnego oddziaływania tych dwóch ośrodków: ocean-kontynent. Najbardziej strefowy układ wektorów Γ równoległych do południków miejscowych obserwuje się w sezonach przejściowych – podczas wyrównania temperatury między wodami Oceanu Atlantyckiego i lądem Europy.

Długość wektorów Γ ulega także rocznym zmianom. Są one znacznie dłuższe w miesiącach półroczia chłodnego (X-III) niż ciepłego (IV-IX). Na przykład w Warszawie długość gradientu horyzontalnego temperatury powietrza (Γ) zmienia się w ciągu roku od $0,35^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$ (sierpień) do $0,88^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$ (styczeń).



Rys. 2.11. Gradientsy horyzontalne temperatury powietrza w Europie – lato
 Fig. 2.11. Horizontal gradients of air temperature in Europe – summer

Istotne znaczenie poznawcze ma wyodrębnienie stref oddziaływania Oceanu Atlantyckiego na klimat Europy. Rozwiązanie tego problemu było możliwe dzięki wprowadzeniu gradientu horyzontalnego temperatury powietrza Γ . Tak zdefiniowany gradient horyzontalny Γ nie zależy od wysokości terenu (H), ponieważ spadek temperatury z wysokością uwzględnia gradient hipsometryczny $\frac{\partial T}{\partial H}$. W ten sposób wyodrębniono wpływ ukształtowania powierzchni Europy na pole temperatury powietrza.

Strefy oddziaływania Oceanu Atlantyckiego na klimat Europy wskazują izarytmy azymutów $\alpha = \text{const.}$, tj. kątów odchylenia gradientów horyzontalnych – wektorów Γ od południków miejscowych.

Prawie przez 8 miesięcy (IX-IV) wektory Γ są odchyłone na zachód od południków miejscowych ($0 < \alpha < 180^\circ$). Pole wektorowe Γ cechują w tych miesiącach izarytmy o wartościach $\alpha = 30^\circ$ i $\alpha = 60^\circ$. W pozostałych 4 miesiącach (V-VIII) położenie izarytm jest odmienne. Wektory gradientów horyzontalnych temperatury powietrza Γ są

odchylone na wschód od południków miejscowych ($180^\circ < \alpha < 360^\circ$ czy też $-180^\circ < \alpha < 0^\circ$). Izarytmy $180^\circ < \alpha < 360^\circ$ świadczą w tej porze roku o ochładzającym oddziaływaniu Oceanu Atlantyckiego na klimat Europy (Stopa-Boryczka, Boryczka, 1994).

Postępem w poznaniu klimatu Europy jest określenie deformacji pola temperatury powietrza przez ukształtowanie powierzchni Ziemi. Żeby wyodrębnić tę deformację opisano także pole temperatury powietrza wielomianem regresji czwartego stopnia tylko względem szerokości geograficznej Φ i długości Λ (bez wysokości n.p.m. H) – model $T = f(\Phi, \Lambda)$.

$$\text{Gradient horyzontalny temperatury powietrza } \gamma = \left[\frac{\partial T}{\partial \Phi}, \frac{\partial T}{\partial \Lambda} \right].$$

(gdzie: Φ, Λ są wyrażone w setkach km) zależy od różnicy wysokości terenu. Wektory γ wskazują kierunek wzrostu temperatury powietrza na poziomie rzeczywistym i na wysokości 2 m nad powierzchnią gruntu.

Gradient horyzontalny temperatury powietrza na poziomie rzeczywistym γ jest wypadkową nakładania: zmian strefowych temperatury powietrza uwarunkowanych szerokością geograficzną Γ_a oddziaływania mas powietrza polarnego morskiego i kontynentalnego Γ_m oraz wpływu ukształtowania powierzchni Ziemi ($\Delta\Gamma$): $\gamma = \Gamma + \Delta\Gamma$ gdzie $\Gamma = \Gamma_a + \Gamma_m$.

Pole temperatury powietrza na poziomie rzeczywistym cechuje się na ogół astrefowym układem gradientów horyzontalnych γ – o kierunkach odbiegających od południków miejscowych. Azymuty wektorów γ – zmieniają się w ciągu roku od $\alpha = 0^\circ$ do $\alpha = 360^\circ$.

Istnieje ogólna prawidłowość, że wektory gradientów horyzontalnych temperatury powietrza na poziomie rzeczywistym (γ) układają się koncentrycznie i są skierowane ku centrum Europy. Wskazuje to np. w miesiącach letnich wzrost temperatury powietrza od północy (ocean) i od południa (góry) ku centrum Europy.

5. Deformacja pola temperatury powietrza przez czynniki lokalne

Miarą wpływu czynników lokalnych: mniejszych form rzeźby terenu, ekspozycji względem Słońca czy też czynników antropogenicznych na pole temperatury powietrza w poszczególnych punktach (Φ_i, Λ_i, H_i) Europy są reszty wielomianowe ε_i . Zmierzona wartość temperatury T_i , jest sumą: obliczonej z wielomianu regresji $f(\Phi_i, \Lambda_i, H_i)$ i różnicy ε_i :

$$T_i = f(\Phi_i, \Lambda_i, H_i) + \varepsilon_i$$

W przypadku wielomianu regresji czwartego stopnia, pole temperatury powietrza jest opisane za pomocą $N = 34$ parametrów – współczynników regresji a_1, \dots, a_N (wg najmniejszych kwadratów). Te 34 parametrów nie wystarcza jednak by opisać wszystkie lokalne oddziaływania podłoża (np. kotliny śródgórskie, szczyty górskie, zbiorniki wodne, większe miasta).

Istnieje zatem oprócz składnika deterministycznego $f(\Phi_i, \Lambda_i, H_i)$ tzw. trendu przestrzennego jeszcze składnik losowy ε_i , (nieokreślony). Reszty ε_i mają w populacji rozkład zbliżony do gaussowskiego o parametrach $0, \delta$, gdzie δ – jest błędem standardowym.

Ekstremalne wartości różnic ε_i ($\varepsilon_i < 0$ lub $\varepsilon_i > 0$) wskazują miejsca na obszarze Europy, w których najsilniej oddziałują czynniki lokalne na pole temperatury powietrza. Reszty ε_i są naj-

większe (pod względem wartości bezwzględnej) w zimie. Wtedy przy małej insolacji (zanikającej strefowości) pole temperatury powietrza najbardziej zależy od wklęsłych i wypukłych form terenu, nachylenia zboczy. Wartości izarytm $\varepsilon_i = \text{const.}$ w zimie zmieniają się od $\varepsilon_i = -2,5^\circ\text{C}$ w górach do $\varepsilon_i = 1,5^\circ\text{C}$ na nizinach północnej Europy (Stopa-Boryczka, Boryczka, 1994).

W lecie przy dużej insolacji, pole temperatury powietrza jest silnie skorelowane z szerokością geograficzną, długością geograficzną (odległością od Oceanu Atlantyckiego) i wysokością n.p.m. Mniej ono zależy od rzeźby terenu – ekspozycji zboczy. Na nizinach i wyżynach dominują izarytmy $\varepsilon_i = -0,5^\circ\text{C}$, $\varepsilon_i = 0,0^\circ\text{C}$ i $\varepsilon_i = 0,5^\circ\text{C}$.

Najmniejsza rozbieżność między zmierzonymi i obliczonymi z wielomianów regresji czwartego stopnia wartościami temperatury powietrza występuje w przejściowych porach roku. Po prostu wynika to z najmniejszego oddziaływania Oceanu Atlantyckiego w tym czasie – z wyrównania temperatury między oceanem i lądem. Do opisu tego oddziaływania wystarcza mniej parametrów spośród $N = 34$ niż w lecie czy też w zimie.

Pole temperatury powietrza deformowane jest również przez duże miasta ze względu na tzw. miejską wyspę ciepła. Wynika to głównie z dodatkowej akumulacji ciepła w dzień przez zabudowę (zwiększoną powierzchnię czynną). Duże miasta położone na nizinach cechują się na ogół dodatnimi resztami wielomianowymi ($\varepsilon_i > 0$).

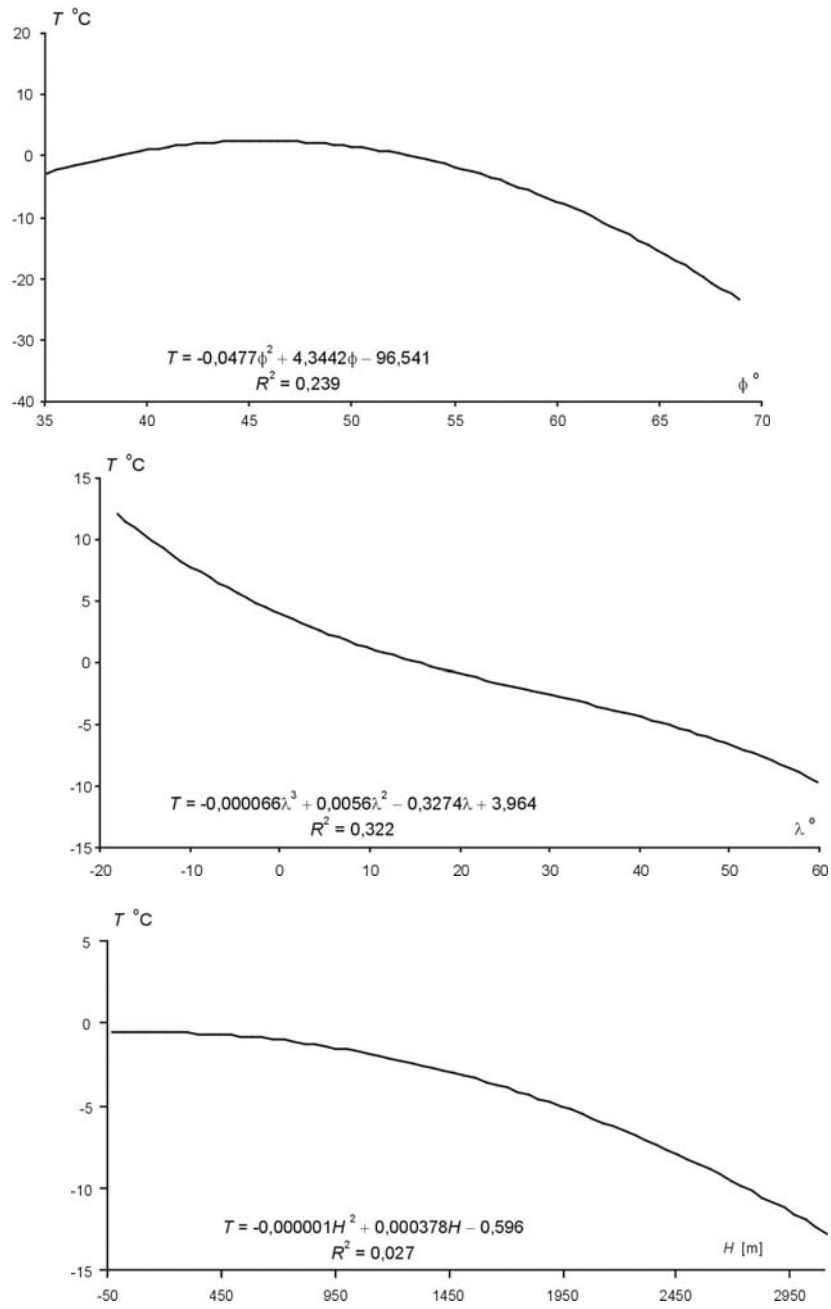
Dobrym narzędziem badań klimatu Europy okazały się modele statystyczne trójwymiarowe pola temperatury powietrza. Są nimi wielomiany regresji czwartego stopnia względem trzech współrzędnych kartezjańskich: szerokość geograficzna φ , długość geograficzna λ i wysokość nad poziomem morza H , które spełniają jednocześnie rolę czynników geograficznych.

Uzyskane wyniki badań m.in. mapy gradientów południkowych, równoleżnikowych i hipsometrycznych (również gradientów horyzontalnych) są wiarygodne, bowiem wielomiany regresji cechują się dużą dokładnością.

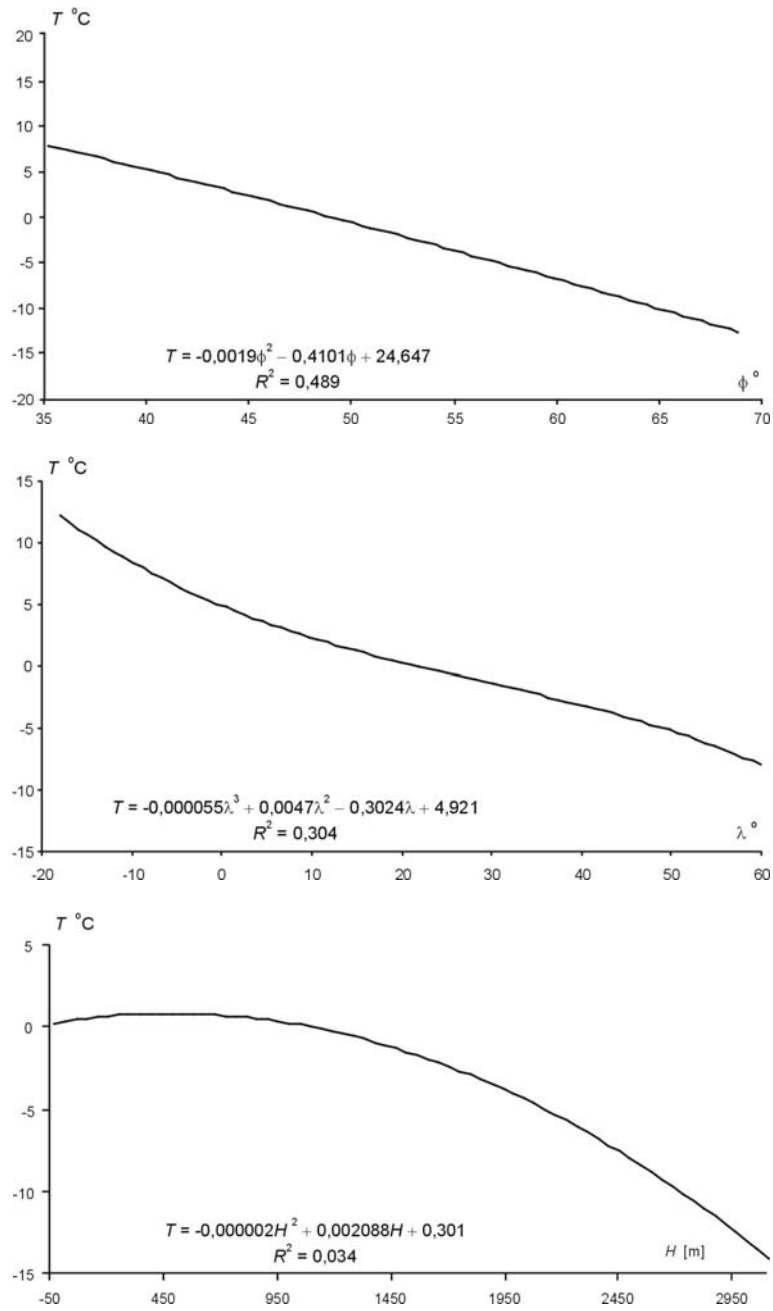
Na przykład współczynnik korelacji wielokrotnej R w przypadku wielomianów regresji czwartego stopnia jest zbliżony do jedności: półrocze chłodne (X-III) – $R = 0,985$, półrocze ciepłe (IV-IX) – $R = 0,986$, rok (I-XII) – $R = 0,990$. Wielomiany regresji czwartego stopnia względem trzech współrzędnych φ , λ , H wyjaśniają wariancję temperatury powietrza na obszarze Europy: X-III – w 97,0%, IV-IX – w 97,2%, rok – w 98,0%. Błąd standardowy δ w przypadku pola temperatury powietrza, określający przedział ufności funkcji modelowych $T = (\Phi, \Lambda, H)$ – w populacji – nie przekracza 1°C : X-III – $\delta = 0,92^\circ\text{C}$, IV-IX – $\delta = 0,71^\circ\text{C}$, I-XII – $\delta = 0,64^\circ\text{C}$.

Należy podkreślić, że wprowadzenie trójwymiarowych modeli (oprócz szerokości i długości geograficznej także wysokości n.p.m.) ma ogromne znaczenie jako metoda interpolacyjna. Wielomiany regresji czwartego stopnia $T = (\Phi, \Lambda, H)$ względem tylko dwóch współrzędnych geograficznych Φ , Λ wyjaśniają zaledwie 50-60% wariancji temperatury powietrza w Europie. Natomiast wielomiany regresji czwartego stopnia $T = (\Phi, \Lambda, H)$ – względem trzech współrzędnych położenia Φ , Λ , H wyjaśniają prawie 98% wariancji temperatury powietrza.

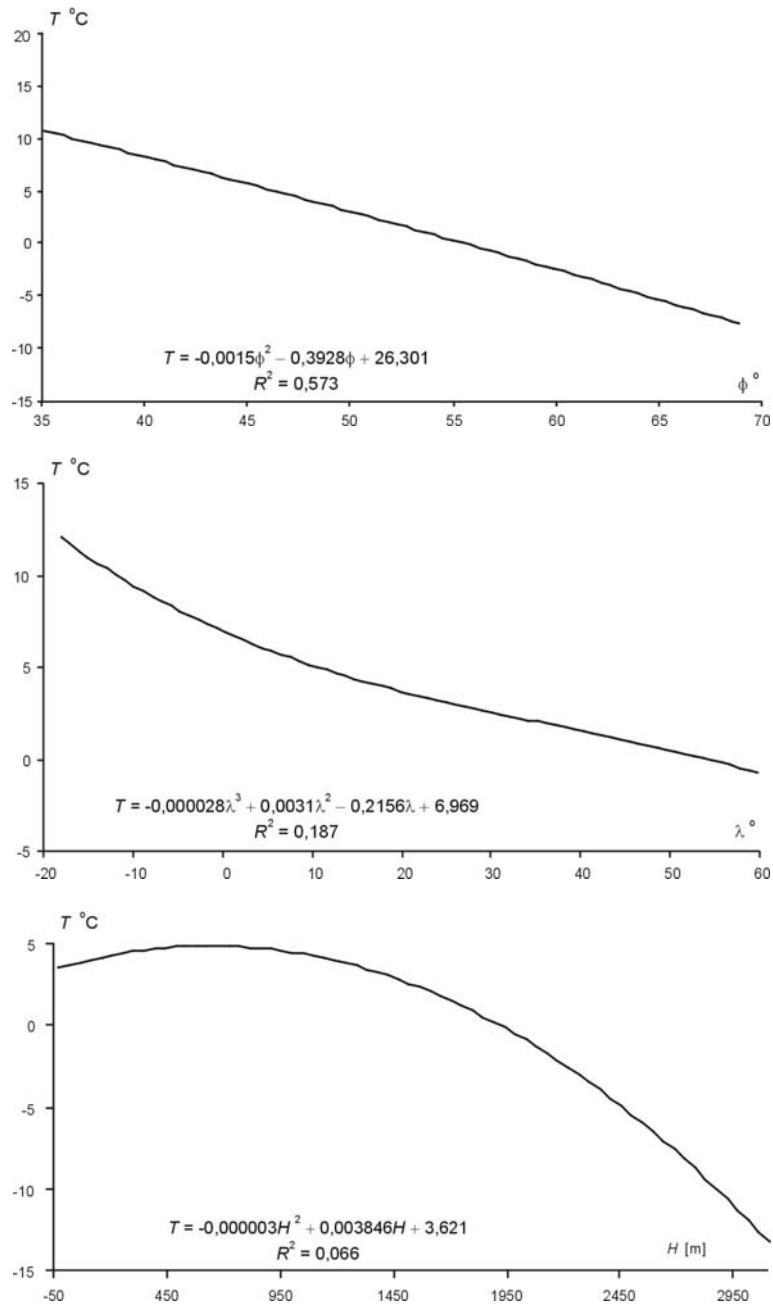
O zależności temperatury powietrza od szerokości geograficznej (φ) i odległości od Oceanu Atlantyckiego (λ) oraz wysokości n.p.m. (H) w Europie informują wykresy (profile): $T(\varphi)$, $T(\lambda)$, $T(H)$ na rysunkach 2.12-2.28.



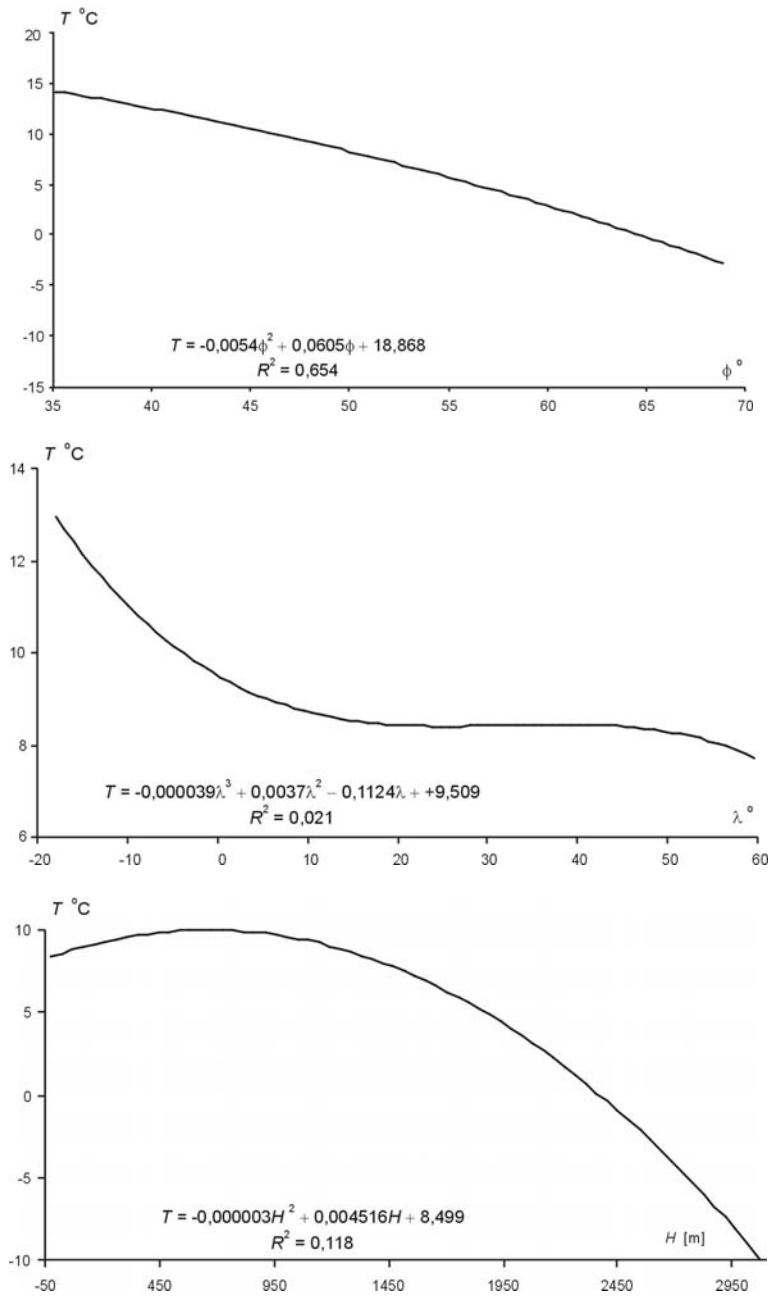
Rys. 2.12. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\varphi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – styczeń
 Fig. 2.12. Profiles of air temperature in Europe: longitudinal $T(\varphi)$, latitudinal $T(\lambda)$, hypsometric $T(H)$ – January



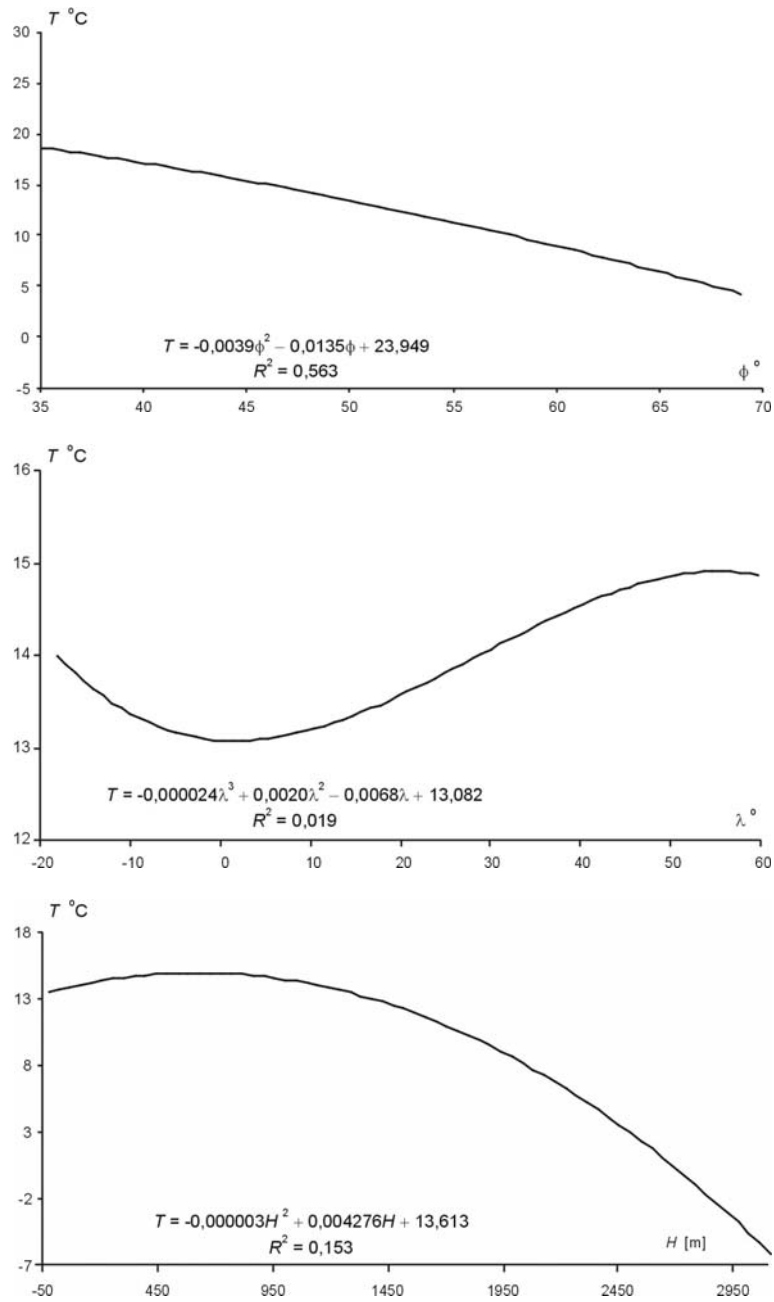
Rys. 2.13. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\phi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – luty
 Fig. 2.13. Profiles of air temperature in Europe: longitudinal $T(\phi)$, latitudinal $T(\lambda)$, hypsometric $T(H)$ – February



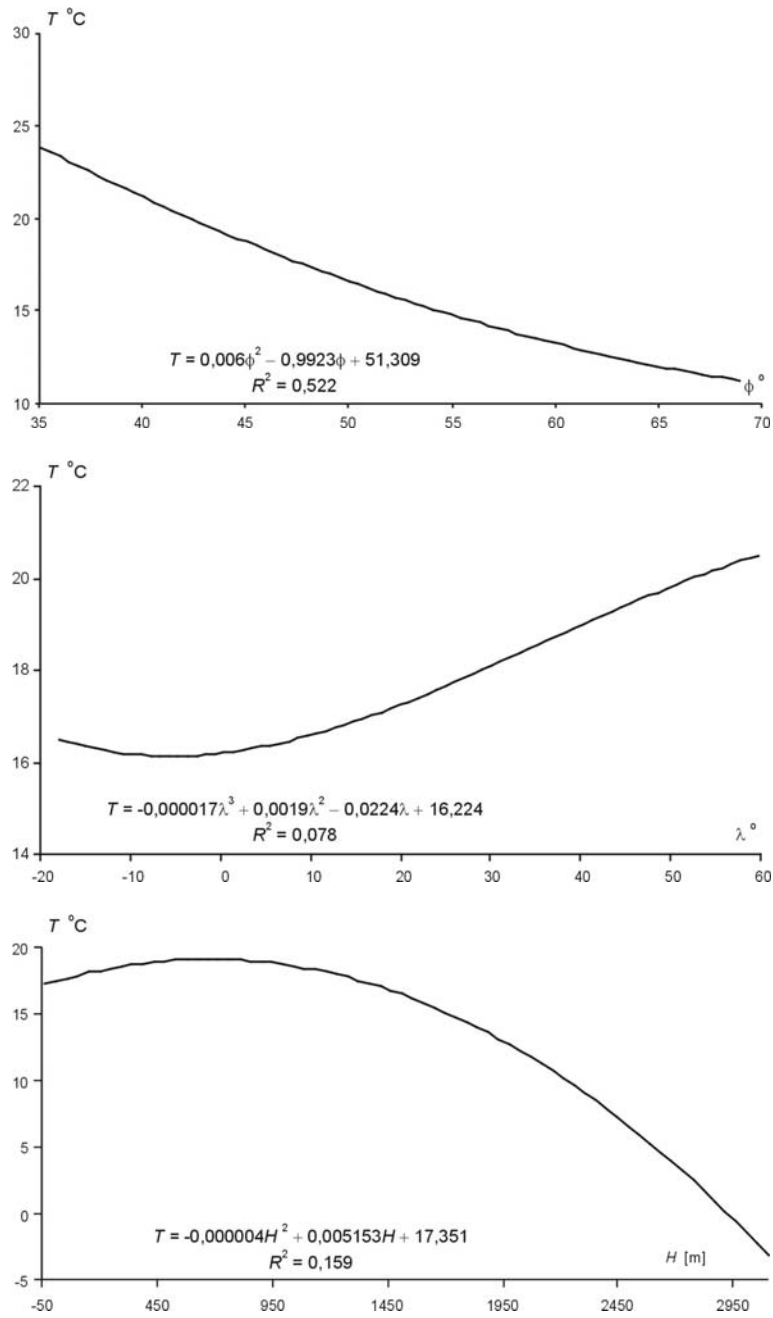
Rys. 2.14. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\varphi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – marzec
 Fig. 2.14. Profiles of air temperature in Europe: longitudinal $T(\varphi)$, latitudinal $T(\lambda)$, hypsometric $T(H)$ – March



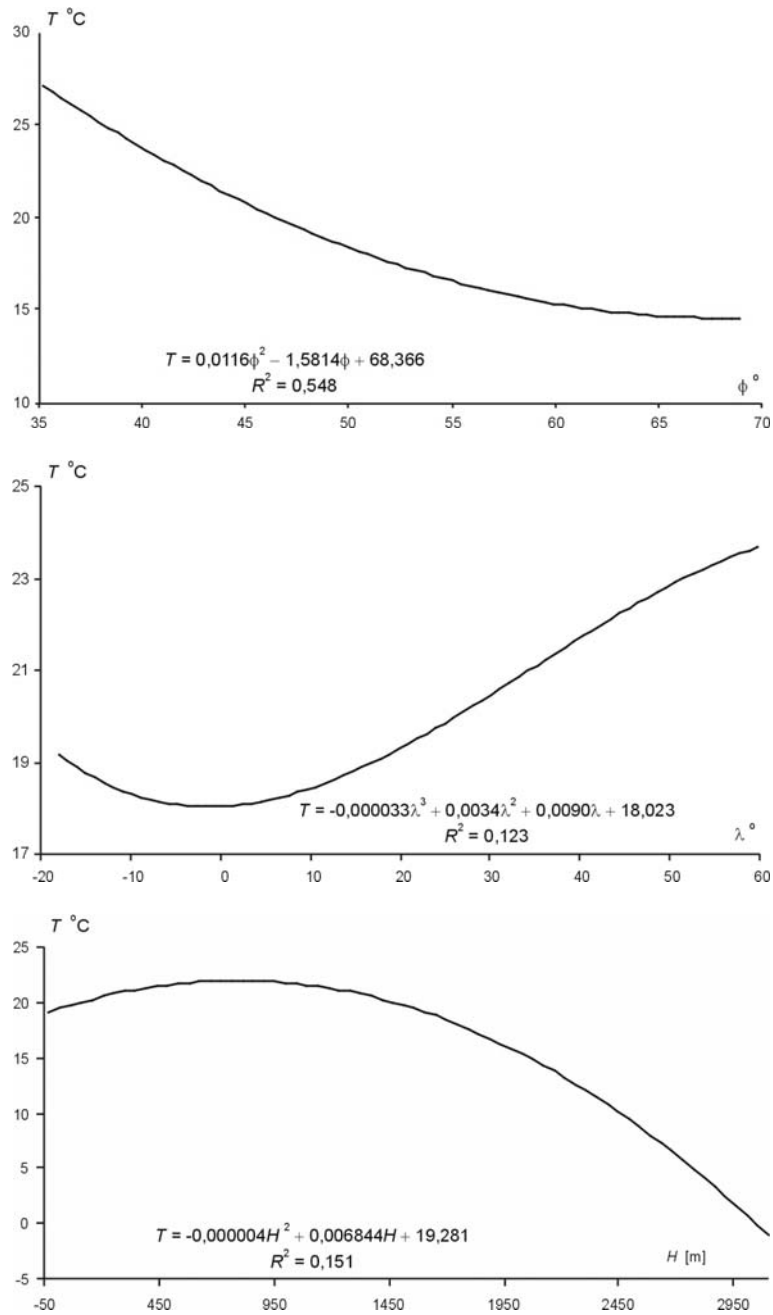
Rys. 2.15. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\varphi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – kwiecień
 Fig. 2.15. Profiles of air temperature in Europe: longitudinal $T(\varphi)$, latitudinal $T(\lambda)$, hypsometric $T(H)$ – April



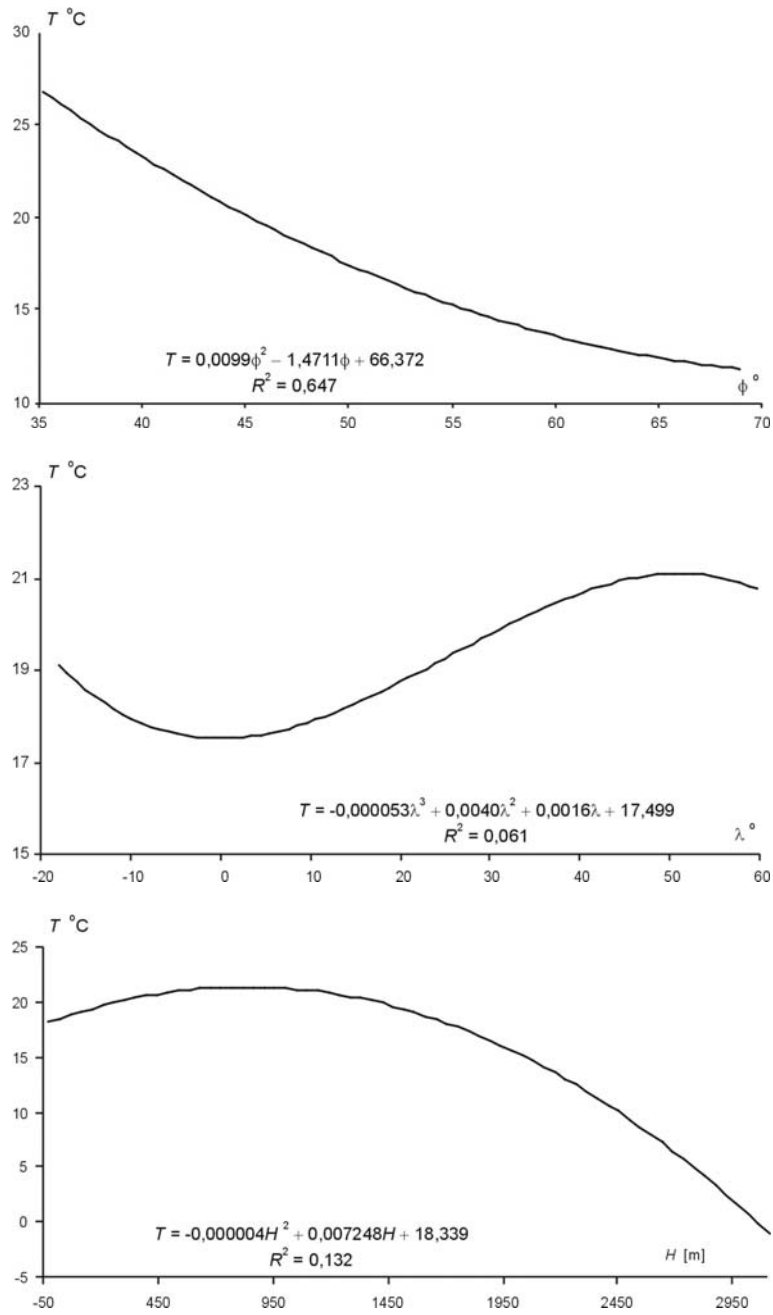
Rys. 2.16. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\phi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – maj
 Fig. 2.16. Profiles of air temperature in Europe: longitudinal $T(\phi)$, latitudinal $T(\lambda)$, hypsometric $T(H)$ – May



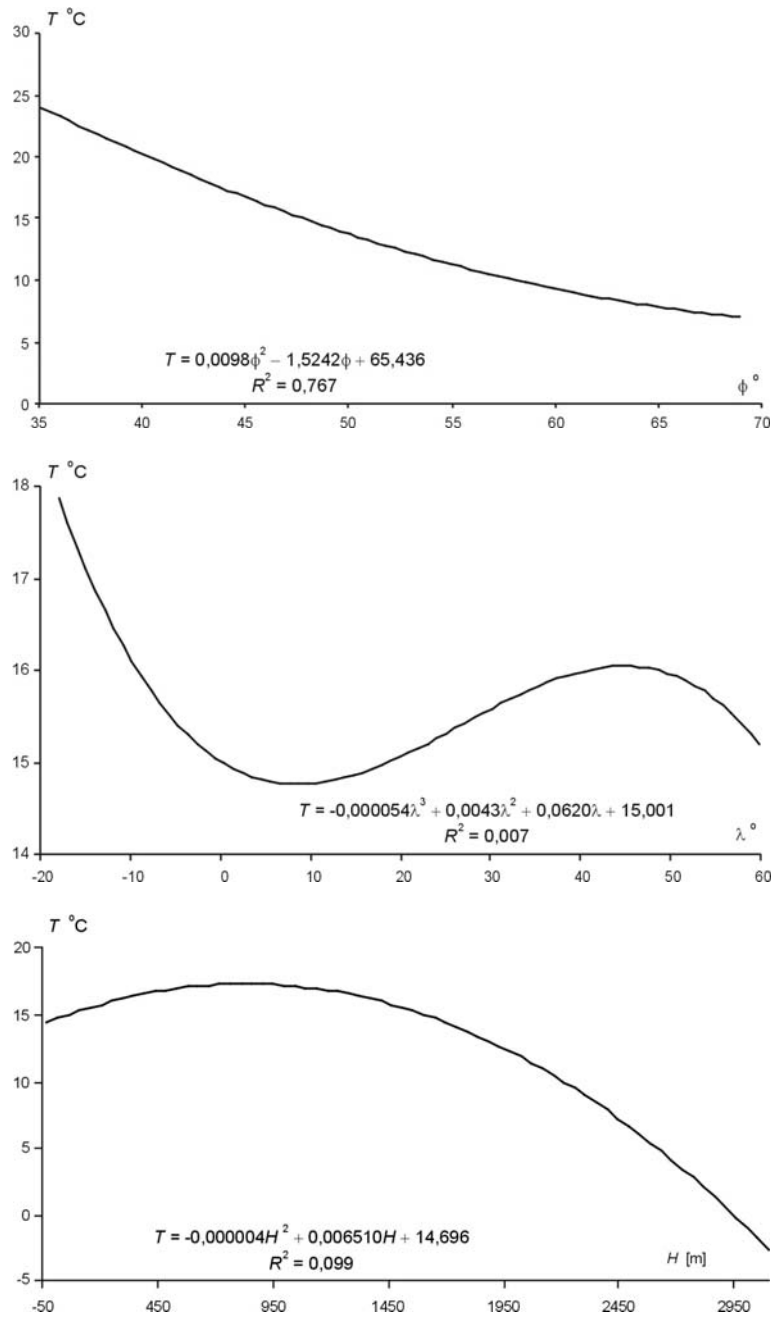
Rys. 2.17. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\phi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – czerwiec
 Fig. 2.17. Profiles of air temperature in Europe: longitudinal $T(\phi)$, latitudinal $T(\lambda)$, hypsometric $T(H)$ – June



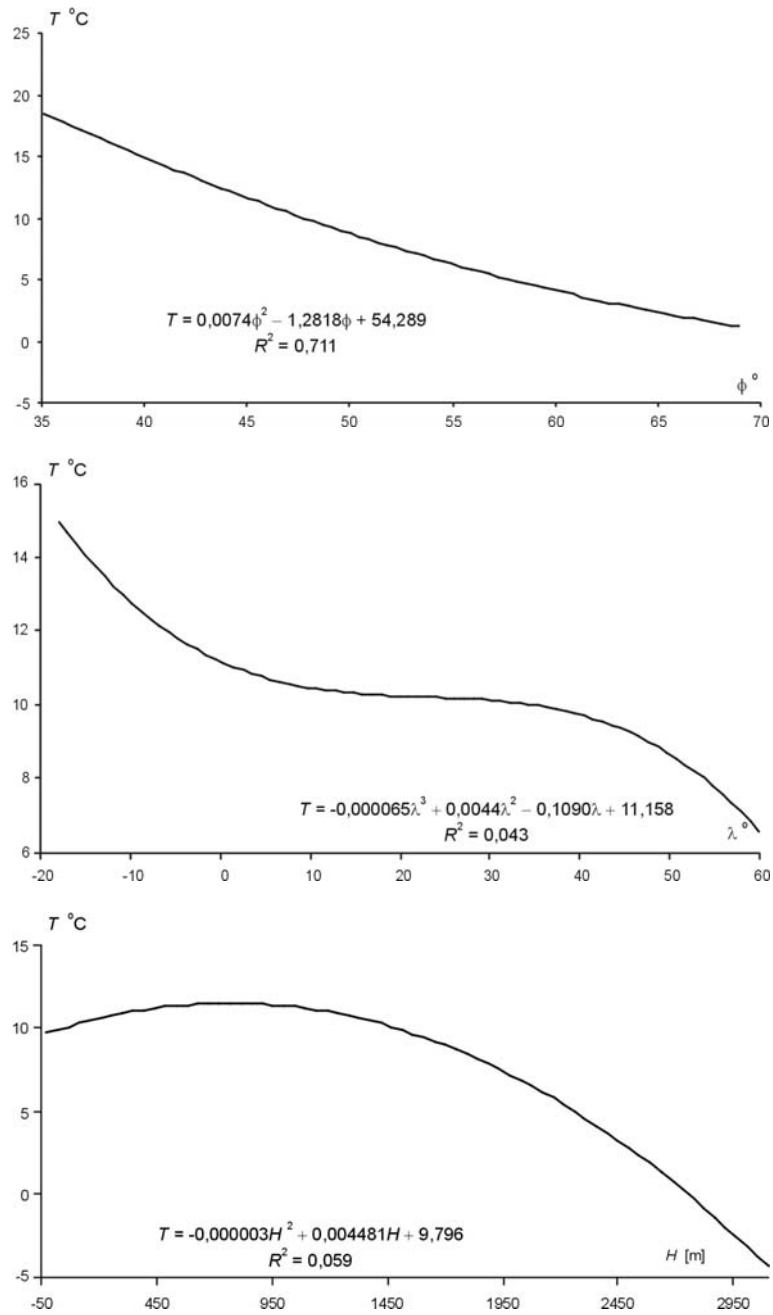
Rys. 2.18. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\varphi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – lipiec
 Fig. 2.18. Profiles of air temperature in Europe: longitudinal $T(\varphi)$, latitudinal $T(\lambda)$, hypsometric $T(H)$ – July



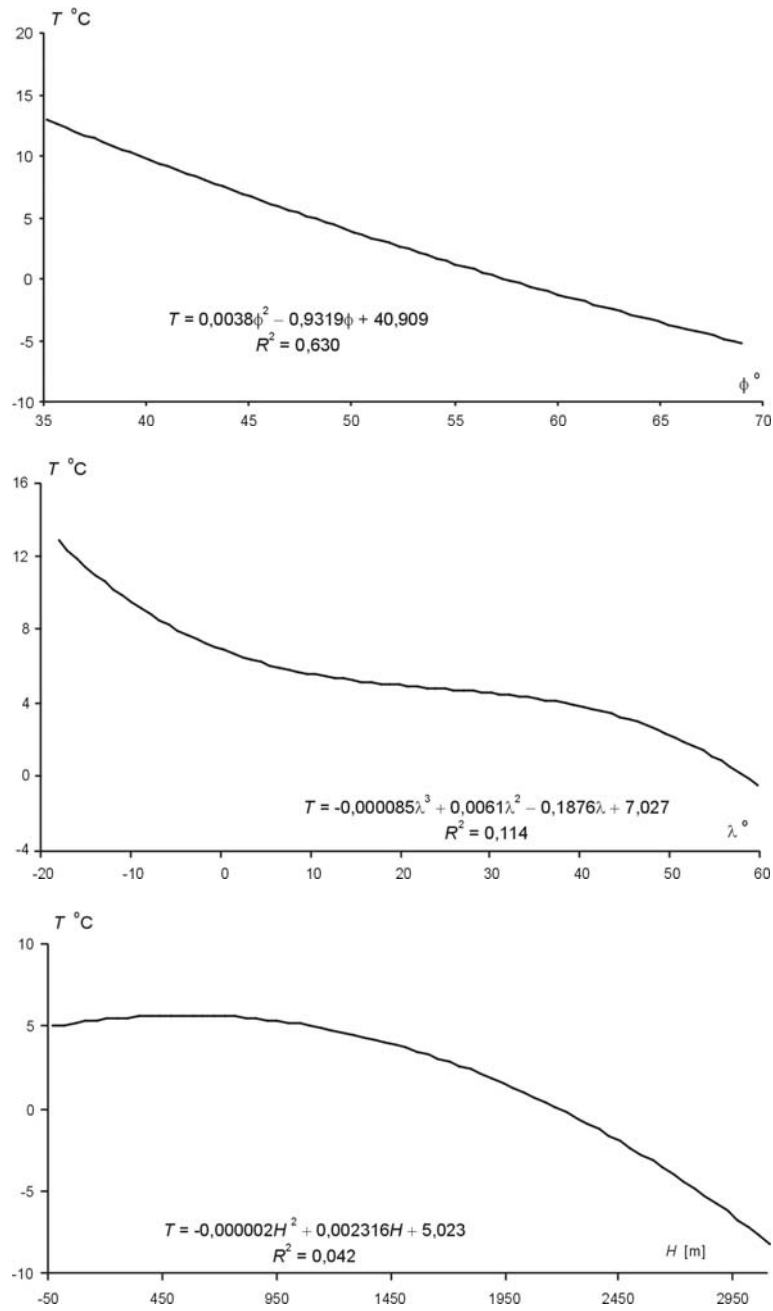
Rys. 2.19. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\phi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – sierpień
 Fig. 2.19. Profiles of air temperature in Europe: longitudinal $T(\phi)$, latitudinal $T(\lambda)$, hypsometric $T(H)$ – August



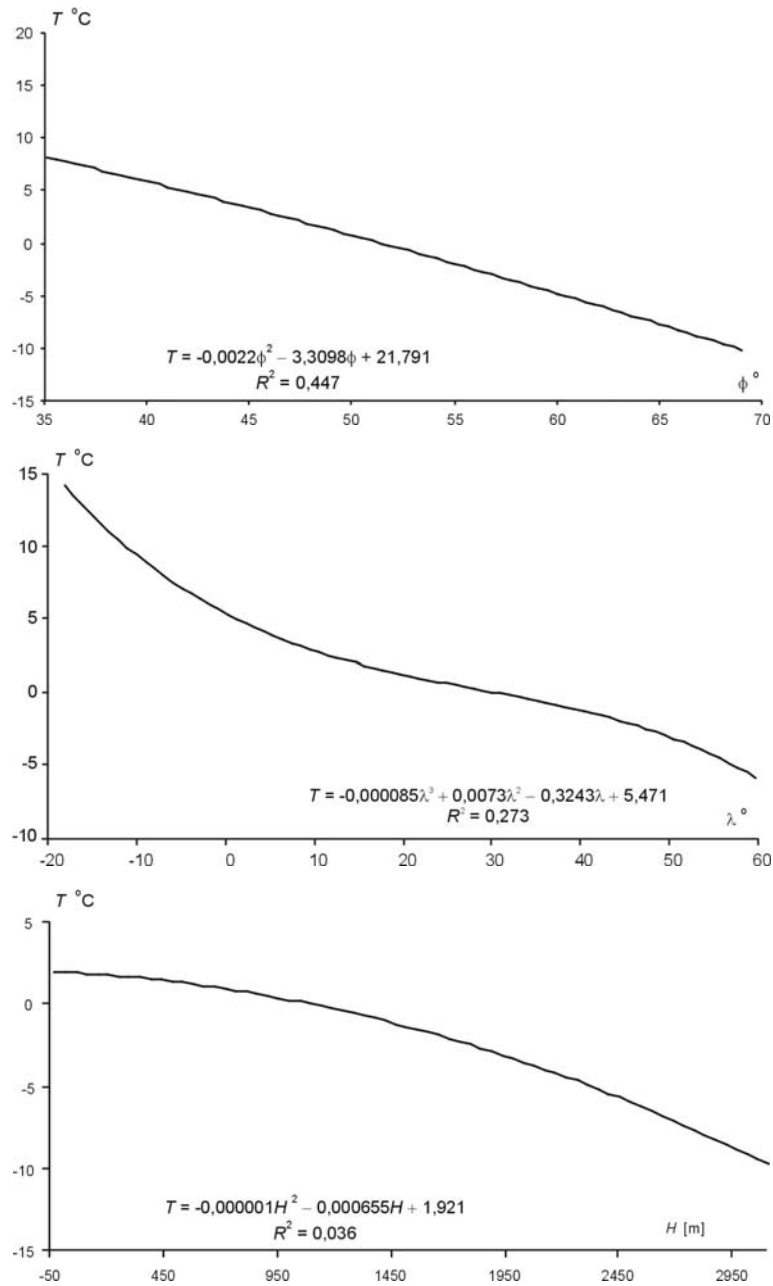
Rys. 2.20. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\phi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – wrzesień
 Fig. 2.20. Profiles of air temperature in Europe: longitudinal $T(\phi)$, latitudinal $T(\lambda)$, hypsometric $T(H)$ – September



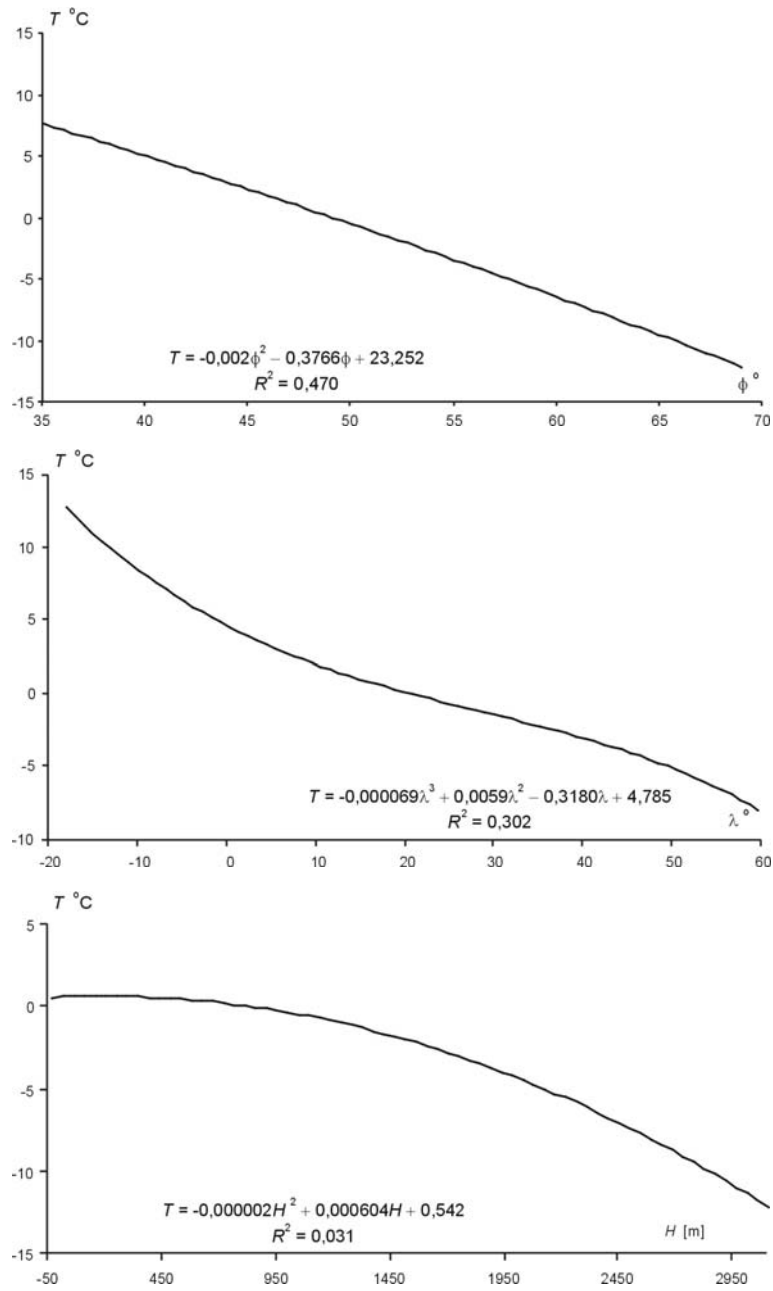
Rys. 2.21. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\varphi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – październik
 Fig. 2.21. Profiles of air temperature in Europe: longitudinal $T(\varphi)$, latitudinal $T(\lambda)$, hypsometric $T(H)$ – October



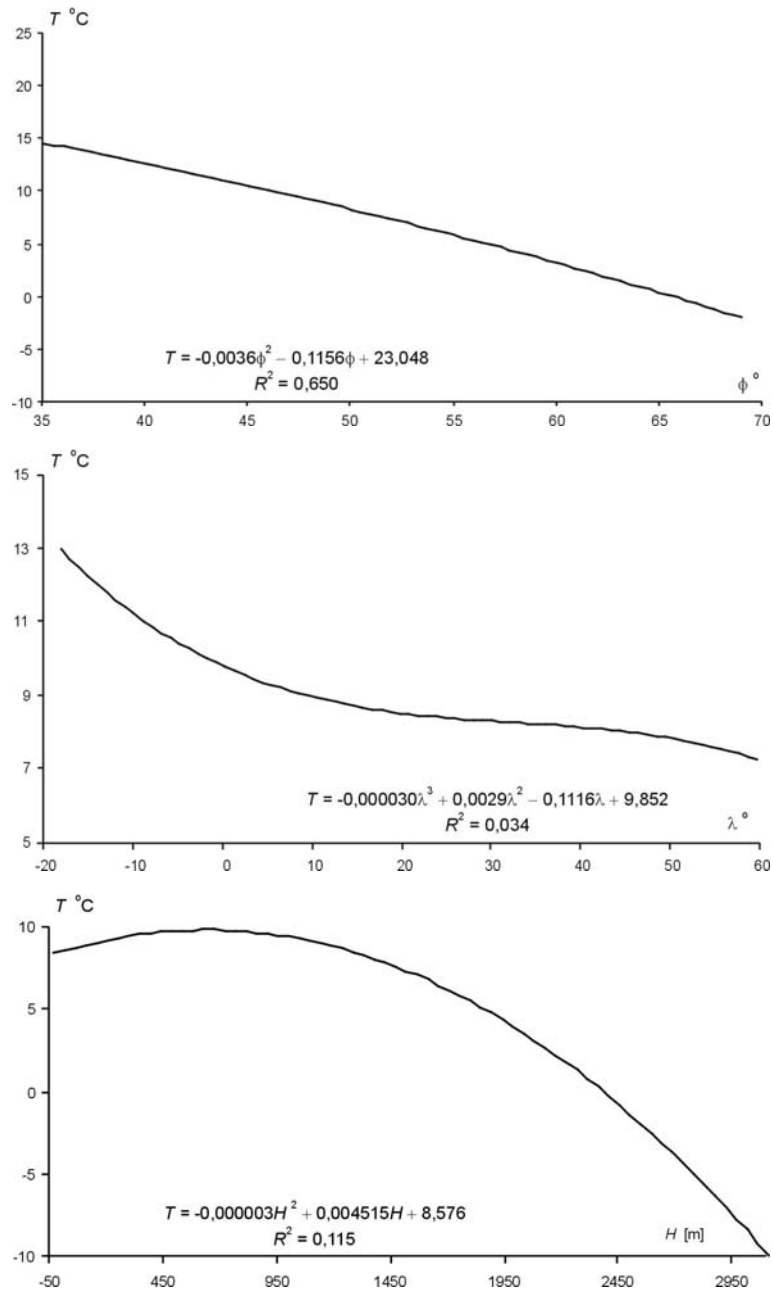
Rys. 2.22. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\varphi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – listopad
 Fig. 2.22. Profiles of air temperature in Europe: longitudinal $T(\varphi)$, latitudinal $T(\lambda)$, hypsometric $T(H)$ – November



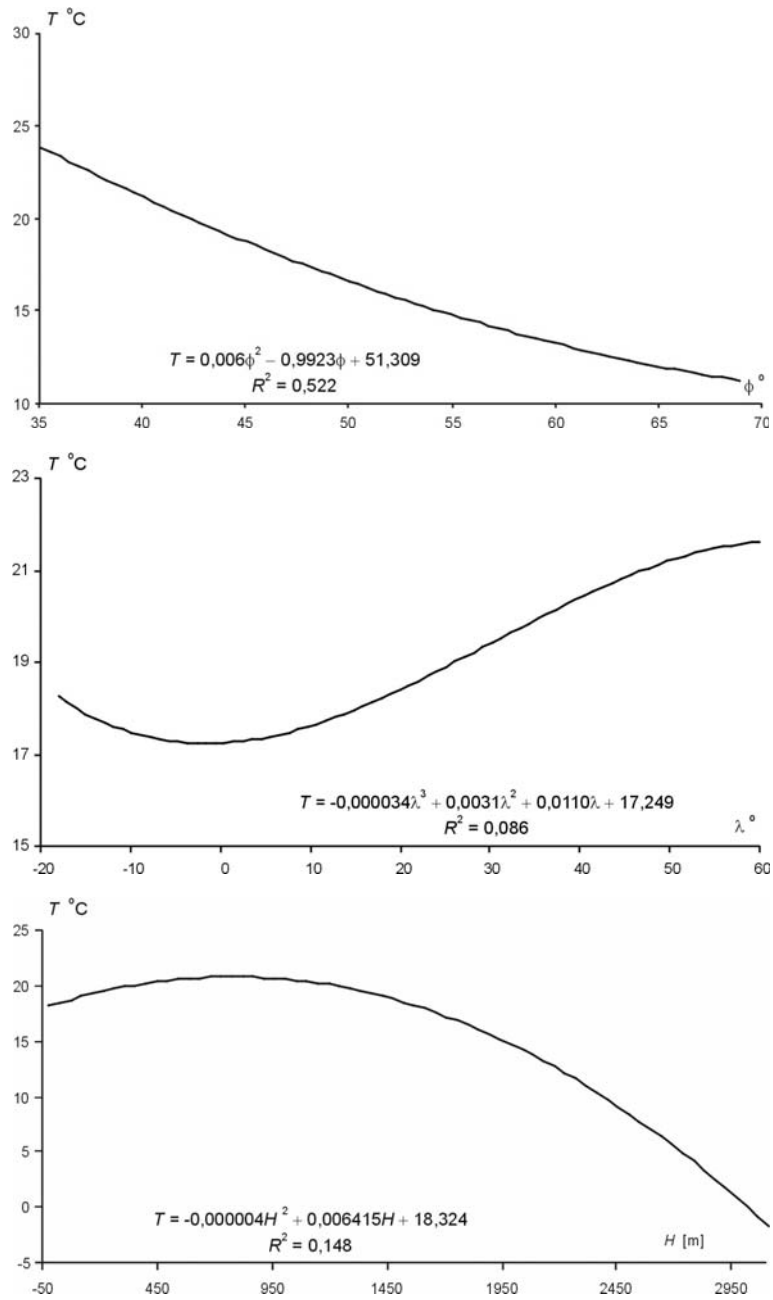
Rys. 2.23. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\varphi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – grudzień
 Fig. 2.23. Profiles of air temperature in Europe: longitudinal $T(\varphi)$, latitudinal $T(\lambda)$, hypsometric $T(H)$ – December



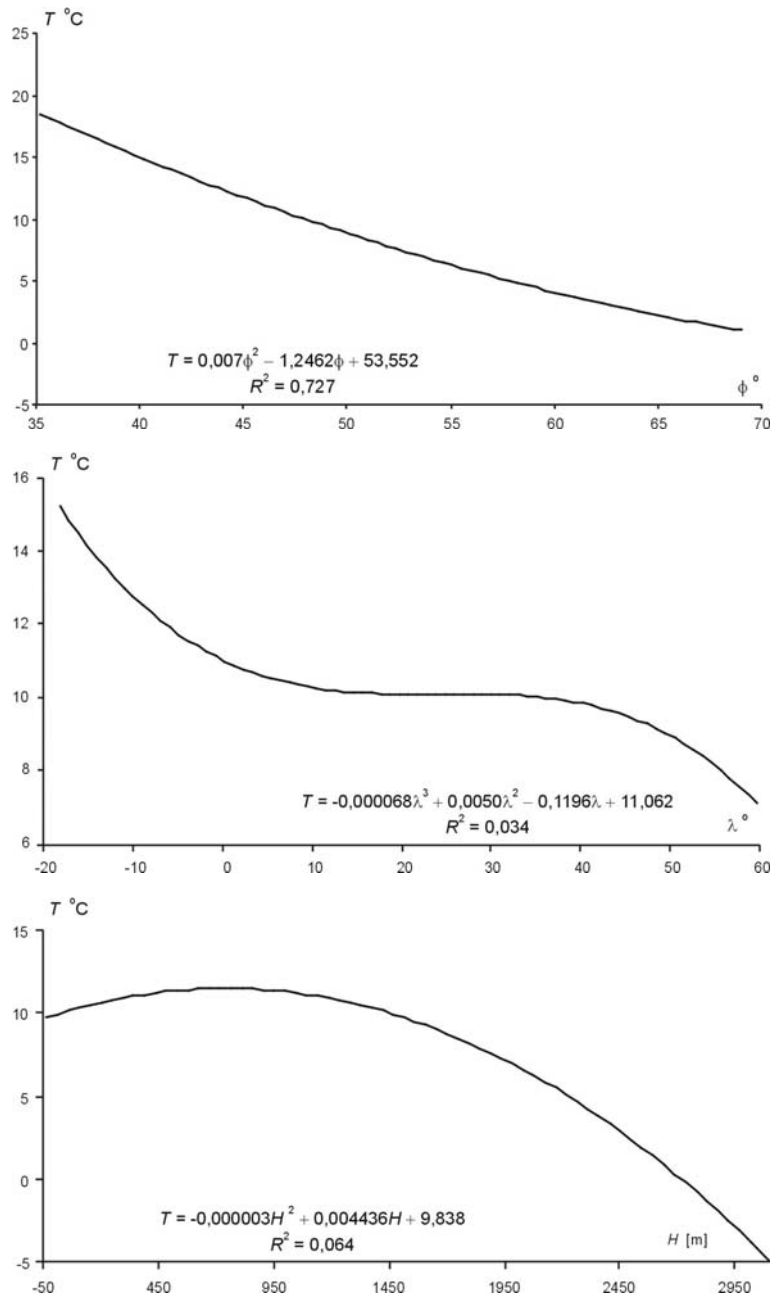
Rys. 2.24. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\phi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – zima
 Fig. 2.24. Profiles of air temperature in Europe: longitudinal $T(\phi)$, latitudinal $T(\lambda)$, hypsometric $T(H)$ – winter



Rys. 2.25. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\phi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – wiosna
 Fig. 2.25. Profiles of air temperature in Europe: longitudinal $T(\phi)$, latitudinal $T(\lambda)$, hypsometric $T(H)$ – spring

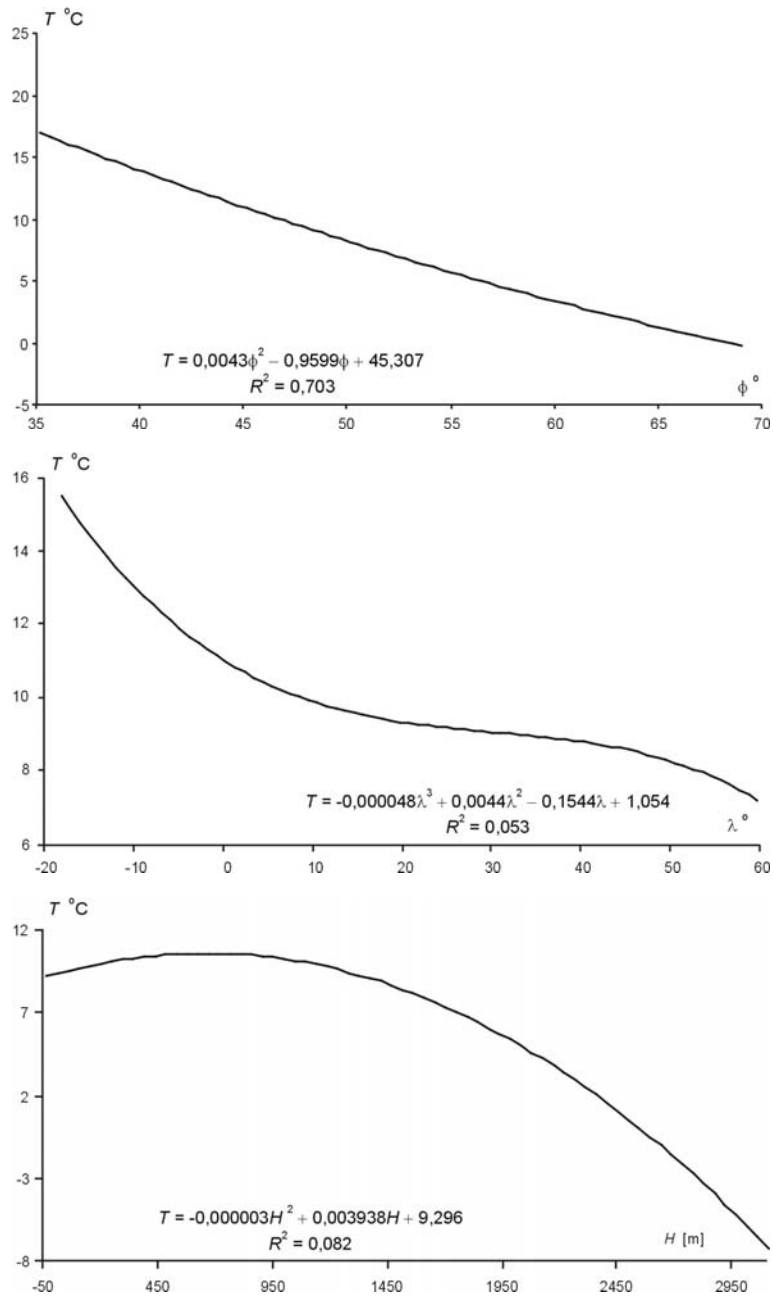


Rys. 2.26. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\phi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – lato
 Fig. 2.26. Profiles of air temperature in Europe: longitudinal $T(\phi)$, latitudinal $T(\lambda)$, hypsometric $T(H)$ – summer



Rys. 2.27. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\varphi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – jesień

Fig. 2.27. Profiles of air temperature in Europe: longitudinal $T(\varphi)$, latitudinal $T(\lambda)$, hypsometric $T(H)$ – autumn



Rys. 2.28. Profile temperatury powietrza w Europie: południkowy $T(\phi)$, równoleżnikowy $T(\lambda)$, hipsometryczny $T(H)$ – rok

Fig. 2.28. Profiles of air temperature in Europe: longitudinal $T(\phi)$, latitudinal $T(\lambda)$, hypsometric $T(H)$ – year

III. OCHŁODZENIA I OCIEPLENIA KLIMATU EUROPY W XIX-XXI WIEKU

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

W ciągu ostatnich 400 lat tj. w latach 1600, 1700, 1830 wystąpiły na Ziemi trzy duże ochłodzenia, cechujące się największymi spadkami temperatury powietrza. Najbardziej poznane jest to ostatnie ochłodzenie w Europie. O tym ochłodzeniu w Polsce świadczą przebiegi temperatury powietrza w XIX i XX wieku w Warszawie i Krakowie (Trepieńska 1973, 1988). Wystąpiło ono podczas trzech najslabszych, wydłużonych (12-13-letnich) cykli aktywności Słońca (1798-1833). Ochłodzenie to pojawiło się w czasie najslabszego 13-letniego cyklu plam słonecznych (1911-1823) od roku 1700 (absolutnego minimum wiekowego). To ostatnie ochłodzenie klimatu Ziemi (także w Europie) wystąpiło podczas wzmożonej aktywności wulkanicznej, po największych wybuchach wulkanów: 1803 – Cotopaxi, 1815 – Tambora, 1835 – Cosequina. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu są kształtowane wahaniami dopływu energii słonecznej do powierzchni Ziemi, zależnej od stałej słonecznej i zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze – pochłaniających i rozpraszających promieniowanie słoneczne.

1. Wpływ aktywności Słońca na temperaturę powietrza w Europie

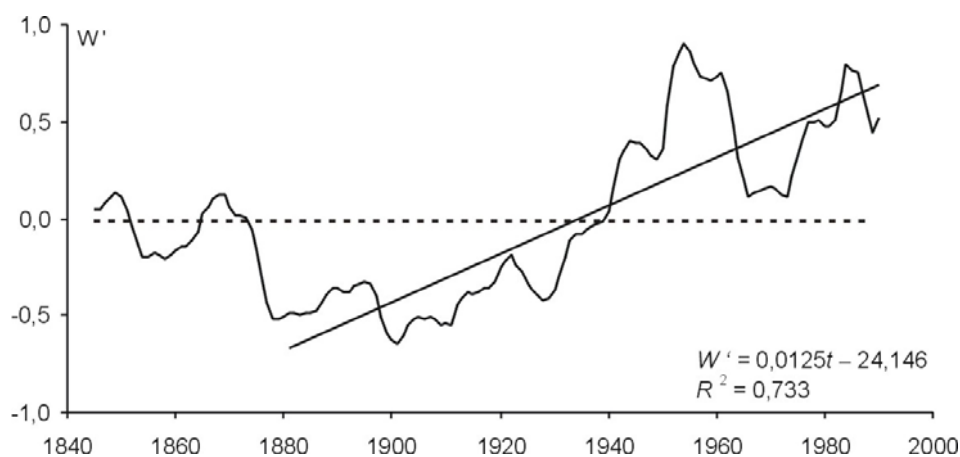
O dominującym udziale aktywności Słońca w kształtowaniu klimatu Ziemi w postępującym ociepleniu klimatu w XIX-XX wieku świadczą synchroniczne zmiany średnich konsekwentnych 11-letnich liczb Wolfa (rys. 3.1) i średniej rocznej temperatury powietrza w Europie w latach 1840-1994 – z 10. miejscowości europejskich tj. z Paryża, Berlina, Sztokholmu, Warszawy, Krakowa, Pragi, Wiednia, Tallina, Bazylei i Oksfordu (rys. 3.2). Tendencje standaryzowanych średnich rocznych wartości liczb Wolfa (W') i średniej rocznej temperatury powietrza (T') w latach 1881-1994 są określone zbliżonymi równaniami prostych regresji:

$$W' = 0,0125t - 24,146$$

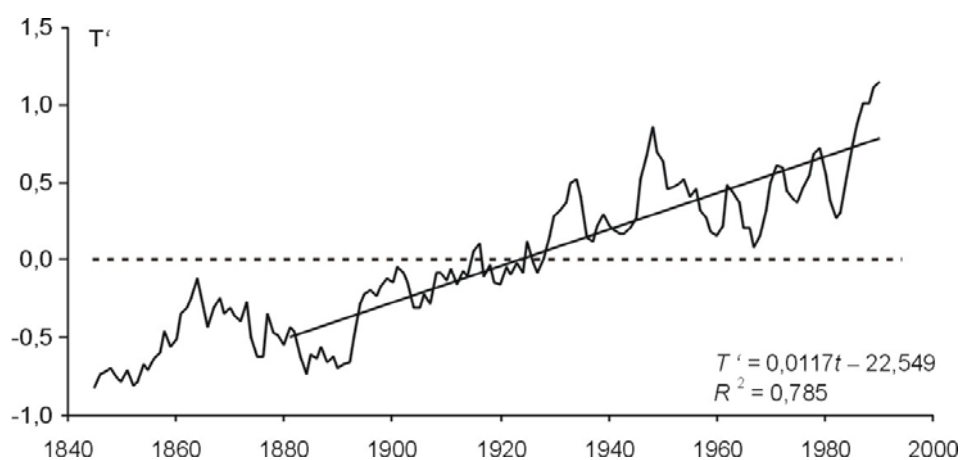
$$T' = 0,0117t - 22,549$$

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

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

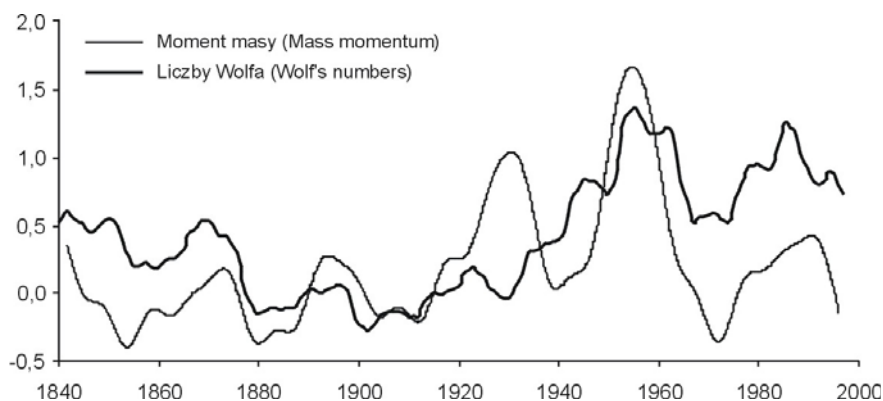


Rys. 3.1. Aktywność Słońca (liczby Wolfa) w latach 1840-2000 (standaryzowanych liczb Wolfa)
 Fig. 3.1. Solar activity (Wolf numbers) in years 1840-2000 (standardises Wolf numbers)

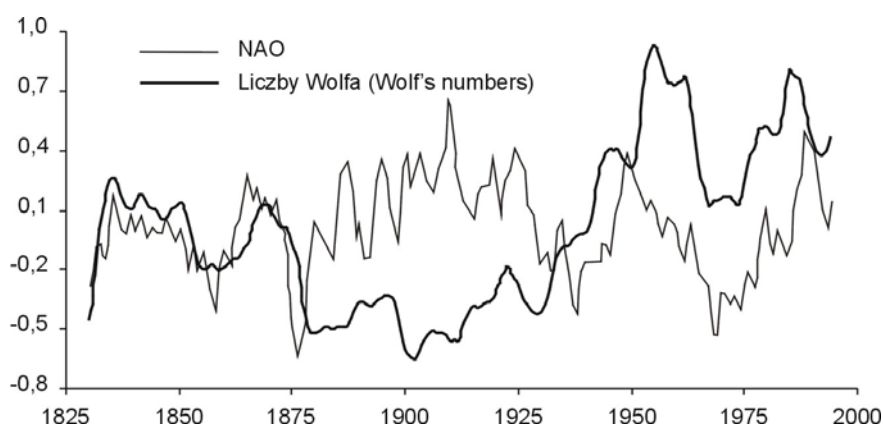


Rys. 3.2. Tendencja zmian rocznej temperatury powietrza w Europie w latach 1840-2000
 Fig. 3.2. The tendency of annual air temperature in Europe in years 1840-2000

Istotne znaczenie w badaniu przyczyn zmian klimatu Ziemi ma zależność aktywności Słońca (liczb Wolfa) od zmian położenia środka masy czterech największych planet. Oddziaływania fizyczne (bliżej nieznanne) na Słońce poszczególnych planet można opisać wyodrębniając ich udział w zmienności momentu masy $M = \sum m_i r_i$ (m_i – masa planety, r_i – promień wodzący, parametry orbit – Reznikov 1982) tj. w zmianach położenia środka masy Układu Słonecznego, względem którego porusza się Słońce (Boryczka 2002). Interesująca jest „równoległość” zmian standaryzowanych średnich konsekwentnych 11-letnich liczb Wolfa i momentu masy 4 największych planet (rys. 3.3). Synchroniczne są również wahania aktywności Słońca (tylko przy dużej liczbie plam słonecznych) i Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO, rys. 3.4).



Rys. 3.3. Zmiany aktywności Słońca (standaryzowanych liczb Wolfa) i momentu masy największych planet w latach 1840-2002
 Fig. 3.3. Changes in solar activity (standardises Wolf numbers) and mass moments of the largest planets in years 1840-2002



Rys. 3.4. Zmiany Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) i aktywności Słońca (liczb Wolfa) w latach 1825-2000
 Fig. 3.4. Changes of North Atlantic Oscillations (NAO) and solar activity (Wolf numbers) in years 1825-2000

2. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na temperaturę powietrza w Europie

Na klimat Europy dominujący wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego nad Atlantykiem: Niż Islandzki i Wyż Azorski. Te dwa centra ciśnienia związane z różnicą temperatury między wodą Atlantyku Północnego i lądem są w ciągu roku ze sobą ujemnie skorelowane. Przy dużej południkowej różnicy ciśnienia tj. dużym gradiencie ciśnienia skierowanym na północ, powietrze znad Atlantyku napływa z zachodu na wschód – nad obszar Europy. Natomiast podczas spadku ciśnienia w Wyżu Azorskim (i jednocześnie wzroście ciśnienia w Niżu Islandzkim) poziomy gradient ciśnienia może być skierowany na wschód

lub zachód. Wtedy występuje południkowy ruch powietrza na południe lub północ (cyrkulacja południkowa). Wówczas nad obszar Europy napływa powietrze z północy lub południa.

Klimat Zachodniej i Środkowej Europy jest kształtowany przez cyrkulację strefową, uwarunkowaną południkowym gradientem ciśnienia atmosferycznego $P_n \left(\frac{\partial p}{\partial \varphi} \right)$.

Jako miarę południkowego gradientu ciśnienia przyjęto wskaźnik NAO (North Atlantic Oscillation), zdefiniowany przez Jonesa i in. (1997) tj. standaryzowaną różnicę ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza między Gibraltarem i południowo-zachodnią Islandią. Wartości wskaźnika NAO określają równoleżnikowy transport mas powietrza: w kierunku wschodnim – NAO > 0 i południkowym – NAO < 0 (Marsz 1999).

O dużej zależności klimatu Europy od Oscylacji Północnoatlantyckiej w latach 1825-2000 świadczą istotne statystycznie współczynniki korelacji r między temperaturą powietrza w Europie tj. w: Paryżu, Berlinie, Warszawie, Moskwie, Krakowie, Wrocławiu, Lwowie i Wilnie i a wskaźnikiem NAO. Wartości współczynników korelacji r są największe w miesiącach zimowych np. w styczniu zmieniają się od 0,65 w Berlinie do 0,36 w Moskwie (tab. 3.1).

Tabela 3.1. Współczynniki korelacji (r) temperatury powietrza i wskaźnika NAO
Table 3.1. Coefficient correlations (r) of air temperature in Europe and NAO indicator

Stacje Stations	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Paryż	<u>0.60</u>	<u>0.63</u>	<u>0.60</u>	0,35	0,28	0,12	0,19	0,22	0,1	0,30	<u>0.53</u>	<u>0.48</u>
Berlin	<u>0.65</u>	<u>0.66</u>	<u>0.60</u>	0,25	0,27	0,12	0,15	0,20	0,3	0,25	<u>0.50</u>	<u>0.54</u>
Warszawa	<u>0.57</u>	<u>0.55</u>	<u>0.49</u>	0,12	0,13	0,13	0,13	0,08	0,27	0,25	<u>0.30</u>	<u>0.41</u>
Moskwa	<u>0.36</u>	<u>0.45</u>	<u>0.40</u>	-0,0	-0,04	-0,2	0,12	-0,0	0,11	0,20	-0,00	-0,10
Kraków	<u>0.52</u>	<u>0.38</u>	<u>0.44</u>	0,11	0,16	0,12	0,12	0,10	0,30	0,19	<u>0.31</u>	<u>0.38</u>
Wrocław	<u>0.61</u>	<u>0.59</u>	<u>0.48</u>	0,17	0,21	0,09	0,11	0,20	0,34	0,20	<u>0.41</u>	<u>0.50</u>
Lwów	<u>0.49</u>	<u>0.44</u>	<u>0.40</u>	0,12	-0,02	0,05	0,15	0,16	0,22	0,05	<u>0.20</u>	<u>0.33</u>
Wilno	<u>0.53</u>	<u>0.55</u>	<u>0.48</u>	0,08	0,07	0,03	0,02	0,05	0,29	0,24	<u>0.34</u>	<u>0.40</u>

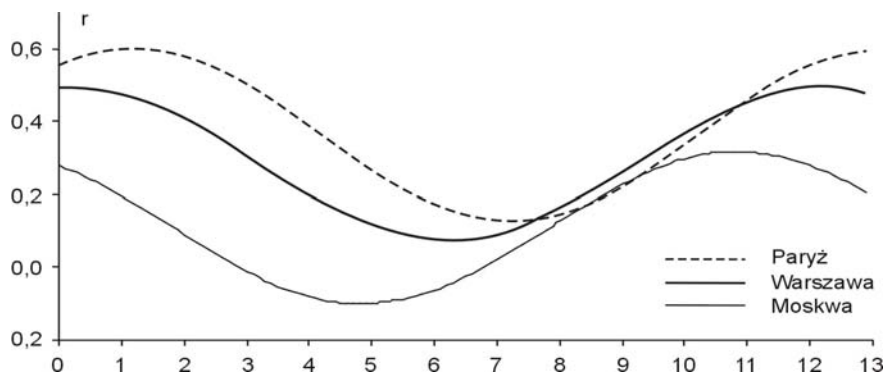
W miesiącach letnich są one zbliżone do zera, a nawet ujemne (nie istotne na poziomie 0,05).

Przebiegi roczne współczynnika korelacji temperatury powietrza z wskaźnikiem NAO opisują dobrze równania sinusoid regresji o dużych współczynnikach determinacji R^2 [%] (tab. 3.2). Przykładowo przedstawiono wykresy sinusoid, opisujących przebieg roczny współczynnika korelacji r w Paryżu, Warszawie i Moskwie (rys. 3.5).

Dodatnie wartości współczynnika korelacji (r) świadczą, że zimy są cieplejsze przy większych gradientach południkowych ciśnienia, a chłodniejsze – przy mniejszych. Wskaźnik NAO w latach 1825-2000 cechuje się okresowością kilku, kilkunastoletnią i około 100-letnią (tab. 3.3). W widmach wskaźnika NAO w styczniu i roku dominują cykle około 8-letnie.

Tabela 3.2. Zmiany roczne współczynnika korelacji temperatury powietrza w Europie z wskaźnikiem NAO w latach 1825-2000. Równania sinusoid regresji
 Table 3.2. Annual changes of correlation coefficients of air temperature in Europe and the NAO index in the years 1825-2000. Equations of regression sinusoids

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



Rys. 3.5. Przebieg roczny współczynnika korelacji między temperaturą powietrza w Europie i wskaźnikiem NAO w latach 1825-2000

Fig. 3.5. Annual course of correlation coefficients between of air temperature in Europe and NAO index in the years 1825-2000

Tabela 3.3. Okresy (Θ) Oscylacji Północnoatlantycznej NAO w latach 1825-2000 (R – współczynnik korelacji)
 Table 3.3. The periods (Θ) of North Atlantic Oscillation (NAO) in years 1825-2002 (R – correlation coefficient)

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

3. Mroźne i łagodne zimy oraz ciepłe i chłodne lata w Europie

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

Najmroźniejsze styczenie w Europie wystąpiły w: Warszawie – 1838 (-13,5), 1963 (-11,5°C), Krakowie – 1848 (-12,4), 1963 (-10,0°C), Najcieplejsze styczenie wystąpiły w: Warszawie – 1796 (3,5), 1983 (3,4°C), Krakowie 1921 (3,5°C), Moskwie – 1983 (-4,1°C). Natomiast najcieplejszymi lipcami były w: Warszawie – 1834 (22,4), 1811 (22,3), 1826 (22,1), 1917 (20,3), 1964 (20,0), 1979 (19,6°C), Krakowie 1834 (22,6), 1932 (21,3), 1983 (21,1°C). Najmroźniejsze i najłagodniejsze styczenie oraz najcieplejsze i najchłodniejsze lipce w Warszawie w latach 1779-2000 zestawiono w tabeli 3.4.

Tabela 3.4. Mroźne styczenie i gorące lipce (°C) w Warszawie w latach 1779- 2002
Table 3.4. The frosty Januarys and hot Julys (°C) in Warsaw in years 1779-2002

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

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

4. Okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie

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

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

W Europie dominują około 8-letnie okresy temperatury powietrza o dużych amplitudach $\Delta T = 2b = T_{\max} - T_{\min}$ (°C). Na przykład w styczniu wynoszą one w: Warszawie – 8,3 (1,28°C), Krakowie – 8,3 (1,38°C), Pradze – 7,8 (1,52°C), Berlinie – 7,7 (1,94°C), Sztokholmie – 6,6 (1,48°C), Moskwie – 9,3 lat (1,60°C). W lipcu okresowość jest zbliżona, lecz amplitudy są prawie o połowę mniejsze (tab. 3.5).

Tabela 3.5. Okresy około 8-letnie temperatury powietrza w styczniu i lipcu w Europie ($\Delta T = 2b$ [°C])
 Table 3.5. 8-years periods of air temperature in Europe in January and July ($\Delta T = 2b$ [°C])

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

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

Krótkookresowe zmiany aktywności Słońca (stałej słonecznej) nie odgrywają istotnej roli w kształtowaniu klimatu Ziemi, ze względu na bardzo powolne przenikanie ciepła do głębszych warstw Ziemi. Większą rolę odgrywają długie cykle: około 100- i 180-letni aktywności Słońca. W otoczeniu maksimum plam słonecznych w tych cyklach kumulowana energia słoneczna w głębszych warstwach lądów i oceanów, która wywiera wpływ na prądy morskie i cyrkulację atmosferyczną.

Okresy około 100-letnie są obecne w wielu seriach pomiarowych temperatury powietrza w Europie (tab. 3.6).

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

Tabela 3.6. Okresy około 100-letnie temperatury powietrza w styczniu i lipcu w Europie ($\Delta T = 2b$, [°C])
 Table 3.6. 100-years periods of air temperature in January and July in Europe ($\Delta T = 2b$, [°C])

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

5. Tendencje zmian temperatury powietrza w Europie w XIX-XX wieku. Prognozy do roku 2100

Tendencje temperatury powietrza w Europie określone według równań prostych regresji $T = A_0 + A t$ (współczynniki kierunkowe A w $^{\circ}\text{C}/100$ lat) podano w tabeli 3.7. Charakteryzują one średnie przyrosty temperatury powietrza na 100 lat w odpowiednich przedziałach czasowych. Na ogół tendencje temperatury powietrza w miastach europejskich w zimie są rosnące ($A > 0$), a w lecie malejące ($A < 0$).

Tendencje temperatury powietrza (a), określone równaniami prostych regresji $T = a_0 + at$ w zimie są na ogół rosnące: Warszawa (1779-1998) – styczeń ($1,36^{\circ}\text{C}/100$ lat), lipiec $0,15^{\circ}\text{C}/100$ lat), Kraków (1827-1997) – styczeń ($1,71^{\circ}\text{C}$), lipiec ($0,33^{\circ}\text{C}$), Sztokholm (1756-1994) – styczeń ($1,12^{\circ}\text{C}$), lipiec ($0,11^{\circ}\text{C}$), Moskwa (1881-2002) – styczeń ($3,54^{\circ}\text{C}$), lipiec ($0,92^{\circ}\text{C}$).

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

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

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

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

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

Przykładowo, przedstawiono zmiany: aktywności Słońca, wskaźnika NAO i temperatury powietrza w Warszawie w XIX-XXI w. tj. z prognozą ich zmian do 2100 r. (rys. 3.6-3.8).

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

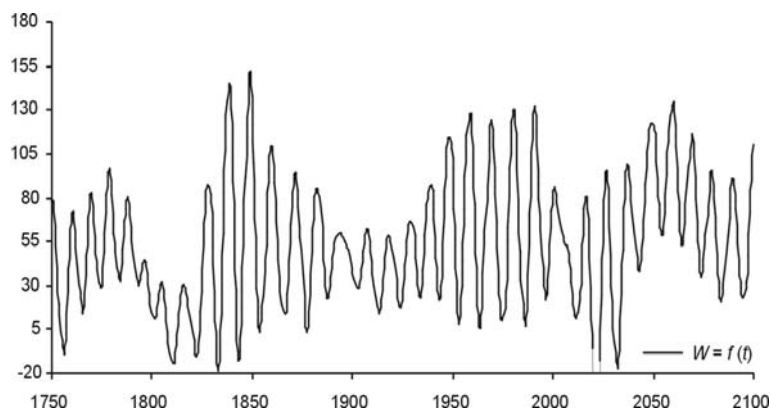
Prognozy z składnikiem liniowym at (linia ciągła) uwzględniają wpływ czynników antropogenicznych na przebieg temperatury powietrza. Tendencji rosnącej antropogenicznej części efektu cieplarnianego przypisuje się postępujące ocieplenie na Ziemi (IPCC 1990, 1995, 2005). Nie wiadomo jednak, jaka część tendencji rosnącej temperatury powietrza jest spowodowana wzrostem aktywności Słońca w XX wieku, a jaka część wynika z coraz większego stężenia CO_2 w atmosferze. Kluczem do rozwiązania tego problemu mogą być wyniki badań rdzeni lodowych Antarktydy sprzed 420 000 lat

(Petite i in. 1999). Interesujące jest, że ocieplenia na Ziemi występują podczas maksimumów promieniowania słonecznego dochodzącego do Ziemi na równoleżniku 65° w odstępach czasu co 100 000 lat. Podczas maksimumów promieniowania słonecznego i paleotemperatury O^{18}/O^{16} znacznie większe było stężenie CO_2 w atmosferze ziemskiej.

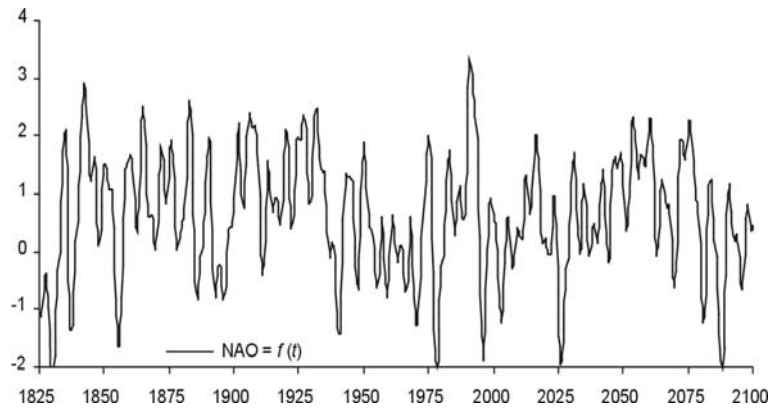
Tabela 3.7. Tendencje zmian temperatury powietrza w niektórych miastach Europy (°C/100 lat)

Table 3.7. The tendency of air temperature chosen cities in Europe (°C/100 years)

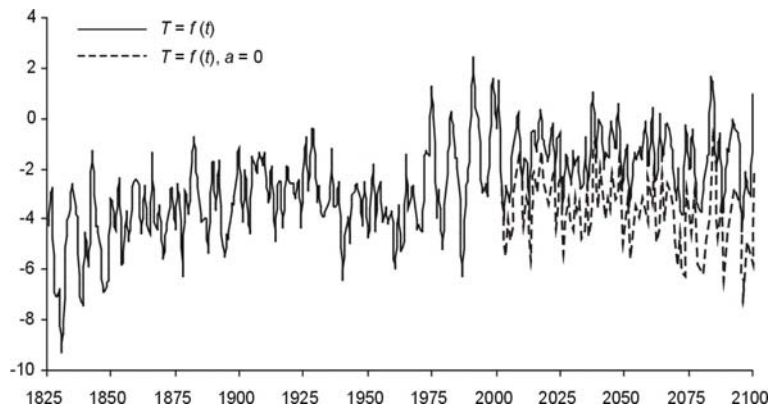
Stacje	Okres	Styczeń	Zima	Lipiec	Lato	Rok
Warszawa	1779-1998	1,36	1,12	0,15	-0,06	0,58
Kraków	1827-1997	1,71	1,48	0,33	0,31	0,82
Wrocław	1792-2002	1,10	0,69	0,34	0,25	0,52
Lwów	1824-2002	0,53	0,53	0,20	-0,22	0,20
Praga	1771-1990	0,04	0,25	-1,13	-0,25	-0,02
Berlin	1769-1990	1,12	0,32	0,33	-0,39	0,13
Genewa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



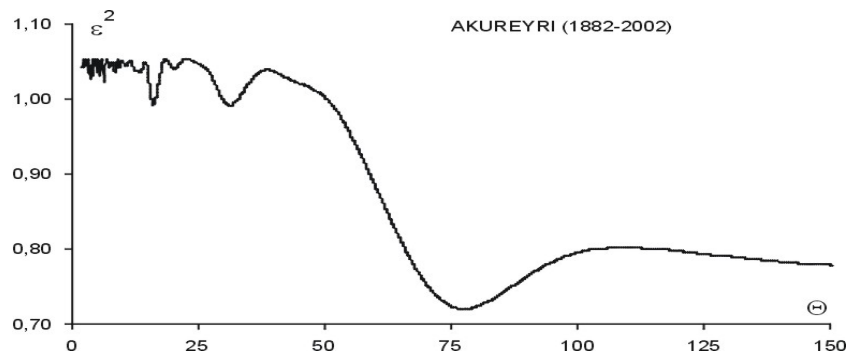
Rys. 3.6. Aktywność Słońca w latach 1749-2100 – prognoza w 2003-2100 (styczeń)
 Fig. 3.6. Sun activity in year 1749-2100 – forecast in 2003-2100 (January)



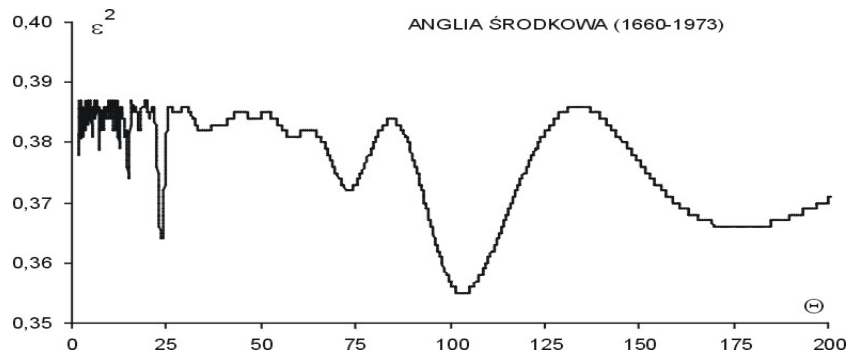
Rys. 3.7. Oscylacja Północnoatlantycka (NAO) w latach 1825-2100 – prognoza w 2001-2100 (styczeń)
 Fig. 3.7. North Atlantic Oscillation (NAO) in years 1825-2100 – forecast in years 2001-2100 (January)



Rys. 3.8. Temperatura powietrza w Warszawie w latach 1779-2100 – prognoza w 2003-2100 (styczeń)
 Fig. 3.8. Air temperature in Warsaw in the 1779-2100 years – forecasts 2003-2100 (January)

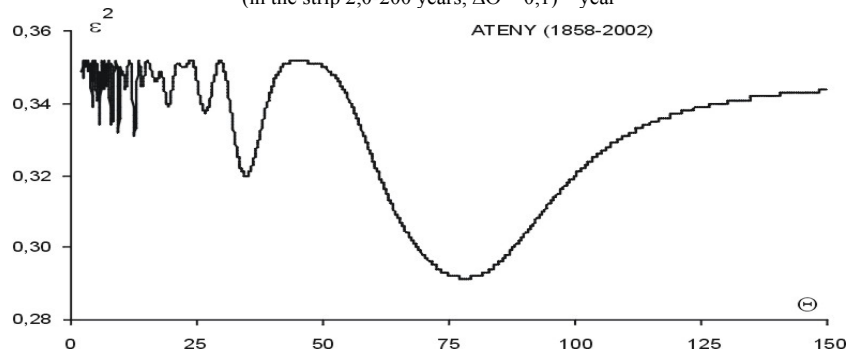


Rys. 3.9. Widmo temperatury powietrza w Akureyri w latach 1882-2002
 (w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.9. Spectrum of air temperature in Akureyri in the years 1882-2002
 (in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



Rys. 3.10. Widmo temperatury powietrza w Anglii Środkowej w latach 1660-1973
(w paśmie 2,0-200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok

Fig. 3.10. Spectrum of air temperature in England in the years 1660-1973
(in the strip 2,0-200 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



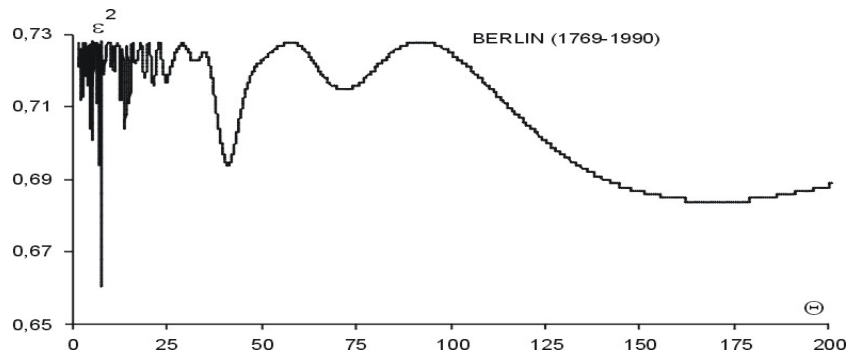
Rys. 3.11. Widmo temperatury powietrza w Atenach w latach 1858-2002
(w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok

Fig. 3.11. Spectrum of air temperature in Athens in the years 1858-2002
(in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



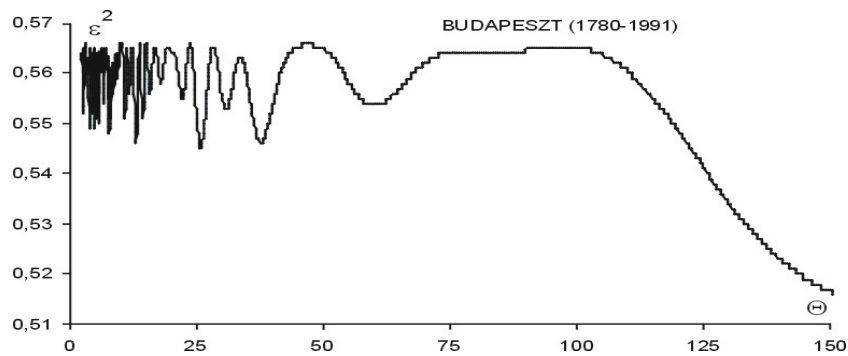
Rys. 3.12. Widmo temperatury powietrza w Bazylei w latach 1755-1980
(w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok

Fig. 3.12. Spectrum of air temperature in Basel in the years 1755-1980
(in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



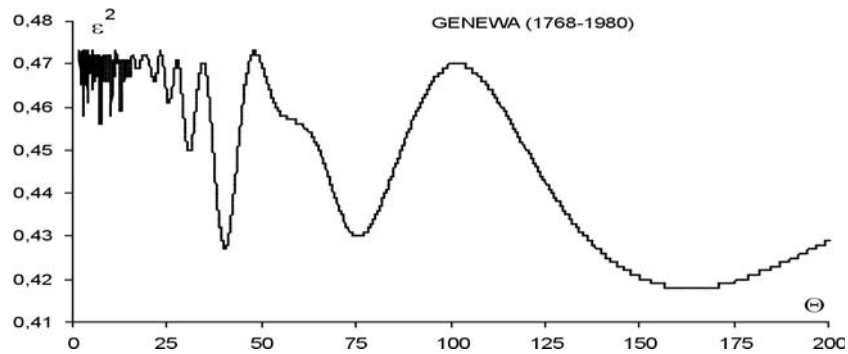
Rys. 3.13. Widmo temperatury powietrza w Berlinie w latach 1769-1990
(w paśmie 2,0-200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok

Fig. 3.13. Spectrum of air temperature in Berlin in the years 1769-1990
(in the strip 2,0-200 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



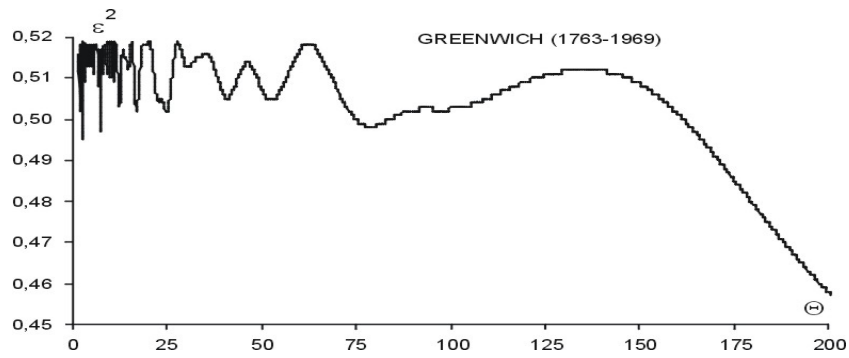
Rys. 3.14. Widmo temperatury powietrza w Budapeszcie w latach 1780-1991
(w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok

Fig. 3.14. Spectrum of air temperature in Budapest in the years 1780-1991
(in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year

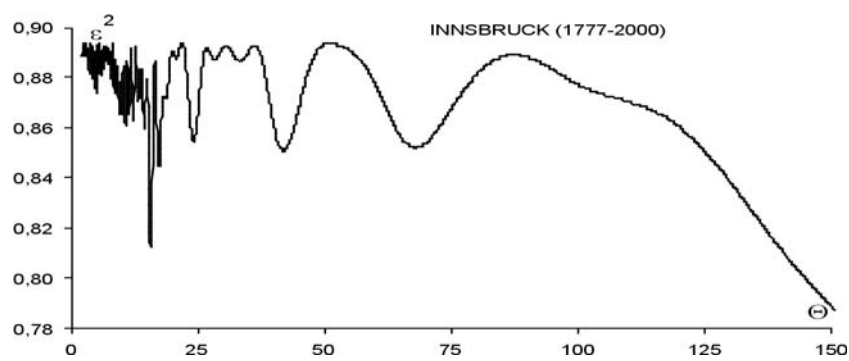


Rys. 3.15. Widmo temperatury powietrza w Genewie w latach 1768-1980
(w paśmie 2,0-200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok

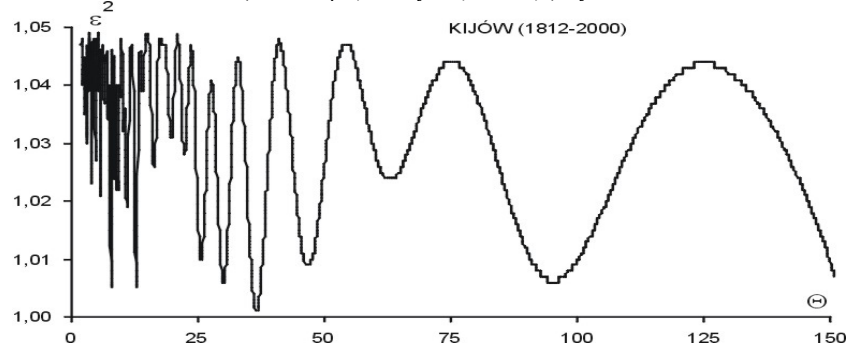
Fig. 3.15. Spectrum of air temperature in Geneva in the years 1768-1980
(in the strip 2,0-200 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



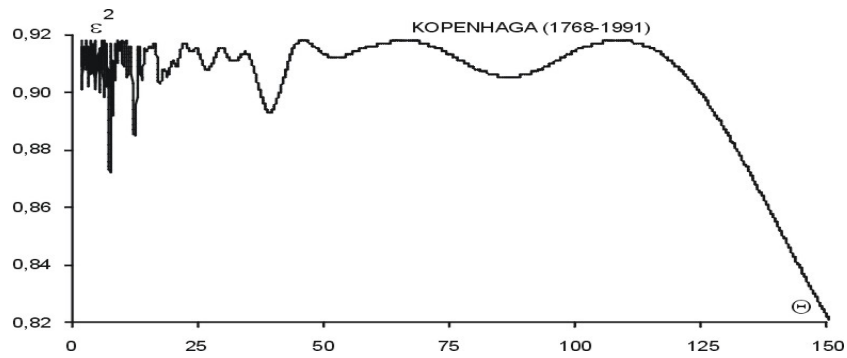
Rys. 3.16. Widmo temperatury powietrza w Greenwich w latach 1763-1969
 (w paśmie 2,0-200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.16. Spectrum of air temperature in Greenwich in the years 1763-1969
 (in the strip 2,0-200 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



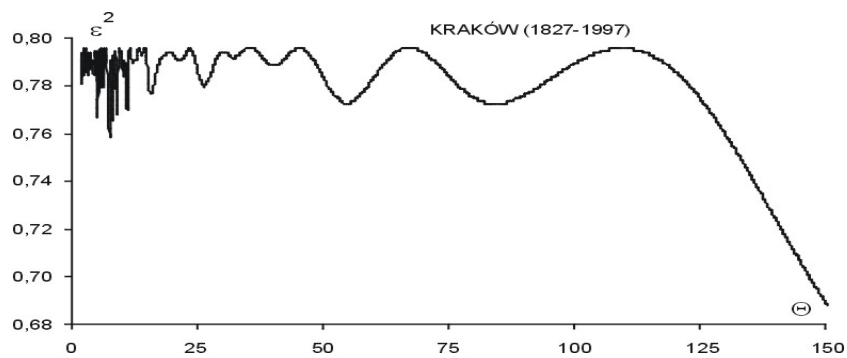
Rys. 3.17. Widmo temperatury powietrza w Innsbrucku w latach 1777-2000
 (w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.17. Spectrum of air temperature in Innsbruck in the years 1777-2000
 (in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



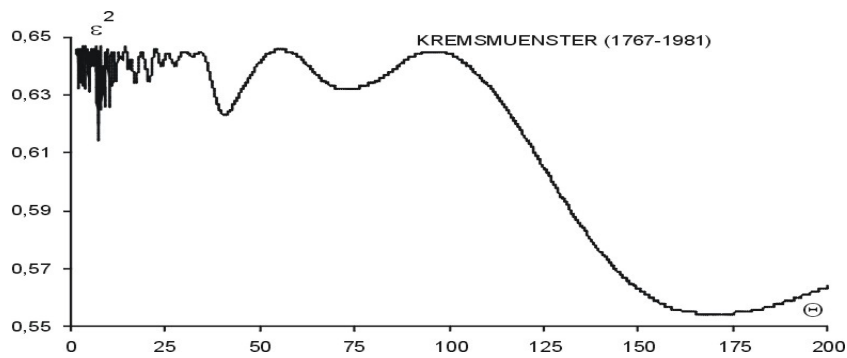
Rys. 3.18. Widmo temperatury powietrza w Kijowie w latach 1812-2000
 (w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.18. Spectrum of air temperature in Kiev in the years 1812-2000
 (in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



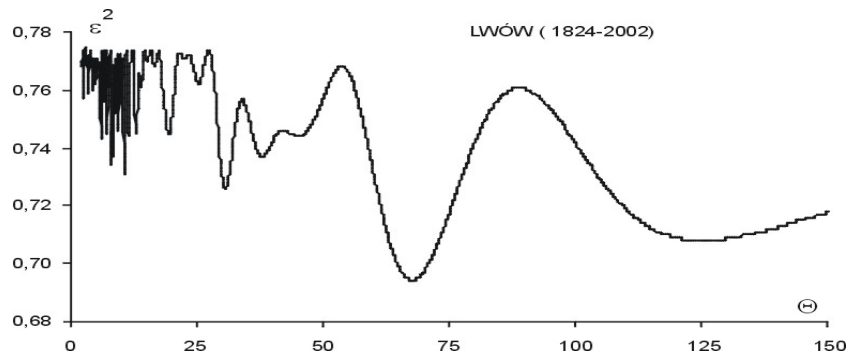
Rys. 3.19. Widmo temperatury powietrza w Kopenhadze w latach 1768-1991
(w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
Fig. 3.19. Spectrum of air temperature in Copenhagen in the years 1768-1991
(in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



Rys. 3.20. Widmo temperatury powietrza w Krakowie w latach 1827-1997
(w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
Fig. 3.20. Spectrum of air temperature in Krakow in the years 1827-1997
(in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year

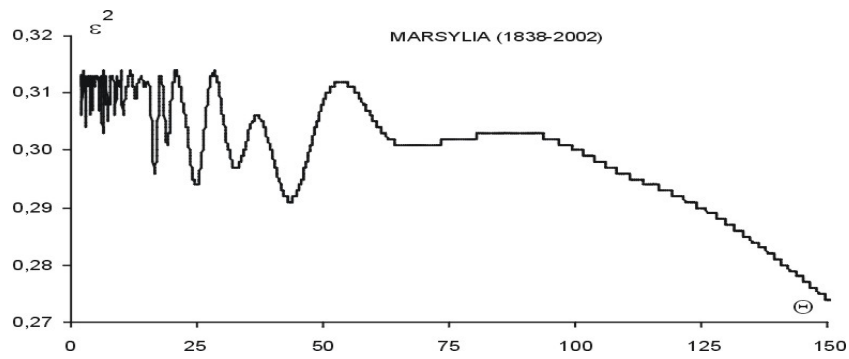


Rys. 3.21. Widmo temperatury powietrza w Kremsmuenster w latach 1767-1981
(w paśmie 2,0-200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
Fig. 3.21. Spectrum of air temperature in Kremsmuenster in the years 1767-1981
(in the strip 2,0-200 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



Rys. 3.22. Widmo temperatury powietrza we Lwowie w latach 1824-2002
(w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok

Fig. 3.22. Spectrum of air temperature in Lwov in the years 1824-2002
(in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



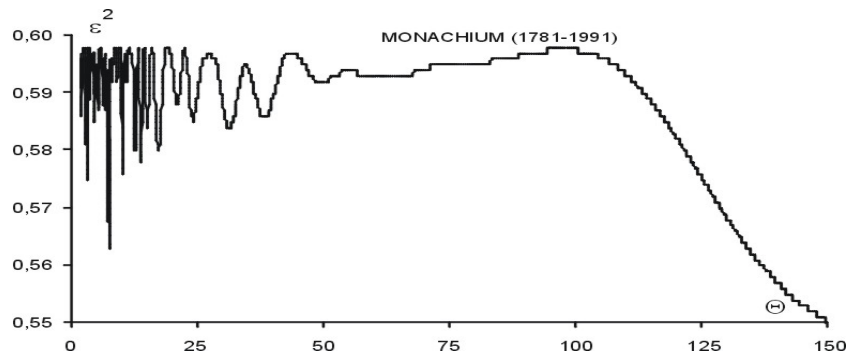
Rys. 3.23. Widmo temperatury powietrza w Marsylii w latach 1838-2002
(w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok

Fig. 3.23. Spectrum of air temperature in Marseille in the years 1838-2002
(in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



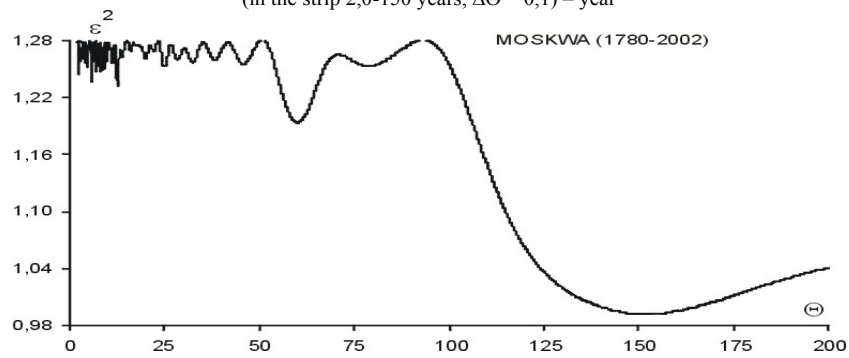
Rys. 3.24. Widmo temperatury powietrza w Mińsku w latach 1891-2002
(w paśmie 2,0-100 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok

Fig. 3.24. Spectrum of air temperature in Minsk in the years 1891-2002
(in the strip 2,0-100 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



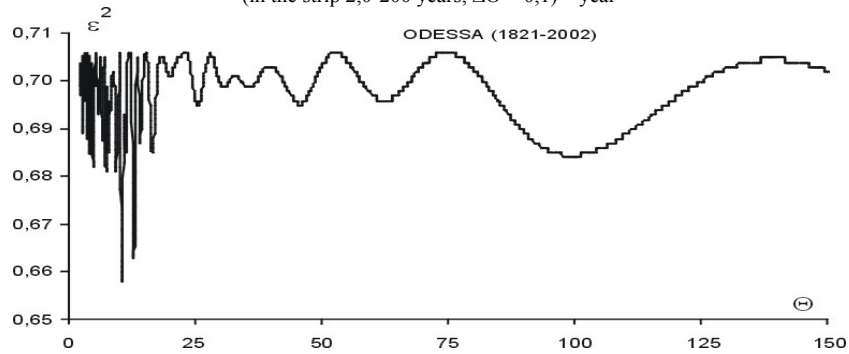
Rys. 3.25. Widmo temperatury powietrza w Monachium w latach 1781-1991
(w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok

Fig. 3.25. Spectrum of air temperature in Munich in the years 1781-1991
(in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



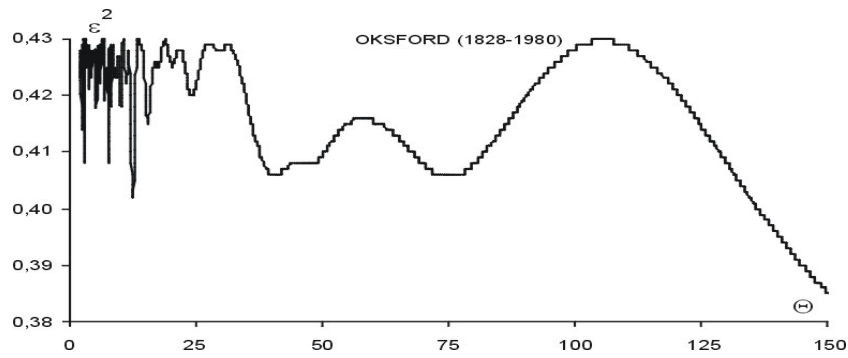
Rys. 3.26. Widmo temperatury powietrza w Moskwie w latach 1780-2002
(w paśmie 2,0-200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok

Fig. 3.26. Spectrum of air temperature in Moscow in the years 1780-2002
(in the strip 2,0-200 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year

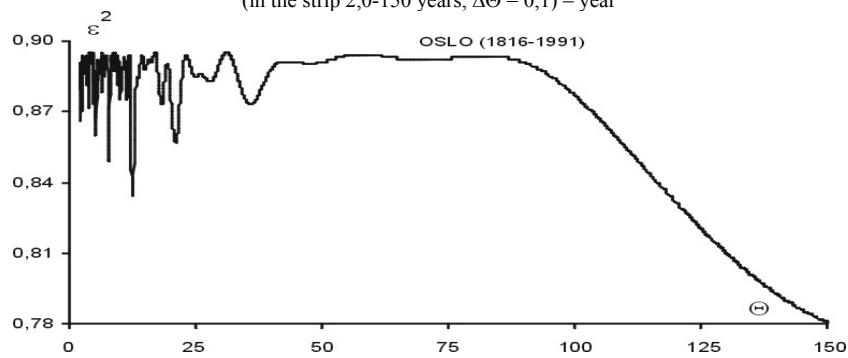


Rys. 3.27. Widmo temperatury powietrza w Odessie w latach 1821-2002
(w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok

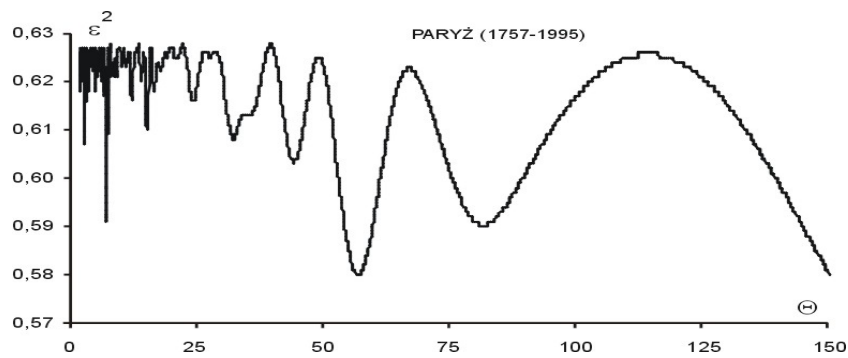
Fig. 3.27. Spectrum of air temperature in Odessa in the years 1821-2002
(in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



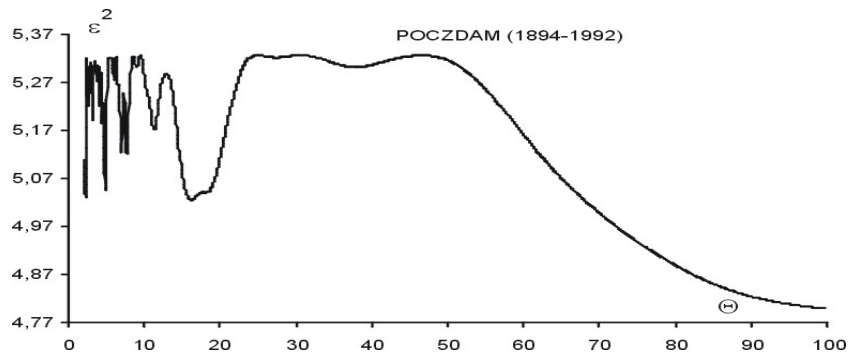
Rys. 3.28. Widmo temperatury powietrza w Oksfordzie w latach 1828-1980
 (w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.28. Spectrum of air temperature in Oxford in the years 1828-1980
 (in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



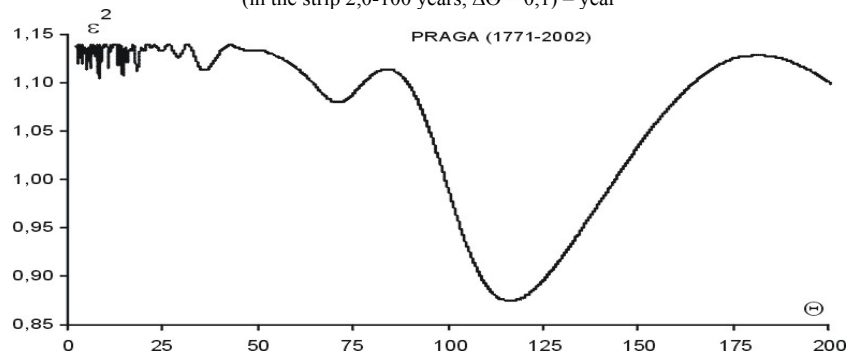
Rys. 3.29. Widmo temperatury powietrza w Oslo w latach 1816-1991
 (w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.29. Spectrum of air temperature in Oslo in the years 1816-1991
 (in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



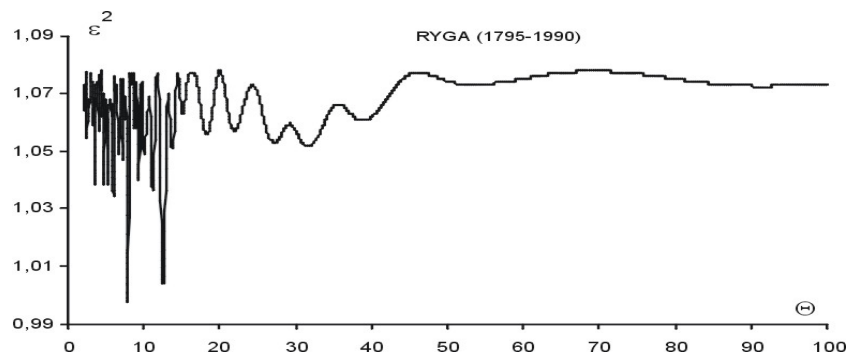
Rys. 3.30. Widmo temperatury powietrza w Paryżu w latach 1757-1995
 (w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.30. Spectrum of air temperature in Paris in the years 1757-1995
 (in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



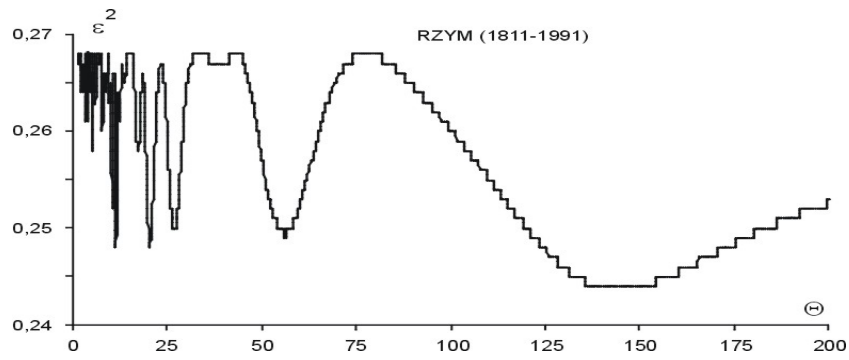
Rys. 3.31. Widmo temperatury powietrza w Poczdamie w latach 1894-1992
 (w paśmie 2,0-100 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.31. Spectrum of air temperature in Potsdam in the years 1894-1992
 (in the strip 2,0-100 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



Rys. 3.32. Widmo temperatury powietrza w Pradze w latach 1771-2002
 (w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.32. Spectrum of air temperature in Prague in the years 1771-2002
 (in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year

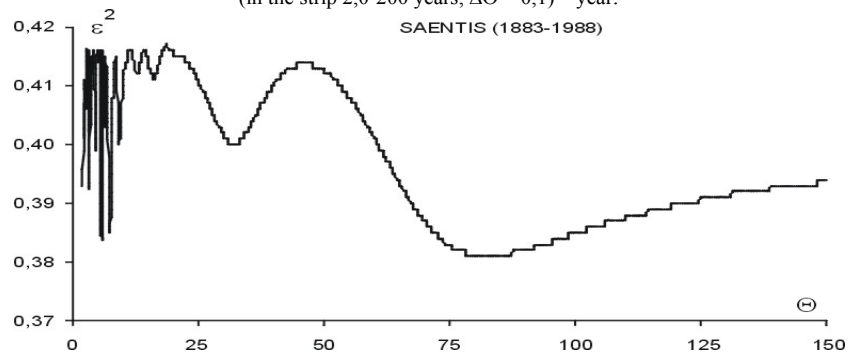


Rys. 3.33. Widmo temperatury powietrza w Rydze w latach 1795-1990
 (w paśmie 2,0-100 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.33. Spectrum of air temperature in Ryga in the years 1795-1990
 (in the strip 2,0-100 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



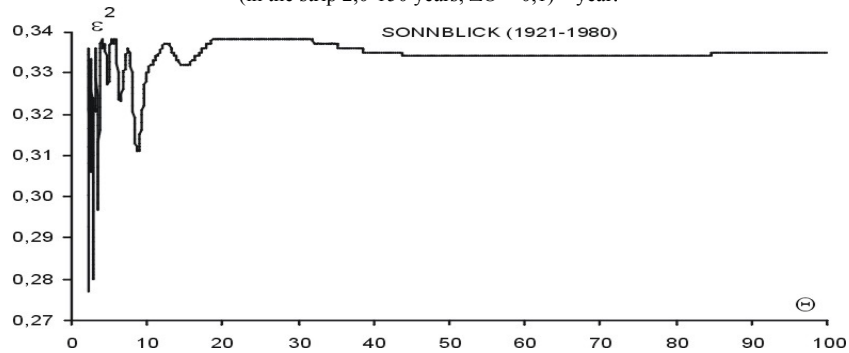
Rys. 3.34. Widmo temperatury powietrza w Rzymie w latach 1811-1991
(w paśmie 2,0-200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok

Fig. 3.34. Spectrum of air temperature in Rome in the years 1811-1991
(in the strip 2,0-200 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year.



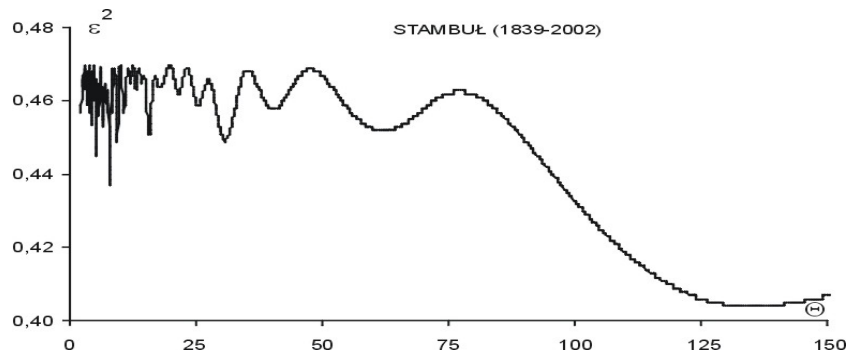
Rys. 3.35. Widmo temperatury powietrza w Saentis w latach 1883-1988
(w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok

Fig. 3.35. Spectrum of air temperature in Saentis in the years 1883-1988
(in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year.

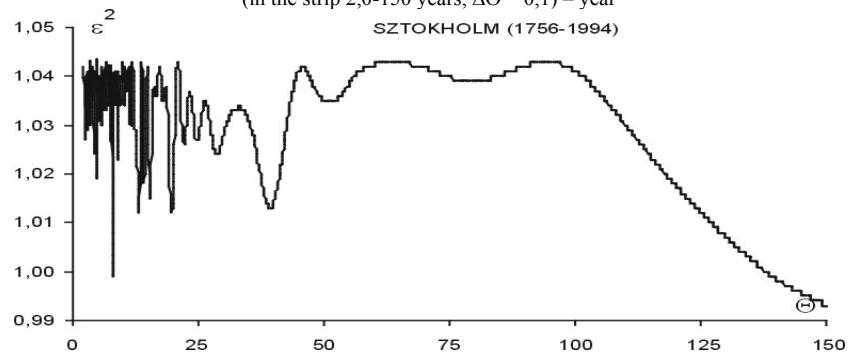


Rys. 3.36. Widmo temperatury powietrza w Sonnblick w latach 1921-1980
(w paśmie 2,0-100 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok

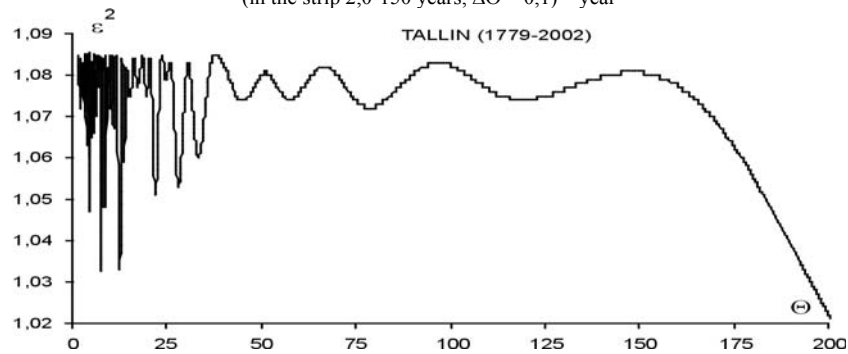
Fig. 3.36. Spectrum of air temperature in Sonnblick in the years 1921-1981
(in the strip 2,0-100 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



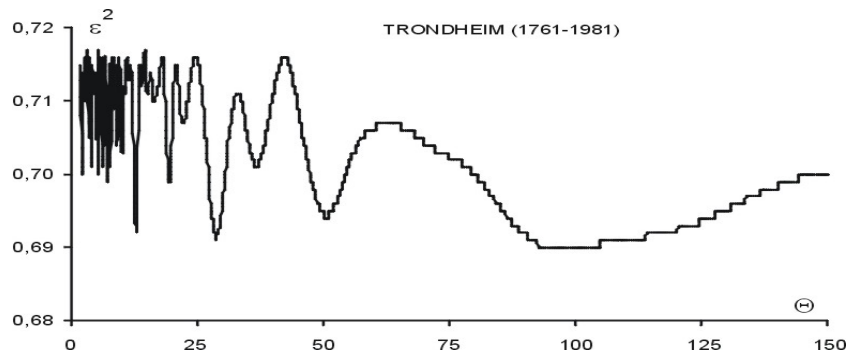
Rys. 3.37. Widmo temperatury powietrza w Stambule w latach 1839-2002
(w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
Fig. 3.37. Spectrum of air temperature in Istanbul in the years 1839-2002
(in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



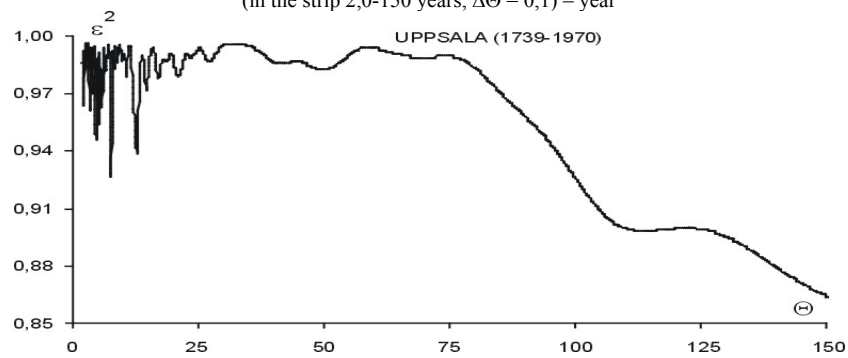
Rys. 3.38. Widmo temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1756-1994
(w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
Fig. 3.38. Spectrum of air temperature in Stockholm in the years 1756-1994
(in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



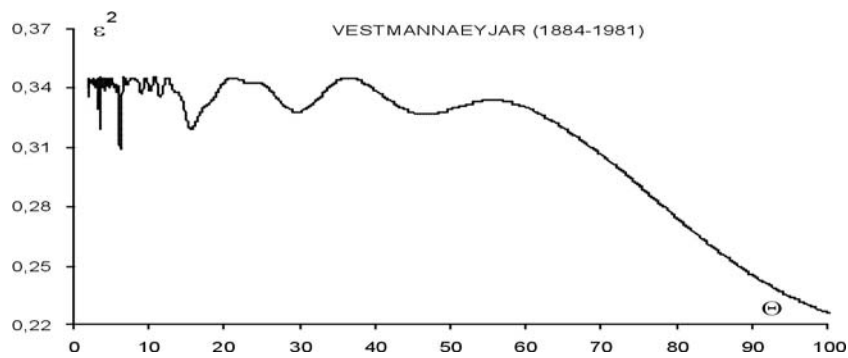
Rys. 3.39. Widmo temperatury powietrza w Tallinie w latach 1779-2002
(w paśmie 2,0-200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
Fig. 3.39. Spectrum of air temperature in Tallin in the years 1779-2002
(in the strip 2,0-200 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



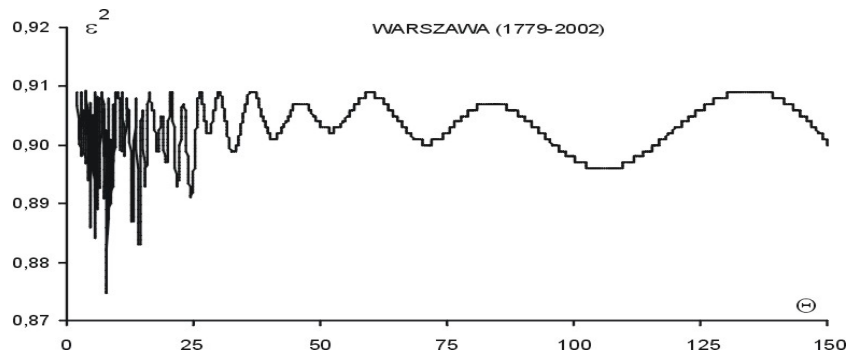
Rys. 3.40. Widmo temperatury powietrza w Trondheim w latach 1761-1981
 (w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.40. Spectrum of air temperature in Trondheim in the years 1761-1981
 (in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



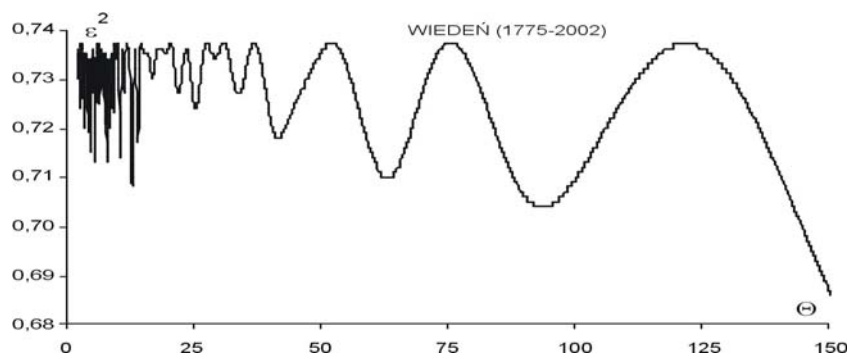
Rys. 3.41. Widmo temperatury powietrza w Uppsali w latach 1739-1970
 (w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.41. Spectrum of air temperature in Uppsala in the years 1739-1970
 (in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



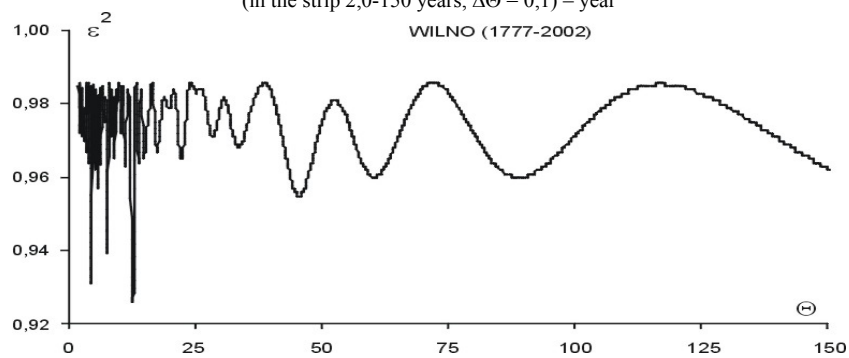
Rys. 3.42. Widmo temperatury powietrza w Vestmannaeyjar w latach 1884-1981
 (w paśmie 2,0-100 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.42. Spectrum of air temperature in Vestmannaeyjar in the years 1884-1981
 (in the strip 2,0-100 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



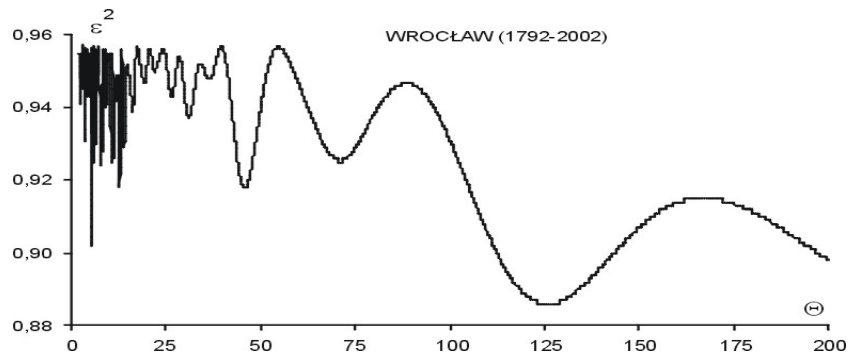
Rys. 3.43. Widmo temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2002
 (w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.43. Spectrum of air temperature in Warsaw in the years 1779-2002
 (in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



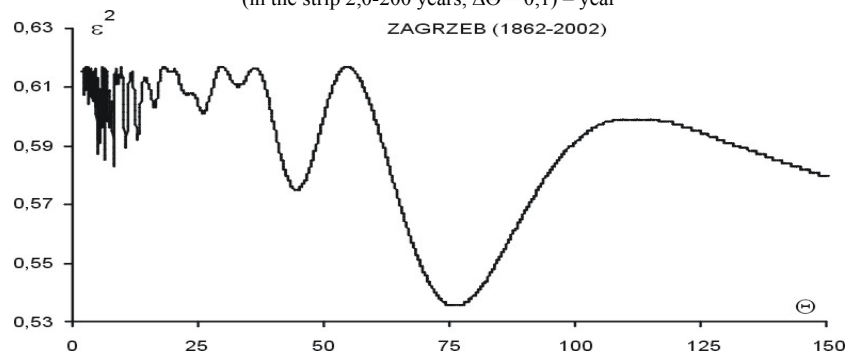
Rys. 3.44. Widmo temperatury powietrza w Wiedniu w latach 1779-2002
 (w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.44. Spectrum of air temperature in Vienna in the years 1779-2002
 (in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



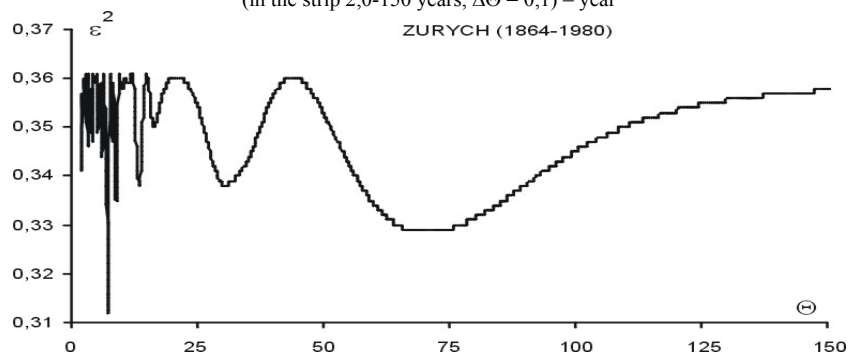
Rys. 3.45. Widmo temperatury powietrza w Wilnie w latach 1777-2002
 (w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.45. Spectrum of air temperature in Vilnius in the years 1777-2002
 (in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



Rys. 3.46. Widmo temperatury powietrza we Wrocławiu w latach 1792-2002
 (w paśmie 2,0-200 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.46. Spectrum of air temperature in Wrocław in the years 1792-2002
 (in the strip 2,0-200 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



Rys. 3.47. Widmo temperatury powietrza w Zagrzebiu w latach 1862-2002
 (w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.47. Spectrum of air temperature in Zagreb in the years 1862-2002
 (in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year



Rys. 3.48. Widmo temperatury powietrza w Zurychu w latach 1864-1980
 (w paśmie 2,0-150 lat, $\Delta\Theta = 0,1$) – rok
 Fig. 3.48. Spectrum of air temperature in Zurich in the years 1864-1980
 (in the strip 2,0-150 years, $\Delta\Theta = 0,1$) – year

Tabela 3.8. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Akureyri (1882-2002) i Anglii Środkowej (1660-1973)
 Table 3.8. The frosty and hot years in Akureyri (1882-2002) and England (1660-1973)

AKUREYRI				ANGLIA ŚRODKOWA			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1892	0,4	1933	5,9	1740	6,8	1949	10,6
1882	0,7	1939	5,9	1695	7,3	1959	10,5
1885	1,3	1941	5,3	1879	7,4	1733	10,5
1886	1,3	1945	5,2	1855	7,6	1834	10,5
1907	1,5	1934	5,1	1698	7,6	1921	10,5
1918	1,5	1946	4,9	1694	7,7	1779	10,4
1902	1,7	1932	4,8	1692	7,7	1868	10,4
1917	1,7	1938	4,8	1814	7,8	1736	10,3
1979	1,7	1942	4,8	1675	7,8	1828	10,3
1887	1,7	1991	4,7	1688	7,8	1945	10,3

Tabela 3.9. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Atenach (1858-2002) i Bazylei (1755-1980)
 Table 3.9. The frosty and hot years in Athens (1858-2002) and Basel (1755-1980)

ATENY				BAZYLEA			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1858	16,5	2001	19,8	1805	7,1	1822	10,8
1882	16,5	2000	19,3	1816	7,2	1834	10,6
1976	16,8	1927	19,2	1845	7,2	1950	10,5
1907	16,9	1999	19,2	1891	7,4	1961	10,5
1949	16,9	1946	18,9	1814	7,5	1943	10,3
1874	17,0	1994	18,9	1813	7,6	1947	10,3
1992	17,0	1937	18,9	1758	7,6	1967	10,3
1875	17,0	1926	18,9	1887	7,6	1975	10,3
1884	17,0	1860	18,8	1755	7,7	1949	10,2
1914	17,1	1936	18,8	1830	7,7	1959	10,2

Tabela 3.10. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Berlinie (1769-1990) i Budapeszcie (1780-1991)
Table 3.10. The frosty and hot years in Berlin (1769-1990) and Budapest (1780-1991)

BERLIN				BUDAPESZT			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1805	6,3	1779	11,1	1805	9,2	1834	13,0
1799	6,7	1834	10,8	1940	9,3	1822	12,9
1940	7,1	1822	10,6	1888	9,4	1794	12,9
1816	7,1	1930	10,5	1838	9,4	1983	12,6
1814	7,1	1921	10,5	1891	9,5	1797	12,5
1838	7,2	1794	10,5	1893	9,5	1951	12,4
1941	7,3	1911	10,5	1941	9,7	1846	12,3
1771	7,4	1989	10,5	1864	9,7	1791	12,3
1845	7,4	1990	10,4	1881	9,7	1975	12,3
1871	7,5	1868	10,3	1785	9,9	1798	12,3

Tabela 3.11. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Genewie (1768-1980) i Greenwich (1763-1969)
Table 3.11. The frosty and hot years in Geneva (1768-1980) and Greenwich (1763-1969)

GENEWA				GREENWICH			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1805	6,3	1779	11,1	1805	9,2	1834	13,0
1799	6,7	1834	10,8	1940	9,3	1822	12,9
1940	7,1	1822	10,6	1888	9,4	1794	12,9
1816	7,1	1930	10,5	1838	9,4	1983	12,6
1814	7,1	1921	10,5	1891	9,5	1797	12,5
1838	7,2	1794	10,5	1893	9,5	1951	12,4
1941	7,3	1911	10,5	1941	9,7	1846	12,3
1771	7,4	1989	10,5	1864	9,7	1791	12,3
1845	7,4	1990	10,4	1881	9,7	1975	12,3
1871	7,5	1868	10,3	1785	9,9	1798	12,3

Tabela 3.12. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Innsbrucku (1777-2000) i Kijowie (1812-2000)
Table 3.12. The frosty and hot years in Innsbruck (1777-2000) and Kijow (1812-2000)

INNSBRUCK				KIJÓW			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1891	6,5	1792	12,1	1832	4,4	1975	9,7
1785	6,9	1822	11,5	1829	4,8	2001	9,5
1889	6,9	1811	11,4	1942	4,8	2002	9,4
1795	7,2	1791	11,3	1871	5,1	1983	9,3
1956	7,4	1793	11,3	1830	5,2	1990	9,3
1816	7,4	1790	10,8	1828	5,3	1989	9,2
1929	7,4	1810	10,8	1893	5,4	2000	9,1
1813	7,5	1828	10,7	1941	5,4	1966	8,9
1888	7,5	1994	10,7	1838	5,5	1999	8,9
1896	7,5	1826	10,5	1912	5,5	1961	8,8

Tabela 3.13. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Kopenhadze (1768-1991) i Krakowie (1827-1997)
Table 3.13. The frosty and hot years in Kopenhaga (1768-1991) and Krakow (1827-1997)

KOPENHAGA				KRAKÓW			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1838	5,2	1990	10,8	1829	5,3	1983	10,3
1840	5,5	1989	10,4	1871	5,7	1934	10,0
1871	5,8	1975	10,0	1838	5,9	2000	9,9
1805	6,1	1798	9,9	1840	6,1	1975	9,9
1845	6,1	1783	9,7	1858	6,2	1967	9,9
1888	6,2	1959	9,7	1864	6,2	1982	9,7
1841	6,2	1801	9,7	1940	6,3	1951	9,6
1829	6,3	1949	9,6	1875	6,6	1961	9,5
1855	6,3	1961	9,6	1832	6,6	1977	9,5
1814	6,4	1983	9,5	1855	6,7	1834	9,5

Tabela 3.14. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Kremsmuenster (1767-1981) i Lwowie (1824-2002)
Table 3.14. The frosty and hot years in Kremsmuenster (1767-1981) and Lwow (1824-2002)

KREMSMUENSTER				LWÓW			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1805	5,9	1791	10,3	1829	5,3	1939	9,5
1793	6,3	1783	10,2	1830	5,4	1934	9,4
1840	6,5	1790	10,0	1838	5,5	1936	9,3
1860	6,5	1822	9,9	1985	5,6	1937	9,3
1858	6,6	1772	9,8	1832	5,6	1930	9,2
1829	6,7	1779	9,8	1956	5,7	2000	9,0
1940	6,8	1781	9,8	1965	5,9	1938	8,9
1816	6,8	1811	9,6	1980	6,0	2002	8,8
1838	6,8	1846	9,6	1954	6,0	1994	8,8
1864	6,9	1788	9,6	1987	6,1	1834	8,7

Tabela 3.15. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Marsylii (1838-2002) i Mińsku (1891-2002)
Table 3.15. The frosty and hot years in Marsylia (1838-2002) and Minsk (1891-2002)

MARSYLIA				MIŃSK			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1941	13,0	2001	16,1	1941	2,9	1975	7,9
1888	13,1	1997	16,0	1942	3,1	1989	7,8
1887	13,2	1994	15,8	1940	3,5	2002	7,8
1860	13,3	1990	15,6	1956	3,8	2000	7,7
1909	13,3	2000	15,5	1929	3,8	1990	7,7
1838	13,4	1982	15,4	1917	4,0	2001	7,7
1890	13,4	1999	15,3	1893	4,0	1983	7,6
1932	13,4	1995	15,3	1987	4,0	1999	7,4
1871	13,5	2002	15,3	1931	4,1	1995	7,3
1934	13,5	1989	15,3	1928	4,4	1961	7,2

Tabela 3.16. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Monachium (1781-1991) i Moskwie (1779-2002)
Table 3.16. The frosty and hot years in Munich (1781-1991) and Moscow (1779-2002)

MONACHIUM				MOSKWA			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1785	5,9	1794	9,8	1908	1,5	1989	6,9
1871	6,2	1822	9,8	1893	1,7	1995	6,7
1870	6,2	1834	9,7	1942	1,7	2000	6,7
1891	6,3	1811	9,7	1941	2,1	2001	6,6
1805	6,4	1846	9,5	1956	2,2	1975	6,5
1845	6,4	1807	9,3	1900	2,4	2002	6,5
1816	6,4	1950	9,2	1907	2,4	1961	6,4
1838	6,4	1990	9,2	1789	2,4	1938	6,3
1941	6,5	1967	9,1	1881	2,5	1983	6,3
1909	6,5	1989	9,1	1888	2,5	1981	6,3

Tabela 3.17. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Odessie (1821-2002) i Oksfordzie (1828-1980)
Table 3.17. The frosty and hot years in Odessa (1821-2002) and Oxford (1828-1980)

ODESSA				OKSFORD			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1785	5,9	1794	9,8	1908	1,5	1989	6,9
1871	6,2	1822	9,8	1893	1,7	1995	6,7
1870	6,2	1834	9,7	1942	1,7	2000	6,7
1891	6,3	1811	9,7	1941	2,1	2001	6,6
1805	6,4	1846	9,5	1956	2,2	1975	6,5
1845	6,4	1807	9,3	1900	2,4	2002	6,5
1816	6,4	1950	9,2	1907	2,4	1961	6,4
1838	6,4	1990	9,2	1789	2,4	1938	6,3
1941	6,5	1967	9,1	1881	2,5	1983	6,3
1909	6,5	1989	9,1	1888	2,5	1981	6,3

Tabela 3.18. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Oslo (1816-1991) i Paryżu (1757-1995)
Table 3.18. The frosty and hot years in Oslo (1816-1991) and Paris (1757-1995)

OSLO				PARYŻ			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1816	3,2	1938	7,6	1860	8,8	1822	12,7
1877	3,5	1822	7,5	1891	8,8	1775	12,7
1838	3,8	1949	7,5	1845	8,8	1995	12,3
1881	3,8	1930	7,4	1887	8,9	1994	12,3
1856	3,9	1937	7,4	1888	8,9	1834	12,2
1942	3,9	1934	7,4	1879	8,9	1772	12,2
1871	3,9	1935	7,3	1784	9,0	1762	12,1
1845	4,0	1933	7,2	1855	9,1	1811	12,0
1818	4,1	1939	7,2	1789	9,1	1774	12,0
1841	4,1	1913	7,2	1963	9,1	1989	12,0

Tabela 3.19. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Poczdamie (1894-1992) i Pradze (1771-2002)
 Table 3.19. The frosty and hot years in Potsdam (1894-1992) and Prague (1771-2002)

POCZDAM				PRAGA			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1940	6,6	1947	16,9	1799	6,2	1794	11,8
1902	7,0	1934	16,3	1956	6,4	1834	11,7
1956	7,1	1982	15,7	1996	6,5	1822	11,5
1941	7,2	1953	15,5	1985	6,6	1811	11,3
1922	7,3	1949	15,5	1965	6,8	1807	11,2
1942	7,5	1963	15,2	1987	6,8	1791	11,2
1909	7,6	1951	14,9	1980	6,9	1801	10,9
1987	7,6	1969	14,9	1970	6,9	1772	10,8
1919	7,6	1961	14,8	1963	7,0	1788	10,8
1962	7,6	1967	14,7	1954	7,1	1806	10,7

Tabela 3.20. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Rydze (1795-1990) i Rzymie (1811-1991)
 Table 3.20. The frosty and hot years in Ryga (1795-1990) and Rome (1811-1991)

RYGA				RZYM			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1940	6,6	1947	16,9	1799	6,2	1794	11,8
1902	7,0	1934	16,3	1956	6,4	1834	11,7
1956	7,1	1982	15,7	1996	6,5	1822	11,5
1941	7,2	1953	15,5	1985	6,6	1811	11,3
1922	7,3	1949	15,5	1965	6,8	1807	11,2
1942	7,5	1963	15,2	1987	6,8	1791	11,2
1909	7,6	1951	14,9	1980	6,9	1801	10,9
1987	7,6	1969	14,9	1970	6,9	1772	10,8
1919	7,6	1961	14,8	1963	7,0	1788	10,8
1962	7,6	1967	14,7	1954	7,1	1806	10,7

Tabela 3.21. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Seantis (1883-1988) i Sonnblick (1921-1980)
 Table 3.21. The frosty and hot years in Seantis (1883-1988) and Sonnblick (1921-1980)

SEANTIS				SONNBLICK			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1919	-3,4	1959	-0,4	1956	-7,1	1961	-4,3
1909	-3,4	1920	-0,7	1962	-7,0	1975	-5,1
1946	-3,3	1949	-0,8	1965	-7,0	1947	-5,2
1910	-3,1	1951	-0,9	1946	-6,9	1953	-5,2
1915	-3,1	1943	-0,9	1944	-6,6	1966	-5,3
1901	-3,0	1934	-1,0	1935	-6,6	1934	-5,3
1940	-3,0	1921	-1,0	1948	-6,6	1951	-5,3
1955	-3,0	1954	-1,2	1938	-6,5	1964	-5,3
1905	-3,0	1965	-1,3	1952	-6,5	1957	-5,3
1917	-3,0	1947	-1,4	1955	-6,5	1959	-5,4

Tabela 3.22. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Stambule (1839-2002) i Sztokholmie (1756-1994)
 Table 3.22. The frosty and hot years in Stamboul (1839-2002) and Stockholm (1756-1994)

STAMBUŁ				SZTOKHOLM			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1949	12,6	1879	16,4	1871	3,3	1822	8,5
1942	12,8	2001	16,0	1829	3,6	1975	8,4
1920	12,8	1847	16,0	1867	3,6	1949	8,2
1921	13,0	1873	15,8	1881	3,7	1779	8,0
1913	13,1	1966	15,6	1805	3,8	1961	7,9
1943	13,1	1872	15,6	1888	3,8	1989	7,8
1914	13,2	1885	15,6	1838	3,8	1937	7,8
1959	13,2	1994	15,5	1877	4,0	1938	7,8
1933	13,3	1853	15,5	1786	4,2	1819	7,8
1840	13,3	1892	15,3	1809	4,2	1973	7,8

Tabela 3.23. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Tallinie (1779-2002) i Trondheim (1761-1981)
 Table 3.23. The frosty and hot years in Tallin (1779-2002) and Trondheim (1761-1981)

TALLIN				TRONDHEIM			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1829	1,9	1975	7,2	1966	2,8	1930	7,2
1867	2,6	2000	7,1	1881	2,9	1934	7,1
1942	2,6	1989	7,0	1900	3,0	1779	6,9
1871	2,7	1934	6,9	1838	3,1	1826	6,8
1941	2,8	1949	6,9	1888	3,2	1937	6,7
1844	2,9	1938	6,8	1784	3,2	1933	6,7
1875	2,9	1961	6,7	1765	3,3	1798	6,6
1782	3,0	1999	6,7	1875	3,3	1819	6,5
1785	3,0	1826	6,6	1902	3,4	1938	6,4
1838	3,0	1990	6,6	1956	3,5	1858	6,3

Tabela 3.24. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Uppsali (1739-1970) i Vestmannaeyjar (1884-1981)
 Table 3.24. The frosty and hot years in Uppsala (1739-1970) and Vestmannaeyjar (1884-1981)

UPPSALA				VESTMANNAEYJAR			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1888	2,3	1949	7,4	1979	3,8	1928	6,8
1871	2,6	1937	7,1	1981	4,1	1929	6,6
1881	2,6	1943	7,1	1969	4,3	1912	6,6
1867	2,9	1961	7,1	1970	4,4	1941	6,5
1877	2,9	1938	7,1	1975	4,5	1946	6,3
1838	3,1	1930	7,1	1967	4,6	1909	6,3
1902	3,2	1934	7,0	1892	4,6	1939	6,3
1875	3,3	1959	6,7	1962	4,6	1889	6,2
1942	3,3	1939	6,6	1951	4,7	1890	6,2
1856	3,3	1953	6,5	1973	4,7	1915	6,2

Tabela 3.25. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Warszawie (1779-1998) i Wiedniu (1775-2002)
 Table 3.25. The frosty and hot years in Warsaw (1779-1998) and Vienna (1775-2002)

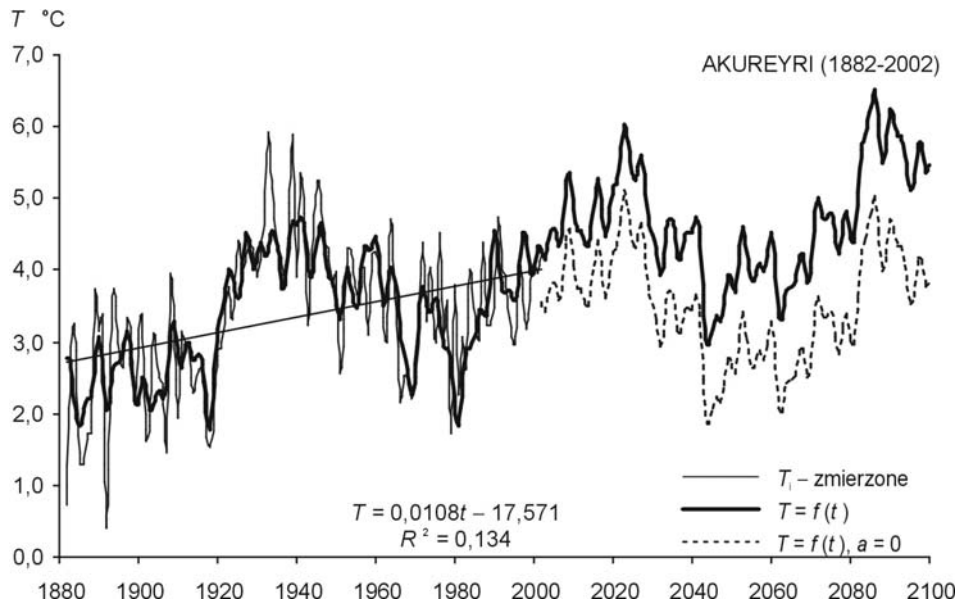
WARSZAWA				WIEDEN			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1829	4,7	1989	9,8	1829	7,4	2000	11,6
1799	5,2	1990	9,7	1838	7,4	1994	11,5
1785	5,3	1797	9,6	1940	7,5	1783	11,4
1805	5,3	1983	9,6	1805	7,7	1822	11,4
1871	5,4	1934	9,5	1830	7,7	1834	11,3
1803	5,7	1975	9,5	1871	7,7	1794	11,2
1786	5,8	1992	9,4	1941	7,7	1811	11,2
1812	5,8	1994	9,3	1864	7,9	2002	11,2
1838	5,8	1939	9,2	1891	7,9	1990	11,1
1855	5,8	1967	9,2	1845	8,0	1998	11,0

Tabela 3.26. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Wilnie (1777-2002) i Wrocławiu (1792-2002)
 Table 3.26. The frosty and hot years in Vilnius (1777-2002) and Wrocław (1792-2002)

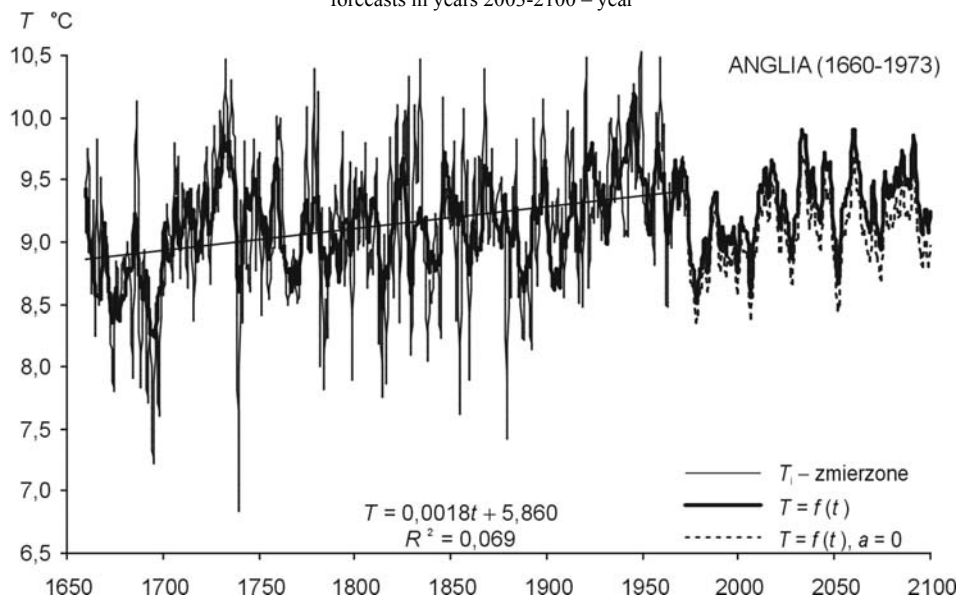
WILNO				WROCLAW			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1805	3,9	1822	8,7	1829	5,2	2000	10,3
1941	3,9	1859	8,3	1830	5,3	2002	10,1
1942	4,0	1961	8,1	1826	5,4	1990	10,0
1871	4,0	1866	8,1	1799	5,4	1983	9,9
1799	4,2	1824	8,0	1805	5,9	1834	9,9
1987	4,3	1882	8,0	1871	6,2	1822	9,9
1940	4,3	1834	8,0	1792	6,3	1846	9,8
1929	4,5	1779	8,0	1838	6,3	1911	9,8
1980	4,5	1827	7,9	1825	6,4	1994	9,8
1979	4,5	1989	7,8	1827	6,4	1992	9,7

Tabela 3.27. Najchłodniejsze i najcieplejsze lata w Zagrzebiu (1862-2002) i Zurychu (1864-1980)
 Table 3.27. The frosty and hot years in Zagreb (1862-2002) and Zurich (1864-1980)

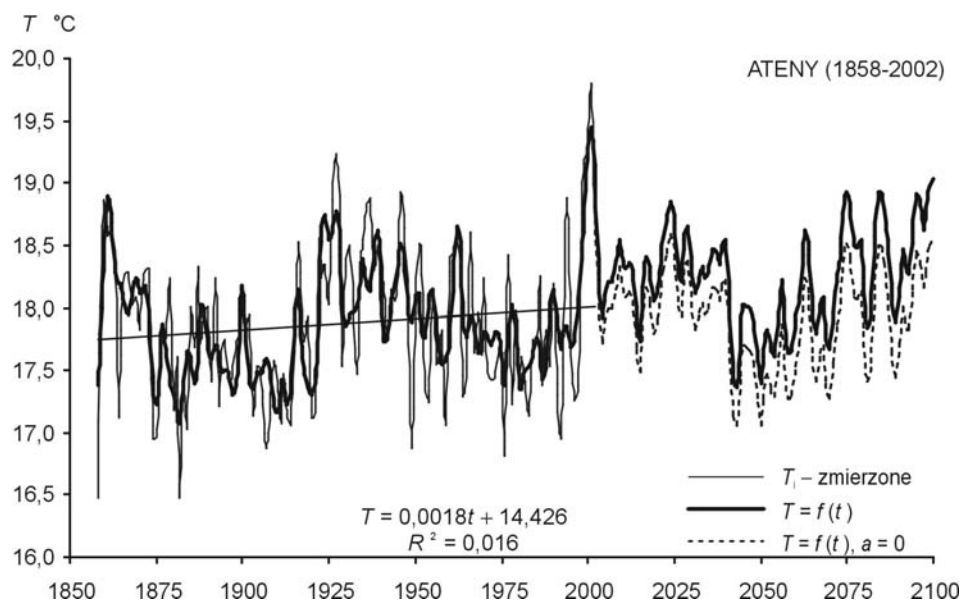
ZAGRZEB				ZURICH			
najchłodniejszy		najcieplejszy		najchłodniejszy		najcieplejszy	
1891	9,6	2000	13,4	1879	7,2	1868	10,0
1880	9,6	1994	13,1	1887	7,2	1934	9,8
1876	9,6	2001	13,1	1946	7,3	1951	9,7
1864	9,8	2002	12,7	1890	7,4	1921	9,6
1888	9,8	1950	12,7	1864	7,5	1930	9,6
1940	9,9	1946	12,6	1888	7,5	1872	9,6
1954	10,0	1863	12,6	1889	7,6	1911	9,6
1941	10,1	1990	12,6	1953	7,6	1928	9,6
1893	10,1	1961	12,6	1871	7,7	1866	9,6
1978	10,1	1916	12,5	1891	7,7	1937	9,5



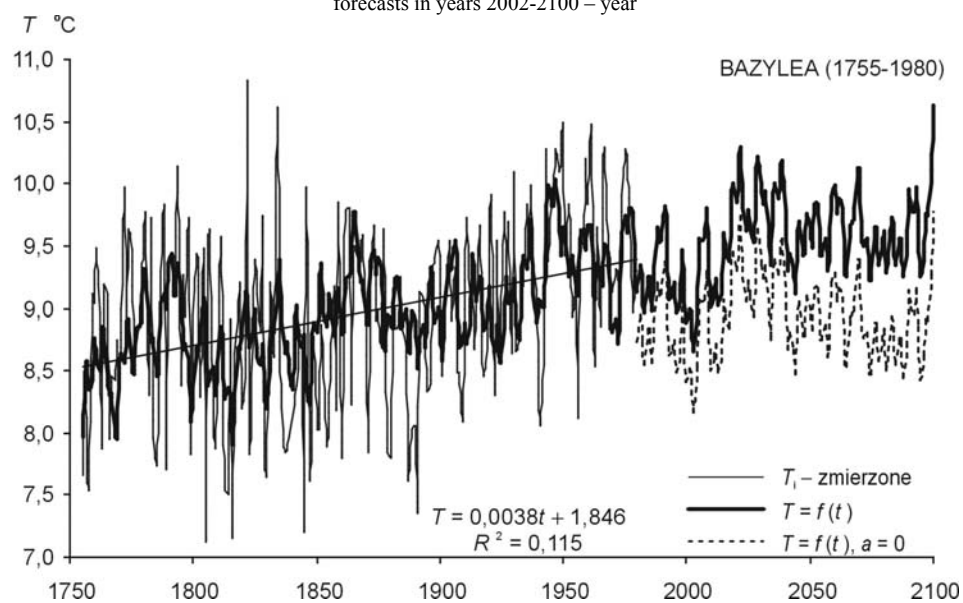
Rys. 3.49. Zmiany temperatury powietrza w Akureyri w latach 1882-2002
 – prognoza w latach 2003-2100 – rok
 Fig. 3.49. Changes of air temperature in Akureyri in the 1882-2002 years
 forecasts in years 2003-2100 – year



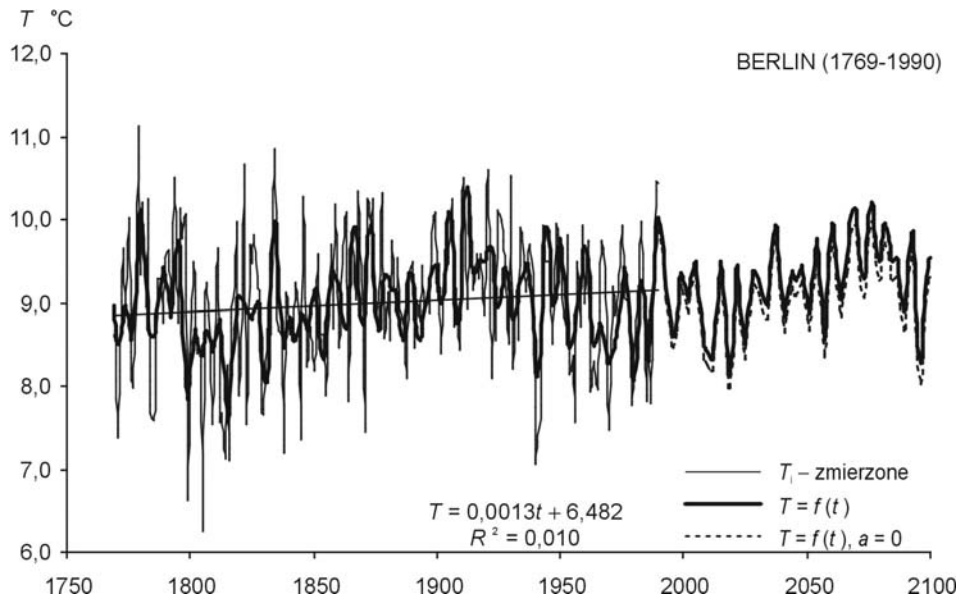
Rys. 3.50. Zmiany temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach 1659-1673
 – prognoza w latach 1974-2100 – rok
 Fig. 3.50. Changes of air temperature in England in the 1659-1973 years
 forecasts in years 1974-2100 – year



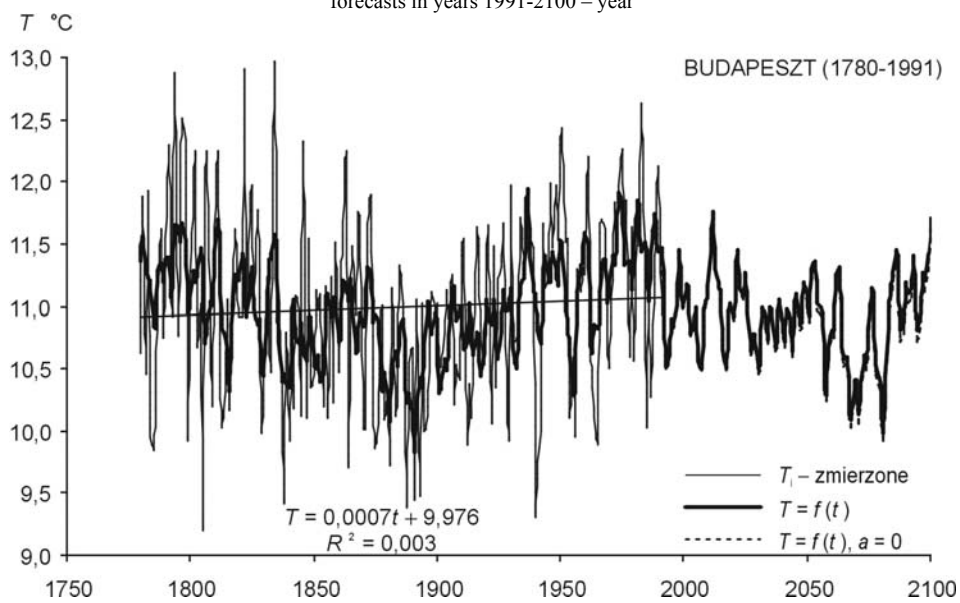
Rys. 3.51. Zmiany temperatury powietrza w Atenach w latach 1858-2002
 – prognoza w latach 2002-2100 – rok
 Fig. 3.51. Changes of air temperature in Athens in the 1858-2002 years
 forecasts in years 2002-2100 – year



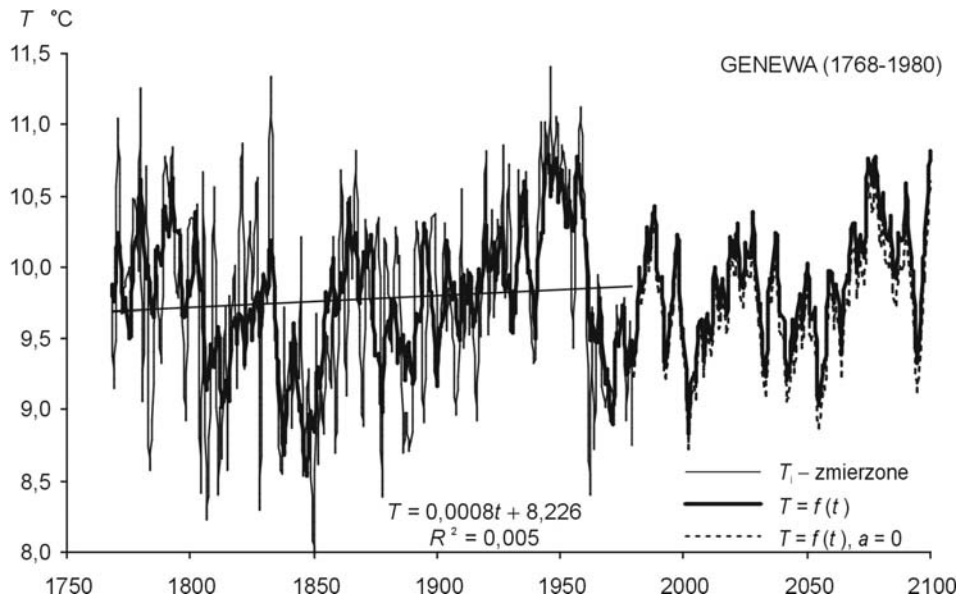
Rys. 3.52. Zmiany temperatury powietrza w Bazylei w latach 1755-1980
 – prognoza w latach 1981-2100 – rok
 Fig. 3.52. Changes of air temperature in Basel in the 1755-1980 years
 forecasts in years 1981-2100 – year



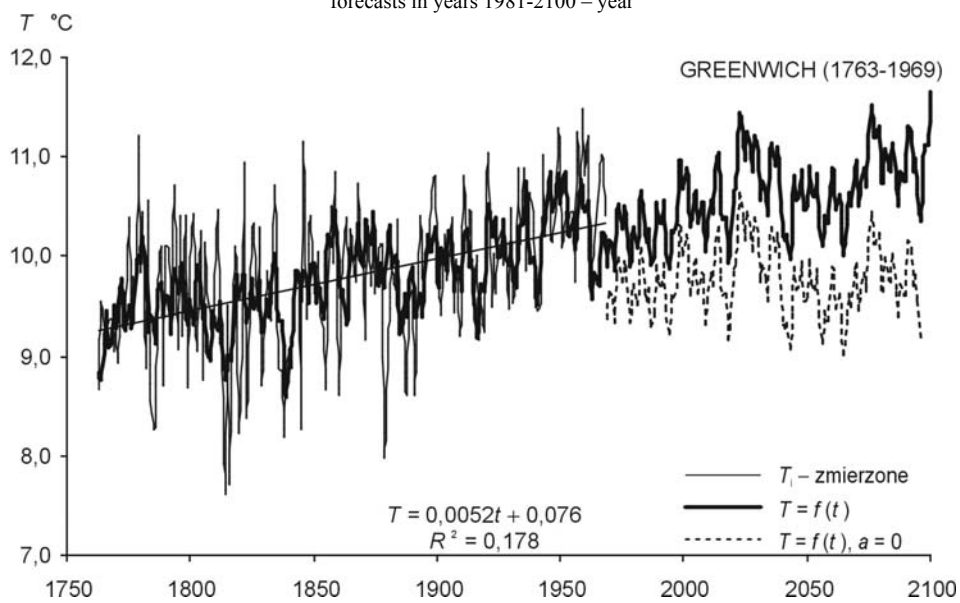
Rys. 3.53. Zmiany temperatury powietrza w Berlinie w latach 1769-1990
 – prognoza w latach 1991-2100 – rok
 Fig. 3.53. Changes of air temperature in Berlin in the 1769-1990 years
 forecasts in years 1991-2100 – year



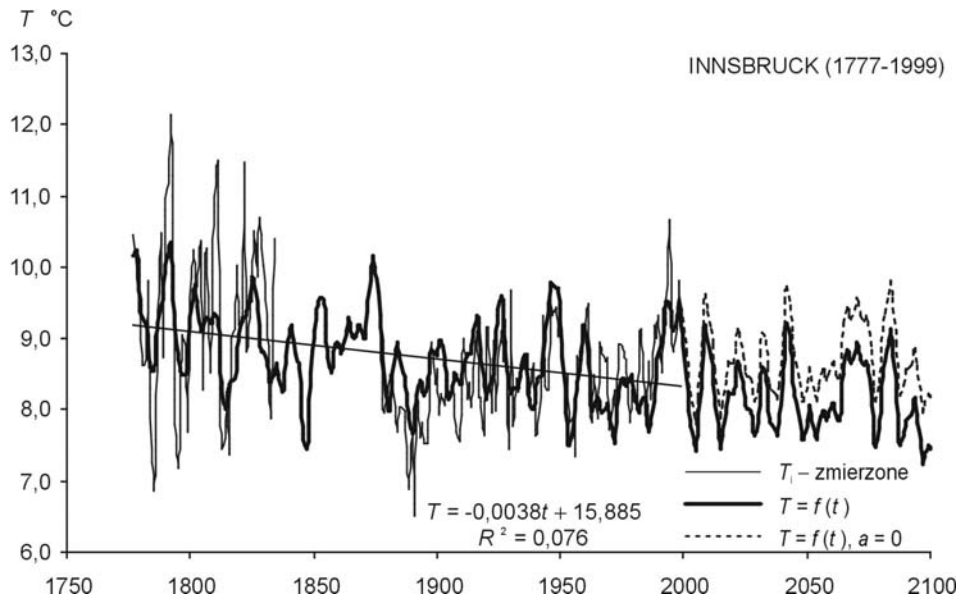
Rys. 3.54. Zmiany temperatury powietrza w Budapeszcie w latach 1780-1991
 – prognoza w latach 1992-2100 – rok
 Fig. 3.54. Changes of air temperature in Budapest in the 1780-1991 years
 forecasts in years 1992-2100 – year



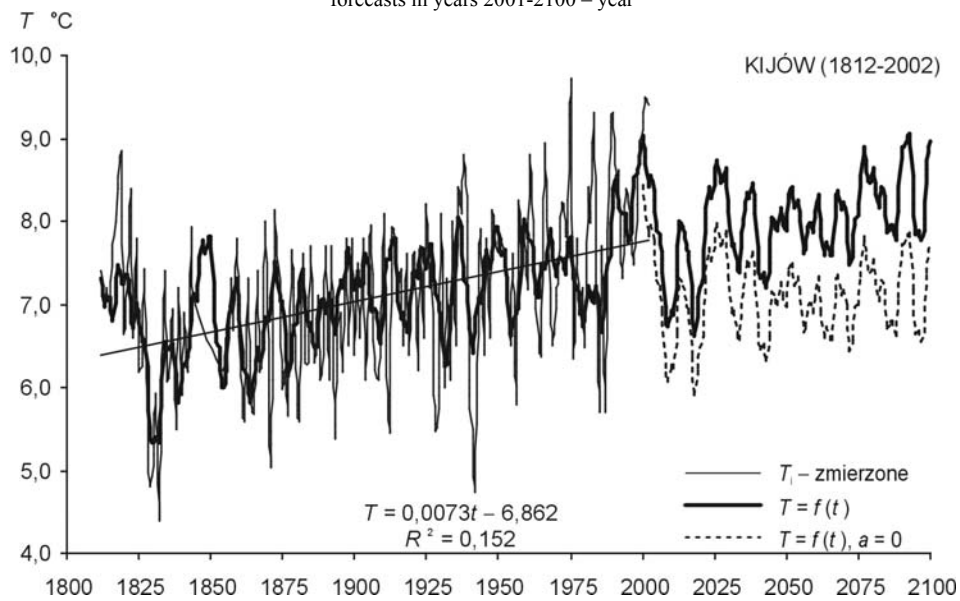
Rys. 3.55. Zmiany temperatury powietrza w Genewie w latach 1768-1980
– prognoza w latach 1981-2100 – rok
Fig. 3.55. Changes of air temperature in Geneva in the 1768-1980 years
forecasts in years 1981-2100 – year



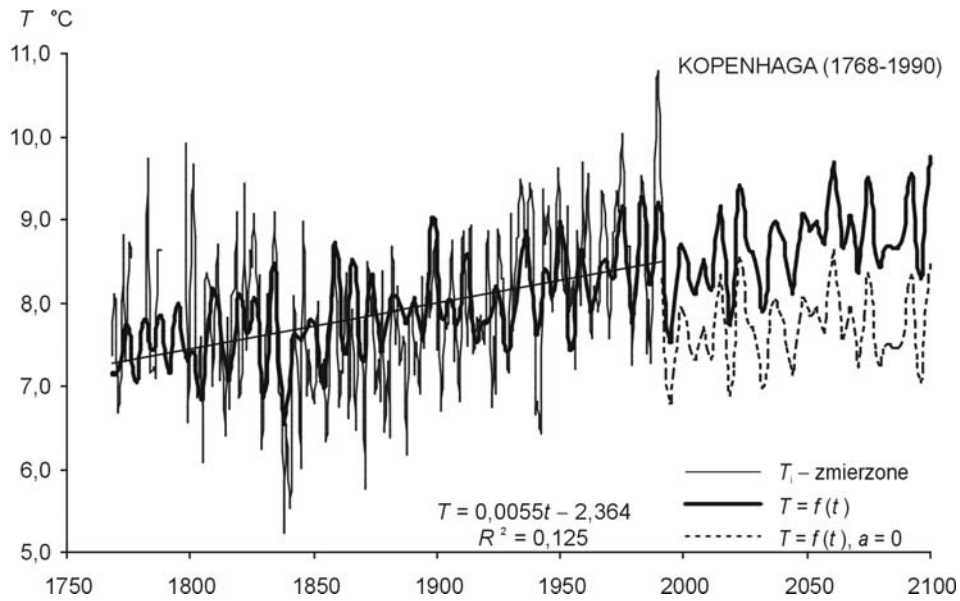
Rys. 3.56. Zmiany temperatury powietrza w Greenwich w latach 1763-1969
– prognoza w latach 1970-2100 – rok
Fig. 3.56. Changes of air temperature in Greenwich in the 1763-1969 years
forecasts in years 1970-2100 – year



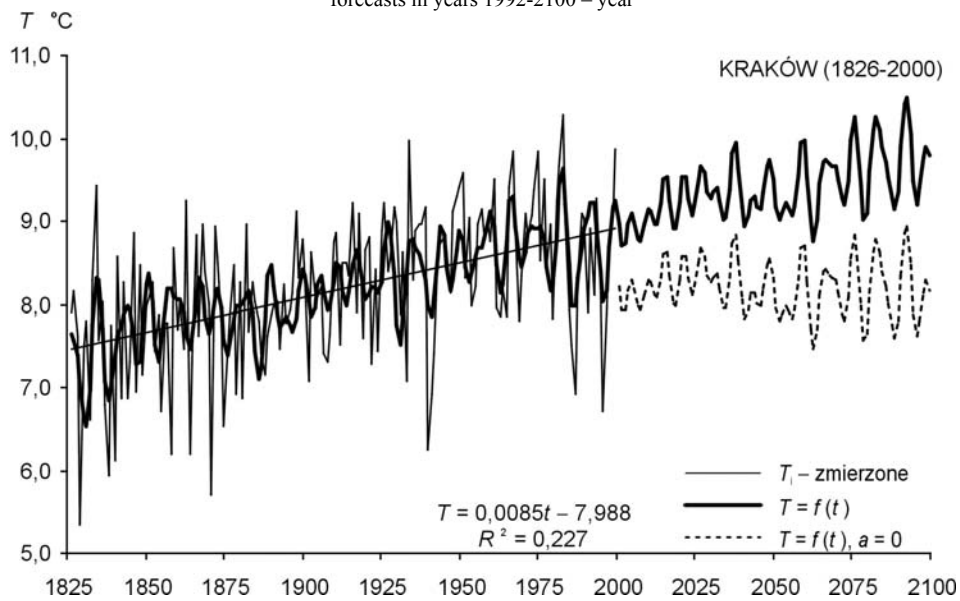
Rys. 3.57. Zmiany temperatury powietrza w Innsbrucku w latach 1777-1999
 – prognoza w latach 2001-2100 – rok
 Fig. 3.57. Changes of air temperature in Innsbruck in the 1777-1999 years
 forecasts in years 2001-2100 – year



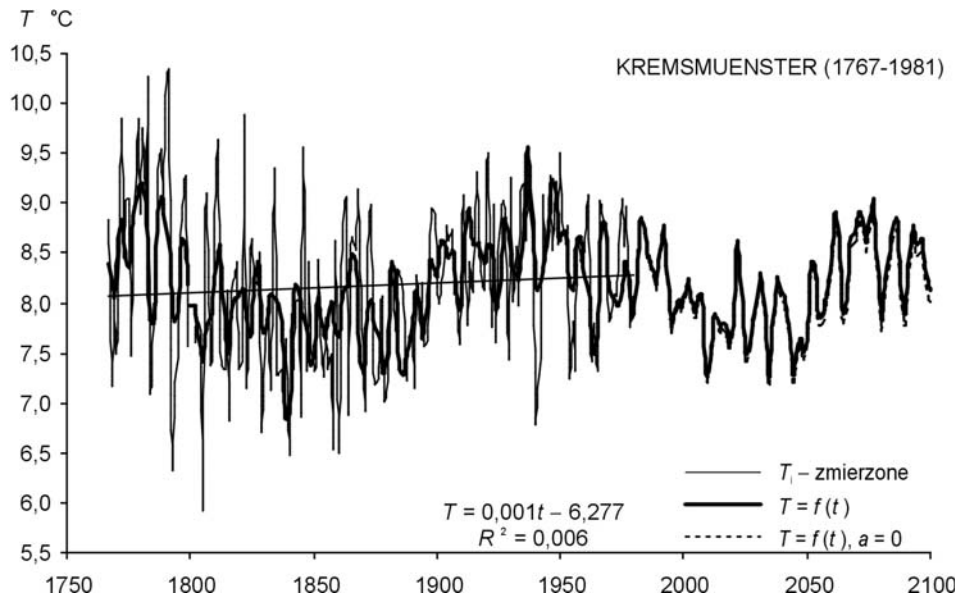
Rys. 3.58. Zmiany temperatury powietrza w Kijowie w latach 1812-2002
 – prognoza w latach 2001-2100 – rok
 Fig. 3.58. Changes of air temperature in Kiev in the 1812-2002 years
 forecasts in years 2001-2100 – year



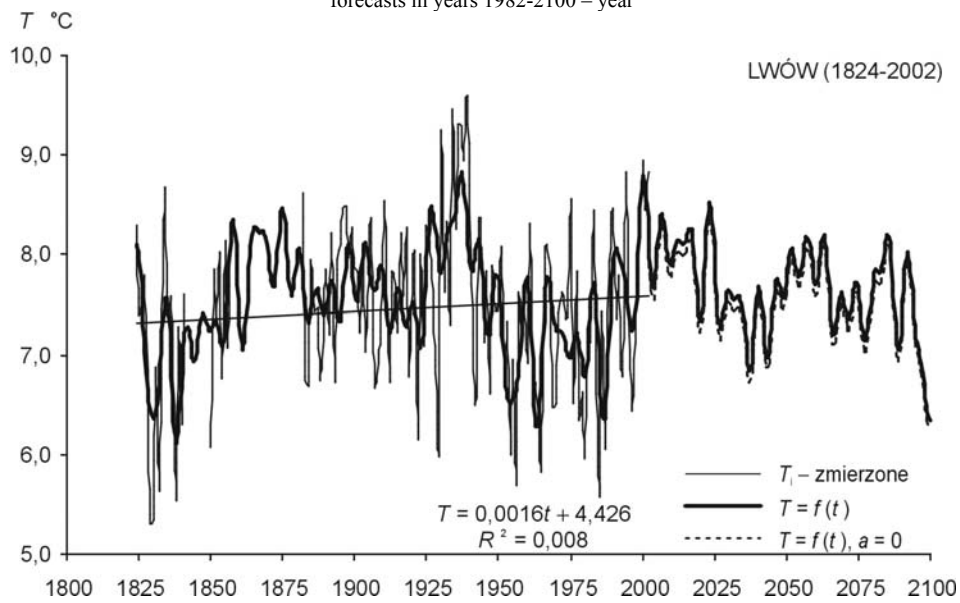
Rys. 3.59. Zmiany temperatury powietrza w Kopenhadze w latach 1768-1990
 – prognoza w latach 1992-2100 – rok
 Fig. 3.59. Changes of air temperature in Copenhagen in the 1768-1990 years
 forecasts in years 1992-2100 – year



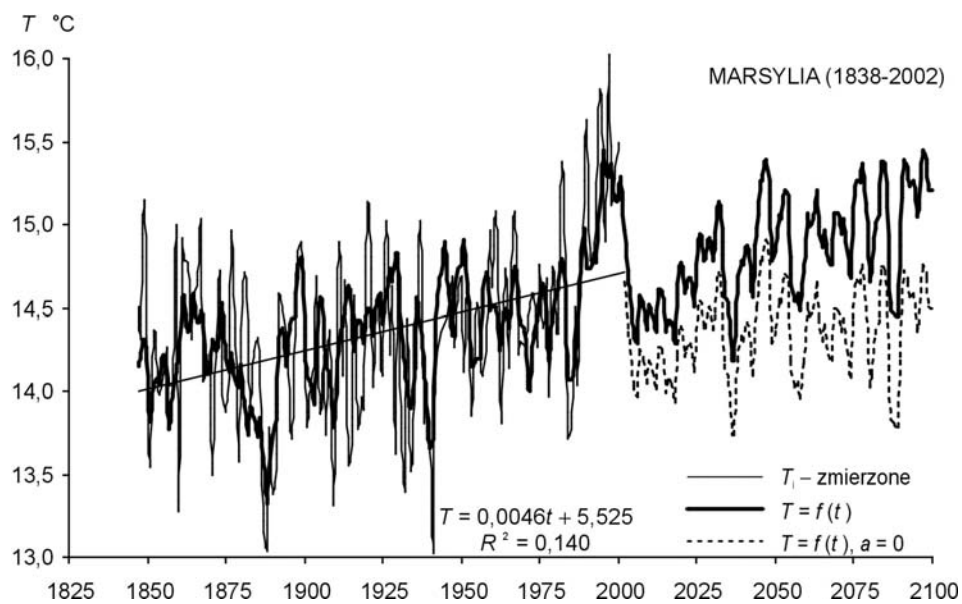
Rys. 3.60. Zmiany temperatury powietrza w Krakowie w latach 1826-2000
 – prognoza w latach 2001-2100 – rok
 Fig. 3.60. Changes of air temperature in Krakow in the 1826-2000 years
 forecasts in years 2001-2100 – year



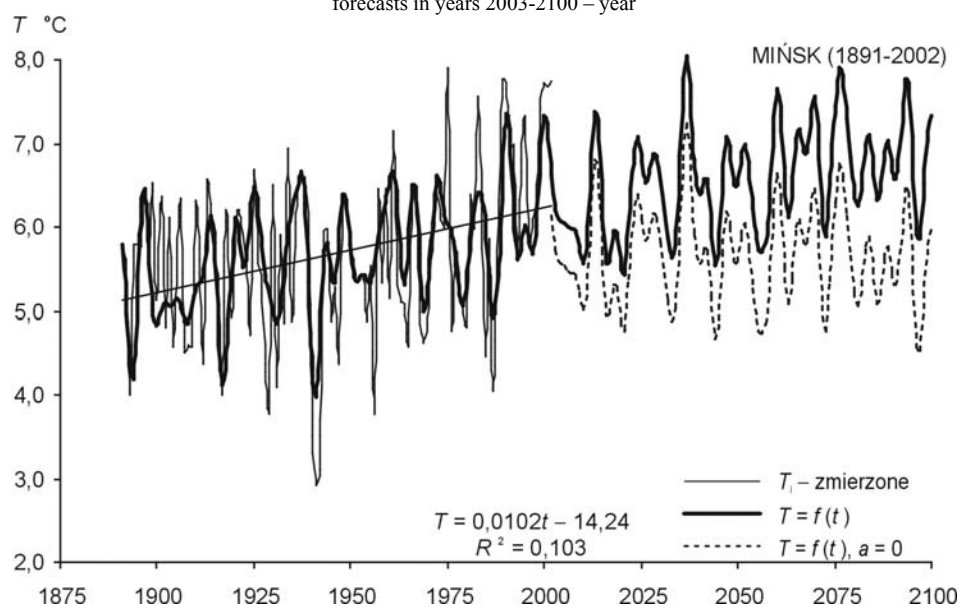
Rys. 3.61. Zmiany temperatury powietrza w Kremsmuenster w latach 1767-1981
 – prognoza w latach 1982-2100 – rok
 Fig. 3.61. Changes of air temperature in Kremsmuenster in the 1767-1981 years
 forecasts in years 1982-2100 – year



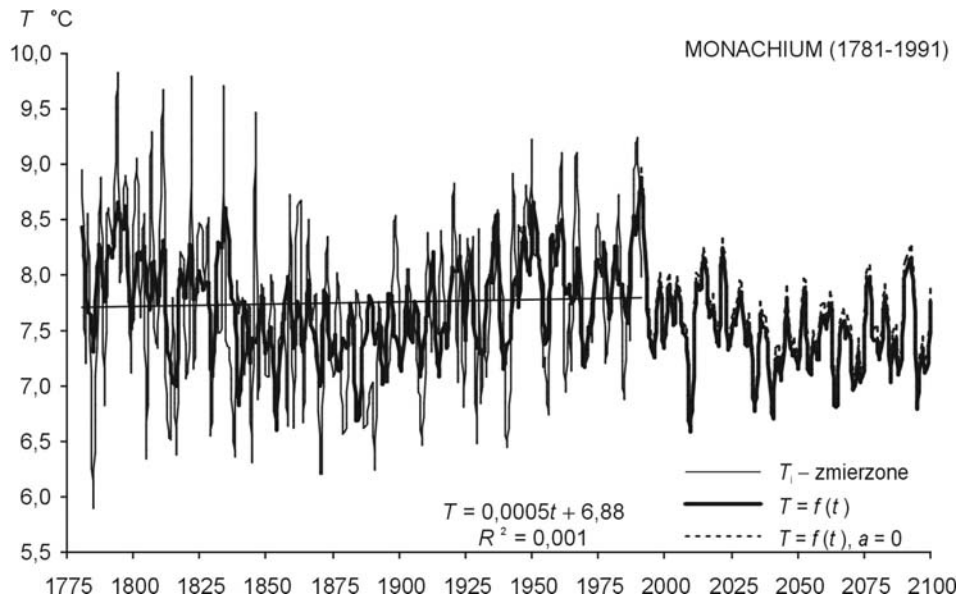
Rys. 3.62. Zmiany temperatury powietrza we Lwowie w latach 1824-2002
 – prognoza w latach 2003-2100 – rok
 Fig. 3.62. Changes of air temperature in Lwów in the 1824-2002 years
 forecasts in years 2003-2100 – year



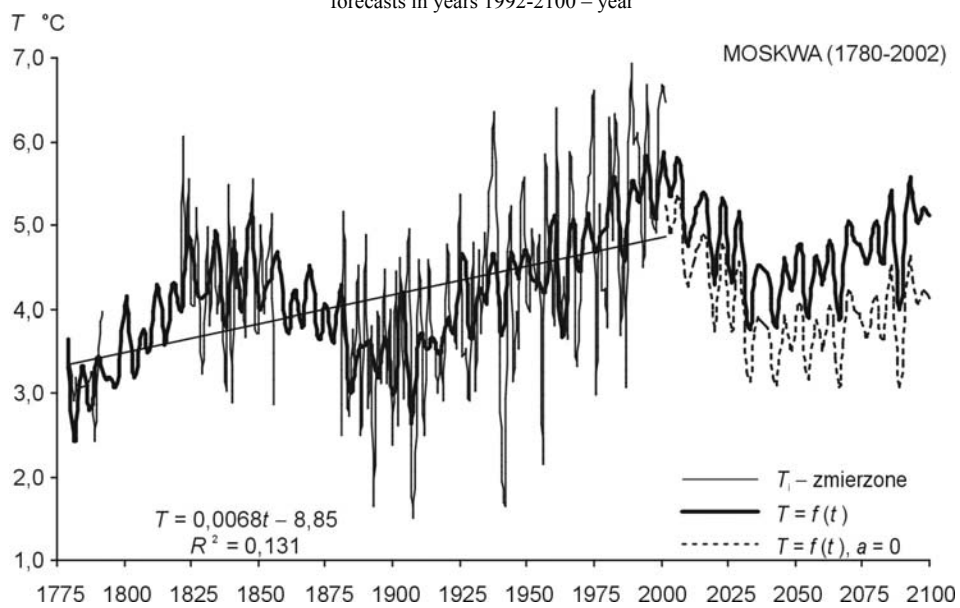
Rys. 3.63. Zmiany temperatury powietrza w Marsylii w latach 1838-2002
– prognoza w latach 2003-2100 – rok
Fig. 3.63. Changes of air temperature in Marseille in the 1838-2002 years
forecasts in years 2003-2100 – year



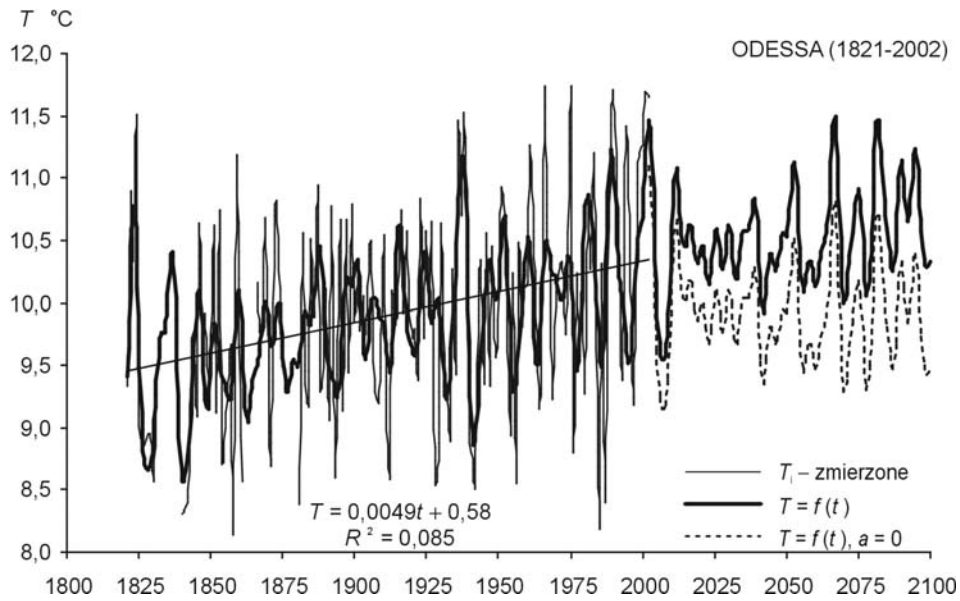
Rys. 3.64. Zmiany temperatury powietrza w Mińsku w latach 1891-2002
– prognoza w latach 2003-2100 – rok
Fig. 3.64. Changes of air temperature in Minsk in the 1891-2002 years
forecasts in years 2003-2100 – year



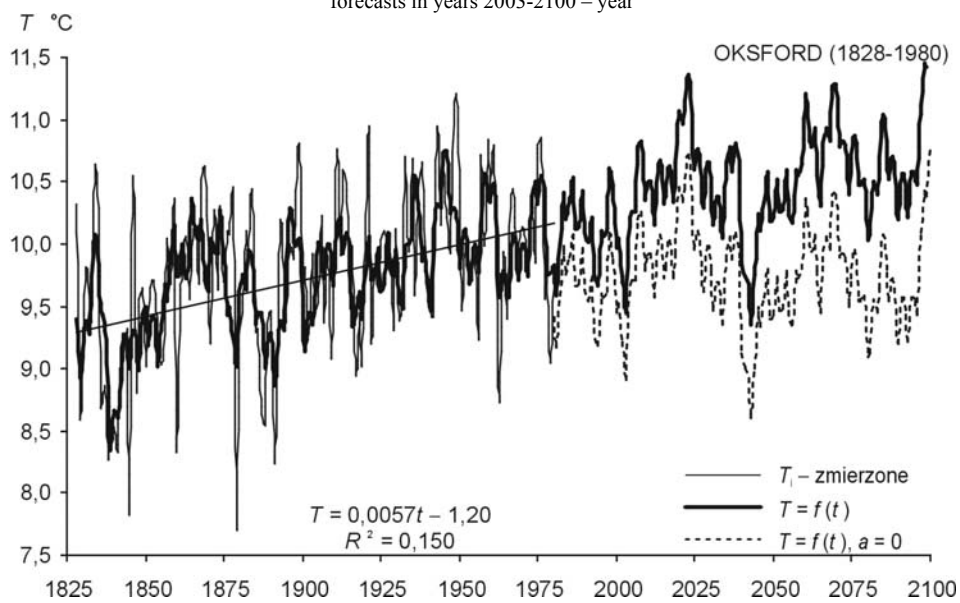
Rys. 3.65. Zmiany temperatury powietrza w Monachium w latach 1781-1991
 – prognoza w latach 1992-2100 – rok
 Fig. 3.65. Changes of air temperature in Munch in the 1781-1991 years
 forecasts in years 1992-2100 – year



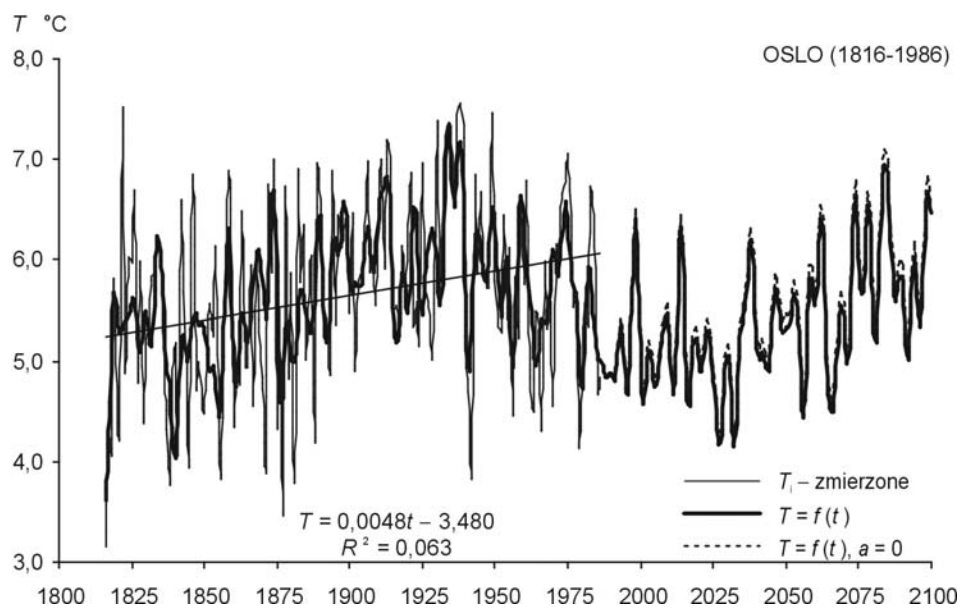
Rys. 3.66. Zmiany temperatury powietrza w Moskwie w latach 1780-2002
 – prognoza w latach 2003-2100 – rok
 Fig. 3.66. Changes of air temperature in Moscow in the 1780-2002 years
 forecasts in years 2003-2100 – year



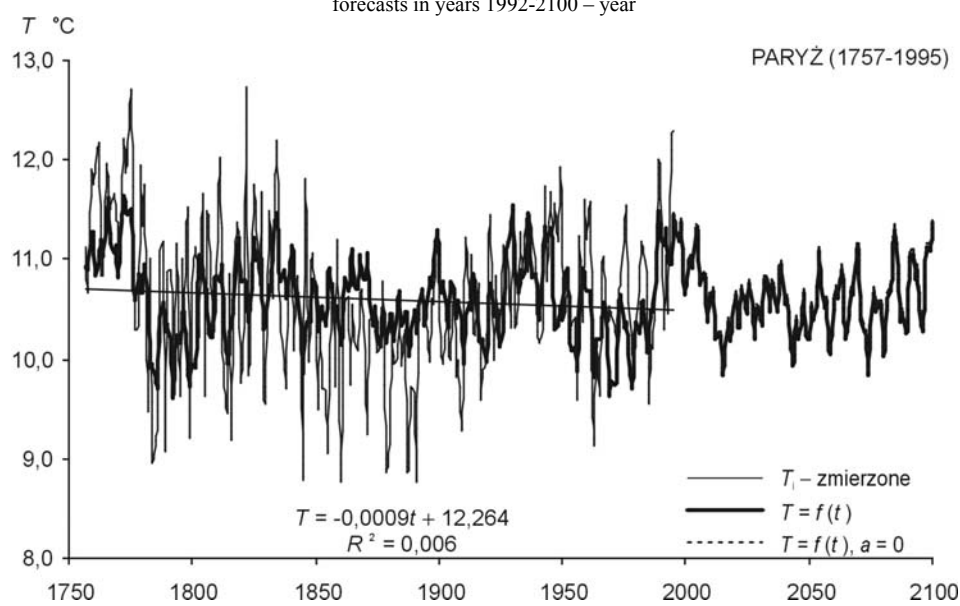
Rys. 3.67. Zmiany temperatury powietrza w Odessie w latach 1821-2002
 – prognoza w latach 2003-2100 – rok
 Fig. 3.67. Changes of air temperature in Odessa in the 1821-2002 years
 forecasts in years 2003-2100 – year



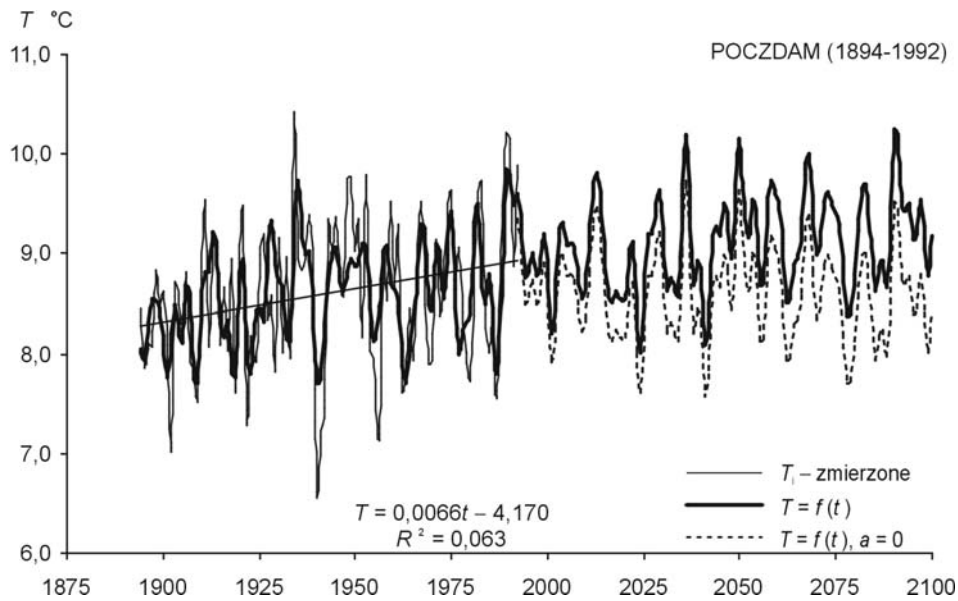
Rys. 3.68. Zmiany temperatury powietrza w Oksfordzie w latach 1828-1980
 – prognoza w latach 1981-2100 – rok
 Fig. 3.68. Changes of air temperature in Oxford in the 1828-1980 years
 forecasts in years 1981-2100 – year



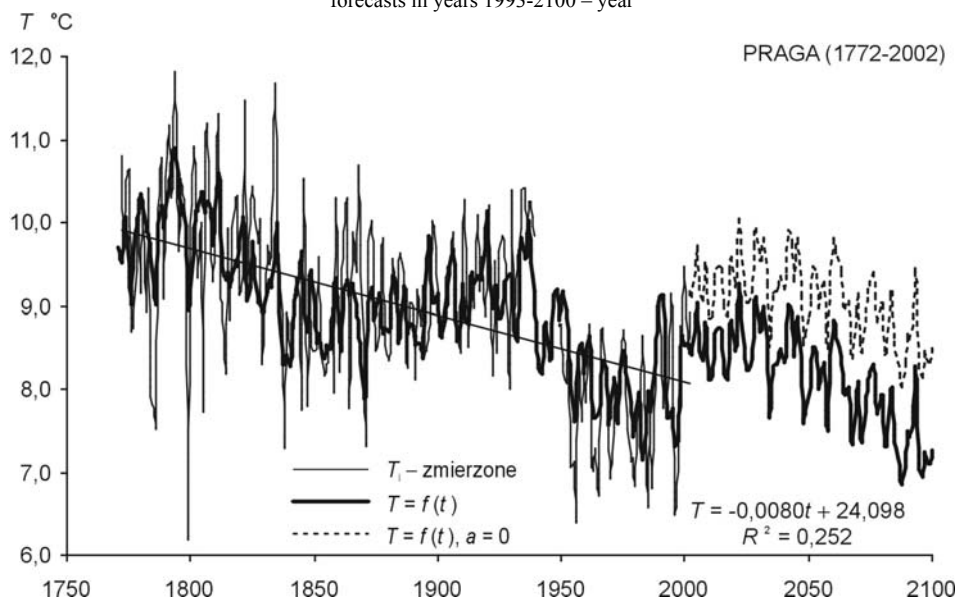
Rys. 3.69. Zmiany temperatury powietrza w Oslo w latach 1816-1986
 – prognoza w latach 1992-2100 – rok
 Fig. 3.69. Changes of air temperature in Oslo in the 1816-1986 years
 forecasts in years 1992-2100 – year



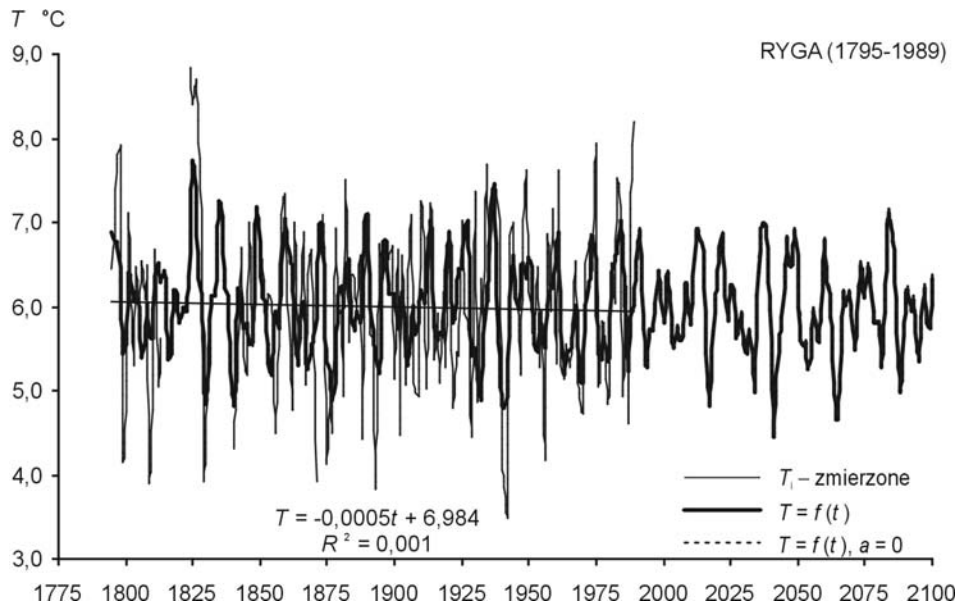
Rys. 3.70. Zmiany temperatury powietrza w Paryżu w latach 1757-1995
 – prognoza w latach 1996-2100 – rok
 Fig. 3.70. Changes of air temperature in Paris in the 1757-1995 years
 forecasts in years 1996-2100 – year



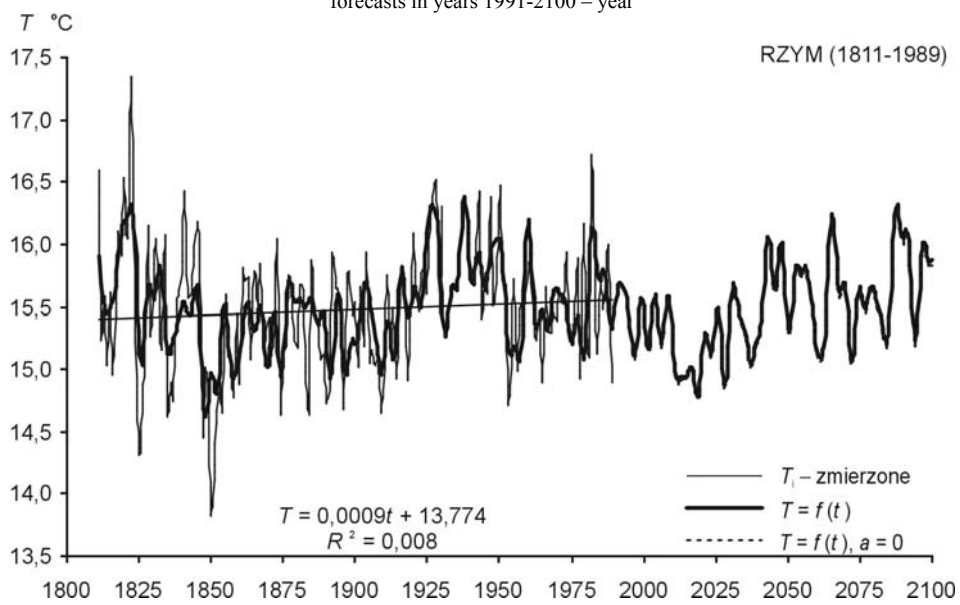
Rys. 3.71. Zmiany temperatury powietrza w Poczdamie w latach 1894-1992
 – prognoza w latach 1993-2100 – rok
 Fig. 3.71. Changes of air temperature in Potsdam in the 1894-1992 years
 forecasts in years 1993-2100 – year



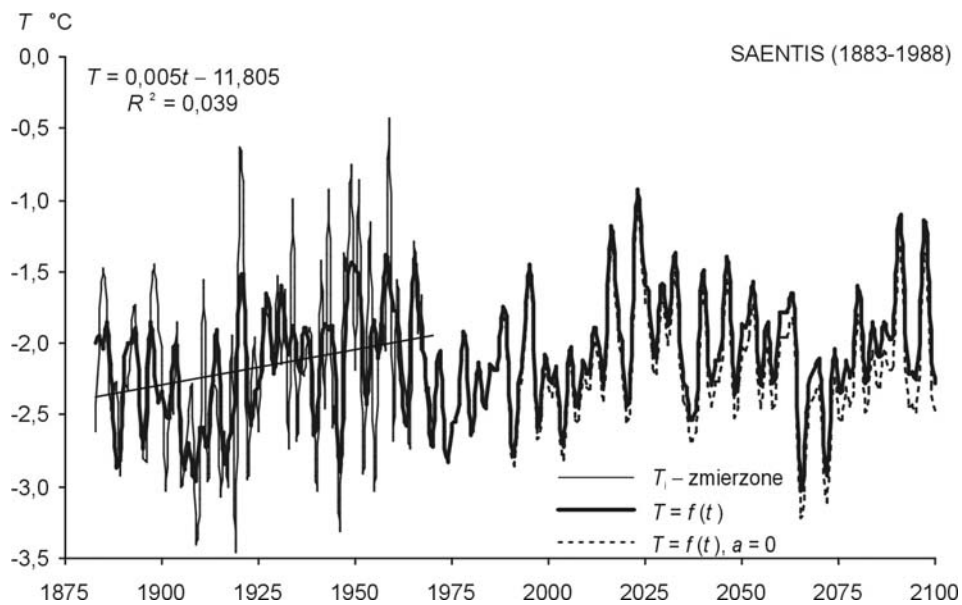
Rys. 3.72. Zmiany temperatury powietrza w Pradze w latach 1775-2002
 – prognoza w latach 1991-2100 – rok
 Fig. 3.72. Changes of air temperature in Praga in the 1792-2002 years
 forecasts in years 1991-2100 – year



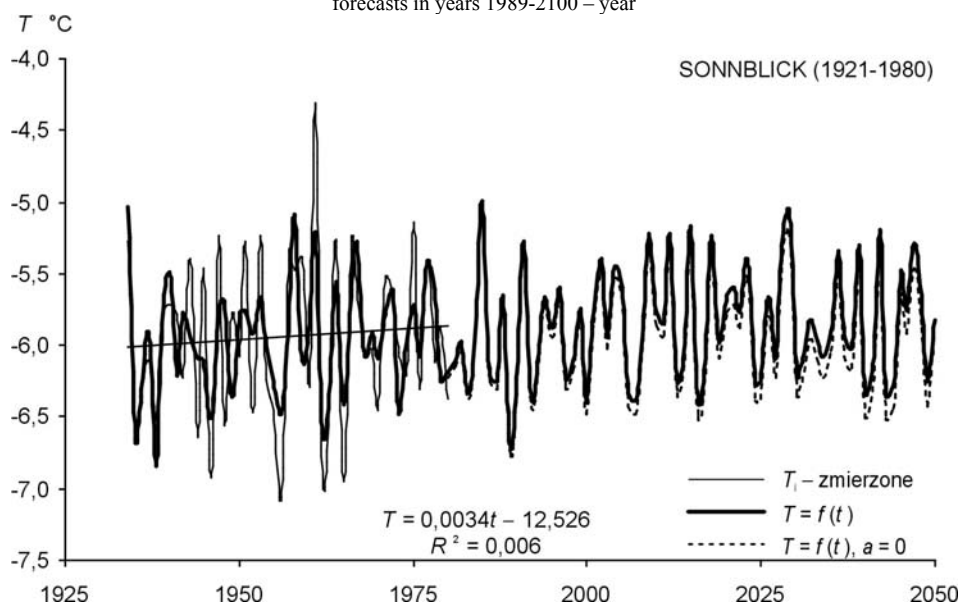
Rys. 3.73. Zmiany temperatury powietrza w Rydze w latach 1795-1989
 – prognoza w latach 1991-2100 – rok
 Fig. 3.73. Changes of air temperature in Ryga in the 1795-1989 years
 forecasts in years 1991-2100 – year



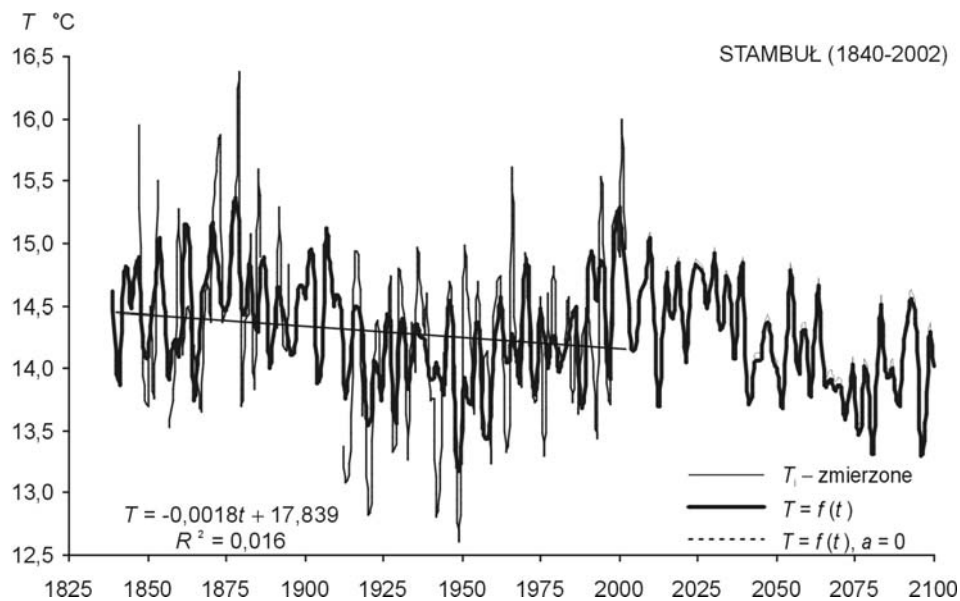
Rys. 3.74. Zmiany temperatury powietrza w Rzymie w latach 1811-1991
 – prognoza w latach 1992-2100 – rok
 Fig. 3.74. Changes of air temperature in Rome in the 1811-1991 years
 forecasts in years 1992-2100 – year



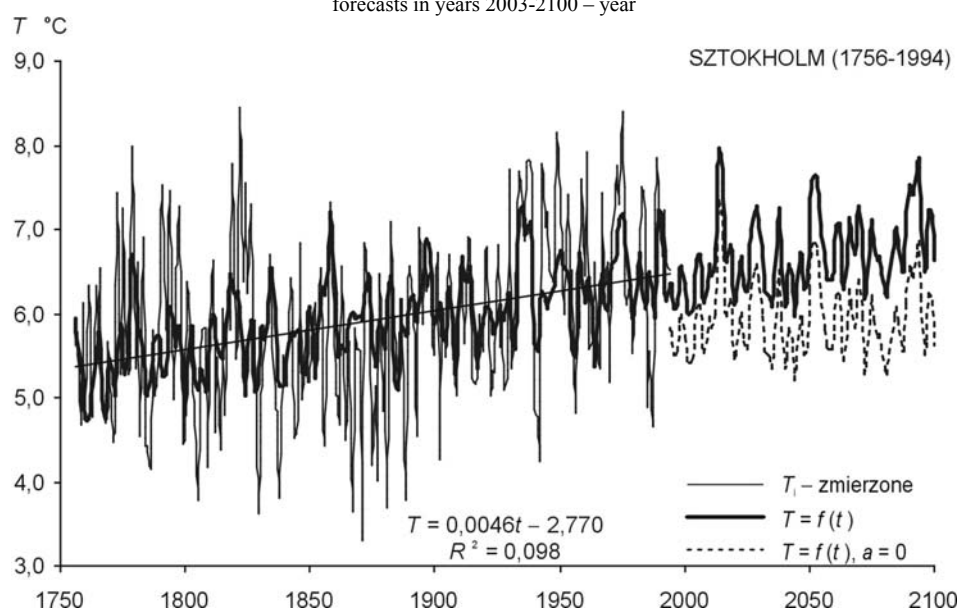
Rys. 3.75. Zmiany temperatury powietrza w Saentis w latach 1883-1988
– prognoza w latach 1989-2100 – rok
Fig. 3.75. Changes of air temperature in Saentis in the 1883-1988 years
forecasts in years 1989-2100 – year



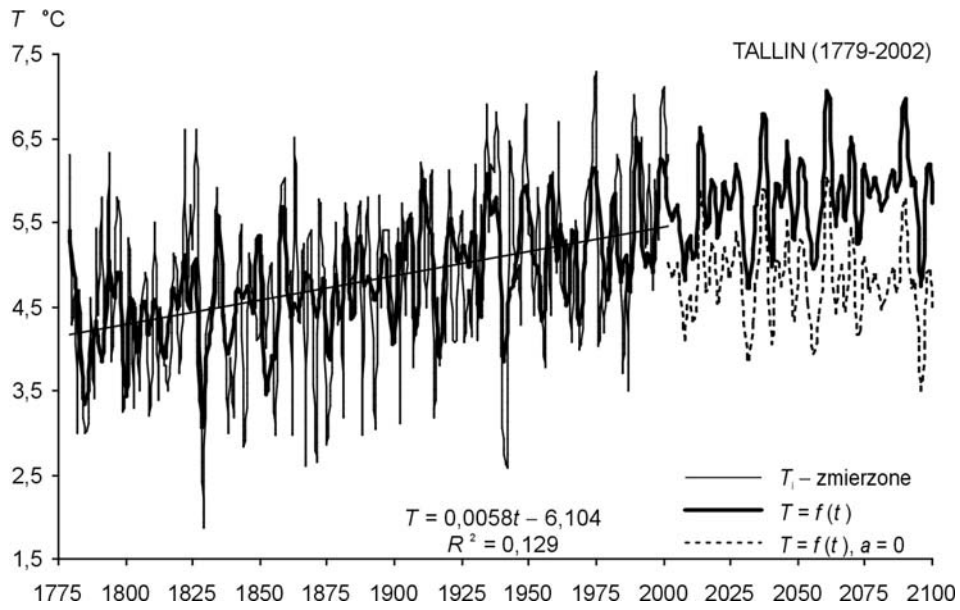
Rys. 3.76. Zmiany temperatury powietrza w Sonnblick w latach 1934-1980
– prognoza w latach 1981-2100 – rok
Fig. 3.76. Changes of air temperature in Sonnblick in the 1934-1980 years
forecasts in years 1981-2100 – year



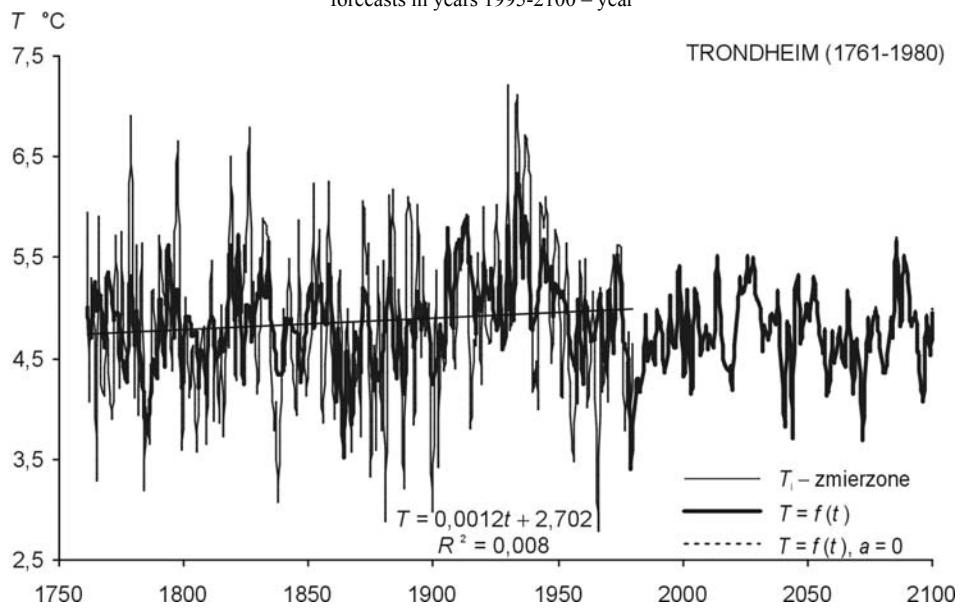
Rys. 3.77. Zmiany temperatury powietrza w Stambule w latach 1840-2002
 – prognoza w latach 2003-2100 – rok
 Fig. 3.77. Changes of air temperature in Istanbul in the 1840-2002 years
 forecasts in years 2003-2100 – year



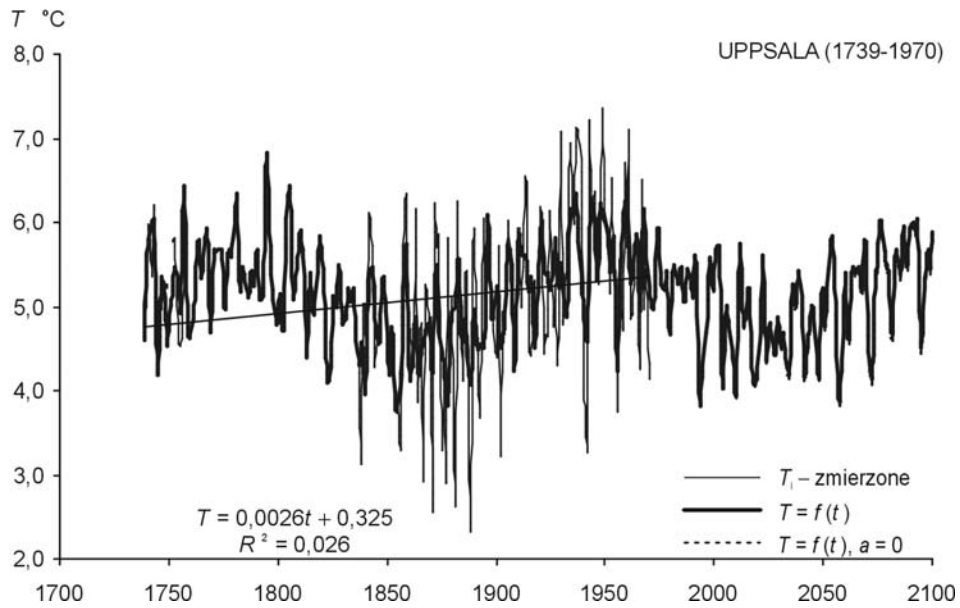
Rys. 3.78. Zmiany temperatury powietrza w Sztokholmie w latach 1756-1994
 – prognoza w latach 1995-2100 – rok
 Fig. 3.78. Changes of air temperature in Stockholm in the 1756-1994 years
 forecasts in years 1995-2100 – year



Rys. 3.79. Zmiany temperatury powietrza w Tallinie w latach 1779-2002
– prognoza w latach 1995-2100 – rok
Fig. 3.79. Changes of air temperature in Tallin in the 1779-2002 years
forecasts in years 1995-2100 – year

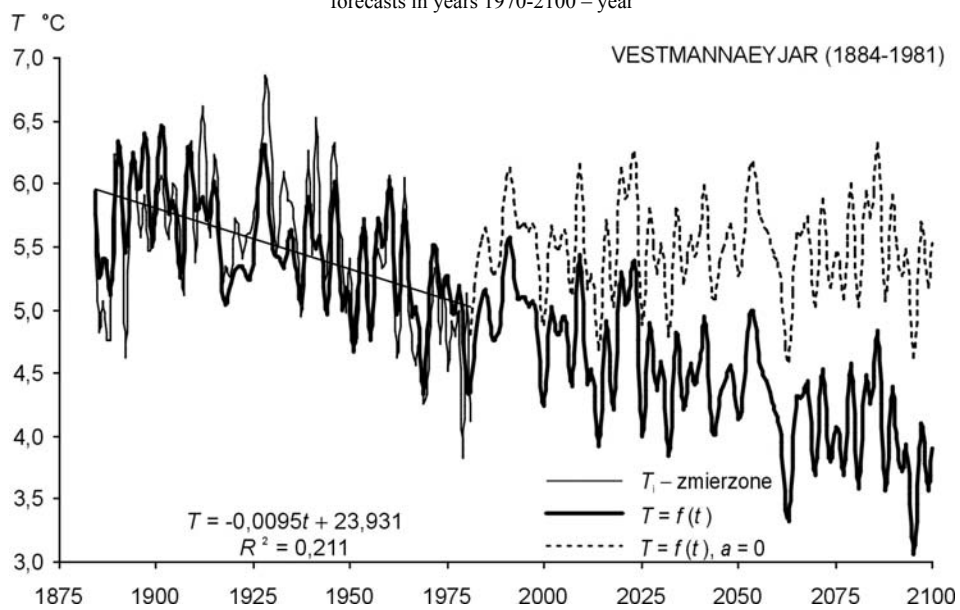


Rys. 3.80. Zmiany temperatury powietrza w Trondheim w latach 1761-1981
– prognoza w latach 1982-2100 – rok
Fig. 3.80. Changes of air temperature in Trondheim in the 1761-1981 years
forecasts in years 1982-2100 – year



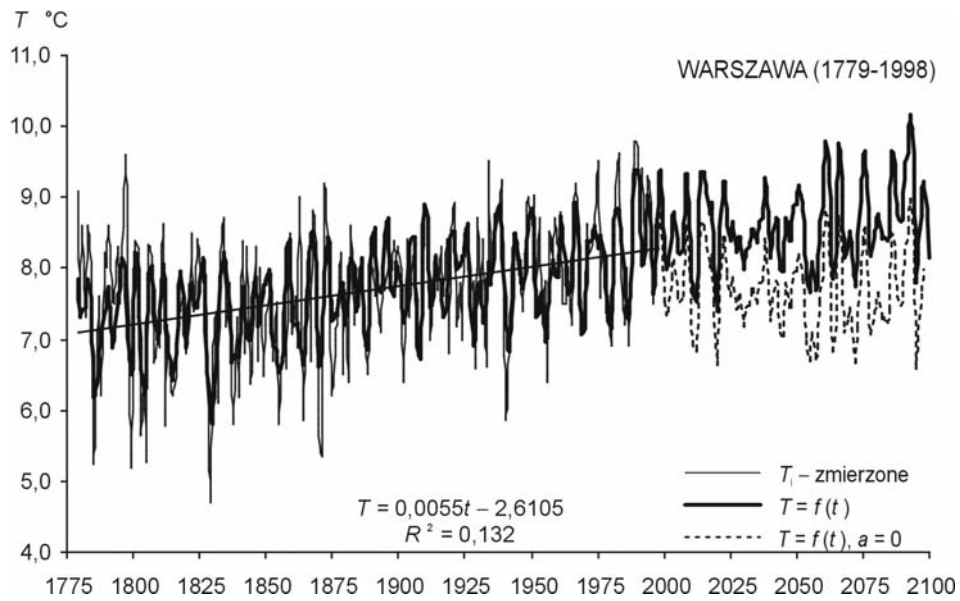
Rys. 3.81. Zmiany temperatury powietrza w Uppsali w latach 1739-1970
– prognoza w latach 1971-2100 – rok

Fig. 3.81. Changes of air temperature in Uppsala in the 1739-1970 years
forecasts in years 1970-2100 – year

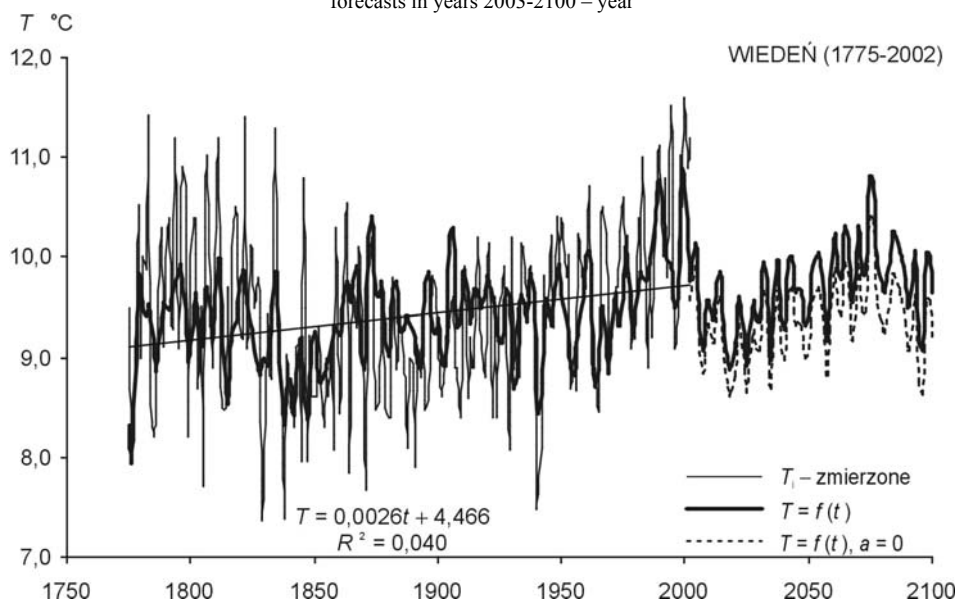


Rys. 3.82. Zmiany temperatury powietrza w Vestmanneyjar w latach 1884-1981
– prognoza w latach 1982-2100 – rok

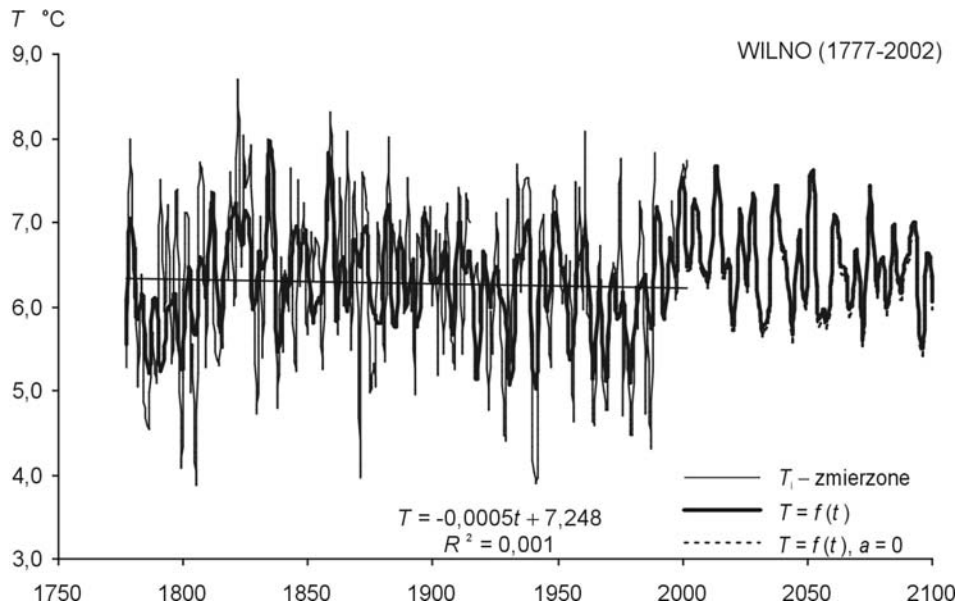
Fig. 3.82. Changes of air temperature in Vestmanneyjar in the 1884-1981 years
forecasts in years 1982-2100 – year



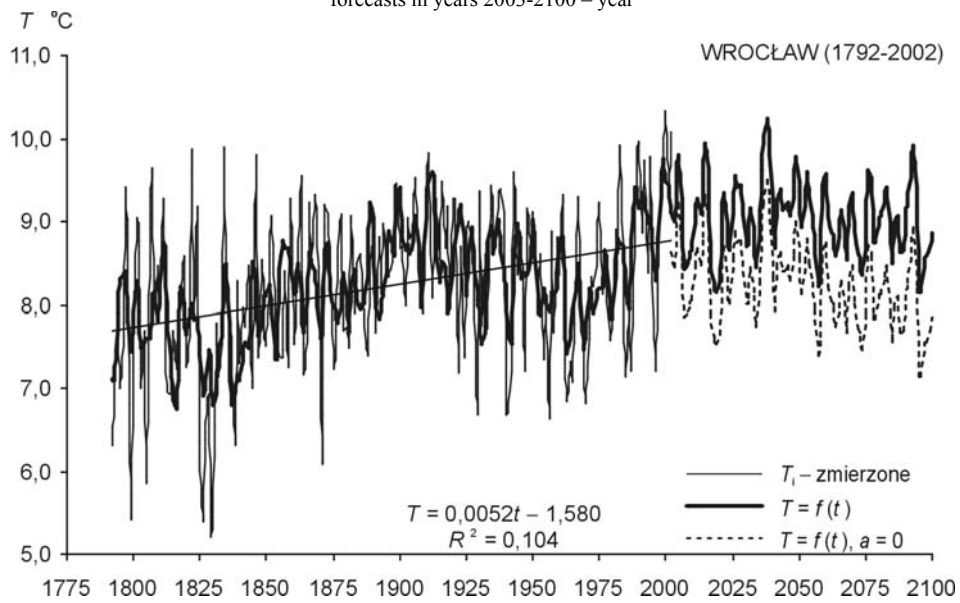
Rys. 3.83. Zmiany temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-1998
– prognoza w latach 2003-2100 – rok
Fig. 3.83. Changes of air temperature in Warsaw in the 1779-1998 years
forecasts in years 2003-2100 – year



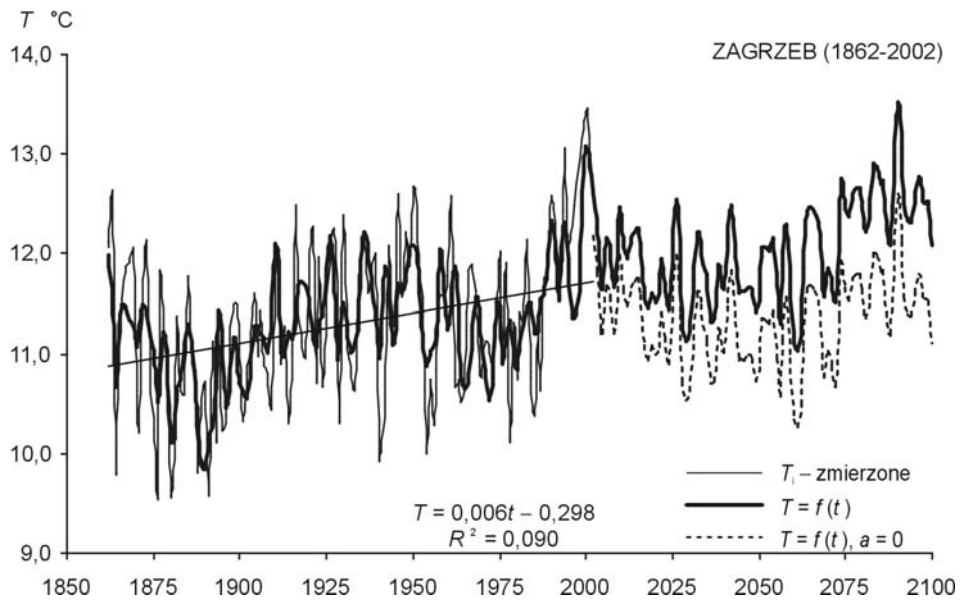
Rys. 3.84. Zmiany temperatury powietrza w Wiedniu w latach 1775-2002
– prognoza w latach 2003-2100 – rok
Fig. 3.84. Changes of air temperature in Vienna in the 1775-2002 years
forecasts in years 2003-2100 – year



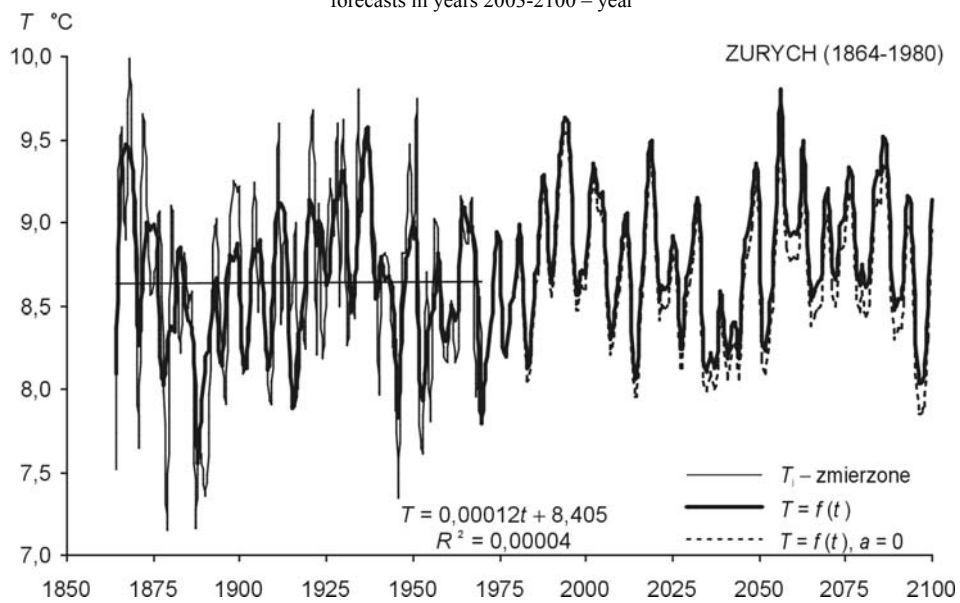
Rys. 3.85. Zmiany temperatury powietrza w Wilnie w latach 1777-2002
 – prognoza w latach 2003-2100 – rok
 Fig. 3.85. Changes of air temperature in Vilnius in the 1777-2002 years
 forecasts in years 2003-2100 – year



Rys. 3.86. Zmiany temperatury powietrza we Wrocławiu w latach 1792-2002
 – prognoza w latach 2003-2100 – rok
 Fig. 3.86. Changes of air temperature in Wrocław in the 1792-2002 years
 forecasts in years 2003-2100 – year



Rys. 3.87. Zmiany temperatury powietrza w Zagrzebiu w latach 1862-2002
 – prognoza w latach 2003-2100 – rok
 Fig. 3.87. Changes of air temperature in Zagreb in the 1862-2002 years
 forecasts in years 2003-2100 – year



Rys. 3.88. Zmiany temperatury powietrza w Zurychu w latach 1864-1980
 – prognoza w latach 1981-2100 – rok
 Fig. 3.88. Changes of air temperature in Zurich in the 1862-2002 years
 forecasts in years 2003-2100 – year

Tabela 3.29. Cykle temperatury powietrza w Akureyri (1882-2002) – rok
 Table 3.29. The cycles of air temperature in Akureyri (1882-2002) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,7	0,240	2,5439	1,026	0,164	1,65
6,3	0,267	1,8857	1,023	0,173	1,83
8,5	0,156	0,3832	1,036	0,132	1,06
10,8	0,111	2,2606	1,045	0,094	0,54
12,5	0,166	1,8916	1,038	0,125	0,94
13,5	0,097	0,4601	1,035	0,136	1,12
16,1	0,378	-2,5610	0,992	0,243	3,74
31,2	0,245	2,1112	0,992	0,243	3,74
77,5	0,846	1,3867	0,720	0,563	27,63

Tabela 3.30. Cykle temperatury powietrza w Anglii Środkowej (1660-1973) – rok
 Table 3.30. The cycles of air temperature in Central England (1660-1973) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,1	0,104	-2,4306	0,381	0,123	2,41
5,2	0,102	0,3497	0,381	0,123	2,41
7,4	0,131	-2,6816	0,379	0,143	3,24
11,1	0,098	-0,5946	0,382	0,113	1,99
12,5	0,118	3,0315	0,379	0,143	3,24
15,0	0,158	-1,3052	0,374	0,183	5,36
23,6	0,223	-0,7558	0,364	0,243	9,78
73,3	0,131	-1,8491	0,372	0,196	6,23
103,3	0,184	2,7980	0,355	0,287	13,97
176,7	0,107	1,9763	0,366	0,232	8,88

Tabela 3.31. Cykle temperatury powietrza w Atenach (1858-2002) – rok
 Table 3.31. The cycles of air temperature in Athens (1858-2002) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,9	0,149	0,5629	0,339	0,194	2,78
5,6	0,169	-0,2236	0,334	0,228	3,89
7,7	0,159	2,7726	0,334	0,228	3,89
9,3	0,175	1,0650	0,332	0,240	4,34
10,7	0,109	1,9227	0,344	0,153	1,71
12,4	0,187	-0,1753	0,331	0,246	4,56
19,2	0,126	-0,1348	0,339	0,194	2,78
26,5	0,101	-1,6969	0,337	0,208	3,22
34,6	0,185	2,9215	0,320	0,303	7,16
78,2	0,343	2,9702	0,291	0,417	14,95

Tabela 3.32. Cykle temperatury powietrza w Bazylei (1755-1980) – rok
 Table 3.32. The cycles of air temperature in Basel (1755-1980) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,4	0,198	-2,7629	0,523	0,196	4,39
7,8	0,183	0,0657	0,530	0,160	2,88
10,3	0,179	1,7051	0,526	0,181	3,74
14,2	0,114	0,2580	0,533	0,141	2,25
15,4	0,147	-0,5995	0,527	0,176	3,52
39,5	0,176	-0,1636	0,527	0,176	3,52
59,4	0,029	0,9063	0,539	0,095	1,00
83,3	0,187	-0,9612	0,526	0,181	3,74

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ε^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 3.33. Cykle temperatury powietrza w Berlinie (1769-1990) – rok
 Table 3.33. The cycles of air temperature in Berlin (1769-1990) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
5,5	0,224	-1,5519	0,701	0,193	4,27
6,5	0,167	1,0122	0,711	0,154	2,67
7,8	0,365	0,2263	0,661	0,304	11,19
11,2	0,140	2,6624	0,720	0,106	1,26
12,9	0,144	0,7857	0,712	0,149	2,51
14,0	0,166	0,9752	0,704	0,182	3,79
15,2	0,135	1,7727	0,711	0,154	2,67
41,2	0,246	-0,8792	0,694	0,217	5,43
71,9	0,132	-3,0810	0,715	0,135	2,04
170,4	0,276	0,4297	0,684	0,246	7,11

Tabela 3.34. Cykle temperatury powietrza w Budapeszcie (1780-1991) – rok
 Table 3.34. The cycles of air temperature in Budapest (1780-1991) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,4	0,182	-2,7124	0,549	0,171	3,17
7,4	0,152	3,0428	0,548	0,176	3,37
7,8	0,141	0,4244	0,551	0,161	2,78
10,5	0,178	-2,0544	0,551	0,161	2,78
12,7	0,218	-0,9868	0,546	0,186	3,77
37,4	0,186	2,1048	0,546	0,186	3,77
59,8	0,126	0,4993	0,554	0,143	2,20
82,9	0,041	-1,3528	0,564	0,053	0,30
174,5	0,283	-0,3628	0,513	0,305	10,77

Tabela 3.35. Cykle temperatury powietrza w Genewie (1768-1980) – rok
 Table 3.35. The cycles of air temperature in Geneva (1768-1980) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,1	0,173	-0,1865	0,458	0,176	3,35
7,8	0,174	0,9958	0,456	0,187	3,82
10,3	0,174	2,2280	0,458	0,176	3,35
12,9	0,172	2,1614	0,459	0,170	3,11
31,1	0,215	2,4199	0,450	0,219	5,27
40,6	0,283	1,6218	0,427	0,311	11,21
75,8	0,219	-2,3847	0,430	0,300	10,40
163,9	0,261	2,7910	0,418	0,340	13,72

Tabela 3.36. Cykle temperatury powietrza w Greenwich (1763-1969) – rok
 Table 3.36. The cycles of air temperature in Greenwich (1763-1969) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,1	0,217	-2,3153	0,495	0,214	4,81
7,8	0,221	0,1639	0,497	0,205	4,39
11,2	0,138	2,8657	0,509	0,137	1,93
12,8	0,180	0,4339	0,503	0,175	3,14
25,2	0,186	-1,1924	0,502	0,180	3,35
41,3	0,124	0,3948	0,505	0,163	2,73
79,1	0,194	-2,0044	0,498	0,200	4,18
98,1	0,034	-0,4643	0,502	0,180	3,35

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ε^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 3.37. Cykle temperatury powietrza w Innsbrucku (1777-2000) – rok
 Table 3.37. The cycles of air temperature in Innsbruck (1777-2000) – year

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
4,8	0,179	-0,4541	0,874	0,149	2,02
8,3	0,220	1,5753	0,874	0,149	2,02
10,5	0,302	-1,3676	0,861	0,192	3,38
12,1	0,265	1,4916	0,863	0,186	3,17
15,5	0,313	-2,2330	0,813	0,301	8,81
17,1	0,208	-2,8382	0,845	0,234	5,12
24,0	0,254	0,7801	0,855	0,209	4,03
41,7	0,277	2,7146	0,851	0,219	4,46
67,8	0,265	-1,7575	0,852	0,217	4,35

Tabela 3.38. Cykle temperatury powietrza w Kijowie (1812-2000) – rok
 Table 3.38. The cycles of air temperature in Kiev (1812-2000) – year

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
3,2	0,191	1,0898	1,030	0,134	1,64
7,8	0,274	0,2372	1,005	0,205	3,91
11,1	0,297	-1,2975	1,019	0,169	2,63
12,8	0,292	-0,3359	1,005	0,205	3,91
25,6	0,241	0,9773	1,010	0,193	3,45
30,0	0,230	-2,0333	1,006	0,202	3,82
36,5	0,218	-2,8467	1,001	0,214	4,28
46,7	0,161	3,0150	1,009	0,195	3,54
95,1	0,104	1,1891	1,006	0,202	3,82

Tabela 3.39. Cykle temperatury powietrza w Kopenhadze (1768-1991) – rok
 Table 3.39. The cycles of air temperature in Copenhagen (1768-1991) – year

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
6,5	0,204	1,0064	0,898	0,149	2,36
7,8	0,289	0,2307	0,872	0,225	5,53
8,3	0,219	2,2022	0,892	0,170	3,08
11,3	0,143	0,0593	0,905	0,121	1,54
12,7	0,301	-1,1956	0,885	0,191	3,92
17,7	0,138	-0,0746	0,903	0,129	1,77
39,5	0,181	0,6963	0,893	0,166	2,96
87,0	0,113	-2,6668	0,905	0,121	1,54

Tabela 3.40. Cykle temperatury powietrza w Krakowie (1826-2000) – rok
 Table 3.40. The cycles of air temperature in Krakow (1826-2000) – year

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
5,5	0,249	-1,6334	0,772	0,175	2,68
7,8	0,233	0,3156	0,764	0,201	3,59
8,3	0,192	1,6185	0,770	0,182	2,90
9,3	0,193	0,2404	0,777	0,156	2,11
11,2	0,177	2,2795	0,786	0,114	1,11
55,6	0,116	-0,9264	0,790	0,089	0,68
86,5	0,080	-1,4989	0,786	0,114	1,11

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ϵ^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ϵ^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 3.41. Cykle temperatury powietrza w Kremsmuenster (1767-1981) – rok
Table 3.41. The cycles of air temperature in Kremsmuenster (1767-1981) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
5,0	0,173	-1,0181	0,631	0,156	2,61
7,8	0,247	-0,2243	0,615	0,221	5,41
9,3	0,182	-1,0059	0,626	0,179	3,47
10,5	0,154	-1,3853	0,626	0,179	3,47
11,4	0,146	2,5069	0,633	0,146	2,27
17,4	0,162	0,6619	0,634	0,140	2,10
40,9	0,207	-2,0703	0,623	0,191	3,99
73,0	0,125	-0,6350	0,632	0,151	2,44
170,1	0,398	-0,9501	0,554	0,379	17,57

Tabela 3.42. Cykle temperatury powietrza we Lwowie (1824-2002) – rok
Table 3.42. The cycles of air temperature in Lwov (1824-2002) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
5,7	0,2455	1,80380	0,743	0,203	3,06
7,9	0,2251	1,10316	0,734	0,229	3,97
8,3	0,2079	1,87462	0,737	0,221	3,67
10,4	0,1994	-0,95088	0,731	0,238	4,28
11,2	0,1548	2,33380	0,744	0,199	2,96
30,5	0,2255	-1,41681	0,726	0,251	4,81
37,8	0,2304	0,12437	0,737	0,221	3,67
67,7	0,3924	-2,23963	0,694	0,323	8,32
125,4	0,2913	0,41748	0,708	0,294	6,75

Tabela 3.43. Cykle temperatury powietrza w Marsylii (1838-2002) – rok
Table 3.43. The cycles of air temperature in Marseille (1838-2002) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,1	0,120	-1,5690	0,304	0,176	2,43
6,4	0,138	-2,7452	0,303	0,185	2,68
7,4	0,143	-2,6487	0,305	0,167	2,17
7,8	0,113	0,1930	0,308	0,135	1,41
10,5	0,092	-1,3306	0,306	0,157	1,91
16,7	0,163	-1,9045	0,296	0,238	4,54
25,0	0,182	2,0494	0,294	0,251	5,09
32,9	0,117	-2,2897	0,297	0,231	4,27
43,6	0,152	2,8028	0,291	0,269	5,93
67,4	0,118	-2,1264	0,301	0,201	3,21

Tabela 3.44. Cykle temperatury powietrza w Mińsku (1891-2002) – rok
Table 3.44. The cycles of air temperature in Minsk (1891-2002) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
4,7	0,264	-1,2378	1,028	0,190	2,05
5,8	0,367	1,3667	0,985	0,277	4,52
7,8	0,338	0,3642	0,991	0,266	4,16
8,6	0,150	-1,6837	1,028	0,190	2,05
9,4	0,205	2,0925	1,027	0,193	2,11
11,2	0,331	2,4753	1,030	0,185	1,94
12,8	0,397	0,0351	0,979	0,287	4,88
36,2	0,206	0,3265	1,031	0,183	1,89

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ε^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 3.45. Cykle temperatury powietrza w Monachium (1781-1991) – rok
 Table 3.45. The cycles of air temperature in Munich (1781-1991) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,4	0,213	-2,7295	0,575	0,197	4,22
5,0	0,165	-1,0746	0,585	0,149	2,36
7,8	0,261	0,4336	0,563	0,243	6,53
11,2	0,138	2,7442	0,592	0,102	1,09
12,9	0,169	0,5726	0,580	0,174	3,28
14,1	0,165	0,4558	0,578	0,184	3,65
31,6	0,147	2,1511	0,584	0,154	2,54
38,5	0,119	-2,2663	0,586	0,143	2,18
178,3	0,312	1,4087	0,545	0,298	10,20

Tabela 3.46. Cykle temperatury powietrza w Moskwie (1779-2002) – rok
 Table 3.46. The cycles of air temperature in Moscow (1779-2002) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
5,7	0,263	1,7352	1,236	0,188	3,01
7,0	0,189	1,8224	1,248	0,161	2,19
7,9	0,192	1,5992	1,247	0,164	2,26
11,3	0,233	-0,6399	1,257	0,138	1,59
25,1	0,097	-2,7457	1,253	0,149	1,85
60,2	0,121	0,2890	1,194	0,261	6,00
79,0	0,200	-0,8028	1,254	0,146	1,79
152,3	0,618	1,3101	0,992	0,475	23,91

Tabela 3.47. Cykle temperatury powietrza w Odessie (1821-2002) – rok
 Table 3.47. The cycles of air temperature in Odessa (1821-2002) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
4,6	0,169	-0,5826	0,682	0,184	2,78
7,2	0,254	0,4800	0,681	0,188	2,90
7,6	0,199	2,5521	0,685	0,172	2,42
9,3	0,178	0,7997	0,681	0,188	2,90
10,4	0,246	-0,8419	0,658	0,261	5,76
11,1	0,220	-1,1961	0,685	0,172	2,42
12,8	0,273	-0,6445	0,663	0,247	5,12
16,5	0,213	-0,1361	0,685	0,172	2,42
99,4	0,084	0,7295	0,684	0,177	2,54

Tabela 3.48. Cykle temperatury powietrza w Oksfordzie (1828-1980) – rok
 Table 3.48. The cycles of air temperature in Oxford (1828-1980) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,1	0,211	-2,2204	0,408	0,225	4,03
7,8	0,198	-0,0654	0,408	0,225	4,03
10,2	0,128	2,7650	0,418	0,166	2,13
12,6	0,232	-1,9235	0,402	0,254	5,22
15,6	0,140	-2,1794	0,415	0,186	2,69
40,7	0,249	3,0157	0,406	0,235	4,43
47,1	0,163	-3,1097	0,408	0,225	4,03
75,1	0,138	2,4762	0,406	0,235	4,43

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ε^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 3.49. Cykle temperatury powietrza w Oslo (1816-1991) – rok
Table 3.49. The cycles of air temperature in Oslo (1816-1991) – year

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
4,0	0,208	-1,6777	0,872	0,161	2,26
5,0	0,246	-2,8689	0,868	0,175	2,66
5,4	0,267	1,7061	0,860	0,199	3,47
7,8	0,297	0,1092	0,849	0,227	4,61
11,4	0,138	2,5447	0,875	0,151	1,96
12,6	0,334	-2,1204	0,834	0,262	6,21
21,0	0,249	1,2165	0,857	0,207	3,78
35,8	0,220	0,7784	0,873	0,158	2,16
181,2	0,535	-2,4164	0,770	0,374	13,75

Tabela 3.50. Cykle temperatury powietrza w Paryżu (1757-1995) – rok
Table 3.50. The cycles of air temperature in Paris (1757-1995) – year

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
3,1	0,202	-2,2205	0,607	0,181	4,02
7,4	0,243	-3,0115	0,591	0,241	7,34
7,8	0,159	0,2620	0,609	0,172	3,62
15,4	0,173	-0,3084	0,610	0,167	3,42
32,5	0,188	-1,3089	0,608	0,177	3,82
44,5	0,158	3,0322	0,603	0,198	4,83
57,2	0,237	2,2368	0,580	0,275	9,73
81,9	0,191	-1,6416	0,590	0,245	7,55

Tabela 3.51. Cykle temperatury powietrza w Poczdamie (1894-1992) – rok
Table 3.51. The cycles of air temperature in Potsdam (1894-1992) – year

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
3,4	0,152	2,2588	0,545	0,184	1,71
3,6	0,225	-1,6738	0,535	0,227	2,65
4,6	0,180	-1,6896	0,524	0,267	3,72
7,7	0,424	-1,1534	0,464	0,421	10,47
9,2	0,112	-1,6621	0,556	0,121	0,72
11,2	0,239	2,5291	0,535	0,227	2,65
19,9	0,263	1,1639	0,526	0,260	3,52
57,6	0,138	-2,5796	0,544	0,189	1,80

Tabela 3.52. Cykle temperatury powietrza w Pradze (1771-2002) – rok
Table 3.52. The cycles of air temperature in Prague (1771-2002) – year

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
3,4	0,208	-2,9414	1,120	0,448	27,61
4,7	0,228	-1,0013	1,114	0,453	28,35
7,8	0,243	0,2037	1,105	0,460	29,48
10,4	0,218	-0,5226	1,115	0,452	28,23
13,0	0,176	1,6657	1,118	0,450	27,85
14,1	0,192	0,7294	1,108	0,457	29,10
17,9	0,216	0,8945	1,112	0,454	28,60
70,8	0,171	-0,5138	1,080	0,479	32,70
116,1	0,476	-1,7258	0,874	0,613	66,34

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ϵ^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ϵ^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 3.53. Cykle temperatury powietrza w Rydze (1795-1990) – rok
Table 3.53. The cycles of air temperature in Ryga (1795-1990) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,4	0,284	-3,0717	1,038	0,192	3,28
5,9	0,292	-0,7391	1,035	0,199	3,54
7,8	0,395	0,3926	0,998	0,272	6,86
9,3	0,258	0,3035	1,040	0,187	3,11
11,1	0,272	-1,3078	1,036	0,196	3,45
12,5	0,399	2,4038	1,004	0,261	6,30
31,6	0,179	2,9143	1,052	0,154	2,09
91,6	0,081	2,0772	1,072	0,072	0,45

Tabela 3.54. Cykle temperatury powietrza w Rzymie (1811-1991) – rok
Table 3.54. The cycles of air temperature in Rome (1811-1991) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
4,4	0,126	-1,1259	0,261	0,165	2,32
5,5	0,147	-0,7007	0,258	0,196	3,31
8,1	0,115	2,0821	0,260	0,176	2,65
10,7	0,164	0,7022	0,252	0,246	5,37
11,7	0,183	-2,2047	0,248	0,275	6,79
20,6	0,162	-0,8152	0,248	0,275	6,79
56,3	0,193	-0,6481	0,249	0,268	6,43
144,4	0,236	-1,2984	0,244	0,301	8,27

Tabela 3.55. Cykle temperatury powietrza w Seantis (1883-1988) – rok
Table 3.55. The cycles of air temperature in Seantis (1883-1988) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,4	0,219	2,2636	0,393	0,235	2,52
5,7	0,246	2,2833	0,384	0,277	3,58
7,4	0,239	-1,7182	0,385	0,273	3,46
8,1	0,074	2,6397	0,408	0,139	0,84
9,3	0,176	-2,2769	0,400	0,196	1,72
16,1	0,095	1,3979	0,411	0,110	0,52
32,1	0,201	1,5297	0,400	0,196	1,72
82,3	0,229	-2,5130	0,381	0,290	3,95

Tabela 3.56. Cykle temperatury powietrza w Sonnblick (1921-1980) – rok
Table 3.56. The cycles of air temperature in Sonnblick (1921-1980) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
2,7	0,307	-0,1614	0,280	0,415	4,69
3,0	0,192	-1,6647	0,321	0,227	1,22
3,4	0,275	-2,7240	0,297	0,350	3,14
4,7	0,141	-1,3661	0,327	0,184	0,78
6,3	0,160	1,8076	0,323	0,213	1,07
8,7	0,210	0,5019	0,311	0,285	1,98
52,8	0,074	0,6060	0,334	0,114	0,30

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ε^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 3.57. Cykle temperatury powietrza w Stambule (1839-2002) – rok
 Table 3.57. The cycles of air temperature in Istanbul (1839-2002) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
4,0	0,199	-2,4983	0,454	0,184	2,36
4,9	0,222	0,6726	0,445	0,230	3,78
7,7	0,236	2,7359	0,437	0,265	5,08
8,2	0,092	1,5401	0,457	0,166	1,91
9,2	0,196	-0,8963	0,449	0,211	3,14
30,6	0,190	-0,3179	0,449	0,211	3,14
135,1	0,332	2,2186	0,404	0,374	11,01

Tabela 3.58. Cykle temperatury powietrza w Sztokholmie (1756-1994) – rok
 Table 3.58. The cycles of air temperature in Stockholm (1756-1994) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
4,0	0,195	-1,8131	1,024	0,135	2,20
4,7	0,220	-1,5501	1,019	0,152	2,79
7,8	0,294	0,3368	0,999	0,205	5,22
11,4	0,161	2,3971	1,030	0,112	1,50
13,0	0,247	2,0445	1,012	0,172	3,63
19,6	0,257	-2,6845	1,012	0,172	3,63
39,3	0,204	-0,5438	1,013	0,170	3,51
79,4	0,033	-1,3492	1,039	0,062	0,46

Tabela 3.59. Cykle temperatury powietrza w Tallinie (1779-2002) – rok
 Table 3.59. The cycles of air temperature in Tallin (1779-2002) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
4,0	0,216	-1,6872	1,063	0,144	2,35
4,7	0,285	-1,5022	1,047	0,188	4,09
7,8	0,326	0,6504	1,033	0,220	5,66
8,8	0,246	-0,2376	1,048	0,186	3,98
11,2	0,228	2,3707	1,067	0,130	1,92
12,8	0,316	0,0504	1,033	0,220	5,66
14,0	0,167	0,6795	1,059	0,156	2,78
22,3	0,212	-2,0925	1,051	0,178	3,65
78,8	0,037	-1,1090	1,072	0,111	1,39
119,3	0,078	1,2339	1,074	0,102	1,18

Tabela 3.60. Cykle temperatury powietrza w Trondheim (1761-1981) – rok
 Table 3.60. The cycles of air temperature in Trondheim (1761-1981) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,4	0,156	-2,9023	0,705	0,127	1,80
4,0	0,175	-1,5967	0,701	0,148	2,44
7,8	0,162	0,2660	0,701	0,148	2,44
10,2	0,145	-2,0979	0,703	0,138	2,12
12,9	0,213	1,6179	0,692	0,185	3,89
19,5	0,187	1,1152	0,699	0,157	2,76
28,8	0,216	-0,7559	0,691	0,189	4,06
97,5	0,244	2,9272	0,690	0,193	4,22
189,0	0,207	0,2655	0,700	0,152	2,60

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ε^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 3.61. Cykle temperatury powietrza w Uppsali (1739-1970) – rok
 Table 3.61. The cycles of air temperature in Uppsala (1739-1970) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,4	0,260	2,9531	0,961	0,188	2,57
4,8	0,263	1,1300	0,947	0,222	3,66
5,3	0,226	-2,2382	0,955	0,203	3,03
7,8	0,339	0,0866	0,927	0,263	5,26
10,8	0,162	-0,2456	0,979	0,131	1,23
12,9	0,317	1,2466	0,939	0,239	4,29
17,2	0,144	-0,4338	0,978	0,135	1,30
162,5	0,492	1,7167	0,858	0,372	11,35

Tabela 3.62. Cykle temperatury powietrza w Vestmannaeyjar (1884-1981) – rok
 Table 3.62. The cycles of air temperature in Vestmannaeyjar (1884-1981) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,5	0,159	1,1831	0,329	0,219	2,43
3,7	0,202	2,5394	0,319	0,277	4,03
6,3	0,262	1,8947	0,309	0,325	5,73
9,2	0,103	-2,0278	0,337	0,157	1,22
11,7	0,108	-2,5323	0,336	0,166	1,37
15,8	0,254	1,5462	0,319	0,277	4,03
29,8	0,154	2,4716	0,328	0,225	2,59
46,9	0,050	-2,1178	0,327	0,231	2,74

Tabela 3.63. Cykle temperatury powietrza w Warszawie (1779-1998) – rok
 Table 3.63. The cycles of air temperature in Warsaw (1779-1998) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
4,0	0,169	-1,7867	0,894	0,129	1,86
4,7	0,239	-1,1160	0,886	0,160	2,87
5,5	0,200	-1,3956	0,884	0,166	3,12
5,7	0,134	2,0082	0,889	0,149	2,49
7,8	0,255	0,1734	0,875	0,194	4,28
11,3	0,166	-0,9419	0,898	0,111	1,37
12,8	0,219	0,0045	0,887	0,156	2,74
14,1	0,198	-0,1194	0,883	0,170	3,25
106,1	0,157	2,1672	0,896	0,120	1,61

Tabela 3.64. Cykle temperatury powietrza w Wiedniu (1775-2002) – rok
 Table 3.64. The cycles of air temperature in Vienna (1775-2002) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
4,7	0,203	-1,1515	0,715	0,174	3,51
5,5	0,211	-1,3734	0,713	0,181	3,84
7,8	0,194	0,1221	0,713	0,181	3,84
10,5	0,189	-1,9114	0,714	0,177	3,67
12,8	0,188	-0,0143	0,708	0,199	4,66
13,9	0,154	1,0922	0,717	0,166	3,18
41,6	0,202	1,9889	0,718	0,161	3,02
63,1	0,195	-2,1275	0,710	0,192	4,33
93,7	0,234	0,2257	0,704	0,212	5,33

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ε^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 3.65. Cykle temperatury powietrza w Wilnie (1777-2002) – rok
Table 3.65. The cycles of air temperature in Vilnius (1777-2002) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
4,7	0,340	-1,3762	0,931	0,236	6,44
5,7	0,246	1,5774	0,957	0,171	3,30
7,8	0,316	0,3843	0,940	0,216	5,33
11,3	0,251	-0,8456	0,963	0,153	2,60
12,8	0,365	0,0227	0,926	0,247	7,06
45,6	0,179	2,6798	0,955	0,177	3,54
60,5	0,164	0,3903	0,960	0,162	2,95
89,1	0,144	-2,0475	0,960	0,162	2,95
182,9	0,246	0,7449	0,950	0,191	4,13

Tabela 3.66. Cykle temperatury powietrza w Wrocławiu (1792-2002) – rok
Table 3.66. The cycles of air temperature in Wrocław (1792-2002) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,4	0,214	-2,7759	0,931	0,164	2,87
5,5	0,329	-1,5621	0,902	0,239	6,33
7,8	0,249	0,2771	0,924	0,185	3,69
11,3	0,247	0,0035	0,926	0,179	3,45
12,8	0,260	-0,4024	0,918	0,201	4,39
45,8	0,231	-2,0075	0,918	0,201	4,39
71,0	0,145	0,9547	0,925	0,182	3,57
125,8	0,355	0,9531	0,886	0,272	8,33

Tabela 3.67. Cykle temperatury powietrza w Zagrzebiu (1862-2002) – rok
Table 3.67. The cycles of air temperature in Zagreb (1862-2002) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,2	0,147	1,5491	0,604	0,145	1,43
4,0	0,150	-1,9550	0,605	0,139	1,32
5,3	0,201	-0,5839	0,587	0,220	3,41
6,4	0,194	-2,4663	0,585	0,227	3,65
8,2	0,233	1,8854	0,583	0,234	3,90
10,6	0,217	2,7410	0,589	0,213	3,17
13,0	0,194	2,1674	0,592	0,201	2,82
44,7	0,214	-2,9033	0,575	0,261	4,88
76,2	0,342	-0,6234	0,536	0,362	10,11

Tabela 3.68. Cykle temperatury powietrza w Zurychu (1864-1980) – rok
Table 3.68. The cycles of air temperature in Zurich (1864-1980) – year

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
3,4	0,160	3,0982	0,346	0,206	2,34
6,3	0,198	-0,7604	0,344	0,219	2,67
7,5	0,284	1,3350	0,312	0,369	8,37
9,1	0,191	1,2524	0,335	0,270	4,16
13,6	0,195	-1,1465	0,338	0,254	3,65
30,7	0,195	1,9226	0,338	0,254	3,65
70,6	0,255	-0,3358	0,329	0,299	5,20

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ε^2 – rest variance, R – correlation coefficient

IV. CYKLICZNE ZMIANY KLIMATU EUROPY W OSTATNIM TYSIĄCLECIU WEDŁUG CIĄGÓW DENDROLOGICZNYCH

1. Zarys badań dendroklimatycznych

Instrumentalne pomiary elementów meteorologicznych dostarczają informacji o warunkach klimatycznych od mniej więcej początku XIX wieku, a w przypadku temperatury powietrza nawet i od połowy XVII stulecia. Danych dotyczących wcześniejszych okresów należy szukać w innych źródłach, zarówno antropogenicznych (kroniki), jak i naturalnych. Jedną z możliwości wykorzystania „zapisów” warunków klimatycznych przez przyrodę jest analiza słoików przyrostu rocznego drzew. Dziedziną nauki zajmującą się tymi zagadnieniami jest dendroklimatologia.

Zdecydowana większość roślin drzewiastych, a także część krzewów występujących na Ziemi, odkłada w ciągu roku na swoim obwodzie pewną ilość drewna, tak zwany słoik przyrostu rocznego. Jest on efektem podziałów zachodzących w tkance twórczej (kambium). Rozmiary i właściwości przyrostu zależą od wielu czynników, pośród których warunki klimatyczne odgrywają zasadniczą rolę. Analiza różnych cech drewna (np. szerokość słoika, liczba naczyń, gęstość) pozwala na „odczytanie” informacji o warunkach środowiskowych, jakie występowały w czasie życia danego drzewa od momentu wykiełkowania aż do obumarcia. Należy jednak mieć na uwadze, że różne gatunki reagują na zmienne warunki środowiskowe w różny sposób. Również przyrosty drewna poszczególnych osobników w obrębie jednego gatunku może się znacznie różnić (Briffa 2000).

Pierwsze starania w zakresie analizy relacji przyrostu z klimatem podjął na początku XX wieku amerykański badacz A.E. Douglass, który usiłował powiązać warunki klimatyczne z wyrażoną liczbami Wolfa aktywnością Słońca. Brak danych pomiarowych chciał zastąpić wynikami pomiarów szerokości słoików przyrostowych (Douglass 1937, 1942). Od tego czasu opracowano szczegółową metodykę badań oraz przeprowadzono wiele analiz pozwalających ustalić związki między przyrostami drewna i zmiennymi klimatycznymi, w szczególności z temperaturą powietrza i opadami atmosferycznymi, dla jak najszerzej liczby gatunków (Fritts 1976, Zielski, Krąpiec 2004).

Poznanie związków przyrost – klimat umożliwia podjęcie próby rekonstrukcji warunków środowiska w okresie przed pomiarami instrumentalnymi. Aby jednak było to możliwe konieczna jest utworzenie możliwie najdłuższych ciągów przyrostów – chronologii szerokości słoików rocznych. Najdłuższa europejska sekwencja przyrostowa liczy 10 430 lat i prezentuje sięgające 8480 r. p.n.e. przyrosty dębów z południowych Niemiec. Najdłuższe polskie chronologie to zestawione przez M. Krąpca ciągi przyrostowe dębu z Wielkopolski (449-1994), Dolnego Śląska (780-1994) i Małopolski (910-1997) oraz dębowa sekwencja z Pomorza Gdańskiego, obejmująca okres 996-1985 autorstwa T. Ważnego. Równie długie chronologie utworzono także i dla innych gatun-

ków drzewiastych w Polsce. A. Zielski (2004) opracował ciąg przyrostów sosny z terenów położonych nad dolną Wisłą obejmujący lata 1106-1994. Zbliżony zasięg czasowy prezentuje utworzona przez E. Szychowską-Krapiec (2000) chronologia jodły z południowej Polski. Krótsze są natomiast chronologie świerkowe, które utworzono dla Beskidu Żywieckiego (1641-1995, E. Szychowska Krapiec) i Babiogórskiego Parku Narodowego (1650-1993, Z. Bednarz).

Jak do tej pory nie przeprowadzono szerszej rekonstrukcji klimatu Polski w oparciu o dane dendrochronologiczne. Jedyne podjęte próby to prace dotyczące Babiogórskiego Parku Narodowego (Bednarz 1996) i Polski północnej (Przybylak i inni 2001). Na świecie opracowano już kilkanaście rekonstrukcji obejmujących warunki klimatyczne ostatnich dwóch tysięcy lat. Prace te jednak nie dotyczą warunków pogodowych w ciągu całego roku, lecz najczęściej tzw. „miesiące letnich”, rozumianych jako przybliżenie okresu wegetacyjnego lub tych miesięcy, dla których wcześniejsze badania ustaliły statystycznie istotne powiązanie przyrostów drewna z warunkami klimatycznymi.

Analizie statystycznej poddano ciągi chronologiczne rocznych przyrostów drzew tj. sosny, świerka, modrzewia, jodły i dębu rosnących w Europie.

Tabela 4.1. Rozmieszczenie badanych drzew w Europie w różnych przedziałach czasu
Table 4.1. Localization of dendrochronological data

Rodzaje drzew (miejsce)	Przedział czasu	Rodzaje drzew (miejsce)	Przedział czasu
Sosna		Modrzew	
<i>Pinus sylvestris</i>		Berchtesgaden (Niemcy)	1339-1947
Forfjorddalen (Norwegia)	877-1994	Les Merveilles 1 (Francja)	1187-1974
Karhupesakivi (Finlandia)	1398-1993	Les Merveilles 2 (Francja)	988-1974
Kola (Rosja)	1577-1997	Obergurgl (Austria)	1604-1972
Muddas (Szwecja)	1532-1972	Pinega 1 (Rosja)	1578-1990
Pyaozera (Rosja)	1546-1993	Jodła	
Siete, Picos (Hiszpania)	1527-1988	Fodara Vedla (Włochy)	1474-1990
Vikran (Norwegia)	1599-1992	Prayo Magno (Włochy)	1540-1973
<i>Pinus nigra</i>		Dąb	
Puerto Llano (Hiszpania)	1585-1985	<i>Quercus robur</i>	
Riscopal (Hiszpania)	1523-1988	Hamburg (Niemcy)	1340-1967
Tajo (Hiszpania)	1610-1988	<i>Quercus petraea</i>	
Torreton, (Hiszpania)	1485-1988	Ardeny (Belgia)	1118-1986
Świerk		Bodensee (Holandia)	1275-1986
Falkenstein (Niemcy)	1540-1995	Bourgogne (Francja)	681-1991
Fodara Vedla (Włochy)	1598-1990	Franche-Comte (Francja)	1294-1987
Guadarrama 1 (Hiszpania)	1726-1983	Shanes Castle (Irlandia)	1649-1992
Guadarrama 4 (Hiszpania)	1599-1984		
Stonnglandes (Norwegia)	403-1997		
Zagradeniye (Grecja)	1635-1979		

2. Synchroniczność cykli klimatycznych i dendrologicznych w Europie

Celem rozdziału jest określenie zakresu zmian temperatury powietrza w Europie w ostatnich dwóch stuleciach. Jest nim też wykazanie synchroniczności cyklicznych wahań klimatu w Europie na podstawie danych instrumentalnych i dendrologicznych oraz prognoza zmian klimatu w XXI wieku.

Z dotychczasowych badań długich ciągów pomiarów wynika, że w Warszawie, podobnie jak w innych miastach Polski np. Kraków (1826-1990), Wrocław (1851-1980) i Europy np. Anglia (1659-1773), Bazylea (1755-1980), Genewa (1768-1990), Innsbruck (1777-2000), Kopenhaga (1768-1991), Lwów(1824-2002), Poczdam (1893-1992), Praga (1771-1980, Sztokholm (1756-1994), Uppsala (1739-1970), Wiedeń (1775-2002, Zurych (1864- 1980) występuje kilka cykli temperatury powietrza o znaczących amplitudach. Są to cykle około 4., 8., 11., 100. i około 180-letnie. Ich obecność prawie we wszystkich ciągach chronologicznych (miesięcznych i sezonowych wartości) świadczy, że cykliczność ta jest cechą pola temperatury powietrza w Europie.

Widma i cykle: temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, wskaźnika NAO, aktywności Słońca i rocznych przyrostów drzew (szerokości słoii) wyznaczono metodą „sinusoid regresji” J. Boryczki (1998):

$$y = f(t) = a_0 + b \sin(2\pi t/\Theta + c)$$

gdzie: Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, t – czas, zmieniając okres sinusoidy Θ co 0,1 roku. Ciąg wartości wariancji resztkowej ε^2 , odpowiadających zadawanym okresom Θ – to widmo zmiennej y . Okresy Θ – to minima lokalne wariancji resztkowej ε^2 (maksima lokalne współczynnika korelacji $R = (1 - \varepsilon^2/s^2)^{0.5}$, s^2 – wariancja zmiennej y). Są to okresy w sensie statystycznym: $f(t_i + \Theta) = f(t_i) + \varepsilon_i$, gdzie ε_i jest resztą losową.

Wyniki badań krótszych serii pomiarów temperatury powietrza z lat 1951-1990 w Polsce przedstawione w pracy doktorskiej E. Żmudzkiej (1998) pt. *Cykliczne zmiany temperatury powietrza w Polsce* potwierdziły częściowo tezę o cykliczności pola temperatury powietrza.

Cykliczność miesięcznych, sezonowych, półrocznych i rocznych sum opadów atmosferycznych w latach 1813-1980 przedstawiono w VII tomie *Atlasu* (Boryczka, Stopa-Boryczka, Kicińska, Żmudzka, 1992). Okresy miesięcznych sum opadów w Warszawie są zawarte w przedziałach: 3-6, 9-13, 15-23, 30-44, 51-67, 74-100, 113-129 lat. Okresowość sezonowych sum opadów w innych miejscowościach Polski (Koszalin, Bydgoszcz, Poznań, Wrocław, Kraków) w latach 1861-1990 badała A. Michalska w pracy doktorskiej pt. *Długookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Polsce*.

Wcześniej, zmienność opadów atmosferycznych w Polsce była badana przez Z. Kaczorowską (1962) z zastosowaniem analizy harmonicznej.

Cykliczność temperatury powietrza w Polsce dłuższą od jednego roku badano zwykle różnymi metodami, ograniczając się do długości samych cykli. Nie znana była dyspersja parametrów cykli: okresów, amplitud i dat ekstremów w przypadkach cykli o długościach od 1 do 200 lat. Nie wiadomo było też, czy cykle temperatury powietrza są syn-

chroniczne na obszarze Polski i Europy. Wylonił się więc problem zbadania, czy pole temperatury powietrza jest jednorodne pod względem cykliczności.

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

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

2.1. Cykl 4-letni temperatury powietrza, opadów i cyrkulacji atmosferycznej

Ciągi czasowe temperatury powietrza w Europie cechują się okresowością około 4-letnią o zakresie zmian $\Delta T = 2b$ (tab. 4.2).

Tabela 4.2. Okresy około 4-letnie temperatury powietrza w Europie
Table 4.2. 4-years periods of air temperature in Europe

Miejscowość	Zima		Wiosna		Lato		Jesień		Rok	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	3,5	1,18	4,0	0,75	3,9	0,78	4,7	0,66	4,7	0,51
Kraków	3,3	0,28	4,0	0,32	3,9	0,50	4,1	0,34	4,5	0,25
Praga	3,5	1,21	4,4	0,55	3,9	0,61	4,7	0,66	4,7	0,41
Genewa	3,8	0,65	3,9	0,48	3,9	0,53	3,7	0,47	3,9	0,29
Anglia	3,8	0,48	3,7	0,29	3,1	0,36	4,3	0,29	5,2	0,21

Analogiczna okresowość 3,0-4,8-letnia występuje w seriach sezonowych i rocznych sum opadów atmosferycznych (tab. 4.3).

Tabela 4.3. Okresy około 4-letnie opadów atmosferycznych w Polsce
Table 4.3. 4-years periods of precipitation in Europe

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

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

Taką samą okresowość ma cyrkulacja atmosferyczna: makrotyp E, południkowa (wg klasyfikacji Wangenheima-Girsa 1891-1776) i cyklonalna (wg Obuchowskiej-Klein 1901-1975). Okresy (Θ) i współczynniki korelacji (R) wynoszą (tab. 4.4).

Tabela. 4.4. Okresy około 4-letnie cyrkulacji atmosferycznej w Europie
Table 4.4. 4-years periods of atmospheric circulation in Europe

Cyrkulacja	Zima		Wiosna		Lato		Jesień	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Makrotyp E	3,0	0,18	3,0	0,25	4,4	0,21	2,9	0,22
Południkowa	3,0	0,28	3,3	0,32	4,3	0,29	2,8	0,32
Cyklonalna	4,2	0,29	3,5	0,30	2,8	0,33	3,4	0,30

Podobna okresowość 3,1. i 5,5-letnia o amplitudzie $\Delta h = 2,2$ i $2,9$ cm występuje w ciągach czasowych średniego poziomu Morza Bałtyckiego, a cykl 3,1-letni maksymalnych rocznych poziomów ma największą amplitudę $\Delta h_{\max} = 12,6$ cm (Kozuchowski, Boryczka, 1997).

Okresowością 3,4-5,0-letnią wyróżniają się również odpływy rzeki Goty-Alv (1807-1779), odpływy Wisły (Jokiel, Kozuchowski 1989; Gutry-Korycka, Boryczka 1980), zlodzenia Bałtyku (Kozuchowski, 1994). Istnieje także 3,0-letni cykl wskaźnika zawartości pyłu wulkanicznego w atmosferze (DVI).

Okresy około 4-letnie rocznych przyrostów drzew (szerokości sło) nie są istotne statystycznie i je pominięto. W kilkusetletnich ciągach dendrologicznych cykle krótkie zanikają ze względu na nieco różne przesunięcia fazowe (c)

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

2.2 Cykl 8-letni temperatury, cyrkulacji atmosferycznej, aktywności Słońca i rocznych przyrostów drzew

W Europie (i w Polsce) dominują około 8-letnie okresy temperatury powietrza o dużych amplitudach $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$ (tab. 4.5).

Tabela. 4.5. Okresy około 8-letnie temperatury powietrza w porach roku i roku w Europie
Table 4.5. 8-years periods of air temperature periods and year in Europe

Miejscowość	Zima		Wiosna		Lato		Jesień		Rok	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	8,3	1,52	7,8	0,81	7,1	0,57	6,5	0,62	7,7	0,59
Kraków	8,3	1,50	7,9	0,42	7,8	0,30	7,9	0,30	8,3	0,46
Praga	7,7	1,23	6,9	0,71	8,4	0,45	7,5	0,43	7,8	0,48
Genewa	8,5	0,68	7,8	0,53	7,8	0,41	6,8	0,47	7,4	0,40
Anglia	7,7	0,49	6,9	0,31	8,3	0,29	7,3	0,36	7,4	0,26

Tabela. 4.6. Okresy około 8-letnie temperatury powietrza podczas zimy i lata w Europie
Table 4.6. 8-years periods of air temperature in winter and summer in Europe

Miejscowość	Zima		Lato		Miejscowość	Zima		Lato	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT		Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa*	8,3	1,59	7,1	0,66	Genewa*	7,7	0,62	7,8	0,40
Kraków*	8,3	1,87	7,8	0,33	Wiedeń	8,3	0,87	8,4	0,38
Wrocław	8,3	1,53	7,8	0,27	Rzym	7,9	0,30	8,4	0,32
Lwów	8,3	1,30	7,9	0,56	Sztokholm	7,8	1,33	7,8	0,40
Praga*	8,3	1,06	7,8	0,44	Kopenhaga	7,8	1,24	8,3	0,51
Berlin	7,7	1,54	7,8	0,55	Moskwa	7,9	0,76	8,3	0,60

(* – nieco inny przedział czasu niż w tab. 4.5).

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

Zbliżoną okresowością cechuje się cyrkulacja atmosferyczna (tab. 4.7)

Tabela. 4.7. Okresy około 8-letnie cyrkulacji atmosferycznej w Europie
Table 4.7. 8-years periods of atmospheric circulation in Europe

Typ cyrkulacji	Zima		Wiosna		Lato		Jesień		Rok	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Makrotyp E	7,4	0,26	7,7	0,22	7,0	0,17	7,7	0,31	8,0	0,20
Makrotyp W	7,6	0,20	9,0	0,27	6,3	0,28	7,6	0,32	9,4	0,26
Południkowa C	5,6	0,32	8,9	0,30	6,9	0,21	6,5	0,25	7,8	0,26
Cyklonalna	7,4	0,41	5,4	0,31	7,9	0,28	6,9	0,18	8,5	0,24
Strefowa	7,8	0,28	8,3	0,29	8,9	0,16	7,7	0,21	8,9	0,19

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

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

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

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

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

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

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

Analogiczne okresy są obecne w chronologicznych ciągach szerokości pierścieni (słoi) dębów rosnących w Polsce (tab. 4.8)

Tabela 4.8. Okresy (Θ lat) około 8-letnie szerokości pierścieni dębów rosnących w Polsce (XVIII-XX w.); R – współczynnik korelacji

Table 4.8. Close-to-8 years cycles (Θ years) of English oak (*Quercus robur*) tree ring widths from Poland (XVIII-XX century); R – correlation coefficient

Miejsce	Θ	R	Miejsce	Θ	R
Gdańsk	8,0	0,127	Roztocze	7,6	0,147
Gołdap	7,8	0,154	Suwałki	7,5	0,278
Hajnówka	7,9	0,144	Toruń	7,7	0,161
Koszalin	8,6	0,193	Warszawa	7,7	0,175
Kraków	7,7	0,235	Wrocław	8,3	0,206

2.3. Cykl 11-letni temperatury powietrza, opadów, aktywności Słońca i rocznych przyrostów drzew

Od dawna znana jest cykliczność około 11-letnia temperatury powietrza, wiązana z cyklem 11-letnim plam słonecznych. Okresy 10-15-letnie temperatury powietrza i amplitudy (w °C) w wybranych miejscowościach, w poszczególnych sezonach i w roku zestawiono w tabeli 4.9.

Tabela. 4.9. Okresy około 11-letnie temperatury powietrza w porach roku i roku w Europie
Table 4.9. 11-years periods of air temperature periods and year in Europe

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

Tabela 4.10. Okresy około 11-letnie temperatury powietrza w Europie
Table 4.10. 11-years periods of air temperature in Europe

Miejscowość	Zima		Lato		Miejscowość	Zima		Lato	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT		Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa*	11,6	0,53	11,3	0,22	Genewa*	11,0	0,40	11,3	0,28
Kraków*	11,3	0,84	11,4	0,26	Wiedeń	11,0	0,44	11,0	0,12
Wrocław	11,4	0,74	11,5	0,42	Rzym	11,8	0,44	10,7	0,39
Lwów	11,2	1,11	10,7	0,06	Sztokholm	11,3	0,29	11,6	0,38
Praga*	11,0	0,42	11,1	0,19	Kopenhaga	11,1	0,26	11,5	0,48
Berlin	11,0	0,42	11,6	0,18	Moskwa	11,4	1,62	11,3	0,30

(* – nieco inny przedział czasu niż w tab. 4.9).

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

Okazało się, że istotna statystycznie jest również okresowość około 11-letnia sezonowych sum opadów atmosferycznych w Polsce (tab. 4.11).

Tabela 4.11. Okresy około 11-letnie opadów atmosferycznych w Polsce
Table 4.11. 11-years periods of precipitation in Europe

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

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

Zbliżonymi okresami cechują się chronologiczne ciągi szerokości pierścieni (słoi) dębów rosnących w Polsce (tab. 4.12).

Tabela 4.12. Okresy (Θ lat) około 11-letnie szerokości pierścieni dębów rosnących w Polsce (XVIII-XX w.), R – współczynnik korelacji

Table 4.12. Close-to-11 years cycles (Θ years) of English oak (*Quercus robur*) tree ring widths from Poland (XVIII-XX century); R – correlation coefficient

Miejsce	Θ	R	Miejsce	Θ	R
Gdańsk	11,6	0,219	Roztocze	11,2	0,194
Gołdap	10,8	0,130	Suwałki	11,8	0,172
Hajnówka	11,2	0,258	Toruń	11,4	0,181
Koszalin	11,1	0,127	Warszawa	11,1	0,124
Kraków	11,5	0,137	Wrocław	11,6	0,162

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

Tabela 4.13. Okresy około 11-letnie aktywności Słońca i stałej słonecznej
Table 4.13. 11-years periods of solar activity and solar constant

Liczby Wolfa		Stała słoneczna	
Θ	ΔW	Θ	$\Delta s/s \%$
10,0	48,3	10,1	0,35
10,5	44,7	10,5	0,51
11,0	<u>60,1</u>	11,1	<u>0,94</u>
12,0	32,2	11,9	0,29

Oto równanie cyklu 11-letniego (średniego w latach 1700-1993) stałej słonecznej o minimalnej wariancji resztkowej $\varepsilon^2 = 7,1 \cdot 10^{-5}$ i współczynnika korelacji $R = 0,609$.

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

Zakres zmian stałej słonecznej w cyklu 11-letnim stanowi prawie 1% średniej wartości $1,94 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ w latach 1700-1993. W pojedynczych 11-letnich cyklach plam słonecznych stała słoneczna zmienia się maksymalnie o 2,5% (Kondratiev, Nikolski 1970). Cykliczność 9-14-letnia aktywności Słońca jest prawdopodobnie związana z okresami obiegu czterech największych planet dookoła Słońca. Okres 11,86 lat obiegu Jowisza dominuje w ciągach czasowych: wypadkowej siły grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce (11,8 lat, $R = 0,40$), całkowitego momentu pędu planet (11,9 lat, $R = 0,75$) i dyspersji masy planet w Układzie Słonecznym (11,9 lat, $R = 0,58$).

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

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

2.4. Cykle 100. i 180-letni temperatury powietrza, aktywności Słońca i rocznych przyrostów drzew

Krótkookresowe zmiany aktywności Słońca (stałej słonecznej) nie odgrywają istotnej roli w kształtowaniu klimatu Ziemi, ze względu na bardzo powolne przenikanie ciepła do głębszych warstw Ziemi. Większą rolę odgrywają długie cykle: około 100- i 180-letni aktywności Słońca. W otoczeniu maksimów plam słonecznych w tych cyklach kumulowana energia słoneczna w głębszych warstwach łądów i oceanów, wywiera wpływ na prądy morskie i cyrkulację atmosferyczną.

Tabela 4.14. Okresy około 100- i 180- letnie: aktywności Słońca, stałej słonecznej i erupcji wulkanicznych (lata)

Table 4.14. The close – to – 100 and 180-year long periods of solar activity, solar constant and volcanic eruption (years)

Zmienna	100-letni	200-letni
Aktywność Słońca (1700-2000)	102,0	187,3
Stała słoneczna (1700-2000)	102,0	187,0
Aktywność wulkaniczna DVI/ Δt	91,5	206,0

Okresy około 100. i 180-letnie są obecne w wielu seriach pomiarowych temperatury powietrza w Europie (tab. 4.15, 4.16).

Tabela 4.15. Okresy około 100-letnie temperatury powietrza w Europie

Table 4.15. The close to-100-year long periods of air temperature in Europe

Miejscowość	Zima		Lato		Miejscowość	Zima		Lato	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT		Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	113,4	1,22	75,0	0,88	Bazylea	85,5	0,14	87,6	0,64
Kraków	90,0	0,48	88,0	0,67	Kopenhaga	80,5	0,22	89,6	0,27
Wrocław	123,3	1,66	75,0	0,50	Anglia	99,3	0,44	102,5	0,20
Lwów	108,8	1,30	74,1	1,33	Sztokholm	86,3	0,55	89,4	0,51
Praga	116,3	1,44	118,3	0,68	Uppsala	102,7	1,48	94,0	0,79
Wiedeń	89,8	0,79	96,1	0,58	Insbruck	69,9	0,80	84,6	0,50

Tabela 4.16. Okresy około 180-letnie temperatury powietrza w Europie

Table 4.16. The close -to-180-year long periods of air temperature in Europe

Miejscowość	Zima		Lato		Miejscowość	Zima		Lato	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT		Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	179,0	0,44	208,2	0,66	Bazylea	–	–	227,4	0,26
Kraków	168,3	0,43	–	–	Kopenhaga	–	–	211,6	1,19
Lwów	–	–	195,3	1,00	Anglia	166,9	0,48	204,6	0,34
Genewa	144,1	–	248,3	1,09	Sztokholm	184,6	0,49	–	–
Berlin	212,8	1,18	–	–	Uppsala	182,3	2,50	192,8	0,39
Rzym	–	–	224,9	1,40	Innsbruck	169,8	1,45	–	–

Na przykład okresy około 100-letnie temperatury powietrza w zimie wynoszą: Warszawa – 113,4, Kraków – 90,0, Anglia – 99,3, Wiedeń – 89,8, Sztokholm – 86,3, Uppsala – 102,7 lat. Zbliżona okresowość około 100-letnia występuje również w lipcu: Warszawa – 75,0, Kraków – 88, Wiedeń – 96,1, Anglia – 102,5, Sztokholm – 89,0, Uppsala – 94 lat

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

Ciągi chronologiczne szerokości pierścieni drzew: sosny, świerka, modrzewia, jodły i dębu w Europie cechują się również podobnymi okresami około 100. i 180-letnimi (tab. 4.17).

Ekstrema cyklu 180-letniego (zbliżonego do długości serii instrumentalnych) wielokrotnie powtarzają się w ciągach dendrologicznych sprzed tysiąca czy też kilkuset lat.

Tabela 4.17. Okresy (Θ lat) około 35., 100. i 180- letnie szerokości pierścieni drzew (sosna, świerk, modrzew) rosnących w Europie
 Table 4.17. Close- to- 35-, 100- and 200- years cycles (Θ years) of tree ring widths from Europe (Scots pine, Norway spruce and European larch)

Drzewo	Przedział czasu	Θ	R	Θ	R	Θ	R
Sosna:							
Forfjorddalen (Norwegia)	877-1994	35	0,148	112	0,178	189	0,121
Kola (Rosja)	1577-1997	33	0,259	109	0,394	186	0,277
Świerk:							
Stonnggrandes (Norwegia)	1403-1997	35	0,165	114	0,191	–	–
Falkenstein (Niemcy)	1540-1995	46	0,225	110	0,298	189	0,414
Modrzew:							
Pinega 1 (Rosja)	1578-1990	32	0,286	103	0,177	217	0,286

Widma rocznych przyrostów drzew rosnących w Europie przedstawiają wykresy: sosny – rys. 4.1-4.11, świerka – rys. 4.12-4.18, modrzewia – rys. 4.19-4.23, jodły – rys. 4.24-4.25 i dębu – rys. 4.26-4.30. Natomiast parametry sinusoidalnych cykli badanych drzew (Θ – okres, b – amplituda, c – faza, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji wielokrotnej, F_{obl} – statystyka testu Fishera-Snedecora) podano w odpowiednich zestawieniach tabel 4.20- 4.49.

3. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na klimat Europy

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

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

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

W badaniach posłużono się wskaźnikiem NAO, zdefiniowanym przez P.D. Jonesa i in. (1997) jako standaryzowaną różnicę ciśnienia na poziomie morza między Gibraltarem i południowo-zachodnią Islandią.

Okresy Θ obecne w widmie wskaźnika NAO w latach 1825-1997 podano w tabeli 4.18 (R – współczynnik korelacji).

Tabela 4.18. Okresy wskaźnika NAO w latach 1825-1997
Table 4.18. The periods of NAO in years 1825-1997

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

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

4. Prognozy zmian klimatu Europy w XXI wieku

W badaniach zmian klimatu i ich przyczyn ważnym problemem jest wykrycie synchronicznych cykli: temperatury powietrza, opadów atmosferycznych i cyrkulacji strefowej (wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej NAO), warunkującej adwekcję mas powietrza znad Oceanu Atlantyckiego. Cykle – to składniki deterministyczne w seriach pomiarowych, umożliwiające prognozowanie zmian klimatu w najbliższych latach.

Nie są jeszcze poznane mechanizmy przenoszenia zmian w Układzie Słonecznym do układu Ziemia – atmosfera (poza stałą słoneczną). Mimo to wykryta okresowość zmiennych klimatologicznych – także około 100 i 180-letnia może być wykorzystana do rekonstrukcji klimatu w ostatnich stuleciach oraz w prognozach w XXI wieku.

Interesujące są wykresy czasowych zmian : aktywności Słońca (liczb Wolfa) i wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej NAO wraz z prognozami sięgającymi po rok 2100 (Boryczka, Stopa-Boryczka i inni, 2004). Rekonstrukcje i prognozy otrzymano na podstawie interferencji wykrytych cykli: liczb Wolfa i wskaźnika NAO:

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

gdzie: Θ_j , b_j , c_j – to parametry istotnych statystycznie cykli (na poziomie istotności 0,05, według testu F Fishera-Snedecora).

W ten sam sposób opracowano prognozy średniej rocznej temperatury powietrza w 40. miejscowościach w Europie (rys. 3.41-3.80).

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

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

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

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

Prognozę Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w zimie w XXI wieku otrzymano na podstawie wyznaczonych okresów w latach 1826-1997: 2,4; 5,0; 5,8; 7,8; 8,3; 15,5; 21,5; 37,1; 71,5; 105,1 lat. Z nakładania się tych cykli wynika, że podczas zim 2001-2100 można oczekiwać spadku wskaźnika NAO, tj. zmniejszenia cyrkulacji strefowej, a więc osłabienia ocieplającego oddziaływania Oceanu Atlantyckiego w zimie na klimat Europy (i Polski). Prognozy wskaźnika NAO w XXI wieku już przekonują o zbliżającym się naturalnym ochłodzeniu klimatu Europy (Boryczka, Stopa-Boryczka i inni, 2004).

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

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

Prognozy rocznych przyrostów (szerokości słoje) drzew rosnących w Europie przedstawiają wykresy: sosny – rys. 4.31-4.42, świerka – rys. 4.43-4.48, modrzewia – rys. 4.49-4.53, jodły – rys. 4.54-4.55 i dębu – rys. 4.56-4.61.

Na uwagę zasługują prognozy przyrostów rocznych niektórych drzew po rok 2100. Wykresy prognostyczne ich rocznych przyrostów cechują się głównymi minimami w połowie XXI wieku. W przypadku np. dwóch świerków, rosnących w Niemczech i we Włoszech funkcje prognostyczne $y = f(t)$ uwzględniają okresy podane na rys. 4.43-4.44. Słoje świerka z Falkenstein (1540-1995) cechują się „silnymi” cyklami: 110, 189 i 429 lat – o współczynnikach korelacji (R) 0,30, 0,42 i 0,40.

Tabela 4.19. Okresy Θ (lat) szerokości słoje świerków, uwzględnione w prognozach zmian klimatu po rok 2100 (R – współczynnik korelacji wielokrotnej)
 Table 4.19. Cycles of Norway spruce (*Picea abies*) tree ring widths applied in the climate forecast until year 2100; R - multiple correlation coefficient

Falkenstein (Niemcy) 1540-1995		Fodara Vedla (Włochy) 1598-1990	
Okres Θ	R	Okres Θ	R
8	0,057	8	0,034
12	0,059	12	0,047
15	0,143	23	0,148
25	0,123	39	0,175
46	0,217	53	0,205
53	0,160	63	0,130
73	0,328	77	0,186
110	0,303	99	0,083
189	0,416	191	0,718
429	0,399		

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

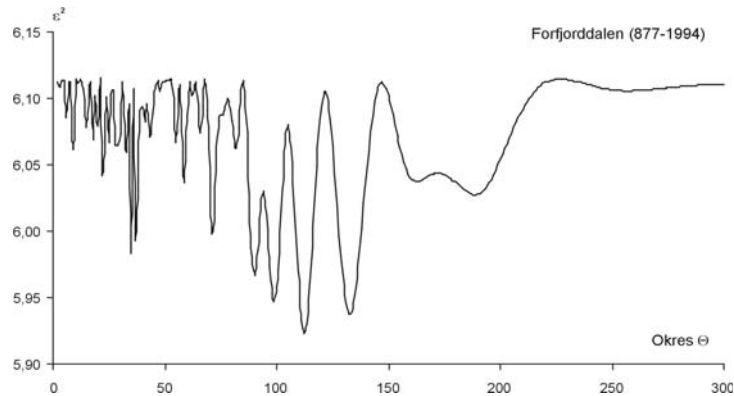
Ciągi czasowe temperatury powietrza w ostatnich stuleciach w Europie świadczą, że współczesne ocieplenie klimatu może w dużym stopniu wynikać z przyczyn naturalnych. Nie bez znaczenia są prawie przystające proste regresji standaryzowanych wartości aktywności Słońca i temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000.

$$W^p = 0,0037t - 6,956$$

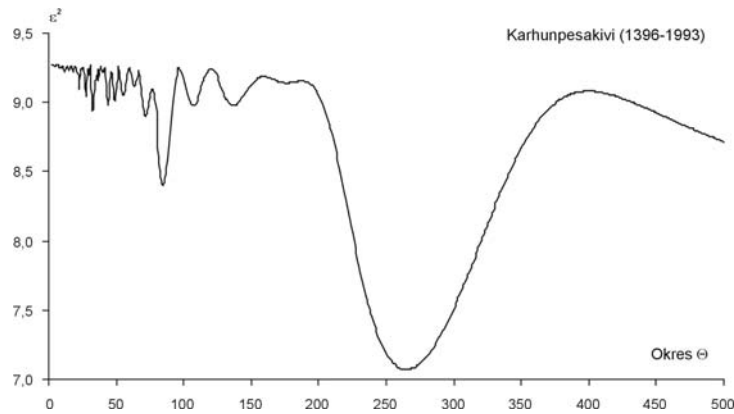
$$T^p = 0,0047t - 8,940$$

Tendencja rosnąca temperatury powietrza, zwłaszcza zimą, jest po prostu wypadkową nakładania się cykli naturalnych. Na przykład coraz cieplejsze zimy w Warszawie – o 1,03°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°C/100 lat. Na zmienność antropogeniczną przypada zaledwie 0,1°C/100 lat. Analogiczne coraz cieplejsze zimy w Genewie – 0,05°C/100 lat, Pradze – 0,25°C/100 lat są efektem nakładania się cyklicznych wahań temperatury powietrza.

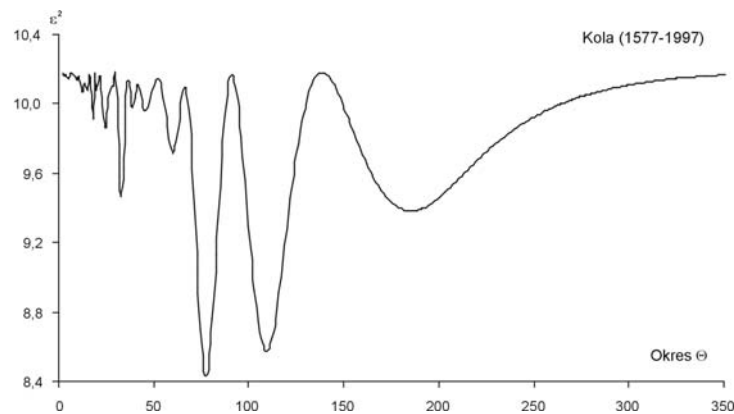
Widma rocznych przyrostów drzew w Europie przedstawiono na rysunkach 4.1-4.30, a parametry cykli w tabelach 4.20-4.49. Natomiast zmiany szerokości słoje drzew w odpowiednich przedziałach czasu, wraz z prognozami do roku 2100 ilustrują wykresy na rysunkach 4.31-4.60.



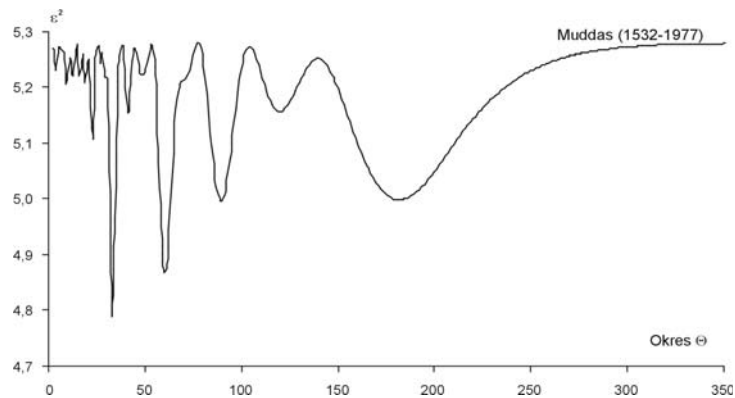
Rys. 4.1. Widmo szerokości słoï sosny (*Pinus sylvestris*) – Forfjorddalen (877-1994, Norwegia)
 Fig. 4.1. Spectrum of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) – Forfjorddalen (877-1994, Norway)



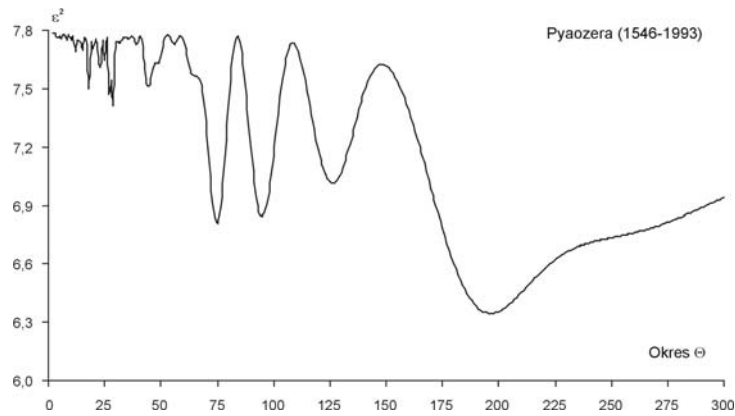
Rys. 4.2. Widmo szerokości słoï sosny (*Pinus sylvestris*) – Karhunpesakivi (1396-1993, Finlandia)
 Fig. 4.2. Spectrum of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) – Karhunpesakivi (1396-1993, Finland)



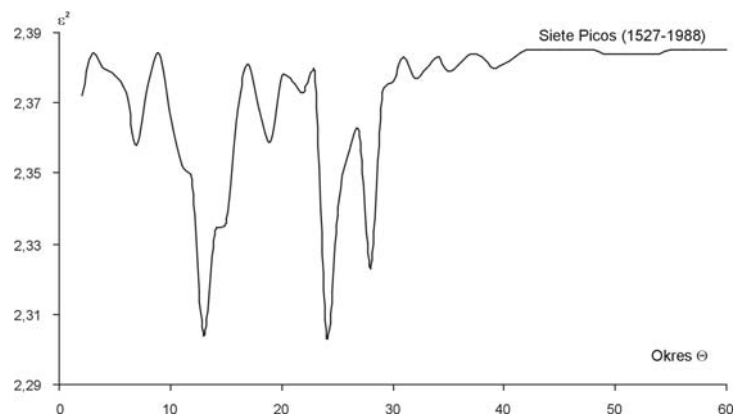
Rys. 4.3. Widmo szerokości słoï sosny (*Pinus sylvestris*) – Kola (1577-1997, Rosja)
 Fig. 4.3. Spectrum of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) – Kola (1577-1997, Russia)



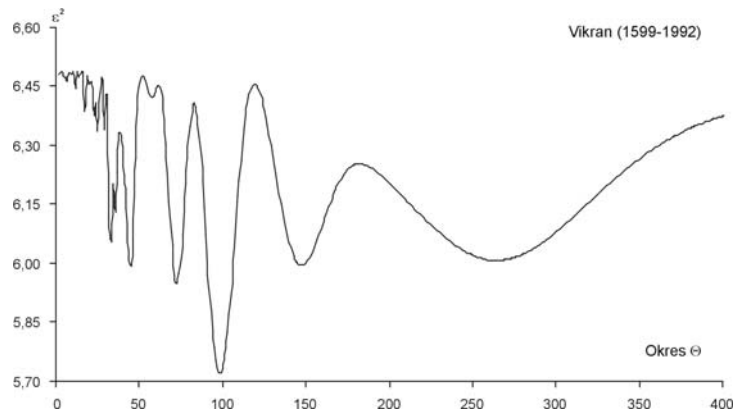
Rys. 4.4. Widmo szerokości słoí sosny (*Pinus sylvestris*) – Muddas (1532-1972, Szwecja)
 Fig. 4.4. Spectrum of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) – Muddas (1532-1972, Sweden)



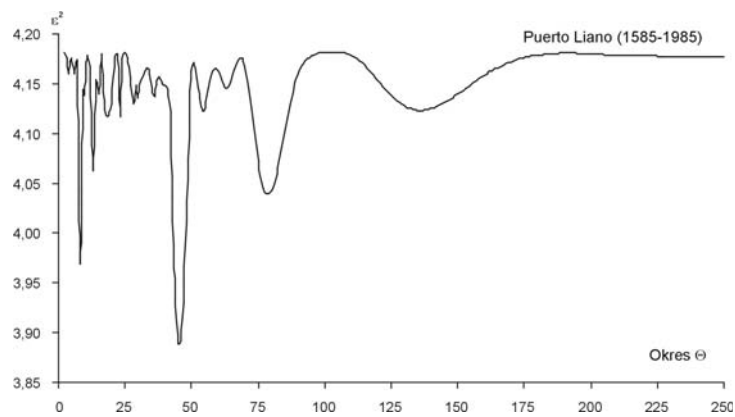
Rys. 4.5. Widmo szerokości słoí sosny (*Pinus sylvestris*) – Pyaozera (1546-1993, Rosja)
 Fig. 4.5. Spectrum of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) – Pyaozera (1546-1993, Russia)



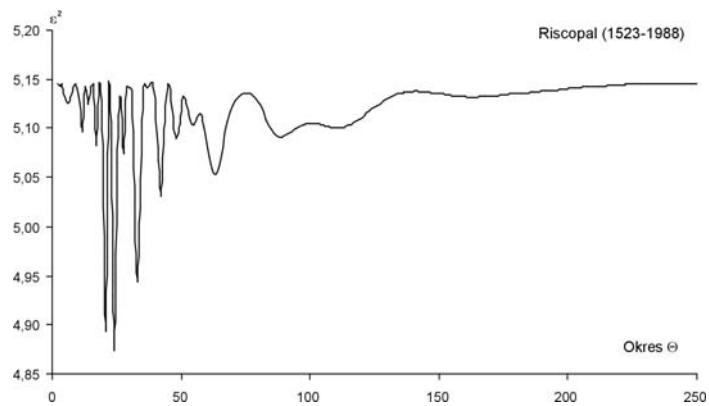
Rys. 4.6. Widmo szerokości słoí sosny (*Pinus sylvestris*) – Siete Picos (1527-1988, Hiszpania)
 Fig. 4.6. Spectrum of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) – Siete Picos (1527-1988, Spain)



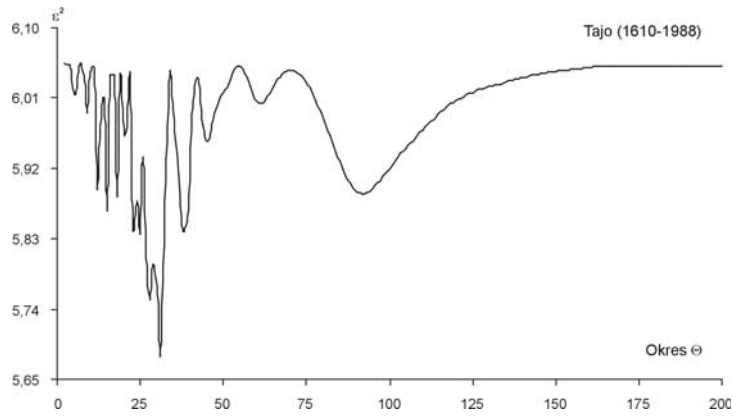
Rys. 4.7. Widmo szerokości słoj sosny (*Pinus sylvestris*) – Vikran (1599-1992, Norwegia)
 Fig. 4.7. Spectrum of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) – Vikran (1599-1992, Norway)



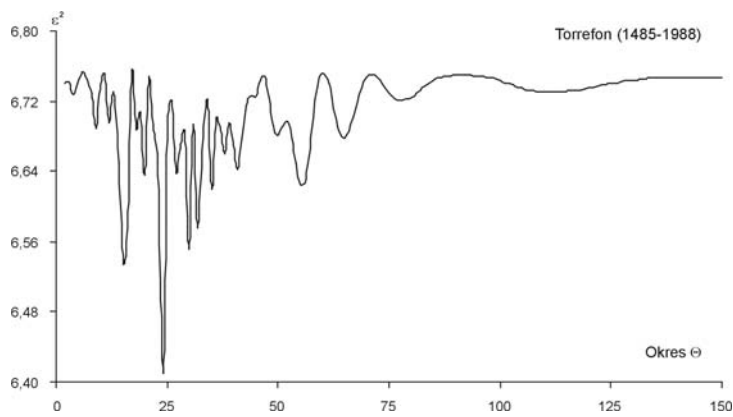
Rys. 4.8. Widmo szerokości słoj sosny (*Pinus nigra*) – Puerto Llano (1585-1985, Hiszpania)
 Fig. 4.8. Spectrum of tree ring widths of Black pine (*Pinus nigra*) – Puerto Llano (1585-1985, Spain)



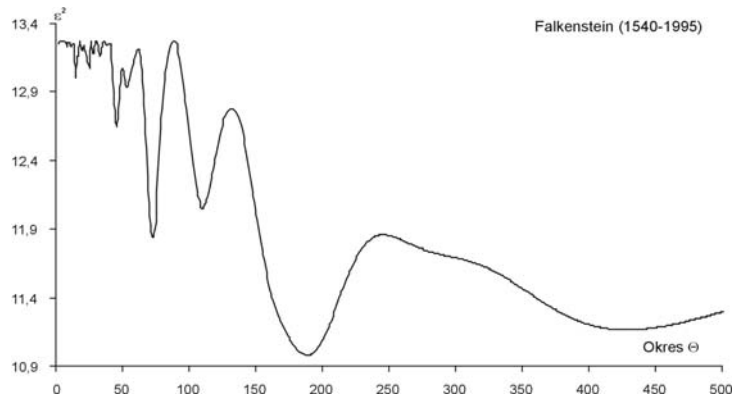
Rys. 4.9. Widmo szerokości słoj sosny (*Pinus nigra*) – Riscopal (1523-1988, Hiszpania)
 Fig. 4.9. Spectrum of tree ring widths of Black pine (*Pinus nigra*) – Riscopal (1523-1988, Spain)



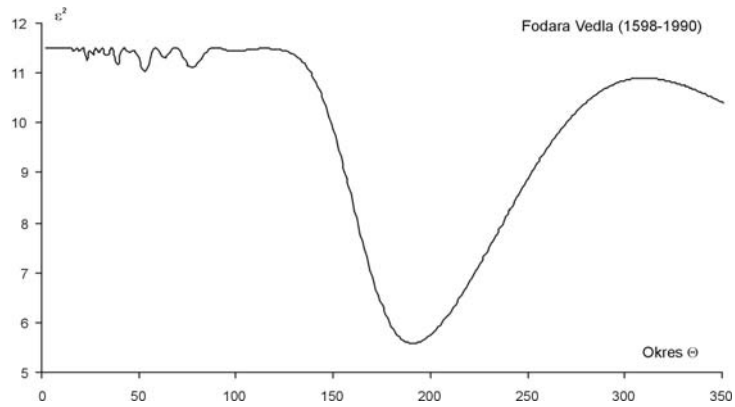
Rys. 4.10. Widmo szerokości słoj sosny (*Pinus nigra*) – Tajo (1610-1988, Hiszpania)
 Fig. 4.10. Spectrum of tree ring widths of Black pine (*Pinus nigra*) – Tajo (1610-1988, Spain)



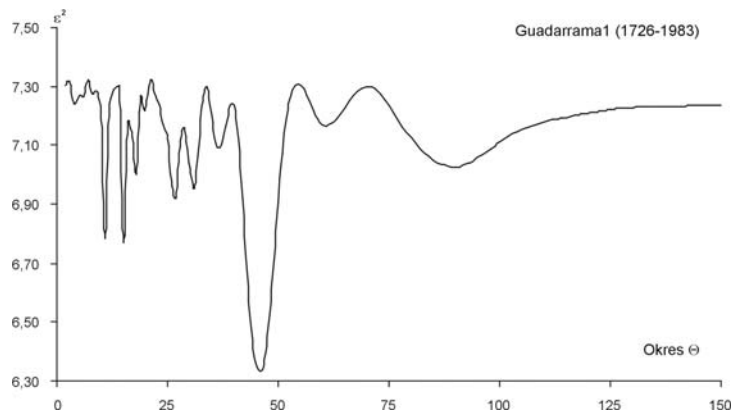
Rys. 4.11. Widmo szerokości słoj sosny (*Pinus nigra*) – Torrefon (1485-1988, Hiszpania)
 Fig. 4.11. Spectrum of tree ring widths of Black pine (*Pinus nigra*) – Torrefon (1485-1988, Spain)



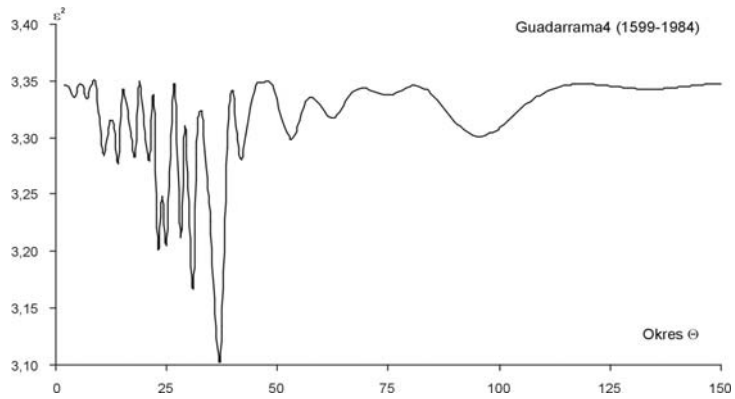
Rys. 4.12. Widmo szerokości słoj świerka (*Picea abies*) – Falkenstein (1540-1995, Niemcy)
 Fig. 4.12. Spectrum of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) – Falkenstein (1540-1995, Germany)



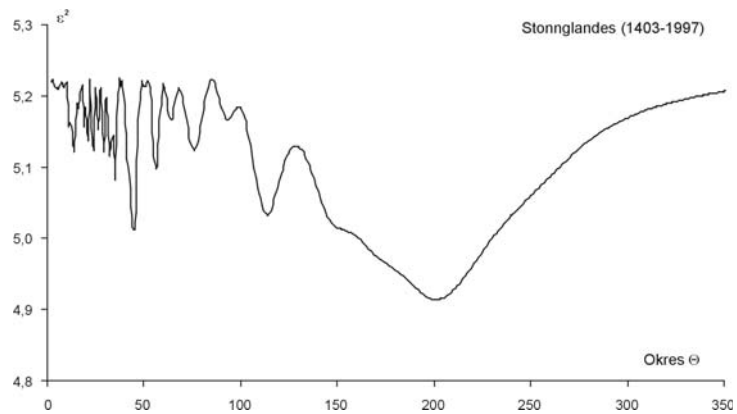
Rys. 4.13. Widmo szerokości słōi świerka (*Picea abies*) – Fodara Vedla (1598-1990, Włochy)
 Fig. 4.13. Spectrum of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) – Fodara Vedla (1598-1990, Italia)



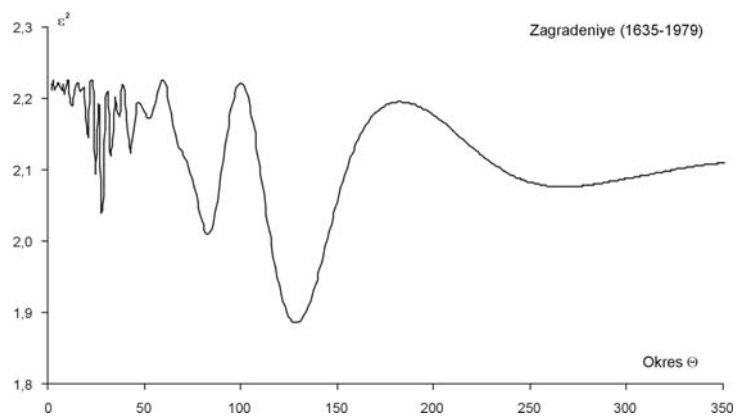
Rys. 4.14. Widmo szerokości słōi świerka (*Picea abies*) – Guadarrama 1 (1726-1983, Hiszpania)
 Fig. 4.14. Spectrum of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) – Guadarrama 1 (1726-1983, Spain)



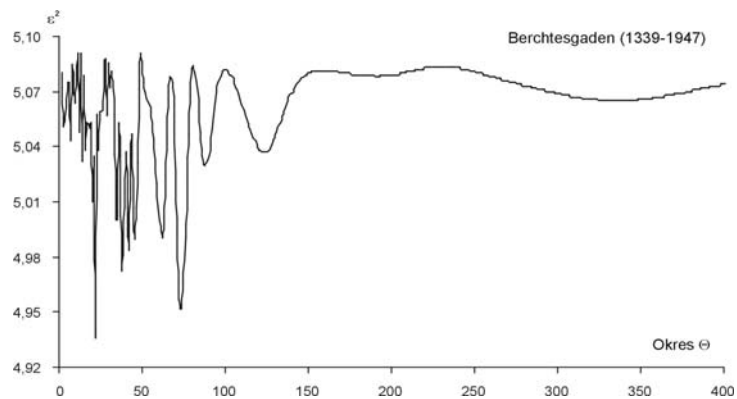
Rys. 4.15. Widmo szerokości słōi świerka (*Picea abies*) – Guadarrama 4 (1599-1984, Hiszpania)
 Fig. 4.15. Spectrum of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) – Guadarrama 4 (1599-1984, Spain)



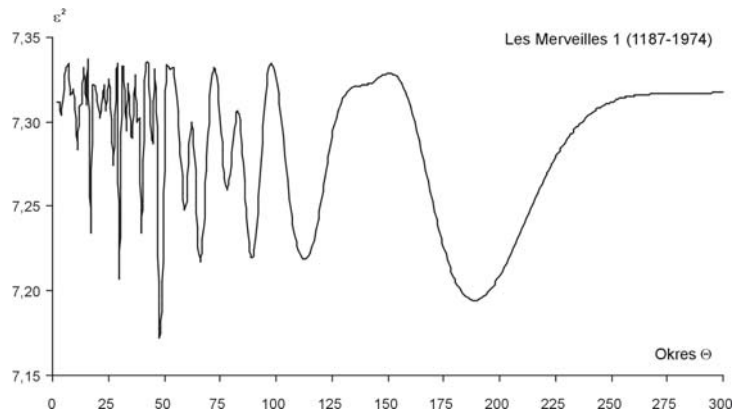
Rys. 4.16. Widmo szerokości słōi świerka (*Picea abies*) – Stonnglandes (1403-1997, Norwegia)
 Fig. 4.16. Spectrum of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) – Stonnglandes (1403-1997, Norway)



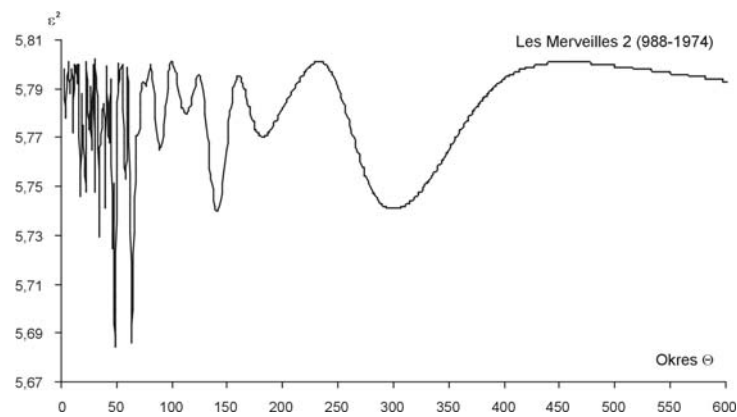
Rys. 4.17. Widmo szerokości słōi świerka (*Picea abies*) – Zagradeniye (1635-1979, Grecja)
 Fig. 4.17. Spectrum of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) – Zagradeniye (1635-1979, Greece)



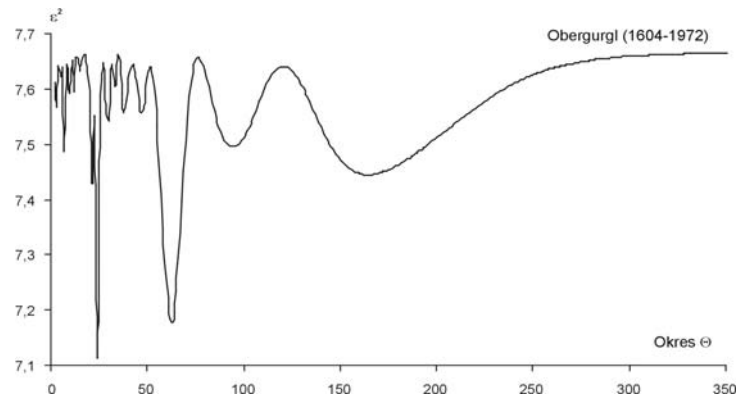
Rys. 4.18. Widmo szerokości słōi modrzewia (*Larix decidua*) – Berchtesgaden (1339-1947, Niemcy)
 Fig. 4.18. Spectrum of tree ring widths of European larch (*Larix decidua*) – Berchtesgaden (1339-1947, Germany)



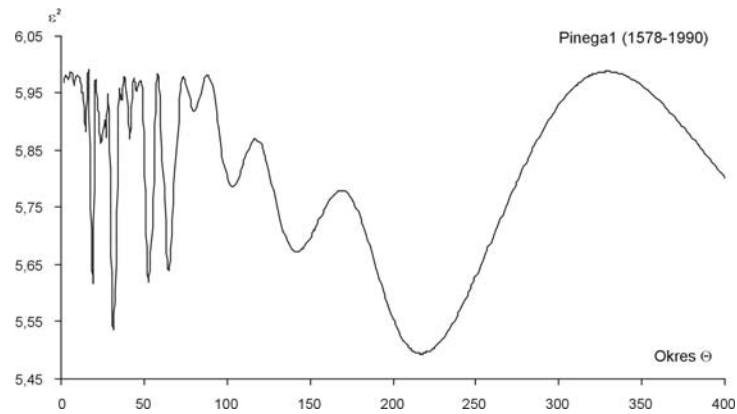
Rys. 4.19. Widmo szerokości słoí modrzewia (*Larix decidua*) – Les Merveilles 1 (1187-1974, Francja)
 Fig. 4.19. Spectrum of tree ring widths of European larch (*Larix decidua*) – Les Merveilles 1 (1187-1974, France)



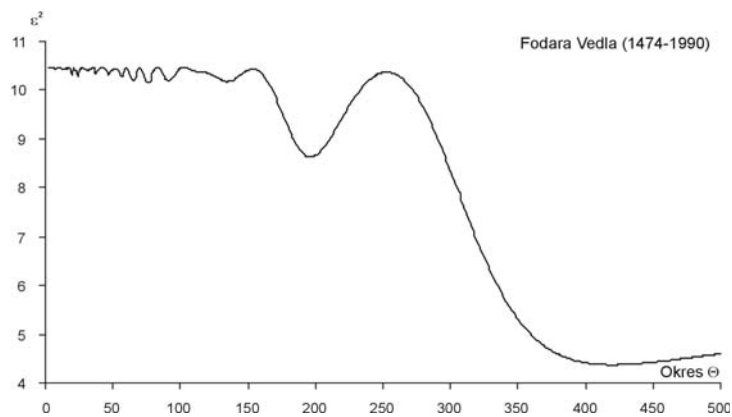
Rys. 4.20. Widmo szerokości słoí modrzewia (*Larix decidua*) – Les Merveilles 2 (988-1974, Francja)
 Fig. 4.20. Spectrum of tree ring widths of European larch (*Larix decidua*) – Les Merveilles 2 (988-1974, France)



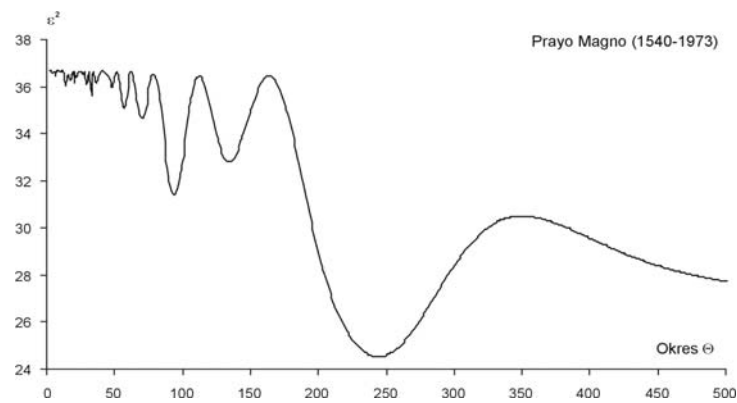
Rys. 4.21. Widmo szerokości słoí modrzewia (*Larix decidua*) – Obergurgl (1604-1972, Austria)
 Fig. 4.21. Spectrum of tree ring widths of European larch (*Larix decidua*) – Obergurgl (1604-1972, Austria)



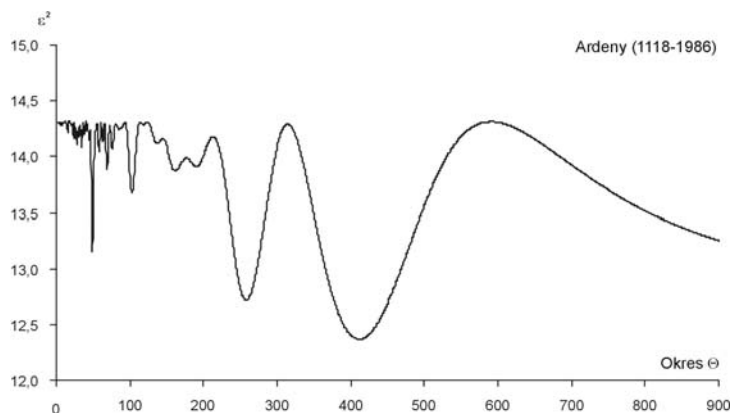
Rys. 4.22. Widmo szerokości słoje modrzewia (*Larix decidua*) – Pinega 1 (1578-1990, Rosja)
 Fig. 4.22. Spectrum of tree ring widths of European larch (*Larix decidua*) – Pinega 1 (1578-1990, Russia)



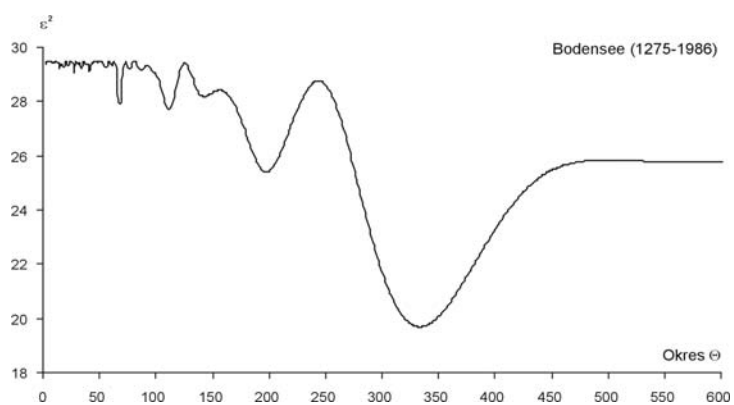
Rys. 4.23. Widmo szerokości słoje jodły (*Abies alba*) – Fodara Vedla (1474-1990, Włochy)
 Fig. 4.23. Spectrum of tree ring widths of pine Silver fir (*Abies alba*) – Fodara Vedla (1474-1990, Italia)



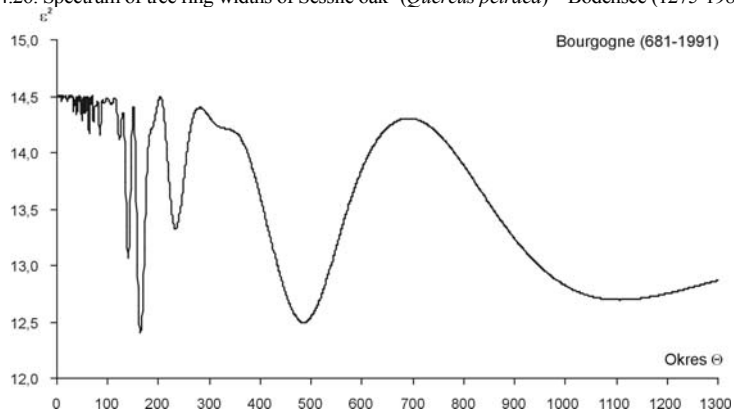
Rys. 4.24. Widmo szerokości słoje jodły (*Abies alba*) – Prayo Magno (1540-1973, Włochy)
 Fig. 4.24. Spectrum of tree ring widths pine of Silver fir (*Abies alba*) – Prayo Magno (1540-1973, Italia)



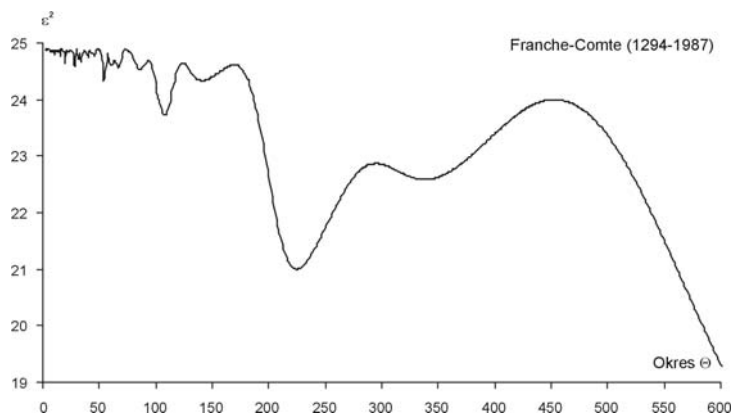
Rys. 4.25. Widmo szerokości słoii dębu (*Quercus petraea*) – Ardeny (1118-1986, Belgia)
 Fig. 4.25. Spectrum of tree ring widths of Sessile oak (*Quercus petraea*) – Ardens (1118-1986, Belgium)



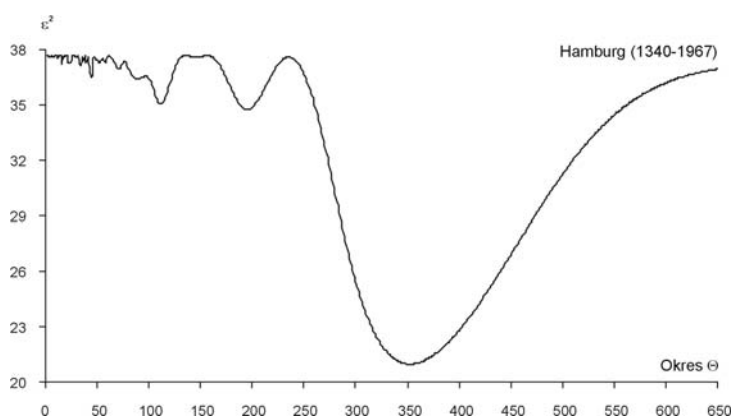
Rys. 4.26. Widmo szerokości słoii dębu (*Quercus petraea*) – Bodensee (1275-1986, Holandia)
 Fig. 4.26. Spectrum of tree ring widths of Sessile oak (*Quercus petraea*) – Bodensee (1275-1986, Holland)



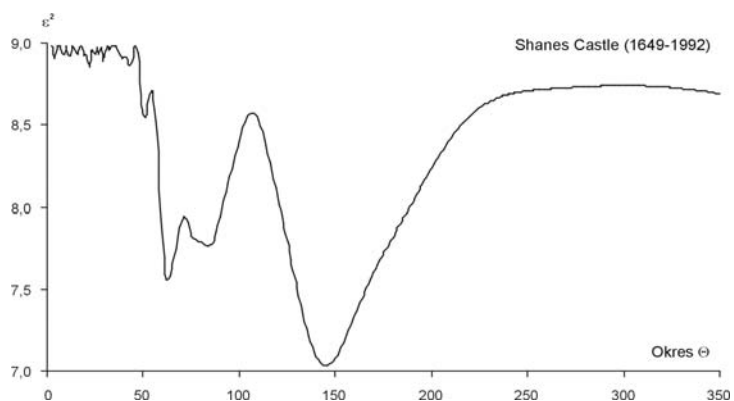
Rys. 4.27. Widmo szerokości słoii dębu (*Quercus petraea*) – Bourgogne (681-1991, Francja)
 Fig. 4.27. Spectrum of tree ring widths of Sessile oak (*Quercus petraea*) – Bourgogne (681-1991, France)



Rys. 4.28. Widmo szerokości słoı dębu (*Quercus petraea*) – Franche-Comte (1294-1987, Francja)
 Fig. 4.28. Spectrum of tree ring widths of Sessile oak (*Quercus petraea*) – Franche-Comte (1294-1987, France)



Rys. 4.29. Widmo szerokości słoı dębu (*Quercus robur*) – Hamburg (1340-1967, Niemcy)
 Fig. 4.29. Spectrum of tree ring widths of English oak (*Quercus robur*) – Hamburg (1340-1967, Germany)



Rys. 4.30. Widmo szerokości słoı dębu (*Quercus robur*) – Shanes Castle (1649-1992, Irlandia)
 Fig. 4.30. Spectrum of tree ring widths of English oak (*Quercus robur*) – Shanes Castle (1649-1992, Ireland)

Tabela 4.20. Cykle szerokości słoj sosny (*Pinus sylvestris*) w Forfjorddalen (877-1994, Norwegia)
 Table 4.20. The cycles of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Forfjorddalen (877-1994, Norway)

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

Tabela 4.21. Cykle szerokości słoj sosny (*Pinus sylvestris*) w Karhunesakivi (1396-1993, Finlandia)
 Table 4.21. The cycles of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Karhunesakivi (1396-1993, Finland)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{\text{obt.}}$
23	0,546	-0,8792	9,098	0,137	5,63
28	0,635	-0,7920	9,048	0,155	7,30
32	0,686	1,6109	8,935	0,190	11,15
49	0,705	-1,2153	9,014	0,166	8,45
72	0,601	2,9868	8,898	0,201	12,43
85	1,257	-1,9919	8,403	0,306	30,62
107	0,597	-0,2726	8,977	0,178	9,71
137	0,546	-0,4014	8,977	0,178	9,71
176	0,521	2,8046	9,141	0,118	4,21
265	2,021	-1,1806	7,07	0,487	92,30

Tabela 4.22. Cykle szerokości słoj sosny (*Pinus sylvestris*) w Kola (1577-1997, Rosja)
 Table 4.22. The cycles of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Kola (1577-1997, Russia)

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

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ε^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 4.23. Cykle szerokości słoı sosny (*Pinus sylvestris*) w Muddas (1532-1977, Szwecja)
 Table 4.23. The cycles of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Muddas (1532-1977, Sweden)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{\text{obl.}}$
9	0,399	1,7204	5,206	0,119	3,17
13	0,334	2,1656	5,221	0,107	2,53
16	0,373	-0,3742	5,222	0,106	2,49
23	0,628	-1,7616	5,107	0,182	7,48
33	1,034	-0,2418	4,789	0,305	22,52
41	0,528	-0,5936	5,155	0,155	5,37
49	0,283	1,1473	5,224	0,104	2,41
60	0,798	-0,2613	4,868	0,280	18,60
89	0,520	2,9362	4,997	0,232	12,46
182	0,664	3,1043	4,999	0,231	12,37

Tabela 4.24. Cykle szerokości słoı sosny (*Pinus sylvestris*) w Pyaozera (1546-1993, Rosja)
 Table 4.24. The cycles of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Pyaozera (1546-1993, Russia)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{\text{obl.}}$
12	0,416	-0,2954	7,690	0,110	2,70
18	0,741	2,7764	7,496	0,192	8,53
27	0,740	-0,5273	7,476	0,199	9,15
29	0,839	0,7146	7,419	0,216	10,93
44	0,736	-2,6520	7,517	0,185	7,89
49	0,405	2,6853	7,631	0,140	4,44
75	1,058	-2,9956	6,811	0,353	31,77
95	0,931	0,0483	6,842	0,348	30,61
126	0,727	0,3314	7,014	0,314	24,41
196	1,354	-2,8475	6,346	0,430	50,40

Tabela 4.25. Cykle szerokości słoı sosny (*Pinus sylvestris*) w Siete Picos (1527-1988, Hiszpania)
 Table 4.25. The cycles of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Siete Picos (1527-1988, Spain)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{\text{obl.}}$
7	0,223	0,2838	2,358	0,106	2,62
13	0,393	-1,6615	2,304	0,184	8,06
19	0,230	-0,4817	2,359	0,104	2,52
24	0,395	-1,0975	2,304	0,184	8,06
28	0,347	3,0577	2,323	0,161	6,12
32	0,138	3,0462	2,377	0,058	0,76
113	0,022	2,4935	2,384	0,019	0,09
170	0,022	0,5216	2,384	0,019	0,09

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ε^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 4.26. Cykle szerokości słoj sosny (*Pinus sylvestris*) w Vikran (1599-1992, Norwegia)
 Table 4.26. The cycles of tree ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Vikran (1599-1992, Norway)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
7	0,251	-1,8296	6,463	0,067	0,87
12	0,300	0,3531	6,445	0,085	1,42
25	0,564	1,2387	6,337	0,154	4,78
29	0,477	0,5738	6,340	0,153	4,68
33	0,874	-0,7313	6,054	0,260	14,14
45	1,073	1,8412	5,994	0,277	16,24
72	0,870	2,8813	5,950	0,289	17,81
99	1,012	-2,6710	5,722	0,344	26,30
148	0,770	0,5560	5,996	0,276	16,17
264	0,872	-1,6776	6,007	0,273	15,78

Tabela 4.27. Cykle szerokości słoj sosny (*Pinus nigra*) w Puerto Liano (1585-1985, Hiszpania)
 Table 4.27. The cycles of tree ring widths of Black pine (*Pinus nigra*) in Puerto Liano (1585-1985, Spain)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
8	0,662	-1,2330	3,969	0,226	10,67
10	0,282	-0,0337	4,138	0,102	2,11
13	0,487	-1,6923	4,062	0,169	5,87
18	0,368	-3,0066	4,118	0,124	3,08
23	0,320	1,1301	4,117	0,124	3,13
28	0,316	2,2091	4,129	0,112	2,54
45	0,764	2,0366	3,889	0,265	14,98
79	0,486	0,3754	4,039	0,185	7,04
136	0,302	3,1318	4,123	0,119	2,84
251	0,099	-1,7575	4,177	0,034	0,23

Tabela 4.28. Cykle szerokości słoj sosny (*Pinus nigra*) w Riscopal (1523-1988, Hiszpania)
 Table 4.28. The cycles of tree ring widths of Black pine (*Pinus nigra*) in Riscopal (1523-1988, Spain)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
12	0,329	2,3833	5,096	0,100	2,35
17	0,375	-2,1342	5,082	0,113	3,00
21	0,699	1,9996	4,893	0,222	12,06
24	0,671	-1,1087	4,874	0,231	13,00
33	0,648	0,0294	4,944	0,199	9,54
42	0,378	1,1662	5,031	0,151	5,37
48	0,203	-0,5494	5,090	0,106	2,63
63	0,386	-2,2707	5,053	0,136	4,34
89	0,302	-0,7118	5,091	0,105	2,58
163	0,134	-1,3196	5,132	0,055	0,71

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ε^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 4.29. Cykle szerokości słoje sosny (*Pinus nigra*) w Tajo (1610-1988, Hiszpania)

Table 4.29. The cycles of tree ring widths of Black pine (*Pinus nigra*) in Tajo (1610-1988, Spain)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{\text{obl.}}$
12	0,531	2,1571	5,894	0,163	5,16
18	0,573	2,7765	5,883	0,169	5,52
20	0,380	1,9409	5,963	0,124	2,93
28	0,978	2,1814	5,752	0,224	9,93
31	0,964	3,0713	5,680	0,249	12,44
38	0,607	1,8629	5,839	0,189	6,98
45	0,285	-0,1833	5,954	0,130	3,21
61	0,254	2,9717	6,003	0,093	1,65
92	0,550	2,8832	5,887	0,167	5,39
231	0,070	0,1092	6,050	0,031	0,18

Tabela 4.30. Cykle szerokości słoje sosny (*Pinus nigra*) w Torrefon (1485-1988, Hiszpania)

Table 4.30. The cycles of tree ring widths of Black pine (*Pinus nigra*) in Torrefon (1485-1988, Spain)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{\text{obl.}}$
9	0,362	0,1958	6,689	0,099	2,46
15	0,643	3,0063	6,536	0,180	8,38
20	0,432	2,5677	6,636	0,133	4,48
24	0,779	-1,9263	6,410	0,226	13,47
27	0,356	-1,7777	6,638	0,131	4,40
30	0,592	2,9667	6,552	0,173	7,75
41	0,414	-1,2997	6,642	0,129	4,25
55	0,476	1,2682	6,625	0,139	4,90
112	0,220	1,0094	6,730	0,060	0,92
155	0,136	-1,8878	6,747	0,034	0,28

Tabela 4.31. Cykle szerokości słoje świerka (*Picea abies*) w Falkenstein (1540-1995, Niemcy)

Table 4.31. The cycles of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) in Falkenstein (1540-1995, Germany)

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

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ε^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 4.32. Cykle szerokości słō świerka (*Picea abies*) w Fodara Vedla (1598-1990, Włochy)
 Table 4.32. The cycles of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) in Fodara Vedla (1598-1990, Italia)

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

Tabela 4.33. Cykle szerokości słō świerka (*Picea abies*) w Guadarrama 1 (1726-1983, Hiszpania)
 Table 4.33. The cycles of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) in Guadarrama 1 (1726-1983, Spain)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
4	0,405	-2,1245	7,241	0,105	1,41
8	0,330	-1,1024	7,272	0,082	0,87
11	1,067	1,7469	6,785	0,271	9,35
15	1,072	-2,1603	6,770	0,275	9,61
27	0,803	0,5575	6,923	0,233	6,94
46	1,404	-1,8021	6,334	0,367	17,20
61	0,275	-0,4844	7,166	0,146	2,71
90	0,737	0,6052	7,025	0,201	5,17

Tabela 4.34. Cykle szerokości słō świerka (*Picea abies*) w Guadarrama 4 (1599-1984, Hiszpania)
 Table 4.34. The cycles of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) in Guadarrama 4 (1599-1984, Spain)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
11	0,336	0,7279	3,284	0,141	3,90
14	0,391	1,7570	3,277	0,148	4,31
25	0,542	-1,6407	3,206	0,208	8,65
31	0,590	1,3709	3,169	0,233	10,99
37	0,680	-1,6810	3,103	0,272	15,29
62	0,205	1,2496	3,317	0,100	1,95
95	0,267	1,7381	3,301	0,122	2,89
219	0,064	-0,8679	3,343	0,048	0,45

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ε^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 4.35. Cykle szerokości słō świerka (*Picea abies*) w Stonnglandes (1403-1997, Norwegia)
 Table 4.35. The cycles of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) in Stonnglandes (1403-1997, Norway)

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

Tabela 4.36. Cykle szerokości słō świerka (*Picea abies*) w Zagradeniye (1635-1979, Grecja)
 Table 4.36. The cycles of tree ring widths of Norway spruce (*Picea abies*) in Zagradeniye (1635-1979, Greece)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
9	0,207	0,0553	2,206	0,095	1,55
13	0,275	-0,3122	2,190	0,127	2,81
25	0,488	1,2988	2,094	0,244	10,78
28	0,637	1,2199	2,041	0,288	15,50
33	0,424	1,0397	2,120	0,218	8,55
83	0,487	2,2196	2,010	0,312	18,38
129	0,666	-2,2681	1,886	0,391	30,83
267	0,423	2,1528	2,076	0,260	12,36

Tabela 4.37. Cykle szerokości słō modrzewia (*Larix decidua*) w Berchtesgaden (1339-1947, Niemcy)
 Table 4.37. The cycles of tree ring widths of European larch (*Larix decidua*) in Berchtesgaden (1339-1947, Germany)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{obl.}$
7	0,306	2,5340	5,043	0,097	2,88
14	0,342	0,9150	5,032	0,108	3,55
20	0,424	-0,7737	5,010	0,126	4,89
22	0,597	-1,6506	4,936	0,174	9,51
38	0,476	-0,7101	4,974	0,152	7,12
42	0,462	1,2639	4,984	0,145	6,50
73	0,468	-0,7281	4,952	0,165	8,50
88	0,248	0,8732	5,030	0,109	3,67
192	0,147	1,7568	5,078	0,050	0,77

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ε^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 4.38. Cykle szerokości słoí modrzewia (*Larix decidua*) w Les Merveilles 1 (1187-1974, Francja)
 Table 4.38. The cycles of tree ring widths of European larch (*Larix decidua*) in Les Merveilles 1 (1187-1974, France)

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
11	0,325	2,6633	7,284	0,084	2,78
17	0,445	1,2541	7,234	0,118	5,51
30	0,528	-1,1299	7,207	0,132	7,00
40	0,483	-2,7736	7,234	0,118	5,51
66	0,510	0,9793	7,217	0,127	6,45
89	0,472	1,3748	7,220	0,126	6,28
113	0,459	-2,2960	7,219	0,126	6,34
189	0,485	1,8909	7,194	0,139	7,73
614	0,218	-0,5333	7,312	0,057	1,27

Tabela 4.39. Cykle szerokości słoí modrzewia (*Larix decidua*) w Les Merveilles 2 (988-1974, Francja)
 Table 4.39. The cycles of tree ring widths of European larch (*Larix decidua*) in Les Merveilles 2 (988-1974, France)

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

Tabela 4.40. Cykle szerokości słoí modrzewia (*Larix decidua*) w Obergurgl (1604-1972, Austria)
 Table 4.40. The cycles of tree ring widths of European larch (*Larix decidua*) in Obergurgl (1604-1972, Austria)

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
7	0,599	3,0198	7,486	0,154	5,97
10	0,382	2,9909	7,591	0,099	2,47
15	0,286	2,4159	7,632	0,067	1,13
22	0,493	-1,5952	7,429	0,176	7,91
24	0,936	0,3049	7,115	0,268	19,16
63	0,955	-0,9817	7,178	0,253	16,82
94	0,689	2,6392	7,496	0,149	5,63
165	0,688	-1,3430	7,445	0,170	7,36

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ϵ^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ϵ^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 4.41. Cykle szerokości słoje modrzewia (*Larix decidua*) w Pinega 1 (1578-1990, Rosja)
 Table 4.41. The cycles of tree ring widths of European larch (*Larix decidua*) in Pinega 1 (1578-1990, Russia)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{\text{obl.}}$
12	0,299	-0,0979	5,950	0,080	1,31
19	0,873	1,1725	5,620	0,248	13,43
32	0,912	1,1729	5,539	0,274	16,62
53	0,774	-2,9463	5,620	0,248	13,43
65	0,631	1,2667	5,639	0,241	12,69
103	0,384	2,0833	5,786	0,184	7,16
142	0,770	1,4612	5,674	0,229	11,35
217	0,580	2,3395	5,494	0,287	18,44

Tabela 4.42. Cykle szerokości słoje jodły (*Abies alba*) w Fodara Vedla (1474-1990, Włochy)
 Table 4.42. The cycles of tree ring widths of pine Silver fir (*Abies alba*) in Fodara Vedla (1474-1990, Italia)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{\text{obl.}}$
20	0,552	-0,4403	10,302	0,124	4,04
24	0,609	0,1805	10,274	0,135	4,75
47	0,436	1,0778	10,308	0,122	3,88
57	0,439	-0,7882	10,276	0,134	4,70
65	0,513	0,5797	10,182	0,164	7,11
76	0,474	2,3965	10,155	0,172	7,81
91	0,410	-2,6837	10,200	0,159	6,64
135	0,576	0,4162	10,175	0,166	7,29
196	1,207	2,5341	8,625	0,419	54,69
420	3,132	-2,5546	4,372	0,763	357,42

Tabela 4.43. Cykle szerokości słoje jodły (*Abies alba*) w Prayo Magno (1540-1973, Włochy)
 Table 4.43. The cycles of tree ring widths of pine Silver fir (*Abies alba*) in Prayo Magno (1540-1973)

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

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ε^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 4.44. Cykle szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Ardenach (1118-1986, Belgia)
 Table 4.44. The cycles of tree ring widths of Sessile oak (*Quercus petraea*) in Ardeny (1118-1986, Belgium)

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

Tabela 4.45. Cykle szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Bodensee (1275-1986, Holandia)
 Table 4.45. The cycles of tree ring widths of Sessile oak (*Quercus petraea*) in Bodensee (1275-1986, Holland)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{\text{obt.}}$
15	0,711	-0,2804	29,216	0,099	3,48
18	0,665	2,1025	29,250	0,093	3,06
28	0,904	1,9545	29,063	0,122	5,36
68	1,504	2,5454	27,914	0,232	20,18
87	0,621	2,9027	29,160	0,108	4,17
112	1,502	-0,6093	27,692	0,248	23,18
143	1,840	2,8253	28,182	0,212	16,61
197	2,594	2,7352	25,401	0,373	57,24
333	4,464	-2,9926	19,688	0,577	176,72
594	1,691	-0,3380	25,750	0,357	51,66

Tabela 4.46. Cykle szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Bourgogne (681-1991, Francja)
 Table 4.46. The cycles of tree ring widths of Sessile oak (*Quercus petraea*) in Bourgogne (681-1991, France)

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

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ε^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 4.47. Cykle szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Franche-Comte (1294-1987, Francja)
 Table 4.47. The cycles of tree ring widths of Sessile oak (*Quercus petraea*) in Franche-Comte (1294-1987, France)

Θ	b	c	ε^2	R	$F_{\text{obl.}}$
20	0,728	-1,6603	24,645	0,099	3,43
29	0,746	-1,5957	24,599	0,108	4,08
54	1,095	-0,1071	24,324	0,151	8,03
61	0,807	-2,0308	24,601	0,108	4,06
67	0,500	-0,9225	24,558	0,116	4,67
86	0,638	2,6671	24,536	0,119	4,98
108	1,692	2,7490	23,721	0,217	17,00
141	1,027	0,6529	24,334	0,149	7,89
225	1,933	-1,0610	20,999	0,395	63,93
338	2,023	2,2980	22,582	0,305	35,26

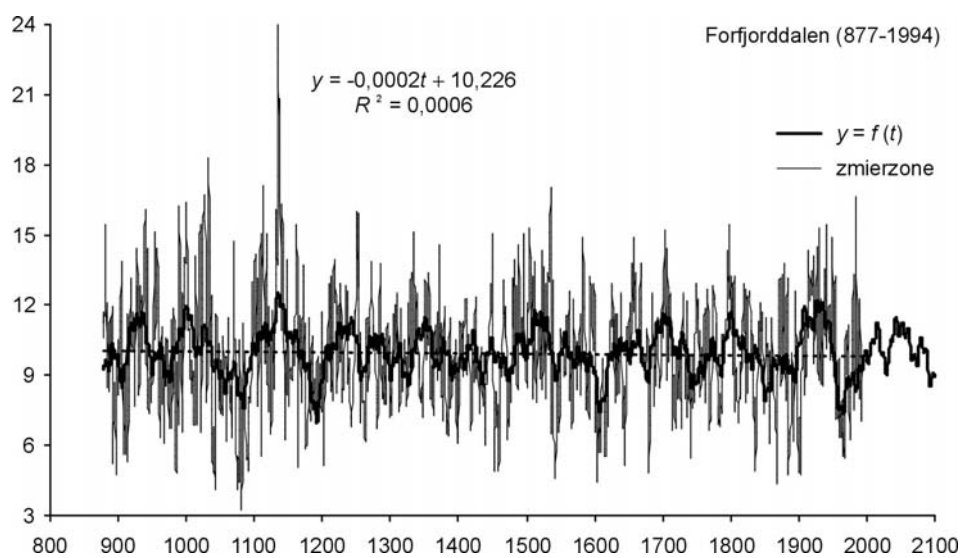
Tabela 4.48. Cykle szerokości słoju dębu (*Quercus robur*) w Hamburgu (1340-1967, Niemcy)
 Table 4.48. The cycles of tree ring widths of English oak (*Quercus robur*) in Hamburg (1340-1967, Germany)

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

Tabela 4.49. Cykle szerokości słoju dębu (*Quercus robur*) w Shanes Castle (1649-1992, Irlandia)
 Table 4.49. The cycles of tree ring widths of English oak (*Quercus robur*) in Shanes Castle (1649-1992, Ireland)

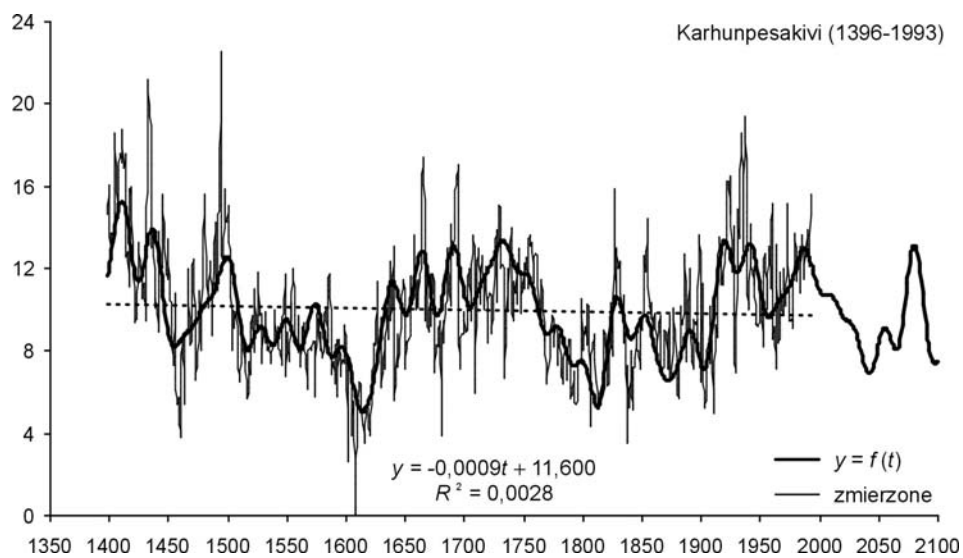
Θ	b	c	ε^2	R	$F_{\text{obl.}}$
12	0,358	2,5629	8,926	0,083	1,17
19	0,289	-0,6819	8,924	0,084	1,21
22	0,524	-0,4121	8,852	0,123	2,60
29	0,375	-1,6499	8,887	0,106	1,92
43	0,230	-0,2774	8,863	0,118	2,39
51	0,608	-0,3952	8,541	0,223	8,91
63	1,289	1,8307	7,557	0,399	32,27
84	1,128	0,2228	7,763	0,369	26,89
145	2,047	2,1688	7,031	0,467	47,44

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ε^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ε^2 – rest variance, R – correlation coefficient



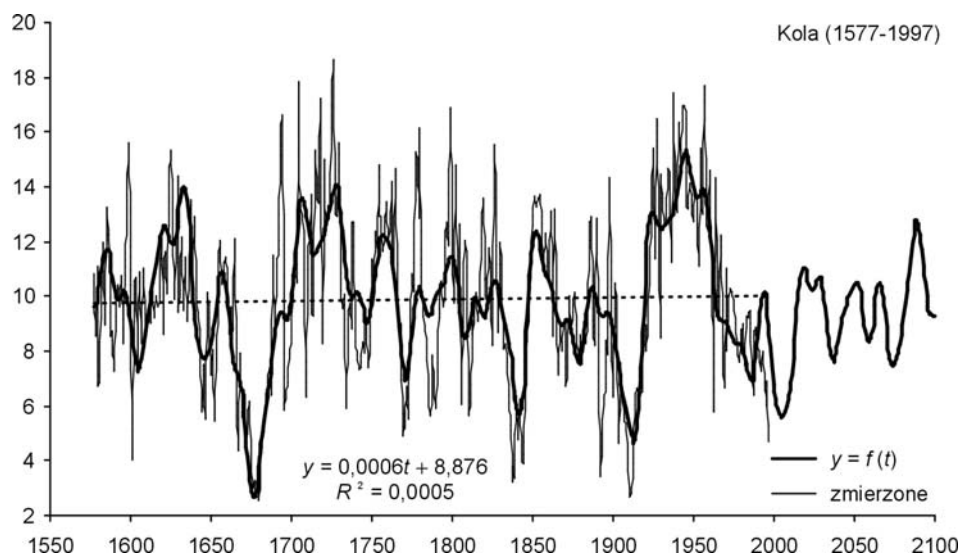
Rys. 4.31. Zmiany szerokości słōi sosny (*Pinus sylvestris*) w Forfjorddalen (877-1994, Norwegia);
R – w̄s̄ōl̄cz̄yn̄nik korelac̄ji wielokrotnej

Fig. 4.31. Changes of Scots pine (*Pinus sylvestris*) tree ring widths in Forfjorddalen (877-1994, Norway);
R – multiple correlation coefficient



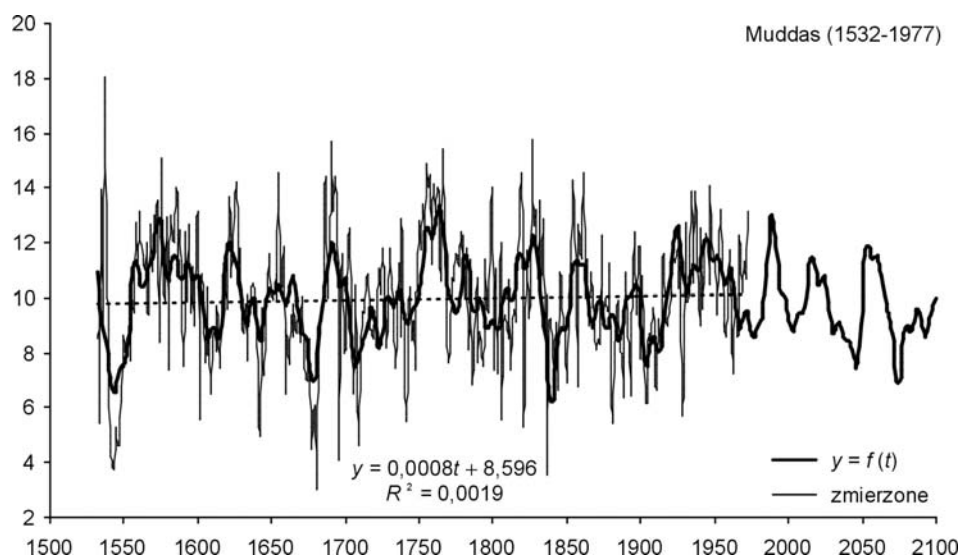
Rys. 4.32. Zmiany szerokości słōi sosny (*Pinus sylvestris*) w Karhunesakivi (1398-1993, Finlandia);
R – w̄s̄ōl̄cz̄yn̄nik korelac̄ji wielokrotnej

Fig. 4.32. Changes of Scots pine (*Pinus sylvestris*) tree ring widths in Karhunesakivi (1398-1993, Finland);
R – multiple correlation coefficient



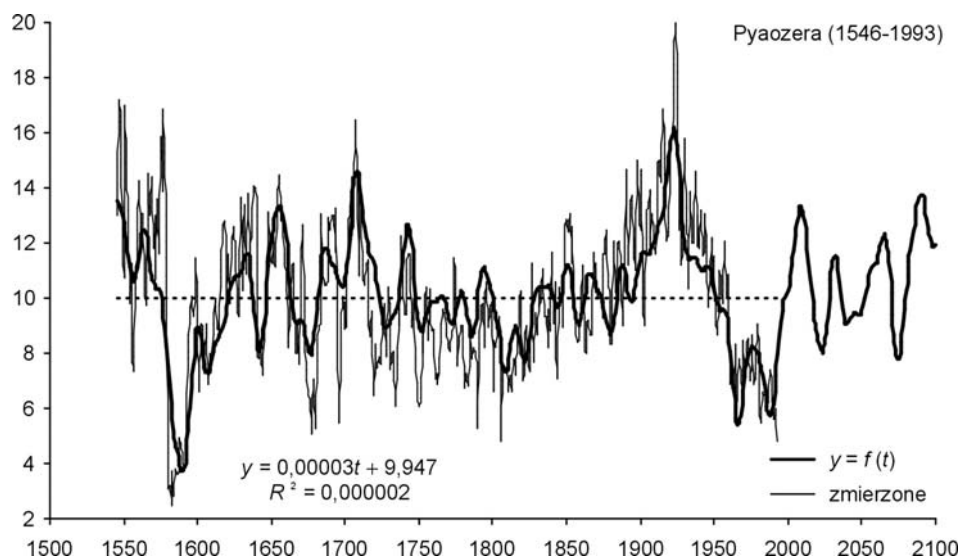
Rys. 4.33. Zmiany szerokości słoı sosny (*Pinus sylvestris*) na Półwyspie Kola (1577-1997, Rosja);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej

Fig. 4.33. Changes of Scots pine (*Pinus sylvestris*) tree ring widths in Kola (1577-1997, Russia);
R – multiple correlation coefficient

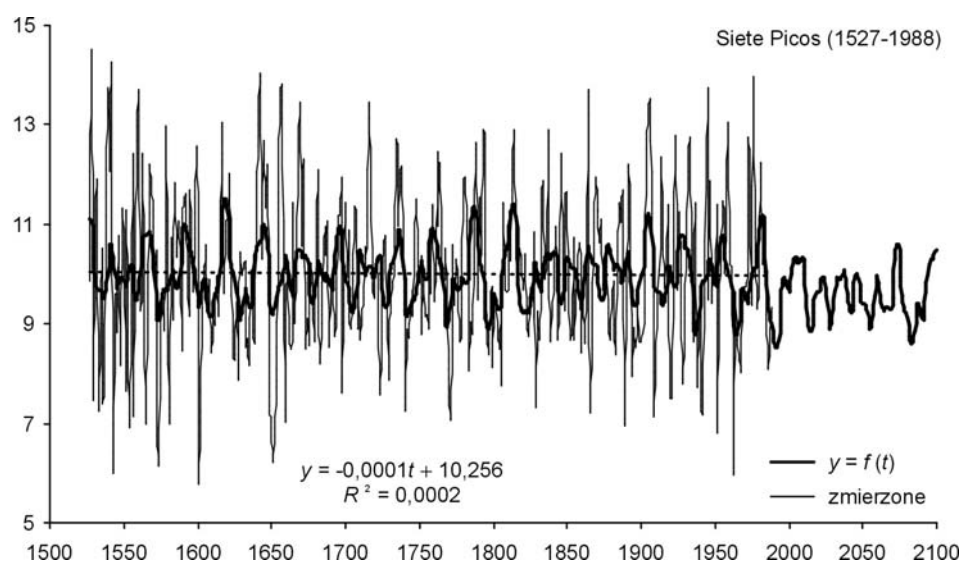


Rys. 4.34. Zmiany szerokości słoı sosny (*Pinus sylvestris*) w Muddas (1532-1972, Szwecja);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej

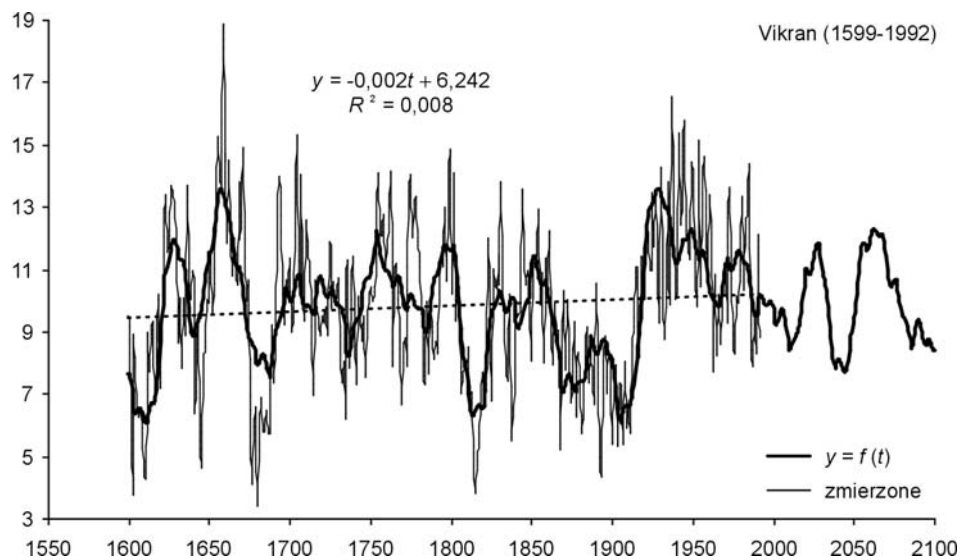
Fig. 4.34. Changes of Scots pine (*Pinus sylvestris*) tree ring widths in Muddas (1532-1972, Sweden);
R – multiple correlation coefficient



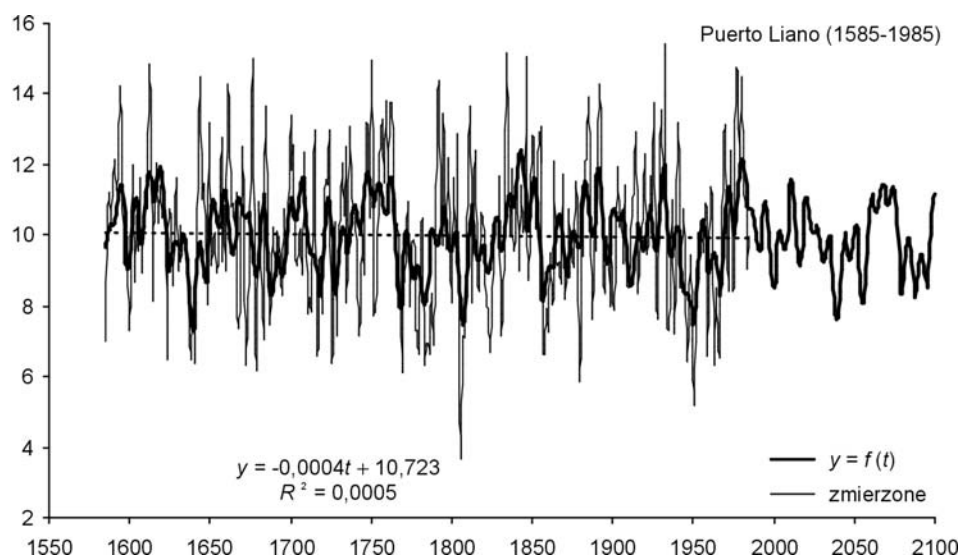
Rys. 4.35. Zmiany szerokości słojsosny (*Pinus sylvestris*) w Pyaozera (1546-1993, Rosja);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.35. Changes of Scots pine (*Pinus sylvestris*) tree ring widths in Pyaozera (1546-1993, Russia);
R – multiple correlation coefficient



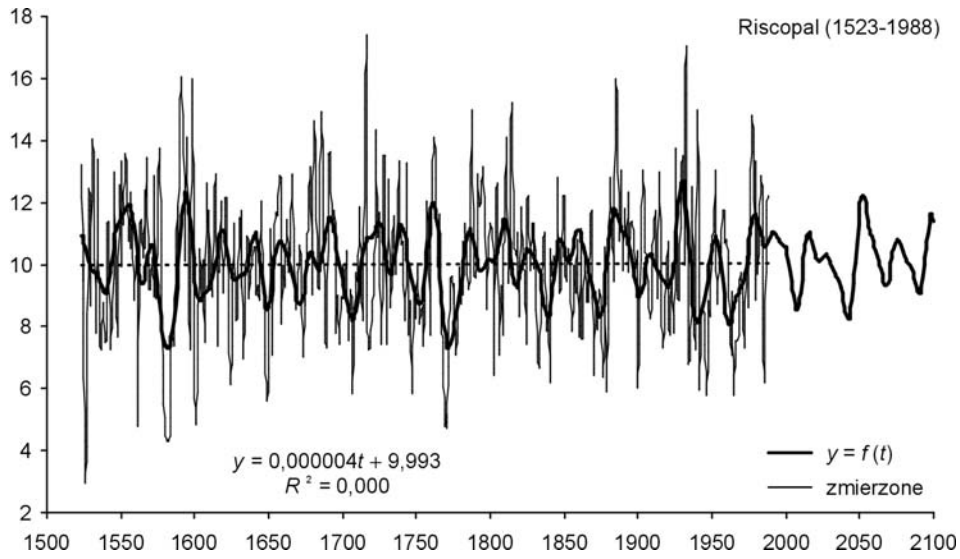
Rys. 4.36. Zmiany szerokości słojsosny (*Pinus sylvestris*) w Siete Picos (1527-1988, Hiszpania);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.36. Changes of Scots pine (*Pinus sylvestris*) tree ring widths in Siete Picos (1527-1988, Spain);
R – multiple correlation coefficient



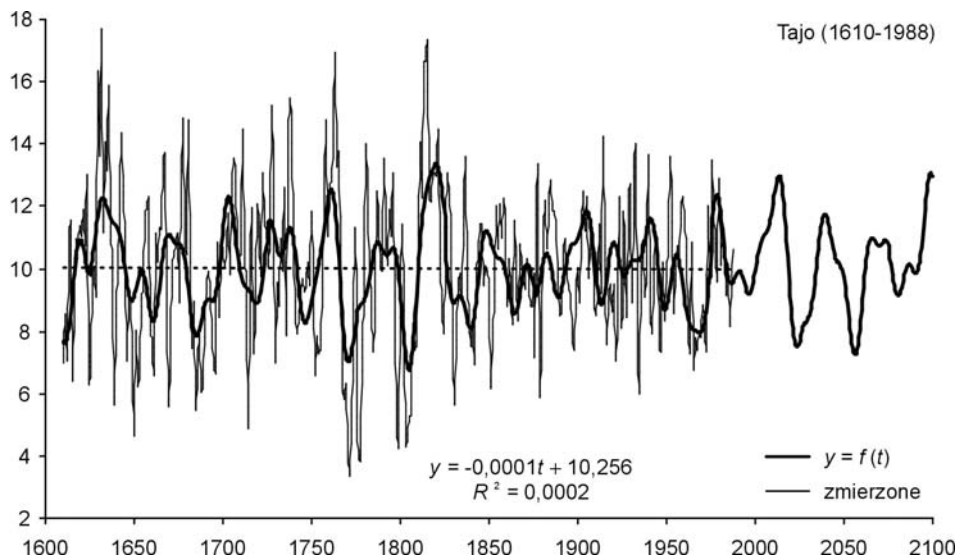
Rys. 4.37. Zmiany szerokości słoj sosny (*Pinus sylvestris*) w Vikran (1599-1992, Norwegia);
 R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.37. Changes of Scots pine (*Pinus sylvestris*) tree ring widths in Vikran (1599-1992, Norway);
 R – multiple correlation coefficient



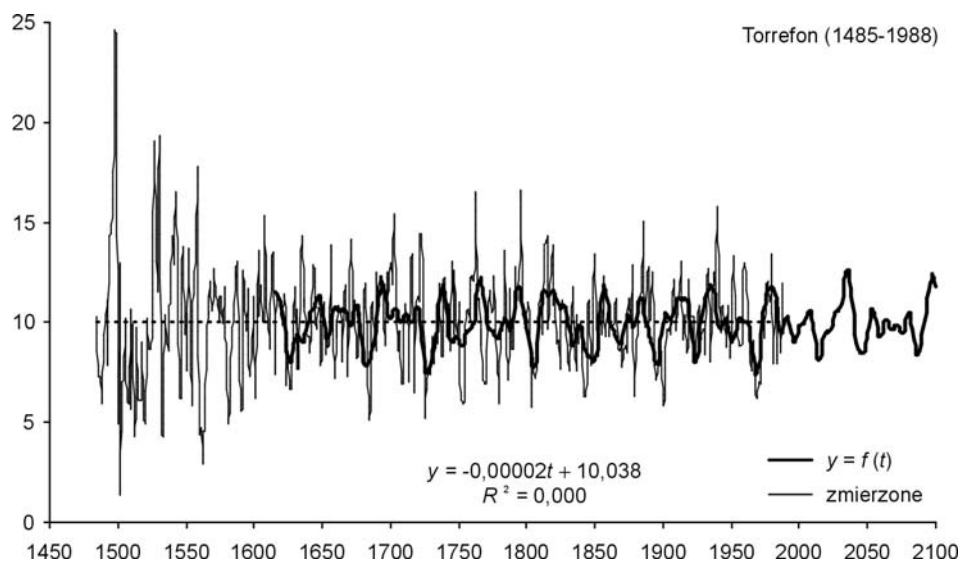
Rys. 4.38. Zmiany szerokości słoj sosny (*Pinus nigra*) w Puerto Llano (1585-1985, Hiszpania);
 R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.38. Changes of Black pine (*Pinus nigra*) tree ring widths in Puerto Llano (1585-1985, Spain);
 R – multiple correlation coefficient



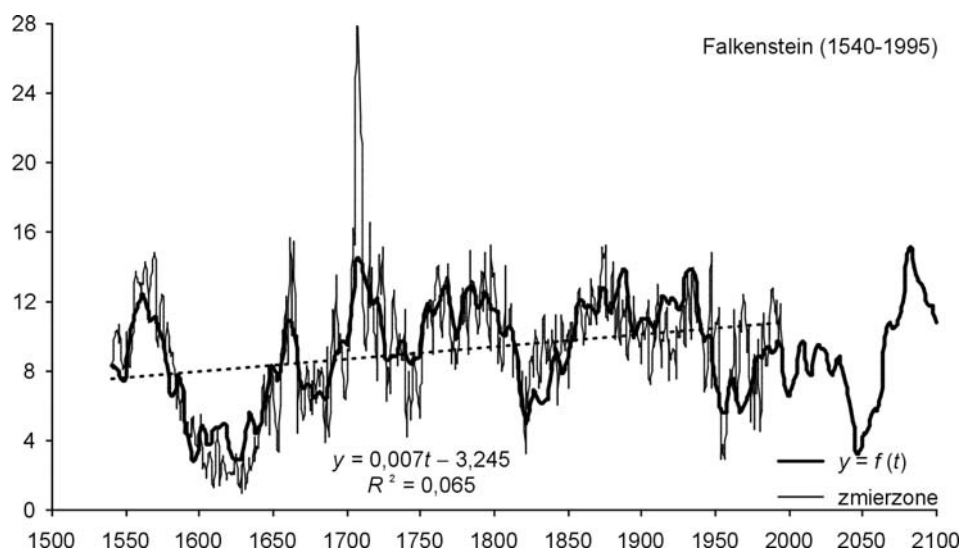
Rys. 4.39. Zmiany szerokości słoï sosny (*Pinus nigra*) w Riscopal (1523-1988, Hiszpania);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.39. Changes of Black pine (*Pinus nigra*) tree ring widths in Riscopal (1523-1988, Spain);
R – multiple correlation coefficient



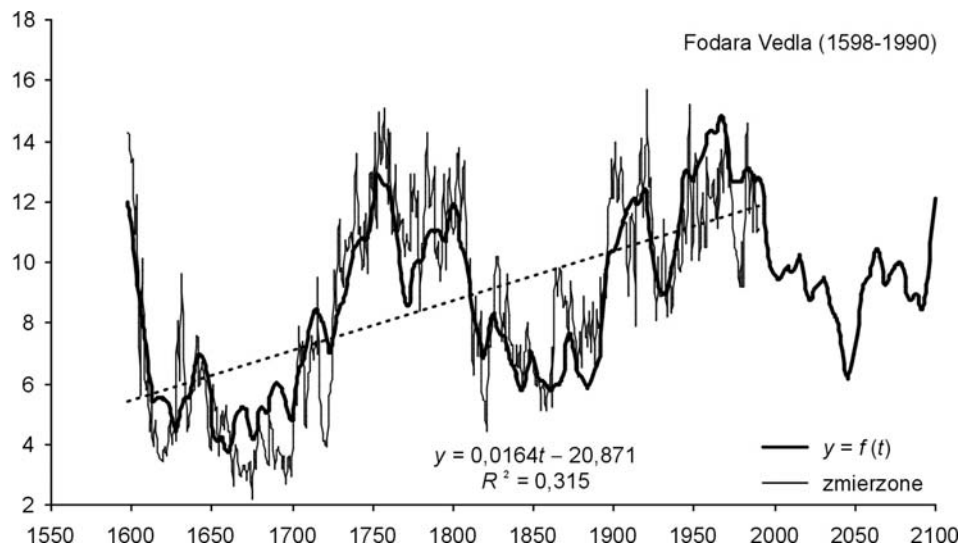
Rys. 4.40. Zmiany szerokości słoï sosny (*Pinus nigra*) w Tajo (1610-1988, Hiszpania);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.40. Changes of Black pine (*Pinus nigra*) tree ring widths in Tajo (1610-1988, Spain);
R – multiple correlation coefficient



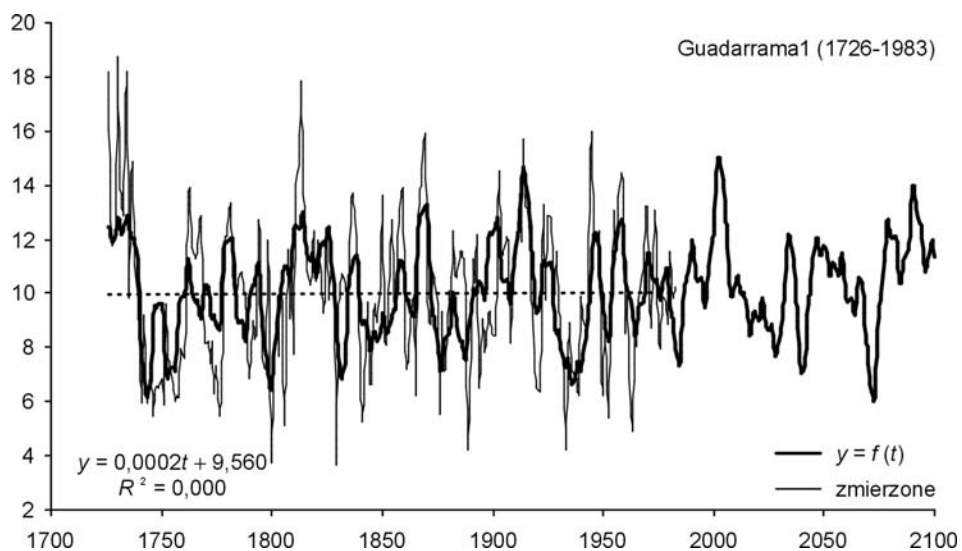
Rys. 4.41. Zmiany szerokości słoí sosny (*Pinus nigra*) w Torrefon (1485-1988, Hiszpania);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.41. Changes of Black pine (*Pinus nigra*) tree ring widths in Torrefon (1485-1988, Spain);
R – multiple correlation coefficient



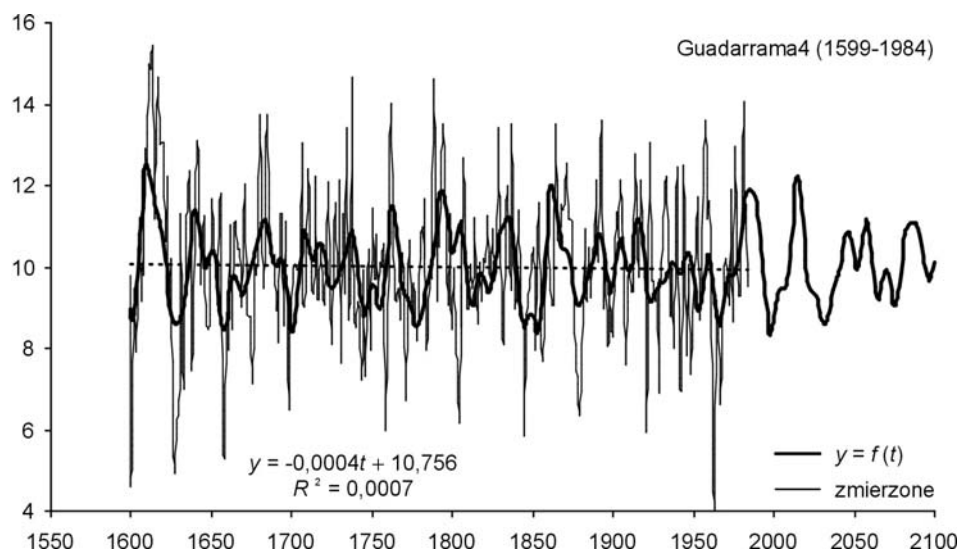
Rys. 4.42. Zmiany szerokości słoí świerka (*Picea abies*) w Falkenstein (1540-1995, Niemcy);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.42. Changes of Norway spruce (*Picea abies*) tree ring widths in Falkenstein (1540-1995, Germany);
R – multiple correlation coefficient



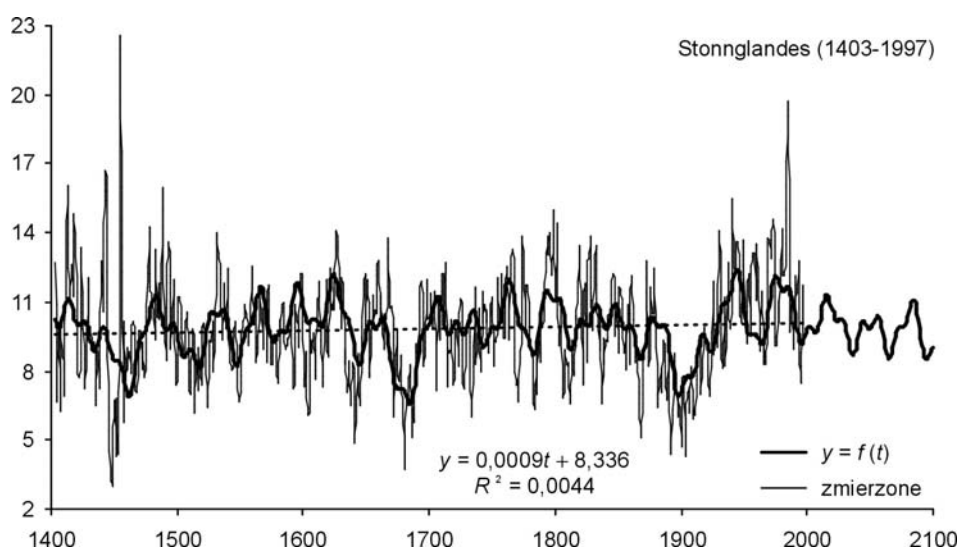
Rys. 4.43. Zmiany szerokości słōi świerka (*Picea abies*) w Fodara Vedla (1598-1990, Włochy);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.43. Changes of Norway spruce (*Picea abies*) tree ring widths in Fodara Vedla (1598-1990, Italia);
R – multiple correlation coefficient



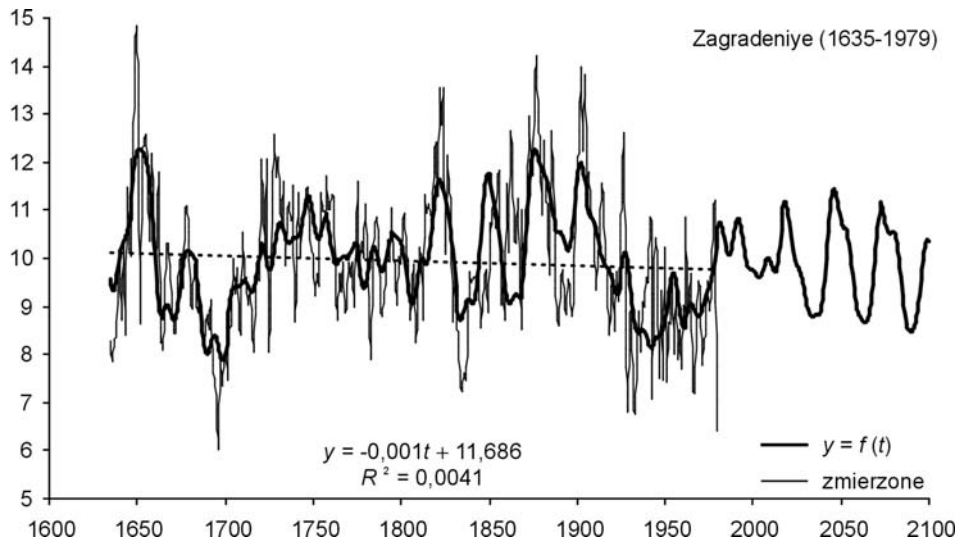
Rys. 4.44. Zmiany szerokości słōi świerka (*Picea abies*) w Guadarrama 1 (1726-1983, Hiszpania);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.44. Changes of Norway spruce (*Picea abies*) tree ring widths in Guadarrama 1 (1726-1983, Spain);
R – multiple correlation coefficient



Rys. 4.45. Zmiany szerokości słōi świerka (*Picea abies*) w Guadarrama 4 (1599-1984, Hiszpania);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.45. Changes of Norway spruce (*Picea abies*) tree ring widths in Guadarrama 4 (1599-1984, Spain);
R – multiple correlation coefficient

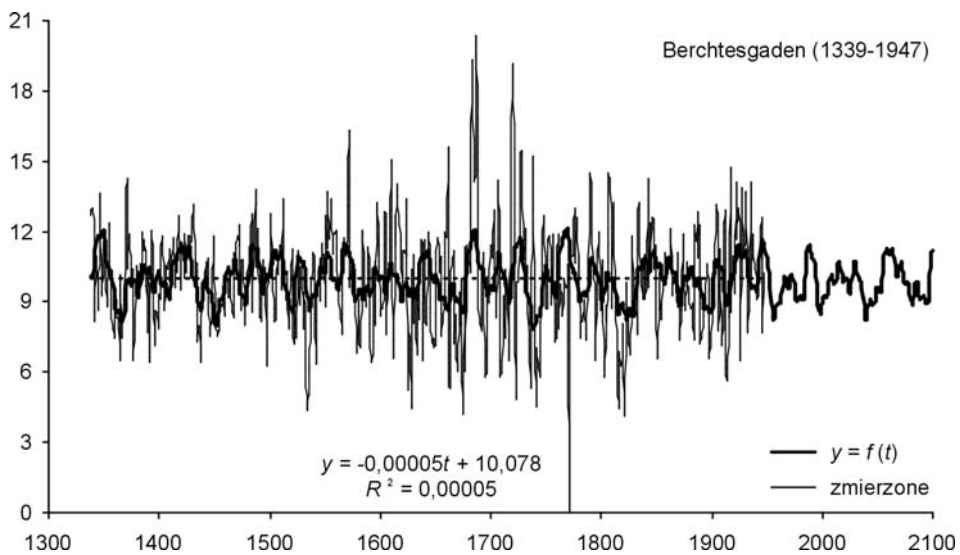


Rys. 4.46. Zmiany szerokości słōi świerka (*Picea abies*) w Stonnglandes (1403-1997, Norwegia);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.46. Changes of Norway spruce (*Picea abies*) tree ring widths in Stonnglandes (1403-1997, Norway);
R – multiple correlation coefficient



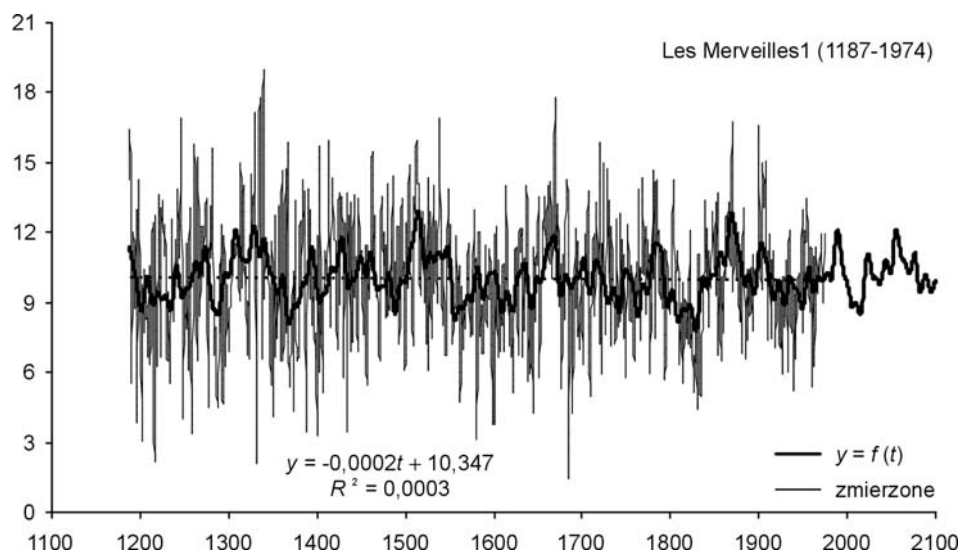
Rys. 4.47. Zmiany szerokości słoï świerka (*Picea abies*) w Zagradeniye (1635-1979, Grecja);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej

Fig. 4.47. Changes of Norway spruce (*Picea abies*) tree ring widths in Zagradeniye (1635-1979, Greece);
R – multiple correlation coefficient

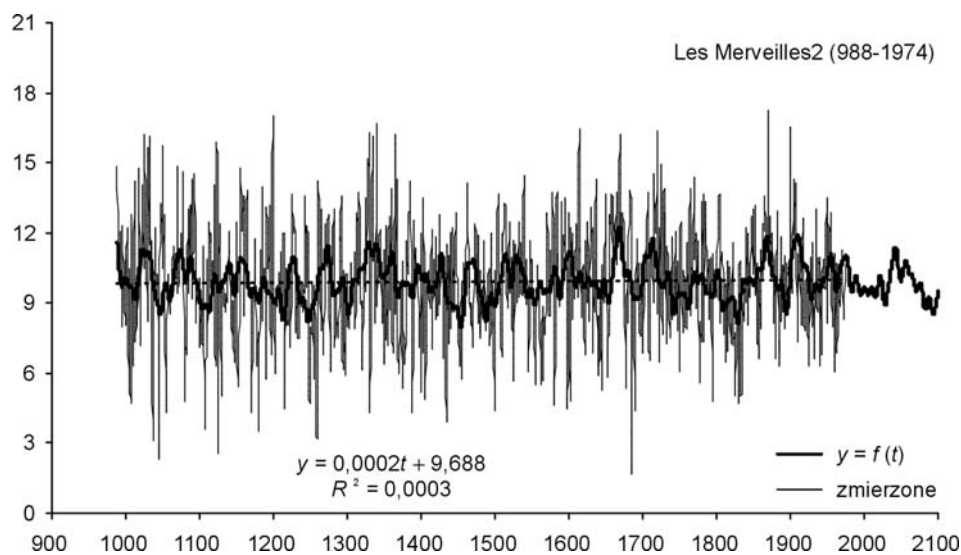


Rys. 4.48. Zmiany szerokości słoï modrzewia (*Larix decidua*) w Berchtesgaden (1339-1947, Niemcy);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej

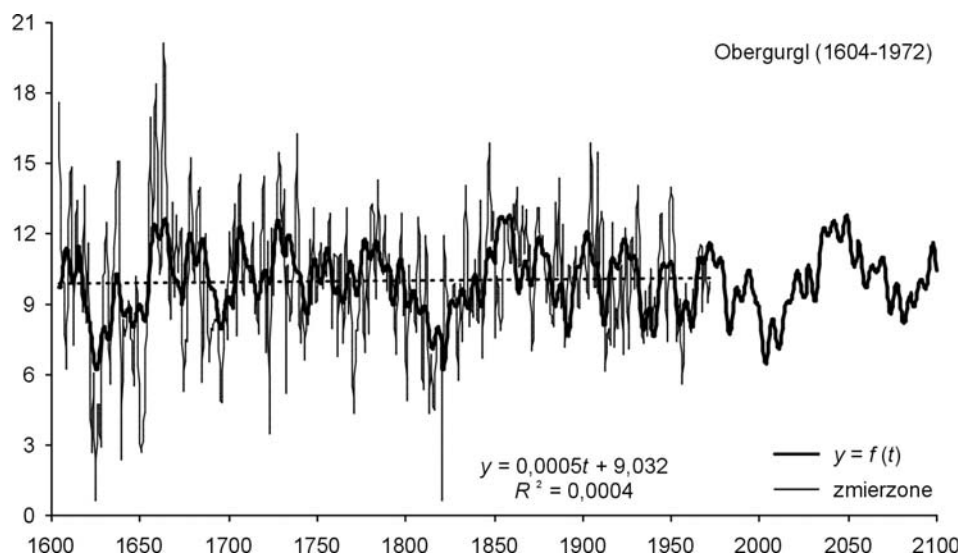
Fig. 4.48. Changes of European larch (*Larix decidua*) tree ring widths in Berchtesgaden (1339-1947, Germany);
R – multiple correlation coefficient



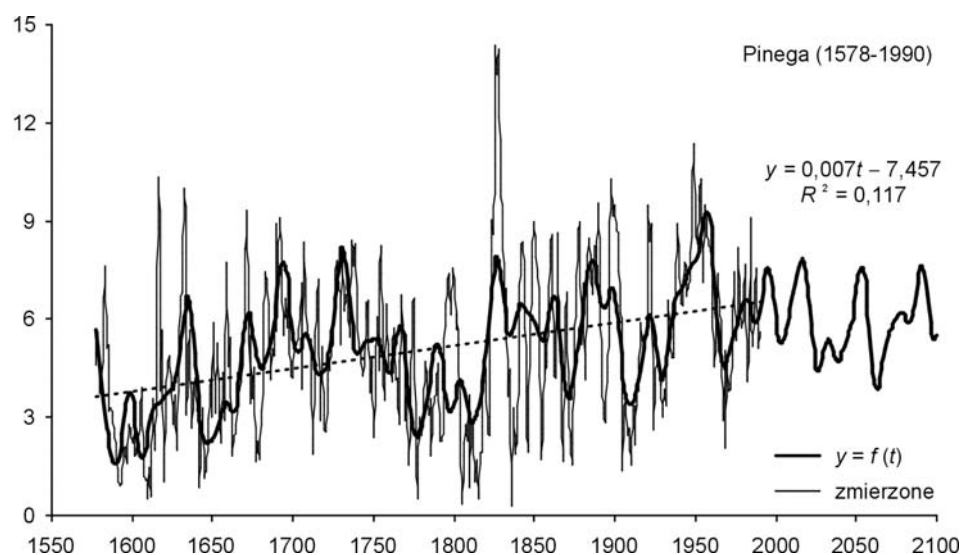
Rys. 4.49. Zmiany szerokości słoju modrzewia (*Larix decidua*) w Les Merveilles 1 (1187-1974, Francja);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.49. Changes of European larch (*Larix decidua*) tree ring widths in Les Merveilles 1 (1187-1974, France);
R – multiple correlation coefficient



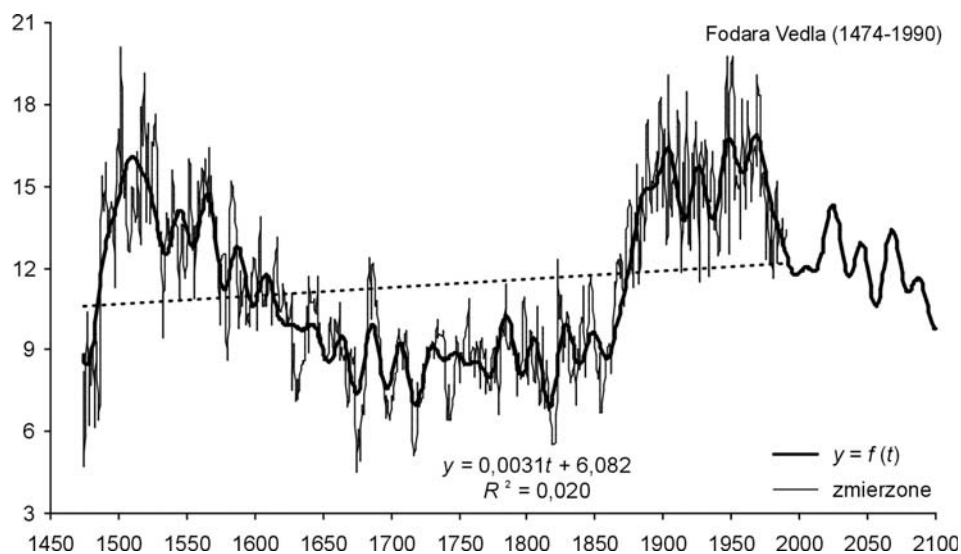
Rys. 4.50. Zmiany szerokości słoju modrzewia (*Larix decidua*) w Les Merveilles 2 (988-1974, Francja);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.50. Changes of European larch (*Larix decidua*) tree ring widths in Les Merveilles 2 (988-1974, France);
R – multiple correlation coefficient



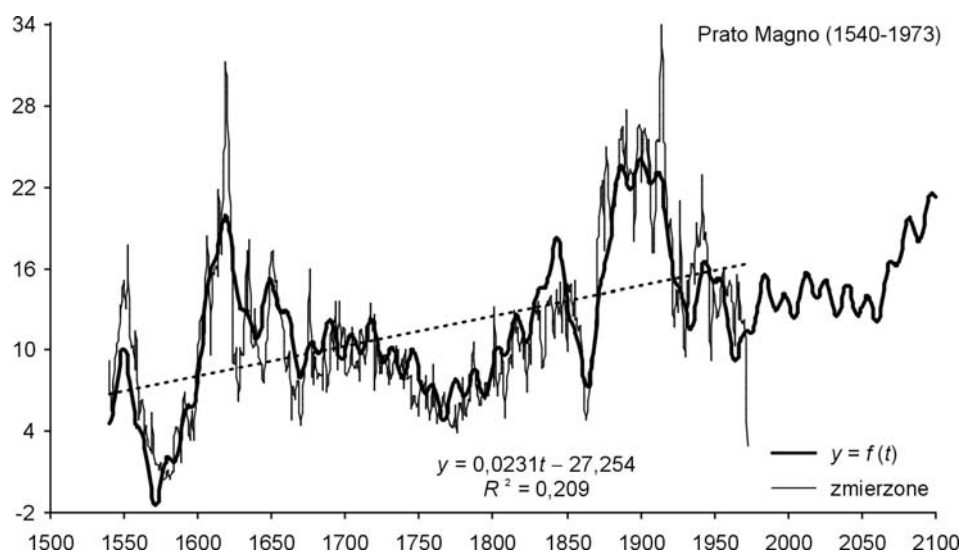
Rys. 4.51. Zmiany szerokości słoju modrzewia (*Larix decidua*) w Obergurgl (1604-1972, Austria);
 R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.51. Changes of European larch (*Larix decidua*) tree ring widths in Obergurgl (1604-1972, Austria);
 R – multiple correlation coefficient



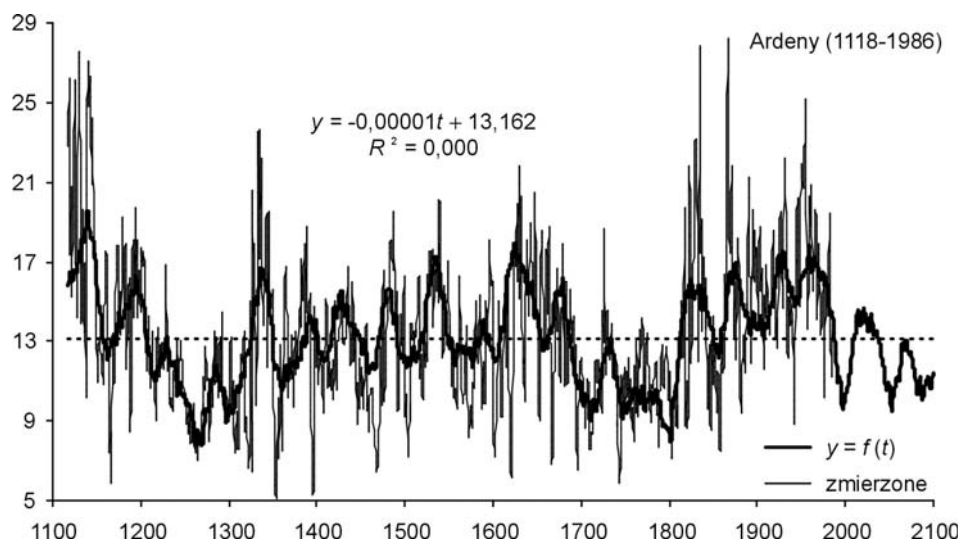
Rys. 4.52. Zmiany szerokości słoju modrzewia (*Larix decidua*) w Pinega 1 (1578-1990, Rosja);
 R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.52. Changes of European larch (*Larix decidua*) tree ring widths in Pinega 1 (1578-1990, Russia);
 R – multiple correlation coefficient



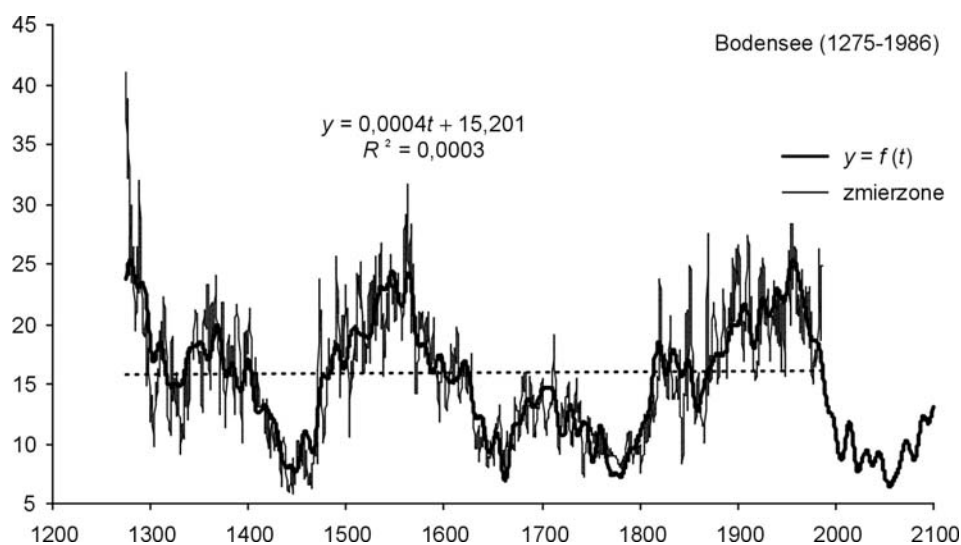
Rys. 4.53. Zmiany szerokości słoje jodły (*Abies alba*) w Fodara Vedla (1474-1990, Włochy);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.53. Changes of pine Silver fir (*Abies alba*) tree ring widths in Fodara Vedla (1474-1990, Italia);
R – multiple correlation coefficient



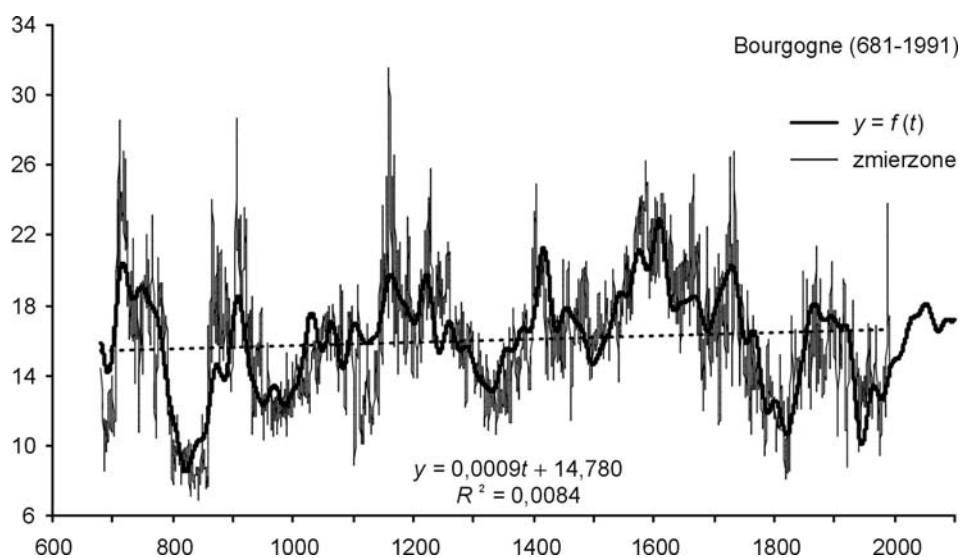
Rys. 4.54. Zmiany szerokości słoje jodły (*Abies alba*) w Prato Magno (1540-1973, Włochy);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.54. Changes of pine Silver fir (*Abies alba*) tree ring widths in Prato Magno (1540-1973, Italia);
R – multiple correlation coefficient



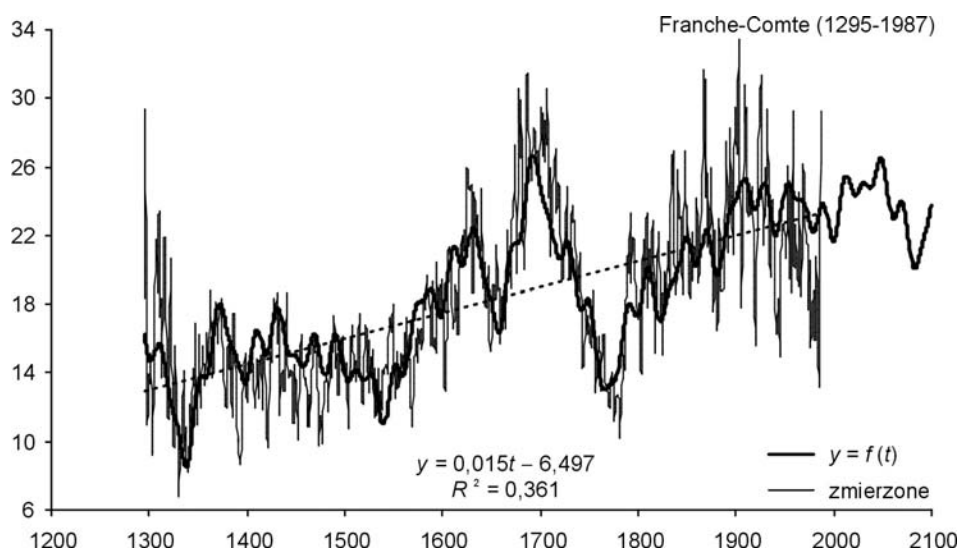
Rys. 4.55. Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Ardenach (1118-1986, Belgia);
 R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.55. Changes of Sessile oak (*Quercus petraea*) tree ring widths in Ardeny (1118-1986, Belgium);
 R – multiple correlation coefficient



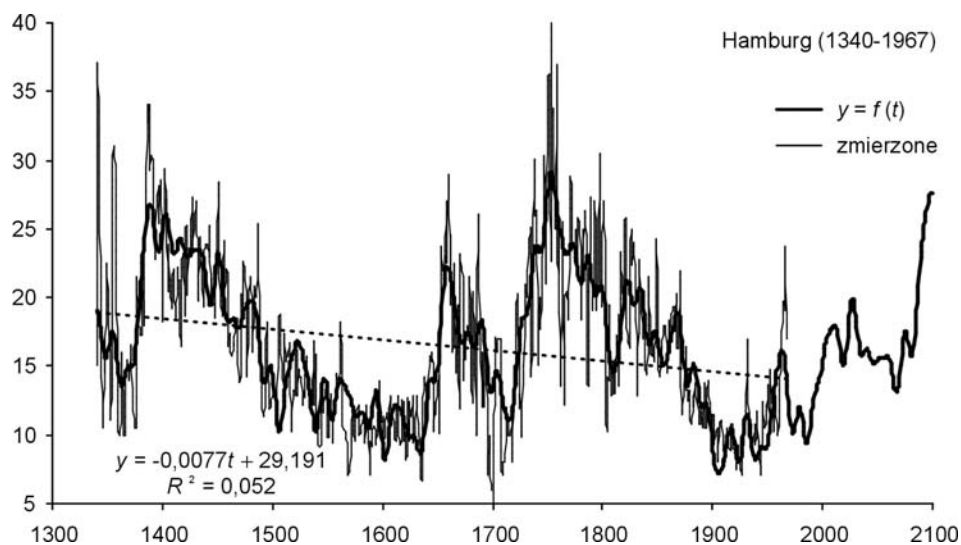
Rys. 4.56. Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Bodensee (1275-1986, Holandia);
 R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.56. Changes of Sessile oak (*Quercus petraea*) tree ring widths in Bodensee (1275-1986, Holland);
 R – multiple correlation coefficient



Rys. 4.57. Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Bourgogne (681-1991, Francja);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.57. Changes of Sessile oak (*Quercus petraea*) tree ring widths in Bourgogne (681-1991, France);
R – multiple correlation coefficient

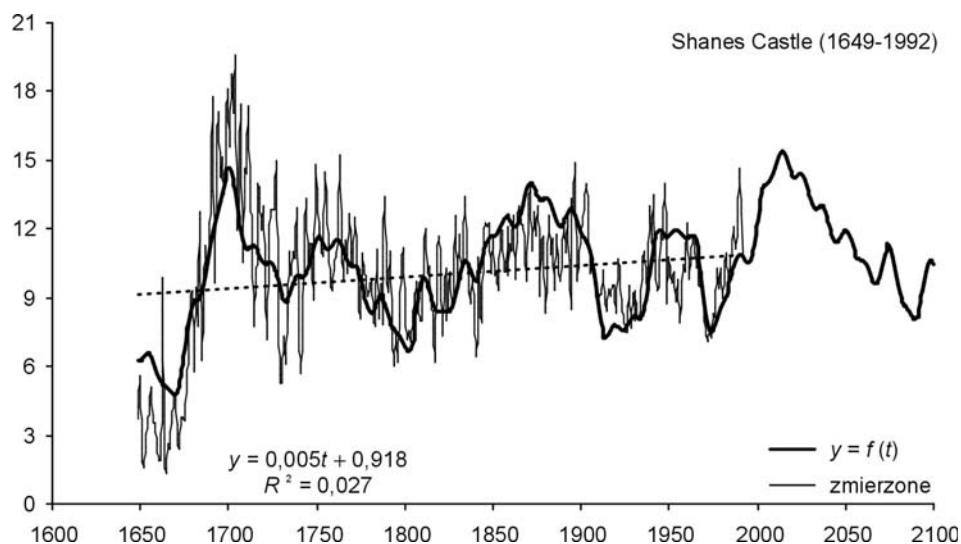


Rys. 4.58. Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Franche-Comte (1294-1987, Francja);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej
 Fig. 4.58. Changes of Sessile oak (*Quercus petraea*) tree ring widths in Franche-Comte (1294-1987, France);
R – multiple correlation coefficient



Rys. 4.59. Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus robur*) w Hamburgu (1340-1967, Niemcy);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej

Fig. 4.59. Changes of English oak (*Quercus robur*) tree ring widths in Hamburg (1340-1967, Germany);
R – multiple correlation coefficient



Rys. 4.60. Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus robur*) w Shanes Castle (1649-1992, Irlandia);
R – współczynnik korelacji wielokrotnej

Fig. 4.60. Changes of English oak (*Quercus robur*) tree ring widths in Shanes Castle (1649-1992, Ireland);
R – multiple correlation coefficient

V. ZMIANY KLIMATU POLSKI W OSTATNICH STULECIACH WEDŁUG ROCZNYCH PRZYROSTÓW DĘBÓW

1. Największe ochłodzenia i ocieplenia w kronikach z X-XVI wieku nawiązujące do osobliwości rocznych przyrostów dębów w Polsce

ZIMA 940/941 – POLSKA

Ostra zima. Ukazały się komety.

Brak danych dotyczących przyrostów szerokości słoje dębów.

ZIMA 1069 – POLSKA ZACHODNIA

Ponieważ rzeki przez duże zimna były skute [lodem], wtargnął cesarz Henryk do ziemi Łużyczan...

Spadek przyrostów szerokości słoje dębów.

ZIMA 1110/1111 – POLSKA PÓŁNOCNA

Niestrudzony Bolesław także zimową porą nie odpoczywał beczynny w spokoju, lecz wkroczył do Prus, krainy północnej, skutej lodami...

Tam bowiem wkraczając wykorzystał lody na jeziorach i bagnach, które posłużyły mu za most[y], gdyż nie prowadzi[ł] żaden inny dostęp do owej krainy, jak tylko przez jeziora i bagna.

Wzrost przyrostów szerokości słoje dębów.

ROK 1219 – POLSKA

W Polsce przez całe lato padał deszcz, który rzadko ustawał. Z powodu powodzi był głód; zima była bardzo ciężka.

Spadek przyrostów szerokości słoje dębów.

18 PAŹDZIERNIKA 1225 – WISŁA

...ciągnęli... w dniu Szymona i Judy [28 października] pod Vogelsange'm przez Wisłę, która wówczas była zamrznięta wskutek silnego mrozu....

Spadek przyrostów szerokości słoje dębów.

ROK 1270 – WISŁA (KRAKÓW) I INNE RZEKI

Ale nie z samych dziwów, lecz i niepogód nadzwyczajnych i powodzi stał się rok ten pamiętny u Polaków. Od dnia bowiem dwudziestego drugiego czerwca aż do połowy sierpnia ciągle i nawałne dniem i nocą padały deszcze, skąd rzeki wezbrane wystąpiwszy z brzegów, tak niezwykle wylały, że nie tylko zboża, łąki, niwy i polne obszary, ale nawet wsie z domostwami pozatapiały. Wisła, rzeka do takiej wzrosła wysokości, że całą przestrzeń między Górą Lasotą a kościołem św. Stanisława na Skałce zalała, a silnym prądem bardzo wiele ludzi i domów, bydła, trzody, koni i drobnego dobytku porwała, pozrywała młyny, pola

i lasy zamieniła w pustkowia, i nie tylko grunta ale i wsie z ich zabudowaniami i nieruchomościami zalawszy, role pozatapiane na długi czas potem uczyniła płonnemi i nieużytecznemi.

Wzrost przyrostów szerokości słojei dębów.

OKOŁO 1 LISTOPADA 1304 – POMORZE, MORZE BAŁTYCKIE

Zdarzyła się bardzo silna burza na morzu, wskutek której zostało dużo domów, kościołów i wież zniszczonych i dużo okrętów rozbitych i zatopionych. Tej samej nocy powstał nowy port przy Rugii, który został nazwany „nową głębią”.

Spadek przyrostów szerokości słojei dębów.

ZIMA 1322/1323 – MORZE BAŁTYCKIE

Było bowiem między Danią, słowiańskim krajem i Jutlandią zamrożone całe Morze Bałtyckie, tak że rozbójnicy, przychodząc ze słowiańskiego kraju, splądrowali niektóre okolice Danii, a pośrodku morza na lodzie były założone gospody dla przejezdnych.

Spadek przyrostów szerokości słojei dębów.

ROK 1322 – WISŁA, KRAKÓW

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

Spadek przyrostów szerokości słojei dębów.

ROK 1347, 21 WRZEŚNIA – POMORZE

Roku pańskiego 1347, osiem dni przed dniem świętego Michała [29 września], spadło tak dużo śniegu, że wskutek ciężaru, które wywierał na drzewa, połamał gałęzie; po czym wkrótce wystąpił bardzo silny deszcz, [który] spowodował tak wielki wylew wód, że ludzie byli zmuszeni przebywać przez kilka dni na dachach.

Spadek przyrostów szerokości słojei dębów.

ROK 1412 – POLSKA I INNE KRAJE

Zima w tym roku nadzwyczaj była ciepła, bez żadnego przymrozku i szronu, tak iż w Litwie nawet, kraju zimnym i mroźnym, około święta Oczyszczenia Najświętszej Maryi [2 lutego] ludzie mieli już jarzyny do jedzenia i kwiaty, co za dziwowisko wielkie i cud prawdziwy uważano.

Wzrost przyrostów szerokości słojei dębów.

ZIMA 1423 – MORZE BAŁTYCKIE

Była tak mocna zima, że Bałtyk był pokryty lodem, że można było konno saniami wozić towary z Gdańska do Lubeki, a również z Pomorza do Danii.

Wzrost przyrostów szerokości słojei dębów.

ZIMA 1431/1432 – WISŁA DOLNA

Także Wisła była wtedy pokryta bardzo mocnym lodem i stała od dnia świętej Katarzyny [25 listopada] aż do dnia świętego Jerzego [23 kwietnia].

Spadek przyrostów szerokości słoje dębów.

20-21 LIPCA 1432 – NYSA ŁUŻYCKA, ZGORZELEC

Okolo godziny jedenastej zaczął padać silny deszcz kroplami bez przerwy cały dzień i noc, tak że następnego dnia po dniu Praksedy, w poniedziałek w wigilię błogosławionej Marii Magdaleny, nastąpił o godzinie 18 wylew rzeki Nysy tak wielki, jaki tylko za naszych czasów kiedykolwiek był widziany, i [rzeka Nysa] wezbrała tak wysoko, że narobiła szkód prawie nie do naprawienia, zniszczyła wiele budowli, stodoły w pobliżu Nysy ze zbożem i sianem zupełnie zniszczyła, mosty całkowicie połamała i młyny, szczególnie te z czterema kołami w Clephiswalde, gruntownie zniszczyła i uniosła z sobą chatę stróża łaźniennego nad Nysą i kilka domów na ulicy Hottera przewróciła, także w tym czasie utonęło wielu ludzi...

Wzrost przyrostów szerokości słoje dębów.

ZIMA 1453/1454 – ŚLĄSK

W roku pańskim 1453 przed św. Michałem [29 września] po raz drugi zakwitły kolczaste róże, lecz później tak wielkie nastąpiły mrozy, że ludzie, konie i ptaki na polach ginęli z zimna. Mróz zaczął się w dniu Klemensa [23 listopada], lecz w dniach św. Andrzeja i Barbary, Poczęcia i Mikołaja aż do Łucji [tj. 13 grudnia] dawał się silnie we znaki. W sobotę po Łucji zmieniła się aura i przez cały tydzień był wielki wiatr i padał deszcz. Wskutek mrozu najbardziej ucierpiały drzewa orzechowe, winnice i wiele innych drzew.

Wzrost przyrostów szerokości słoje dębów.

ZIMA 1455 – ZATOKA GDAŃSKA

Tak [był] twardy, że można było do Niedzieli Palmowej [21 marca] jeździć po lodzie z Helu do Gdańska.

Wzrost przyrostów szerokości słoje dębów.

ZIMA 1469/1470 – ŚLĄSK, ODRA

Była najcięższa zima ze wszystkich minionych lat, jaką ludzie mogli zapamiętać. Zaczęła się na Andrzeja [30 XI 1469] i trwała bezustannie aż do Tyburcjusza [14 IV 1470]. Odra w bardzo wielu miejscach była zamrożona aż do dnia; wiele ryb w stawach z powodu lodu zginęło.

Brak danych dotyczących przyrostów szerokości słoje dębów.

ROK 1473 – EUROPA

Rok ten pamiętny był dla całej Europy i dla Królestwa Polskiego nadzwyczajnymi słońca upały i suszą nieprzerwaną; pojawienie się bowiem poprzednie komety zrzuciło

niesłychane skwary i brak wody, tak że źródła wszystkie powysychały i największe rzeki w Polsce można było w bród przebywać. Nie tylko pod Krakowem, Sandomierzem, Warszawą, Płockiem ale i pod Toruniem Wisła była tak płytka. Palily się we wszystkich stronach Polski lasy, bory, krzaki i zarośla ogniem niewstrzymanym, który nie dał się ugasić, póki wszystkiej drzewiny z korzeniami nie strawił. Słychać było wszędy trzask i łomot upadających drzew. Pasieki także i barcie w lasach pogorzały, zasiewy wiosenne zbytnia susza powypalała.

Brak danych dotyczących przyrostów szerokości słoje dębów.

ROK 1493 – POLSKA

W tym roku zima w styczniu i lutym była tak łagodna, że drzewa w sadach zakwitły, trawa była duża, ptaki wily gniazda, lecz w marcu mróz wszystko zniszczył.

Brak przyrostów i spadków szerokości słoje dębów.

ZIMA 1495 – ZATOKA GDAŃSKA

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

Spadek przyrostów szerokości słoje dębów.

ROK 1497 – MORZE BAŁTYCKIE, MIERZEJA WIŚLANA

W tydzień Trzech Króli przyszła silna burza z północy i trwała cztery dni; wtedy została przerwana mierzeja i wówczas powstała nowa głębia w Królewcu.

Spadek przyrostów szerokości słoje dębów.

WIOSNA – LATO 1500 – POLSKA

... Tego samego roku żniwa były w Polsce, wbrew uświęconym zwyczajom, przed świętem Jana Chrzciciela [24 czerwca], bowiem wiosna i lato były dość gorące.

Wzrost przyrostów szerokości słoje dębów o 13.

ROK 1507 – POLSKA

W roku 1507 była bardzo łagodna zima, tak że nie zamarzła żadna rzeka. Także Wisła, a również Hab i Radunia, spływały bez lodu.

Spadek przyrostów szerokości słoje dębów.

LATO 1528 – WISŁA, KRAKÓW

W tym samym roku Wisła nadmiernie wylała, tak że woda w kościele bernardynów sięgała prawie wysokości człowieka i bernardyni do klasztoru jeździli statkami.

Spadek przyrostów szerokości słoje dębów.

19 LIPCA 1528 – WISŁA, KRAKÓW

Dnia 19 lipca: znowu w tym samym miesiącu około 19 rzeka Wisła tak bardzo wylała, że cały klasztor bernardynów i kościół woda zalała. Wyrządziła ludziom wielką szkodę na łąkach, ogrodach i polach obok leżących. Woda zatopiła bydło, trzodę, zboża, które miały być zżęte, siano i inny ludzki dobytek.

Spadek przyrostów szerokości słoje dębów.

LATO 1530 – ŚLĄSK

W roku 1530 było również suche lato, tak że młyny nie mogły mleć.

Wzrost przyrostów szerokości słoje dębów.

LATO 1540 – POLSKA

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

Wzrost przyrostów szerokości słoje dębów.

ZIMA 1553/1554 – ZATOKA GDAŃSKA

Zima była tak sroga, że można było jechać saniami po lodzie aż na Hel, i trwała aż do niedzieli Palmowej [18 marca]. Potem lód spłynął bez szkód.

Spadek przyrostów szerokości słoje dębów.

ZIMA 1556/1557 – POLSKA

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

Wzrost przyrostów szerokości słoje dębów.

6 STYCZNIA 1564 – WARTA, GORZÓW WLKP.

W dniu Trzech Króli zdarzył się okropnie duży przybór wody, która przez trzy tygodnie okrutnie szumiała i huczała i tak okrutny lód przed mostem spiętrzyła, iż wywołała zaniepokojenie; wszystkie mosty zostały zerwane; prócz tego przygotowane na środku trzy przęsła uległy zburzeniu. Następnie po obu stronach i przy tamie utworzyła okrutną warstwę oraz wyrwała duży otwór w murze miejskim koło ostatniego mostu zwodzonego, kamienie z fundamentu wyrzuciła na wierzch, co wywołało wśród ludzi wielkie zdumienie.

Wzrost przyrostów szerokości słoje dębów.

ZIMA 1571/1572 – POLSKA

W tym roku była, jak podaje M.S. Codex Conventualis, bardzo sroga zima, bowiem od października aż do Wielkanocy bez przerwy trwała, a mróz do tego stopnia był ostry, że woda wylana w powietrze wcześniej zamarzała zanim spadła na ziemię.

Wzrost przyrostów szerokości słoje dębów.

9 STYCZNIA 1572 – TORUŃ

Dnia 9 stycznia około 9 godziny w nocy nastąpiło w Toruniu straszliwe trzęsienie ziemi wraz z potężnym wiatrem sztormowym, a następnie ogromne oberwanie się chmury; na skutek tej ulewy znaczna część muru miejskiego została obalona, dziewiętnaście przęseł z mostów uniesionych i około trzystu ludzi utonęło.

Spadek przyrostów szerokości słoje dębów.

MARZEC-KWIECIEŃ 1572 – ODRA, WARTA I INNE RZEKI

Do tego czasu taki olbrzymi wylew wód zewsząd zalał miasta i pola, o jakim z minionych lat pamięć nasza zaledwie raz jeden może sobie przypomnieć; przybrała Łaba, Odra, Hawela, Sprewa, Warta, na skutek tego rodzaju trwającego kataklizmu w licznych miejscach pola i lasy były spławne...

Spadek przyrostów szerokości słoje dębów.

ZIMA 1572/1573 – POLSKA

Również w tym roku zima była bardzo ciężka i długa, a mianowicie od Wszystkich Świętych [1 listopada] do św. Walentego [14 lutego] itd., która w ciągu trzech dni ustąpiła wskutek bardzo silnych wiatrów.

Spadek przyrostów szerokości słoje dębów o 2.

LATO-JESIEŃ 1590 – POLSKA POŁUDNIOWO-ZACHODNIA

Było bardzo gorące suche lato, tak że w kraju rzeki, jak Bóbr, Kwisa, Kaczawa, Widawa, Oława, Ślęza i wiele innych wyschły całkowicie. Odra również była tak płytka, że można było w każdym miejscu przejść ją w bród.

Spadek przyrostów szerokości słoje dębów.

8 CZERWCA – 23 SIERPNI 1593 – BYSTRZYCA, ŚWIDNICA

Od święta Medarda [8 czerwca] do dnia 23 sierpnia codziennie z przerwami, bądź ustawicznie padały deszcze, wskutek czego przez całe lato aż do tego czasu zdarzyło się czternaście wylewów, które u nas utrudniły w zbiorach siana, a gdzie indziej zniszczyły wskutek zamulenia kielkujące zasiewy, a gwałtowne prądy uniosły bydło i ludzi.

Wzrost przyrostów szerokości słoje dębów.

13 MARCA 1599 – ODRA, WROCŁAW

Odra. Pękał bardzo gruby lód; woda gwałtownie wzrosła, uniosła przy młynie Ukochałej Marii z mostu dwa przęsła, uczyniła duże szkody.

Wzrost przyrostów szerokości słoje dębów.

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

2. Zależność szerokości słoje dębów od miesięcznych wartości temperatury i sum opadów atmosferycznych w Polsce

Warunki klimatyczne są jednym z ważniejszych czynników wpływających na przyrost drzew poprzez stymulację lub ograniczenia procesów biochemicznych w roślinach (Zielski, Krąpiec 2004). Korzystne warunki termiczno-pluwalne powodują wytworzenie szerokiego przyrostu, niekorzystne zaś, w ekstremalnych przypadkach, mogą doprowadzić nawet do niewytworzenia przez drzewo słoja przyrostu rocznego (tzw. słoje wypadające). Jednakże relacja klimat-szerokość słoja jest dosyć złożona, gdyż na szerokość przyrostu rocznego wpływ mają także i inne czynniki zarówno naturalne (gleba, konkurencja między- i wewnątrzgatunkowa), jak i antropogeniczne (gospodarka leśna, zanieczyszczenia). Jednoczesne współdziałanie, czasem przeciwstawnych sobie czynników, powoduje, że dość trudno jest jednoznacznie ocenić wpływ poszczególnych uwarunkowań formowania się przyrostu rocznego.

Model opisu relacji przyrost- klimat wykorzystuje tak zwaną funkcję odpowiedzi (*response function*) i wykorzystuje regresję wielokrotną opartą na składowych głównych (Fritts 1976, Briffa, Cook 1990).

W ogólnej postaci zależność tą można przedstawić wzorem

$$I_t = \sum a_{jt} T_{jt} + \sum b_{jt} P_{jt} + \sum c_l W_l$$

gdzie:

- I_t – wartość indeksu przyrostowego roku t ;
- a_{jt} – współczynniki regresji wielokrotnej temperatury w miesiącu j roku t ;
- b_{jt} – współczynniki regresji wielokrotnej sumy opadów w miesiącu j roku t ;
- c_l – współczynniki regresji wielokrotnej uwzględniającej przyrost l lat poprzednich;
- T_{jt} – średnia temperatura powietrza w miesiącu j roku t ;
- P_{jt} – suma opadów w miesiącu j roku t ;
- W_l – wartość przyrostu l lat poprzednich;

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

Przeprowadzono analizę wpływu warunków klimatycznych (średnia miesięczna temperatura powietrza i miesięczna suma opadów atmosferycznych) na szerokość słoja przyrostu rocznego dębu szypułkowego rosnącego na kilkunastu stanowiskach w Polsce (tab. 5.1).

Tabela 5.1. Rozmieszczenie dębów w Polsce
Table 5.1. Localization Sessile oaks in Poland

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

Do obliczenia poszukiwanych współczynników regresji wykorzystano program RE-SPO z ogólnodostępnego pakietu programów dendrochronologicznych DPL (Holmes 1999). Analizie poddano warunki termiczno-pluwalne z okresu od lipca roku poprzedzającego formowanie się słoja przyrostu rocznego do września roku wytworzenia się tego słoja. Uzyskane współczynniki regresji wielokrotnej zestawiono w tabeli 5.2. Wpływ temperatury i opadów na szerokość przyrostu dęba przedstawiają też ryciny 5.1-5.11.

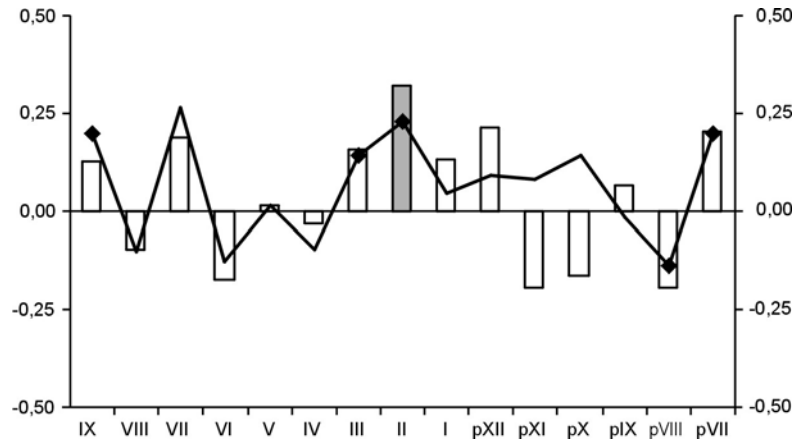
Wartości współczynnika determinacji r^2 , określającego łączny wpływ warunków meteorologicznych na szerokość słoja przyrostu wahają się od około 16 do ponad 75%. Najniższe wartości uzyskano dla porównań najdłuższych ciągów przyrostowych i klimatycznych (Warszawa, Wolin, Wrocław). Największy wpływ klimatu na przyrost stwierdzono u dębów rosnących w okolicach Torunia, Suwałk i Poznania (r^2 wynosi 65-75%).

Analiza funkcji odpowiedzi wskazuje, że istotny wpływ temperatury sierpnia na szerokość przyrostu dębu w Polsce. Obserwacja ta odnosi się do zarówno do sierpnia roku formowania słoja, jak tego o kresu w roku poprzednim. Im cieplej w tym miesiącu, tym węższy przyrost jest wykształcany. Pozytywne oddziaływanie warunków termicznych uwidacznia się w okresie zimowym (grudzień i luty) oraz we wrześniu roku bieżącego. Interesująca jest kwestia października roku poprzedniego, kiedy to wartości współczynników regresji informują o dodatniej relacji między temperaturą a przyrostem, a współczynnikiem korelacji, który podaje informację przeciwną. Cedro (2004) badając przyrosty dębu na Pomorzu Zachodnim stwierdziła silną dodatnią korelację zmiennych klimatycznych i przyrostowych w tym miesiącu.

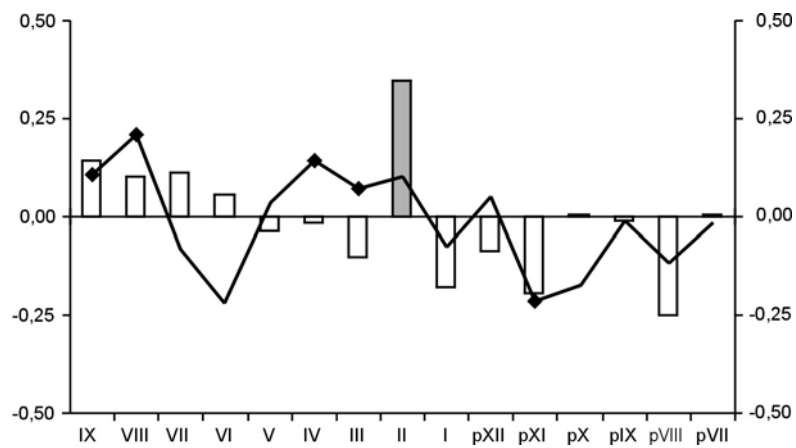
Warunki pluwalne oddziałują na przyrost polskich dębów w zbliżonym do termiki stopniu. Najistotniejsze znaczenie mają opady zimą i wiosną. Ich duża ilość w okresie od lutego do kwietnia zapewniają wodę rozwijającym się roślinom, natomiast ich zbyt-

nie natężenie w maju, szczególnie na początku miesiąca, może negatywnie wpływać na kwitnienie i rozwój aparatu asymilacyjnego.

a



b



Rys. 5.1. Relacje między średnią miesięczną temperaturą powietrza (a) i średnią miesięczną sumą opadów atmosferycznych (b) a wzorem przyrostowym (chronologia rezydualna) dębu z Gołdapi

Słupki przedstawiają współczynniki korelacji a linie współczynniki regresji

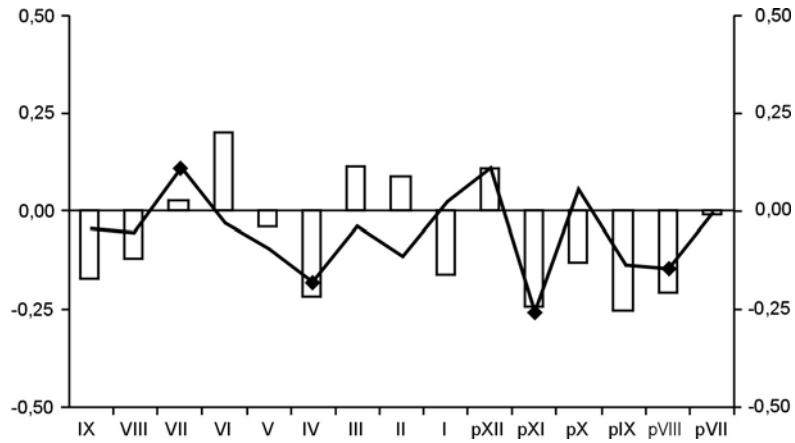
Słupki szare oraz kwadraty pokazują wartości istotne na poziomie 0,05

Fig. 5.1. Relationship between increment pattern (residual chronology) of English oak and: mean monthly temperature (a) and mean monthly sum of precipitation (b) in Gołdap

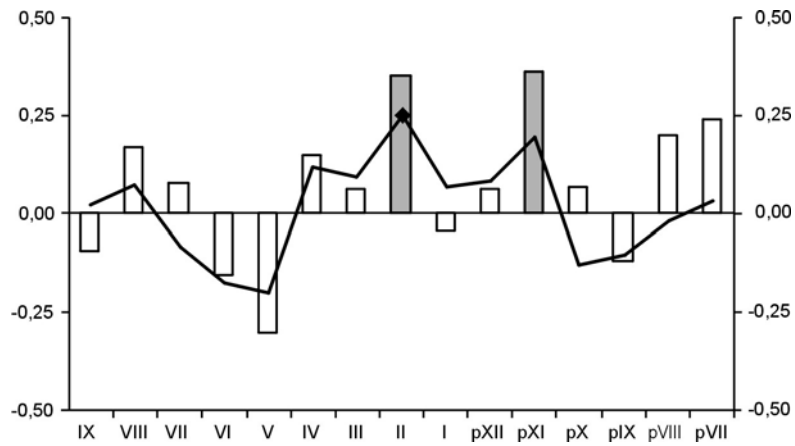
Bars represent coefficients of correlation and lines coefficients of regression

Grey bars and squares show values significant at 0,05 level

a

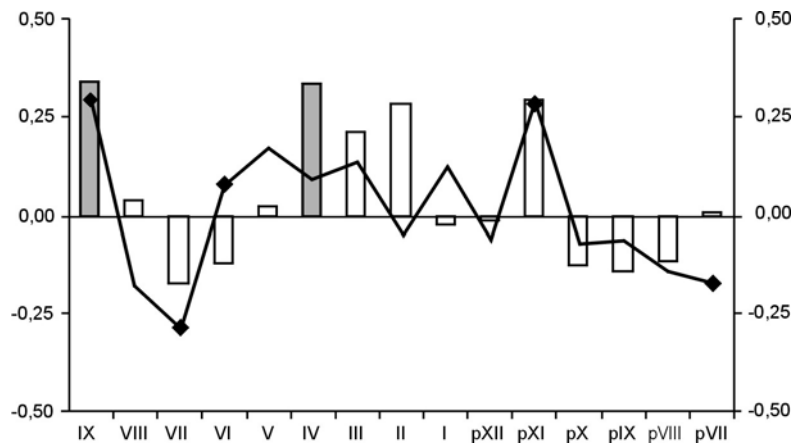


b

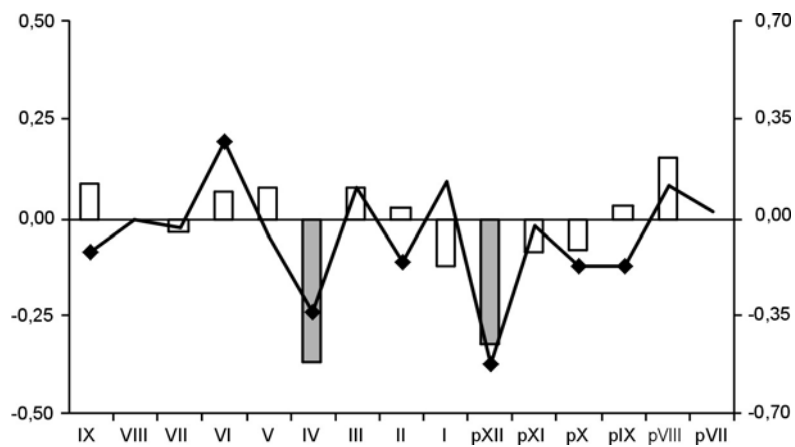


Rys. 5.2. Relacje między średnią miesięczną temperaturą powietrza (a) i średnią miesięczną sumą opadów atmosferycznych (b) a wzorem przyrostowym (chronologia rezydualna) dębu z Hajnówki
Słupki przedstawiają współczynniki korelacji a linie współczynniki regresji
Słupki szare oraz kwadraty pokazują wartości istotne na poziomie 0,05
Fig. 5.2. Relationship between increment pattern (residual chronology) of English oak and: mean monthly temperature (a) and mean monthly sum of precipitation (b) in Hajnówka
Bars represent coefficients of correlation and lines coefficients of regression
Grey bars and squares show values significant at 0,05 level

a

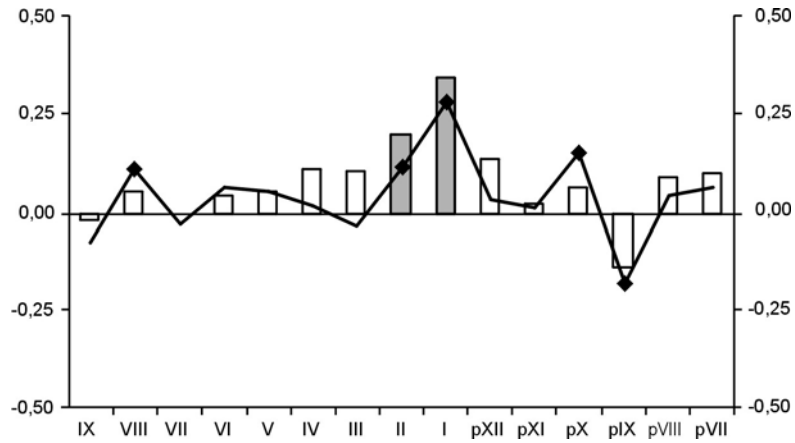


b

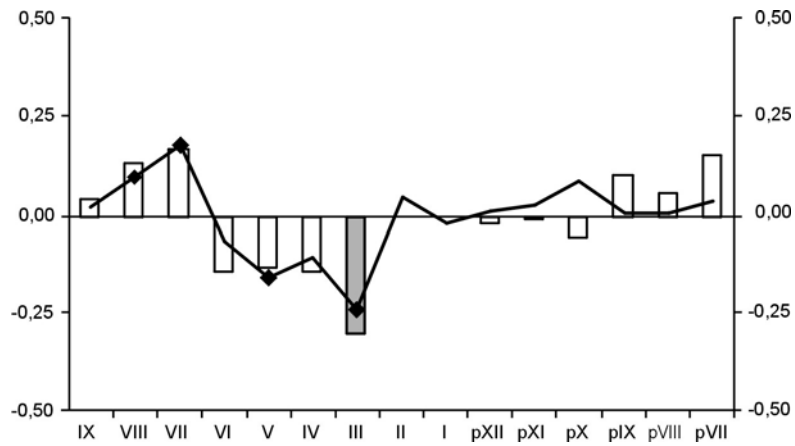


Rys. 5.3. Relacje między średnią miesięczną temperaturą powietrza (a) i średnią miesięczną sumą opadów atmosferycznych (b) a wzorem przyrostowym (chronologia rezydualna) dębu z Koszalina
Słupki przedstawiają współczynniki korelacji a linie współczynniki regresji
Słupki szare oraz kwadraty pokazują wartości istotne na poziomie 0,05
Fig. 5.3. Relationship between increment pattern (residual chronology) of English oak and: mean monthly temperature (a) and mean monthly sum of precipitation (b) in Koszalin
Bars represent coefficients of correlation and lines coefficients of regression
Grey bars and squares show values significant at 0,05 level

a

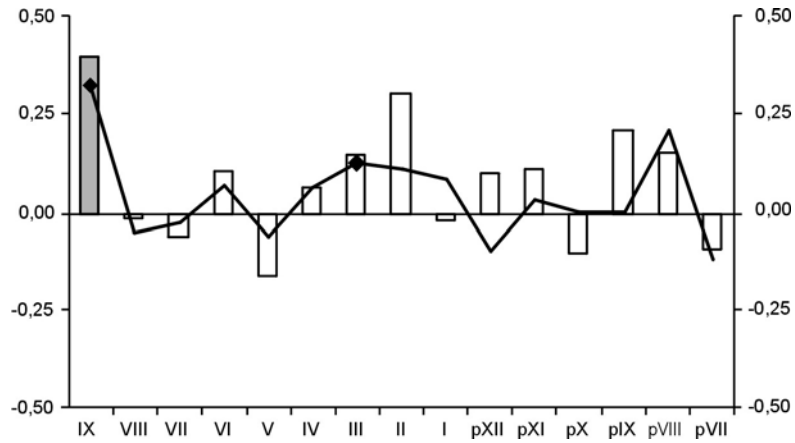


b

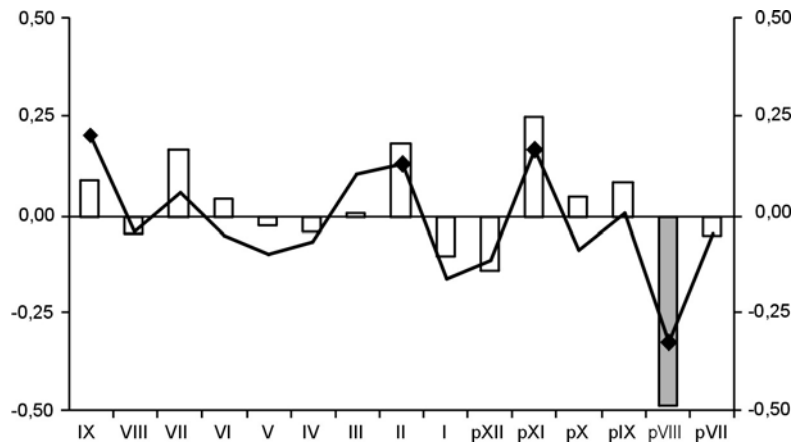


Rys. 5.4. Relacje między średnią miesięczną temperaturą powietrza (a) i średnią miesięczną sumą opadów atmosferycznych (b) a wzorem przyrostowym (chronologia rezydualna) dębu z Krakowa
Słupki przedstawiają współczynniki korelacji a linie współczynniki regresji
Słupki szare oraz kwadraty pokazują wartości istotne na poziomie 0,05
Fig. 5.4. Relationship between increment pattern (residual chronology) of English oak and: mean monthly temperature (a) and mean monthly sum of precipitation (b) in Krakow
Bars represent coefficients of correlation and lines coefficients of regression
Grey bars and squares show values significant at 0,05 level

a

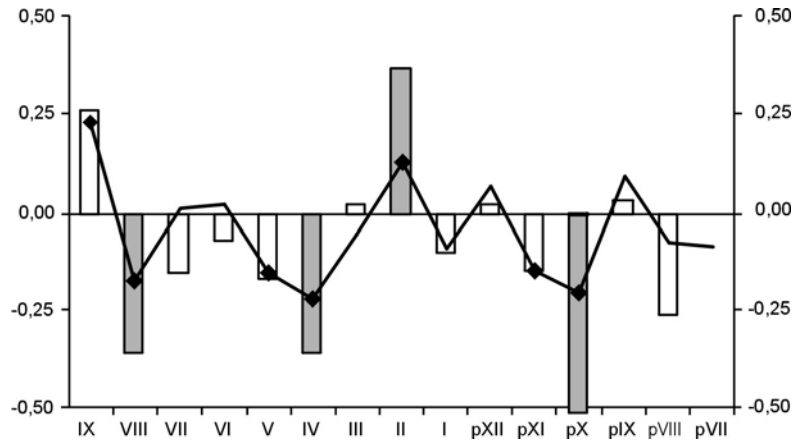


b

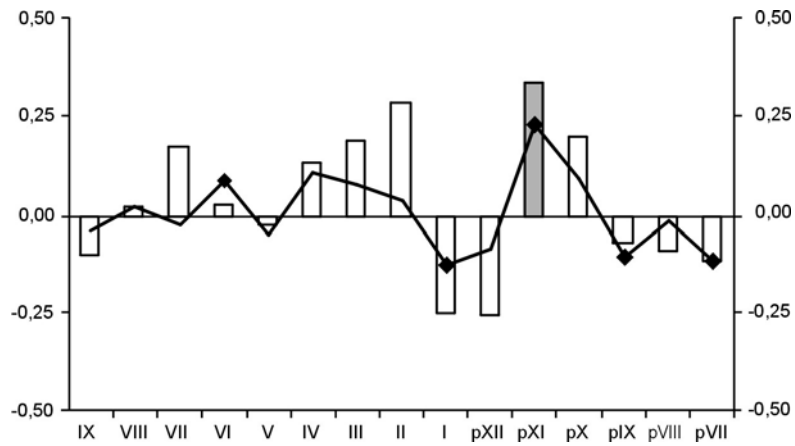


Rys. 5.5. Relacje między średnią miesięczną temperaturą powietrza (a) i średnią miesięczną sumą opadów atmosferycznych (b) a wzorem przyrostowym (chronologia rezydualna) dębu z Poznania
Słupki przedstawiają współczynniki korelacji a linie współczynniki regresji
Słupki szare oraz kwadraty pokazują wartości istotne na poziomie 0,05
Fig. 5.5. Relationship between increment pattern (residual chronology) of English oak and: mean monthly temperature (a) and mean monthly sum of precipitation (b) in Poznań
Bars represent coefficients of correlation and lines coefficients of regression
Grey bars and squares show values significant at 0,05 level

a

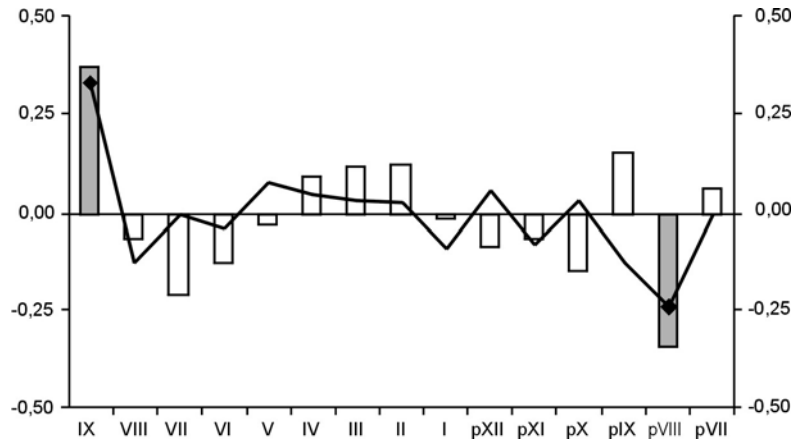


b

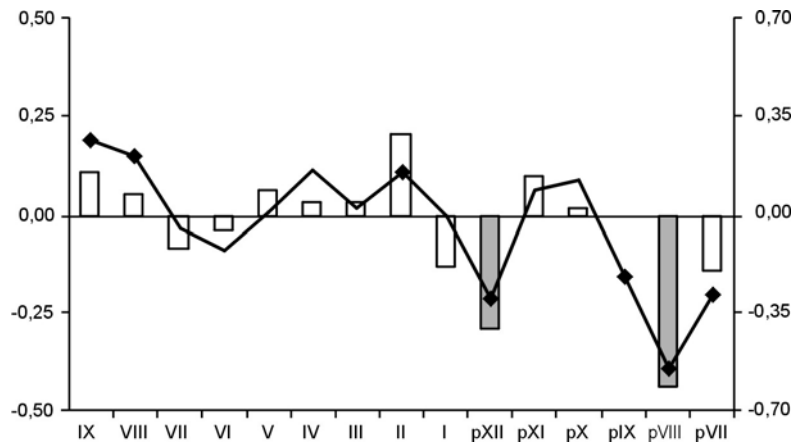


Rys. 5.6. Relacje między średnią miesięczną temperaturą powietrza (a) i średnią miesięczną sumą opadów atmosferycznych (b) a wzorem przyrostowym (chronologia rezydualna) dębu z Suwałk
Słupki przedstawiają współczynniki korelacji a linie współczynniki regresji
Słupki szare oraz kwadraty pokazują wartości istotne na poziomie 0,05
Fig. 5.6. Relationship between increment pattern (residual chronology) of English oak and: mean monthly temperature (a) and mean monthly sum of precipitation (b) in Suwałki
Bars represent coefficients of correlation and lines coefficients of regression
Grey bars and squares show values significant at 0,05 level

a

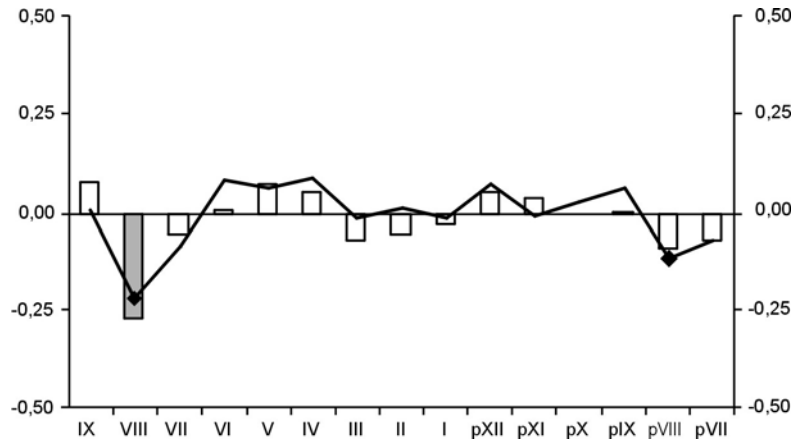


b

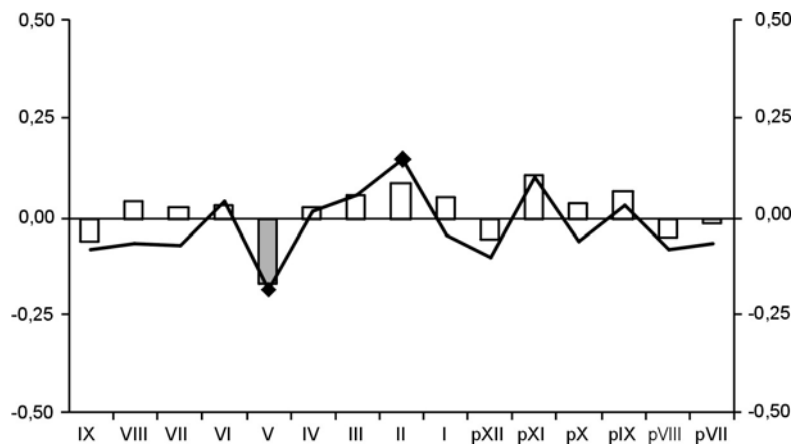


Rys. 5.7. Relacje między średnią miesięczną temperaturą powietrza (a) i średnią miesięczną sumą opadów atmosferycznych (b) a wzorem przyrostowym (chronologia rezydualna) dębu z Torunia
Słupki przedstawiają współczynniki korelacji a linie współczynniki regresji
Słupki szare oraz kwadraty pokazują wartości istotne na poziomie 0,05
Fig. 5.7. Relationship between increment pattern (residual chronology) of English oak and: mean monthly temperature (a) and mean monthly sum of precipitation (b) in Toruń
Bars represent coefficients of correlation and lines coefficients of regression
Grey bars and squares show values significant at 0,05 level

a

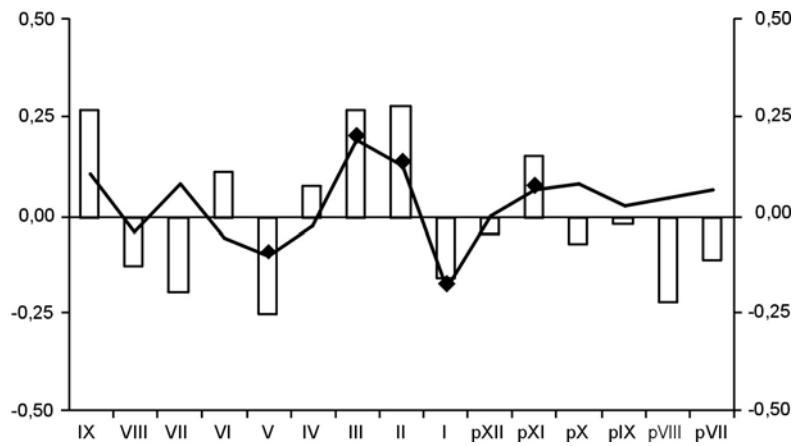


b

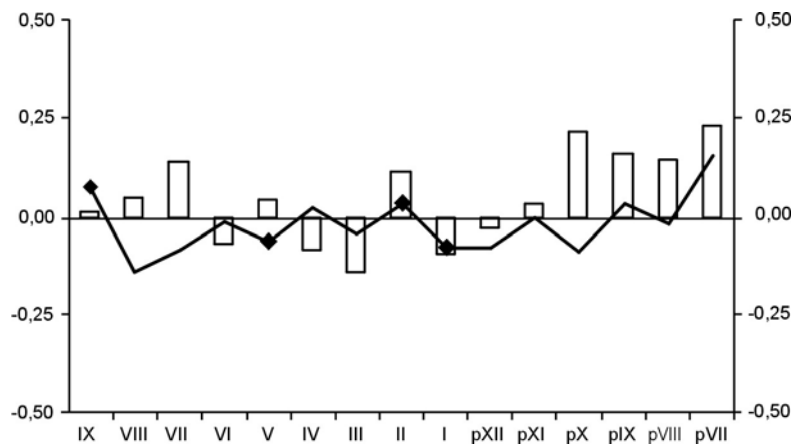


Rys. 5.8. Relacje między średnią miesięczną temperaturą powietrza (a) i średnią miesięczną sumą opadów atmosferycznych (b) a wzorem przyrostowym (chronologia rezydualna) dębu z Warszawy
Słupki przedstawiają współczynniki korelacji a linie współczynniki regresji
Słupki szare oraz kwadraty pokazują wartości istotne na poziomie 0,05
Fig. 5.8. Relationship between increment pattern (residual chronology) of English oak and: mean monthly temperature (a) and mean monthly sum of precipitation (b) in Warsaw
Bars represent coefficients of correlation and lines coefficients of regression
Grey bars and squares show values significant at 0,05 level

a

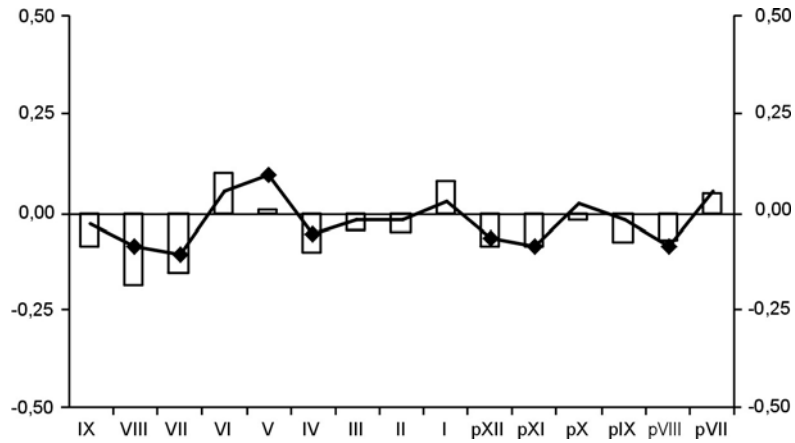


b

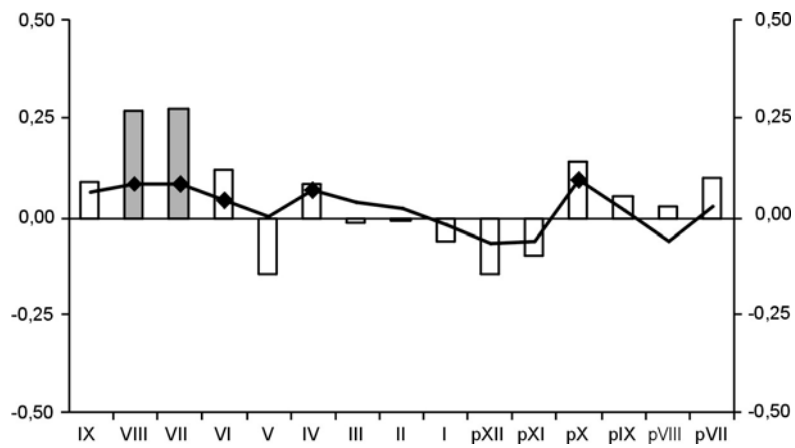


Rys. 5.9. Relacje między średnią miesięczną temperaturą powietrza (a) i średnią miesięczną sumą opadów atmosferycznych (b) a wzorem przyrostowym (chronologia rezydualna) dębu z Wolina
Słupki przedstawiają współczynniki korelacji a linie współczynniki regresji
Słupki szare oraz kwadraty pokazują wartości istotne na poziomie 0,05
Fig. 5.9. Relationship between increment pattern (residual chronology) of English oak and: mean monthly temperature (a) and mean monthly sum of precipitation (b) in Wolin
Bars represent coefficients of correlation and lines coefficients of regression
Grey bars and squares show values significant at 0,05 level

a

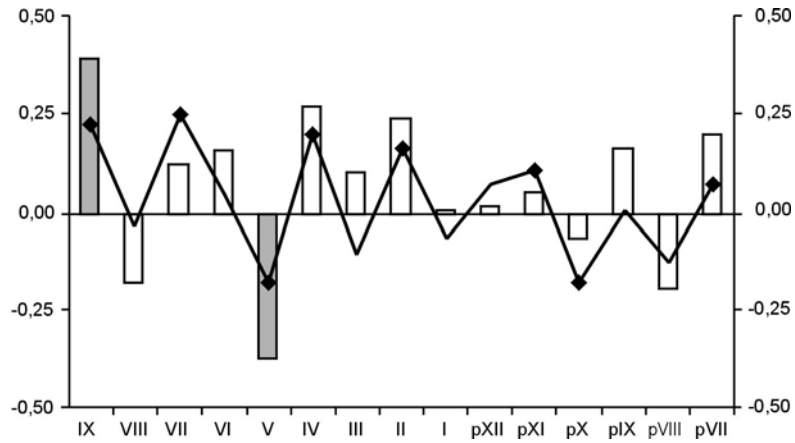


b

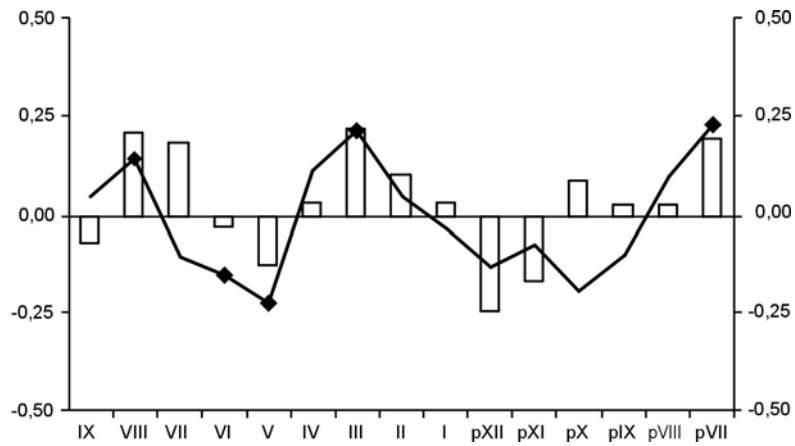


Rys. 5.10. Relacje między średnią miesięczną temperaturą powietrza (a) i średnią miesięczną sumą opadów atmosferycznych (b) a wzorem przyrostowym (chronologia rezydualna) dębu z Wrocławia
Słupki przedstawiają współczynniki korelacji a linie współczynniki regresji
Słupki szare oraz kwadraty pokazują wartości istotne na poziomie 0,05
Fig. 5.10. Relationship between increment pattern (residual chronology) of English oak and: mean monthly temperature (a) and mean monthly sum of precipitation (b) in Wrocław
Bars represent coefficients of correlation and lines coefficients of regression
Grey bars and squares show values significant at 0,05 level

a



b



Rys. 5.11. Relacje między średnią miesięczną temperaturą powietrza (a) i średnią miesięczną sumą opadów atmosferycznych (b) a wzorem przyrostowym (chronologia rezydualna) dębu z Zielonej Góry
Słupki przedstawiają współczynniki korelacji a linie współczynniki regresji
Słupki szare oraz kwadraty pokazują wartości istotne na poziomie 0,05
Fig. 5.11. Relationship between increment pattern (residual chronology) of English oak and: mean monthly temperature (a) and mean monthly sum of precipitation (b) in Zielona Góra
Bars represent coefficients of correlation and lines coefficients of regression
Grey bars and squares show values significant at 0,05 level

Tabela 5.2a Współczynniki regresji wielokrotnej w relacji klimat-przyrost radialny dębu w Polsce

– temperatura; wartości **pogrubione** istotne na poziomie $\alpha = 0,05$ Table 5.2a. Multiple correlation coefficients for the relationship climate-radial growth of English oak in Poland – temperature; **bold** values significant at $\alpha = 0,05$ level

miesiąc	Goldap	Hajnówka	Koszalin	Kraków	Poznań	Suwałki
IX	0,1983	-0,0451	0,2927	-0,0721	0,3295	0,2387
VIII	-0,0998	-0,0579	-0,1777	0,1138	-0,0505	-0,1709
VII	0,2641	0,1041	-0,2914	-0,0266	-0,0239	0,0135
VI	-0,1295	-0,0295	0,0799	0,0687	0,0704	0,0254
V	0,0136	-0,0957	0,1712	0,0578	-0,0591	-0,1441
IV	-0,0962	-0,1822	0,0873	0,0217	0,0655	-0,2188
III	0,1436	-0,0402	0,1336	-0,0316	0,1326	-0,0533
II	0,2296	-0,1167	-0,0491	0,1179	0,1142	0,1322
I	0,0453	0,0184	0,1207	0,2883	0,0871	-0,0856
pXII	0,0906	0,1041	-0,0659	0,0359	-0,0976	0,0705
pXI	0,0814	-0,2600	0,2862	0,0138	0,0339	-0,1420
pX	0,1409	0,0566	-0,0697	0,1490	0,0049	-0,2016
pIX	-0,0174	-0,1383	-0,0630	-0,1780	0,0028	0,0985
pVIII	-0,1389	-0,1442	-0,1392	0,0492	0,2102	-0,0707
pVII	0,1984	-0,0027	-0,1732	0,0652	-0,1177	-0,0842
miesiąc	Toruń	Warszawa	Wolin	Wrocław	Zielona Góra	
IX	0,3336	0,0079	0,1081	-0,0268	0,2303	
VIII	-0,1235	-0,2122	-0,0392	-0,0835	-0,0308	
VII	-0,0030	-0,0815	0,0810	-0,1038	0,2559	
VI	-0,0366	0,0876	-0,0528	0,0560	0,0504	
V	0,0779	0,0665	-0,0989	0,0958	-0,1735	
IV	0,0487	0,0918	-0,0231	-0,0537	0,2076	
III	0,0318	-0,0078	0,1917	-0,0169	-0,1016	
II	0,0265	0,0156	0,1264	-0,0131	0,1723	
I	-0,0906	-0,0095	-0,1808	0,0309	-0,0595	
pXII	0,0595	0,0737	0,0011	-0,0650	0,0763	
pXI	-0,0778	-0,0073	0,0656	-0,0829	0,1140	
pX	0,0343	0,0325	0,0817	0,0286	-0,1731	
pIX	-0,1250	0,0674	0,0272	-0,0181	0,0084	
pVIII	-0,2352	-0,1115	0,0476	-0,0827	-0,1216	
pVII	0,1984	-0,0027	-0,1732	0,0652	-0,1177	

Tabela 5.2b Współczynniki regresji wielokrotnej w relacji klimat-przyrost radialny dębu w Polsce

– opady; wartości **pogrubione** istotne na poziomie $\alpha = 0,05$ Table 5.2b. Multiple correlation coefficients for the relationship climate-radial growth of English oak in Poland – precipitation; **bold** values significant at $\alpha = 0,05$ level

miesiąc	Goldap	Hajnówka	Koszalin	Kraków	Poznań	Suwałki
IX	0,1050	0,0192	-0,1208	0,0271	0,2469	-0,0370
VIII	0,2069	0,0690	-0,0049	0,1025	-0,0482	0,0240
VII	-0,0823	-0,0846	-0,0349	0,1862	0,0716	-0,0198
VI	-0,2201	-0,1789	0,2777	-0,0626	-0,0588	0,0903
V	0,0345	-0,2004	-0,0596	-0,1582	-0,1138	-0,0454
IV	0,1404	0,1184	-0,3361	-0,1058	-0,0815	0,1123
III	0,0691	0,0894	0,1140	-0,2373	0,1302	0,0832
II	0,0995	0,2475	-0,1547	0,0529	0,1613	0,0423
I	-0,0749	0,0677	0,1327	-0,0180	-0,1895	-0,1257
pXII	0,0515	0,0786	-0,5184	0,0141	-0,1328	-0,0825
pXI	-0,2152	0,1916	-0,0217	0,0318	0,2070	0,2384
pX	-0,1746	-0,1293	-0,1678	0,0940	-0,1023	0,0982
pIX	-0,0124	-0,1066	-0,1674	0,0098	0,0063	-0,1026
pVIII	-0,1191	-0,0221	0,1170	0,0093	-0,3879	-0,0094
pVII	-0,0174	0,0300	0,0239	0,0394	-0,0533	-0,1130
miesiąc	Toruń	Warszawa	Wolin	Wrocław	Zielona Góra	
IX	0,2672	-0,0773	0,0774	0,0680	0,0505	
VIII	0,2083	-0,0609	-0,1392	0,0878	0,1495	
VII	-0,0461	-0,0660	-0,0824	0,0900	-0,1050	
VI	-0,1222	0,0453	-0,0104	0,0485	-0,1476	
V	0,0097	-0,1779	-0,0634	0,0068	-0,2217	
IV	0,1583	0,0202	0,0222	0,0614	0,1192	
III	0,0255	0,0604	-0,0412	0,0393	0,2198	
II	0,1512	0,1540	0,0349	0,0246	0,0516	
I	-0,0046	-0,0382	-0,0774	-0,0148	-0,0326	
pXII	-0,2927	-0,0978	-0,0803	-0,0649	-0,1278	
pXI	0,0895	0,1063	-0,0016	-0,0592	-0,0728	
pX	0,1224	-0,0576	-0,0873	0,1000	-0,1919	
pIX	-0,2198	0,0352	0,0345	0,0230	-0,0972	
pVIII	-0,5435	-0,0769	-0,0198	-0,0571	0,1038	
pVII	-0,2783	-0,0622	0,1553	0,0329	0,2396	

3. Lata wskaźnikowe dębów w Polsce

Wyjątkowe warunki atmosferyczne znajdują swoje odbicie w szerokości słoja przyrostu rocznego. Niezwykle korzystne warunki wzrostu powodują wytworzenie słoja o bardzo dużej szerokości, natomiast wzmoczony wpływ czynników niesprzyjających

rozwojowi daje w efekcie bardzo wąski słuź. Lata, w których wystąpiły skrajnie korzystne lub niekorzystne uwarunkowania przyrostu, nazywamy latami wskaźnikowymi. Rok ze zdecydowanie szerszym służem to *rok wskaźnikowy pozytywny*, zaś z węższym - *rok wskaźnikowy negatywny*.

Wyznaczenie lat wskaźnikowych przeprowadzono według następującej procedury:

- budowa znormalizowanych serii indeksów przyrostowych,
- wyznaczenie wartości szczególnych,
- wyznaczenie lat wskaźnikowych.

Serie indeksów przyrostowych powstają w wyniku detrendyzacji. Celem tego działania jest pozbawienie serii pomiarowych trendu wiekowego, co powoduje uwypuklenie zmienności szerokości przyrostu powodowanej wpływem warunków klimatycznych (Fritts 1976). Zastosowano detrendyzację 5-letnią średnią ruchomą (Cropper 1979). Wartość indeksu przyrostowego w danym roku powstała według wzoru:

$$I_t = \frac{5 \cdot x_t}{x_{t-2} + x_{t-1} + x_t + x_{t+1} + x_{t+2}}$$

gdzie:

- I_t – wartość indeksu przyrostowego roku t ;
 x_i – szerokość służa przyrostowego w roku i , $i \in (t-2; t+2)$.

Normalizacja serii indeksów została przeprowadzona by można było zastosować prawidła dotyczące rozkładu normalnego (Neuwirth et al. 2007). Przeprowadzono ją według wzoru:

$$z_t = \frac{I_t - M}{SD}$$

gdzie:

- z_t – znormalizowana wartość indeksu przyrostowego roku t ;
 I_t – wartość indeksu przyrostowego roku t ;
 M – średnia wartość indeksu przyrostowego
 SD – odchylenie standardowe wartości indeksu przyrostowego.

Następnie dla każdej serii pomiarowej przeprowadzono porównanie znormalizowanej wartości indeksu przyrostowego z wartością progową. Wartość tą ustalono na podstawie parametrów rozkładu normalnego w ten sposób by 5% spośród wartości wchodzących w skład serii pomiarowej można uznać za wartości szczególne. Jeżeli zachodziła zależność $z_t > 1,96$, to wartość z_t uznawano za pozytywną wartość szczególną. Gdy $z_t < -1,96$, to przyjmowano z_t za negatywną wartość szczególną. Za rok wskaźnikowy uznawano rok, w którym powyżej 80% serii pomiarowych ze stanowiska wykazywało wartość szczególną.

Analizę lat wskaźnikowych przeprowadzono autorskim programem PYA. Zestawienie pozytywnych i negatywnych lat wskaźnikowych dla poszczególnych stanowisk przedstawiono w tabelach 5.3-5.4.

Tabela 5.3. Lata wskaźnikowe dębu w Polsce; n- liczba lat, %- udział lat wskaźnikowych w długości serii
 Table 5.3. Pointer years of English oak in Poland; n – number of years, % – share of pointer years in series length

Stanowisko	Okres	Lata wskaźnikowe			
		pozytywne		negatywne	
		n	%	n	%
Gdańsk	1800-1982	8	4,37	9	4,92
Gołdap	1883-1984	11	10,78	11	10,78
Hajnówka	1821-1982	16	9,88	12	7,41
Koszalin	1817-1984	14	8,33	12	7,14
Kraków	1813-1983	12	7,02	19	11,11
Poznań	1851-1984	12	8,96	10	7,46
Roztocze	1806-1986	15	8,29	21	11,73
Suwałki	1874-1984	6	5,41	10	9,01
Toruń	1781-1984	14	6,86	13	6,37
Warszawa	1742-1982	16	6,64	20	8,30
Wolin	1589-1984	40	10,10	26	6,57
Wrocław	1811-1984	13	7,47	15	8,62
Zielona Góra	1826-1984	9	5,66	9	5,66

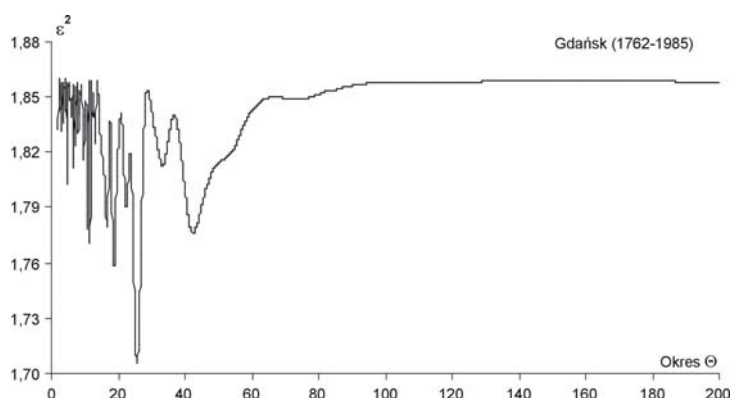
Tabela 5.4a. Lata wskaźnikowe pozytywne dębu w Polsce; wartości pogrubione oznaczają rok w którym ponad 30% stanowisk wykazało rok wskaźnikowy
 Table 5.4a. Positive pointer years of English oak in Poland; bold values represent years in which over 30% of series have a pointer year

Stanowisko	Okres	Lata wskaźnikowe
Gdańsk	1800-1982	1980, 1945 , 1861, 1837 , 1820, 1812, 1802, 1801
Gołdap	1883-1984	1979, 1967 , 1963, 1954, 1951, 1942, 1938, 1901, 1897, 1890
Hajnówka	1821-1982	1975, 1972, 1967 , 1963, 1958 , 1932, 1911, 1909, 1891, 1886, 1870, 1865, 1837 , 1834 , 1828, 1823
Koszalin	1817-1984	1932, 1920, 1911, 1900, 1886, 1867, 1861, 1850, 1846 , 1842, 1837 , 1834 , 1831, 1819
Kraków	1813-1983	1973, 1957, 1953, 1950, 1945 , 1938, 1927, 1919, 1891, 1878, 1871, 1821
Poznań	1851-1984	1984, 1981, 1968, 1967 , 1949, 1916, 1894, 1878, 1875, 1867, 1862, 1854
Roztocze	1806-1986	1962, 1941, 1933, 1911, 1908, 1907, 1902, 1884, 1879, 1870, 1854, 1845, 1844, 1833, 1810
Suwałki	1874-1984	1972, 1958 , 1939, 1898, 1897, 1890
Toruń	1781-1984	1979, 1967 , 1958 , 1945 , 1932, 1913, 1890 , 1886, 1857, 1853, 1846 , 1839 , 1834 , 1801
Warszawa	1742-1982	1977, 1948, 1945 , 1924, 1908, 1880, 1879, 1879, 1865, 1829, 1823, 1817, 1805, 1799, 1789, 1784, 1755
Wolin	1589-1984	1942, 1924, 1920, 1913, 1910, 1890 , 1885, 1884, 1880, 1873, 1864, 1861, 1846 , 1842, 1834 , 1820, 1816, 1807, 1801, 1793, 1789, 1770, 1764, 1761, 1739, 1725, 1722, 1712, 1708, 1695, 1687, 1673, 1665, 1660, 1649, 1638, 1627, 1614, 1604, 1589
Wrocław	1811-1984	1975, 1958 , 1942, 1938, 1927, 1890 , 1884, 1880, 1871, 1860, 1840, 1839 , 1831
Zielona Góra	1826-1984	1982, 1927, 1875, 1870, 1852, 1839 , 1837 , 1834 , 1828

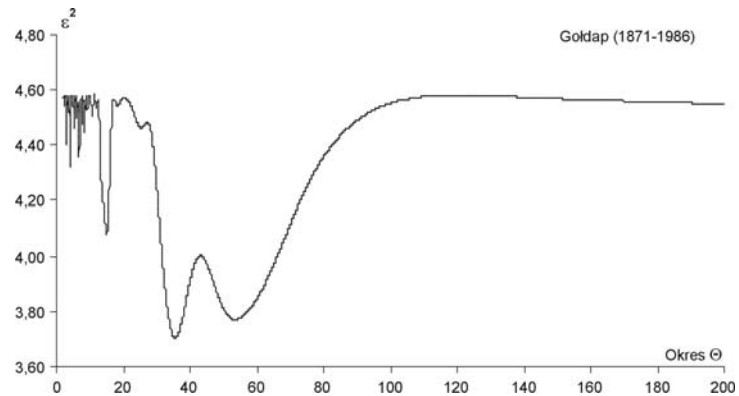
Tabela 5.4b. Lata wskaźnikowe negatywne dębu w Polsce; wartości pogrubione oznaczają rok w którym ponad 30% stanowisk wykazało rok wskaźnikowy
 Table 5.4b. Negative pointer years of English oak in Poland; bold values represent years in which over 30% of series have a pointer year

Stanowisko	Okres	Lata wskaźnikowe
Gdańsk	1800-1982	1969, 1943, 1881, 1848, 1847, 1839, 1838, 1819 , 1800
Gołdap	1883-1984	1981, 1980, 1977, 1965, 1949, 1940 , 1937 , 1936, 1916, 1899, 1887
Hajnówka	1821-1982	1970, 1953, 1937 , 1913, 1905, 1893, 1872, 1869, 1836, 1835, 1827 , 1821
Koszalin	1817-1984	1936, 1926, 1909, 1901, 1848, 1844, 1840 , 1835, 1832, 1827 , 1821 , 1820
Kraków	1813-1983	1972, 1971, 1959, 1956, 1952, 1923, 1921, 1913, 1893, 1889, 1882 , 1880, 1876, 1863, 1856, 1849, 1840 , 1827 , 1813
Poznań	1851-1984	1983, 1953, 1940 , 1933, 1914, 1876, 1866, 1864, 1856, 1852
Roztocze	1806-1986	1956, 1943, 1937 , 1930, 1915, 1913, 1910, 1905, 1904, 1893, 1882 , 1872, 1856, 1847, 1841 , 1836, 1821 , 1820 , 1819 , 1811
Suwałki	1874-1984	1976, 1969, 1964, 1947, 1940 , 1937 , 1923, 1900, 1899, 1895
Toruń	1781-1984	1983, 1981, 1960, 1943, 1942, 1933, 1930, 1855, 1843, 1832, 1806, 1800, 1795
Warszawa	1742-1982	1947, 1923, 1910, 1895, 1892, 1882 , 1878, 1859, 1830, 1827 , 1820 , 1819 , 1803, 1797, 1790, 1785, 1769, 1760, 1753
Wolin	1589-1984	1909, 1898, 1889, 1882 , 1876, 1859, 1821 , 1803, 1802, 1795, 1791, 1790, 1781, 1737, 1699, 1693, 1685, 1680, 1671, 1670, 1636, 1626, 1612, 1596, 1593, 1590
Wrocław	1811-1984	1947, 1940 , 1937 , 1929, 1895, 1882 , 1873, 1865, 1858, 1857, 1853, 1841 , 1838, 1821 , 1813
Zielona Góra	1826-1984	1980, 1940 , 1909, 1882 , 1873, 1841 , 1840 , 1830, 1826

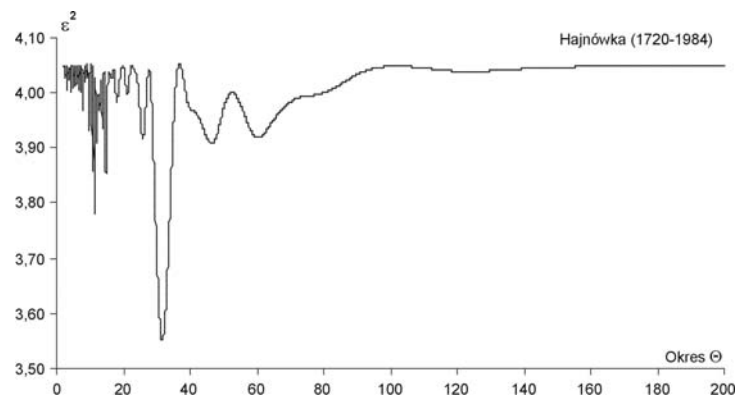
4. Widma i parametry cykli rocznych przyrostów dębów w Polsce



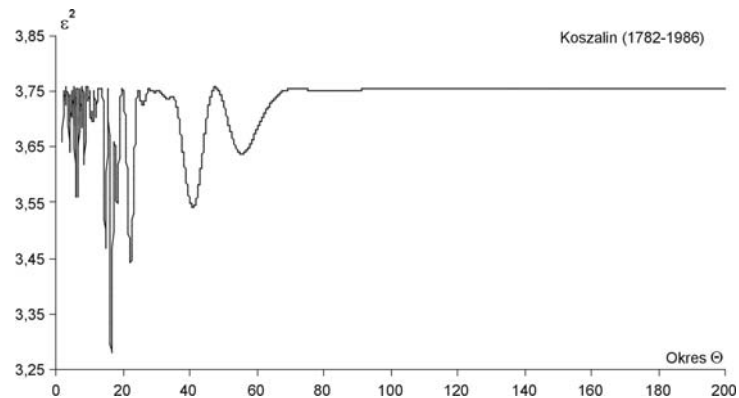
Rys. 5.12. Widmo szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Gdańsku (1762-1985)
 Fig. 5.12. Spectrum of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Gdańsk (1762-1985)



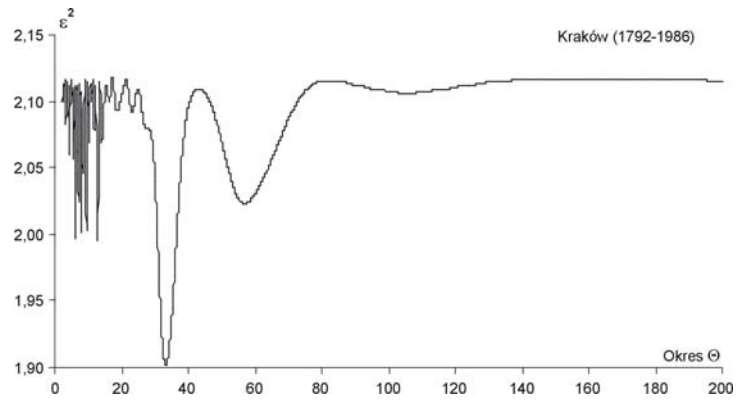
Rys. 5.13. Widmo szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Goldapi (1871-1986)
 Fig. 5.13. Spectrum of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Goldap (1871-1986)



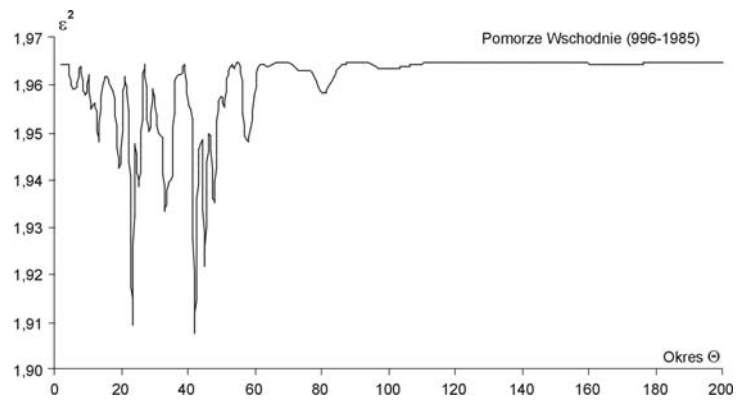
Rys. 5.14. Widmo szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Hajnówce (1720-1984)
 Fig. 5.14. Spectrum of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Hajnówka (1720-1984)



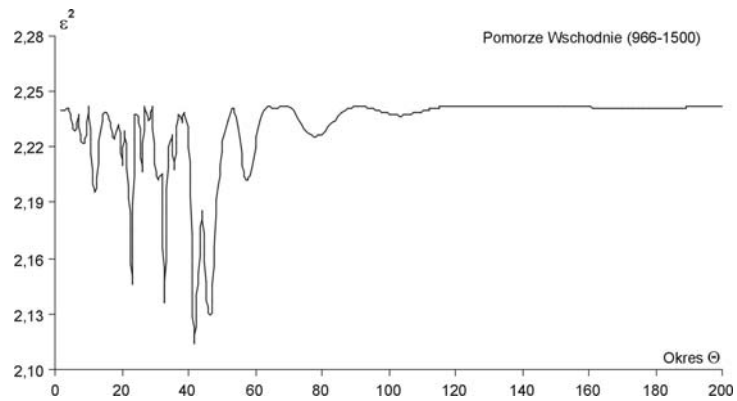
Rys. 5.15. Widmo szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Koszalinie (1782-1986)
 Fig. 5.15. Spectrum of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Koszalin (1782-1986)



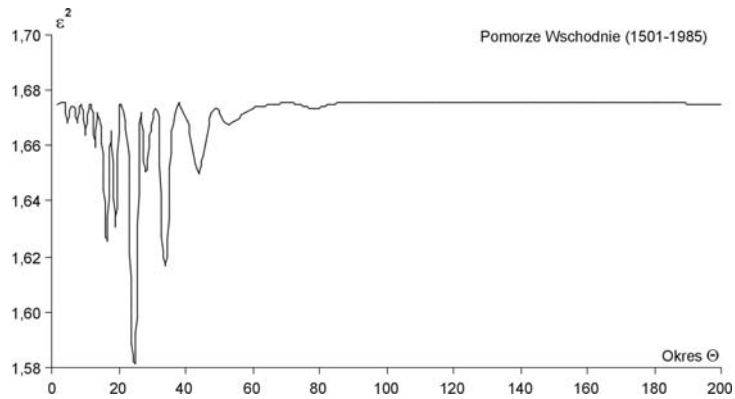
Rys. 5.16. Widmo szerokości słoí dębu (*Quercus petraea*) w Krakowie (1792-1986)
 Fig. 5.16. Spectrum of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Krakow (1792-1986)



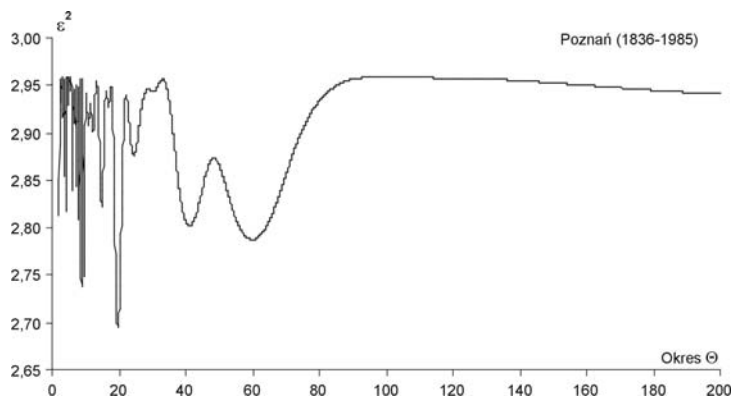
Rys. 5.17. Widmo szerokości słoí dębu (*Quercus petraea*) na Pomorzu Wschodnim (996-1985)
 Fig. 5.17. Spectrum of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in East Pomeranian (996-1985)



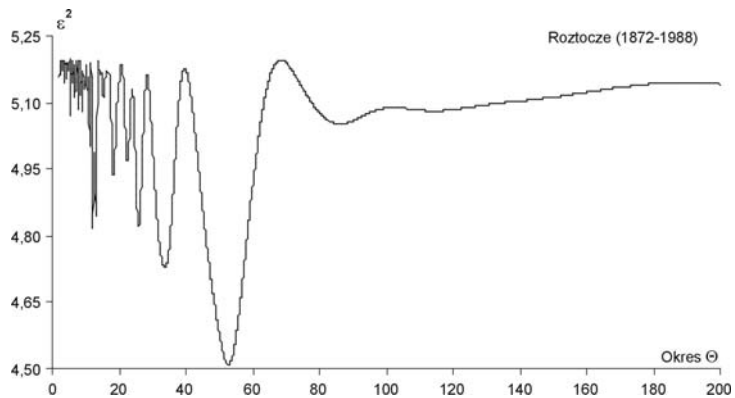
Rys. 5.18. Widmo szerokości słoí dębu (*Quercus petraea*) na Pomorzu Wschodnim (996-1500)
 Fig. 5.18. Spectrum of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in East Pomeranian (996-1500)



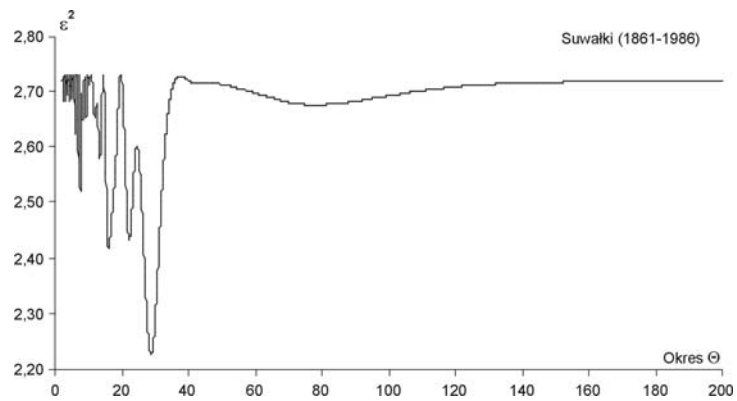
Rys. 5.19. Widmo szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) na Pomorzu Wschodnim (1500-1985)
 Fig. 5.19. Spectrum of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in East Pomeranian (1500-1985)



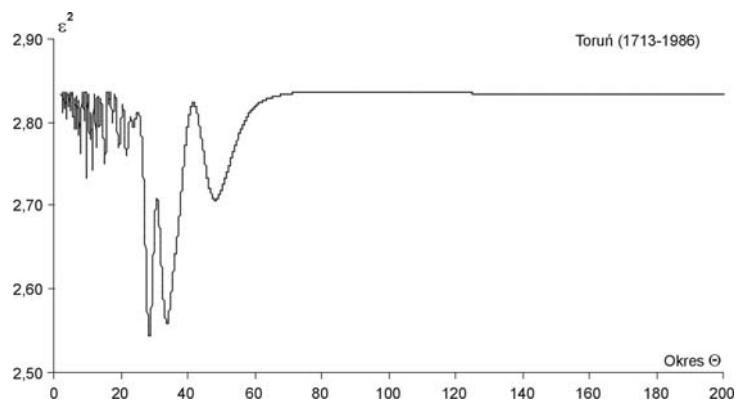
Rys. 5.20. Widmo szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Poznaniu (1836-1985)
 Fig. 5.20. Spectrum of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Poznań (1836-1985)



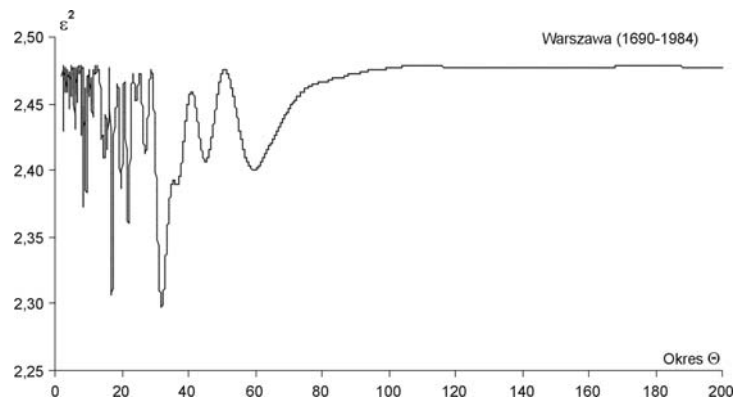
Rys. 5.21. Widmo szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) na Roztoczu (1872-1988)
 Fig. 5.21. Spectrum of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Roztocze (1872-1988)



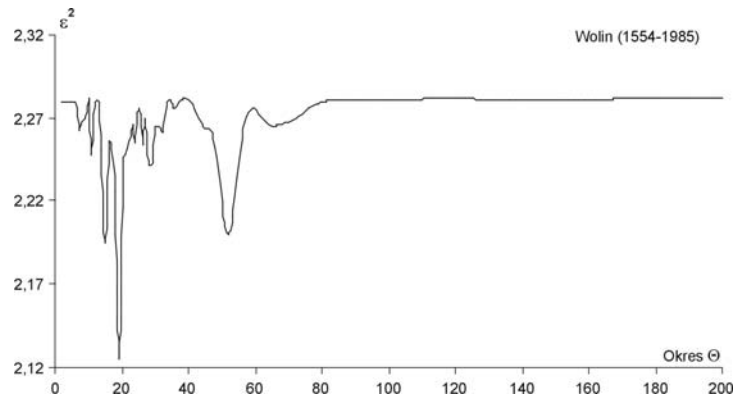
Rys. 5.22. Widmo szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Suwałkach (1861-1986)
 Fig. 5.22. Spectrum of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Suwałki (1861-1986)



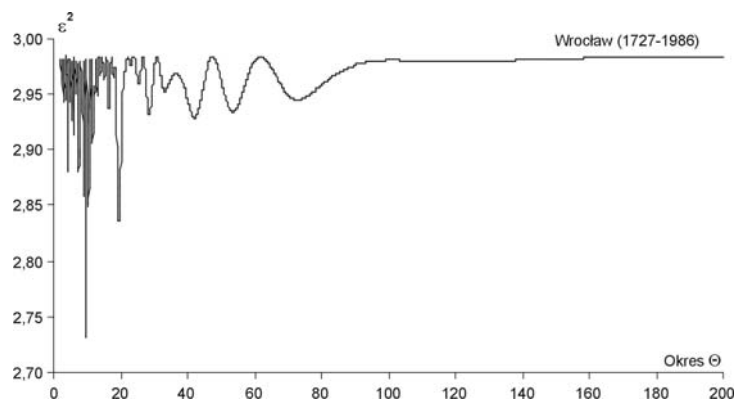
Rys. 5.23. Widmo szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Toruniu (1713-1986)
 Fig. 5.23. Spectrum of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Toruń (1713-1986)



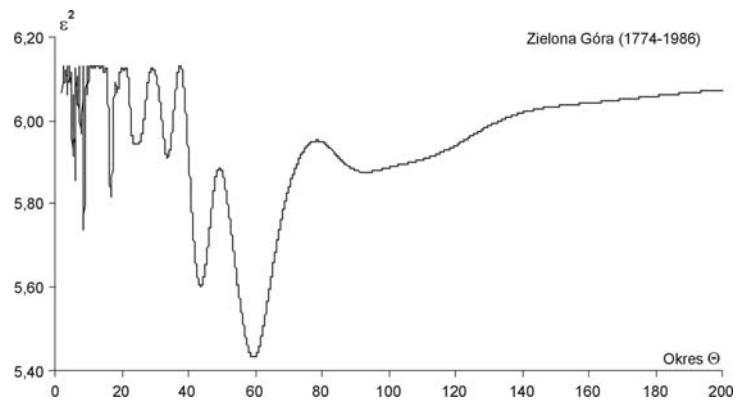
Rys. 5.24. Widmo szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Warszawie (1690-1984)
 Fig. 5.24. Spectrum of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Warsaw (1690-1984)



Rys. 5.25. Widmo szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) na Wolinie (1554-1985)
 Fig. 5.25. Spectrum of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Wolin (1554-1985)



Rys. 5.26. Widmo szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) we Wrocławiu (1727-1986)
 Fig. 5.26. Spectrum of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Wrocław (1727-1986)



Rys. 5.27. Widmo szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Zielonej Górze (1774-1986)
 Fig. 5.27. Spectrum of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Zielona Góra (1774-1986)

Tabela 5.5. Cykle szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Gdańsku (1762-1985)
 Table 5.5. The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Gdańsk (1762-1985)

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
4,9	0,334	2,6804	1,803	0,175	3,52
8,0	0,243	-1,2615	1,830	0,127	1,83
10,8	0,331	-0,6106	1,778	0,210	5,14
11,6	0,312	2,2226	1,771	0,219	5,60
18,8	0,426	-2,4416	1,758	0,234	6,47
25,7	0,540	1,0960	1,705	0,289	10,14
33,4	0,257	-2,2045	1,813	0,159	2,89
42,4	0,375	1,4090	1,776	0,213	5,27
73,7	0,158	1,8485	1,849	0,077	0,66
115,1	0,072	0,0496	1,858	0,033	0,12

Tabela 5.6. Cykle szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Gołdapi (1871-1986)
 Table 5.6. The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Gołdapia (1871-1986)

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
3,1	0,595	-0,4144	4,400	0,200	2,35
4,1	0,758	-2,9683	4,318	0,240	3,47
6,8	0,614	1,4756	4,361	0,220	2,88
8,4	0,428	-0,9944	4,448	0,172	1,71
10,8	0,329	2,9108	4,506	0,130	0,97
15,1	0,901	-2,7254	4,076	0,333	7,03
25,4	0,540	1,3400	4,465	0,160	1,49
35,6	1,215	1,3551	3,704	0,438	13,41
53,7	1,326	-2,0472	3,771	0,421	12,17

Tabela 5.7. Cykle szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Hajnówce (1720-1984)
 Table 5.7. The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Hajnówka (1720-1984)

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
7,9	0,428	2,9496	3,968	0,144	5,91
10,6	0,491	-0,7195	3,858	0,219	14,09
11,2	0,616	-1,6880	3,781	0,258	20,10
14,7	0,634	-1,0441	3,853	0,221	14,48
25,7	0,474	2,9920	3,915	0,184	9,80
31,6	0,979	1,9474	3,551	0,351	39,61
46,4	0,350	-0,1866	3,907	0,189	10,39
60,3	0,424	-2,1616	3,918	0,182	9,57
179,6	0,096	-0,9800	4,049	0,025	0,17

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ϵ^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ϵ^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 5.8. Cykle szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Koszalinie (1782-1986)
 Table 5.8. The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Koszalin (1782-1986)

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
3,9	0,468	0,4650	3,641	0,176	3,23
6,7	0,594	0,0404	3,559	0,230	5,63
8,6	0,494	-0,1363	3,618	0,193	3,89
11,1	0,299	-2,4321	3,697	0,127	1,65
14,9	0,562	2,6419	3,469	0,277	8,39
16,6	0,777	-1,7771	3,278	0,357	14,77
18,4	0,453	2,8881	3,548	0,236	5,96
22,3	0,728	2,8387	3,442	0,290	9,25
41,0	0,499	-1,4863	3,541	0,240	6,17
81,9	0,106	-3,0464	3,749	0,047	0,22

Tabela 5.9. Cykle szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Krakowie (1792-1986)
 Table 5.9. The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Krakow (1792-1986)

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
5,6	0,301	-0,9816	2,056	0,171	2,87
6,0	0,474	1,5584	1,996	0,240	5,82
7,7	0,489	-2,8885	2,001	0,235	5,57
9,3	0,479	0,2112	2,003	0,233	5,47
11,7	0,200	2,8979	2,078	0,137	1,83
12,7	0,432	-1,0051	1,995	0,241	5,88
33,1	0,625	-0,6216	1,901	0,320	10,89
56,8	0,389	-2,8697	2,023	0,212	4,47
105,5	0,052	0,9584	2,106	0,074	0,53
159,6	0,072	-2,5822	2,117	0,019	0,03

Tabela 5.10. Cykle szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) na Pomorzu Wschodnim (996-1985)
 Table 5.10. The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in East Pomeranian (996-1985)

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
13,0	1,808	-1,6366	194,811	0,093	4,29
19,0	2,192	-1,6215	194,255	0,107	5,72
23,0	3,292	0,2481	190,947	0,168	14,37
33,0	2,408	1,6707	193,377	0,126	7,99
42,0	2,944	-0,6249	190,755	0,171	14,88
48,0	1,883	0,8087	193,558	0,122	7,52
58,0	1,842	-2,1238	194,800	0,093	4,32
81,0	1,001	-2,5787	195,854	0,058	1,64
169,0	0,334	-0,1840	196,456	0,016	0,13

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ϵ^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ϵ^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 5.11. Cykle szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) na Pomorzu Wschodnim (996-1500)

Table 5.11. The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in East Pomeranian (996-1500)

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
12,0	3,111	-2,7818	219,594	0,144	5,35
23,0	4,216	0,4074	214,730	0,206	11,16
31,0	2,708	1,4337	220,317	0,133	4,51
33,0	3,604	2,1721	213,595	0,218	12,55
36,0	1,664	-0,1726	220,849	0,124	3,90
42,0	4,353	-0,7721	211,420	0,239	15,26
46,0	4,001	0,6182	213,046	0,224	13,23
58,0	1,974	-1,7743	220,257	0,134	4,58
103,0	1,038	1,4216	223,743	0,049	0,60
175,0	0,512	1,2408	224,138	0,025	0,16

Tabela 5.12. Cykle szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) na Pomorzu Wschodnim (1500-1985)

Table 5.12. The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in East Pomeranian (1500-1985)

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
17,0	3,077	3,0706	162,658	0,172	7,0903
19,0	2,906	-1,7712	163,087	0,164	6,4734
25,0	4,480	0,3622	158,266	0,236	13,4062
34,0	3,361	-2,4123	161,689	0,188	8,4838
44,0	2,135	-1,4757	164,967	0,125	3,7698
53,0	1,170	-1,3356	166,793	0,069	1,1440
78,0	0,752	-1,6931	167,349	0,038	0,3444
230,0	0,458	-2,7515	167,479	0,026	0,1575

Tabela 5.13. Cykle szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Poznaniu (1836-1985)

Table 5.13. The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Poznań (1836-1985)

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
4,0	0,509	-2,0050	2,820	0,218	3,68
8,0	0,587	-3,0949	2,813	0,223	3,87
12,0	0,370	-2,1024	2,904	0,138	1,43
15,0	0,426	0,9522	2,830	0,210	3,40
20,0	0,661	-0,9498	2,715	0,288	6,68
24,0	0,375	0,0260	2,879	0,166	2,09
41,0	0,468	-0,9354	2,802	0,231	4,18
60,0	0,484	1,6402	2,788	0,241	4,57

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ϵ^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ϵ^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 5.14. Cykle szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) na Roztoczu (1872-1988)
 Table 5.14. The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Roztocze (1872-1988)

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
9,0	0,405	2,9596	5,088	0,145	2,18
13,0	0,781	-2,7434	4,847	0,259	7,36
18,0	0,513	-2,8336	4,974	0,207	4,56
22,0	0,501	-1,9887	5,002	0,194	3,97
26,0	0,838	0,0959	4,826	0,267	7,83
34,0	0,822	2,0028	4,729	0,300	10,09
53,0	1,071	0,9470	4,510	0,363	15,53
86,0	0,615	-0,2323	5,052	0,167	2,92
114,0	0,277	0,0723	5,082	0,149	2,30

Tabela 5.15. Cykle szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Suwałkach (1861-1986)
 Table 5.15. The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Suwałki (1861-1986)

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
4,0	0,294	-1,3553	2,683	0,133	1,11
7,0	0,477	2,2258	2,602	0,218	3,06
13,0	0,505	-2,1464	2,61	0,211	2,86
16,0	0,629	-1,3892	2,417	0,339	8,00
22,0	0,726	-1,1622	2,434	0,330	7,51
29,0	0,976	0,9420	2,228	0,429	13,90
78,0	0,393	1,1803	2,676	0,142	1,27

Tabela 5.16. Cykle szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Toruniu (1713-1986)
 Table 5.16. The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Toruń (1713-1986)

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
8,0	0,240	0,5831	2,805	0,105	1,52
11,0	0,281	-2,9194	2,795	0,121	2,01
15,0	0,403	0,7099	2,755	0,169	4,00
19,0	0,290	-1,6087	2,778	0,144	2,85
21,0	0,300	2,4508	2,781	0,140	2,70
28,0	0,705	0,8192	2,553	0,316	15,04
34,0	0,613	1,1260	2,563	0,310	14,46
142,0	0,044	-2,1986	2,834	0,029	0,12

Tabela 5.17. Cykle szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Warszawie (1690-1984)
 Table 5.17. The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Warsaw (1690-1984)

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
4,1	0,244	0,0653	2,447	0,112	1,84
8,3	0,461	-2,0535	2,373	0,206	6,45
11,1	0,286	0,2940	2,44	0,124	2,27
17,0	0,583	-2,9512	2,307	0,263	10,81
21,8	0,462	-1,3288	2,361	0,217	7,23
31,9	0,635	-0,9609	2,298	0,269	11,43
59,5	0,410	1,1847	2,401	0,176	4,68

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ϵ^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ϵ^2 – rest variance, R – correlation coefficient

Tabela 5.18. Cykle szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) na Wolinie (1554-1986)
 Table 5.18. The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Wolin (1554-1986)

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
11,0	2,476	0,5664	224,704	0,123	3,31
15,0	4,130	1,6402	219,533	0,194	8,45
19,0	5,333	-0,8299	212,435	0,263	15,91
28,0	2,609	2,7790	224,139	0,133	3,86
32,0	1,764	1,3101	226,145	0,094	1,92
45,0	1,945	-0,6797	226,370	0,089	1,70
52,0	4,035	-0,0067	219,981	0,189	7,99
93,0	0,753	0,9204	228,016	0,025	0,14

Tabela 5.19. Cykle szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) we Wrocławiu (1727-1986)
 Table 5.19. The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Wrocław (1727-1986)

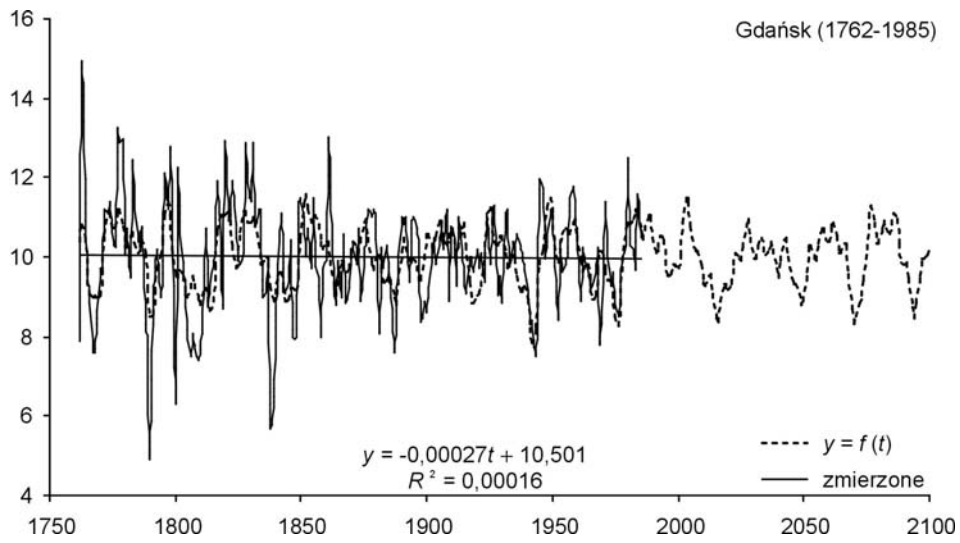
Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
4,0	0,5	2,9401	2,8810	0,186	4,60
7,7	0,4	2,3678	2,8930	0,175	4,05
9,5	0,6	2,2316	2,7310	0,291	11,92
10,4	0,4	1,5312	2,8490	0,213	6,10
11,0	0,2	2,2291	2,9370	0,126	2,07
11,6	0,4	3,0850	2,9060	0,162	3,46
19,5	0,5	-3,1230	2,8360	0,223	6,72
53,6	0,3	1,1450	2,9340	0,130	2,20
72,9	0,2	-1,1569	2,9450	0,115	1,71

Tabela 5.20. Cykle szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Zielonej Górze (1774-1986)
 Table 5.20. The cycles of tree ring widths of oaks (*Quercus petraea*) in Zielona Góra (1774-1986)

Θ	b	c	ϵ^2	R	$F_{obl.}$
8,6	0,890	-0,6003	5,739	0,254	7,22
16,7	0,767	-2,7046	5,816	0,227	5,73
23,6	0,684	-0,6885	5,946	0,175	3,31
24,9	0,856	-1,8721	5,945	0,175	3,33
33,7	0,545	1,0997	5,912	0,190	3,93
43,5	0,820	0,5332	5,602	0,294	9,96
59,4	0,909	1,3803	5,432	0,338	13,56
92,9	0,425	0,8715	5,877	0,204	4,58

Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, ϵ^2 – wariancja resztkowa, R – współczynnik korelacji
 Θ – period, b – amplitude, c – phase delay, ϵ^2 – rest variance, R – correlation coefficient

5. Prognoza zmian rocznych szerokości słoje dębów w Polsce w XXI wieku

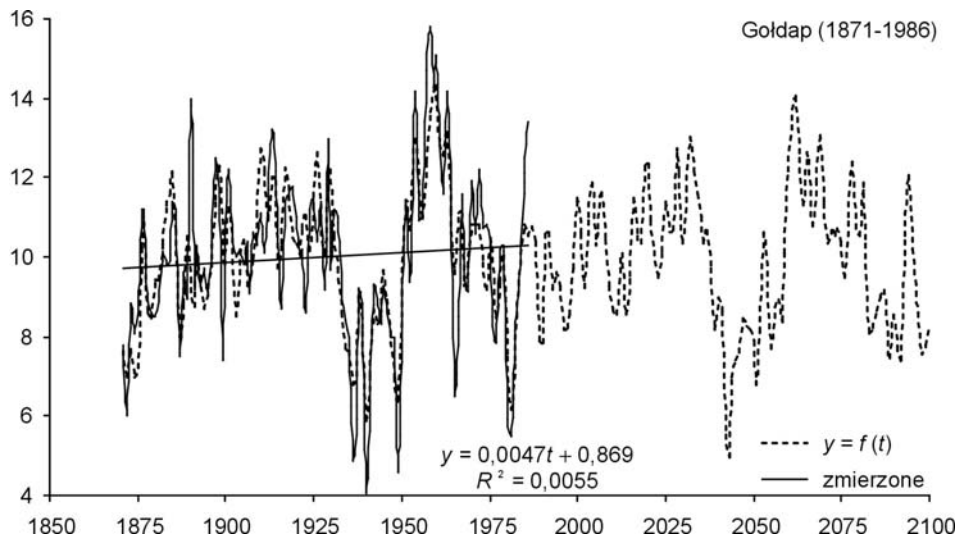


Rys. 5.28. Zmiany szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Gdańsku (1762-1985)

R^2 – współczynnik determinacji

Fig. 5.28. Changes of oaks (*Quercus petraea*) tree ring widths in Gdańsk (1762-1985)

R^2 – determination coefficient

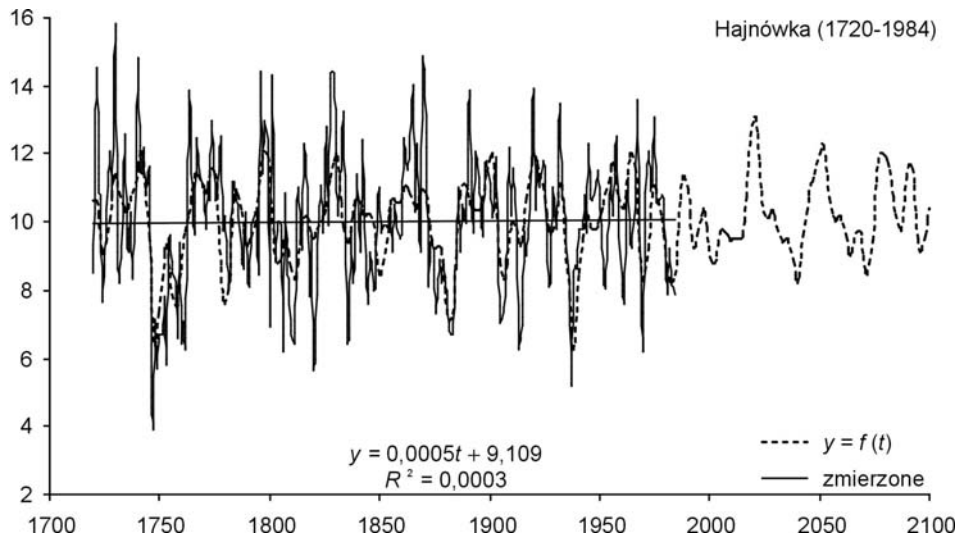


Rys. 5.29. Zmiany szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Gołdapi (1871-1986)

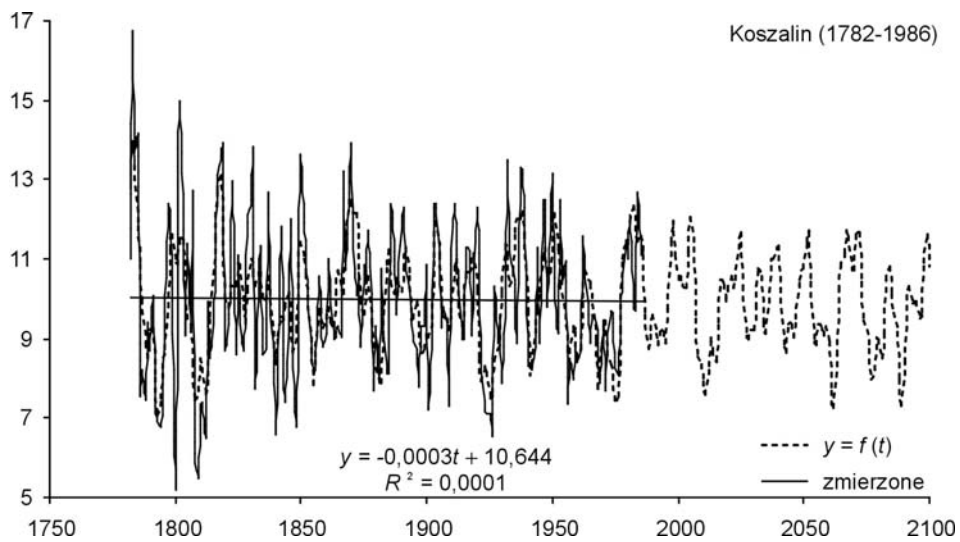
R^2 – współczynnik determinacji

Fig. 5.29. Changes of oaks (*Quercus petraea*) tree ring widths in Gołdapia (1871-1986)

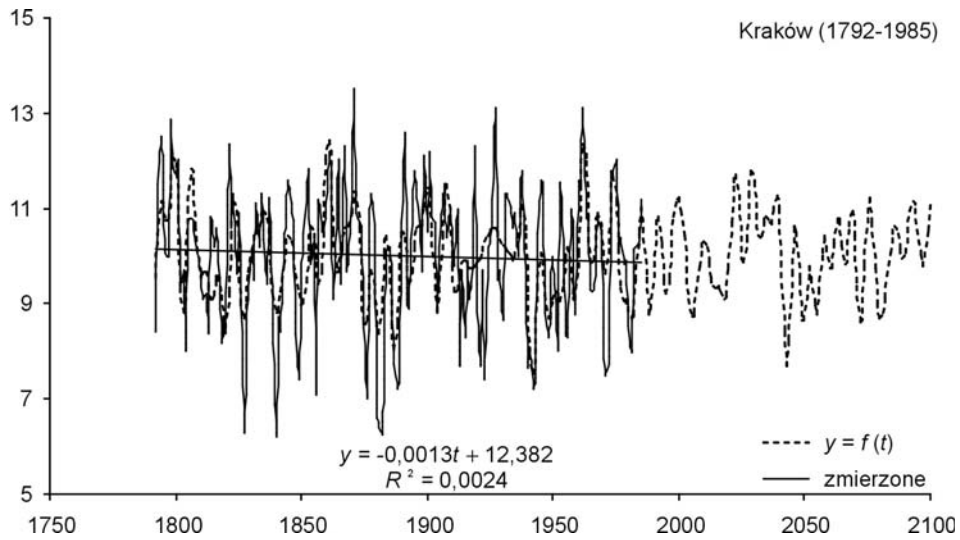
R^2 – determination coefficient



Rys. 5.30. Zmiany szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Hajnówce (1720-1984)
 R^2 – współczynnik determinacji
 Fig. 5.30. Changes of oaks (*Quercus petraea*) tree ring widths in Hajnówka (1720-1984)
 R^2 – determination coefficient

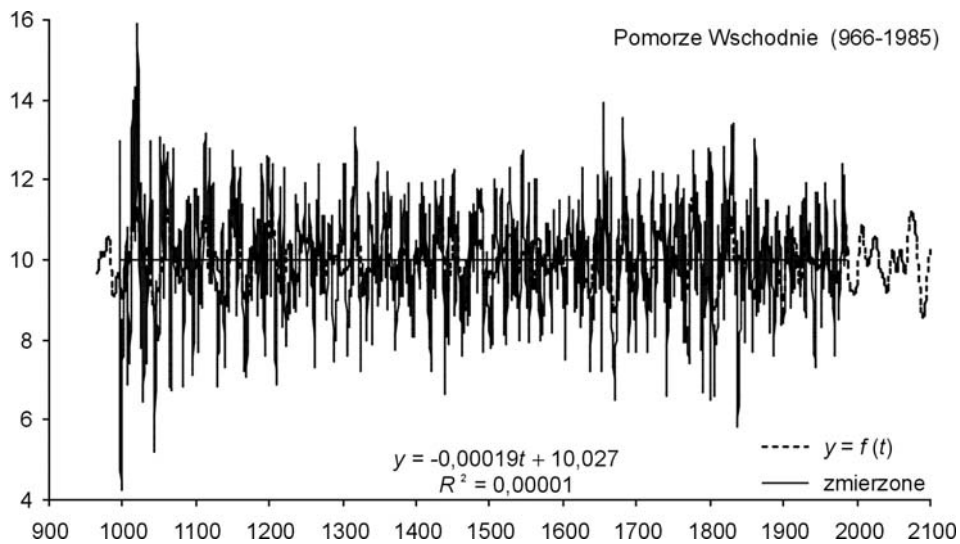


Rys. 5.31. Zmiany szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Hajnówce (1782-1986)
 R^2 – współczynnik determinacji
 Fig. 5.31. Changes of oaks (*Quercus petraea*) tree ring widths in Hajnówka (1782-1986)
 R^2 – determination coefficient



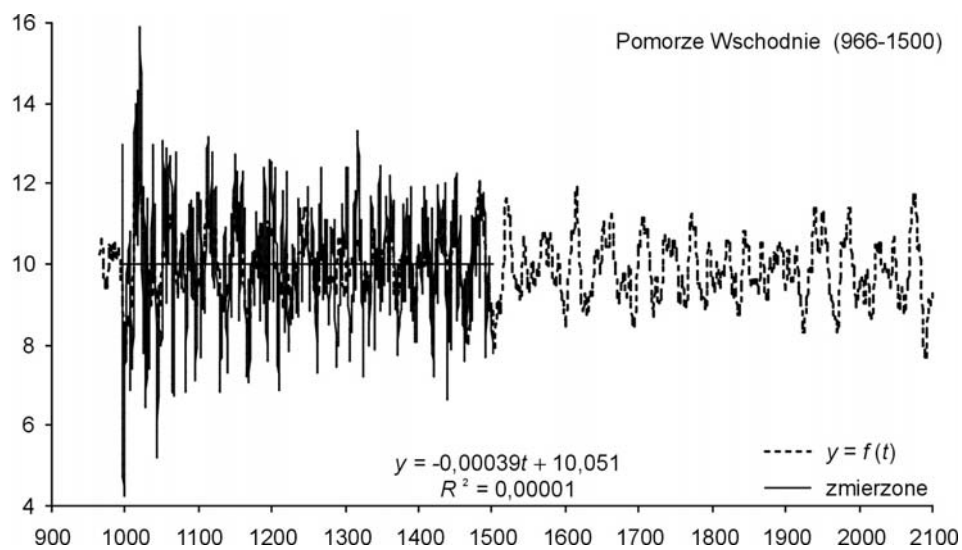
Rys. 5.32. Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Krakowie (1792-1985)
 R^2 – współczynnik determinacji

Fig. 5.32. Changes of oaks (*Quercus petraea*) tree ring widths in Krakow (1792-1985)
 R^2 – determination coefficient



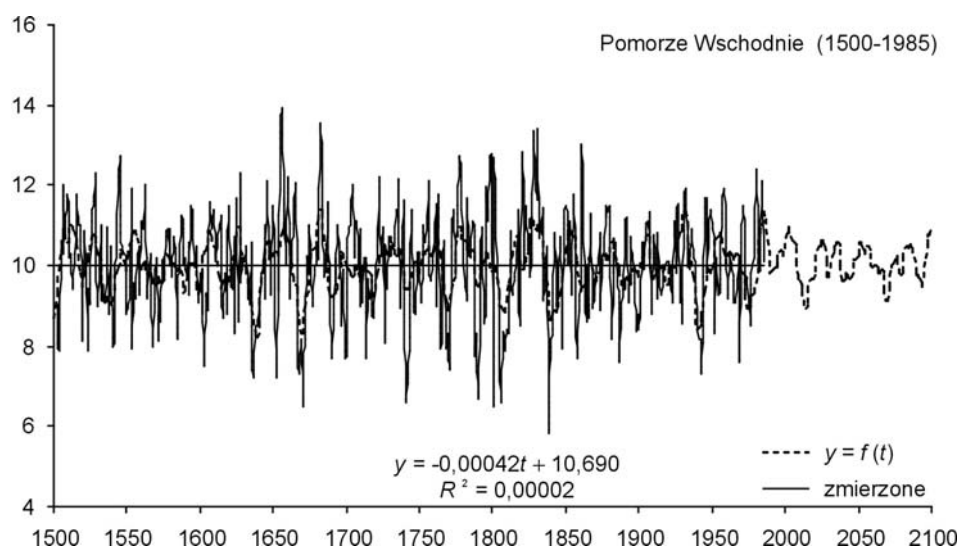
Rys. 5.33. Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) na Pomorzu Wschodnim (996-1985)
 R^2 – współczynnik determinacji

Fig. 5.33. Changes of oaks (*Quercus petraea*) tree ring widths in East Pomeranian (996-1985)
 R^2 – determination coefficient



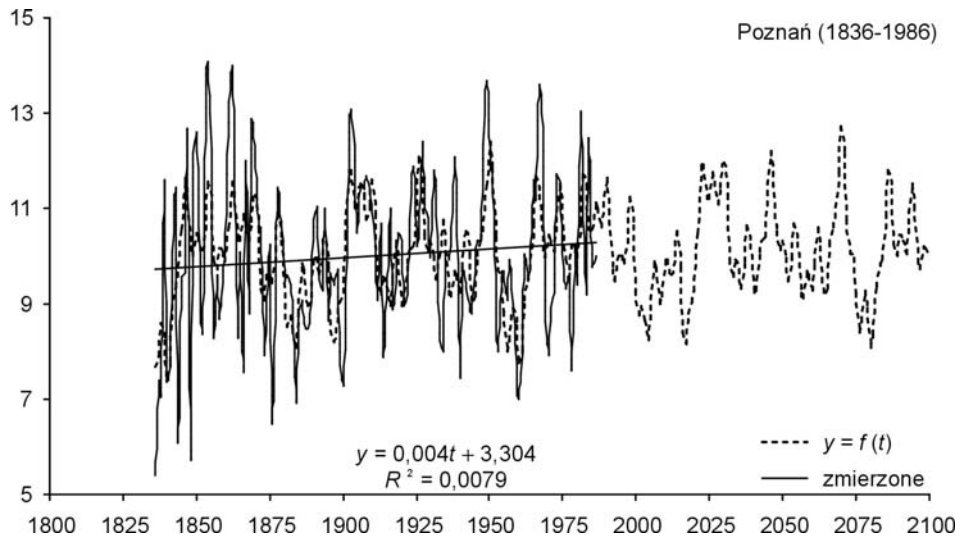
Rys. 5.34. Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) na Pomorzu Wschodnim (996-1500)
 R^2 – współczynnik determinacji

Fig. 5.34. Changes of oaks (*Quercus petraea*) tree ring widths in East Pomeranian (996-1500)
 R^2 – determination coefficient

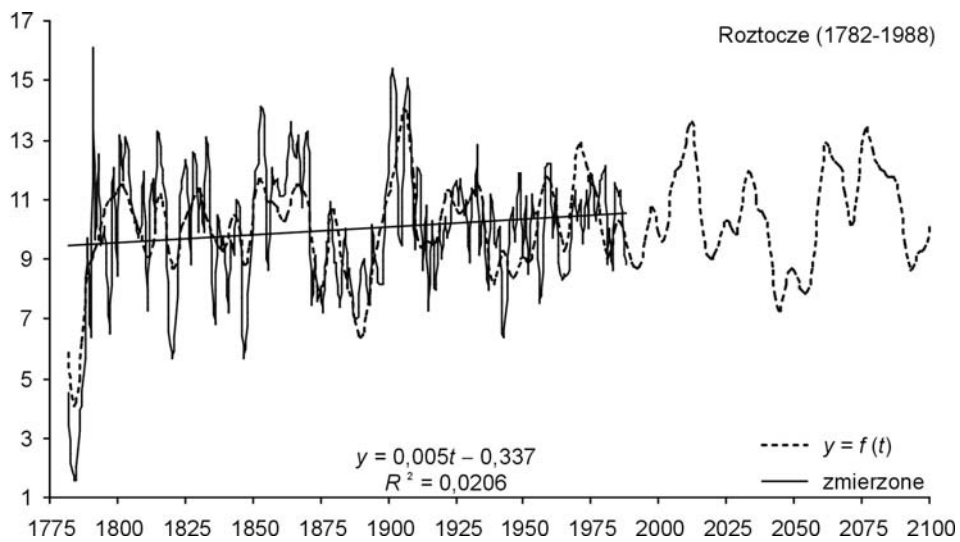


Rys. 5.35. Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) na Pomorzu Wschodnim (1500-1985)
 R^2 – współczynnik determinacji

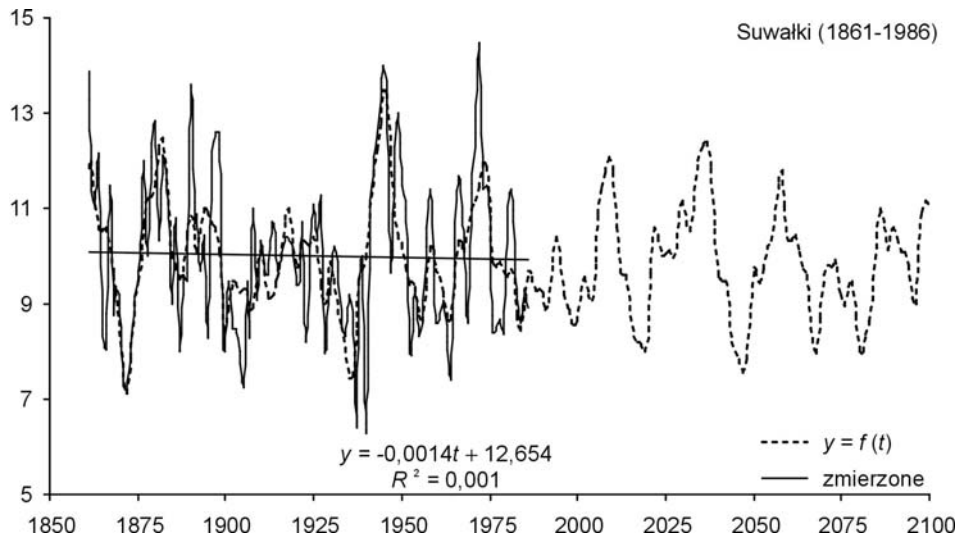
Fig. 5.35. Changes of oaks (*Quercus petraea*) tree ring widths in East Pomeranian (1500-1985)
 R^2 – determination coefficient



Rys. 5.36. Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Poznaniu (1836-1986)
 R^2 – współczynnik determinacji
 Fig. 5.36. Changes of oaks (*Quercus petraea*) tree ring widths in Poznań (1836-1986)
 R^2 – determination coefficient

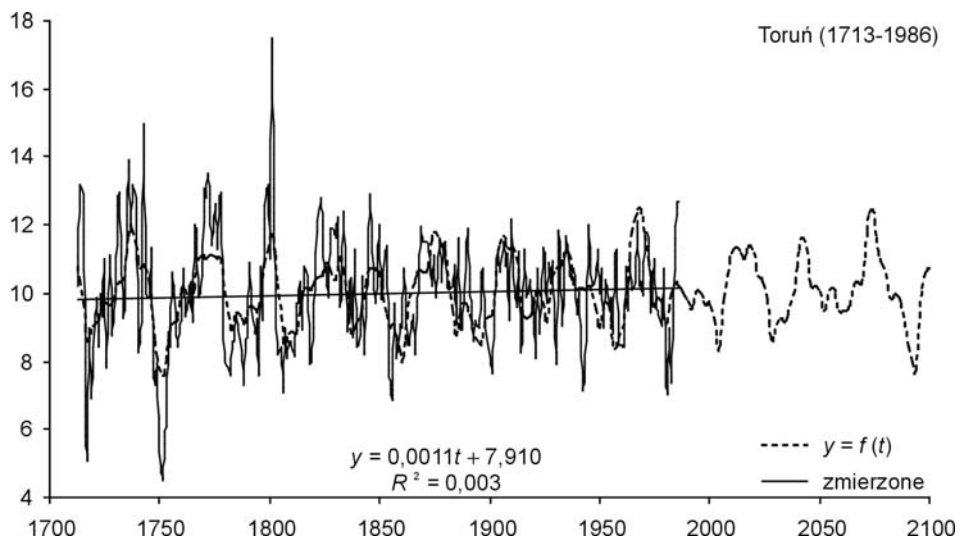


Rys. 5.37. Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) na Roztoczu (1872-1988)
 R^2 – współczynnik determinacji
 Fig. 5.37. Changes of oaks (*Quercus petraea*) tree ring widths in Roztocze (1872-1988)
 R^2 – determination coefficient



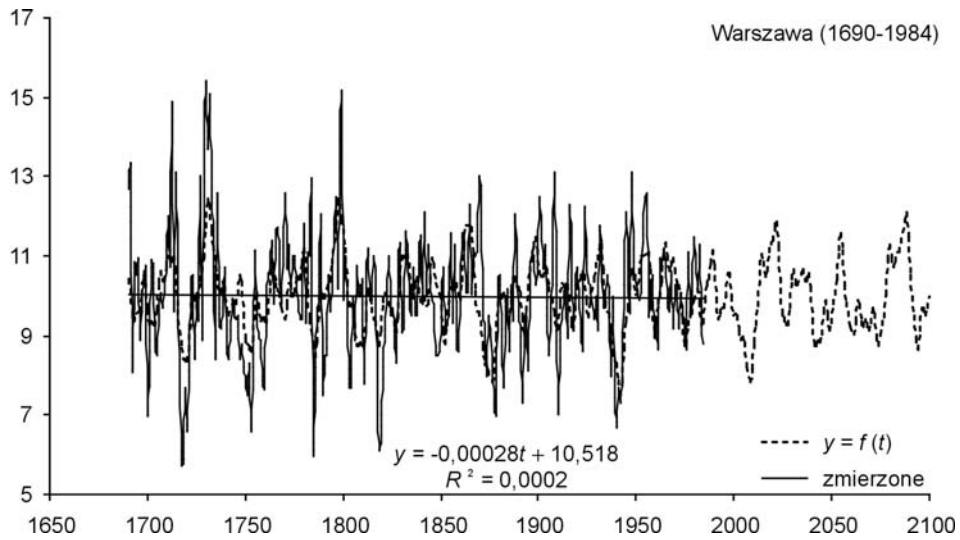
Rys. 5.38. Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Suwałkach (1861-1986)
 R^2 – współczynnik determinacji

Fig. 5.38. Changes of oaks (*Quercus petraea*) tree ring widths in Suwałki (1861-1986)
 R^2 – determination coefficient



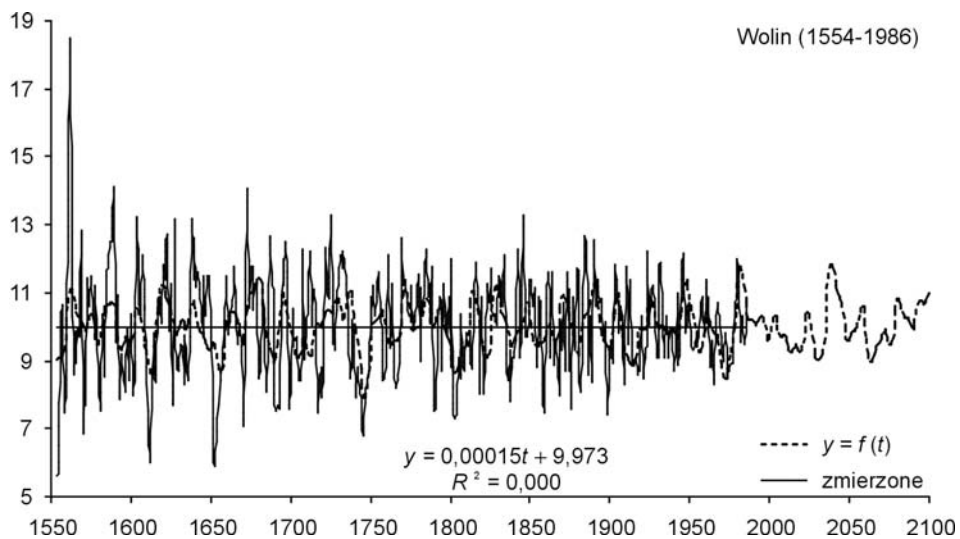
Rys. 5.39. Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Toruniu (1713-1986)
 R^2 – współczynnik determinacji

Fig. 5.39. Changes of oaks (*Quercus petraea*) tree ring widths in Toruń (1713-1986)
 R^2 – determination coefficient



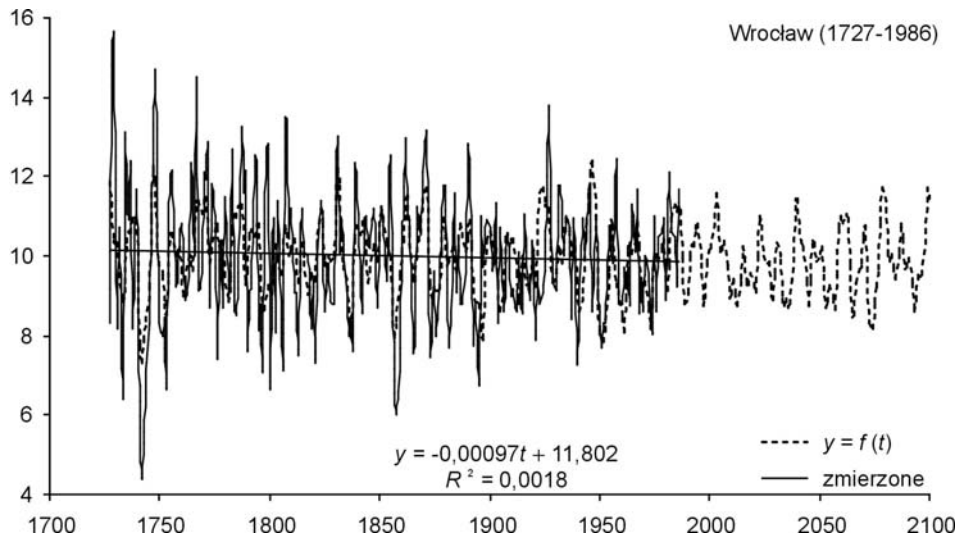
Rys. 5.40. Zmiany szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) w Warszawie (1690-1984)
 R^2 – współczynnik determinacji

Fig. 5.40. Changes of oaks (*Quercus petraea*) tree ring widths in Warsaw (1690-1984)
 R^2 – determination coefficient

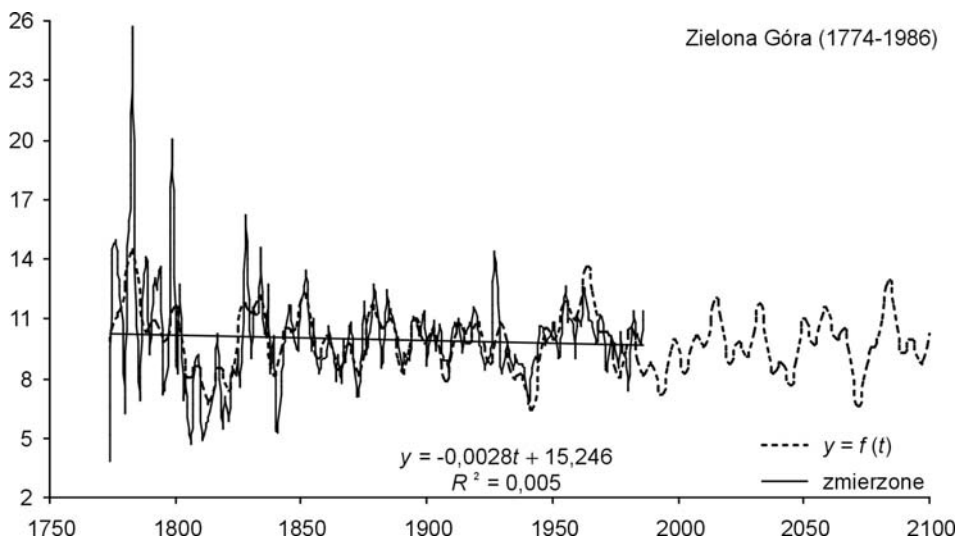


Rys. 5.41. Zmiany szerokości słoje dębu (*Quercus petraea*) na Wolinie (1554-1985)
 R^2 – współczynnik determinacji

Fig. 5.41. Changes of oaks (*Quercus petraea*) tree ring widths in Wolin (1554-1985)
 R^2 – determination coefficient



Rys. 5.42. Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) we Wrocławiu (1727-1986)
 R^2 – współczynnik determinacji
 Fig. 5.42. Changes of oaks (*Quercus petraea*) tree ring widths in Wrocławiu (1727-1986)
 R^2 – determination coefficient



Rys. 5.43. Zmiany szerokości słoju dębu (*Quercus petraea*) w Zielonej Górze (1774-1986)
 R^2 – współczynnik determinacji
 Fig. 5.43. Changes of oaks (*Quercus petraea*) tree ring widths in Zielona Góra (1774-1986)
 R^2 – determination coefficient

Uwaga. Szerokość słoju dębów podano w 0,1 mm.
 Źródło danych: <http://www.ncdn.noaa.gov/paleo/treering.htm>

VI. ROLA CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ W KSZTAŁTOWANIU OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH I STANÓW WODY RZEKI GÓRSKIEJ

Życie oraz działalność człowieka zależą się od otaczającego go środowiska przyrodniczego, którego jednym z głównych elementów jest klimat. *Klimat jest zespołem zjawisk i procesów atmosferycznych charakterystycznych dla danego obszaru, kształtujący się pod wpływem jego właściwości fizycznych i geograficznych, określane na podstawie wieloletnich obserwacji.* Kształtują go głównie procesy fizyczne: promieniowanie słoneczne, cyrkulacja atmosferyczna i obieg wilgoci. O jego zróżnicowaniu przestrzennym decydują m.in.: szerokość geograficzna, wysokość nad poziom morza, różnice temperatury między lądami i morzami, morfologia terenu, usytuowanie wobec prądów oceanicznych. Istotny wpływ mają również erupcje wulkaniczne determinujące stężenie pyłów w atmosferze. Ponadto, narasta niekorzystny wpływ działalności człowieka na powierzchnię Ziemi i jej atmosferę, co w konsekwencji prowadzi do nieodwracalnych zmian klimatycznych lokalnych i globalnych.

Postęp techniki pomiarowej, obliczeniowej oraz metod badawczych, doprowadził do dużych osiągnięć w zakresie poznania klimatu, czynników, które go kształtują oraz jego wpływu na otaczające środowisko. Jednak dokładne scharakteryzowanie wszystkich mechanizmów i zależności pomiędzy elementami klimatu oraz opisanie i modelowanie ich wpływu na środowisko jest trudne. Badania koncentrują się najczęściej wokół najbardziej znanych fizycznych czynników determinujących analizowane zjawiska i procesy, np. oddziaływania Słońca i zmiennego wulkanizmu Ziemi na układy baryczne, temperaturę powietrza, opady atmosferyczne, itp. Dotyczą one również określenia wpływu stężenia CO₂ na zmiany klimatu. Uzyskanie wiarygodnych wyników badań, wymaga przede wszystkim posiadania długich, jednorodnych ciągów pomiarów.

Trudnym zadaniem jest opracowanie prognoz zmiennych klimatologicznych i hydrologicznych, uwzględniających tendencje i okresy zmian. Przewidywanie zdarzeń ekstremalnych ma szczególne znaczenie gospodarcze, inżynierskie i związane jest często z bezpieczeństwem ludzi (np. powodzie, okresy suszy). W zakresie rozpoznania omawianych mechanizmów oddziaływania konieczne jest doskonalenie stosowanych metod matematycznych oraz wykorzystanie informacji uzyskanych na podstawie coraz bardziej precyzyjnych instrumentów monitoringu środowiska. Stanowić to może zasadniczą podstawę np. opracowania prawidłowych koncepcji sterowania zasobami wodnymi.

1. Cel, tezy i zakres pracy

W rozprawie podjęto badania nad wpływem cyrkulacji atmosferycznej na kształtowanie się opadów atmosferycznych na obszarze wybranej zlewni karpackiej rzeki Skawy, które warunkują zmienność stanów wody w jej przekrojach wodowskazowych.

Określono ponadto wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (*NAO*) na zmienność układów barycznych oraz zależność cyrkulacji atmosferycznej, opadów i stanów wody w zlewni górskiej od aktywności Słońca (liczb Wolfa). Prowadzona analiza zmienności szeregów czasowych ukierunkowana została m.in. na określenie tendencji, korelacji zmiennych, a także wyodrębnienia składników okresowo zmiennych. Jej efektem są prognozy zmienności sum opadów atmosferycznych i stanów wody do roku 2025.

Po przeprowadzeniu studium dostępnych danych oraz pozycji literaturowych w zakresie prezentowanej problematyki, sformułowano następujące cele pracy:

- określenie wpływu cyrkulacji atmosferycznej (w tym Oscylacji Północnoatlantyckiej – *NAO*) na pole opadów atmosferycznych i stany wody w korycie rzeczonym zlewni karpackiej na przykładzie rzeki Skawy;
- wykazanie analogicznej okresowości zmiennych klimatologicznych (opady, cyrkulacja atmosferyczna), hydrologicznych (stany wody w korycie rzeczonym) i astronomicznych (aktywność Słońca) oraz znalezienie istotnych statystycznie zależności regresyjnych stanów wody od cyrkulacji atmosferycznej.

Główną tezą pracy jest stwierdzenie: „opady atmosferyczne i stany wody w korytach rzek zlewni karpackiej są kształtowane przez okresowe zmiany cyrkulacji atmosferycznej (zależnej od zmian Oscylacji Północnoatlantyckiej – *NAO*), a ich przyczyną są cykliczne zmiany aktywności Słońca”.

Uzasadnienia postawionej tezy poszukiwano poprzez:

- porównanie widm (okresów) wszystkich zmiennych wyznaczonych metodą „sinusoid regresji”;
- zastosowanie metody regresji liniowej stanów wody względem zmiennych klimatologicznych i astronomicznych.

Istotne znaczenie poznawcze i praktyczne ma wykrycie deterministycznych składników, w tym cyklicznych, w ciągach chronologicznych sum opadów atmosferycznych oraz średnich i ekstremalnych stanów wody w niektórych posterunkach pomiarowych zlewni karpackiej. Synchroniczne cykle Oscylacji Północnoatlantyckiej, opadów atmosferycznych i stanów wody w badanej zlewni umożliwiły prognozowanie poziomu wody w rzece górskiej na podstawie wypadkowej interferencji wykrytych cykli, tj. funkcji trendu czasowego.

2. Cechy fizyczno-geograficzne badanej zlewni karpackiej

2.1. Położenie geograficzne zlewni, układ dorzecza

Rzeka Skawa stanowi prawy karpacki dopływ Wisły o długości 96,4 km. Jej zlewnia zajmuje obszar 1160,1 km², co stanowi 2,29% powierzchni dorzecza górnej Wisły. Źródła rzeki znajdują się w Beskidzie Żywieckim, na wys. ok. 680 m n.p.m., zaś jej ujście w 21 km biegu Wisły, na wys. ok. 225 m n.p.m., na obszarze Kotliny Oświęcimskiej. Skawa wykazuje na przeważającej długości górski charakter. Pod względem administracyjnym, obszar jej zlewni leży na terenie województwa małopolskiego.

Jedyną znaczącą inwestycją hydrotechnicznej zabudowy koryta Skawy jest realizowany zbiornik Świnna Poręba, który ma zapewnić retencję ok. 160 mln m³ wody oraz redukcję fali powodziowej na Skawie i Wiśle.

2.2. Warunki klimatyczne zlewni

Obszar zlewni rzeki Skawy zlokalizowany jest w zdecydowanej swej części na obszarze polskiej części Karpat Zachodnich. Warunki klimatyczne panujące w zlewni mają zatem w przeważającej mierze charakter górski. W ciągu roku przeważa napływ mas powietrza polarno-morskiego (ok. 65% dni roku), polarno-kontynentalnego (20%), arktycznego (6%) oraz zwrotnikowego (3%). Charakterystyczne są opadające po stronie północnej stoków Karpat, porywiste masy ciepłego powietrza zwane wiatrem halnym. Równoleżnikowy układ Karpat Zachodnich zatrzymuje cieplejsze masy powietrza zdążającego z południa i południowego-wschodu, natomiast masy cieplejszego powietrza z południowego-zachodu przepływają dość swobodnie przez szerokie obniżenie Bramy Morawskiej, przynosząc najczęściej opady.

Zróznicowanie zachmurzenia i usłonecznienia w poszczególnych piętrach wysokościowych różnicuje bilans promieniowania słonecznego.



Rys. 6.1. Wybrane stacje pomiarowe na obszarze zlewni rzeki Skawy
Fig. 6.1. Selected gauging stations in the Skawa river basin

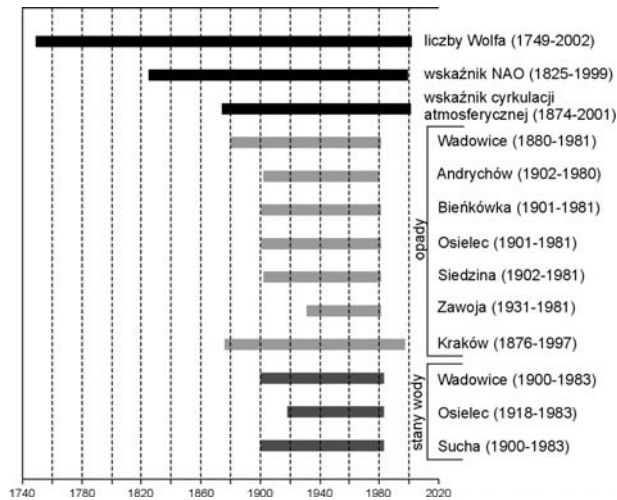
Charakterystyczne są znaczne kontrasty termiczne na stokach w zależności od ich ekspozycji oraz nierzadkie silne inwersje temperatury w dolinach śródgórskich w sezonie zimowo-wiosennym i okresy nagłych odwilży w sezonie jesienno-zimowym.

Ilość opadów atmosferycznych wzrasta wraz z wysokością n.p.m. Średni pionowy gradient sum rocznych opadów atmosferycznych wynosi około 60 mm/100 m. Obfite

opady występują późną wiosną i wczesnym latem, największe dobowe opady występują w czerwcu i lipcu. Liczba dni z pokrywą śnieżną wynosi średnio 70-120. Średnie roczne sumy parowania terenowego kształtują się w granicach 400-600 mm.

2.3. Dane empiryczne

Poniżej zestawiono przedziały czasowe zgromadzonych danych wykorzystanych w badaniach. Ciągi chronologiczne cechują się różną długością.



Rys. 6.2. Charakterystyka uwzględnionych w pracy ciągów chronologicznych aktywności Słońca, wskaźnika *NAO*, wskaźników cyrkulacji atmosferycznej, opadów atmosferycznych i stanów wody
 Fig. 6.2. Characteristics of chronological sequences of solar activity, *NAO* index, atmospheric circulation index, precipitation and water levels

Uzupełnienia ciągów sum miesięcznych opadów atmosferycznych w wybranych stacjach pomiarowych dokonano z wykorzystaniem metody ilorazów, natomiast w celu uzupełnienia zbioru danych obserwacji wodowskazowych, obliczono brakujące elementy w oparciu o metodę różnic.

Rozpoznanie dostępnych materiałów dotyczących zgromadzonych danych pomiarowych wykazało skąpość informacji historycznych związanych ze zmiennością czynników mogących mieć wpływ na jednorodność ciągów w sensie genetycznym (np. zmiana lokalizacji przyrządów pomiarowych, sposobu prowadzenia pomiarów, oddziaływanie zmian antropogenicznych, itp.). Dlatego też zastosowano nieparametryczny test rangowy Wilcoxon, który nie wymaga wstępnych założeń co do typu rozkładu badanych zmiennych losowych oraz nie ma innych ograniczeń.

Przeprowadzone obliczenia wskazują na niejednorodność ciągów wartości stanów wody, ze względu na malejący trend tych wartości, istotny statystycznie na poziomie 5%.

3. Empiryczne i teoretyczne rozkłady prawdopodobieństwa opadów atmosferycznych i stanów wody w rzece karpackiej

3.1. Wybór teoretycznych rozkładów prawdopodobieństwa

Z rozważań wyłączono ciągi wartości stanów wody, w przypadku których wykazano istotny statystycznie trend malejący tych wartości. Pozostałe serie danych zbadano pod względem dopasowania rozkładu teoretycznego, wybierając najczęściej stosowane w praktyce hydrologicznej i klimatologicznej, rozkłady jednowymiarowe: normalny, logarytmiczno-normalny, gamma oraz dwa, stosowane w odniesieniu do wartości ekstremalnych – Gumbela i Weibulla. Estymacji parametrów rozkładów dokonano parametryczną metodą momentów. Do weryfikacji postawionej hipotezy, że ciągi chronologiczne np. opadów atmosferycznych, pochodzą z populacji o estymowanym, teoretycznym rozkładzie prawdopodobieństwa, na poziomie istotności $\alpha = 5\%$, wykorzystano test zgodności λ Kołmogorowa. Natomiast wyboru najlepiej dopasowanego rozkładu teoretycznego dokonano w oparciu o informacyjne kryterium Akaike (AIC) dopasowania modelu statystycznego:

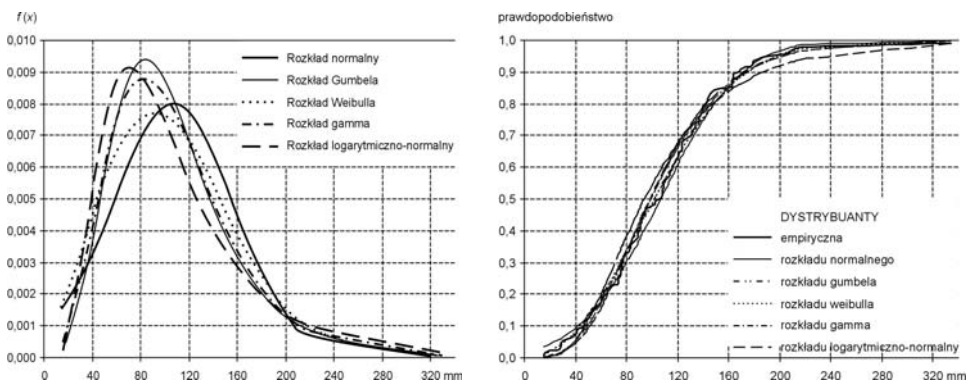
$$AIC = 2r - 2 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln f(x_i)$$

gdzie: r – liczba parametrów wybranego rozkładu, $f(x_i)$ – funkcja gęstości rozkładu.

Za najlepiej dopasowany rozkład uznano ten, dla którego wartość AIC była najmniejsza, przy tej samej liczbie parametrów porównywanych rozkładów.

3.2. Porównanie dystrybuant empirycznych i teoretycznych

Na rysunku 6.3 przedstawiono przykładowe dystrybuanty oraz funkcje gęstości prawdopodobieństwa wybranych rozkładów opadów atmosferycznych. Najlepiej dopasowane rozkłady teoretyczne prawdopodobieństwa badanych zmiennych (do ciągów wartości miesięcznych, sezonowych i rocznych) podano w tabeli 6.1.



Rys. 6.3. Rozkłady gęstości prawdopodobieństwa i dystrybuanty opadów atmosferycznych w Wadowicach, w czerwcu, w latach 1880-1981

Fig. 6.3. Distribution of probability density and distribution functions of precipitation in Wadowice in June 1880-1981

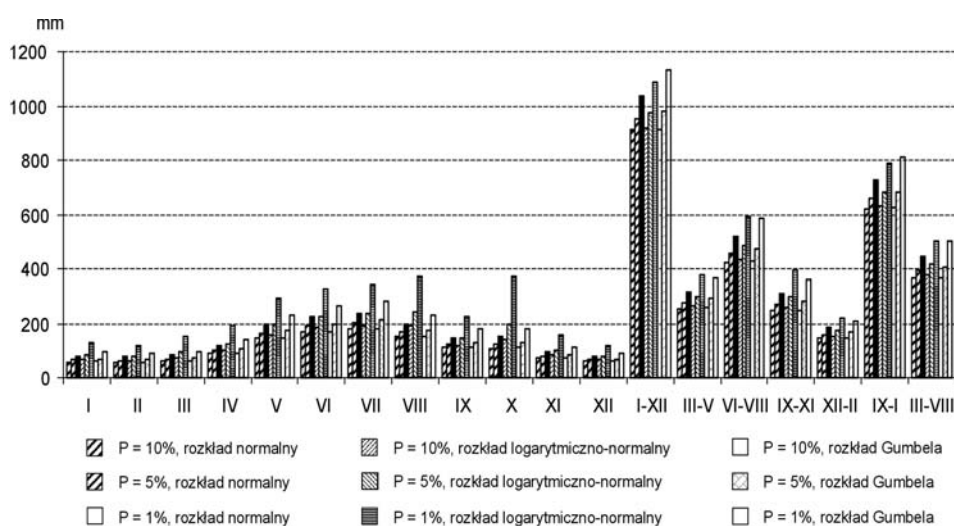
Tab. 6.1. Wyniki porównania dystrybuant empirycznych i teoretycznych rozkładów prawdopodobieństwa analizowanych zmiennych

Tab. 6.1. Results of comparisons between the distribution functions of empirical and theoretical probability distributions of the analysed variables

Rozkład prawdopodobieństwa	Zmienne
I. Normalny	wskaźniki cyrkulacji atmosferycznej, wartości sezonowe i roczne wskaźnika NAO oraz opadów atmosferycznych
II. Logarytmiczno-normalny	niektóre sezonowe i roczne sumy opadów atm.
Gumbela	wartości miesięczne wskaźnika NAO oraz opadów atmosferycznych, niektóre sezonowe i roczne sumy opadów
Weibulla	–
Gamma	liczby Wolfa

3.3. Wyznaczenie sum opadów o prawdopodobieństwie przewyższenia

Na rysunku 6.4 przedstawiono przykładowo zmienność kwantyli opadów atmosferycznych o rozkładzie normalnym, logarytmiczno-normalnym i Gumbela, o prawdopodobieństwie przewyższenia 10%, 5% i 1%.



Rys. 6.4. Przykład rocznych zmian kwantyli sum opadów atmosferycznych o prawdopodobieństwie przewyższenia 10%, 5% i 1%
 Fig. 6.4. Examples of annual changes in quantiles of precipitation sums with exceedance probability of 10%, 5% and 1%

4. Ekstrema i tendencje zmian opadów atmosferycznych i stanów wody w przekrojach wodowskazowych oraz ich uwarunkowania

Zmiany wieloletnie średnich rocznych liczb Wolfa, wskaźnika *NAO*, wskaźników cyrkulacji atmosferycznej, sum rocznych opadów atmosferycznych oraz średnich i ekstremalnych rocznych stanów wody w wybranych stacjach pomiarowych zlewni Skawy przedstawiają wykresy na rysunkach 6.5 i 6.6.

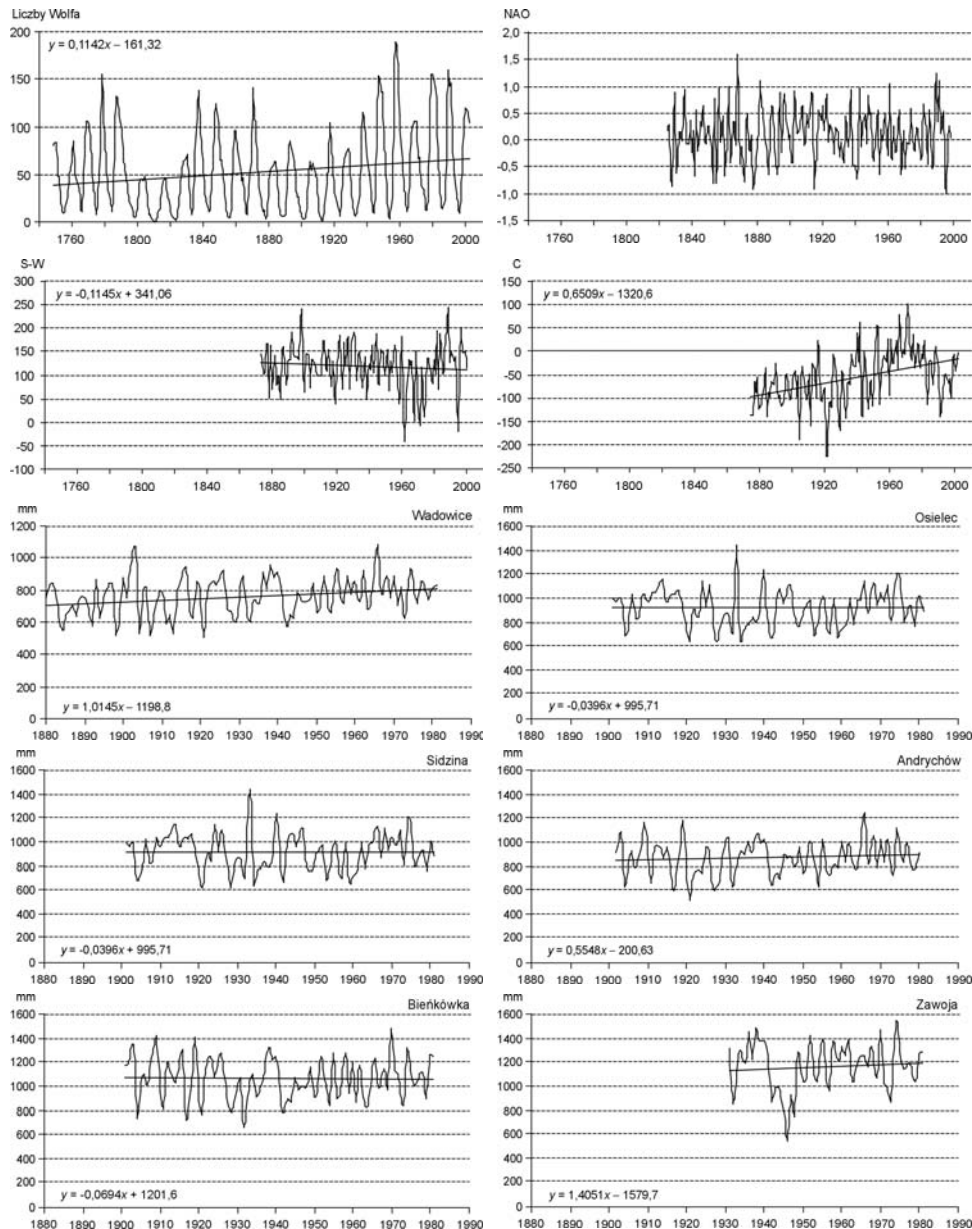
Wśród dostrzeżonych prawidłowości można wymienić najbardziej charakterystyczne:

- nieznaczny, ale systematyczny wzrost aktywności Słońca (liczb Wolfa) w XX wieku;
- rosnącą tendencję wartości wskaźnika *NAO* podczas zim, co skutkuje coraz cieplejszymi zimami na terenie Polski oraz nieznacznie malejącą tendencją *NAO* w okresie letnim, z czym związane są coraz cieplejsze lata, na skutek zmniejszającego się oddziaływania ochładzającego wód Atlantyku;
- istotny statystycznie na poziomie 5%, trend malejący stanów wody rzeki górskiej oraz równoczesny brak takiej tendencji w odniesieniu do ciągów sum opadów atmosferycznych oraz wskaźników cyrkulacji atmosferycznej wg klasyfikacji T. Niedźwiedzia, rozpatrywanych w analogicznych okresach czasu.

4.1. Przyczyny tendencji malejącej zmian stanów wody w rzece Skawie

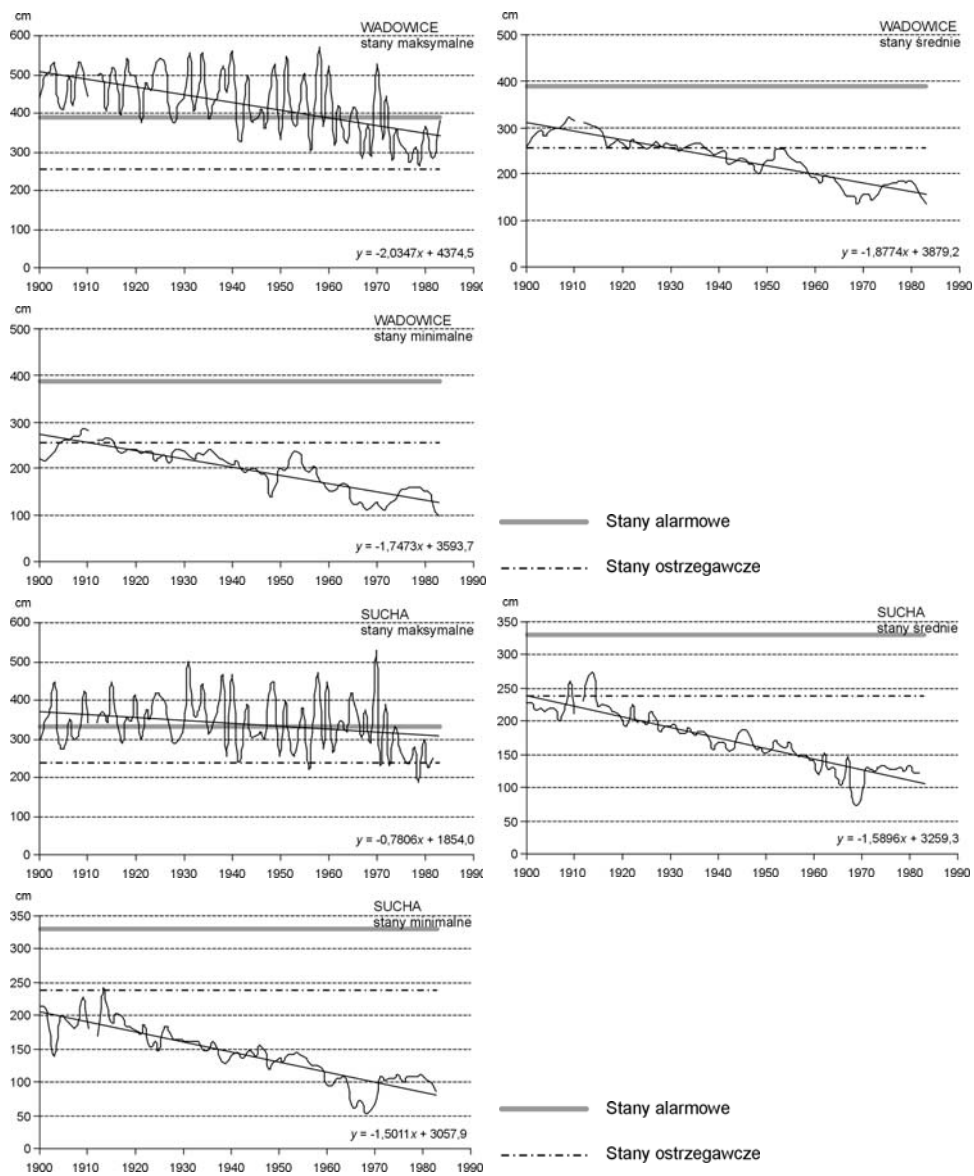
Górski charakter rzeki Skawy przejawia się dużą zmiennością przepływów w ciągu roku i ściśle z tym związaną niestabilnością dna koryta na skutek znacznego ruchu rumowiska zwłaszcza w okresie wezbrań. Tendencja malejąca stanów wody w badanym wieloleciu jest wynikiem erozji dennej i brzegowej koryta, które występują w rzekach karpackich. Skromna zabudowa hydrotechniczna Skawy ma niewielki wpływ na stany wody. Natomiast nie stwierdzono na wybranych stacjach pomiarowych zlewni, malejącego trendu średniej ilości opadów atmosferycznych w tym wieloleciu. Ponadto, wodowskazy w Wadowicach, Suchej i Osielcu, nie ulegały w okresie rozpatrywanego wielolecia dużym zmianom lokalizacyjnym, co nie miało znaczącego wpływu na odczyty stanów wody.

Istotną rolę w kształtowaniu stosunków wodnych w zlewni ma wzrastająca urbanizacja jej obszaru, powodując m.in. zmianę przepuszczalności gruntów, wzrost współczynników spływu jednostkowego, a w konsekwencji skracanie czasu koncentracji terenowej i dopływu do odbiorników. Szybszy spływ wód opadowych z obszarów zurbanizowanych wpływa na zmniejszenie się retencji zlewni, co powoduje dalej, mniejszy dopływ wód podziemnych do odbiorników w okresach braku opadów. Na zmniejszoną retencyjność zlewni wpływa też spadek zalesienia oraz gospodarka rolna.

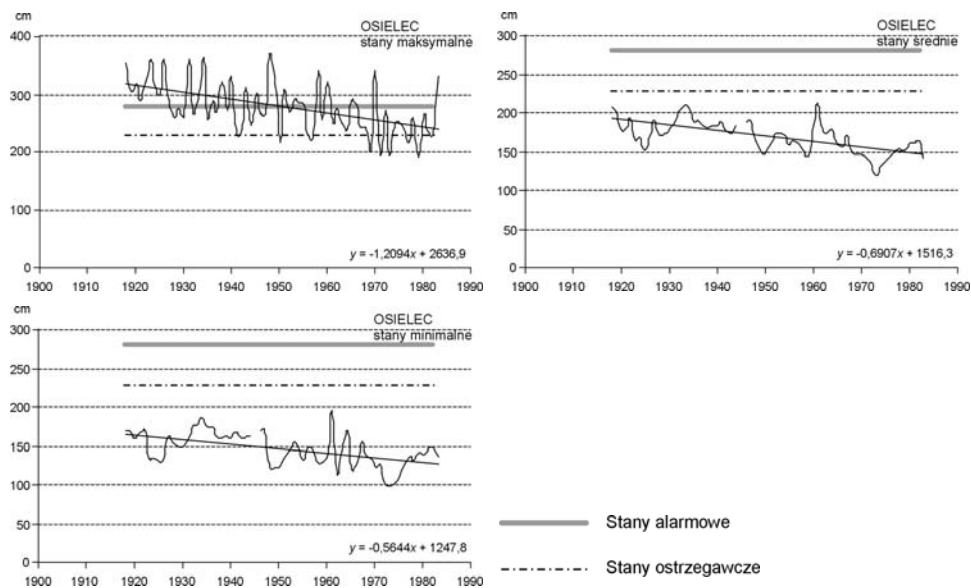


Rys. 6.5. Zmienność rocznych wartości liczb Wolfa (1749-2002), wskaźnika *NAO* (1825-1999), wskaźników cyrkulacji atmosferycznej (1874-2001), sum opadów atmosferycznych w Wadowicach (1880-1981), Osielcu (1901-1981), Sidzynie (1902-1981), Andrychowie (1902-1980), Bieńkówe (1901-1981) i Zawoi (1931-1981)

Fig. 6.5. Fluctuations of annual Wolf number values (1749-2002), *NAO* (1825-1999) and atmospheric circulation indices (1874-2001), precipitation sums in Wadowice (1880-1981), Osielec (1901-1981), Sidzina (1902-1981), Andrychów (1902-1980), Bieńkówka (1901-1981) and Zawoja (1931-1981)



Rys. 6.6. Zmienność średnich i ekstremalnych rocznych wartości stanów wody na wodowskazach w Wadowicach i Suchej w latach 1900-1983 oraz w Osielcu w latach 1918-1983
 Fig. 6.6. Fluctuations of mean and extreme annual water level values at watermarks in Wadowice and Sucha in 1900-1983 and in Osielec in 1918-1983



Cd. rys. 6.6.
Continuie fig. 6.6.

5. Okresowe zmiany opadów atmosferycznych i stanów wody w rzece górskiej oraz ich przyczyny

5.1. Metoda badania okresowości ciągów chronologicznych

W analizie okresowości wybranych zmiennych zastosowano metodę „sinusoid regresji” J. Boryczki – wyznaczania widm oscylacji. Wyjściową formułą jest równanie pojedynczej sinusoidy regresji:

$$y(t) = a + b \sin(\omega t + c)$$

gdzie:

- $\omega = 2\pi / \Theta$ – częstość;
- Θ – okres (lata);
- a – wyraz wolny;
- b – amplituda zmian;
- c – przesunięcie fazowe;
- t – zmienna czasowa (lata).

Przyjmując wartość okresu Θ , parametry a , b , c sinusoidy regresji, wyznaczone są tak, aby wariancja resztkowa ε^2 , czyli suma kwadratów odchyleń wartości z pomiarów od odpowiednich punktów sinusoidy przedstawionej równaniem o okresie Θ , była minimalna. Zadając wartości okresu Θ z krokiem co 0.1 roku, otrzymano ciąg liczbowy wartości wariancji resztkowej $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$, tzw. widmo. Widmem jest również ciąg liczbowy współczynników korelacji wielokrotnej R dla tych samych okresów Θ :

$$R_i = \sqrt{1 - \frac{\varepsilon_i^2}{s^2}}$$

gdzie: s^2 – całkowita wariancja zmiennej y .

Współczynnik determinacji R^2 , wskazuje jaką część wariancji s^2 zmiennej y określa (wyjaśnia) sinusoida regresji o okresie Θ . Lokalne minima widma ciągu wartości wariancji resztkowej ε^2 (lokalne maksima ciągu wartości współczynnika korelacji R_i) są okresami. Ostateczna ocena okresów polega na określeniu ich istotności statystycznej na przyjętym poziomie, np. poprzez obliczenie statystyki F_{obl} testu Fishera-Snedecora oraz porównaniu jej z wartościami krytycznymi F_{kr} rozkładu F przy $n_1 = 2$ i $n_2 = n - 3$ stopniach swobody:

$$F_{obl} = \frac{n-3}{2} \cdot \frac{R_i^2}{1-R_i^2}$$

gdzie: n – liczebność serii;

Jeżeli $F_{obl} > F_{kr}$, to okres, na przyjętym poziomie α , uznawano za istotny statystycznie.

Aproksymację empirycznych ciągów pomiarowych uzyskano poprzez interferencję kilku sinusoid regresji o okresach wyznaczonych na podstawie widma, istotnych statystycznie na przyjętym poziomie. Funkcja trendu czasowego ma postać:

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

gdzie: k – liczba uwzględnionych cykli istotnych statystycznie;

a_0 – wyraz wolny (zbliżony do średniej z wielolecia); pozostałe oznaczenia jak w równaniu sinusoidy regresji.

Współczynnik determinacji R_k^2 określa, jaką część wariancji zmiennej y wyjaśnia interferencja k okresów. Oblicza się go ze wzoru na R_i , przyjmując wariancję resztkową ε_k^2 dla k uwzględnionych cykli. Istotność statystyczną funkcji aproksymującej badany szereg czasowy, $y = f(t)$ zweryfikowano testem F Fishera-Snedecora na zadanym poziomie, przy $n_1 = 2k$ oraz $n_2 = n - 2k - 1$ stopniach swobody obliczając statystykę:

$$F_{obl} = \frac{n-2k-1}{2k} \cdot \frac{R_k^2}{1-R_k^2}$$

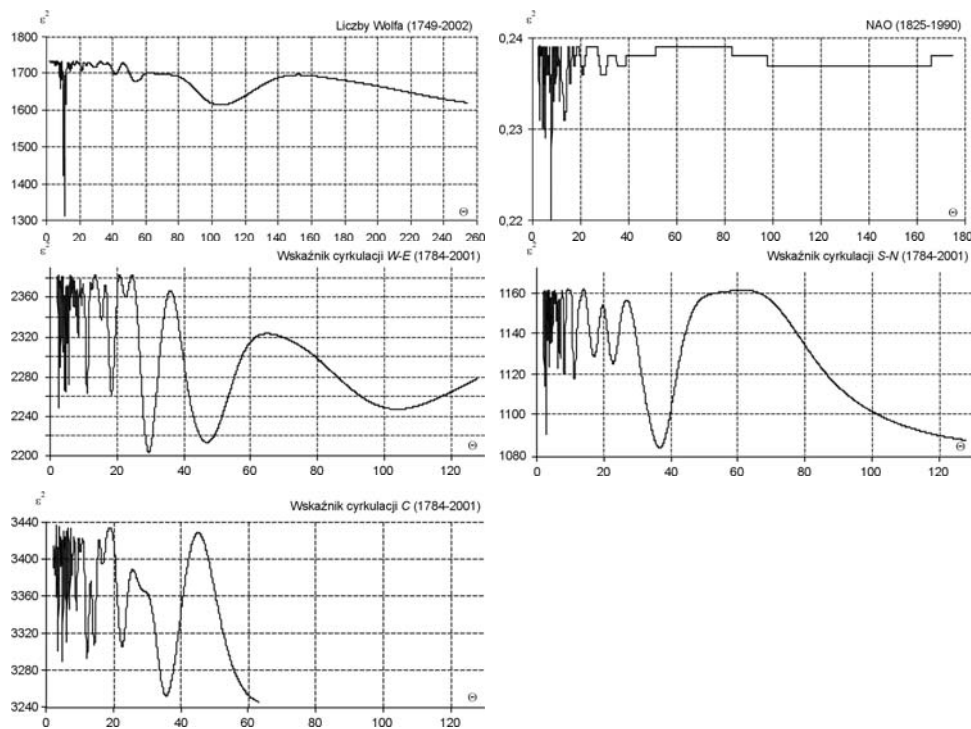
i porównując tak otrzymaną wartość z wartością F_{kr} odczytaną z tablicy rozkładu F .

Metoda „sinusoid regresji” umożliwia uwzględnienie w równaniu funkcji aproksymujących (prognostycznych) składnika trendu liniowego np. tendencji malejącej ($a < 0$) stanów wody:

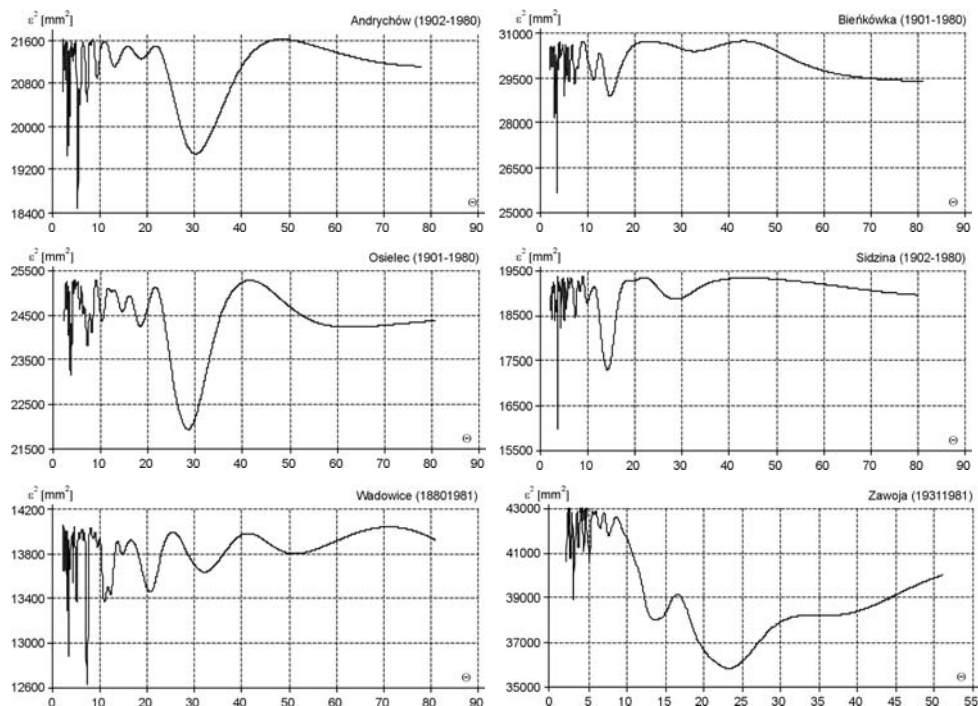
$$y(t) = a_0 + at + \sum_{j=1}^k b_j \sin\left(\frac{2\pi}{\Theta_j} t + c_j\right)$$

5.2. Wyniki analizy okresowej zmienności elementów klimatologicznych i hydrologicznych

Widma średnich rocznych liczb Wolfa w latach 1749-2002, wskaźnika *NAO* w latach 1825-1999 oraz wskaźników cyrkulacji atmosferycznej w latach 1874-2001, przedstawiono na rysunku 6.7. Widma sum rocznych opadów atmosferycznych przedstawia rysunek 6.8, a widma średnich i ekstremalnych rocznych stanów wody w wybranych przekrojach wodowskazowych rzeki Skawy (rys. 6.9). Porównawcze zestawienie istotnych statystycznie cykli liczb Wolfa, wskaźnika *NAO*, cyrkulacji atmosferycznej, opadów atmosferycznych i stanów wody przedstawiono w zbiorczych tabelach 3, 4, 5 pracy doktorskiej R. Cebulskiego (2007). Okresy zgrupowano w przedziałach czasowych. Naniesiono również niektóre charakterystyczne przedziały czasu znajdujące swoje odzwierciedlenie w wynikach badań innych autorów w zakresie cykliczności badanych zmiennych. Wyodrębniono pasma aktywności Słońca: 9,1-14,0; 19,1-30,0; 90,1-110,0 (wyznaczone wcześniej przez J. Boryczką i K. Kożuchowskiego) cykle Brücknera 30,1-35,0, cykle opadów 65,1-75,0 (wykazane przez Z. Kaczorowską z zastosowaniem analizy harmoniczej).



Rys. 6.7. Widma średnich rocznych liczb Wolfa, wskaźników oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* oraz cyrkulacji atmosferycznej typu zachodniego (W-E), południkowego (S-N) i cykloniczności (C)
 Fig. 6.7. Spectrums of annual Wolf numbers, *NAO* indices, W-E and S-N atmospheric circulation indices and cyclonicity (C)



Rys. 6.8. Widma sum rocznych opadów atmosferycznych w wybranych stacjach pomiarowych na obszarze zlewni rzeki Skawy
 Fig. 6.8. Spectrums of annual precipitation sums at selected gauging stations in the Skawa river basin

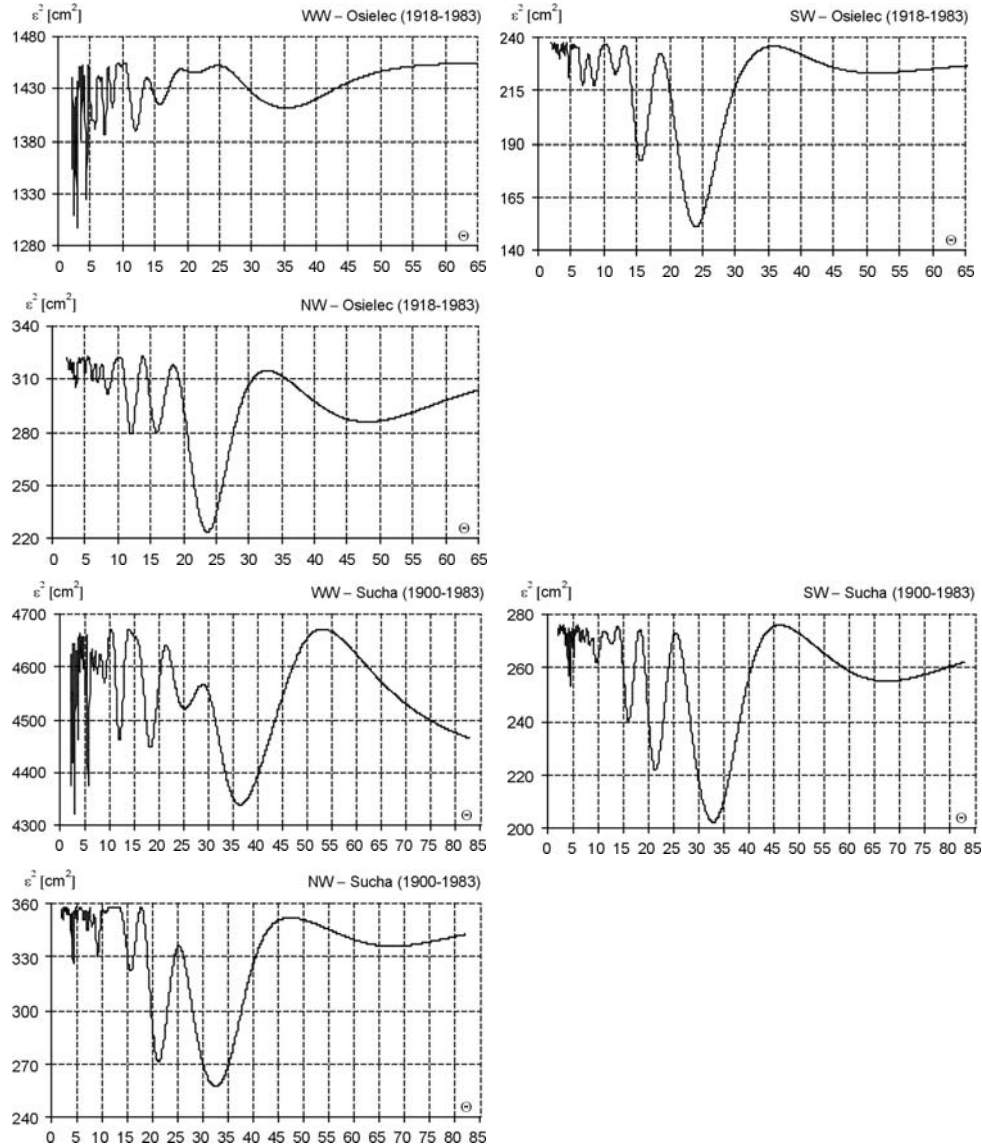
Największe amplitudy odpowiadające znalezionym, istotnym statystycznie okresom stanów wody, kształtują się od 23 cm w przekroju wodowskazowym w Osielcu, 36 cm w Suchej oraz 46 cm w Wadowicach.

Równanie trendu czasowego miesięcznych sum opadów atmosferycznych w Wadowicach w maju w latach 1880-1981, wyznaczone na podstawie interferencji istotnych statystycznie na poziomie 10% cykli uzyskanych metodą „sinusoid regresji”, ma postać:

$$\begin{aligned}
 P(t) = & 86,0 + 11,1 \sin\left(\frac{2\pi}{2,4}t - 1,21\right) + 15,4 \sin\left(\frac{2\pi}{2,6}t + 1,53\right) + 18,2 \sin\left(\frac{2\pi}{3,0}t + 0,28\right) + \\
 & + 13,5 \sin\left(\frac{2\pi}{3,8}t - 1,14\right) + 17,3 \sin\left(\frac{2\pi}{4,3}t + 0,22\right) + 13,2 \sin\left(\frac{2\pi}{4,8}t + 1,87\right) + \\
 & + 15,7 \sin\left(\frac{2\pi}{5,3}t + 2,0\right) + 14,2 \sin\left(\frac{2\pi}{6,6}t + 2,78\right) + 18,3 \sin\left(\frac{2\pi}{11,7}t + 2,91\right) + \\
 & + 16,6 \sin\left(\frac{2\pi}{13,8}t - 1,56\right).
 \end{aligned}$$

Analogicznie, przykładowe równanie trendu maksymalnych miesięcznych stanów wody w Wadowicach w maju w latach 1900-1983, ma postać:

$$H(t) = 285,0 - 2,14t + 19,3\sin\left(\frac{2\pi}{3,8}t - 0,92\right) + 29,3\sin\left(\frac{2\pi}{5,3}t + 1,18\right) + 30,5\sin\left(\frac{2\pi}{11,2}t - 0,34\right) + 36,1\sin\left(\frac{2\pi}{13,7}t - 1,87\right) + 18,3\sin\left(\frac{2\pi}{23,8}t - 0,93\right).$$

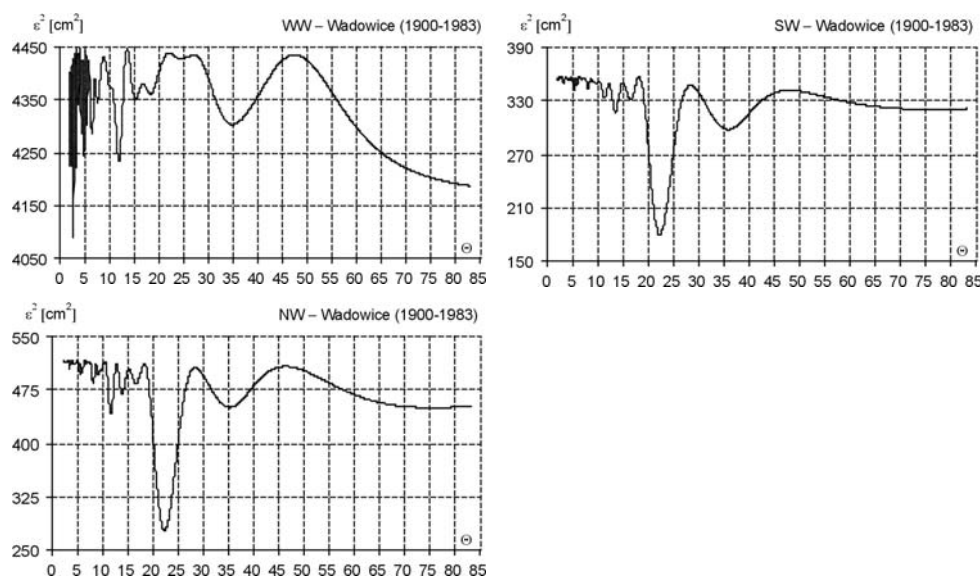


Rys. 6.9. Widma rocznych stanów wody w wybranych posterunkach wodowskazowych na rzece Skawie

WW – wielka woda, *SW* – średnia woda, *NW* – niska woda

Fig. 6.9. Spectrums of annual water levels at selected watermarks on the Skawa river

WW – high water, *SW* – average water, *NW* – low water



Cd. rys. 6.9.
Continue fig. 6.9.

5.3. Synchroniczność cykli badanych zmiennych

Najważniejsze wnioski, wynikające z porównania okresów badanych zmiennych są następujące:

- w zmienności ciągów wskaźników cyrkulacji atmosferycznej typu *W-E*, *S-N* i *C* oraz Oscylacji Północnoatlantycznej (*NAO*), dominują cykle w przedziale 2,1-9 lat;
- ciągi chronologiczne sum opadów atmosferycznych charakteryzuje głównie okresowość w zakresie 2-6 lat, a nieco rzadziej w zakresie 6-9 lat;
- w ciągach stanów maksymalnych wody znaleziono okresy 2,5-4,5-letnie, a sporadycznie cykle z przedziału 5-9 lat. W cyklicznej zmienności stanów średnich i minimalnych wody wyróżniają się okresy 4-5-letnie, 6,5-7.0-letnie (zmiany nutacyjne biegunów Ziemi) oraz 15-17-letnie;
- okresowość zbliżona do okresowości aktywności Słońca (liczb Wolfa), występuje w niektórych ciągach wskaźnika *NAO*, wskaźników cyrkulacji atmosferycznej i opadów. W wielu ciągach średnich i minimalnych stanów wody znaleziono okresy z przedziału 11-14, 15-16 lat oraz 23-25 lat (podwójne cykle aktywności Słońca);
- okresy stanów wody zbliżone do 35-letniego okresu Brücknera zostały wykryte w niektórych ciągach stanów średnich i minimalnych w Wadowicach i Suchej, w pozostałych przypadkach występują sporadycznie;
- znaleziono cykle 50-70-letnie liczb Wolfa oraz 65-75-letnie cykle stanów średnich i minimalnych w Wadowicach i Suchej, co jest zbieżne z wynikami analiz innych

autorów – np. Z. Kaczorowskiej dla opadów. Ponadto potwierdzono okresy wiekowe liczb Wolfa i wskaźnika *NAO* oraz wykazano je w kilku przypadkach ciągów wskaźników cyrkulacji atmosferycznej.

Ponadto należy wskazać na możliwość wzajemnego nakładania się działania czynników kształtujących klimat, skutkujący często sumowaniem bądź redukowaniem ich wpływu, utrudniając w ten sposób dokładną identyfikację poszczególnych składników.

6. Zależność opadów atmosferycznych oraz średnich i ekstremalnych stanów wody w rzece górskiej od cyrkulacji atmosferycznej

6.1. Wybór metod analizy regresji

Uzasadnienia wpływu cyrkulacji atmosferycznej na zmienne meteorologiczne i hydrologiczne w zlewni poszukiwano również poprzez wykazanie istotnej korelacji między stanami wody i opadami atmosferycznymi, cyrkulacją i aktywnością Słońca, z wykorzystaniem metod analizy regresji liniowej, według zależności:

$$y = ax + b \quad - \text{prosta regresji};$$

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k \quad - \text{hiperpłaszczyzna regresji (regresja liniowa}$$

wielowymiarowa).

Istotność statystyczną każdego współczynnika determinacji w przypadkach prostej regresji, sprawdzono testem z wykorzystaniem statystyki rozkładu *t*-Studenta, natomiast istotność statystyczną współczynnika determinacji w przypadkach regresji wielowymiarowej, oceniono stosując test *F* Fishera-Snedecora tak, jak w równaniach „sinusoid regresji”.

6.2. Próba uwzględnienia zmian koryta rzeki w ciągach chronologicznych stanów wody

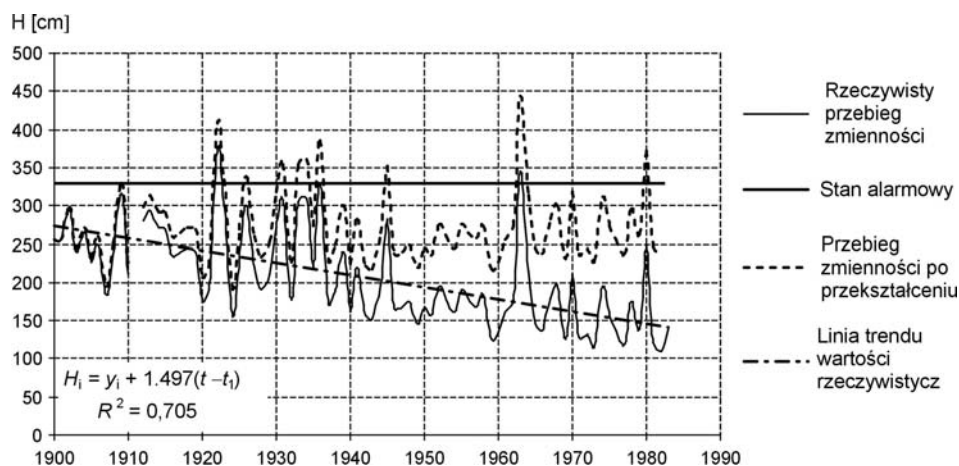
W badaniach zależności regresyjnej stanów wody w korycie rzeczonym zlewni górskiej od pozostałych zmiennych, wprowadzono prosty model przebiegu ekstremalnych i średnich stanów wody, polegający na eliminacji trendów malejących ($a < 0$) w przebiegach stanów wody. Przekształceniem stanów wody (y_i), uwzględniającym erozję koryta rzeki jest:

$$H_i = y_i - a(t - t_1);$$

gdzie: a – jest współczynnikiem regresji,

t_1 – datą początku serii pomiarów,

Jest to równoważne obrotowi prostej regresji $y = at + b$ o taki kąt, by była ona równoległa do osi czasu t (rys. 6.10).



Rys. 6.10. Przykład modelowania przebiegu maksymalnych stanów wody w Suchej w październiku, w latach 1900-1983; $t_1 = 1900$

Fig. 6.10. Example of modelling maximum water levels in Sucha in October in 1900-1983; $t_1 = 1900$

Wyniki przeprowadzonej analizy regresyjnej badanych zmiennych losowych zostały zestawione w tabeli 6.2, w której wyróżnione zostały zależności regresyjne badanych zmiennych wykazujące istotność statystyczną na poziomie 5%.

6.3. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na pole opadów w zlewni Skawy

Największymi współczynnikami korelacji r (determinacji r^2) cechują się równania prostych regresji:

$$\text{Sidzina} - \text{wrzesień: } P = -9,983NAO + 76,895 \quad (r = -0,32),$$

$$\text{Sidzina} - \text{grudzień: } P = 0,710C_{WE} + 38,026 \quad (r = 0,47),$$

$$\text{Zawoja} - \text{grudzień: } P = -2,281C_{SN} + 82,890 \quad (r = 0,54),$$

$$\text{Andrychów} - \text{październik: } P = 1,922C_C + 84,381 \quad (r = 0,61).$$

O wpływie łącznym typów cyrkulacji atmosferycznej zachodniej ($W-E$) i południowej ($S-N$) na opady atmosferyczne (P) informują równania płaszczyzn regresji P względem C_{WE} , C_{SN} oraz współczynnik korelacji wielokrotnej R (współczynnik determinacji R^2), np. w Zawoi (grudzień):

$$P = 0,560C_{WE} - 1,815C_{SN} + 71,46 \quad (R = 0,57),$$

gdzie opady wzrastają przy cyrkulacji $W-E$ a maleją przy południowej $S-N$.

Na podstawie uzyskanych wyników, można wskazać niektóre prawidłowości:

- istotną zależność sum opadów atmosferycznych od liczb Wolfa oraz wskaźnika NAO wykazano tylko w niektórych przypadkach;
- istotną statystycznie regresyjną zależnością cechuje się większość skorelowanych ciągów opadów atmosferycznych i wskaźnika cykloniczności;

- wyróżnia się istotna zależność regresyjna sum opadów od łącznego wpływu zmienności cyrkulacji typu *W-E* i *S-N*, dotyczy to szczególnie wartości miesięcznych oraz sezonu wiosennego, poza wartościami półrocznymi, rocznymi oraz ciągami czerwca i lipca.

6.4. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na stany wody w przekrojach wodowskazowych Skawy

Największymi współczynnikami korelacji charakteryzują się proste regresji stanów wody w Osielcu:

$$\text{marzec: } H_{\max} = 0,927C_{WE} + 239,716 \quad (r = 0,45),$$

$$\text{marzec: } H = 0,616C_{WE} + 199,216 \quad (r = 0,49),$$

$$\text{marzec: } H_{\min} = 0,554C_{WE} + 180,817 \quad (r = 0,43),$$

$$\text{lipiec: } H_{\max} = -2,474C_{SN} + 213,977 \quad (r = -0,40).$$

Największymi wartościami współczynnika korelacji wielokrotnej R (współczynnik determinacji R^2), w przypadku łącznego wpływu typów cyrkulacji *W-E* i *S-N* na stany wody, cechują się równania płaszczyzn regresji dla stanów w Osielcu w marcu:

$$H_{\max} = 0,864C_{WE} - 0,173C_{SN} + 240,78 \quad (R = 0,45),$$

$$H = 0,647C_{WE} + 0,087C_{SN} + 198,68 \quad (R = 0,49),$$

$$H_{\min} = 0,587C_{WE} + 0,091C_{SN} + 180,26 \quad (R = 0,44).$$

Na podstawie uzyskanych równań prostych i płaszczyzn regresji stanów wody względem poszczególnych typów cyrkulacji atmosferycznej, można stwierdzić:

- sporadycznie można wskazać istotną zależność regresyjną stanów wody od liczb Wolfa oraz wskaźnika *NAO*, przy czym przeważają ciągi z miesięcy jesiennych i zimowych;
- istotną statystycznie regresyjną zależność wykazują niektóre skorelowane ciągi stanów wody i wskaźników cyrkulacji *S-N*, *W-E* oraz *C*. W przypadku cyrkulacji *W-E* są to przede wszystkim ciągi stanów wody w lutym i w marcu, a cyrkulacji *S-N* – to głównie miesiące wiosenne i letnie oraz wskaźnika *C* – letnie;
- znaleziono dużą liczbę istotnych statystycznie związków regresyjnych stanów maksymalnych w przekroju wodowskazowym w Suchej i wskaźników cyrkulacji *S-N* oraz cykloniczności, a ponadto stanów maksymalnych w Osielcu i wskaźnika cykloniczności; silniejsze związki regresyjne występują w przypadku, kiedy rozpatrywane przekroje wodowskazowe zamykają nieduże zlewnie;
- wyróżnia się istotna statystycznie zależność regresyjna ciągów stanów wody i łącznego wpływu cyrkulacji *W-E* i *S-N*, dotyczy to zwłaszcza wartości miesięcznych, przy czym najmniej istotnych związków regresyjnych wykazano w listopadzie.

6.5. Zależność stanów wody Skawy od opadów atmosferycznych

Rozważone zostały dwa rodzaje zależności – w pierwszym przypadku zbadano zależność stanów wody od sum opadów wszystkich wybranych stacji, natomiast w drugim

przypadku określono związki stanów wody w Suchej i Osielcu z pominięciem serii opadów w Wadowicach i Andrychowie. Ze względu na położenie, wpływ występujących tam opadów na zmienność stanów wody w rzece Skawie w przekroju w Suchej i Osielcu, jest najmniejszy.

Maksymalne stany wody (H_{max}) w przekrojach wodowskazowych rzeki Skawy: Wadowice, Osielec, Sucha najsilniej zależą od pola opadów atmosferycznych. Świadczą o tym równania hiperpłaszczyzn regresji stanów wody H_{max} w lipcu względem PW (Wadowice), PO (Osielec), PS (Sidzina), PZ (Zawoja), PA (Andrychów), PB (Bieńkówka):

Wadowice:

$$H_{max} = -0,052PW - 0,277PO + 0,549PS + 0,165PZ - 0,024PA + 0,505PB + 266,97$$

Osielec:

$$H_{max} = 0,068PW - 0,155PO + 0,454PS + 0,038PZ + 0,011PA + 0,152PB + 161,59$$

Sucha:

$$H_{max} = -0,037PW - 0,227PO + 0,558PS + 0,146PZ + 0,114PA + 0,362PB + 157,33.$$

Cechują się one największymi współczynnikami korelacji wielokrotnej R – odpowiednio 0,885; 0,836; 0,856 (współczynniki determinacji R^2 : 78,4%; 69,9%. 73,3%). Podobnie jest w drugim przypadku, w lipcu (po pominięciu opadów w Wadowicach i Andrychowie):

Osielec:

$$H_{max} = -0,156PO + 0,449PS + 0,071PZ + 0,169PB + 163,83$$

Sucha:

$$H_{max} = -0,212PO + 0,545PS + 0,179PZ + 0,389PB + 158,14$$

O dużej zależności maksymalnych stanów wody H_{max} od opadów atmosferycznych świadczą także duże współczynniki korelacji wielokrotnej, $R = 0,835$ i $R = 0,856$ – współczynniki determinacji $R^2 = 69,7\%$ i $R^2 = 73,2\%$.

Z badań tych wynika, że istnieje istotna statystycznie zależność regresyjna stanów wody w przekrojach wodowskazowych w Wadowicach, Suchej i Osielcu od opadów atmosferycznych w wybranych stacjach pomiarowych położonych w zlewni rzeki Skawy. Wynika to głównie z dominującego – górskiego ukształtowania obszaru tej zlewni, co decyduje o transformacji opadu efektywnego w odpływ powierzchniowy i szybkim spływie wód do odbiorników.

Podsumowując, można stwierdzić, że wykazano znaczącą zależność opadów atmosferycznych i stanów wody w przekrojach wodowskazowych rzeki górskiej, zmierzonych na obszarze wybranej zlewni, od cyrkulacji atmosferycznej. Równocześnie zaobserwowano w wielu przypadkach istotną statystycznie zależność regresyjną stanów wody od łącznego wpływu cyrkulacji atmosferycznej typu $W-E$ i $S-N$.

Biorąc pod uwagę, że opady atmosferyczne warunkują stan wody w korytach rzek górskich, można przypisać także przepływom analogiczne związki z typami cyrkulacji atmosferycznej. Cyrkulacja atmosferyczna determinuje opady atmosferyczne, a więc i stany wody w zlewni górskiej. Ponadto, cyrkulacja atmosferyczna $W-E$ i C zależy od Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO).

Tab. 6.2. Wyniki analizy regresyjnej zależności elementów klimatologicznych, meteorologicznych i hydrologicznych. (zależność istotną statystycznie na poz. 5% wyróżniono)
 Tab. 6.2. Results of regression analysis of relationships between climatological, meteorological and hydrological components (statistically relevant relationship at a level of 5% is marked in grey)

Analizowana zależność regresyjna		Lata	Okresy																		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Cyrkulacja atmosferyczna od liczb Wolfa	Typu W-E	1874-2001																			
	Typu S-N																				
	Typu C																				
Cyrkulacja atmosferyczna od wskaźnika NAO	Typu W-E	1874-1999																			
	Typu S-N																				
	Typu C																				
Opady od liczb Wolf	Wadowice	1901-1981																			
	Osielec	1901-1981																			
	Sidzina	1902-1981																			
	Zawoja	1931-1981																			
	Andrychów	1902-1980																			
	Bieńkówka	1901-1981																			
Opad od wskaźnika NAO	Wadowice	1901-1981																			
	Osielec	1901-1981																			
	Sidzina	1902-1981																			
	Zawoja	1931-1981																			
	Andrychów	1902-1980																			
	Bieńkówka	1901-1981																			
Opady od cyrkulacji atmosferycznej typu W-E	Wadowice	1901-1981																			
	Osielec	1901-1981																			
	Sidzina	1902-1981																			
	Zawoja	1931-1981																			
	Andrychów	1902-1980																			
	Bieńkówka	1901-1981																			
Opady od cyrkulacji atmosferycznej typu S-N	Wadowice	1901-1981																			
	Osielec	1901-1981																			
	Sidzina	1902-1981																			
	Zawoja	1931-1981																			
	Andrychów	1902-1980																			
	Bieńkówka	1901-1981																			
Opad od cyrkulacji atmosferycznej typu C	Wadowice	1901-1981																			
	Osielec	1901-1981																			
	Sidzina	1902-1981																			
	Zawoja	1931-1981																			
	Andrychów	1902-1980																			
	Bieńkówka	1901-1981																			
Opady od cyrkulacji atmosferycznej typu W-E + S-N	Wadowice	1901-1981																			
	Osielec	1901-1981																			
	Sidzina	1902-1981																			
	Zawoja	1931-1981																			
	Andrychów	1902-1980																			
	Bieńkówka	1901-1981																			

Cd. tab. 6.2

Analizowana zależność regresyjna		Lata	Okresy																		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Stany od Liczb Wolfa	Wadowice - H_{max}	1900-1981																			
	Wadowice - H_{sr}	1900-1981																			
	Wadowice - H_{min}	1900-1981																			
	Osielec - H_{max}	1917-1981																			
	Osielec - H_{sr}	1917-1981																			
	Osielec - H_{min}	1917-1981																			
	Sucha - H_{max}	1900-1981																			
	Sucha - H_{sr}	1900-1981																			
Sucha - H_{min}	1900-1981																				
Stany od wskaźnika NAO	Wadowice - H_{max}	1900-1981																			
	Wadowice - H_{sr}	1900-1981																			
	Wadowice - H_{min}	1900-1981																			
	Osielec - H_{max}	1917-1981																			
	Osielec - H_{sr}	1917-1981																			
	Osielec - H_{min}	1917-1981																			
	Sucha - H_{max}	1900-1981																			
	Sucha - H_{sr}	1900-1981																			
Sucha - H_{min}	1900-1981																				
Stany od cyrkulacji atmosferycznej typu W-E	Wadowice - H_{max}	1900-1981																			
	Wadowice - H_{sr}	1900-1981																			
	Wadowice - H_{min}	1900-1981																			
	Osielec - H_{max}	1917-1981																			
	Osielec - H_{sr}	1917-1981																			
	Osielec - H_{min}	1917-1981																			
	Sucha - H_{max}	1900-1981																			
	Sucha - H_{sr}	1900-1981																			
Sucha - H_{min}	1900-1981																				
Stany od cyrkulacji atmosferycznej typu S-N	Wadowice - H_{max}	1900-1981																			
	Wadowice - H_{sr}	1900-1981																			
	Wadowice - H_{min}	1900-1981																			
	Osielec - H_{max}	1917-1981																			
	Osielec - H_{sr}	1917-1981																			
	Osielec - H_{min}	1917-1981																			
	Sucha - H_{max}	1900-1981																			
	Sucha - H_{sr}	1900-1981																			
Sucha - H_{min}	1900-1981																				
Stany od cyrkulacji atmosferycznej typu C	Wadowice - H_{max}	1900-1981																			
	Wadowice - H_{sr}	1900-1981																			
	Wadowice - H_{min}	1900-1981																			
	Osielec - H_{max}	1917-1981																			
	Osielec - H_{sr}	1917-1981																			
	Osielec - H_{min}	1917-1981																			
	Sucha - H_{max}	1900-1981																			
	Sucha - H_{sr}	1900-1981																			
Sucha - H_{min}	1900-1981																				

Cd. tab. 6.2

Analizowana zależność regresyjna		Lata	Okresy																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Stany od cyrkulacji atmosferycznej typu W-E + S-N	Wadowice - H _{max}	1900-1981																		
	Wadowice - H _{sr}	1900-1981																		
	Wadowice - H _{min}	1900-1981																		
	Osielec - H _{max}	1917-1981																		
	Osielec - H _{sr}	1917-1981																		
	Osielec - H _{min}	1917-1981																		
	Sucha - H _{max}	1900-1981																		
	Sucha - H _{sr}	1900-1981																		
	Sucha - H _{min}	1900-1981																		
Stany od opadów na stacjach: Wadowice Osielec Sidzina Zawoja Andrychów Bieńkówka	Wadowice - H _{max}	1931-1981																		
	Wadowice - H _{sr}	1931-1981																		
	Wadowice - H _{min}	1931-1981																		
	Osielec - H _{max}	1931-1981																		
	Osielec - H _{sr}	1931-1981																		
	Osielec - H _{min}	1931-1981																		
	Sucha - H _{max}	1931-1981																		
	Sucha - H _{sr}	1931-1981																		
	Sucha - H _{min}	1931-1981																		
Stany od opadów na stacjach: Osielec Sidzina Zawoja Bieńkówka	Osielec - H _{max}	1931-1981																		
	Osielec - H _{sr}	1931-1981																		
	Osielec - H _{min}	1931-1981																		
	Sucha - H _{max}	1931-1981																		
	Sucha - H _{sr}	1931-1981																		
	Sucha - H _{min}	1931-1981																		

1 – styczeń, 2 – luty, 3 – marzec, 4 – kwiecień, 5 – maj, 6 – czerwiec, 7 – lipiec, 8 – sierpień, 9 – wrzesień, 10 – październik, 11 – listopad, 12 – grudzień, 13 – rok, 14 – wiosna, 15 – lato, 16 – jesień, 17 – zima, 18 – półrocze ciepłe, 19 – półrocze chłodne

6.6. Zależność częstości ekstremalnych stanów wody w przekrojach wodowskazowych zlewni karpackiej od cyrkulacji atmosferycznej

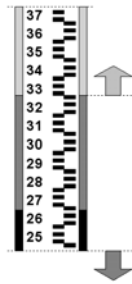
Podstawowym założeniem tej części analizy jest ustalenie granicznych stanów wody w badanym wieloleciu, przez analogię do wezbrań i niżówek określanych dla przepływów. Polega ono na przyjęciu pewnych stanów konwencjonalnych, będących wartościami umownymi z punktu widzenia określonych potrzeb, a nie związanymi z przepływami konwencjonalnymi. Wytlumaczenie sensu takiego założenia poprzez można kilkoma przykładami:

- podczas wezbrania istotniejszy od liczbowej wartości przepływu w korycie rzeki jest poziom wody (stan), który ma decydujące znaczenie w ochronie przeciwpowodziowej;
- decydująca o żegludze lub spływie pod mostami i kładkami jest różnica odległości pionowych pomiędzy spodami najniższych elementów konstrukcji i poziomem wody w korycie, z którym mogą być związane różne wartości przepływów;

- poziom wody w korycie niezależnie od przepływu, ma również znaczenie dla zaprojektowanego działania urządzeń wodno-melioracyjnych oraz ujęć.

W przedstawionych przykładach poza wartościami przepływów, mniej istotnymi są również problemy związane z ruchami dna koryta, transportem rumowiska, itp.

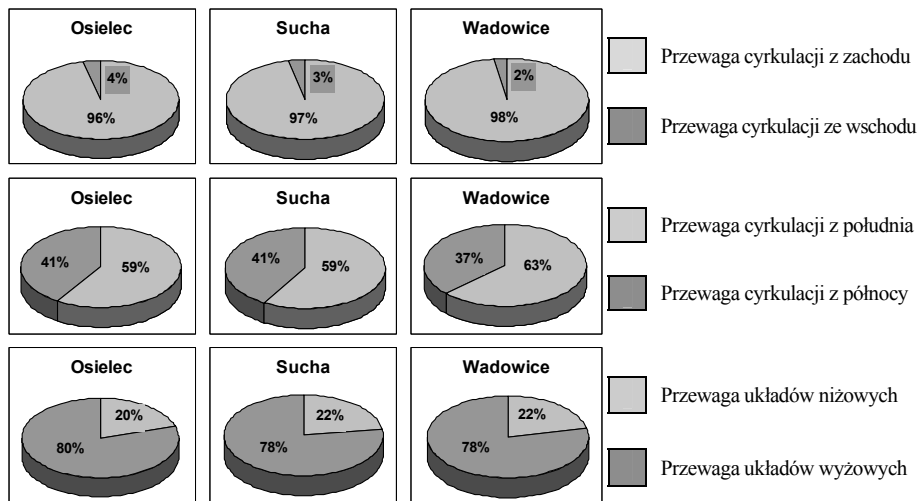
Po eliminacji trendu malejącego stanów wody, analiza wpływu poszczególnych typów cyrkulacji atmosferycznej została ukierunkowana na badanie częstości występowania określonych układów barycznych w odniesieniu do przyjętych wartości granicznych stanów wody:



w okresach przekroczenia stanów alarmowych, odpowiadających tzw. stanom brzegowym, po przekroczeniu których woda występując z koryta rzeki, zaczyna zalewać jej dolinę;

w okresach obniżenia się stanów poniżej stanów średnich z minimalnych z wielolecia (SNW), wyznaczonych w analogiczny sposób jak przepływy SNQ na podstawie kryterium hydrologicznego określania przepływów granicznych niżówek.

Cyrkulacyjne uwarunkowania stanów granicznych charakteryzuje rysunek 6.11. Przedstawiono tu przykładowo rezultaty analizy częstości występowania przeważających układów barycznych określonych wg schematu T. Niedźwiedzia, w okresach, w których przekroczone zostały stany alarmowe na rzece Skawie w wybranych przekrojach wodowskazowych, w stosunku do ciągów wartości rocznych stanów maksymalnych.



Rys. 6.11. Procentowy udział częstości występowania przeważających układów barycznych w okresach rocznych, w których przekroczone zostały stany alarmowe na Skawie w przekrojach wodowskazowych w Osielcu, Suchej i Wadowicach

Fig. 6.11. Percentage share of the occurrence frequency of prevailing pressure systems in annual cycles, with alert states on the Skawa river exceeded at watermark sections in Osielec, Sucha and Wadowice

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że:

1. W okresach przekroczenia stanów alarmowych:

- **Cyrkulacja W-E.** Występuje znaczna przewaga cyrkulacji zachodniej nad wschodnią. Wyjątek stanowi we wszystkich stacjach miesiąc maj, a w Osielcu – marzec.

- **Cyrkulacja S-N.** W Suchej części oddziałuje cyrkulacja z północy niż z południa. W pozostałych stacjach podobnie jest w miesiącach wiosenno-letnich oraz w grudniu. W Osielcu i Wadowicach cyrkulacja z południa przeważa w miesiącach jesienno-zimowych.

- **Cykloniczność.** W Osielcu przeważają układy wyżowe. W Wadowicach i Suchej przewaga układów wyżowych występuje w styczniu, marcu i od sierpnia do października. W pozostałych miesiącach dominują nieznacznie niży.

2. W okresach obniżenia się stanów wody poniżej stanów średnich niskich z wielolecia:

- **Cyrkulacja W-E.** Przeważa cyrkulacja zachodnia. W maju w Wadowicach, a w maju i listopadzie w Osielcu dominuje cyrkulacja wschodnia.

- **Cyrkulacja S-N.** W miesiącach jesiennych i zimowych przeważa cyrkulacja południowa. W miesiącach wiosennych i letnich dominuje cyrkulacja północna.

- **Cykloniczność.** Przeważnie dominują układy wyżowe.

7. Prognoza zmian opadów atmosferycznych oraz średnich i ekstremalnych stanów wody w rzece karpackiej do roku 2025

7.1. Przyjęte metody prognozowania oraz jego statystycznej oceny

Podstawą opracowania prognoz zmienności sum miesięcznych, sezonowych oraz rocznych opadów atmosferycznych do roku 2025 jest ekstrapolacja wartości na podstawie wzoru (1), a maksymalnych, minimalnych i średnich stanów wody, wg wzoru (2):

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

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

Prognozowane wartości uzyskano na podstawie funkcji aproksymujących, uwzględniających interferencję okresów o istotności statystycznej na poziomie 10% znalezionych metodą „sinusoid regresji”. Złożenie cykli istotnych statystycznie na przyjętym poziomie nie wyjaśnia całkowicie wariancji zmiennej wyjściowej ($R_k^2 < 1$). Inaczej, część wariancji jest niewyjaśniona, po odrzuceniu grupy cykli nieistotnych statystycznie („szumów”). Są to fluktuacje, dla których trudno jest znaleźć fizyczne wyjaśnienie. Efektem tego jest często spłaszczenie wykresu przebiegu zmienności w miejscach, gdzie występują główne ekstrema. W prognozach wprowadzono przedziały ufności, wyznaczone z rozkładu normalnego reszt ε_i o parametrach $(0, \delta)$, w których z przyjętym prawdopodobieństwem 95% powinny znaleźć się sumy opadów atmosferycznych lub stany wody, które wystąpią w przyszłości. Przedziały te wyznaczono w oparciu o wzór:

$$P[y_i(t) - t_\alpha \delta < \hat{y}_i < y_i(t) + t_\alpha \delta] = 1 - \alpha$$

gdzie: \hat{y}_i – prognozowane wartości zmiennej y (P lub H),

$$\delta = \sqrt{\frac{n}{n-k-1}} \cdot \varepsilon \text{ – błąd standardowy,}$$

t_α – kwantyl rozkładu t-Studenta przy $n-2$ stopniach swobody,

n – liczba danych,

k – liczba zmiennych objaśniających równanie regresji,

ε – odchylenie standardowe składnika resztkowego,

α – poziom istotności.

Na rysunkach 6.12 i 6.13 zaprezentowane zostały przykładowo prognozowane (oraz symulowane) wartości sum rocznych opadów atmosferycznych w Wadowicach, Osielcu, Andrychowie, Bieńkówce, Sidzinie i Zawoi oraz rocznych wartości stanów wody w przekrojach wodowskazowych w Wadowicach, Suchej i Osielcu do roku 2025, na tle zmienności we wcześniejszym okresie, uzyskanej na podstawie zgromadzonych danych.

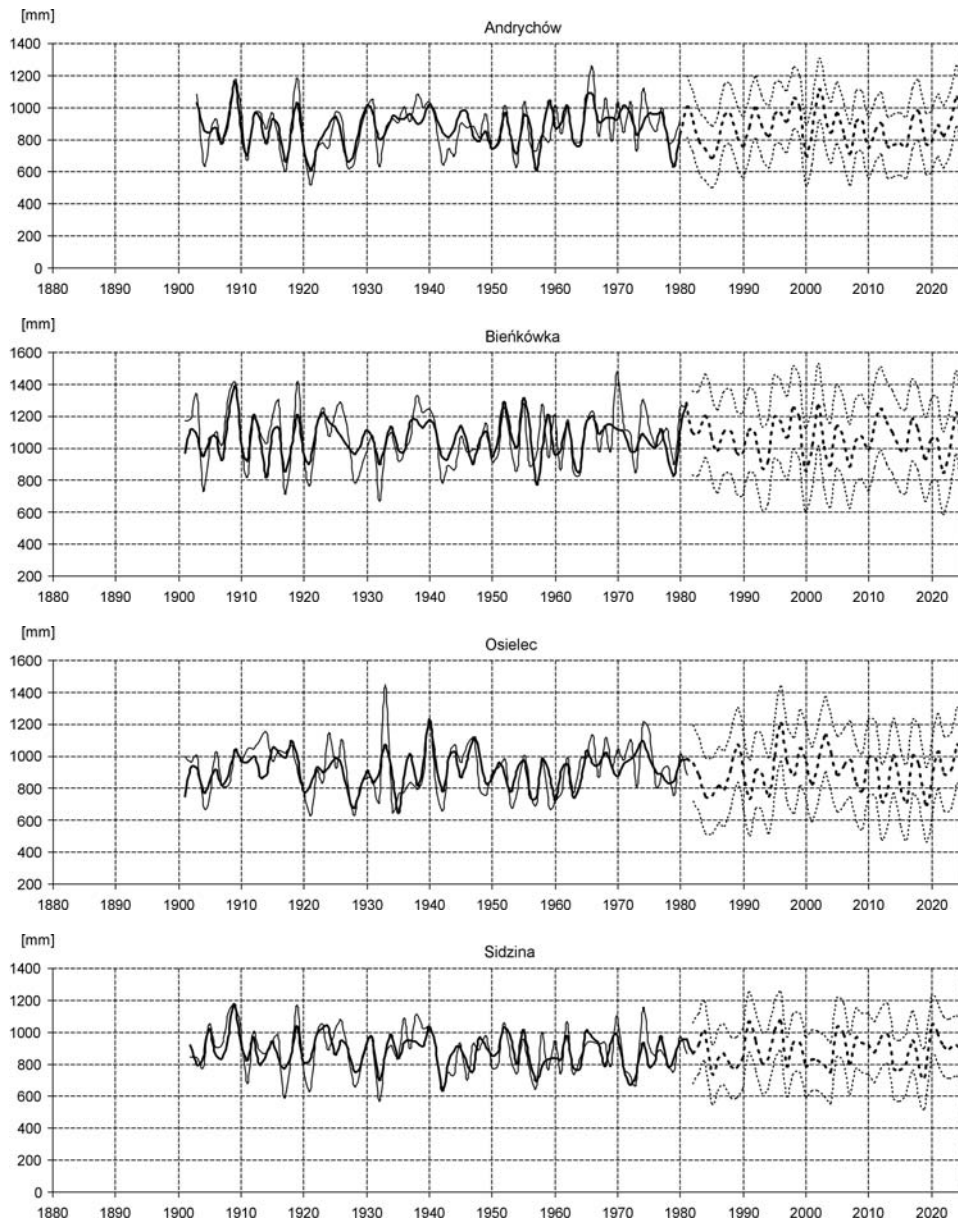
7.2. Prognoza sum rocznych opadów atmosferycznych do roku 2025

W Wadowicach należy się spodziewać z dużym prawdopodobieństwem obfitych opadów w roku 2011 (ok. 900 mm), a następnie w roku 2024 (ok. 1000 mm); w Osielcu lokalne maksima oscylują wokół 1000 mm, ale w roku 2024 prognozowana suma opadów wzrasta do ok. 1070 mm; w Sidzinie można się spodziewać dużych opadów w 2020 roku (ponad 1040 mm), natomiast w Andrychowie i Bieńkówce jest to znów rok 2024 (odpowiednio ok. 1070 mm i 1220 mm), chociaż w tej ostatniej stacji prognoza na rok 2012 daje sumę opadów ok. 1250 mm; w Zawoi można spodziewać się dużych sum rocznych w roku 2005 (ok. 1490 mm) i 2008 (ok. 1440 mm).

7.3. Prognoza rocznych wartości stanów wody do roku 2025

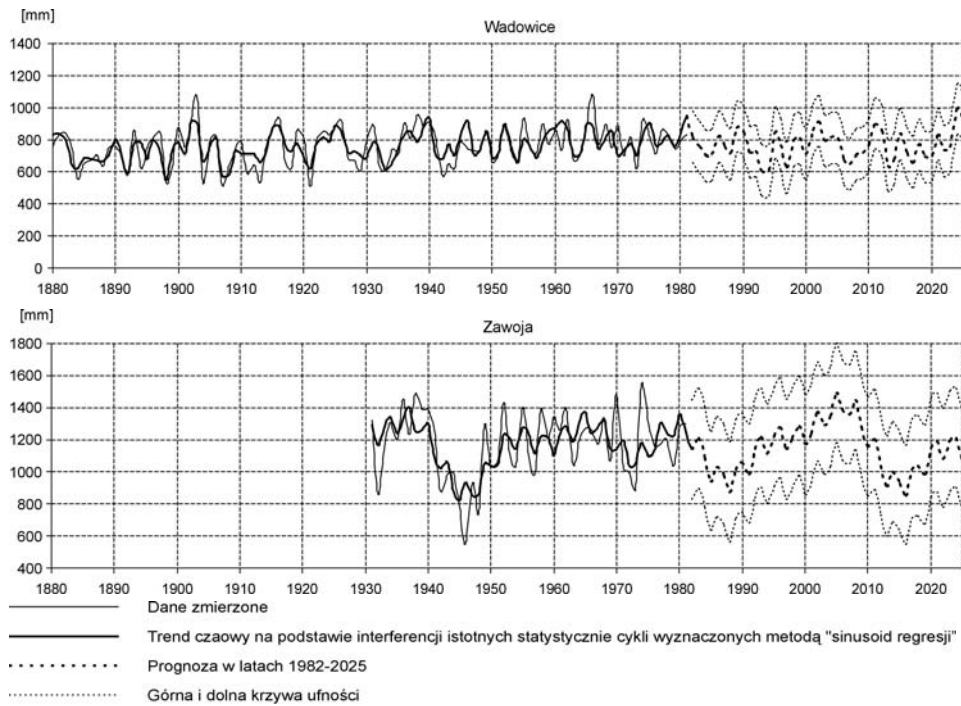
Zwracając uwagę wysokie stany w Osielcu w latach 2015 i 2018, w Suchej w 2010 i 2021 roku oraz w latach 2010, 2020 i 2021 w Wadowicach. W tych latach można się zatem spodziewać okresów wezbrań, w których mogą zostać przekroczone stany alarmowe na wodowskazach. Stany średnie charakteryzuje widoczny trend rosnący w latach 2015-2020. Tendencja ta zaznacza się również w odniesieniu do stanów minimalnych. Prognoza stanów minimalnych w Wadowicach ze względu na mniejszą liczbę znalezionych istotnych statystycznie okresów zmian, wskazuje jedynie na ich ogólną tendencję.

Można przypuszczać, że jeżeli malejący trend stanów utrzyma się, to w ujęciu statystycznym z coraz mniejszym prawdopodobieństwem stany alarmowe i ostrzegawcze będą osiągane i przekraczane. Jednocześnie należy podkreślić, że nasilający się ostatnio proces globalnego ocieplania się klimatu nie pozostaje bez wpływu na zmienność opadów atmosferycznych oraz silnie z nimi skorelowanych stanów wód w korytach rzek, zwłaszcza w zakresie poziomów ekstremalnych.

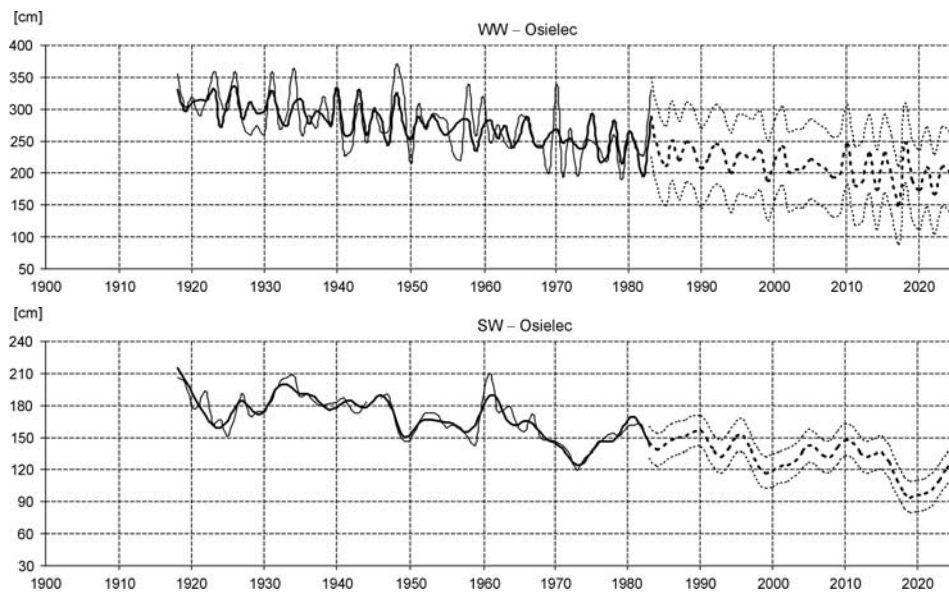


Rys. 6.12. Zmienność rocznych sum opadów atmosferycznych w wybranych stacjach pomiarowych zlewni rzeki Skawy, z prognozą do roku 2025

Fig. 6.12. Fluctuations of annual precipitation at selected gauging stations in the Skawa river basin, predicted until 2025

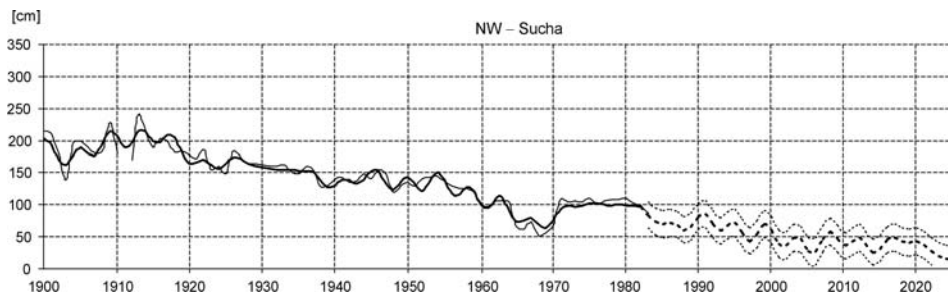
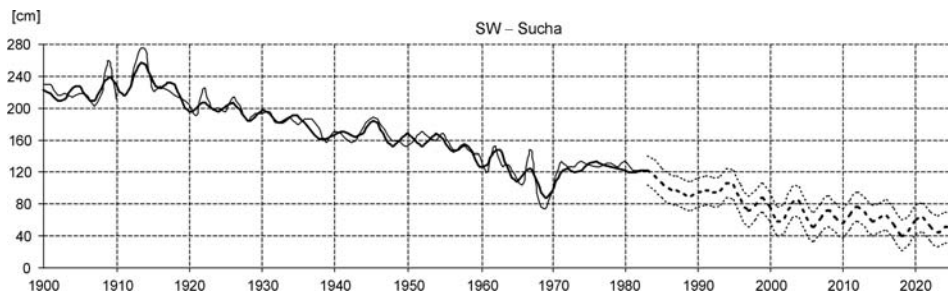
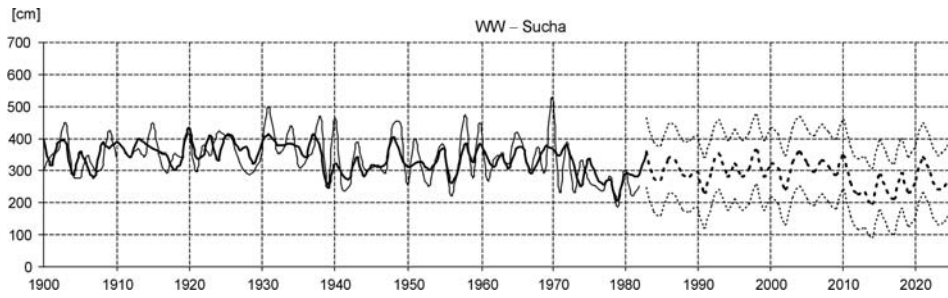
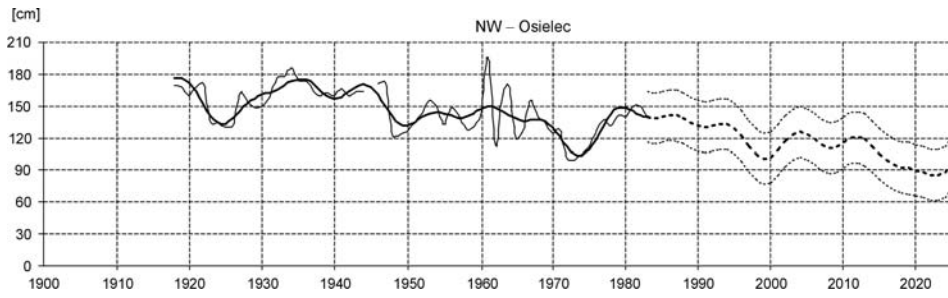


Cd rys. 6.12.
Continue fig. 6.12.

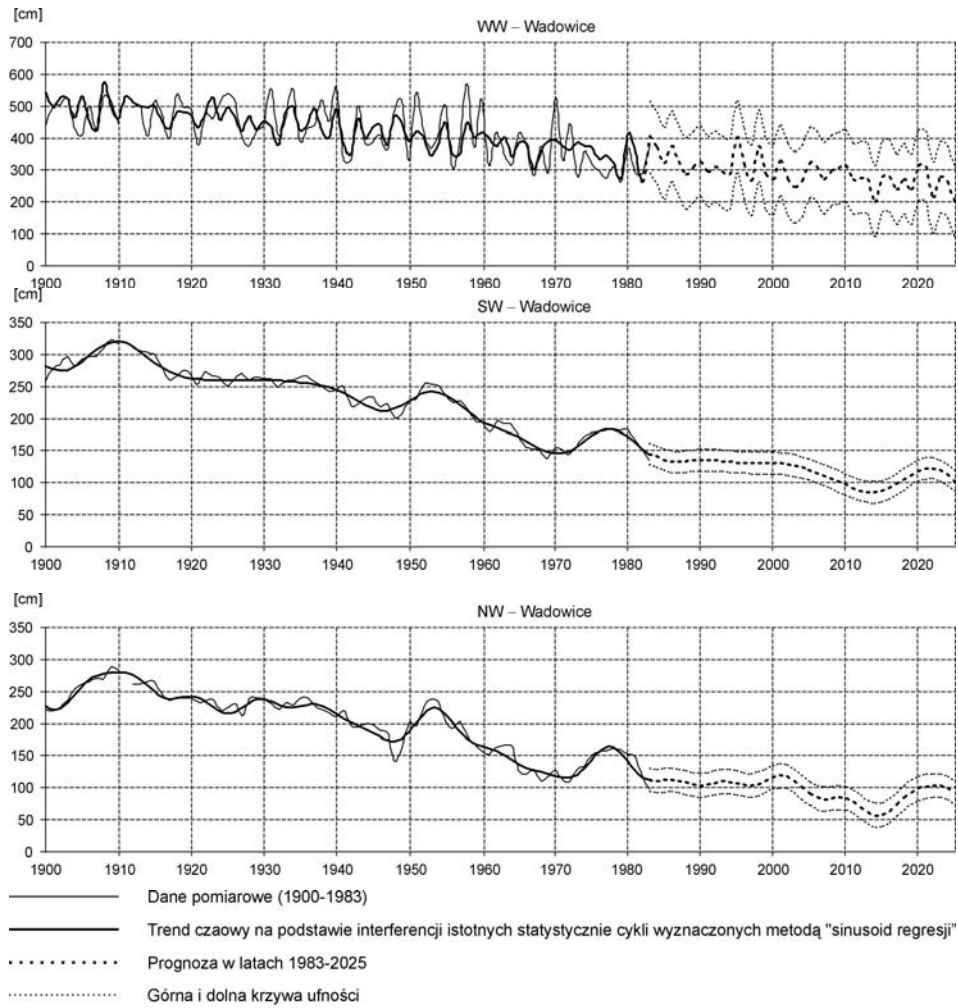


Rys. 6.13. Zmienność rocznych stanów wody w wybranych przekrojach wodowskazowych rzeki Skawy, z prognozą do roku 2025

Fig. 6.13. Fluctuations of annual water levels at selected watermark sections in the Skawa river, predicted until 2025



Cd. rys. 6.13.
Continue fig. 6.13.



Cd. rys. 6.13.
Continue fig. 6.13.

8. Podsumowanie

Główne cele pracy oraz uzasadnienie postawionej tezy osiągnięto przez realizację następujących zadań:

1. Znaleziono i fizycznie uzasadniono okresową zmienność opadów atmosferycznych i stanów wody w rzece karpackiej na przykładzie Skawy.
2. Wykazano synchroniczność zmienności opadów atmosferycznych i stanów wody rzeki górskiej w odniesieniu do cyklicznej zmienności aktywności Słońca (liczby Wolfa),

wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (*NAO*) oraz wskaźników cyrkulacji atmosferycznej.

3. Wskazano istotne zależności stanów wody od opadów atmosferycznych, cyrkulacji i aktywności Słońca, w oparciu o zastosowane metody analizy regresji liniowej.

4. Uzasadniono wpływ pola ciśnienia atmosferycznego na elementy meteorologiczne i hydrologiczne przez wyznaczenie częstości występowania określonych układów barycznych w okresach przekroczenia stanów alarmowych oraz w okresach obniżenia się stanów poniżej stanów średnich z minimalnych z wielolecia.

Ad 1). W badaniach cykliczności wykorzystano metodę „sinusoid regresji” J. Boryczki wyznaczania widm i okresów szeregów czasowych. Znalezione cykle, istotne statystycznie na poziomie 5% i 10%, których znaczną liczbę można wyjaśnić fizycznie, potwierdzając inne badania wskazujące, że na przebieg zjawisk atmosferycznych i hydrologicznych ma wpływ kilka głównych czynników charakteryzujących się w przybliżeniu cykliczną zmiennością. Jednym z nich jest aktywność słoneczna zależna od grawitacyjnego oddziaływania największych planet na Słońce.

Dla większości ciągów znaleziono okresy o długościach kilku, kilkunastu i kilkadziesiąt lat. Cykle wskaźników *NAO* i cyrkulacji wg klasyfikacji T. Niedźwiedzia, mają na ogół długości w przedziale od 2 do 9 lat. Opady atmosferyczne i stany wody cechują się cyklami w przedziale 3,5-4,5 lat. Potwierdzone zostały cykle ok. 11-letnie i o długościach będących ich wielokrotnością, w tym wiekowe aktywności Słońca (liczb Wolfa). Na przykład w przypadku stanów wody, zbieżność długości okresów z cyklami aktywności Słońca jest szczególnie duża. Przy stanach średnich i minimalnych w Wadowicach wyróżnia się przedział 11-14 lat, a wszystkie wartości stanów średnich i minimalnych zawierają się w przedziale 22-25 lat (podwójnego cyklu aktywności Słońca).

Zastosowanie metody „sinusoid regresji” umożliwiło określenie przebiegów czasowych badanych zmiennych za pomocą funkcji aproksymujących, opisujących interferencję sinusoidalnych cykli ze składnikiem liniowym at w przypadku stanów wody:

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

Funkcje te wyrażające złożenie znalezionych wcześniej, istotnych statystycznie okresów, wyjaśniają przeważnie znaczną część wariancji szeregu. W niektórych przypadkach aproksymacja ciągu wskazuje jedynie ogólny trend zmian (mała wartość współczynnika determinacji).

Ad 2). Wskazano wspólne prawidłowości w zmienności czasowej aktywności Słońca, cyrkulacji atmosferycznej, opadów atmosferycznych oraz stanów wody w korycie rzeczonym zlewni górskiej. Na przykład wykazano zbliżone cykle kilkuletnie opadów atmosferycznych i stanów wody oraz równocześnie dużą liczbę cykli z pasma 2,1-9 lat wskaźników *NAO* i cyrkulacji atmosferycznej wg klasyfikacji T. Niedźwiedzia. W zakresie cykli kilkadziesięcioletnich zbieżność ta jest mniejsza. W ciągach stanów średnich i minimalnych w Wadowicach oraz Sucheju wykryto okresy stanów wody zbli-

żone do 35-letniego okresu Brücknera, występujące w pozostałych przypadkach sporadycznie. Znalaziono również cykle 50-70-letnie liczb Wolfa i 65-75-letnie cykle stanów średnich i minimalnych w Wadowicach i Suchej. Ponadto potwierdzono okresy wiekowe liczb Wolfa (105,0-letni), wskaźnika *NAO* (140,2-; 154,7-letni), wykryte m.in. przez J. Boryczkę oraz ciągów wskaźników cyrkulacji atmosferycznej.

Ad 3). Wykazano istotny statystycznie związek regresyjny opadów i stanów wody ze wskaźnikami cyrkulacji *C* oraz łączny wpływ cyrkulacji typu *W-E*, *S-N*. Podobnie wykazano zależność wskaźnika *NAO* i cyrkulacji atmosferycznej typu *W-E* oraz cyklonizności, potwierdzającą wpływ oceaniczny układów barycznych z nad Północnego Atlantyku na kształtowanie się klimatu zlewni Skawy. Dostrzeżono ponadto występowanie słabej zależności regresyjnej stanów wody rzeki i opadów atmosferycznych od wskaźnika *NAO* i liczb Wolfa, tym samym wpływ aktywności Słońca i Oscylacji Północnoatlantyckiej na stany wody w zlewni można uznać za pośredni.

Ad 4). Wykazano m.in., że w okresach przekroczenia stanów alarmowych, przeważała cyrkulacja zachodnia oraz północna, a także częściej występowały układy wyżowe. Natomiast podczas obniżenia się zwierciadła wody poniżej stanów średnich minimalnych z wielolecia dominowała cyrkulacja zachodnia nad wschodnią, a w miesiącach jesienno-zimowych przeważała cyrkulacja południowa nad północną, w miesiącach wiosenno-letnich przeciwnie, a ponadto częściej występowały układy wyżowe.

W końcowej części pracy przedstawiono prognozy zmian opadów atmosferycznych i ekstremalnych stanów wody rzeki Skawy do roku 2025. Przewidywane wartości otrzymano z ekstrapolacji wyznaczonych wcześniej funkcji trendów czasowych będących wypadkową interferencją istotnych statystycznie na poziomie 10%, cykli znalezionych z wykorzystaniem metody „sinusoid regresji”. W prognozach podano przedziały ufności wyznaczone z rozkładu normalnego reszt ε_i o parametrach $(0, \delta)$, gdzie δ – jest błędem standardowym. Ich wprowadzenie stało się konieczne ze względu na uwzględnienie w funkcjach prognostycznych tylko niektórych cykli, których superpozycja wyjaśnia znaczną, ale nie całkowitą wariancję szeregu wyjściowego.

W zakresie metodyki analizy zmienności elementów klimatologicznych i hydrologicznych można uznać, że metoda „sinusoid regresji” oraz analiza regresyjna dały zadowalające rezultaty, umożliwiając m.in. aproksymację wyników pomiarów przy pomocy interferencji istotnych statystycznie okresów, które w znacznej części znajdują swoje fizyczne uzasadnienie. Umożliwiła również ocenę zależności stanów wody od zmiennych klimatologicznych.

Kontynuowanie podjętych w tej pracy badań wydaje się celowe i uzasadnione. Uogólnienie otrzymanych wyników na inne zlewnie górskie wzbogaca dotychczasowe narzędzia badawcze, zwłaszcza w odniesieniu do zlewni niedostatecznie monitorowanych pod względem czasoprzestrzennego rozkładu opadów atmosferycznych i przepływów (stanów) oraz koryt rzecznych o skąpej zabudowie hydrotechnicznej. Daje to możliwość rozszerzenia technicznych i ekonomicznych analiz stanu zasobów wodnych dorzeczy oraz strategii wodno-gospodarczych przewidujących odpowiednie sterowanie,

a także ochronę zasobów w kontekście wymagań ekologicznych. Prowadzone badania wzbogacają równocześnie wiedzę w zakresie wskazania przyczyn i skutków postępującego globalnego ocieplenia klimatu, jego lokalnego znaczenia, zwłaszcza w odniesieniu do stosunków wodnych w zlewniach. Nasilający się proces globalnego ocieplenia się klimatu, nie pozostaje bez wpływu na zmienność opadów atmosferycznych oraz skorelowanych z nimi stanów wód w korytach rzek, zwłaszcza w zakresie poziomów ekstremalnych. Umożliwia to korygowanie polityki przeciwdziałania jego fizycznym i ekonomicznym skutkom w perspektywie wielolecia.

VII. ZAKOŃCZENIE

W tomie XX-XXI *Atlasu* określono tendencje zmian cech termicznych klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu (ze szczególnym uwzględnieniem stuleci XVIII-XXI) z wyeksponowaniem ich naturalnych przyczyn.

Na początku (rozdz. II) przedstawiono cechy termiczne klimatu Europy, wynikające z jej położenia w umiarkowanych szerokościach geograficznych. Badania przeprowadzono na podstawie średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w 30-letnich latach 1931-1960 i 1961-1990. Pole temperatury powietrza opisano empirycznymi modelami – wielomianami regresji pierwszego, drugiego, trzeciego i czwartego stopnia $T = f(\varphi, \lambda, H)$ względem trzech współrzędnych: szerokości φ i długości geograficznej λ oraz wysokości nad poziomem morza H . Symulują one zarówno zmienność strefową temperatury powietrza (uwarunkowaną dopływem promieniowania słonecznego), jak też oddziaływanie Oceanu Atlantyckiego i wpływ wysokości nad poziomem morza.

Oryginalną część pracy stanowi rozdział III pt. *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w XIX-XXI wieku*. Zawiera on wykresy widm i przebiegów wieloletnich temperatury powietrza wraz z prostymi regresjami na przykładzie średnich rocznych w 40 miejscowościach europejskich. Widma (i okresy) temperatury powietrza wyznaczono metodą J. Boryczki „sinusoid regresji” (1998), a tendencje zmian określono równaniami prostych regresji. Szczególne znaczenie mają jednak prognozy temperatury powietrza do 2100 roku na podstawie interferencji silniejszych cykli zawartych w widmach. Prognozy wskazują na naturalne ochłodzenie klimatu Europy w XXI wieku. Według tych prognoz w XXI wieku można oczekiwać ochłodzenia, które częściowo może być złagodzone przez czynniki antropogeniczne (efekt cieplarniany i miejskie wyspy ciepła). W prognozach przyjęto założenia, że ekstrema wykrytych cykli (obecnych w widmach temperatury powietrza) o dość dużych amplitudach (istotnych statystycznie) będą się powtarzać nadal, tak jak w XVIII-XX wieku.

W tabelach zestawiono po 10 najchłodniejszych lat i po 10 najcieplejszych lat w XVIII-XX wieku. W kolejnych tabelach zestawiono krótkie, średnie i długie cykle temperatury powietrza w 40 miejscowościach europejskich reprezentujących prawie wszystkie jednostki fizycznogeograficzne.

Ochłodzenia i ocieplenia klimatu są kształtowane wahaniami dopływu energii słonecznej do powierzchni Ziemi, zależnej od aktywności Słońca (stałej słonecznej) i zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze – pochłaniających i rozpraszających promieniowanie słoneczne.

Temperatura powietrza w Europie w XVIII-XX wieku. cechuje się cyklicznością około 8., 11., 100. i 180-letnią. W zimie dominują około 8-letnie okresy temperatury powietrza o dużym zakresie wahań: w Warszawie – 8,3 (1,6°C), Krakowie – 8,3 (1,9), Sztokholmie – 7,8 (1,3), Moskwie – 7,9 (0,8). W widmach temperatury powietrza są

obecne także cykle około 11-letnie np. w zimie: Warszawa – 11,6 (0,5°C), Kraków – 11,3 (0,8), Moskwa – 11,4 (1,6)

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

Zbliżone okresy są obecne w dendrologicznych ciągach szerokości pierścieni (słoi) dębów rosnących w Polsce (tab. 7.1).

Tabela 7.1. Okresy (Θ lat) około 8. i 11-letnie szerokości pierścieni dębów rosnących w Polsce (XVIII-XX w.)

R – współczynnik korelacji

Table 7.1. 8-year and 11-year cycles (Θ years) of ring widths of oaks growing in Poland (18th-20th c.)

R – correlation coefficient

Miejsce	Θ	R	Θ	R	Miejsce	Θ	R	Θ	R
Gdańsk	8,0	0,127	11,6	0,219	Roztocze	7,6	0,147	11,2	0,194
Gołdap	7,8	0,154	10,8	0,130	Suwałki	7,5	0,278	11,8	0,172
Hajnówka	7,9	0,144	11,2	0,258	Toruń	7,7	0,161	11,4	0,181
Koszalin	8,6	0,193	11,1	0,127	Warszawa	7,7	0,175	11,1	0,124
Kraków	7,7	0,235	11,5	0,137	Wrocław	8,3	0,206	11,6	0,162

Dużą rolę w kształtowaniu klimatu odgrywają długie cykle około 100. i 180-letni aktywności Słońca. Warunkują one okresy około 100. i 180-letni temperatury powietrza w Europie. Okresy prawie dwuwiekowe są zbliżone do okresu planetarnego 178,9 lat, po upływie którego powtarzają się wartości parametrów Układu Słonecznego.

Tabela 7.2. Okresy około 100. i 180-letnie temperatury powietrza w Europie

Table 7.2. Approximately 100-year and 180-year cycles of air temperature in Europe

Miejscowość	Zima		Lato		Zima		Lato	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	113,4	1,22	75,0	0,88	179,0	0,44	208,2	0,66
Bazylea	85,5	0,14	87,6	0,64	–	–	227,4	0,26
Kopenhaga	80,5	0,22	89,6	0,27	–	–	211,6	1,19
Anglia	99,3	0,44	102,5	0,20	166,9	0,48	204,6	0,34
Sztokholm	86,3	0,55	89,4	0,51	184,6	0,49	–	–
Uppsala	102,7	1,48	94,0	0,79	182,3	2,50	192,8	0,39
Innsbruck	69,9	0,80	84,6	0,50	169,8	1,45	–	–

Zbliżonymi okresami około 100. i 180-letnimi cechują się ciągi chronologiczne szerokości pierścieni drzew: sosny, świerka i modrzewia w Europie (tab. 7.3).

Tabela 7.3. Okresy (Θ lat) około 100. i 180-letnie szerokości pierścieni drzew (sosna, świerk, modrzew) rosnących w Europie
 Table 7.3. Approximately 100-year and 180-year cycles (Θ years) of ring widths of trees growing in Europe (pine, spruce and larch)

Drzewo	Przedział czasu	Θ	R	Θ	R	Θ	R
Sosna							
Forfiorddalen (Norwegia)	877-1994	112	0,178	189	0,121	–	–
Kola (Rosja)	1577-1997	109	0,394	186	0,277	–	–
Świerk							
Stonnggrandes (Norwegia)	1403-1997	114	0,191	201	0,243	–	–
Falkenstein (Niemcy)	1540-1995	110	0,298	189	0,414	429	0,399
Fodara Vedla (Włochy)	1578-1990	99	0,083	191	0,718	–	–
Modrzew							
Pinega 1 (Rosja)	1598-1990	103	0,184	217	0,286	–	–

Prognozy otrzymano na podstawie interferencji wykrytych cykli metodą „sinusoid regresji” J. Boryczki (1998): $y = f(t) = a_0 + \sum b_j \sin(2\pi t / \Theta_j + c_j)$, gdzie: Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe. Wykresy funkcji prognostycznych $y = f(t)$ rocznych przyrostów niektórych drzew cechują się głównymi minimami w połowie XXI wieku. W przypadku np. świerka z Falkenstein (1540-1995) prognozy uwzględniają silne cykle: 110, 189 i 429 lat (o współczynnikach korelacji $R = 0,30, 0,42$ i $0,40$).

Na klimat Europy dominujący wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego: Niż Islandzki i Wyż Azorski. Te dwa centra ciśnienia związane z różnicą temperatury między wodą Atlantyku Północnego i lądem są w ciągu roku ze sobą ujemnie skorelowane. O wpływie aktywności Słońca na cyrkulację atmosfery (na dystrybucję ciepła na Ziemi) świadczą analogiczne cykle cyrkulacji atmosfery i liczb Wolfa, a także temperatury powietrza.

Wskaźnik NAO w latach 1825-2000 cechuje się okresowością 8-letnią, kilkunastoletnią i 106,3-letnią, a temperatura powietrza w Europie cechuje się okresowością 8-, 11-, 100- i 180-letnią.

Istotny jest również ostatni rozdział VI – autoreferat pracy doktorskiej R. Cebulskiego pt. *Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu opadów atmosferycznych i stanów wody rzeki górskiej*. Dużą wartość poznawczą mają zbliżone widma i okresy, wyznaczone metodą „sinusoid regresji”, badanych zmiennych tj. stanów wody w rzece górskiej, opadów atmosferycznych, wskaźników cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca.

SUMMARY

Volume XX-XXI outlines the trends relating to thermal changes in European climate over the last millennium (with a special emphasis on the period lasting from the 18th till the 21st century), focusing on their natural causes.

To begin with, Chapter II discusses the thermal features of Europe's climate which result from the continent's location at moderate latitudes. The research was conducted on the basis of average monthly values of air temperature in 30-year periods, 1931-1960 and 1961-1990. Air temperature fields were described using empirical models – regression polynomials of the first, second, third and fourth degrees $T = f(\varphi, \lambda, H)$ for three coordinates: latitude φ , longitude λ and altitude above sea level H . They simulate both the zonal variability of air temperature (which depends on the incoming solar radiation) and the impact of the Atlantic Ocean and the altitude.

Chapter III entitled “Cooler and Warmer Periods of European Climate in the Period from the 19th till the 21st Century” is an original part of the study. It contains the charts of spectrums and graphs showing multi-annual air temperature changes with regression straights based on the average annual values in 40 European cities. The spectrums (and cycles) of air temperature were determined using Jerzy Boryczka's “regression sinusoid” method (1998), and the change trends – with simple regression equations. However, air temperature forecasts until 2100, based on the interference of stronger cycles shown in the spectrums, are of particular significance. The forecasts indicate that the climate in Europe will naturally cool in the 21st century. According to these predictions, a period of climate cooling can be expected in the 21st century, which can partly be alleviated by anthropogenic factors such as the greenhouse effect and urban heat islands. The forecasts are based on the assumption that the extreme values of the detected cycles (present in the air temperature spectrums) with relatively large amplitudes (statistically relevant) will continue to repeat according to a similar pattern as in the period lasting from the 18th till the 20th century.

The tables below show 10 coolest years and 10 warmest years in every century (18th -20th centuries. Other tables depict short, average and long air temperature cycles in 40 European cities representing nearly all physiographic units.

Climate coolings and warmings depend on the fluctuations of the solar energy reaching the Earth's surface, which in turn is shaped by the Sun's activity (the solar constant) and the content of volcanic ash in the atmosphere due to its ability to absorb and disperse solar radiation.

Air temperatures in Europe during the 18th-20th centuries were characterised by cycles lasting approximately 8, 11, 100 and 180 years. In winter, approximately 8-year air temperature cycles with large fluctuations prevailed: in Warsaw – 8.3-year (1.6°C), in Kraków (Cracow) – 8.3-year (1.9), Stockholm – 7.8-year (1.3), and Moscow – 7.9-year

(0.8). Approximately 11-year cycles are also displayed in air temperature spectrums, for example in winter: Warsaw – 11.6 (0.5°C), Kraków – 11.3 (0.8), Moscow – 11.4 (1.6).

Climate cycles determined on the basis of dendrological data from Europe (and Poland) over the last millennium until 2100 represent a novel contribution made by the study (Chapters IV and V).

Similar periods can be seen in dendrological sequences of tree-ring widths of oaks growing in Poland (tab. 7.1)

Table 7.1. 8-year and 11-year cycles (Θ years) of ring widths of oaks growing in Poland (18th-20th c.)
R – correlation coefficient

Location	Θ	<i>R</i>	Θ	<i>R</i>	City	Θ	<i>R</i>	Θ	<i>R</i>
Gdańsk	8.0	0.127	11.6	0.219	Roztocze	7.6	0.147	11.2	0.194
Gołdap	7.8	0.154	10.8	0.130	Suwałki	7.5	0.278	11.8	0.172
Hajnówka	7.9	0.144	11.2	0.258	Toruń	7.7	0.161	11.4	0.181
Koszalin	8.6	0.193	11.1	0.127	Warsaw	7.7	0.175	11.1	0.124
Cracow	7.7	0.235	11.5	0.137	Wrocław	8.3	0.206	11.6	0.162

Long cycles of solar activity (100 and 180 years) play a major role in shaping the climate and determine approximately 100-year and 180-year cycles of air temperature in Europe. The periods which span nearly two centuries approximately correspond in length to the planetary cycle lasting 178.9 years, after the completion of which the values of the Solar System parameters are repeated.

Table 7.2. Approximately 100-year and 180-year cycles of air temperature in Europe

Miejscowość	Winter		Summer		Winter		Summer	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warsaw	113.4	1.22	75.0	0.88	179.0	0.44	208.2	0.66
Basel	85.5	0.14	87.6	0.64	–	–	227.4	0.26
Copenhagen	80.5	0.22	89.6	0.27	–	–	211.6	1.19
England	99.3	0.44	102.5	0.20	166.9	0.48	204.6	0.34
Stockholm	86.3	0.55	89.4	0.51	184.6	0.49	–	–
Uppsala	102.7	1.48	94.0	0.79	182.3	2.50	192.8	0.39
Innsbruck	69.9	0.80	84.6	0.50	169.8	1.45	–	–

The chronological sequences of tree-ring widths of pine, spruce and larch in Europe have similar, approximately 100-year and 180-year cycles (tab. 7.3)

Table 7.3. Approximately 100-year and 180-year cycles (Θ years) of ring widths of trees growing in Europe (pine, spruce and larch)

Tree	Period	Θ	R	Θ	R	Θ	R
Pine							
Forfiorddalen (Norway)	877-1994	112	0.178	189	0.121	–	–
Kola (Russia)	1577-1997	109	0.394	186	0.277	–	–
Spruce							
Stonnggrandes (Norway)	1403-1997	114	0.191	201	0.243	–	–
Falkenstein (Germany)	1540-1995	110	0.298	189	0.414	429	0.399
Fodara Vedla (Italy)	1578-1990	99	0.083	191	0.718	–	–
Larch							
Pinega 1 (Russia)	1598-1990	103	0.184	217	0.286	–	–

These forecasts were produced on the basis of interferences detected using Boryczka's "regression sinusoid" method (1998): $y=f(t) = a_0 + \sum b_j \sin(2\pi t/\Theta_j + c_j)$, where: Θ – period, b – amplitude, c – phase shift. The graphs of predictive functions $y = f(t)$ for annual ring increases of some trees have their main minimums in the mid-21st century. In the case of the spruce in Falkenstein (1540-1995), the forecasts anticipate strong cycles, of 110, 189 and 429 years (with the correlation coefficients: $R = 0.30, 0.42$ and 0.40).

European climate is predominantly influenced by two major fields of atmospheric pressure: the Icelandic Low and the Azores High. These two pressure centres associated with the temperature difference between the waters of the Northern Atlantic and the mainland show a negative mutual correlation during the year. Analogous atmospheric circulation and Wolf number cycles as well as air temperatures are proofs of the impact of solar activity on atmospheric circulation (distribution of heat on the Earth).

In 1825-2000, the NAO index had cycles lasting 8, between 10 and 20, and 106.3 years, and the air temperature in Europe – of 8, 11, 100 and 180 years.

The last Chapter VI is a summary of the PhD dissertation submitted by Robert Cebulski, entitled *The Role of Atmospheric Circulation in Shaping Precipitation and Water Levels in Mountain Rivers*. The spectrums and cycles determined using the "regression sinusoid" method for the variables in question, that is water levels in a mountain river, precipitation, solar activity and atmospheric circulation indices published in the dissertation have a major cognitive value.

LITERATURA

- Bernes C., 2003 *A Warmer World. The Greenhouse Effect and Climate Change*, Monitor 18, Swedish Environmental Protection Agency, SWE CLIM.
- 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., 1998, *Postęp badań współczesnych wahań klimatu w drugiej połowie XX wieku*, Prace i Studia Geograficzne, t. 22, Wyd. WGR UW, Warszawa.
- Boryczka J., 1998, *Zmiany klimatu Ziemi*, Wyd. Akademickie DIALOG, Warszawa.
- Boryczka J., 2001, *Postęp badań przyczyn zmian klimatu Ziemi w drugiej połowie XX wieku*, Prace i Studia Geograficzne, t. 28, Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 1984, *The multiperiodical changes of air temperature in Warsaw*, Miscellanea Geographica, Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., 2002, *The Progress in the Study of the Causes of the Climate Changes on the Earth. The Beginnings of the Research on the Periodical Climate Changes*, Miscellanea Geographica, vol. 10, 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., Błażek 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., Błażek 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., Wągrowka M., Błażek 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., Błażek 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., Stopa-Boryczka M., Lorenc H., Kicińska B., Błażek E., Skrzypczuk J., 2000, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. XIV, *Prognozy zmian klimatu Warszawy*, Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Błażek E., Skrzypczuk J., 2001, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. XV, *Prognozy zmian klimatu miast Europy*, Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Grabowska K., Błażek E., Skrzypczuk J., 2002, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. XVI, *Prognozy zmian klimatu Polski*, Wyd. UW, Warszawa.

- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Kirschenstein M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2003, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. XVII, *Mroźne zimy i upalne lata w Polsce*, Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Grabowska K., Wawer J., Błażek E., Skrzypczuk J., 2004, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. XVIII, *Groźne zjawiska pogodowe w Polsce*, Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Pietras K., Bijak S., Błażek E., Skrzypczuk J., 2005, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. XIX, *Cechy termiczne klimatu Europy*, Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., Wicik B., 1994, *Record of holocene climatic cycles in lake sediments in Central Poland*, *Miscellanea Geographica*, nr 6.
- Briffa K., Cook E., 1990, *Methods of response function analysis* [W:] Cook E., Kairiukstis L. (red.) *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*, IIASA, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Brückner E., 1890, *Klimaschwankungen seit 1700 nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit*, *Geogr. Abh.*, H. 4/2, Wien.
- Budyko M.I., 1971, *Klimat i żizn*, Gidromietieoizdat, Leningrad.
- Budyko M.I., 1974, *Izmenienija klimata*, Gidromietieoizdat, Leningrad.
- Budyko M.I., Piwowarowa Z.I., 1967, *Wlijanije wulkanicznych izwierzenij na prichodiaszczuju k powierchnosti Ziemi solniecznuju radiacuju*, *Mietieorologija i Gidrologija*, nr 10.
- Cebulski R., 2007, *Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu opadów atmosferycznych i stanów wody rzeki górskiej*, (maszynopis rozprawy doktorskiej), Warszawa.
- Cedro A., 2007, *Rola wskaźnika NAO w kształtowaniu przyrostów rocznych sosny zwyczajnej*, [W:] *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych* (red. Piotrowicz K., Twardosz R.), IGiGP UJ, Kraków.
- 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).
- Chromow S.P., 1969, *Meteorologia i klimatologia*, PWN, Warszawa.
- Climatological Normals (CLINO) for Climate and Climate Ship Stations for the Period 1931-1960, 1962, 1971*, WMO, TP 117.
- Cropper J.P., 1979, *Tree-rings skeleton plotting by computer*, *Tree-Ring Bulletin* 39.
- Flohn H., 1985, *Climatic prospects in the cane of extended CO₂ – induced warming*, *Meteor. Zeit.*, H. 1.
- Fritts H.C., 1976, *Tree Rings and Climate*, Academic Press, London.
- Girs A.A., 1974, *Solnieczno-atmosfiernyje swiazi i ich rol w dolgosrocznych gidromietieorologičeskich prognozach*, Gidromietieoizdat, Leningrad.
- Groveman B.S., Landsberg H.E., 1979, *Simulated Northern Hemisphere Temperature Departures 1579-1980*, *Geophys. Res. Lett.*, 6, s. 767-769.
- 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. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 1990, 1995.*

- Johnsen S.J., Dansgaard W., Clausen H. B., Longway C. C., 1970, *Climatic oscillations 1200-2000 A.D.*, Nature, nr 227, London.
- Jones P.D., Jonsson T., Wheeler D., 1997, *Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland*, Int. J. Climatol., 17, s. 1433-1450.
- Kondratiew K.J., Nikolski G.A., 1970, *Solar radiation and solar activity*, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., no 96.
- Kożuchowski K., Wibig J. 1988, *Kontynentalizm pluwialny w Polsce, zróżnicowanie geograficzne i zmiany wieloletnie*. Acta Geographica Lodziensie, nr 55.
- Kożuchowski K., 1989, *Makrotypy cyrkulacji atmosferycznej a temperatura powietrza w Polsce*, Przeg. Geofiz., R. XXXIV, z. 4.
- Kożuchowski K. (red.), 1990, *Materiały do poznania historii klimatu w okresie obserwacji instrumentalnych*, Wyd. Uniw. Łódzkiego, Łódź.
- Kożuchowski K., Stolarczuk, Wibig J., 1994, *Wskaźniki cyrkulacji atmosferycznej na poziomie 500 hPa nad Polską i południowym Bałtykiem w latach 1951-1990 (w): Współczesne zmiany klimatyczne. Klimat Polski i regionu Morza Bałtyckiego na tle zmian globalnych*, Rozprawy i Studia Uniw. Szczecin., (226) 152.
- Lamb H.H., 1974, *Climatic history and future Climate, present, past and future*, vol. 2, London, Methnen.
- Lamb H.H., 1977, *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., 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 klimatologicznym*, Materiały Konferencji, Gdynia 6 V 1999.
- Marsz A.A., 2001, *Długoterminowa prognoza warunków termicznych okresu zimowego w Polsce*, Postęp badań zmian klimatu i ich znaczenie dla życia i gospodarczej działalności człowieka, Wyd. WGR UW, Warszawa.
- Milankovich M., 1930, *Mathematische Klimalehre und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen*
- Morlet J., 1983, *Sampling theory and wave propagation*, NATO ASI Series, FI Springer.
- Neuwirth B., Schweingruber F.H., Winiger M., 2007, *Spatial patterns of central European pointer years from 1901 to 1971*, Dendrochronologia 24.

- 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.
- Paszyński J., Niedźwiedz T., 1991, *Klimat*, [W:]: Starkel L. (red.), *Geografia Polski środowisko przyrodnicze*, PWN Warszawa.
- Petite J.R., Jouzel J., Reynaud D. et. al., *Climate and Atmospheric History of the Past 420 000 Years from the Vostoc Ice Core*, Antarctica, Nature 399.
- Przybylak R., Wójcik G., Majorowicz J., 2001, *Zmiany temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Polsce w okresie XVI-XX wieku*, Prace i Studia Geograficzne, t. 29, WGSR UW, Warszawa.
- Rakipowa L.R., 1960, *O wozdziejstwie solnicznej aktywnosci na obszczuju cirkulacju atmosfieri*, Astronom. zbornik, III i IV.
- Reznikow A.P., 1982, *Priedskazanije jestiestwiennych processow obuczajuszcziejjsja 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.
- 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.
- Stopa-Boryczka M., 1973, *Cechy termiczne klimatu Polski*, Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego, Nr 72, Warszawa.
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E., 1990, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. VI, *Wpływ Oceanu Atlantyckiego i ukształtowania powierzchni Ziemi na pole temperatury powietrza w Polsce*, Wyd. UW, Warszawa.
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wągrowiska M., Śmiałkowski J., 1994, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. VIII, *Cechy oceaniczne klimatu Europy*, Wyd. UW, Warszawa.
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Błażek E., Skrzypczuk J., 1995, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. IX, *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy*, Wyd. UW, Warszawa.
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 2001, *Przewidywane średnie sezonowe i roczne zmiany temperatury powietrza na wybranych stacjach*, [W:] *Atlas klimatycznego ryzyka upraw roślin w Polsce*, Wyd. Akademii Rolniczej w Szczecinie, Szczecin.
- Styszyńska A., 2001, *Oscylacja Północnoatlantycka a opady na obszarze Polski*, Postęp badań zmian klimatu i ich znaczenie dla życia i gospodarczej działalności człowieka, Wyd. WGSR UW, Warszawa.
- Trepińska J., 1973, *Zmiany w przebiegu temperatury powietrza w Krakowie w XIX i XX wieku*, Przegl. Geofiz., z. 1-2.
- Trepińska J., 1988, *Wieloletni przebieg ciśnienia i temperatury powietrza w Krakowie na tle ich zmienności w Europie*, Rozprawy Habilitacyjne UJ, 140, Kraków.

- Trepińska J., 2001, *Fluktuacje termiczne w Europie od małej epoki lodowej do końca XX wieku*, Postęp badań zmian klimatu i ich znaczenie dla życia i gospodarczej działalności człowieka, Wyd. WGRS UW, Warszawa.
- Wallace J.M., Gutzler D.S., 1981, *Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter*, Mon. Wea. Rev., t. 109, 784-812.
- Wangenheim G.J., 1938, *K woprosu tipizacji i schiematizacji sinoptycznych processow*, Meteorologija i Hidrologija, t. 3, nr 3.
- Witwicki G.N., 1980, *Zonalność klimata Ziemi*, Moskwa.
- Wolf R., 1869-72, *Handbuch der Mathematik, Physik, Geodesie und Astronomie*, t. 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.
- Zielski A., Krąpiec M., 2004, *Dendrochronologia*, PWN Warszawa.
- Żmudzka E., 1998, *Cykliczne zmiany temperatury powietrza w Polsce*, (maszynopis rozprawy doktorskiej), Warszawa.

**WYKAZ PRAC MAGISTERSKICH ZAKŁADU KLIMATOLOGII
DOTYCZĄCYCH CYKLICZNOŚCI I TENDENCJI
ZMIAN KLIMATU W EUROPIE**

1984

Dąbrowska Bogumiła, *Wielookresowe zmiany temperatury w Warszawie w latach 1779-1979.*

Dębska Dorota, *Wielookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1813-1980.*

1989

Tomasik Małgorzata, *Długookresowe zmiany temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie.*

Grzęda Katarzyna, *Wielookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Krakowie w latach 1850-1987.*

Klechta Konrad, *Wielookresowe zmiany temperatury w Krakowie w latach 1826-1985.*

1991

Puczyńska Joanna, *Klimat Polski w ujęciu historycznym – druga połowa XVIII wieku.*

1992

Michalska Anna, *Trend czasowy opadów atmosferycznych w Polsce w latach 1881-1980.*

Porowska Anna, *Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Warszawie i Pradze w latach 1779-1976.*

1993

Skrzypczuk Jan, *Wiekowe zmiany temperatury powietrza w Środkowej Anglii w latach 1659-1973.*

1994

Kierzkowska Małgorzata, *Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Alpach (XIX-XX wiek).*

1999

Olszewska Edyta, *Tendencja temperatury powietrza w Warszawie w latach 1966-1995.*

Duma Robert, *Zmiany wiekowe temperatury powietrza w Polsce w zależności od erupcji wulkanicznych i aktywności Słońca.*

2001

Piotrowski Adam, *Zmiany roczne pola temperatury powietrza w Kanadzie.*

Szarek Anna, *Zmiany temperatury powietrza na Helu w okresie 1851-1995.*

2002

Górska Mariola, *Zmiany opadów atmosferycznych w Warszawie w latach 1966-1995.*

Tomaszewski Mariusz, *Synchroniczne wahania temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w XIX i XX wieku w Polsce.*

2005

Płazewski Rafał, *Ostrość i śnieżność zim w Warszawie w latach 1965-1995.*

Maciejak Małgorzata, *Tendencje zmian wilgotności powietrza w Polsce w latach 1966-1995.*

Maciejak Marta, *Okresowe zmiany ciśnienia atmosferycznego w Warszawie i Krakowie w latach 1966-1995.*

Szaniawski Przemysław, *Zmienność temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX wieku.*

2006

Styś Karol, *Tendencje rocznych zmian zachmurzenia w Warszawie i Krakowie w latach 1966-1995.*

Citko Urszula, *Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce.*

Tomaszewski Andrzej, *Rola Oscylacji Północnoatlantyckiej w kształtowaniu opadów atmosferycznych we Wrocławiu w XX wieku.*

Leszczyńska Ewa, *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Europie w XIX-XX wieku (na przykładzie Wrocławia i Marsylii).*

2007

Baczyński Krzysztof, *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Paryżu w XIX i XX wieku.*

Gołdowska Hanna, *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na okresowe zmiany temperatury powietrza w Polsce w XIX-XX wieku.*

Kalecińska Katarzyna, *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w XIX-XX wieku.*

Łopacki Michał, *Wpływ aktywności Słońca na okresowe zmiany cyrkulacji atmosferycznej w Europie.*