

**PROGNOZY ZMIAN  
KLIMATU POLSKI**

JERZY BORYCZKA  
MARIA STOPA-BORYCZKA  
DARIUSZ BARANOWSKI  
KATARZYNA GRABOWSKA  
ELŻBIETA BŁAŻEK  
JAN SKRZYPCZUK

**XVI. PROGNOZY ZMIAN KLIMATU POLSKI**

# atlas

WSPÓLZALEŻNOŚCI  
PARAMETRÓW  
METEOROLOGICZNYCH  
I GEOGRAFICZNYCH  
W POLSCE

Warszawa 2002

Redakcja naukowa  
Maria Stopa-Boryczka  
Jerzy Boryczka

Redaktor  
Władysław Żakowski

Redaktor techniczny  
Joanna Świętochowska

Książka dofinansowana przez Komitet Badań Naukowych

© Copyright by Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego 2002

ISBN 83-235-0060-6

Skład i łamanie  
Jan Skrzypczuk

Druk i oprawa: Zakład Graficzny UW, zam. nr

## SPIS TREŚCI

I. WPROWADZENIE .....	7
II. STAN BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU .....	9
1. Antropogeniczne zmiany klimatu .....	9
2. Naturalne zmiany klimatu .....	11
3. Prognozy zmian klimatu .....	13
III. PROGNOZY ZMIAN KLIMATU W PRACACH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO .....	17
1. Początki badań zmian klimatu i prognoz (1984) .....	17
2. Postęp badań zmian klimatu i prognoz (1992-2000) .....	19
3. Wpływ Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO) na klimat Polski .....	26
4. Prognozy zmian Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO) w XXI wieku .....	27
4.1. Widma wskaźnika NAO w latach 1825-1997 .....	27
4.2. Zmiany wskaźnika NAO w XVIII-XXI wieku .....	28
IV. ZMIANY KLIMATU POLSKI NA TLE EUROPY W XVIII-XXI WIEKU .....	30
1. Cykliczne zmiany klimatu Europy (XVIII-XX) .....	30
2. Coraz cieplejsze zimy w Europie i Polsce .....	32
3. Prognoza klimatu Warszawy w XXI wieku .....	33
V. POLE TEMPERATURY POWIETRZA W POLSCE A TYPY CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ .....	35
1. Geograficzny rozkład temperatury maksymalnej i minimalnej w Polsce .....	39
2. Maksymalna temperatura powietrza w Polsce a typy cyrkulacji atmosferycznej .....	40

3. Minimalna temperatura powietrza a typy cyrkulacji atmosferycznej . . . . .	41
4. Zróżnicowanie wartości temperatury maksymalnej i minimalnej na obszarze Polski w dominujących typach cyrkulacji atmosferycznej . . . . .	42
5. Zmienność temperatury maksymalnej i minimalnej w przebiegu rocznym w dominujących typach cyrkulacji . . . . .	43
6. Temperatura maksymalna i minimalna w zależności od makrotypu cyrkulacji atmosferycznej . . . . .	44
VI. Z BADAŃ OKRESOWOŚCI I TENDENCJI ZMIAN BURZ W POLSCE . . . . .	164
1. Zmiany roczne liczby dni z burzą . . . . .	164
2. Zmiany cykliczne liczby dni z burzą . . . . .	166
3. Zależność dni z burzą od typów cyrkulacji atmosferycznej . . . . .	167
4. Tendencje zmian aktywności burzowej w Polsce . . . . .	169
5. Prognoza dni z burzą w latach 2000-2025 . . . . .	170
VII. ZAKOŃCZENIE . . . . .	206
LITERATURA . . . . .	208

## I. WPROWADZENIE

Celem XVI tomu *Atlasu p.t. Prognozy zmian klimatu Polski* jest przedstawienie stanu badań zmian klimatu Europy, ze szczególnym uwzględnieniem Polski prowadzonych w Zakładzie Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego w latach 1984-2002.

Najpierw zestawiono najważniejsze wyniki badań dotyczące cykliczności, tendencji i prognoz zmian klimatu Polski na tle Europy w XVIII-XXI wieku. Koncepcja prognozowania zmian klimatu pojawiła się po wykryciu synchronicznych cykli zmiennych klimatologicznych, astronomicznych i geologicznych. Analogiczna cykliczność skutków i domniemanych przyczyn upoważnia do przedstawienia hipotezy, że stwierdzona okresowość w XVIII-XX wieku będzie się powtarzać w XXI wieku. Sondażem przyszłości jest interferencja wykrytych cykli krótkich, średnich i długich poza przedziałem serii pomiarów.

Jednym z nich, najważniejszym w prognozach, jest planetarny cykl 178,9-letni. Po prostu co 179 lat powtarza się liczba plam słonecznych (liczb Wolfa) jak też wartości stałej słonecznej.

Jego obecność w seriach pomiarowych (temperatury i paleotemperatury) świadczy o zewnętrznych przyczynach współczesnych wahań klimatu. Ponadto stwierdzono, że w kształtowaniu klimatu ważną rolę spełnia zawartość pyłów wulkanicznych w atmosferze, która cechuje się także okresowością. Dystrybucja energii słonecznej na Ziemi uwarunkowana zmianami stałej słonecznej i przezroczystości atmosfery odbywa się przez ogólną cyrkulację. Klimat Europy (i Polski) zależy od jej składowej równoleżnikowej (strefowej). Postępujące ocieplenie, zwłaszcza coraz cieplejsze zimy w Europie dobrze wyjaśnia tendencja rosnąca wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku (*NAO*) tj. intensyfikacja ocieplającego w zimie oddziaływania wód Atlantyku.

Prognozy wskazują na naturalne ochłodzenie klimatu Europy (i Polski) w XXI wieku, które częściowo może być złagodzone przez czynniki antropogeniczne (efekt cieplarniany i miejskie wyspy ciepła).

Wyeksponowano wpływ cyrkulacji atmosferycznej na klimat Polski (wg klasyfikacji Osuchowskiej-Klein) w rozdziale IV opracowanym przez D. Baranowskiego. Szczegół-

ne znaczenie poznawcze i możliwość wykorzystania w prognozach regionalnych mają mapy izarytm maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza z wyodrębnieniem kierunków adwekcji mas powietrza i typów cyrkulacji cyklonalnej i antycyklonalnej. Rozdział ten jest rozszerzeniem badań autora zapoczątkowanych w pracy doktorskiej (2001).

Innym ważnym problemem jest aktywność burzowa w Polsce w zależności od typów cyrkulacji atmosferycznej. Zagadnienie to zostało rozwiązane w pracy doktorskiej K. Grabowskiej p.t. *Burze w Polsce i ich uwarunkowania* (20002). Wykrycie cykliczności aktywności burzowej w Polsce w latach 1951-1990 umożliwiło opracowanie prognoz liczby dni z burzą do roku 2025 w 20 miejscowościach, reprezentujących różne jednostki fizycznogeograficzne Polski. Prognozy liczby dni z burzą w Polsce mają duże znaczenie aplikacyjne.

Ważniejsze wyniki badań zawarte w XVI tomie *Atlasu* przedstawiono głównie na mapach, licznych wykresach i tabelach.

## II. STAN BADAŃ WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU

Współczesne zmiany klimatu są jednym z ważniejszych problemów nauk przyrodniczych i społeczno-ekonomicznych. Klimat jest najważniejszym elementem środowiska przyrodniczego, który determinuje życie na Ziemi.

### 1. Antropogeniczne zmiany klimatu

W ostatnich latach autorzy publikacji dotyczących zmian klimatu zwracają szczególną uwagę na negatywne skutki działalności człowieka. Zagrożeniem dla życia na naszej planecie może być zbyt duża emisja do atmosfery: dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ), podtlenku azotu ( $\text{N}_2\text{O}$ ), freonów ( $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ,  $\text{CCl}_3\text{F}$ ) i innych gazów – tzw. szklarniowych, wywołujących efekt cieplarniany. W konsekwencji może to doprowadzić do nadmiernego ocieplenia klimatu Ziemi. Te alarmujące opinie wynikają z postępującego ocieplenia klimatu półkuli północnej w ostatnich dwóch stuleciach, któremu przypisuje się wymienione czynniki antropogeniczne. Na przykład w Warszawie w latach 1779-1990 zimy są coraz cieplejsze – o  $1^\circ\text{C}/100$  lat, a w Genewie w latach 1768-1980 – o  $0,5^\circ\text{C}/100$  lat. Ocenia się, że po podwojeniu koncentracji  $\text{CO}_2$  w atmosferze pod koniec przyszłego stulecia (w odniesieniu do stanu początkowego 280 ppm) nastąpi ogrzanie dolnej warstwy atmosfery o 0,1 do  $4^\circ\text{C}$  w zależności od szerokości geograficznej. Niektórzy autorzy (Flohn, 1985) nie w pełni uznają te hipotezy, gdyż zawartość  $\text{CO}_2$  w atmosferze ziemskiej jest regulowana pochłanianiem tego gazu przez wody oceanów. Wody chłodne wchłaniają więcej  $\text{CO}_2$  niż ciepłe. W równikowej strefie Pacyfiku stężenie  $\text{CO}_2$  wzrasta o 2,12 ppm/rok – podczas ciepłej fazy El Niño i o 0,76 ppm/rok – podczas chłodnej. Oczywiście przyrosty te ulegają zmianom z roku na rok (WMO, w 1984 r. odpowiednio 2,2 i 1,4 ppm/rok).

Innym naturalnym regulatorem zawartości  $\text{CO}_2$  w atmosferze ziemskiej jest asymilacja przez roślinność – głównie przez lasy, których jest coraz mniej (np. zmniejsza się powierzchnia równikowych lasów Amazonii).

Do negatywnych skutków działalności człowieka, oprócz wzrostu efektu cieplarnianego, należą zanieczyszczenia atmosfery. Stanowią one bezpośrednie zagrożenie dla życia na Ziemi. Na przykład dwutlenek siarki  $\text{SO}_2$ , który łącząc się z kropelkami wody



(mgły) tworzy kwas siarkawy  $N_2SO_3$ , a w tkankach roślin — kwas siarkowy  $H_2SO_4$  (kwaśne deszcze). Ponadto niektóre gazy (freony) unosząc się do atmosfery niszczą ochronną warstwę ozonową absorbującą promieniowanie ultrafioletowe, które w nadmiernej dawce jest szkodliwe dla organizmów żywych.

Wraz z rozwojem przemysłu obserwuje się tendencję rosnącą zawartości zanieczyszczeń powietrza. Pyły emitowane do atmosfery przez kominy fabryczne spełniają też pozytywną rolę, łagodząc efekt cieplarniany, wywołany przez  $CO_2$ . Absorbują one duże ilości energii słonecznej, ograniczając jej dopływ do powierzchni Ziemi. Zmieniają one w sposób istotny bilans promieniowania słonecznego, prowadząc z kolei do obniżenia temperatury powietrza – przeciwdziałając jej tendencji rosnącej.

Zarówno  $CO_2$ , jak też pyły przemysłowe są czynnikami antropogenicznymi, które kształtują klimat w skali globalnej, jak też regionalnej i lokalnej.

Efekt cieplarniany jest lokalnie potęgowany przez tzw. miejską wyspę ciepła. Wiadomo (Stopa-Boryczka, Boryczka i in., 1995), że np. w Warszawie różnica temperatury powietrza między miastem i otoczeniem może sięgać ponad  $10^{\circ}C$ . Wynika to z małego albedo i akumulacji ciepła przez zabudowę.

Efekt cieplarniany systemu Ziemia – atmosfera jest znany od dawna. Na przykład para wodna, której zawartość w atmosferze ulega wahaniom, przepuszcza krótkofalowe promieniowanie Słońca, a pochłania długofalowe promieniowanie Ziemi. Natomiast ingerencja człowieka powoduje nasilenie tego zjawiska. Jeżeli w troposferze bilans cieplny systemu Ziemia – atmosfera jest stały, to prawdopodobnie ocieplenie w przyziemnej warstwie atmosfery jest kompensowane ochłodzeniem stratosfery.

Istnieją ujemne i dodatnie sprzężenia zwrotne wywołane wzrostem zawartości  $CO_2$  w atmosferze (efektem cieplarnianym). Ze wzrostem temperatury powietrza wzrasta parowanie wód oceanów, powodując większe zachmurzenie nieba. Zachmurzenie ogranicza dopływ promieniowania słonecznego (bezpośredniego) do powierzchni Ziemi. Chmury, odbijając i rozpraszając promienie słoneczne, sterują dopływem energii ciepłej do powierzchni Ziemi. Jest to zatem główne (ujemne) sprzężenie zwrotne – przeciwdziałające efektowi cieplarnianemu.

Składnik dodatni tego sprzężenia – absorpcja promieniowania długofalowego Ziemi odgrywa drugorzędną rolę. Jest to element samoregulacji termicznej systemu Ziemia – atmosfera.

Dodatnim sprzężeniem zwrotnym jest topnienie śniegów i lodów pod wpływem wyższej temperatury – prowadzące do mniejszego albedo powierzchni Ziemi, tj. większego dopływu energii słonecznej.

Pod wpływem wyższej temperatury zmianie ulega także cyrkulacja atmosferyczna – dystrybucja energii słonecznej w atmosferze. Większe kontrasty temperatury powietrza

między strefą międzyzwrotnikową i polarną intensyfikują cyrkulację strefową (równoleżnikową), a także południkową.

Większa chwiejność atmosfery sprzyja intensywnej pionowej turbulencji. Cyrkulacja atmosferyczna ulega samoregulacji – zgodnie z zasadą zachowania pędu obracającego się (wokół osi ziemskiej) systemu Ziemia – atmosfera. Prędkości i kierunki wiatru są uwarunkowane powrotem systemu do stanu równowagi dynamicznej. Cyrkulacja atmosferyczna ma cechy ujemnego i dodatniego sprzężenia zwrotnego efektu cieplarnianego. Większe prędkości wiatru sprzyjają intensywnemu parowaniu z oceanów, wzrostowi zachmurzenia i spadkowi temperatury powietrza. Natomiast większy transport ciepła ku biegunom może prowadzić do topnienia śniegów i lodów – do zmniejszenia albedo w dużych szerokościach geograficznych.

## 2. Naturalne zmiany klimatu

Klimat Ziemi ulegał i ulega nadal wahaniom (ochłodzeniom i ociepleniom) – od wielu milionów lat. Milankowicz (1938) cztery zlodowacenia Ziemi wyjaśnia zmianami cyklicznymi parametrów orbity Ziemi: kąta nachylenia osi ziemskiej do płaszczyzny ekliptyki – 40 tys. lat, ekscentryczności orbity – 90 tys. lat i ruchu punktu Barana (równonocy wiosennej) – 21 tys. lat. Krzywa zmienności promieniowania słonecznego padającego na Ziemię (wypadkowa tych trzech cykli) ma 4 główne minima, odpowiadające czterem zlodowaceniom Ziemi sprzed 1 miliona lat. Hipotezę tę potwierdzają wyniki badań zawartości izotopów tlenu  $^{16}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$  w rdzeniach lodów Grenlandii.

Stosunek  $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$  ulega analogicznej cykliczności: 40, 100, 22 tys. lat (parowanie ciężkiego tlenu  $^{18}\text{O}$  jest większe przy wyższej temperaturze wody) – jak parametry orbity Ziemi.

Zmiany klimatu, uwarunkowane zmiennością parametrów orbity Ziemi, są bardzo powolne – znikome w kilkunastowym przedziale czasu i można je pominąć w prognozach klimatu na najbliższe stulecia.

Istotniejsze w prognozach są wahania klimatu sprzed 10 tysięcy lat (w holocenie), stwierdzone na podstawie akumulacji substancji organicznych w osadach Jez. Wisconsin (Ameryka Pn.) i w Europie (także w Polsce – jeziora: Wikaryjskie, Gościąż, Świąte). Zawartość substancji organicznych w osadach jeziornych jest dodatnio skorelowana z temperaturą powietrza. W prognozach na najbliższe stulecia istotne jest, czy tendencja naturalnych, wiekowych zmian temperatury powietrza jest rosnąca, czy też malejąca. Te wahania klimatu (akumulacji substancji organicznych w osadach jezior) o okresach kilkudziesięciu, kilkuset i kilku tysięcy lat są prawdopodobnie wywołane zmiennością wypadkowych sił grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce i Ziemię (Boryczka, Wicik, 1994).

Planetarne siły pływowe na Słońcu i Ziemi oraz zmiany przyspieszenia Słońca względem środka masy Układu Słonecznego kształtują prawdopodobnie aktywność Słońca i aktywność wulkaniczną na Ziemi. Są to główne czynniki naturalnych wahań klimatu.

Zmiany zachodzące na Słońcu są przenoszone na Ziemię poprzez jonosferę – cyrkulację atmosferyczną. Podczas maksymalnej aktywności Słońca (zwiększonego promieniowania krótkofalowego o długości fali 10,7 cm) obserwuje się wzrost zawartości ozonu w atmosferze, determinującego temperaturę górnych warstw powietrza. Ostatnio obserwuje się wzrost ozonu w atmosferze (Groves i inni, 1978; Kozuchowski, Przybylak, 1995). Prowadzi to do ogrzania warstw atmosfery w strefie międzyzwrotnikowej – wzmożenia cyrkulacji południkowej górnych warstw atmosfery (Haurwitz, 1946). Cykle krótkookresowe aktywności Słońca (stanu jonosfery) warunkują zmienność ciśnienia atmosferycznego – rozwój cyklonów i antycyklonów – ich ruch w fazie załazkowej (Rakipowa, 1960). Świadczą o tym też okresowe zmiany cyrkulacji atmosferycznej, skorelowane z cyklami aktywności Słońca.

Początkowo uważano, że podczas maksimum plam słonecznych (powierzchni o znacznie niższej temperaturze) stała słoneczna jest mniejsza i temperatura powietrza – niższa.

Ciągi chronologiczne liczb Wolfa i temperatury powietrza wskazują, że podczas maksimum aktywności Słońca jest cieplej niż w czasie minimum (większe są również przyrosty drewna w lasach – grubsze słoje drzew). Jest to wynikiem zależności dystrybucji ciepła na powierzchni Ziemi od aktywności Słońca.

Cyrkulacja atmosferyczna warunkuje transport magazynowanej, głównie w strefie międzyzwrotnikowej, energii słonecznej w stronę biegunów.

Oczywiście stała słoneczna zależy od aktywności Słońca. Zmienia się ona w ciągu roku ze względu na różną odległość Ziemi od Słońca: styczeń (147 mln km) – 2,01 cal/cm<sup>2</sup>min, lipiec (152 mln km) — 1,94 cal/cm<sup>2</sup>min.

Maksymalna wartość stałej słonecznej przypada na przedział liczb Wolfa 80-100 (Kondratiew, 1965). Tendencja rosnąca aktywności Słońca od 1700 roku może powodować postępujące ocieplenie klimatu Ziemi – poprzez cyrkulację i stałą słoneczną.

Okazało się (Boryczka, 1989, 1990), że istnieje istotna korelacja między liczbami Wolfa (1779-1979) i parametrami Układu Słonecznego. Największy wpływ na nie mają: wypadkowa siła grawitacji 9 planet ( $G$ ) i moment bezwładności planet względem środka masy  $B$  (dyspersja masy w Układzie Słonecznym).

Współczynniki korelacji  $r$  (Pearsona) równe 0,41 i -0,20 są istotne statystycznie na poziomie istotności 0,01.

Zależność liczb Wolfa ( $W$ ) i temperatury powietrza ( $T$ ) w Warszawie (1779-1984) od parametrów Układu Słonecznego opisują równania hiperpłaszczyzn regresji

$$W = 102,7 + 2,835G - 8,942B - 2,842s - 1,557Z$$

$$T = 7,992 + 0,014G - 0,073B - 0,050s - 0,336Z$$

gdzie:  $s$  – odległość środka masy Układu Słonecznego od Słońca,

$Z$  – odległość środka geometrycznego US od płaszczyzny ekliptyki.

Minimum absolutne trendu czasowego temperatury powietrza w Warszawie w ostatnich dwóch stuleciach (1779-1990) przypada na minimum absolutne aktywności Słońca

(od 1700 roku) i na maksimum aktywności wulkanicznej (od 1680 roku), przypada ono na najslabszy cykl 13-letni (1811-1823) liczb Wolfa – lata najbardziej spokojnego Słońca. Na początku XIX wieku wystąpiły wybuchy wulkanów o największym wskaźniku zapylenia atmosfery *DVI* (dust veil index, zdefiniowanym przez H.H. Lamba, 1974): Tambora – o 3000 *DVI* w 1815 r., Coseguina – o 4000 *DVI* w 1835 r.

Istotnymi dowodami (Boryczka, 1993, 1995), uzasadniającymi naturalne przyczyny globalnego ocieplenia klimatu w ostatnich dwóch stuleciach, jest podobieństwo gęstych widm oscylacji (rzeczywistych cykli) zmiennych klimatologicznych (skutków) i zmiennych astronomicznych (przyczyn). W gęstych widmach oscylacji: cyrkulacji atmosferycznej, temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, odpływów rzek, poziomu Morza Bałtyckiego są obecne tej samej długości cykle, które występują w widmach oscylacji: aktywności Słońca i erupcji wulkanicznych. Są one zbliżone do cykli parametrów Układu Słonecznego. We wszystkich widmach oscylacji dominują okresy obiegu dookoła Słońca czterech największych planet (Jowisza – 11,86 lat, Saturna – 29,46 lat, Urana – 84,02 lat, Neptuna – 164,79 lat) i okresy ich wzajemnego położenia (12,78, 13,81, 19,86, 45,36, 171,40 lat).

Sily grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce i Ziemię prawdopodobnie kształtują zmienność aktywności Słońca i erupcji wulkanów na Ziemi.

Spadek natężenia promieniowania słonecznego i temperatury powietrza po erupcjach wulkanów zauważono już dawniej (Wexler, 1953, Sawinow za Budyką, 1971, Kimball, 1980). Po wybuchu wulkanu Katmai (Alaska) promieniowanie słoneczne zmniejszyło się na stacjach aktynometrycznych o 10-20%. M. I. Budyko (1971) interpretował dwa maksima wiekowe temperatury powietrza na półkuli północnej (1881-1960) jako wynik dwóch maksimów natężenia promieniowania słonecznego, skorelowanych z długimi odstępami czasu między erupcjami wulkanów – oczyszczania się atmosfery z pyłów wulkanicznych.

### **3. Prognoza zmian klimatu**

Z modeli fizycznych (Öpik, 1953; Budyko, 1967; Sellers, 1969) wynika, że spadek promieniowania całkowitego o 1,5-2% prowadzi do pełnego zlodowacenia Ziemi.

Na długookresowe wahania klimatu ma większy wpływ drobny pył wulkaniczny, unoszący się w górnych warstwach atmosfery przez wiele lat. Pył ten, oprócz aktywności Słońca, kształtuje zmiany stałej słonecznej. Tendencja spadkowa aktywności wulkanicznej (wydłużanie się odstępów czasu między erupcjami wulkanicznymi) może prowadzić również do wzrostu stałej słonecznej – powodować postępujące ocieplenie klimatu.

Stwierdzono też w ostatnich latach stałą tendencję spadkową natężenia promieniowania słonecznego, wynikającą ze wzrostu koncentracji pyłów przemysłowych w dużych miastach.

Odmienne są katastroficzne prognozy klimatu wynikające z modeli fizycznych, uwzględniających efekt cieplarniany atmosfery, wywołany tendencją wzrostową kon-

centracji CO<sub>2</sub>. Na tej podstawie S. Manabe i R. T. Wetherald (1975) przewidują wzrost temperatury powietrza o 0,5°C w latach 1970-2000. Według Budyki (1971) wzrost produkcji energii cieplnej o 6%/rok spowoduje w połowie przyszłego stulecia wzrost temperatury powietrza o 3°C w umiarkowanych szerokościach geograficznych, a za 80-100 lat stopienie lodów Arktyki.

Przewiduje się, że podwojenie zawartości CO<sub>2</sub> w atmosferze do 600 ppm nastąpi około 2053 r. – wg wzoru empirycznego H. Oeschgera i U. Siegenthalera (1987).

Naturalne zmiany klimatu częściowo uwzględnia model statystyczny M. K. Milesa i P. B. Gilldersleevesa (1977) anomalii temperatury powietrza na półkuli północnej (1870-1970):

$$T = 0,0073\text{CO}_2 - 0,0021\text{DVI} + 0,0080$$

gdzie: CO<sub>2</sub> – koncentracja dwutlenku węgla (ppm), DVI – dust veil index. Z modelu wyeliminowano aktywność Słońca, jako nieistotną statystycznie, natomiast dominują w nim dwie zmienne: CO<sub>2</sub> (rosnąca – nie ulegająca periodyczności wielookresowej) i wskaźnik zapylenia wulkanicznego DVI (o bardzo dużym zakresie zmienności od paru do paru tysięcy).

Interesujący jest eksperyment numeryczny Ch. D. Schönwiese (1987) wiekowych zmian temperatury powietrza na Ziemi ( $T$ ) – w zależności od zmiennych: solarnej ( $S$ ), wulkanicznej ( $V$ ) i antropogenicznej (gazów szklarniowych,  $C$ ):

$$T_i = a_0 + a_1S + a_2V + a_3C + \varepsilon_i$$

Wykresem równania regresji ( $\varepsilon_i$  – i-ta reszta) jest krzywa dobrze opisująca główne minima i maksima wiekowe globalnych zmian temperatury powietrza, a także jej tendencję rosnącą w latach 1851-1980. Jest to dowód (wg Schönwiese), że tendencja rosnąca temperatury powietrza wynika z efektu cieplarnianego atmosfery ( $C$ ).

Jest to mało przekonujące. Włączenie do równania, oprócz aktywności Słońca i erupcji wulkanicznej, dowolnej zmiennej rosnącej (nie ulegającej periodyczności wielookresowej) prowadzi do podobnych rezultatów.

W ten sam sposób można wykazać, że główne minima i maksima temperatury powietrza (np. w Warszawie w latach 1779-1980, Boryczka, 1993), a także tendencja rosnąca zależą od parametrów Układu Słonecznego. Oto równanie hiperpłaszczyzny regresji

$$T = 8,026 - 0,05173G - 0,03411\gamma - 0,3623Z - 0,3455z$$

gdzie:  $G$  – wypadkowa siła grawitacji planet,  $\gamma$  – cosinus kąta między promieniami wodzącymi środków masy i geometrycznego Układu Słonecznego. Równanie to cechuje się współczynnikiem korelacji wiekowej  $R = 0,382$ , istotnym na poziomie ufności 99% (charakterystyka Fishera-Snedecora  $F_{\text{obl}} = 8,34$ ).

Niektórzy autorzy (Laris) pomijają zupełnie czynniki naturalne, przypisując zmienność temperatury powietrza tylko efektowi cieplarnianemu – gazom szklarniowym. W równaniu A. Larisa występuje tylko koncentracja w atmosferze: metanu ( $\text{CH}_4$ ), podtlenku azotu ( $\text{N}_2\text{O}$ ), freonów ( $\text{CCl}_2\text{F}_3$  i  $\text{CCl}_3\text{F}$ ), tlenu ( $\text{O}_2$ ) i dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ).

Interesujące są późniejsze modele fizyczne (1992): GFDL (Geophysical Fluid Dynamic Laboratory) – cyrkulacji atmosferycznej, GCM (General Circulation Model) i GISS (Goddard Institute for Space Studies). Na uwagę zasługują tzw. scenariusze temperatury powietrza i opadów atmosferycznych: zerowe  $1 \times \text{CO}_2$  i po podwojeniu koncentracji dwutlenku węgla  $2 \times \text{CO}_2$ . Są to modele globalne (ogólne) dwuwymiarowe  $T=f(\varphi, \lambda)$  w sensie klimatologicznym, otrzymane z bilansu cieplnego układu Ziemia-atmosfera, przy pewnych założeniach – średniego albedo, zachmurzenia itp. Bardzo ważna jest weryfikacja modeli zerowych  $1 \times \text{CO}_2$  na konkretnych obszarach Ziemi, np. w Polsce – ich rozbieżności z polami rzeczywistymi temperatury powietrza czy też opadów atmosferycznych.

W zastosowaniach scenariuszy  $2 \times \text{CO}_2$  zmian klimatu – po podwojeniu koncentracji  $\text{CO}_2$  w atmosferze, które nastąpi dopiero po upływie kilkudziesięciu lat, konieczne jest uwzględnienie składnika naturalnego trendu wiekowego temperatury powietrza czy też opadów atmosferycznych. W tak długim przedziale czasowym wahania składnika naturalnego są rzędu paru  $^\circ\text{C}$  (w Warszawie  $1,2^\circ\text{C}$ ). Najmniej wiarygodne są więc prognozy temperatury powietrza i opadów atmosferycznych wg scenariuszy  $2 \times \text{CO}_2$ , podane w postaci izarytm (izoterm i izohiet), gdzie abstrahuje się od głównego składnika naturalnych zmian klimatu i ich naturalnych przyczyn (zmian aktywności Słońca, erupcji wulkanów). Izarytmy są kreślone w zasadzie na podstawie modeli dwuwymiarowych  $T=f(\varphi, \lambda)$  ( $\varphi$  – szerokość geograficzna,  $\lambda$  – długość geograficzna) – wielkoskalowych – na obszarach takich, jak Polska, o zróżnicowanej wysokości n.p.m.

Najdłuższe ciągi chronologiczne temperatury powietrza na Ziemi nie wykazują tak dużych antropogenicznych przyrostów, np. w górach (Lorenc, 1994). W dużych zaś nielicznych miastach wzrost temperatury powietrza w ostatnich stuleciach jest wywołany przez czynniki naturalne i antropogeniczne – głównie przyrostem zabudowy (akumulującej energię słoneczną) – tzw. miejską wyspą ciepła (Boryczka, Stopa-Boryczka i in., 1992).

Prognozowany antropogeniczny przyrost temperatury w Warszawie będzie w pierwszym 10-leciu XXI wieku bardziej zróżnicowany od obecnego. W półroczu chłodnym przyrosty temperatury w mieście będą większe (do  $1^\circ\text{C}$  w roku 2100), co oznacza, że miasto będzie coraz cieplejsze w zimie, a coraz chłodniejsze w lecie w stosunku do stanu wyjściowego z początku XIX wieku.

Ten problemowy przegląd literatury stanowi ogólne tło dalszych badań naturalnych i antropogenicznych zmian klimatu Europy (i Polski) – w VII, X-XVI tomie *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*:

- tom VII – *Zmiany wiekowe klimatu Polski* (Boryczka, Stopa-Boryczka, Kicińska, Żmudzka, 1992);
- tom X – *Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie* (Boryczka, Stopa-Boryczka, Błażek, Skrzypczuk, 1997);
- tom XI – *Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie* (Boryczka, Stopa-Boryczka, Błażek, Skrzypczuk, 1998);
- tom XII – *Ocieplenia i ochłodzenia klimatu miast w Europie* (Boryczka, Stopa-Boryczka, Wągrowa, Błażek, Skrzypczuk, 1999);
- tom XIII – *Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie* (Boryczka, Stopa-Boryczka, Błażek, Skrzypczuk, 1999);
- tom XIV – *Prognozy zmian klimatu Warszawy* (Boryczka, Stopa-Boryczka, Lorenc, Kicińska, Błażek, Skrzypczuk, 2000);
- tom XV – *Prognozy zmian klimatu miast Europy* (Boryczka, Stopa-Boryczka, Baranowski, Błażek, Skrzypczuk, 2001);
- tom XVI – *Prognozy zmian klimatu Polski* (Boryczka, Stopa-Boryczka, Baranowski, Grabowska, Błażek, Skrzypczuk, 2002);

### III. PROGNOZY ZMIAN KLIMATU W PRACACH ZAKŁADU KLIMATOLOGII UNIwersYTETU WARSZAWSKIEGO

#### 1. Początki badań zmian klimatu i prognoz (1984)

Zakład Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego opracowuje prognozy zmian klimatu od ponad 20 lat (od 1984). Pierwsze próby prognoz naturalnych zmian klimatu w pojedynczych miejscowościach w Polsce – temperatury powietrza (Warszawa 1779-1979) przedstawiono po raz pierwszy w pracy J. Boryczki pt. *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu* (1984).

Okresy były wyznaczone na podstawie serii średnich miesięcznych wartości zestawionych w jednej kolumnie np. 1779 I, II, ..., XII, 1980 I, II, ..., XII, ... Dopasowywano (wg warunku najmniejszych kwadratów) jednocześnie dwie sinusoidy o okresie  $\Theta = 1$  i  $\Theta$  do wyników pomiarów:

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

zmieniając okres drugiej sinusoidy  $\Theta = 2, 1, \dots, n$ .

Okresy optymalne – to minima lokalne wariancji resztkowej  $\varepsilon^2$ .

W badanych seriach pomiarowych wykryto okresy: 11,2; 18,6; 22; 90 i 220 lat. Funkcja prognostyczna  $y = f(t)$  miała postać wyodrębniająca cykl roczny okresu  $\Theta_r = 1$  rok:

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

Istotne znaczenie miało wyodrębnienie modulacji cyklu rocznego o częstotliwości  $\omega_r$  przez cykle dłuższe przez dodanie sinusoid o częstotliwościach:  $\omega_r + \omega$  i  $\omega_r - \omega$  ( $\omega = \frac{2\pi}{\Theta}$ ).

Wstawiając do wzoru środki kolejnych miesięcy ( $t + \Delta t$ ,  $0 < \Delta t < 1$ ,  $t = 1, 2, \dots$ ) prognozowane średnie miesięczne wartości temperatury i opadów – w tym minima roczne  $y_{\min}$  i maksima  $y_{\max}$ .

Interesujące są wykresy minimów  $y_{\min}$  i maksimów  $y_{\max}$  rocznych temperatury powietrza w Warszawie w latach 1500-2500 – sondaż przeszłości XXI-XXV. Prognozo-



wane minima wiekowe  $y_{\min}$  temperatury powietrza (styczeń) przypadają na nieparzyste stulecia XXI, XXIII, XXV, a maksima  $y_{\max}$  (lipiec) – na parzyste XXII, XXIV.

Prognozy te uzasadniano wtedy obecnością analogicznych cykli w seriach aktywności Słońca (liczb Wolfa). W badanych przedziałach czasu stwierdzono nie tylko zbliżoną okresowość temperatury powietrza i aktywności Słońca, lecz także koincydencję ekstremów – maksimów i minimów wykrytych sinusoidalnych cykli. W prognozach tych założono, że także najdłuższe cykle 90 i 220 lat temperatury powietrza silnie skorelowane z wahaniami aktywności Słońca będą się powtarzać w przyszłych stuleciach.

Znaczący postęp w prognozowaniu zmian klimatu nastąpił w latach 90 XX wieku. Świadectwem tego są wyniki badań przyczyn zmian klimatu zawarte w 4 publikacjach książkowych:

- *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. VII p.t. *Zmiany wiekowe klimatu Polski*, 1992, Wyd. UW (Boryczka, Stopa-Boryczka, Kicińska, Żmudzka).
- *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVIII-XXI wieku*, 1993, Wyd. UW, Warszawa, (Boryczka).
- *Zmiany klimatu Ziemi*, 1998, Wyd. Akademickie Dialog, Warszawa, (Boryczka).
- *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, t. XIV p.t. *Prognozy zmian klimatu Warszawy*, 2000, Wyd. UW (Boryczka, Stopa-Boryczka, Lorenc, Kicińska, Błazek, Skrzypczuk).

Od tej pory (1992) ciąg chronologiczny  $y_1, \dots, y_n$  wyników pomiarów wykonanych w dowolnych odstępach czasu  $t_1, \dots, t_n$  aproksymowano kolejnymi sinusoidami regresji.

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

o zadanych okresach  $\Theta = 2, 3, \dots, n$

Parametry sinusoidy dobierano tak, by suma kwadratów reszt  $\varepsilon^2 = y_i - f(t_i)$  punktów empirycznych  $(t_i, y_i)$  od sinusoidy była najmniejsza.

W pierwszych dwóch publikacjach książkowych wprowadzono definicję tzw. okresów rzeczywistych. Okresy rzeczywiste – to maksima lokalne ciągu amplitud  $b_1, \dots, b_n$  odpowiadających zadany okresom sinusoidy 2, 3, ...,  $n$  (widma oscylacji). Wykresy amplitudy  $b$  i współczynników korelacji  $R$  są przystające w części krótkookresowej widma  $0, \frac{n}{2}$ , a nieco różnią się w części długookresowej  $\frac{n}{2}, n$ .

Dlatego też w tych dwóch pierwszych pozycjach książkowych zamieszczono wykresy zarówno widm oscylacji  $b_1, \dots, b_n$  jak też współczynników korelacji  $R_1, \dots, R_n$ .

Należy zauważyć, że maksima lokalne współczynnika korelacji – to okresy optymalne (w sensie najmniejszych kwadratów). Są to minima lokalne wariancji resztkowej  $\varepsilon^2$ . Wykre-

sy współczynnika korelacji  $R = \left(1 - \frac{\varepsilon^2}{s^2}\right)^{0,5}$  (gdzie  $s^2$  – wariancja zmiennej  $y$ ) i  $-\varepsilon^2$  są przy-

stające w całym paśmie widma  $0, n$ .

Okazało się, że ten najdłuższy okres rzeczywisty temperatury powietrza w Warszawie  $\Theta = 220$  lat, otrzymany na podstawie krótszej serii pomiarów z lat 1779-1979 jest uwarunkowany zmianami aktywności Słońca (liczb Wolfa). Po prostu wynika on z interferencji cykli 102,0 i 187,3 lat.

$$\nu = \frac{\Theta_1 \cdot \Theta_2}{\Theta_2 - \Theta_1} = 223,97 \text{ lat}$$

Wprowadzając do równań prognostycznych

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

te najdłuższe cykle rzeczywiste (nieco różniące się od optymalnych, z części długookresowej  $\frac{n}{2}, n$ ) nie jest konieczne uwzględnienie modulacji cykli krótszych przez dłuższe tj. składników o częstościach  $\Theta_1 + \Theta_2, \Theta_2 - \Theta_1$ .

W siódmym tomie Atlasu opracowano prognozy średnich miesięcznych, sezonowych, półrocznych i rocznych wartości temperatury powietrza i odpowiednich sum opadów atmosferycznych w Warszawie oraz prognozy cyrkulacji atmosferycznej i aktywności Słońca.

Zmienne	Symbol	Dane	Prognozy
Temperatura powietrza – Warszawa	T	1779-1979	1980-2100
Opad atmosferyczny – Warszawa	P	1813-1980	1981-2100
Cyrkulacja:			
wschodnia	C <sub>E</sub>	1891-1976	1977-2050
zachodnia	C <sub>W</sub>	1891-1976	1977-2050
południkowa	C	1891-1976	1977-2050
Liczby Wolfa	W	1749-1980	1981-2100

## 2. Postęp w badaniach zmian klimatu i prognoz (1992-2000)

W prognozach tendencji zmian klimatu fundamentalne znaczenie ma wykrycie w seriach pomiarowych zmiennych klimatologicznych: cyrkulacji atmosferycznej, temperatury powietrza, opadów atmosferycznych składników deterministycznych. W tym celu w pracy J. Boryczki (1993) określono cykliczność 10 parametrów Układu Słonecznego np.: wypadkowej siły grawitacji planet, odległości środka masy Układu Słonecznego od Słońca, przyspieszenia Słońca, sił pływowych na Słońcu itp.

Okazało się, że cykle parametrów Układu Słonecznego (w tym okresy obiegu największych planet dookoła Słońca) są obecne w seriach pomiarowych zmiennych klimato-

logicznych. Niektóre cykle są obecne w ciągu chronologicznym liczb Wolfa (aktywności Słońca). Cykle temperatury powietrza, opadów atmosferycznych i innych zmiennych silnie skorelowane z analogicznymi cyklami aktywności Słońca i parametrów Układu słonecznego – to składniki deterministyczne. Zbliżona okresowość zmiennych klimatologicznych i astronomicznych uzasadnia przyjęcie w prognozach założenia, że cykle klimatu występujące w ostatnich dwóch stuleciach będą się powtarzać nadal – w XXI wieku.

W tej książce opracowano prognozy średnich konsekwentnych wartości aktywności Słońca:

Zmienne	Symbol	Dane	Prognozy
Liczby Wolfa	W	1749-1980	1981-2100
Wskaźnik aktywności geomagnetycznej	Ap	1884-1981	1982-2100

i cyrkulacji atmosferycznej:

Zmienne	Symbol	Dane	Prognozy
Wschodnia	C <sub>E</sub>	1891-1976	1892-2050
Zachodnia	C <sub>W</sub>	1891-1976	1892-2050
Południkowa	C	1891-1976	1892-2050
Cyklonalna	C <sub>L</sub>	1901-1975	1902-2050
Indeks cyrkulacji strefowej	C <sub>I</sub>	1899-1984	1900-2050

Badania okresowości temperatury powietrza i opadów atmosferycznych rozszerzono, uwzględniając inne miejscowości Polski, Europy oraz leżące w dużych i bardzo małych szerokościach geograficznych. Temperaturę powietrza prognozowano w 8 miejscowościach:

Miejscowość	Dane	Prognozy
Warszawa	1779-1979	1980-2100
Kraków	1826-1985	1980-2100
Wrocław	1851-1980	1981-2100
Praga	1771-1980	1981-2100
Zurych	1901-1970	1971-2100
Anglia Środkowa	1659-1973	1974-2100
Spitsbergen	1912-1975	1976-2100
Colombo	1869-1980	1981-2100

Opady atmosferyczne zaś prognozowano w 5 miejscowościach:

Miejscowość	Dane	Prognozy
Warszawa	1813-1980	1981-2100
Kraków	1850-1987	1988-2100
Wrocław	1859-1979	1980-2100
Colombo	1869-1980	1981-2100
Neuru	1894-1976	1977-2050

Funkcje prognostyczne uwzględniają zarówno interferencję wykrytych cykli jak też tendencję liniową ( $at$ ):

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

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

Prognozy wynikające z samej interferencji cykli (bez składnika liniowego  $at$  – tzw. antropogenicznego) są bardziej wiarygodne. Ekstrapolacja wartości funkcji aproksymujących  $y = f(t)$  poza przedział aproksymacji  $> n$  jest uzasadniona. Funkcje te są sumami sinusoid regresji o okresach zbliżonych do okresów parametrów Układu Słonecznego które regularnie będą się powtarzać w stuleciu XXI. Funkcji zaś liniowej  $at$  o dużym współczynniku regresji  $a$  nie można używać w ekstrapolacji poza długość serii pomiarowej  $n$ .

Innego rodzaju są tzw. prognozy astronomiczne, polegające na rozwinięciu ciągu chronologicznego temperatury powietrza czy też opadów atmosferycznych w szereg Taylora względem parametrów (okresowych) Układu Słonecznego. Są to wielomiany 1., 2. i 3. stopnia regresji względem parametrów Układu Słonecznego. Wartości tych wielomianów można również ekstrapolować poza przedział aproksymacji, gdyż argumentami tych funkcji wielu zmiennych są parametry Układu Słonecznego (zmiennie okresowe).

Interesująca jest zbieżność prognoz na podstawie interferencji cykli temperatury powietrza (opadów) i rozwinięć serii pomiarowych w szereg Taylora w otoczeniu środka zbioru punktów empirycznych.

Współczesnym zmianom klimatu i prognoz poświęcony jest jeden z rozdziałów książki J. Boryczki (1998) p.t. *Zmiany klimatu Ziemi w ostatnich stuleciach*.

Postęp w identyfikacji naturalnych przyczyn zmian klimatu Ziemi był możliwy dzięki zastosowaniu metody J. Boryczki „sinusoid regresji” wyznaczania widm i okresów. Ogromne znaczenie poznawcze ma wykrycie okresów zmiennych klimatologicznych: cyrkulacji atmosferycznej, temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, odpływu rzek, poziomu mórz itp. (skutków) i okresów domniemanych przyczyn (zmiennych astronomicznych, geologicznych). W przybliżeniu powinna być spełniona zasada identyfikacyjna: „okresy skutków i przyczyn są takie same, a wahania synchroniczne (koincydencja ekstremów cykli).

Metoda „sinusoid regresji” polega na dopasowaniu od wyników pomiarów  $y_1, \dots, y_n$  (wg najmniejszych kwadratów) kolejnych sinusoid o domniemanych okresach  $\Theta = 1, 2, \dots, n$  lub  $0,1; 0,2; \dots, n$  czy też  $0,01; 0,02; \dots; n$ .

Równanie sinusoidy regresji (nazwa dana przez autora) o okresie  $\Theta$  amplitudzie  $b$  i przesunięciu fazowym  $c$ :

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

wyznacza się sprowadzając zagadnienie do regresji wielokrotnej  $y$  względem  $x_1 = \sin\omega t$ ,  $x_2 = \cos\omega t$ , gdzie  $\omega = \frac{2\pi}{\Theta}$ :

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$$

Amplitudę  $b$  i fazę  $c$  otrzymuje się z przekształcenia odwrotnego  $b = (a_1^2 + a_2^2)^{0,5}$ ,  $\text{tg } c = \frac{a_2}{a_1}$

– z uwzględnieniem warunków  $a_1 = b \cos c$ ,  $a_2 = b \sin c$  (znaków).

Widmo zmiennej  $y$  – to ciąg wartości wariancji resztkowej  $\varepsilon^2$  odpowiadających domniemanym okresom np.  $\Theta = 0,1; 0,2; \dots; n$ . Okresy  $\Theta$  – to minima lokalne wariancji resztkowej  $\varepsilon^2$ . Okresy to również maksima lokalne współczynnika korelacji

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

Do walorów metody „sinusoid regresji” należą:

- Metodę można stosować, gdy odstęp czasu między wyrazami ciągu chronologicznego nie są równe (np. w przypadkach erupcji wulkanicznych, niekompletnie „uzupełnionych” serii pomiarowych zawierających braki).
- Umożliwia wyznaczanie całego „gęstego widma” – nie tylko w zakresie krótkookresowym  $0-0,5n$  (jak w innych metodach), lecz także w zakresie długookresowym  $0,5n-n$  tj. w całym paśmie  $0-n$ .
- Wyznaczane są wszystkie parametry cykli: okres, amplituda, faza.
- Wypadkowa (interferencja) już poru cykli wyjaśnia znaczną część wariancji danej zmiennej.

Dotychczasowe metody badań okresowości: analiza harmoniczna, metoda autokorelacyjna i transformata Fouriera mają ograniczenia stosowalności w badaniach zmian klimatu. Oto one:

- odstęp czasu w serii pomiarowej muszą być równe, seria musi być kompletna, bez braków.
- Można wyznaczyć tylko część krótkookresową widma z przedziału  $0-0,5n$ .  
Okresy są związane explicite z długością serii  $n$  (częstością podstawową  $\frac{1}{n}$ ).

W analizie harmonicznej zakłada się a priori okresy wynikające z samego podziału długości serii na części:  $n, \frac{n}{2}, \frac{n}{3}, \dots$ . Otrzymuje się zbyt rzadkie widmo, a harmoniki rzadko przypadają na prawdziwe okresy. W metodzie autokorelacyjnej jest pomijana

(odrzuca) część  $n-k$  danych, których liczba rośnie ze wzrostem długości wyznaczonego okresu  $k$  (w rotacyjnej autokorelacji ukryte jest założenie okresu  $n$ -letniego). W transformacji Fouriera wiążącej wyrazy szeregu Fouriera z autokowariancjami otrzymuje się gęste widmo w części krótkookresowej  $0, \frac{n}{2}$  – z pominięciem  $n-k$  wyników pomiarów. W przypadku okresu  $k = \frac{n}{2}$  nie wykorzystana jest połowa serii pomiarowej.

Produktem metody „sinusoid regresji” jest funkcja prognostyczna  $y = f(t)$  opisująca interferencję najsilniejszych cykli.

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

W funkcji prognostycznej można również uwzględnić modulację cyklu np. o częstości  $\omega_0$  (jego amplitudę  $b_0$  i fazę  $c_0$ ) przez cykl o częstości mniejszej  $\omega$ . Można tego dokonać w sposób:

$$y = a_0 + b_0 \sin(\omega_0 t + c_0) + b_1 \sin[(\omega_0 + \omega)t + c_1] + b_2 \sin[(\omega_0 - \omega)t + c_2]$$

Po prostu dołączone są sinusoidy o częstościach  $\omega_0 + \omega$  i  $\omega_0 - \omega$ .

Metoda „sinusoid regresji” bardzo prosta, jest potężnym narzędziem wykrywania okresowości zjawisk przyrodniczych – składników deterministycznych w seriach pomiarowych.

Nasuwa się też pytanie, czy wyznaczanie długookresowej części widma  $\frac{n}{2}$ ,  $n$  ma sens, skoro np. najdłuższy okres  $n$ -lat wystąpił w serii pomiarowej tylko jeden raz (dwa maksima czy też dwa minima cyklu). W klimatologii ma to ogromne znaczenie, gdyż dysponujemy seriami pomiarowymi kilkuletnimi, kilkudziesięcioletnimi lub kilkusetletnimi. Na przykład długookresowa część widma 25-50 lat wyznaczonego na podstawie  $n = 50$ -letniej serii pomiarów – to część krótkookresowa widma serii 100-letniej (0-50), 200-letniej, 300-letniej.

Postępem w badaniach przyczyn współczesnych zmian klimatu jest wykazanie powtarzalności aktywności Słońca (liczby plam słonecznych, liczb Wolfa) co 179 lat. Wykresy liczb Wolfa w latach 1700-1879 i 1880-1993 – po upływie planetarnego okresu 178,9 lat są prawie przystające. Maksimum liczb Wolfa w roku 1778 powtarza się po upływie 179 lat (maksimum absolutne w roku 1957). 179 lat – to fundamentalny okres powtarzania się konfiguracji 9 planet Układu Słonecznego. Co 179 lat powtarzają się wartości prawie wszystkich parametrów Układu Słonecznego: wypadkowej siły grawitacji planet, odległości środka masy Układu Słonecznego od Słońca, przyspieszenia Słońca w jego ruch względem środka masy Układu Słonecznego, dyspersji masy planet względem płaszczyzny ekliptyki i innych.

Interesujące jest, że interferencja 4 cykli planetarnych – obiegu dookoła Słońca, 4. największych planet: Jowisza – 11,86 lat, Saturna – 29,46 lat, Uranu – 84,02 lat i Neptuna – 164,7 lat z uwzględnieniem modulacji oddziaływań bliższych planet przez dalsze dobrze opisuje zmienność aktywności Słońca w latach 1700-1993. Nie może to być zgodność przypadkowa.

Istotne znaczenie poznawcze ma także wykazanie cykliczności erupcji wulkanicznych. Wskaźnik zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze *DVI* (zdefiniowany przez Lamba, dust veil index) cechuje się zmiennością krótkookresową jak też długookresową.

Ważnym elementem tej publikacji jest negacja koncepcji wykorzystywania liczb losowych do weryfikacji cykli klimatycznych (w podrozdziale *Oceny realności cykli klimatycznych a liczby losowe*). Generatory liczb losowych mają tę własność, że liczby tzw. losowe przy  $n \rightarrow \infty$  mają rozkład normalny o średniej  $\bar{y} \rightarrow 0$  i odchyleniu standardowym  $s \rightarrow 1$ . Jeżeli z liczb losowych o rozkładzie normalnym  $(0, 1)$  utrzymamy ciąg np. średnich 12-elementowych wartości  $y_1, \dots, y_n$  (przez analogię do średnich rocznych) i przyporządkujemy im czas  $t_1, \dots, t_n$  to wtedy zmienna  $y(t)$  nie jest losowa. Ciąg „czasowy”  $y_1, \dots, y_n$  cechuje się trendem  $y_i = f(t_i) + \varepsilon_i$  gdzie:  $f(t_i)$  – składnik „deterministyczny” zależny od generatora liczb losowych,  $\varepsilon_i$  składnik losowy.

Według definicji np. generatora RANNOR, utworzone ciągi par liczb  $a, b$  określone wzorami

$$a = \sin(2\pi x \sqrt{-\ln Y}), \quad b = \cos(2\pi x \sqrt{-\ln Y})$$

gdzie  $x, Y$  są liczbami losowymi wybieranymi z przedziału  $\langle 0, 1 \rangle$  tworzą ciąg liczb losowych  $y_1, \dots, y_n$  o rozkładzie normalnym, gdy  $N \rightarrow \infty$ .

Ciągi liczb losowych np.  $N = 2520$  i  $N = 5040$  cechują się nieistotnymi okresami o wartościach współczynnika korelacji  $R < 0,07$ . Natomiast ciągi 12-elementowych wartości, o liczebnościach  $n = 210$  i  $n = 240$  cechują się okresami istotnymi statystycznie. Należy zauważyć, że suma dwu kolejnych par liczb losowych tego generatora wyraża równanie sinusoidy o okresie  $\Theta = 1$ , amplitudzie  $b = \sqrt{-2 \ln Y}$  i fazie  $\frac{\pi}{4}$ :

$$a + b = \sqrt{-2 \ln Y} \cdot \sin\left(2\pi x + \frac{\pi}{4}\right)$$

Średnie 12 elementowe wartości liczb „losowych” są punktami sinusoid o tym samym okresie  $\Theta = 1$  i różnych amplitudach  $\sqrt{-\ln Y}$ . Po prostu wybierane są losowo punkty, leżące na sinusoidach, których zagęszczenie jest największe w pobliżu ekstremów (przy  $\Delta y = \text{const.}$ ). Liczba wartości  $N_i$ , różniących się o  $\Delta y$ , nie jest rozłożona równomiernie w przedziale  $0,1$  – jest proporcjonalna do  $\Delta x$ . Zależy ona od położenia asymptot pionowych, stycznych o nachyleniach  $-45^\circ, 0^\circ, +45^\circ$  krzywej odwrotności cosinusoidy.

Na przykład różnice  $\Delta x$  między kolejnymi punktami charakterystycznymi  $\Delta x = 0,036$  powtarza się w przedziale  $\langle 0, 1 \rangle$  czterokrotnie. Odpowiada ona przedziałom czasu  $\Delta t = 7,6$  lat (seria  $n = 210$ ) i  $15,1$  lat (seria  $n = 420$  lat) w ciągach „czasowych” liczb losowych.

Okresy wykryte w ciągach czasowych liczb losowych (średnich 12-elementowych wartości metodą „sinusoid regresji” wynoszą  $\Theta = 7,9$  lat ( $R = 0,175$ ) i  $\Theta = 15,2$  lat ( $R = 0,236$ ).

Na tej podstawie nie można wnioskować, że analogiczny okres 7,8-letni temperatury powietrza w Europie (i Polsce) nie jest realny, bo liczby losowe cechują się istotną taką samą okresowością. Znamienne jest, że dwa ciągi średnich 12-elementowych wartości ( $n = 210$ ,  $n = 240$ ) utworzonych z  $N = 2520$  i  $N = 5040$  liczb losowych generatora RANNOR mają zbliżoną okresowość, charakterystyczną dla tego generatora.

Praktyczne znaczenie mają prognozy regionalne klimatu Polski. Na przykład w pracy doktorskiej A. Michalskiej p.t. *Długookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Polsce* (1998) na podstawie 130-letnich serii pomiarowych opracowano prognozy sum sezonowych opadów do roku 2050 w 6 miejscowościach reprezentujących obszar Polski (Koszalin, Bydgoszcz, Poznań, Warszawa, Wrocław, Kraków). Według tych prognoz najmniejsze sumy opadów w Polsce wystąpią prawdopodobnie w latach 2003-2011, a największe w latach 2034-2039. W kolejnej pracy doktorskiej E. Żmudzkiej p.t. *Cykliczne zmiany temperatury powietrza w Polsce* (1998) określono okresowość temperatury powietrza w 58 miejscowościach na podstawie danych z lat 1951-1990. Umożliwiło to opracowanie prognoz pola temperatury powietrza w dziesięcioleciach 1991-2000 i 2001-2010. Prognozowane średnie pole temperatury powietrza przedstawiono na mapach izarytmicznych.

Aplikacyjny charakter mają dwie publikacje M. Stopy-Boryczki i J. Boryczki (2001): *Wiekowe zmiany temperatury powietrza i opadów w Warszawie i Przewidywane średnie sezonowe i roczne zmiany temperatury powietrza na wybranych stacjach Polski*, są to wykresy zamieszczone w *Atlasie klimatycznego ryzyka upraw roślin w Polsce*, wydawnym nakładem Akademii Rolniczej w Szczecinie.

Na podstawie wykrytych cykli temperatury powietrza w latach 1779-1998 i opadów atmosferycznych – w latach 1813-1997 w Warszawie prognozowano średnie (i sumy) sezonowe w XXI wieku. Średnie sezonowe i roczne zmiany temperatury powietrza w kilkunastu miejscowościach Polski w najbliższych latach prognozowano na podstawie danych z lat 1951-1997.

Największe znaczenie praktyczne mają prognozy aktywności burzowej w Polsce przedstawione w pracy doktorskiej K. Grabowskiej p.t. *Burze w Polsce i ich uwarunkowania, 1951-1990* (2002). Prognozowano liczby dni z burzą do roku 2025 dla 20 miejscowości, reprezentujących różne jednostki fizycznogeograficzne Polski.



### 3. Wpływ Oscylacji Północnego Atlantyku na klimat Polski

Na klimat zachodniej i środkowej Europy (i Polski) dominujący wpływ mają dwa główne centra ciśnienia atmosferycznego: Wyż Azorski (antycyklon) i Niż Islandzki (cyklon). Te dwa centra baryczne uwarunkowane wymianą ciepła między wodami Atlantyku Północnego i lądem są ze sobą ujemnie skorelowane. Jeżeli ciśnienie w Wyżu Azorskim rośnie, to ciśnienie w Niżu Islandzkim – maleje i przeciwnie. Jest to tzw. Oscylacja Północnego Atlantyku (North Atlantic Oscillation, NAO), warunkująca oscylację strefową (równoleżnikową).

Jeżeli w Wyżu Azorskim ciśnienie rośnie (jednocześnie w Niżu Islandzkim maleje), to powstaje duża południkowa różnica ciśnienia atmosferycznego tj. duży gradient baryczny skierowany na północ. Wtedy powietrze znad Atlantyku przemieszcza się wzdłuż równoleżników z zachodu na wschód – nad obszar Polski.

Natomiast podczas spadku ciśnienia w Wyżu Azorskim (i jednocześnie wzroście ciśnienia w Niżu Islandzkim) gradient baryczny ma kierunek równoleżników (W lub E), to powietrze przemieszcza się wzdłuż południków (cyrkulacja południkowa) na północ lub południe. Wówczas nad obszar Polski napływa powietrze z południa lub północy.

Miarami natężenia Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO) są różnice odchyleń od średniego ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza między Wyżem Azorskim a Niżem Islandzkim. Są nimi: wskaźnik Hurrela (1995) – różnica ciśnienia między Lizboną a Stykkisholmur i Rejkjavikiem podczas zimy morskiej XII-III, wskaźnik Rogersa (1984) – standaryzowane różnice ciśnienia między Ponta Delgata (Azory) i Akurcyri (Islandia) oraz wskaźnik Jonesa, Jonssona i Wheelera (1997) – różnice ciśnienia między Gibraltarem i południowo-zachodnią Islandią.

Badania nad wpływem Oscylacji Północnego Atlantyku na temperaturę powietrza w północno-zachodniej Polsce i na wybrzeżu Bałtyku zapoczątkowane zostały przez A.A. Marsza (1999) i rozszerzone w publikacjach A.A. Marsza (2001) i A. Styszyńskiej (2001).

Na dużą zależność pola temperatury powietrza w Polsce Północnej od wskaźnika *NAO* Hurrella w latach 1864-1995 wskazują współczynniki korelacji (np. Koszalin, I-III,  $r = 0,70$ ). Wykazano też, że około 8-letnia okresowość temperatury powietrza jest spowodowana 8-letnim cyklem zmian natężenia i faz (dodatniej i ujemnej) wskaźnika *NAO*, zwłaszcza w zimie.

Wpływ Oscylacji Północnego Atlantyku na temperaturę powietrza w całej Polsce opisują zarówno proste regresji cechujące się znacznymi wartościami współczynników determinacji, jak też mapy izarytm współczynników regresji.

Dodatnie wartości współczynników regresji (i korelacji) świadczą, że zimy w Polsce są cieplejsze przy większych gradientach południkowych ciśnienia atmosferycznego,

a chłodniejsze – przy mniejszych. Podczas intensywniejszej cyrkulacji strefowej (zachodniej) więcej ciepła w zimie znad Atlantyku Północnego jest przenoszone nad Polskę.

Nowością są prognozy zim w Polsce na podstawie temperatury wody w określonych akwenach Atlantyku Północnego (Marsz, 2001). Równania prognostyczne regresji średniego pola temperatury powietrza w Polsce (29 stacji) względem anomalii temperatury wody w trzech rejonach Atlantyku Północnego cechują się dużym wskaźnikiem determinacji  $R^2$  prawie 80% (błędem standardowym estymacji  $2,3^{\circ}\text{C}$ ). Umożliwia ono prognozę temperatury powietrza w zimie z około 6-miesięcznym wyprzedzeniem.

#### 4. Prognozy zmian Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO) w XXI wieku

Klimat Europy Zachodniej i Środkowej (także Polski) jest kształtowany przez cyrkulację strefową (równoleżnikową), uwarunkowaną składową południkową poziomego gradientu pola ciśnienia atmosferycznego  $\left(-\frac{\partial p}{\partial \varphi}\right)$ . Jeżeli gradient baryczny  $-\frac{\partial p}{\partial \varphi}$  jest dodatni (ciśnienie ku północy maleje) – to wiatr gradientowy ma kierunek równoleżników. Wtedy powietrze znad Oceanu Atlantyckiego napływa wzdłuż równoleżników nad kontynent Europy – z zachodu na wschód. W zimie napływa powietrze cieplejsze znad Oceanu, a w lecie chłodniejsze.

Równoleżnikowe przemieszczanie się mas powietrza znad Oceanu Atlantyckiego nad obszar Europy (i Polski) dobrze określa wskaźnik Oscylacji Północnego Atlantyku (North Atlantic Oscillation index, *NAO*), zdefiniowany przez P.D. Jonesa i innych (1997). *NAO* – to różnica ciśnienia ( $\Delta p$ ) na poziomie morza między Gibraltarem i Islandią Południowo-Zachodnią. Jeżeli ciśnienie maleje ku północy ( $NAO > 0$ ), to „transport” mas powietrza odbywa się w kierunku wschodnim (E), a gdy ciśnienie rośnie ku północy ( $NAO < 0$ ) – w kierunku zachodnim (W).

Dotychczasowe wyniki badań autorów w tym zakresie przedstawiono w dwóch tomach *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*: w tomie XIII pt. *Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie* (1999) i tomie XIV pt. *Prognozy zmian klimatu Warszawy* (2000).

##### 4.1. Widma wskaźnika *NAO* w latach 1825-1997

W tomie XV *Atlasu* rozszerzono badania okresowych zmian wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku (*NAO*) w latach 1825-1997, wyodrębniając także poszczególne miesiące. Widma wskaźnika *NAO* wyznaczono metodą „sinusoid regresji” w paśmie 2,1-175 lat (z odstępem  $\Delta\Theta = 0,1$  roku):

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

Wyznaczono widma wskaźnika *NAO* w poszczególnych miesiącach, porach roku (wiosna – III-V, lato – VI-VIII, jesień – IX-XI, zima – XII-II, zima morska – XII-III), półroczach (chłodne – X-III, ciepłe – IV-IX) i roku (I-XII).

Parametry cykli: okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$  oraz wariancje resztkowe  $\varepsilon^2$  i współczynniki korelacji  $R$  zestawiono poniżej. Są to cykle o najmniejszych wartościach wariancji resztkowej  $\varepsilon^2$  (największych współczynnikach korelacji  $R$ ). W widmach są obecne zarówno krótkie i średnie okresy, jak też bardzo długie:

Wiosna		Lato		Jesień		Zima		Rok	
$\Theta$	$R$	$\Theta$	$R$	$\Theta$	$R$	$\Theta$	$R$	$\Theta$	$R$
5,7	0,23	4,7	0,19	3,6	0,17	5,0	0,22	5,0	0,20
6,5	0,22	7,8	0,17	7,3	0,22	7,8	0,27	7,8	0,29
11,1	0,13	10,3	0,20	8,8	0,17	8,3	0,24	9,0	0,17
13,4	0,21	11,1	0,09	16,6	0,24	11,3	0,13	11,2	0,16
23,9	0,19	13,8	0,14	24,2	0,20	15,5	0,17	13,1	0,20
45,5	0,16	39,5	0,14	29,9	0,20	37,1	0,16	29,3	0,13
106,3	0,09	83,2	0,17	75,3	0,16	71,5	0,17	37,0	0,09

Średnie roczne wartości wskaźnika *NAO* wykazują przede wszystkim cykliczność 7,8-letnią, cechującą się największym współczynnikiem korelacji  $R = 0,29$ .

Najdłuższe okresy obecne w seriach sezonowych wartości wskaźnika *NAO* wynoszą: wiosna – 106,3 lat, lato – 83,2 lat, jesień – 75,3 lat, zima – 105,2 lat. Natomiast średnie miesięczne wartości wskaźnika *NAO* cechują się okresowością od 77,1 lat w sierpniu do 144,2 w październiku.

#### 4.2. Zmiany wskaźnika *NAO* w XVIII-XXI wieku

Najsilniejsze cykle wskaźnika *NAO* (o najmniejszej wariancji resztkowej) obecne w widmach zastosowano w prognozach Oscylacji Północnego Atlantyku. Na podstawie interferencji tych cykli

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

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

W prognozach tych przyjęto założenie, że w bieżącym stuleciu będzie występować analogiczna cykliczność jak w latach 1825-1997. Ponadto założono też, że składnik liniowy trendu czasowego  $at$  nie ulegnie zmianie w stuleciu XXI.

Wyniki obliczeń odniesiono do średnich konsekwentnych 11-letnich wskaźnika *NAO* w latach 1825-1997.

Opracowano również bardziej wiarygodne prognozy wskaźnika *NAO*, wynikające z interferencji samych cykli

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

bez składnika liniowego *at*.

Interesujące są wykresy zmian wskaźnika *NAO* w latach 1700-2100 w poszczególnych miesiącach, sezonach, półroczach i roku na podstawie tylko cykli.

Coraz cieplejsze zimy są wywołane wzrostem cyrkulacji strefowej, tj. nasilającym się ocieplającym oddziaływaniem wód Oceanu Atlantyckiego (*NAO* rośnie średnio o 0,74/10 lat). Nieco cieplejsze lata są również uwarunkowane zmianami cyrkulacji strefowej. Po prostu słabnie ochładzający wpływ Oceanu Atlantyckiego na klimat Europy (*NAO* maleje średnio o 0,2/10 lat). Świadczą o tym porównania wykresów zmian wiekowych wskaźnika *NAO* i temperatury powietrza w Warszawie, Krakowie, Pradze i Genewie w tym samym przedziale czasu 1825-1997.

Prognozowane wartości wskaźnika *NAO* w zimie wykazują bardzo duże wahania na początku XXI wieku, głębokie minimum – w połowie stulecia i ponowny wzrost pod koniec XXI wieku. Można więc oczekiwać w najbliższych latach na przemian ciepłych i mroźnych zim i głębokiego naturalnego ochłodzenia w latach 2025-2050.

Natomiast prognozowane wartości wskaźnika *NAO* w lecie będą oscylować wokół średniej wiekowej. Zakres wahań temperatury powietrza w lecie z roku na rok będzie podobny jak w latach 1825-1997.

#### **IV. ZMIANY KLIMATU POLSKI NA TLE EUROPY W XVIII-XXI WIEKU**

Chronologiczne ciągi czasowe substancji organicznych zdeponowanych w osadach polskich jezior: Wikaryjskie, Świąte, Gościąż informują o holocenijskich wahanach klimatu Polski. W datowaniach osadów zastosowano metodę radioaktywnego izotopu  $^{14}\text{C}$  węgla lub (w przypadku Jez. Gościąż) zliczono 10-letnie przyrosty warstwy osadów. Akumulowane substancje organiczne w osadach tych jezior są dodatnio skorelowane z temperaturą atmosfery. Dany ochłodzeń i ociepleń klimatu Polski – to minima i maksima koncentracji substancji organicznych.

Według zawartości substancji organicznych w osadach wymienionych jezior za datę holocenijskiego ochłodzenia klimatu Polski przyjmuje się 12000 BP (Wikaryjskie), 11450-9000 BP (Świąte), 11000-9000 (Gościąż).

Największe holocenijskie ocieplenia klimatu Polski – według osadów Jez. Gościąż są datowane 13 000-11 000 BP i 9 000-8 500 BP.

Rekonstrukcje temperatury powietrza na Ziemi według redukcji lodowców, szerokości pierścieni drzew i pomiarów instrumentalnych wskazują w ostatnim tysiącleciu trzy główne przedziały czasu: „optimum średniowieczne” – 800-1200, „mała epoka lodowa” – 1400-1900 i współczesne ocieplenie – od 1900 roku.

W ostatnich 400 latach wystąpiły trzy główne ochłodzenia klimatu Europy o najmniejszej średniej globalnej temperaturze powietrza na półkuli północnej w pobliżu dat: 1600, 1700, 1830. Najbardziej znane (z pomiarów instrumentalnych) jest to ostatnie, największe ochłodzenie w Europie i Polsce.

Celem pracy jest zaprezentowanie problematyki paleoklimatu oraz prognoza zmian klimatu Warszawy do końca XXI wieku w odniesieniu do terytorium Polski i globu.

##### **1. Cykliczne zmiany klimatu Europy (XVIII-XX)**

Dotychczasowe badania długich ciągów pomiarów wykazały, że w Warszawie, podobnie jak w innych miastach Polski (Kraków 1826-1990, Wrocław 1851-1990), czy też europejskich (Praga 1771-1980, Genewa 1768-1980, Zurych 1864-1980, Poczdam 1893-1992), występuje kilka cykli temperatury powietrza o znaczących amplitudach. Są to

cykle około 3-5, 7-8, 10-13, 73-113 lat i planetarny 178,9 lat. Ich obecność prawie we wszystkich ciągach chronologicznych (miesięcznych i sezonowych wartości) i synchronizność wahań (zbliżone daty ekstremów), głównie 8, 10-13, 180-letniego, wskazują, że cykliczność jest cechą pola temperatury powietrza w Polsce i Europie.

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

W rekonstrukcji i prognozach ochłodzeń i ociepleń klimatu fundamentalne znaczenie ma wykrycie prawdziwych (realnych) okresów zmiennych klimatologicznych (skutków) i zmiennych astronomicznych (domniemyanych przyczyn). Identyfikacja przyczyn polega na sprawdzeniu, czy „cykliczność przyczyn i skutków jest taka sama”.

Na podstawie opracowanej przez J. Boryczkę metody „sinusoid regresji” wyznaczono prawie dwuwiekowy okres  $\Theta$  w ciągach czasowych temperatury w Europie i w Polsce:

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

Kluczowe znaczenie w identyfikacji przyczyn ochłodzeń i ociepleń klimatu ma planetarny 178,9-letni okres zmian parametrów Układu Słonecznego (liczb Wolfa) i stałej słonecznej. Na przykład wykresy zmian: przyspieszenia Słońca względem środka masy US i wypadkowej siły grawitacji planet oraz liczb Wolfa i stałej słonecznej z lat 1700-1879 i 1879-2001 (po upływie 178,9 lat) prawie się pokrywają.

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

Zmienne	Okres (lat)
Aktywność Słońca (1700-2001)	187,7
Stała słoneczna (1700-2001)	187,7
$\Delta VI$	206,7
Siły pływowe na Słońcu ( $\Delta G$ )	170,1
Dyspersja masy ( $B$ )	175,1

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

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

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

Aktywność Słońca (1700-2001)	102,8
Aktywność Słońca (1749-1993)	100,8
Stała słoneczna (1700-1993)	102,8
$\Delta VI$	90,5
Siły pływowe na Słońcu ( $\Delta G$ )	91,4
Dyspersja masy ( $B$ )	84,1
Odległość śr. masy US od Słońca (s)	101,3

Maksima tych zimowych cykli: temperatury powietrza, Oscylacji Północnego Atlantyku (*NAO*), aktywności Słońca i przyspieszenia Słońca przypadają na te same lata.

Temperatura powietrza w Warszawie, w obu półroczach: chłodnym (X-III) i ciepłym (IV-IX) charakteryzuje się podobną periodycznością.

## 2. Coraz cieplejsze zimy w Europie i Polsce

Nie rozwiązany dotąd problemem jest ustalenie naturalnych przyczyn zmian klimatu Ziemi. Nie znany jest też udział czynników naturalnych i antropogenicznych w postępującym globalnym ociepleniu klimatu w ostatnich stuleciach.

Z najdłuższych serii pomiarowych wynika systematyczne ocieplenie się klimatu Ziemi w XVIII-XX wieku. Średnia temperatura powietrza na Ziemi podczas zim w latach 1890-1985 wzrosła: w strefie okołorównikowej – o 0,2°C, w strefie polarnej – o 5°C. Średnia globalna temperatura, oszacowana na podstawie pomiarów w atmosferze i powierzchni wód oceanów, w latach 1861-1991 wzrosła średnio 0,5°C.

Należy zauważyć, że to postępujące ocieplenie jest określane na podstawie serii pomiarów temperatury, rozpoczynających się podczas największego ochłodzenia w ciągu ostatnich dwóch wieków: 1798-1833.

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

Miejscowość	Lato	Zima	Rok
Warszawa (1779-1990)	0,13	1,03	0,66
Kraków (1826-1990)	0,32	1,38	0,93
Wrocław (1851-1980)	-0,70	0,12	-0,04
Praga (1771-1980)	-0,25	0,25	-0,03
Zurych (1864-1980)	-0,90	0,65	0,03
Genewa (1768-1980)	-0,19	0,51	0,08
Poczdám (1893-1992)	0,92	0,10	0,66
Anglia (1659-1973)	0,01	0,32	0,18

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

Wraz ze wzrostem średniej globalnej temperatury powietrza obserwuje się podnoszenie się poziomu oceanów – średnio o 10-25 cm w ostatnim stuleciu.

Poziom Morza Bałtyckiego wg stanów wody w Świnoujściu w latach 1811-1990 podnosi się średnio o 4,5 cm/100 lat. Przyrosty poziomu Bałtyku w poszczególnych porach roku pokazuje tabela:

h	Wiosna	Lato	Jesień	Zima	Rok
cm/100lat	1,4	3,8	6,8	5,7	4,5

Część tego postępującego ocieplenia klimatu w latach 1779-1990 – np. w Warszawie o 0,6°C/100lat wynika ze wzrostu aktywności Słońca o 16,9/100lat (stałej słonecznej):

W kształtowaniu klimatu Ziemi w ostatnich stuleciach dominującą rolę odgrywają eksplozywne erupcje wulkaniczne, wyrzucające duże ilości pyłów i gazów do stratosfery (aerozole siarczanowe). W latach 1600-1980 wartości wskaźnika *DVI* (dust veil index, Lamb 1974) – charakteryzujące zawartość pyłów wulkanicznych w atmosferze – maleją o 49/100lat. Poza tym odstęp czasu między kolejnymi erupcjami wulkanów wydłuża się – średnio o 2 dni/100 lat.

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

### 3. Prognoza klimatu Warszawy w XXI wieku

W prognozach zmian klimatu przyjęto założenie, że ekstrema wykrytych cykli temperatury powietrza będą się powtarzać nadal, tak jak w XVIII-XX wieku. Do przyjęcia takiego założenia upoważnia obecność analogicznych cykli w ciągach czasowych: aktywności Słońca (stałej słonecznej) i parametrów Układu Słonecznego. Najdłuższe okresy około 100-



i 200-letni powtarzają się wielokrotnie w ciągach chronologicznych paleotemperatury ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) i zawartości substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych.

Sprawdziły się dotychczasowe prognozy temperatury powietrza w Warszawie na podstawie danych z lat 1799-1980 – prognozowane minimum wiekowe średniej rocznej temperatury w roku 1980 (Boryczka, 1984). Średnia roczna temperatura  $6,6^{\circ}\text{C}$  w roku 1980, wg pomiarów ze stacji Warszawa-Okęcie, jest najmniejszą wartością w 30-leciu 1966-1996.

Prognozy temperatury powietrza w zimie i w lecie w Warszawie w XXI – to wypadkowe z nakładania się (interferencji) cykli temperatury powietrza, wykrytych na podstawie danych z lat 1779-1990. Najmroźniejsze zimy, o średniej temperaturze  $-7^{\circ}\text{C}$  wystąpią prawdopodobnie w połowie bieżącego stulecia – około roku 2050. Według wypadkowej letnich cykli temperatury powietrza chłodne lata wystąpią w pierwszych dwóch dekadach XXI wieku.

Nową prognozę temperatury powietrza w zimie w Warszawie w XXI wieku sporządzono na podstawie zmian: wskaźnika *NAO* – charakteryzującego intensywność ocieplającego oddziaływania Oceanu Atlantyckiego,  $\log DVI$  – wskaźnika zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze (aerozoli siarczanowych w stratosferze), absorbujących i rozpraszających promieniowanie słoneczne, *W* – aktywności Słońca (liczb Wolfa).

## V. POLE TEMPERATURY POWIETRZA W POLSCE A TYPY CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ

Temperaturę powietrza w Polsce można określić przedstawiając cechy średniego pola i jego ekstremalnych wartości w poszczególnych miejscowościach. W XV tomie *Atlasu* (2001) określono cechy średniego pola temperatury powietrza w Polsce, kształtowanego przez dominujące w latach 1971-1995 typy cyrkulacji atmosferycznej. Istotna jest zależność dobowych wartości temperatury powietrza od typów cyrkulacji atmosferycznej. Dlatego też analizę pola temperatury w latach 1971-1995 uzupełniono o wartości temperatury uzyskane bezpośrednio z pomiarów – maksymalne i minimalne.

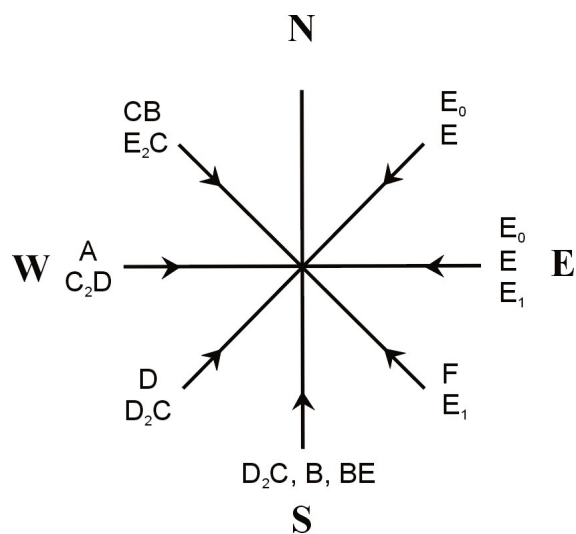
Geograficzny rozkład charakterystyk termicznych w Polsce uwarunkowany jest różnym typem cyrkulacji atmosferycznej. Jego zależność od dominujących typów cyrkulacji opisują izotermy na mapach (rys. 7-19, 33-45) i izarytmy odchyleń od średnich – tzw. anomalii temperatury powietrza (rys. 20-32, 46-58, 59-62).

Mapy opracowano na podstawie wyników pomiarów z 59 stacji meteorologicznych IMGW (tab. 1). Otrzymano je wykorzystując program komputerowy *Surfer v.7*, stosując przy interpolacji metodę kriginu. Otrzymane w ten sposób mapy izarytm są obiektywne, lepsze od ręcznego kreślenia izolinii.

Przestrzenną zmienność maksymalnych i minimalnych wartości temperatury powietrza w Polsce określają: obszar zmienności ( $x_{\max} - x_{\min}$ ) i decyle  $x_p$  spełniające nierówność  $p(x \geq x_p) \geq p$  o prawdopodobieństwie przewyższenia  $p = 10, 20, \dots, 90\%$  (tab. 2-3). Ze względu na dużą asymetrię rozkładów wartości duże znaczenie mają decyle 10., 90., i 50. procentowe. Jako miarę rozproszenia przyjęto odchylenie decylowe 0,5 ( $x_{90} - x_{10}$ ).

Typy cyrkulacji atmosferycznej i kierunki adwekcji (rys. 1) mas powietrza nad obszar Polski w latach 1971-1995 określono według klasyfikacji B. Osuchowskiej-Klein (1978). Polega ona na bezpośrednim klasyfikowaniu danej sytuacji do wzorcowego typu cyrkulacji. Każdy typ odpowiada w niej określonej rozkładowi ciśnienia na poziomie morza i jest efektem położenia głównych układów barycznych nad Europą i północnym Atlantykiem (rys. 2a,b), warunkujących odpowiedni kierunek adwekcji powietrza nad Polskę (rys. 1) w cyrkulacji cyklonalnej lub antycyklonalnej. Kierunki napływu mas

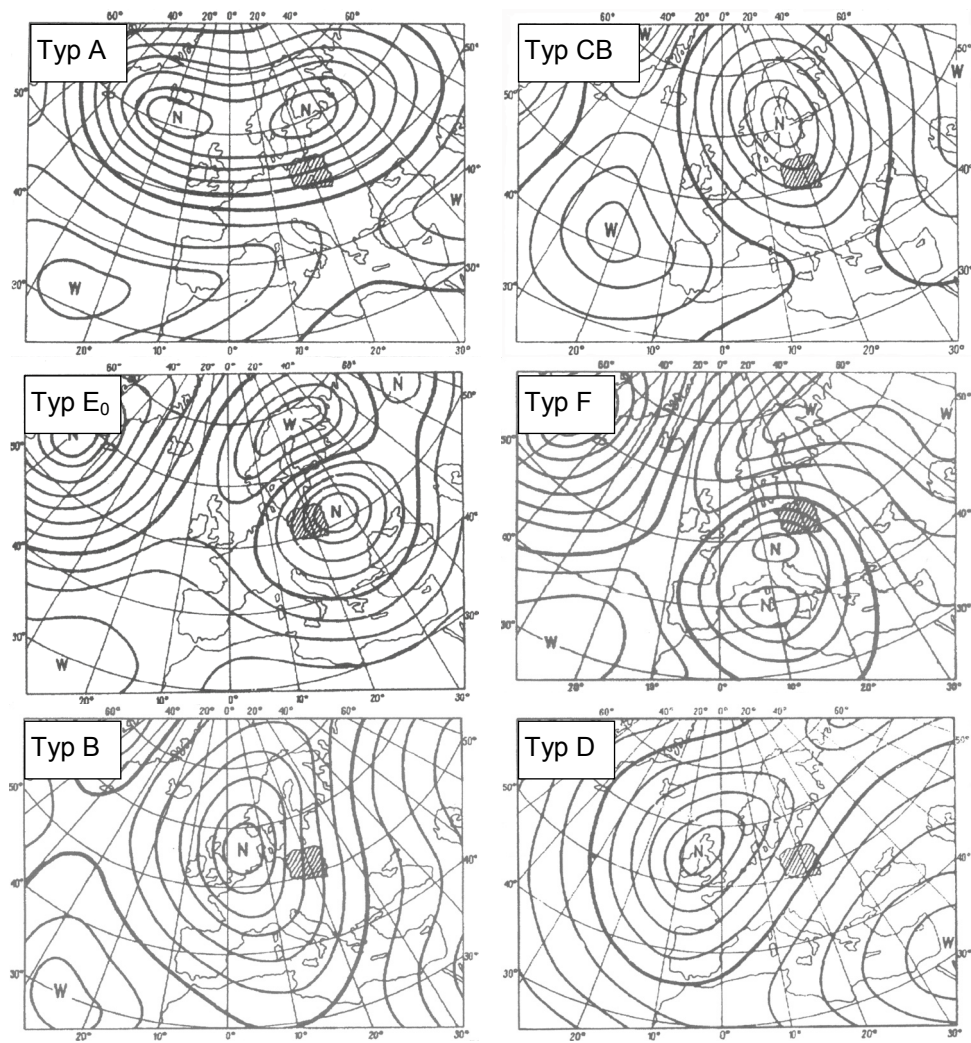
powietrza nad obszar Polski są nieco odchylone od przebiegu izobar (w stronę niższego ciśnienia) ze względu na siłę tarcia o podłoże i lepkość turbulencyjną.



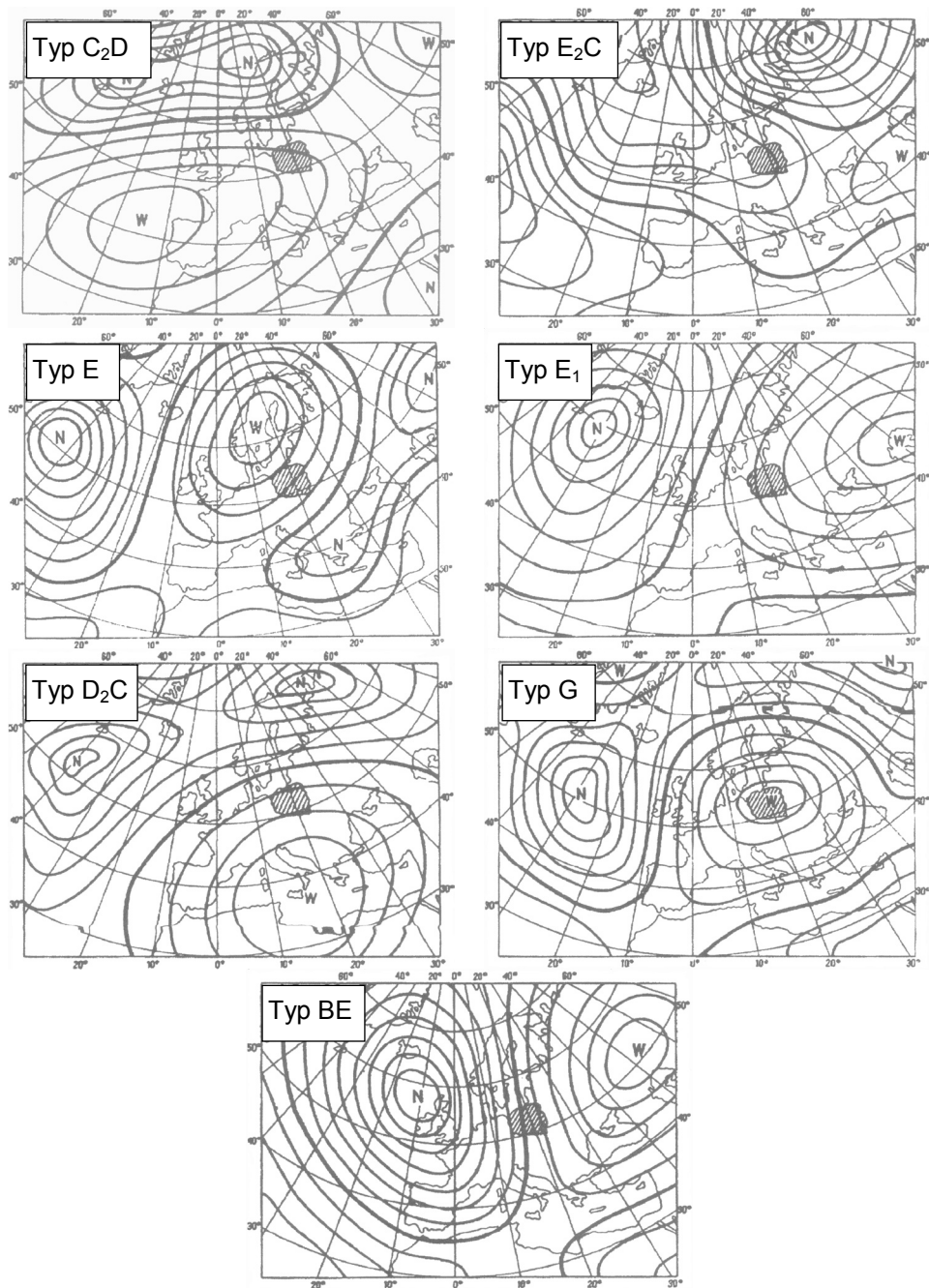
Rys. 1. Kierunki adwekcji mas powietrza w Polsce przy różnych typach cyrkulacji (wg klasyfikacja B. Osuchowskiej-Klein)

W pracy wyodrębniono (oprócz 13 typów cyrkulacji) 4 makrotypy cyrkulacji: wschodniej, zachodniej, cyklonalnej i antycyklonalnej, warunkujące odmienny stan atmosfery na obszarze Polski:

Makrotypy	Typy
Cyrkulacja cyklonalna	A, CB, E <sub>0</sub> , F, B, D, BE
Cyrkulacja antycyklonalna	C <sub>2</sub> D, E <sub>2</sub> C, E, E <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> C, G
Cyrkulacja zachodnia	A, CB, D, B, C <sub>2</sub> D, E <sub>2</sub> C, D <sub>2</sub> C
Cyrkulacja wschodnia	E <sub>0</sub> , F, E, E <sub>1</sub> , BE



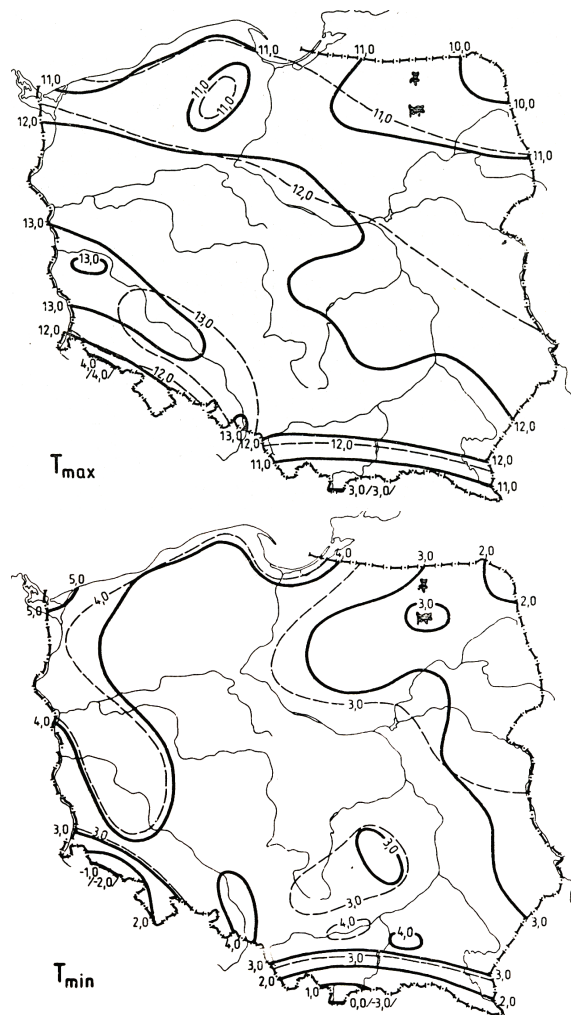
Rys. 2a. Pole ciśnienia atmosferycznego cyklonalnych typów cyrkulacji atmosferycznej według klasyfikacji B. Osuchowskiej-Klein



Rys. 2b. Pole ciśnienia atmosferycznego antycyklonalnych typów cyrkulacji atmosferycznej i typu BE według klasyfikacji B. Osuchowskiej-Klein

## 1. Geograficzny rozkład temperatury maksymalnej i minimalnej w Polsce

Średnie roczne wartości temperatury maksymalnej na poziomie rzeczywistym w Polsce wahają się od poniżej 10°C na Pojezierzu Suwalskim i w górach do 13°C i więcej na Nizinie Śląskiej i w okolicach Zielonej Góry (rys. 3). Najcieplejsza jest południowo-zachodnia część kraju ze względu na usytuowanie w stosunku do napływających do Polski ciepłych mas powietrza: zimą – polarno-morskich z zachodu, latem – zwrotnikowych z sektora południowego.



Rys. 3. Maksymalna i minimalna temperatura powietrza w Polsce w latach 1951-1960 (linia przerywana) i 1951-1980 (rok) (1989, Stopa-Boryczka, Boryczka, Kicińska, Żmudzka)

Średnia roczna wartość temperatury minimalnej w Polsce (z wyłączeniem obszarów nadmorskich i gór) maleje z zachodu na wschód – od ok. 2°C w okolicach Suwałk do ponad 5°C nad Zalewem Szczecińskim (rys. 3).

Występowaniu dużych dobowych wartości temperatury minimalnej sprzyja duża wilgotność powietrza oraz zachmurzenie, dlatego też północno-zachodnia i zachodnia część kraju, znajdująca się w zasięgu największego oddziaływania powietrza polarnomorskiego wyróżnia się większymi od średnich wartościami temperatury minimalnej.

## **2. Maksymalna temperatura powietrza w Polsce a typy cyrkulacji atmosferycznej**

Największe wartości temperatury maksymalnej  $T_{\max}$  w roku występują w typach cyrkulacji z sektora południowo-zachodniego: D<sub>2</sub>C (12,5-17,5°C) oraz D (12,7-17,2°C), które kształtują dodatnie anomalie na przeważającym obszarze Polski przekraczające 3,0°C (rys. 32).

Wartość temperatury maksymalnej we wszystkich analizowanych miejscowościach znacznie przekracza normę także przy zachodniej cyrkulacji A, południowo-wschodniej i wschodniej cyrkulacji E<sub>1</sub> a na południowym-wschodzie Polski również przy południowej cyrkulacji B.

Najmniejszymi średnimi rocznymi wartościami  $T_{\max}$  cechują się północne typy cyrkulacji: północno-wschodnia i wschodnia cyrkulacja E<sub>0</sub>, północno-wschodnia cyrkulacja E oraz północno-zachodnia cyrkulacja E<sub>2</sub>C.

W okresie od kwietnia do września ważną rolę w kształtowaniu największych wartości temperatury powietrza odgrywa czynnik solarny uwarunkowany małym zachmurzeniem i adwekcją ciepłych mas powietrza z sektora południowego.

Największe dodatnie anomalie  $T_{\max}$  występują wówczas przy południowo-wschodniej i wschodniej cyrkulacji E<sub>1</sub>, południowo-zachodniej i południowej cyrkulacji D<sub>2</sub>C oraz południowo-zachodniej cyrkulacji D a ich wartość w lipcu i sierpniu na przeważającym obszarze Polski przekracza 2,0-5,0°C (rys. 26-27).

Zasięg oddziaływania tych typów cyrkulacji jest jednak bardzo zróżnicowany. Na południowym-wschodzie (z wyjątkiem typu D) dodatnie odchylenia  $T_{\max}$  od średnich miesięcznych w ciepłym półroczu są średnio o 2,0-2,5°C mniejsze niż na stacjach reprezentujących pozostałą część Polski.

Latem największe spadki temperatury maksymalnej przynoszą: północno-wschodnia i wschodnia cyrkulacja E<sub>0</sub>, północno-zachodnia cyrkulacja CB oraz, szczególnie w czerwcu i w lipcu, zachodnia cyrkulacja A. Wymienione typy charakteryzuje duże zachmurzenie, co przy adwekcji stosunkowo wówczas chłodnych mas powietrza z zachodu i północy prowadzi do znacznego ochłodzenia.

W zimie najmniejsze wartości  $T_{\max}$  występują przy antycyklonalnych typach cyrkulacji z sektora wschodniego:  $E_1$ , E,  $E_0$  oraz przy centralnej cyrkulacji G (tab. 2b, rys. 7-8).

Największe ocieplenie, osiągające w styczniu „rekordową” wartość ponad  $4,5^{\circ}\text{C}$  na przeważającym obszarze Polski przynosi zachodnia cyrkulacja A (rys. 20a).

Wzrost  $T_{\max}$  towarzyszy również pozostałym cyklonalnym typom cyrkulacji z sektora zachodniego: południowo-zachodniej cyrkulacji D, południowo-zachodniej i południowej cyrkulacji  $D_2C$ , północno-zachodniej CB, zachodniej  $C_2D$  oraz, szczególnie na południowym-wschodzie kraju, południowej cyrkulacji B.

W przejściowych porach roku dominującą rolę w kształtowaniu wartości  $T_{\max}$  odgrywa adwekcja, która w miesiącach letnich jest zdominowana przez radiację. Wiosną i jesienią najmniejsze średnie miesięczne wartości  $T_{\max}$  występują w zasięgu oddziaływania typów cyrkulacji z sektora północnego:  $E_0$ , CB oraz  $E_2C$ ; największe ocieplenie przynoszą natomiast typy cyrkulacji o składowej południowo-zachodniej: D oraz  $D_2C$ .

Jesienią stosunkowo duże wartości temperatury maksymalnej charakterystyczne są również dla zachodniej cyrkulacji A.

### 3. Minimalna temperatura powietrza a typy cyrkulacji atmosferycznej

W południowej i centralnej Polsce najmniejsze średnie roczne wartości  $T_{\min}$  kształtuje centralna cyrkulacja G a na północy kraju północno-wschodnia cyrkulacja E (rys. 45).

W ciągu całego roku wartości temperatury minimalnej mniejsze od średniej przynosi adwekcja powietrza z północy w typach:  $E_2C$  oraz  $E_0$ .

Największe wartości  $T_{\min}$  w ciągu roku stwierdzono przy cyklonalnych typach cyrkulacji o składowej południowo-zachodniej: A, D oraz B (rys. 58).

W chłodnym półroczu największy wzrost minimalnej temperatury powietrza powodują typy cyrkulacji o zachodnim splywie stosunkowo wówczas ciepłego i wilgotnego powietrza znad Atlantyku. Od września do kwietnia największe ocieplenie przynosi zachodnia cyrkulacja cyklonalna (typ A) a wartość dodatnich anomalii  $T_{\min}$  w styczniu i lutym na przeważającym obszarze Polski przekracza wówczas  $4,5^{\circ}\text{C}$  (rys. 46-47). Na stacjach położonych w strefie brzegowej wzrost ten ze względu na ocieplające oddziaływanie Bałtyku jest najmniejszy.

W okresie od października do marca duże wartości  $T_{\min}$  związane są również z występowaniem typów z sektora południowego: D oraz  $D_2C$ . Przy południowych kierunkach wiatru adwekcyjny wzrost temperatury wspomagany przez adiabatyczne ogrzewanie się powietrza.

W zimie do największych spadków temperatury dochodzi w warunkach napływającego z sektora wschodniego chłodnego powietrza i silnego wypromieniowania Ziemi w zasięgu antycyklonalnych typów cyrkulacji: południowo-wschodniego i wschodniego  $E_1$  (w styczniu ujemne anomalie zawierają się w przedziale od  $3,0^{\circ}\text{C}$  na północnym-



zachodzie kraju do ponad 4,5°C na południowym-wschodzie), centralnego G (od 3,5°C w północno-wschodniej części Polski i nad Zatoką Gdańską do 5,5°C na południu) oraz północno-wschodniego E (od 3,5°C na Wyżynie Małopolskiej do ponad 4,0°C w pasie pojezierzy – rys. 46).

Latem oddziaływanie poszczególnych typów cyrkulacji jest mniej zróżnicowane a wartość anomalii najczęściej mieści się w wąskim przedziale od -2,0°C do 2,5°C.

Intensywne procesy radiacji uwarunkowane małym zachmurzeniem lub jego brakiem w tej porze roku w zdecydowanej większości przypadków są przyczyną niskich temperatur minimalnych w antycyklonalnych typach cyrkulacji: północno-zachodnim E<sub>2</sub>C, północno-wschodnim E oraz centralnym G (rys. 38-40).

Wśród cyklonalnych typów cyrkulacji najniższą  $T_{\min}$  wyróżnia się północno-zachodnia cyrkulacja CB.

Największe wartości temperatury minimalne powietrza latem towarzyszą typom cyrkulacji z sektora południowego: E<sub>1</sub>, F, B oraz D. Ich ocieplający wpływ (dodatnie anomalie temperatury) w różnych częściach Polski jest jednak istotnie zróżnicowany.

Największe różnice stwierdzono w czerwcu i w lipcu w zasięgu oddziaływania południowo-wschodniej i wschodniej cyrkulacji antycyklonalnej (E<sub>1</sub>). Wartość anomalii  $T_{\min}$  w północno-zachodniej części Polski jest wówczas o ponad 3,0°C większa niż na południowym-wschodzie kraju.

#### **4. Zróżnicowanie wartości temperatury maksymalnej i minimalnej na obszarze Polski w dominujących typach cyrkulacji atmosferycznej**

Największe przestrzenne zróżnicowanie maksymalnej temperatury powietrza  $T_{\max}$  występuje między stacjami reprezentującymi północno-wschodnią i południowo-zachodnią część Polski w zasięgu oddziaływania typów cyrkulacji z sektora południowego: E<sub>1</sub>, D oraz D<sub>2</sub>C (rys. 19).

Zimą duże różnice temperatury maksymalnej na obszarze kraju (ponad 4,5°C) stwierdzono przy południowej cyrkulacji B, południowo-wschodniej cyrkulacji F oraz centralnej cyrkulacji G (rys. 7-8).

W ciepłym półroczu (IV-X) największe różnice maksymalnej temperatury powietrza w kierunku wschód-zachód towarzyszy adwekcji powietrza z południa w typach: B, D<sub>2</sub>C i F. Duży spadek  $T_{\max}$  z północy na południe charakterystyczny jest natomiast dla typów cyrkulacji z sektora północno-zachodniego: CB, E<sub>2</sub>C, A oraz C<sub>2</sub>D.

W ciągu całego roku najbardziej zbliżone wartości  $T_{\max}$  kształtuje północno-wschodnia cyrkulacja E<sub>0</sub> oraz północno-zachodnia cyrkulacja CB (tab. 2).

Latem niewielkie różnice  $T_{\max}$  między stacjami występują również przy adwekcji powietrza z zachodu w typach: cyklonalnym – A i antycyklonalnym – C<sub>2</sub>D.

Pole temperatury minimalnej  $T_{\min}$  jest najbardziej zróżnicowane w poszczególnych porach roku przy: południowo-wschodniej i wschodniej cyrkulacji  $E_1$ , północno-zachodniej cyrkulacji  $E_2C$  oraz centralnej cyrkulacji G (tab. 3). Małe różnice temperatury minimalnej stwierdzono natomiast w zasięgu oddziaływania cyklonalnych typów cyrkulacji z sektora północnego: CB i  $E_0$  oraz, szczególnie latem, przy zachodniej cyrkulacji  $C_2D$ .

### 5. Zmienność temperatury maksymalnej i minimalnej w przebiegu rocznym w dominujących typach cyrkulacji

Pola maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza w Polsce w dominujących typach cyrkulacji cechują się następującymi wartościami obszaru zmienności  $R$  i odchyłeń standardowych:

Typ cyrkulacji	$T_{\max}$		$T_{\min}$	
	$s$	$R$	$s$	$R$
A	6,6	18,1	4,8	12,8
CB	7,0	18,2	5,5	14,7
$E_0$	8,1	21,8	6,8	19,4
F	9,3	25,6	7,2	21,0
B	7,9	22,1	5,9	17,0
D	7,9	21,3	5,7	15,1
$C_2D$	7,9	21,3	5,7	15,5
$E_2C$	8,7	23,1	6,5	18,7
E	9,9	27,4	7,4	20,8
$E_1$	11,2	30,1	8,2	22,4
$D_2C$	8,2	21,9	5,3	14,3
G	10,0	26,7	7,2	20,7

Największą zmiennością średnich rocznych wartości  $T_{\max}$  i  $T_{\min}$  wyróżnia się południowo-wschodnia i wschodnia cyrkulacja  $E_1$  (rys. 4a,b).

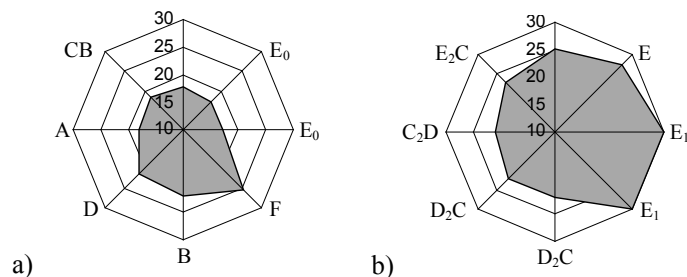
Duże wartości  $R$  i  $s$  otrzymano również przy pozostałych typach z sektora wschodniego: E, F i  $E_0$  oraz przy centralnej cyrkulacji G.

Najmniejszym zróżnicowaniem dobowych ekstremów temperatury  $T_{\max}$  i  $T_{\min}$  wyróżnia się zachodnia cyrkulacja A oraz północno-zachodnia cyrkulacja CB. Na stacjach reprezentujących zachodnią i środkową część Polski zbliżone są także wartości tych charakterystyk termicznych w typach B i D.

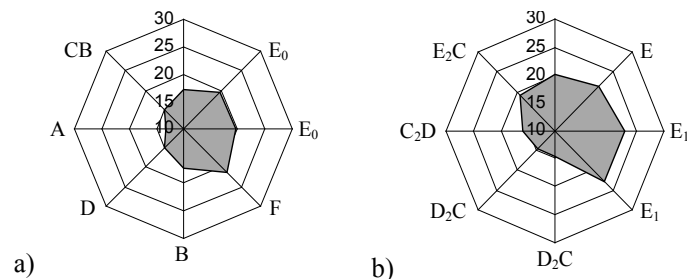
Wśród typów o charakterze antycyklonalnym najmniejszą zmienność wartości  $T_{\max}$  i  $T_{\min}$  w ciągu roku stwierdzono przy południowo-zachodniej i południowej cyrkulacji  $D_2C$  oraz zachodniej cyrkulacji  $C_2D$ .

Największym zakresem wahań średniej miesięcznej temperatury maksymalnej i minimalnej w przebiegu rocznym wyróżniają się antycyklonalne typy cyrkulacji z sektora

wschodniego:  $E_1$  (odpowiednio:  $T_{\max} - 30,1^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\min} - 22,4^{\circ}\text{C}$ ) oraz  $E$  ( $27,4^{\circ}\text{C}$  i  $20,8^{\circ}\text{C}$ ); najmniejszym – typy cyrkulacji o składowej zachodniej:  $A$ ,  $CB$ ,  $C_2D$  i  $D$  (rys. 4a,b).



Rys. 4a. Zakres wahań  $T_{\max}$  w przebiegu rocznym w cyklonalnych (a) i antycyklonalnych (b) typach cyrkulacji



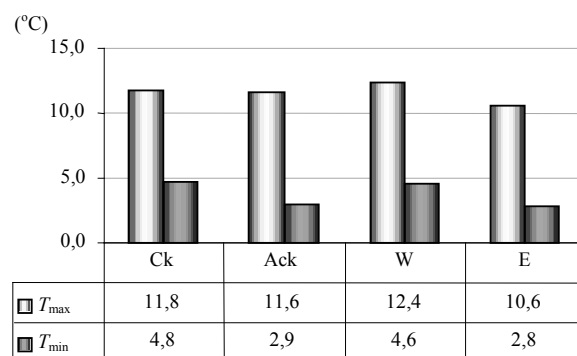
Rys. 4b. Zakres wahań  $T_{\min}$  w przebiegu rocznym w cyklonalnych (a) i antycyklonalnych (b) typach cyrkulacji.

## 6. Temperatura maksymalna i minimalna w zależności od makrotypu cyrkulacji atmosferycznej

Minimalna temperatura powietrza w makrotypie cyklonalnym średnio o  $1,9^{\circ}\text{C}$  przewyższa odpowiadającą jej wartość w makrotypie antycyklonalnym (rys. 5). Różnica ta przy porównaniu średniej rocznej temperatury maksymalnej jest znacząco mniejsza i wynosi zaledwie  $0,2^{\circ}\text{C}$ .

W okresie od czerwca do sierpnia, kiedy insolacja znacznie przewyższa wypromieniowanie, średnia temperatura  $T_{\max}$  w antycyklonalnych typach cyrkulacji jest o  $2,2-3,4^{\circ}\text{C}$  wyższa od odpowiadającej jej wartości w makrotypie cyklonalnym (rys. 6).

Zimą natomiast, gdy dominuje ubytek ciepła na skutek wypromieniowania długofalowego – średnia  $T_{\max}$ , podobnie jak  $T_{\min}$ , w typach cyrkulacji o charakterze antycyklonalnym, szczególnie na stacjach reprezentujących południową część Polski, jest znacznie niższa.

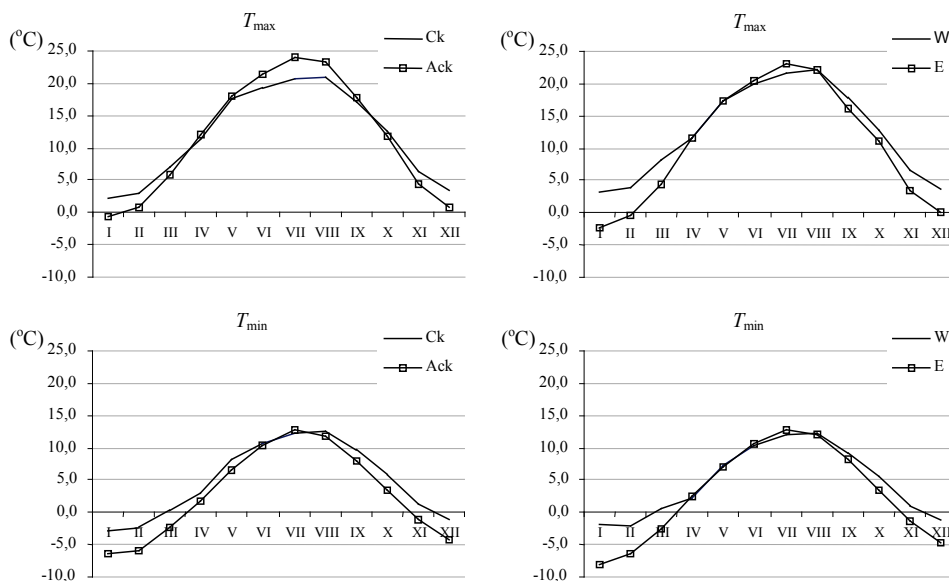


Rys. 5. Średnie roczne wartości  $T_{\max}$  i  $T_{\min}$  w makrotypach cyrkulacji atmosferycznej (1971-1995)

Makrotyp cyrkulacji zachodni na obszarze Polski kształtuje większe (w stosunku do wschodniego) wartości  $T_{\max}$ , a średnia różnica zarówno  $T_{\max}$  jak i  $T_{\min}$  między makrotypem: wschodnim i zachodnim wynosi ok.1,8°C (rys. 5).

W okresie od sierpnia do kwietnia większe wartości temperatury maksymalnej i minimalnej kształtują typy cyrkulacji o zachodnim splywie powietrza. W styczniu różnica między wartościami  $T_{\max}$  i  $T_{\min}$  między makrotypem W i E zmienności jest największy i wynosi odpowiednio 5,5°C i 6,1°C (rys. 6).

Latem większe wartości  $T_{\max}$  (głównie za sprawą bardzo dużego udziału północno-wschodniej cyrkulacji E) występują w zasięgu oddziaływania wschodnich typów cyrkulacji.



Rys. 6. Roczny przebieg  $T_{\max}$  i  $T_{\min}$  w makrotypach cyrkulacji atmosferycznej

Uzyskane wyniki:

- wzbogacają wiedzę na temat zależności temperatury powietrza od cyrkulacji atmosferycznej, umożliwiając ich ilościową ocenę;
- mogą być wykorzystane przy sporządzaniu średnioterminowych i długoterminowych prognoz pogody w poszczególnych regionach Polski;
- mogą znaleźć praktyczne zastosowanie w wielu dziedzinach gospodarki (np. w rolnictwie, czy turystyce).

Tab. 1. Stacje meteorologiczne wykorzystane w opracowaniu

Stacja meteorologiczna	Szerokość geograficzna $\varphi$	Długość geograficzna $\lambda$	Wysokość n.p.m. $H$ [m]	Numer stacji*
Kolobrzeg	54,11	15,35	3	100
Koszalin	54,12	16,09	32	105
Ustka	54,35	16,52	6	115
Leba	54,45	17,32	2	120
Lębork	54,33	17,45	17	125
Hel	54,36	18,49	1	135
Elbląg	54,10	19,26	40	160
Ketrzyn	54,04	21,22	108	185
Suwałki	54,08	22,57	184	195
Swinoujście	53,55	14,14	6	200
Szczecin	53,24	14,37	1	205
Resko	53,46	15,25	52	210
Szczecinek	53,43	16,41	137	215
Piła	53,08	16,45	72	230
Chojnice	53,42	17,33	172	235
Toruń	53,02	18,35	69	250
Mława	53,06	20,21	147	270
Olsztyn	53,46	20,25	133	272
Mikolajki	53,47	21,35	127	280
Ostrołęka	53,05	21,34	95	285
Białystok	53,06	23,10	148	295
Gorzów Wielkopolski	52,45	15,17	72	300
Ślubice	52,21	14,36	21	310
Poznań	52,25	16,50	86	330
Koło	52,12	18,40	115	345
Płock	52,35	19,44	106	360
Warszawa	52,10	20,58	106	375
Siedlce	52,11	22,16	146	385
Terespol	52,04	23,37	133	399
Zielona Góra	51,56	15,32	192	400
Legnica	51,12	16,12	122	415
Leszno	51,50	16,32	91	418
Wrocław	51,09	16,53	115	424
Kalisz	51,44	18,05	140	435
Wieluń	51,13	18,34	200	455
Łódź	51,44	19,24	187	465
Sulejów	51,21	19,52	188	469
Kozienice	51,34	21,33	123	488
Lublin	51,13	22,24	238	495
Włodawa	51,33	23,32	177	497
Jelenia Góra	50,54	15,48	342	500
Śnieżka	50,44	15,44	1603	510
Kłodzko	50,26	16,37	356	520
Opole	50,40	17,58	176	530
Racibórz	50,03	18,12	205	540
Częstochowa	50,49	19,06	293	550
Katowice	50,14	19,02	284	560
Kraków	50,05	19,48	237	566
Kielce	50,49	20,42	260	570
Tarnów	50,02	20,59	209	575
Rzeszów	50,06	22,03	200	580
Sandomierz	50,42	21,43	217	585
Zamość	50,42	23,15	212	595
Bielsko Biała	49,48	19,00	398	600
Zakopane	49,18	19,57	857	625
Kasprowy Wierch	49,14	19,59	1991	650
Nowy Sącz	49,37	20,42	292	660
Lesko	49,28	22,21	420	690
Przemysł	49,48	22,46	279	695

\* Podane numery stacji obowiązują przy międzynarodowej wymianie danych w ramach Światowej Organizacji Meteorologicznej (wg danych IMGW)

Tab. 2a. Cechy pola maksymalnej temperatury powietrza w Polsce w cyklonalnych typach cyrkulacji – 1971-1995 ( $T_{\min}$  – wartość minimalna;  $T_{\max}$  – wartość maksymalna;  $R$  – obszar zmienności,  $Q_{10}(u)$ ,  $Me(u)$ ,  $Q_{90}(u)$  – decyle 10-, 50- i 90%,  $D_Q(u)$  – odchylenie decylowe,  $\bar{u}$  – średnia arytmetyczna)

A	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-2,0	-3,3	-1,3	0,7	6,8	7,8	9,2	11,9	8,0	4,4	0,6	-1,8
$u_{\max}$	8,2	8,4	11,1	15,9	21,3	22,1	22,4	25,5	20,6	16,0	11,1	7,8
$R$	10,2	11,7	12,4	15,2	14,5	14,3	13,2	13,6	12,6	11,6	10,5	9,6
$Q_{10}(u)$	2,6	3,1	6,6	10,5	15,5	17,4	19,2	20,7	16,2	11,9	7,3	3,3
$Me(u)$	5,1	5,7	8,3	12,7	18,5	19,6	20,7	23,8	18,0	13,7	8,6	4,8
$Q_{90}(u)$	6,9	6,8	10,5	14,8	20,6	21,5	22,1	25,1	20,0	14,8	9,6	6,2
$D_Q(u)$	2,1	1,9	1,9	2,1	2,6	2,1	1,5	2,2	1,9	1,4	1,2	1,5
$\bar{u}$	5,2	5,6	8,6	13,1	18,3	19,8	20,5	23,1	18,0	13,8	8,7	5,1
CB	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-5,7	-6,0	-3,9	-2,1	4,0	6,7	8,2	9,3	6,0	2,2	-3,1	-4,8
$u_{\max}$	4,4	4,6	8,7	12,0	18,8	21,2	22,3	22,9	18,6	13,7	7,4	5,6
$R$	10,1	10,6	12,6	14,1	14,8	14,5	14,1	13,6	12,6	11,5	10,5	10,4
$Q_{10}(u)$	0,0	1,0	4,2	7,3	12,9	15,7	17,7	18,1	14,3	9,8	3,9	1,8
$Me(u)$	2,1	2,5	5,9	9,3	15,6	18,6	19,7	20,3	16,0	11,4	5,3	3,3
$Q_{90}(u)$	3,7	3,5	7,2	11,1	17,5	20,5	21,4	22,5	16,9	12,2	6,0	4,3
$D_Q(u)$	1,9	1,2	1,5	1,9	2,3	2,4	1,9	2,2	1,3	1,2	1,1	1,3
$\bar{u}$	2,2	2,6	6,3	9,6	16,1	18,4	19,9	20,4	16,3	11,5	5,5	3,5
E <sub>0</sub>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-10,6	-8,8	-6,1	-1,9	3,3	6,0	7,0	7,4	3,0	-0,7	-4,8	-6,6
$u_{\max}$	0,0	1,5	5,8	11,4	17,5	20,2	21,7	20,8	16,1	11,3	6,1	2,6
$R$	10,6	10,3	11,9	13,3	14,2	14,2	14,7	13,4	13,1	12,0	10,9	9,2
$Q_{10}(u)$	-4,0	-2,9	1,6	6,7	12,0	16,6	18,2	17,6	12,9	8,4	2,2	-1,2
$Me(u)$	-2,1	-0,4	3,3	9,5	15,0	18,7	19,7	19,6	13,9	9,5	3,3	0,7
$Q_{90}(u)$	-1,3	1,0	4,8	11,0	16,8	19,9	21,3	20,6	15,4	10,9	5,1	1,6
$D_Q(u)$	1,3	2,0	1,6	2,2	2,4	1,7	1,5	1,5	1,3	1,3	1,4	1,4
$\bar{u}$	-2,2	-0,6	3,3	9,3	14,9	18,5	19,5	19,3	14,3	9,8	4,1	0,9
F	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-6,8	-5,1	-2,4	1,1	5,6	10,1	11,9	10,9	6,7	3,2	-2,1	-4,7
$u_{\max}$	2,5	4,2	9,8	15,5	21,0	25,0	27,3	25,0	19,1	14,9	8,1	3,4
$R$	9,3	9,3	12,2	14,4	15,4	14,9	15,4	14,1	12,4	11,7	10,2	8,1
$Q_{10}(u)$	-5,9	-2,5	2,6	10,0	15,9	19,5	21,1	20,8	14,6	9,2	2,3	-0,4
$Me(u)$	-2,4	-0,2	5,7	13,0	18,8	22,0	23,0	22,3	15,6	11,3	4,2	0,9
$Q_{90}(u)$	0,8	1,7	8,3	14,9	20,6	24,2	25,4	23,5	18,1	13,1	6,5	2,1
$D_Q(u)$	3,4	2,1	2,8	2,4	2,4	2,4	2,1	1,3	1,7	2,0	2,1	1,3
$\bar{u}$	-2,0	0,2	6,0	12,8	18,7	22,4	23,4	22,6	16,2	11,7	4,8	1,6
B	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-4,6	-3,4	-2,0	1,4	7,9	7,6	12,3	9,5	7,5	3,0	-1,3	-3,5
$u_{\max}$	4,6	8,0	11,3	16,6	23,1	23,1	27,8	24,6	21,6	15,3	8,6	6,1
$R$	9,2	11,4	13,3	15,2	15,2	15,5	15,1	14,1	14,1	12,3	9,9	9,6
$Q_{10}(u)$	-0,7	2,4	5,2	10,9	17,3	17,2	20,7	18,1	16,6	10,9	3,9	0,7
$Me(u)$	1,6	4,5	8,4	13,5	20,2	19,8	23,7	20,1	18,4	12,1	5,3	2,0
$Q_{90}(u)$	3,1	6,8	10,2	15,8	22,1	21,8	25,8	22,3	20,5	14,5	7,1	4,4
$D_Q(u)$	1,9	2,2	2,5	2,4	2,4	2,3	2,5	2,1	2,0	1,8	1,6	1,9
$\bar{u}$	1,6	4,8	8,1	13,7	20,3	19,6	23,7	20,6	18,6	12,6	5,9	2,7
D	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-3,1	-1,9	-1,5	1,6	6,9	10,7	14,5	13,7	9,7	4,7	0,8	-1,2
$u_{\max}$	7,4	9,1	13,2	17,9	22,3	25,3	28,5	28,0	22,8	17,8	11,1	8,1
$R$	10,5	11,0	14,7	16,3	15,4	14,6	14,0	14,3	13,1	13,1	10,3	9,3
$Q_{10}(u)$	2,1	2,9	7,9	12,5	17,5	20,4	23,5	23,0	17,9	11,8	6,2	2,9
$Me(u)$	4,6	5,8	10,4	15,5	19,9	23,3	25,5	25,7	20,0	14,8	8,2	5,2
$Q_{90}(u)$	5,9	8,4	12,7	17,4	21,8	24,9	26,7	27,5	21,7	16,1	10,1	6,7
$D_Q(u)$	1,9	2,8	2,4	2,5	2,2	2,3	1,6	2,2	1,9	2,1	2,0	1,9
$\bar{u}$	4,5	6,1	10,5	15,6	20,0	22,9	25,7	25,5	20,2	14,7	8,4	5,1

Tab. 2b. Cechy pola maksymalnej temperatury powietrza w Polsce w antycyklonalnych typach cyrkulacji – 1971-1995 ( $T_{\min}$  – wartość minimalna;  $T_{\max}$  – wartość maksymalna;  $R$  – obszar zmienności,  $Q_{10}(u)$ ,  $Me(u)$ ,  $Q_{90}(u)$  – decyle 10-, 50- i 90%,  $D_Q(u)$  – odchylenie decylowe,  $\bar{u}$  – średnia arytmetyczna)

C <sub>2</sub> D	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-3,8	-2,9	-3,0	-2,1	4,1	8,3	10,8	10,7	7,5	3,2	-1,1	-5,8
$u_{\max}$	4,2	5,7	11,3	13,4	18,9	22,5	24,7	23,9	20,1	13,4	8,1	4,0
$R$	8,0	8,6	14,3	15,5	14,8	14,2	13,9	13,2	12,6	10,2	9,2	9,8
$Q_{10}(u)$	-0,6	1,0	6,1	9,0	14,1	18,1	20,5	20,7	16,0	10,5	4,7	-0,7
$Me(u)$	1,0	2,8	8,1	10,9	17,6	20,8	22,6	22,2	18,5	11,7	6,0	0,8
$Q_{90}(u)$	2,8	4,5	10,0	12,8	18,7	22,1	24,3	23,6	19,8	13,0	6,9	3,2
$D_Q(u)$	1,7	1,8	1,9	1,9	2,3	2,0	1,9	1,4	1,9	1,3	1,1	2,0
$\bar{u}$	2,1	3,3	8,1	11,0	17,0	20,6	22,7	22,0	18,1	11,7	6,1	1,5
E <sub>2</sub> C	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-5,4	-7,7	-5,0	-1,0	4,2	9,5	11,1	10,0	5,7	1,7	-4,0	-5,2
$u_{\max}$	2,0	2,0	7,3	14,0	18,8	22,9	24,5	23,4	17,8	11,7	6,5	4,7
$R$	7,4	9,7	12,3	15,0	14,6	13,4	13,4	13,4	12,1	10,0	10,5	9,9
$Q_{10}(u)$	-1,9	-2,6	3,2	8,5	13,5	18,1	19,1	18,6	13,4	8,0	2,2	-0,2
$Me(u)$	-0,9	-0,8	5,0	11,0	17,3	21,2	23,0	22,0	14,9	9,3	3,6	0,5
$Q_{90}(u)$	0,9	0,7	6,7	12,9	18,5	22,5	24,2	23,1	16,9	10,8	5,1	2,6
$D_Q(u)$	1,4	1,6	1,8	2,2	2,5	2,2	2,6	2,3	1,7	1,4	1,5	1,4
$\bar{u}$	-0,5	-0,2	5,3	11,5	16,7	20,8	22,4	21,5	15,6	9,6	3,8	1,1
E	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-6,8	-9,3	-5,6	-0,5	3,8	7,8	11,4	9,4	4,6	1,6	-5,5	-6,1
$u_{\max}$	-0,5	0,5	5,6	14,1	19,9	23,9	27,3	25,0	18,3	11,8	5,2	2,7
$R$	6,3	9,8	11,2	14,6	16,1	16,1	15,9	15,6	13,7	10,2	10,7	8,8
$Q_{10}(u)$	-5,0	-4,2	0,6	8,2	13,2	18,0	22,1	20,3	13,5	7,5	0,3	-1,6
$Me(u)$	-3,9	-2,6	2,7	11,4	16,7	20,7	24,6	22,3	15,4	9,6	2,3	-0,3
$Q_{90}(u)$	-1,6	-0,2	4,7	13,3	18,2	22,2	26,6	24,3	16,4	11,4	3,8	1,8
$D_Q(u)$	1,7	2,0	2,0	2,5	2,5	2,1	2,3	2,0	1,4	1,9	1,8	1,7
$\bar{u}$	-3,0	-2,0	3,0	11,1	17,0	21,1	24,3	22,3	15,8	9,6	2,4	0,2
E <sub>1</sub>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-5,4	-4,7	-2,3	2,9	7,6	10,8	14,9	13,9	9,2	4,9	0,2	-3,4
$u_{\max}$	0,8	3,1	8,9	17,9	23,7	26,8	30,2	28,8	22,6	15,5	6,6	1,7
$R$	6,2	7,8	11,2	15,0	16,1	16,0	15,3	14,9	13,4	10,6	6,4	5,1
$Q_{10}(u)$	-4,4	-1,7	3,8	13,1	18,8	23,0	25,2	23,8	17,9	10,8	1,8	-2,7
$Me(u)$	-2,8	0,4	5,7	15,2	20,9	25,0	27,6	25,8	20,1	13,0	3,2	-1,0
$Q_{90}(u)$	-0,5	2,0	7,9	17,1	22,9	26,4	29,6	26,8	22,1	13,9	5,0	0,8
$D_Q(u)$	2,0	1,8	2,0	2,0	2,1	1,7	2,2	1,5	2,1	1,6	1,6	1,7
$\bar{u}$	-2,1	0,3	6,0	15,6	21,5	24,5	27,9	26,4	20,4	12,7	3,8	-0,7
D <sub>2</sub> C	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-1,2	-0,2	1,0	2,0	7,0	10,3	14,1	13,2	11,4	6,9	1,7	0,8
$u_{\max}$	6,4	10,1	15,0	17,4	23,0	24,6	29,1	28,8	24,2	18,0	9,5	7,1
$R$	7,6	10,3	14,0	15,4	16,0	14,3	15,0	15,6	12,8	11,1	7,8	6,3
$Q_{10}(u)$	2,2	4,0	9,9	12,3	17,3	21,0	23,5	23,1	19,5	12,7	4,1	2,7
$Me(u)$	3,8	6,4	11,7	14,6	19,8	22,7	25,5	25,2	21,3	14,5	6,4	3,9
$Q_{90}(u)$	5,3	8,8	13,9	16,7	21,8	24,3	27,7	27,3	22,6	16,6	8,1	6,0
$D_Q(u)$	1,5	2,4	2,0	2,2	2,3	1,6	2,1	2,1	1,5	2,0	2,0	1,7
$\bar{u}$	4,0	6,8	12,0	14,8	20,3	22,7	25,9	25,3	21,4	14,9	6,4	4,8
G	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-3,2	-3,9	-3,2	-1,1	7,1	11,0	11,7	13,0	9,3	4,6	0,9	-2,5
$u_{\max}$	0,9	5,0	10,3	15,6	22,3	26,2	27,5	28,3	22,1	14,6	7,8	2,5
$R$	4,1	8,9	13,5	16,7	15,2	15,2	15,8	15,3	12,8	10,0	6,9	5,0
$Q_{10}(u)$	-3,1	-1,5	4,3	9,7	16,9	21,0	22,4	22,8	17,4	9,9	3,9	-2,1
$Me(u)$	-2,5	0,7	6,6	12,2	19,3	23,3	24,7	24,8	19,2	11,3	5,2	-1,3
$Q_{90}(u)$	-0,5	2,6	9,3	14,6	21,3	25,3	26,7	26,9	20,5	12,8	6,4	0,5
$D_Q(u)$	1,3	2,0	2,5	2,4	2,2	2,2	2,1	2,0	1,5	1,5	1,2	1,3
$\bar{u}$	-1,6	1,2	7,1	12,2	19,5	23,5	24,5	25,1	19,4	11,8	5,8	-0,4

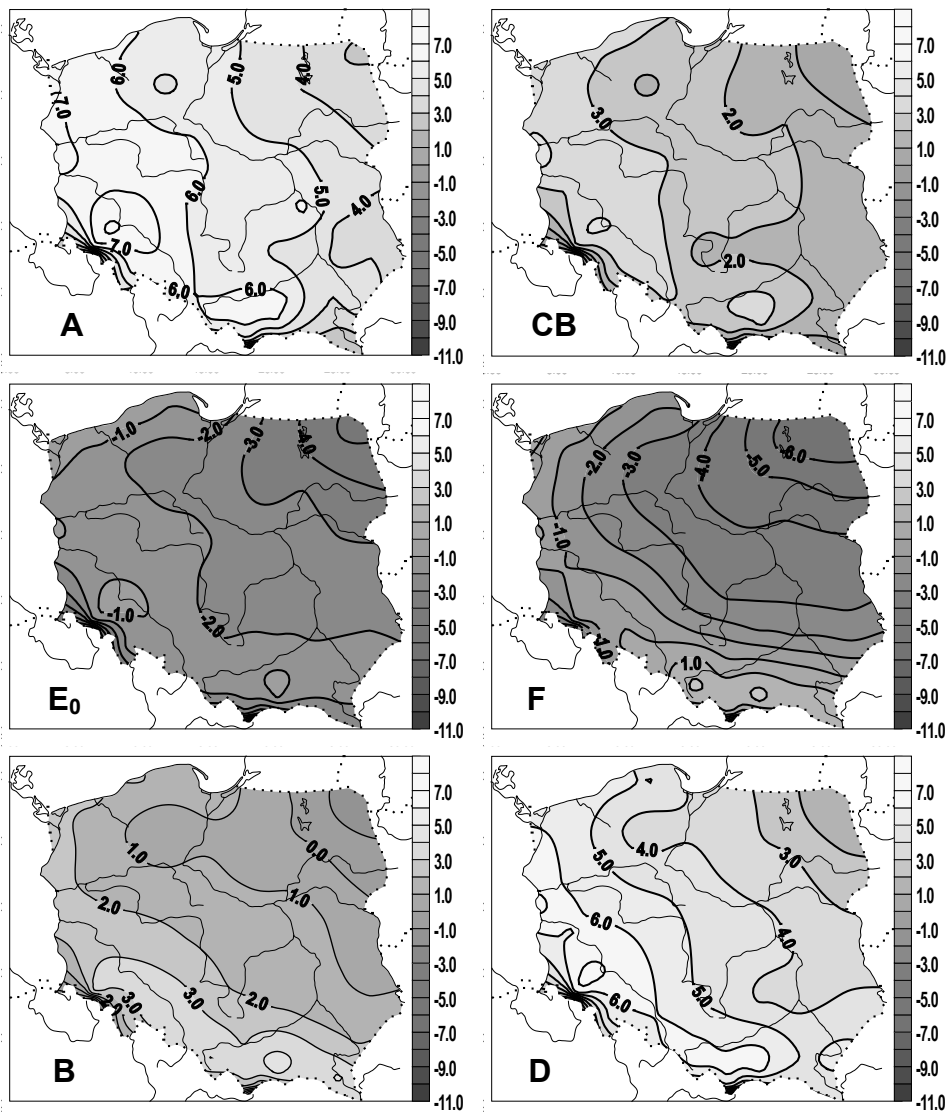


Tab. 3a. Cechy pola minimalnej temperatury powietrza w Polsce w cyklonalnych typach cyrkulacji – 1971-1995 ( $T_{\min}$  – wartość minimalna;  $T_{\max}$  – wartość maksymalna;  $R$  – obszar zmienności,  $Q_{10}(u)$ ,  $Me(u)$ ,  $Q_{90}(u)$  – decyle 10-, 50- i 90%,  $D_Q(u)$  – odchylenie decylowe,  $\bar{u}$  – średnia arytmetyczna)

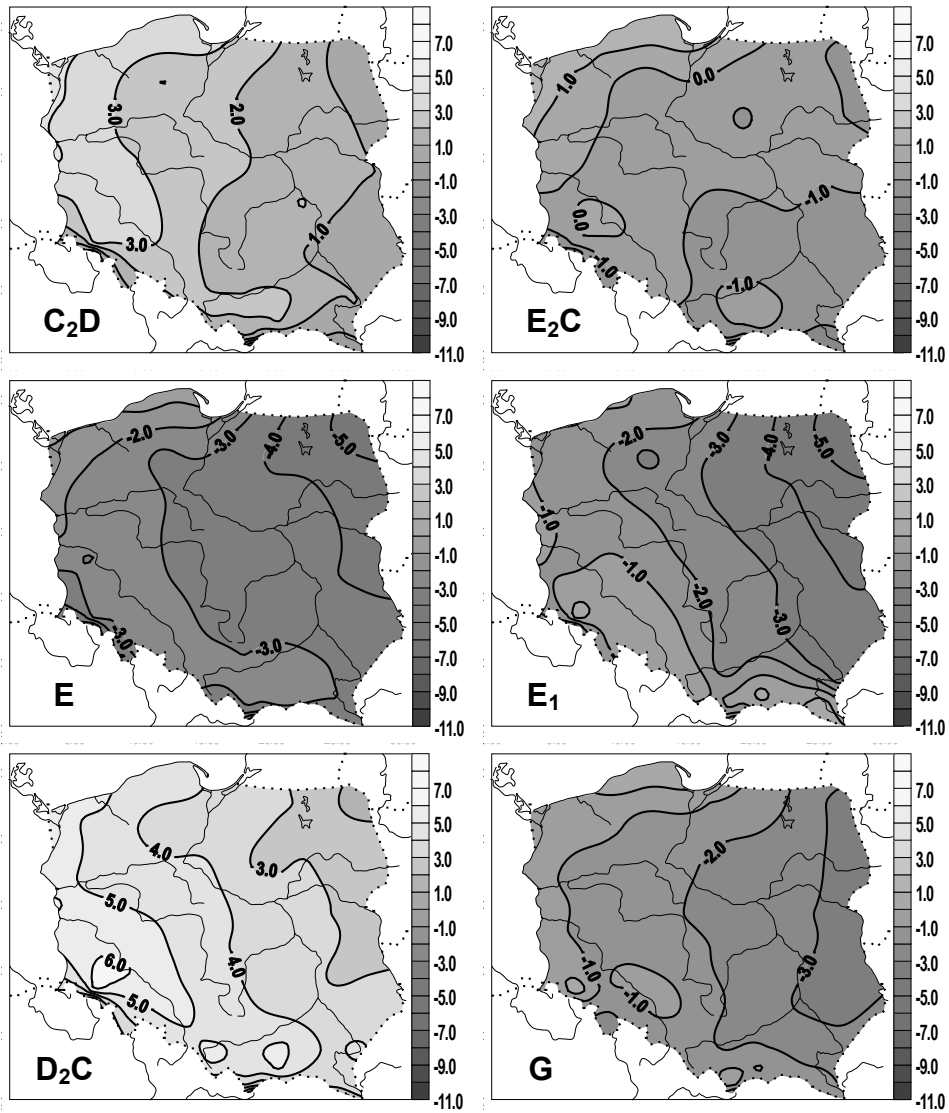
A	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-8,6	-8,9	-7,1	-4,2	1,7	2,6	2,9	5,9	2,3	-1,3	-4,8	-7,5
$u_{\max}$	2,9	2,7	4,0	6,5	10,5	12,4	13,5	14,5	12,1	9,1	5,8	3,1
$R$	11,5	11,6	11,1	10,7	8,8	9,8	10,6	8,6	9,8	10,4	10,6	10,6
$Q_{10}(u)$	-2,5	-1,6	0,0	2,6	7,3	8,8	10,9	10,9	8,4	5,2	1,4	-1,9
$Me(u)$	0,0	0,1	1,4	3,6	8,6	10,1	11,4	12,6	10,0	6,6	3,4	0,7
$Q_{90}(u)$	1,3	1,1	2,8	5,2	9,9	11,1	12,0	13,7	11,2	7,6	4,6	1,8
$D_Q(u)$	1,9	1,3	1,4	1,3	1,3	1,2	0,6	1,4	1,4	1,2	1,6	1,8
$\bar{u}$	0,2	0,5	1,9	4,6	9,1	10,9	12,0	13,3	10,5	6,9	3,5	0,6
CB	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-12,3	-11,6	-9,5	-7,1	-1,1	1,6	2,9	4,1	0,8	-3,5	-8,8	-10,6
$u_{\max}$	-0,4	-0,5	1,8	3,0	8,3	11,4	13,1	13,5	11,0	7,1	2,9	1,0
$R$	11,9	11,1	11,3	10,1	9,4	9,8	10,2	9,4	10,2	10,6	11,7	11,6
$Q_{10}(u)$	-4,6	-4,5	-1,9	-0,1	5,0	8,0	9,7	10,2	7,5	4,4	-1,1	-3,1
$Me(u)$	-2,8	-2,8	0,5	1,7	6,0	9,6	11,4	11,4	9,1	5,0	0,5	-1,3
$Q_{90}(u)$	-1,2	-1,0	1,6	2,7	7,0	10,9	12,7	12,3	10,4	5,7	1,3	-0,2
$D_Q(u)$	1,7	1,7	1,7	1,4	1,0	1,4	1,5	1,0	1,5	0,6	1,2	1,5
$\bar{u}$	-2,7	-2,4	0,2	1,7	6,9	10,2	11,6	12,2	9,3	5,4	0,7	-1,1
E <sub>0</sub>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-15,6	-13,9	-11,3	-7,0	-1,4	1,2	2,3	2,8	-1,0	-4,8	-9,9	-12,0
$u_{\max}$	-4,4	-3,1	-1,0	3,1	8,0	11,5	13,7	13,5	9,8	7,0	2,5	-1,7
$R$	11,2	10,8	10,3	10,1	9,4	10,3	11,4	10,7	10,8	11,8	12,4	10,3
$Q_{10}(u)$	-9,9	-7,2	-4,7	0,1	4,5	9,1	9,7	9,6	5,9	3,0	-2,0	-6,9
$Me(u)$	-8,5	-6,0	-3,1	2,0	5,6	10,6	11,5	10,5	7,2	4,7	-0,8	-4,0
$Q_{90}(u)$	-6,0	-4,4	-2,3	2,9	6,8	11,3	12,7	12,0	8,4	5,5	0,8	-2,3
$D_Q(u)$	2,0	1,4	1,2	1,4	1,1	1,1	1,5	1,2	1,3	1,2	1,4	2,3
$\bar{u}$	-7,8	-5,4	-2,8	1,8	6,5	10,5	11,9	11,7	8,0	4,6	-0,1	-4,1
F	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-12,5	-9,0	-6,9	-3,1	1,3	4,5	7,5	6,4	3,0	-0,8	-5,5	-9,0
$u_{\max}$	-4,2	-1,8	1,0	5,7	10,6	13,6	15,6	14,9	11,7	6,8	2,5	0,1
$R$	8,3	7,2	7,9	8,8	9,3	9,1	8,1	8,5	8,7	7,6	8,0	9,1
$Q_{10}(u)$	-10,1	-6,3	-2,0	2,6	7,8	10,7	11,8	10,8	8,6	3,9	-0,2	-3,2
$Me(u)$	-7,6	-4,6	-0,7	4,0	8,8	12,3	13,2	12,9	10,2	5,1	1,1	-2,3
$Q_{90}(u)$	-5,7	-3,3	0,5	5,3	9,4	13,3	14,4	14,2	11,4	5,8	2,2	-1,2
$D_Q(u)$	2,2	1,5	1,3	1,3	0,8	1,3	1,3	1,7	1,4	0,9	1,2	1,0
$\bar{u}$	-7,1	-4,3	-0,7	4,4	9,5	12,5	14,3	13,6	10,5	5,3	1,1	-2,2
B	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-8,7	-7,2	-6,3	-2,7	2,5	2,9	6,4	4,3	2,9	-1,4	-5,7	-7,7
$u_{\max}$	-1,0	1,7	2,2	6,8	11,6	12,6	15,8	14,1	11,2	7,7	3,1	0,4
$R$	7,7	8,9	8,5	9,5	9,1	9,7	9,4	9,8	8,3	9,1	8,8	8,1
$Q_{10}(u)$	-4,6	-1,6	-1,5	3,3	8,1	8,7	12,4	11,7	8,1	4,6	-0,1	-3,6
$Me(u)$	-2,8	-0,2	0,2	4,0	9,8	10,1	13,5	12,8	9,1	6,0	1,2	-2,4
$Q_{90}(u)$	-1,6	0,8	1,1	5,1	11,2	11,6	14,5	13,8	10,1	7,1	1,9	-1,3
$D_Q(u)$	1,5	1,2	1,3	0,9	1,5	1,4	1,0	1,1	1,0	1,2	1,0	1,1
$\bar{u}$	-2,8	0,0	0,6	4,7	10,1	11,0	14,5	13,2	10,0	6,1	1,4	-1,7
D	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-8,0	-6,4	-6,3	-3,6	1,8	4,3	7,6	7,9	3,6	-0,6	-4,1	-6,3
$u_{\max}$	1,9	1,2	3,0	6,2	10,7	12,9	15,3	15,6	12,5	8,3	4,5	1,4
$R$	9,9	7,6	9,3	9,8	8,9	8,6	7,7	7,7	8,9	8,9	8,6	7,7
$Q_{10}(u)$	-2,8	-2,8	-0,5	1,7	7,6	9,3	12,4	12,8	8,3	4,4	-0,2	-2,1
$Me(u)$	-0,9	-0,6	0,5	3,5	8,9	10,8	13,9	14,0	9,9	6,2	1,6	-0,3
$Q_{90}(u)$	0,9	0,7	2,1	5,0	10,0	11,8	14,9	15,1	11,2	7,5	3,3	0,9
$D_Q(u)$	1,8	1,8	1,3	1,6	1,2	1,2	1,3	1,1	1,4	1,6	1,8	1,5
$\bar{u}$	-0,6	-0,5	1,3	4,3	9,3	11,6	14,4	14,4	10,5	6,5	2,1	-0,2

Tab. 3b. Cechy pola minimalnej temperatury powietrza w Polsce w antycyklonalnych typach cyrkulacji – 1971-1995 ( $T_{\min}$  – wartość minimalna;  $T_{\max}$  – wartość maksymalna;  $R$  – obszar zmienności,  $Q_{10}(u)$ ,  $Me(u)$ ,  $Q_{90}(u)$  – decyle 10-, 50- i 90%,  $D_Q(u)$  – odchylenie decylowe,  $\bar{u}$  – średnia arytmetyczna)

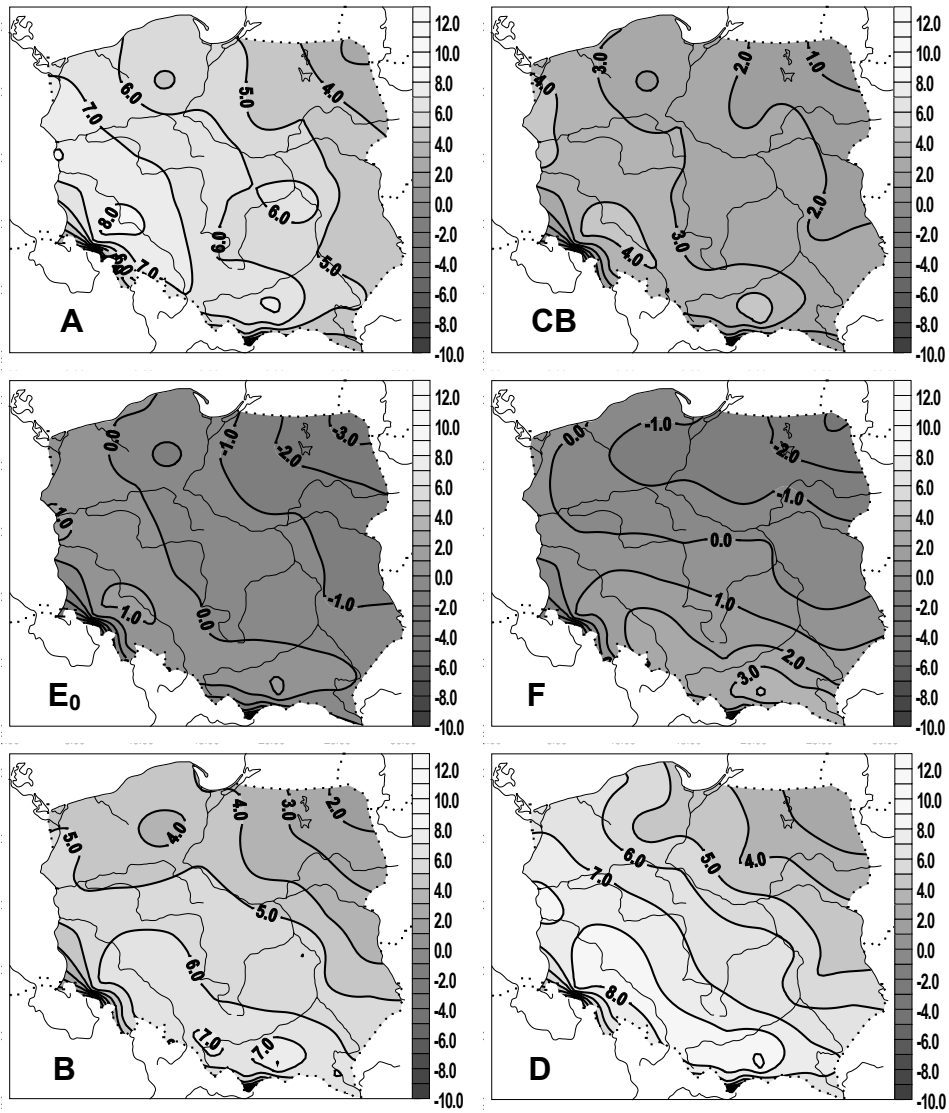
C <sub>2</sub> D	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-10,3	-9,2	-8,6	-7,2	-1,1	2,5	5,1	4,8	2,2	-1,9	-6,6	-11,8
$u_{\max}$	0,4	0,8	2,2	3,4	8,5	11,8	14,0	13,8	11,5	7,6	4,0	0,7
$R$	10,7	10,0	10,8	10,6	9,6	9,3	8,9	9,0	9,3	9,5	10,6	12,5
$Q_{10}(u)$	-6,0	-5,1	-1,7	-0,2	4,5	8,6	10,6	9,7	6,8	3,1	-1,2	-6,2
$Me(u)$	-3,4	-3,0	-0,8	1,3	5,8	10,0	12,1	11,3	8,7	4,5	0,8	-3,5
$Q_{90}(u)$	-1,6	0,0	1,0	2,0	7,1	10,5	13,4	12,9	10,0	5,2	2,4	-1,1
$D_Q(u)$	2,2	2,6	1,4	1,1	1,3	1,0	1,4	1,6	1,6	1,0	1,8	2,5
$\bar{u}$	-3,0	-2,2	0,2	1,4	6,8	10,3	12,5	11,8	9,0	4,8	1,0	-3,4
E <sub>2</sub> C	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-10,8	-13,9	-9,7	-6,7	-1,5	2,9	4,8	4,6	0,1	-4,3	-9,1	-11,2
$u_{\max}$	-1,2	-2,5	-0,1	3,1	7,6	12,0	13,6	13,2	8,7	5,8	2,8	0,5
$R$	9,6	11,4	9,6	9,8	9,1	9,1	8,8	8,6	8,6	10,1	11,9	11,7
$Q_{10}(u)$	-7,7	-10,1	-3,7	-1,2	3,9	7,6	9,3	8,4	4,5	0,8	-3,0	-7,4
$Me(u)$	-5,3	-7,8	-2,9	0,6	5,2	9,3	11,0	10,5	6,1	2,4	-1,7	-4,7
$Q_{90}(u)$	-3,7	-5,3	-1,3	1,8	6,3	10,8	12,5	11,9	7,6	4,1	0,6	-2,1
$D_Q(u)$	2,0	2,4	1,2	1,5	1,2	1,6	1,6	1,7	1,6	1,7	1,8	2,6
$\bar{u}$	-5,2	-7,3	-2,2	1,2	5,5	9,7	11,7	11,2	6,8	2,9	-1,0	-4,3
E	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-12,6	-15,0	-11,2	-5,8	-1,0	2,8	5,9	4,4	0,0	-4,3	-10,7	-11,3
$u_{\max}$	-4,5	-4,5	-1,9	3,0	7,8	12,2	15,2	13,5	9,6	5,0	0,8	-0,8
$R$	8,1	10,5	9,3	8,8	8,8	9,4	9,3	9,1	9,6	9,3	11,5	10,5
$Q_{10}(u)$	-11,3	-10,8	-6,0	-0,3	4,1	8,7	10,7	9,4	5,0	0,3	-4,6	-6,8
$Me(u)$	-9,1	-8,3	-4,7	1,1	5,7	9,3	12,4	10,9	6,3	1,9	-2,7	-4,7
$Q_{90}(u)$	-7,6	-5,9	-3,4	2,3	6,7	10,5	13,7	12,4	8,0	3,2	-0,8	-2,6
$D_Q(u)$	1,8	2,5	1,3	1,3	1,3	0,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,9	2,1
$\bar{u}$	-8,3	-8,1	-4,1	1,5	6,1	10,3	12,8	11,5	7,4	2,1	-2,2	-4,3
E <sub>1</sub>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-11,1	-10,5	-7,1	-2,6	2,1	5,2	8,6	8,0	4,0	-0,2	-5,3	-8,3
$u_{\max}$	-4,7	-3,7	0,0	5,7	11,1	15,1	17,5	16,3	12,0	6,3	0,7	-2,3
$R$	6,4	6,8	7,1	8,3	9,0	9,9	8,9	8,3	8,0	6,5	6,0	6,0
$Q_{10}(u)$	-10,2	-9,3	-4,3	0,2	5,9	9,7	11,3	10,3	5,7	0,9	-4,5	-7,6
$Me(u)$	-8,6	-6,9	-2,3	2,2	8,4	11,7	14,2	12,9	8,2	2,7	-3,1	-6,6
$Q_{90}(u)$	-6,0	-5,6	-1,2	3,8	10,1	13,8	16,2	14,8	9,8	4,7	-1,1	-4,4
$D_Q(u)$	2,1	1,8	1,6	1,8	2,1	2,1	2,4	2,3	2,1	1,9	1,7	1,6
$\bar{u}$	-8,0	-6,6	-1,9	3,3	8,9	12,6	14,8	13,9	9,2	3,5	-2,3	-5,9
D <sub>2</sub> C	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-7,1	-6,2	-4,3	-5,1	0,7	3,6	6,0	5,9	5,0	1,6	-4,4	-5,3
$u_{\max}$	1,6	0,9	2,9	4,8	10,2	12,4	15,7	14,1	11,6	8,1	2,8	2,6
$R$	8,7	7,1	7,2	9,9	9,5	8,8	9,7	8,2	6,6	6,5	7,2	7,9
$Q_{10}(u)$	-3,2	-4,5	-2,0	0,0	5,4	7,2	9,4	8,4	6,7	3,2	-2,9	-2,4
$Me(u)$	-1,2	-2,6	-0,4	1,6	7,1	9,4	11,5	10,4	8,4	4,9	-1,1	-0,2
$Q_{90}(u)$	0,7	-0,6	1,0	3,4	7,8	11,0	13,6	12,1	10,5	7,2	0,9	1,8
$D_Q(u)$	1,9	1,9	1,5	1,7	1,2	1,9	2,1	1,8	1,9	2,0	1,9	2,1
$\bar{u}$	-0,7	-2,0	0,1	2,4	7,6	10,1	12,5	11,7	9,3	5,7	-0,6	-0,3
G	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$u_{\min}$	-12,3	-10,2	-9,8	-7,0	1,0	4,2	4,7	6,3	3,2	-1,7	-4,6	-10,5
$u_{\max}$	-4,4	-2,9	-1,1	3,4	9,5	14,0	14,6	14,6	10,4	6,2	3,7	-0,8
$R$	7,9	7,3	8,7	10,4	8,5	9,8	9,9	8,3	7,2	7,9	8,3	9,7
$Q_{10}(u)$	-11,2	-8,1	-5,9	-1,8	4,2	8,2	9,7	8,2	5,3	0,8	-3,0	-8,7
$Me(u)$	-9,7	-6,2	-3,9	0,2	5,7	9,7	10,5	10,2	6,9	2,2	-1,2	-6,2
$Q_{90}(u)$	-6,8	-4,3	-2,2	1,8	7,1	11,0	12,0	12,1	8,5	4,3	1,1	-4,4
$D_Q(u)$	2,2	1,9	1,8	1,8	1,5	1,4	1,2	1,9	1,6	1,7	2,0	2,1
$\bar{u}$	-9,4	-5,9	-3,4	0,7	6,7	10,5	11,6	11,5	7,6	2,6	-0,2	-5,9



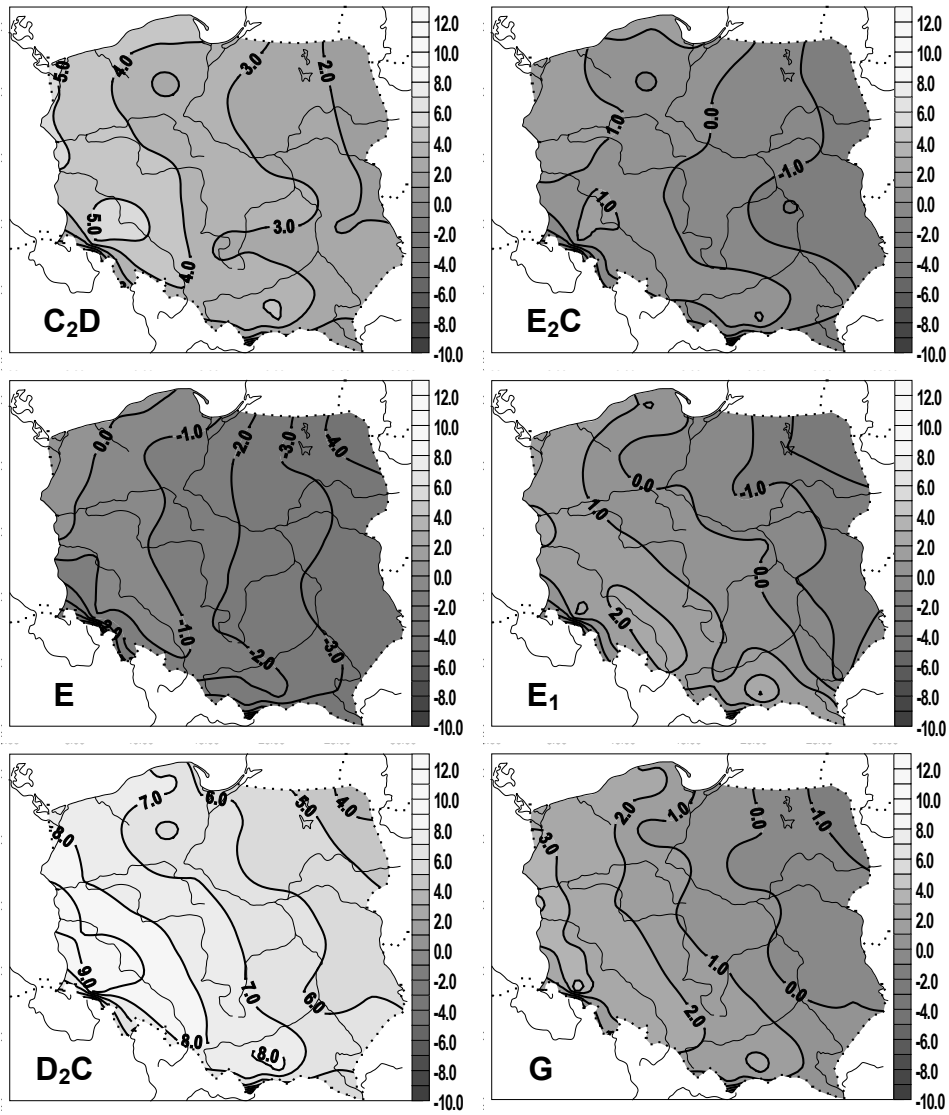
Rys. 7a. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – styczeń



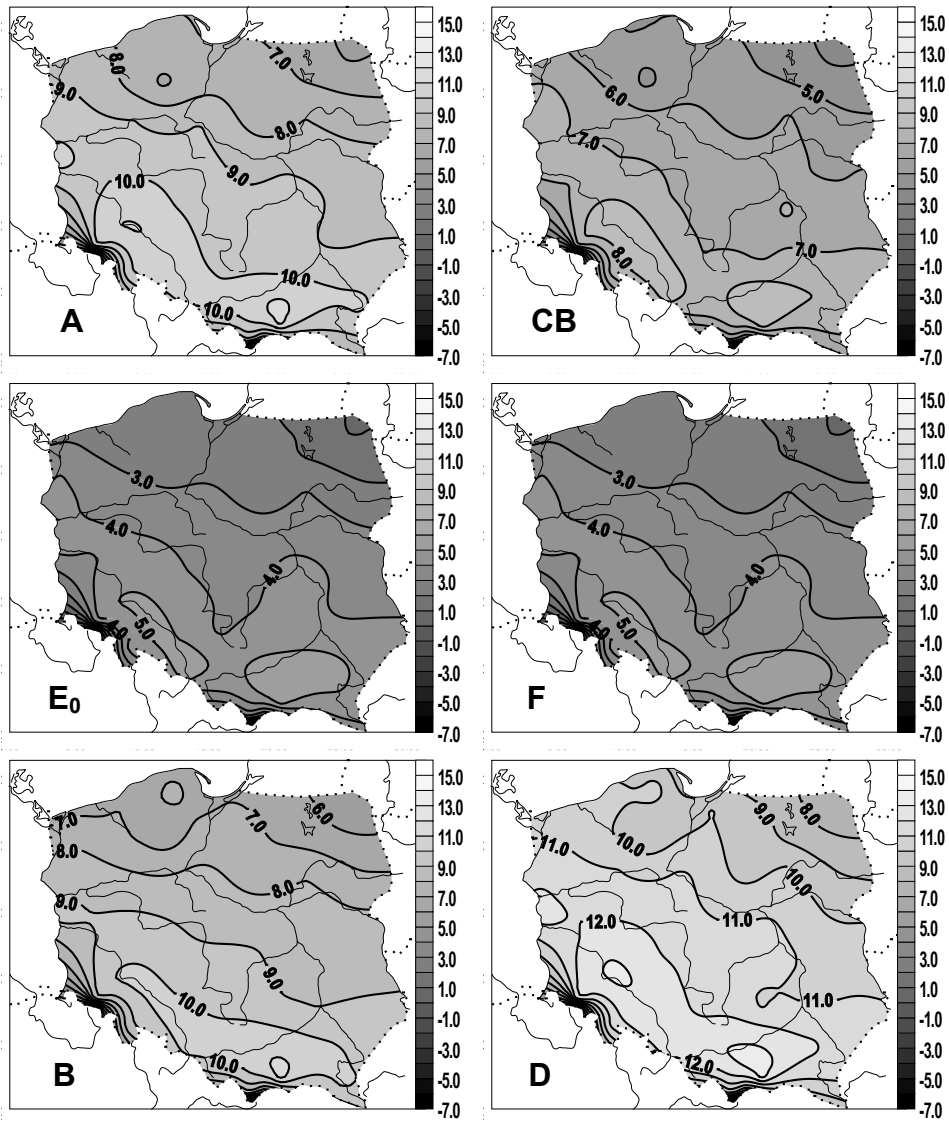
Rys. 7b. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – styczeń



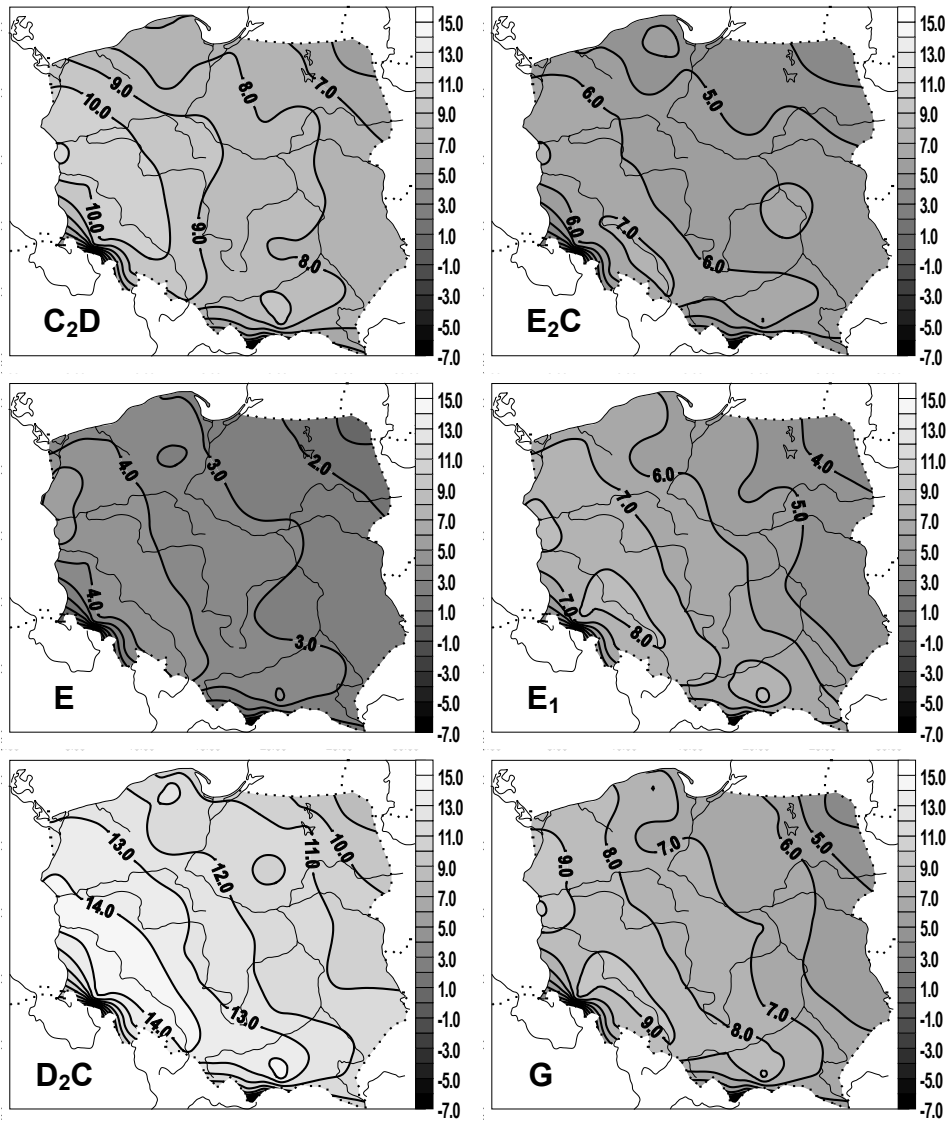
Rys. 8a. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – luty



Rys. 8b. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – luty

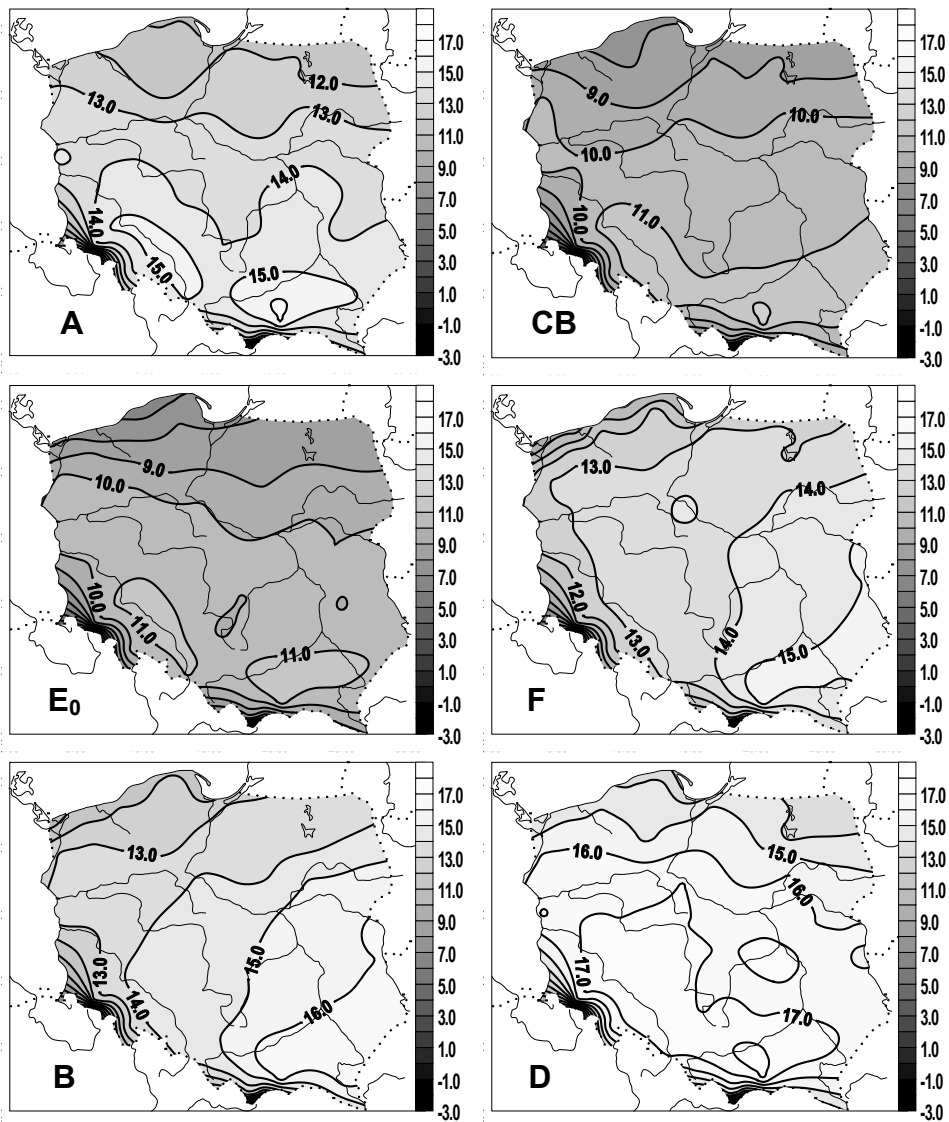


Rys. 9a. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – marzec

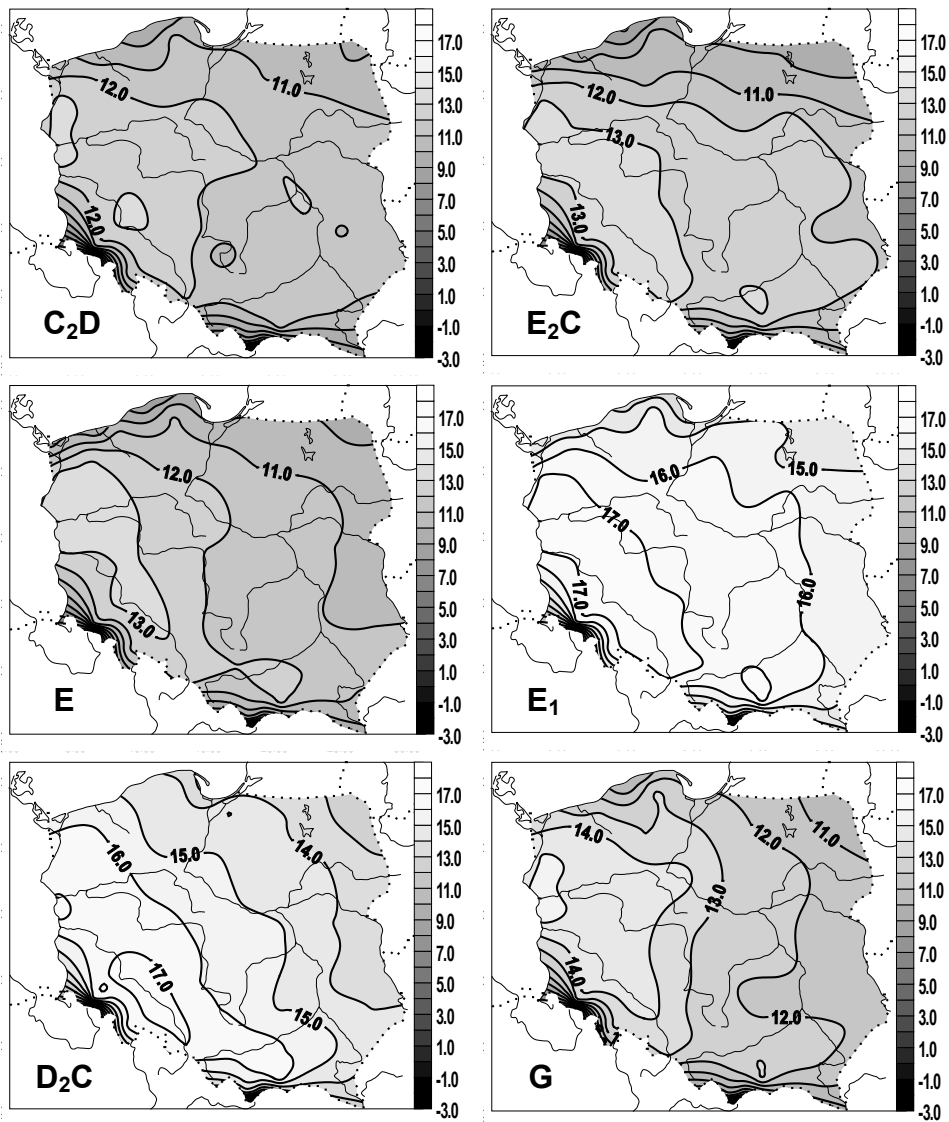


Rys. 9b. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – marzec

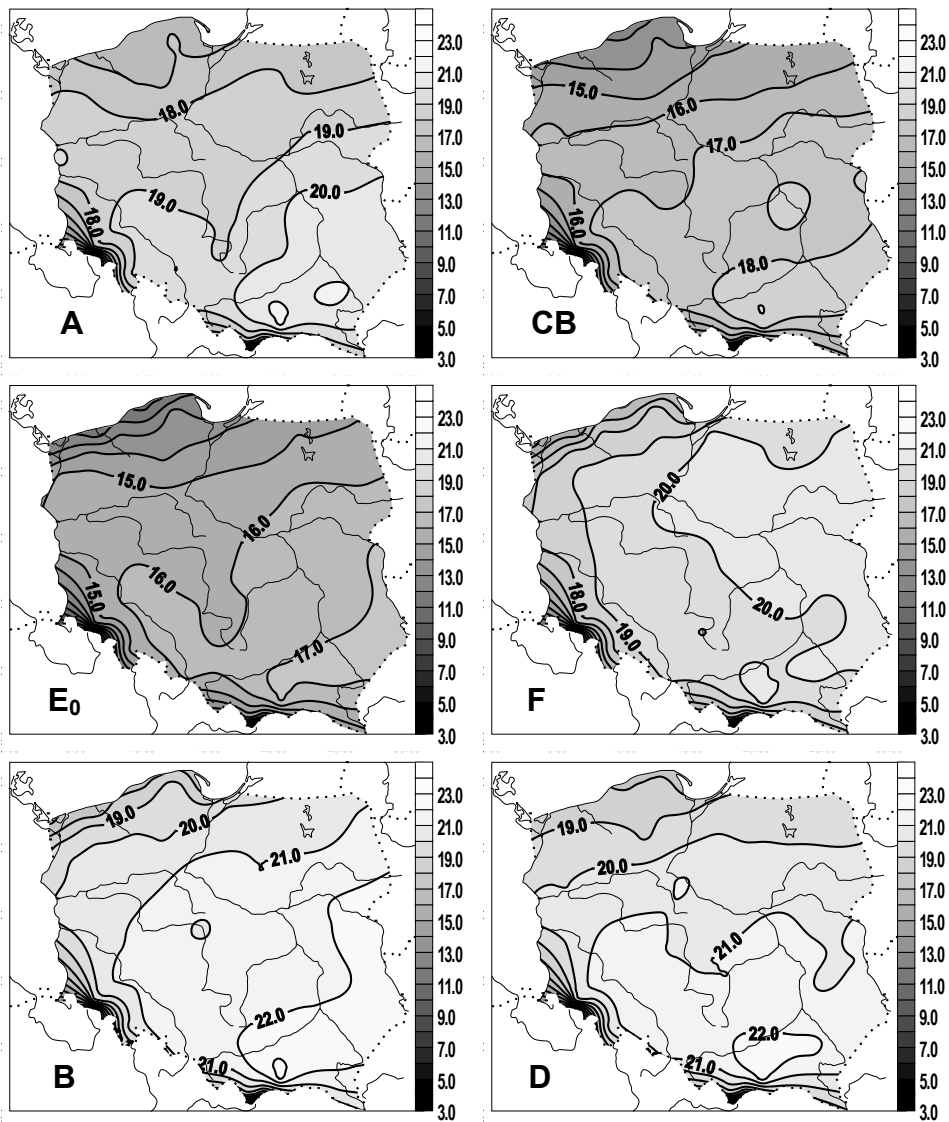




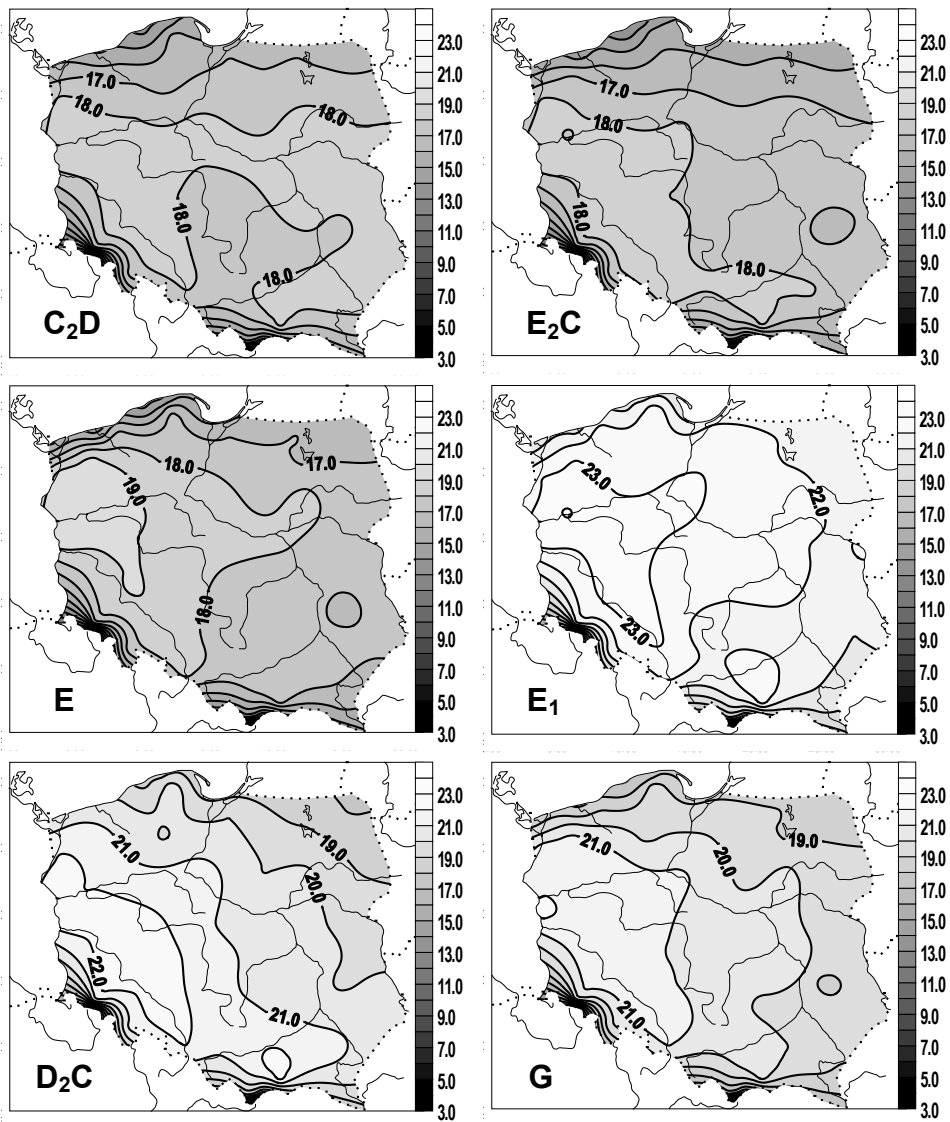
Rys. 10a. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – kwiecień



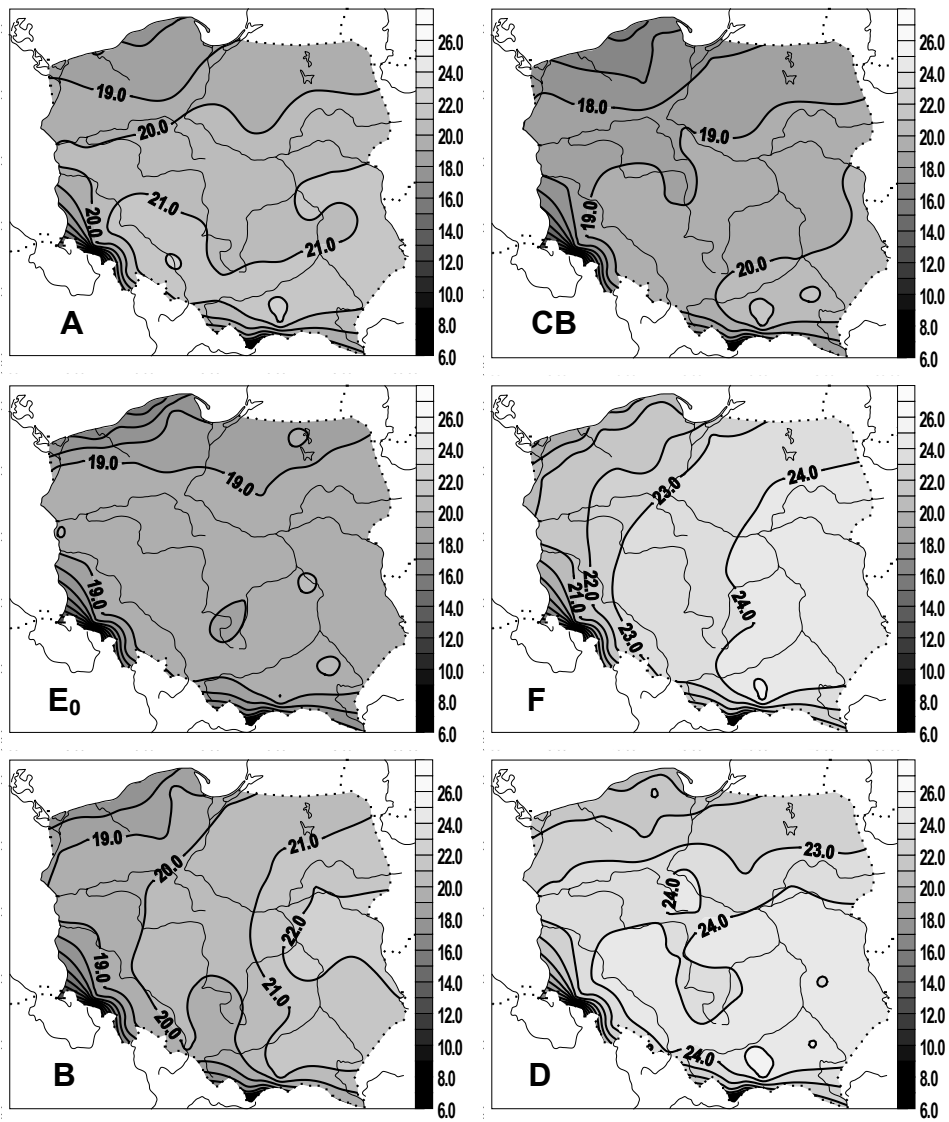
Rys. 10b. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – kwiecień



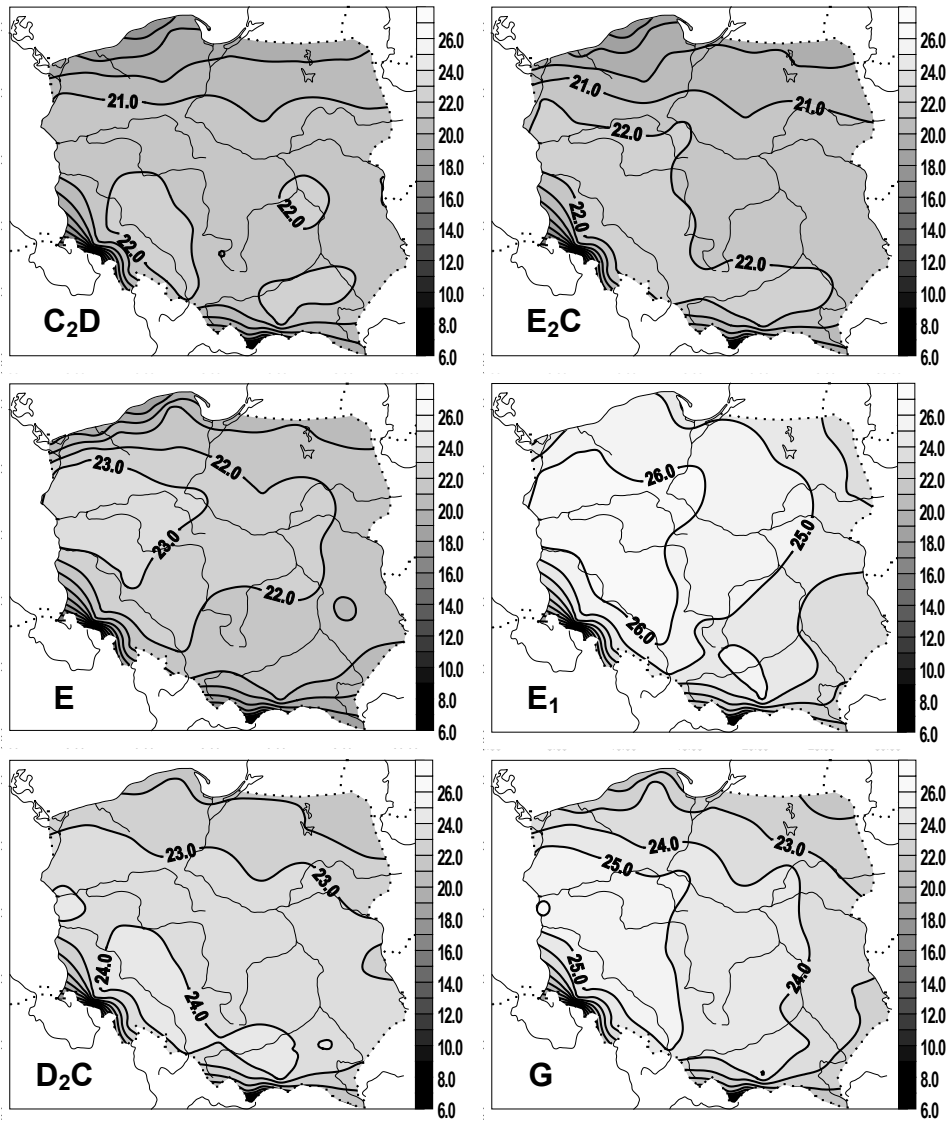
Rys. 11a. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – maj



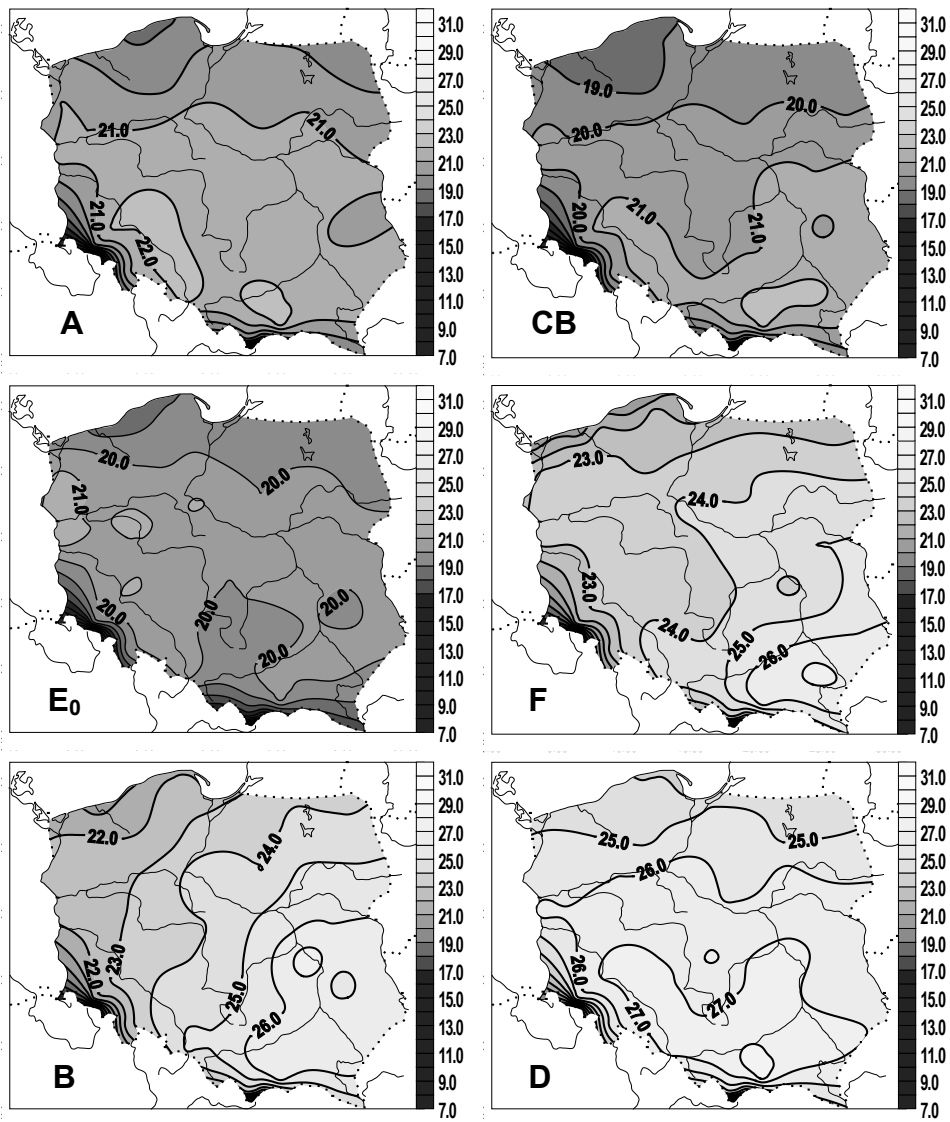
Rys. 11b. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – maj



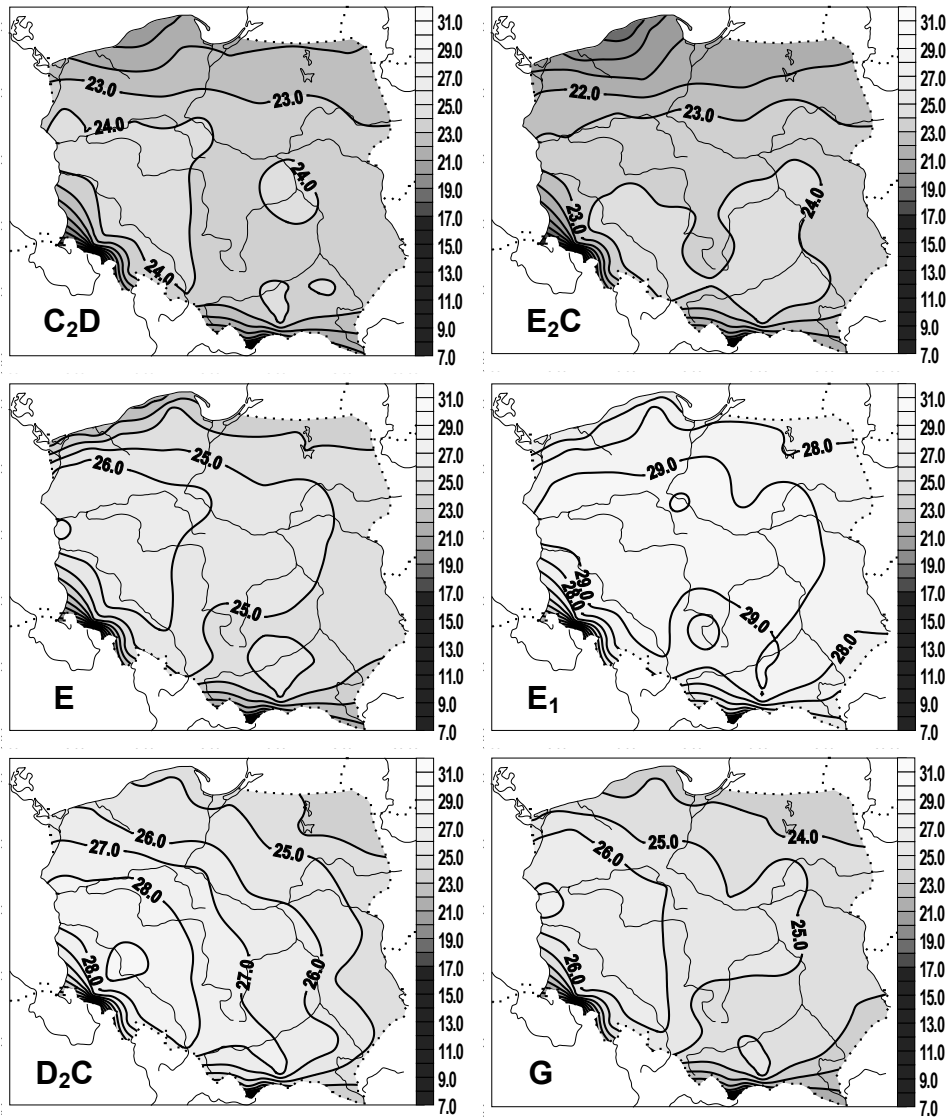
Rys. 12a. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – czerwiec



Rys. 12b. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – czerwiec

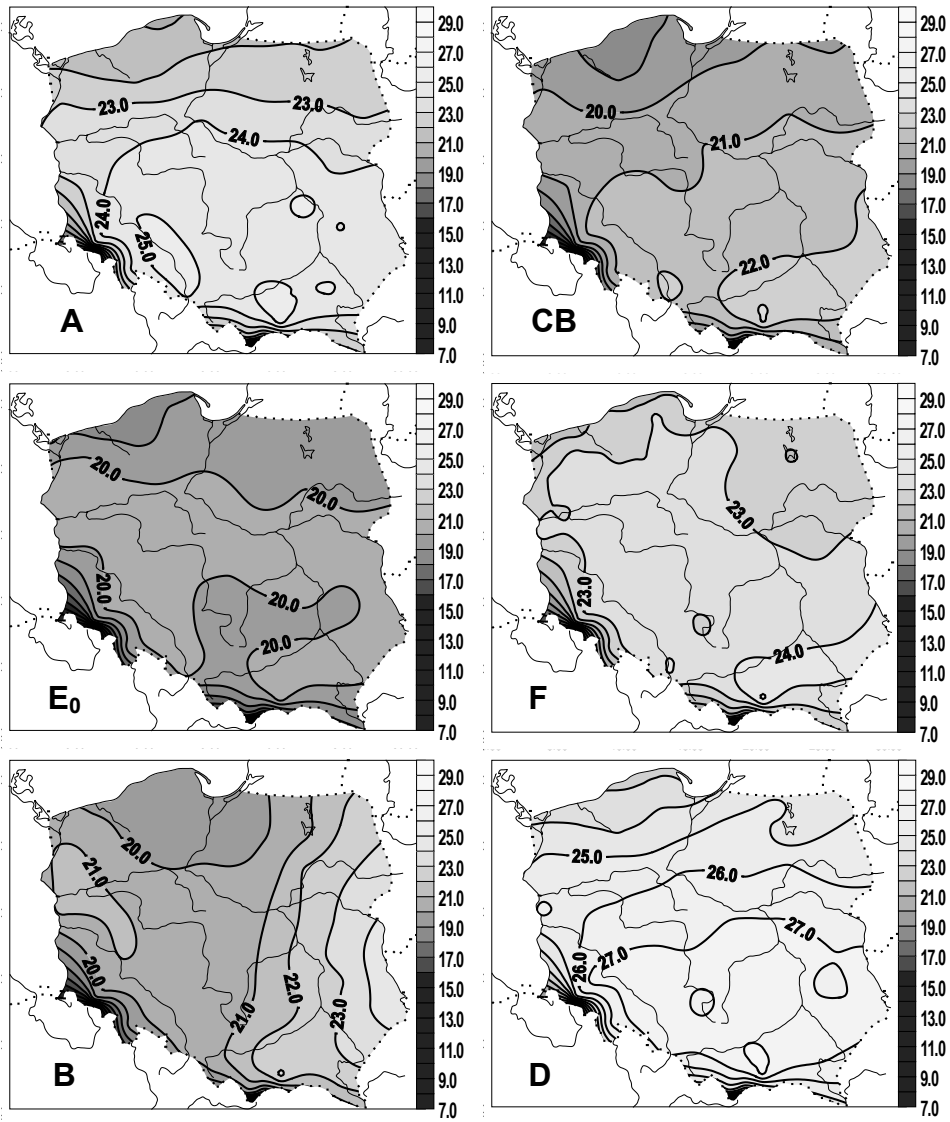


Rys. 13a. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – lipiec

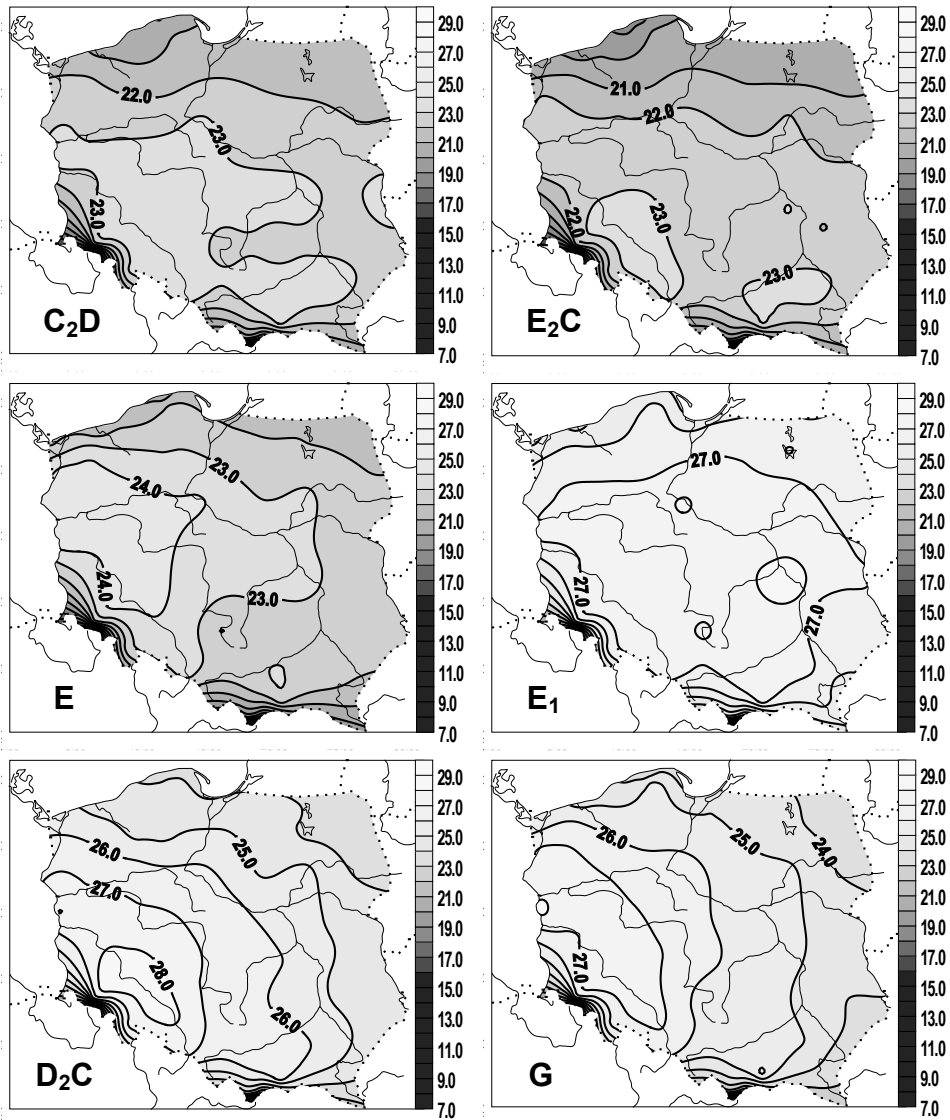


Rys. 13b. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – lipiec

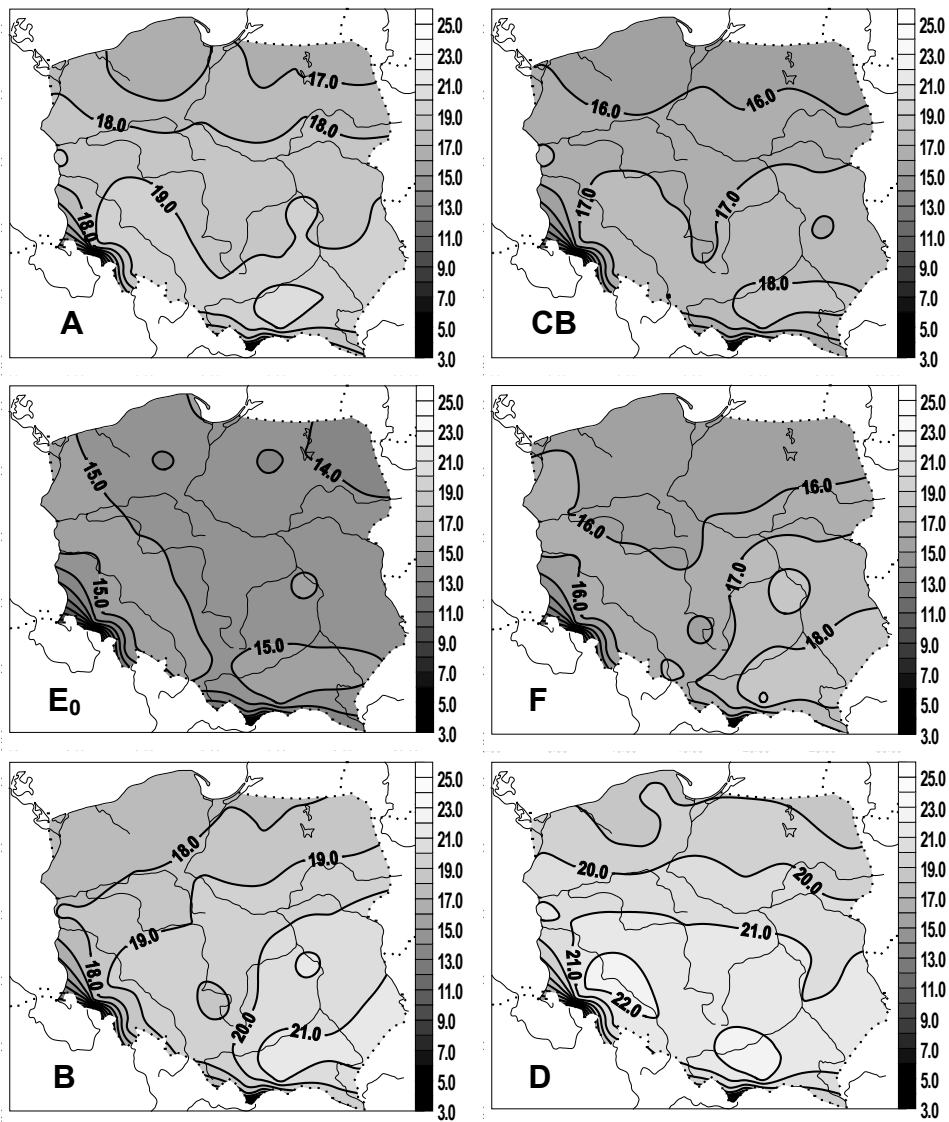




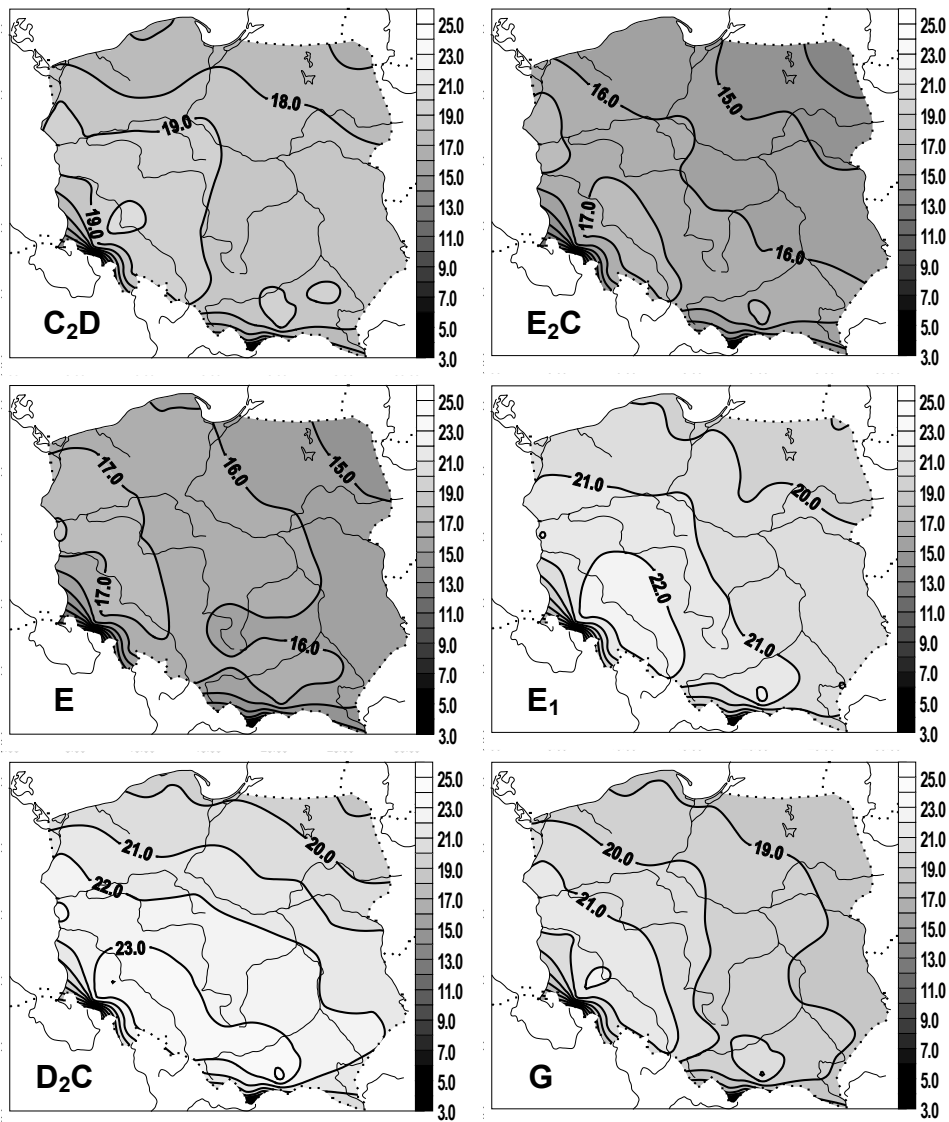
Rys. 14a. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – sierpień



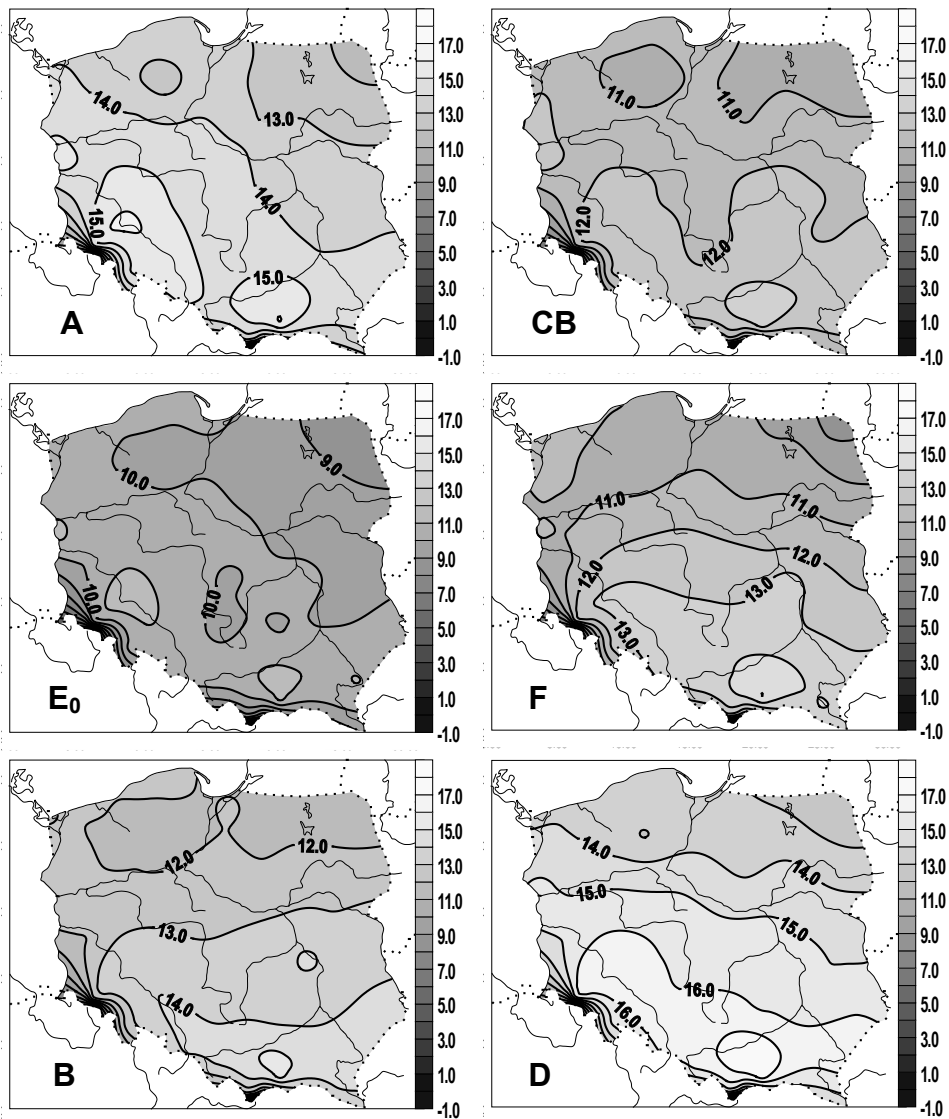
Rys. 14b. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – sierpień



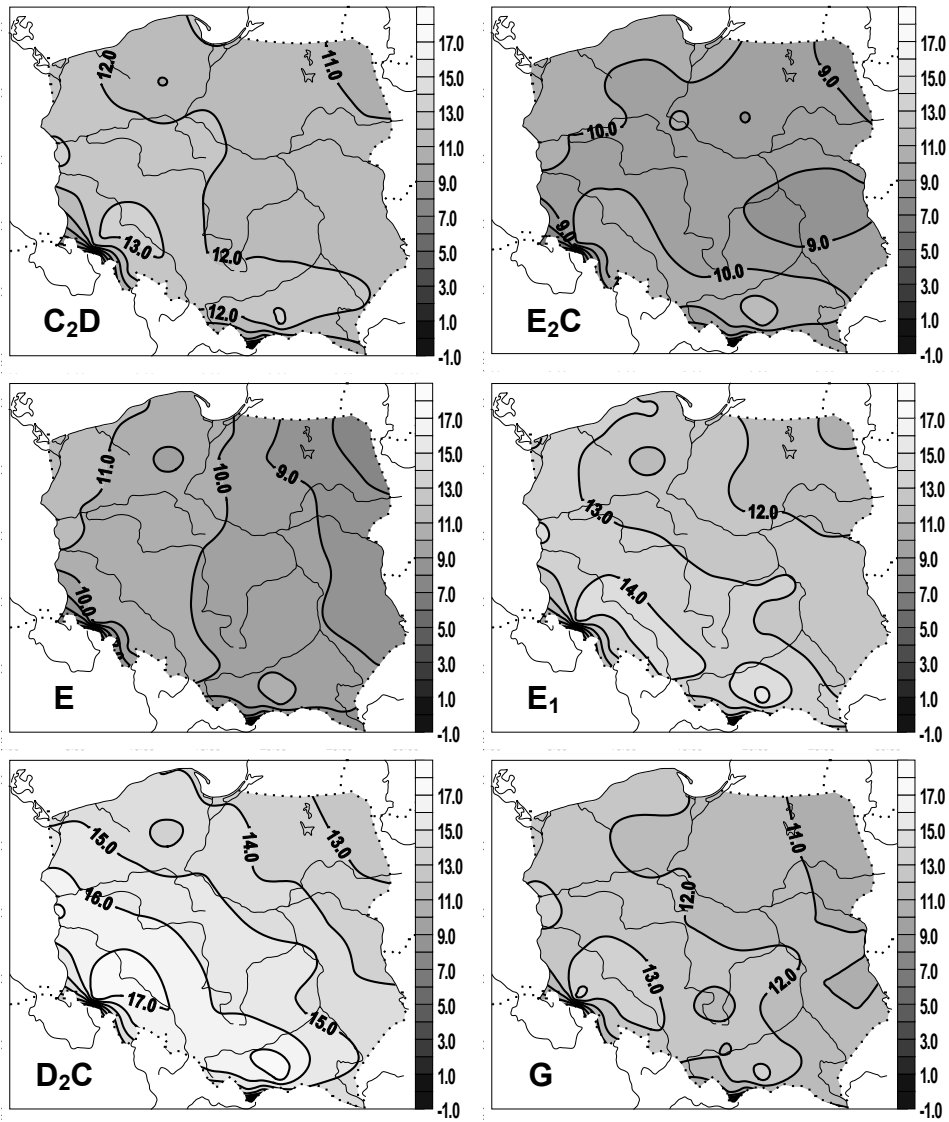
Rys. 15a. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – wrzesień



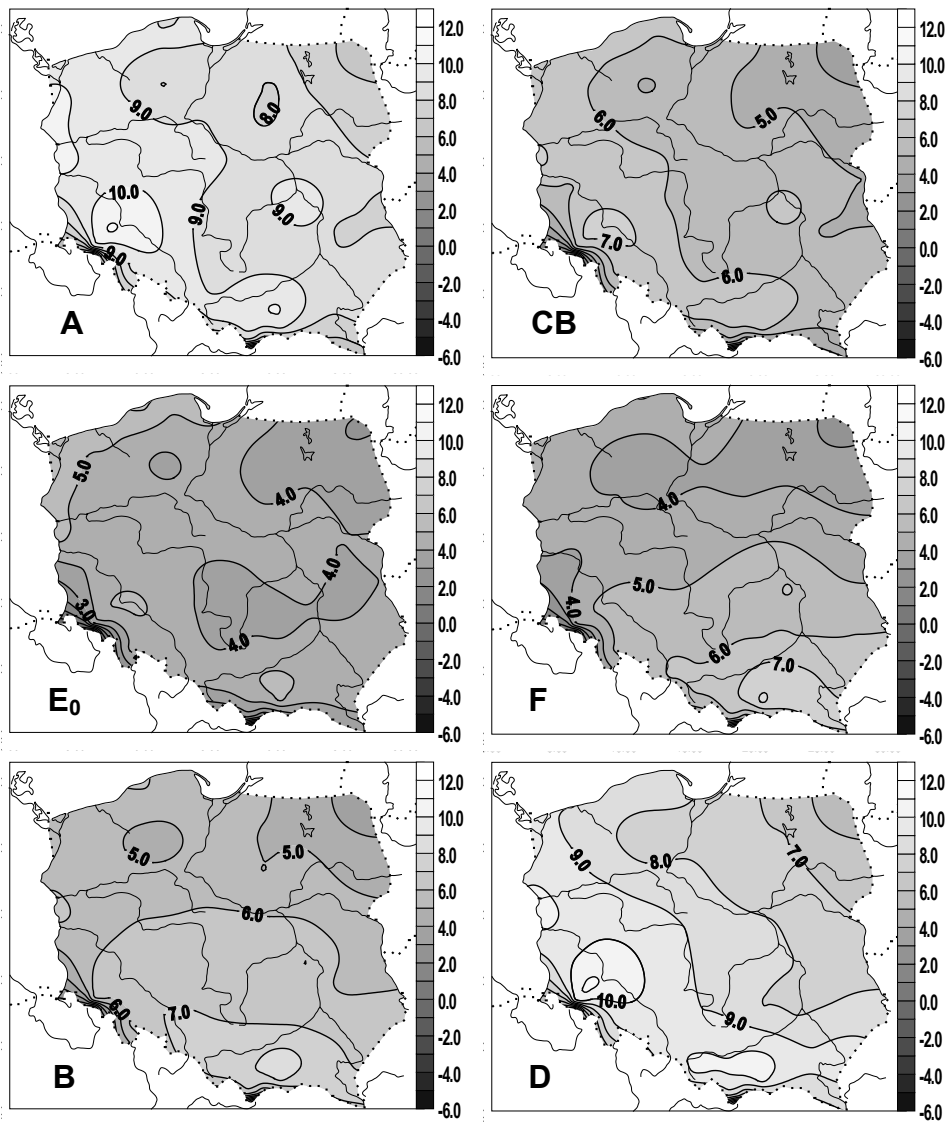
Rys. 15b. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – wrzesień



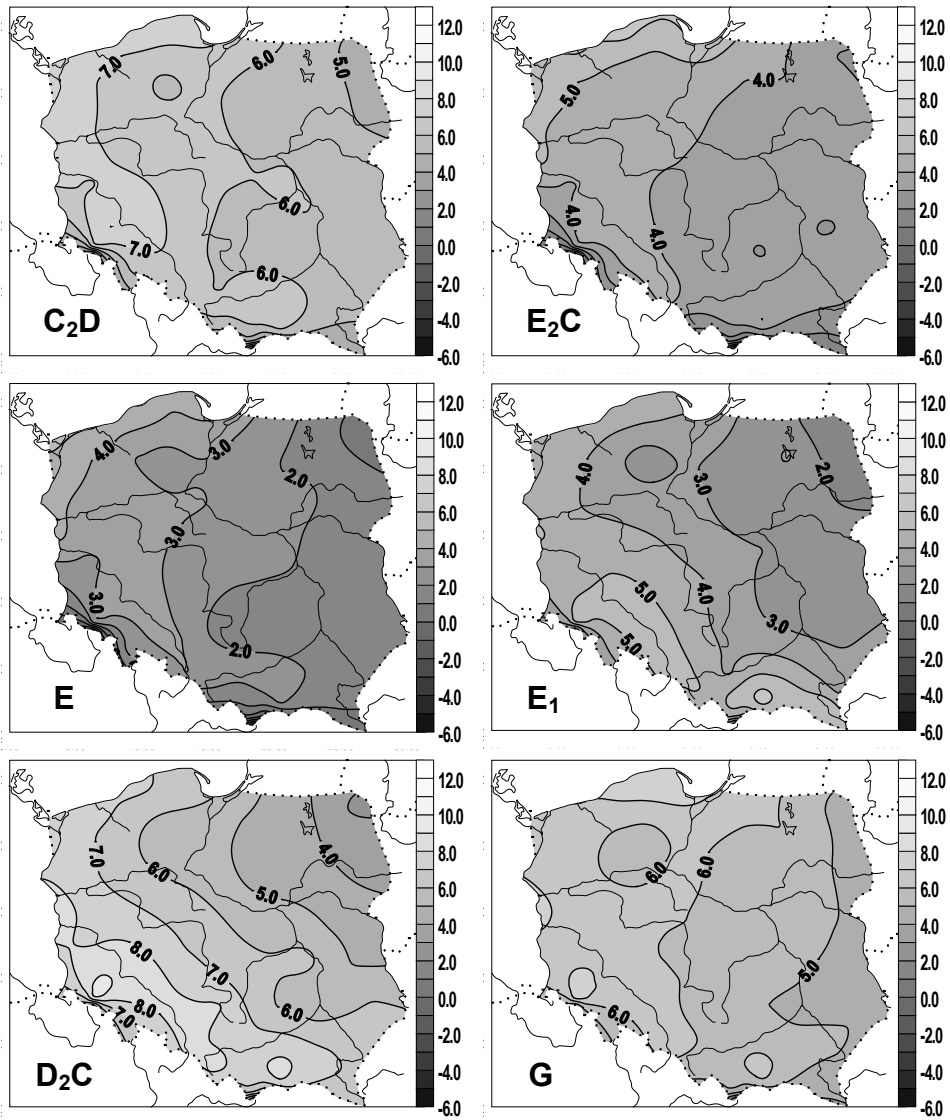
Rys. 16a. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – październik



Rys. 16b. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – październik

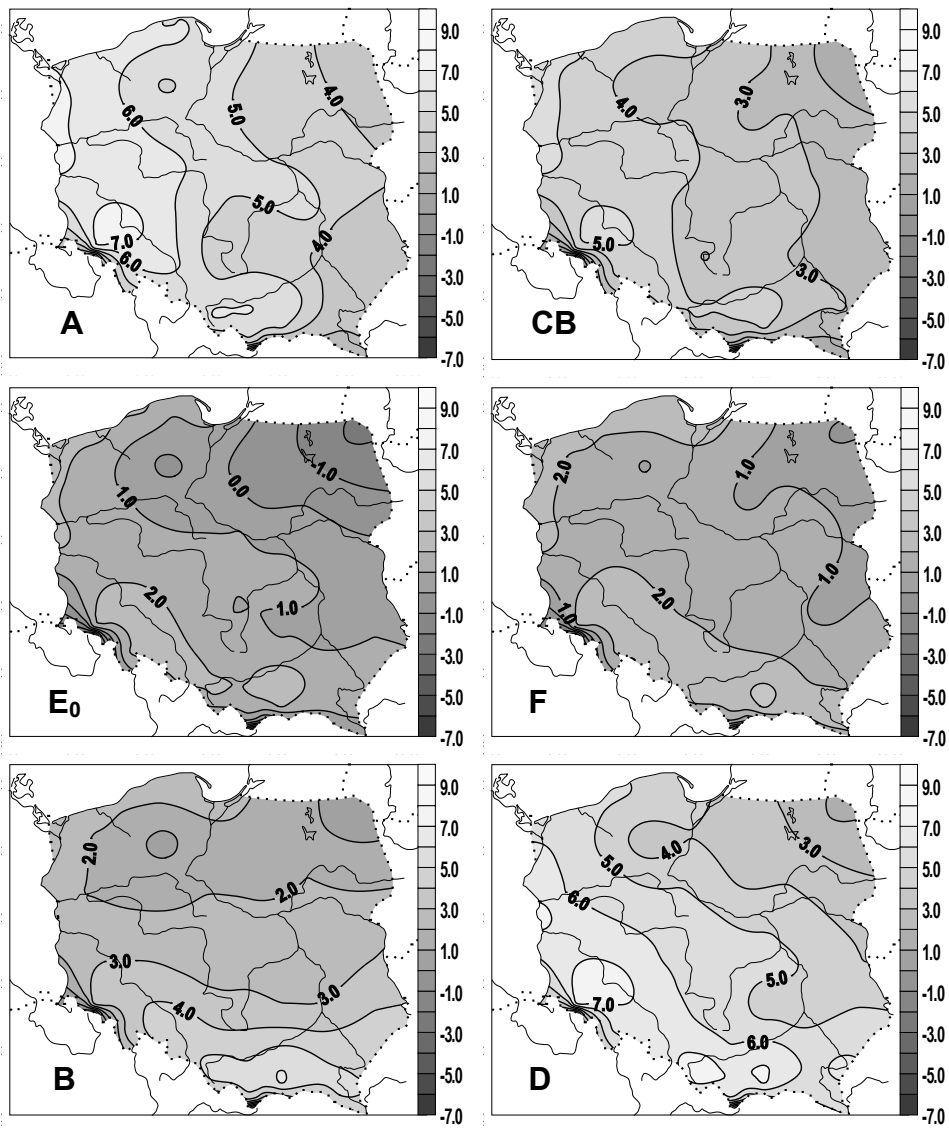


Rys. 17a. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – listopad

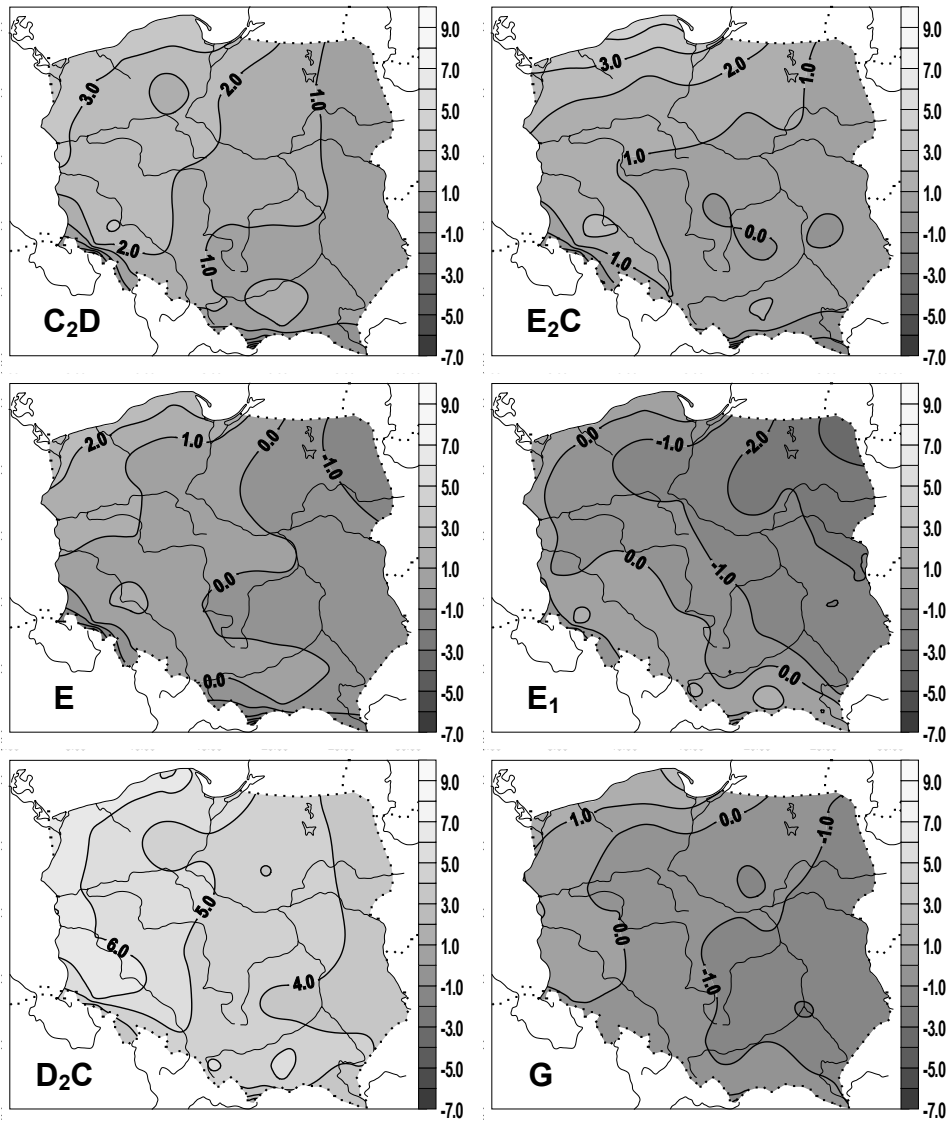


Rys. 17b. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – listopad

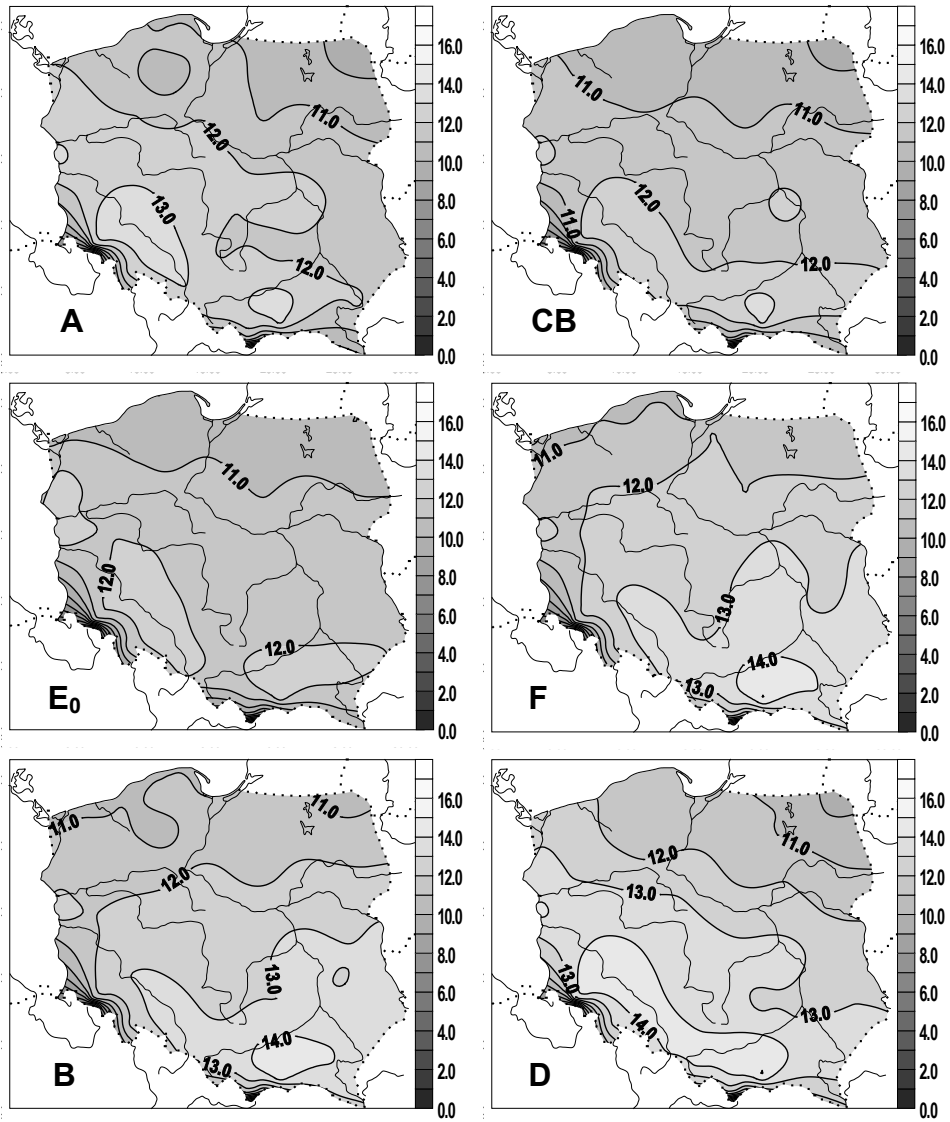




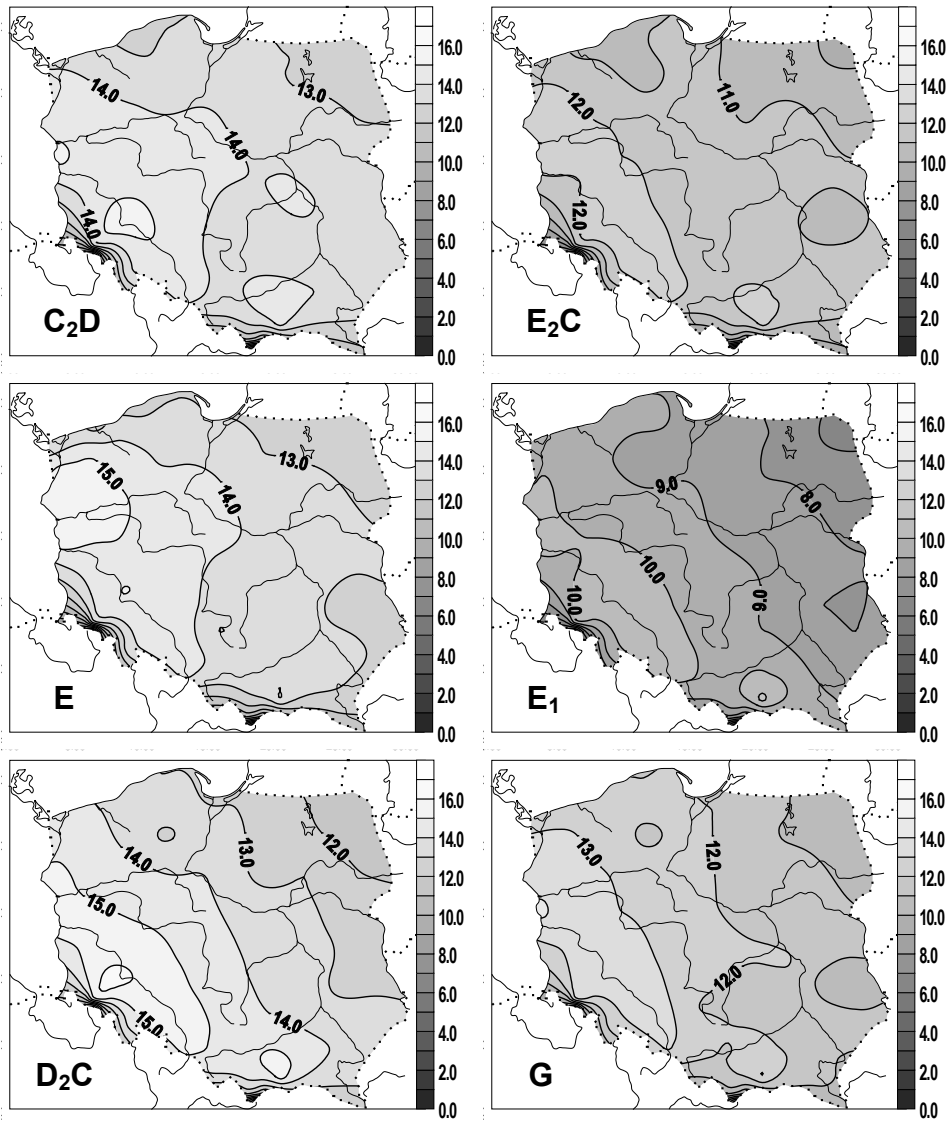
Rys. 18a. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – grudzień



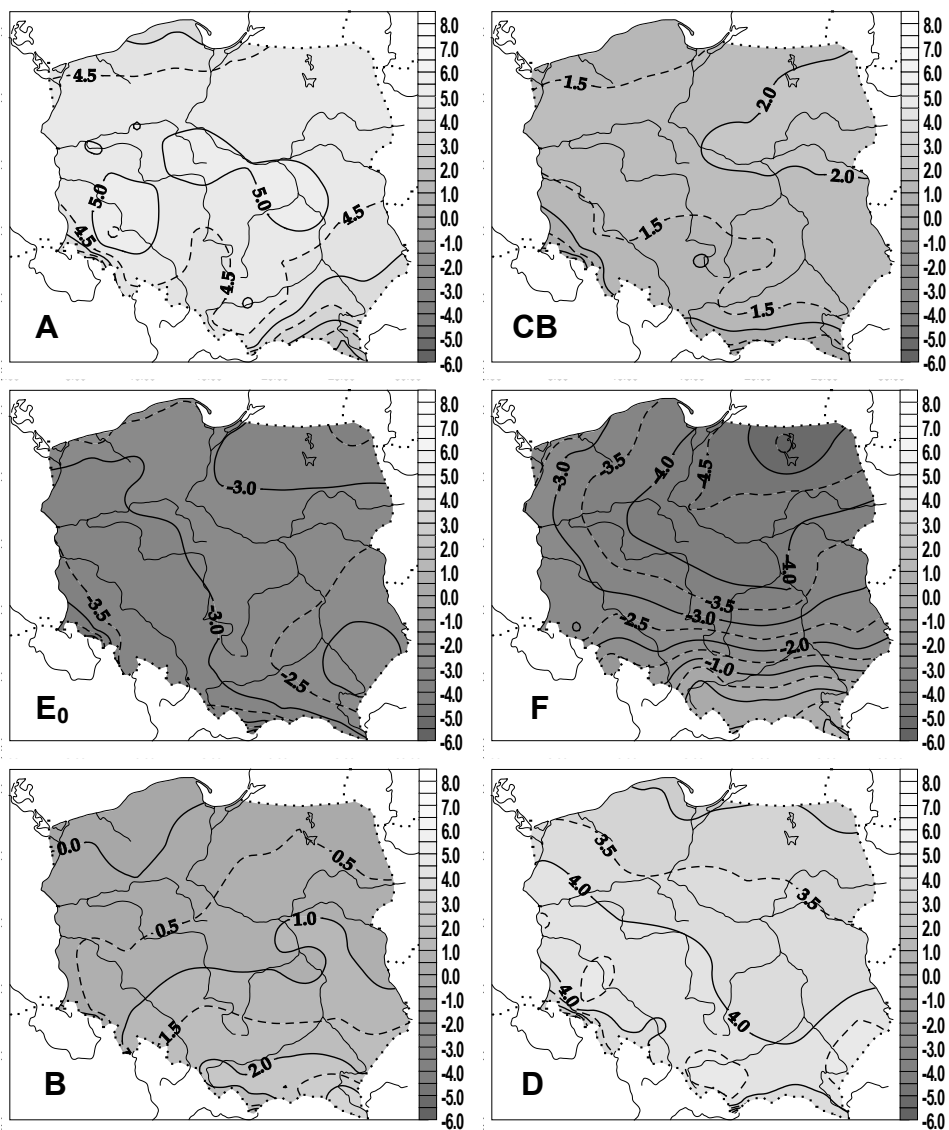
Rys. 18b. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – grudzień



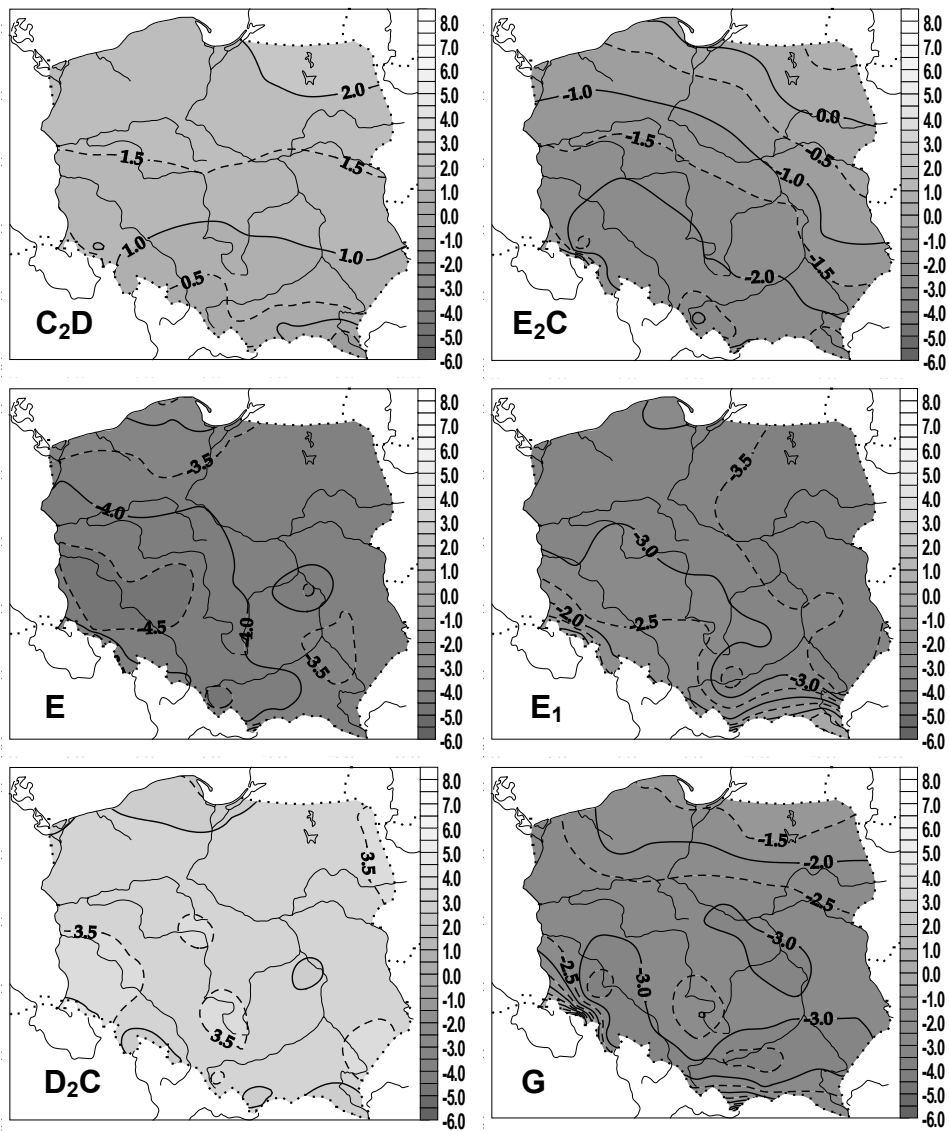
Rys. 19a. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – rok



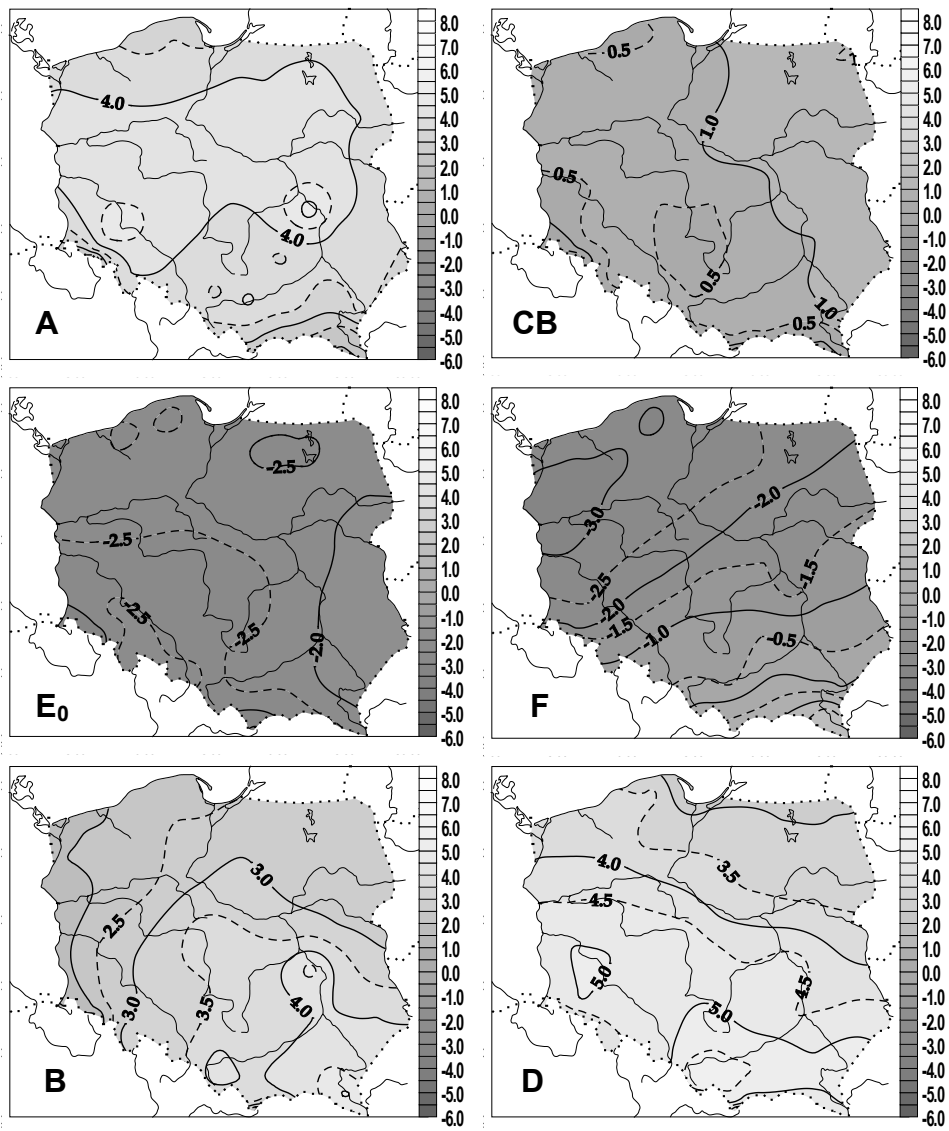
Rys. 19b. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – rok



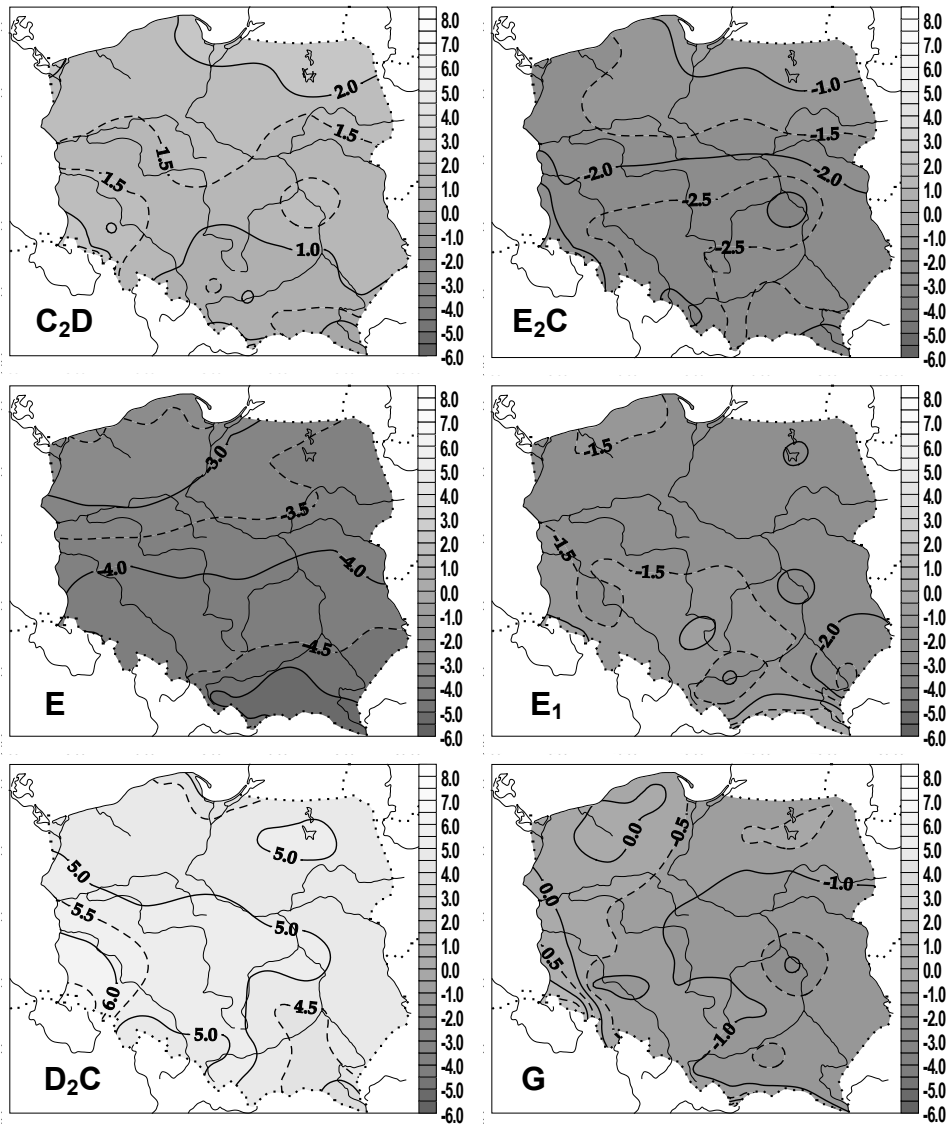
Rys. 20a. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – styczeń



Rys. 20b. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – styczeń

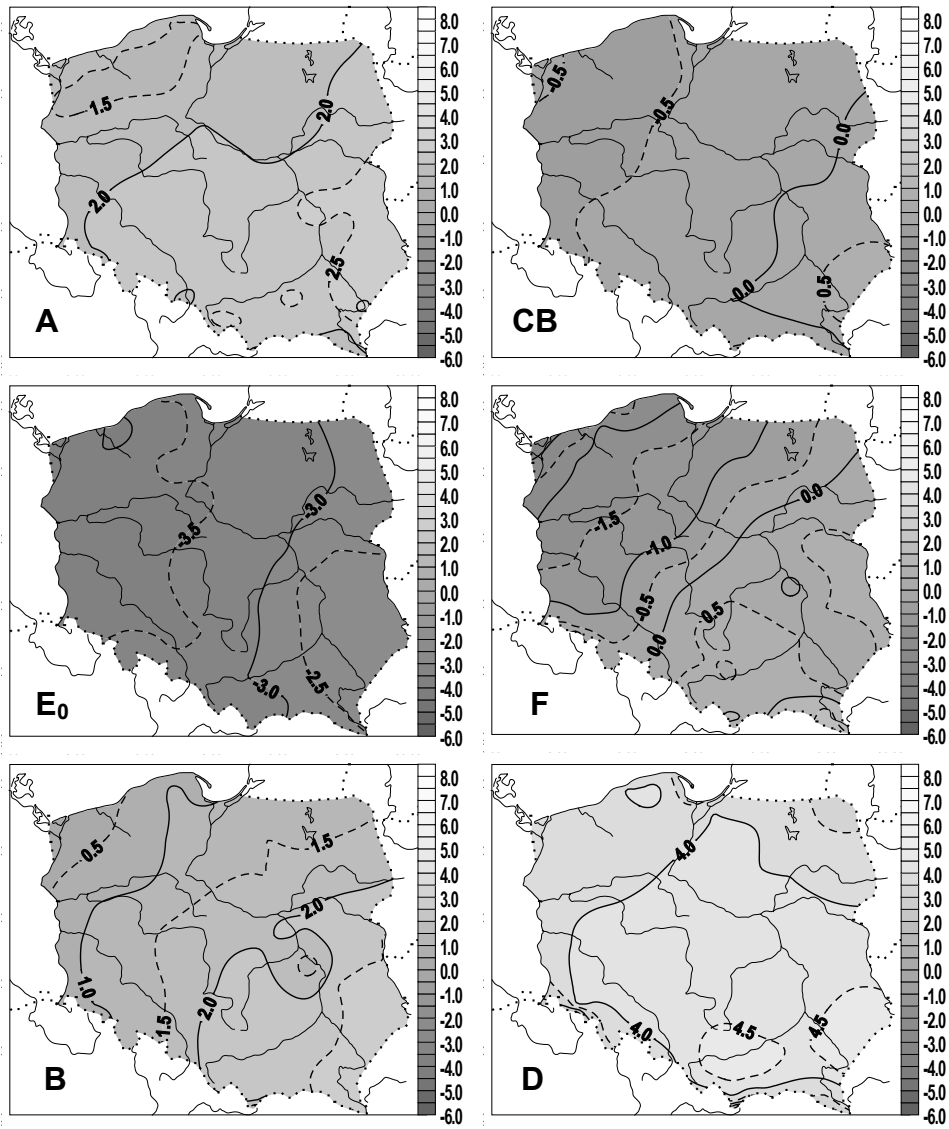


Rys. 21a. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – luty

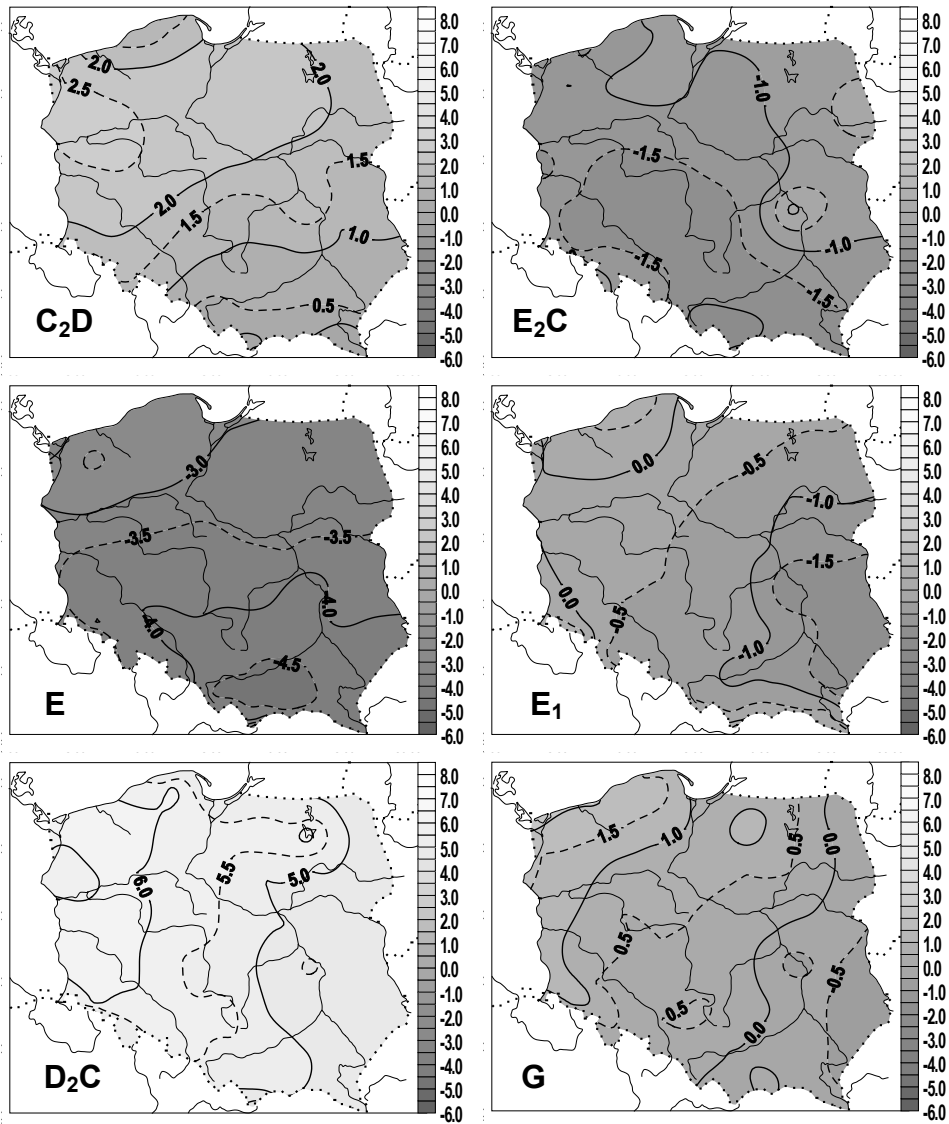


Rys. 21b. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – luty

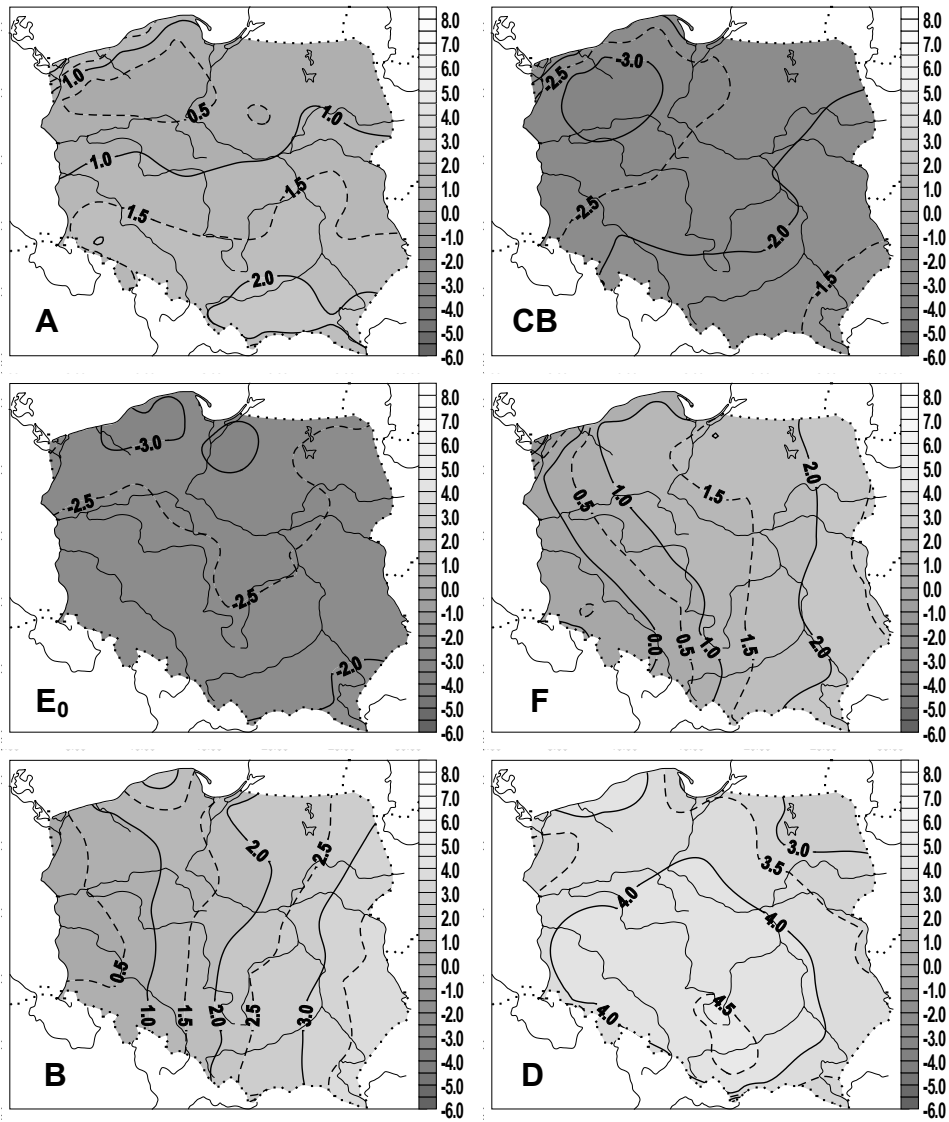




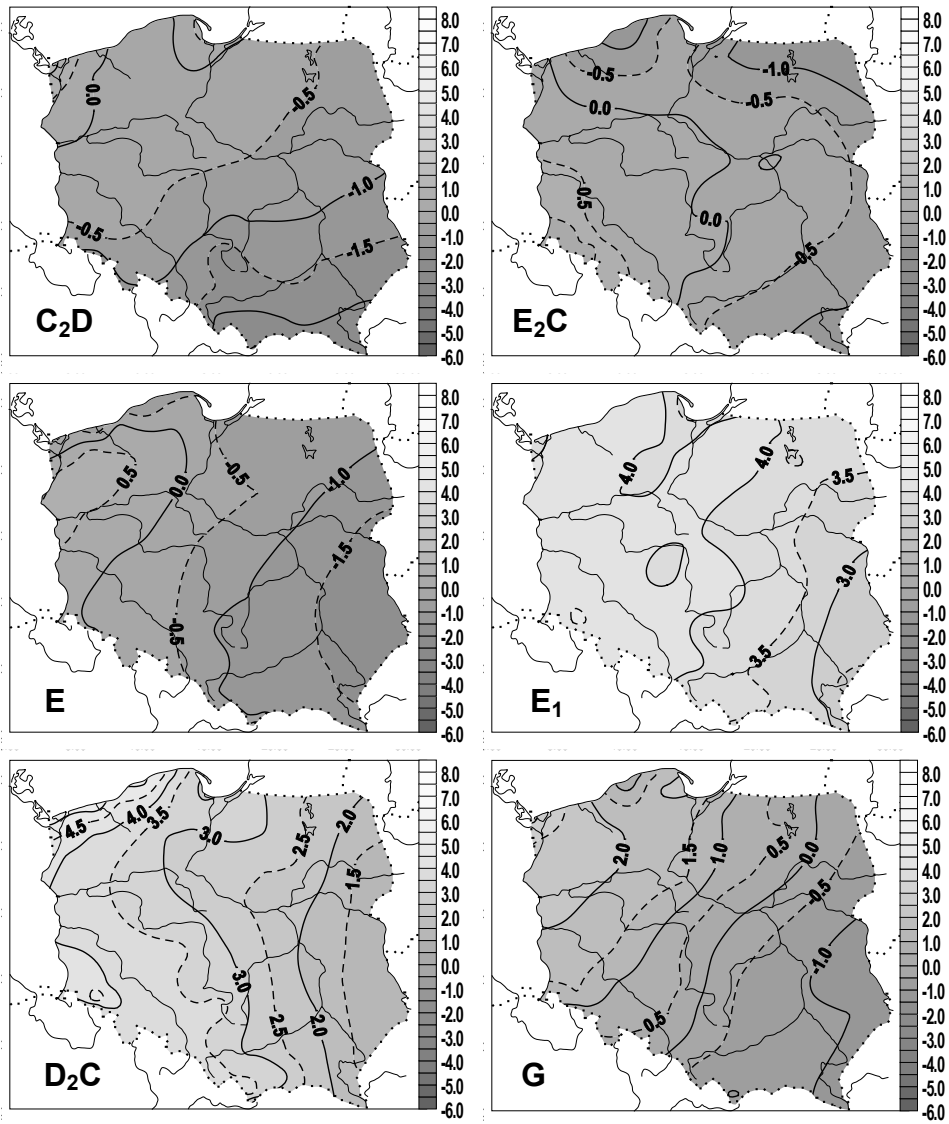
Rys. 22a. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – marzec



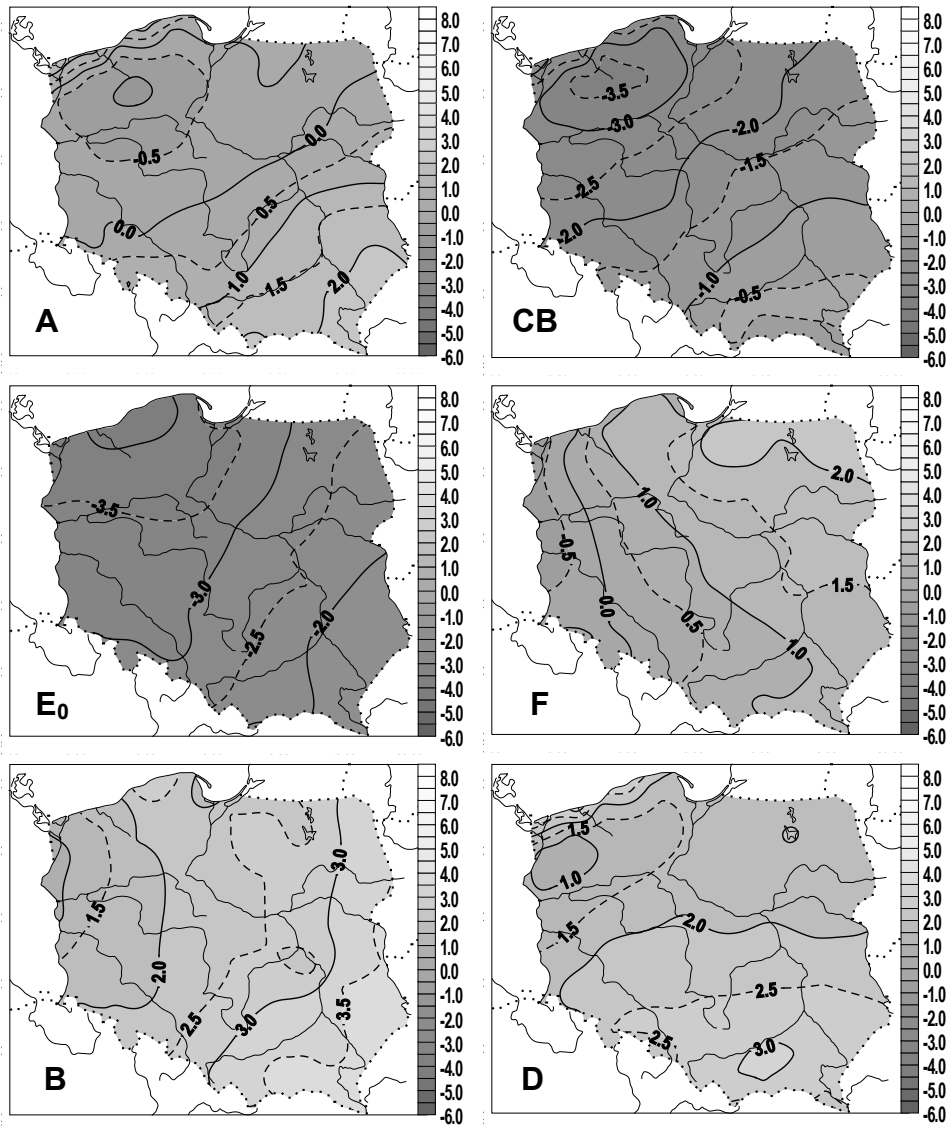
Rys. 22b. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – marzec



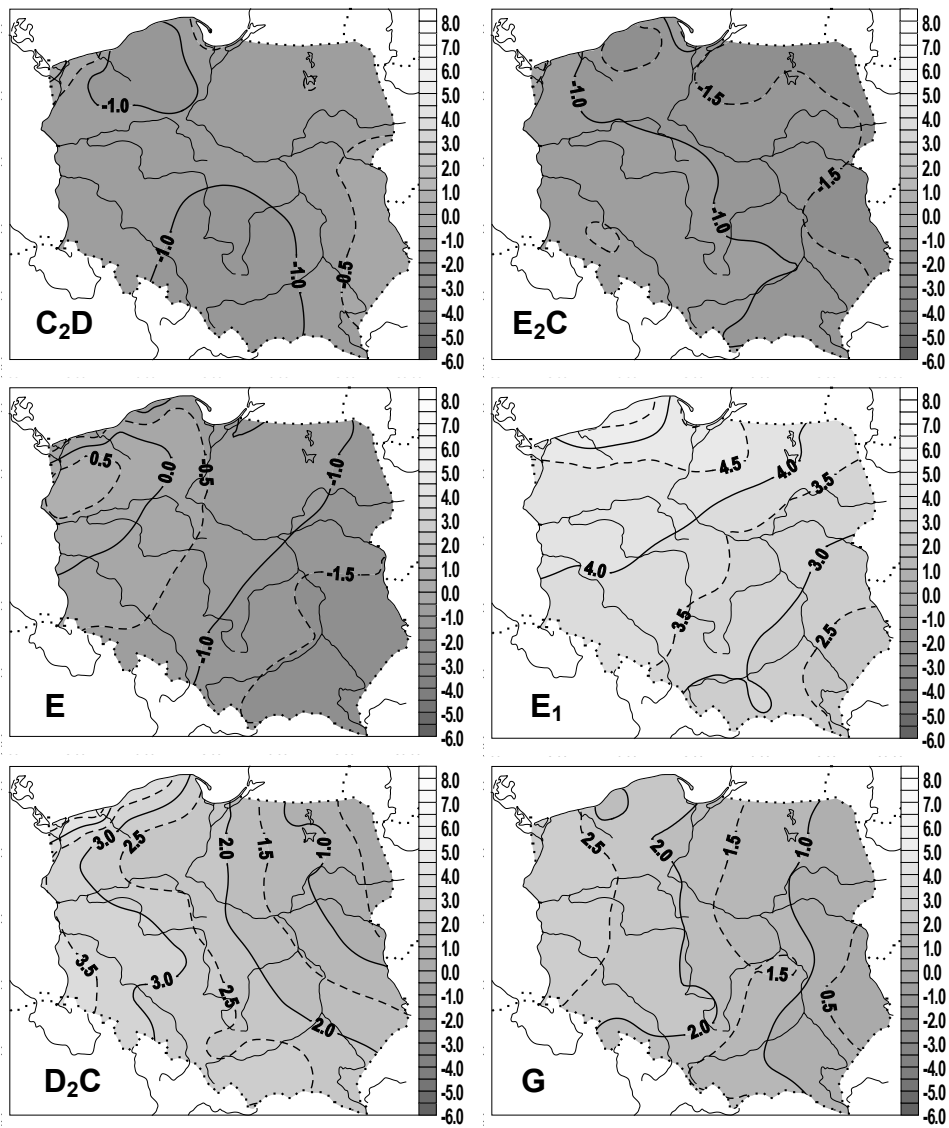
Rys. 23a. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – kwiecień



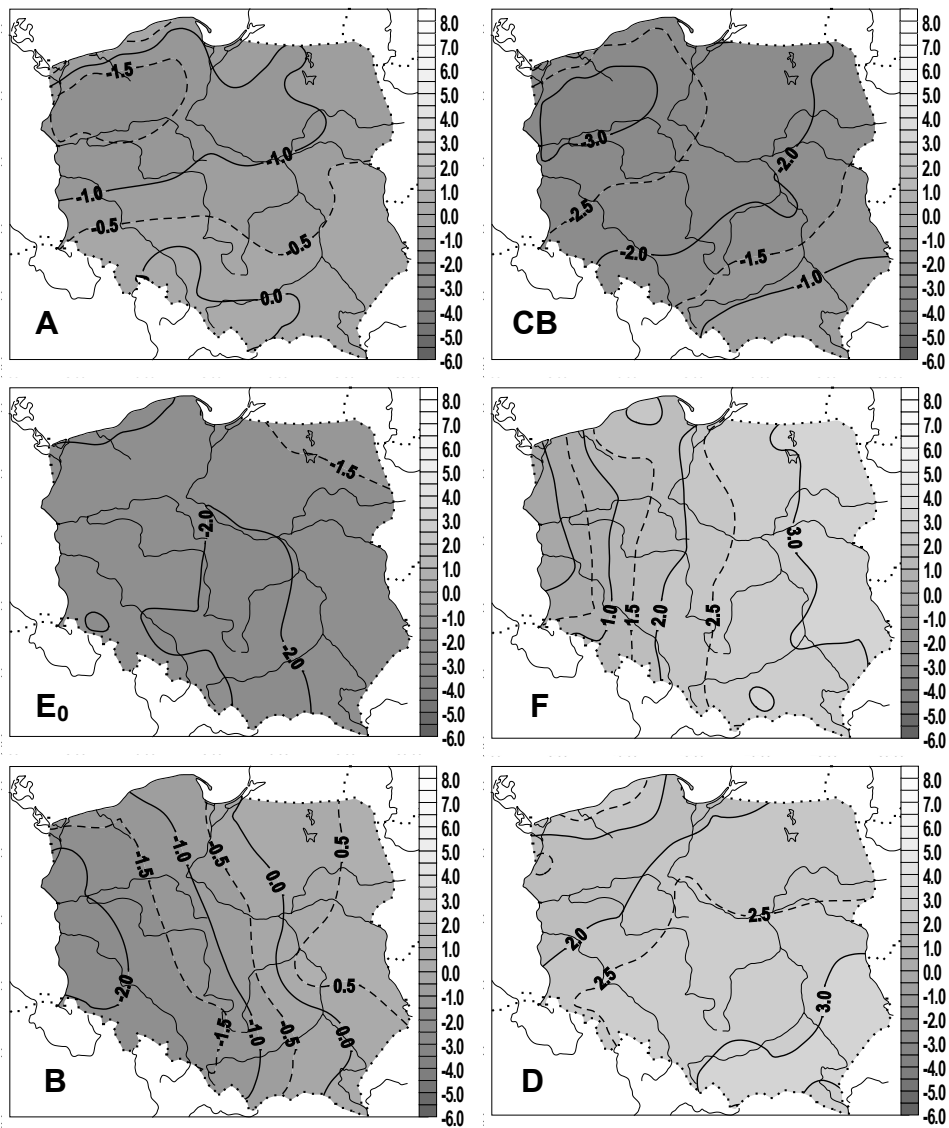
Rys. 23b. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – kwiecień



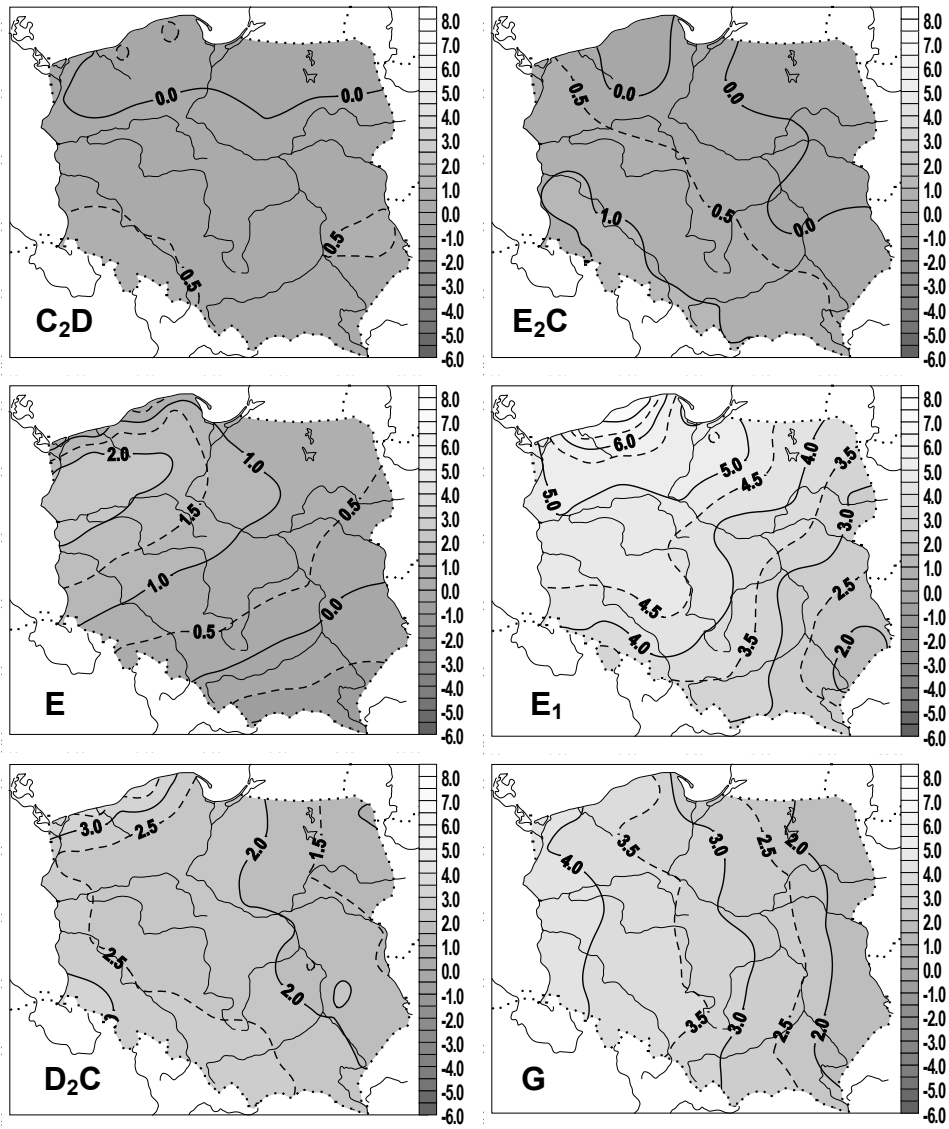
Rys. 24a. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – maj



Rys. 24b. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – maj

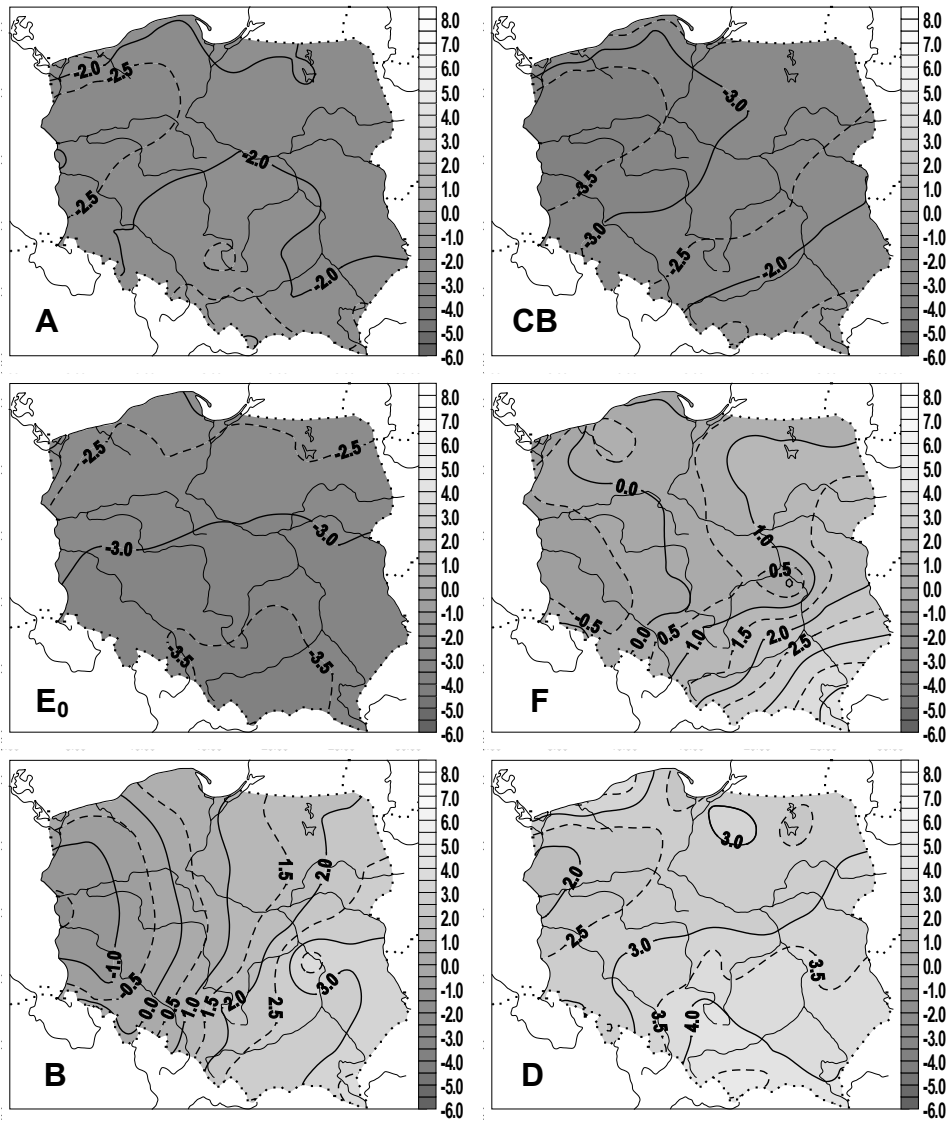


Rys. 25a. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – czerwiec

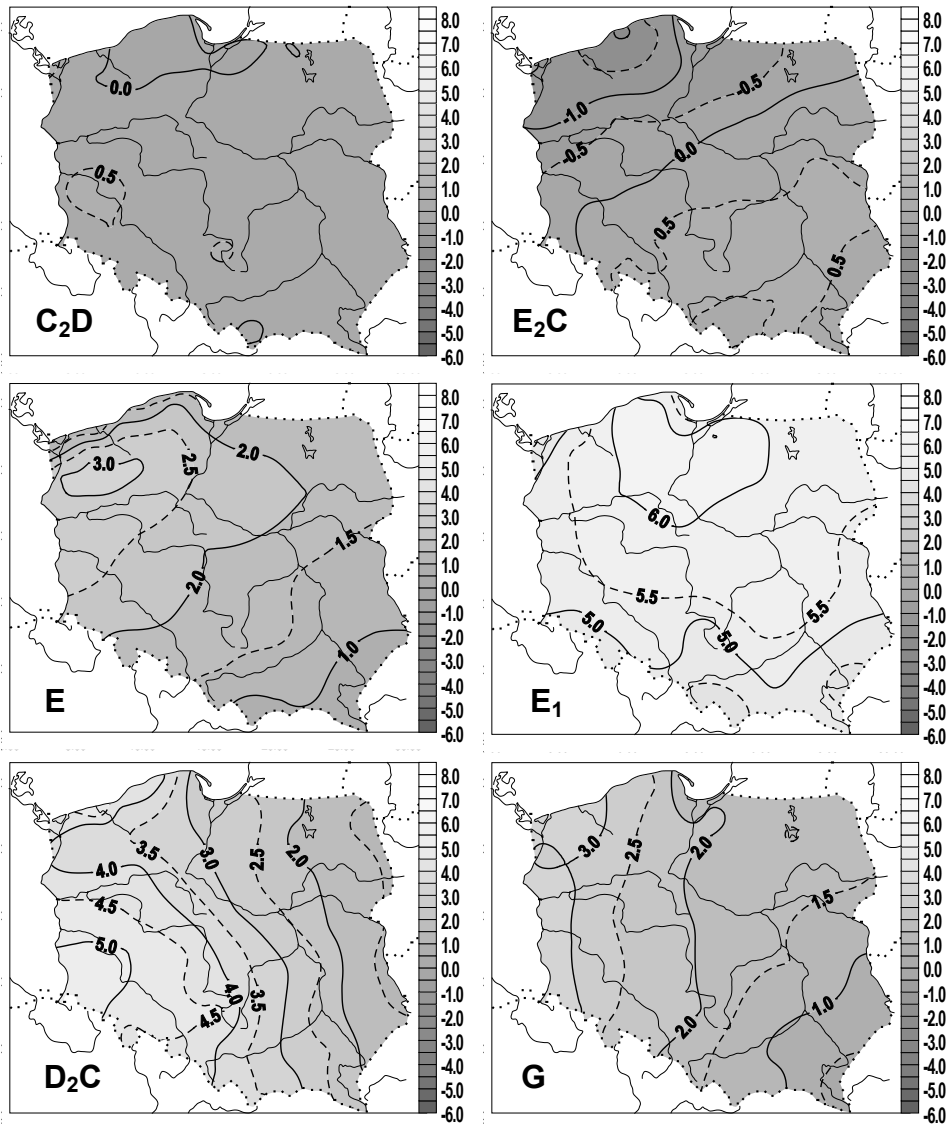


Rys. 25b. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – czerwiec

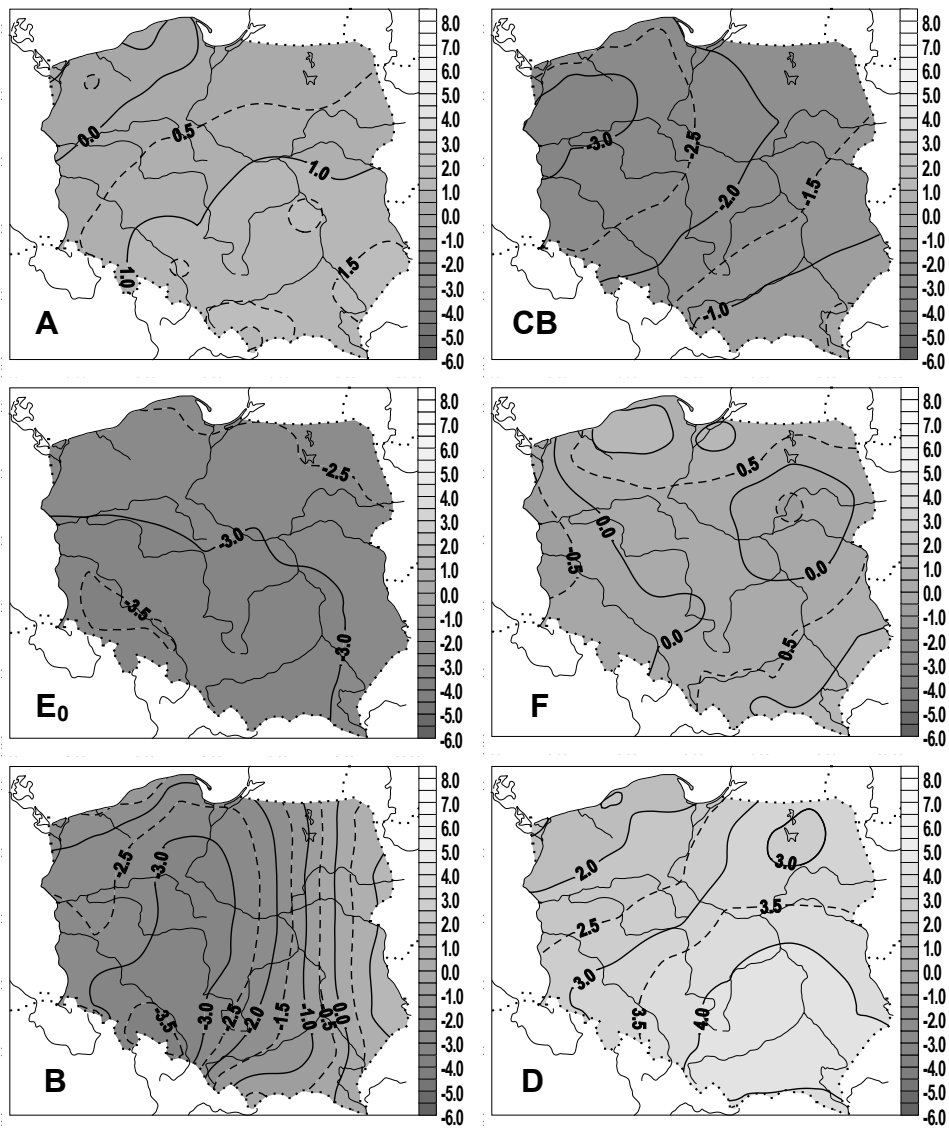




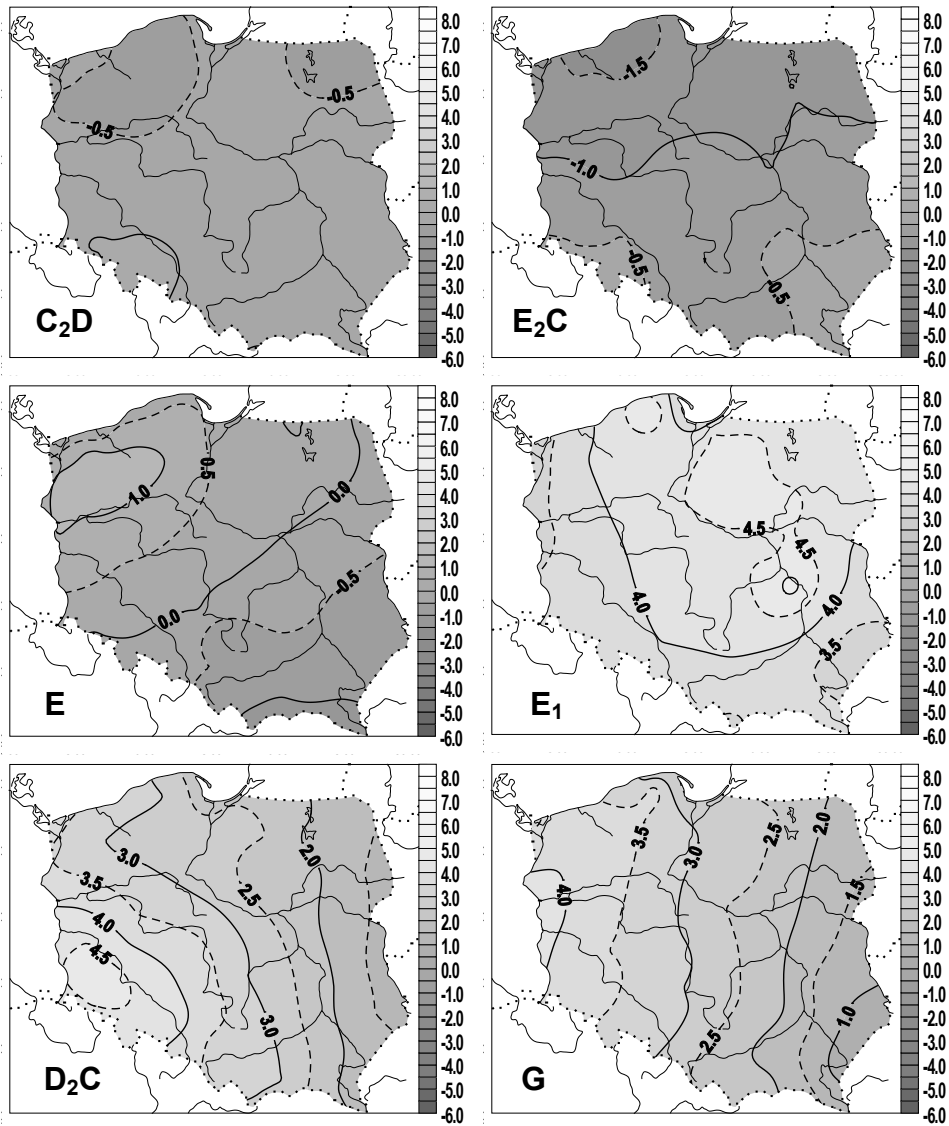
Rys. 26a. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – lipiec



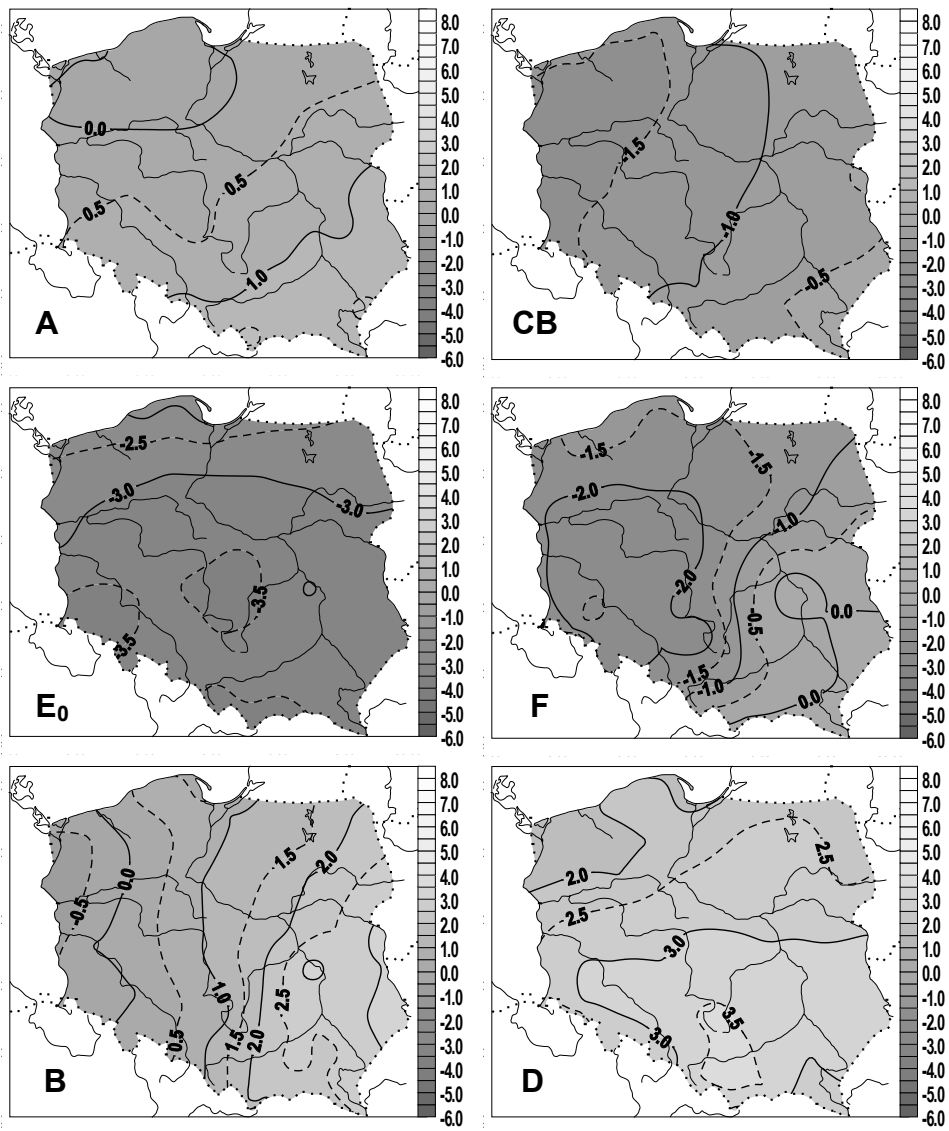
Rys. 26b. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – lipiec



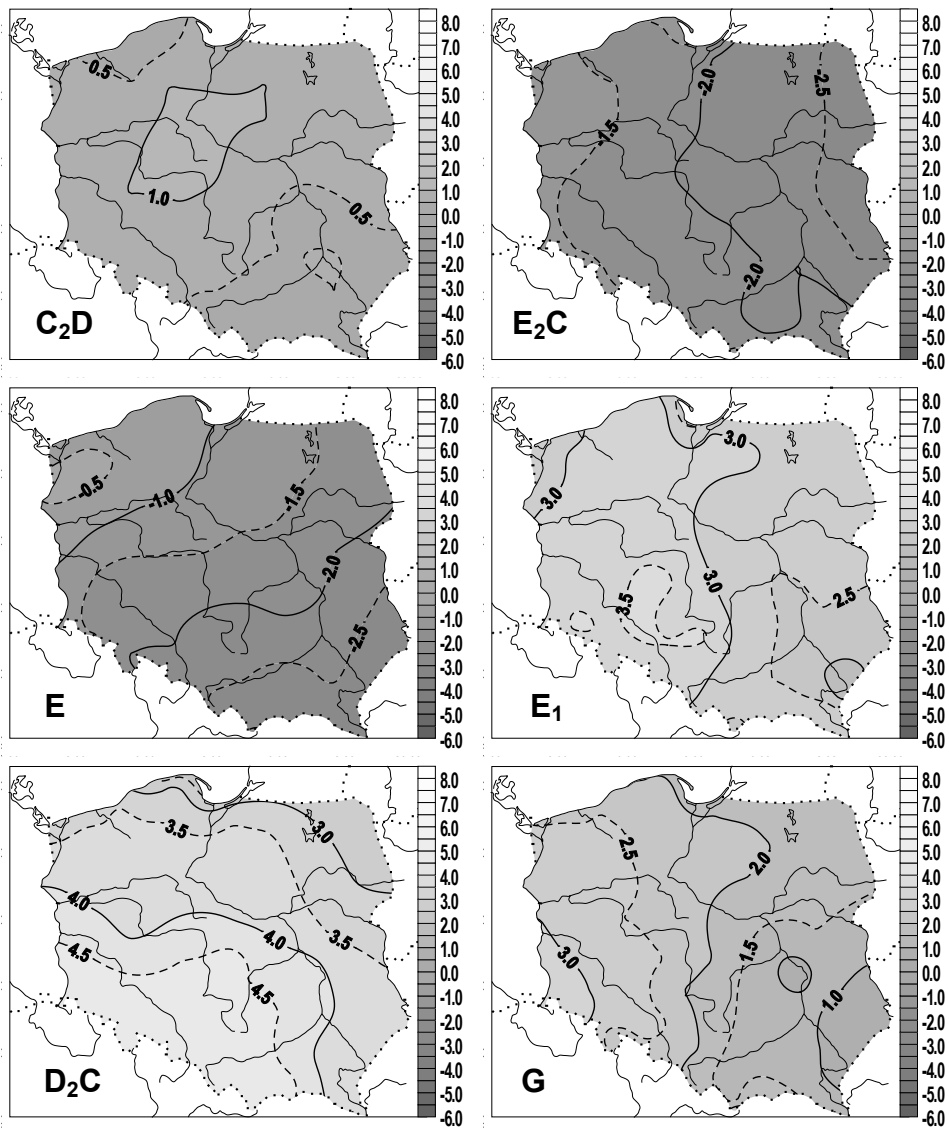
Rys. 27a. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – sierpień



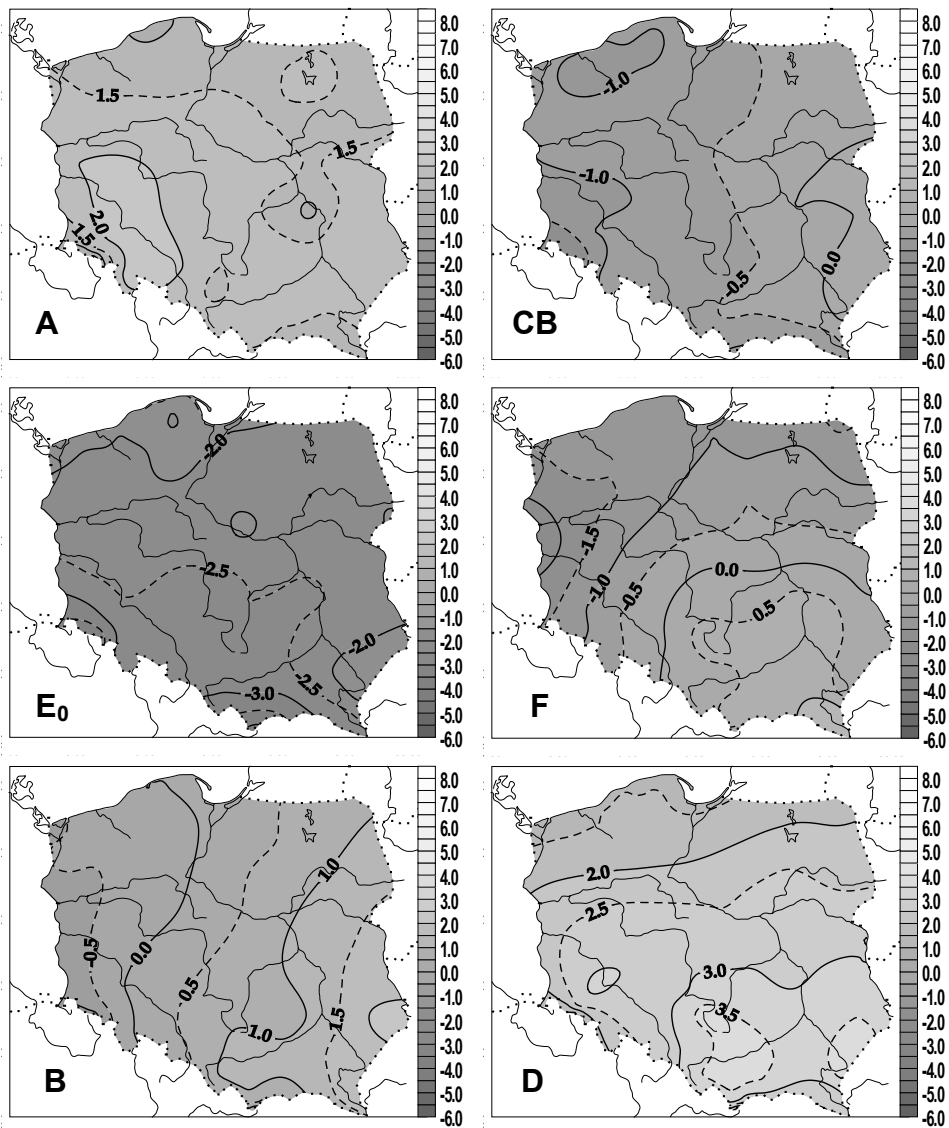
Rys. 27b. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – sierpień



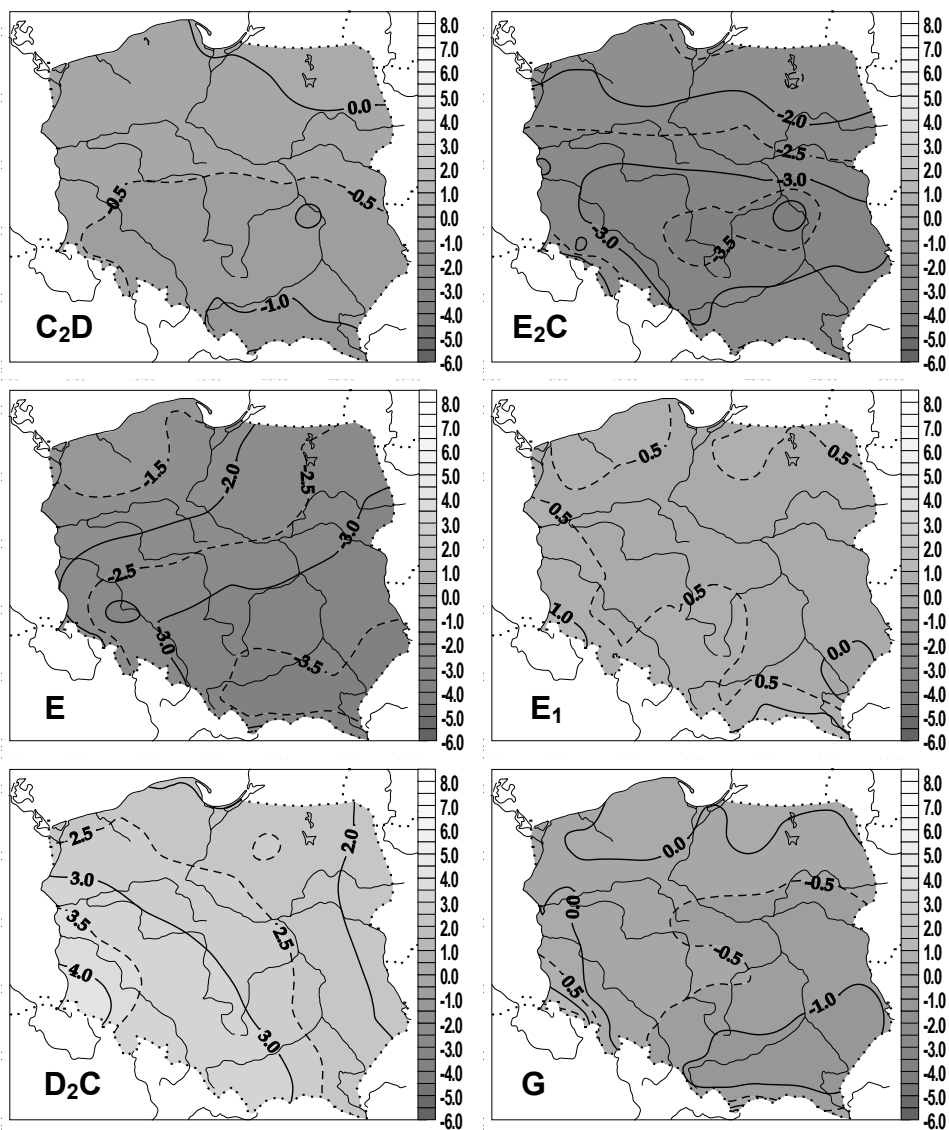
Rys. 28a. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – wrzesień



Rys. 28b. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – wrzesień

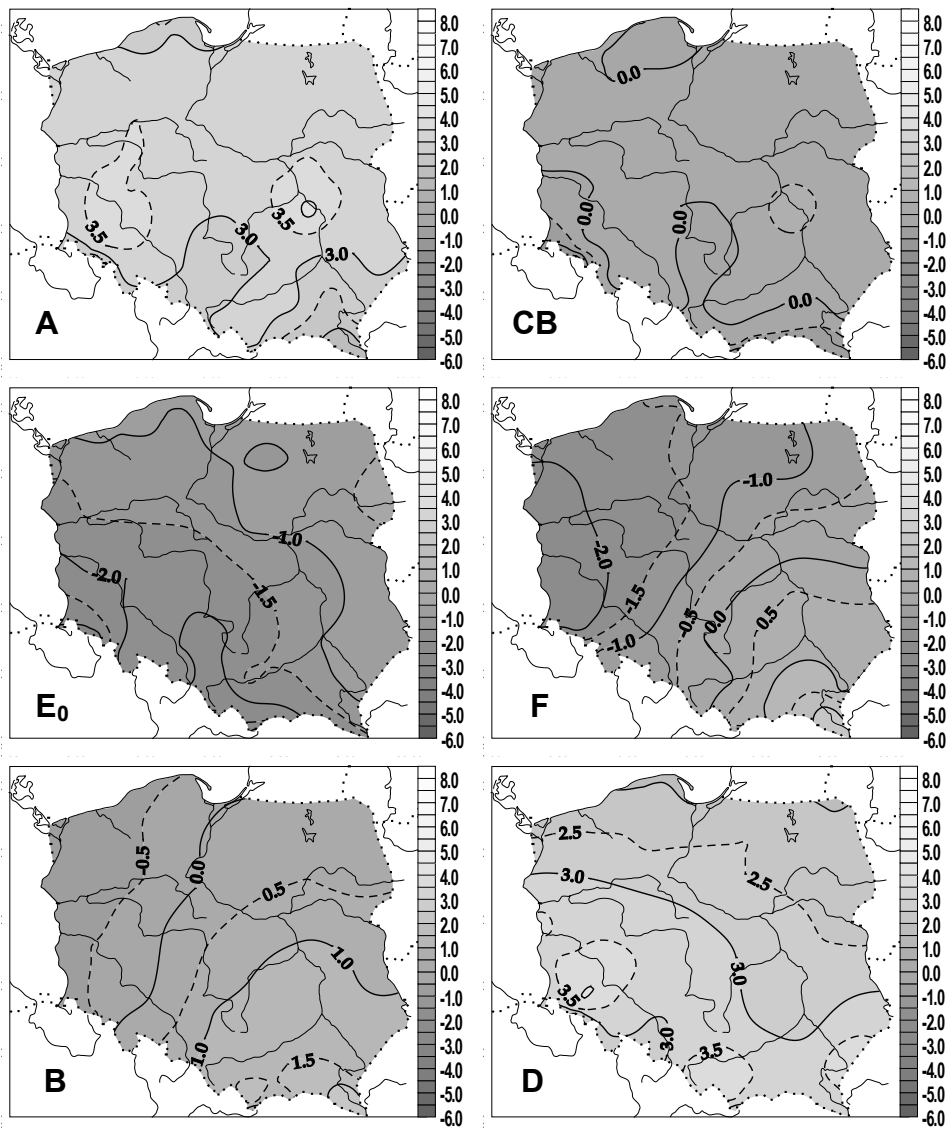


Rys. 29a. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – październik

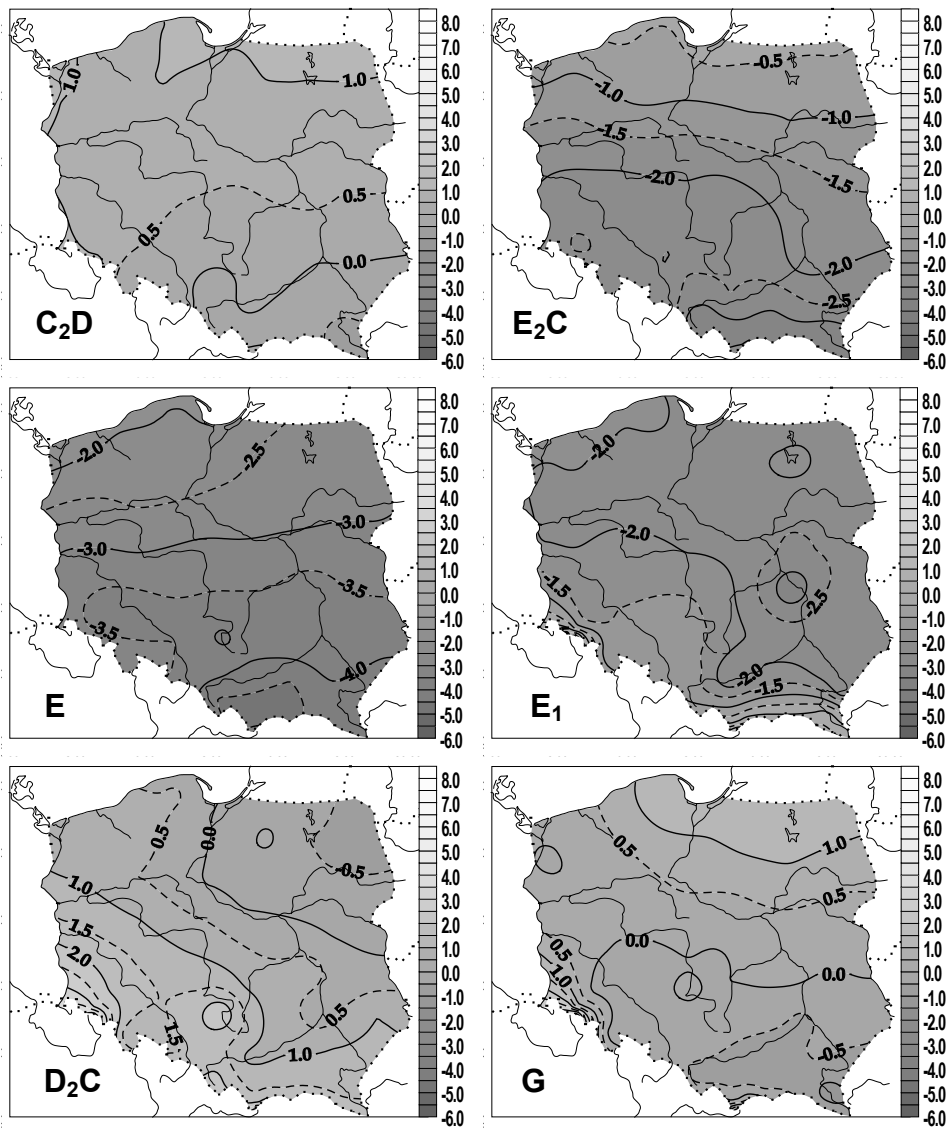


Rys. 29b. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – październik

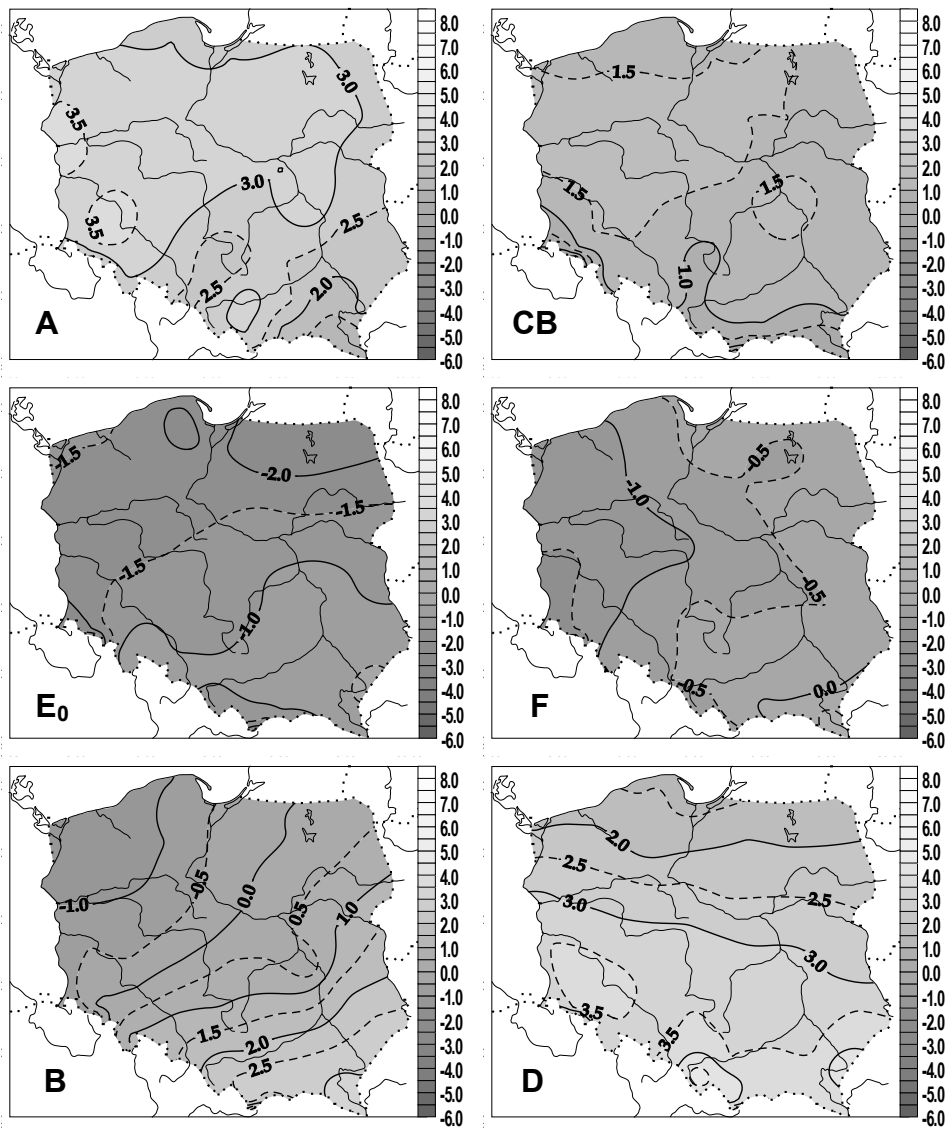




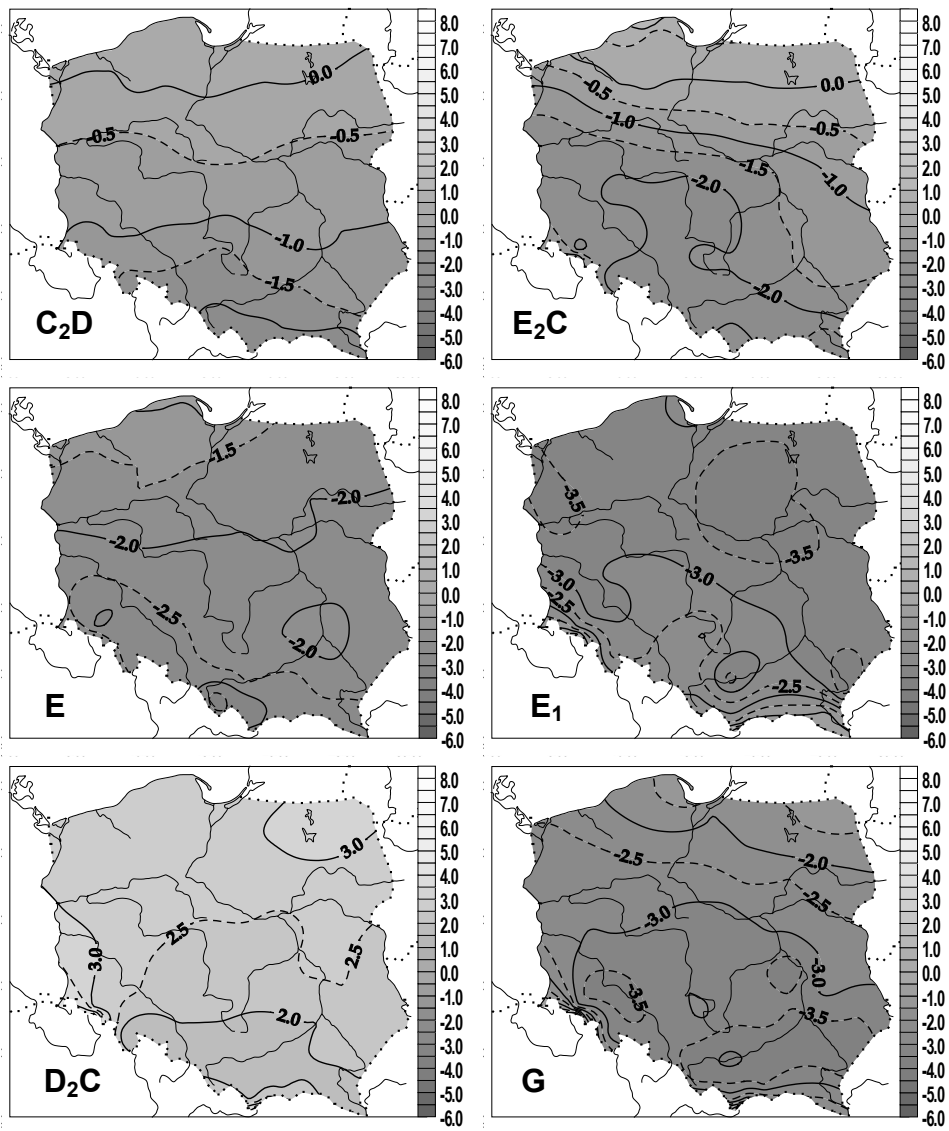
Rys. 30a. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – listopad



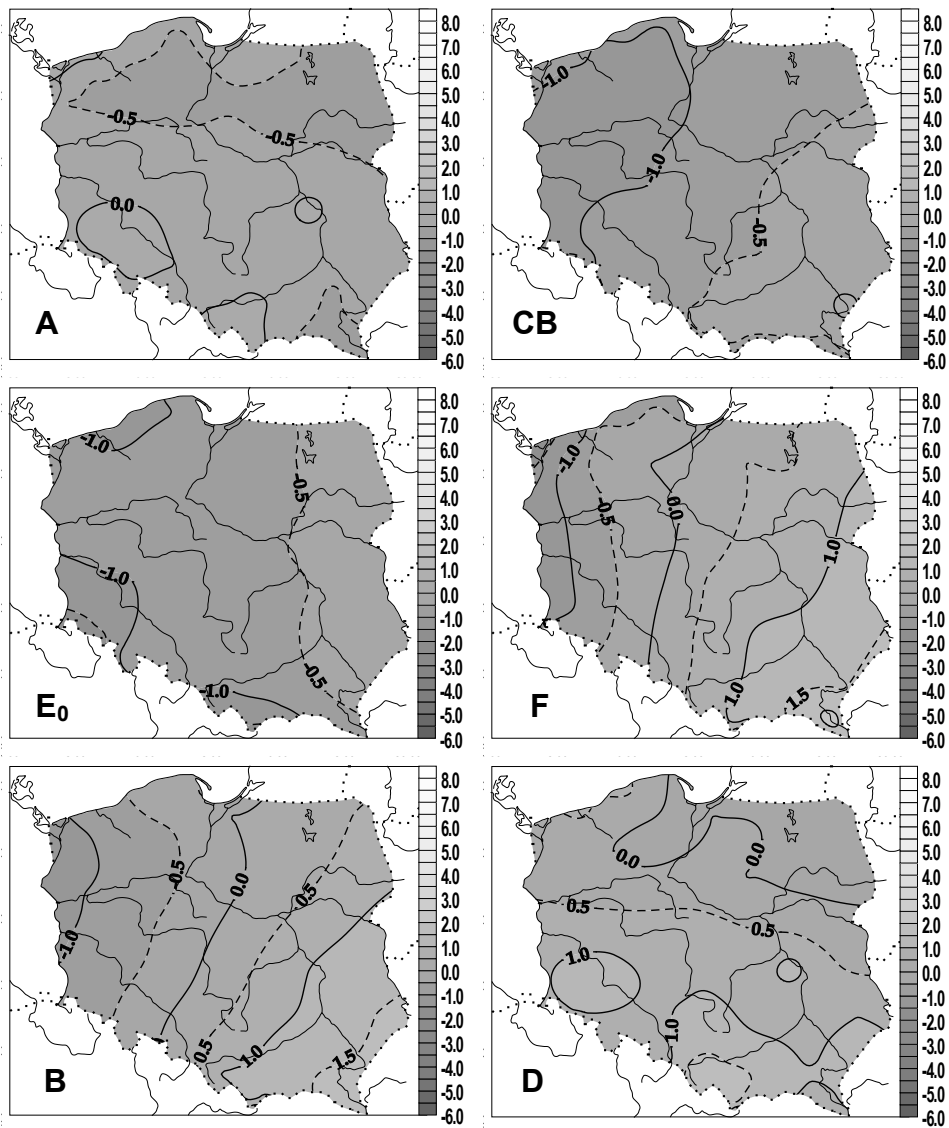
Rys. 30b. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – listopad



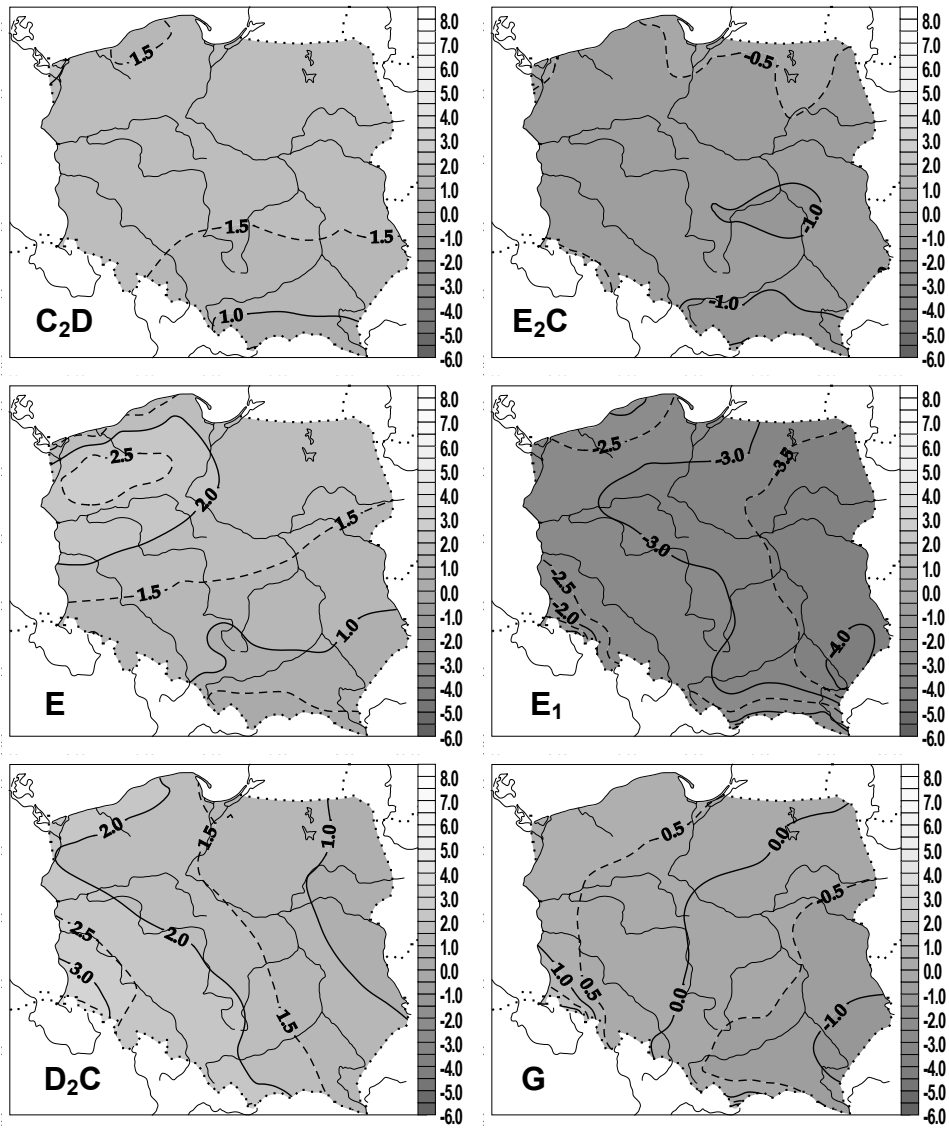
Rys. 31a. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – grudzień



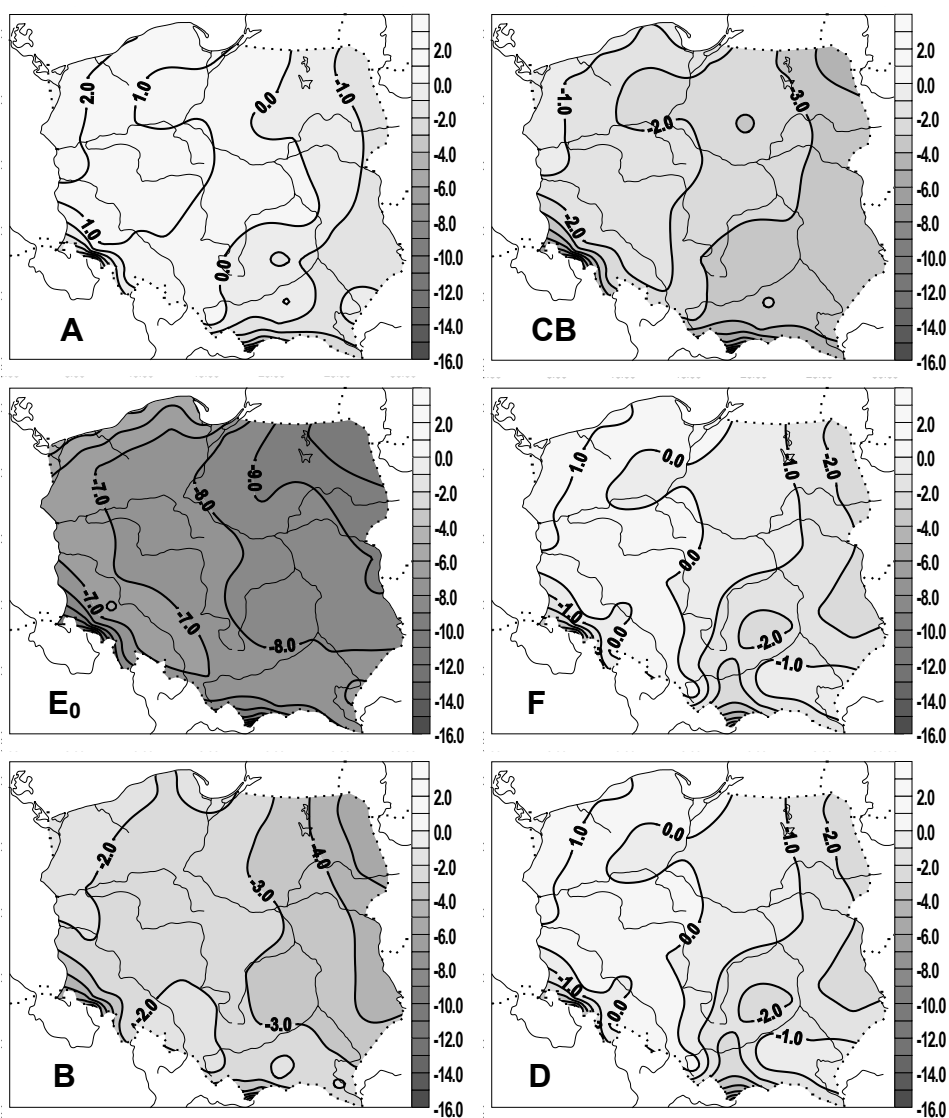
Rys. 31b. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – grudzień



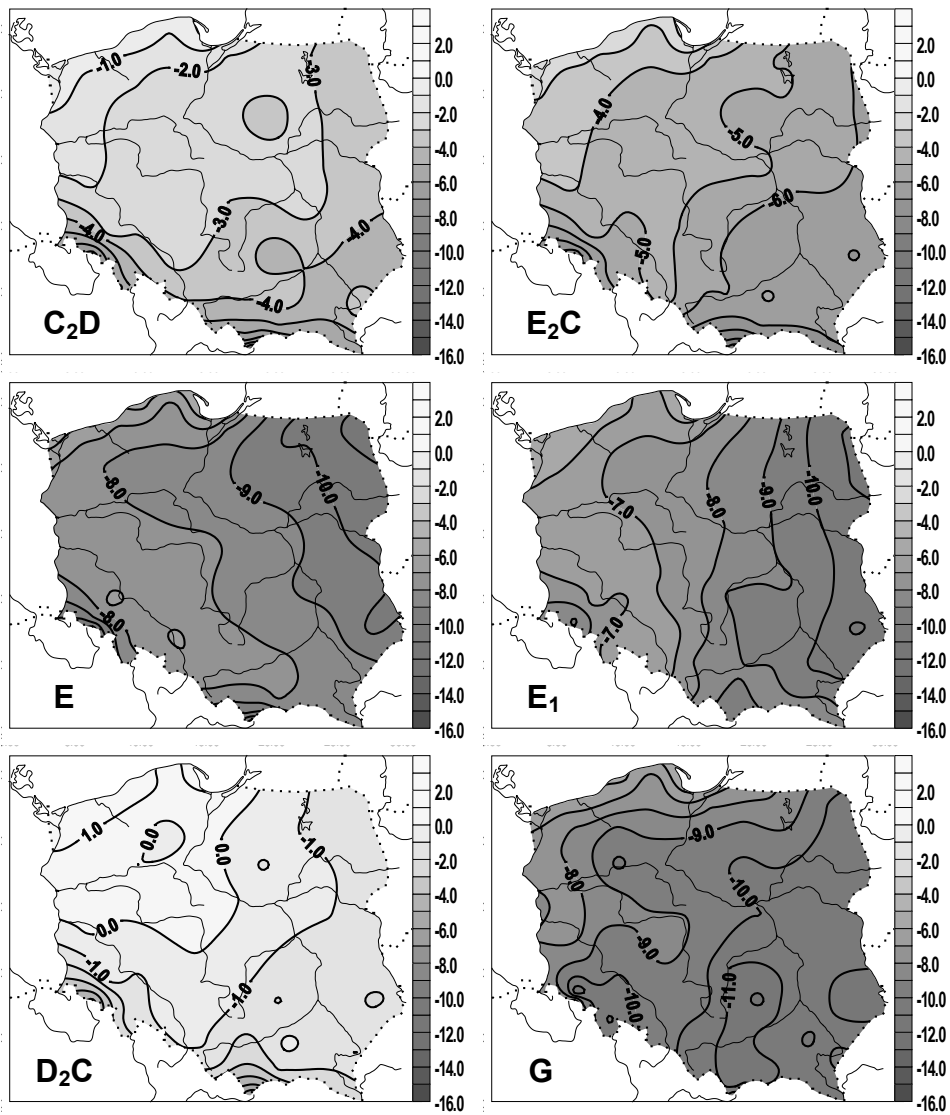
Rys. 32a. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – rok



Rys. 32b. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – rok

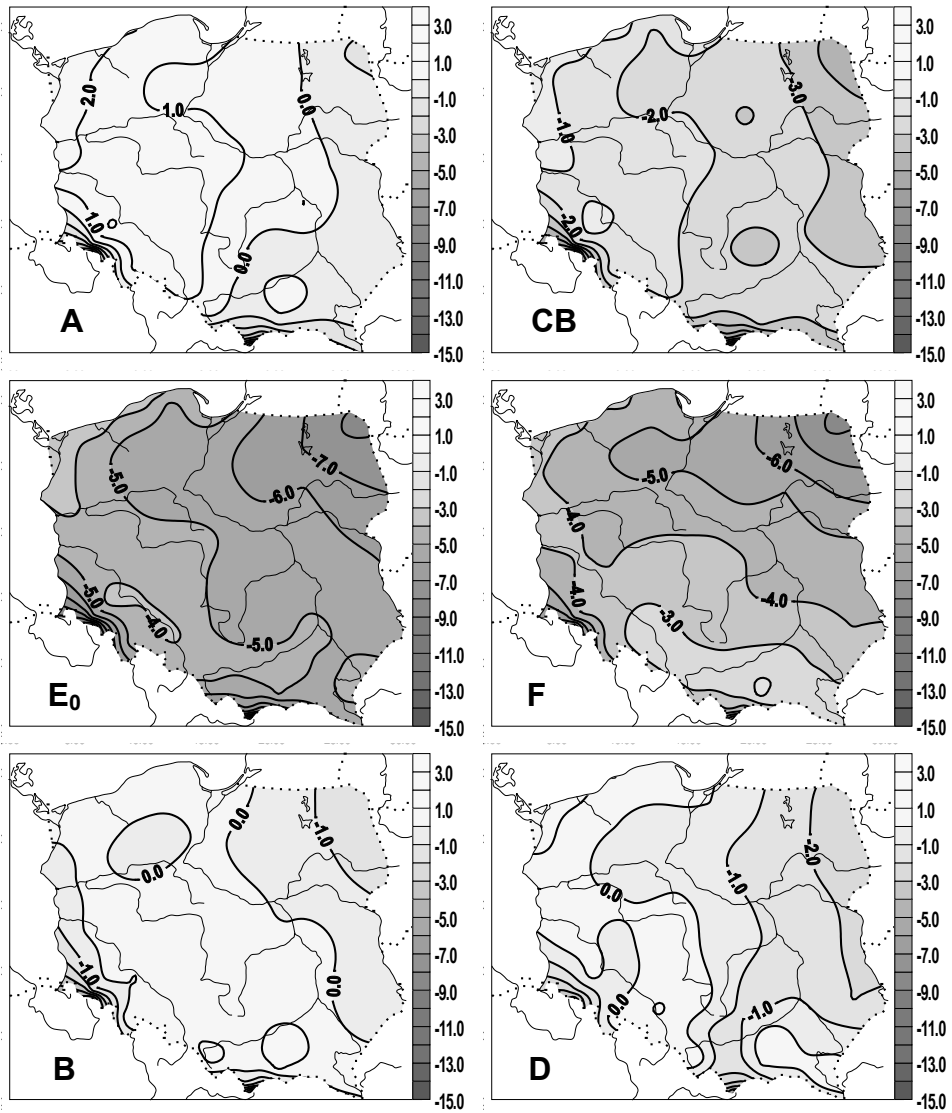


Rys. 33a. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – styczeń

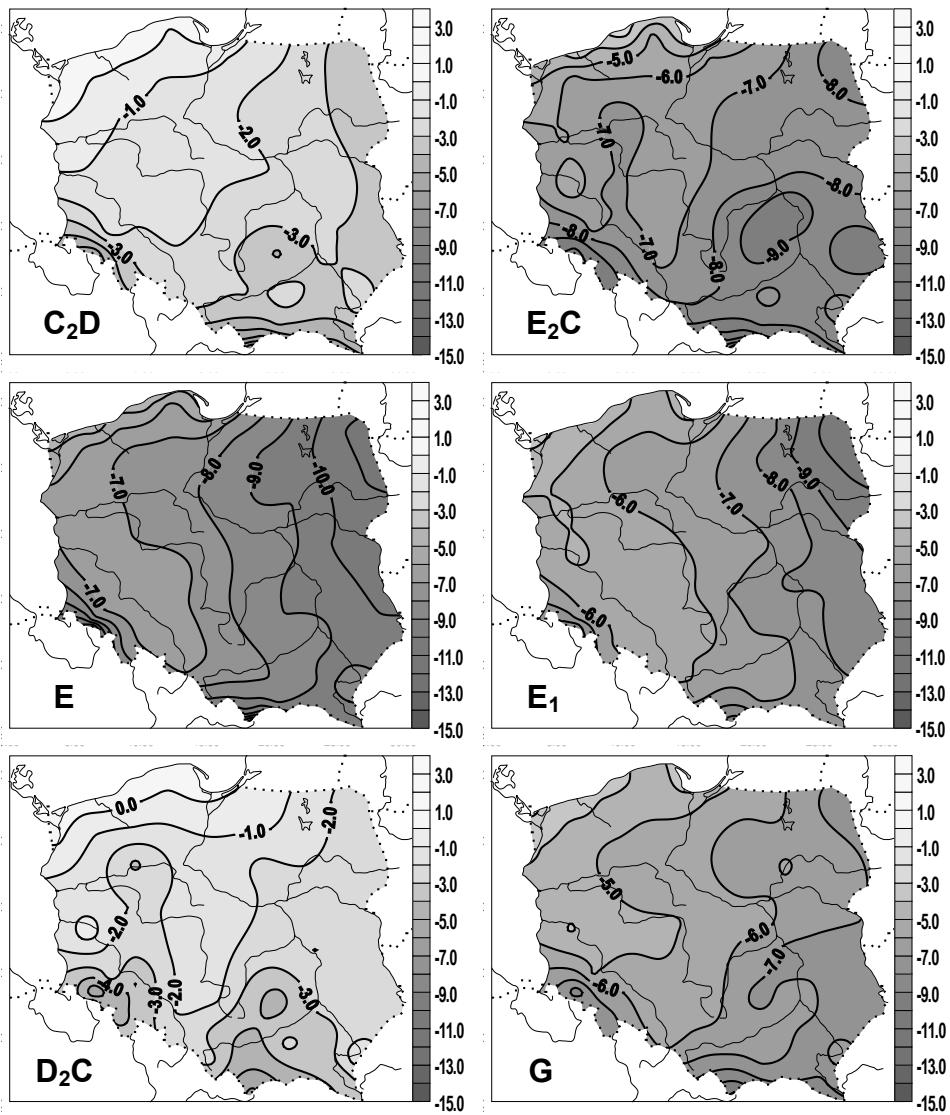


Rys. 33b. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – styczeń

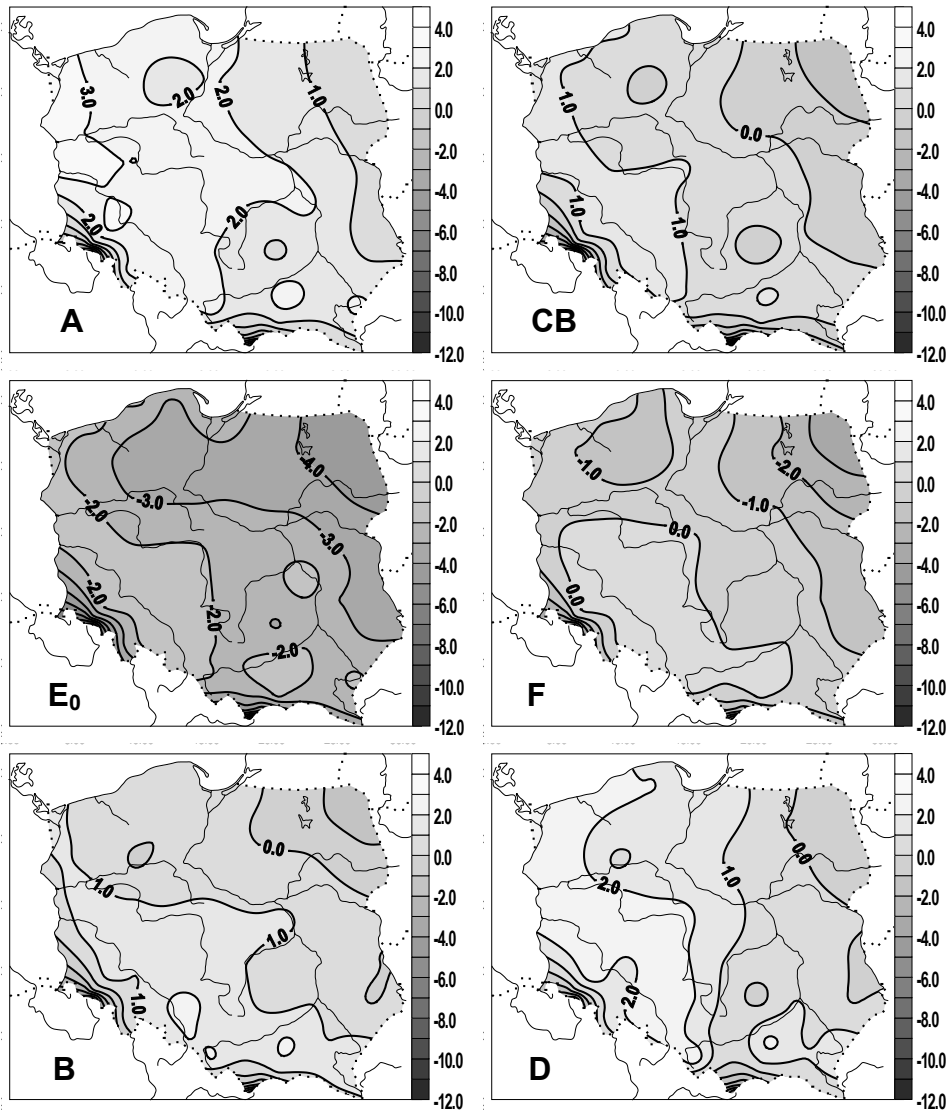




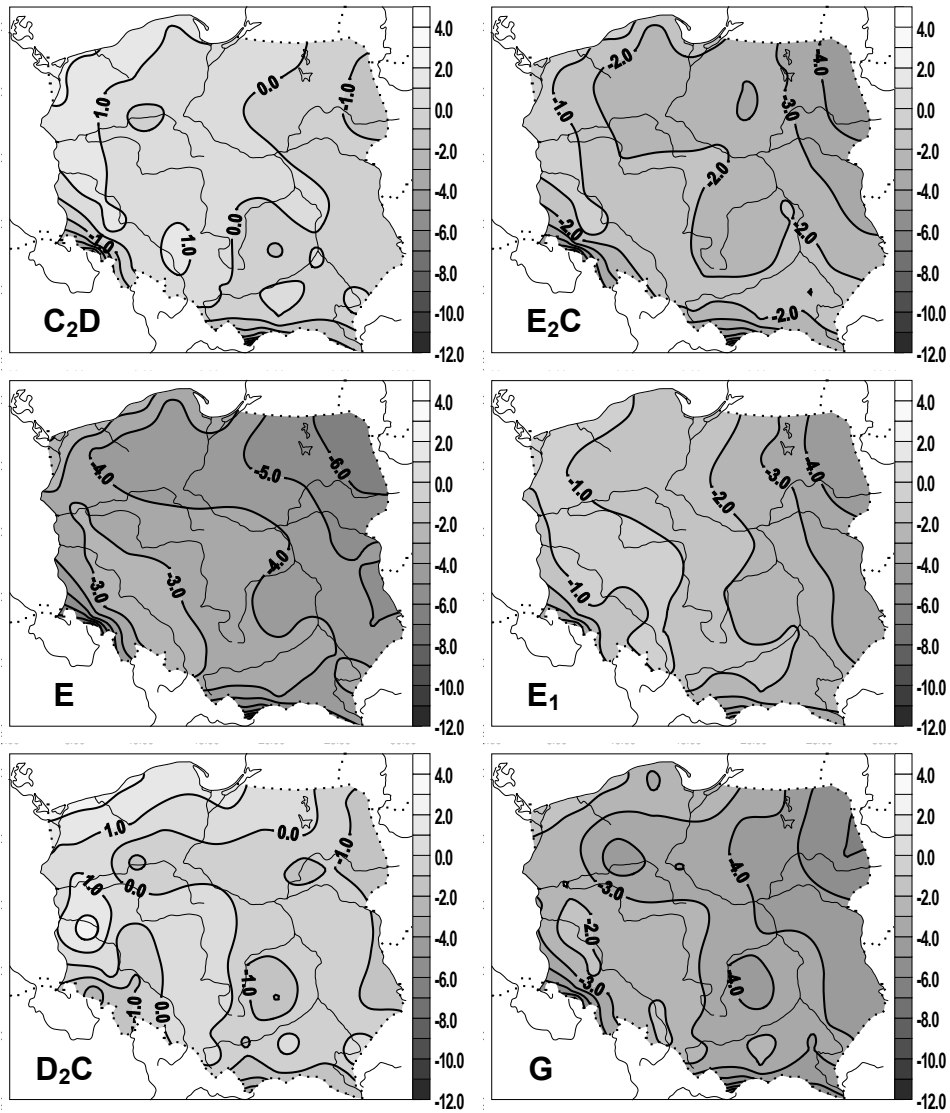
Rys. 34a. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – luty



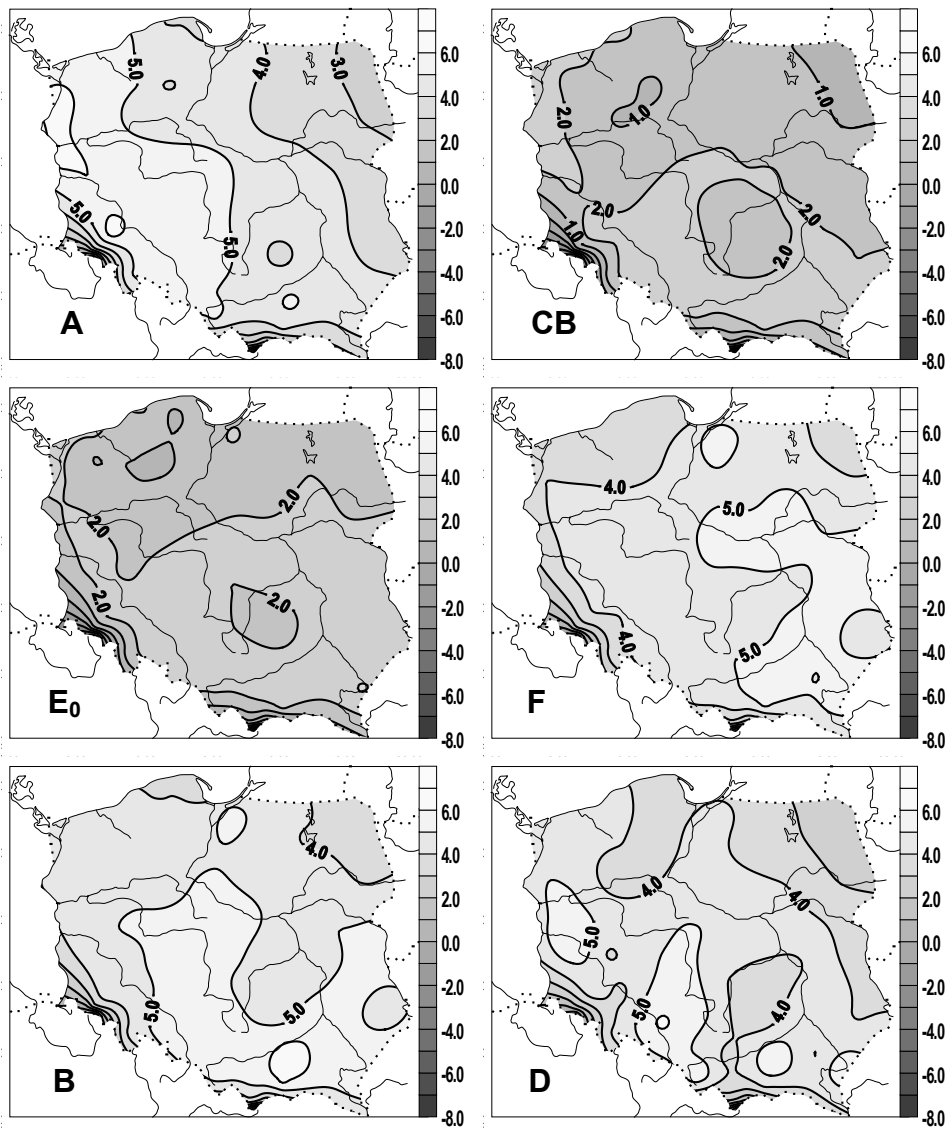
Rys. 34b. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – luty



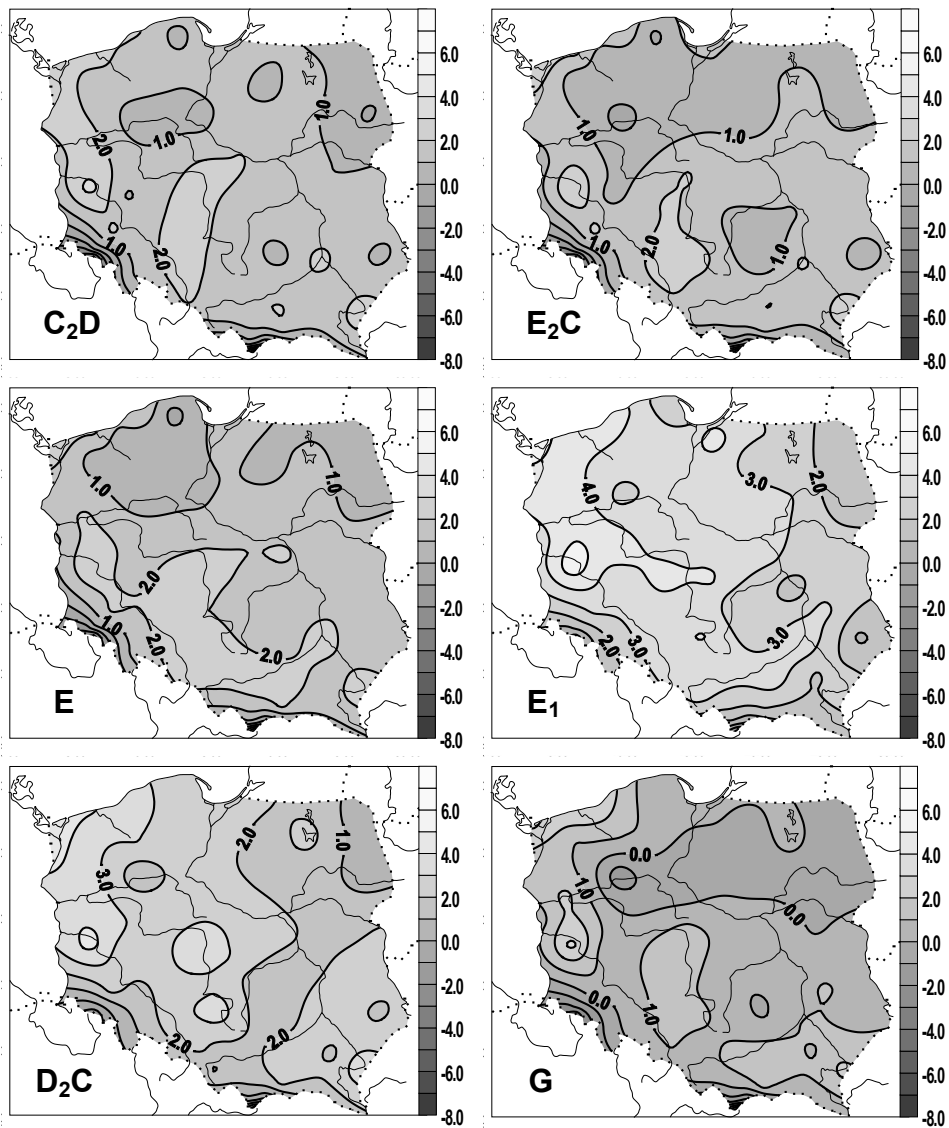
Rys. 35a. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – marzec



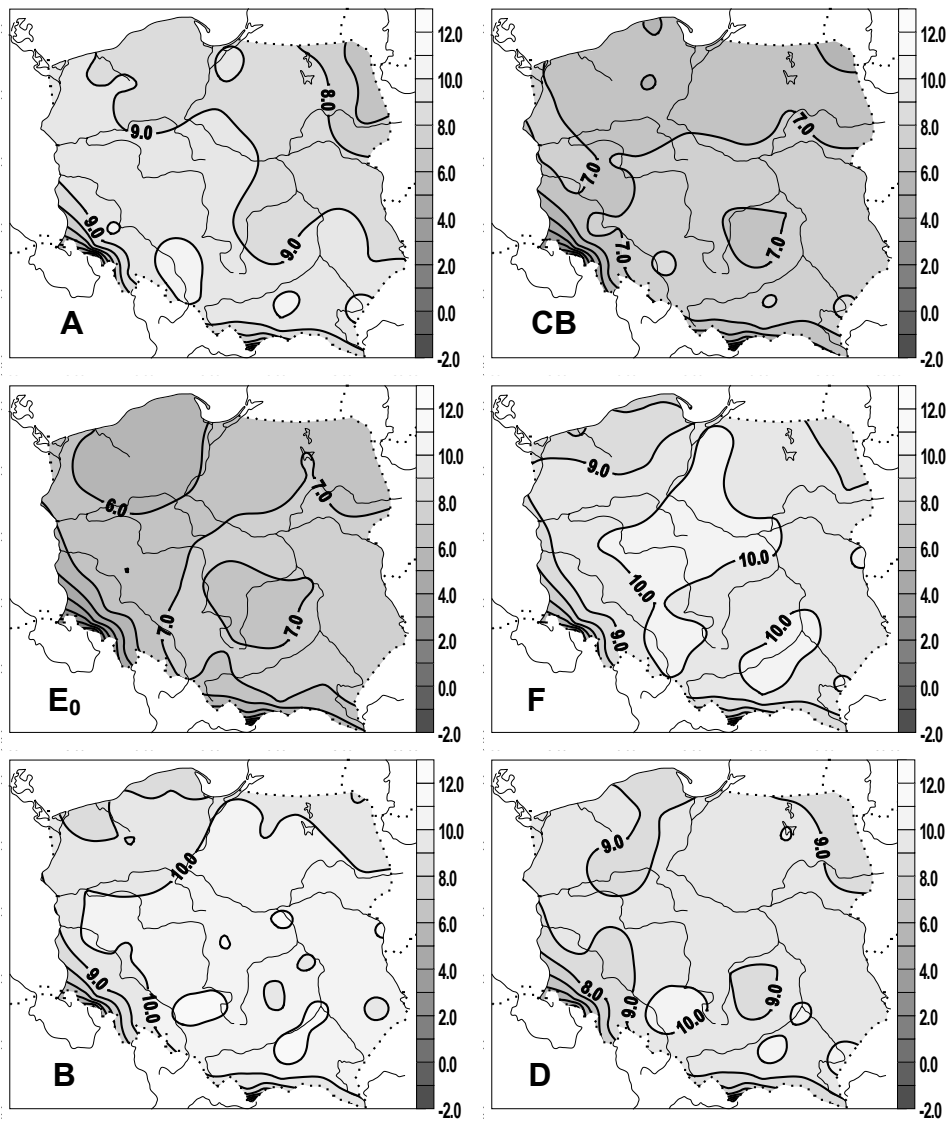
Rys. 35b. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – marzec



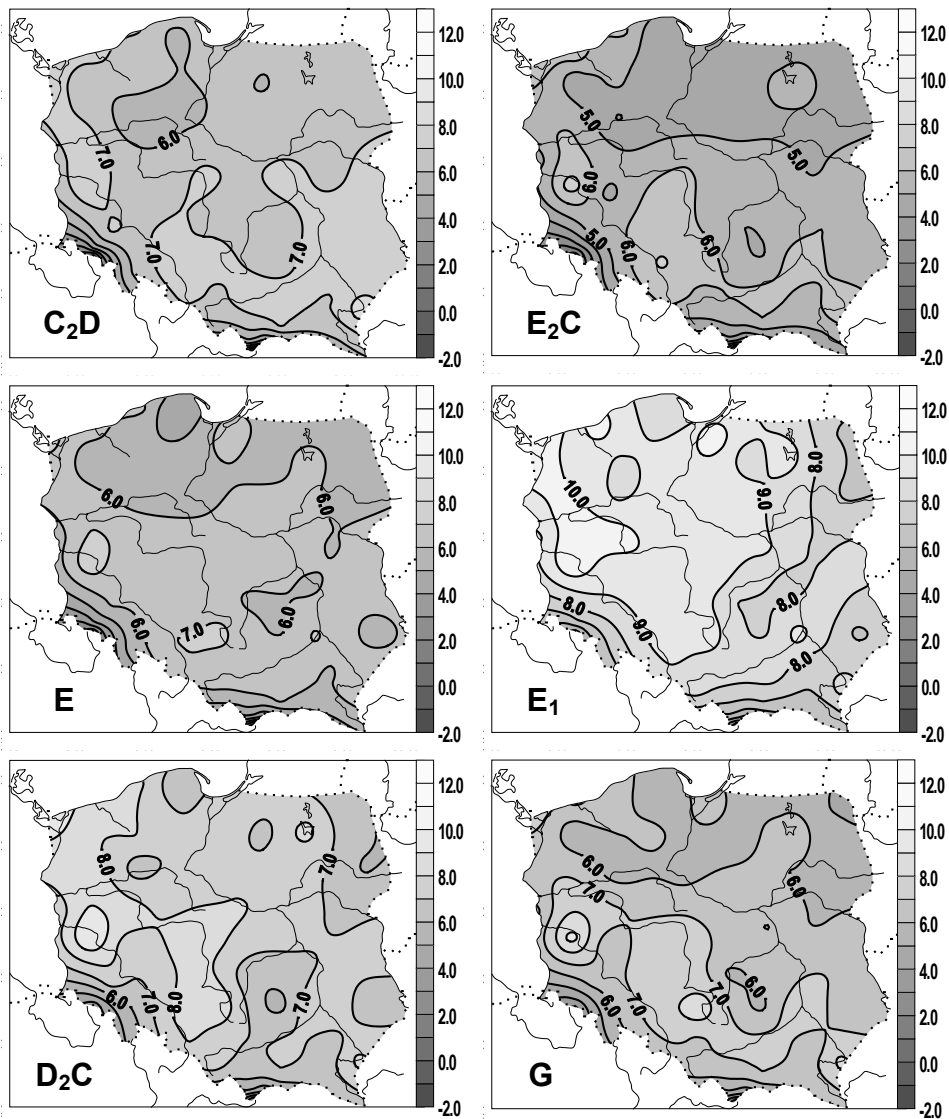
Rys. 36a. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – kwiecień



Rys. 36b. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – kwiecień

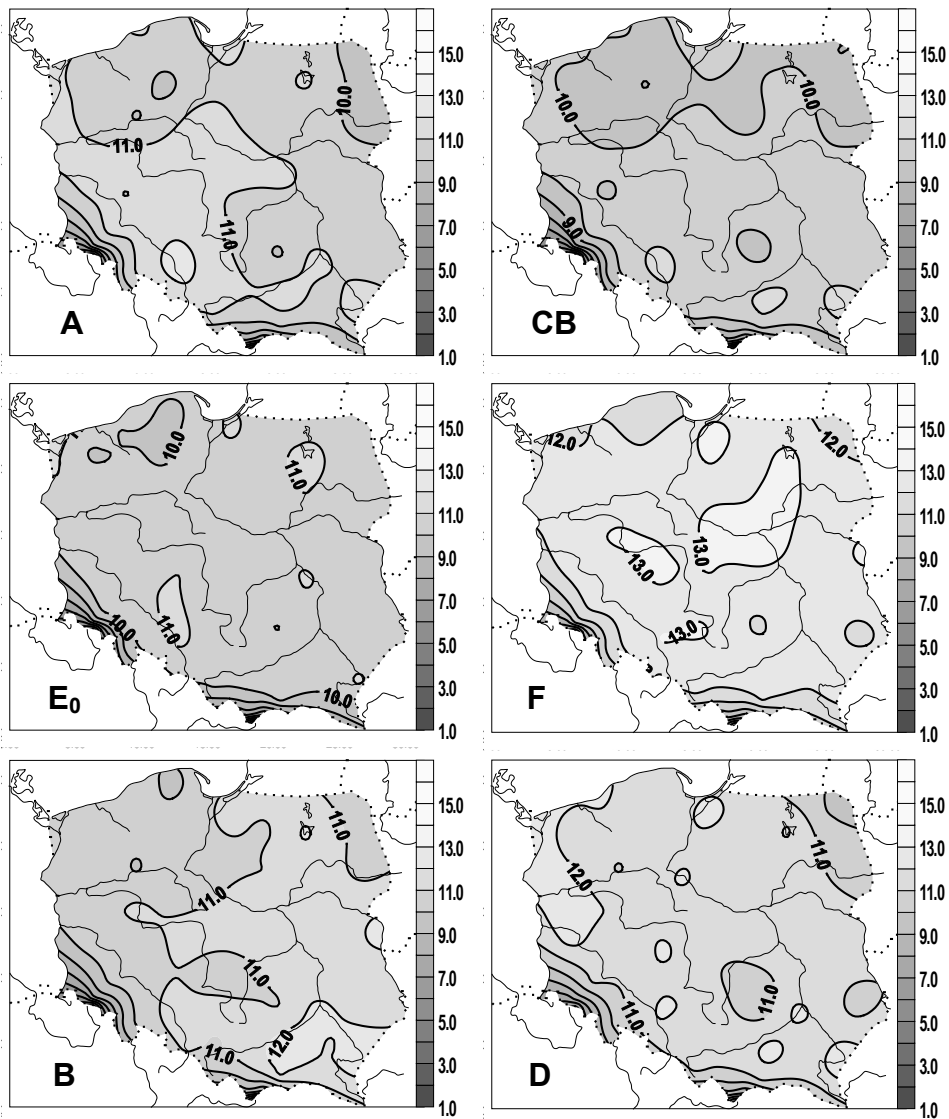


Rys. 37a. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – maj

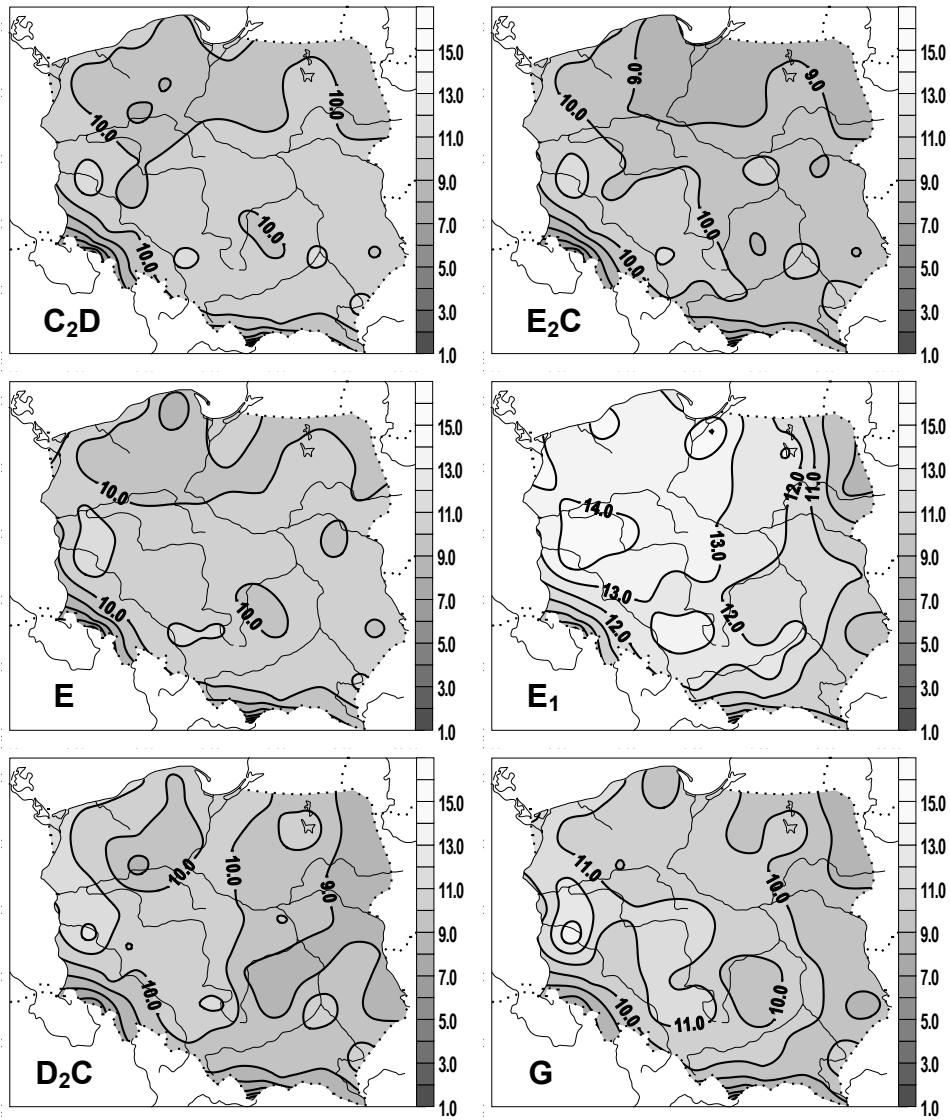


Rys. 37b. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – maj

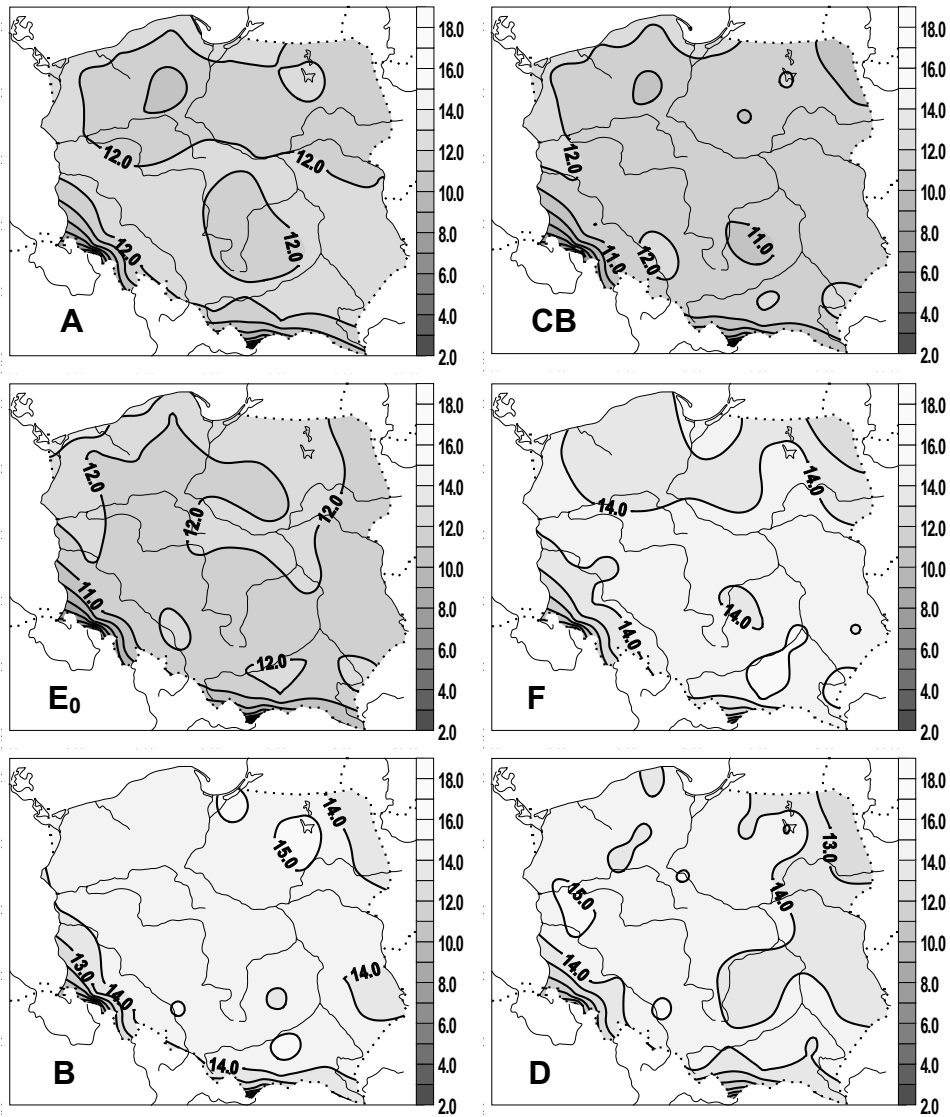




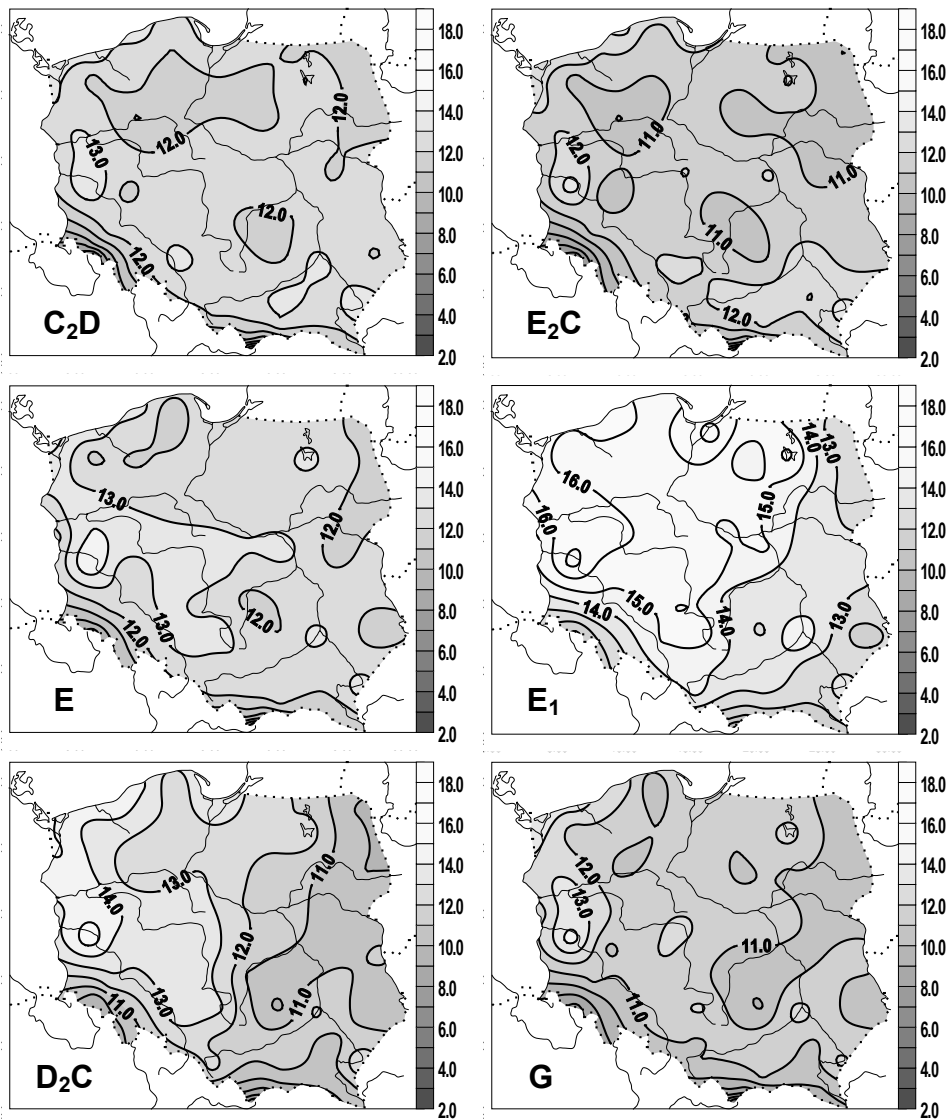
Rys. 38a. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – czerwiec



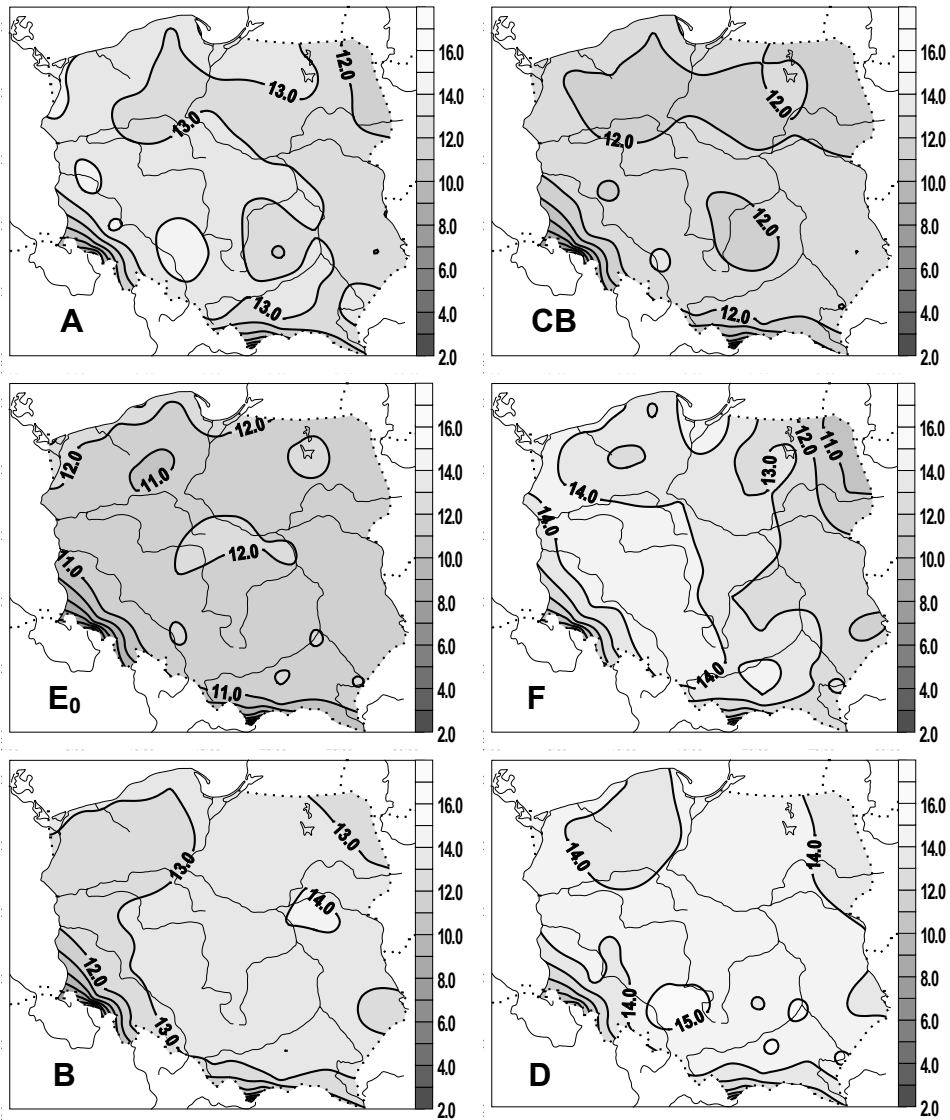
Rys. 38b. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – czerwiec



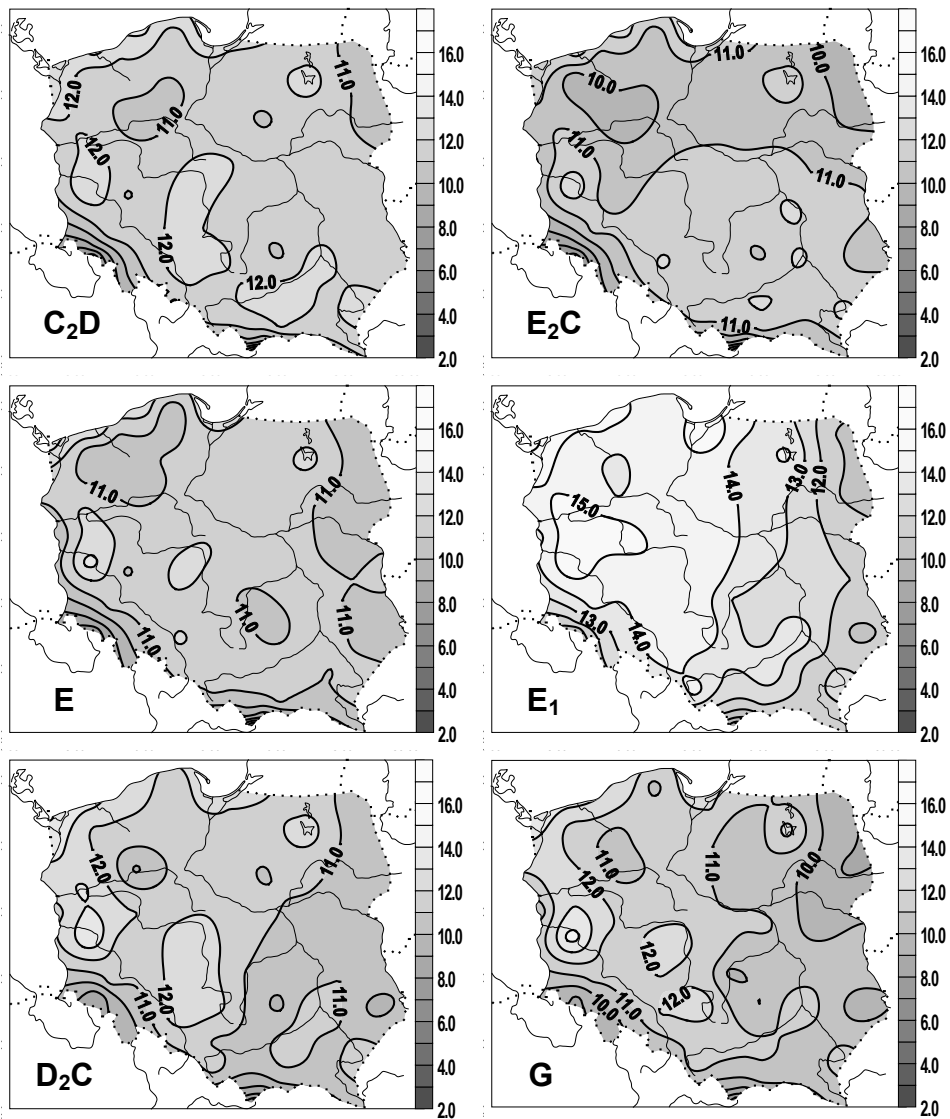
Rys. 39a. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – lipiec



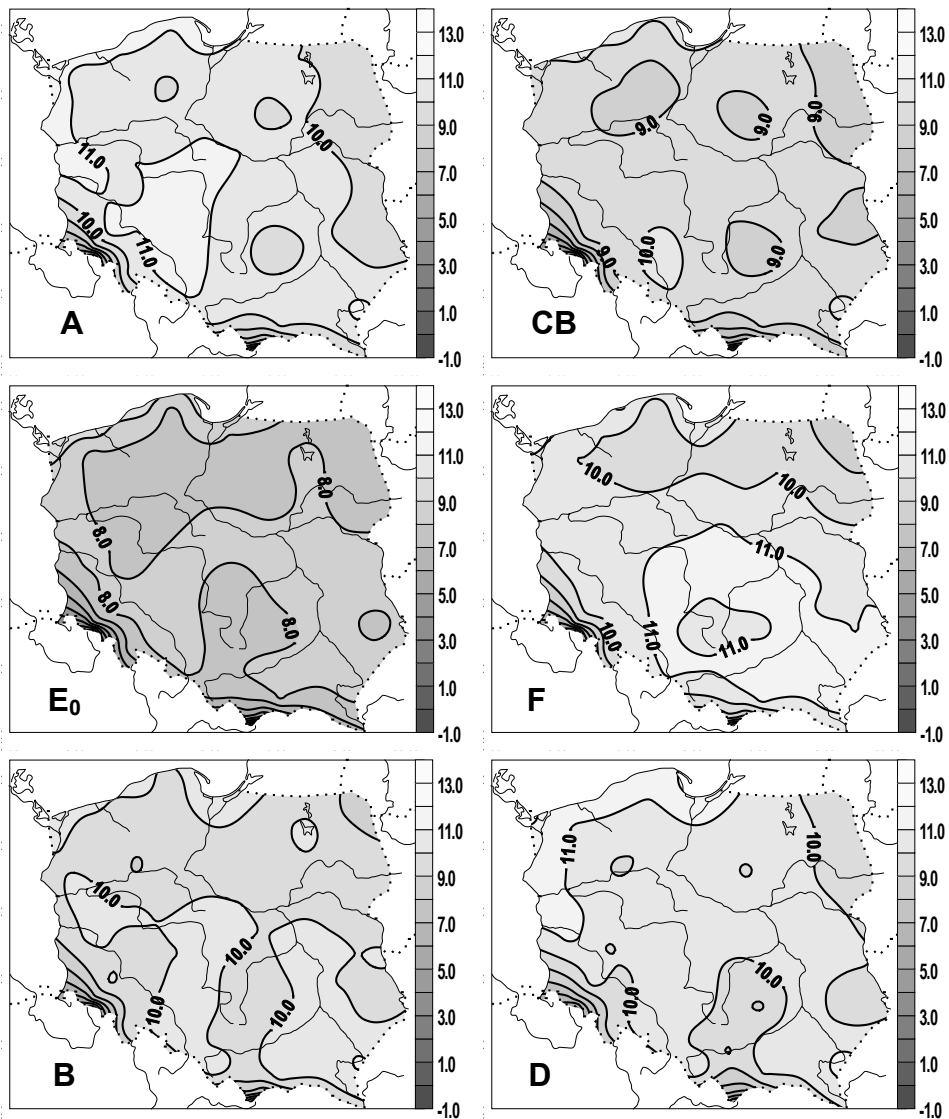
Rys. 39b. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – lipiec



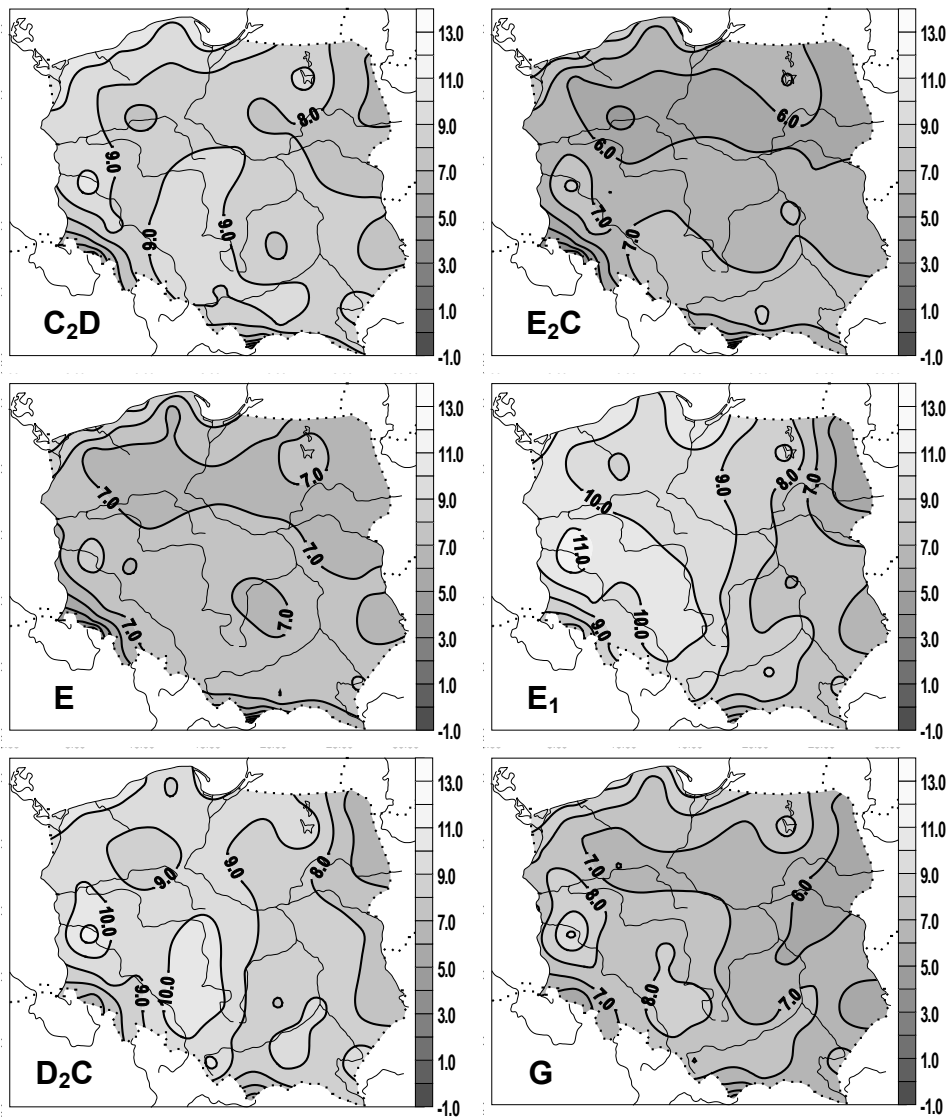
Rys. 40a. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – sierpień



Rys. 40b. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – sierpień

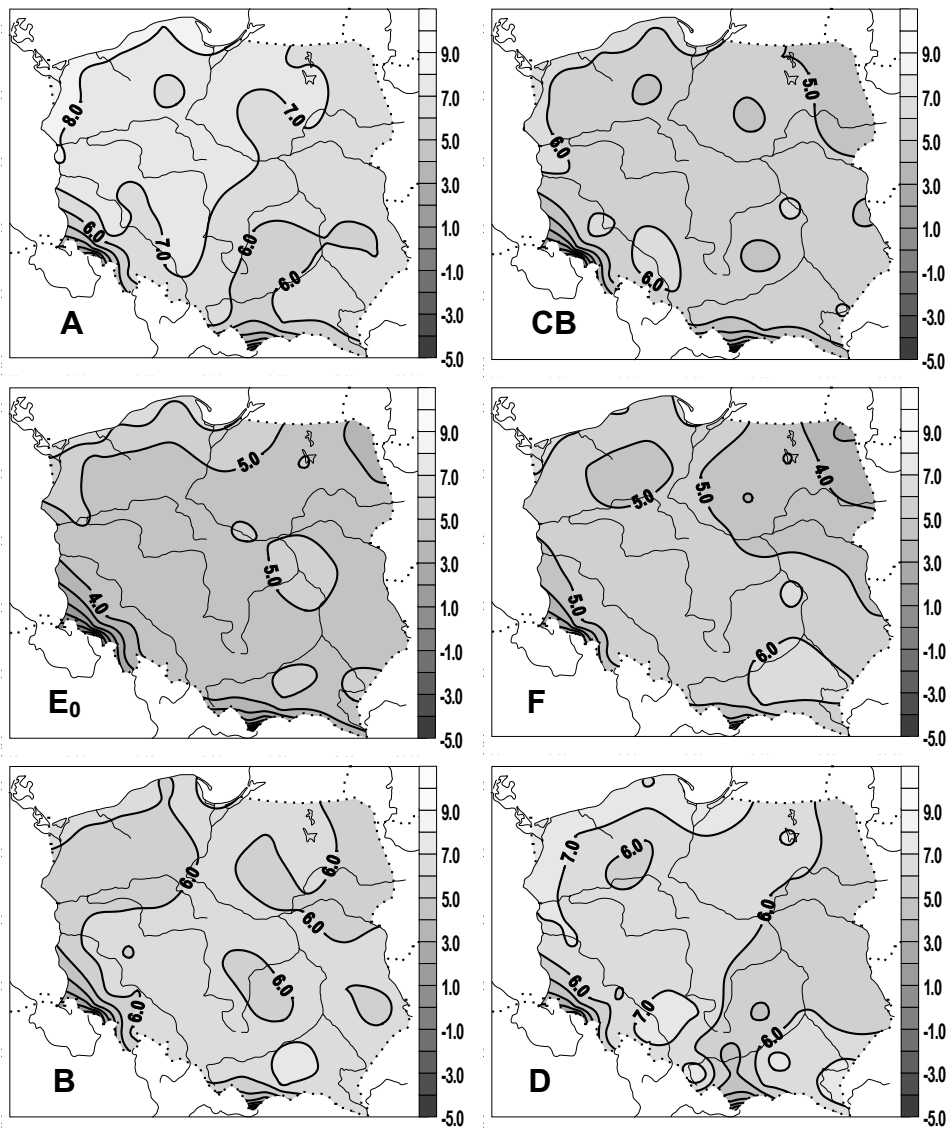


Rys. 41a. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – wrzesień

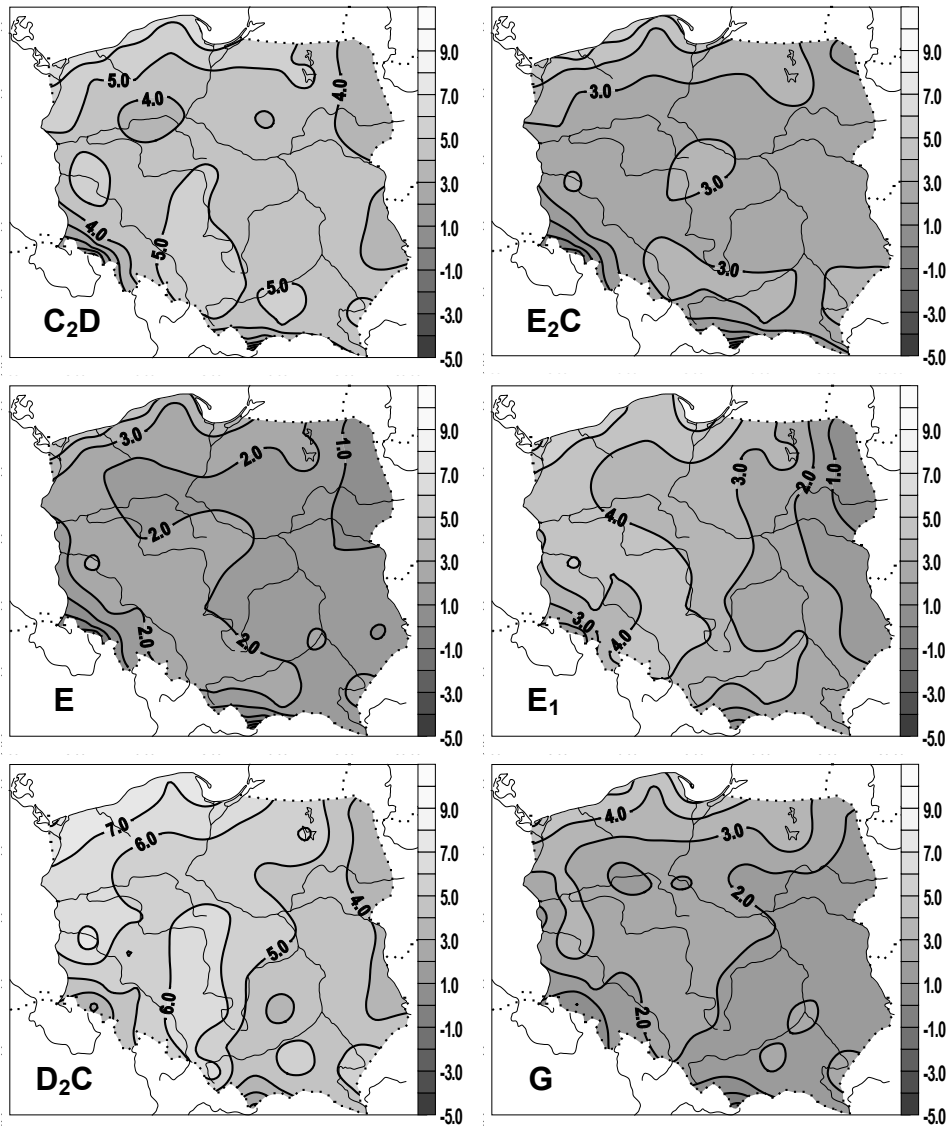


Rys. 41b. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – wrzesień

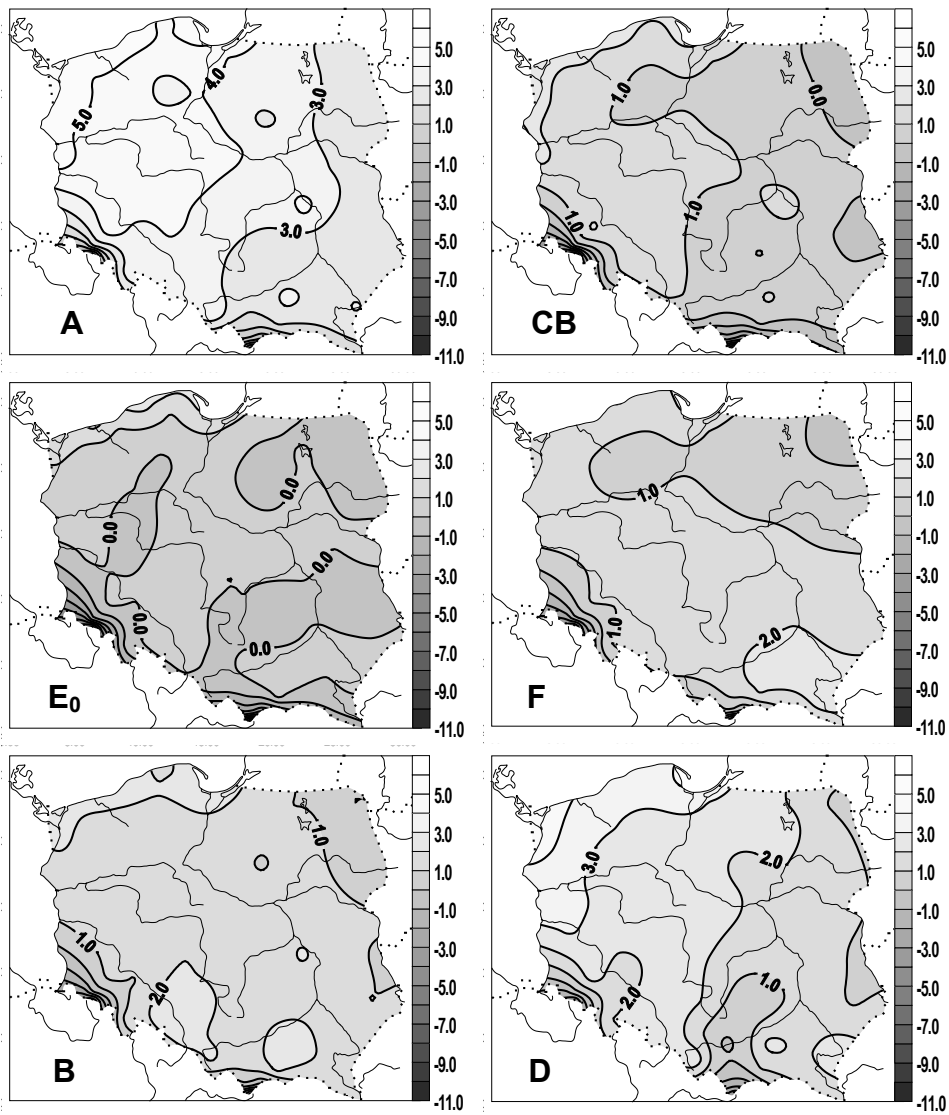




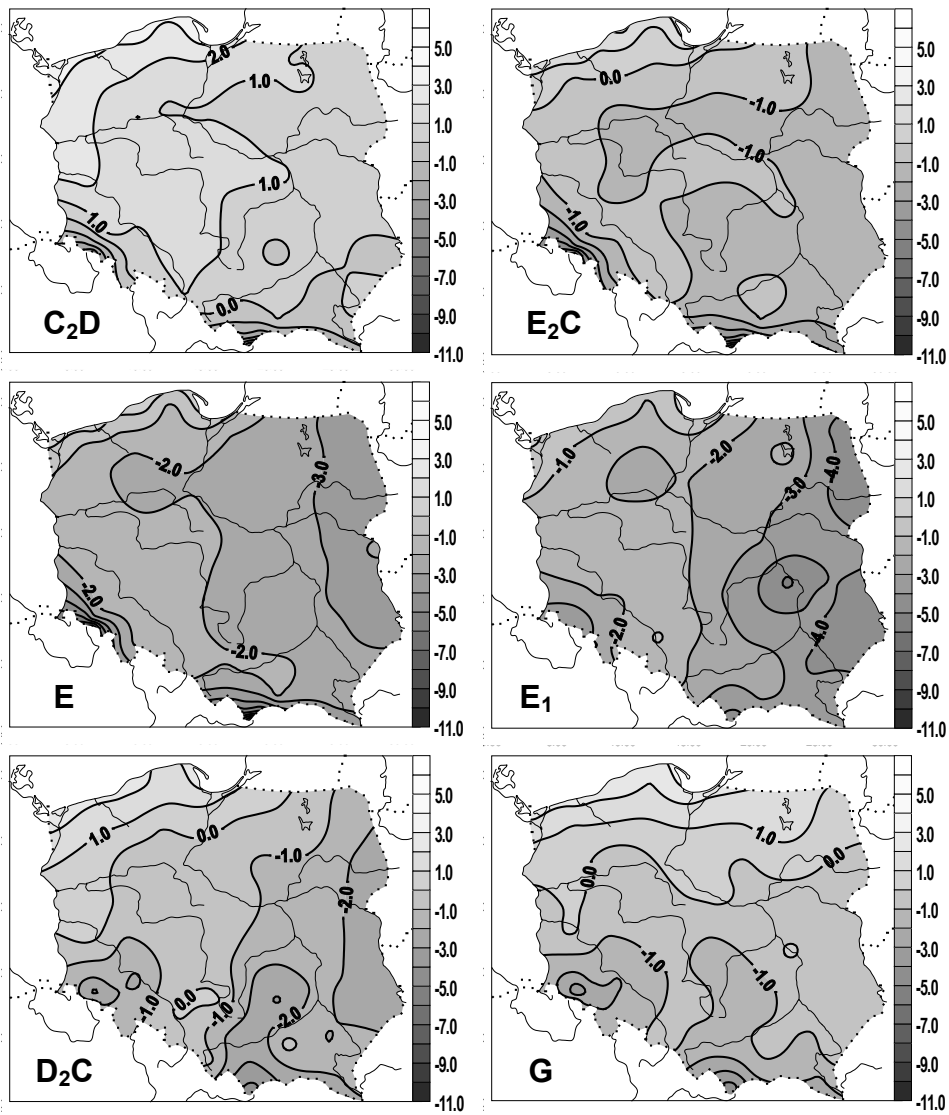
Rys. 42a. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – październik



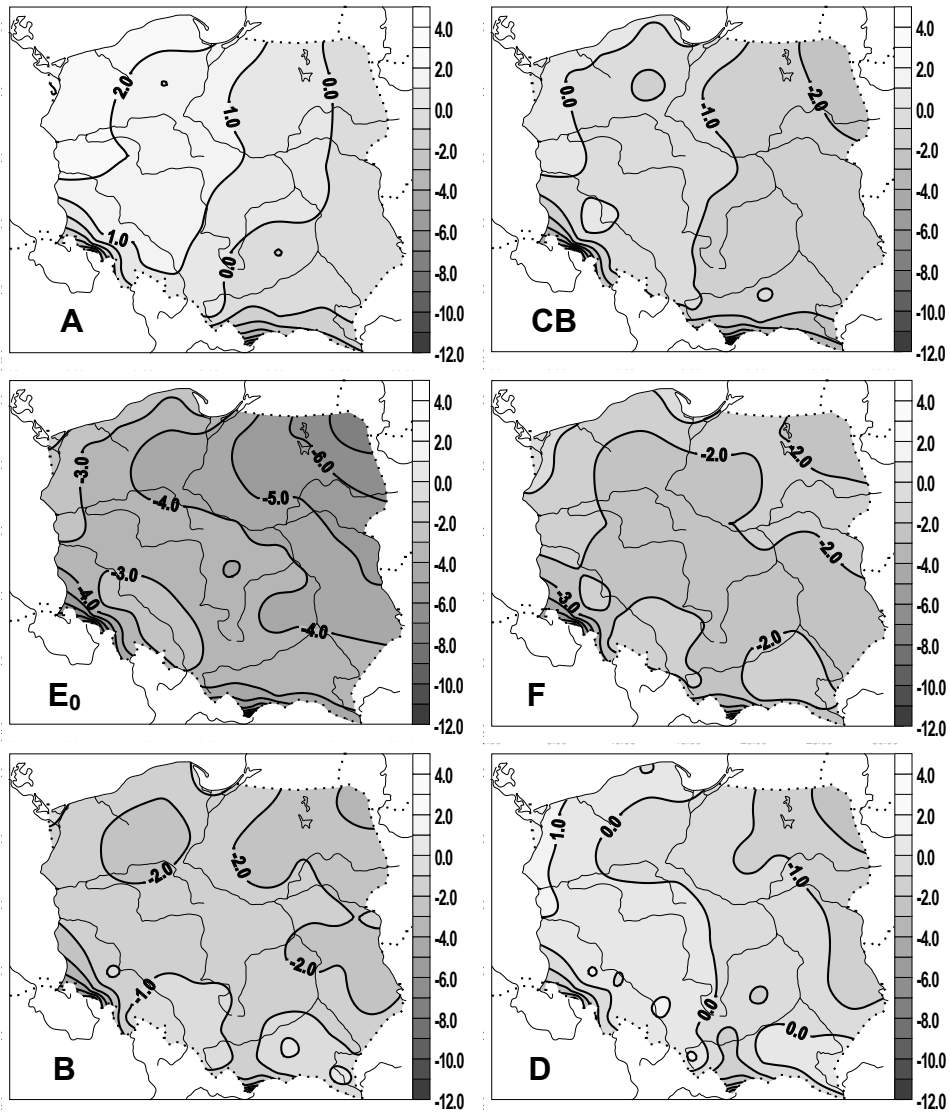
Rys. 42b. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – październik



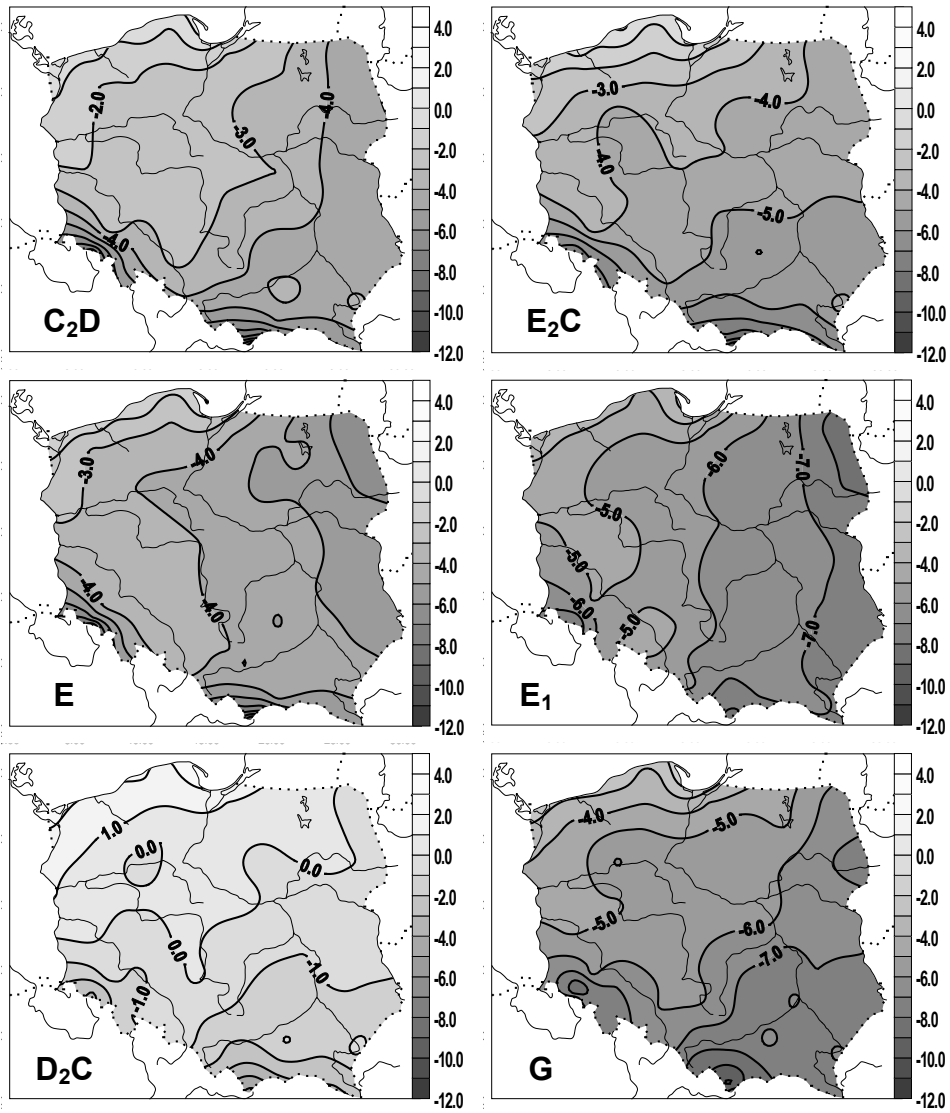
Rys. 43a. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – listopad



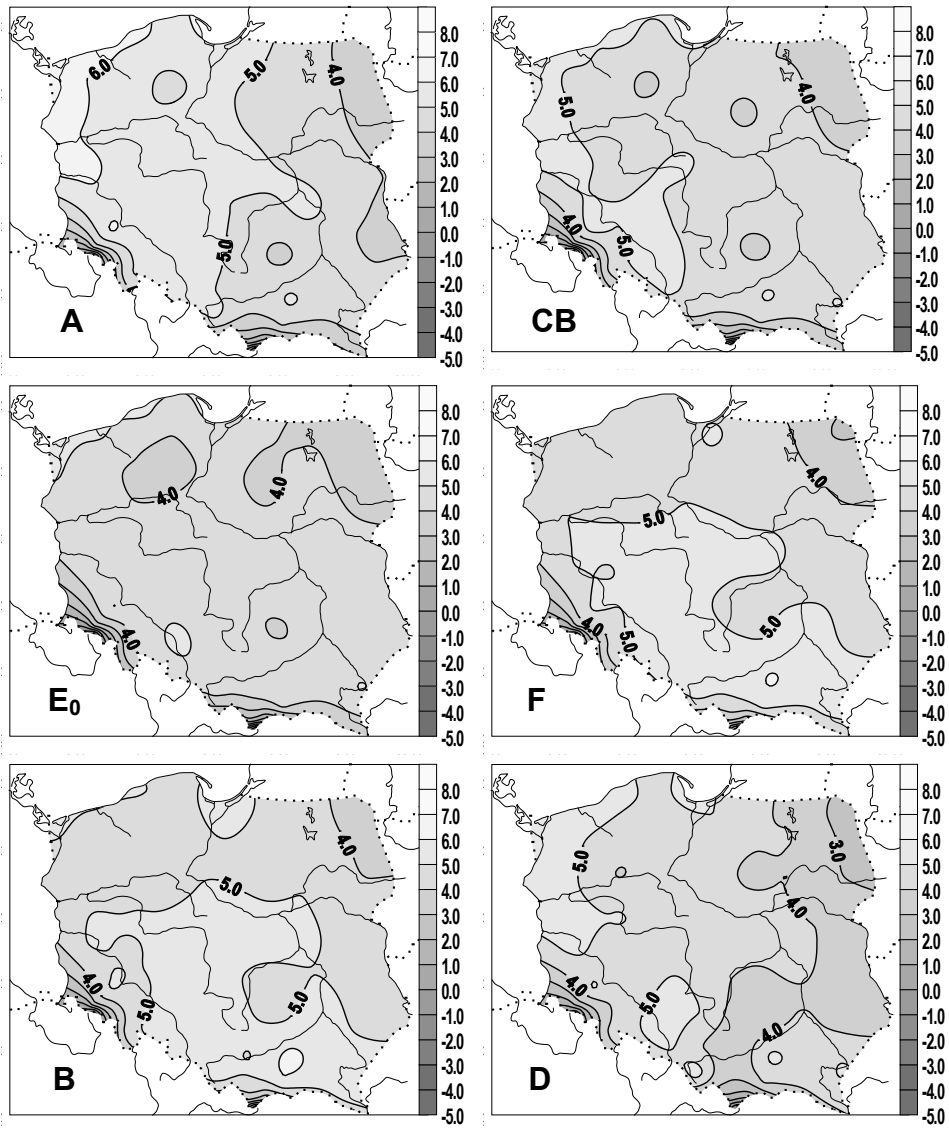
Rys. 43b. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – listopad



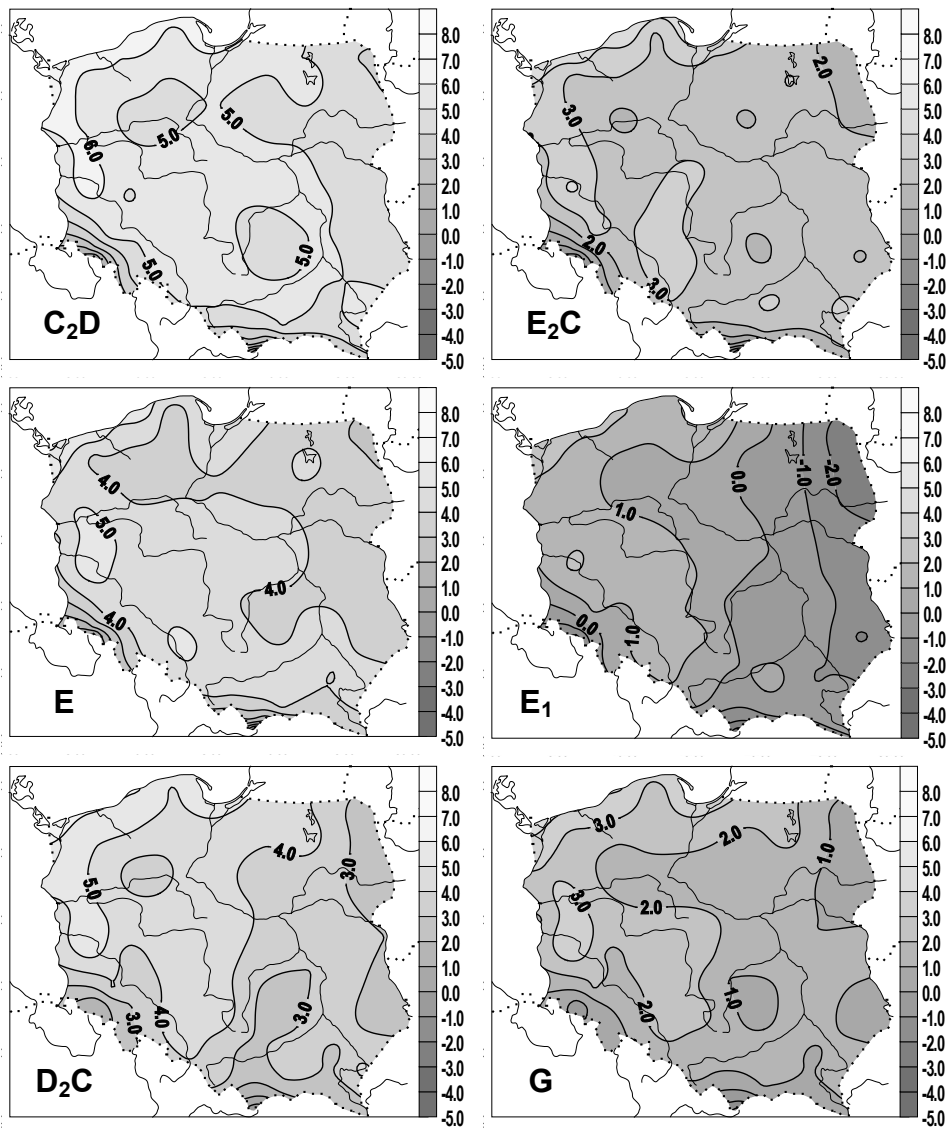
Rys. 44a. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – grudzień



Rys. 44b. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – grudzień

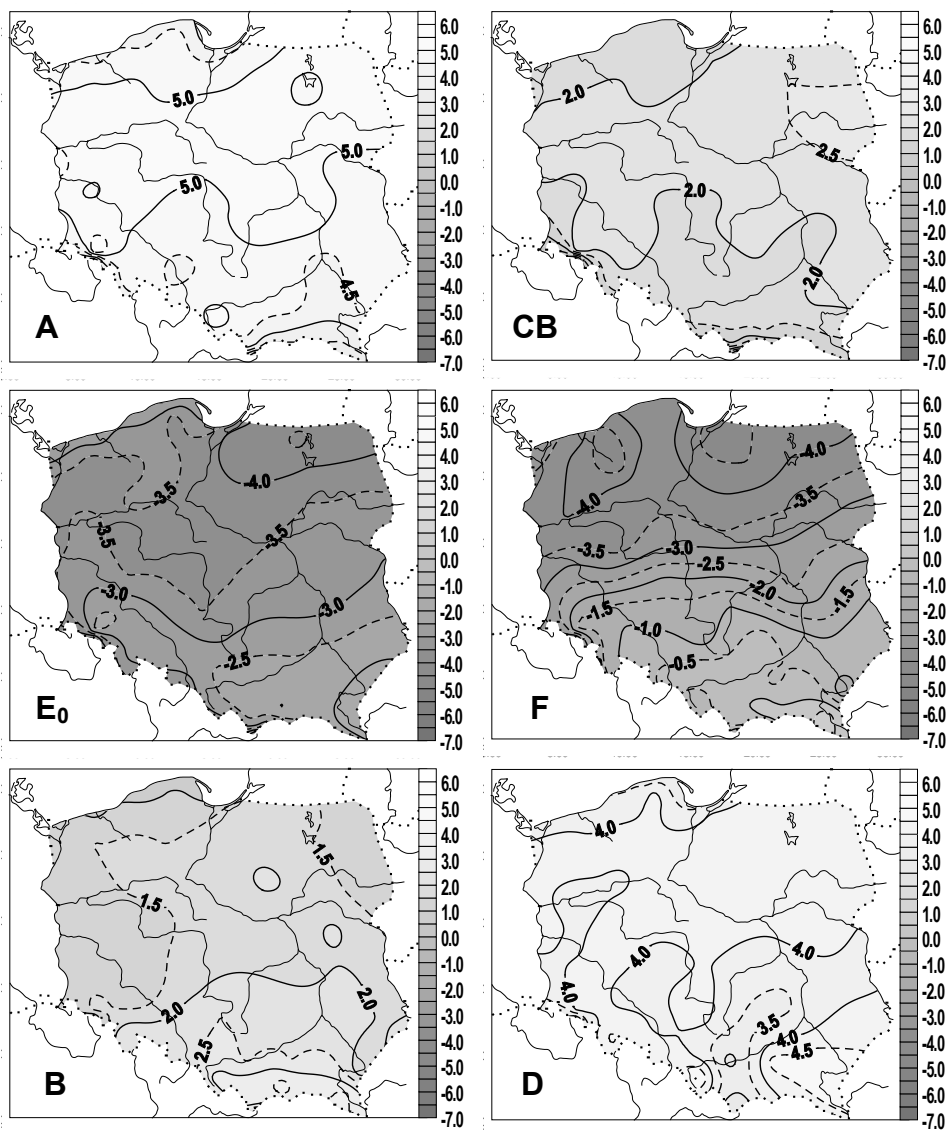


Rys. 45a. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – rok

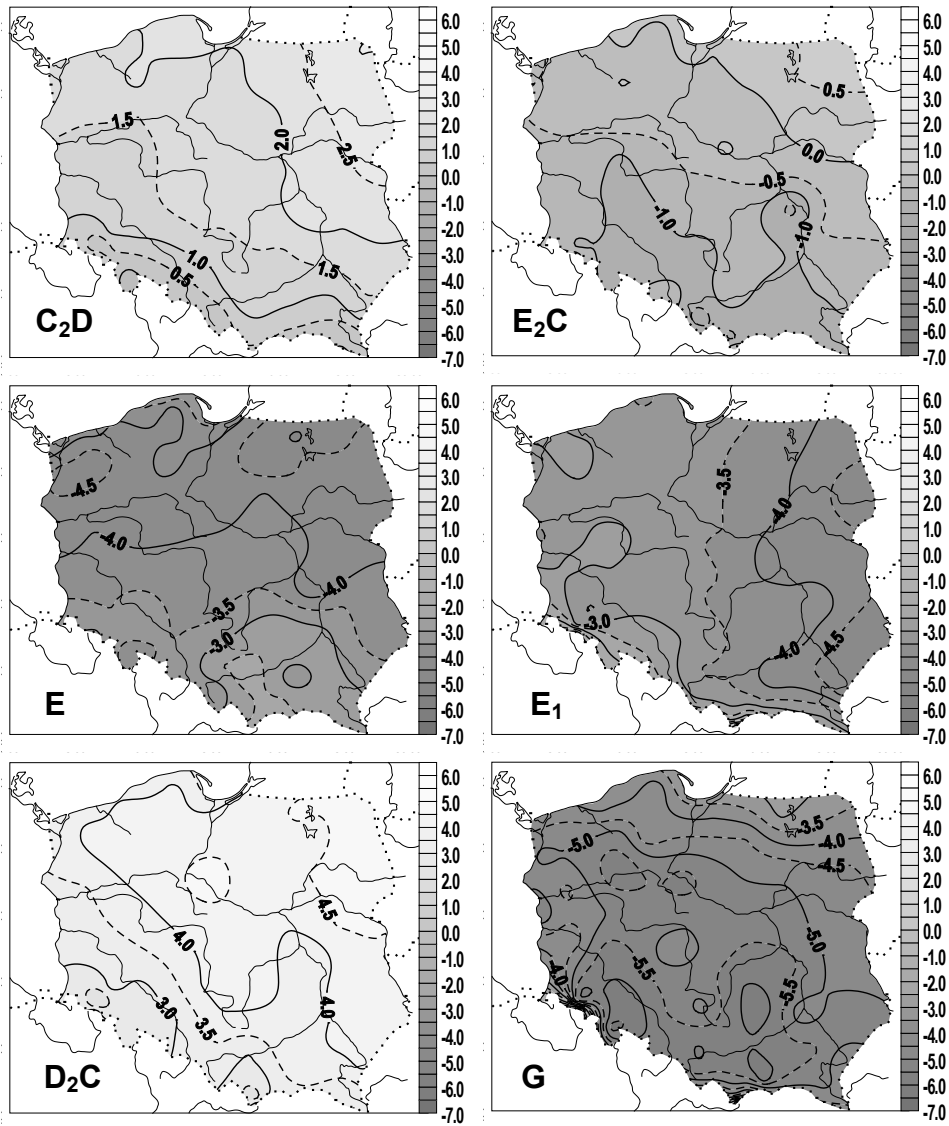


Rys. 45b. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – rok

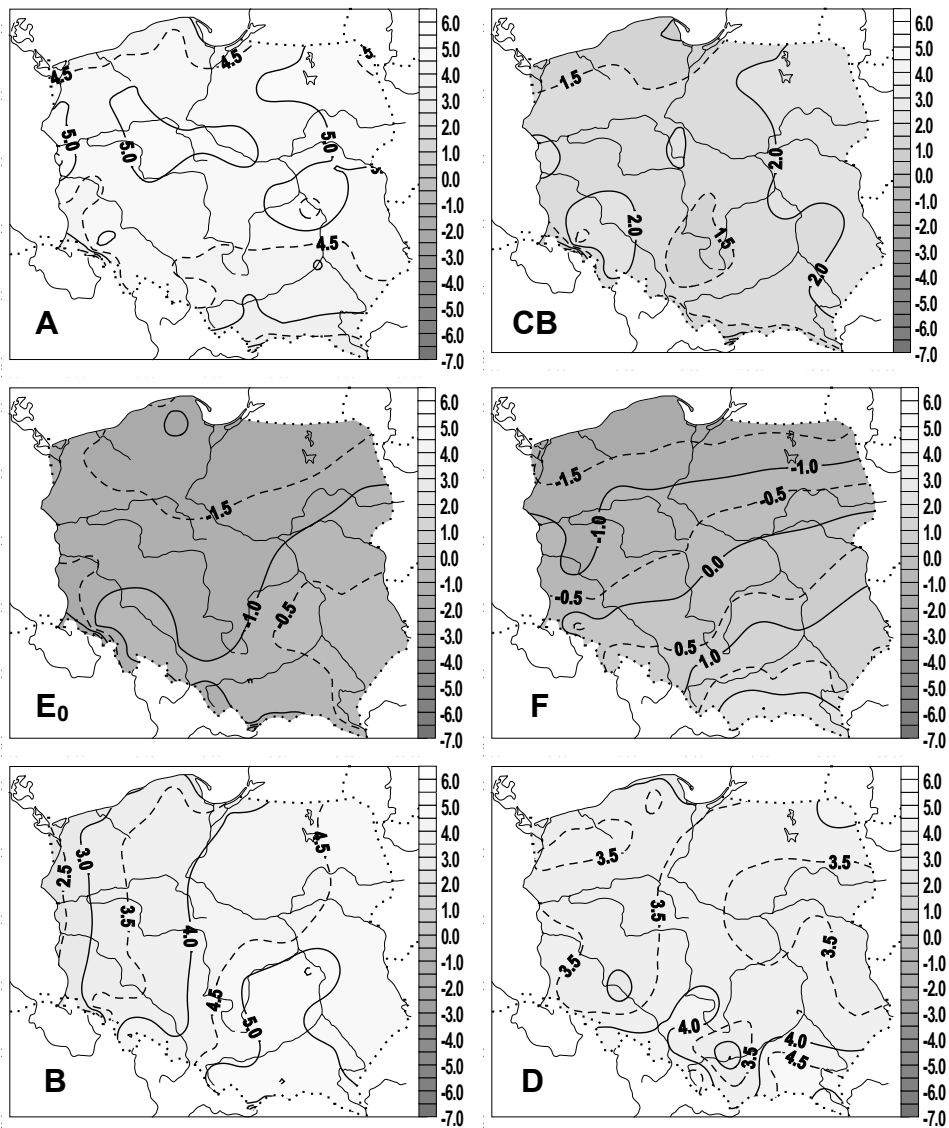




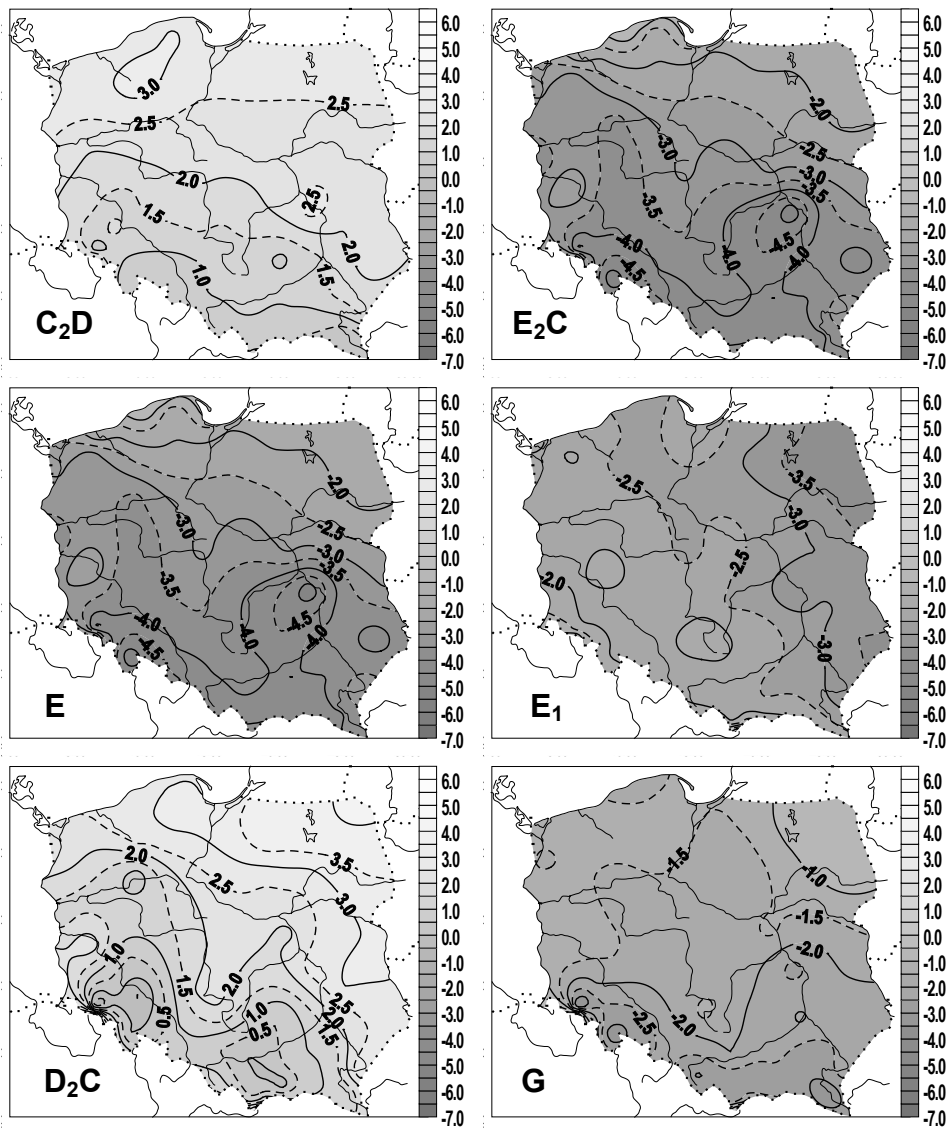
Rys. 46a. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – styczeń



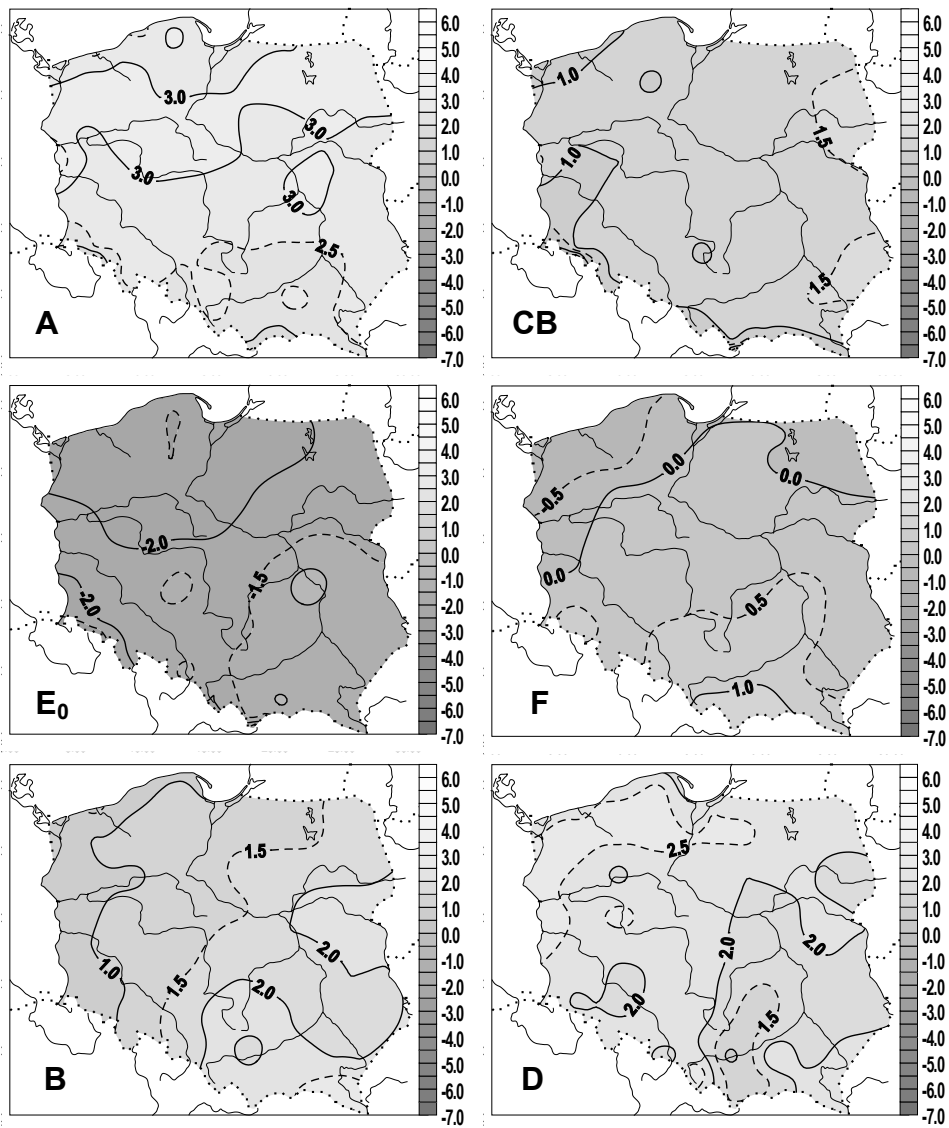
Rys. 46b. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – styczeń



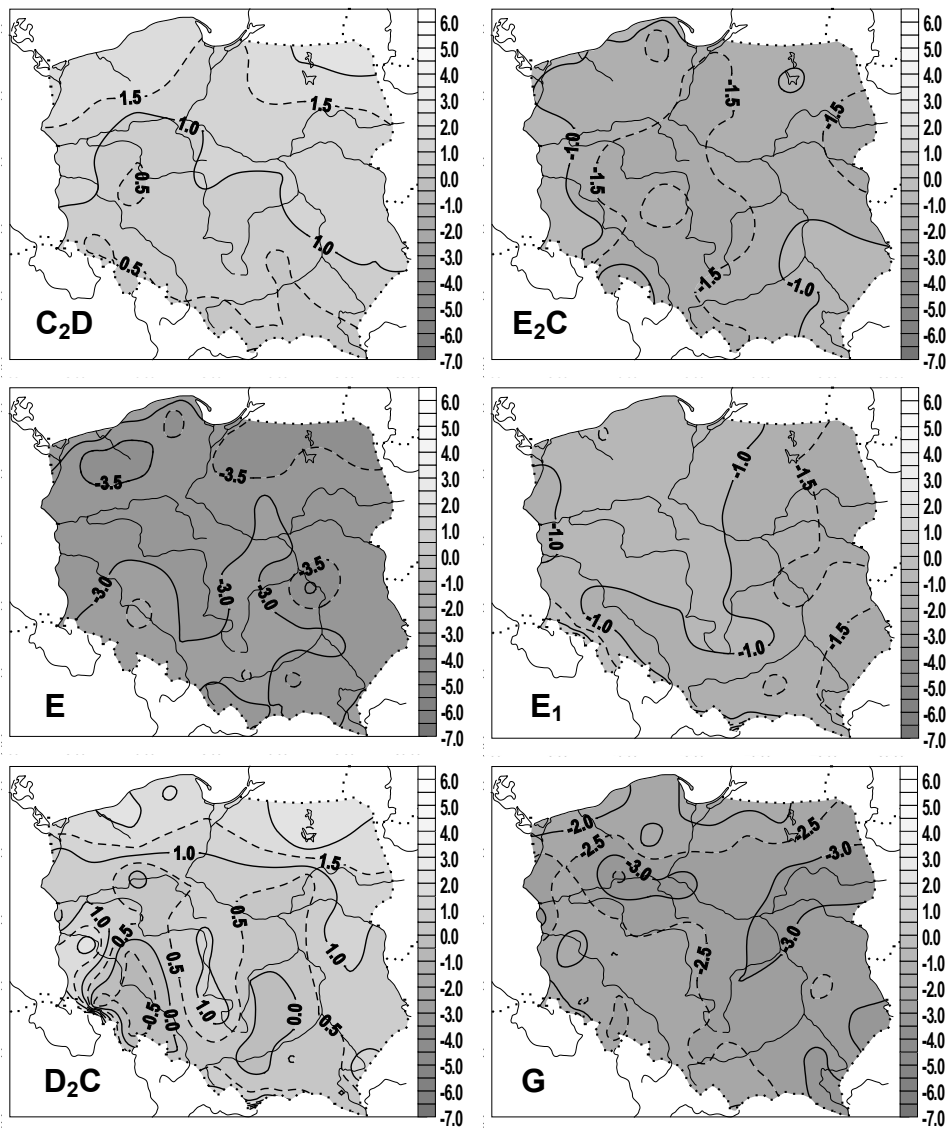
Rys. 47a. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – luty



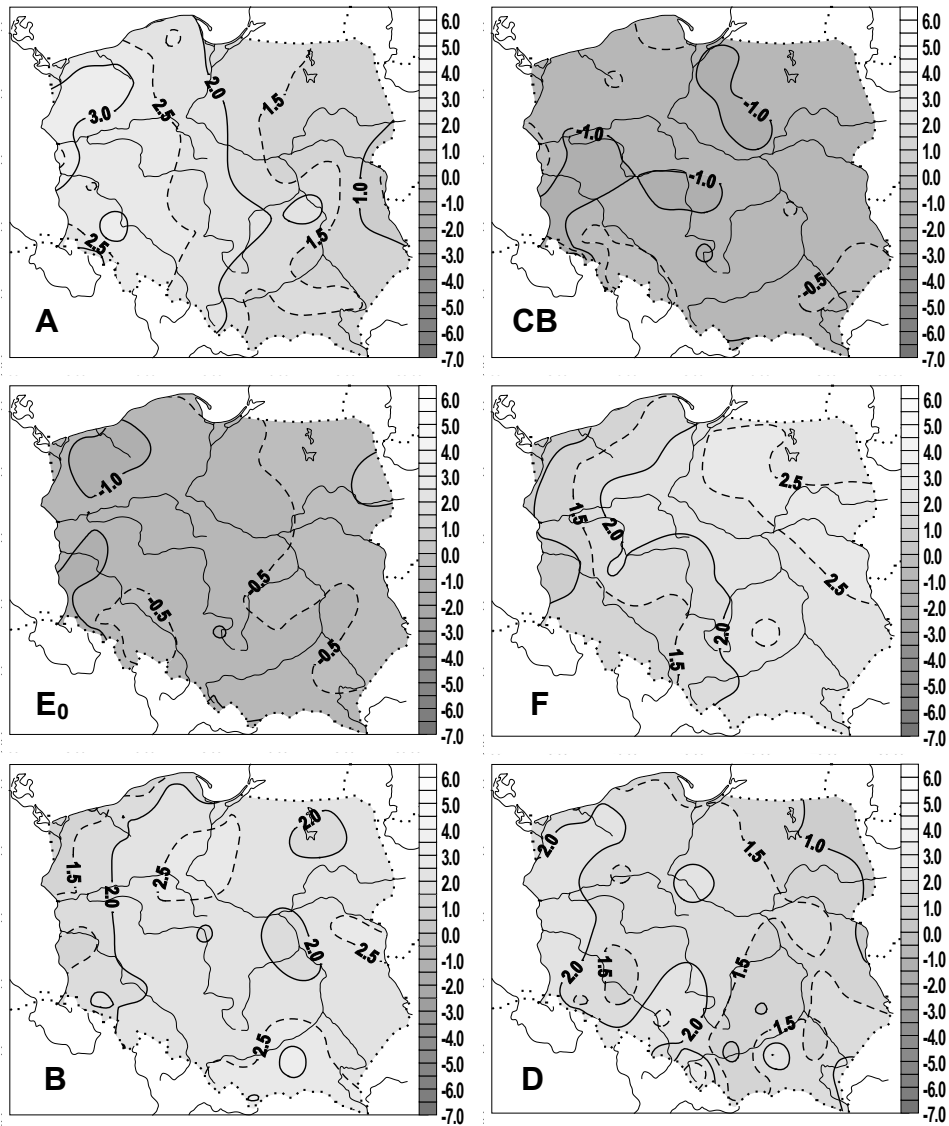
Rys. 47b. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – luty



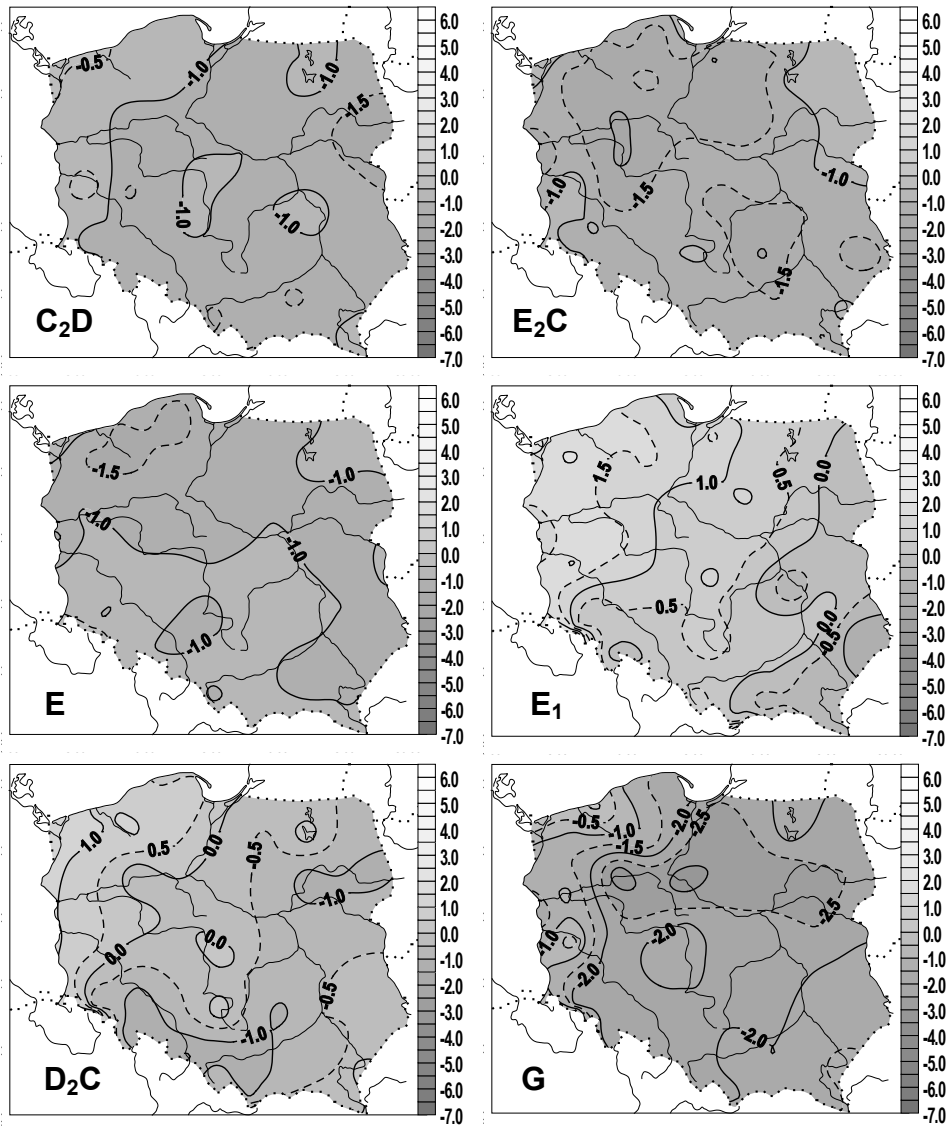
Rys. 48a. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – marzec



Rys. 48b. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – marzec

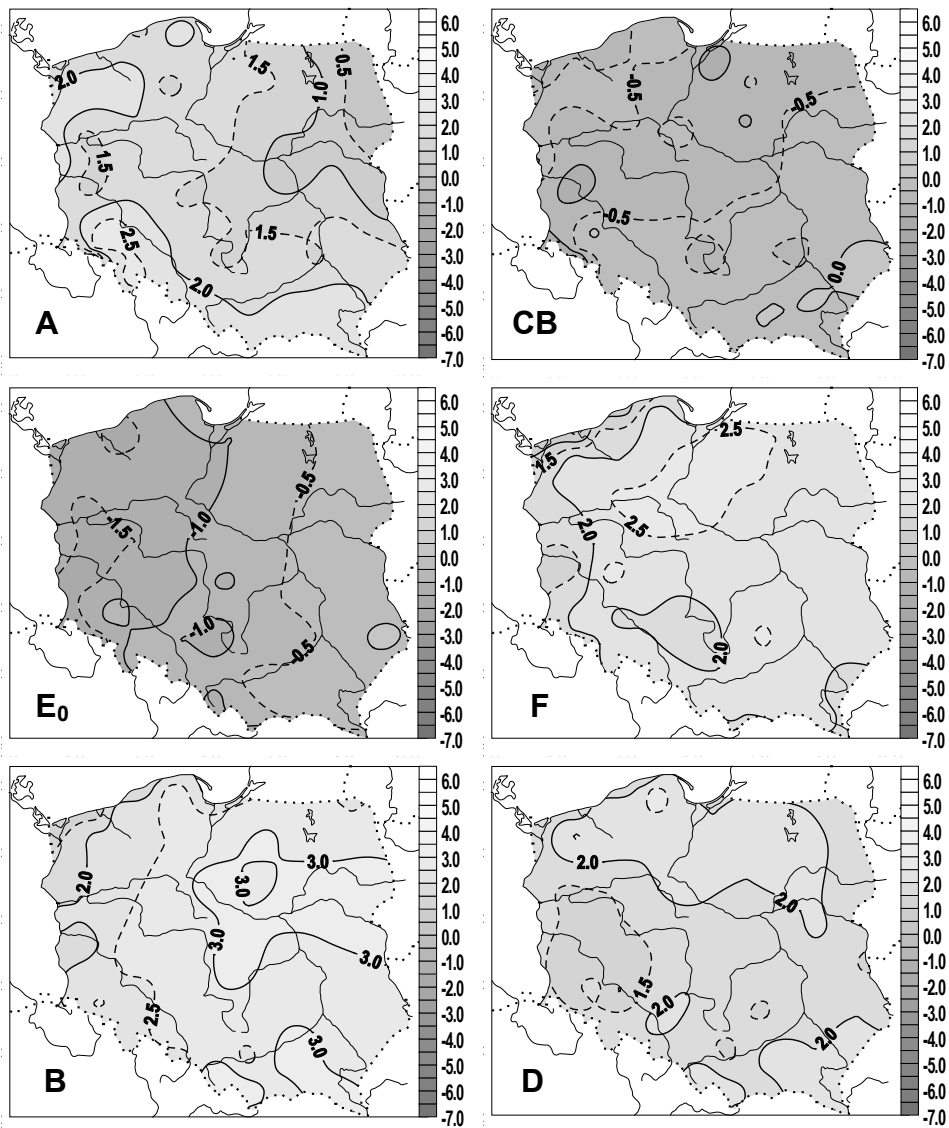


Rys. 49a. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – kwiecień

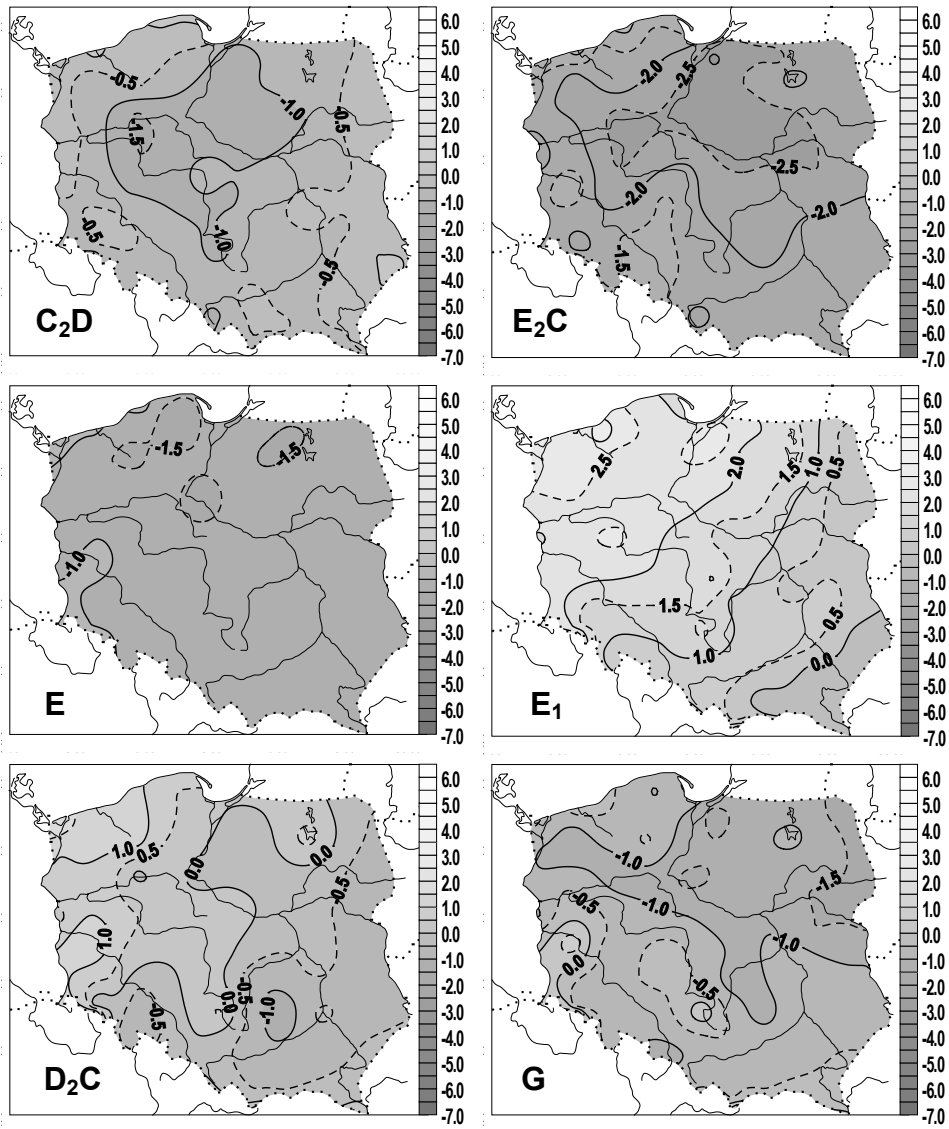


Rys. 49b. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – kwiecień

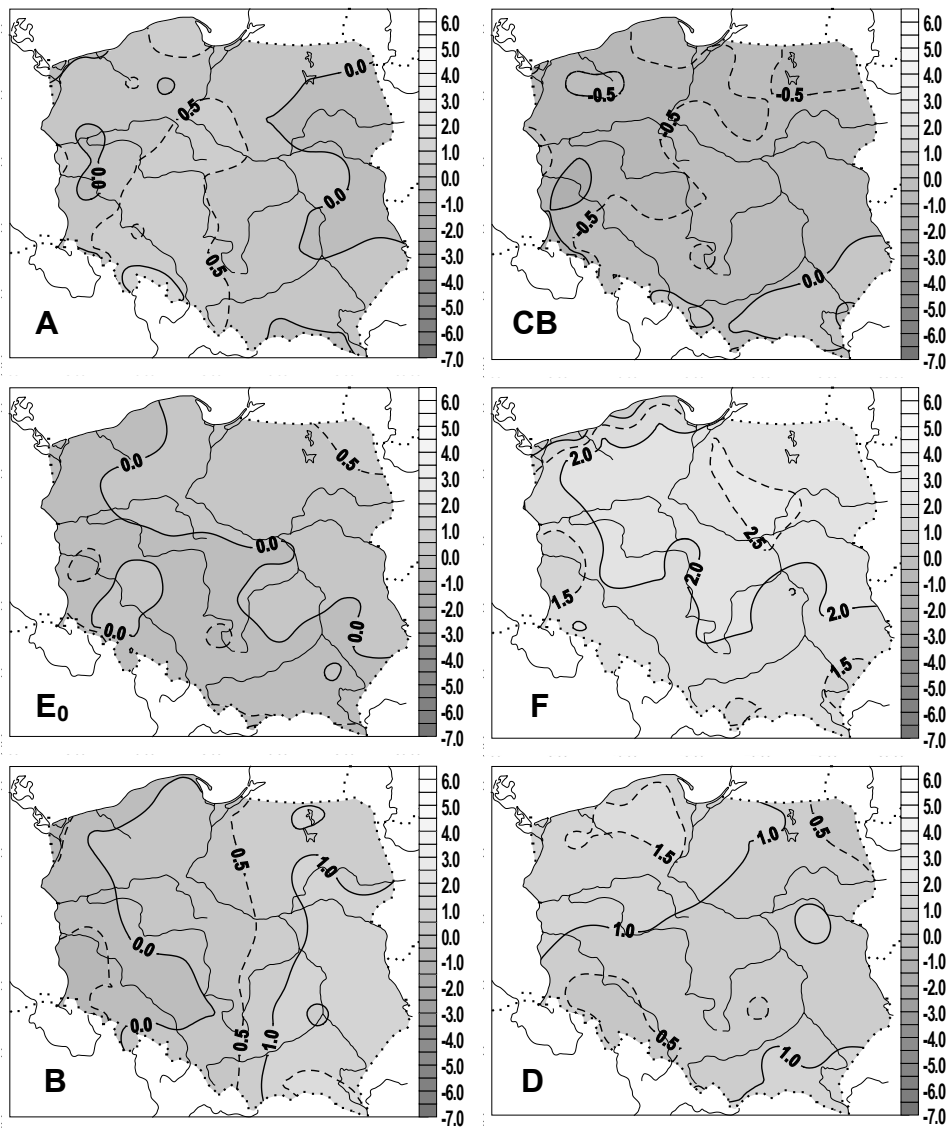




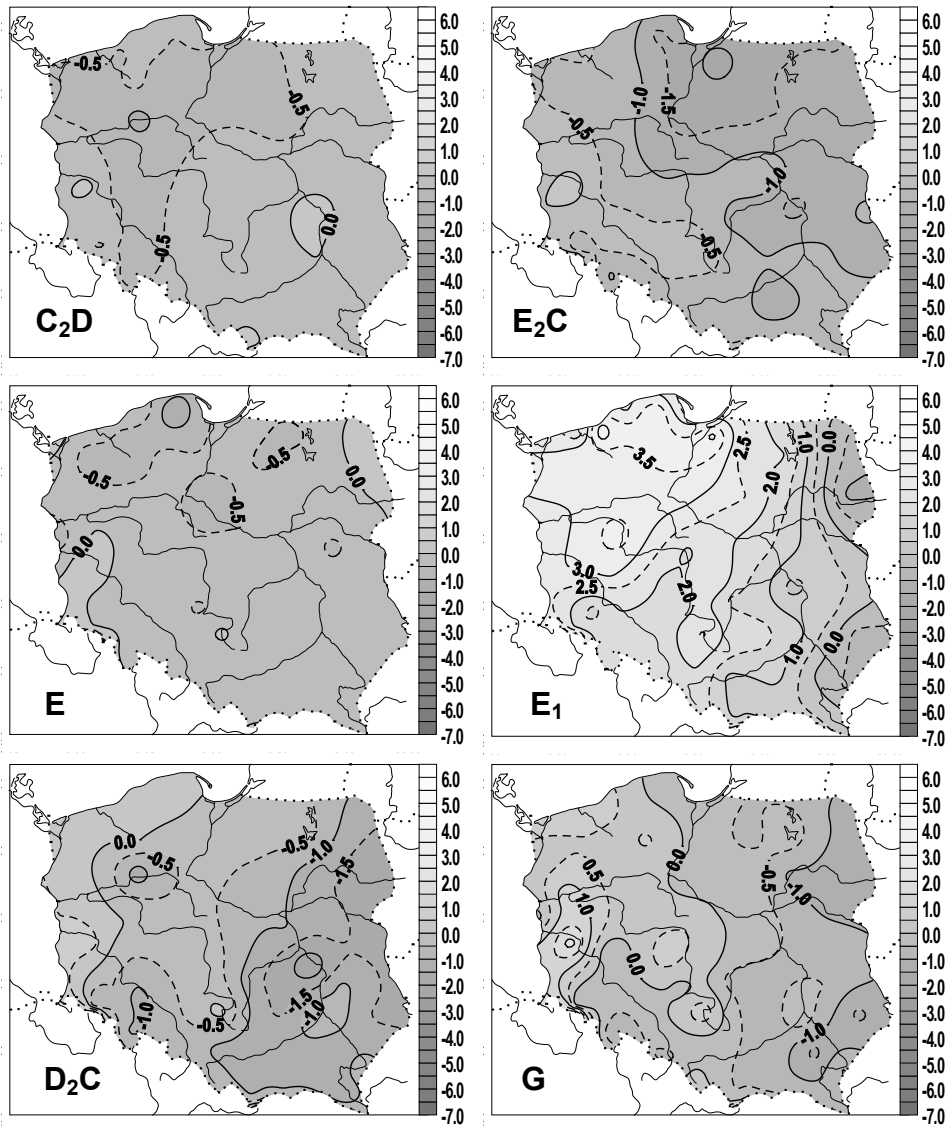
Rys. 50a. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – maj



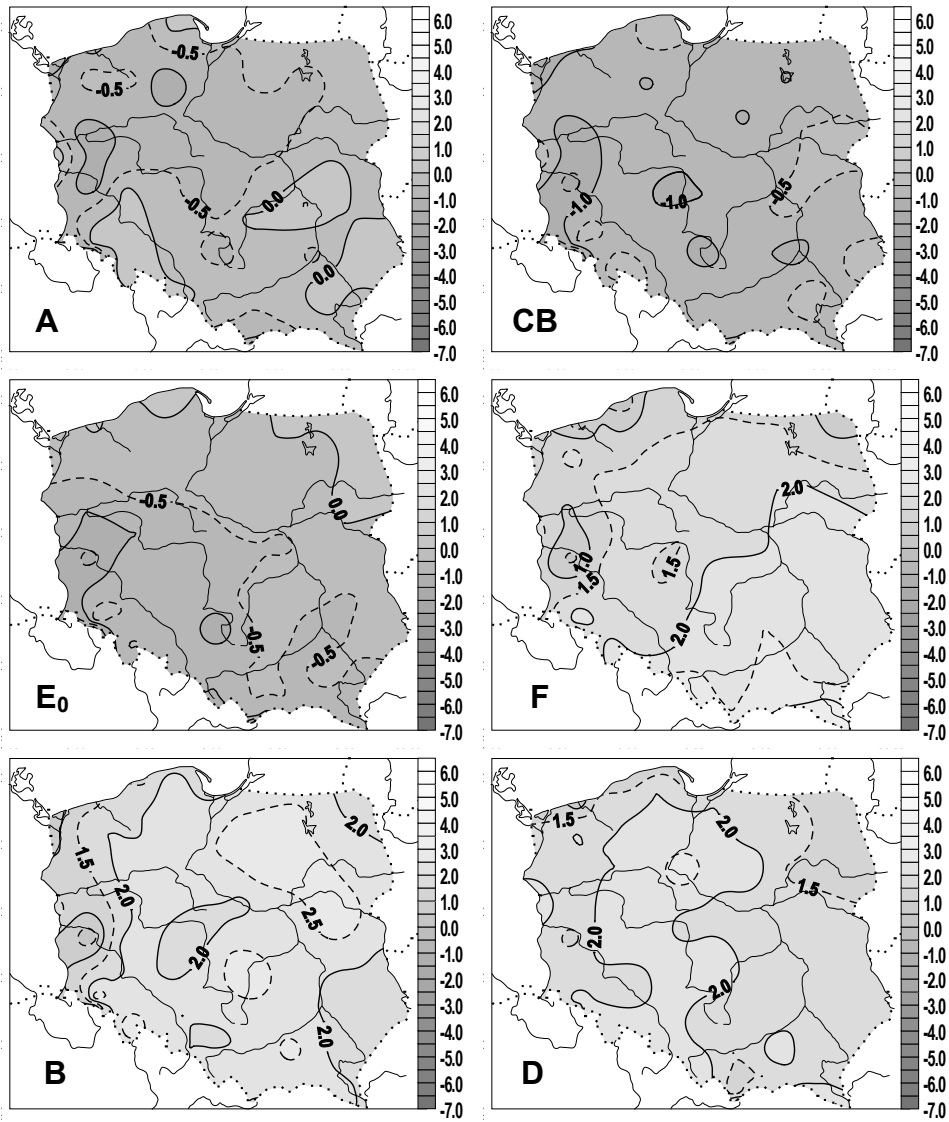
Rys. 50b. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – maj



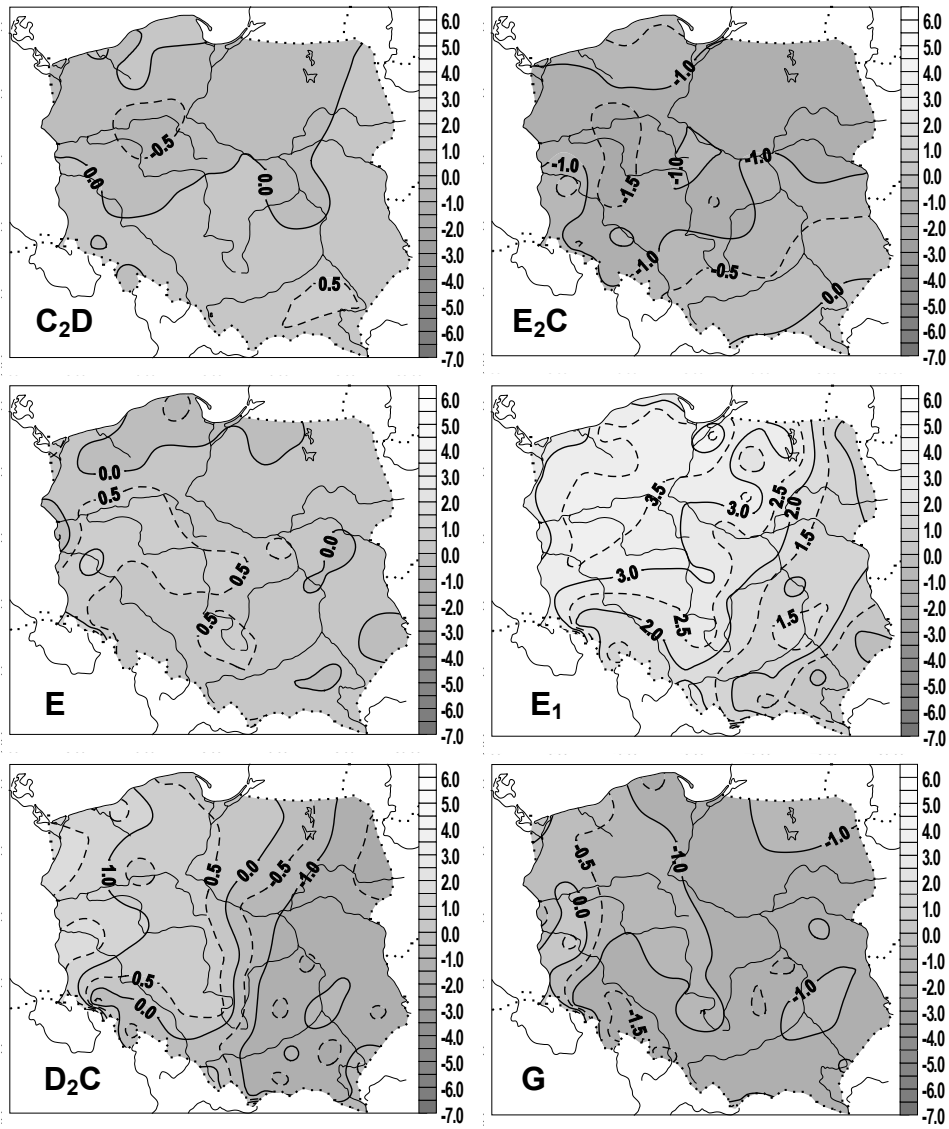
Rys. 51a. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – czerwiec



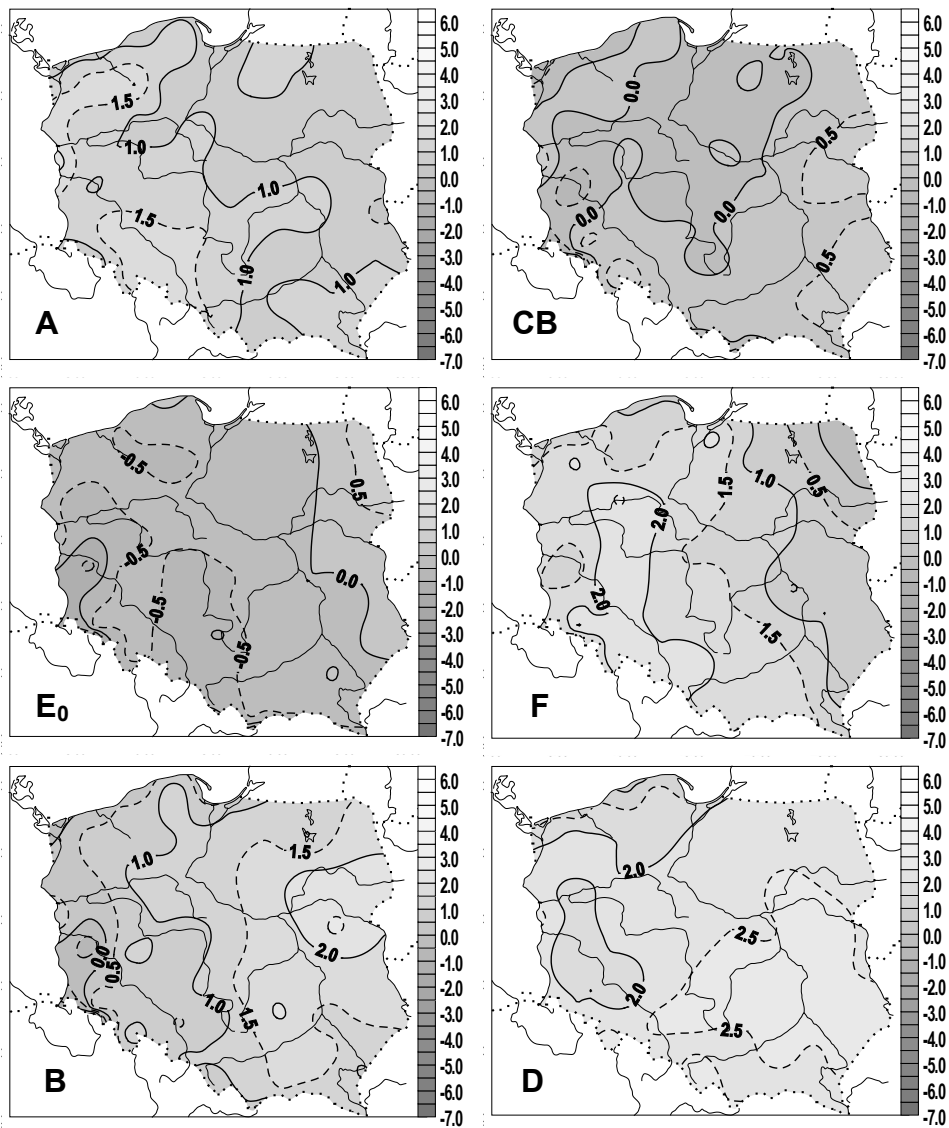
Rys. 51b. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – czerwiec



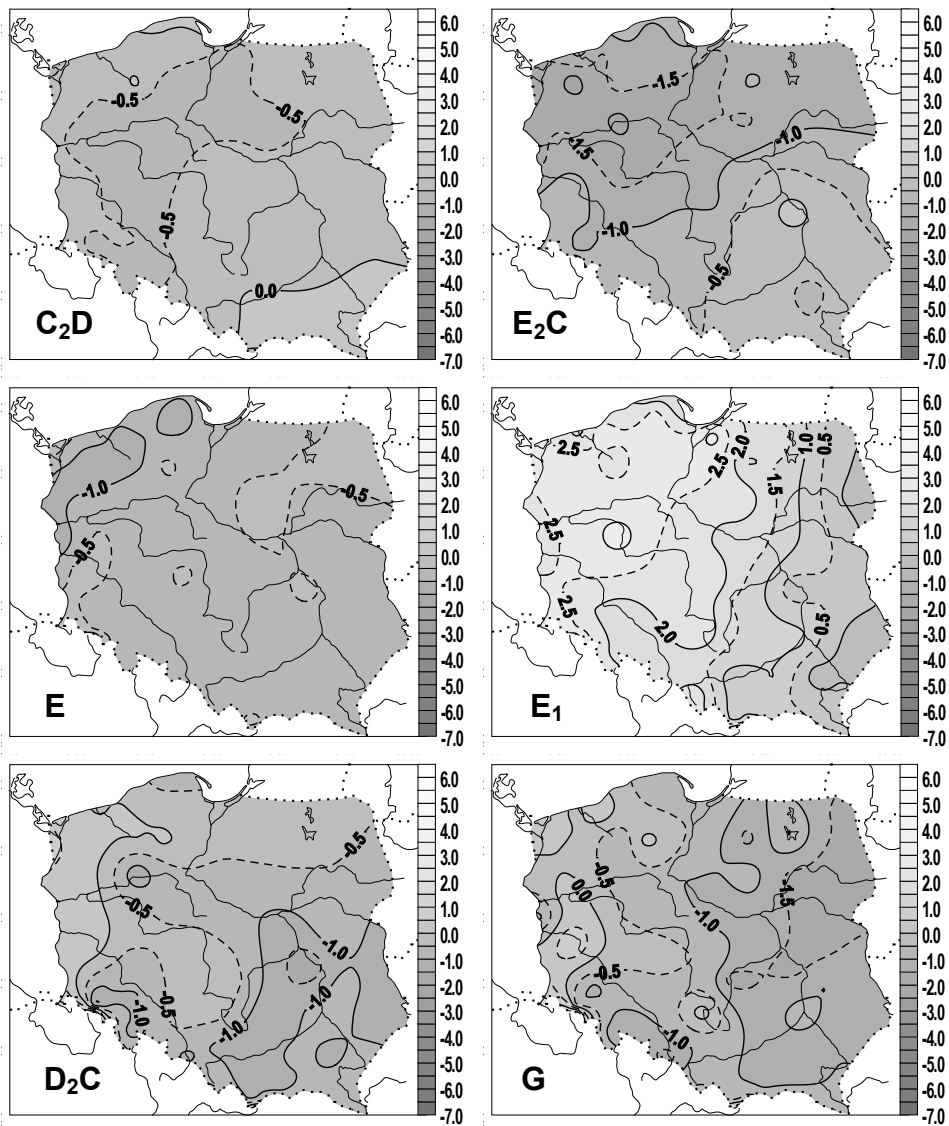
Rys. 52a. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – lipiec



Rys. 52b. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – lipiec

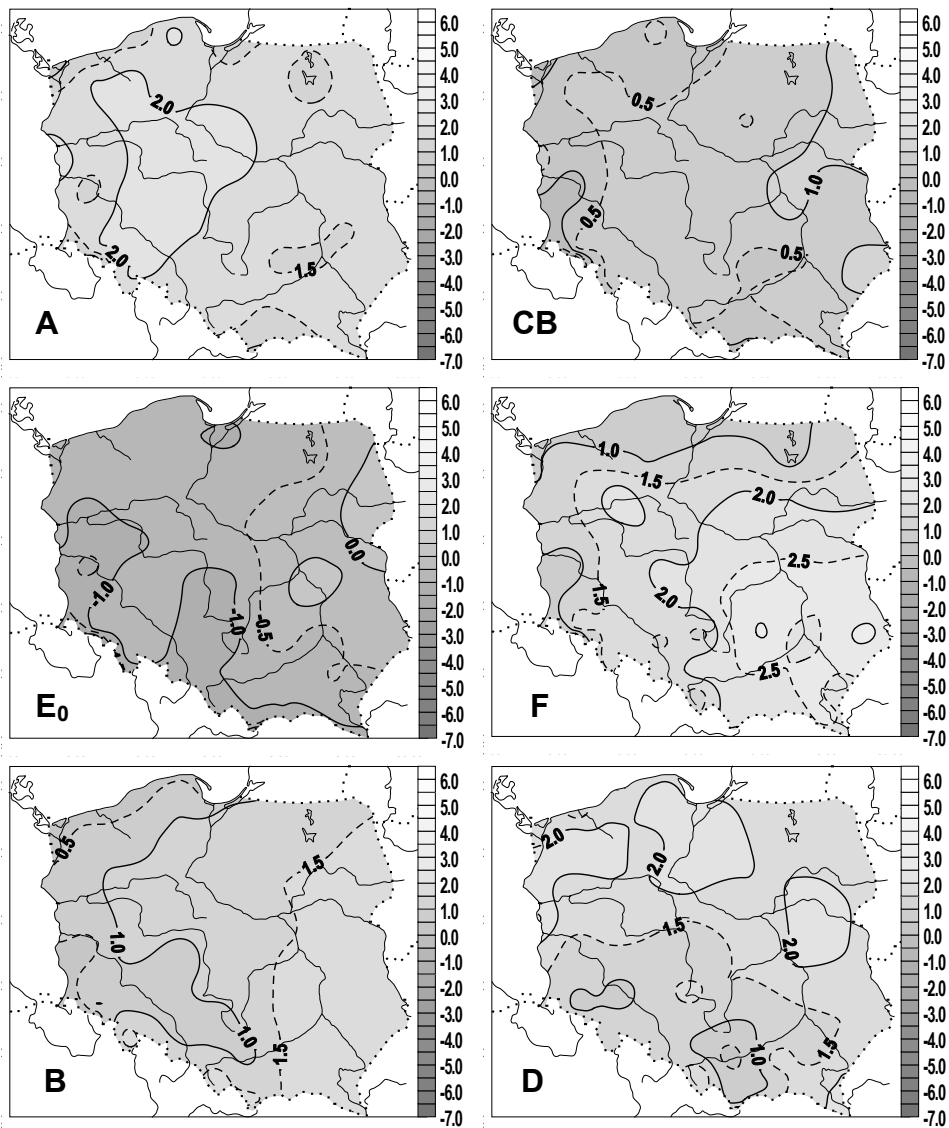


Rys. 53a. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – sierpień

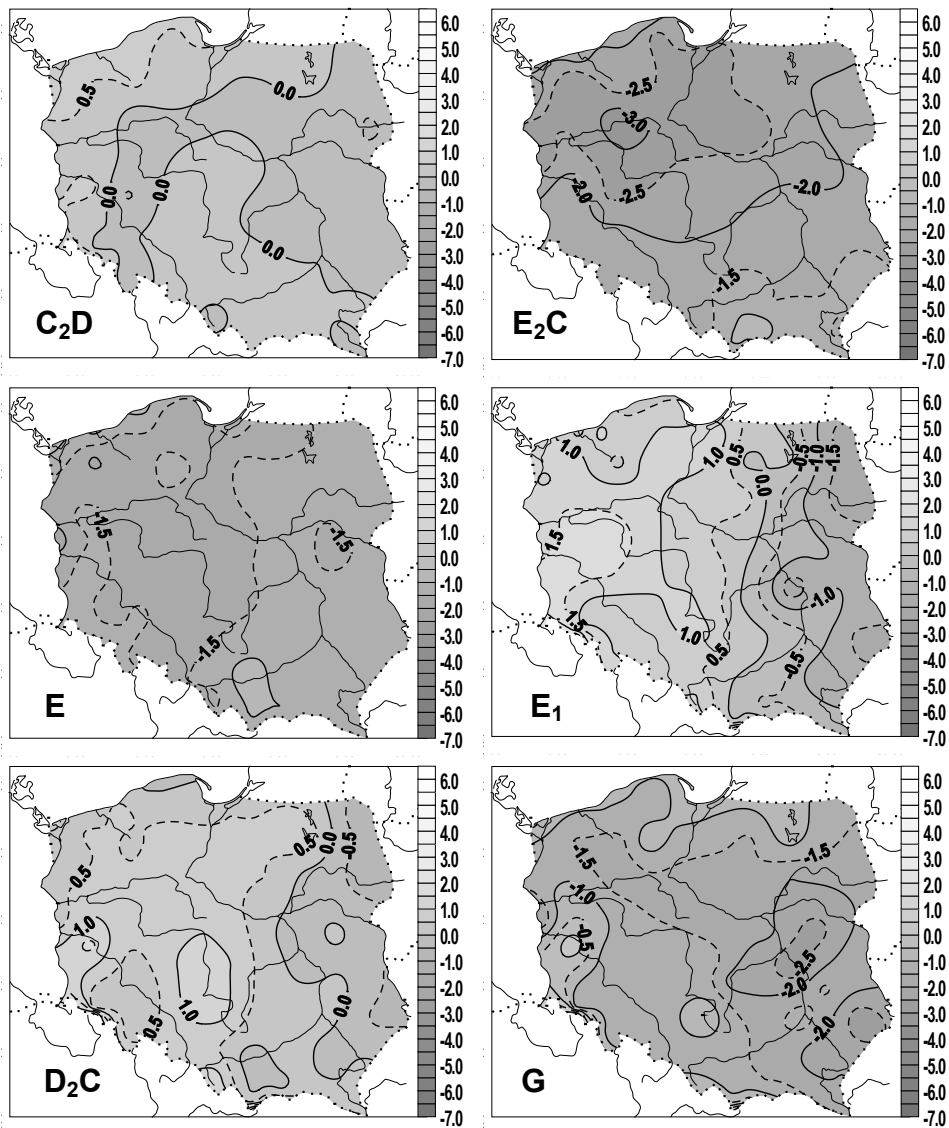


Rys. 53b. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – sierpień

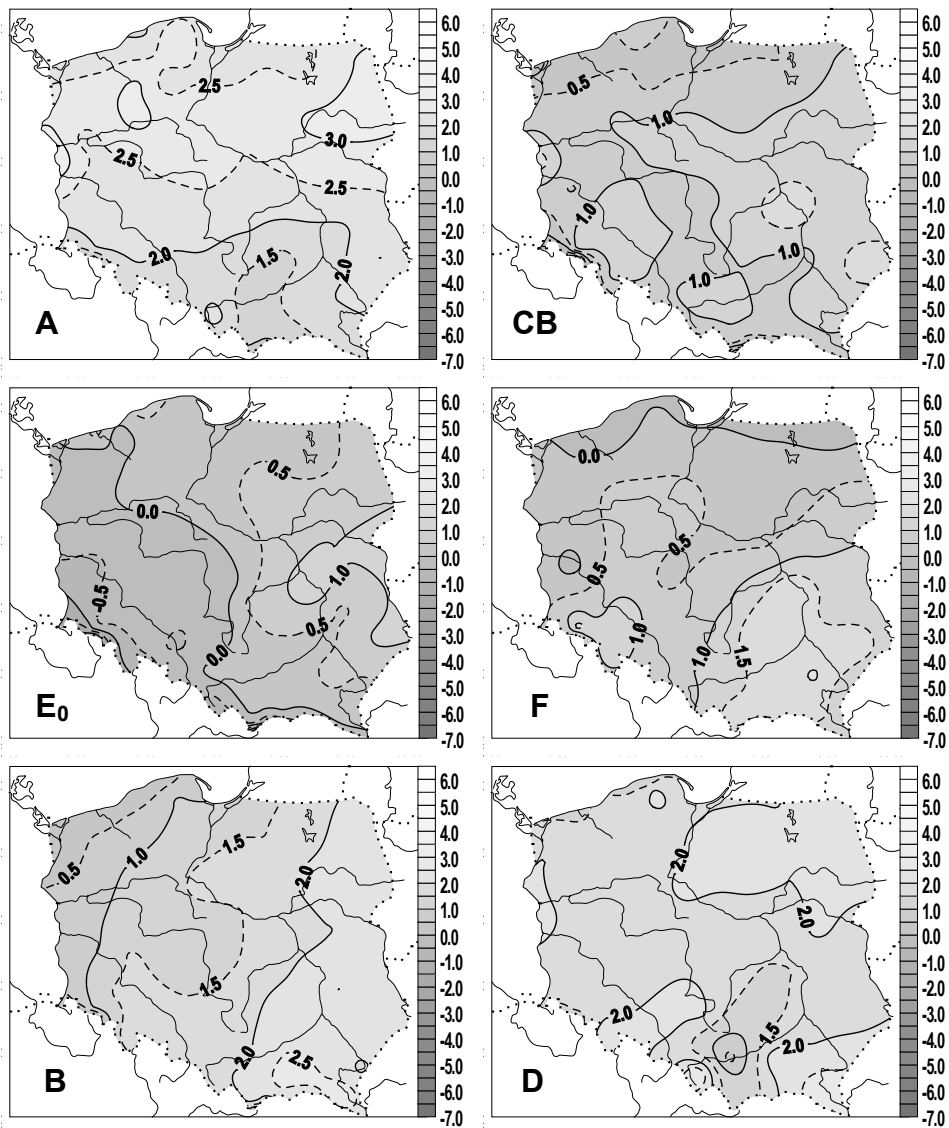




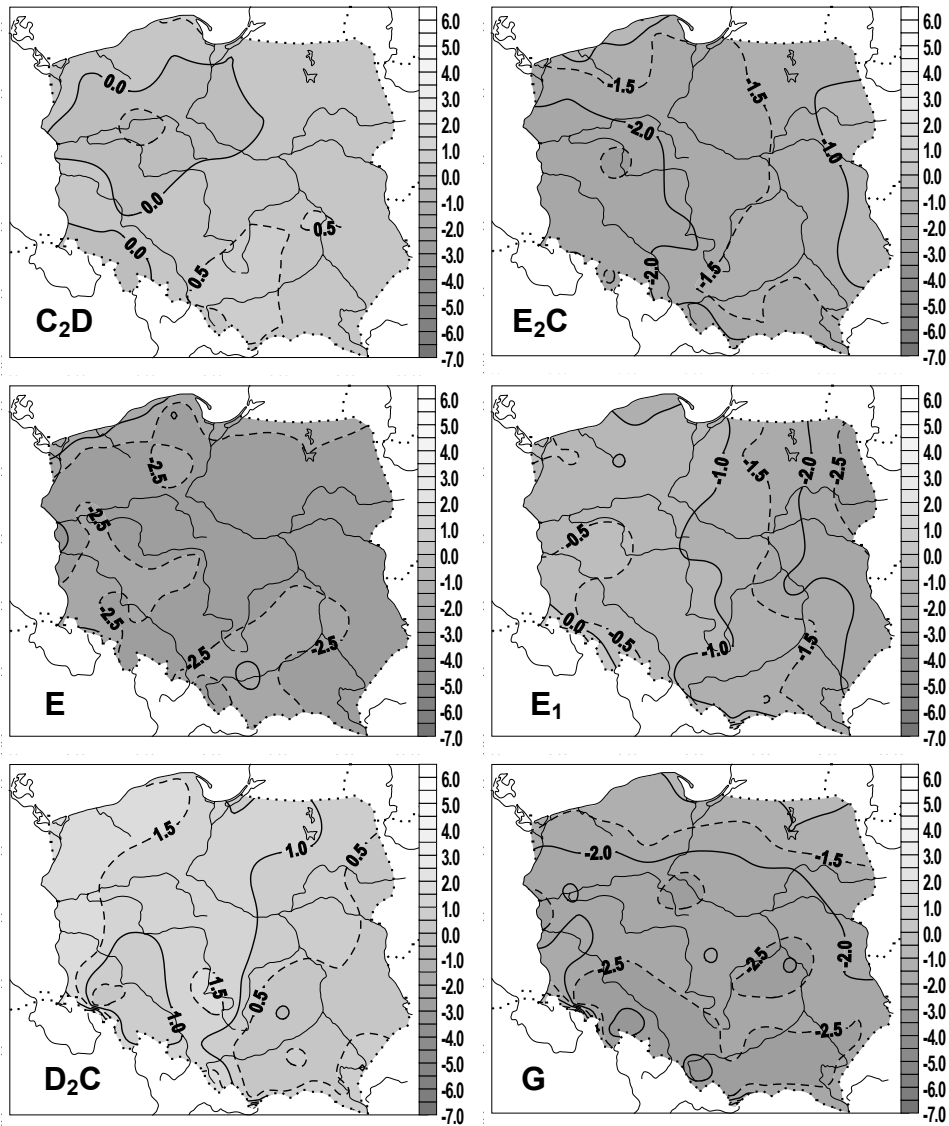
Rys. 54a. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – wrzesień



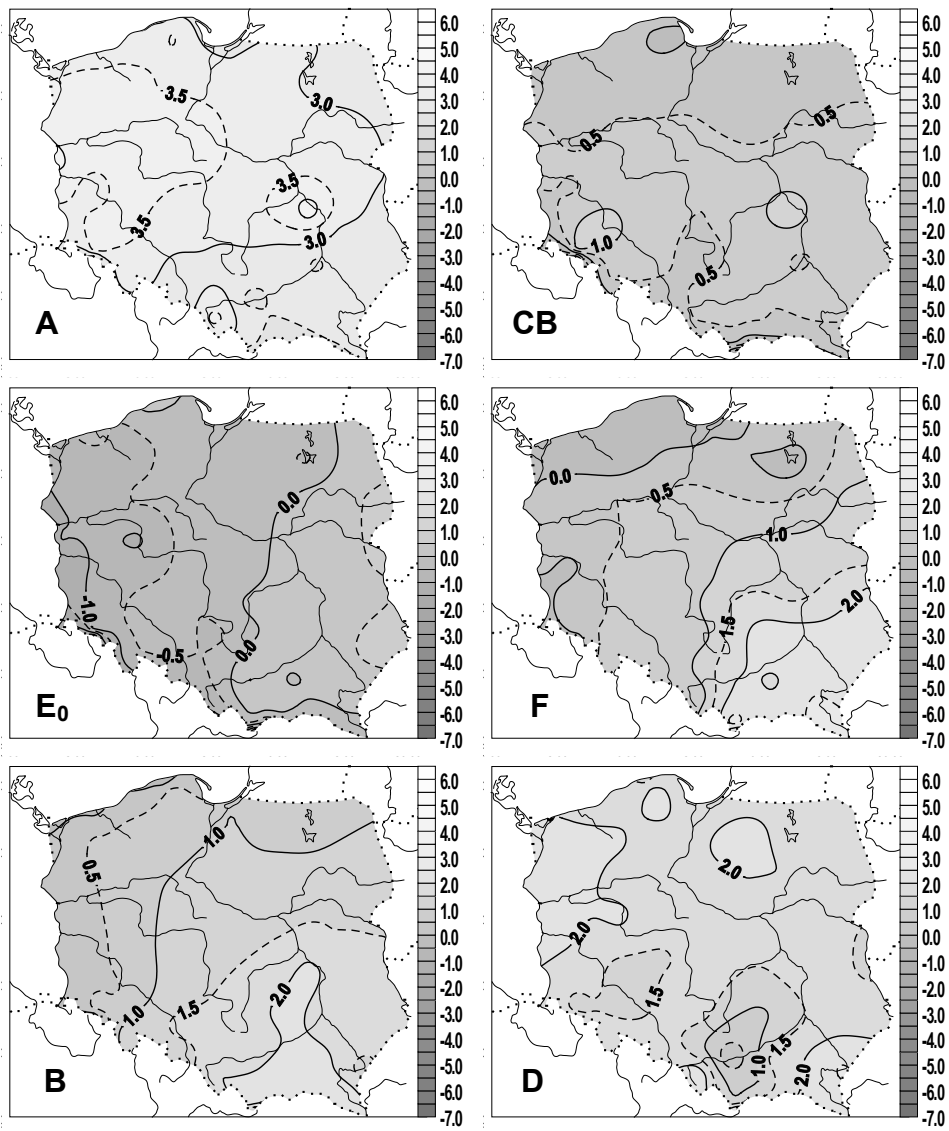
Rys. 54b. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – wrzesień



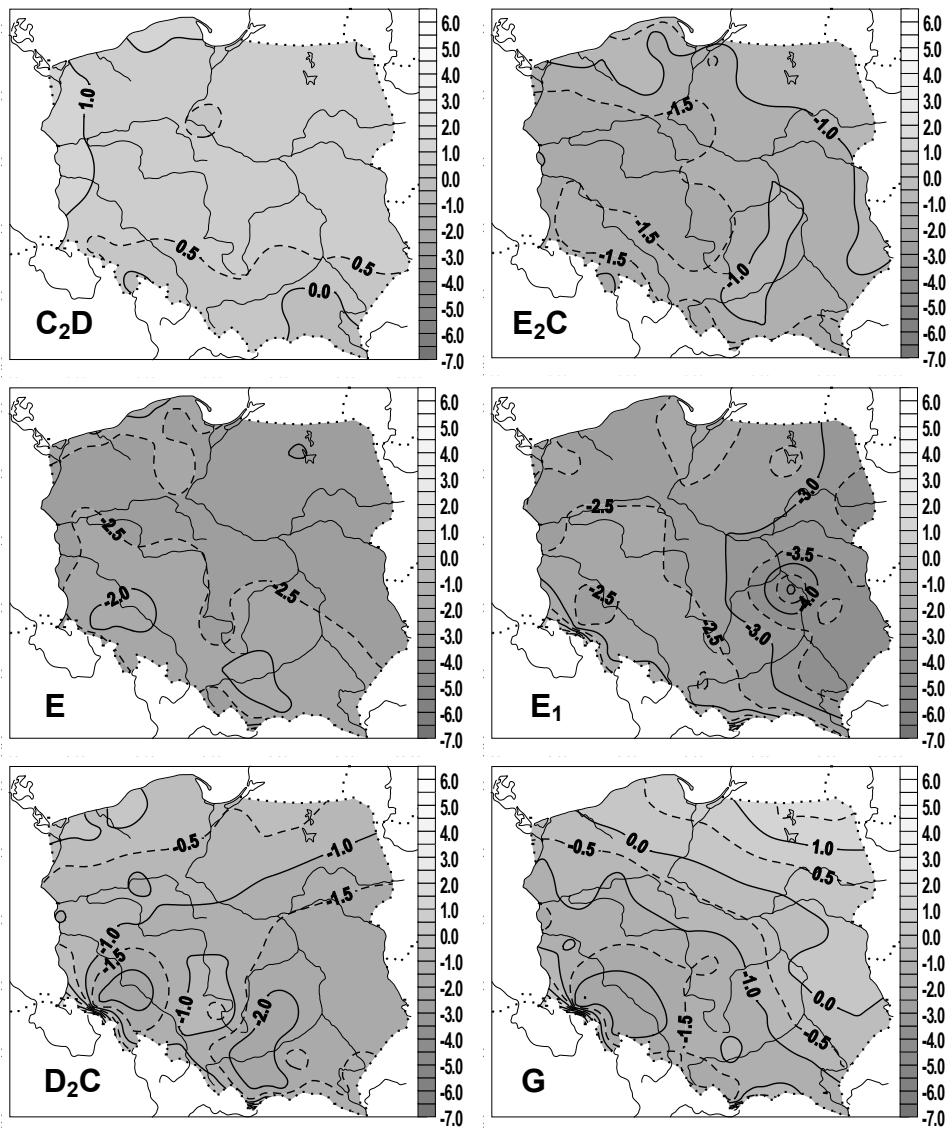
Rys. 55a. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – październik



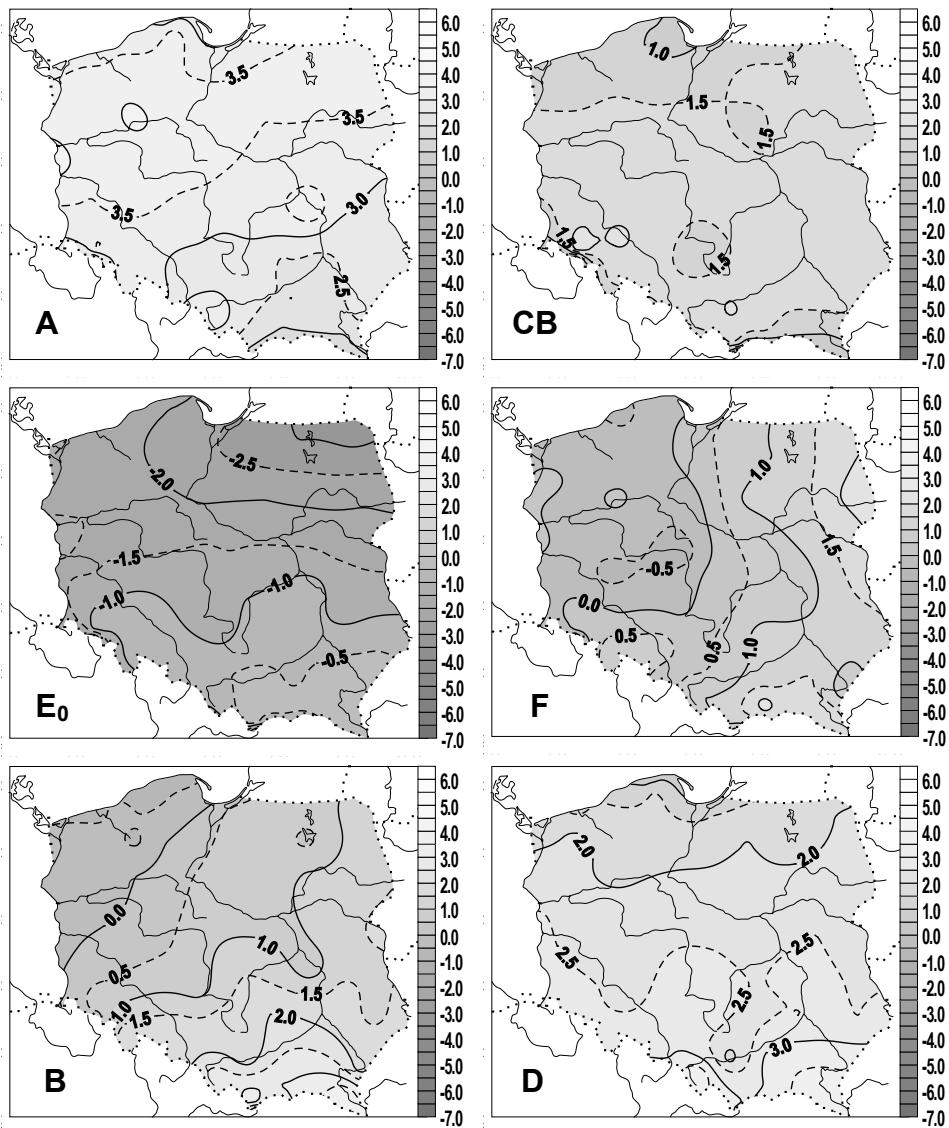
Rys. 55b. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – październik



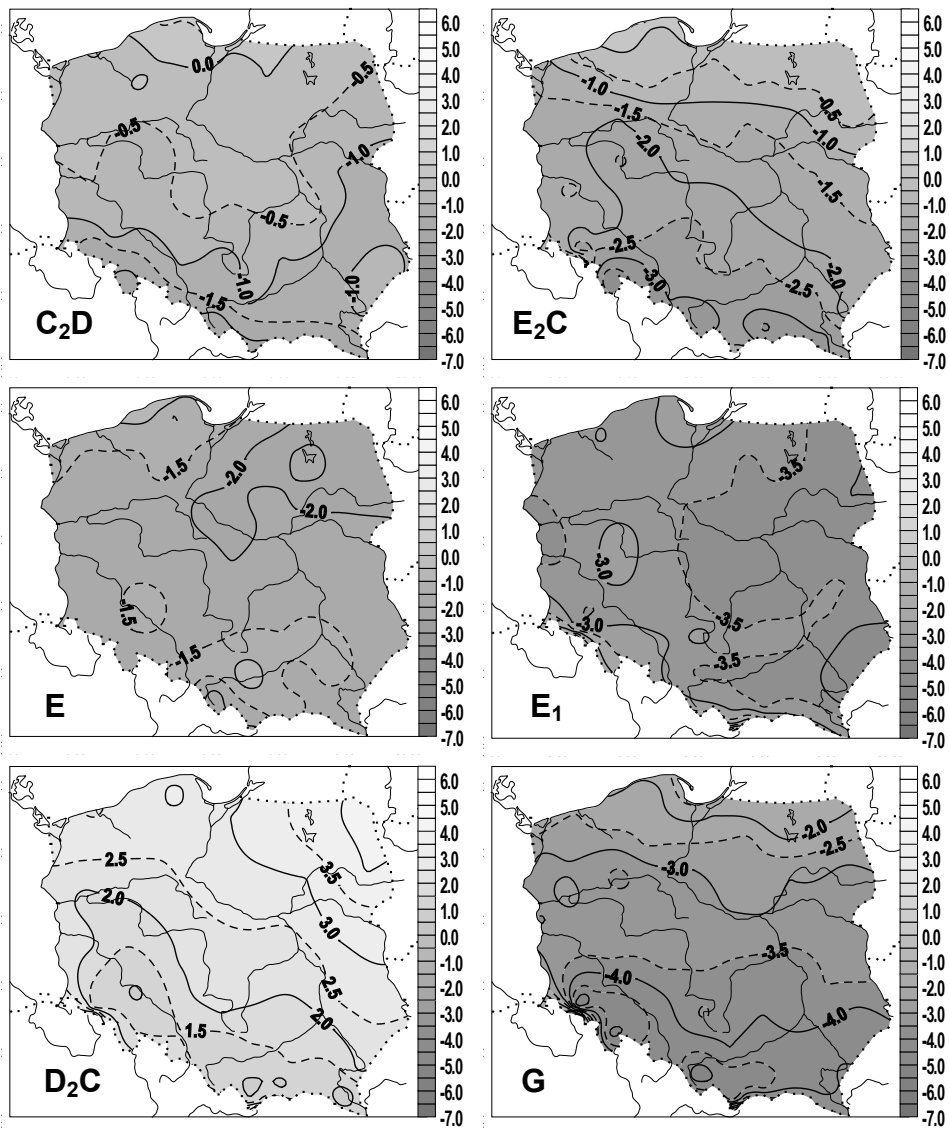
Rys. 56a. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – listopad



Rys. 56b. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – listopad

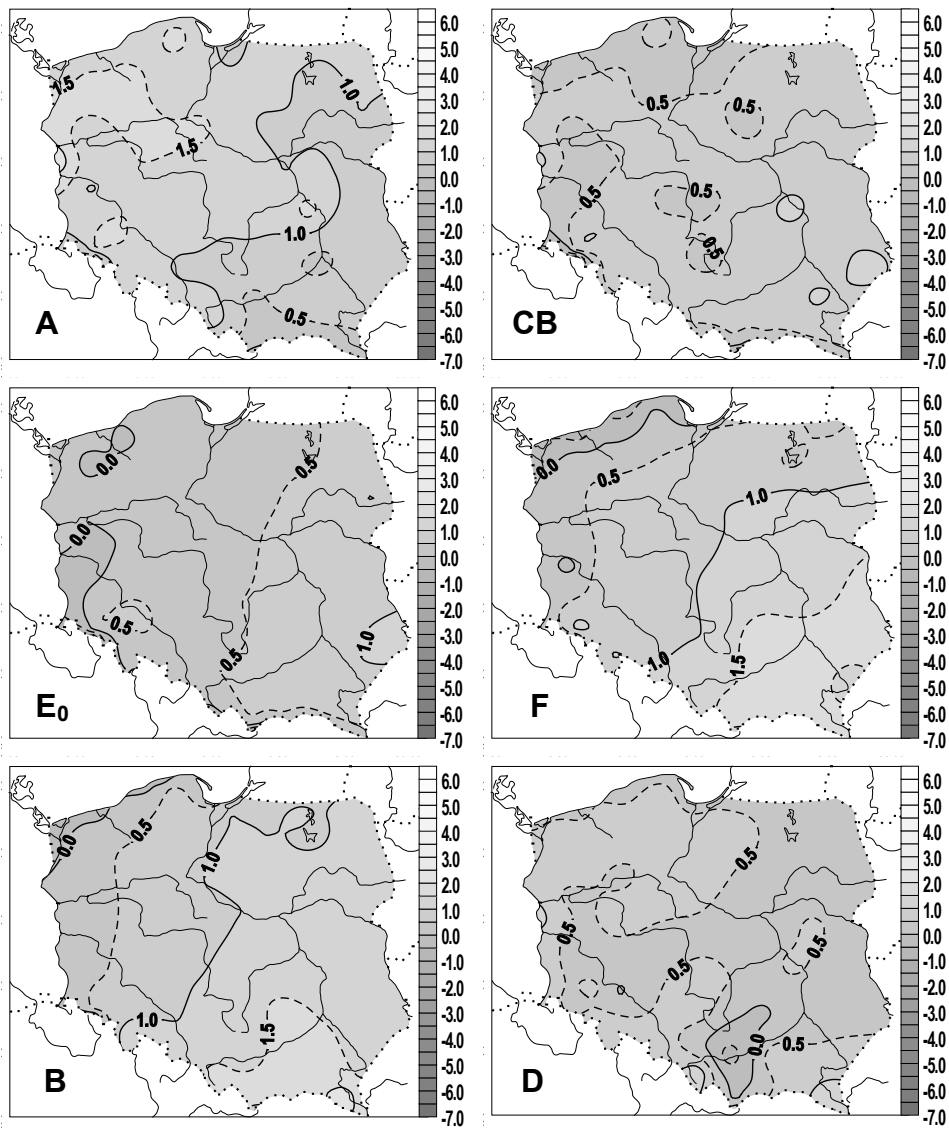


Rys. 57a. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – grudzień

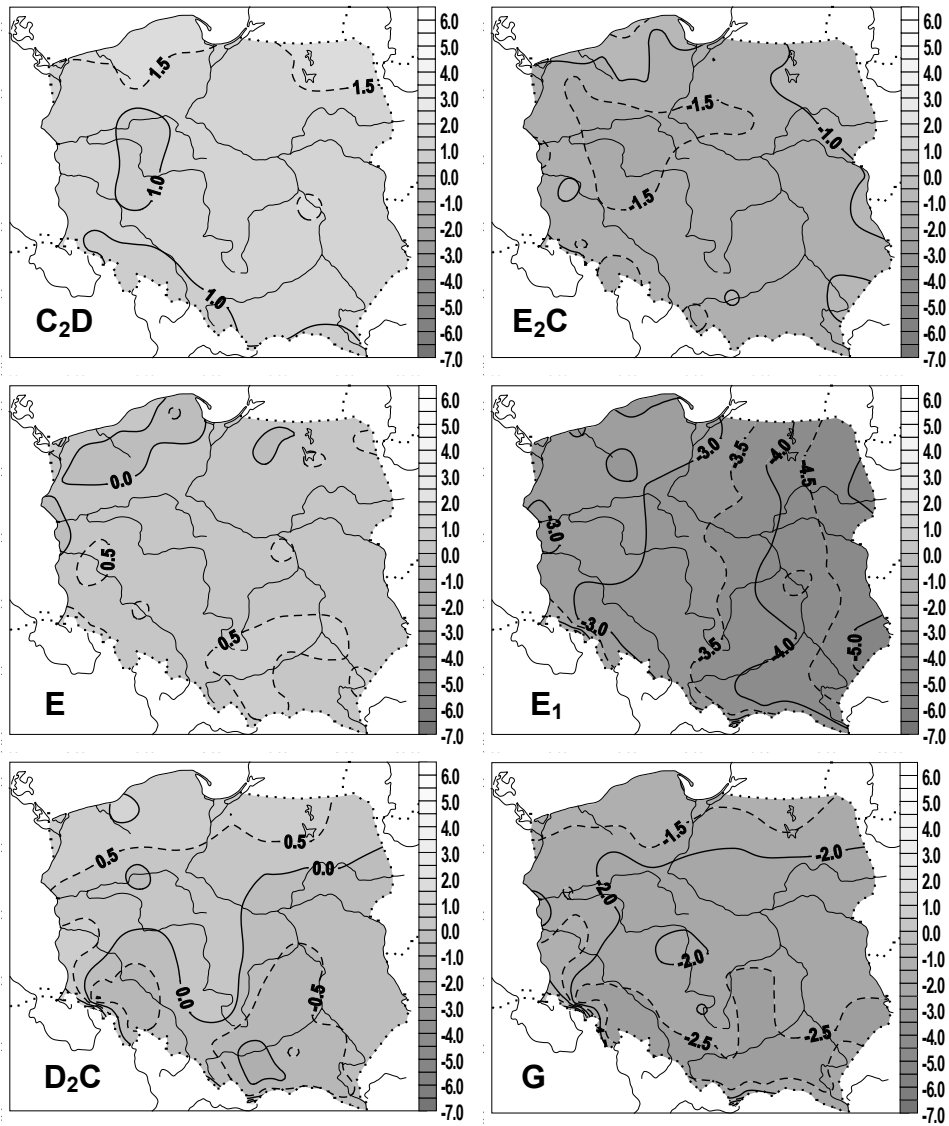


Rys. 57b. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – grudzień

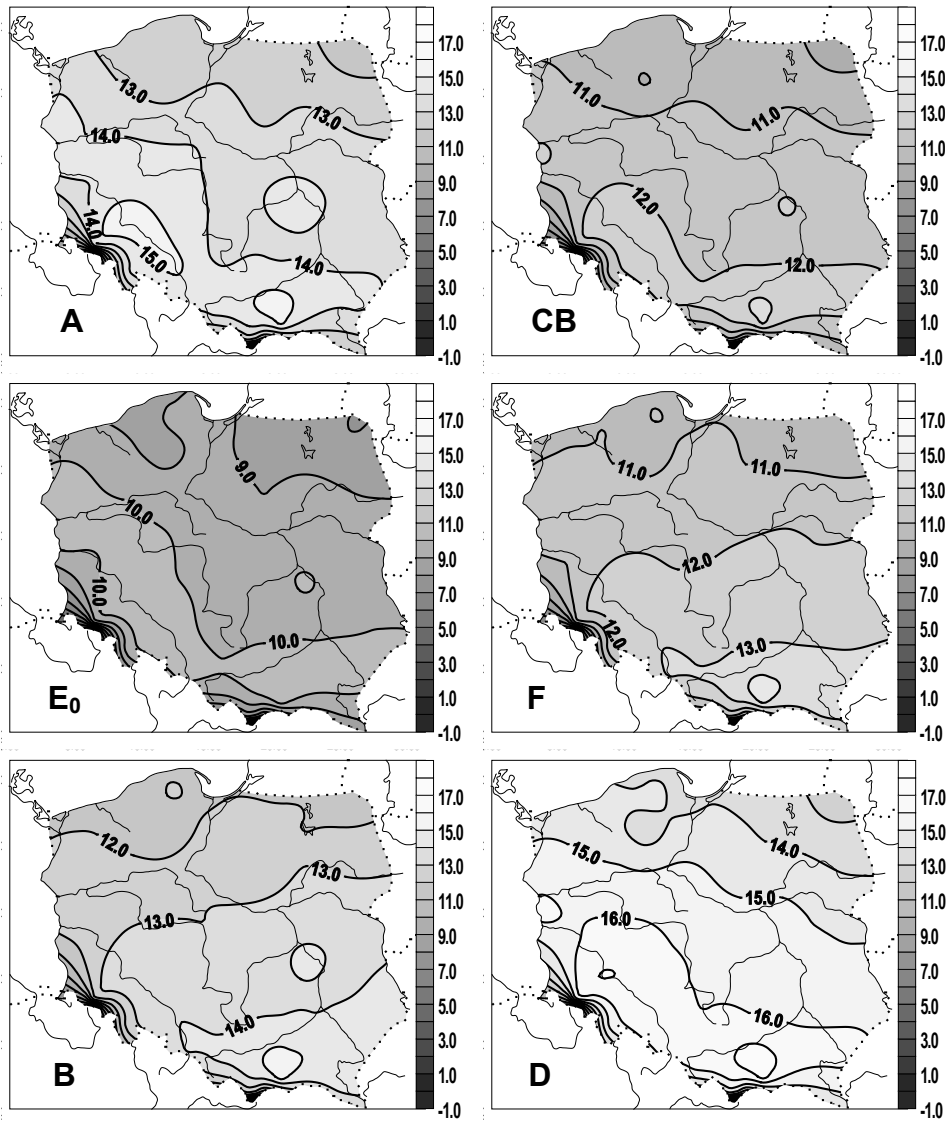




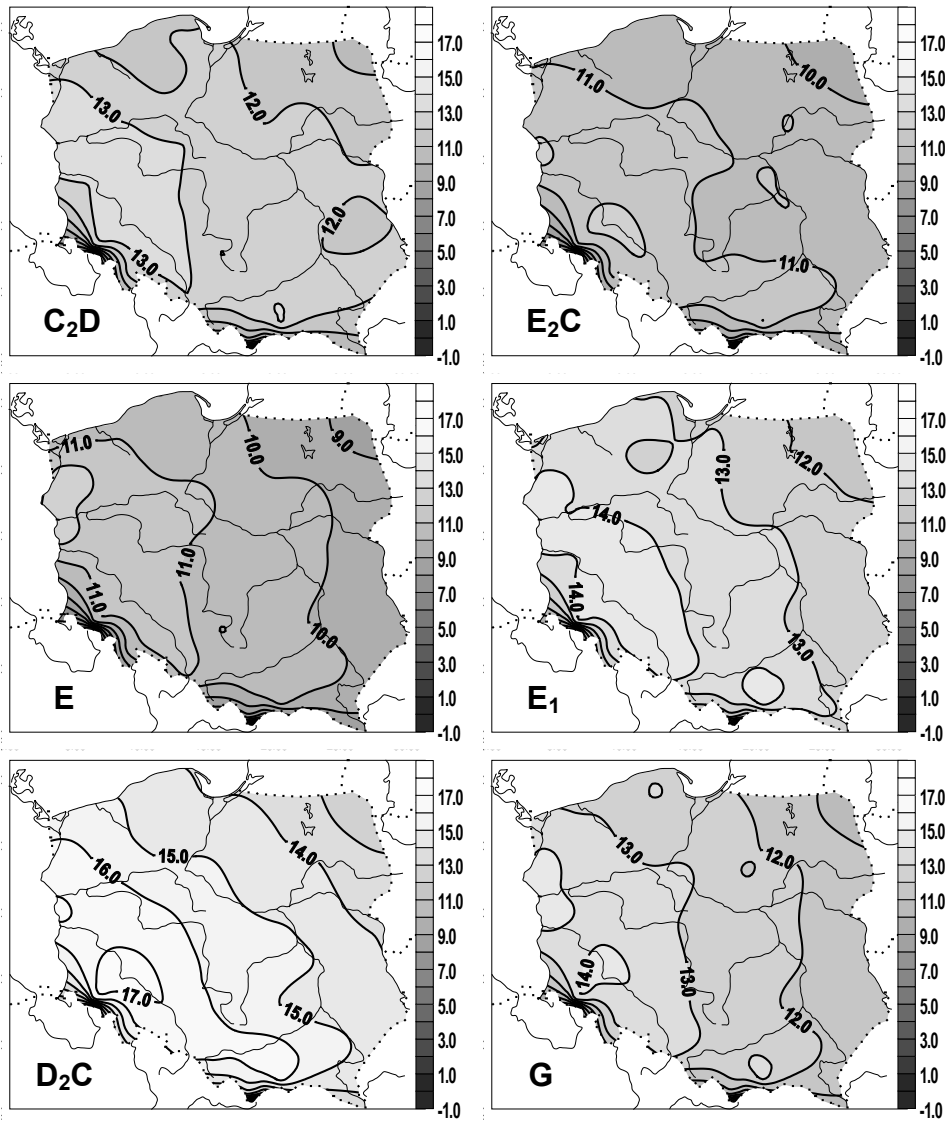
Rys. 58a. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – rok



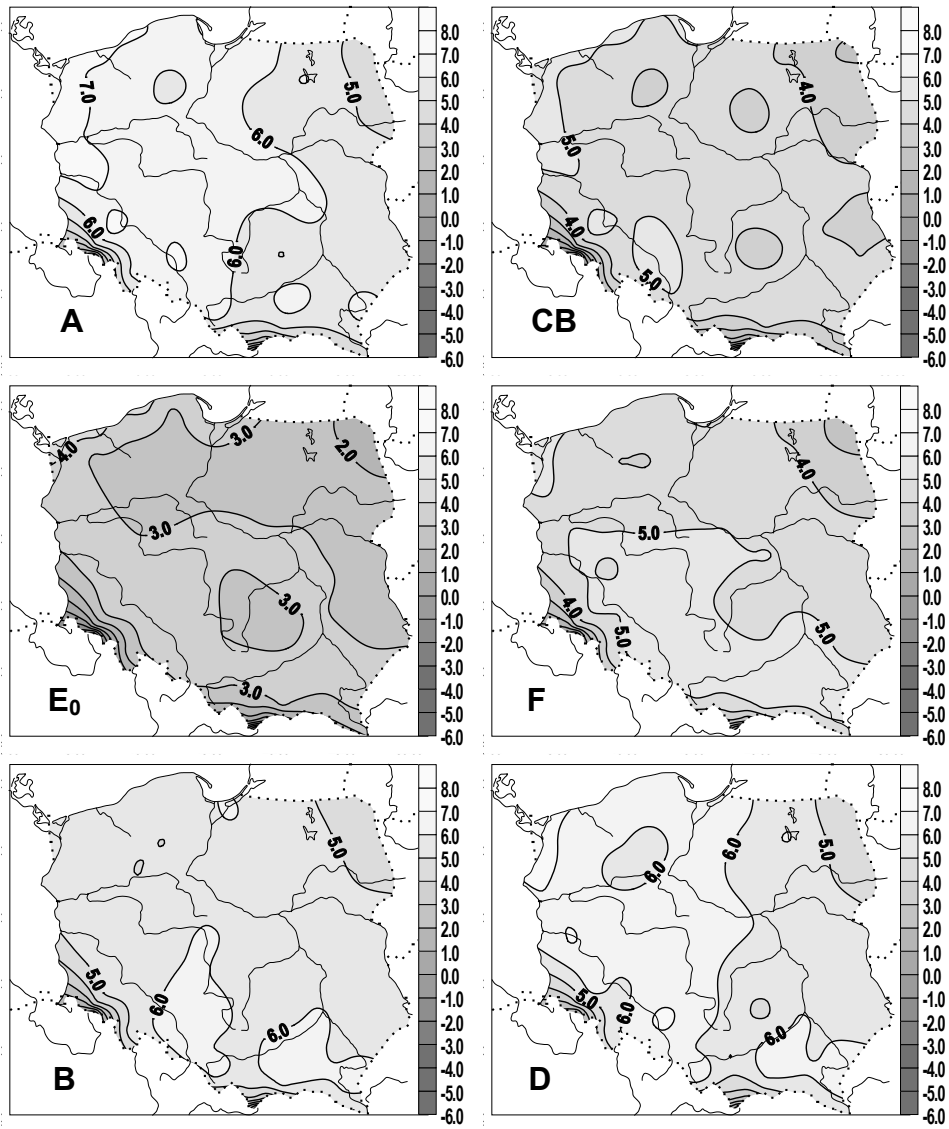
Rys. 58b. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej (1971-1995) – rok



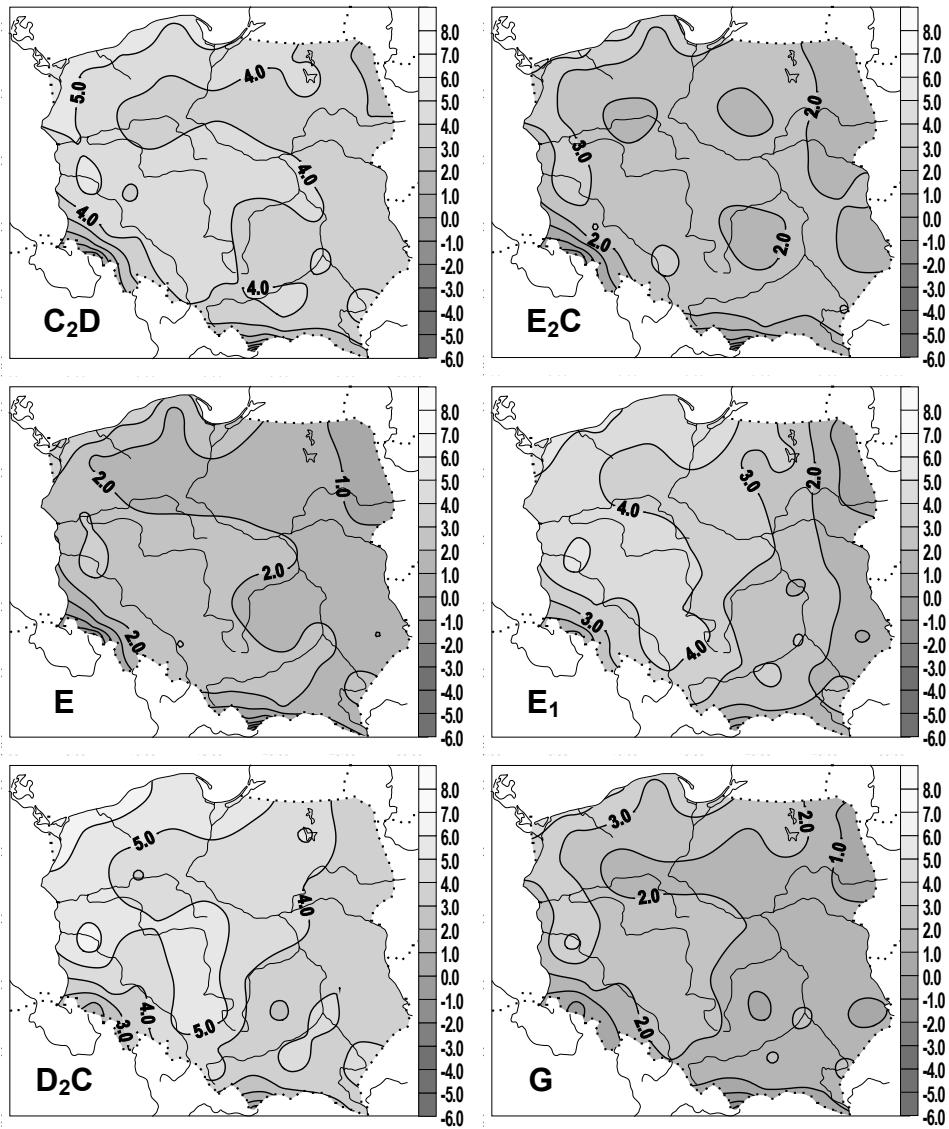
Rys. 59a. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej w latach 1971-1995 – rok (obliczonej ze średnich miesięcznych temperatur)



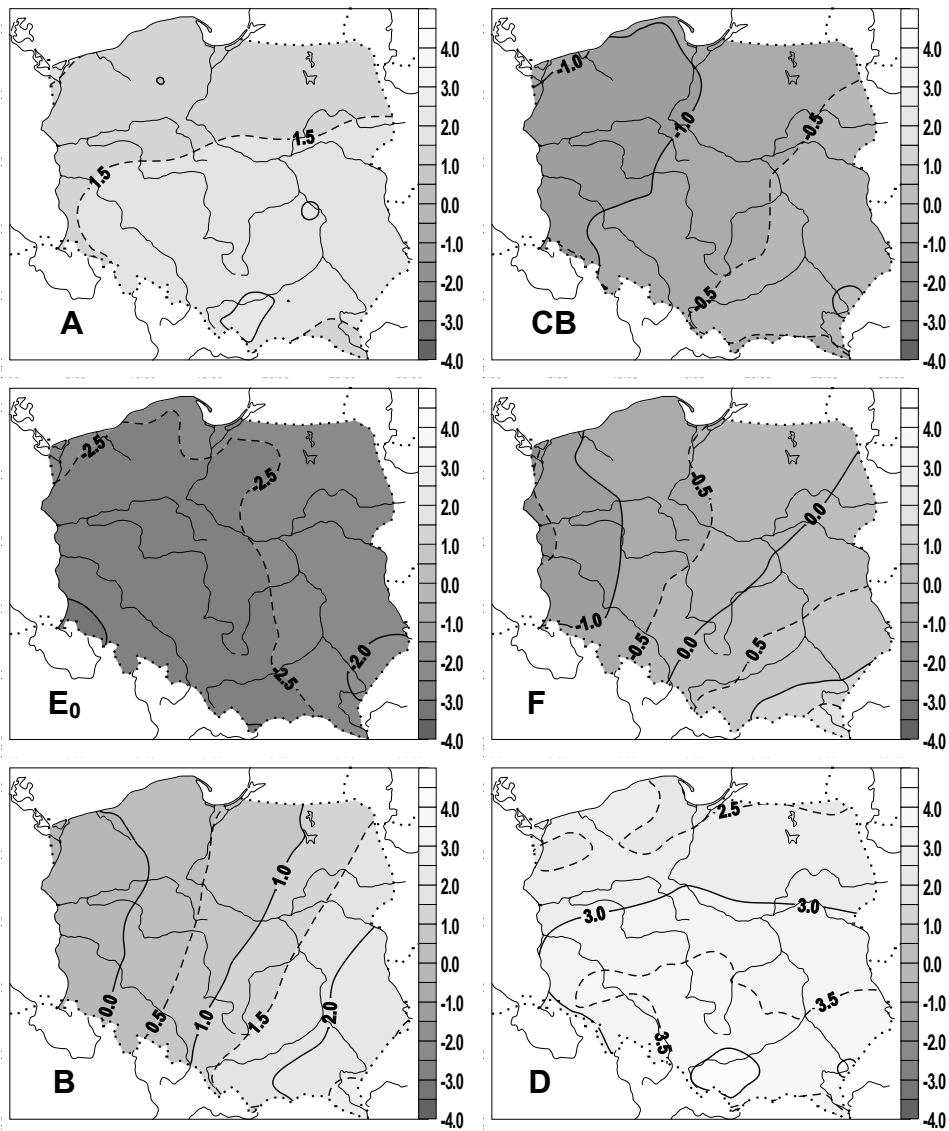
Rys. 59b. Zależność maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej w latach 1971-1995 – rok (obliczonej ze średnich miesięcznych temperatur)



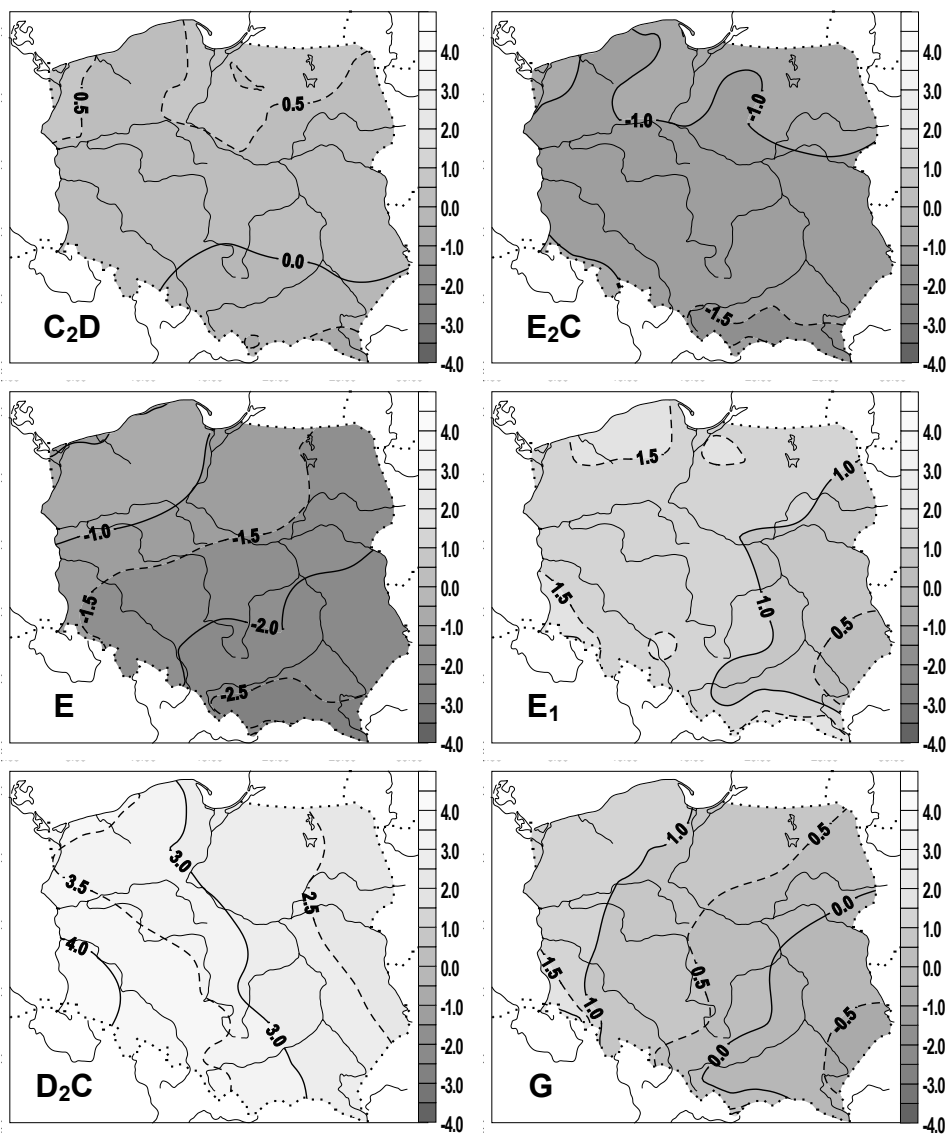
Rys. 60a. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji cyklonalnej w latach 1971-1995 – rok (obliczonej ze średnich miesięcznych temperatur)



Rys. 60b. Zależność minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) od typów cyrkulacji antycyklonalnej w latach 1971-1995 – rok (obliczonej ze średnich miesięcznych temperatur)

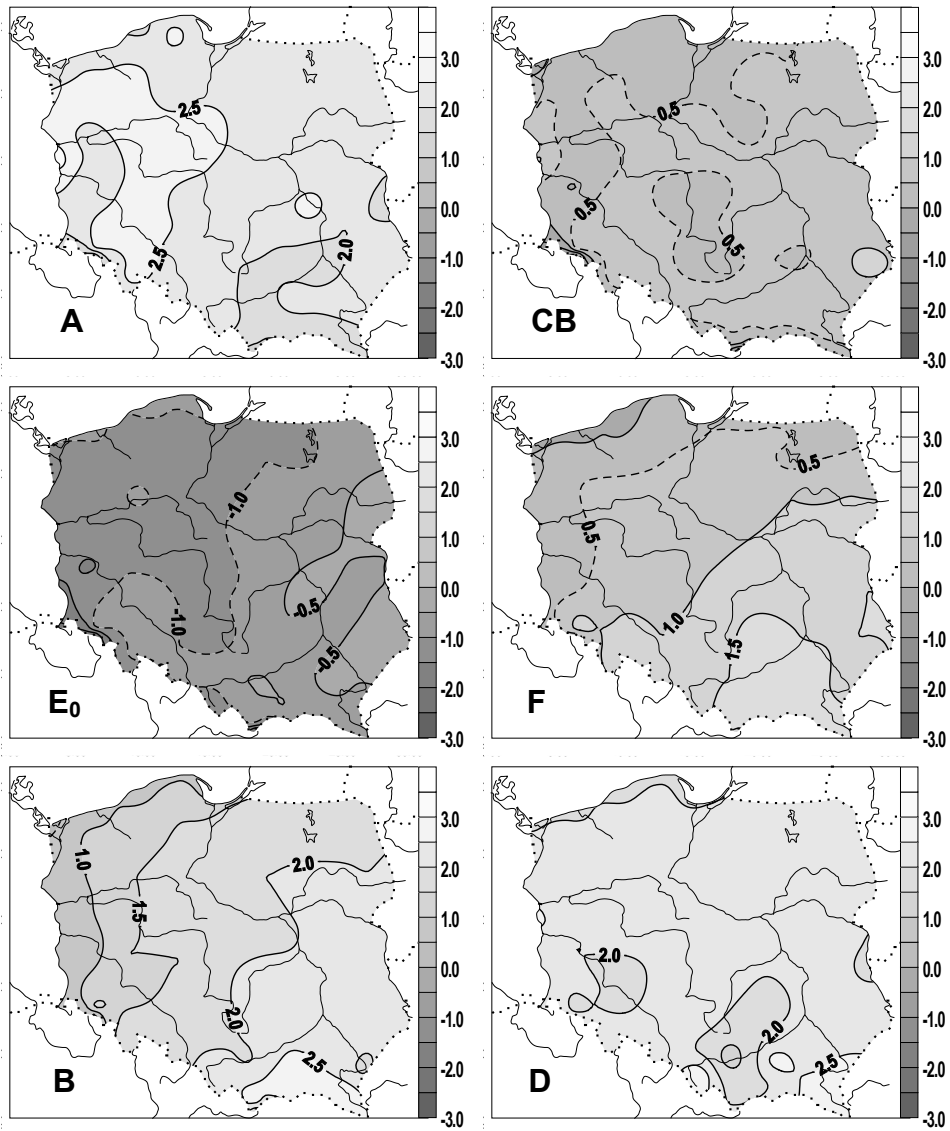


Rys. 61a. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej (1971-1995) – rok (obliczone ze średnich miesięcznych temperatur)

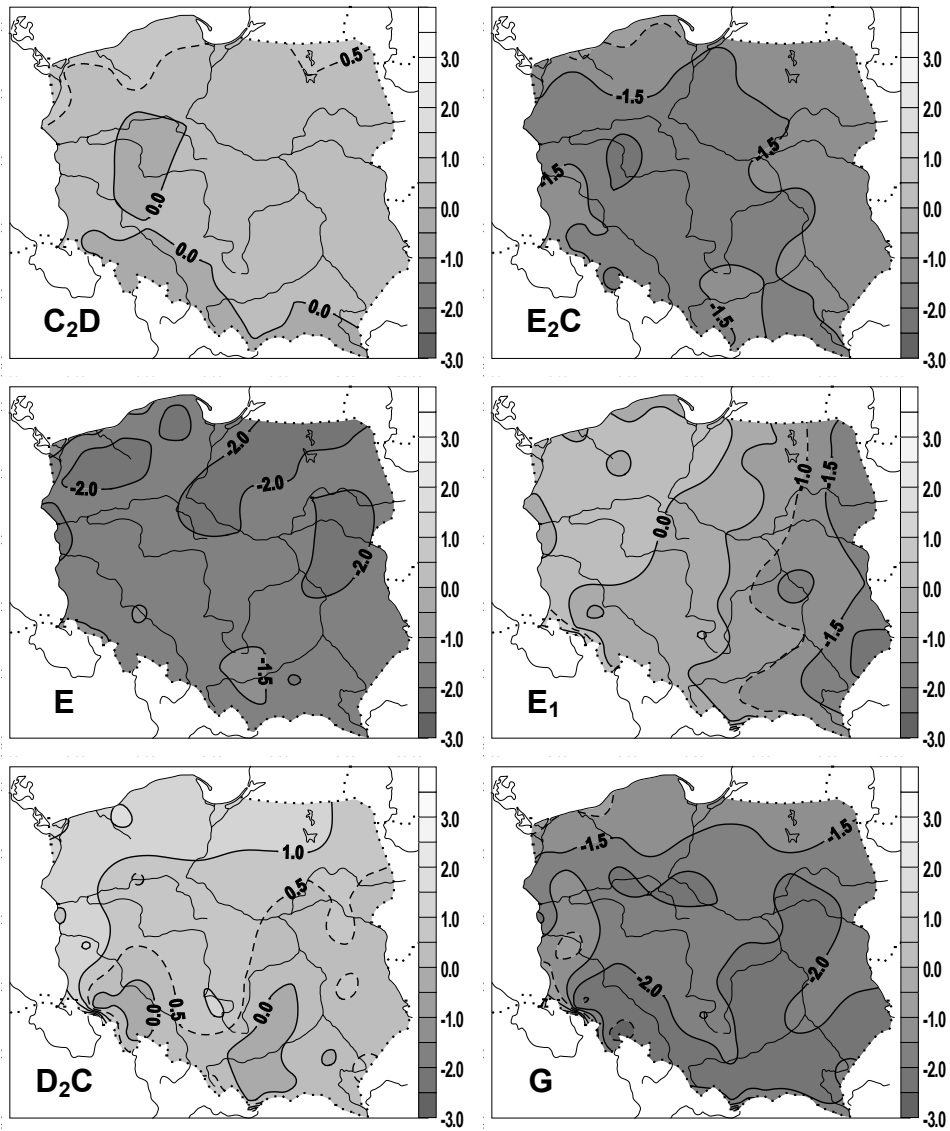


Rys. 61b. Anomalie maksymalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej w latach 1971-1995 - rok (obliczone ze średnich miesięcznych temperatur)





Rys. 62a. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji cyklonalnej w latach 1971-1995 - rok (obliczone ze średnich miesięcznych temperatur)



Rys. 62b. Anomalie minimalnej temperatury powietrza w Polsce (°C) w zależności od typów cyrkulacji antycyklonalnej w latach 1971-1995 - rok (obliczone ze średnich miesięcznych temperatur)

## VI. Z BADAŃ OKRESOWOŚCI I TENDENCJI ZMIAN BURZ W POLSCE

Celem badań jest określenie zmienności w czasie i w przestrzeni burz w Polsce – ich cykliczności i tendencji zmian. Wykazano też zależność liczby dni z burzą od aktywności Słońca, typów cyrkulacji, ciśnienia atmosferycznego i temperatury powietrza. Ważnym zagadnieniem są prognozy zmian aktywności burzowej do 2025 roku.

Problemy te rozwiązano na przykładzie danych z 20 stacji meteorologicznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie z lat 1951-1990.

### 1. Zmiany roczne liczby dni z burzą

Liczbę burz w Polsce w latach wcześniejszych 1946-1955, także w odniesieniu do obszaru Europy przedstawiają mapy na rys. 63-64. (Stopa, 1962, 1965). Średnią liczbę dni z burzą w poszczególnych miesiącach i porach roku w latach 1951-1990 zestawiono w tab. 4-5. Przebieg roczny liczby dni z burzą w Polsce w latach 1951-1990 charakteryzują wykresy na rys. 65a, b. Liczbę dni z burzą w poszczególnych porach roku w kolejnych latach 1951, 1952, ..., 1990 przedstawiają wykresy na rys. 66-85. Częstość dni z burzą w przebiegu rocznym w 40-leciu 1951-1990 na Kasprowym Wierchu oraz w Warszawie i Kołobrzegu charakteryzują diagramy na rys. 86-87.

Wzrost aktywności burzowej rozpoczyna się od kwietnia, o średniej liczbie dni z burzą wynoszącej: w Kołobrzegu – 0,8, Warszawie – 1,6 i na Kasprowym Wierchu – 1,7. Najwięcej dni burzowych w 11 miejscowościach wystąpiło w czerwcu (np. Kasprowy Wierch – 8,8); na 9 stacjach – w lipcu (np. Kołobrzeg – 4,3 i Warszawa – 6,0), a najmniej w grudniu i styczniu. We wszystkich miejscowościach od września występuje spadek liczby dni z burzą: Kołobrzeg (2,1), Warszawa (1,8) i Kasprowy Wierch (2,4).

W Polsce na ogół przeważają burze późnowiosenne, letnie i wczesnojesienne. Natomiast burze zimowe i późnojesienne są zjawiskiem sporadycznym. Najwięcej dni burzowych wystąpiło więc latem (65%), mniej na wiosnę (25%) i jesienią (9%). Zimą burze obserwowano bardzo rzadko (1%).

Cechą charakterystyczną przestrzennego rozkładu dni z burzą, występującą w 20 miejscowościach, jest stopniowy wzrost liczby dni z burzą z północy na południe Pol-

ski. Średnia liczba dni z burzą jest najmniejsza na wybrzeżu Polski: w Gdańsku (15,4 dni) i w Kołobrzegu (19,0). W pasie nizin wynosi ona poniżej 25 dni (np. Poznań – 21,0 dni, Białystok – 24,2). Wyjątek stanowi obszar Niziny Mazowieckiej (Warszawa – 26,1 dni), gdzie średnia liczba dni burzowych zbliżona jest do liczby dni charakterystycznej dla terenów wyżynnych (Kielce – 25,8 dni, Kraków – 26,9 dni i Zamość – 29,4 dni). W Karpatach i na Pogórzu Karpackim średnia liczba dni z burzą wynosi ponad 30: na Kasprowym Wierchu – 34,4 a w Przemyślu – 31,1 dni.

Maksymalna liczba dni z burzą w roku w Polsce waha się od 26 w Gdańsku aż do 55 na Kasprowym Wierchu. Powyżej 35 dni z burzą występuje w środkowej, wschodniej i południowo-zachodniej Polsce. Natomiast najmniejsza liczba dni z burzą występuje wokół Zatoki Szczecińskiej (Szczecin – 30 dni) i Zatoki Gdańskiej (Gdańsk – 26 dni).

Mała liczba dni z burzą występuje również na Pojezierzu Wielkopolskim (Poznań – 31 dni) i we wschodniej części Niziny Śląskiej (Wrocław – 31 dni), czyli w zachodniej Polsce, charakteryzującej się większymi wpływami klimatu oceanicznego.

Zwiększenie częstości występowania dni burzowych z północy na południe Polski związane jest przede wszystkim ze wzrostem wysokości nad poziomem morza. Ponadto niższa temperatura i mniejsza wilgotność powietrza w wyższych szerokościach geograficznych nie sprzyjają powstawaniu burz – podobnie jest w całej Europie.

Najdłuższy okres występowania dni z burzą wynosi 336 dni z Warszawy (1975 r.), najkrótszy zaś, trwa 61 dni w Kołobrzegu (1959 r.).

Pierwsze burze wiosenne najwcześniej pojawiają się w marcu, a najpóźniej w początkach maja. Średnia data początku wzmożonej aktywności burzowej na badanym obszarze waha się między 1 kwietnia (Kraków, Warszawa i Zielona Góra) a 26 kwietnia (Terespol). Średni początek działalności burzowej w Polsce przypada na 13 kwietnia (na podstawie danych z 20 stacji meteorologicznych).

Ostatnie dni z burzą najwcześniej występują po 24 lipca, a najpóźniej – 31 grudnia. W Polsce średnia data końca okresu burzowego przypada 30 września. Jednak w różnych regionach kraju zakres wahań obejmuje miesiąc, od 19 września w Terespolu do 19 października w Kołobrzegu. Na zachodnich krańcach Polski i w górach oraz na Nizinie Mazowieckiej, wzmożona aktywność burzowa kończy się średnio w październiku. Na pozostałym terenie, im dalej na wschód, tym wcześniej kończy się okres aktywności burzowej (we wrześniu).

Prawdopodobnie ma to związek z typami występujących burz: frontalnymi i wewnątrzmasowymi. W klimacie umiarkowanym przejściowym, o dominującym wpływie mas powietrza kontynentalnego, przeważają burze lokalne – wewnątrzmasowe związane z wysoką temperaturą i dużą wilgotnością powietrza (tak właśnie jest we wschodniej Polsce). Z kolei zachodnia część Polski znajdująca się pod większym wpływem mas powietrza oceanicznego charakteryzuje się dużą frekwencją burz frontalnych. Powstają

one na froncie chłodnym i zokludowanym, które przynoszą ze sobą niżę, wędrujące nad Morzem Bałtyckim i Półwyspem Skandynawskim (więcej frontów przechodzi nad zachodnią, niż wschodnią częścią Polski.

Równocześnie, na wybrzeżu, przesunięcie okresu aktywności burzowej na jesień (połowa października) może wynikać z akumulacji ciepła przez powierzchnię Ziemi w ciągu lata (energii słonecznej) – przez morze i oddawaniu go atmosferze z pewnym opóźnieniem (jesienią). Jest to zgodne z mechanizmem powstawania burz termicznych, które potrzebują dostawy ciepła i pary wodnej z atmosfery, a pośrednio z nagrzanej powierzchni lądu lub wody.

W latach 1951-1990 największa aktywność burzowa wystąpiła w okresie od 1955 do 1968 roku w większości miejscowości (prócz siedmiu, położonych w południowej i wschodniej Polsce). Wyodrębniono lata o bardzo dużej i bardzo małej frekwencji dni burzowych. Latami bardzo burzowymi były: 1955, 1961, 1963, 1968 i 1972. Do lat o bardzo małej liczbie dni z burzą zaliczono: 1953, 1973 i 1976 r.

## **2. Zmiany cykliczne liczby dni z burzą**

Innym rozwiązaniem problemu jest określenie cykliczności dni z burzą w latach 1951-1990 na podstawie kolejnych maksimów obecnych w seriach codziennych obserwacji i kolejnych lat.

Na terenie Polski dominują krótkie okresy codziennie występujących burz. Wyznaczone je z odstępów czasu między kolejnymi dniami o maksymalnej liczbie burz. Okresy 2-3 dniowe, 4-5 dniowe i powyżej 6 dni są uwarunkowane cyrkulacją atmosferyczną.

W Polsce w sezonie burzowym (wiosna-jesień) zaznaczają się krótkie odstępy czasu między kolejnymi maksimami: od dwu do jedenastu lat. Najdłuższe cykle: 11-, 10-, 9-letnie występują jesienią (Gdańsk i Warszawa). Maksima liczby dni z burzą powtarzają się najczęściej co 2, 3 lub 4 lata (sporadycznie – co 11 lat). Najdłuższym cyklem w 4 miejscowościach był cykl czteroletni (Kasprowy Wierch, Zamość Białystok i Zielona Góra), na 12 – pięcioletni. W Olsztynie i Wrocławiu najdłuższy cykl wynosi 6 lat, w Krakowie – 8 lat, a w Toruniu – 9 lat.

W badanych 40-leciu wykryto okresy dni z burzą (tzw. ciągi dni burzowych). Najkrótszy trwał 2 dni (występował we wszystkich miejscowościach), a najdłuższy 11 dni – w Tatrach, na Kasprowym Wierchu (31 maja – 10 czerwca 1960).

We wszystkich badanych miejscowościach wystąpiły co najmniej 5-dniowe ciągi dni burzowych. Okresy te były najdłuższe na wybrzeżu Polski (Szczecin, Kołobrzeg, Gdańsk), na Pojezierzu Wielkopolskim (Poznań), na Nizinie Śląskiej (Wrocław) i Mazowieckiej (Warszawa) oraz przy wschodniej granicy Polski (Terespol). Najdłuższe ciągi dni burzowych stanowią od 0,6% do 3,3% ogólnej liczby dni burzowych, jaka wystąpiła w całej Polsce.

Najkrótsze ciągi burzowe występują najczęściej. Najwięcej, bo ponad 50% ogólnej liczby dni z burzą, stanowią pojedyncze dni burzowe (oprócz Kasprowego Wierchu – 37,3%, Przemyśla – 49,2% i Zamościa – 48,4%). Natomiast w Gdańsku, Kołobrzegu, Olsztynie, Poznaniu, Szczecinie i Wrocławiu pojedyncze dni burzowe stanowią ponad 60%. Na wszystkich stacjach 2-dniowe ciągi osiągały 20-30% dni burzowych ogółem.

Kilkudniowe (5-11) okresy występowania dni z burzami zdarzają się bardzo rzadko (na 40 lat – zaledwie kilkanaście razy). Świadczy to, że warunki synoptyczne sprzyjające ich powstawaniu nie trwają długo – 1 lub 2 dni. Wynika to z dużej dynamiki zmian cyrkulacji atmosferycznej w umiarkowanych szerokościach geograficznych – o przejściowym klimacie.

Większą wartość poznawczą mają okresy liczby dni z burzą wyznaczone metodą „sinusoid regresji”:

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

gdzie  $b$  – amplituda,  $c$  – przesunięcie fazowe,  $t$  – czas.

Zmieniając okres sinusoidy  $\Theta$  w paśmie 2,1-40 lat – co 0,1 roku, otrzymano ciągi wartości wariancji reszkowej  $\epsilon_i^2$  – tzw. widma. Minima lokalne wariancji reszkowej – (maksyma współczynnika korelacji) to okresy  $\Theta$ , wykryte w seriach 40-letnich dni z burzą rys. 87-91. Parametry cykli dni z burzą wraz z ich ocenami dokładności zestawiono w tab. 6a i b. Liczbę przypadków wykrytych cykli dni z burzą w Polsce w latach 1951-1990 w paśmie 2,1-40 lat przedstawia rys. 88.

Wykazano podobieństwo widm liczby dni z burzą, aktywności Słońca, cyrkulacji atmosferycznej, ciśnienia i temperatury powietrza. Wszystkie cykle (łącznie 188) wyznaczone metodą „sinusoid regresji” zawierają się w pięciu przedziałach: 2,3-4,5 lat, 4,7-6,6 lat, 7,0-9,4 lat, 10,1-13,7 lat i dłuższe > 14,3 lat (rys. 89a i b).

### 3. Zależność dni z burzą od typów cyrkulacji atmosferycznej

Badano również zmiany aktywności burzowej w zależności od typów cyrkulacji atmosferycznej w Polsce. Wybrano klasyfikację typów cyrkulacji atmosferycznej według B. Osuchowskiej-Klein (1978 i 1991). Pod uwagę wzięto tylko sezon burzowy (od maja do sierpnia). Prawdopodobieństwo wystąpienia (%) dni z burzą w różnych typach cyrkulacji w maju (1951-1990) charakteryzują tabele 7-11. Typy cyrkulacji atmosferycznej sprzyjające i niesprzyjające występowaniu burz w tym miesiącu są określone w tab. 12-16, a częstość dni z burzą – na rys. 90-94.

W latach 1951-1990, w maju powstawaniu burz sprzyjają typy cyrkulacji cyklonalnej: północno-wschodniej i wschodniej  $E_0$  ( $NE_C$  i  $E_C$ ) oraz południowo-wschodniej  $F$  ( $SE_C$ ), typ cyrkulacji antycyklonalnej północno-wschodniej  $E$  ( $NE_A$ ) i typ nieokreślony  $X$ . Natomiast występowaniu dni burzowych nie sprzyjają: typ cyklonalny zachodni  $A$  ( $W_C$ ), typy antycyklonalne południowy i południowo-zachodni  $D_2C$  ( $S_A$  i  $SW_A$ ) i cen-

tralny antycyklonalny G ( $C_A$  – centrum wysokiego ciśnienia nad Polską) oraz typ południowy BE ( $S_{C/A}$  – pośredni między cyklonalnym i antycyklonalnym).

W czerwcu, lipcu i sierpniu burzom sprzyjają typy: północno-wschodni i wschodni cyklonalny  $E_0$  ( $NE_C$  i  $E_C$ ), północno-zachodni cyklonalny CB ( $NW_C$ ) oraz północno-wschodni antycyklonalny E ( $NE_A$ ), zachodni antycyklonalny  $C_2D$  ( $W_A$ ) i typ nieokreślony X. W czerwcu nie sprzyjają typy cyrkulacji: południowy cyklonalny B ( $S_C$ ), południowy i południowo-zachodni antycyklonalny  $D_2C$  ( $S_A$  i  $SW_A$ ), północno-zachodni antycyklonalny  $E_2C$  ( $NW_A$ ), centralny antycyklonalny G ( $C_A$ ) oraz południowy BE ( $S_{C/A}$ ).

Oprócz wymienionych typów cyrkulacji w lipcu i sierpniu niesprzyjający jeszcze jest typ południowo-wschodni cyklonalny F ( $SE_C$ ), a ponadto w lipcu – typ zachodni cyklonalny A ( $W_C$ ). Częściej (około 25% ogólnej liczby dni burzowych) burze pojawiały się także podczas nieokreślonej sytuacji synoptycznej (X).

Najwięcej jest burz spowodowanych warunkami synoptycznymi, jakie powstały pod wpływem północno-wschodniej i wschodniej cyrkulacji cyklonalnej (typ  $E_0$ ) oraz północno-zachodniej cyrkulacji cyklonalnej (typ CB). Wtedy częstość występowania dni burzowych związana jest z przechodzeniem frontu chłodnego (burze frontalne) oraz frontu zokludowanego o charakterze chłodnym, podczas wędrówki niżu nad środkową lub północną Europą. Rzadko powstawały przy tym charakterze cyrkulacji burze wewnątrzmasowe. Natomiast, gdy masy powietrza przemieszczają się pod wpływem cyrkulacji północno-wschodniej antycyklonalnej (typ E), pojawiają się burze wewnątrzmasowe (lokalne – termiczne) występujące często w środkowych, południowych i wschodnich regionach Polski znajdujących się pod większym wpływem mas powietrza polarno-kontynentalnego.

W analizowanych 21 dniach (w Warszawie i na Kasprowym Wierchu) najczęściej występowały burze wewnątrzmasowe, a rzadziej – w ciągu 6 dni – frontalne. Powstawaniu burz sprzyjały masy powietrza polarnego morskiego starego oraz północno-wschodnia cyrkulacja antycyklonalna. Ponadto na szczególnie zwiększoną działalność burzową miały wpływ także warunki regionalne i lokalne (zwiększona powierzchnia czynna w górach sprzyja wymianie ciepła i pary wodnej drogą silnej konwekcji). Burze przeważnie występowały po południu (między godziną 13 i 19 – 10 dni z burzą), a najrzadziej nocą i nad ranem (między godziną 0 i 7 – 2 dni z burzą). Najbardziej sprzyjające warunki do powstania burz panują więc w godzinach popołudniowych i wieczornych, a najmniej – w godzinach nocnych i porannych. Potwierdzają to również wartości elementów meteorologicznych, gdyż najlepsze dla burz warunki termiczno-wilgotnościowe panowały po południu (największe wypromieniowanie ciepła z podłoża, wzrost wilgotności powietrza i spadek ciśnienia atmosferycznego).

#### 4. Tendencje zmian aktywności burzowej w Polsce

Tendencje burz w Polsce ( współczynniki  $a$ ) określone równaniami prostych regresji:

$$L_b = a_0 + at$$

charakteryzują rys. 48 i tab. 6 oraz rys.49 i 53. Tendencje dni z burzą są ujemne ( $a < 0$ ) w 13 regionach (na Pobrzeżu Szczecińskim, Pobrzeżu Słowińskim, Pobrzeżu Gdańskim, Pojezierzu Pomorskim, Pojezierzu Mazurskim: Olsztyn i Suwałki, w Pradolinie Toruńsko-Eberswaldzkiej, na Wzniesieniach Zielonogórskich, Nizinie Mazowieckiej, Wyżynie Wieluńskiej, Pogórzu Podkarpackim: Przemyśl, w Karkonoszach i Tatrach), a w 7 – dodatnie –  $a > 0$  (na Nizinie Podlaskiej, Pojezierzu Wielkopolskim, Polesiu Podlaskim, w Górach Świętokrzyskich, na Nizinie Śląskiej, Pogórzu Podkarpackim: Kraków oraz Wyżynie Lubelskiej).

Największy spadek liczby dni z burzą występuje w wysokich górach: Karkonoszach i Tatrach, wynosi on odpowiednio na Śnieżce -8,2 dni z burzą a na Kasprowym Wierchu -8,12 dni burzowych w ciągu 40 lat.

Dużym spadkiem (od -6 do -8 dni) liczby dni z burzą w badanym 40-leciu szczególnie wyróżniają się obszary górskie i zachodnie regiony Polski, a małym spadkiem liczby dni z burzą (od -0,2 do -1 dnia) charakteryzuje północno- i południowo-wschodnią i środkową część Polski.

Największy wzrost liczby dni z burzą, sięgający powyżej 6 dni w ciągu 40 lat, wystąpił w Górach Świętokrzyskich (6,6 dni z burzą na 40 lat), oraz na Nizinie Śląskiej (6,32 dni burzowych podczas 40 lat).

W siedmiu miejscowościach (Poznań, Wrocław, Kielce, Kraków, Białystok, Terespol i Zamość), o znacznej tendencji rosnącej dni z burzą w badanych latach 1951-1990 (wschodnia, środkowa i południowa część Polski, oprócz terenów wysokogórskich w Tatrach i Sudetach) zagrożenie stratami spowodowanymi przez burze (a zwłaszcza przez towarzyszące im pioruny, silny wiatr i gradobicie) jest duże. Ten wzrost aktywności burzowej można tłumaczyć wpływem czynników naturalnych – silniejszym oddziaływaniem kontynentalnych mas powietrza na tych terenach (wschodnia i południowo-wschodnia Polska), czyli zwiększeniem liczby burz wewnątrzmasowych. W przypadku dużych miast w zachodniej i południowej Polsce (Wrocław, Poznań, Kraków) zwiększonej liczbie dni burzowych (raczej wewnątrzmasowych, niż frontalnych) sprzyja silnie rozwinięta konwekcja nad rozgrzаныmi, betonowymi powierzchniami budynków i ulic, oraz intensywny rozwój aglomeracji miejskiej emitującej sztuczne ciepło do atmosfery, czyli wpływ czynników antropogenicznych i jednocześnie naturalnych (położenie fizycznogeograficzne tych miast w sąsiedztwie obszarów będących dodatkowym źródłem pary wodnej – rzek, bagien i jezior).



Stwierdzono także niewielki spadek liczby dni z burzą w Warszawie w sezonie późnowiosennym i letnim (-4 dni/40 lat). Jest on związany z dość znacznym spadkiem udziału cyrkulacji zachodniej (-8,13 dni/30 lat) i dużym wzrostem cyrkulacji wschodniej (10,47 dni/30 lat) w ogólnej cyrkulacji atmosferycznej. Zmniejszona liczba dni z burzą występuje przy większym ciśnieniu atmosferycznym w okresie późnowiosennym oraz mniejszym w miesiącach letnich. W 30-leciu 1951-1980 średnia temperatura powietrza w Warszawie wykazuje bardzo małą tendencję spadkową, ale już w latach 1966-1995 jest ona dodatnia.

Temperatura maksymalna w późniejszym 30-leciu również charakteryzuje się tendencją wzrostową. W przypadku Warszawy, tj. wielkiej aglomeracji miejskiej zaobserwowano jednak niewielki spadek aktywności burzowej w badanym 40-leciu. Miejska wyspa ciepła (antropogeniczny wzrost temperatury powietrza) i mniejsza wilgotność powietrza w Warszawie, są prawdopodobnie przyczyną tego spadku. Ponadto z prognozy na lata 1991-2025 potwierdzonych przez obserwacje wynika, że w latach 90-tych nastąpił wzrost liczby dni z burzą, do wartości zbliżonej do przeciętnej w Warszawie.

## **5. Prognoza dni z burzą w latach 2000-2025**

Z prognoz liczby dni z burzą w trzech regionach Polski: Tatry, Nizina Mazowiecka i Północne Karpaty wynika, że możemy spodziewać się zwiększonej liczby dni z burzą w latach od 2014 do 2016 i 2020 roku. Natomiast mniej burz prawdopodobnie pojawi się w dwóch regionach: na Nizinie Mazowieckiej i Północnym Karpaty w latach 2009-2013, a we wszystkich trzech – od 2017 do 2019 roku (rys. 96a i b).

Z prognoz wynika, że spośród 20 miejscowości – w 11 z nich można się spodziewać zwiększonej liczby dni z burzą w kilkuletnich przedziałach czasu: 2002-2003, 2014-2016 r. i w końcu prognozowanego 35-lecia (Białystok, Chojnice, Gdańsk, Kołobrzeg, Kraków, Śnieżka, Toruń, Wieluń, Wrocław, Zamość, Zielona Góra).

Zmniejszonej aktywności burzowej możemy spodziewać się na początku, w środku i na końcu prognozowanego 35-lecia, a w 5 miejscowościach: na Kasprowym Wierchu, w Przemyślu, we Wrocławiu, w Terespolu i Olsztynie.

W większości miejscowości w Polsce prognozowane maksima dni burzowych (po roku 1991) przypadają na lata: 2004 (11 miejscowości), 2005 (10 miejscowości), 2018 (13 miejscowości), 2020 (14 miejscowości) i 2021 (13 miejscowości).

Tab. 4. Średnia liczba dni z burzą w poszczególnych miesiącach roku (1951-1990)

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Białystok	0,0	0,0	0,3	1,4	4,6	5,4	5,8	4,5	1,8	0,2	0,1	0,0
Chojnice	0,0	0,1	0,2	1,2	3,7	5,1	5,0	3,5	1,5	0,4	0,2	0,1
Gdańsk	0,0	0,0	0,0	0,6	2,8	3,3	3,8	3,0	1,3	0,3	0,1	0,1
Kasprowy W.	0,0	0,0	0,2	1,7	6,4	8,8	7,9	6,5	2,4	0,2	0,1	0,2
Kielce	0,0	0,0	0,2	1,7	4,8	5,9	6,0	5,2	1,6	0,2	0,0	0,0
Kołobrzeg	0,0	0,1	0,2	0,8	3,0	3,6	4,3	3,5	2,1	0,8	0,5	0,2
Kraków	0,2	0,2	0,4	1,6	5,0	6,4	6,0	4,8	2,0	0,3	0,2	0,1
Olsztyn	0,1	•	0,4	1,2	3,8	4,2	4,6	3,4	1,4	0,3	0,1	0,1
Poznań	0,0	0,0	0,5	1,0	3,4	4,8	4,7	4,0	1,6	0,5	0,2	0,1
Przemysł	0,1	0,0	0,2	1,5	5,8	7,8	7,5	5,6	2,0	0,4	0,2	•
Suwałki	•	•	0,1	1,3	3,8	5,9	5,6	3,8	1,6	0,2	0,1	0,0
Szczecin	0,0	0,1	0,2	1,0	3,3	4,1	4,8	3,4	1,7	0,4	0,2	0,1
Śnieżka	0,0	•	0,2	1,2	5,2	6,8	6,0	5,5	1,9	0,4	0,1	0,0
Terespol	0,0	•	0,1	0,8	4,6	5,4	5,1	4,0	1,2	0,1	0,0	0,0
Toruń	0,0	0,0	0,2	1,4	4,2	5,4	5,2	4,1	1,8	0,3	0,1	0,0
Warszawa	0,1	0,1	0,4	1,6	4,6	5,8	6,0	4,8	1,8	0,5	0,2	0,0
Wieluń	0,0	0,1	0,2	1,4	4,8	5,6	5,5	4,8	1,6	0,4	0,1	0,1
Wrocław	•	0,1	0,3	1,0	3,5	5,0	4,6	3,6	1,3	0,3	0,0	0,0
Zamość	•	0,0	0,3	1,7	5,6	7,0	7,2	5,3	1,9	0,3	0,0	0,0
Zielona G.	0,1	0,1	0,2	1,6	4,0	5,3	5,6	4,9	2,0	0,2	0,2	0,1
Polska	0,03	0,04	0,2	1,3	4,3	5,6	5,6	4,4	1,7	0,3	0,1	0,06

• – zjawisko burzy nie wystąpiło

0,0 – wartość obliczona mniejsza od 0,1

Tab. 5. Liczba dni z burzą w poszczególnych porach roku (1951-1990)

Stacja	Wiosna			Lato			Jesień			Zima		
	min	max	śr.	min	max	śr.	min	max	śr.	min	max	śr.
Białystok	0	13	6,2	7	28	15,7	0	6	2,1	0	1	0,1
Chojnice	0	11	5,1	5	25	13,7	0	7	2,1	0	2	0,2
Gdańsk	0	12	3,4	3	20	10,2	0	6	1,6	0	1	0,1
Kasprowy Wierch	2	24	8,3	12	36	23,1	0	7	2,7	0	2	0,3
Kielce	2	15	6,7	7	26	17,1	0	7	1,9	0	1	0,1
Kołobrzeg	0	11	4,0	4	18	11,3	0	8	3,4	0	5	0,4
Kraków	0	14	6,9	9	25	17,2	0	6	2,4	0	4	0,4
Olsztyn	0	14	5,3	5	20	12,2	0	5	1,7	0	2	0,2
Poznań	1	10	5,0	7	22	13,5	0	5	2,3	0	1	0,2
Przemysł	3	13	7,6	15	31	20,9	0	8	2,5	0	1	0,1
Suwałki	1	11	5,2	8	23	15,3	0	8	2,0	0	1	0,0
Szczecin	0	11	4,6	4	22	12,4	0	7	2,2	0	2	0,2
Śnieżka	2	15	6,6	6	27	18,3	1	5	2,3	0	1	0,1
Terespol	0	13	5,5	0	25	14,4	0	4	1,4	0	2	0,1
Toruń	1	14	5,7	6	24	14,7	0	7	2,2	0	1	0,1
Warszawa	0	14	6,7	10	25	16,6	0	7	2,5	0	2	0,2
Wieluń	2	14	6,5	5	24	16,0	0	6	2,0	0	3	0,2
Wrocław	0	12	4,9	4	23	13,6	0	6	1,6	0	2	0,1
Zamość	3	15	7,6	12	29	19,5	0	8	2,2	0	1	0,1
Zielona Góra	1	12	6,0	7	30	15,8	0	7	2,4	0	2	0,3
Polska	0	24	5,9	3	36	15,6	0	8	2,2	0	4	0,2

Tab. 6a. Parametry cykli dni z burzą:  $b$  – amplituda,  $c$  – przesunięcie fazowe i oceny dokładności aproksymacji:  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji

Białystok					Chojnice				
Okres	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	Okres	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
2,5	3,315	1,6512	28,923	0,424	2,5	2,796	1,0844	23,466	0,420
3,0	1,614	-1,7817	33,114	0,247	2,7	1,456	0,4155	26,049	0,293
3,2	0,517	-0,4299	34,395	0,157	3,0	1,862	-2,3211	25,163	0,342
3,6	3,055	0,1206	29,964	0,388	3,3	1,160	-0,2771	26,917	0,235
4,3	2,493	-1,2686	31,45	0,329	3,7	1,417	-0,1154	26,311	0,277
5,9	2,251	-0,6198	32,259	0,292	4,4	2,553	0,8589	25,09	0,345
7,4	0,536	-1,3903	34,816	0,112	6,1	1,438	-1,9257	27,085	0,222
8,7	0,486	-1,1053	35,201	0,041	7,9	1,190	3,0759	28,004	0,131
12,1	3,034	2,1894	29,212	0,414	8,9	0,481	0,6079	28,013	0,129
20,5	1,431	-2,0605	32,413	0,284	13,4	2,480	0,6390	24,719	0,364
					29,3	2,560	0,6056	24,508	0,374

Gdańsk					Kasprowy Wierch				
Okres	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	Okres	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
2,5	1,775	0,3381	15,007	0,320	2,7	1,732	-1,3672	36,993	0,185
3,2	1,003	0,7690	16,125	0,189	2,9	1,268	2,6222	37,269	0,164
3,9	1,960	-1,3629	15,209	0,301	3,1	2,195	-0,0315	36,706	0,204
4,7	1,927	-1,8794	15,363	0,285	3,8	4,386	-2,1295	30,576	0,449
5,7	1,576	-0,1081	15,388	0,282	5,5	1,606	-0,1765	37,153	0,173
7,8	1,344	1,6815	15,936	0,217	8,9	1,985	-1,3597	36,612	0,210
13,7	1,341	2,3195	15,557	0,264	17,8	2,901	1,3046	33,424	0,357
32,4	2,469	-1,4463	13,339	0,450					

Kraków					Olsztyn				
Okres	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	Okres	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
2,5	2,262	-0,8414	16,523	0,405	2,3	3,209	-1,5439	28,483	0,325
2,8	0,895	-1,3258	18,861	0,213	2,5	2,817	1,4830	27,659	0,363
3,6	3,418	-1,5710	13,972	0,541	2,8	2,060	1,1019	29,373	0,279
5,5	0,753	-1,7023	19,568	0,099	3,2	2,145	0,5635	29,505	0,271
6,5	0,641	1,5092	19,449	0,125	3,5	1,401	0,8391	30,334	0,218
8,5	2,305	-1,4740	17,545	0,335	3,9	0,424	-1,4311	31,674	0,074
11,2	1,597	2,0873	17,821	0,313	4,5	2,747	1,0304	28,111	0,343
18,1	1,345	-0,5678	17,927	0,305	7,4	0,887	-1,6571	31,433	0,114
					9,4	0,558	-0,3022	31,294	0,132
					13,1	1,981	-2,1520	27,979	0,349
					25,6	3,206	-2,7904	24,137	0,492

Poznań					Przemyśl				
Okres	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	Okres	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
2,5	1,467	0,8385	16,077	0,303	2,3	2,079	-1,1846	14,177	0,357
2,7	1,878	1,1163	15,353	0,364	2,7	0,783	-1,2773	15,52	0,212
3,4	2,073	-2,3699	14,837	0,402	3,0	1,126	0,9526	15,134	0,262
3,8	0,991	1,5356	16,154	0,296	3,6	1,131	-1,7910	15,23	0,251
4,3	1,149	-0,3819	16,121	0,299	4,3	0,584	-0,2522	15,928	0,141
4,8	1,761	2,9028	15,792	0,328	5,1	1,920	0,7359	13,752	0,392
6,6	1,989	1,3604	14,825	0,403	6,5	1,138	-2,1304	15,511	0,213
9,3	1,037	-3,1198	16,938	0,207	8,2	0,656	-1,3122	15,791	0,168
13,4	1,397	0,1757	16,131	0,298	15,2	2,134	1,9527	13,656	0,400
28,6	1,860	2,8258	15,695	0,337					

Suwałki					Szczecin				
Okres	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$	Okres	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
2,3	2,795	-1,2747	20,475	0,406	2,5	1,370	1,3802	16,863	0,273
3,0	1,471	-1,2662	23,067	0,243	2,7	1,630	0,0875	16,141	0,338
3,4	1,044	-1,6892	23,459	0,208	3,0	1,132	-1,9768	16,469	0,310
3,7	1,447	-0,5920	22,192	0,308	3,3	1,471	-0,6886	16,288	0,326
4,2	1,568	-1,4108	22,644	0,277	4,0	1,098	1,6746	17,228	0,233
5,1	0,367	3,0334	24,335	0,087	5,1	2,513	-2,8497	15,143	0,411
6,0	1,660	2,1251	21,944	0,324	6,2	2,086	-0,0050	16,841	0,275
7,5	1,677	2,2125	22,275	0,303	11,6	1,191	2,7087	17,634	0,179
12,0	2,329	-0,4692	20,389	0,410	19,4	0,042	-2,7990	17,77	0,157
19,9	1,987	-1,7163	21,115	0,373					

Tab. 6b. Parametry cykli dni z burzą:  $b$  – amplituda,  $c$  – przesunięcie fazowe i oceny dokładności aproksymacji:  $\varepsilon^2$  – wariancja resztkowa,  $R$  – współczynnik korelacji

Śnieżka				
Okres	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
2,5	1,116	1,1109	24,153	0,167
2,8	1,608	0,9789	22,607	0,300
3,0	0,447	-1,6571	24,218	0,159
3,4	2,797	2,7087	20,577	0,415
4,0	1,867	-2,8702	22,998	0,273
4,8	2,353	2,2534	21,637	0,360
5,8	1,300	-2,0442	22,554	0,304
7,0	0,717	0,8405	24,28	0,151
8,0	0,579	-2,8038	24,635	0,093
10,5	1,246	2,0865	22,953	0,276
14,7	0,410	0,3550	24,571	0,106
24,0	1,353	0,9555	23,419	0,240

Terespol				
Okres	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
2,3	2,835	-0,7369	25,389	0,356
2,8	2,588	0,0318	25,741	0,338
3,3	0,851	3,0807	28,577	0,130
3,7	1,418	-2,3200	27,553	0,228
4,1	2,631	2,0698	26,06	0,322
5,0	2,177	-0,5064	27,268	0,249
5,9	1,682	-1,2103	27,574	0,227
7,5	1,063	2,3149	27,948	0,196
10,8	2,760	-0,9720	25,612	0,345

Toruń				
Okres	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
2,5	2,712	0,5199	16,263	0,461
2,7	1,984	1,1212	17,48	0,392
3,0	0,996	-2,8121	19,738	0,211
3,2	1,218	1,4412	19,666	0,219
3,8	0,854	1,7594	20,081	0,167
4,7	1,710	-1,3651	18,984	0,285
6,3	1,676	0,0818	18,619	0,314
8,2	1,161	-0,1973	19,251	0,261
10,8	1,128	-1,5497	20,137	0,159

Warszawa				
Okres	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
2,5	1,322	1,3687	19,108	0,238
2,8	2,349	0,2005	17,491	0,370
3,3	2,102	-0,7098	17,73	0,353
3,9	1,359	-0,2861	19,029	0,246
4,9	1,246	1,1882	18,751	0,273
5,9	2,513	-1,2438	16,138	0,451
7,3	0,280	2,1583	19,872	0,138
11,2	1,842	1,5647	17,757	0,351
19,5	1,258	-1,7173	18,257	0,314

Wieluń				
Okres	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
2,3	0,774	1,8544	24,155	0,102
2,5	0,777	0,3075	23,969	0,134
2,7	1,786	0,2838	22,524	0,278
3,3	2,984	-0,6361	18,367	0,498
3,7	1,196	-2,3134	23,78	0,161
4,2	2,321	-0,6290	20,771	0,386
5,4	1,011	2,2595	23,509	0,192
6,4	1,474	-1,2226	23,007	0,240
7,6	1,000	-1,7059	24	0,130
12,1	2,955	2,0445	20,067	0,422
19,2	0,745	-1,4753	24,3	0,067

Wrocław				
Okres	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
2,5	3,040	0,7862	19,779	0,429
3,1	2,609	2,0516	21,365	0,344
3,6	0,541	3,0770	24,048	0,089
4,1	1,222	2,9577	23,289	0,198
4,9	1,177	-2,7008	22,876	0,237
5,9	1,901	2,4345	21,594	0,330
7,3	1,601	0,1014	22,512	0,267
11,6	1,611	0,6861	22,476	0,270
18,6	2,023	-3,0137	20,234	0,407

Zamość				
Okres	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
2,4	1,884	-1,8634	24,035	0,233
2,7	2,214	-0,7468	23,255	0,291
3,2	1,095	-1,5078	24,36	0,203
3,6	1,623	-2,1428	23,468	0,276
4,0	2,292	2,2690	23,678	0,261
4,9	1,779	1,8783	22,411	0,344
6,2	1,961	0,5397	23,226	0,293
10,7	1,055	1,0406	24,568	0,182
16,7	2,072	-0,2005	23,206	0,295

Zielona Góra				
Okres	$b$	$c$	$\varepsilon^2$	$R$
2,3	1,765	2,0706	26,026	0,234
2,6	2,572	1,6089	24,154	0,351
3,3	2,220	-0,3916	25,542	0,269
3,7	1,637	-2,2168	26,214	0,219
5,3	1,929	0,1142	25,818	0,250
6,2	2,209	0,0052	25,543	0,269
10,1	1,840	2,8198	26,205	0,220
16,7	1,322	0,6378	25,85	0,248

Tab. 7. Prawdopodobieństwo wystąpienia (%) dni z burzą LDB w różnych typach cyrkulacji w maju (1951-1990)

kierunek adwekcji	NE i E				SE				S i SW				W				NW				inne							
	E <sub>0</sub>		E		F		E <sub>1</sub>		B		D		D <sub>2</sub> C		A		C <sub>2</sub> D		CB		E <sub>2</sub> C		G		BE		X	
	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%
typ cyrkul.	156	330	89	89	59	88	38	24	43	95	101	55	25	9	128													
dni z typem																												
Białystok	26	16,7	28	8,5	25	28,1	11	18,6	21	23,9	12	31,6	2	8,3	5	11,6	9	9,5	12	11,9	8	14,5	3	12,0	2	22,2	19	14,8
Chojnice	16	10,3	16	4,8	25	28,1	13	22,0	16	18,2	9	23,7	5	20,8	9	20,9	6	6,3	15	14,9	2	3,6	3	12,0	1	11,1	13	10,2
Gdańsk	15	9,6	6	1,8	19	21,3	9	15,3	17	19,3	9	23,7	0	-	5	11,6	8	8,4	3	3,0	5	9,1	2	8,0	3	33,3	11	8,6
Kasprowy W.	36	23,1	49	14,8	19	21,3	18	30,5	13	14,8	13	34,2	5	20,8	2	4,7	24	25,3	31	30,7	13	23,6	4	16,0	3	33,3	26	20,3
Kielce	23	14,7	32	9,7	21	23,6	11	18,6	20	22,7	5	13,2	2	8,3	8	18,6	12	12,6	15	14,9	10	18,2	3	12,0	2	22,2	26	20,3
Kolobrzeg	7	4,5	14	4,2	15	16,9	9	15,3	15	17,0	9	23,7	5	20,8	5	11,6	6	6,3	9	8,9	7	12,7	2	8,0	2	22,2	16	12,5
Kraków	25	16,0	38	11,5	18	20,2	9	15,3	22	25,0	7	18,4	1	4,2	9	20,9	15	15,8	18	17,8	7	12,7	3	12,0	5	55,6	21	16,4
Olsztyn	19	12,2	15	4,5	24	27,0	13	22,0	18	20,5	10	26,3	1	4,2	9	20,9	10	10,5	10	9,9	0	-	2	8,0	2	22,2	17	13,3
Poznań	10	6,4	29	8,8	23	25,8	7	11,9	16	18,2	5	13,2	1	4,2	9	20,9	7	7,4	10	9,9	3	5,5	3	12,0	0	-	15	11,7
Przemysł	28	17,9	45	13,6	29	32,6	13	22,0	21	23,9	6	15,8	4	16,7	10	23,3	14	14,7	17	16,8	11	20,0	4	16,0	5	55,6	27	21,1
Suwałki	19	12,2	21	6,4	22	24,7	10	16,9	19	21,6	8	21,1	3	12,5	9	20,9	10	10,5	13	12,9	6	10,9	0	-	1	11,1	11	8,6
Szczecin	9	5,8	20	6,1	16	18,0	9	15,3	16	18,2	13	34,2	2	8,3	7	16,3	5	5,3	9	8,9	3	5,5	2	8,0	3	33,3	19	14,8
Śnieżka	20	12,8	52	15,8	21	23,6	12	20,3	17	19,3	7	18,4	3	12,5	9	20,9	13	13,7	11	10,9	7	12,7	2	8,0	1	11,1	31	24,2
Terеспol	31	19,9	29	8,8	20	22,5	9	15,3	17	19,3	12	31,6	5	20,8	8	18,6	9	9,5	14	13,9	5	9,1	2	8,0	2	22,2	19	14,8
Toruń	18	11,5	25	7,6	25	28,1	10	16,9	16	18,2	11	28,9	3	12,5	7	16,3	9	9,5	12	11,9	7	12,7	3	12,0	2	22,2	18	14,1
Warszawa	24	15,4	25	7,6	25	28,1	10	16,9	24	27,3	7	18,4	3	12,5	8	18,6	10	10,5	16	15,8	9	16,4	2	8,0	2	22,2	19	14,8
Wieluń	21	13,5	35	10,6	22	24,7	7	11,9	20	22,7	9	23,7	1	4,2	10	23,3	14	14,7	15	14,9	11	20,0	3	12,0	2	22,2	22	17,2
Wrocław	19	12,2	32	9,7	16	18,0	10	16,9	14	15,9	8	21,1	1	4,2	3	7,0	7	7,4	5	5,0	5	9,1	2	8,0	0	-	23	18,0
Zamość	32	20,5	31	9,4	26	29,2	10	16,9	25	28,4	14	36,8	5	20,8	8	18,6	11	11,6	23	22,8	8	14,5	2	8,0	4	44,4	26	20,3
Zielona G.	14	9,0	26	7,9	18	20,2	11	18,6	17	19,3	8	21,1	3	12,5	10	23,3	10	10,5	10	9,9	7	12,7	2	8,0	1	11,1	25	19,5

Tab. 8. Prawdopodobieństwo wystąpienia (%) dni z burzą LDB w różnych typach cyrkulacji w czerwcu (1951-1990)

kierunek adwekcji	NE i E			SE			S i SW						W			NW			inne									
	E <sub>0</sub>	E		F	E <sub>1</sub>		B	D	D <sub>2</sub> C		A	C <sub>2</sub> D		CB	E <sub>2</sub> C		G	BE		X								
		LDB	%		LDB	%			LDB	%		LDB	%		LDB	%		LDB	%		LDB	%	LDB	%	LDB	%		
typ cyrkul.	174	285	29	34	31	45	24	42	165	179	40	26	3	121														
dni z typem	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%						
Białystok	35	20,1	40	14,0	13	44,8	3	8,8	9	29,0	6	13,3	5	20,8	9	21,4	18	10,9	41	22,9	2	5,0	3	11,5	0	-	33	27,3
Chojnice	26	14,9	40	14,0	12	41,4	9	26,5	5	16,1	11	24,4	6	25,0	6	14,3	21	12,7	33	18,4	2	5,0	3	11,5	0	-	30	24,8
Gdansk	13	7,5	16	5,6	7	24,1	11	32,4	4	12,9	7	15,6	4	16,7	7	16,7	15	9,1	23	12,8	0	-	2	7,7	0	-	23	19,0
Kasprowy W.	49	28,2	88	30,9	17	58,6	9	26,5	10	32,3	18	40,0	4	16,7	11	26,2	48	29,1	37	20,7	9	22,5	3	11,5	0	-	47	38,8
Kielce	35	20,1	44	15,4	13	44,8	4	11,8	9	29,0	12	26,7	3	12,5	13	31,0	28	17,0	37	20,7	5	12,5	4	15,4	0	-	29	24,0
Kolobrzeg	12	6,9	18	6,3	7	24,1	8	23,5	3	9,7	12	26,7	3	12,5	7	16,7	17	10,3	26	14,5	2	5,0	6	23,1	0	-	21	17,4
Krakow	40	23,0	56	19,6	14	48,3	2	5,9	12	38,7	10	22,2	1	4,2	10	23,8	31	18,8	34	19,0	9	22,5	3	11,5	0	-	32	26,4
Olsztyn	32	18,4	25	8,8	7	24,1	3	8,8	6	19,4	8	17,8	6	25,0	10	23,8	20	12,1	24	13,4	1	2,5	2	7,7	1	33,3	22	18,2
Poznan	28	16,1	36	12,6	10	34,5	10	29,4	3	9,7	9	20,0	7	29,2	6	14,3	19	11,5	25	14,0	5	12,5	4	15,4	0	-	30	24,8
Przemysl	48	27,6	67	23,5	17	58,6	8	23,5	6	19,4	15	33,3	5	20,8	11	26,2	37	22,4	44	24,6	11	27,5	4	15,4	0	-	37	30,6
Suwalki	43	24,7	41	14,4	15	51,7	7	20,6	8	25,8	13	28,9	3	12,5	14	33,3	20	12,1	40	22,3	2	5,0	3	11,5	0	-	28	23,1
Szczecin	20	11,5	27	9,5	10	34,5	7	20,6	4	12,9	11	24,4	2	8,3	6	14,3	18	10,9	20	11,2	4	10,0	2	7,7	0	-	32	26,4
Śnieżka	41	23,6	65	22,8	9	31,0	14	41,2	4	12,9	9	20,0	6	25,0	9	21,4	29	17,6	35	19,6	10	25,0	6	23,1	1	33,3	33	27,3
Terespól	34	19,5	39	13,7	14	48,3	2	5,9	8	25,8	12	26,7	5	20,8	7	16,7	25	15,2	34	19,0	5	12,5	1	3,8	0	-	28	23,1
Toruń	35	20,1	31	10,9	13	44,8	9	26,5	8	25,8	6	13,3	6	25,0	8	19,0	23	13,9	37	20,7	3	7,5	2	7,7	0	-	34	28,1
Warszawa	38	21,8	39	13,7	13	44,8	3	8,8	8	25,8	8	17,8	3	12,5	12	28,6	32	19,4	37	20,7	2	5,0	4	15,4	0	-	32	26,4
Wieluń	33	19,0	45	15,8	12	41,4	5	14,7	10	32,3	8	17,8	2	8,3	8	19,0	26	15,8	37	20,7	3	7,5	2	7,7	0	-	35	28,9
Wrocław	36	20,7	44	15,4	10	34,5	6	17,6	4	12,9	7	15,6	8	33,3	5	11,9	18	10,9	29	16,2	6	15,0	3	11,5	1	33,3	26	21,5
Zamość	55	31,6	56	19,6	18	62,1	6	17,6	12	38,7	11	24,4	3	12,5	8	19,0	26	15,8	44	24,6	6	15,0	4	15,4	0	-	30	24,8
Zielona G.	29	16,7	42	14,7	7	24,1	8	23,5	3	9,7	14	31,1	7	29,2	8	19,0	20	12,1	29	16,2	5	12,5	6	23,1	0	-	34	28,1

Tab. 9. Prawdopodobieństwo wystąpienia (%) dni z burzą LDB w różnych typach cyrkulacji w lipcu (1951-1990)

kierunek adwekcji	NE i E		SE		S i SW				W				NW				inne												
	E <sub>0</sub>		E <sub>1</sub>		B		D		D <sub>2</sub> C		A		C <sub>2</sub> D		CB		E <sub>2</sub> C		G		BE		X						
	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%					
typ cyrkul.	175		241		22		25		14		26		29		58		248		273		30		19		0		80		
dni z typem	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	
Białystok	53	30,3	31	12,9	4	18,2	8	32,0	5	35,7	7	26,9	1	3,4	10	17,2	40	16,1	51	18,7	0	0	0	0	0	0	0	21	26,3
Chojnice	27	15,4	38	15,8	5	22,7	9	36,0	2	14,3	11	42,3	6	20,7	6	10,3	23	9,3	40	14,7	5	16,7	4	21,1	0	0	0	26	32,5
Gdansk	16	9,1	20	8,3	3	13,6	9	36,0	3	21,4	8	30,8	4	13,8	4	6,9	22	8,9	36	13,2	3	10,0	4	21,1	0	0	0	22	27,5
Kasprowy W.	41	23,4	67	27,8	3	13,6	15	60,0	6	42,9	7	26,9	1	3,4	12	20,7	62	25,0	59	21,6	8	26,7	1	5,3	0	0	0	33	41,3
Kielce	35	20,0	43	17,8	9	40,9	8	32,0	7	50,0	6	23,1	1	3,4	14	24,1	39	15,7	51	18,7	4	13,3	1	5,3	0	0	0	22	27,5
Kolobrzeg	15	8,6	23	9,5	4	18,2	7	28,0	2	14,3	11	42,3	6	20,7	9	15,5	31	12,5	38	13,9	3	10,0	1	5,3	0	0	0	21	26,3
Krakow	37	21,1	41	17,0	5	22,7	4	16,0	7	50,0	6	23,1	1	3,4	16	27,6	34	13,7	56	20,5	8	26,7	1	5,3	0	0	0	23	28,8
Olsztyn	31	17,7	24	10,0	3	13,6	6	24,0	3	21,4	8	30,8	1	3,4	8	13,8	29	11,7	45	16,5	4	13,3	4	21,1	0	0	0	20	25,0
Poznan	26	14,9	34	14,1	7	31,8	5	20,0	5	35,7	11	42,3	6	20,7	7	12,1	23	9,3	40	14,7	3	10,0	4	21,1	0	0	0	18	22,5
Przemysl	50	28,6	68	28,2	5	22,7	8	32,0	6	42,9	6	23,1	2	6,9	11	19,0	36	14,5	79	28,9	6	20,0	1	5,3	0	0	0	21	26,3
Suwalki	38	21,7	33	13,7	3	13,6	9	36,0	8	57,1	9	34,6	4	13,8	5	8,6	33	13,3	53	19,4	5	16,7	1	5,3	0	0	0	22	27,5
Szczecin	22	12,6	33	13,7	5	22,7	7	28,0	2	14,3	9	34,6	5	17,2	5	8,6	36	14,5	40	14,7	4	13,3	4	21,1	0	0	0	22	27,5
Śnieżka	23	13,1	44	18,3	5	22,7	11	44,0	4	28,6	9	34,6	6	20,7	8	13,8	50	20,2	47	17,2	6	20,0	3	15,8	0	0	0	26	32,5
Terespol	41	23,4	35	14,5	4	18,2	7	28,0	4	28,6	2	7,7	1	3,4	10	17,2	34	13,7	41	15,0	3	10,0	0	0	0	0	0	21	26,3
Toruń	32	18,3	32	13,3	8	36,4	8	32,0	4	28,6	11	42,3	2	6,9	13	22,4	27	10,9	46	16,8	6	20,0	4	21,1	0	0	0	17	21,3
Warszawa	40	22,9	42	17,4	5	22,7	7	28,0	6	42,9	7	26,9	2	6,9	11	19,0	30	12,1	62	22,7	4	13,3	3	15,8	0	0	0	22	27,5
Wielun	38	21,7	38	15,8	7	31,8	5	20,0	6	42,9	7	26,9	1	3,4	10	17,2	31	12,5	50	18,3	4	13,3	4	21,1	0	0	0	20	25,0
Wroclaw	18	10,3	33	13,7	7	31,8	6	24,0	3	21,4	7	26,9	4	13,8	12	20,7	26	10,5	47	17,2	2	6,7	4	21,1	0	0	0	19	23,8
Zamosc	51	29,1	51	21,2	4	18,2	7	28,0	5	35,7	6	23,1	2	6,9	15	25,9	48	19,4	70	25,6	6	20,0	1	5,3	0	0	0	23	28,8
Zielona G.	30	17,1	44	18,3	9	40,9	6	24,0	3	21,4	9	34,6	7	24,1	10	17,2	33	13,3	44	16,1	7	23,3	5	26,3	0	0	0	18	22,5

Tab. 10. Prawdopodobieństwo wystąpienia (%) dni z burzą LDB w różnych typach cyrkulacji w sierpniu (1951-1990)

kierunek adwekcji	NE i E			SE			S i SW						W			NW						inny						
	E <sub>0</sub>		E	F		E <sub>1</sub>	B		D	D <sub>2</sub> C		A	C <sub>2</sub> D		CB	E <sub>2</sub> C		G	BE		X							
	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%						
typ cyrkul.	133	251	35	77	33	78	19	89	171	169	22	26	0	137														
dni z typem																												
Białystok	16	12,0	3	8,6	9	11,7	9	27,3	23	29,5	0	—	20	22,5	12	7,0	30	17,8	4	18,2	2	7,7	0	—	23	16,8		
Chojnice	20	15,0	19	7,6	4	11,4	20	26,0	5	15,2	15	19,2	2	10,5	14	15,7	7	4,1	18	10,7	1	4,5	2	7,7	0	—	14	10,2
Gdańsk	14	10,5	17	6,8	5	14,3	17	22,1	8	24,2	13	16,7	2	10,5	10	11,2	6	3,5	11	6,5	1	4,5	1	3,8	0	—	16	11,7
Kasprowy W.	33	24,8	52	20,7	9	25,7	32	41,6	9	27,3	14	17,9	1	5,3	14	15,7	26	15,2	29	17,2	4	18,2	7	26,9	0	—	29	21,2
Kielce	20	15,0	38	15,1	5	14,3	16	20,8	7	21,2	21	26,9	3	15,8	16	18,0	17	9,9	38	22,5	1	4,5	1	3,8	0	—	25	18,2
Kołobrzeg	11	8,3	6	2,4	3	8,6	24	31,2	6	18,2	12	15,4	3	15,8	15	16,9	8	4,7	25	14,8	1	4,5	3	11,5	0	—	23	16,8
Kraków	24	18,0	44	17,5	9	25,7	14	18,2	6	18,2	19	24,4	0	—	14	15,7	16	9,4	27	16,0	1	4,5	2	7,7	0	—	18	13,1
Olsztyn	12	9,0	20	8,0	3	8,6	13	16,9	11	33,3	13	16,7	1	5,3	15	16,9	6	3,5	25	14,8	0	—	1	3,8	0	—	17	12,4
Poznań	19	14,3	20	8,0	6	17,1	18	23,4	4	12,1	16	20,5	3	15,8	14	15,7	13	7,6	23	13,6	2	9,1	4	15,4	0	—	17	12,4
Przemysł	23	17,3	57	22,7	9	25,7	8	10,4	14	42,4	21	26,9	1	5,3	16	18,0	21	12,3	39	23,1	2	9,1	1	3,8	0	—	14	10,2
Suwałki	14	10,5	23	9,2	4	11,4	11	14,3	11	33,3	13	16,7	0	—	15	16,9	9	5,3	27	16,0	2	9,1	1	3,8	0	—	21	15,3
Szczecin	13	9,8	14	5,6	12	34,3	17	22,1	4	12,1	11	14,1	2	10,5	10	11,2	12	7,0	17	10,1	2	9,1	3	11,5	0	—	20	14,6
Śnieżka	18	13,5	39	15,5	12	34,3	24	31,2	8	24,2	17	21,8	4	21,1	18	20,2	25	14,6	32	18,9	1	4,5	3	11,5	0	—	19	13,9
Terespol	19	14,3	26	10,4	3	8,6	5	6,5	10	30,3	20	25,6	0	—	16	18,0	16	9,4	26	15,4	0	—	1	3,8	0	—	16	11,7
Toruń	21	15,8	23	9,2	5	14,3	15	19,5	7	21,2	22	28,2	2	10,5	11	12,4	15	8,8	24	14,2	0	—	2	7,7	0	—	17	12,4
Warszawa	23	17,3	27	10,8	4	11,4	15	19,5	7	21,2	21	26,9	3	15,8	15	16,9	19	11,1	32	18,9	1	4,5	1	3,8	0	—	24	17,5
Wieluń	18	13,5	41	16,3	7	20,0	17	22,1	10	30,3	21	26,9	1	5,3	12	13,5	19	11,1	28	16,6	2	9,1	1	3,8	0	—	16	11,7
Wrocław	17	12,8	27	10,8	10	28,6	15	19,5	3	9,1	12	15,4	3	15,8	7	7,9	17	9,9	22	13,0	1	4,5	0	—	0	—	17	12,4
Zamość	21	15,8	46	18,3	7	20,0	6	7,8	12	36,4	19	24,4	0	—	22	24,7	23	13,5	32	18,9	2	9,1	1	3,8	0	—	21	15,3
Zielona G.	18	13,5	31	12,4	10	28,6	22	28,6	6	18,2	17	21,8	4	21,1	19	21,3	17	9,9	26	15,4	2	9,1	4	15,4	0	—	21	15,3



Tab. 11. Prawdopodobieństwo wystąpienia (%) dni z burzą LDB w różnych typach cyrkulacji od maja do sierpnia (1951-1990)

kierunek adwekcji	NE i E		SE		S i SW				W				NW				inne													
	E <sub>0</sub>		E <sub>1</sub>		B		D <sub>2</sub> C		A		C <sub>2</sub> D		CB		E <sub>2</sub> C		G		BE		X									
	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%								
typ cyrkul.	638		1107		175		195		166		187		96		232		679		722		147		96		12		466			
dni z typem	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%	LDB	%
Białystok	130	20,4	129	11,7	45	25,7	31	15,9	44	26,5	48	25,7	8	8,3	44	19,0	79	11,6	134	18,6	14	9,5	8	8,3	2	16,7	96	20,6		
Chojnice	89	13,9	113	10,2	46	26,3	51	26,2	28	16,9	46	24,6	19	19,8	35	15,1	57	8,4	106	14,7	10	6,8	12	12,5	1	8,3	83	17,8		
Gdansk	58	9,1	59	5,3	34	19,4	46	23,6	32	19,3	37	19,8	10	10,4	26	11,2	51	7,5	73	10,1	9	6,1	9	9,4	3	25,0	72	15,5		
Kasprowy W.	159	24,9	256	23,1	48	27,4	74	37,9	38	22,9	52	27,8	11	11,5	39	16,8	160	23,6	156	21,6	34	23,1	15	15,6	3	25,0	135	29,0		
Kielce	113	17,7	157	14,2	48	27,4	39	20,0	43	25,9	44	23,5	9	9,4	51	22,0	96	14,1	141	19,5	20	13,6	9	9,4	2	16,7	102	21,9		
Kolobrzeg	45	7,1	61	5,5	29	16,6	48	24,6	26	15,7	44	23,5	17	17,7	36	15,5	62	9,1	98	13,6	13	8,8	12	12,5	2	16,7	81	17,4		
Krakow	126	19,7	179	16,2	46	26,3	29	14,9	47	28,3	42	22,5	3	3,1	49	21,1	96	14,1	135	18,7	25	17,0	9	9,4	5	41,7	94	20,2		
Olsztyn	94	14,7	84	7,6	37	21,1	35	17,9	38	22,9	39	20,9	9	9,4	42	18,1	65	9,6	104	14,4	5	3,4	9	9,4	3	25,0	76	16,3		
Poznan	83	13,0	119	10,7	46	26,3	40	20,5	28	16,9	41	21,9	17	17,7	36	15,5	62	9,1	98	13,6	13	8,8	15	15,6	0	0,0	80	17,2		
Przemysl	149	23,4	237	21,4	60	34,3	37	19,0	47	28,3	48	25,7	12	12,5	48	20,7	108	15,9	179	24,8	30	20,4	10	10,4	5	41,7	99	21,2		
Suwalki	114	17,9	118	10,7	44	25,1	37	19,0	46	27,7	43	23,0	10	10,4	43	18,5	72	10,6	133	18,4	15	10,2	5	5,2	1	8,3	82	17,6		
Szczecin	64	10,0	94	8,5	43	24,6	40	20,5	26	15,7	44	23,5	11	11,5	28	12,1	71	10,5	86	11,9	13	8,8	11	11,5	3	25,0	93	20,0		
Śnieżka	102	16,0	200	18,1	47	26,9	61	31,3	33	19,9	42	22,5	19	19,8	44	19,0	117	17,2	125	17,3	24	16,3	14	14,6	2	16,7	109	23,4		
Terespol	125	19,6	129	11,7	41	23,4	23	11,8	39	23,5	46	24,6	11	11,5	41	17,7	84	12,4	115	15,9	13	8,8	4	4,2	2	16,7	84	18,0		
Toruń	106	16,6	111	10,0	51	29,1	42	21,5	35	21,1	50	26,7	13	13,5	39	16,8	74	10,9	119	16,5	16	10,9	11	11,5	2	16,7	86	18,5		
Warszawa	125	19,6	133	12,0	47	26,9	35	17,9	45	27,1	43	23,0	11	11,5	46	19,8	91	13,4	147	20,4	16	10,9	10	10,4	2	16,7	97	20,8		
Wielun	110	17,2	159	14,4	48	27,4	34	17,4	46	27,7	45	24,1	5	5,2	40	17,2	90	13,3	130	18,0	20	13,6	10	10,4	2	16,7	93	20,0		
Wroclaw	90	14,1	136	12,3	43	24,6	37	19,0	24	14,5	34	18,2	16	16,7	27	11,6	68	10,0	103	14,3	14	9,5	9	9,4	1	8,3	85	18,2		
Zamosc	159	24,9	184	16,6	55	31,4	29	14,9	54	32,5	50	26,7	10	10,4	53	22,8	108	15,9	169	23,4	22	15,0	8	8,3	4	33,3	100	21,5		
Zielona G.	91	14,3	143	12,9	44	25,1	47	24,1	29	17,5	48	25,7	21	21,9	47	20,3	80	11,8	109	15,1	21	14,3	17	17,7	1	8,3	98	21,0		

Tab. 12. Typy cyrkulacji atmosferycznej sprzyjające i nie sprzyjające występowaniu burz w Polsce w maju (1951-1990)

liczba dni z typem cyrkulacji	E <sub>0</sub>	F	B	D	A	CB	E	E <sub>1</sub>	D <sub>2</sub> C	C <sub>2</sub> D	E <sub>2</sub> C	G	BE	X	
Białystok	<b>26</b>	<b>25</b>	<b>21</b>	12	<u>5</u>	12	<b>28</b>	11	<u>2</u>	9	8	<u>3</u>	<u>2</u>	<b>19</b>	
Chojnice	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>16</b>	9	9	<b>15</b>	<b>16</b>	13	<u>5</u>	6	2	<u>3</u>	<u>1</u>	13	
Gdańsk	<b>15</b>	<b>19</b>	<b>17</b>	9	<u>5</u>	<u>3</u>	6	9	0	8	<u>5</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	11	
Kasprowy W.	<b>36</b>	<b>19</b>	13	13	2	31	49	<b>18</b>	<u>5</u>	<b>24</b>	13	4	<u>3</u>	<b>26</b>	
Kielce	<b>23</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<u>5</u>	8	15	32	11	<u>2</u>	12	10	<u>3</u>	<u>2</u>	<b>26</b>	
Kolobrzeg	7	<b>15</b>	<b>15</b>	9	<u>5</u>	9	14	9	<u>5</u>	6	7	<u>2</u>	<u>2</u>	<b>16</b>	
Kraków	<b>25</b>	<b>18</b>	<b>22</b>	7	9	<b>18</b>	<b>38</b>	9	1	<b>15</b>	7	<u>3</u>	<u>5</u>	<b>21</b>	
Olsztyn	<b>19</b>	<b>24</b>	<b>18</b>	10	9	10	<b>15</b>	13	<u>1</u>	10	0	<u>2</u>	<u>2</u>	<b>17</b>	
Poznań	10	<b>23</b>	<b>16</b>	<u>5</u>	9	10	<b>29</b>	7	<u>1</u>	7	<u>3</u>	<u>3</u>	0	<b>15</b>	
Przemyśl	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>21</b>	6	10	<b>17</b>	<b>45</b>	13	4	14	11	4	<u>5</u>	<b>27</b>	
Suwałki	<b>19</b>	<b>22</b>	<b>19</b>	8	9	13	<b>21</b>	10	<u>3</u>	10	6	0	<u>1</u>	11	
Szczecin	9	<b>16</b>	<b>16</b>	13	7	9	<b>20</b>	9	2	<u>5</u>	<u>3</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<b>19</b>	
Snieżka	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>17</b>	7	9	11	<b>52</b>	12	<u>3</u>	13	7	<u>2</u>	<u>1</u>	<b>31</b>	
Terespol	<b>31</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	12	8	14	<b>29</b>	9	<u>5</u>	9	<u>5</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<b>19</b>	
Toruń	<b>18</b>	<b>25</b>	<b>16</b>	11	7	12	<b>25</b>	10	<u>3</u>	9	7	<u>3</u>	<u>2</u>	<b>18</b>	
Warszawa	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>24</b>	7	8	<b>16</b>	<b>25</b>	10	<u>3</u>	10	9	<u>2</u>	<u>2</u>	<b>19</b>	
Wieluń	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>20</b>	9	10	<b>15</b>	<b>35</b>	7	<u>1</u>	14	11	<u>3</u>	<u>2</u>	<b>22</b>	
Wrocław	<b>19</b>	<b>16</b>	14	8	<u>3</u>	<u>5</u>	<b>32</b>	10	<u>1</u>	7	<u>5</u>	<u>2</u>	0	<b>23</b>	
Zamość	<b>32</b>	<b>26</b>	<b>25</b>	14	8	<b>23</b>	<b>31</b>	10	<u>5</u>	11	8	<u>2</u>	<u>4</u>	<b>26</b>	
Zielona G.	14	<b>18</b>	<b>17</b>	8	10	10	<b>26</b>	11	<u>3</u>	10	7	<u>2</u>	<u>1</u>	<b>25</b>	
suma	412	429	364	182	150	268	568	211	<u>55</u>	<u>209</u>	134	49	43	404	
suma typ. cyrk.	1805						1226								
liczba przypad.	16	20	18	2	5	8;2	18	1	20	2;1	7	20	20	17	

Wartości  **pogrubione** – typy cyrkulacji sprzyjające występowaniu burz,  
 wartości  podkreślone – typy cyrkulacji nie sprzyjające występowaniu burz

Tab. 13. Typy cyrkulacji atmosferycznej sprzyjające i nie sprzyjające występowaniu burz w Polsce w czerwcu (1951-1990)

liczba dni z typem cyrkulacji	E <sub>0</sub>	F	B	D	A	CB	E	E <sub>1</sub>	D <sub>2</sub> C	C <sub>2</sub> D	E <sub>2</sub> C	G	BE	X	
Białystok	<b>35</b>	13	9	6	9	<b>41</b>	<b>40</b>	<u>3</u>	<u>5</u>	<b>18</b>	<u>2</u>	<u>3</u>	0	<b>33</b>	
Chojnice	<b>26</b>	12	<u>5</u>	11	6	<b>33</b>	<b>40</b>	9	6	<b>21</b>	<u>2</u>	<u>3</u>	0	<b>30</b>	
Gdańsk	13	7	<u>4</u>	7	7	<b>23</b>	<b>16</b>	11	4	<b>15</b>	0	<u>2</u>	0	<b>23</b>	
Kasprowy W.	<b>49</b>	<b>17</b>	10	<b>18</b>	11	<b>37</b>	<b>88</b>	9	<u>4</u>	<b>48</b>	9	<u>3</u>	0	<b>47</b>	
Kielce	<b>35</b>	13	9	12	13	<b>37</b>	<b>44</b>	4	<u>3</u>	<b>28</b>	<u>5</u>	4	0	<b>29</b>	
Kolobrzeg	12	7	<u>3</u>	12	7	<b>26</b>	<b>18</b>	8	<u>3</u>	<b>17</b>	<u>2</u>	6	0	<b>21</b>	
Kraków	<b>40</b>	14	12	10	10	<b>34</b>	<b>56</b>	2	<u>1</u>	<b>31</b>	9	<u>3</u>	0	<b>32</b>	
Olsztyn	<b>32</b>	7	6	8	10	<b>24</b>	<b>25</b>	<u>3</u>	6	<b>20</b>	<u>1</u>	<u>2</u>	1	<b>22</b>	
Poznań	<b>28</b>	10	<u>3</u>	9	6	<b>25</b>	<b>36</b>	10	7	<b>19</b>	<u>5</u>	4	0	<b>30</b>	
Przemyśl	<b>48</b>	<b>17</b>	6	15	11	<b>44</b>	<b>67</b>	8	<u>5</u>	<b>37</b>	11	4	0	<b>37</b>	
Suwałki	<b>43</b>	<b>15</b>	8	13	14	<b>40</b>	<b>41</b>	7	<u>3</u>	<b>20</b>	<u>2</u>	<u>3</u>	0	<b>28</b>	
Szczecin	<b>20</b>	10	<u>4</u>	11	6	<b>20</b>	<b>27</b>	7	<u>2</u>	<b>18</b>	<u>4</u>	<u>2</u>	0	<b>32</b>	
Snieżka	<b>41</b>	9	<u>4</u>	9	9	<b>35</b>	<b>65</b>	14	6	<b>29</b>	10	6	<u>1</u>	<b>33</b>	
Terespol	<b>34</b>	14	8	12	7	<b>34</b>	<b>39</b>	<u>2</u>	<u>5</u>	<b>25</b>	<u>5</u>	<u>1</u>	0	<b>28</b>	
Toruń	<b>35</b>	13	8	6	8	<b>37</b>	<b>31</b>	9	6	<b>23</b>	<u>3</u>	<u>2</u>	0	<b>34</b>	
Warszawa	<b>38</b>	13	8	8	12	<b>37</b>	<b>39</b>	<u>3</u>	<u>3</u>	<b>32</b>	<u>2</u>	4	0	<b>32</b>	
Wieluń	<b>33</b>	12	10	8	8	<b>37</b>	<b>45</b>	<u>5</u>	<u>2</u>	<b>26</b>	<u>3</u>	<u>2</u>	0	<b>35</b>	
Wrocław	<b>36</b>	10	<u>4</u>	7	<u>5</u>	<b>29</b>	<b>44</b>	6	8	<b>18</b>	6	<u>3</u>	<u>1</u>	<b>26</b>	
Zamość	<b>55</b>	<b>18</b>	12	11	8	<b>44</b>	<b>56</b>	6	<u>3</u>	<b>26</b>	6	4	0	<b>30</b>	
Zielona G.	<b>29</b>	7	<u>3</u>	14	8	<b>29</b>	<b>42</b>	8	7	<b>20</b>	<u>5</u>	6	0	<b>34</b>	
suma	682	238	136	207	175	666	859	134	<u>89</u>	<u>491</u>	92	67	3	616	
suma typ. cyrk.	2104						1732								
liczba przypad.	18	4	8	2	1	20	20	7	13	20	14	17	20	20	

Objaśnienia jak w tab. 12

Tab. 14. Typy cyrkulacji atmosferycznej sprzyjające i nie sprzyjające występowaniu burz w Polsce w lipcu (1951-1990)

liczba dni z typem cyrkulacji	E <sub>0</sub>	F	B	D	A	CB	E	E <sub>1</sub>	D <sub>2</sub> C	C <sub>2</sub> D	E <sub>2</sub> C	G	BE	X
	175	22	14	26	58	273	241	25	29	248	30	19	0	80
Białystok	53	4	5	7	10	51	31	8	1	40	0	0	0	21
Chojnice	27	5	2	11	6	40	38	9	6	23	5	4	0	26
Gdańsk	16	3	3	8	4	36	20	9	4	22	3	4	0	22
Kasprowy W.	41	3	6	7	12	59	67	15	1	62	8	1	0	33
Kielce	35	9	7	6	14	51	43	8	1	39	4	1	0	22
Kołoźbrzeg	15	4	2	11	9	38	23	7	6	31	3	1	0	21
Kraków	37	5	7	6	16	56	41	4	1	34	8	1	0	23
Olsztyn	31	3	3	8	8	45	24	6	1	29	4	4	0	20
Poznań	26	7	5	11	7	40	34	5	6	23	3	4	0	18
Przemyśl	50	5	6	6	11	79	68	8	2	36	6	1	0	21
Suwałki	38	3	8	9	5	53	33	9	4	33	5	1	0	22
Szczecin	22	5	2	9	5	40	33	7	5	36	4	4	0	22
Snieżka	23	5	4	9	8	47	44	11	6	50	6	3	0	26
Terespol	41	4	4	2	10	41	35	7	1	34	3	0	0	21
Toruń	32	8	4	11	13	46	32	8	2	27	6	4	0	17
Warszawa	40	5	6	7	11	62	42	7	2	30	4	3	0	22
Wieluń	38	7	6	7	10	50	38	5	1	31	4	4	0	20
Wrocław	18	7	3	7	12	47	33	6	4	26	2	4	0	19
Zamość	51	4	5	6	15	70	51	7	2	48	6	1	0	23
Zielona G.	30	9	3	9	10	44	44	6	7	33	7	5	0	18
suma	664	105	91	157	196	995	774	152	63	687	91	50	0	437
suma typ. cyrk.			2208						1817				0	437
liczba przypad.	20	14	13	1	2;3	20	20	1;3	15	20	13	20	20	20

Objaśnienia jak w tab. 12

Tab. 15. Typy cyrkulacji atmosferycznej sprzyjające i nie sprzyjające występowaniu burz w Polsce w sierpniu (1951-1990)

liczba dni z typem cyrkulacji	E <sub>0</sub>	F	B	D	A	CB	E	E <sub>1</sub>	D <sub>2</sub> C	C <sub>2</sub> D	E <sub>2</sub> C	G	BE	X
	133	35	33	78	89	169	251	77	19	171	22	26	0	137
Białystok	16	3	9	23	20	30	30	9	0	12	4	2	0	23
Chojnice	20	4	5	15	14	18	19	20	2	7	1	2	0	14
Gdańsk	14	5	8	13	10	11	17	17	2	6	1	1	0	16
Kasprowy W.	33	9	9	14	14	29	52	32	1	26	4	7	0	29
Kielce	20	5	7	21	16	38	38	16	3	17	1	1	0	25
Kołoźbrzeg	11	3	6	12	15	25	6	24	3	8	1	3	0	23
Kraków	24	9	6	19	14	27	44	14	0	16	1	2	0	18
Olsztyn	12	3	11	13	15	25	20	13	1	6	0	1	0	17
Poznań	19	6	4	16	14	23	20	18	3	13	2	4	0	17
Przemyśl	23	9	14	21	16	39	57	8	1	21	2	1	0	14
Suwałki	14	4	11	13	15	27	23	11	0	9	2	1	0	21
Szczecin	13	12	4	11	10	17	14	17	2	12	2	3	0	20
Snieżka	18	12	8	17	18	32	39	24	4	25	1	3	0	19
Terespol	19	3	10	20	16	26	26	5	0	16	0	1	0	16
Toruń	21	5	7	22	11	24	23	15	2	15	0	2	0	17
Warszawa	23	4	7	21	15	32	27	15	3	19	1	1	0	24
Wieluń	18	7	10	21	12	28	41	17	1	19	2	1	0	16
Wrocław	17	10	3	12	7	22	27	15	3	17	1	0	0	17
Zamość	21	7	12	19	22	32	46	6	0	23	2	1	0	21
Zielona G.	18	10	6	17	19	26	31	22	4	17	2	4	0	21
suma	374	130	157	340	293	531	600	318	35	304	30	41	0	388
suma typ. cyrk.			1825						1328				0	388
liczba przypad.	15	10	4	13	11	19	18	13;1	20	12	20	19	20	18

Objaśnienia jak w tab. 12

Tab. 16. Typy cyrkulacji atmosferycznej sprzyjające i nie sprzyjające występowaniu burz w Polsce od maja do sierpnia (1951-1990)

liczba dni z typem cyrkulacji	E <sub>0</sub>	F	B	D	A	CB	E	E <sub>1</sub>	D <sub>2</sub> C	C <sub>2</sub> D	E <sub>2</sub> C	G	BE	X
	638	175	166	187	232	722	1107	195	96	679	147	96	12	466
Białystok	130	45	44	48	44	134	129	31	8	79	14	8	2	96
Chojnice	89	46	28	46	35	106	113	51	19	57	10	12	1	83
Gdańsk	58	34	32	37	26	73	59	46	10	51	9	9	3	72
Kasprowy W.	159	48	38	52	39	156	256	74	11	160	34	15	3	135
Kielce	113	48	43	44	51	141	157	39	9	96	20	9	2	102
Kolobrzeg	45	29	26	44	36	98	61	48	17	62	13	12	2	81
Kraków	126	46	47	42	49	135	179	29	3	96	25	9	5	94
Olsztyn	94	37	38	39	42	104	84	35	9	65	5	9	3	76
Poznań	83	46	28	41	36	98	119	40	17	62	13	15	0	80
Przemyśl	149	60	47	48	48	179	237	37	12	108	30	10	5	99
Suwałki	114	44	46	43	43	133	118	37	10	72	15	5	1	82
Szczecin	64	43	26	44	28	86	94	40	11	71	13	11	3	93
Snieżka	102	47	33	42	44	125	200	61	19	117	24	14	2	109
Terespol	125	41	39	46	41	115	129	23	11	84	13	4	2	84
Toruń	106	51	35	50	39	119	111	42	13	74	16	11	2	86
Warszawa	125	47	45	43	46	147	133	35	11	91	16	10	2	97
Wieluń	110	48	46	45	40	130	159	34	5	90	20	10	2	93
Wrocław	90	43	24	34	27	103	136	37	16	68	14	9	1	85
Zamość	159	55	54	50	53	169	184	29	10	108	22	8	4	100
Zielona G.	91	44	29	48	47	109	143	47	21	80	21	17	1	98
suma	2132	902	748	886	814	2460	2801	815	242	1691	347	207	46	1845
suma typ. cyrk.		7942						6103					46	1845
liczba przypad.	17	1	6	-	3	19	18	3	20	10	18	20	20	18

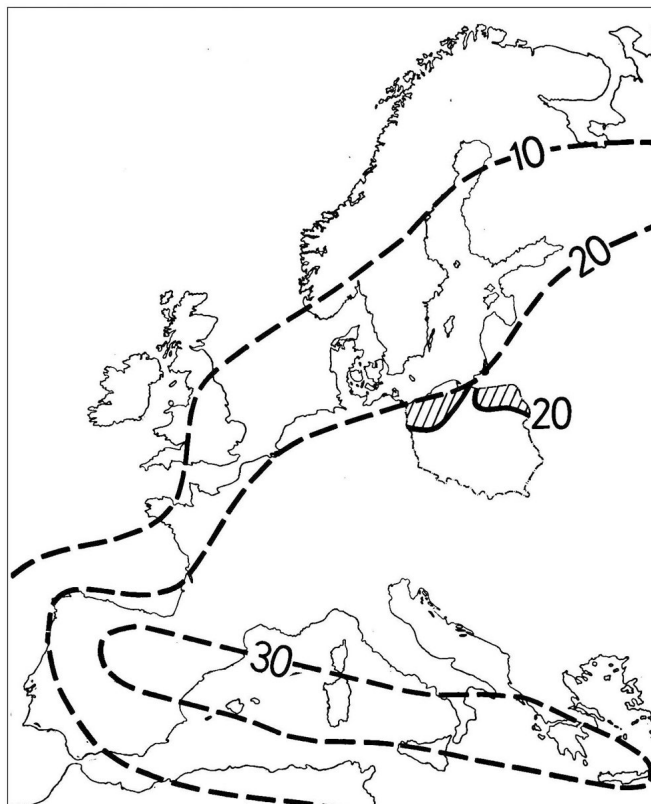
Objaśnienia jak w tab. 12

Tab. 17. Równania prostych regresji i współczynnik regresji  $A$ , przedstawiający średni przyrost (dodatni lub ujemny) liczby dni z burzą LDB w ciągu 10 i 40 lat

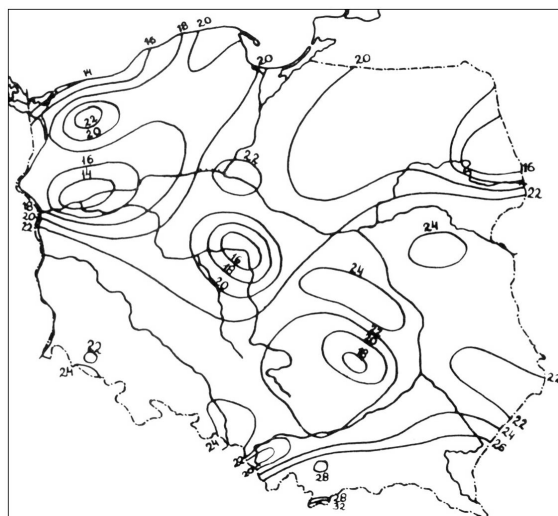
Stacja	Równanie prostej regresji	Współczynnik korelacji $r$	Współczynnik regresji $A$ dni/10 lat	Współczynnik regresji $A$ dni/40 lat
Białystok	$LDB = 17,29 + 0,14672t$	0,29	1,47	5,88
Chojnice	$LDB = 16,9 - 0,0242t$	0,05	-0,24	-0,96
Gdańsk	$LDB = 14,18 - 0,05901t$	0,17	-0,59	-2,36
Kasprowy Wierch	$LDB = 33,67 - 0,20338t$	0,38	-2,03	-8,12
Kielce	$LDB = 18,46 + 0,16529t$	0,44	1,65	6,6
Kolobrzeg	$LDB = 16,09 - 0,08499t$	0,23	-0,85	-3,4
Kraków	$LDB = 20,57 + 0,0757t$	0,20	0,76	3,04
Olsztyn	$LDB = 15,2 - 0,03884t$	0,08	-0,39	-1,56
Poznań	$LDB = 16,23 + 0,03527t$	0,10	0,35	1,4
Przemyśl	$LDB = 26,5 - 0,01079t$	0,03	-0,11	-0,44
Suwałki	$LDB = 19,2 - 0,00629t$	0,01	-0,06	-0,24
Szczecin	$LDB = 18,77 - 0,15113t$	0,41	-1,51	-6,04
Snieżka	$LDB = 27,7 - 0,2061t$	0,48	-2,06	-8,24
Terespol	$LDB = 16,88 + 0,09953t$	0,21	1,00	4,00
Toruń	$LDB = 22,24 - 0,16426t$	0,42	-1,64	-6,56
Warszawa	$LDB = 23,25 - 0,1t$	0,26	-1,00	-4,00
Wieluń	$LDB = 22,01 - 0,0591t$	0,14	-0,59	-2,36
Wrocław	$LDB = 13,94 + 0,15788t$	0,37	1,58	6,32
Zamość	$LDB = 22,33 + 0,1363t$	0,31	1,36	5,44
Zielona Góra	$LDB = 23,18 - 0,15985t$	0,35	-1,60	-6,40

Tab. 18. Równania prostych regresji i współczynnik regresji  $A$  niektórych zmiennych klimatologicznych w okresie 10 i 30 lat

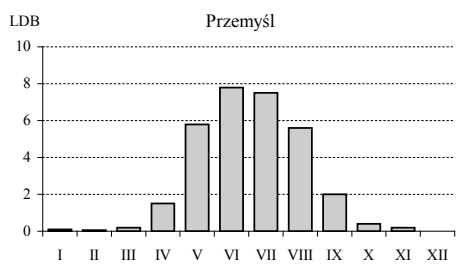
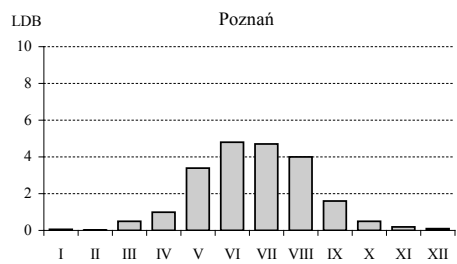
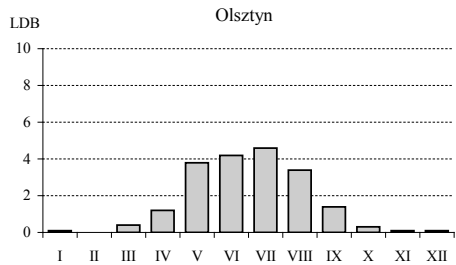
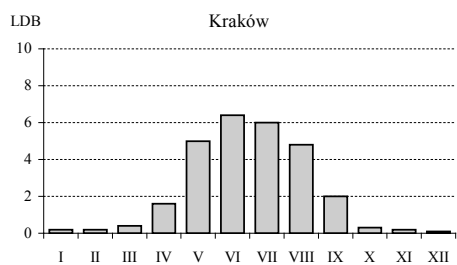
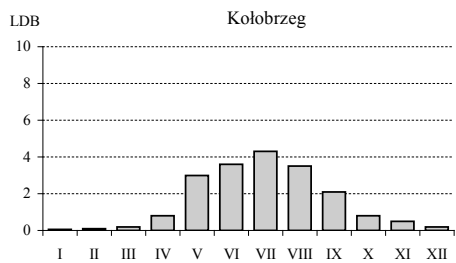
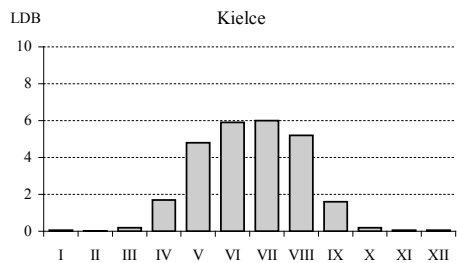
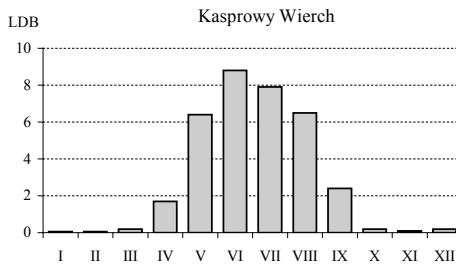
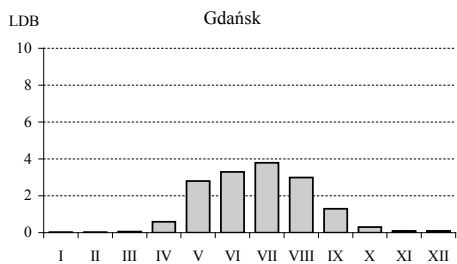
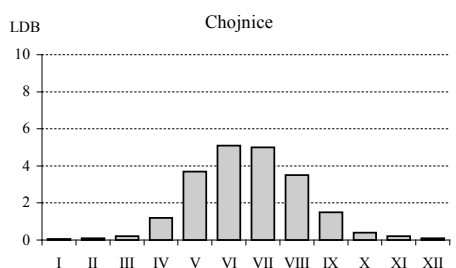
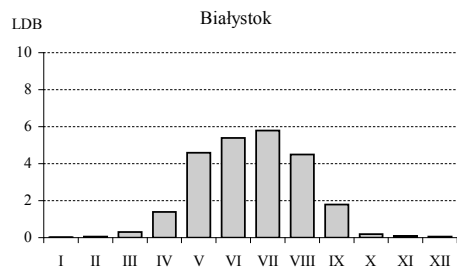
Zmienne klimatologiczne	Równanie prostej regresji	Współczynnik korelacji $r$	Współczynnik regresji $A/10$ lat	Współczynnik regresji $A/30$ lat
Dni burzowe w Warszawie 1951-1990	$LDB = 23,25 - 0,1t$	0,26	-1 dni	-4 dni/40 lat
Dni burzowe w Warszawie 1951-1980	$LDB = 23,01 - 0,02287t$	0,18	-0,23 dni	-0,7 dni/30 lat
Liczby Wolfa 1951-1980	$LW = 76,93 - 0,06034t$	0,04	-0,6 LW	-1,8 LW
Cyrkulacja zachodnia 1951-1976	$C_W = 39,17 - 0,27123t$	0,63	-2,71 dni	-8,13 dni
Cyrkulacja wschodnia 1951-1976	$C_E = 46,88 + 0,34883t$	0,65	3,49 dni	10,47 dni
Cyrkulacja południkowa 1951-1976	$C = 37,18 - 0,0899t$	0,23	-0,9 dni	-2,7 dni
Cyrkulacja strefowa 1951-1980	$C_I = 2,25 + 0,00781t$	0,29	0,08 hPa	0,24 hPa
Ciśnienie atmosferyczne maj 1966-1995	$p_{maj} = 1001,64 + 0,038t$	0,13	0,38 hPa	1,14 hPa
Ciśnienie atmosferyczne lato 1966-1995	$p_{lato} = 1002,14 - 0,029t$	0,21	-0,29 hPa	-0,87 hPa
Temperatura powietrza 1951-1980	$T = 17,18 - 0,00628t$	0,28	-0,06 °C	-0,18 °C
Temperatura powietrza maj 1966-1995	$T_{maj} = 13,412 + 0,01t$	0,05	0,1 °C	0,3 °C
Temperatura powietrza lato 1966-1995	$T_{lato} = 17,237 + 0,013t$	0,12	0,13 °C	0,39 °C
Temperatura max maj 1966-1995	$t_{max,m} = 18,699 + 0,024t$	0,12	0,24 °C	0,72 °C
Temperatura max lato 1966-1995	$t_{max,l} = 22,605 + 0,024t$	0,16	0,24 °C	0,72 °C



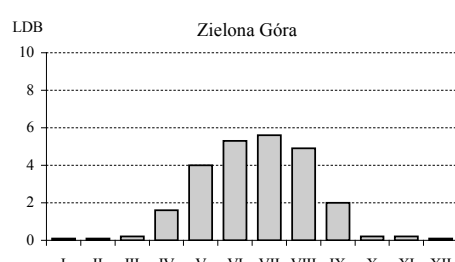
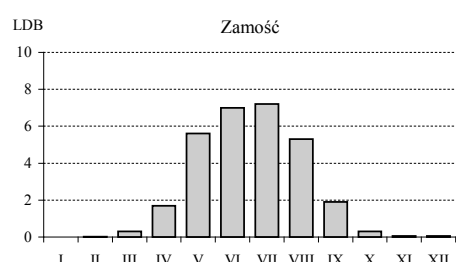
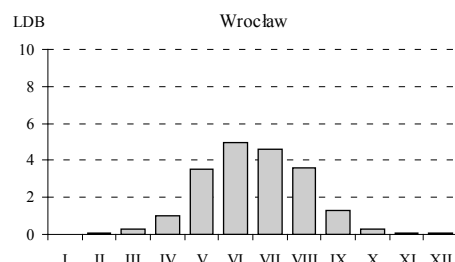
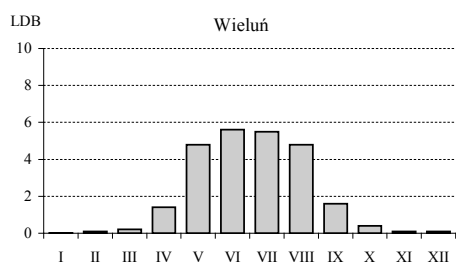
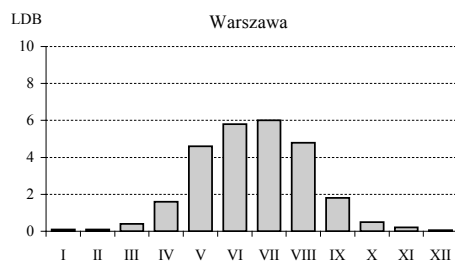
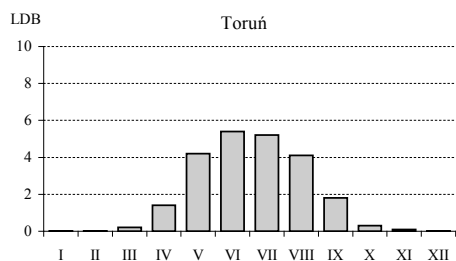
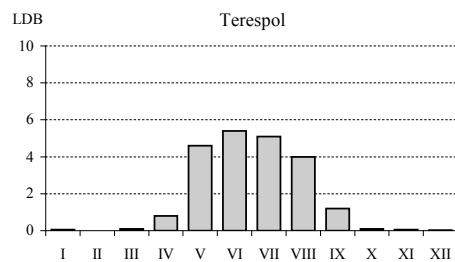
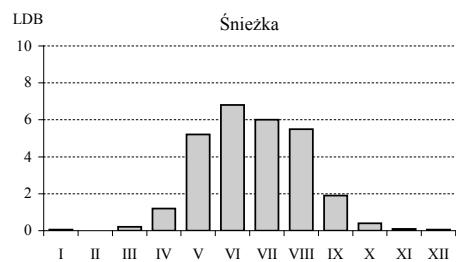
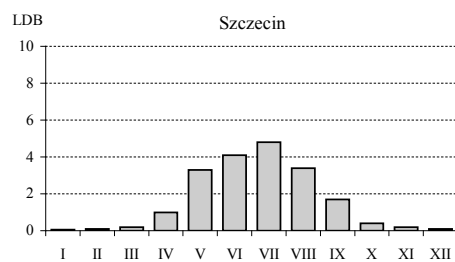
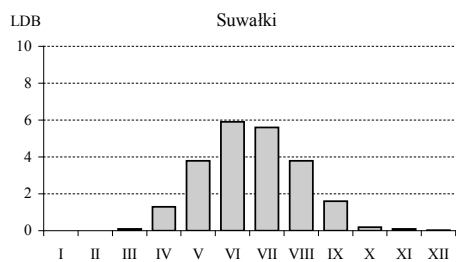
Rys. 63. Liczba dni z burzą w Polsce (1946-1955) na tle Europy – rok, wg M. Stopy (1962)



Rys. 64. Średnia liczba dni z burzą w roku w Polsce (1946-1955), wg M. Stopy (1965)

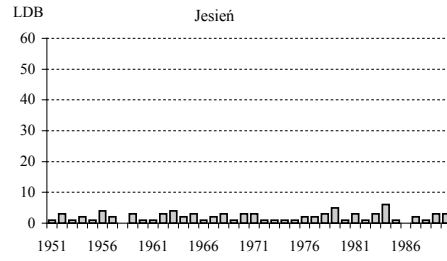
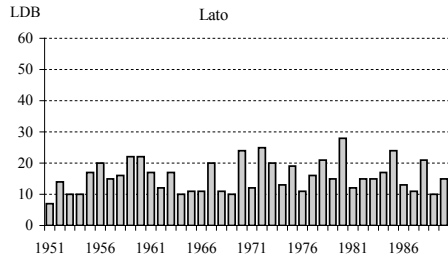
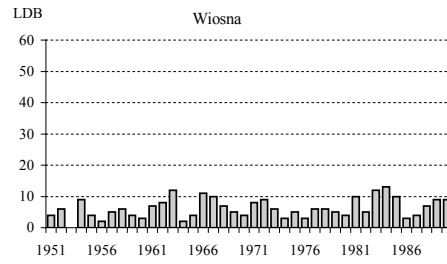
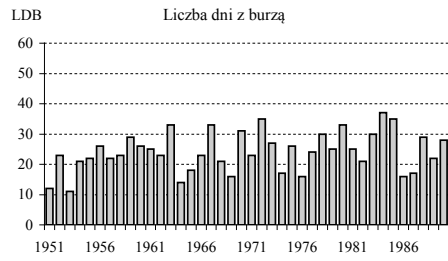


Rys. 65a. Przebieg roczny liczby dni z burzą w Polsce w latach 1951-1990

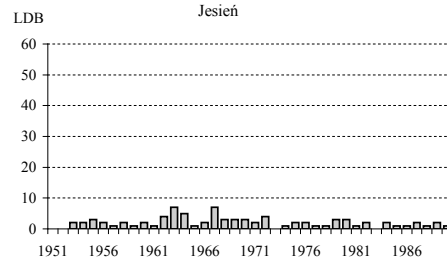
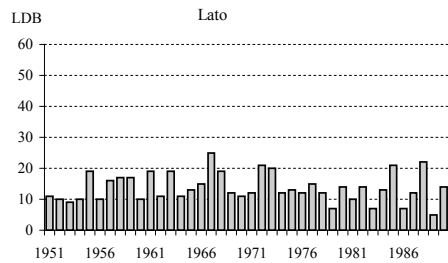
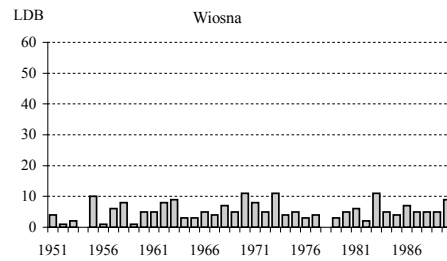
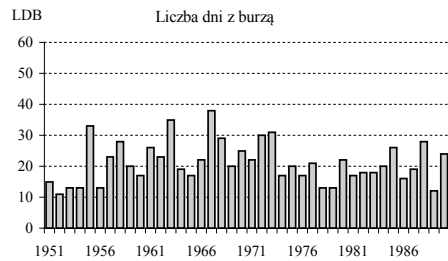


Rys. 65b. Przebieg roczny liczby dni z burzą w Polsce w latach 1951-1990

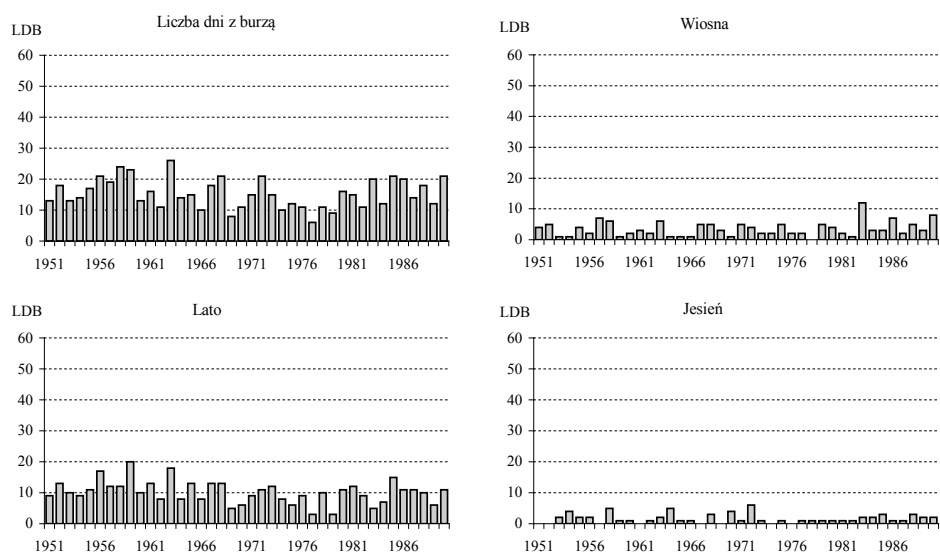




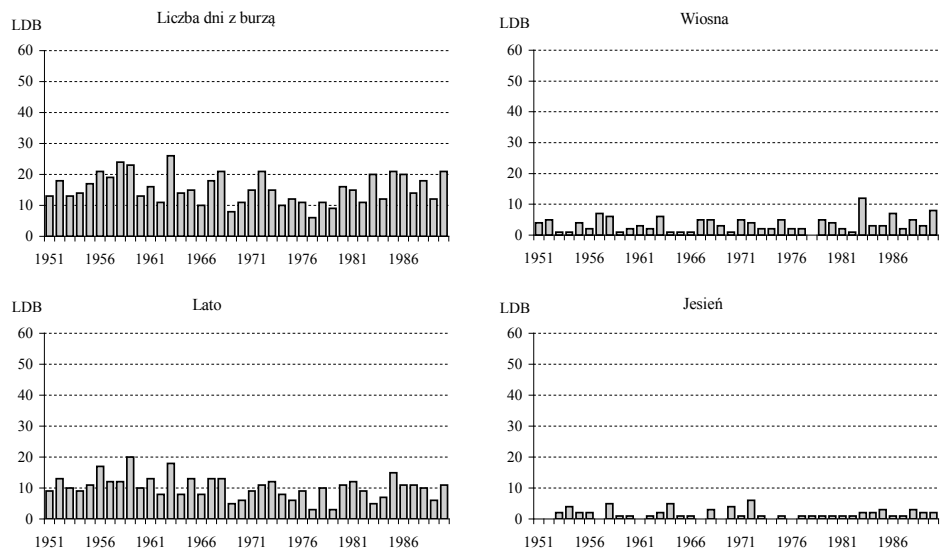
Rys. 66. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 w Białymstoku



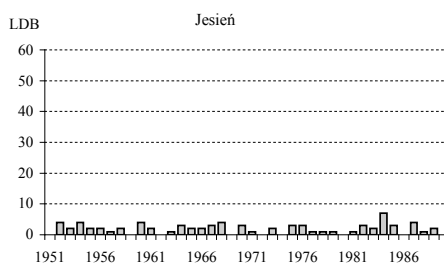
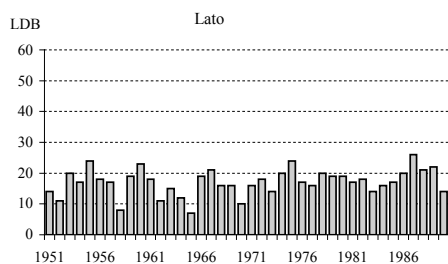
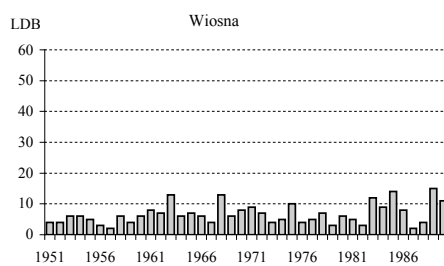
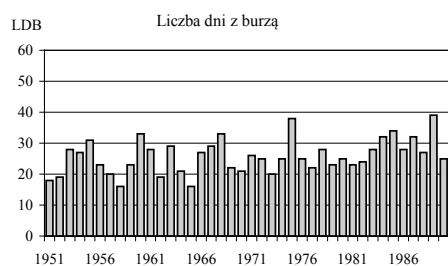
Rys. 67. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 w Chojnicach



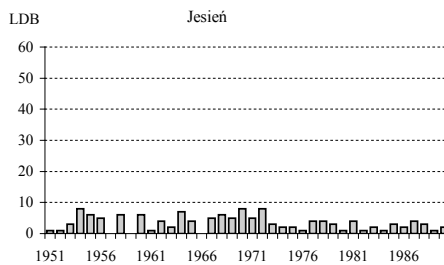
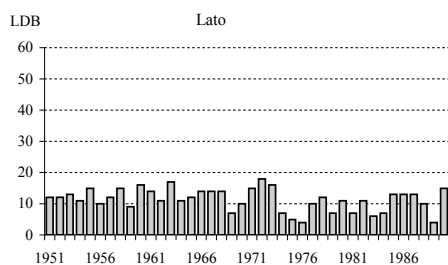
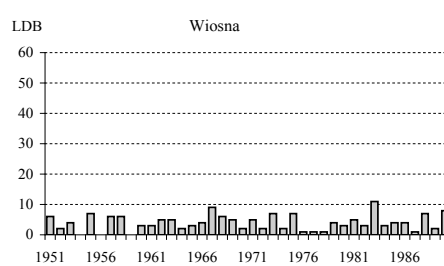
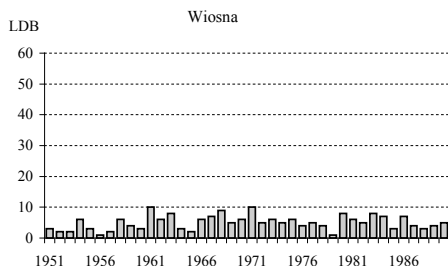
Rys. 68. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 w Gdańsku



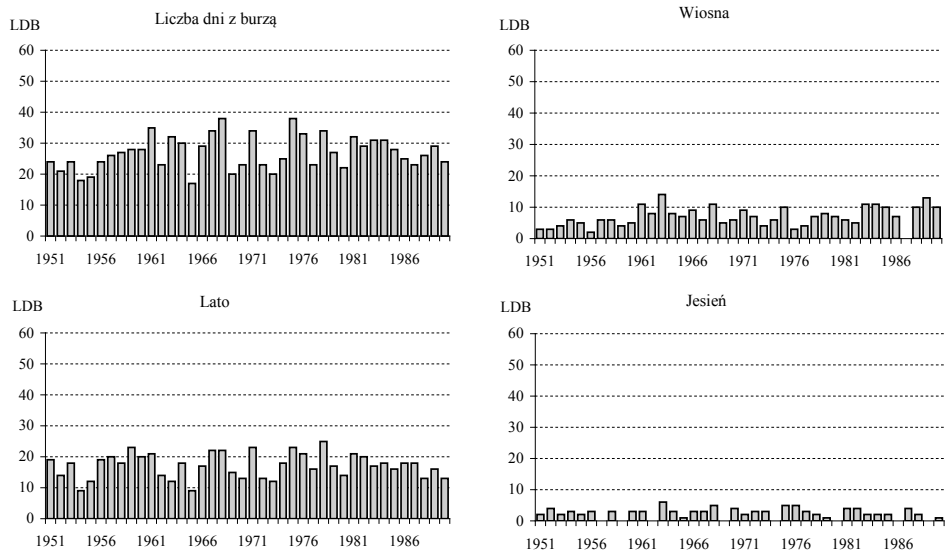
Rys. 69. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 na Kasprovym Wierchu



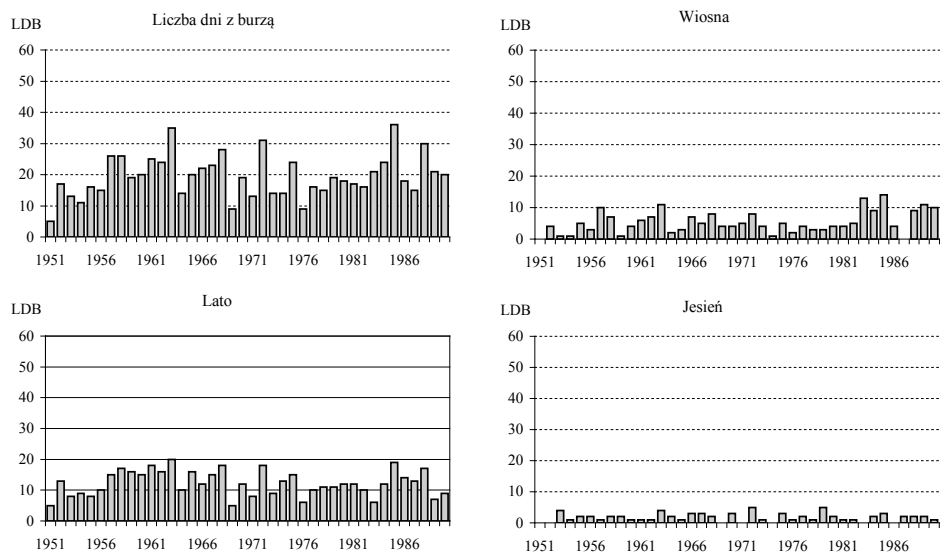
Rys. 70. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 w Kielcach



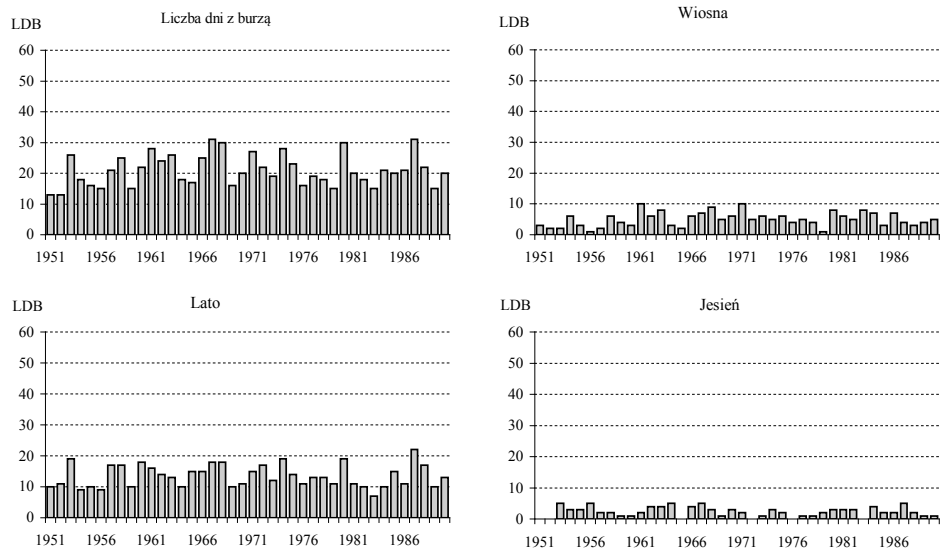
Rys. 71. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 w Kołobrzegu



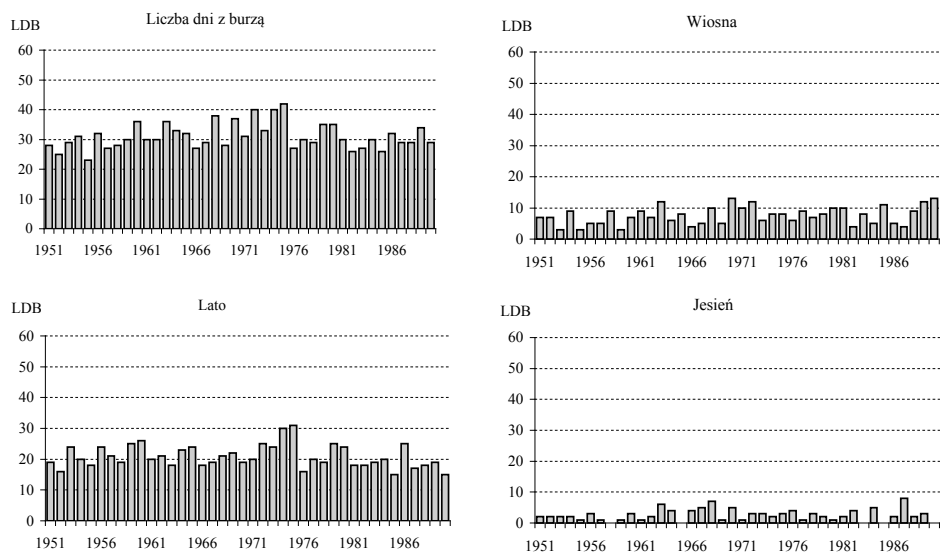
Rys. 72. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 w Krakowie



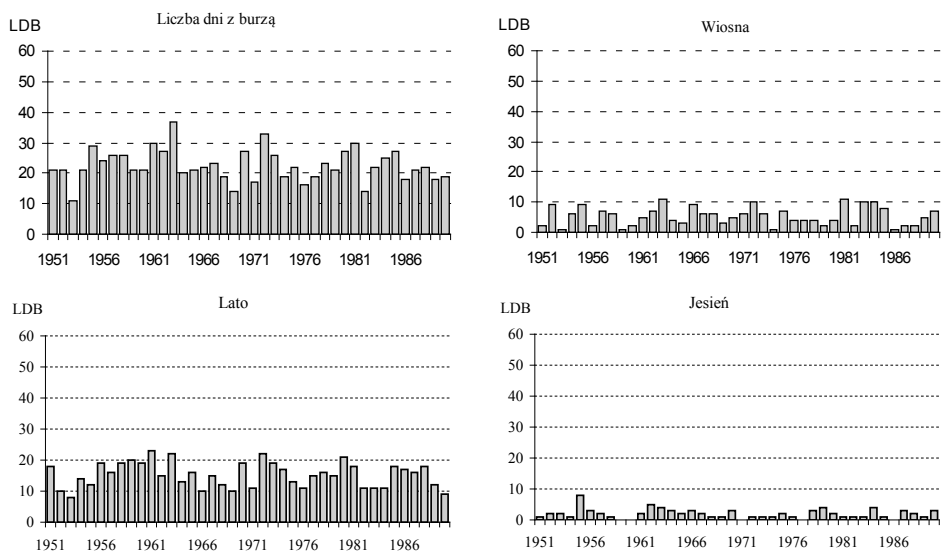
Rys. 73. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 w Olsztynie



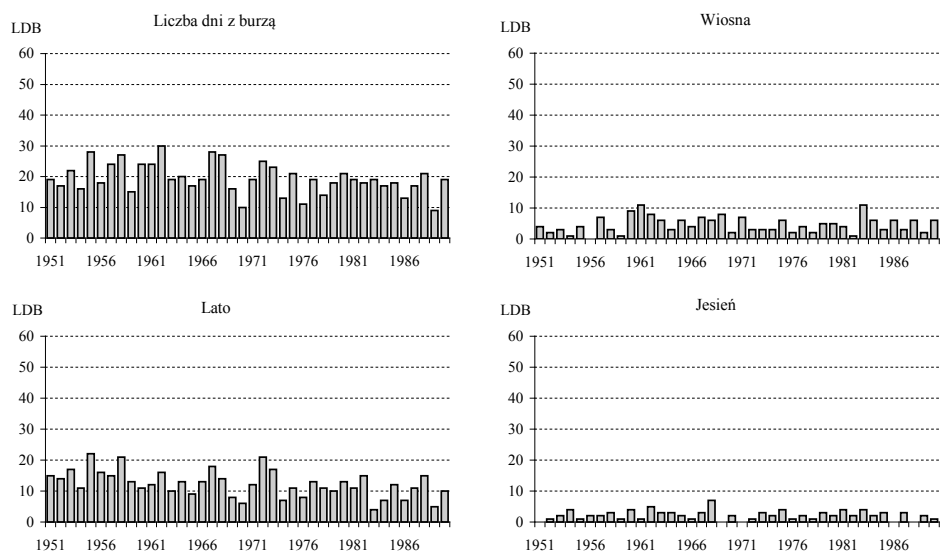
Rys. 74. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 w Poznaniu



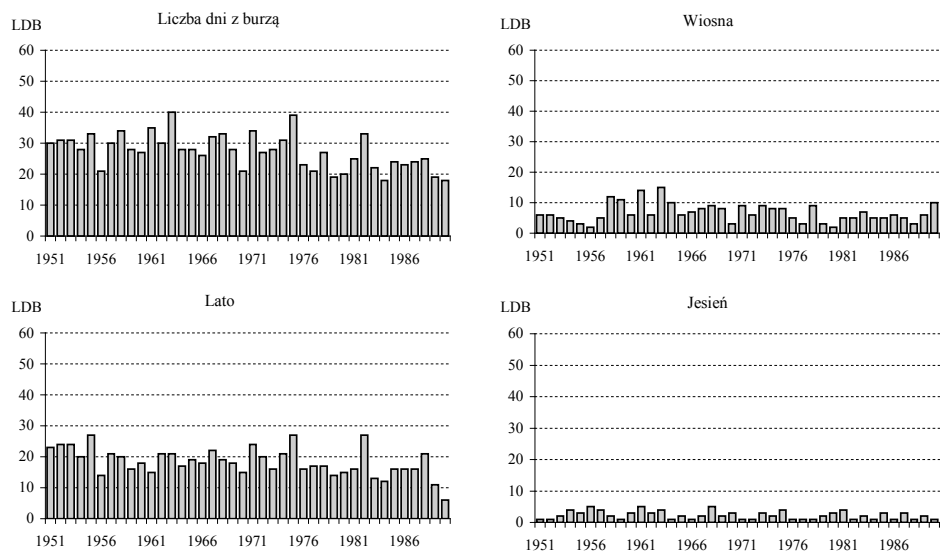
Rys. 75. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 w Przemyślu



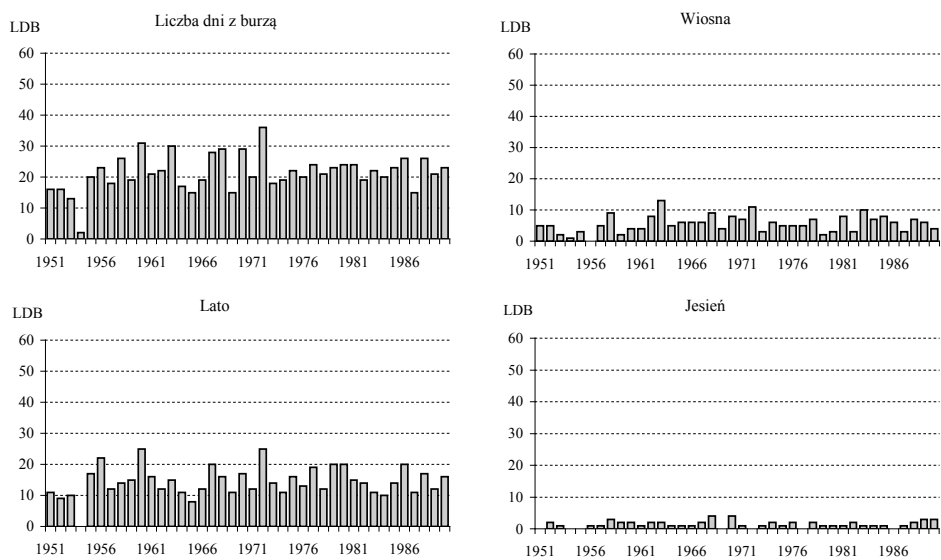
Rys. 76. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 w Suwałkach



Rys. 77. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 w Szczecinie



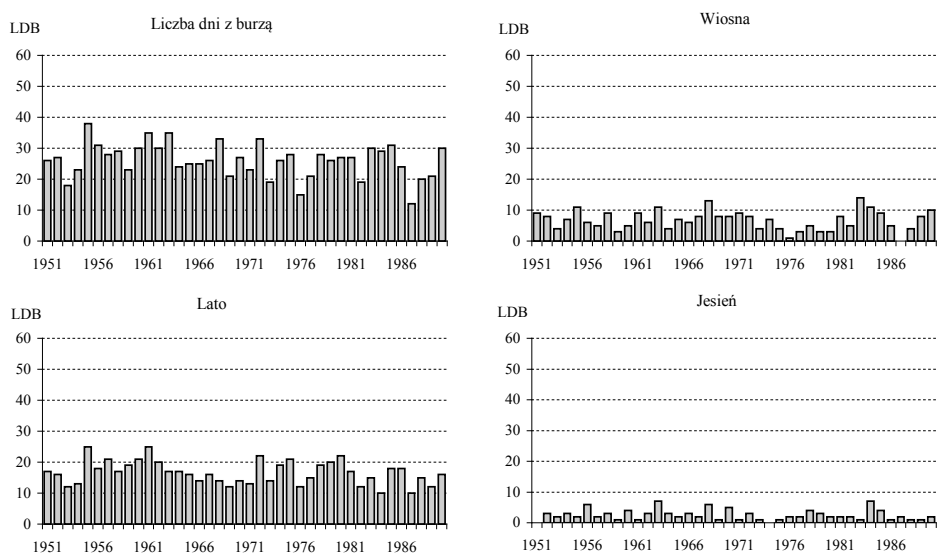
Rys. 78. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 na Śnieżce



Rys. 79. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 w Terespolu

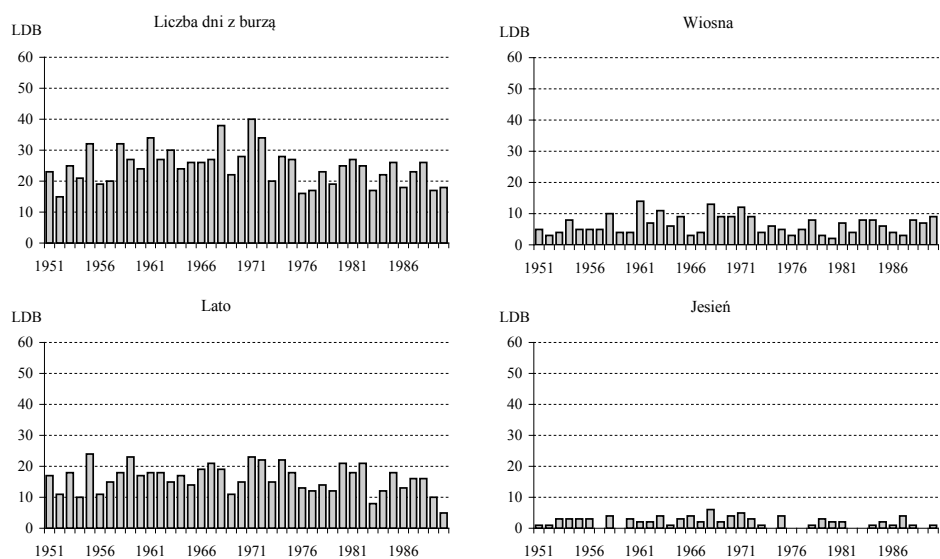


Rys. 80. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 w Toruniu

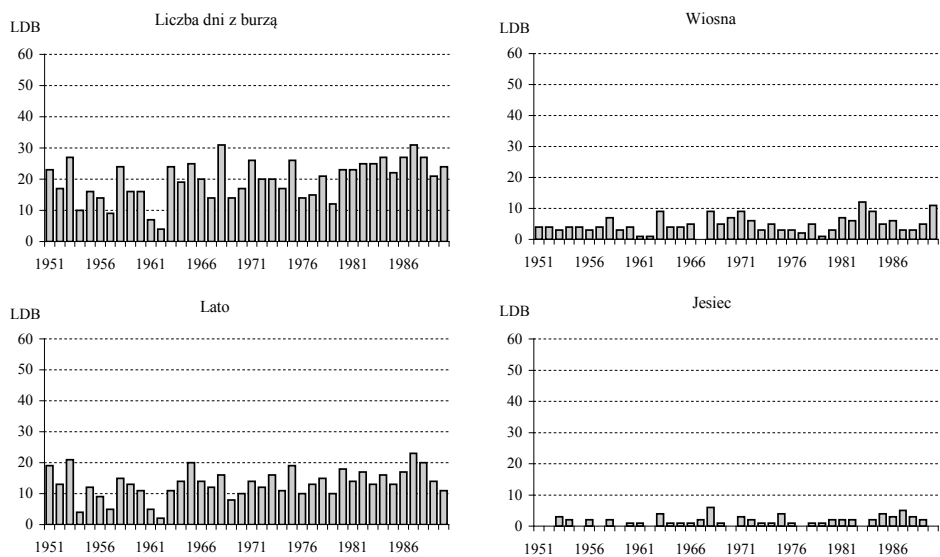


Rys. 81. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 w Warszawie

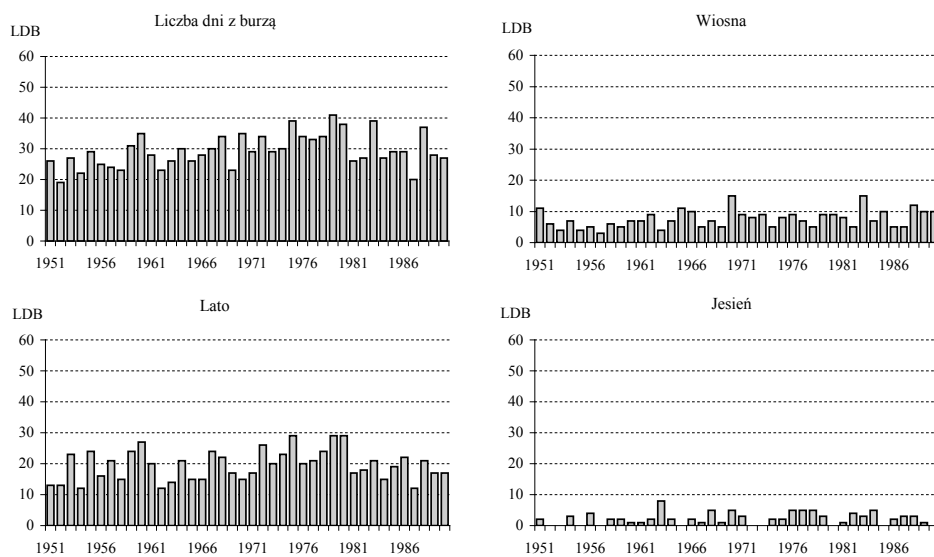




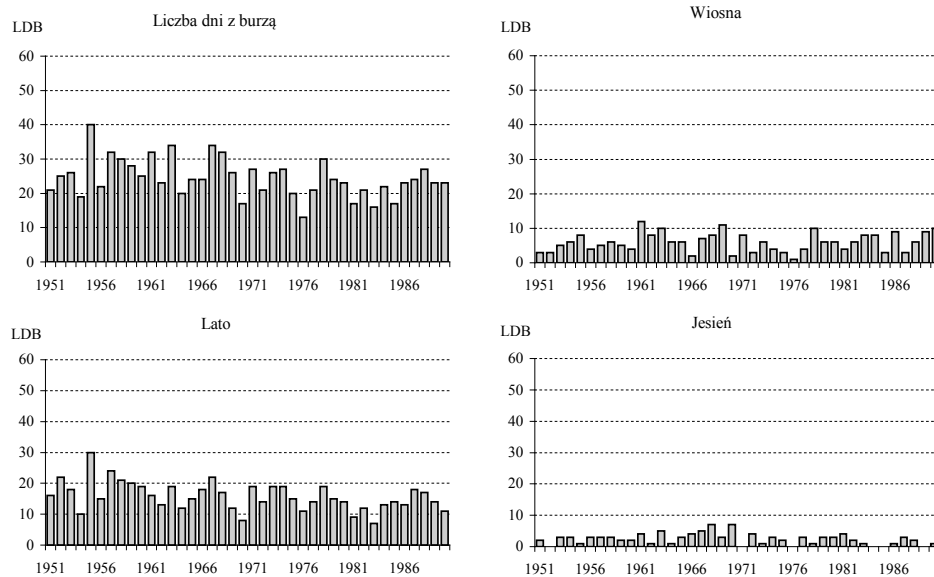
Rys. 82. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 w Wielunio



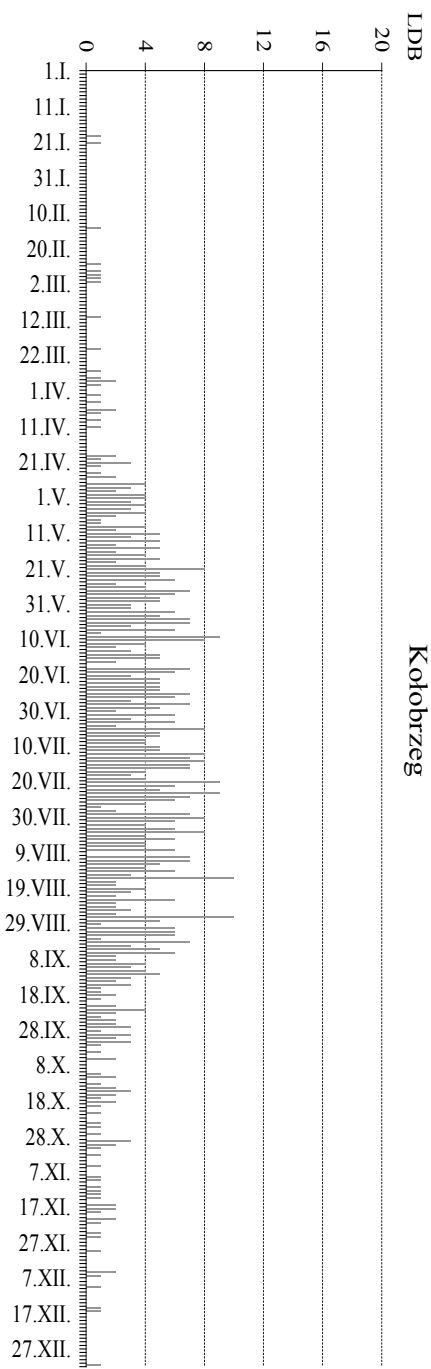
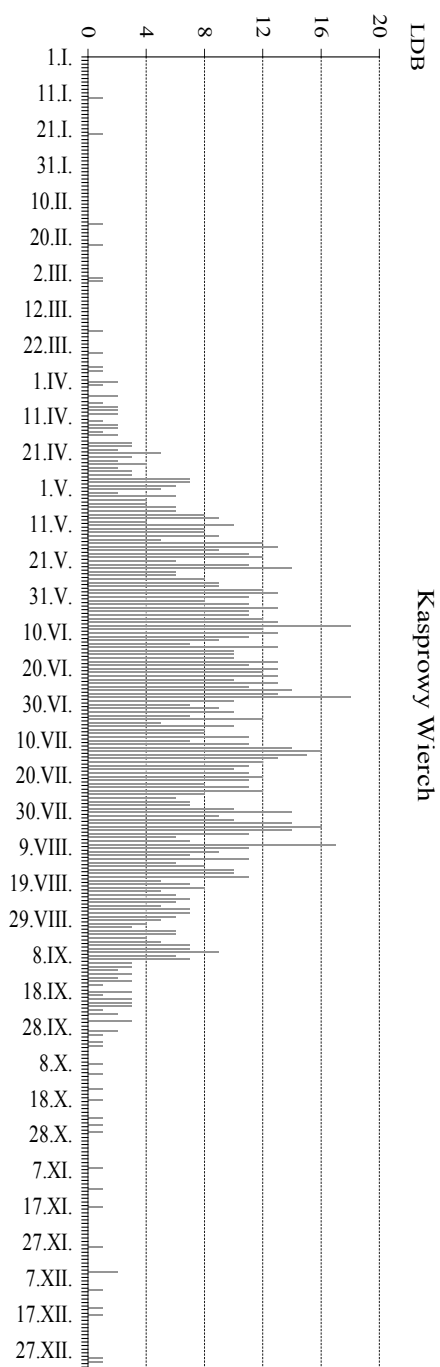
Rys. 83. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 we Wrocławiu



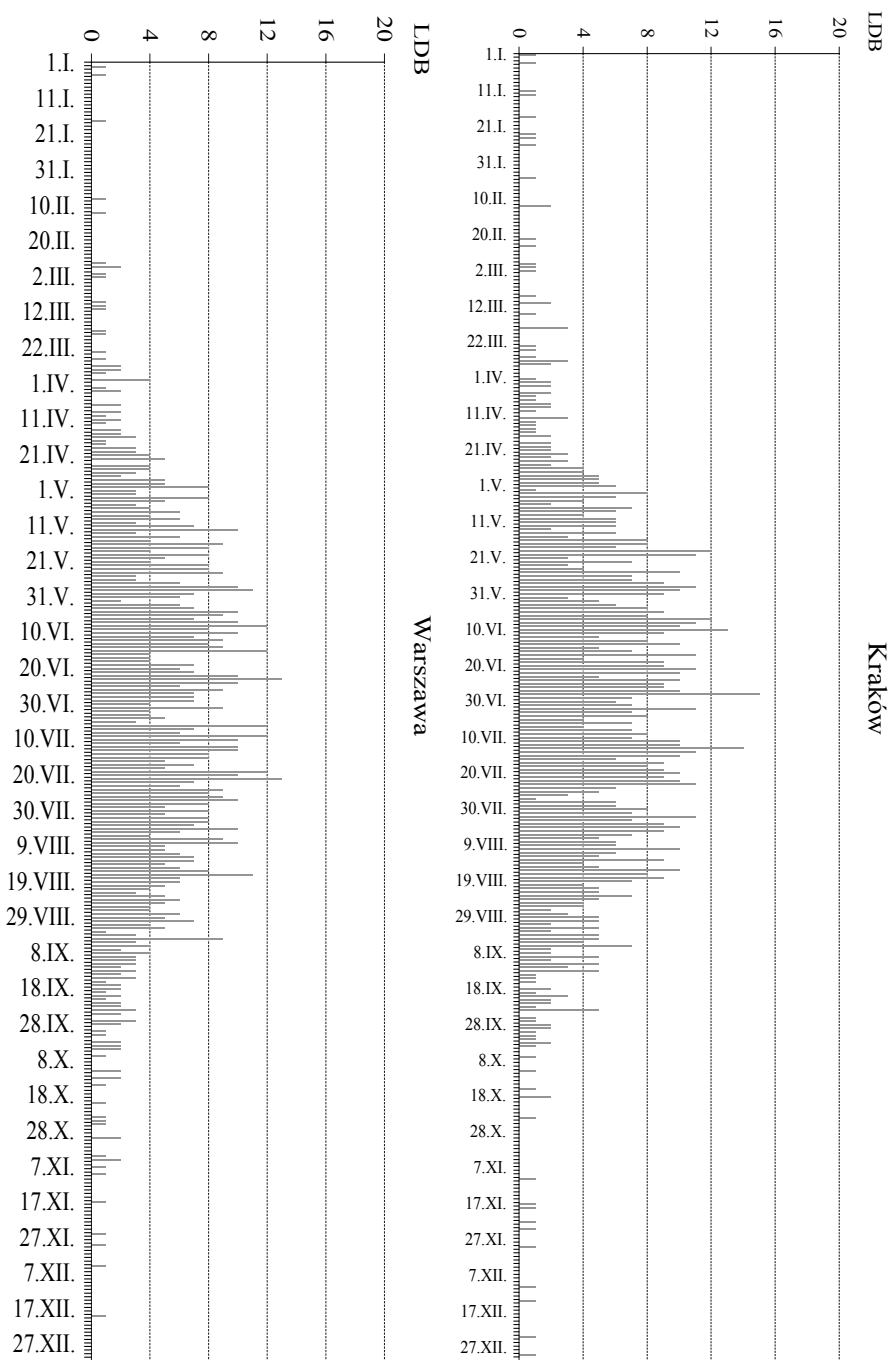
Rys. 84. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 w Zamościu



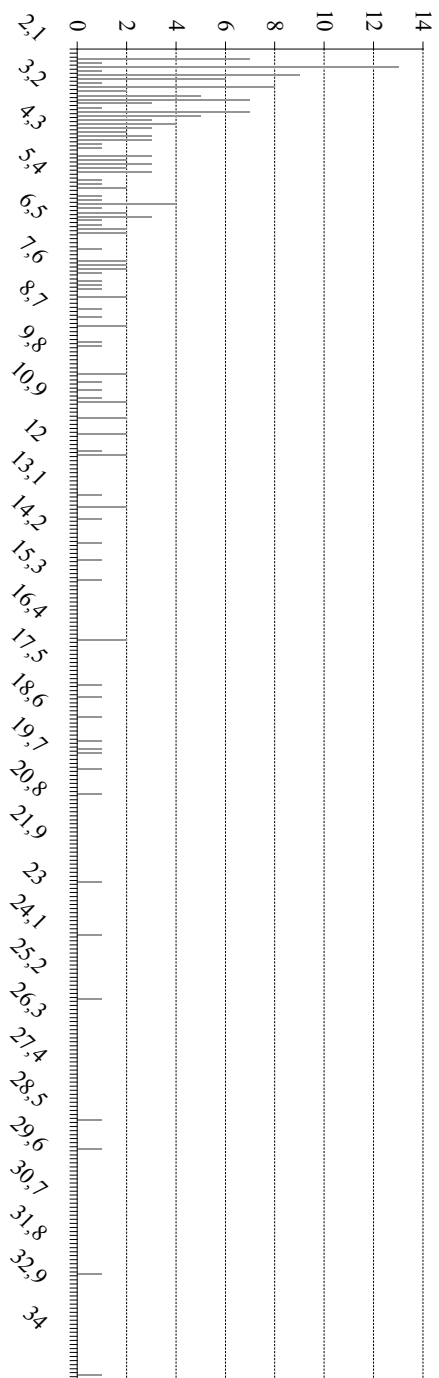
Rys. 85. Liczba dni z burzą z roku na rok i w poszczególnych porach roku w latach 1951-1990 w Zielonej Górze



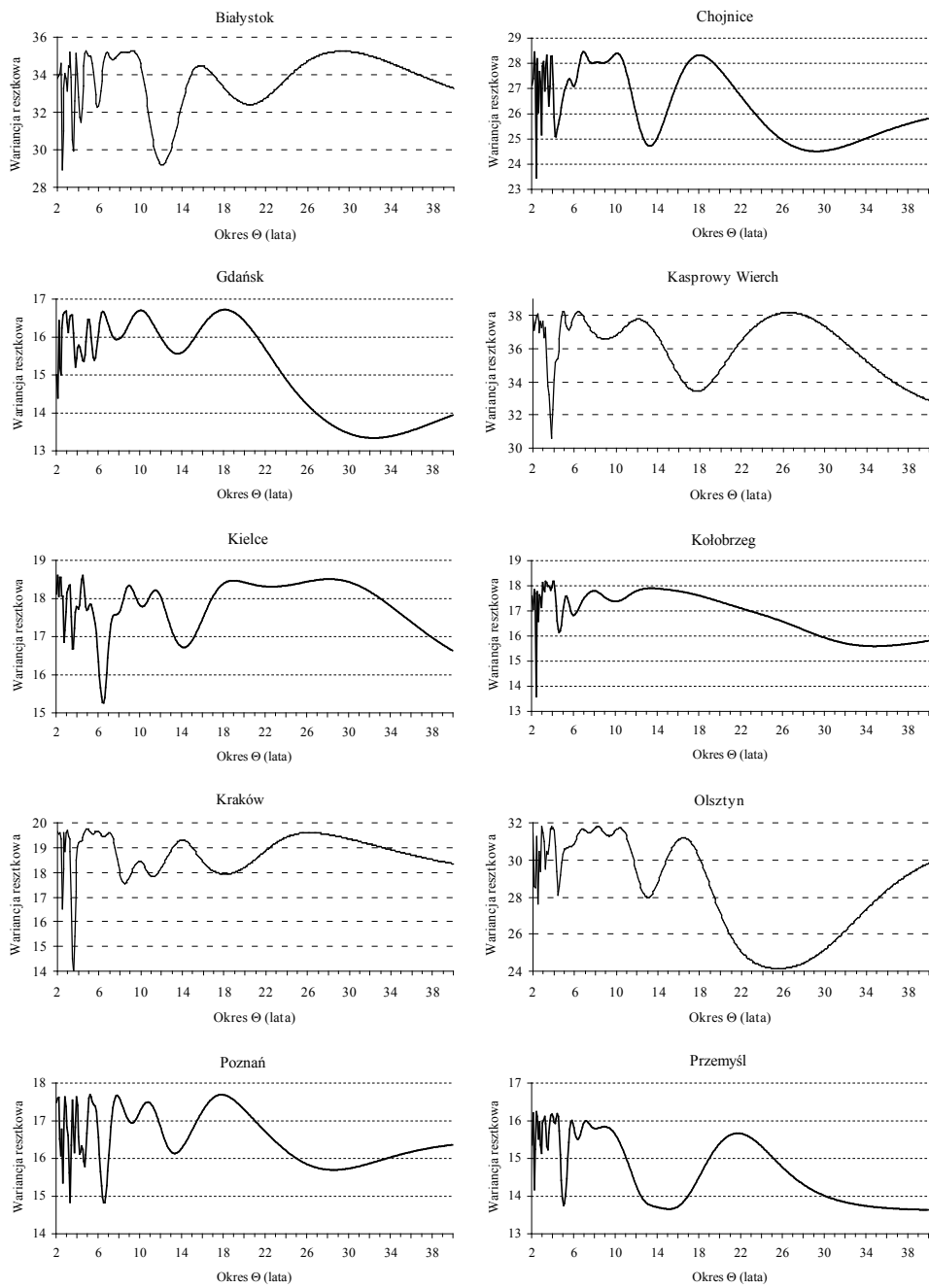
Rys. 86. Liczba dni z burzą w przebiegu rocznym w 40-leciu 1951-1990 na Kasprowym Wierchu i w Kolobrzegu



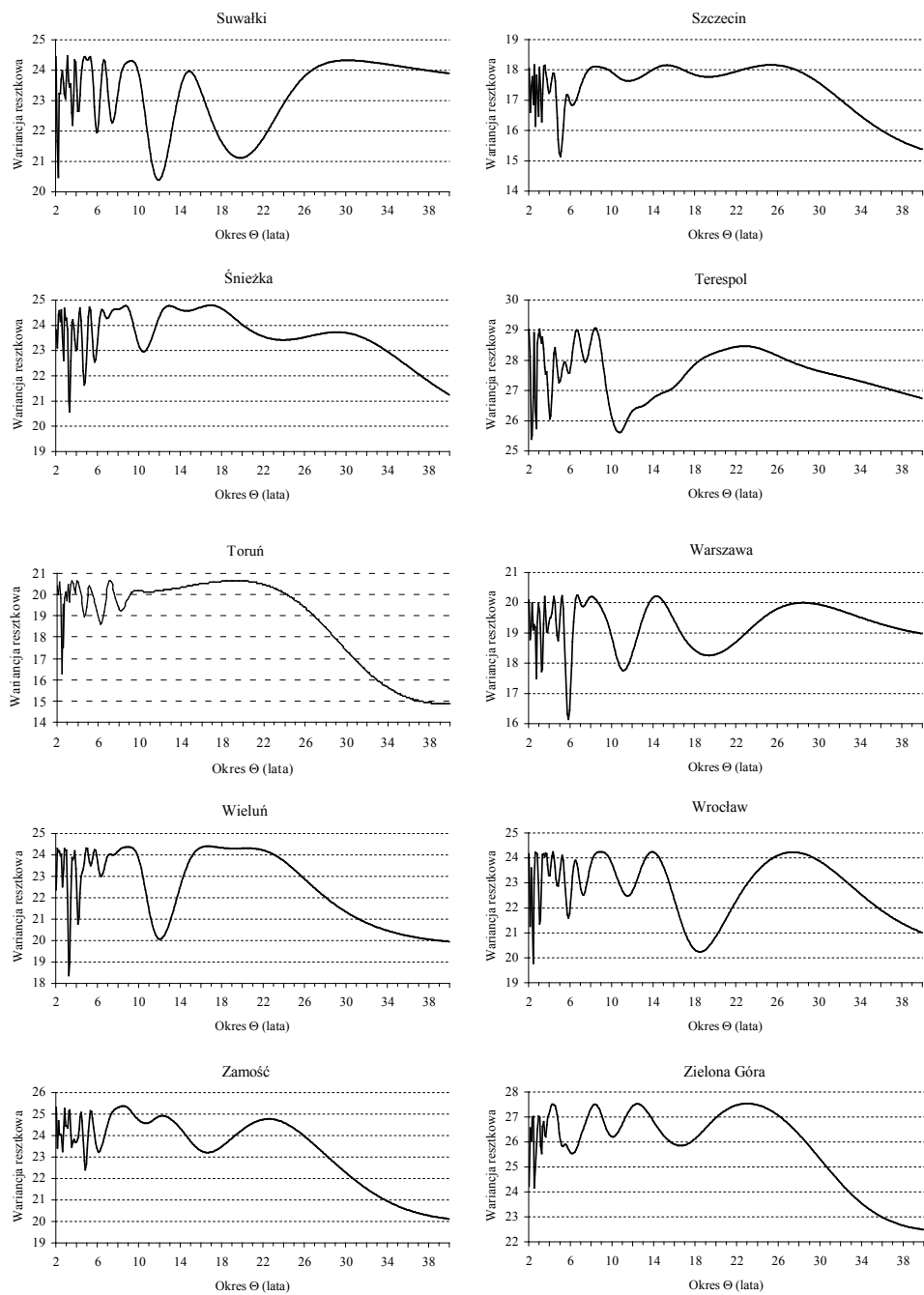
Rys. 87. Liczba dni z burzą w przebiegu rocznym w 40-leciu 1951-1990 w Krakowie i Warszawie



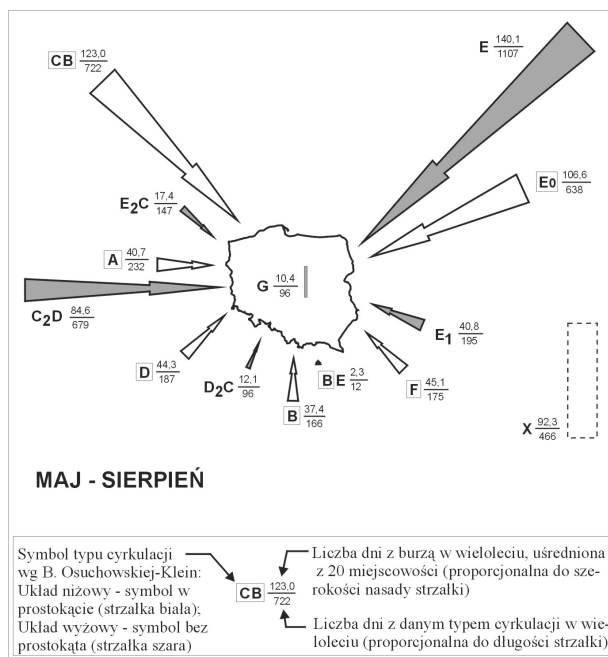
Rys. 88. Liczba przypadków cykli w paśmie 2.1-40 lat w Polsce (1951-1990)



Rys. 89a. Widma dni z burzą w paśmie 2,1-40 lat



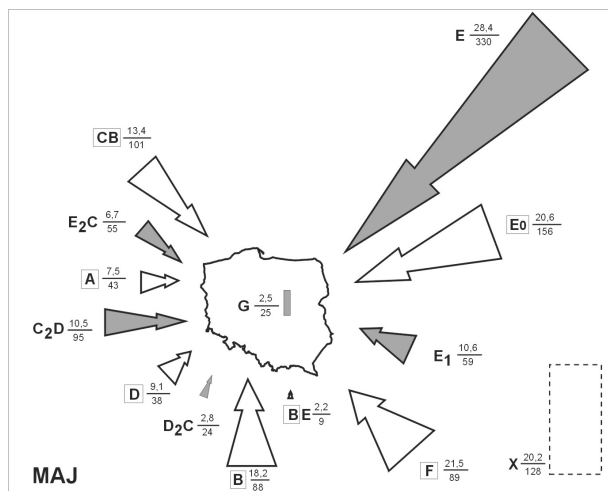
Rys. 89b. Widma dni z burzą w paśmie 2,1-40 lat



Rys. 90. Częstość występowania dni z burzą w poszczególnych typach cyrkulacji od maja do sierpnia w Polsce (1951-1990)

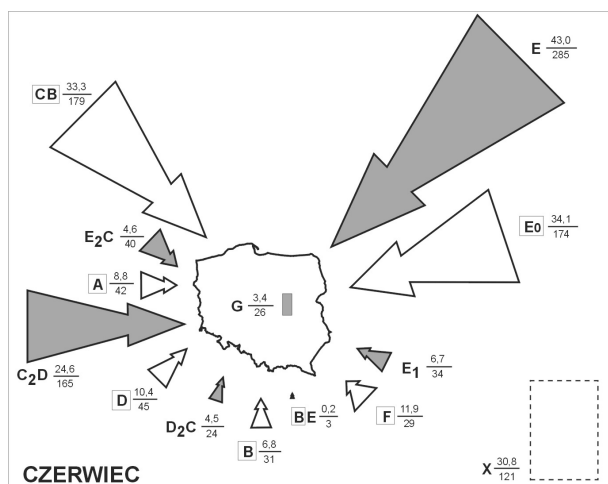
Dwa specyficzne typy cyrkulacji X oraz G zostały przedstawione za pomocą prostokątów o szerokości proporcjonalnej do liczby dni z burzą w wieloleciu i wysokości proporcjonalnej do liczby dni z danym typem cyrkulacji w wieloleciu. Typ cyrkulacji X to zbiór sytuacji nieprzypominających typu wzorcowe. Typ cyrkulacji G związany jest z występowaniem centrum wyżu nad Polską.

Na rysunku maj-sierpień strzałki i prostokąty narysowane zostały w ok. 8 razy mniejszej skali niż na rysunkach Maj, Czerwiec, Lipiec, Sierpień.

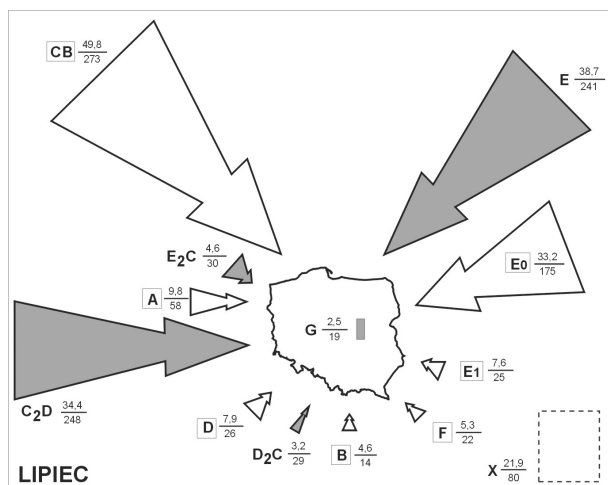


Rys. 91. Częstość występowania dni z burzą w poszczególnych typach cyrkulacji w maju w Polsce (1951-1990) – legenda jak w rys. 90

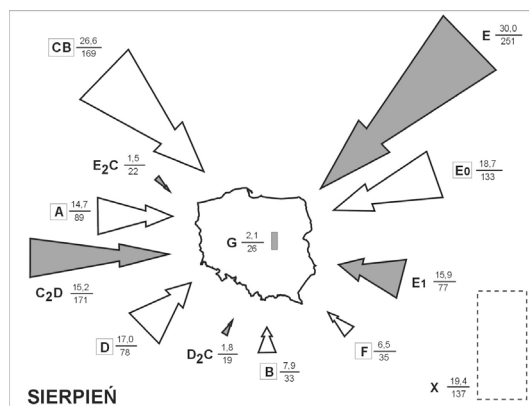




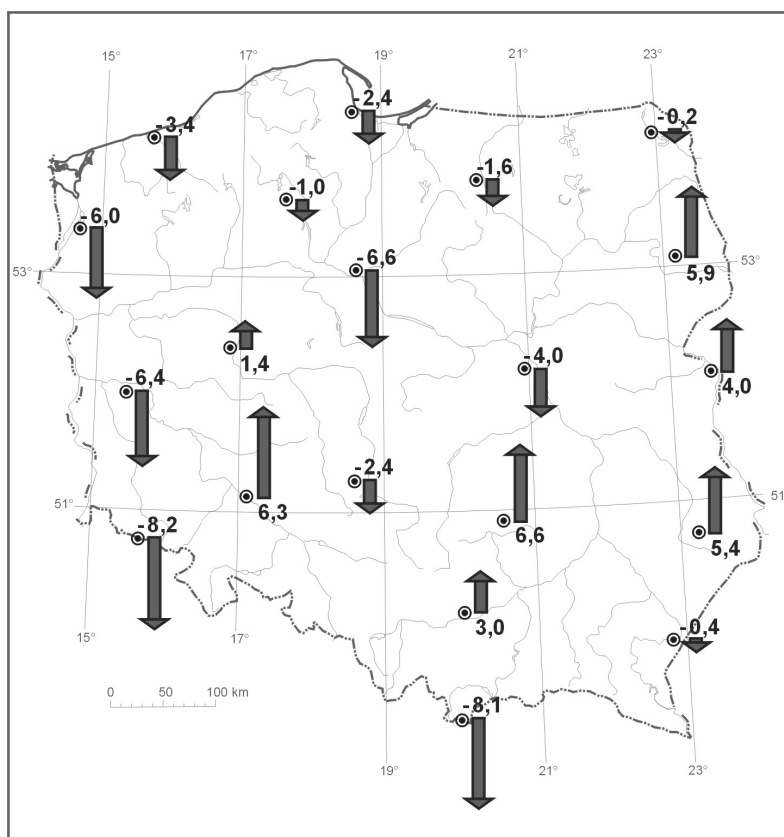
Rys. 92. Częstość występowania dni z burzą w poszczególnych typach cyrkulacji w czerwcu w Polsce (1951-1990) – legenda jak w rys. 90



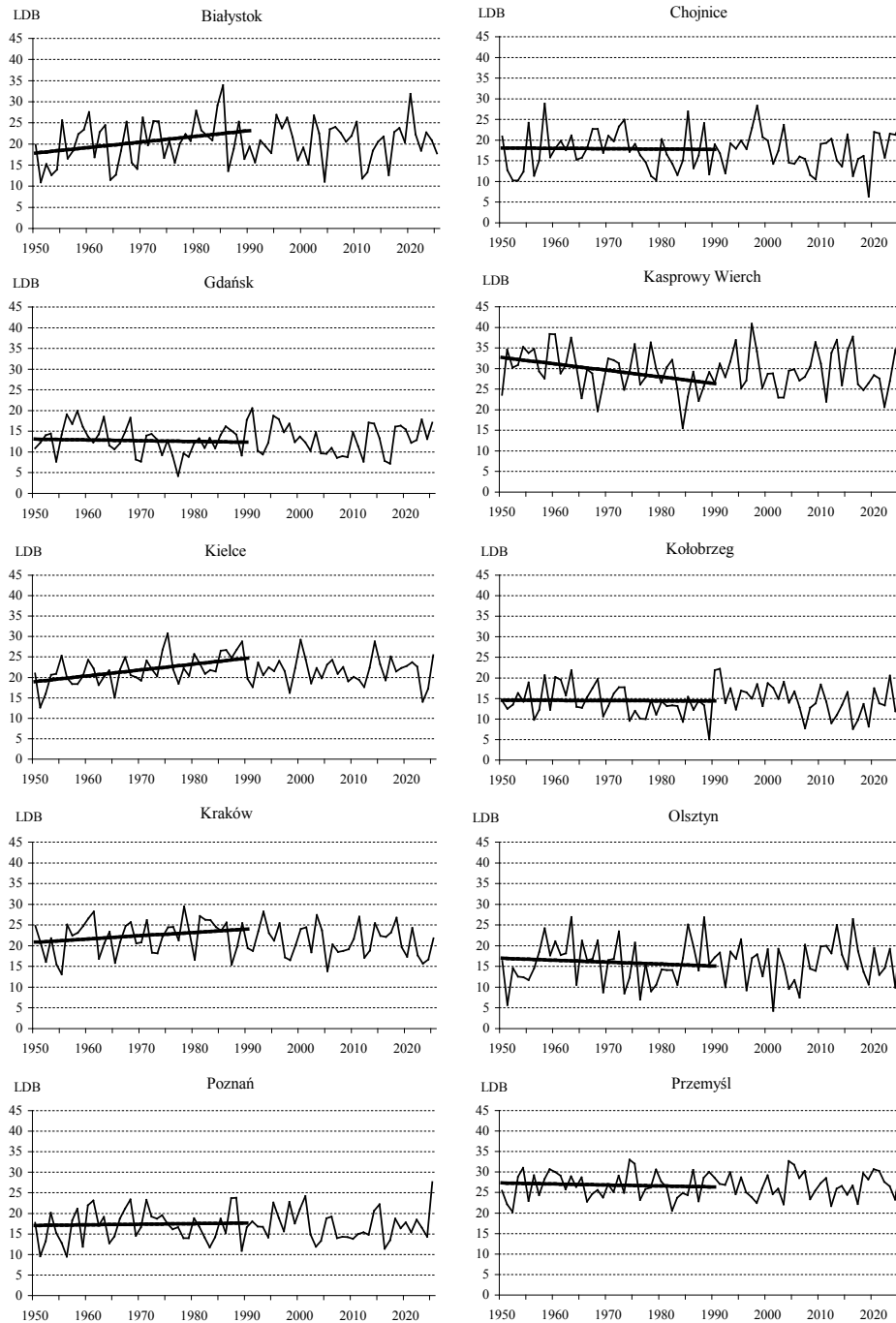
Rys. 93. Częstość występowania dni z burzą w poszczególnych typach cyrkulacji w lipcu w Polsce (1951-1990) – legenda jak w rys. 90



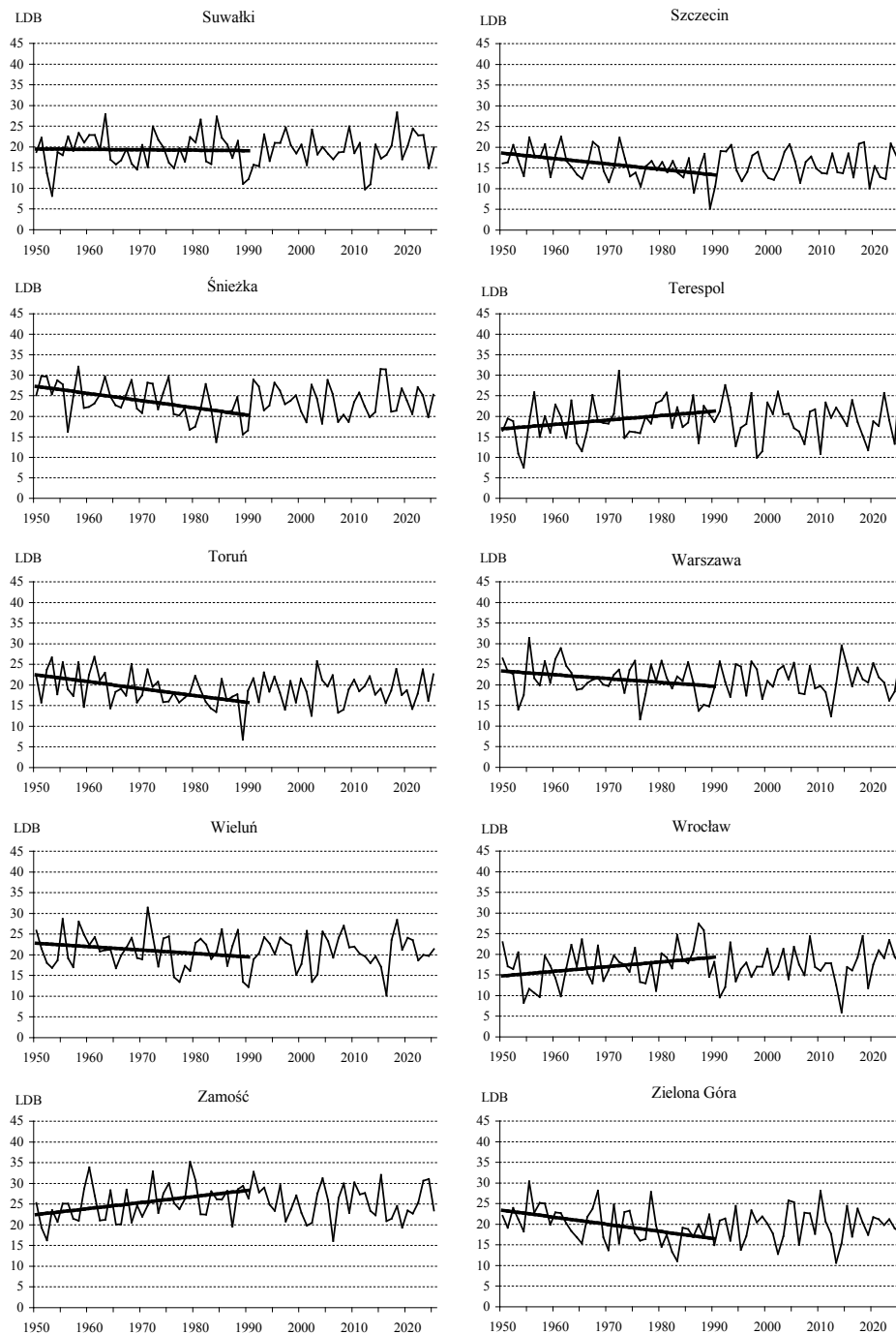
Rys. 94. Częstość występowania dni z burzą w poszczególnych typach cyrkulacji w sierpniu w Polsce (1951-1990) – legenda jak w rys. 90



Rys. 95 Tendencje zmian aktywności burzowej w wybranych 20 regionach Polski (1951-1990); strzałkami skierowanymi ku górze zaznaczono tendencja ujemne, a strzałkami skierowanymi w dół – dodatnie



Rys. 96a. Tendencje zmian liczby dni z burzą (LDB) w Polsce w latach 1951-1990 (maj-sierpień) i prognozy w latach 1991-2025 – według interferencji cykli



Rys. 96b. Tendencje zmian liczby dni z burzą (LDB) w Polsce w latach 1951-1990 (maj-sierpień) i prognozy w latach 1991-2025 – według interferencji cykli

## VII. ZAKOŃCZENIE

Znaczącym postępowaniem w badaniach zmian klimatu jest identyfikacja przyczyn naturalnych ochłodzeń i ociepleń klimatu w XVIII-XX wieku. Dzięki zastosowaniu nowej metody J. Boryczki „sinusoid regresji” badania okresowości zjawisk przyrodniczych (także występujących w nierównych odstępach czasu, jak np. erupcje wulkaniczne) wykazały analogiczną cykliczność zmiennych: klimatologicznych, hydrologicznych, astronomicznych, geologicznych i sedymentologicznych.

Zbliżona cykliczność tych zmiennych umożliwiła opracowanie zmian klimatu Europy w XXI wieku. Ważnym elementem w XV tomie *Atlasu współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce* (2001) jest nowy typ prognoz klimatu w XXI wieku – wg zmian wskaźnika Oscylacji Północno-Atlantyckiej (*NAO*), zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze (*DVI*) i aktywności Słońca. Jest nim też wykazanie dominującej roli erupcji wulkanicznych w kształtowaniu klimatu Polski w ostatnich dwóch stuleciach.

Najważniejszym problemem do rozwiązania w XXI wieku jest identyfikacja naturalnych i antropogenicznych przyczyn zmian klimatu Ziemi, w szczególności Europy (i Polski). Jest nim określenie składników deterministycznych (okresowych) w seriach pomiarowych, a także mechanizmów przenoszenia oddziaływań czynników astronomicznych na klimat Ziemi.

W pierwszej połowie obecnego stulecia rozstrzygnie się, czy postępować będzie nadal ocieplenie klimatu – prognozowane według scenariuszy  $2 \times \text{CO}_2$ , czy też sprawdzą się prognozy głębokiego naturalnego ochłodzenia, uwarunkowanego określonymi wahaniami zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze i aktywności Słońca (stałej słonecznej). Teraz nie wiadomo, jaka część postępującego ocieplenia wynika z przyczyn naturalnych, a jaka – z intensyfikacji efektu cieplarnianego atmosfery.

Zarówno czynniki naturalne (astronomiczne, geologiczne), jak też antropogeniczne ( $\text{CO}_2$ , miejskie wyspy ciepła) kształtują ogólną cyrkulację atmosferyczną, a także cyrkulację strefową w szerokościach umiarkowanych.

Zimy w Europie (i Polsce) zależą przede wszystkim od równoleżnikowego transportu oceanicznych zasobów ciepła znad Oceanu Atlantyckiego. Dobrymi miarami cyрку-

lacji strefowej są wskaźniki Oscylacji Północnego Atlantyku (North Atlantic Oscillation, *NAO*). W ostatnich dwóch stuleciach nasiliło się ocieplające oddziaływanie Oceanu Atlantyckiego – w zimie (tendencje rosnące *NAO*), a osłabiło – ochładzające oddziaływanie latem (tendencja malejąca *NAO*).

Znając naturalne przyczyny współczesnych zmian klimatu Europy, silnie skorelowanych ze wskaźnikami *NAO*, można prognozować naturalne ochłodzenia i ocieplenia w XXI wieku.

Można oczekiwać, że przyszłe scenariusze zmian klimatu (modele cyrkulacji) będą uwzględniać nie tylko czynniki antropogeniczne, ale również naturalne, kształtujące klimat Ziemi w ostatnich stuleciach.

Prognozy zmian klimatu w nadchodzących latach powinny obejmować poszczególne regiony Polski, gdyż adwekcja powietrza, uwarunkowana położeniem cyklonów i antycyklonów nad obszarem Europy, jest często odmienna w różnych częściach Polski. W regionalnych prognozach istotnymi elementami jest uwzględnienie deformacji pól zmiennych meteorologicznych przez ukształtowanie powierzchni Ziemi.

Ważnym problemem do rozwiązania w przyszłości jest też określenie w prognostycznych scenariuszach deformacji pól przez miasto (np. Warszawę) – o coraz większej powierzchni sztucznej i większej objętości zabudowy.

Niepokojące jest, że negatywne skutki i związane z nimi zagrożenia działalności gospodarczej człowieka dotyczą tylko ocieplenia klimatu (np. katastroficzny wzrost poziomu oceanów). Natomiast nie ma żadnych ocen negatywnych ewentualnego gwałtownego ochłodzenia klimatu. Nie można wykluczyć np. kilku kolejnych erupcji wulkanicznych, które nagle mogą spowodować globalne ochłodzenie klimatu – prowadzące do znacznego przyrostu pokrywy lodowej na Ziemi.

Rozwój klimatologii zależy od postępu badań procesów atmosferycznych na Ziemi, uwarunkowanych dopływem energii słonecznej do powierzchni Ziemi. Istotne znaczenie mają badania: bilansu energii cieplnej w układzie Ziemia-atmosfera, wymiany ciepła w atmosferze i gruncie. Na przykład nie wiadomo, jaka część energii słonecznej jest akumulowana w głębszych warstwach łądu czy też wód oceanicznych podczas maksimów wiekowych aktywności Słońca i minimów wiekowych aktywności wulkanicznej na Ziemi. Nie wiadomo, jak zmienia się saldo bilansu energii cieplnej w czasie ochłodzeń i ociepleń klimatu.

Pojawił się również problem weryfikacji modeli fizycznych zmian klimatu Ziemi – scenariuszy  $2 \times \text{CO}_2$  „serwowanych” przez geofizyków (nie klimatologów), które uwzględniają jedynie efekt cieplarniany – z pominięciem czynników naturalnych kształtujących od wieków klimat Ziemi. Wymaga to także odpowiedniej wiedzy z zakresu matematyki, fizyki, chemii, geografii, tj. odpowiedniego kształcenia klimatologów w ramach studiów geograficznych.

## LITERATURA

- Baranowski D., 2001, *Zróźnicowanie warunków atmosferycznych w Polsce w zależności od typu cyrkulacji*, (maszynopis rozprawy doktorskiej), Warszawa.
- Barnston A.G., Livezey R.E., 1987, *Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns*, Mon. Wea. Rev., t. 115, s. 1083-1126.
- Boryczka J., 1974, *Empiryczne równania klimatu Polski*, (maszynopis), Warszawa.
- 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. WGSR 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., 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., Wągrowaska 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., Wicik B., 1994, *Record of holocene climatic cycles in lake sediments in Central Poland*, *Miscellanea Geographica*, nr 6.
- 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, *Izmienienija klimata*, Gidromietieoizdat, Leningrad.
- Budyko M.I., Piwowarowa Z.I., 1967, *Wlijanije wulkanicznych izwierzenij na prichodzaszczuju k powierchnosti Ziemi solnieczniju radiacju*, *Mieteorologija i Gidrologija*, nr 10.
- Charvatova I., Strestik J., 1994, *Udział długofalowych naturalnych zmian w obecnym ociepleniu globalnym (w): Globalne ocieplenie a współczesne zmiany klimatyczne w Polsce*, *Materiały Międzynarodowej Konferencji*, Szczecin 31 V - 1 VI 1993.
- Cyberski J., 1995, *Współczesne i prognozowane zmiany bilansu wodnego i jego rola w kształtowaniu zasolenia wód Bałtyku*, Wyd. Uniw. Gdańsk., *Rozprawy i Monografie* nr 206, Gdańsk.
- Dydina L.A., 1982, *Osobiennosti rozwitia sinopticzieskich processow w Arktikie i ich ispolzowanije w prognozach na srednije sroki*, Gidromietieoizdat, Leningrad.
- Flohn H., 1985, *Climatic prospects in the cane of extended CO<sub>2</sub> – induced warming*, *Meteor. Zeit.*, H. 1.
- Girs A.A., 1948, *K woprosu izuczenija osnovnych form atmosfiernoj cyrkulacji*, *Mieteorologija i Gidrologija*, t. 10, nr 3.
- Girs A.A., 1974, *Solnieczno-atmosfiernyje swiazi i ich rol w dolgosrocznych gidromieteorologiczieskich prognozach*, Gidromietieoizdat, Leningrad.
- Grabowska K., 2002, *Burze w Polsce i ich uwarunkowania (1951-1990)*, (maszynopis rozprawy doktorskiej), Warszawa.
- Groveman B.S., Landsberg H.E., 1979, *Simulated Northern Hemisphere Temperature Departures 1579-1980*, *Geophys. Res. Let.*, 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.
- 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., 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, *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. WGRS UW, Warszawa.
- Michalska A., 1998, *Długookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Polsce*, (maszynopis rozprawy doktorskiej), Warszawa.
- Morlet J., 1983, *Sampling theory and wave propagation*, NATO ASI Series, FI Springer.
- 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.
- Osuchowska-Klein B., 1978, *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej*, Wyd. KiŁ, Warszawa.
- Osuchowska-Klein B., 1991, *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej (1976-1990)*, Wyd. IMGW, Warszawa.
- Rakipowa L.R., 1960, *O wozdziejstwie solniecznoy aktiwnosci na obszczuju cirkulacju atmosfery*, 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., 1974, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. I, Wyd. UW, Warszawa.
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1976, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. II, Wyd. UW, Warszawa.
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., 1980, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. III, *Geograficzne gradienty parametrów wilgotności powietrza w Polsce*, Wyd. UW, Warszawa.
- Stopa-Boryczka M., Martyn D., Boryczka J., Wawer J., i in., 1986, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. IV, *Klimat północno-wschodniej Polski*, Wyd. UW, Warszawa.

- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Kicińska B., Żmudzka E., 1989, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. V, *Z badań klimatu Polski*, Wyd. UW, 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., Wągrowaska 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. WGR UW, Warszawa.
- Trepińska J., 1973, *Zmiany w przebiegu temperatury powietrza w Krakowie w XIX i XX wieku*, Przegł. Geofiz., z. 1-2.
- 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. WGR 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 schematyzacji sinoptycznych procesów*, Mieteorologija i Gidrologija, t. 3, nr 3.
- Wibig J., 2001, *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na rozkład przestrzenny anomalii temperatury i opadów w Europie*, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- 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.
- Żmudzka E., 1998, *Cykliczne zmiany temperatury powietrza w Polsce*, (maszynopis rozprawy doktorskiej), Warszawa.