

Joanna Wibig

FALE CIEPŁA I CHŁODU W ŚRODKOWEJ POLSCE NA PRZYKŁADZIE ŁODZI

*Średnie ocieplenie o stopień lub dwa
nie przeraża planistów.
Szkody gospodarcze wywołają dopiero częstsze susze,
fale upałów, powodzie, burze czy fale mrozów
i takim zjawiskom należałoby przeciwdziałać.*

William James Burroughs, 1997

WPROWADZENIE

Ostatni raport IPCC (Climate Change 2007) ocenia, że w minionym stuleciu temperatura wzrosła średnio o $0,74 \pm 0,18^{\circ}\text{C}$. Zmiany średniej mogą, choć nie muszą, pociągać za sobą znacznie większe zmiany w przebiegu wartości skrajnych (np. Katz, Brown 1992). Wzrost częstości lub intensywności ekstremalnych zdarzeń klimatycznych na pewno nie będzie korzystny dla środowiska naturalnego i człowieka. Istnieją trzy podstawowe kryteria wyróżniania zdarzeń ekstremalnych (Beniston, Stephenson 2004): częstość występowania, intensywność i skutki, jakie wywołują. W myśl tych kryteriów do zdarzeń ekstremalnych możemy zaliczać te, które na danym terenie lub w danej porze roku pojawiają się niezwykle rzadko, choć w innych obszarach lub terminach mogłyby uchodzić za zjawiska normalne. Do zjawisk ekstremalnych zaliczać też można zjawiska o dużej intensywności: burze, trąby powietrzne, huragany, nawet gdy na danym obszarze nie są wcale rzadkimi zdarzeniami. Jeszcze inne zdarzenia uznamy za ekstremalne w świetle kryterium skutków, jakie wywołują. Taka sama burza może być uznana za zjawisko ekstremalne w terenie gęsto zaludnionym, w którym jej wystąpienie spowoduje krótkotrwałą powódź, a na terenie leśnym nie zostanie nawet zauważona. W tym opracowaniu wykorzystano pierwsze ze wspomnianych – kryterium częstości.

Wspomniany już raport IPCC ostrzega, że współczesnemu ociepleniu w wielu regionach świata towarzyszy wzrost częstości i intensywności występowania fal upału i spadek częstości i intensywności pojawiania się fal chłodu. Podobne tendencje obserwuje się również w Europie (Brazdil i in. 1996, Heino i in. 1999) oraz w Polsce (Wibig, Głowicki 2002, Domonkos, Piotrowicz 1998), przy czym najintensywniejsze ocieplenie notuje się zimą (Piotrowicz 1998, 2003a) i wiosną, a niewielkie ochłodzenie daje się zauważyć jesienią (Kozuchowski 2004). Na wzrost częstości i intensywności występowania fal upału i spadek częstości i intensywności pojawiania się fal chłodu wskazują prace Wibig i in. (2007a, 2007b). Przez fale upału rozumie się tutaj ciągi następujących po sobie dni z temperaturą maksymalną przekraczającą 30°C (Limanówka 1999, Cebulak, Limanówka 2007), natomiast fale chłodu mogą być określane przez różne progi termiczne: -10°C, -15°C, -20°C (Piotrowicz 1998, 2002, Cebulak 1999). W literaturze europejskiej szereg wskaźników charakteryzujących fale upału i fale chłodu przedstawiają Klein Tank i Können (2003) oraz Moberg i Jones (2005). Autorzy zwracają w nich uwagę na możliwość występowania fal ciepła bądź chłodu w ciągu całego roku, choć oczywiście należy wówczas zmienić kryterium definiowania takich fal. Jednak z punktu widzenia zarówno człowieka, jak i ekosystemów, temperatury odbiegające od normy w każdej porze roku mogą mieć niekorzystne skutki. Gwałtowne ocieplenia zimą są często przyczyną odwilży i powodzi roztopowych. Duże ochłodzenia wczesną wiosną przyczyniają się do strat w sadach itp. Do wydzielania fal chłodu lub ciepła w dowolnym okresie roku Klein Tank i Können (2003) oraz Moberg i Jones (2005) proponują wykorzystanie odchylenia temperatury od średniej obliczonej osobno dla każdego dnia kalendarzowego. Fale ciepła lub chłodu identyfikuje się, gdy odchylenie przekracza wartość graniczną, stałą w ciągu całego roku, bądź zdefiniowaną poprzez odchylenie standardowe lub percentyle. Czasem przyjmuje się również minimalną liczbę dni, która wymagana jest, by dane ocieplenie (ochłodzenie) można było uznać za falę ciepła (chłodu). Zwykle jest to od 3 do 6 dni.

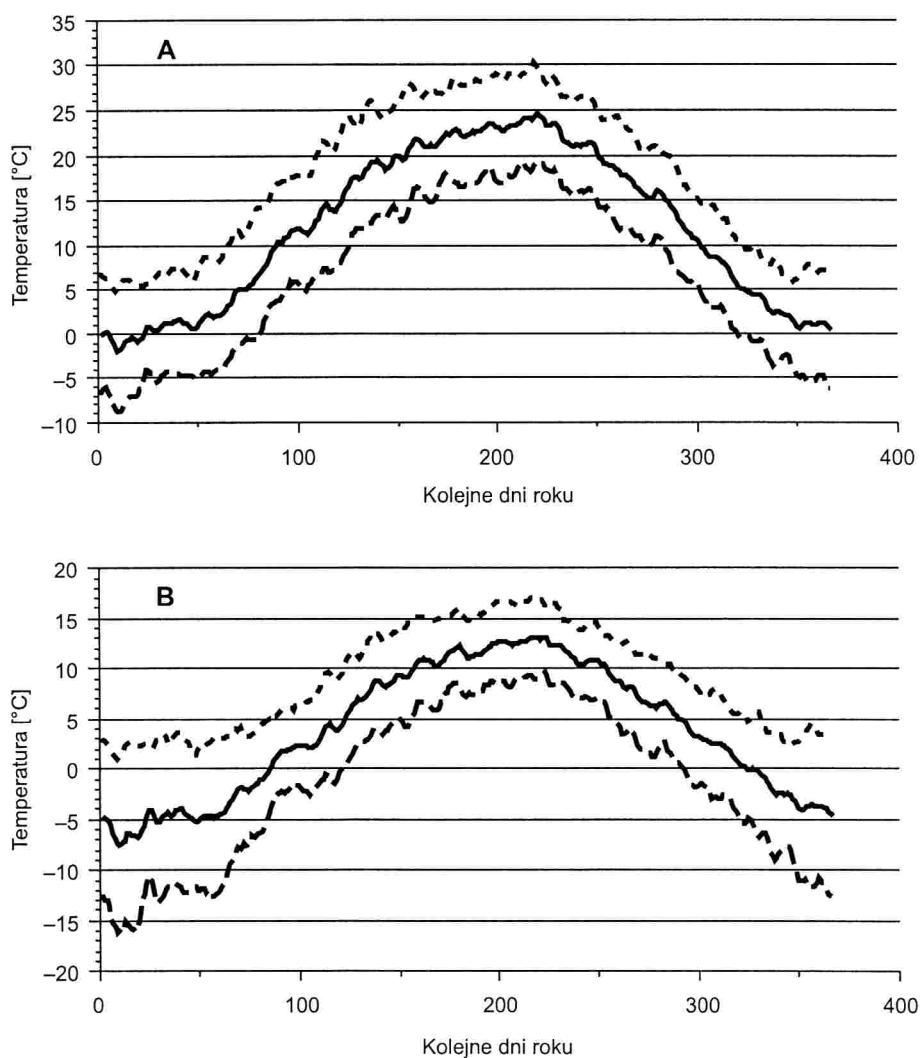
Celem tego opracowania jest wydzielenie fal ciepła i chłodu w środkowej Polsce na podstawie serii obserwacyjnej minimalnej i maksymalnej temperatury powietrza w Łodzi, zbadanie czasowej zmienności występowania tego zjawiska zarówno pod względem częstości, jak i intensywności, określenie cyrkulacyjnych uwarunkowań pojawiania się fal ciepła i chłodu oraz określenie związków z ociepleniem w skali globalnej.

DANE I METODY

W opracowaniu wykorzystano minimalne i maksymalne temperatury dobowe w Łodzi z lat 1931–2006. W serii pomiarowej jest kilka przerw.

Brakuje danych od sierpnia 1939 r. do marca 1940 r., całego roku 1945 oraz października i listopada 1946 r. Okresy ciepłe i chłodne wyróżniono na podstawie maksymalnej temperatury dobowej (ciepłe i chłodne dni) i minimalnej temperatury dobowej (ciepłe i chłodne noce) w oparciu o odchylenia od średniej wyrażone w odchyleniach standardowych, przy czym średnia i odchylenie standardowe wyznaczono dla referencyjnego trzydziestolecia 1961–1990. Dla każdego dnia kalendarzowego obliczono średnią minimalną i maksymalną temperaturę dobową, a dla ich wygładzenia zastosowano średnią ruchomą pięciodniową wyśrodkowaną na danym dniu. Dodatkowo policzono odchylenie standardowe w każdym dniu kalendarzowym w oparciu o średnią z tego dnia, dwóch dni poprzedzających i dwóch następujących po nim. Następnie dla każdego dnia serii danych wyznaczono liczbę odchyłeń standardowych, o które temperatura minimalna i maksymalna różni się od średniej. Dni, w których temperatura była wyższa od średniej o 1,28 odchylenia standardowego lub więcej uznano za bardzo ciepłe, a te, w których temperatura była niższa od średniej o 1,28 odchylenia standardowego lub więcej uznano za bardzo chłodne. Próg 1,28 wybrano dlatego, że w przypadku rozkładu normalnego ok. 10% wartości przekracza średnią o więcej niż 1,28 odchylenia standardowego. Kwantyle te wydzielają zatem 10% najwyższych i 10% najniższych temperatur. Podobną koncepcję wydzielania okresów chłodnych i ciepłych zaproponowali Klein Tank i Können (2003), przyjmując jako kryterium odchylenie od średniej o stałą wartość 5°C. Jednak w Łodzi odchylenie standardowe silnie zmienia się w cyklu rocznym, jest największe zimą, a stosunkowo niewielkie latem. Przyjęcie kryterium proponowanego przez wspomnianych autorów spowodowałoby, że liczba fal, zarówno ciepła, jak i chłodu, byłaby latem nieproporcjonalnie większa niż zimą. Roczny przebieg średniej maksymalnej i minimalnej temperatury dobowej w Łodzi w okresie referencyjnym 1961–1990 przedstawia rys. 1. Zaznaczono na nim również wartości graniczne dla przyjętego kryterium, czyli średnią $\pm 1,28$ odchylenia standardowego.

W oparciu o odchylenia standardowe od średniej wydzielono dni (oraz noce) ciepłe i chłodne. Policzono liczby ciągów dni oraz nocy ciepłych i chłodnych o różnych długościach w poszczególnych porach roku i w całym roku. Wyznaczono maksymalne długości takich okresów oraz sumę dni chłodnych i ciepłych w poszczególnych latach, a następnie oszacowano ich wieloletnią zmienność za pomocą metody Sena, służącej do szacowania współczynnika nachylenia linii trendu (Sen 1968). W przypadku analizowanych szeregów metoda ta lepiej nadaje się do oceny współczynnika nachylenia trendu liniowego niż metoda najmniejszych kwadratów, gdyż nie wymaga żadnych założeń co do typu rozkładu i nie jest wrażliwa na duże, pojedyncze odchylenia od średniej.



Rys. 1. Roczny przebieg średniej (linia ciągła) i wartości progowych (średnia ± 1.28 odchylenia standardowego, linie przerywane) maksymalnej (A) i minimalnej (B) temperatury dobowej w Łodzi w okresie referencyjnym 1961–1990

Fig. 1. Annual mean course (solid line) and threshold values (mean value ± 1.28 of standard deviation, dotted lines) maximum (A) and minimum (B) daily temperature in Łódź within reference period 1961–1990

FALE CIEPŁA

Fale ciepła podzielono na fale ciepłych dni – dni z temperaturą maksymalną przekraczającą wartość progową – i fale ciepłych nocy – dni z temperaturą minimalną przekraczającą wartość progową.

Ciepłe dni

Zgodnie z przyjętą definicją, dni ciepłe mogą pojawiać się we wszystkich miesiącach, jednak ich rozkład ma wyraźny bieg roczny (tab. 1, rys. 2). Średnia liczba fal ciepłych dni wahała się od 1,19 w lutym do 2,15 w lipcu, a średnia liczba dni w takiej fali zawierała się w granicach od 2,71 w grudniu do 4,64 w lipcu. Najdłuższa fala ciepła wystąpiła na przełomie stycznia i lutego 2002 r. (od 22 stycznia do 7 lutego) i wynosiła 17 dni, a następną w kolejności była piętnastodniowa fala ciepła od 23 lipca do 6 sierpnia 1994 r. Przyjęto w tym opracowaniu zasadę, by falę zaliczać do tego miesiąca, w którym się rozpoczęła.

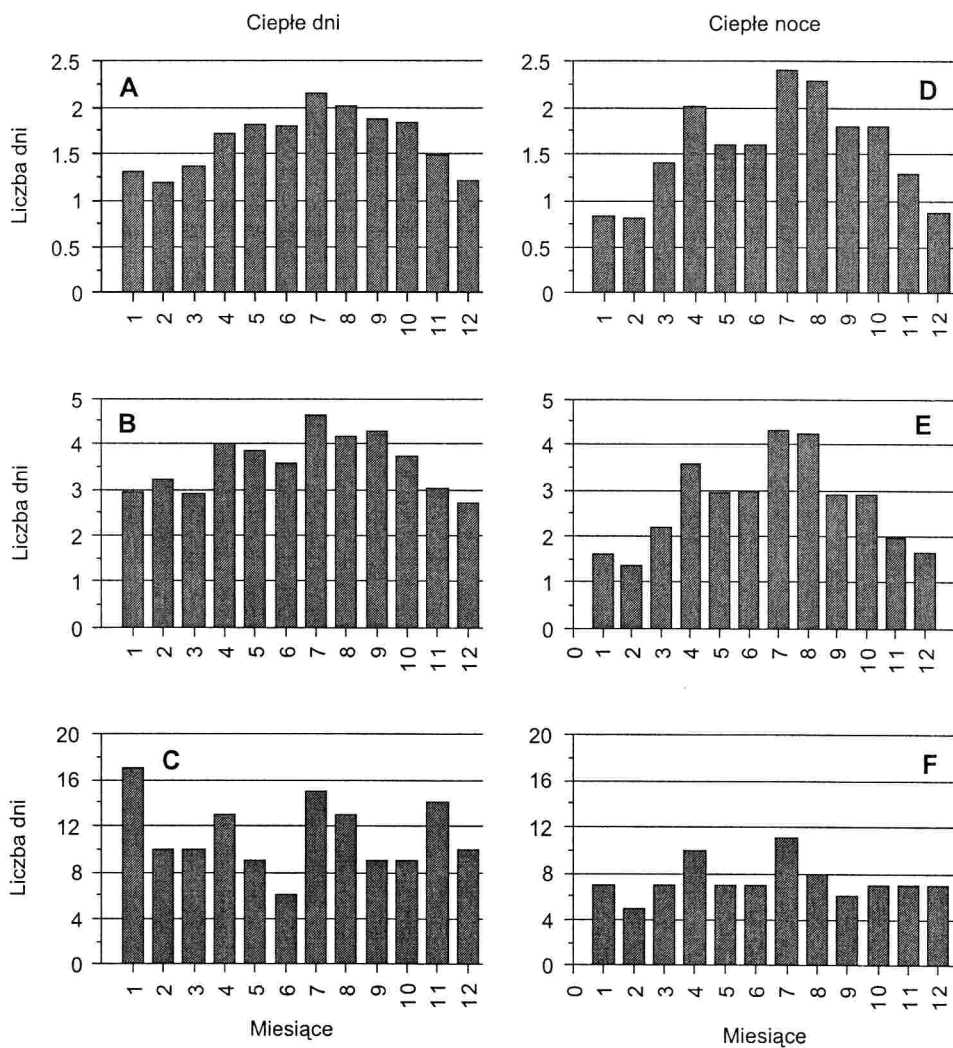
Tabela 1

Fale ciepła w Łodzi w latach 1931–2006

Waves of warmth in Łódź in 1931–2006

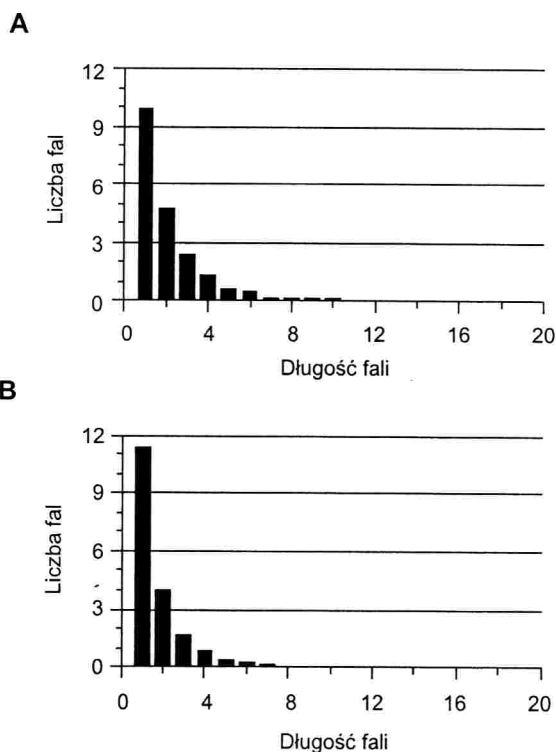
Miesiąc	Ciepłe dni		Ciepłe noce	
	średnia liczba fal ciepła	średnia długość [dni]	średnia liczba fal ciepła	średnia długość [dni]
Styczeń	1,29	2,73	0,84	1,59
Luty	1,19	3,21	0,81	1,37
Marzec	1,37	2,89	1,41	2,21
Kwiecień	1,71	3,99	2,01	3,57
Maj	1,81	3,84	1,60	2,95
Czerwiec	1,79	3,56	1,59	2,99
Lipiec	2,15	4,64	2,40	4,31
Sierpień	2,01	4,15	2,28	4,25
Wrzesień	1,87	4,28	1,79	2,89
Październik	1,83	3,75	1,80	2,91
Listopad	1,48	3,01	1,28	1,95
Grudzień	1,21	2,71	0,88	1,65

Najczęstsze były jednodniowe fale ciepła, średnio pojawiało się ich 9,91 rocznie. Jednocześnie średnio w roku pojawiały się 4,76 fale dwudniowe, 2,36 fale trzydniowe i 1,31 fal czterodniowych. Dłuższe fale występowały znacznie rzadziej: pięcio- i sześciodniowe raz na dwa lata (odpowiednio 0,57 i 0,45 rocznie), siedmio- i ośmiodniowe średnio raz na pięć lat (odpowiednio 0,17 i 0,19 rocznie), dziewięcio- i dziesięciodniowe raz na dziewięć lat (obie 0,11 rocznie). Dłuższe fale ciepła zdarzały się sporadycznie (rys. 3).



Rys. 2. Roczny przebieg średniego czasu trwania najdłuższej fali ciepłych dni (A) i nocy (D), średniej liczby dni w falach ciepłych dni (B) i nocy (E) i najdłuższej fali ciepłych dni (C) i nocy (F)

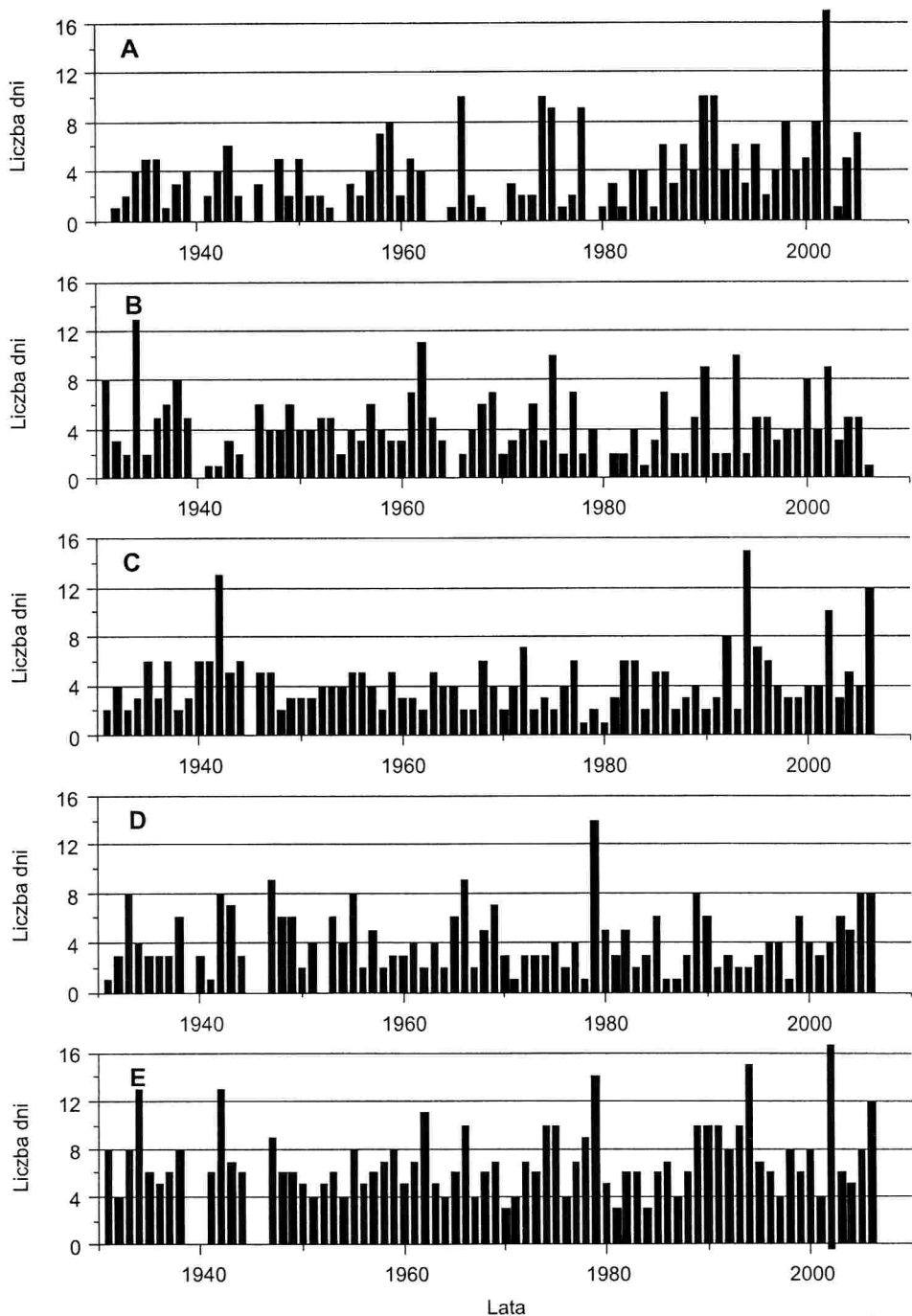
Fig. 2. Annual course of mean duration time of the longest waves of warm days (A) and nights (D), average days number during period of warm days (B) and nights (E) and the longest periods of warm days (C) and nights (F)



Rys. 3. Liczba ciągów ciepłych dni (A) i nocy (B) w zależności od czasu trwania

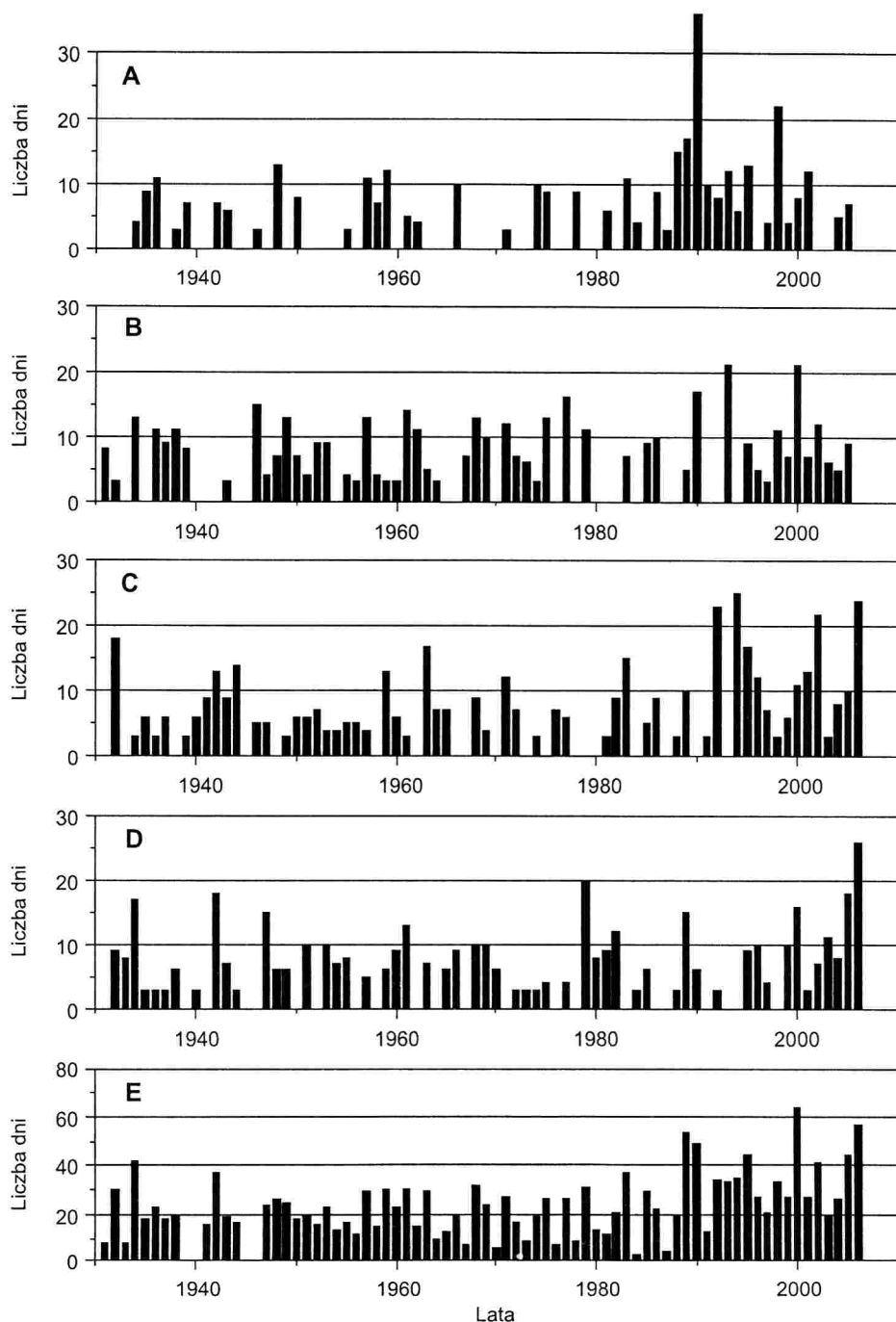
Fig. 3. Number of warm days (A) and warm nights (B) series depending on duration time

Szczegółowej analizie poddano fale ciepłych dni trwające nieprzerwanie przez co najmniej trzy dni. Ponieważ zdarzały się one dość rzadko, analizowano ich parametry w skali sezonowej i rocznej. Badano też maksymalną długość fali ciepła (rys. 4) oraz całkowitą liczbę dni w co najmniej trzydniowych falach (rys. 5). W wielu sezonach takie fale w ogóle się nie pojawiły. Średnia maksymalna długość fali w sezonie wahała się od 3,82 dni w zimie do 4,28 dni w lecie, a dla roku wyniosła 7,06 dni. Średnio w roku wszystkie fale co najmniej trzydniowe trwały łącznie 23,82 dni (od 5,01 w zimie do 6,48 w lecie). Zimą najwięcej takich dni wystąpiło w 1990 r. (36), wiosną w 1993 i 2000 (21), latem w 1994 (25), a jesienią w 2006 r. (26). W ciągu całego roku najwięcej dni ciepłych w co najmniej trzydniowych ciągach wystąpiło w 2000 r. (64 dni), a w następnej kolejności w 2006 (57 dni) i 1989 r. (54 dni). Liczba dni ciepłych w falach co najmniej trzydniowych wzrosła pod koniec ubiegłego wieku i wzrost ten był spowodowany głównie zmianami w sezonie letnim (czerwiec-sierpień) – rys. 5.



Rys. 4. Najdłuższy ciąg ciepłych dni w poszczególnych porach roku: zimą (A), wiosną (B), latem (C), jesienią (D) i w całym roku (E) w Łodzi w latach 1931–2006

Fig. 4. The longest sequence of warm days in particular seasons: winter (A), spring (B), summer (C), autumn (D) and in the whole year (E) in Łódź in 1931–2006



Rys. 5. Liczba ciepłych dni w poszczególnych porach roku: zimą (A), wiosną (B), latem (C), jesienią (D) i w całym roku (E) w Łodzi w latach 1931–2006

Fig. 5. Number of warm days in particular seasons: winter (A), spring (B), summer (C), autumn (D) and in the whole year (E) in Łódź in 1931–2006

Zbadano trendy liniowe, zarówno maksymalnej długości fali, jak i sumy dni w falach co najmniej trzydniowych (tab. 2). Maksymalna długość fali ciepła wzrosła istotnie zimą (0,28 dnia na 10 lat), a liczba dni w tego typu falach wzrosła istotnie latem (0,33 dnia na 10 lat) i w całym roku (1,79 dnia na 10 lat).

Tabela 2

Współczynniki trendu liniowego (w dniach na 10 lat) liczby dni i nocy ciepłych (w ciągach co najmniej trzydniowych) i maksymalnej długości fali ciepła (ciągu ciepłych dni lub nocy)

Linear trends coefficients (in days per 10 years) of warm days and nights numbers (in at least three-day long series) and maximum length of warm period (sequence of warm days or nights)

Pora roku	Liczba ciepłych dni	Najdłuższy ciąg ciepłych dni	Liczba ciepłych nocy	Najdłuższy ciąg ciepłych nocy
Zima	–	+0,28	–	+0,17
Wiosna	–	–	–	–
Lato	+0,33	–	+0,36	–
Jesień	–	–	–	+0,20
Rok	+1,79	–	+1,61	–

Podano tylko współczynniki trendu istotne na poziomie 95%.

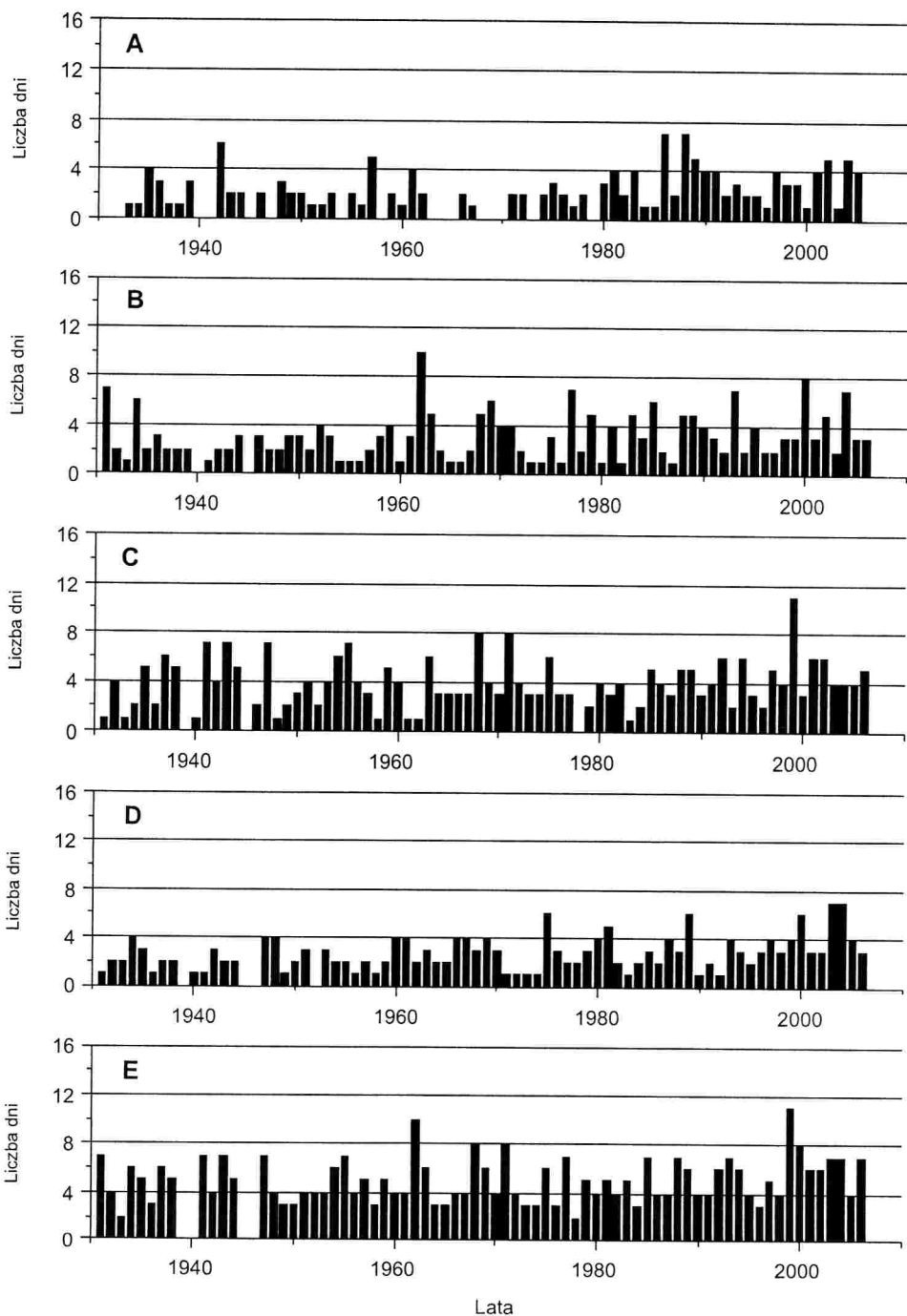
Only trend coefficients with 95% significance level are shown.

Ciepłe noce

Średnia liczba ciepłych nocy (nieprzerwanych ciągów dni o temperaturze minimalnej przekraczającej przyjęty próg) była największa latem (tab. 1, rys. 2), z maksimum w lipcu 2,28 dni, a najmniejsza zimą, z minimum w lutym (0,81 dnia). Średnio najdłuższe fale występowały w lipcu (4,31 dnia), a najkrótsze w lutym (1,37 dnia). Najdłuższą falę ciepłych nocy zanotowano od 4 do 14 lipca 1999 r. (11 dni). Następną w kolejności była dziesięciodniowa fala ciepła od 16 do 25 kwietnia 1962 r.

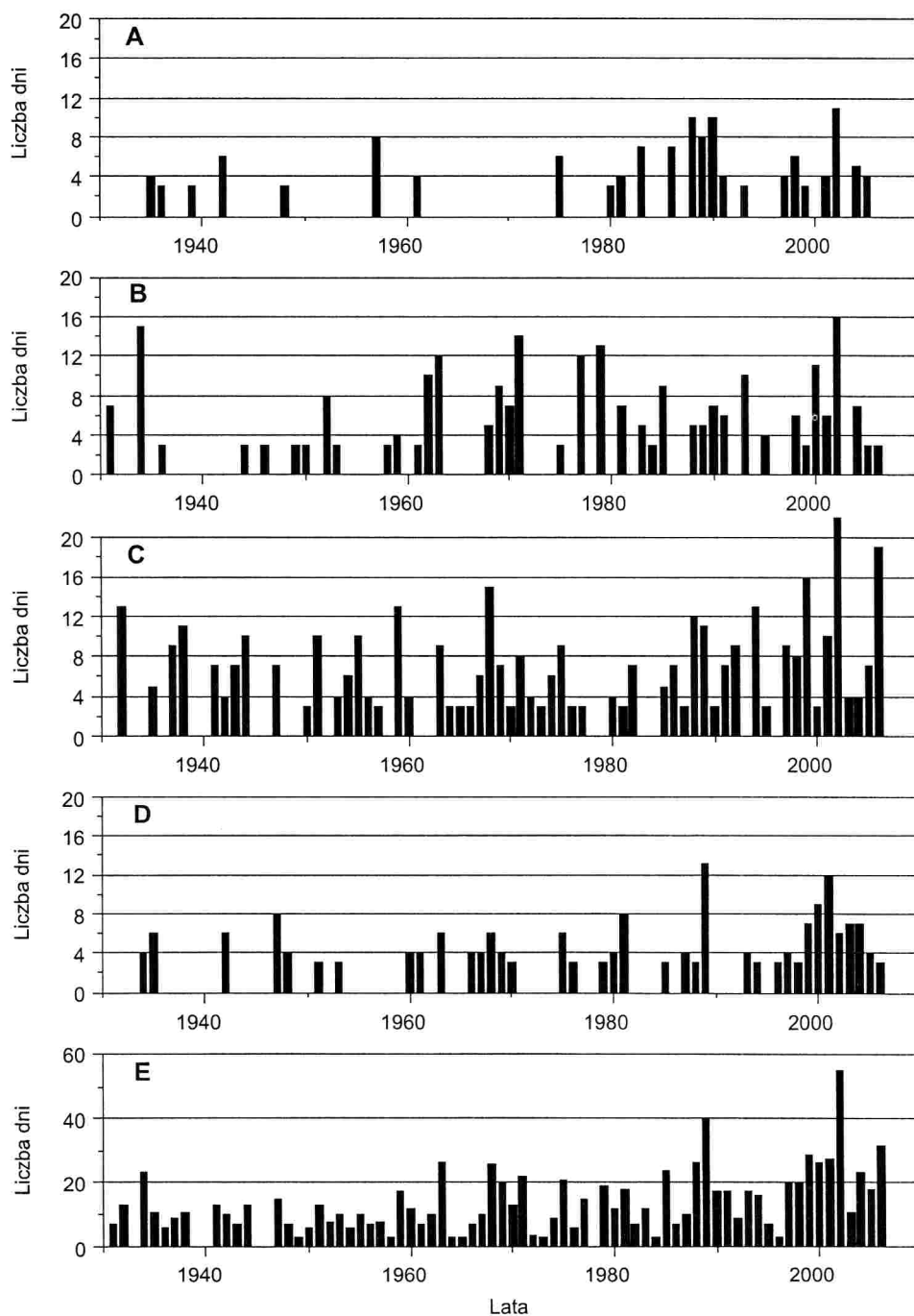
Najczęstsze były jednodniowe fale ciepła, średnio pojawiało się ich 11,37 rocznie. Jednocześnie, średnio w roku, pojawiały się 3,99 fale dwudniowe i 1,68 fale trzydniowe. Dłuższe fale obserwowano znacznie rzadziej: czterodniowe prawie raz na rok (0,84 rocznie), pięciodniowe raz na trzy lata (0,36 rocznie), sześć- i siedmiodniowe średnio raz na pięć lat (odpowiednio 0,21 i 0,17 rocznie). Dłuższe fale ciepła zdarzały się sporadycznie (rys. 3).

Podobnie jak poprzednio, szczegółowej analizie poddano maksymalną długość fali ciepła (rys. 6) oraz całkowitą liczbę dni w co najmniej trzydniowych falach (rys. 7). W wielu sezonach takie fale w ogóle się nie



Rys. 6. Najdłuższy ciąg ciepłych nocy w poszczególnych porach roku: zimą (A), wiosną (B), latem (C), jesienią (D) i w całym roku (E) w Łodzi w latach 1931–2006

Fig. 6. The longest sequence of warm nights in particular seasons: winter (A), spring (B), summer (C), autumn (D) and in the whole year (E) in Łódź in 1931–2006



Rys. 7. Liczba ciepłych nocy w poszczególnych porach roku: zimą (A), wiosną (B), latem (C), jesienią (D) i w całym roku (E) w Łodzi w latach 1931–2006

Fig. 7. Number of warm nights in particular seasons: winter (A), spring (B), summer (C), autumn (D) and in the whole year (E) in Łódź in 1931–2006

pojawiały. Średnia maksymalna długość fali w sezonie wahała się od 2,12 dni w zimie do 3,86 dni w lecie, a dla roku wyniosła 5,07 dni. Średnio w roku wszystkie fale co najmniej trzydniowe trwały łącznie 13,64 dni (od 1,78 w zimie do 5,46 w lecie). Zimą najczęściej takich dni wystąpiło w 2002 r. (11), wiosną w 2002 (16), latem również w 2002 (22) oraz jesienią w 1989 r. (13). W ciągu całego roku najczęściej nocy ciepłych, w co najmniej trzydniowych ciągach, wystąpiło w 2002 r. (55 nocy), a w następnej kolejności w 1989 r. (40 nocy). Liczba dni ciepłych, w falach co najmniej trzydniowych, wzrosła pod koniec ubiegłego wieku i wzrost ten był spowodowany głównie zmianami w sezonie letnim (czerwiec–sierpień) – rys. 7. Zbadano trend liniowy zarówno maksymalnej długości fali, jak i sumy dni w falach co najmniej trzydniowych (tab. 2). Maksymalna długość fali ciepła wzrosła istotnie zimą (0,17 dnia na 10 lat) i jesienią (0,20 dnia na 10 lat), a liczba dni zwiększyła się istotnie latem (0,36 dnia na 10 lat) i w całym roku (1,61 dnia na 10 lat).

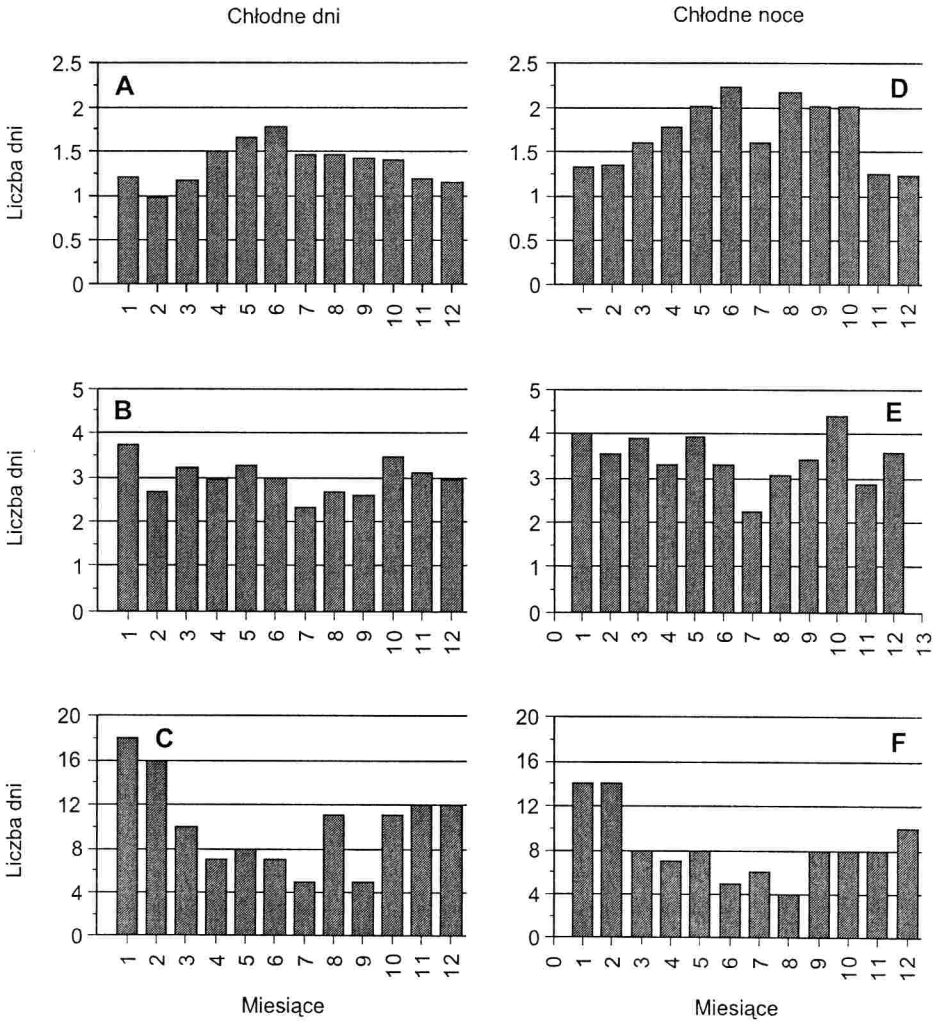
FALE CHŁODU

Analogicznie do fal ciepła, wyróżniamy fale dni chłodnych, w których temperatura maksymalna utrzymuje się poniżej progu wyznaczonego dla danego dnia kalendarzowego, i fale chłodnych nocy, w których temperatura minimalna nie osiąga wartości progowej.

Chłodne dni

Średnia liczba fal chłodu (nieprzerwanych ciągów dni o temperaturze maksymalnej poniżej przyjętego progu) miała wyraźny bieg roczny (tab. 3, rys. 8) i wahała się od 0,97 w lutym do 1,77 w czerwcu. Średnia liczba dni w takiej fali zawierała się w granicach od 2,32 w lipcu do 3,44 w październiku i nie zmieniała się regularnie w cyklu rocznym. Najdłuższa fala chłodu wystąpiła w styczniu 1942 r. (od 11 do 28 stycznia) i trwała 18 dni, a następne w kolejności były dwie szesnastodniowe fale chłodu: od 6 do 21 lutego 1947 r. i od 23 stycznia do 7 lutego 1954 r.

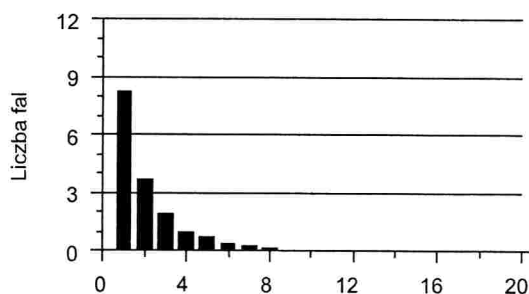
Jednodniowe fale chłodu pojawiały się średnio 8,20 razy w roku, dwudniowe 3,67 razy, a trzydniowe 1,88 razy. Średnio raz na rok występowała czterodniowa fala chłodu (dokładnie 0,99), jeszcze rzadsze były fale pięciodniowe – 0,67 razy rocznie. Raz na trzy lata przypada sześciodniowa fala chłodu (0,35), a raz na pięć lat siedmio- i ośmiodniowa (odpowiednio 0,20 i 0,19). Dłuższe fale występowały sporadycznie (rys. 9).



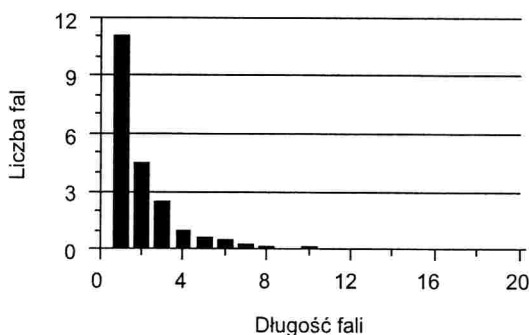
Rys. 8. Roczny przebieg średniego czasu trwania najdłuższej fali chłodnych dni (A) i nocy (D), średniej liczby dni w falach chłodnych dni (B) i nocy (E) i najdłuższej fali chłodnych dni (C) i nocy (F)

Fig. 8. Annual course of mean duration time of the longest waves of cold days (A) and nights (D), average days number during period of cold days (B) and nights (E) and the longest periods of cold days (C) and nights (F)

A



B



Rys. 9. Liczba ciągów chłodnych dni (A) i nocy (B) w zależności od czasu trwania

Fig. 9. Number of cold days (A) and cold nights (B) series depending on duration time

Tabela 3

Fale chłodu w Łodzi w latach 1931–2006

Waves of coldness in Łódź in 1931–2006

Miesiąc	Chłodne dni		Chłodne noce	
	średnia liczba fal chłodu	średnia długość [dni]	średnia liczba fal chłodu	średnia długość [dni]
Styczeń	1,20	3,75	1,32	3,99
Luty	0,97	2,67	1,35	3,53
Marzec	1,16	3,23	1,60	3,89
Kwiecień	1,51	2,96	1,77	3,29
Maj	1,65	3,27	2,01	3,91
Czerwiec	1,77	2,97	2,23	3,28
Lipiec	1,47	2,32	1,61	2,23
Sierpień	1,47	2,67	2,17	3,08
Wrzesień	1,43	2,61	2,01	3,41
Październik	1,40	3,44	2,01	4,41
Listopad	1,19	3,11	1,24	2,87
Grudzień	1,15	2,93	1,23	3,59

Badano też maksymalną długość fali dni chłodnych (rys. 10) oraz całkowitą liczbę dni w co najmniej trzydniowych falach (rys. 11). Zdarzyły się sezony, w których najdłuższa fala chłodu nie osiągnęła trzech dni. Średnia maksymalna długość fali dni chłodnych w sezonie wahała się od 2,91 dni w lecie do 4,40 dni w zimie, a dla roku wyniosła 6,83 dni. Średnio w roku wszystkie co najmniej trzydniowe fale trwały łącznie 19,67 dni (od 3,08 w lecie do 6,11 w zimie). Zimą najwięcej takich dni wystąpiło w 1963 r. (34), wiosną w 1941 (25), latem w 1978 (14) oraz jesienią w 1941 i 1998 r. (20). W ciągu całego roku najwięcej dni chłodnych, w co najmniej trzydniowych ciągach, zanotowano w 1956 r. (72 dni), a w następnej kolejności w 1941 (64 dni) i 1996 (56 dni). Roczna liczba dni chłodnych, w falach co najmniej trzydniowych, spadła pod koniec ubiegłego wieku (tab. 4). Zbadano również trend liniowy, zarówno maksymalnej długości fali, jak i sumy dni w falach co najmniej trzydniowych (tab. 4). Maksymalna długość fali chłodu zmniejszała się istotnie zimą (o 0,18 dnia na 10 lat), a liczba dni chłodnych w roku malała o 0,87 dnia na 10 lat.

Chłodne noce

Średnia liczba fal chłodnych nocy (nieprzerwanych ciągów dni o temperaturze minimalnej poniżej przyjętego progu) miała wyraźny bieg roczny (tab. 4) i w analizowanym okresie wahała się od 1,23 w grudniu do 2,23 w czerwcu. Rytm ten zakłócony został jednak przez stosunkowo niską liczbę fal chłodnych nocy w lipcu, wynoszącą tylko 1,61. Średnia liczba dni w takiej fali wahała się od 2,23 w lipcu do 4,41 w październiku i podobnie do fal chłodnych dni nie przejawiała regularnego cyklu rocznego. Najdłuższa fala chłodu trwała 14 dni i wystąpiła dwukrotnie w analizowanym okresie od 6 do 19 lutego 1947 r. i od 23 stycznia do 5 lutego 1954 r.

Tabela 4

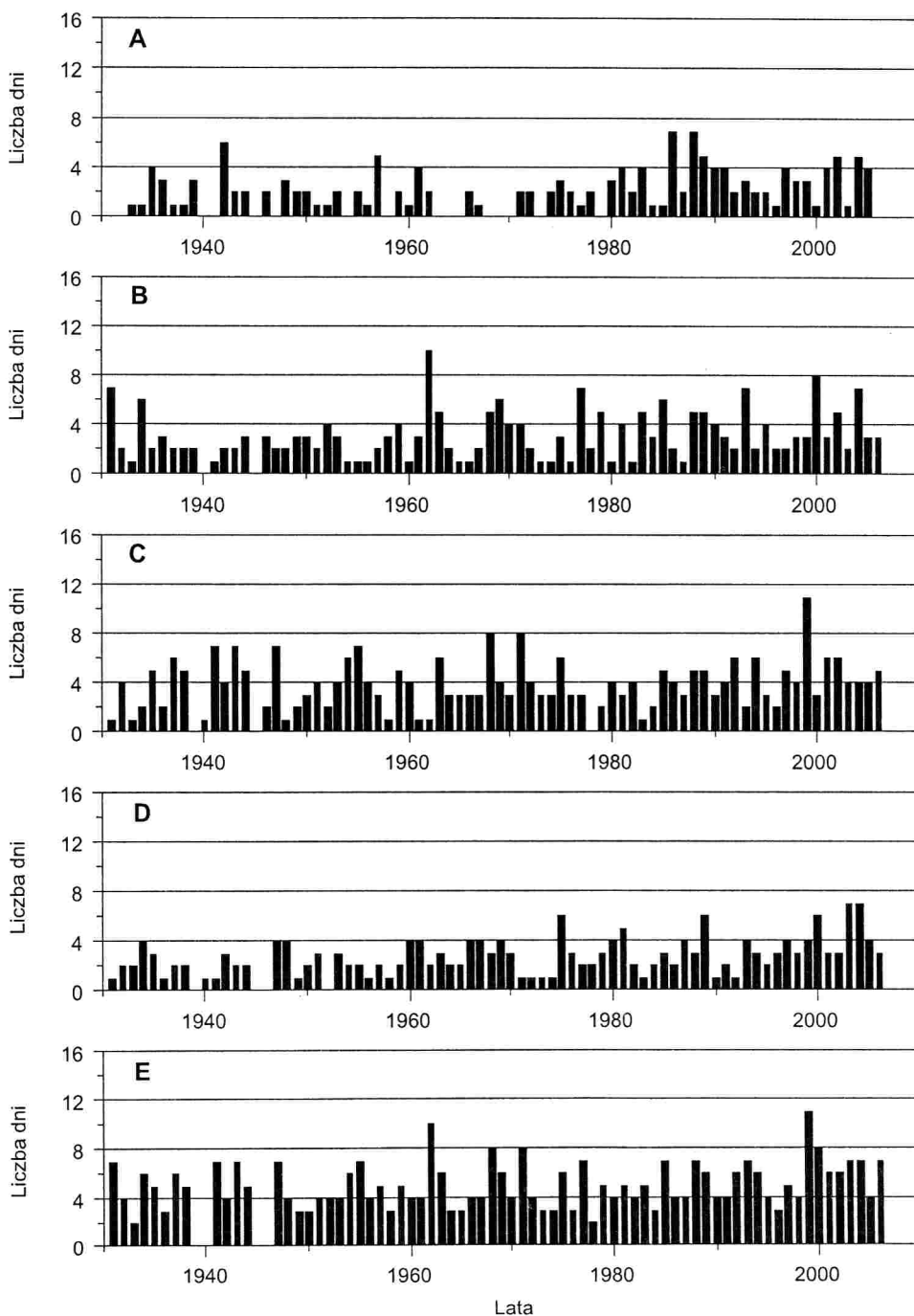
Współczynniki trendu liniowego (w dniach na 10 lat) liczby dni i nocy chłodnych (w ciągach co najmniej trzydniowych) i maksymalnej długości fali chłodu (ciągu chłodnych dni lub nocy)

Linear trends coefficients (in days per 10 years) of cold days and nights numbers (in at least three-day long series) and maximum length of cold period (sequence of warm days or nights)

Pora roku	Liczba chłodnych dni	Najdłuższy ciąg chłodnych dni	Liczba chłodnych nocy	Najdłuższy ciąg chłodnych nocy
Zima	—	−0,18	—	−0,17
Wiosna	—	—	−0,48	—
Lato	—	—	—	—
Jesień	—	—	—	—
Rok	−0,87	—	−1,43	−0,21

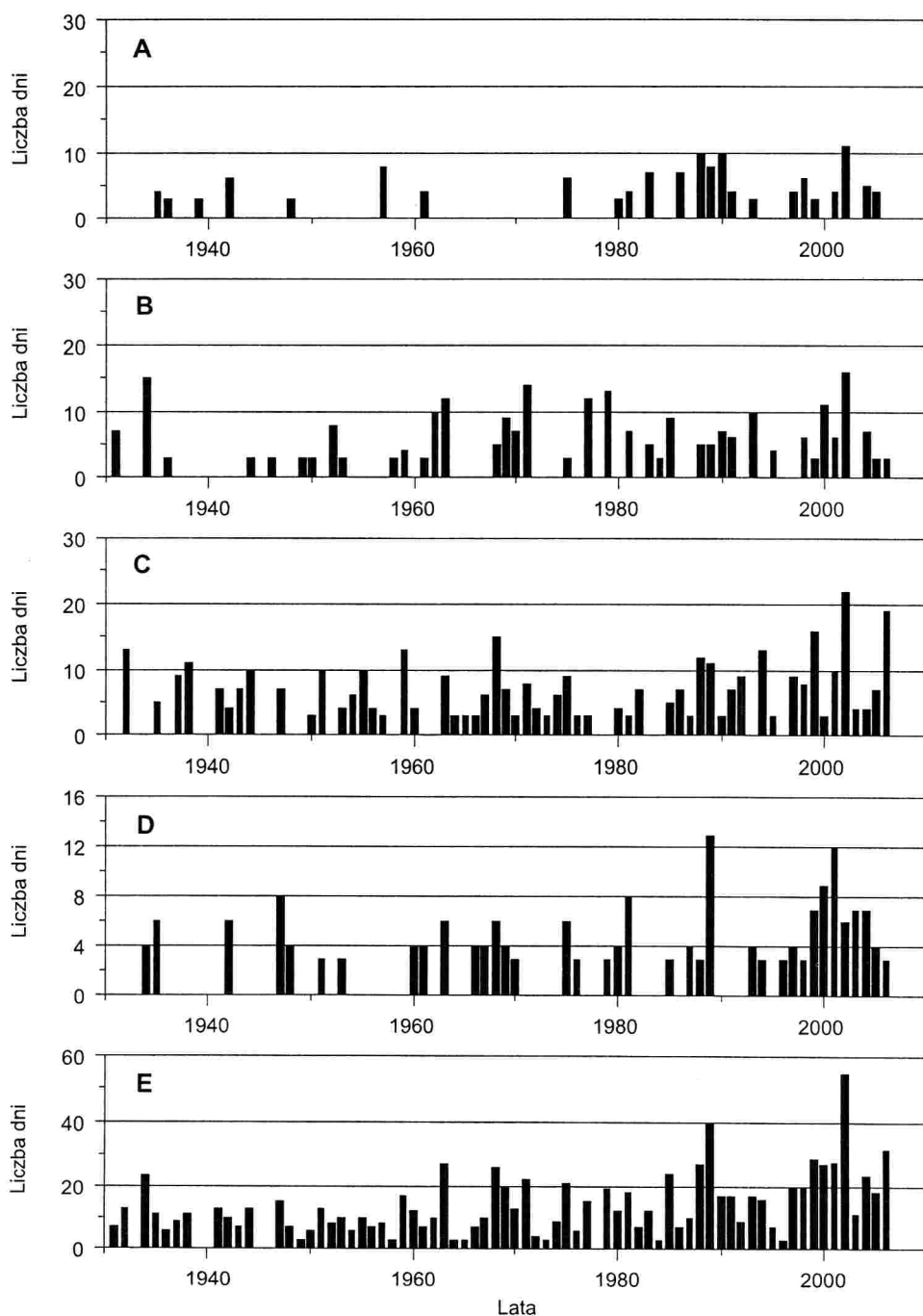
Podano tylko współczynniki trendu istotne na poziomie 95%.

Only trend coefficients with 95% significance level are shown.



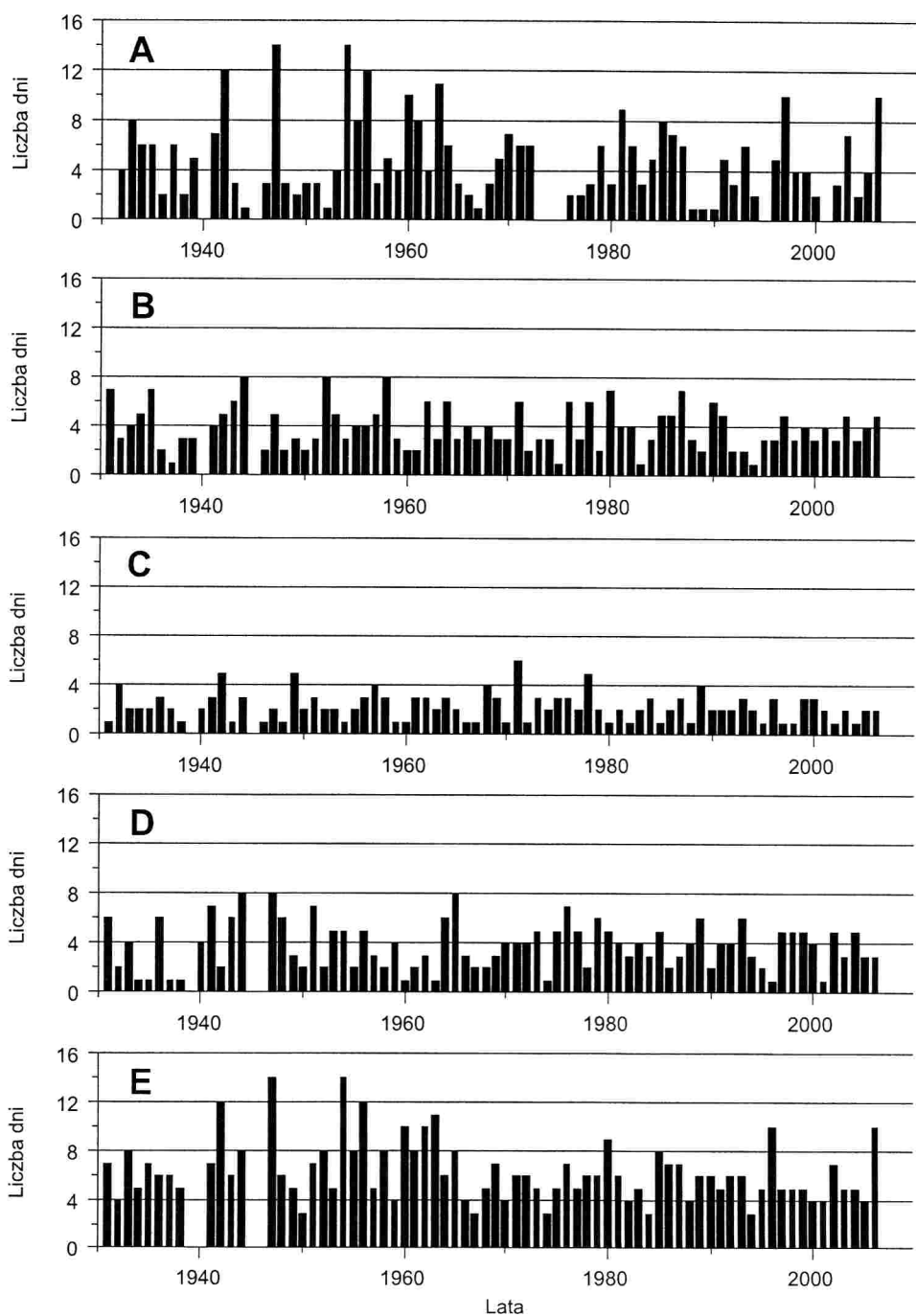
Rys. 10. Najdłuższy ciąg chłodnych dni w poszczególnych porach roku: zimą (A), wiosną (B), latem (C), jesienią (D) i w całym roku (E) w Łodzi w latach 1931–2006

Fig. 10. The longest sequence of cold days in particular seasons: winter (A), spring (B), summer (C), autumn (D) and in the whole year (E) in Łódź in 1931–2006



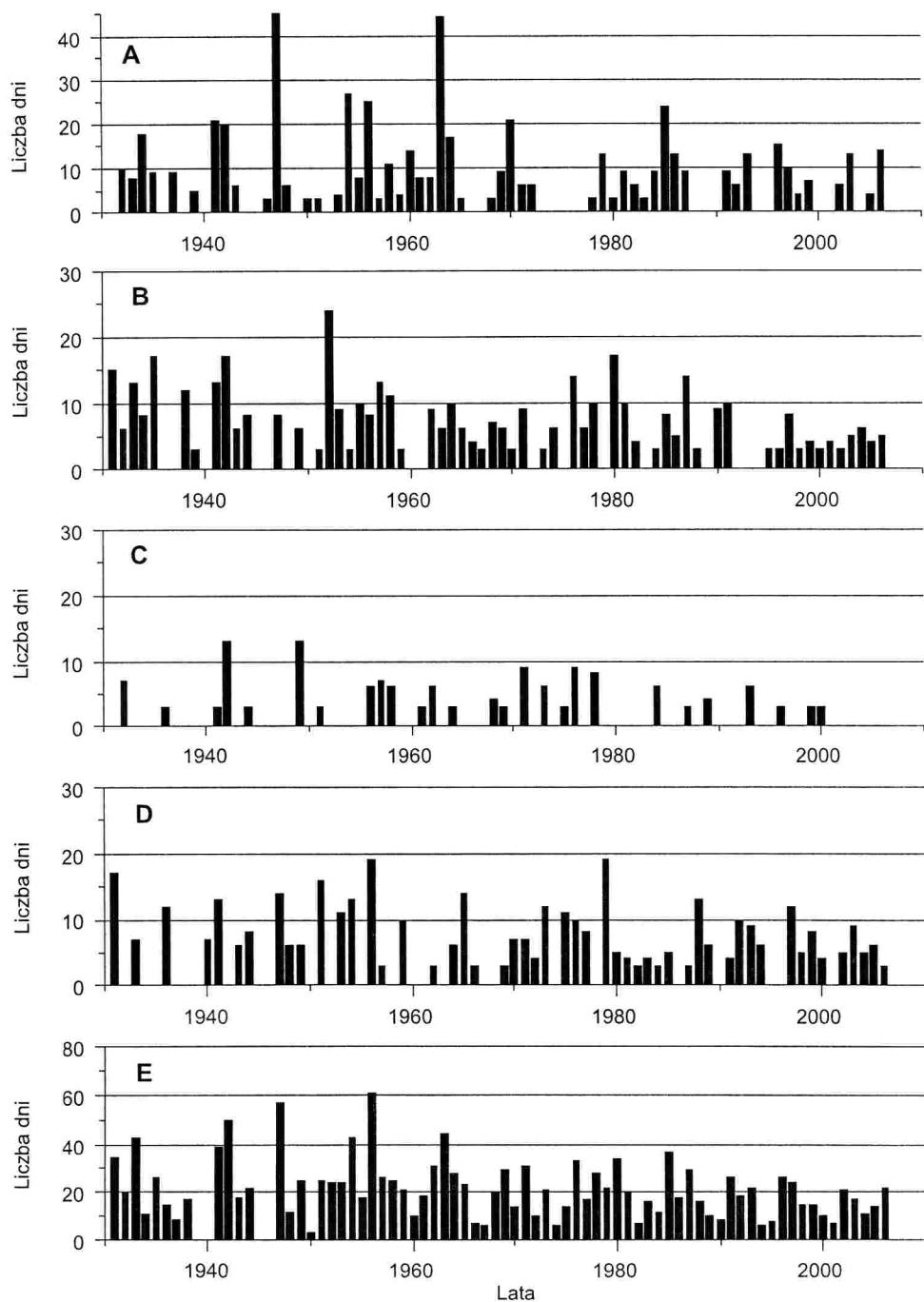
Rys. 11. Liczba chłodnych dni w poszczególnych porach roku: zimą (A), wiosną (B), latem (C), jesienią (D) i w całym roku (E) w Łodzi w latach 1931–2006

Fig. 11. Number of warm days in particular seasons: winter (A), spring (B), summer (C), autumn (D) and in the whole year (E) in Łódź in 1931–2006



Rys. 12. Najdłuższy ciąg chłodnych nocy w poszczególnych porach roku: zimą (A), wiosną (B), latem (C), jesienią (D) i w całym roku (E) w Łodzi w latach 1931–2006

Fig. 12. The longest sequence of cold nights in particular seasons: winter (A), spring (B), summer (C), autumn (D) and in the whole year (E) in Łódź in 1931–2006



Rys. 13. Liczba chłodnych nocy w poszczególnych porach roku: zimą (A), wiosną (B), latem (C), jesienią (D) i w całym roku (E) w Łodzi w latach 1931–2006

Fig. 13. Number of cold nights in particular seasons: winter (A), spring (B), summer (C), autumn (D) and in the whole year (E) in Łódź in 1931–2006

Jednodniowe fale chłodnych nocy pojawiały się średnio 11,1 razy rocznie, dwudniowe 4,5, a trzydniowe 2,5 razy rocznie. Średnio prawie co roku raz pojawiała się czterodniowa fala chłodu (dokładnie 0,9), jeszcze rzadsze były pięciodniowe fale chłodu – 0,6 razy rocznie. Nieco częściej niż raz na trzy lata przypada sześciodniowa fala chłodu (0,4), a raz na cztery lata siedmiodniowa fala (0,25). Fale ośmiodniowe pojawiały się raz osiem lat (0,13), a dziesięciodniowe raz na dwanaście lat (0,08). Fale dłuższe występowały sporadycznie (rys. 9).

Zbadano też maksymalną długość fal chłodnych nocy (rys. 10) oraz całkowitą liczbę dni w co najmniej trzydniowych falach (rys. 11). Zdarzyły się sezony, w których najdłuższa fala chłodu nie osiągnęła trzech dni. Średnia maksymalna długość fali chłodnych nocy w sezonie wahała się od 2,26 dni w lecie do 4,70 dni w zimie, a dla roku wyniosła 6,38 dni. Średnio w roku wszystkie co najmniej trzydniowe fale trwały łącznie 21,58 dnia (od 1,97 w lecie do 6,11 w zimie). Zimą najwięcej takich dni wystąpiło w 1947 r. (45), wiosną w 1952 (24), latem w 1942 i 1949 (14), a jesienią w 1956 i 1979 r. (19). W ciągu całego roku najwięcej chłodnych nocy w co najmniej trzydniowych ciągach wystąpiło w 1956 r. (61 dni), a w następnej kolejności w 1947 (57 dni) i 1942 (50 dni). Roczna liczba dni chłodnych w falach co najmniej trzydniowych zmalała pod koniec ubiegłego wieku (tab. 4). Zbadano trend liniowy zarówno maksymalnej długości fali, jak i sumy dni w falach co najmniej trzydniowych. Maksymalna długość fali chłodu zmniejszyła się istotnie zimą (o 0,17 dnia na 10 lat) i w ciągu całego roku (o 0,21 dnia na 10 lat), a liczba chłodnych nocy w roku zmalała o 1,43 dnia na 10 lat, a wiosną o 0,43 dnia na 10 lat.

WPLYW CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ NA PRZEBIEG EKSTREMÓW TERMICZNYCH

Do analizy wybrano kilka wskaźników opisujących zmienność cyrkulacji w skali hemisferycznej: indeks strefowy (ZI), indeks NAO w dwóch wersjach oraz indeksy EA, EAWR i SCAN.

Indeks strefowy (ZI) jest zdefiniowany jako znormalizowana różnica średnich miesięcznych wartości ciśnienia na poziomie morza wzdłuż równoleżników 35°N i 65°N (Li, Wang 2003). Gdy ZI jest wysoki, zimą na półkuli północnej, w regionie wzdłuż równoleżnika 65°N, ciągnie się pas niskiego ciśnienia, a pas rozwiniętych wyżów biegnie wzdłuż równoleżnika 35°N. Taki układ ciśnienia oznacza silną cyrkulację strefową w średnich szerokościach geograficznych, słabo rozwinięty podzwrotnikowy prąd strumieniowy i wzmocniony polarny prąd strumieniowy. Indeks ZI dobrze charakteryzuje intensywność Oscylacji Arktycznej (Thompson, Wallace 1998). W pracy wykorzystano sezonowe i roczne wartości indeksu policzone przez Li i Wanga (2003) z lat 1931–2006.

Indeks oscylacji północnoatlantyckiej NAO (dalej NAOCRU), w wersji zaproponowanej przez Jonesa i in. (1997) i uaktualniany na stronie Climate Research Unit University of East Anglia (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/>), jest zdefiniowany jako znormalizowana różnica średnich miesięcznych wartości ciśnienia na poziomie morza w Gibraltarze i południowo-wschodniej Islandii. W pracy wykorzystano wartości sezonowe i roczne z lat 1931–2006.

Wykorzystano również cztery indeksy opisujące telekoneksje pola geopotencjału na powierzchni izobarycznej 700 hPa występujące w sektorze europejsko-atlantyckim i opisane przez Barnstona i Livezey'a (1987): są to wspomniana już wcześniej oscylacja północnoatlantycka (dalej NAO), układ wschodnioatlantycki (EA), układ wschodni Atlantyk–zachodnia Rosja (EAWR) i układ skandynawski (SCAN).

W układzie wschodnioatlantyckim występują dwa ośrodki ciśnienia o przeciwnych znakach: jeden w umiarkowanych szerokościach nad wschodnią częścią Atlantyku, drugi położony w szerokościach okołozwrotnikowych. W fazie dodatniej ośrodek północny cechuje obniżone ciśnienie, a południowy podwyższone.

Tabela 5

Współczynniki korelacji rangowej Spearmana między czasem trwania najdłuższej fali ciepła lub chłodu i całkowitą liczbą dni w falach ciepła i chłodu a wybranymi wskaźnikami cyrkulacji atmosferycznej

Spearman's Q between duration time of the longest warmth or coldness wave and the total number of days during warm and cold periods, and selected atmospheric circulation indices

NAM		Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Rok
Maksymalna długość fali	ciepłe dni	0,3298**	0,1608	−0,0402	−0,0448	0,2117*
	ciepłe noce	0,3292**	0,1717	0,0400	0,0574	0,1351
	chłodne dni	−0,0606	−0,2354**	0,0143	0,0415	−0,3847**
	chłodne noce	−0,1256	−0,0330	−0,1085	0,0590	−0,4610**
Liczba dni w falach	ciepłe dni	0,4003**	0,2309*	0,0124	−0,0834	0,2623**
	ciepłe noce	0,3932**	0,2056*	0,0673	0,0619	0,2472**
	chłodne dni	−0,0805	−0,2176*	0,0107	0,1105	−0,3035**
	chłodne noce	−0,0771	−0,0575	−0,0534	0,1103	−0,4251**
NAOCRU		zima	wiosna	lato	jesień	rok
Maksymalna długość fali	ciepłe dni	0,3912**	−0,0214	−0,1541	−0,0820	0,1885
	ciepłe noce	0,3451**	−0,1398	−0,1426	0,0190	−0,1653
	chłodne dni	−0,3820**	−0,1419	−0,1125	−0,2045	−0,3997**
	chłodne noce	−0,3994**	−0,0298	−0,0001	−0,0240	−0,3169**
Liczba dni w falach	ciepłe dni	0,4088**	−0,1057	−0,2327*	0,0012	0,0717
	ciepłe noce	0,3514**	−0,1034	−0,1119	0,0094	−0,1525
	chłodne dni	−0,3268**	−0,1074	−0,0302	−0,1542	−0,3908**
	chłodne noce	−0,3728**	−0,1055	0,1020	0,0054	−0,3767**

Tabela 5 (cd.)

NAO		zima	wiosna	lato	jesień	rok
Maksymalna długość fali	ciepłe dni	0,4456**	-0,1349	0,2132	-0,0419	0,2667*
	ciepłe noce	0,5384**	-0,0865	-0,0007	0,0085	0,0419
	chłodne dni	-0,4020**	-0,2744*	0,0626	0,0460	-0,1271
	chłodne noce	-0,3923**	-0,1028	-0,0202	-0,0737	-0,0395
Liczba dni w falach	ciepłe dni	0,5342**	-0,2088	0,1939	0,0595	0,1648
	ciepłe noce	0,5406**	-0,0851	0,0254	0,0966	0,0372
	chłodne dni	-0,3207**	-0,1864	0,0066	0,0389	-0,1576
	chłodne noce	-0,3922**	-0,1167	0,0163	-0,0829	-0,3045**
EA		zima	wiosna	lato	jesień	rok
Maksymalna długość fali	ciepłe dni	0,4152**	0,0975	0,0570	0,0619	0,2933**
	ciepłe noce	0,3455**	0,2879**	0,1393	-0,0965	0,3809**
	chłodne dni	-0,1706	-0,1220	-0,1851	0,0734	-0,0027
	chłodne noce	-0,2461*	-0,0975	-0,2027	0,0079	-0,0069
Liczba dni w falach	ciepłe dni	0,4034**	0,0928	0,1207	0,1121	0,3358**
	ciepłe noce	0,3951**	0,2470*	0,1979	-0,0474	0,2263
	chłodne dni	-0,1125	-0,0857	-0,1238	0,1239	0,0566
	chłodne noce	-0,1959	-0,2193	-0,1519	-0,0591	-0,1493
EAWR		zima	wiosna	lato	jesień	rok
Maksymalna długość fali	ciepłe dni	0,0322	-0,0374	-0,0025	-0,2057	-0,0871
	ciepłe noce	0,1447	-0,1247	0,0938	-0,0633	-0,0224
	chłodne dni	0,1158	0,2545*	-0,0221	0,1080	0,0316
	chłodne noce	-0,0202	0,3544**	0,1029	-0,1013	-0,0125
Liczba dni w falach	ciepłe dni	0,1460	-0,0235	-0,0023	-0,1997	0,0603
	ciepłe noce	0,2921**	-0,0688	0,0473	0,0099	-0,0445
	chłodne dni	0,1013	0,2599*	-0,0546	0,0895	0,0796
	chłodne noce	0,0275	0,3885**	0,2268	-0,0787	0,1923
SCAN		zima	wiosna	lato	jesień	rok
Maksymalna długość fali	ciepłe dni	-0,2508*	-0,1553	0,1658	-0,2278	-0,0100
	ciepłe noce	-0,2225	-0,0204	0,2056	0,0379	-0,2000
	chłodne dni	0,1525	-0,0012	-0,0419	0,2017	-0,2271
	chłodne noce	0,1638	-0,0851	0,0192	0,0752	-0,1177
Liczba dni w falach	ciepłe dni	-0,2475*	-0,1204	0,1190	-0,1535	-0,0974
	ciepłe noce	-0,0429	0,0163	0,1761	0,0767	-0,1759
	chłodne dni	0,1848	0,0529	-0,0781	0,1570	-0,2951**
	chłodne noce	0,1687	-0,0786	0,1770	0,0433	-0,2501*

** wartości istotne na poziomie 95%. * wartości istotne na poziomie 90%.

** values with 95% significance level. * values with 90% significance level.

W układzie wschodni Atlantyk – zachodnia Rosja występują w szerokościach umiarkowanych dwa przeciwne ośrodki ciśnienia: jeden nad wschodnim Atlantykiem, drugi nad zachodnią Rosją. W fazie dodatniej EAWR w ośrodku nad wschodnim Atlantykiem panuje wysokie ciśnienie.

W układzie skandynawskim, w fazie dodatniej, ośrodek wysokiego ciśnienia jest rozbudowany nad Skandynawią, a ośrodki niskiego ciśnienia zalegają nad Morzem Śródziemnym i Mongolią.

W opracowaniu wykorzystano sezonowe i roczne dane wymienionych wskaźników z lat 1951–2006, publikowane na stronie National Oceanic and Atmospheric Administration (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml>).

Wszystkie powyższe wskaźniki skorelowano z maksymalnymi długościami oraz liczbą dni w ciągach co najmniej trzydniowych we wszystkich czterech rozpatrywanych typach fal (ciepłe dni, ciepłe noce, chłodne dni, chłodne noce), w odpowiednich sezonach i w całym roku. Zastosowano współczynnik korelacji rangowej Spearmana, ponieważ nie wymaga on żadnych założeń odnośnie do rozkładów porównywanych zmiennych, a rozkład obu cech opisujących fale ciepła i chłodu jest daleki od normalnego (Wilks 1995). Tabela 5 przedstawia wyznaczone współczynniki korelacji; zaznaczono wartości statystycznie istotne na poziomie istotności 95% i 90%.

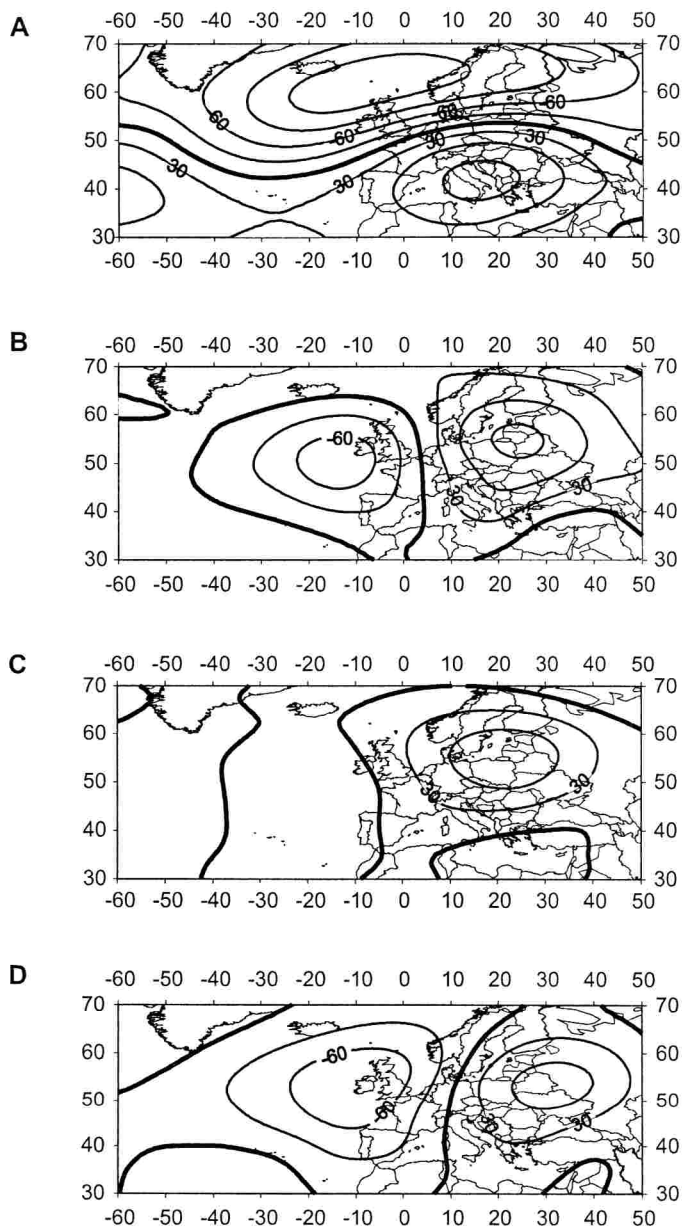
Indeks strefowy (ZI) koreluje statystycznie istotnie z oboma wskaźnikami charakteryzującymi fale ciepła w zimie. Korelacje są dodatnie, co oznacza, że silna cyrkulacja strefowa w szerokościach umiarkowanych sprzyja występowaniu fal ciepła zimą. W przypadku wartości rocznych, prawie wszystkie współczynniki korelacji są statystycznie istotne (oprócz maksymalnej długości fal ciepłych nocy). Zatem, intensywna cyrkulacja strefowa zmniejsza liczbę i intensywność fal chłodu, a zwiększa liczbę i intensywność fal ciepła. Wiosną intensywnej cyrkulacji strefowej towarzyszy istotny spadek częstości występowania chłodnych dni. Nie zauważono natomiast wpływu cyrkulacji strefowej na częstość i intensywność fal ciepła i chłodu latem i jesienią.

Oba wskaźniki charakteryzujące oscylację północnoatlantycką: NAO i NAOCRU istotnie korelują zarówno z długością i liczbą dni w falach chłodu (korelacja ujemna), jak i w falach ciepła (korelacja dodatnia). W przypadku wskaźnika NAOCRU jego roczne wartości istotnie wpływają jedynie na liczbę i intensywność fal chłodu. W pozostałych porach roku korelacje zazwyczaj nie osiągają poziomu istotności. Biorąc pod uwagę fakt, że w zimie zarówno oscylacja arktyczna, jak i północnoatlantycka w fazie dodatniej wiążą się z silną cyrkulacją strefową i napływem do Polski względnie ciepłych mas powietrza z zachodu, ta zgodność wyników wydaje się oczywista.

Indeks EA wykazuje istotny wpływ na liczbę i intensywność fal ciepła zimą. Wynika to z faktu, że w dodatniej fazie EA występuje silnie rozwinięty ośrodek niskiego ciśnienia w szerokościach umiarkowanych nad wschodnim Atlantykiem. Nize wędrujące ku wschodowi transportują do Polski znaczne ilości ciepła. Indeks EAWR istotnie koreluje z liczbą i intensywnością fal chłodu wiosną. W dodatniej fazie EAWR nad obszar Polski napływa powietrze z północy, które wiosną może przynosić silne ochłodzenia. Indeks SCAN zimą koreluje ujemnie z długością fal ciepła i liczbą dni w takich falach. Jeżeli zimą nad Skandynawią zalega ośrodek wysokiego ciśnienia, nad Polskę napływa mroźne kontynentalne powietrze ze wschodu lub północnego wschodu, co sprzyja utrzymywaniu się silnych mrozów.

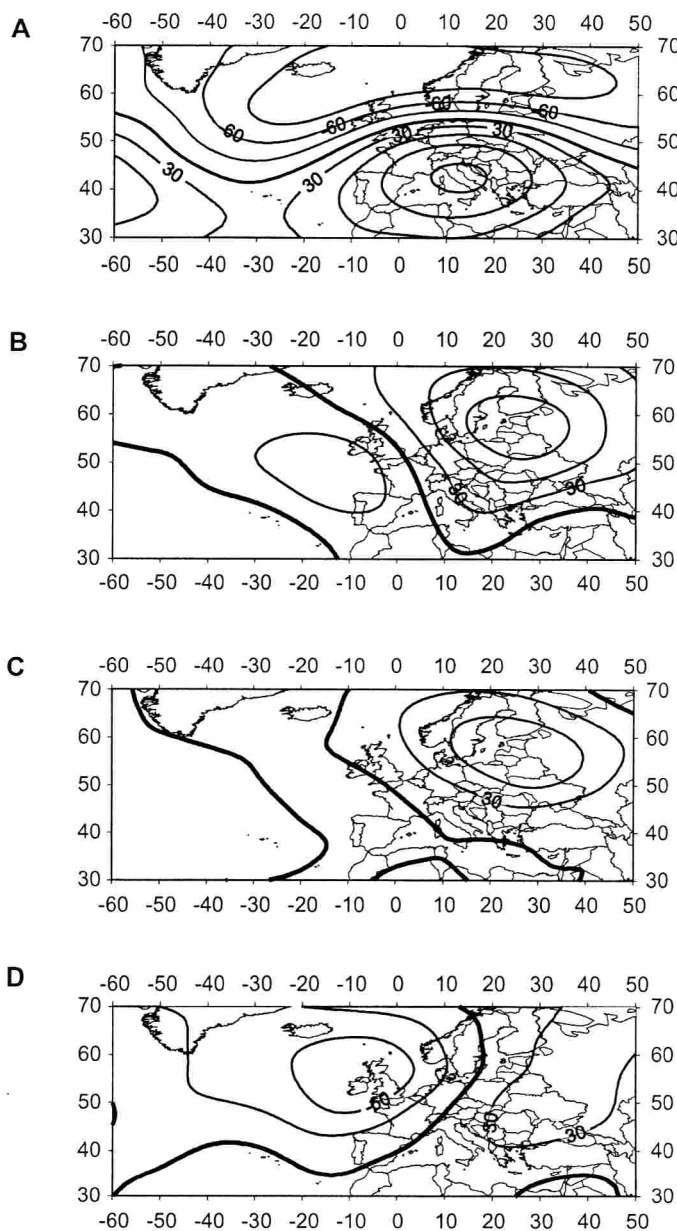
Zmienność analizowanych układów ciśnienia wyjaśnia pewną (nie przekraczającą ok. 30%) część zmienności częstości i intensywności fal ciepła i chłodu w zimie, czasem również w całym roku, nieznacznie tylko oddziałując na przebieg ekstremów termicznych w innych porach roku. Dlatego zdecydowano się skorzystać dodatkowo z metody kompozytowej, którą zastosowano do pola geopotencjału powierzchni izobarycznej 700 hPa. Wybrano tę powierzchnię, ponieważ kierunek izolinii jej geopotencjału jest bardzo zbliżony do kierunku adwekcji mas powietrza. Metoda kompozytowa polega na wyznaczeniu anomalii wybranego pola (w tym przypadku geopotencjału powierzchni izobarycznej 850 hPa) w dni spełniające określone kryterium (np: dni ciepłe), w stosunku do średniego pola obliczonego dla wszystkich dni w badanym okresie lub w okresie referencyjnym. Dla każdego z 12 miesięcy roku wybrano dni z falami ciepłych dni i nocy oraz chłodnych dni i nocy. Następnie policzono różnice między średnim polem geopotencjału w wybranych dniach a średnim polem geopotencjału w danym miesiącu. Tak otrzymane pola anomalii dla czterech miesięcy środkowych czterech pór roku przedstawiono na rys. 14–17. Wysokości geopotencjału powierzchni izobarycznej 700 hPa pochodzą z reanaliz NCEP/NCAR (Kalnay i in. 1996) z okresu 1958–2006.

W zimie, reprezentowanej przez styczeń, fale ciepła (zarówno ciepłe dni, jak i noce) są obserwowane, gdy nad południową Europą rozbudowany jest układ wysokiego ciśnienia, a nad północną Europą (Morzem Północnym lub Skandynawią) zalega ośrodek niskiego ciśnienia. Taki układ w zależności od położenia centrum niżu przypomina typ NAO lub EA w fazie dodatniej i prowadzi do napływu do środkowej Polski względnie ciepłego powietrza znad Atlantyku. Układ z przeciwnie położonymi ośrodkami dodatnich i ujemnych anomalii ciśnienia, czyli NAO lub EA w fazie ujemnej sprzyja występowaniu w środkowej Polsce fal chłodu (chłodnych dni lub nocy).



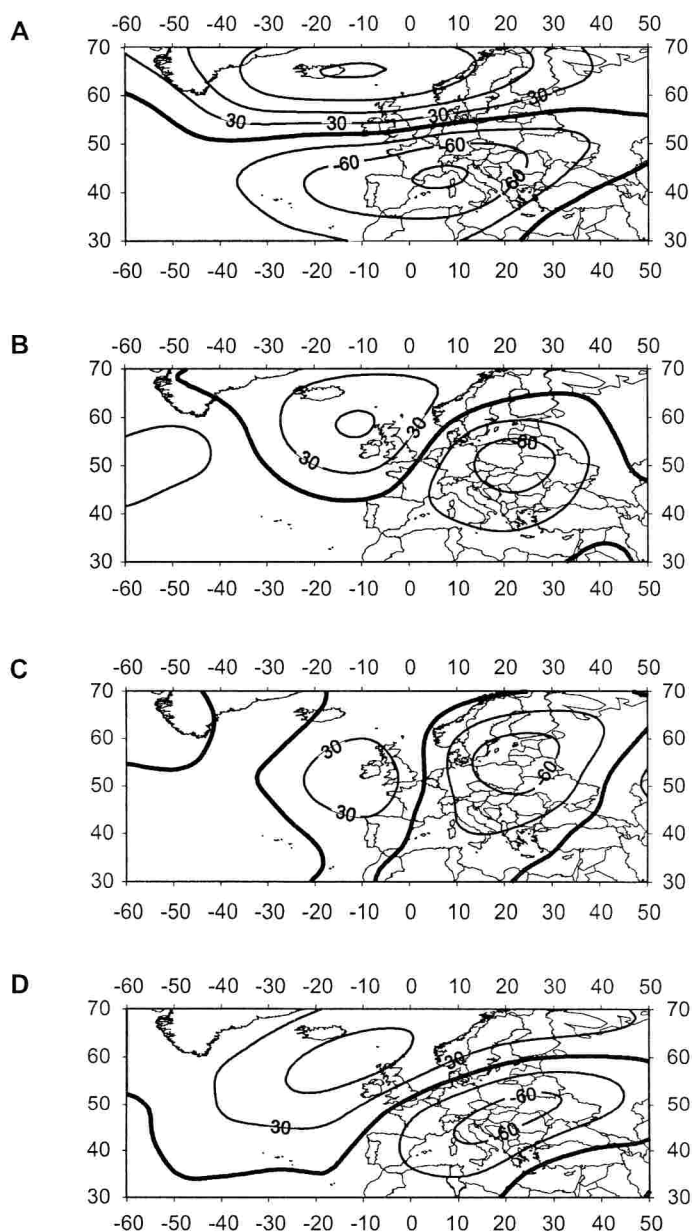
Rys. 14. Anomalie geopotencjału w dniach należących do co najmniej trzydniowych fal dni ciepłych w styczniu (A), kwietniu (B), lipcu (C) i październiku (D)

Fig. 14. Abnormal geopotential conditions of the days belonging to at least three-day periods of warm days in January (A), April (B), July (C) and October (D)



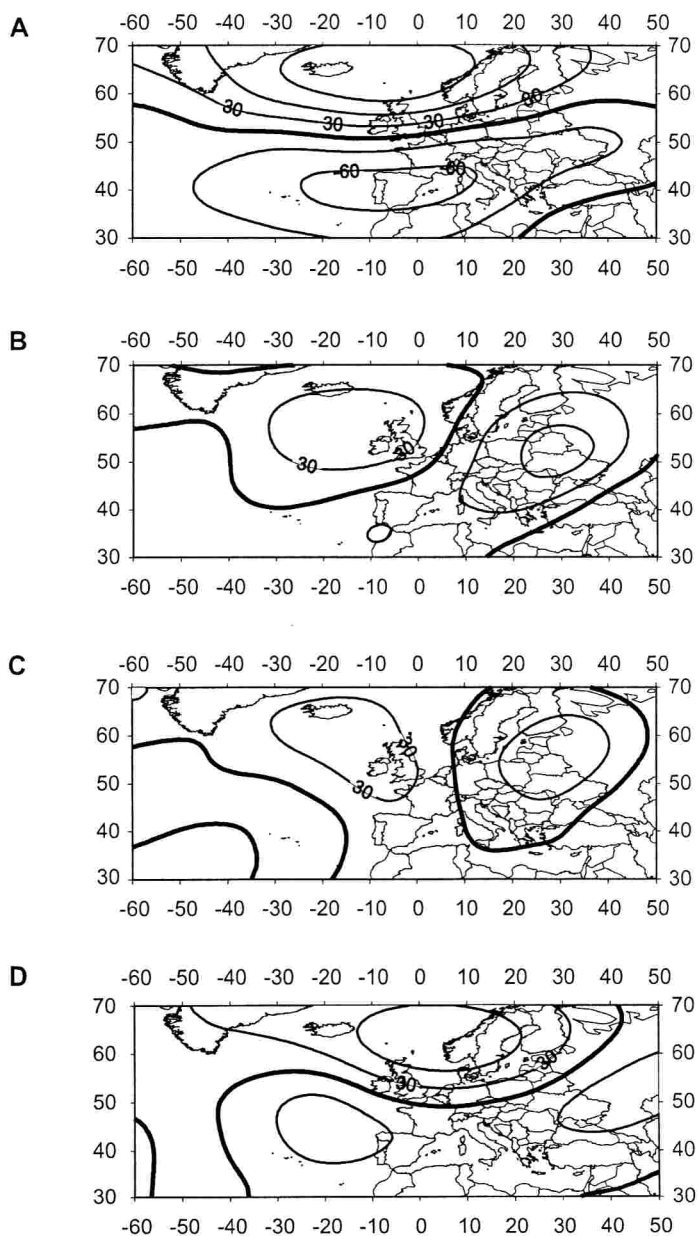
Rys. 15. Anomalie geopotencjału w dniach należących do co najmniej trzydniowych fal nocy ciepłych w styczniu (A), kwietniu (B), lipcu (C) i październiku (D)

Fig. 15. Abnormal geopotential conditions of the days belonging to at least three-day periods of warm nights in January (A), April (B), July (C) and October (D)



Rys. 16. Anomalie geopotencjału w dniach należących do co najmniej trzydniowych fal dni chłodnych w styczniu (A), kwietniu (B), lipcu (C) i październiku (D)

Fig. 16. Abnormal geopotential conditions of the days belonging to at least three-day periods of cold days in January (A), April (B), July (C) and October (D)



Rys. 17. Anomalie geopotencjału w dniach należących do co najmniej trzydniowych fal nocy chłodnych w styczniu (A), kwietniu (B), lipcu (C) i październiku (D)

Fig. 17. Abnormal geopotential conditions of the days belonging to at least three-day periods of cold nights in January (A), April (B), July (C) and October (D)

Wiosną fale ciepła występują, gdy nad wschodnią Europą anomalie geopotencjału są dodatnie, a nad Atlantykiem, w okolicach Wysp Brytyjskich – ujemne. Taki układ wiąże się ze wzmocnieniem cyrkulacji południowej lub południowo-zachodniej w środkowej Polsce. Przeciwny – sprzyja występowaniu fal chłodu i towarzyszy mu nasilenie napływu mas powietrza z północnego wschodu.

Letnie fale ciepła powstają, gdy wyższy od normalnego geopotencjał jest obserwowany nieco na północny wschód od Polski. Wiaże się to z nasileniem napływu mas powietrza z południowego wschodu, latem zwykle suchych i gorących. Natomiast ujemne anomalie geopotencjału na tym obszarze towarzyszą wzrostowi zachmurzenia nad Polską i zwiększonej adwekcji mas powietrza z północy lub północnego wschodu.

Jesienią falam ciepła towarzyszy wzrost wysokości powierzchni izobarycznej 700 hPa we wschodniej Europie i nasilenie adwekcji z sektora południowego. Falom chłodu sprzyja wzrost geopotencjału nad Morzem Północnym i Skandynawią, a spadek w południowej części Europy. Powoduje to nasilenie adwekcji mas powietrza z sektora wschodniego i północno-wschodniego.

TENDENCJE ZMIAN PRZEBIEGU EKSTREMÓW TERMICZNYCH W ŚRODKOWEJ POLSCE NA TLE ZMIAN ŚREDNIEJ TEMPERATURY PÓŁKULI PÓŁNOCNEJ

Porównanie tendencji zmian przebiegu ekstremów termicznych w środkowej Polsce na tle zmian średniej temperatury półkuli północnej pozwala ocenić, czy zmiany w tej części kraju są spójne ze zmianami w większej skali, a w dalszej perspektywie, czy należy spodziewać się ich nasilenia w przyszłości. Zastosowano rangową korelację liniową między liczbą dni w falach dni i nocy ciepłych bądź chłodnych oraz maksymalną w sezonie długością takich fal a średnią temperaturą na lądach półkuli północnej (seria dalej zwana CRUTEM) i średnią temperaturą całej półkuli północnej (seria dalej zwana HADCRUT). Szczegółowy opis sposobu utworzenia obu serii zawiera praca Brohana i in. (2006), a dane publikowane są na stronie internetowej Climate Research Unit University of East Anglia (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/>).

Korelacje zarówno między liczbą dni w falach dni i nocy ciepłych, jak i maksymalną w sezonie długością takich fal z temperaturą półkuli północnej, są dodatnie i statystycznie istotne we wszystkich porach roku z wyjątkiem lata (tab. 6). Powiązania ze średnią temperaturą lądów półkuli północnej (CRUTEM) są minimalnie silniejsze niż w przypadku temperatury całej półkuli (HADCRUT). Wartości współczynników korelacji wskazują jednak, iż nie więcej niż 25% wariancji może wynikać bezpośrednio z wielko-

skalowych zmian temperatury, a pozostała część jest zależna od czynników regionalnych lub nawet lokalnych. Zarówno korelacje łącznej liczby dni w falach dni i nocy chłodnych, jak i maksymalnej w sezonie ich długości z temperaturą półkuli północnej są ujemne, ale poza wiosną, statystycznie nieistotne.

Tabela 6

Współczynniki korelacji rangowej Spearmana między czasem trwania najdłuższej fali ciepła lub chłodu i całkowitą liczbą dni w falach ciepła i chłodu a uśrednioną temperaturą na półkuli północnej

Spearman's Q between duration time of the longest warmth or coldness wave and the total number of days during warm and cold periods, and average temperature on the northern hemisphere

CRUTEM		Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Rok
Maksymalna długość fali	ciepłe dni	0,3587**	0,2312*	0,0534	0,2832**	0,2684**
	ciepłe noce	0,4012**	0,4242**	0,0970	0,3114**	0,3271**
	chłodne dni	-0,1823	-0,2322*	-0,0808	0,0281	-0,0920
	chłodne noce	-0,1032	-0,0846	-0,1849	0,0068	-0,1742
Liczba dni w falach	ciepłe dni	0,3480**	0,2352*	0,1314	0,3084**	0,4705**
	ciepłe noce	0,5129**	0,3777**	0,1695	0,3669**	0,4904**
	chłodne dni	-0,1518	-0,2780**	-0,0322	-0,0121	-0,1851
	chłodne noce	-0,0537	-0,2340*	-0,1317	0,0202	-0,2672**
HADCRUT		zima	wiosna	lato	jesień	rok
Maksymalna długość fali	ciepłe dni	0,3238**	0,2042*	0,0964	0,2017*	0,2013*
	ciepłe noce	0,3296**	0,4225**	0,1304	0,2934**	0,3271**
	chłodne dni	-0,1808	-0,1491	-0,1284	0,0280	-0,0172
	chłodne noce	-0,1013	-0,0406	-0,1320	-0,0167	-0,1342
Liczba dni w falach	ciepłe dni	0,3034**	0,1791	0,1875	0,2658**	0,4020**
	ciepłe noce	0,4612**	0,3834**	0,2301*	0,3574**	0,4780**
	chłodne dni	-0,1443	-0,1986	-0,0550	-0,0166	-0,1499
	chłodne noce	-0,0463	-0,1894	-0,0798	-0,0363	-0,2176*

** wartości istotne na poziomie 95%. * wartości istotne na poziomie 90%.

** values with 95% significance level. * values with 90% significance level.

PODSUMOWANIE

Współczesnemu ociepleniu towarzyszą zmiany zarówno częstości, jak i intensywności występowania fal ciepła i chłodu w środkowej Polsce. Zmiany te są jednak stale na granicy statystycznej istotności i tylko w pojedynczych przypadkach przekraczają ten poziom. Obserwuje się zwiększenie częstości i długości fal ciepła przy jednoczesnym spadku liczby i długości fal chłodu.

Mimo braku wyraźnych trendów, jeśli popatrzymy na lata, w których wystąpiły szczególnie długie fale ciepła lub duże liczby dni ciepłych (1962, 1989, 1992, 1994, 2000, 2002, 2006), to dominują wśród nich te z ostatnich dwudziestu lat. Jedynie rok 1962 reprezentuje środek serii. Z kolei gdy zbierzemy wszystkie lata, w których fale chłodu były wyjątkowo długie lub też zanotowano dużo dni lub nocy chłodnych (1941, 1942, 1947, 1949, 1954, 1956, 1963, 1979, 1996), trudno nie zauważyć, że grupują się one w pierwszym trzydziestoleciu serii danych. Brak statystycznej istotności rosnących trendów częstości i intensywności fal ciepłych oraz malejących – fal chłodnych wynika zatem prawdopodobnie z dużej zmienności z roku na rok analizowanych zjawisk.

Zmiany częstości występowania fal upałów i mrozów powinny odpowiadać falom ciepła w lecie i falom mrozu w zimie. Ostatnie prace wskazują na wzrost częstości fal upałów w Polsce (Piotrowicz 2007, Wibig i in. 2007a) oraz spadek częstości fal mrozów (Wibig i in. 2007b). Obserwuje się również tendencje wzrostowe średniej temperatury minimalnej i maksymalnej (Wibig, Głowicki 2002, Bielec-Bąkowska, Łupikasa 2007), co także wskazuje na obecność realnych zmian reżimu ekstremalnych zjawisk termicznych w Polsce.

W definicji fali ciepła i chłodu przyjęto zróżnicowanie kryterium termicznego zarówno od wartości średniej, jak i od odchylenia standardowego, co sugerowałoby, że liczba identyfikowanych fal nie powinna mieć wyraźnego cyklu rocznego. Jednak taki cykl da się łatwo zidentyfikować, szczególnie w przypadku fal ciepła. Latem jest zdecydowanie więcej dni ciepłych niż zimą i jednocześnie maksymalne fale są średnio dłuższe. W przypadku fal chłodu liczba dni w ciągach jest również większa latem, ale maksymalne fale mają przeciętnie podobną długość w ciągu całego roku. Przyczyną tego jest fakt, że rozkład temperatury dobowej w cieplej porze roku jest bardziej płaski od normalnego (ma mniejszą kurtozę), a zimą bardziej strzelisty (ma większą kurtozę). Dlatego absolutne maksima długości fal są wyższe zimą niż latem.

Powszechnie stosowane w literaturze indeksy cyrkulacji atmosferycznej słabo korelują zarówno z liczbą dni i nocy ciepłych lub chłodnych, jak i ze średnią długością fal ciepła lub chłodu. Związki cyrkulacji atmosferycznej w makro- lub mezoskali z częstością i intensywnością ekstremalnych zdarzeń termicznych w Polsce są wyraźne jedynie zimą, a i wówczas tłumaczą nie więcej niż 25% zmienności tych zdarzeń. Metoda kompozytowa przynosi znacznie lepsze wyniki i pozwala na wyróżnienie sytuacji synoptycznych sprzyjających powstawaniu i utrzymywaniu się silnych dodatnich lub ujemnych anomalii termicznych. O przebiegu warunków termicznych w środkowej Polsce decydują bowiem przede wszystkim ośrodki baryczne, których centra leżą w jej pobliżu.

LITERATURA

- Barnston A. G., Livezey R. E., 1987, *Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns*, Mon. Wea. Rev., 115: 1083–1126.
- Beniston M., Stephenson D. B., 2004, *Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions*, Global and Planetary Change, 44: 1–9.
- Bielec-Bąkowska Z., Łupikasz E., 2007, *Wieloletnia zmienność ekstremalnych warunków termicznych w południowej części Małopolski w drugiej połowie XX wieku*, [w:] *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), Uniw. Jagielloński, Kraków: 287–295.
- Brázdil R., Budíková M., Auer I. i in., 1996, *Trends of maximum and minimum daily temperatures in central and southeastern Europe*, Int. J. Climatol., 16: 765–782.
- Brohan P., Kennedy J. J., Haris I., Tett S. F. B., Jones P. D., 2006, *Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new data set from 1850*, J. Geophys. Res., 111, D12106, doi:10.1029/2005JD006548.
- Cebulak E., 1999, *Ryzyko występowania upałów w Polsce*, [w:] *Zmiany i zmienność klimatu Polski. Ich wpływ na gospodarkę, ekosystemy i człowieka*. Ogólnopolska konferencja naukowa, 4–6 listopada 1999, Łódź, Łódź: 29–33.
- Cebulak E., Limanówka D., 2007, *Dni z ekstremalnymi temperaturami powietrza w Polsce*, [w:] K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, Uniw. Jagielloński, Kraków: 185–193.
- Climate Change 2007: The Physical Science Basis, 2007, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC, ed. S. Solomon et al. IPCC.
- Domonkos P., Kysely J., Piotrowicz K., Petrovic P., Lisko P., 2003, *Variability of extreme temperature events in South-Central Europe during the 20th century and its relationship with large-scale circulation*, Int. J. Climatol., 23: 987–1010.
- Domonkos P., Piotrowicz K., 1998, *Winter temperature characteristics in Central Europe*, Int. J. Climatol., 18: 1405–1447.
- Heino R., Brazdil R., Forland E., Tuomenvirta H. i in., 1999, *Progress in the study of climatic extremes in northern and central Europe*, Climatic Change, 42: 151–181.
- Hurrell J. W., 1995, *Decadal trends in the North Atlantic Oscillation and relationships to regional temperature and precipitation*, Science 269, 676–679.
- Jones P. D., Jónsson T., Wheeler D., 1997, *Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland*, Int. J. Climatol., 17, 1433–1450.
- Katz R. W., Brown R. R., 1992, *Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages*, Climatic Change, 21: 289–302.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. i in., 1996, *NCEP/NCAR 40-year reanalysis project*, Bull. Am. Soc., 77, 437–471.
- Klein Tank A. M. G., Wijngaard J. B., Können G. P. i in., 2002, *Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment*, Int. J. Climatol., 22, 1441–1453.
- Klein Tank A. M. G., Können G. P., 2003, *Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99*, J. Climate, 16: 3665–3680.
- Kozuchowski K., 2004, *Skala i tendencje współczesnych zmian temperatury powietrza w Polsce*, [w:] K. Kozuchowski (red.), *Skala, uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*, Wyd. „Biblioteka”, Łódź: s. 25–46.
- Li J., Wang J., 2003, *A modified zonal index and its physical sense*, Geophys. Res. Lett., 30 (12), 1632, doi:10.1029/2003GL017441.

- Limanówka D., 1999, *Ryzyko występowania silnych mrozów w Polsce*, [w:] *Zmiany i zmienność klimatu Polski. Ich wpływ na gospodarkę, ekosystemy i człowieka. Ogólnopolska Konferencja Naukowa, 4–6 listopada 1999, Łódź*, Łódź: 123–127.
- Moberg A., Jones P. D., 2005, *Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in central and western Europe, 1901–1999*, *Int. J. Climatol.*, 25: 1173–1188.
- Piotrowicz K., 1998, *Wieloletnie zróżnicowanie liczby dni mroźnych i bardzo mroźnych w Krakowie i Pradze*, *Acta Univ. Lodz., Folia Geographica Physica*, 3: 221–229.
- Piotrowicz K., 2002, *Methods for the determination of the thermal winter beginning and end dates, based on the Cracow air temperature records*, *Przegl. Geofiz.*, 47: 81–92.
- Piotrowicz K., 2003a, *Warunki termiczne zim w Krakowie w latach 1792–2002*, *Folia Geographica, Ser. Geographica-Physica*, XXXIII–XXXIV: 67–88.
- Piotrowicz K., 2003b, *Variability of the central European winter thermal structure*, [w:] *Man and Climate in the 20th Century*, Wyd. Uniw. Wrocławskiego, *Studia Geogr.*, 75: 108–115.
- Piotrowicz K., 2007, *Wieloletnie zróżnicowanie liczby nocy gorących w Krakowie*, [w:] K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, Uniw. Jagielloński, Kraków: 279–286.
- Sen P. K., 1968, *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau*, *J. Am. Statist. Ass.*, 63: 1379–1389.
- Thompson D. W. J., Wallace J. M., 1998, *The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields*, *Geophys. Res. Lett.*, 25: 1297–1300.
- Wibig J., Głowicki B., 2002, *Trends of minimum and maximum temperature in Poland*, *Clim. Res.*, 20: 123–133.
- Wibig J., Podstawczyńska A., Rzepa M., Piotrowski P., 2007a, *Hotwaves in Poland – frequency, trends and relations to atmospheric circulation*, *Geogr. Pol.* (w druku).
- Wibig J., Podstawczyńska A., Rzepa M., Piotrowski P., 2007b, *Coldwaves in Poland – frequency, trends and relations to atmospheric circulation*, *Geogr. Pol.* (w druku).
- Wilks D. S., 1995, *Statistical methods in the Atmospheric Sciences*, Acad. Press.

Katedra Meteorologii i Klimatologii
Uniwersytetu Łódzkiego

Joanna Wibig

WAVES OF WARMTH AND COLDNESS IN CENTRAL POLAND ON THE EXAMPLE OF ŁÓDŹ

The aim of this work is to analyze the waves of warmth and coldness in central part of Poland basing on a daily maximum and minimum temperature in Łódź between 1931 and 2006. Warm and cold periods were distinguished following daily maximum temperature course (warm and cold days) and daily minimum temperature course (warm and cold nights). A particular day was involved in warm (cold) period, if its daily temperature was higher (lower) than average $+1.28$ (-1.28) of standard deviation within this calendar day. The value of 1.28 was chosen because it counterparts percentile of 90% (10%) if we assume that temperature distribution is normal. The trends of seasonal and annual changeability of the number of cold and warm days and nights as well as maximum length of warm and cold waves were estimated by Sen's method.

The most frequently observed were the short waves, such as one- or two days long (Fig. 3 and 9). The average of day numbers, within at least three day-long waves and an their average

lasting time of the longest waves had distinct annual cycle with its maximum in summer and minimum in winter. However, the absolute maxima of the waves lengths fell on winter half-year. The longest waves were 18 and 17 days. For comparison, the lengths of the warm and cold nights periods were significantly shorter and were about 11 and 14 days. The longest cold waves were slightly longer than equivalent waves of warmth.

The following years: 1962, 1989, 1992, 1994, 2000, 2002 and 2006 are the years of particularly long warm periods or years of a great number of warm days, and are grouped in last 20 years of analyzed series with the exception of 1962, which represents series center. On the other hand, the years, during which cold waves were exceptionally long or those, which were characterized by a great number of cold days and nights (1954, 1956, 1963, 1979, 1996) were gathered during first 30s of the analyzed period. In spite of this, only some of studied series have statistically significant trend. Lasting time of the longest wave of warmth increased significantly in winter (0.28 of the day per 10 years), while the number of waves of warmth grew in summer (0.33 of the day per 10 years) and during the whole year (1.79 of the day per 10 years). If it is about warm nights, the lasting time of the longest wave increased significantly in winter (0.17 of the day per 10 years) and in autumn (0.20 of the day per 10 years), while the number of the days increased significantly in summer (0.36 of the day per 10 years) and within the whole year (1.61 of the day per 10 years). The length of the longest wave of cold days significantly decreased in winter (0.18 of the day per 10 years) and the number of cold days in a year decreased in 0.87 of the day per 10 years. In case of cold nights the lasting time of the longest wave shortened in winter (0.17 of the day per 20 years) and during the whole year (0.2 of the day per 10 years), while the number of cold nights in the year decreased in 1.43 days per 10 years and 0.43 of the day per 10 years in spring.

The influence of the atmospheric circulation either in macroscale or mesoscale on frequency and intensity of extreme thermal events in Poland is visible only in winter, however it explains no more than 25% of their changeability. Better results are obtained by composite method, which allows to single out such synoptic situations, which favor maintaining strong positive and negative thermal anomalies. Thermal conditions of central Poland primarily depend on baric centers, which centers locate in country's proximity (Fig. 14–17).

The correlations between number of days during periods of warm days and nights, and maximum length of waves and northern hemisphere's temperature are positive and statistically significant for all seasons except summer (Table 6). Nonetheless, no more than 25% of the changes might be the direct results of big-scale temperature changes, the rest is influenced by regional or even local factors. The correlations between number of days during periods of cold days and nights and maximum length of waves and northern hemisphere's temperature are negative and statistically insignificant.