

**Zuzanna Bielec-Bąkowska*,
Katarzyna Piotrowicz****

WIELOLETNIA ZMIENNOŚĆ OKRESU BEZPRZYMROZKOWEGO W POLSCE W LATACH 1951–2006

Variability of frost-free season in Poland in the period 1951–2006

Summary. In the study tendencies in changes of frost-free season at 20 meteorological stations in Poland in the period 1951–2006 were examined. Both changes in the beginning and the end of frost-free season and its length were analysed. At 13 of those examined stations the frost-free season were beginning sooner and sooner (16 days/50 years an average), whereas the tendencies in changes of the end of analysed season lack such a clear distinction. Nevertheless, the length of frost-free season was noticed to be longer from about 15 days in Legnica to about 32 in Łódź. The most significant of the described changes occurred in the west part of the country and the lowest in the east part.

Słowa kluczowe: okres bezprzymrozkowy, ostatni i pierwszy dzień z przymrozkiem, zmienność wieloletnia, Polska

Key words: frost-free season, the last and the first day with frost, long-term variability, Poland

WSTĘP

Jedną z ważnych cech charakteryzujących warunki termiczne danego obszaru jest występowanie przymrozków (dni z temperaturą minimalną $< 0^{\circ}\text{C}$ i maksymalną $> 0^{\circ}\text{C}$) i okresu bezprzymrozkowego. Wszelkie zmiany dotyczące dat początku i końca oraz długości okresu bezprzymrozkowego odgrywają

* Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Klimatologii, 41–200 Sosnowiec, ul. Będzińska 60, e-mail: zuzanna.bielec-bakowska@us.edu.pl

** Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Zakład Klimatologii, 30–387 Kraków, ul. Gronostajowa 7, e-mail: k.piotrowicz@uj.edu.pl

ogromną rolę w środowisku naturalnym oraz wymuszają działania adaptacyjne w różnych dziedzinach działalności człowieka. Dotyczy to przede wszystkim zmian faz fenologicznych (Chmielewski, Rötzer 2000, Menzel 2000, Scheifinger i in. 2002, Tomaszewska, Rutkowski 1999), cyklu życia owadów i rozprzestrzenianiu się szkodników na dotychczas nieobjęte przez nie obszary (Czarnecka i in. 2010) czy wpływu na warunki termiczne okresu wegetacyjnego (Kożuchowski, Żmudzka 2000, Żmudzka, Dobrowolska 2001, Żmudzka 2003a,b). Powoduje to potrzebę m.in. dostosowania rodzaju upraw, sposobu i terminu przeprowadzania prac agrotechnicznych czy też zastosowania nowych środków ochrony roślin. Zmiany występowania przymrozków wpływają również na transport (właściwe utrzymanie dróg), długość sezonu budowlanego czy właściwe przygotowanie konstrukcji budowlanych, dla których procesy zamarzania i rozmarzania mają duże znaczenie.

W leśnictwie, rolnictwie, a przede wszystkim sadownictwie i ogrodnictwie, szczególnie niebezpieczne są przymrozki wiosenne i jesienne. W Polsce w okresie wegetacyjnym najwięcej takich przymrozków pojawia się w kwietniu i w drugiej połowie października (Koźmiński, Trzeciak 1971). Najczęściej występują pojedyncze dni przymrozkowe, jednak w najchłodniejszych miesiącach tego okresu przeważają ciągi trwające ≥ 2 dni (Koźmiński 1976; Dragańska i in. 2004). Zwykle są to przymrozki łagodne, z temperaturą minimalną od $-0,1$ do -2°C , a przymrozki silne ($t_{\min} < -6^{\circ}\text{C}$) zdarzają się wyjątkowo rzadko (Dragańska i in. 2004).

Zróźnicowanie przestrzenne występowania dat ostatnich (średnio około 20.04–25.05) i pierwszych (średnio 20.09–5.11) przymrozków oraz długości okresu bezprzymrozkowego (wynoszącym na przeważającym obszarze od 160 do 180 dni) w znacznym stopniu zależą od warunków lokalnych (Koźmiński, Trzeciak 1971). Najbardziej wyróżniają się obszary bagienne i dolin rzecznych, obniżeń terenowych, regiony górskie, a także te, które pozostają pod wpływem Bałtyku.

Przedstawione cechy charakteryzujące występowanie przymrozków zależą również od warunków pogodowych panujących w danym roku i mogą podlegać dużym zmianom w poszczególnych latach. Biorąc pod uwagę obserwowane w Polsce, podobnie jak na świecie, wieloletnie i sezonowe zmiany warunków termicznych (Kożuchowski, Żmudzka 2001; Biernacik i in. 2010), można przypuszczać, że znajdują one swoje odzwierciedlenie również w terminie występowania i długości okresu bezprzymrozkowego. Z tego powodu celem niniejszego opracowania jest zbadanie zmienności występowania okresu bezprzymrozkowego w Polsce w latach 1951–2006. Analizie poddano zarówno zmiany daty początku i końca okresu bezprzymrozkowego, jak i jego długość.

MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE

Podstawą opracowania były codzienne wartości temperatury minimalnej i maksymalnej powietrza zmierzone na wysokości 2 m n.p.m. i pochodzące z 20 stacji synoptycznych w Polsce (tab. 1) z wielolecia 1951–2006. Za dzień przymrozkowy przyjęto dzień, w którym temperatura minimalna osiągnęła wartości niższe od 0°C, natomiast maksymalna była wyższa od 0°C (Kossowska-Cezak i in. 2000). Wyznaczono na każdej stacji ostatni dzień z przymrozkiem wiosennym i pierwszy z przymrozkiem jesiennym w poszczególnych latach. Te graniczne daty stanowiły podstawę do wyznaczenia odpowiednio początku i końca okresu bezprzymrozkowego, a w dalszej kolejności jego długości. Tendencje zmian dat początku, końca i długości okresu bezprzymrozkowego określono na podstawie równania prostej. Natomiast wykorzystując analizę skupień oraz metodę korelacji Pearsona zbadano podobieństwa tych tendencji między poszczególnymi stacjami.

POCZĄTEK, KONIEC I DŁUGOŚĆ OKRESU BEZPRZYMROZKOWEGO

Na podstawie danych z 20 stacji meteorologicznych uwzględnionych w opracowaniu stwierdzono, że średnio w Polsce w latach 1951–2006 okres bezprzymrozkowy rozpoczynał się 30 kwietnia, a kończył 14 października (tab. 1). Średnio najwcześniej ostatni wiosenny przymrozek notowany był w Świnoujściu, Legnicy i Koszalinie (18–23 kwietnia), natomiast najpóźniej w Jeleniej Górze i Zakopanem (16 i 11 maja). Późno okres bezprzymrozkowy rozpoczynał się także w Suwałkach, Chojnicach, Toruniu, Rzeszowie i Lesku (tab. 1).

Z reguły pierwsze jesienne przymrozki najwcześniej pojawiają się na wschodzie i południu kraju, na tych stacjach, na których notuje się najpóźniejsze daty rozpoczęcia okresu bezprzymrozkowego. Należą do nich stacje położone w kotlinach górskich (Zakopane i Jelenia Góra – 27–29 września), ale także Słubice, Toruń, Włodawa, Suwałki, Rzeszów i Lesko (w pierwszej dekadzie października) (tab. 1). Najpóźniej natomiast pierwsze przymrozki zwykle pojawiają się na wybrzeżu, czego przykładem są Hel i Świnoujście (7 listopada).

Uwzględniając skrajne daty początku i końca okresu bezprzymrozkowego na poszczególnych stacjach, stwierdzono, że najwcześniej ostatni dzień z przymrozkiem w analizowanym wieloleciu wystąpił 20 marca 1999 w Kaliszu, a najpóźniej 12 czerwca 1955 w Jeleniej Górze. Pierwszy przymrozek natomiast najwcześniej odnotowano 3 września 2003 w Słubicach, a najpóźniej 28 grudnia 2006 w Świnoujściu (tab. 1). Z przytoczonych danych może wynikać, że w Polsce w badanym wieloleciu potencjalny okres bezprzymrozkowy trwał aż

Tabela 1. Dаты ostatnich i pierwszych przymrozków oraz długość okresu bezprzymrozkowego na wybranych stacjach w Polsce (1951–2006)
Table 1. Dates of the last and first frost day and length of frost-free season at selected stations in Poland (1951–2006)

Stacja	Nr stacji	Ostatni przymrozek			Pierwszy przymrozek			Długość okresu bezprzymrozkowego (dni)				
		min	średnia	max	min	średnia	max	rok	min	średnia	max	rok
Hel	135	31.03	28.04	1.06	27.09	7.11	19.12	1976	153	193	254	2000
Suwałki	195	9.04	4.05	3.06	16.09	6.10	12.11	1995	119	155	190	1957
Świnoujście	200	26.03	18.04	5.06	13.10	7.11	28.12	1953	164	203	277	2006
Szczecin	205	5.04	27.04	29.05	16.09	17.10	17.11	1952	117	172	213	1986
Chojnice	235	10.04	1.05	31.05	18.09	17.10	14.11	1977	110	169	203	1986
Toruń	250	15.04	9.05	7.06	14.09	5.10	7.11	1977	114	150	198	1989
Ślubice	310	1.04	29.04	6.06	3.09	4.10	10.11	1977	109	157	204	2001
Poznań	330	7.04	29.04	28.05	19.09	15.10	19.11	1957	121	170	223	2000
Warszawa	375	5.04	26.04	25.05	27.09	13.10	14.11	1964	135	171	220	1989
Legnica	415	3.04	23.04	28.05	8.09	16.10	10.11	1991	136	175	213	1961
Wrocław	425	8.04	28.04	30.05	8.09	13.10	19.11	1991	115	168	223	1961
Kalisz	435	20.03	22.04	20.05	14.09	18.10	23.11	1954	142	179	226	1998
Łódź	465	9.04	28.04	1.06	17.09	16.10	15.11	1966	110	171	215	2000
Włodawa	497	7.04	30.04	11.06	12.09	5.10	29.10	1973	116	158	194	1974
Jelenia Góra	500	17.04	16.05	12.06	6.09	27.09	21.10	1991	94	134	170	1984
Katowice	560	10.04	29.04	7.06	14.09	14.10	17.11	1973	119	168	211	1961
Rzeszów	580	4.04	2.05	2.06	14.09	8.10	12.11	1977	108	158	222	1989
Bielsko-Biała	600	2.04	26.04	2.06	14.09	18.10	1.12	1973	119	175	236	2000
Zakopane	625	13.04	11.05	4.06	4.09	29.09	21.10	1966	110	140	187	2006
Lesko	690	10.04	4.05	7.06	14.09	9.10	2.11	1977	115	158	192	2001
Polska*		20.03	30.04	12.06	03.09	13.10	28.12	1991	94	166	277	2006

* średnie z 20 stacji; min – najwcześniejsza data lub najkrótszy okres bezprzymrozkowy, max – najpóźniejsza data lub najdłuższy okres bezprzymrozkowy

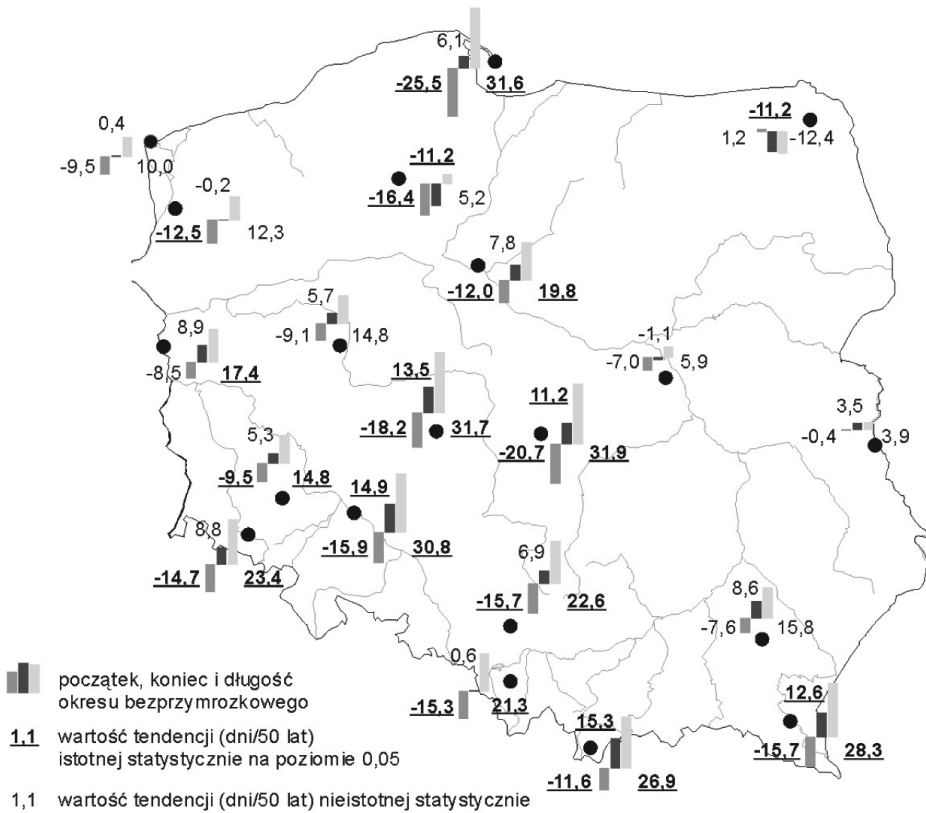
284 dni, od 20 marca do 28 grudnia, natomiast wystąpienie przymrozków nie jest możliwe tylko pomiędzy 12 czerwca a 3 września, czyli w ciągu 84 dni. Dokładne, a równocześnie prezentujące zróżnicowanie przestrzenne długości okresu bezprzymrozkowego wartości zostały zamieszczone w tab. 1. Wynika z nich, że średnio w Polsce okres bezprzymrozkowy trwał 166 dni, chociaż w 1991 roku w Jeleniej Górze wynosił on jedynie 94 dni, natomiast w 2006 roku w Świnoujściu ponad 9 miesięcy (277 dni). Na większości uwzględnionych w opracowaniu stacji średnia długość okresu bezprzymrozkowego wahała się w zakresie 160–180 dni. Krócej okres ten trwał w kotlinach śródgórkich (134 dni w Jeleniej Górze, 140 dni w Zakopanem i 158 dni w Lesku) i na wschodzie Polski, a także w Słubicach i Toruniu (tab. 1). Najdłuższego okresu bezprzymrozkowego należy się natomiast spodziewać w rejonach nadmorskich, czego przykładem są wartości ze Świnoujścia (średnio 203 dni) i Helu (193 dni). Trudno jest natomiast wskazać rok, który w największym stopniu sprzyjał występowaniu krótkotrwałych lub długotrwałych przymrozków. Z reguły decydował o tym przebieg pogody w danym roku i konkretnym regionie kraju (wczesna, ciepła wiosna i/lub ciepła i długa jesień) oraz warunki lokalne (np. położenie w kotlinie).

TENDENCJE ZMIAN OKRESU BEZPRYMROZKOWEGO

Tendencję wieloletnich zmian dat początku, końca i długości okresu bezprzymrozkowego określono na podstawie równania prostej regresji w całym analizowanym wieloleciu (1951–2006), jak również z podziałem na poszczególne 10-letnia.

W całym rozpatrywanym okresie na 13 uwzględnionych w opracowaniu stacjach (65%) odnotowano coraz wcześniejsze rozpoczynanie się okresu bezprzymrozkowego (tendencja istotna statystycznie na poziomie 0,05) (ryc. 1). Największa zmiana wystąpiła w Helu, gdzie ostatni wiosenny przymrozek pojawił się z końcem badanego okresu o 25,5 dni wcześniej, niż miało to miejsce w połowie XX wieku. Na pozostałych stacjach, zlokalizowanych głównie w południowej i środkowo-zachodniej części Polski, zmiana ta waha się od 9,5 dni w Legnicy do 20,7 dni w Łodzi, natomiast najmniejsze zmiany są widoczne wzdłuż wschodniej granicy Polski (ryc. 1). W Suwałkach, Warszawie, Włodawie, Rzeszowie, Poznaniu, Słubicach i Świnoujściu nie wystąpiły istotne statystycznie zmiany początku okresu bezprzymrozkowego.

W przypadku tendencji zmian końca okresu bezprzymrozkowego nie są one już tak znaczące i ograniczają się do zdecydowanie mniejszego obszaru. Jedynie na 7 stacjach (35%) analizowane zmiany są istotne statystycznie na poziomie 0,05. Na 5 stacjach (Kaliszu, Łodzi, Wrocławiu, Zakopanem i Lesku)



Ryc. 1. Tendencje zmian dat początku, końca i długości okresu bezprzymrozkowego na wybranych stacjach w Polsce (1951–2006)

Fig. 1. Trends of shift in the beginning, end and length of frost-free season at selected stations in Poland (1951–2006)

koniec okresu bezprzymrozkowego występował od 11,2 do 15,3 dni później niż w połowie XX wieku, natomiast w Suwałkach i Chojnicach o 11,2 dni wcześniej.

Omówione zmiany miały znaczący wpływ na długość okresu bezprzymrozkowego. Na większości stacji okres ten uległ wyraźnemu wydłużeniu, a na 12 (60%) z nich rozpatrywane zmiany są istotne statystycznie na poziomie 0,05 (ryc. 1). Wydłużenie okresu bezprzymrozkowego wahało się od 14,8 dni w Leżnicy do 31,9 dni w Łodzi. Do największych zmian długości okresu bezprzymrozkowego należy także zaliczyć te w Kaliszu (31,7 dni), Helu (31,6 dni) i Wrocławiu (30,8 dni). Wyjątek stanowią Suwałki, gdzie okres bezprzymrozkowy okazał się krótszy o 12,4 dni niż na początku badanego wielolecia. Zmiana ta jednak jest nieistotna statystycznie.

Kierunek i tempo opisywanych zmian było różne w poszczególnych okresach badanego wielolecia, a różnice między stacjami były znaczne. Analizując średnie wartości tendencji zmian w poszczególnych 10-leciach, stwierdzono, że największy wzrost długości badanego okresu wystąpił w latach: 1991–2000 i 1951–1960. W pierwszej dekadzie analizowanego wielolecia był on przede wszystkim wynikiem wcześniejszego rozpoczynania się okresu bezprzymrozkowego, natomiast w latach 1991–2000 przymrozki również kończyły się nieco wcześniej, jednak większe znaczenia miało późniejsze pojawianie się pierwszych, jesiennych przymrozków. W całym badanym okresie jedynie w latach 1960. odnotowano skrócenie się okresu bezprzymrozkowego (średnio o 8,4 dnia), co było wynikiem pojawiających się znacznie wcześniej przymrozków jesiennych.

Na rozpatrywanych stacjach najkrótszy okres bezprzymrozkowy najczęściej występował przed rokiem 1978. Wyjątek stanowiły stacje w Legnicy, Wrocławiu i Jeleniej Górze, gdzie najkrótszy okres bezprzymrozkowy wystąpił w 1991 roku, oraz w Suwałkach – w roku 1995. Najdłuższy okres bezprzymrozkowy wystąpił na poszczególnych stacjach najczęściej po roku 1983 i aż 8 razy w roku 2000 lub później. Wyjątek pod tym względem stanowiły Suwałki (1957), Legnica, Wrocław, Katowice (1961) i Włodawa (1974).

Wykorzystując analizę grupowania metodą K-średnich oraz metodę korelacji Pearsona zbadano podobieństwa opisywanych zmian okresu bezprzymrozkowego między stacjami. Otrzymane wyniki pozwoliły stwierdzić, że nie można jednoznacznie wskazać obszarów o bardzo podobnym przebiegu analizowanych zmian. Wynika to z bardzo lokalnego charakteru zjawiska, jakim jest występowanie przymrozków, i jego „czułości” na nawet niewielkie różnice warunków pogodowych występujących w poszczególnych regionach kraju. Spośród wszystkich stacji najbardziej wyróżniają się te położone na północy (Świnoujście, Hel, Suwałki) i południu Polski (Jelenia Góra, Zakopane, Rzeszów, Lesko) oraz Słubice, Toruń i Włodawa. Przyczyną odmiennego typu zmian występowania okresu bezprzymrozkowego na tych stacjach jest przede wszystkim ich charakterystyczna lokalizacja: wpływ Morza Bałtyckiego, położenie w kotlinach śródgórskich czy też pozostawanie pod wpływem bardziej kontynentalnego typu klimatu (Suwałki, Włodawa). W przypadku pozostałych stacji zwykle współczynniki korelacji były dość wysokie, często powyżej 0,50 i istotne statystycznie. W przypadku ostatnich przymrozków wiosennych maksymalnie wynosiły 0,75, pierwszych jesiennych – 0,83, natomiast długości okresu bezprzymrozkowego – 0,78.

WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że w porównaniu do innych okresów w latach 1951–2006 średnie daty początku i końca oraz długość okresu

bezzymrozkowego w Polsce nie uległy znaczącym zmianom (Koźmiński, Trzeciak 1971, Kolasiński 2008). Tendencje zmian dat pojawiania się ostatnich wiosennych i pierwszych jesiennych zymrozków jednak wskazują, że na większości obszaru kraju nastąpiło wydłużenie okresu bezzymrozkowego i zmiana dat jego występowania. Dotyczy to przede wszystkim wcześniejszego początku okresu bezzymrozkowego, który na Helu pod koniec analizowanego okresu zaczynał się nawet około 25 dni wcześniej niż w latach 1950. Wydaje się, że największy wpływ na zaistniałe zmiany miał wyraźny wzrost temperatury od początku lat 1990. Ocieplenie to znajduje również swoje potwierdzenie w skracającej się zimie, wydłużającym się przedwiośniu i przedzimiem, wcześniejszej i cieplejszej wiosnie, czy też w szybszym rozpoczynaniu się okresu wegetacyjnego (Żmudzka 2004, Kossowska-Cezak 2005; Kożuchowski, Degirmendźić 2005; Mager, Kopeć 2010).

Przy stosunkowo niewielkiej liczbie stacji uwzględnionych w opracowaniu oraz ich nierównomiernym rozmieszczeniu bardzo trudno wskazywać regiony wyróżniające się pod względem dat początku, końca i długości okresu bezzymrozkowego. Warto jednak zauważyć, że największe zmiany zachodziły w zachodnich regionach kraju, a najmniejsze na wschodzie i południo-wschodzie. Podobne zależności można znaleźć w innych pracach. Wskazują one, że w umiarkowanych szerokościach geograficznych przeważa wyraźny wzrost długości okresu bezzymrozkowego i przesunięcie jego rozpoczęcia w kierunku początku roku (Esterling i in. 2000, Karl i in. 2009). Jednakże w niektórych regionach Europy, szczególnie południowych i południowo-wschodnich, zmiany te mogą mieć charakter przeciwny (Chmielewski, Rötzer 2000, Menzel 2000, *Impacts...* 2008).

Praca została wykonana w ramach Projektu Zamawianego przez Ministerstwo Środowiska (PBZ-KBN-086/P04/2003).

Literatura

- Biernacik D., Filipiak J., Miętus M., Wójcik R., 2010, *Zmienność warunków termicznych w Polsce po roku 1951. Rezultaty projektu KLIMAT*. [w:] E. Bednorz, L. Kolendowicz (red.), *Klimat Polski na tle klimatu Europy – zmiany i ich konsekwencje*, Bogucki Wyd. Nauk., Seria: Studia z Geografii i Geologii, 16, 7–21.
- Chmielewski F. M., Rötzer T., 2000, *Phenological trends in Europe in relation to climatic changes*. *Agrarmeteorologische Schriften*, 7, 1–15.
- Czarnecka M., Farat R., Kasprówicz T., Koźmiński Cz., Kuchar L., Leśny J., Łabędzki L., Mager P., Michalska B., Ratajkiewicz H., 2010, *Zmiany klimatu a rolnictwo w Polsce – wpływ, zagrożenia, działania adaptacyjne*. [w:] E. Bednorz, L. Kolendowicz (red.),

- Klimat Polski na tle klimatu Europy – zmiany i ich konsekwencje*, Bogucki Wyd. Nauk., Seria: Studia z Geografii i Geologii, 16, 203–218.
- Dragańska E., Rynkiewicz I., Panfil M., 2004, *Częstotliwość i intensywność występowania przymrozków w Polsce Północno-Wschodniej w latach 1971–2000*. Acta Agroph., 3(1), 35–41.
- Easterling D.R., Meehl G.A., Parmesan C., Changnon S.A., Karl T.R., Mearns L.O., 2000, *Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts*. Science, 289, 2068–2074, DOI: 10.1126/science.289.5487.2068.
- Impacts of Europe's changing climate*, 2008, European Agency Report, 4.
- Karl T. R., Melillo J. M., Peterson T. C. (red.), 2009, *Global Climate Change Impacts in the United States*. Cambridge University Press.
- Kolasiński J., 2008, *Przymrozki wiosenne i jesienne – występowanie i tendencje zmian*. Prz. Geof., 53, 3–4, 303–310.
- Kossowska-Cezak U., 2005, *Zmiany termicznych pór roku w Warszawie w okresie 1933–2004*. Prz. Geof., 50, 3–4, 265–277.
- Kossowska-Cezak U., Martyn D., Olszewski K., Kopacz-Lembowicz M., 2000, *Meteorologia i klimatologia. Pomiary, obserwacje, opracowania*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa–Łódź, ss. 259.
- Koźmiński Cz., 1976, *Występowanie ciągów dni przymrozkowych w okresie wegetacyjnym na terenie Polski*. Prz. Geogr., 48, 1, 75–93.
- Koźmiński Cz., Trzeciak S., 1971, *Przestrzenny i czasowy rozkład przymrozków wiosenno-jesiennych na obszarze Polski*. Prz. Geogr., 43, 4, 523–549.
- Kożuchowski K., Degirmendžić J., 2005, *Contemporary changes of climate in Poland: Trends and variation in thermal and solar conditions related to plant vegetation*. Polish Journal of Ecology, 53, 3, 283–297.
- Kożuchowski K., Żmudzka E., 2000, *Vegetation and climate in Poland in the 1990's: Variation of the normalized difference vegetation index, air temperature, sunshine and precipitation*. Prace Geograficzne, 107, 235–242.
- Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001, *Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku*. Prz. Geof., 46, 1–2, 81–90.
- Mager P., Kopeć M., 2010, *Okres wegetacyjny w Polsce i w Europie w dobie obserwowanego ocieplenia*. [w:] E. Bednorz, L. Kolendowicz (red.), *Klimat Polski na tle klimatu Europy – zmiany i ich konsekwencje*, Bogucki Wyd. Nauk., Seria: Studia z Geografii i Geologii, 16, 49–63.
- Menzel A., 2000, *Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996*. Int. Jour. of Biomet., 44, 76–81.
- Scheifinger H., Menzel A., Koch E., Peter Ch., Ahas R., 2002, *Atmospheric mechanisms governing the spatial and temporal variability of phenological phases in central Europe*. Int. Jour. Climat., 22, 1739–1755.
- Tomaszewska T., Rutkowski Z., 1999, *Fenologiczne pory roku i ich zmienność w wieloletniu 1951–1990*. Mat. Bad. IMGW, ser. Meteorologia, 28, ss. 39.
- Żmudzka E. 2003a, *The circulation-related conditioning for the variability of the spring date of air temperature passage through the +5°C threshold in Poland*. Acta Univ. Wratislaviensis, Studia Geogr., 75, 250–261.

- Żmudzka E., 2003b, *The variability of the growing season in Warsaw in the second half of the 20th century*. [w:] M. Stopa-Boryczka (red.), *Studies on the climate of Warsaw*, Warsaw University, Faculty of Geography and Regional Studies, 61–72.
- Żmudzka E., 2004, *Warunki termiczne i opadowe produkcji roślinnej w Polsce w latach 1951–2000*. [w:] *Klimat – środowisko – człowiek*, Polski Klub Ekologiczny, Okręg Dolnośląski, Wrocław, 51–61.
- Żmudzka E., Dobrowolska M., 2001, *Zmienność termicznego okresu wegetacyjnego w Polsce w drugiej połowie XX wieku*. *Prace i Studia Geogr.*, UW, 29, Warszawa, 127–136.