

Wpłynęło 28.10.2011 r.
Zrecenzowano 17.01.2012 r.
Zaakceptowano 01.03.2012 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

TENDENCJE ZMIAN WYSTĘPOWANIA PRZYMROZKÓW PRZYGRUNTOWYCH W REJONIE BYDGOSZCZY

Stanisław DUDEK^{BCDF}, **Jacek ŻARSKI**^{AD},
Renata KUŚMIEREK-TOMASZEWSKA^{BCDEF}

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Katedra Melioracji i Agrometeorologii

Streszczenie

Celem pracy była ocena kierunku, zakresu i stopnia istotności zmian wskaźników, charakteryzujących występowanie przygruntowych przymrozków w latach 1971–2005 w rejonie Bydgoszczy. W hipotezie badawczej założono, że w związku z obserwowanymi zmianami klimatycznymi, w rejonie Bydgoszczy zmienia się klimatyczne ryzyko uprawy roślin, w tym także częstość i terminy występowania przymrozków.

Stwierdzono między innymi, że liczba dni z przymrozkami w badanym 35-leciu istotnie zmniejszała się w okresie wiosennym. Coraz wcześniej również zanikały umiarkowane przymrozki wiosenne. Zaobserwowano też tendencję coraz późniejszego pojawiania się przymrozków jesiennych, w konsekwencji czego – wydłużania okresu bezprzymrozkowego.

Słowa kluczowe: data wystąpienia przymrozków, okres bezprzymrozkowy, przymrozek przygruntowy, tendencje zmian

WSTĘP

Według czwartego raportu IPCC [2007], średnia temperatura powietrza w Europie w ostatnim stuleciu (1906–2005) wzrosła o 0,74°C. Zmiany te obserwowano we wszystkich porach roku – największe w okresie od marca do maja, a najmniejsze – od września do listopada. MAGER i in. [2009], analizując dane meteorologiczne z 49 polskich stacji, stwierdzili że ocieplenie, które zaobserwowano w latach 80. XX wieku trwa nadal, a dodatni trend wartości średniej rocznej temperatu-

Adres do korespondencji: dr inż. R. Kuśmierk-Tomaszewska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Katedra Melioracji i Agrometeorologii, ul. Bernardyńska 6, 85-156 Bydgoszcz; tel. +48 52 374-95-37, e-mail: rkusmier@utp.edu.pl

ry powietrza wskazuje wzrost o $0,25^{\circ}\text{C}$ na każde 10 lat. Autorzy zaobserwowali również tendencję zmniejszania się różnic średniej temperatury powietrza wiosną i jesienią.

Zmiany klimatyczne i ich przewidywany wpływ na rolnictwo w Polsce są przedmiotem zainteresowania wielu ośrodków naukowych [CZARNECKA i in. 2009; EITZINGER i in. 2009; KOZYRA i in. 2009; MRÓWCZYŃSKI i in. 2009]. Scenariusze prognoz zmian klimatycznych dla Polski zakładają zwiększenie zmienności temperatury o ponad 25%, co ma szczególne znaczenie, ponieważ jest równoznaczne z występowaniem wielu dni z dużymi zmianami temperatury (np. przymrozki, ekstremalne upały) [KUCHAR 2009].

Jednym ze wskaźników używanych do charakterystyki warunków termicznych jest analiza minimalnych i maksymalnych wartości temperatury powietrza. Według KŁYSIKA i FORTUNIAKA [1995] zmienność ekstremalnych temperatur jest najprostszym wskaźnikiem zmian klimatycznych. Wymienione elementy są postrzegane jako bardziej czuły wskaźnik zmian klimatycznych niż średnie wartości temperatury [IPCC 2007]. Ze średnich trendów zanotowanych w 75 stacjach reprezentujących głównie zachodnią część Europy wynika wzrost temperatury maksymalnej i minimalnej [MOBERG i in. 2006]. Według KLEIN TANKA i KÖNNENA [2003] wzrost temperatury powietrza w minionych dekadach jest związany raczej ze wzrostem ekstremów ciepła aniżeli z redukcją ekstremów zimna, jednak ALEXANDER i in. [2006] twierdzą, że w Europie zmiany ekstremalnych wartości temperatury minimalnej są większe niż maksymalnej, co oznacza że w wielu miejscach nasza planeta staje się raczej mniej zimna, aniżeli bardziej gorąca. Według autorów przygotowujących raport IPCC [2007], w wyniku wzrostu temperatury powietrza liczba dni zimnych i mroźnych ma maleć, podczas gdy częstość występowania dni gorących i bardzo gorących prawdopodobnie się zwiększy.

Z opracowania STARKLA i KUNDZEWICZA [2008] wynika, że mimo cieplejszych zim wydłużeniu ulega okres, w którym mogą wystąpić przymrozki. Pierwszy przymrozek jesienny, a nawet fala krótkotrwałych mrozów, może się zdarzyć bardzo wcześnie, a najpóźniejszy przymrozek wiosenny – bardzo późno. KALBARCZYK [2010] udowodnił, że w Polsce Północno-Wschodniej z roku na rok istotnemu skróceniu ulega okres bezprzymrozkowy, a tezę tę potwierdzają wyniki badań GRABOWSKIEGO [2010]. Zatem problem kierunku zmian wieloletniego przebiegu temperatury powietrza na poziomie regionalnym, a nawet w skali lokalnej, pozostaje nierozwiązany.

W klimatologii liczba dni przymrozkowych, obok liczby dni mroźnych, chłodnych czy ciepłych, stanowi wskaźnik charakteryzujący stosunki termiczne danego obszaru [WOŚ 1999]. Agroklimatologia bada przymrozki przede wszystkim w okresie wegetacyjnym, zaliczając je do niesprzyjających czynników klimatycznych, pogarszających efekty produkcji roślinnej KALBARCZYK [2010].

Przymrozki są jednym z najczęściej, choć nieregularnie, występujących zjawisk szkodliwych dla roślin w okresie wegetacyjnym. Ich zdefiniowanie nie zaw-

sze jest jednoznaczne, ale najczęściej tym terminem określa się przejście temperatury powietrza w czasie doby przez próg $0,0^{\circ}\text{C}$.

Według podziału przymrozków („Słownik meteorologiczny” [NIEDŹWIEDŹ 2003]) ze względu na ich intensywność spadek temperatury w zakresie od $-0,1$ do $-1,9^{\circ}\text{C}$ oznacza przymrozek słaby lub łagodny, w zakresie od $-1,9$ do $-3,9^{\circ}\text{C}$ – przymrozek umiarkowany, a poniżej $-3,9^{\circ}\text{C}$ – silny. Stopień szkodliwości spadku temperatury poniżej 0°C zależy od terminu wystąpienia i intensywności przymrozku, czasu trwania, pogody tuż przed wystąpieniem zjawiska oraz rodzaju i fazy rozwojowej rośliny. Najczęściej im cieplej tuż przed wystąpieniem przymrozku, im bardziej wrażliwa jest roślina oraz większa intensywność obniżenia temperatury i czas jego trwania, tym większe notuje się straty.

W Polsce przymrozki należą do zjawisk występujących prawie w każdym okresie wegetacji, przy czym są to albo przymrozki wiosenne, czyli występujące na przełomie zimy i wiosny oraz wiosną, albo jesienne, występujące już od września. Większe znaczenie przypisuje się przymrozkom wiosennym, ponieważ w tym okresie odbywają się siewy i wschody mało odpornych siewek, tworzenie pąków i zakwitanie drzew i krzewów owocowych, co naraża je na przemarzanie. Jesienią szkodliwość występowania przymrozków jest zwykle nieporównanie mniejsza. Aby łagodzić straty spowodowane wystąpieniem przymrozków, należy przede wszystkim unikać uprawy roślin nieodpornych w rejonach o dużym prawdopodobieństwie ich wystąpienia [KOŹMIŃSKI, MICHALSKA 2001].

Celem pracy była ocena kierunku, zakresu i stopnia istotności zmian wskaźników charakteryzujących występowanie przygruntowych przymrozków w latach 1971–2005 w rejonie Bydgoszczy. W hipotezie badawczej założono, że w związku z obserwowanymi zmianami klimatycznymi, w tym także częstości i terminów występowania przymrozków, w rejonie Bydgoszczy zmienia się klimatyczne ryzyko uprawy roślin.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Pracę przygotowano na podstawie codziennych danych meteorologicznych, pochodzących z agrometeorologicznego punktu pomiarowego zlokalizowanego w Mochełku koło Bydgoszczy. Punkt ten istnieje od 1949 r., od wielu lat stanowi meteorologiczną osłonę doświadczeń polowych prowadzonych przez pracowników Wydziału Rolniczego Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego. Został on założony i funkcjonuje zgodnie z wytycznymi Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej dla stacji i posterunków meteorologicznych w Polsce. Oznacza to, że jego lokalizacja i prowadzone obserwacje są wykonywane zgodnie z zasadą porównywalności pomiarów i obserwacji meteorologicznych, co umożliwia wykorzystywanie danych pomiarowych do charakterystyk klimatycznych i agroklimatycznych okolic Bydgoszczy.

Materiałem wyjściowym były średnie dobowe wartości temperatury powietrza i dobowe minima temperatury, mierzone na wysokości 5 cm nad poziomem gruntu z lat 1971–2005. Obliczenia przeprowadzono dla sezonu wegetacji roślin, obejmującego okres od kwietnia do października.

Przymrozki wyznaczano w dniach cechujących się średnią dobową temperaturą wyższą, a minimalną przy gruncie niższą niż 0°C. Zanotowane przymrozki podzielono na trzy rodzaje, ze względu na intensywność: łagodne – od –0,1 do –1,9°C, umiarkowane – od –2,0 do –3,9°C i silne – poniżej –3,9°C [NIEDŹWIEDŹ 2003] oraz zaszeregowano do poszczególnych dekad każdego miesiąca, obliczając ich liczbę, udział oraz częstość lat z omawianym zjawiskiem. W każdym przedziale intensywności wyznaczono średnie i skrajne daty wystąpienia ostatniego wiosennego i pierwszego jesiennego przymrozku oraz średnie i skrajne długości okresu bezprzymrozkowego. Zmienność w poszczególnych klasach intensywności przymrozków określono na podstawie odchylenia standardowego. Wykorzystując dane z 35-letniej nieprzerwanej serii pomiarowej, wyznaczono trendy zmienności podstawowych charakterystyk przymrozków w latach 1971–2005, metodą regresji liniowej [GARNIER 1996].

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Średnio w latach 1971–2005 w Mochelku występowało 19,77 dni rocznie z przymrozkiem przy gruncie (tab. 1). Najczęściej przymrozki notowano w kwietniu (11,47 dni) oraz październiku (5,15 dni). W pozostałych miesiącach występowały one znacznie rzadziej – średnio 2,28 dni z przymrozkami w maju i 0,58 we wrześniu. Pojedyncze spadki temperatury powietrza poniżej 0°C rejestrowano także w czerwcu i sierpniu.

Zdecydowanie najczęściej zdarzały się dni z przymrozkiem łagodnym (średnio 9,45 przypadków w sezonie), znacznie rzadziej z umiarkowanym (średnio 6,77 dni), a z silnym występowały sporadycznie (średnio 3,55 dni).

Kwiecień był miesiącem o największym zagrożeniu przymrozkami. Dominowały w nim przymrozki łagodne – 5,01 dni (tab. 1), stanowiąc 25,4% wszystkich przypadków (tab. 2). Miesiąc ten charakteryzowała także największa częstość pojawiania się przymrozków umiarkowanych (20,1%) i silnych (12,6%). W rezultacie, w kwietniu notowano aż 58,0% wszystkich dni z przymrozkiem, występującym przy gruncie (tab. 2).

Drugim miesiącem pod względem ryzyka zagrożenia upraw spadkami temperatury poniżej 0°C był październik, w którym notowano średnio 5,15 dnia z przymrozkiem (tab. 1). Potwierdza to udział października w ogólnej liczbie dni z przymrozkami w rejonie Bydgoszczy na poziomie 26,1% (tab. 2).

Podobny przebieg i rozkład miesięczny występowania dni z przymrozkami w rejonie Bydgoszczy przedstawiono we wcześniejszych opracowaniach agroklimatycznych [KOŹMIŃSKI i in. 1990; WOŚ 1994; ŹARSKI i in. 1988].

Tabela 1. Średnia liczba dni z przymrozkami w Mochelku w okresie wegetacji 1971–2005**Table 1.** Mean number of days with frost in Mochelek during growing season of the years 1971–2005

Miesiąc Month	Dekada Ten-day period	Liczba dni z przymrozkami A number of days with frost			
		łagodnymi mild	umiarkowanymi moderate	silnymi strong	razem total
IV	1	1,89	1,51	0,89	4,29
	2	2,09	1,40	0,86	4,35
	3	1,03	1,06	0,74	2,83
	1–3	5,01	3,97	2,49	11,47
V	1	0,63	0,28	0,11	1,02
	2	0,43	0,26	–	0,69
	3	0,54	0,03	–	0,57
	1–3	1,60	0,57	0,11	2,28
VI	1	0,11	0,06	–	0,17
	2	0,06	–	–	0,06
	1–3	0,17	0,06	–	0,23
VIII	3	0,06	–	–	0,06
IX	1	0,03	–	–	0,03
	2	0,09	0,11	–	0,20
	3	0,20	0,09	0,06	0,35
	1–3	0,32	0,20	0,06	0,58
X	1	0,49	0,17	0,09	0,75
	2	0,77	0,74	0,31	1,82
	3	1,03	1,06	0,49	2,58
	1–3	2,29	1,97	0,89	5,15
IV–X		9,45	6,77	3,55	19,77
SD		4,4	3,5	3,5	8,3

Objaśnienia: przymrozek łagodny – od $-0,1$ do $-1,9^{\circ}\text{C}$, umiarkowany – od $-2,0$ do $-3,9^{\circ}\text{C}$, silny – $< -3,9^{\circ}\text{C}$; SD – odchylenie standardowe.

Explanations: mild frost – from -0.1 to -1.9°C , moderate frost – from -2.0 to -3.9°C , strong frost – $< -3.9^{\circ}\text{C}$; SD – standard deviation.

Źródło: badania własne. Source: own studies.

Najgroźniejsze dla roślin są przymrozki majowe, często nazywane „zimnymi ogrodnikami”, spowodowane adwekcją arktycznego powietrza (osobliwość klimatu Polski). W Mochelku zdarzały się one stosunkowo rzadko, ale we wszystkich dekadach, z wyraźną tendencją do zmniejszania liczby i intensywności z upływem czasu. Najwięcej przymrozków majowych przy gruncie, we wszystkich klasach intensywności, występowało w pierwszej dekadzie (5,2%). W kolejnych dekadach maja przymrozki łagodne występowały rzadziej, umiarkowane – z niemal taką samą częstością w drugiej dekadzie i niezwykle rzadko w trzeciej, natomiast silnych przymrozków w drugiej i trzeciej dekadzie nie zanotowano (tab. 1, 2).

W innych rejonach Polski notowano przeciętnie więcej przymrozków majowych. W okolicach Szczecina było to spowodowane wcześniejszym początkiem

Tabela 2. Częstość występowania dni z przymrozkami w Mochełku w okresie wegetacji 1971–2005**Table 2.** The frequency of occurrence days with frost in Mochełek during the growing seasons of the years 1971–2005

Miesiąc Month	Dekada Ten-day period	Częstość (%) występowania dni z przymrozkami Frequency (%) of occurrence days with frost			
		łagodnymi mild	umiarkowanymi moderate	silnymi strong	razem total
IV	1	9,5	7,6	4,5	21,7
	2	10,6	7,1	4,4	22,0
	3	5,2	5,4	3,7	14,3
	1–3	25,4	20,1	12,6	58,0
V	1	3,2	1,4	0,6	5,2
	2	2,2	1,3	–	3,5
	3	2,7	0,1	–	2,9
	1–3	8,1	2,8	0,6	11,6
VI	1	0,6	0,3	–	0,9
	2	0,3	–	–	0,3
	1–3	0,9	0,3	–	1,2
VIII	3	0,3	–	–	0,3
IX	1	0,1	–	–	–
	2	0,5	0,5	–	1,0
	3	1,0	0,5	0,3	1,8
	1–3	1,6	1,0	0,3	2,8
X	1	2,5	0,9	0,4	3,8
	2	3,9	3,7	1,6	9,2
	3	5,2	5,4	2,5	13,1
	1–3	11,6	10,0	4,5	26,1
IV–IX		47,8	34,2	18,0	100,0

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as in Tab. 1.

Źródło: badania własne. Source: own studies.

wiosny [KOŹMIŃSKI, MICHALSKA 2000], na Warmii i Mazurach – bogatą rzeźbą terenu [DRAGAŃSKA i in. 2004], a na Lubelszczyźnie zależało od rodzaju masy powietrza [KOŁODZIEJ i in. 2004].

Sporadycznie w przygruntowej warstwie powietrza występowały przymrozki w I i II dekadzie czerwca i były to głównie przymrozki słabe. Jeszcze rzadsze było zjawisko przymrozków sierpniowych i dotyczyło tylko przymrozków łagodnych w III dekadzie (tab. 1, 2). Nigdy w historii pomiarów agrometeorologicznych w Mochełku, obejmujących okres od 1949 do 2005 r. nie zanotowano przymrozków w lipcu [ŻARSKI i in. 1988], podobnie jak w całej nizinnej części kraju [KOŹMIŃSKI i in. 1990; KOŹMIŃSKI, MICHALSKA 2001].

W I dekadzie września łagodne spadki temperatury przy gruncie zdarzały się sporadycznie (tab. 1). Przymrozki umiarkowane rejestrowano z niewielką częstością (0,5%) w II dekadzie, a silne występowały bardzo rzadko (0,3%) w III dekadzie tego miesiąca.

W badanym okresie 1971–2005 dni z przymrozkami występowały w każdym roku (tab. 3). Przymrozki łagodne i umiarkowane występowały w każdym roku, silne natomiast nie wystąpiły w 14% lat.

Tabela 3. Częstość występowania lat z przymrozkami w Mochełku okresie wegetacji 1971–2005

Table 3. The frequency of occurrence years with frost in Mochełek during the growing seasons of the years 1971–2005

Miesiąc Month	Dekada Ten-day period	Częstość (%) występowania lat z przymrozkami Frequency (%) of occurrence years with frost			
		łagodnymi mild	umiarkowanymi moderate	silnymi strong	razem total
IV	1	80	83	49	94
	2	77	83	43	94
	3	60	49	34	77
	1–3	87	97	69	100
V	1	43	7	6	43
	2	26	14	0	31
	3	34	3	0	32
	1–3	66	23	9	66
VI	1	11	6	0	11
	2	6	0	0	3
	1–3	11	3	0	14
VIII	3	3	0	0	3
IX	1	3	0	0	3
	2	9	11	0	11
	3	17	9	6	20
	1–3	29	9	3	29
X	1	26	12	6	31
	2	34	34	17	54
	3	63	57	29	83
	1–3	80	71	40	94
IV–X		100	100	86	100

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as in Tab. 1.

Źródło: badania własne. Source: own studies.

Najrzadziej przymrozki występowały w sierpniu – w całym 35-letnim okresie zanotowano zaledwie dwa takie przypadki 26 i 27.08.1973 r. (–1,5 i –0,6°C).

W czerwcu przymrozki występowały równie rzadko – 6 przypadków w I i 2 w II dekadzie, z czego dwukrotnie zanotowano spadek temperatury poniżej –2,0°C. We wrześniu częstość lat bez przymrozków była duża i zmniejszała się z upływem czasu i intensywnością zdarzenia.

Czas między ostatnim przymrozkiem wiosną a pierwszym jesienią jest okresem bezprzymrozkowym. Im jest on dłuższy tym stwarza lepsze warunki wzrostu

i rozwoju roślin. Dаты wystąpienia ostatniego przymrozku wiosną zależały od jego intensywności – w miarę zwiększania intensywności zjawiska termin ostatniego przymrozku był coraz wcześniejszy. Średnia data ostatniego przymrozku łagodnego przy gruncie przypadała w rejonie Bydgoszczy na 12 maja, a w pozostałych przypadkach – na kwiecień (tab. 4). W poszczególnych latach odnotowywano bardzo dużą zmienność daty ostatniego przymrozku wiosną – od III dekady lutego (przymrozek silny – 26.02.1983 r.) do II dekady czerwca (przymrozek łagodny – 17.06.1978 r.). Zaobserwowano tendencję coraz wcześniejszego występowania ostatniego przymrozku wiosennego (rys. 1), jednak zależność istotną zanotowano tylko w przypadku przymrozku umiarkowanego ($-0,61$ dnia-rok $^{-1}$). Jednocześnie zmienność daty wystąpienia ostatniego przymrozku umiarkowanego wiosną była najmniejsza. Podobnie SCHEIFINGER i in. [2003], badając trend zmienności daty wystąpienia ostatniego wiosennego przymrozku w Europie Centralnej w latach 1951–1997, stwierdzili że zjawisko to pojawiało się wcześniej wraz z biegiem lat średnio o 0,2 dnia-rok $^{-1}$.

Tabela 4. Średnie i skrajne daty ostatniego przymrozku wiosną i pierwszego jesienią w Mochełku w okresie wegetacji 1971–2005

Table 4. Mean and extreme dates of last spring frost and the first autumn frost in Mochełek in the growing season in the years 1971–2005

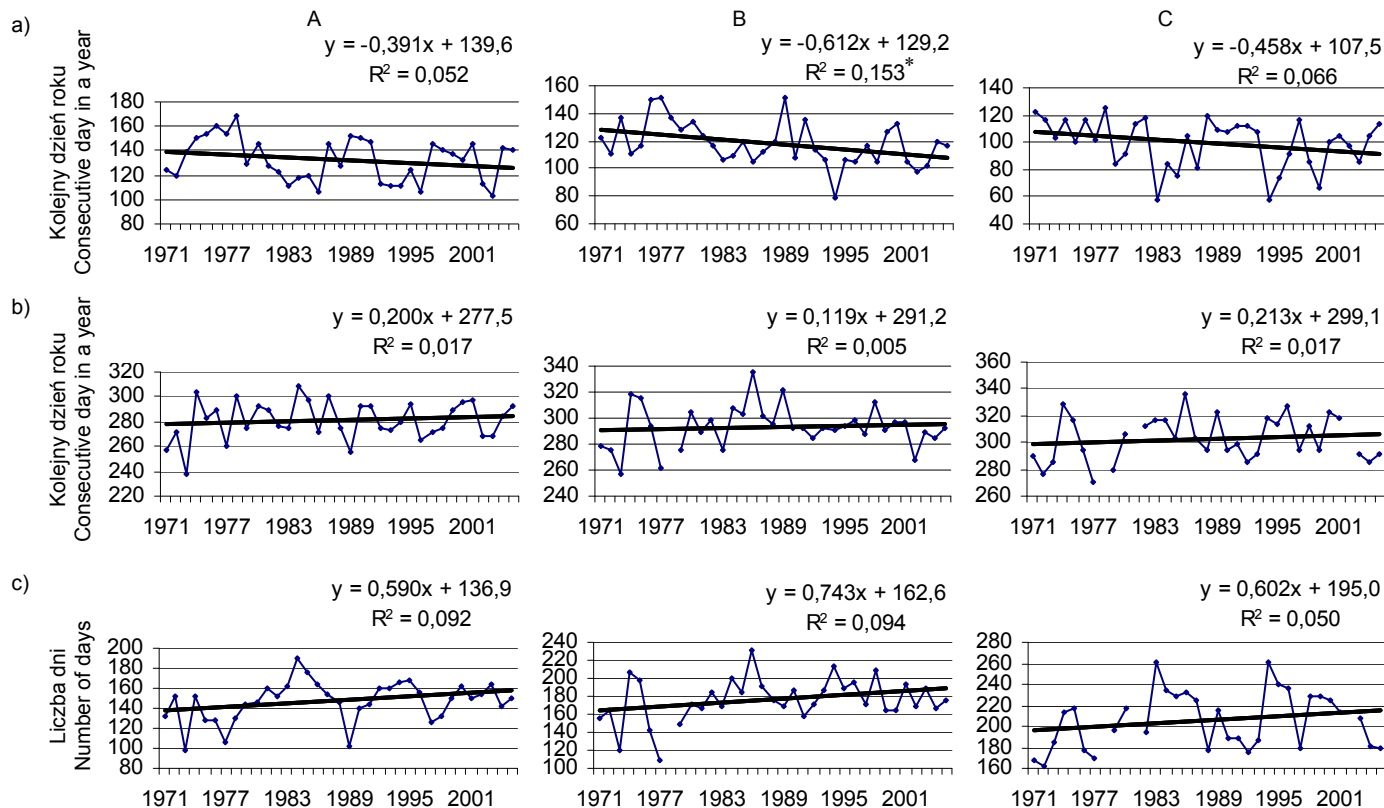
Klasa przymrozku Class of frost °C	Ostatni przymrozek wiosenny Last spring frost				Pierwszy przymrozek jesienny First autumn frost			
	średnio mean	najwcześniej earliest	najpóźniej latest	SD	średnio mean	najwcześniej earliest	najpóźniej latest	SD
Łagodny Mild	12 V	13 IV (2003)	17 VI (1978)	17,5	8 X	26 VIII (1973)	14 XI (1984)	15,6
Umiarkowany Moderate	28 IV	20 III (1994)	1 VI (1977)	16,0	20 X	14 IX (1973)	2 XII (1986)	16,6
Silny Strong	9 IV	26 II (1983)	5 V (1978)	18,3	30 X	27 IX (1977)	3 XII (1986)	16,6

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as in Tab. 1.

Źródło: badania własne. Source: own studies.

Pierwszy przymrozek jesienią występował średnio w październiku, niezależnie od intensywności (tab. 4).

Najwcześniej wystąpił przymrozek jesienny łagodny w 1973 r. (26 sierpnia). Przymrozki umiarkowane i silne najwcześniej występowały we wrześniu lub październiku. Najpóźniej przymrozki jesienne występowały późną jesienią (listopad) bądź już w okresie zimy. Wyznaczone trendy nie świadczą o występowaniu istotnych zmian daty pojawiania się pierwszego przymrozku jesiennego (rys. 1). Dаты te są w dużym stopniu zgodne z prezentowanymi w literaturze i typowe dla cen-



Rys. 1. Trendy zmienności występowania: a) ostatniego przymrozku wiosną, b) pierwszego jesienią i c) czasu trwania okresu bezprzymrozkowego w trzech klasach intensywności (A – łagodne, B – umiarkowane, C – silne) w Mochełku w latach 1971–2005; * – trend istotny statystycznie, gdy $\alpha = 0,05$; źródło: badania własne

Fig. 1. Trends of the variability of occurrence of: a) the last spring frost, b) the first autumn frost and c) duration of frost-free period in three classes of intensity: (A – mild, B – moderate, C – strong) in Mochełek in the years 1971–2005; * – trend statistically significant at $\alpha=0.05$; source: own studies

tralnej części kraju, natomiast wcześniejsze od występujących na zachodzie i późniejsze niż w rejonach północno-wschodnich [DRAGAŃSKA i in. 2004; KOŹMIŃSKI i in. 1990; KOŹMIŃSKI, MICHALSKA 2001].

Okres bez przymrozków przy powierzchni gruntu w Mochełku trwał średnio 148 dni (tab. 5). W kolejnych latach okresu 1971–2005 występowały bardzo duże zmiany rozpiętości dat między ostatnim przymrozkiem wiosennym a pierwszym jesiennym. Najkrótszy okres bez przymrozku, wynoszący 98 dni, wystąpił w 1973 r., najdłuższy trwał 190 dni (1984 r.). Jeszcze większe różnice występowały w przypadku przymrozków umiarkowanych i silnych. Na podstawie zmian liczby dni bez przymrozków z upływem czasu, można stwierdzić, że istniała tendencja wydłużania się tego okresu (rys. 1). Zbliżone do prezentowanych wyniki przedstawiono w pracach opisujących warunki termiczne północno-wschodniej części kraju, gdzie okresy bez przymrozków były nieco krótsze [DRAGAŃSKA i in. 2004] oraz na Nizinie Szczecińskiej [KOŹMIŃSKI, MICHALSKA 2001]. Podobnie jak w rejonie Bydgoszczy, również w innych rejonach niektórych krajów europejskich (Czechy, Szwajcaria, Finlandia, Białoruś), zauważono tendencję zmniejszania się liczby dni z przymrozkiem w ostatnim sześćdziesięcioleciu [HEINO i in. 1999; LOGINOV i in. 2007]. Największa była zmienność okresu bez przymrozków silnych (27,5), a najmniejsza – bez przymrozków słabych (19,9) (tab. 5).

Tabela 5. Średnie i skrajne długości okresu bezprzymrozkowego w Mochełku w okresie wegetacji 1971–2005

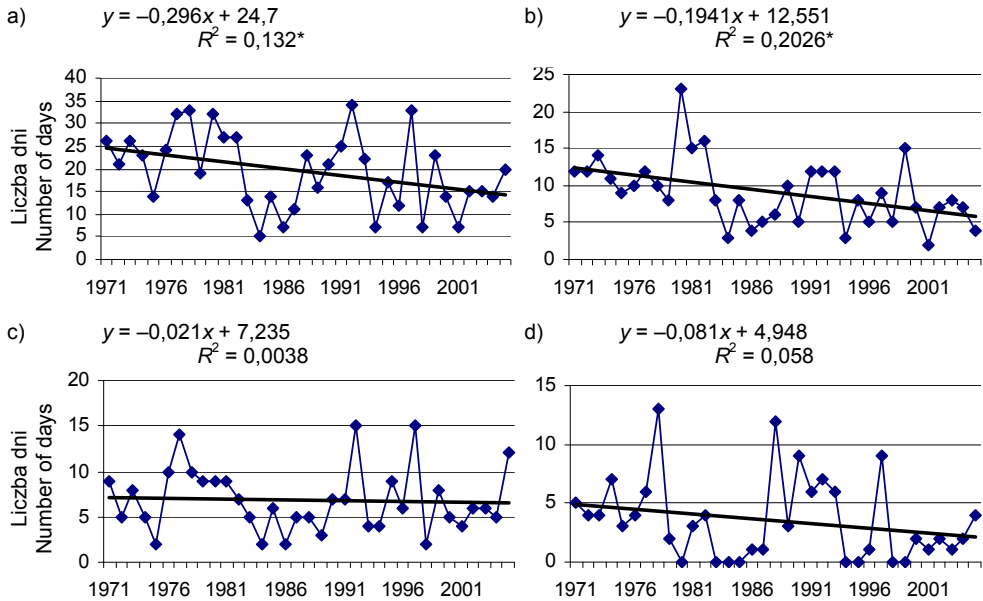
Table 5. Mean and extreme lengths of the frost-free period in Mochelek during the growing seasons in the years 1971–2005

Klasa przymrozku, °C Class of frost, °C	Okres bezprzymrozkowy, dni		Frost-free period, days		SD
	średnio mean	najdłuższy longest	najkrótszy shortest		
Łagodny Mild	148	190 (1984)	98 (1973)		19,9
Umiarkowany Moderate	174	232 (1986)	108 (1977)		24,8
Silny Strong	203	261 (1983, 1994)	162 (1972)		27,5

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as in Tab. 1.

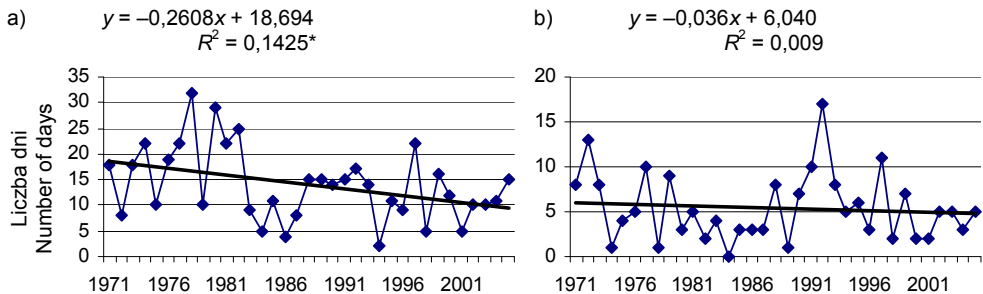
Źródło: badania własne. Source: own studies.

Z analizy trendów zmiany liczby dni z przymrozkiem we wszystkich klasach intensywności dla całego okresu wegetacji (IV–X) wynika istotne ich zmniejszanie w badanym 35-leciu ($0,29 \text{ dnia-rok}^{-1}$) (rys. 2). Porównanie zmienności tej charakterystyki w poszczególnych klasach intensywności umożliwiło stwierdzenie, że istotne zmniejszanie liczby dni z przymrozkami dotyczy tylko przymrozków łagodnych ($-0,19 \text{ dnia-rok}^{-1}$), w klasie przymrozków silnych zaobserwowano tendencję malejącą, natomiast w klasie przymrozków umiarkowanych zmiany były nieznaczne.



Rys. 2. Trendy zmienności liczby dni z przymrozkiem w okresie wegetacji w Mochełku w latach 1971–2005; a) ogólna liczba dni z przymrozkiem, b) liczba dni z przymrozkiem łagodnym, c) liczba dni z przymrozkiem umiarkowanym, d) liczba dni z przymrozkiem silnym; * – trend istotny statystycznie, gdy $\alpha = 0,05$; źródło: badania własne

Fig. 2. Trends of the variability of the number of days with frost during the growing seasons in Mochełek in the years 1971–2005; a) total number of days with frost, b) the number of days with mild frost, c) the number of days with moderate frost, d) the number of days with strong frost; * – trend statistically significant at $\alpha = 0.05$; source: own studies



Rys. 3. Trendy zmienności liczby dni z przymrozkiem a) wiosennym i b) jesiennym w Mochełku w latach 1971–2005; * – trend istotny statystycznie, gdy $\alpha = 0,05$; źródło: badania własne

Fig. 3. Trends of the variability of the number of days with frost in a) spring and b) autumn in Mochełek in the years 1971–2005; * – trend statistically significant at $\alpha = 0.05$; source: own study

Zanotowano istotny trend zmniejszania się liczby dni z przymrozkami w okresie wiosennym ($-0,26$ dnia·rok⁻¹), podczas gdy w okresie jesiennym stwierdzono niewielką tendencję malejącą tej charakterystyki (rys. 3).

WNIOSKI

1. Przygruntowe przymrozki okresu wegetacyjnego występowały najczęściej w kwietniu (58,0%), w październiku zarejestrowano 26,1% dni z tym zjawiskiem, w maju 11,6%, a wrześniu 2,8%. Sporadycznie rejestrowano je w czerwcu i sierpniu. Jedynym miesiącem okresu wegetacyjnego całkowicie wolnym od przymrozków był lipiec.

2. Przymrozki łagodne stanowiły około 50% wszystkich spadków temperatury powietrza poniżej 0°C przy gruncie. Udział przymrozków umiarkowanych w ogólnej ich liczbie wyniósł ponad 30%, a silnych około 20%.

3. Stwierdzono tendencję do wcześniejszego występowania ostatniego przymrozku wiosną w klasie przymrozków łagodnych i silnych, natomiast w klasie przymrozków umiarkowanych zaobserwowano istotny trend malejący ($-0,61$ dnia·rok⁻¹).

4. Daty wystąpienia pierwszego przymrozku jesienno we wszystkich klasach intensywności charakteryzowała tendencja do późniejszego występowania tego zjawiska z upływem lat.

5. W rezultacie zmian występowania daty ostatniego wiosennego i pierwszego jesienno przymrozku, nieznacznie wydłużał się okres bezprzymrozkowy.

6. Na podstawie analizy trendów stwierdzono zmniejszenie liczby dni przymrozkowych w całym okresie wegetacyjnym we wszystkich klasach intensywności, jednakże istotny trend dotyczył tylko dni z przymrozkiem słabym ($-0,19$ dnia·rok⁻¹).

7. Z porównania trendów zmienności liczby dni z przymrozkami na początku i na końcu okresu wegetacyjnego wynika istotny spadek tej charakterystyki w okresie wiosennym ($-0,26$ dnia·rok⁻¹).

LITERATURA

- ALEXANDER L., ZHANG X., PETERSON T., CAESAR J., GLEASON B., KLEIN TANK A., HAYLOCK M., COLLINS D., TREWIN B., RAHIMZADEH F., TAGIPOUR A., RUPA KUMAR K., REVADEKAR J., GRIFFITHS G., VINCENT L., STEPHENSON D., BURN J., AGUILAR E., BRUNET M., TAYLOR M., NEW M., ZHAI P., RUSTICUCCI M., VAZQUEZ-AGUIRRE J. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 111. D05109 s. 1–22.
- CZARNECKA M., KOZMIŃSKI CZ., MICHALSKA B. 2009. Climatic risks for plant cultivation in Poland. *Acta Agrophysica*. Nr 169. Rozprawy i Monografie (1) s. 78–97.
- DRAGAŃSKA E., RYNKIEWICZ I., PANFIL M., 2004. Częstotliwość i intensywność występowania przymrozków w Polsce północno-wschodniej w latach 1971–2000. *Acta Agrophysica*. Nr 104. Vol. 3(1) s. 35–42.
- EITZINGER J., LEŚNY J., SERBA T., JUSZCZAK R., OLEJNIK J. 2009. Adaptation of agriculture in european regions at environmental risk under climate change-project implementation. *Acta Agrophysica*. Nr 169. Rozprawy i Monografie (1) s. 7–18.
- GARNIER B. J. 1996. *Podstawy klimatologii*. Warszawa. Wydaw. IMGW. ISBN 83-85176-34-9 ss. 209.

- GRABOWSKI J. 2010. The occurrence of ground frost in the Mazurskie Lakeland between the years 1966 and 2005. *Acta Agrophysica*. Nr 185. Rozprawy i Monografie (6) s. 99–110.
- HEINO R., BRÁZDIL R., FØRLAND E., TUOMENVIRTA H., ALEXANDERSSON H., BENISTON M., PFISTER C., REBETEZ M., ROSENHAGEN G., RÖSNER S., WIBIG J. 1999. Progress in the study of climatic extremes in Northern and Central Europe. *Climatic Change*. Vol. 42. No. 1 s. 151–181.
- IPCC RAPORT. 2007. *Climate change 2007: The physical science basis*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Cambridge University Press. ISBN 978 0521 88009-1 ss. 996.
- KALBARCZYK R. 2010. Spatial and temporal variability of the occurrence of ground frost in Poland and its effect on growth, development and yield of pickling cucumber (*cucumis sativus* L.), 1966–2005. *Acta Scientiarum Polonorum. Seria Hortorum Cultus*. Nr 9. Z. 3 s. 3–26.
- KLEIN TANK A.M.G., KONNEN G.P. 2003. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–1999. *Journal of Climate*. Vol. 16. Iss. 22 s. 3665–3680.
- KŁYSIK K., FORTUNIAK K. 1995. Skrajne wartości temperatury powietrza w Łodzi w okresie 1951–1990. W: *Klimat i bioklimat miast*. Pr. zbior. Red. K. Kłysik. Łódź. Wydaw. UŁ s. 117–127.
- KOŁODZIEJ J., LINIEWICZ K., BEDNAREK H. 2004. Temperatura powietrza w dniach „zimnych ogrodników” w okolicy Lublina. *Annales UMCS. Sec. E. Agricultura*. Vol. 59. Nr 2 s. 857–867.
- KOZYRA J., DOROSZEWSKI A., NIERÓBCA A. 2009. Zmiany klimatyczne i ich przewidywany wpływ na rolnictwo w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*. Z. 14 s. 223–257.
- KOŹMIŃSKI CZ., GÓRSKI T., MICHALSKA B. (red.) 1990. *Atlas klimatyczny elementów i zjawisk szkodliwych dla rolnictwa w Polsce*. Puławy. Wydaw. IUNG. Ser. R 232/B ss. 78.
- KOŹMIŃSKI CZ., MICHALSKA B. 2000. *Klimatyczna charakterystyka rejonu stacji agrometeorologicznej w Lipkach k. Starogardu Szczecińskiego*. Szczecin. Wydaw. AR. ISBN 83-87327-53-0 ss. 84.
- KOŹMIŃSKI CZ., MICHALSKA B. (red.) 2001. *Atlas klimatycznego ryzyka uprawy roślin w Polsce*. Szczecin. Wydaw. AR i USZ. ISBN 83-87327-24-7 ss. 81.
- KUCHAR L. 2009. Application of mathematical methods for crop yield estimation under changing climatic conditions. *Acta Agrophysica*. Nr 169. Rozprawy i Monografie (1) s. 52–62.
- LOGINOV V., MIKUTSKII V., KUZNETSOV G. 2007. *Statistical and Probability Analysis of Frost in Belarus*. *Russian Meteorology and Hydrology*. Vol. 32. No. 10 s. 651–657.
- LORENC H. (red.) 2005. *Atlas klimatu Polski*. Warszawa. Wydaw. IMGW. ISBN 83-88897-43-8 ss. 116.
- MAGER P., KASPROWIC T., FARAT R. 2009. Change of air temperature and precipitation in Poland in 1966–2006. *Acta Agrophysica*. Nr 169. Rozprawy i Monografie (1) s. 19–38.
- MOBERG A., JONES P.D., LISTER D., KLEIN TANK A.M.G. 2006. Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analysed for the period 1901–2000. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 111. D22106 s. 1–25.
- MRÓWCZYŃSKI M., WALCZAK F., KORBAS M., PARADOWSKI A., ROTH M. 2009. Zmiany klimatyczne a zagrożenia roślin rolniczych przez agrofagi. *Studia i Raporty IUNG-PIB*. Z. 17 s. 139–147.
- NIEDŹWIEDŹ T. (red.) 2003. *Słownik meteorologiczny*. Warszawa. Wydaw. IMGW. ISBN 83-88897-25-X. ss. 495.
- SCHEIFINGER H., MENZEL A., KOCH E., PETER CH. 2003. Trends of spring time frost events and phenological dates in Central Europe. *Theoretical and Applied Climatology*. Nr 74 s. 41–51.
- STARKEL L., KUNDZEWICZ W. 2008. *Konsekwencje zmian klimatu dla zagospodarowania przestrzennego kraju*. Nauka. Nr 1 s. 85–101.
- WOŚ A. 1994. *Klimat Niziny Wielkopolskiej*. Poznań. Wydaw. Nauk. UAM. ISBN 83-232-0618-X ss. 192.
- WOŚ A. 1999. *Klimat Polski*. Warszawa. Wydaw. Nauk. PWN. ISBN 83-01-12780-5 ss. 302.
- ŻARSKI J., PESZEK J., URBANOWSKI S. 1988. Charakterystyka warunków termicznych i opadowych Mochełka. *Zeszyty Naukowe ATR Bydgoszcz*. Z. 145 s. 25–38.

Stanisław DUDEK, Jacek ŻARSKI, Renata KUŚMIEREK-TOMASZEWSKA

**TRENDS IN THE OCCURRENCE OF GROUND FROSTS
IN THE REGION OF BYDGOSZCZ**

Key words: *ground frost, the date of frost occurrence, the frost-free period, trends in occurrence*

S u m m a r y

The aim of this study was to assess the direction, range and significance of changes in the indices characterising the occurrence of ground frost in the years 1971–2005 in the region of Bydgoszcz. Research hypothesis was that due to climate change observed also in the Bydgoszcz region, the climatic risk to plant crops may change as well, including the frequency and timing of frost occurrence.

It was found that the number of days with ground frost in the analysed 35-year period significantly decreased in the spring time. Moreover, moderate spring frosts disappeared earlier. Autumn frosts tended to appear later and as a consequence there was a tendency to prolongation of the frost-free period.