



EWELINA FLIS-OLSZEWSKA 

## Przymrozki wysokie i niskie oraz okres bezprzymrozkowy w Lublinie w kontekście zmian temperatury powietrza w wieloleciu 1960–2019

Days with high and ground frosts and frost-free periods in the context of air  
temperature changes in the period 1960–2019 in Lublin

**Streszczenie.** Głównym celem pracy była analiza warunków termicznych w okresie 1960–2019 na stacji pomiarowej Lublin-Felin oraz porównanie zmian temperatury powietrza ze zmianami liczby przymrozków wysokich (200 cm n.p.g.) i niskich (5 cm n.p.g.) oraz długości okresu bezprzymrozkowego. Zaobserwowano tendencję wzrostową średniej rocznej temperatury powietrza wynoszącą 0,5°C/10 lat, a jednocześnie spadek liczby przymrozków wysokich w tempie –1,4/10 lat oraz przymrozków niskich o –2,4/10 lat. Długość okresu bezprzymrozkowego na przestrzeni wielolecia ulegała stopniowemu wydłużeniu o ok. 4 dni/10 lat. W przypadku dalszego wzrostu temperatury powietrza można spodziewać się dalszego spadku liczby dni z przymrozkami, jak również wzrostu długości okresu bezprzymrozkowego, który będzie rozpoczynał się wcześniej, a kończył później niż obecnie.

**Słowa kluczowe:** przymrozki wysokie, przymrozki niskie, okres bezprzymrozkowy, zmiany temperatury powietrza, Lublin

### WSTĘP

Obszar Polski należy do strefy klimatu umiarkowanego przejściowego, co wiąże się z dużym zróżnicowaniem warunków meteorologicznych w ciągu roku [Woś 1999]. Jednym ze zjawisk pogodowych występujących w naszym kraju są przymrozki. W zależności od genezy można wyróżnić kilka rodzajów przymrozków – w przypadku napływu ciepłej masy powietrza nad wychłodzone podłoże występują przymrozki adwekcyjne, w momencie silnego wypromieniowania ciepła z gruntu mówimy o przymrozkach radiacyjnych, natomiast kiedy obydwa wspomniane czynniki występują równocześnie przymrozki określamy jako adwekcyjno-radiacyjne. Inna klasyfikacja rozdziela przymrozki według daty ich wystąpienia – przymrozki występujące w pierwszej połowie roku określane są mianem

przymrozków wiosennych (tzw. przymrozki wczesne), natomiast przed okresem zimowym występują przymrozki jesienne (tzw. późne). Przymrozki wiosenne mają szkodliwy wpływ na roślinność, gdyż powodują m.in. jej wymarznącie, wysuszenie, a niekiedy całkowite obumarcie. Największe zagrożenie związane jest ze zniszczeniami kwiatostanów i wierzchołków młodych roślin, przez co ograniczona zostaje ich zdolność do kiełkowania i dalszego wzrostu. Skutki wywołane wystąpieniem przymrozków jesiennych są znacznie mniejsze i dotyczą głównie uszkodzeń roślin w szklarniach [Wieteska 2011].

W zależności od wysokości, na jakiej wystąpił przymrozek, wyróżnia się przymrozki wysokie (zaobserwowane na wysokości 2 m n.p.g.) oraz przymrozki niskie, tzw. przygruntowe (na 5 cm n.p.g.). Te drugie stanowią duże zagrożenie szczególnie w rolnictwie, gdyż ich występowanie negatywnie wpływa na warunki termiczne w okresie wegetacyjnym [Tomczyk 2015]. Zróznicowanie przestrzenne i czasowe przymrozków w Polsce było tematem licznych badań – zarówno opracowań dotyczących całego kraju, na podstawie wybranych stacji pomiarowych zlokalizowanych w różnych jego częściach [Bielec-Bąkowska i Piotrowicz 2011], opracowań mniejszych regionów fizycznogeograficznych, takich jak Lubelszczyzna [Kaszewski i in. 2012], Podkarpacie [Ziernicka-Wojtaszek 2017], Polska Wschodnia [Bartoszek i in. 2010], Polska Północno-Wschodnia [Dragańska i in. 2004], jak również analiz występowania przymrozków wyłącznie na jednej, wybranej stacji, np. Zakopane [Żmudzka 2010], Bydgoszcz [Dudek i in. 2012], RSD Zawady [Radzka i in. 2014], Jeziory [Szyga-Pluta 2017].

Istnieje kilka sposobów wyznaczania przymrozków wysokich. W „Atlasie klimatycznym Polski” [Wiszniewski 1973] i „Atlasie klimatu Polski” [Lorenc 2005], podobnie jak w wielu innych opracowaniach [Gumiński 1948, Kaszewski i in. 2012], dzień z przymrozkiem został określony wyłącznie za pomocą jednego podstawowego kryterium, jakim jest wystąpienie temperatury minimalnej w ciągu doby poniżej 0°C. Niekiedy stosuje się drugi, dodatkowy warunek, jakim jest występująca równocześnie z ujemną temperaturą minimalną dodatnia średnia dobowa temperatura powietrza [Kossowska-Cezak 2003] lub dodatnia temperatura maksymalna w danej dobie [Niedźwiedź 2003]. W przypadku przymrozków przygruntowych sytuacja jest podobna – często wyznacza się je wyłącznie na podstawie ujemnej temperatury minimalnej w okresie wegetacyjnym [Pożarska i in. 2016], jednak niekiedy stosuje się wspomniane powyżej dodatkowe kryterium w postaci dodatniej średniej dobowej temperatury powietrza [Dudek i in. 2012, Doroszewski i in. 2013]. Pomiędzy datą ostatniego przymrozku wiosennego a datą pierwszego przymrozku jesiennego występuje tzw. okres bezprzymrozkowy.

W ostatnich dekadach w wielu regionach w Polsce zauważono wyraźny wzrost temperatury powietrza [Michalska 2011, Wójcik i Miętus 2014], który ma bezpośredni wpływ na tendencję spadkową liczby dni z przymrozkiem, przy jednoczesnym wydłużaniu się okresów bezprzymrozkowych w poszczególnych latach [Bielec-Bąkowska i Piotrowicz 2011]. Celem pracy była ocena wpływu zmienności temperatury powietrza na zmienność liczby przymrozków i czasu trwania okresów bezprzymrozkowych w Lublinie. Analizie poddano dane z wielolecia 1960–2019.

#### MATERIAŁ I METODY

Niniejsze opracowanie dotyczy występowania przymrozków i okresów bezprzymrozkowych na stacji meteorologicznej Lublin-Felin należącej do Uniwersytetu Przy-

rodniczego w Lublinie. Stacja zlokalizowana jest w południowo-wschodniej części miasta na wysokości 215 m n.p.m. ( $\phi = 51^{\circ}14'N$ ,  $\lambda = 22^{\circ}38'E$ ). Analizie zostały poddane wartości temperatury powietrza zmierzonej na 2 m n.p.g. oraz na 5 cm n.p.g. pochodzące z 60-lecia 1960–2019. Na podstawie zebranych danych dla każdego roku, dekady i miesiąca wyznaczono liczbę przymrozków wysokich i niskich w okresie wegetacyjnym, tj. od marca do listopada, daty występowania ostatnich przymrozków wiosennych i pierwszych przymrozków jesiennych oraz długość trwania okresów bezprzymrozkowych. Przedstawiono warunki termiczne w analizowanym wieloleciu: za pomocą równania trendu liniowego wyznaczono tendencje zmian średniej rocznej temperatury powietrza i oceniono ich istotność statystyczną (poziom istotności  $p = 0,05$ ), wykorzystując nieparametryczny test Mann-Kendalla oraz obliczono wielkość anomalii termicznych w stosunku do średniej wieloletniej. Za pomocą współczynników korelacji Pearsona określono wielkość związku między temperaturą powietrza, a liczbą dni przymrozkowych.

Przymrozki wysokie zostały wyznaczone na podstawie wartości temperatury minimalnej poniżej  $0^{\circ}C$  przy jednocześnie występującej dodatniej średniej dobowej temperaturze powietrza na 2 m n.p.g. Do wyznaczenia przymrozków niskich również wykorzystano ujemne wartości temperatury minimalnej z tego samego okresu, ale pochodzące z 5 cm n.p.g. Przymrozki zostały podzielone ze względu na ich intensywność wg klasyfikacji Niedźwiedzia [2003] na przymrozki: słabe (spadek temperatury minimalnej w przedziale  $< -0,1$ ;  $-1,9^{\circ}C$ ), umiarkowane  $< -1,9$ ;  $-3,9^{\circ}C$ ) i silne ( $\leq -3,9^{\circ}C$ ).

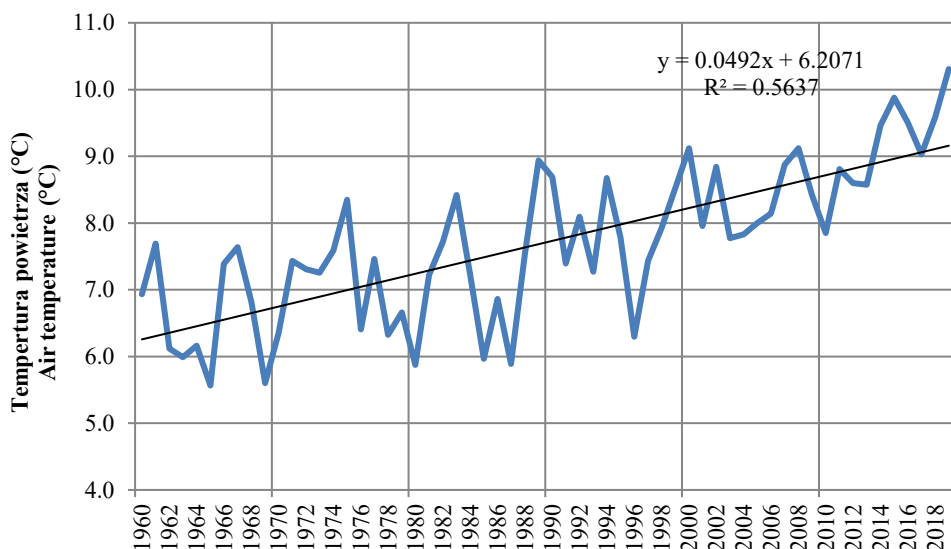
## WYNIKI

### Zmienność warunków termicznych w wieloleciu 1960–2019

Średnia roczna temperatura powietrza w Lublinie w okresie 1960–2019 wynosiła  $7,7^{\circ}C$ , jednak różniła się znacząco w poszczególnych latach (rys. 1) – wahania średniej temperatury pomiędzy sąsiednimi latami niekiedy wynosiły niemal  $2^{\circ}C$  (np. między rokiem 1965 a 1966 oraz między 1975 i 1976). Najniższa średnia roczna temperatura powietrza wystąpiła w 1965 i 1969 r. ( $5,6^{\circ}C$ ), najwyższa zaś w 2019 r., osiągając wartość niemal dwukrotnie większą ( $10,3^{\circ}C$ ). Mimo dużego zróżnicowania warunków termicznych w poszczególnych latach można zauważyć wyraźną, istotną statystycznie, tendencję wzrostową wynoszącą dla analizowanego wielolecia  $0,5^{\circ}C/10$  lat. Następujące ocieplenie na stacji Lublin-Felin potwierdzają również wartości średniej dekadowej temperatury powietrza – każde kolejne 10-lecie wykazuje średnią temperaturę powietrza wyższą niż 10-lecie wcześniejsze. Ostatnia dekada (2010–2019) jest dekadą najcieplejszą, o średniej temperaturze wynoszącej  $9,2^{\circ}C$ , a różnica pomiędzy nią a pierwszą w wieloleciu, najchłodniejszą dekadą (1960–1969) przekracza  $2,5^{\circ}C$ . Tempo wzrostu temperatury powietrza nie było jednakowe we wszystkich dekadach – wyraźnie zaznacza się różnica pomiędzy pierwszą a drugą połową analizowanego wielolecia. W pierwszym 30-leciu (lata 1960–1989) średnia temperatura powietrza wzrastała wolniej, z nieistotną statystycznie tendencją  $0,3^{\circ}C/10$  lat, zaś w drugim 30-leciu (lata 1990–2019) istotne statystycznie tempo wzrostu było ponad dwukrotnie większe i wynosiło już  $0,7^{\circ}C/10$  lat.

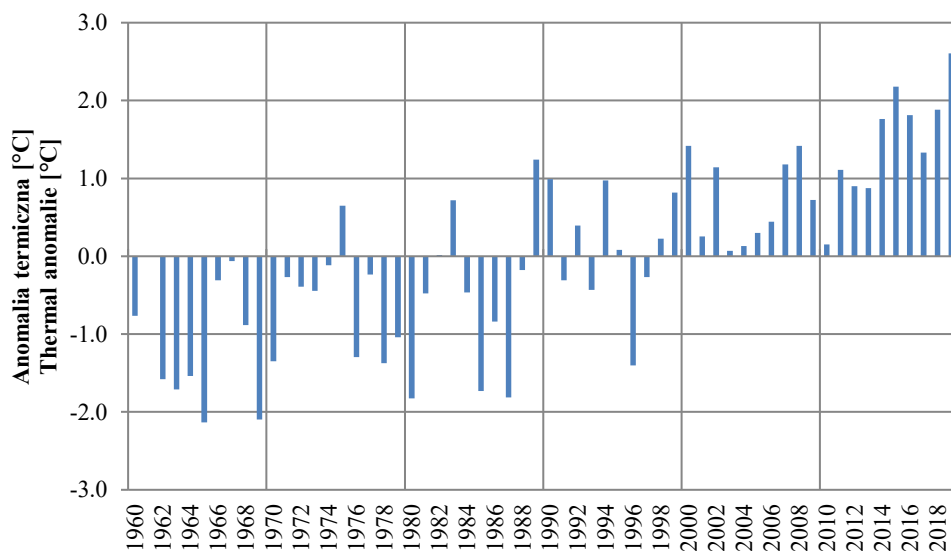
Należy również wspomnieć, iż największy i istotny statystycznie ( $p = 0,05$ ) wzrost temperatury powietrza w analizowanym okresie nastąpił w miesiącach letnich, tj. lipcu i sierpniu, wykazując tendencję wzrostową o wartości  $0,7^{\circ}C/10$  lat, w kilku miesiącach

zimowo-wiosennych, tj. od stycznia do kwietnia (tendencja wzrostowa  $0,6^{\circ}\text{C}/10$  lat) oraz w maju ( $0,5^{\circ}\text{C}/10$  lat). Najmniejsze zmiany zauważalne były w okresie jesiennym, tj. w październiku i listopadzie, kiedy tendencja wzrostowa (nieistotna statystycznie) przyjmowała wartości  $0,2^{\circ}\text{C}/10$  lat oraz we wrześniu (istotny statystycznie wzrost  $0,3^{\circ}\text{C}/10$  lat).



Rys. 1. Przebieg średniej rocznej temperatury powietrza w wieloletniu 1960–2019

Fig. 1. The average annual air temperature in the period 1960–2019



Rys. 2. Odchylenia średniej rocznej temperatury powietrza od normy w wieloletniu 1960–2019

Fig. 2. The mean annual temperature aberrations in the period 1960–2019

Istotnym elementem zmian temperatury powietrza w poszczególnych latach są tzw. anomalie termiczne. Anomalie temperatury powietrza dla poszczególnych lat wyliczono w stosunku do średniej dla całego analizowanego okresu (rys. 2). Największe odchylenia od średniej wieloletniej, przekraczające 2°C (wartość bezwzględna), wystąpiły czterokrotnie: w latach 1965 i 1969 (anomalnie ujemne), w latach 2015 i 2019 były to zaś anomalie dodatnie. W pierwszych trzech dekadach (1960–1989) zdecydowanie przeważały anomalie ujemne (oprócz trzech pojedynczych przypadków), świadczące o średniej rocznej temperaturze powietrza niższej od średniej wieloletniej. W ostatnich dwóch dekadach występowały już wyłącznie anomalie dodatnie, związane ze wzrostem średniej temperatury powietrza.

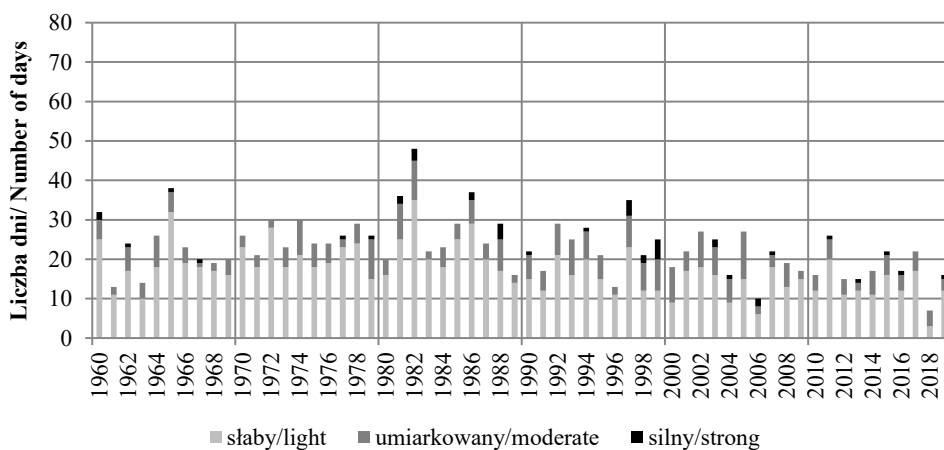
### Zmienność występowania przymrozków w wieloleciu 1960–2019

Liczba przymrozków wysokich i niskich została obliczona dla okresu od marca do listopada w poszczególnych latach, dekadach i miesiącach. W Lublinie średnio w roku występują 24 dni z przymrozkiem wysokim i 41 dni z przymrozkiem niskim. Największa liczba przymrozków wysokich wystąpiła w 1982 r. (48 przypadków) i 1965 r. (38 przypadków), zaś najmniejsza w 2018 r. (7 dni) i 2006 r. (10 dni). Najwięcej przymrozków niskich w okresie wegetacyjnym zanotowano w 1992 r. (76 przypadków) oraz 1982 i 1986 (po 63 przypadki), zaś najmniej w 2018 (13 dni) i 2019 r. (15 dni). Analizując trendy dla całego wielolecia 1960–2019, można zauważyć spadek liczby przymrozków wysokich w tempie  $-1,4/10$  lat, jak również malejącą liczbę przymrozków niskich o  $-2,4/10$  lat (w obu przypadkach trendy istotne statystycznie).

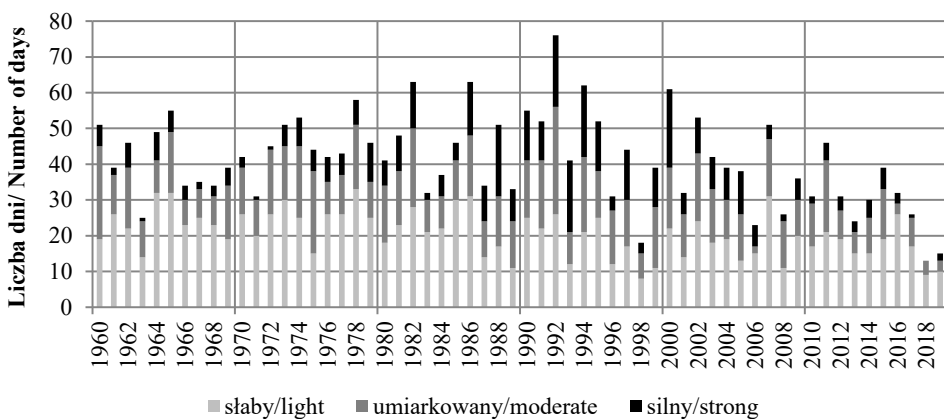
W pierwszej połowie opracowywanego wielolecia widoczny był stopniowy wzrost liczby dni z przymrozkami wysokimi (2 dni/10 lat, nieistotny statystycznie), w drugiej zaś połowie (lata 1990–2019) zmniejszenie częstości ich występowania (tendencja spadkowa  $-3,1$  dnia/10 lat, nieistotna statystycznie). W przypadku przymrozków niskich zmiany nie były tak regularne jak przy przymrozkach wysokich, gdyż aż do czwartej dekady (1990–1999) ich liczba naprzemiennie rosła i malała. W ostatnim 30-leciu występowała natomiast wyraźna, istotna statystycznie, tendencja spadkowa, wynosząca  $-11$  dni/10 lat.

Przymrozki zarówno wysokie, jak i niskie zostały podzielone na trzy kategorie: słabe, umiarkowane i silne, w zależności od wielkości spadku temperatury powietrza poniżej 0°C. Pośród przymrozków wysokich zdecydowanie przeważały przymrozki słabe – występowały w każdym roku w latach 1960–2019, ich liczba zaś w ciągu roku wyniosła średnio 17 przypadków (rys. 3). Tendencje zmian częstości występowania wysokich przymrozków z kategorii „słabe” pokrywały się ze zmianami ogólnej liczby przymrozków w poszczególnych dekadach, tzn. w pierwszym 30-leciu widoczny był trend rosnący (1,2 dnia/10 lat), zaś w drugim 30-leciu trend malejący (1,6 dnia/10 lat) – w obu przypadkach trendy nieistotne statystycznie. Przymrozki umiarkowane występowały średnio 5 razy w ciągu roku i również zostały zaobserwowane we wszystkich latach. Najrzadziej występowały duże przymrozki silne (średnio 1 przypadek na rok), przy czym pojawiły się w 24 z 60 analizowanych lat.

Analizując występowanie przymrozków niskich z poszczególnych kategorii, można stwierdzić, iż pośród nich również przeważały przymrozki słabe (średnio 21 przypadków w ciągu roku), jednak w niektórych latach (np. 1960 lub 2008 r.) ich liczba była mniejsza niż liczba przymrozków umiarkowanych (rys. 4). Przymrozki umiarkowane występowały średnio 13 razy w ciągu roku, a przymrozki silne 7 razy. Wszystkie trzy kategorie przymrozków niskich zostały zaobserwowane w każdym roku w okresie 1960–2019,



Rys. 3. Liczba dni z przymrozkami wysokimi w wieloleciu 1960–2019  
 Fig. 3. Number of days with high frost in the period 1960–2019



Rys. 4. Liczba dni z przymrozkami niskimi w wieloleciu 1960–2019  
 Fig. 4. Number of days with low frost in the period 1960–2019

z wyjątkiem 2018 r., kiedy nie wystąpiły przymrozki silne. Na przestrzeni analizowanego wielolecia zmienność liczby występowania przymrozków słabych wykazywała istotną statystycznie tendencję spadkową o wartości  $-3,6$  dnia/10 lat.

W celu określenia współzmienności między średnią roczną temperaturą powietrza a liczbą dni przymrozkowych wyliczono współczynniki korelacji liniowej. W przypadku przymrozków słabych wystąpiła nieistotna statystycznie korelacja ujemna ( $r = -0,41$  dla przymrozków wysokich oraz  $r = -0,36$  dla przymrozków niskich) sugerująca, iż wzrost temperatury powietrza wiąże się zauważalnie ze spadkiem częstości występowania przymrozków z najniższej kategorii. Nie został natomiast stwierdzony znaczący związek pomiędzy temperaturą powietrza a liczbą przymrozków umiarkowanych ( $r = 0,02$  dla przymrozków wysokich i  $r = -0,15$  dla przymrozków niskich) i silnych (odpowiednio  $r = 0,08$  i  $r = -0,02$ ).

## Przymrozki wiosenne i jesienne

Na stacji Lublin-Felin przymrozki wiosenne zdecydowanie przeważały nad przymrozkami jesiennymi (tab. 1). W przypadku przymrozków wysokich wyłącznie w 10 pojedynczych latach w wieloleciu 1960–2019 zaobserwowano większą liczbę przymrozków jesiennych niż wiosennych, z czego 5 takich przypadków wystąpiło w ostatniej dekadzie (lata: 2010, 2011, 2014, 2017, 2018). Średnia liczba wysokich przymrozków wiosennych wynosiła 13,7 przypadków w ciągu roku, zaś przymrozków jesiennych 9,4 przypadków. Pośród przymrozków niskich sytuacja była zbliżona, gdyż wyłącznie w trzech latach przymrozki jesienne przeważały nad wiosennymi, z czego 2 przypadki miały miejsce w ostatniej dekadzie (2010 i 2011 r.). Niskie przymrozki wiosenne występowały średnio w liczbie 25 w ciągu roku, zaś jesienne – 16,2.

Liczba przymrozków wiosennych ulegała bardziej wyraźnym zmianom czasowym niż liczba przymrozków jesiennych, szczególnie w drugim 30-leciu. W okresie tym przymrozki wiosenne wykazywały znaczną, istotną statystycznie tendencję spadkową o wielkości  $-2,8$  dnia/10 lat dla przymrozków wysokich oraz  $-7,8$  dnia/10 lat dla przymrozków niskich. Tendencja zmian liczby przymrozków jesiennych w latach 1990–2019 również była ujemna, jednak zmiany te zachodziły w mniejszym stopniu:  $-0,3$  dnia /10 lat dla przymrozków wysokich (brak istotności statystycznej) i  $-3,8$  dnia/10 lat dla przymrozków niskich (istotne statystycznie). W pierwszym 30-leciu trendy zmian we wszystkich przypadkach były dodatnie, ale nieistotne statystycznie.

Pomiędzy liczbą przymrozków wiosennych a średnią temperaturą powietrza w okresie wiosennym (od marca do maja) w poszczególnych latach wystąpiła korelacja ujemna zarówno w przypadku przymrozków niskich ( $r = -0,19$ , nieistotna statystycznie), jak i wysokich ( $r = -0,29$ , istotna statystycznie). Istotna statystycznie korelacja ujemna była zauważalna również pomiędzy liczbą przymrozków jesiennych a średnią temperaturą okresu od września do listopada ( $r = -0,3$  dla przymrozków niskich i  $r = -0,4$  dla przymrozków wysokich).

Tabela 1. Średnia liczba przymrozków w okresach 10-letnich w wieloleciu 1960–2019

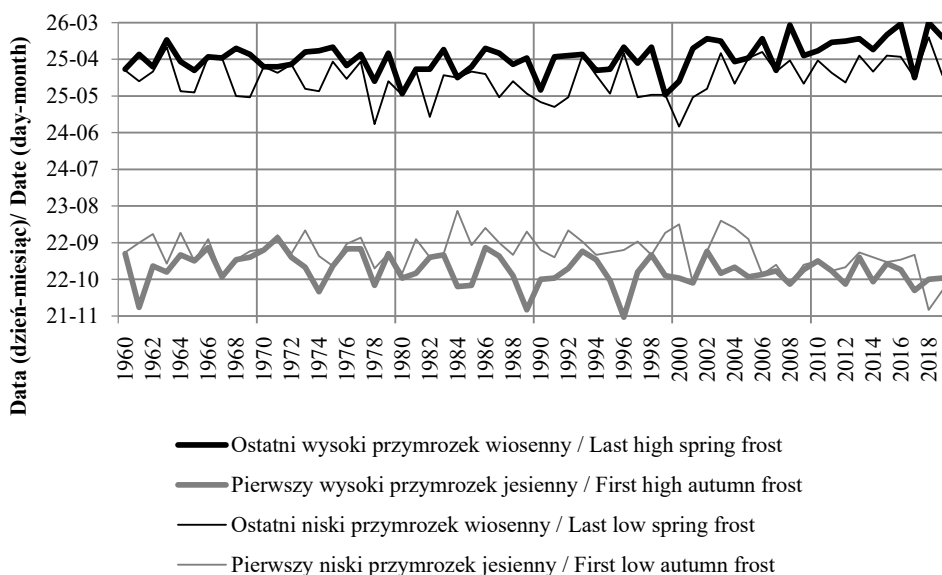
Table 1. The mean decade number of frost in the period 1960–2019

Przymrozki/Frosts		1960– 1969	1970– 1979	1980– 1989	1990– 1999	2000– 2009	2010– 2019
Wysokie High	słabe/light	18,3	20,7	21,9	15,7	13,6	12,6
	umiarkowane/moderate	4,1	5,0	5,4	6,6	6,1	4,2
	silne/strong	0,5	0,2	1,1	1,3	0,6	0,5
	średnia/average	7,6	8,6	9,5	7,9	6,8	5,8
	wiosenne/spring	14,5	14,6	19	14,4	11,9	7,9
	jesienne/autumn	8,4	11,3	9,4	9,2	8,4	9,4
Niskie Low	słabe/light	23,5	25,2	21,5	17,9	18,7	16,8
	umiarkowane/moderate	12,8	14,7	13,6	16,0	12,8	8,8
	silne/strong	4,4	5,6	9,7	13,1	8,6	3,1
	średnia/average	13,6	15,2	14,9	15,7	13,4	9,6
	wiosenne/spring	24,3	26,4	29,5	28,9	25,3	15,5
	jesienne/autumn	16,8	19,1	15,3	18,1	14,8	13,2



### Okres bezprzymrozkowy (bez występowania przymrozków wysokich)

W celu określenia długości okresów bezprzymrozkowych we wszystkich latach wyznaczono terminy występowania ostatnich przymrozków wiosennych i pierwszych przymrozków jesiennych (rys. 5). W przypadku przymrozków wysokich te wiosenne kończą się na stacji Lublin–Felin średnio 23 kwietnia, jesiennie zaś zaczynają 14 października. W analizowanym okresie przymrozki wiosenne najwcześniej zakończyły się w 2018 r. w dniu 26 marca oraz w 2016 r. w dniu 27 marca, najpóźniej zaś ostatnie z nich zanotowano w 1999 r. 24 maja oraz w 1980 r. 23 maja. Przymrozki jesiennie również wykazują pewną zmienność na przestrzeni 60-lecia. Pierwsze przymrozki jesiennie najwcześniej wystąpiły w roku 1971 już 18 września oraz 1986 roku 26 września. Najpóźniej przymrozki jesiennie rozpoczęły się w 1996 roku 22 listopada oraz 1989 roku 16 listopada.

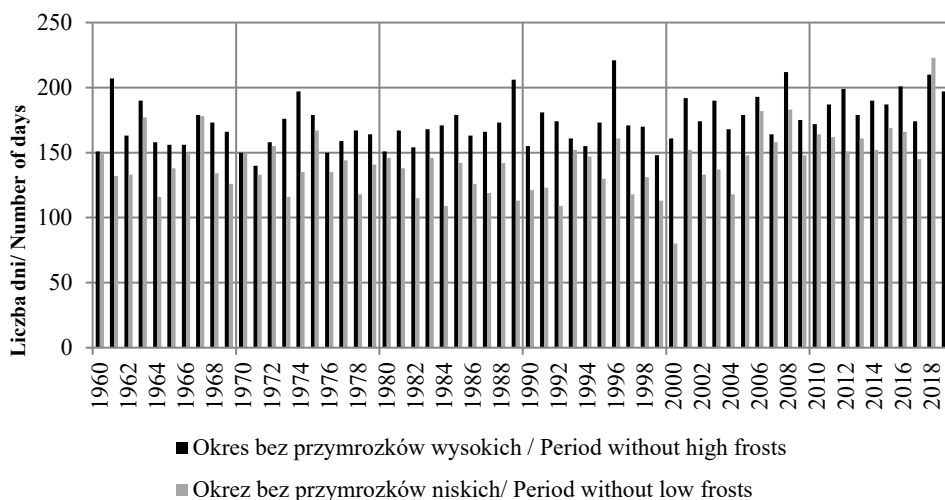


Rys. 5. Daty występowania ostatnich przymrozków wiosennych i pierwszych przymrozków jesiennych w wieloletniu 1960–2019

Fig. 5. The dates of last spring frosts and first autumns frosts in the period 1960–2019

Długość okresu bezprzymrozkowego różniła się dość znacząco w poszczególnych latach i wynosiła od 140 dni w 1971 r. do 221 dni w 1996 r. (rys. 6), wykazując jednak wyraźną, istotną statystycznie tendencję wzrostową na przestrzeni analizowanego wieloletnia (4,5 dnia/10 lat). Ostatnie dwie dekady (2000–2009 i 2010–2019) charakteryzowały się znaczącym wydłużeniem średniego czasu trwania okresu bezprzymrozkowego (tab. 2). Biorąc pod uwagę wartość równania prostej regresji można stwierdzić, iż na przestrzeni analizowanego 60-lecia okres ten wydłużył się o 27 dni. Średnia długość okresu bezprzymrozkowego w ostatniej analizowanej dekadzie zwiększyła się w stosunku do średniej z pierwszej dekady o 20 dni.





Rys. 6. Długość okresów bez występowania przymrozków niskich i wysokich w wieloleciu 1960–2019

Fig. 6. The length of periods without high and low frosts in the period 1960–2019

Tabela 2. Średnie dekadowe terminy występowania ostatnich wiosennych (A) i pierwszych jesiennych (B) przymrozków w wieloleciu 1960–2019 oraz średnia długość okresu bezprzymrozkowego (C)

Table 2. The average decadal dates of last spring frosts (A) and first autumn frosts (B) in the period 1960–2019 and the average length of frost-free periods (C)

Przymrozki/Frosts		1960–1969	1970–1979	1980–1989	1990–1999	2000–2009	2010–2019
Wysokie High	A	23 IV	25 IV	29 IV	29 IV	18 IV	10 IV
	B	10 X	06 X	16 X	17 X	16 X	17 X
	C	170	164	170	171	181	190
Niskie Low	A	08 V	11 V	16 V	17 V	09 V	29 IV
	B	29 IX	27 IX	22 IX	25 IX	30 IX	13 X
	C	143	139	130	131	144	167

Początek okresu bezprzymrozkowego w analizowanym wieloleciu wykazywał istotną statystycznie tendencję spadkową ( $-2,6$  dnia/10 lat), zaś jego koniec, również istotną statystycznie, tendencję wzrostową ( $1,9$  dnia/10 lat), co oznacza, iż z biegiem lat przymrozki wiosenne kończyły się coraz wcześniej, pierwsze przymrozki jesienne występowały zaś coraz później. Trendy te mają odzwierciedlenie w średnich terminach początku i końca okresu bezprzymrozkowego w poszczególnych dekadach: w pierwszym analizowanym 10-leciu (1960–1969) ostatnie przymrozki wiosenne notowane były średnio 23 kwietnia, a pierwsze przymrozki jesienne 10 października, zaś w ostatniej dekadzie (2010–2019) przymrozki wiosenne kończyły się średnio już 10 kwietnia, a przymrozki jesienne rozpoczynały dopiero 17 października.

Analizując trendy bardziej szczegółowo można zauważyć zmiany w okresach 30-letnich. W pierwszym 30-leciu (1960–1989) terminy występowania ostatnich przymrozków wiosennych wykazywały tendencję dodatnią o wartości 1,4 dnia/10 lat (nieistotna statystycznie), co wiązało się z ich późniejszym zakończeniem w stosunku do pierwszych lat analizowanego okresu, a tym samym późniejszym rozpoczynaniem się okresu bezprzymrozkowego. W drugim 30-leciu natomiast przymrozki wiosenne kończyły się zdecydowanie wcześniej, wykazując istotną statystycznie tendencję ujemną na poziomie  $-9,1$  dnia/10 lat. Nieco odmiennie kształtowały się zmiany terminów zakończenia okresu bezprzymrozkowego, gdyż większą tendencję wzrostową można zauważyć w pierwszym 30-leciu (2,9 dnia/10 lat), a w drugim brak wyraźnych zmian (0,6 dnia/10 lat) – zmiany nie były istotne statystycznie.

#### OKRES BEZPRZYMROZKOWY (BEZ WYSTĘPOWANIA PRZYMROZKÓW NISKICH)

Przymrozki niskie w Lublinie kończyły się średnio 10 maja, a zaczynały już 29 września. Najwcześniej przymrozki wiosenne zakończyły się 7 kwietnia w 2018 r. oraz 15 kwietnia w 1963 r., zaś najpóźniej 19 czerwca w 2000 r. i 17 czerwca w 1978 r. Przymrozki jesienne najwcześniej wystąpiły 27 sierpnia w 1984 r. oraz 4 września w 2003 r., a najpóźniej 16 listopada w 2018 r. (rys. 5).

Długość okresu bez przymrozków niskich wahała się w analizowanym wieloleciu od 80 dni w 2000 r. do 223 dni w 2018 r., generalnie wykazując istotną statystycznie tendencję wzrostową o wartości 4 dni/10 lat. W pierwszej połowie 60-lecia 1960–2019 liczba dni bez przymrozków ulegała stopniowemu zmniejszeniu w tempie 7,1 dnia/10 lat. Zmienność ta była wynikiem coraz późniejszego występowania ostatnich przymrozków wiosennych (tendencja  $+4,5$  dnia/10 lat) oraz wcześniejszego pojawiania się pierwszych przymrozków jesiennych (tendencja  $-2,5$  dnia/10 lat), zmiany te jednak nie były istotne statystycznie. W drugim 30-leciu zaznaczyła się natomiast istotna statystycznie tendencja do wydłużania okresu bezprzymrozkowego, osiągając wartość  $+20$  dni/10 lat – w tym przypadku bezpośrednią przyczyną było wcześniejsze zanikanie ostatnich przymrozków wiosennych (tendencja istotna statystycznie na poziomie  $-10$  dni/10 lat) przy jednoczesnym opóźnieniu pierwszych przymrozków jesiennych ( $+9,9$  dnia/10 lat, istotne statystycznie). Różnica średniej długości okresu bezprzymrozkowego pomiędzy pierwszą dekadą, kiedy przymrozki wiosenne trwały średnio do 8 maja, zaś przymrozki jesienne rozpoczynały się 29 września, a ostatnią dekadą w całym 60-leciu (ostatni przymrozek wiosenny już pod koniec kwietnia, a pierwszy jesienny na początku października) wyniosła 24 dni (tab. 2).

Współczynnik korelacji pomiędzy długością okresu bezprzymrozkowego a średnią temperaturą powietrza z półrocza ciepłego (od marca do września) wynosi  $r = 0,48$  zarówno w przypadku przymrozków wysokich, jak i niskich (wyniki istotne statystycznie), co oznacza, iż wraz ze wzrostem temperatury powietrza widoczne jest zauważalne wydłużanie się okresu bezprzymrozkowego w danym roku.

#### DYSKUSJA

Od połowy XX wieku niemal w całej Polsce zauważalny jest stopniowy wzrost średniej rocznej temperatury powietrza [Maksymiuk i in. 2008, Uscka-Kowalkowska i Kejna 2009, Michalska 2011]. W wieloleciu 1960–2019 na stacji Lublin–Felin również wystę-

powąła tendencja wzrostowa o wielkości  $0,5^{\circ}\text{C}/10$  lat, nieznacznie większa w porównaniu do innych regionów kraju, takich jak województwo podkarpackiego z tendencją  $0,44^{\circ}\text{C}/10$  lat [Ziarnicka-Wojtaszek 2017] oraz w stosunku do średniej tendencji wyliczonej dla całej Polski, wynoszącej  $0,3^{\circ}\text{C}/10$  lat [Wibig 2020]. Zmienność temperatury powietrza nie była jednolita w całym analizowanym okresie, gdyż do roku 1989 zauważalne były inne trendy, niż w latach późniejszych, co potwierdzają badania Marsza i Styszyńskiej [2019]. Ponadto, wzrost temperatury powietrza w miesiącach letnich następował bardziej intensywnie niż w przypadku miesięcy zimowych [Żmudzka 2010]. Postępujący wzrost temperatury powietrza miał bezpośredni wpływ na zmniejszanie się liczby przymrozków wysokich w tempie  $-1,4/10$  lat, jak również na spadek liczby przymrozków niskich o  $-2,4/10$  lat. W latach 1970–2010 zauważalne były podobne zmiany liczby przymrozków wynoszące  $-3$  dni/10 lat [Tomeczyk i in. 2015]. Tendencja zmian liczby przymrozków w Lublinie jest mniejsza niż średnia dla całej Polski, która wynosi ok.  $-6$  dni/10 lat [Wibig 2020].

W okresie początkowym (lata 1960–1989) zauważono mniejsze tempo wzrostu średniej rocznej temperatury powietrza ( $0,3^{\circ}\text{C}/10$  lat) oraz przewagę ujemnych anomalii termicznych w porównaniu do średniej wieloletniej. Liczba przymrozków wysokich stopniowo wzrastała (2 dni/10 lat), a równocześnie następowało wydłużanie się okresu bezprzymrozkowego ( $+1,5$  dnia/10 lat). Zmiany częstości występowania przymrozków niskich nie wykazywały jednolitej tendencji w tym okresie, jednak długość okresu pomiędzy przymrozkami wiosennymi i jesiennymi ulegała skróceniu w tempie  $-7,1$  dnia/10 lat.

W drugim 30–leciu (1990–2019) następował dwukrotnie szybszy wzrost temperatury powietrza w Lublinie ( $0,7^{\circ}\text{C}/10$  lat), z maksimum w ostatniej analizowanej dekadzie, podobnie jak w innych regionach Polski [Matuszko i in. 2022] oraz występowały niemal wyłącznie dodatnie anomalie termiczne. Wyjątkiem był rok 1999, w którym średnia temperatura powietrza niemal w całej Polsce była wyjątkowo niska [Maksymiuk i in. 2008, Wójcik i Miętus 2014]. W tym 30–letnim okresie liczba przymrozków wysokich wykazywała tendencję spadkową ( $-3,1$  dni/10 lat), zaś długość okresu bezprzymrozkowego sukcesywnie zwiększała się o  $+9,7$  dnia/10 lat. Tempo zmniejszania się liczby przymrozków niskich było podobne w innych regionach Polski, np. w Tomaszku w północno–wschodniej części kraju z tendencją  $-4$  dni/10 lat [Pożarska i in. 2016]. Wielkość zmian liczby przymrozków niskich była znacznie większa, gdyż wynosiła  $-11$  dni/10 lat, jak również długość okresu pozbawionego tego typu przymrozków ulegała wydłużeniu o 20 dni/10 lat.

Postępujące ocieplenie widoczne na stacji Lublin–Felin miało prawdopodobny wpływ na zmiany częstości występowania dni z przymrozkami, jak również na długość okresu bezprzymrozkowego. Należy jednak zaznaczyć, iż na przestrzeni analizowanych lat otoczenie badanej stacji meteorologicznej ulegało licznym zmianom – do końca lat 80. stacja znajdowała się typowo na obrzeżach miasta, natomiast w kolejnych dekadach w bliskiej okolicy zaczęły postawać budynki mieszkalne oraz przemysłowe. Powyższa sytuacja miała niewątpliwie wpływ na wzrost temperatury powietrza na stacji.

#### PODSUMOWANIE

W analizowanym wieloleciu 1960–2019 na stacji Lublin–Felin występował wyraźny trend wzrostowy temperatury powietrza, wynoszący  $0,5^{\circ}\text{C}/10$  lat, z największym nasileniem widocznym w ostatniej badanej dekadzie, tj. 2010–2019. Zmianom warunków termicznych towarzyszyły znaczące zmiany liczby przymrozków wysokich i niskich, wykazujących trend malejący w obu przypadkach. W sytuacji dalszego wzrostu średniej tem-

peratury powietrza można spodziewać się coraz bardziej nasilonej tendencji spadkowej liczby dni z przymrozkami wysokimi i niskimi w Lublinie, przy jednoczesnym wydłużaniu się okresów bezprzymrozkowych, które z biegiem lat będą zaczynały się wcześniej (już w kwietniu), a kończyły później niż obecnie (dopiero w październiku).

#### PIŚMIENNICTWO

- Bartoszek K., Skiba K., Dobek M., Siłuch M., Wereski S., 2010. Frost occurrence in April and May in the Eastern Poland area in the period 1988–2007. W: J. Leśny J. (red.), *Agrometeorology Research. Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie*, 185 (6), 24–33.
- Bielec-Bąkowska Z., Piotrowicz K., 2011. Wieloletnia zmienność okresu bezprzymrozkowego w Polsce w latach 1951–2006. *Prace i studia geograficzne*, t. 47, 77–86.
- Doroszewski A., Wróblewska E., Józwicki T., Mizak K., 2013. Ocena szkód w roślinach sadowniczych i ogrodniczych powodowanych przez przymrozki w maju 2011 roku. *Acta Agrophys.* 20(2), 269–281.
- Dragańska E., Rynkiewicz I., Panfil M., 2004. Częstotliwość i intensywność występowania przymrozków w Polsce północno-wschodniej w latach 1971–2000. *Acta Agrophys.* 3(1), 35–41. <https://doi.org/10.24326/as.2014.4.10>
- Dudek S., Żarski J., Kuśmierk–Tomaszewska R., 2012. Tendencje zmian występowania przymrozków przygruntowych w rejonie Bydgoszczy. *Woda. Środowisko. Obszary wiejskie*, t. 12, z. 2 (38).
- Gumiński R., 1948. Próba wydzielenia dzielnic rolniczo–klimatycznych w Polsce, *Przegląd Met. i Hydr.* 1, 7–20.
- Kaszewski B.M., Siwek K., Gluza A.F., 2012. Extreme values of selected event thermal phenomena in the Lublin Region in the years 1982–2006. *Annales UMCS, sec. B – Geographia. Geologia. Mineralogia et Petrographia* 67(1), 109–121.
- Kossowska-Cezak U., 2003. Współczesne ocieplenie a częstość dni charakterystycznych. *Baln. Pol.*, 45(1–2), 92–100.
- Lorenc H. (red.), 2005. *Atlas klimatu Polski*. IMGW, Warszawa.
- Maksymiuk A., Furmanczyk K., Ignar S., Krupa J., Okruszko T., 2008. Analiza zmienności parametrów klimatycznych i hydrologicznych w dolinie rzeki Biebrzy. *Prz. Nauk. Inż. Kształ.* Śr. 17, t. 3(41), 59–68.
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2019. Skala i przyczyny zmian temperatury najcieplejszych miesięcy roku nad obszarem Polski po roku 1988. W: L. Chojnacka-Ożga, H. Lorenc (red.), *Współczesne problemy klimatu Polski*. IMGW–PIB, Polskie Towarzystwo Geofizyczne, Warszawa, 9–26.
- Matuszko D., Bartoszek K., Soroka J., 2022. Relationships between sunshine duration and air temperature in Poland. *Geogr. Pol.*, 95, (3), 275–290. <https://doi.org/10.7163/GPol.0236>
- Michalska B., 2011. Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce. *Pr. St. Geogr.* 47, 67–75.
- Niedźwiedz T. (red.), 2003. *Słownik meteorologiczny*. PTGeof. / IMGW, Polskie Towarzystwo Geofizyczne, Warszawa.
- Pożarska K., Grabowski J., Grabowska K., 2016. Przymrozki przygruntowe w okresie wegetacyjnym w Tomaszowie k. Olsztyna (1999–2013). *Agron. Sci.* 71(2), 101–107. <https://doi.org/10.24326/as.2016.2.9>
- Radzka E., Jankowska J., Markowska M., 2014. Intensywność i częstość występowania przymrozków przygruntowych i wysokich w RSD Zawady. *Annales UMCS Sectio E, LXIX*69(4), 94–102.
- Szyga-Pluta K., 2017. Przymrozki i okres bezprzymrozkowy w latach 2001–2016 na Stacji Ekologicznej w Jeziorach (Wielkopolski Park Narodowy). *Badania Fizjograficzne, Seria A, Tom 68*, 189–203.

- Tomczyk A., 2015, Przymrozki wiosenne i jesienne oraz okres bezprzymrozkowy na Nizinie Wielkopolskiej w latach 1981–2010. W: Współczesne problemy i kierunki badawcze w geografii, t. 3. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków, 245–256.
- Tomczyk A., Szyga-Pluta K., Majkowska A., 2015. Frost periods and frost-free periods in Poland and neighbouring Countries. *Open Geosci.* 7, 812–823. <https://doi.org/10.1515/geo-2015-0061>
- Uscka-Kowalkowska J., Kejna M., 2009. Zmienność warunków termiczno-opadowych w Konicyńce (Pojezierze Chełmińskie) w okresie 1994–2007. *Acta Agrophys.* 14(1), 203–219.
- Wibig J., 2020. Współczesne zmiany klimatu – obserwacje, przyczyny, prognozy. W: K. Prandecki, M. Burchard-Cziubińska (red.), *Zmiana klimatu – skutki dla polskiego społeczeństwa i gospodarki*. Komitet Prognoz „Polska 2000 Plus”. PAN, Warszawa, 14–36.
- Wieteska S., 2011. Ryzyko występowania przymrozków w polskiej strefie klimatycznej, *Acta Universitatis Lodzianae, Folia Oeconomica* 259, 143–157.
- Wiszniewski W. (red.), 1973. *Atlas klimatyczny Polski*. IMGW/PPWK, Warszawa.
- Woś A., 1999. *Klimat Polski*. PWN, Warszawa.
- Wójcik R., Miętus M., 2014. Niektóre cechy wieloletniej zmienności temperatury powietrza w Polsce (1951–2010). *Prz. Geogr.* 86(3), 339–364. <http://dx.doi.org/10.7163/PrzG.2014.3.3>
- Ziarnicka-Wojtaszek A., 2017. Warunki meteorologiczne wegetacji roślin uprawnych na obszarze województwa podkarpackiego w latach 1981–2016. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 590, 103–110. <https://doi.org/10.22630/ZPPNR.2017.590.38>
- Żmudzka W., 2010., Changes in thermal conditions in the high mountain areas and contemporary warming in the central Europe. *Misc. Geogr.* 14(1), 59–70. <https://doi.org/10.2478/mgrsd-2010-0006>

**Źródło finansowania:** Subwencja ze środków finansowych Ministerstwa Edukacji i Nauki, projekt nr. RKS/S/55/2022.

**Summary.** The main aim of this study was the analysis of thermal conditions in the period 1960–2019 in Lublin-Felin and the comparison the air temperature changes with changes of high (200 cm a.g.l.) and low (5 cm a.g.l.) frosts number and the frost-free period length. There was an increasing trend (0.5°C/10 years) in the average annual air temperature, while at the same time a decrease in number of high frosts (–1.4/10 years) and low frosts (–2.4/10 years) was observed. The frost-free period length was gradually lengthening by around 4 days/10 years. In the future, if the air temperature continue to increase, we could expect the decreasing trend of days with frost, just as the growth of the frost-free period length (it will begin earlier and end later than now).

**Key words:** high frost, ground frost, frost-free period, air temperature trend, Lublin

Otrzymano/Received: 05.11.2022

Zaakceptowano/Accepted: 07.12.2022

