

STRATYFIKACJA TERMICZNA W PRZYGRUNTOWEJ WARSTWIE
POWIETRZA W WIOSENNE NOCE PRZYMROZKOWE
NA STACJI SGGW URSYNÓW

Dariusz Gołaszewski

Zakład Meteorologii i Klimatologii, Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 166,02-787 Warszawa
e-mail: DARGO@poczta.onet.pl

Streszczenie. W pracy wykorzystano dziewięcioletni materiał badawczy okresu wiosny (IV, V) z lat 1994-2002. Pomiary prowadzono na stacji meteorologicznej Ursynów SGGW. Na podstawie zgromadzonych danych, odnoszących się do wiosennych nocy z przymrozkami radiacyjnymi oraz adwekcyjno-radiacyjnymi – przedstawiono: średnie przebiegi temperatury powietrza i gruntu oraz zachmurzenia i prędkości wiatru a także profile pionowe temperatury oraz terminy pojawiania się i zaniku rozpatrywanych przymrozków w 21-metrowej, analizowanej warstwie powietrza. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że rozwarstwienie temperatury zimnego powietrza w wiosenne noce z przymrozkami radiacyjnymi jest znacznie silniejsze od występującego w czasie nocy z przymrozkami adwekcyjno-radiacyjnymi. Przymrozki radiacyjne charakteryzują się także niższą temperaturą minimalną oraz wielokrotnie niższym zasięgiem pionowym warstwy powietrza zimnego.

Słowa kluczowe: temperatura powietrza, profile pionowe, przymrozki

WSTĘP

Praktycznie każdego roku przymrozki powodują znaczne szkody w uprawach rolnych. Z tego powodu ochrona roślin uprawnych przed przymrozkami od dawna jest jednym z ważniejszych problemów zajmujących agrometeorologów i rolników. Do ciągle jeszcze nie do końca poznanych zagadnień związanych z przymrozkami należy ocena stopnia zagrożenia różnego typu upraw w poszczególnych regionach kraju. Dzieje się tak dlatego, że uszkodzenia roślin zależą nie tylko od ich mrozoodporności, fazy rozwojowej czy terminu wystąpienia przymrozku [1], lecz także od czasu trwania, prędkości narastania i zanikania oraz wysokości warstwy powietrza objętej przymrozkiem o intensywności uszkadzającej roślinę uprawną.

W literaturze niewiele jest informacji o tych charakterystykach. Jest to związane z trudnościami zgromadzenia odpowiedniej jakości danych, co wynikało ze stosowania w ubiegłych latach mało dokładnej aparatury pomiarowej [5]. Obecne stosowanie czujników o małej bezwładności termicznej oraz ciągła rejestracja na wielu poziomach dużej liczby parametrów meteorologicznych pozwalają na uściślenie oceny zagrożeń powodowanych przez przymrozki na plantacjach roślin o różnej mrozoodporności a więc i uściślenia ryzyka uprawy tych roślin.

MATERIAŁ I METODY

W pracy wykorzystano dziewięcioletni materiał badawczy okresu wiosny (IV, V) z lat 1994-2002. Pomiaru prowadzono na stacji meteorologicznej Ursynów SGGW, położonej na południowym obrzeżu Warszawy w terenie z luźną, niską zabudową. Zwarta zabudowa osiedlowa o średniej wysokości 15 m znajdowała się w odległości około 600 m w kierunku SE i E oraz około 800 w kierunku SW. Wykorzystano także dane, zawarte w biuletynach synoptycznych IMGW oraz dane dotyczące całodobowego zachmurzenia ogólnego obserwowanego co trzy godziny na stacji meteorologicznej Warszawa Okęcie odległej o 4 km od stacji pomiarowej SGGW.

Zanim przystąpiono do gromadzenia danych wyjściowych przyjęto definicję przymrozku zgodnie, z którą „przymrozek, to spadek temperatury powietrza do i poniżej 0°C przy średniej temperaturze dobowej wyższej od 0°C” [2]. Tego typu kryterium stosowane w badaniach klimatologicznych przydatne jest zarówno w agrometeorologii jak i różnych działach gospodarki narodowej. W celu uzyskania jednorodnego klimatologicznie materiału wyjściowego, zbiór danych wyjściowych ograniczono wyłącznie do okresu nocy przymrozkowych, występujących w jednej masie powietrza. Powyższe warunki spełniały trzydzieści trzy noce przymrozkowe. W następnej kolejności zbiór ten podzielono na dwa podzbiory, opisujące noce: o silnym wypromieniowaniu efektywnym – ze średnim zachmurzeniem ogólnym z okresu nocy $N < 2/8$ (16 przypadków) i o słabszym wypromieniowaniu – ze średnim zachmurzeniem ogólnym z okresu nocy $N > 2/8$ i pojawiającymi się w tym okresie przymrozkami adwekcyjno-radiacyjnymi (17 przypadków).

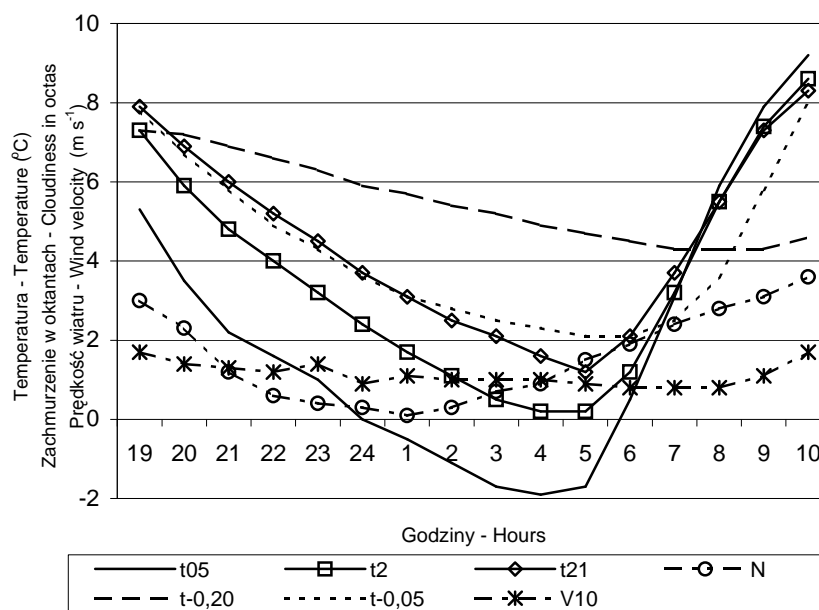
Temperaturę powietrza mierzono na trzech poziomach pomiarowych tj. na wysokości: 0,05; 2; 21 m, temperaturę gleby na dwóch głębokościach 0,05 i 0,2 m, prędkość wiatru na wysokości 22 m, przy czym prezentowane w pracy wartości prędkości wiatru (po redukcji) odnoszą się do standardowego poziomu 10 m. Temperaturę powietrza panującą na poziomach pośrednich (0,5; 1,0; 10 m) określono na podstawie interpolacji krzywoliniowej temperatury powietrza zarejestrowanej na poziomach pomiarowych.

W pracy przedstawiono średnie – z wiosennych nocy z pogodą radiacyjną i adwekcyjno-radiacyjną – przebiegi temperatury powietrza i gruntu oraz zachmu-

zenia i prędkości wiatru, profile pionowe temperatury oraz terminy pojawiania się i zaniku przymrozku w 21-metrowej, analizowanej warstwie powietrza. Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci wartości średnich z okresu rozpatrywanych nocy wiosennych z lat 1994-2002.

WYNIKI I DYSKUSJA

Średni przebieg temperatury powietrza i gleby, wielkości zachmurzenia ogólnego i prędkości wiatru w wiosenne noce radiacyjne przedstawione zostały na rysunku 1. Widoczna jest tu znaczna różnica temperatury powietrza na poszczególnych poziomach pomiarowych. Mała średnia prędkość wiatru ($V = 1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) oraz małe średnie zachmurzenie ogólne ($N = 1/8$) potęgujące nocne wypromieniowanie efektywne, powodowały rozwarstwienie termiczne w analizowanej warstwie powietrza.

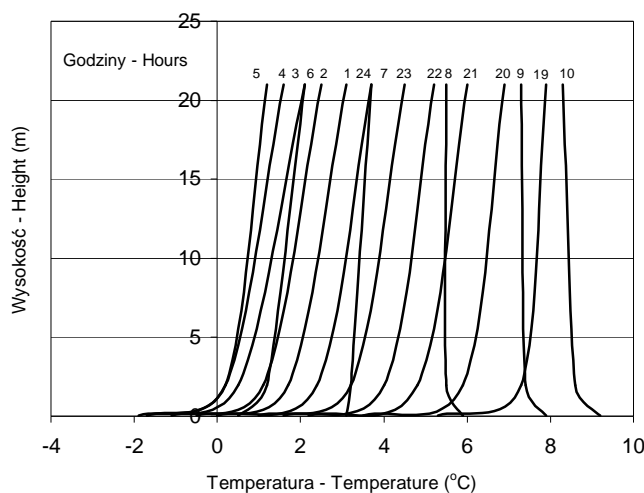


Rys. 1. Przebieg wybranych parametrów meteorologicznych w wiosenne noce z przymrozkami radiacyjnymi z lat 1994- 2002. t05 – temperatura na poziomie 0,05 m; t2 – temperatura na poziomie 2 m; t21 – temperatura na poziomie 21 m; N – zachmurzenie ogólne; t-0,20 – temperatura gleby na głębokości 0,2 m; t-0,05 – temperatura gleby na głębokości 0,05 m; V10 – prędkość wiatru

Fig. 1. Course of chosen meteorological parameters during nights with radiation frost in 1994-2002. t05 – temperature on the level 0.05 m; t2 – temperature on the level 2 m; t21 – temperature on the level 21 m; N – cloudiness; t-0.20 – ground temperature on the level 0.2 m; t-0.05 – ground temperature on the level 0.05 m; V10 – wind velocity

Najniższa temperatura występuje na poziomie 0,05 m, gdzie średnia temperatura z okresu całej nocy była niższa o $2,2^{\circ}\text{C}$ od średniej temperatury rejestrowanej w tym czasie na wysokości 2 m. Różnice temperatury między tymi poziomami w całym analizowanym okresie były wyrównane i zawierały się w przedziale od $1,9^{\circ}\text{C}$ do $2,6^{\circ}\text{C}$. Różnica między górnymi poziomami (2 i 21 m) nie była już tak duża i wynosiła (średnio w okresie całej nocy) $1,3^{\circ}\text{C}$. W okresie całej nocy na krzywych przebiegu temperatury z dolnych poziomów pomiarowych zaznaczają się wyraźnie, przedstawione przez Baumgartnera [4] trzy fazy oziębiania się powietrza. Są to: okres przejściowy (w godzinach 19:00-21:00) – charakteryzujący się szybkim spadkiem temperatury przechodzącym w okres tłumienia spadku (godziny 21:00-3:00) ze znacznie mniejszą prędkością obniżania się temperatury. W godzinach od 3:00 do 5:00 zaznacza się okres zanikania spadku temperatury. Na górnym poziomie, w strefie temperatury dodatniej, opisany powyżej przebieg nie jest widoczny. Od godziny 5:00 następuje wyraźny wzrost temperatury na wysokości 0,05 m oraz pozostałych poziomach pomiarowych powodowany pojawieniem się strumienia energii słonecznej dostarczającego więcej ciepła niż wynoszą straty wywołane radiacją podłoża (średni termin wschodu Słońca w analizowanym okresie przypadła na godzinę 4:40).

Średnie profile pionowe temperatury w 21-metrowej przygruntowej warstwie powietrza w noc z pogodą radiacyjną przedstawiono na rysunku 2. Widoczny jest tu silnie ochładzający wpływ podłoża w całym rozpatrywanym okresie nocy, tj. od godzin popołudniowych do porannych następnego dnia (19:00-7:00).



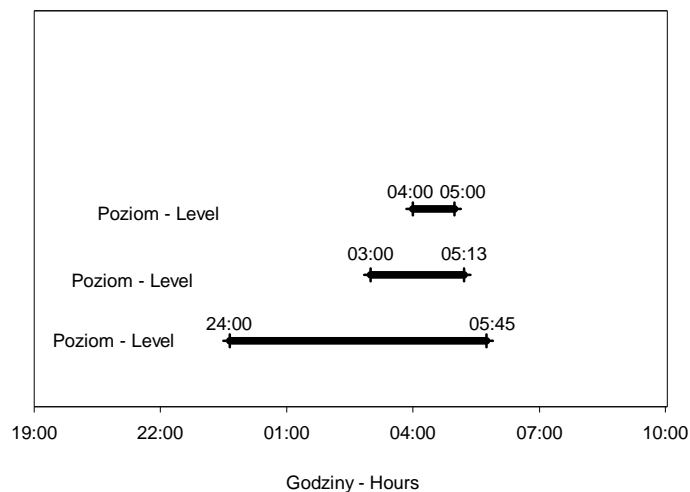
Rys. 2. Średnie godzinne profile pionowe temperatury powietrza w wiosenne nocy z przymrozkami radiacyjnymi z lat 1994-2002

Fig. 2. Hours average vertical profiles of air temperature in spring nights with radiation frost in 1994-2002

Strumień energii pojawiający się po wschodzie słońca (średnio z analizowanego okresu wiosny o godzinie 4:40) nie powodował znaczących zmian w rozkładzie temperatury powietrza na analizowanych poziomach. Dopiero od godziny 7:00 widoczne jest wyraźniejsze wyrównanie się temperatury w całym profilu a od godziny 8:00 zaznacza się ocieplający wpływ podłoża na przylegającą doń warstwę powietrza. W okresie rozpatrywanych nocy (średnio do godziny 8:00) utrzymywała się inwersja temperatury w całej rozpatrywanej warstwie powietrza.

Mała średnia wielkość zachmurzenia ogólnego z okresu rozpatrywanych nocy ($N = 1/8$) i związane z tym nasilone wypromieniowanie efektywne, spowodowało obniżenie temperatury powietrza do średnio $-1,9^{\circ}\text{C}$, tj. pojawienie się przymrozków łagodnego [4]. W godzinach nocnych zimne powietrze (jako cięższe) utrzymywało się blisko podłoża a ochłodzenie powoli postępowało do góry. Średni pionowy zasięg wiosennego przymrozków radiacyjnego wynosił zaledwie 1,1 m.

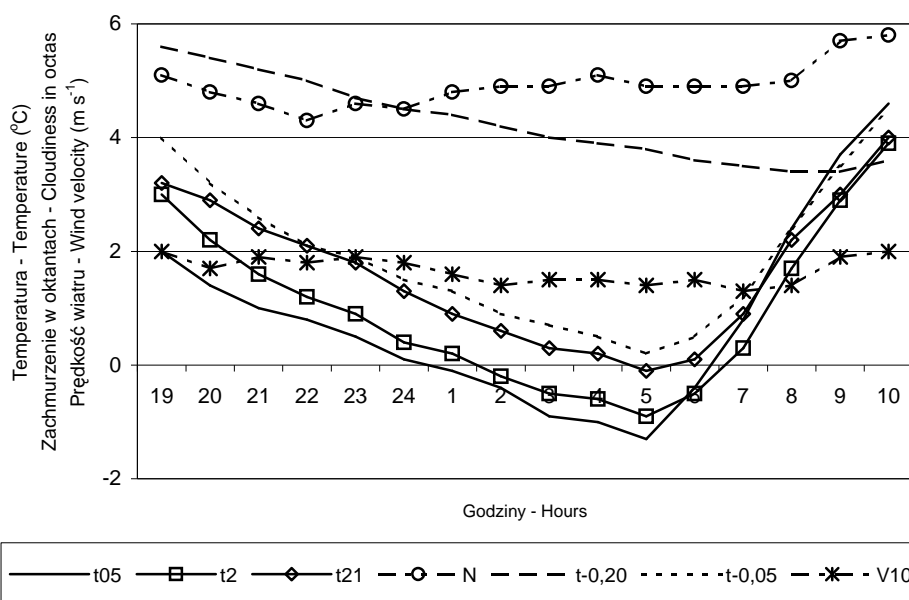
Na najniższym poziomie pomiarowym 0,05 m pojawienie się tego typu przymrozków notowano średnio o godzinie 24:00 (rys. 3). Średnia prędkość, z jaką przymrozek ten powiększał swój pionowy zasięg w całej objętej nim warstwie, wynosiła $0,25 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$. Na wysokości 0,5 m przymrozek pojawiał się dopiero o godzinie 3:00 a poziom 1 m osiągał o godzinie 4:00, gdzie utrzymywał się średnio przez kolejną godzinę. Od godziny 5:00 przymrozek radiacyjny zanikał, ale przy powierzchni gruntu utrzymywał się średnio do godziny 5:45.



Rys. 3. Terminy pojawienia się i zaniku temperatury powietrza 0°C na rozpatrywanych poziomach w wiosenne noce z przymrozkami radiacyjnymi z lat 1994-2002

Fig. 3. Terms of appearance and disappearance the temperature 0°C on considered levels in spring nights with radiation frost in 1994- 2002

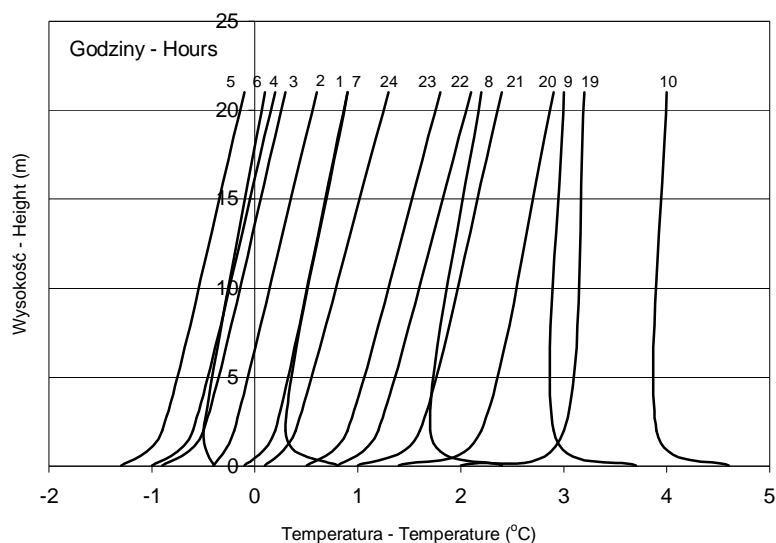
W porównaniu do nocy radiacyjnych, większa średnia prędkość wiatru ($V = 1,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) w nocie z przymrozkami adwekcyjno-radiacyjnymi oraz znacznie większe średnie zachmurzenie ogólne ($N = 5/8$) z tego okresu powodowały pojawienie się bardziej wyrównanej temperatury powietrza na rozpatrywanych poziomach pomiarowych (rys. 4). Średnia różnica między dolnymi poziomami wynosiła $0,5^\circ\text{C}$ (tj. o $1,7^\circ\text{C}$ mniej od analogicznej różnicy z nocy radiacyjnych) oraz $0,7^\circ\text{C}$ między poziomami 2 i 21 m, podczas gdy dla nocy radiacyjnych na tych samych wysokościach wynosiła ona $1,3^\circ\text{C}$. Przedstawione powyżej wartości pokrywają się z wynikami badań F. Writterstein [4], który ustalił, że różnice temperatury powietrza między poziomami 0,05 i 2 m zawierają się między $2,2$ i $3,2^\circ\text{C}$ podczas nocy bezchmurnych a podczas nocy chmurnych – pomiędzy $0,1$ i $1,0^\circ\text{C}$.



Rys. 4. Przebieg wybranych parametrów meteorologicznych w wiosenne nocy z przymrozkami adwekcyjno-radiacyjnymi z lat 1994-2002. t05 – temperatura na poziomie 0,05 m; t2 – temperatura na poziomie 2 m; t21 – temperatura na poziomie 21 m; N – zachmurzenie ogólne; t – 0,20 – temperatura gleby na głębokości 0,2 m; t-0,05 – temperatura gleby na głębokości 0,05 m; V10 – prędkość wiatru

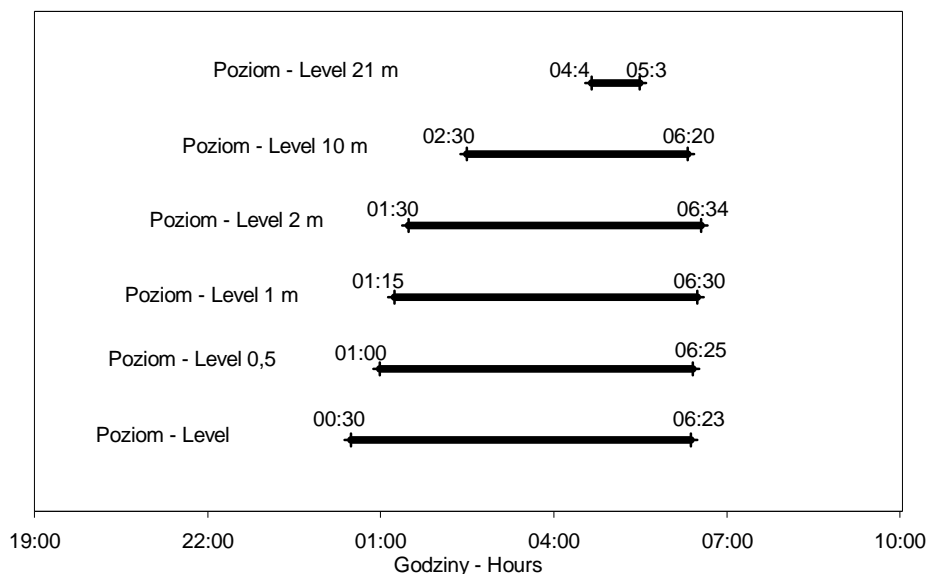
Fig 4. Course of chosen meteorological parameters during nights with advection-radiation frost in 1994-2002. t05 – temperature on the level 0.05 m; t2 – temperature on the level 2 m; t21 – temperature on the level 21 m; N – cloudiness; t – 0.20 – ground temperature on the level 0.2 m; t – 0.05 – ground temperature on the level 0.05 m; V10 – wind velocity

Średnie zróżnicowanie termiczne temperatury w 21-metrowej przygruntowej warstwie powietrza w noc z przymrozkami adwekcyjno-radiacyjnymi przedstawiono na rysunku 5. Podobnie jak na rysunku 2, widać tu wyraźną różnicę pomiędzy silnie wychładzającym się poziomem 0,05 m a poziomami wyższymi. Z pochylenia krzywych określić można wielkość inwersji oraz zmian temperatury powietrza postępujących z upływem czasu. Ponieważ granica pionowego zasięgu przymrozku nieznacznie przekracza najwyższy poziom pomiarowy, drogą ekstrapolacji określono wysokość warstwy powietrza objętej przymrozkiem adwekcyjno-radiacyjnym. Wynosi ona średnio około 23,5 m a więc o ponad 22 m wyżej od średniej wysokości warstwy powietrza objętej przymrozkiem radiacyjnym. Większe niż w noc radiacyjne, zachmurzenie ogólne z okresu nocy (średnio $N = 5/8$) i związane z nim mniejsze nocne wypromieniowanie efektywne powodowało, iż przymrozek pojawiał się o godzinie 00:30 tj. o 30 minut później od przymrozku w noc z pogodą praktycznie bezchmurną ($N = 1/8$). Po okresie jednej godziny od chwili pojawienia się sięgał on wysokości 2 m a o godzinie 4:40 pojawił się na wysokości 21 m i utrzymywał się na tym poziomie przez 50 minut (rys. 6). Od godziny 5:30 widoczny jest zanik przymrozku.



Rys. 5. Średnie godzinne profile pionowe temperatury powietrza w wiosennej nocy z przymrozkami adwekcyjno-radiacyjnymi z lat 1994-2002

Fig. 5. Hours average vertical profiles of air temperature in spring nights with advection-radiation frost in 1994-2002



Rys. 6. Terminy pojawienia się i zaniku temperatury powietrza 0°C na rozpatrywanych poziomach w wiosenne noce z przy mrozkami adwekcyjno-radiacyjnymi z lat 1994-2002

Fig. 6. Terms of appearance and disappearance the temperature 0°C on considered levels in spring nights with advection-radiation frost in 1994-2002

Prędkość, z jaką przymrozek adwekcyjno-radiacyjny powiększał swoją miąższość, jest dwudziestokrotnie większa od obserwowanej w nocy radiacyjnej i wynosi średnio w całej badanej 21-metrowej warstwie $5 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$.

WNIOSKI

1. Przymrozki pojawiające się w wiosenne noce radiacyjne (ze średnim zachmurzeniem $N = 1/8$) i prędkością wiatru $V = 1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, wskutek silnego wypromieniowania efektywnego, charakteryzują się średnio o $0,6^{\circ}\text{C}$ niższą temperaturą minimalną przy powierzchni gruntu i wcześniejszym, średnio o 30 minut terminem pojawienia się – w porównaniu do przymrozków adwekcyjno-radiacyjnych. Charakteryzują się one także zdecydowanie niższym zasięgiem pionowym, sięgającym zaledwie do wysokości 1,1 m.

2. Wiosenne przymrozki adwekcyjno-radiacyjne charakteryzują się zdecydowanie większym – w porównaniu do nocy radiacyjnych – 23,5 metrowym zasięgiem pionowym.

3. Występowanie wiatru o prędkości średniej $V = 1,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ w nocy z przymrozkami adwekcyjno-radiacyjnymi oraz znacznie większe średnie zachmurzenie

ogólne ($N = 5/8$) z tego okresu powodowały pojawienie się bardziej wyrównanej temperatury powietrza na rozpatrywanych poziomach pomiarowych. Średnia różnica między poziomami pomiarowymi 0,05 i 2 m wynosiła $0,5^{\circ}\text{C}$ gdy dla nocy radiacyjnych $2,2^{\circ}\text{C}$. Równie istotna różnica temperatury powietrza wystąpiła między poziomami 2 i 21 m. Wynosiła ona $0,7^{\circ}\text{C}$ w okresie nocy z przymrozkami adwekcyjno-radiacyjnymi i $1,3^{\circ}\text{C}$ dla nocy radiacyjnych.

PIŚMIENNICTWO

1. **Dutkiewicz J.:** Obserwacje nad wpływem rzeźby terenu na przemarzanie roślin a szczególnie gatunków sadowniczych w czasie przymrozków wiosennych oraz przymrozków zimowych. Pamiętnik Puławski, Pr. IUNG, 12, 2-12, 1964.
2. **Kosiba A.:** O konieczności ujednostajnienia skali międzynarodowej podstawowych kryteriów termicznych w klimatologii. Przgl. Geogr. R. III (XI), 1, 27-31, 1958.
3. **Mitosek H.:** Przymrozki wiosenne 1951 roku w okolicy Puław i szkody przez niewyrządzone. Przgl. Meteorol. i Hydrol. R. VI, 1-2, 61-69, 1953.
4. **Schnelle F.:** Ochrona roślin uprawnych przed mrozem. PWRiL, Warszawa. T. 1, 1968.
5. **Trepińska J.:** Pionowe zróżnicowanie przymrozków w Krakowie. Folia Geogr. T. V, 1971.

THERMAL STRATIFICATION IN LOWER ATMOSPHERIC LAYER DURING SPRING NIGHTS WITH FROST IN URSYNÓW SGGW

Dariusz Gołaszewski

Division of Meteorology and Climatology
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation
Warsaw Agricultural University – SGGW
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
e-mail: DARGO@poczta.onet.pl

Abstract. The study was based on material from spring-time tests (April, May) conducted over the period of 1994-2002. Measurements were taken at the Ursynów meteorological station, SGGW-Warsaw Agricultural University. The data collected, relating to spring nights with radiation and advective-radiation ground frost, provided the basis for the presentation of the following: mean courses of air and ground temperature, degree of cloud cover, wind velocity, as well as vertical profiles of temperature and times of the appearance and disappearance of ground frost in a 21-metre layer of air. The results permit the conclusion that stratification of cold air temperature on spring nights with radiation frost was much stronger than that on nights with advective-radiation frost. Radiation frost was also characterized by lower minimum temperatures and by a considerably lower vertical ceiling of the cold air layer.

Key words: air temperature, vertical profiles, ground frost