

O modyfikacji diagramu Schuberta do prognozowania przymrozków lokalnych

Wstęp

Wymierne szkody wyrządzane rokrocznie gospodarce rolnej przez przymrozki występujące w okresie wegetacyjnym są niejednokrotnie tak duże, że zagadnienie skutecznej, a zarazem ekonomicznie opłacalnej walki z ich ujemnymi skutkami stało się jednym z podstawowych problemów agrometeorologii. Rozwiązanie tego problemu wymaga opracowania i wprowadzenia do praktyki rolniczej systemu ochrony roślin uprawnych przed szkodami przymrozkowymi, w którym ważną rolę odgrywają proste sposoby prognozowania przymrozków lokalnych, zwłaszcza przymrozków przygruntowych. O ile bowiem ostrzeżenia o możliwości wystąpienia na znacznym obszarze kraju przymrozków wywołanych adwekcją chłodnego powietrza są zawsze podawane w codziennych prognozach pogody, o tyle możliwość wystąpienia przymrozków lokalnych, będących zjawiskiem mezoskalowym, często uchodzi uwagi synoptyka. W literaturze przedmiotu (Ellison 1928, Kangieser 1956, Schnelle 1968, Bagdonas i in. 1978) przedstawiono kilkadziesiąt reguł i wzorów empirycznych, semiempirycznych oraz wzorów teoretycznych, pozwalających prognozować albo samo wystąpienie, albo wystąpienie i intensywność przymrozku po nocy radiacyjnej, w której nie wystąpiła zmiana masy powietrza. Wszystkie te reguły i wzory uwzględniają jedynie ochłodzenie lokalne,

jeśli więc po południu, wieczorem i nocą, a zatem w okresie, dla którego prognozowane jest oziębienie statyczne, nastąpi zmiana masy powietrza, to prognoza będzie fałszywa. Prognozą lokalną objęta jest zatem tylko część przymrozków okresu wegetacyjnego, ale są nią objęte w zasadzie wszystkie przymrozki późnowiosenne i wczesnojesienne, a więc te przymrozki, które wyrządzają największe szkody w uprawach. Spośród wspomnianych kilkudziesięciu reguł i wzorów, zaledwie kilka znalazło zastosowanie w praktyce rolniczej. Pozostałe albo nie dają wyników zadowalających, lub dają prognozę zbyt późno (dopiero po zachodzie słońca), albo nie można ich wykorzystać w praktyce rolniczej, ponieważ wymagają czasochłonnych i skomplikowanych obliczeń oraz trudno dostępnych danych specjalnych, nie mierzonych rutynowo przez państwową służbę meteorologiczną. W dodatku prawie wszystkie wspomniane wzory teoretyczne do prognozowania nocnego ochłodzenia statycznego nie dają lepszych wyników od tych, które uzyskuje się przy stosowaniu prostych wzorów empirycznych. Wiele z tych prostych wzorów empirycznych nie zostało jeszcze dostatecznie sprawdzonych w praktyce, wiele ze sprawdzonych nie nadaje się do praktycznego zastosowania w Polsce, ponieważ wzór empiryczny daje dobre wyniki jedynie w tych warunkach klimatycznych, dla których został opracowany.

Wzorami i regułami dostatecznie sprawdzonymi w warunkach północno- i środkowoeuropejskich są wzory: Ångströma (1920, 1921, 1922) i Kammermanna (1886, 1887) oraz diagramy opracowane na podstawie reguł Schuberta (1915) i Fausta (1949). Jednakże żadna z tych czterech metod nie daje dużego prawdopodobieństwa uzyskania trafnej prognozy i dlatego, w celu otrzymania większej pewności prognozy trafnej, należy stosować nie jedną, lecz przynajmniej dwie z powyższych metod.

Wzór Kammermanna został już przystosowany do warunków polskich (Madany 1983; Radomski, Madany 1984). Posłużył on także do opracowania i zbudowania prototypu pagoprognoskopu, przyrządu pozwalającego z wystarczającym dla praktyki rolniczej wyprzedzeniem prognostycznym uzyskać bezpośrednio z odczytu informację o wystąpieniu przymrozku lokalnego i o jego intensywności (Radomski, Madany 1983).

O wyborze reguły Schuberta, jako drugiego przydatnego dla praktyki rolniczej sposobu prognozowania przymrozków lokalnych w Polsce, zdecydowała duża prostota tej reguły, pozwalająca zalecić ją rolnikom do samodzielnego prognozowania przymrozków, a także uzyskiwana tą metodą wysoka trafność prognozy braku zagrożenia najbliższej nocy przymrozkiem przygruntowym (Plaetschke 1953). Wadą stosowanej obecnie we Francji zmodyfikowanej reguły Schuberta jest zbyt późny termin prognozy, wykonywanej dopiero po zachodzie słońca.

W niniejszej pracy podjęto próbę dostosowania reguły prognostycznej Schuberta do danych z poziomu standardowego i z godziny 15 — Greenwich Mean Time (GMT), a zatem do danych łatwo dostępnych i pochodzących z terminu zapewniającego jeszcze wystarczająco długie wyprzedzenie prognostyczne. Spróbowano również rozszerzyć zakres prognozy na intensywność przymrozków lokalnych, przy

jednoczesnym zachowaniu największej zalety reguły Schuberta, jaką jest jej prostota

Reguła Schuberta

Schubert (1915) sporządził diagram prognostyczny, wnosząc do układu współrzędnych t (temperatura powietrza) i t' (temperatura termometru zwilżonego) — wartości odczytu psychrometru pochodzące z dni o dużym napromienieniu, po których występowała noc o dużym promieniowaniu efektywnym. Dane psychrometryczne pochodziły z godziny 14 średniego miejscowego czasu słonecznego oraz z przygruntowej warstwy powietrza. Wartości z odczytu psychrometru, po których wystąpił w nocy przymrozek, oznaczał innym symbolem niż te, po których nie wystąpił przymrozek przygruntowy. Linia oddzielająca symbole "przymrozkowe" od "bezprzymrozkowych" wyznaczyła dwa pola prognostyczne. Jeżeli punkt odpowiadający prognostycznemu odczytowi psychrometrycznemu znajdzie się na polu "bezprzymrozkowym", to należy się spodziewać, że w czasie nadchodzącej nocy nie wystąpi lokalny przymrozek przygruntowy.

Jagsich (1951) zmodyfikował regułę Schuberta, wprowadzając jako zmienne prognozujące temperaturę powietrza z warstwy przygruntowej i temperaturę termometru zwilżonego z wysokości 2 m nad ziemią.

Materiał wyjściowy i metoda opracowania

Wykorzystany w pracy materiał wyjściowy pochodzi ze stacji meteorologicznej Warszawa-Okęcie ($\phi = 52^{\circ} 09' N$, $\lambda = 20^{\circ} 59' E$, $H_s = 106$ m n.p.m.), położonej na obrzeżu miasta, w terenie odkrytym, dobrze reprezentującym obszary rolnicze województwa warszawskiego (Łykowski, Madany 1992). Uwzględnione dane pochodzą z wybranych miesięcy wiosennych

(IV–V) i jesiennych (IX–X) z lat 1951–1975 i obejmują codzienne wyniki obserwacji wielkości zachmurzenia ogólnego i prędkości wiatru na wysokości wiatromierza (10,8 m nad powierzchnią ziemi), pochodzące z terminów pomiarowych 6 i 20 GMT, oraz wyniki codziennych pomiarów temperatury powietrza i termometru zwilżonego w klatce makroklimatycznej (2 m nad poziomem ziemi) z godziny 15 GMT, a także wyniki pomiarów temperatury minimalnej powietrza w klatce makroklimatycznej i na wysokości 5 cm nad powierzchnią ziemi. Względy praktyczne wymagały, aby prognozą zostały objęte tylko nocne minima temperatury powietrza występujące w warunkach sprzyjających najsilniejszemu radiacyjnemu oziębianiu się powietrza nocą, zachodzącemu przy niezakłóconym stanie inwersyjnym przygruntowej warstwy powietrza. Uwzględniono więc tylko te dane, które pochodziły z dni poprzedzających wystąpienie nocy pogodnych i bezwietrznych i tylko wtedy, gdy w ciągu takiego dnia i następującej po nim nocy nie zmieniła się masa powietrza nad Warszawą.

Za noc pogodną przyjmowano taką noc, dla której średnia wielkość zachmurzenia ogólnego, liczona z wielkości zachmurzenia zaobserwowanego o godz. 20 GMT i o godz. 6 GMT w dniu następnym, nie była większa od 2/10 pokrycia nieba chmurami. Równoważne traktowanie chmur piętra niskiego i chmur pięter średniego i wysokiego oraz posłużenie się jedynie obserwacjami zachmurzenia z terminów wieczornego i rannego w dniu następnym, z pominięciem nocnych obserwacji zachmurzenia, prowadzi do zmniejszenia dokładności wydzielenia nocy pogodnych.

Do nocy bezwietrznych zaliczono także noce ze względną ciszą, a zatem noce o średniej prędkości wiatru nie większej od 2 m/s na wysokości wiatromierza, ponieważ wiatry o takiej prędkości nie mogą przeszkodzić wykształceniu się inwersyjnej stratyfikacji termicznej, typowej dla przy-

mrozków wywołanych czynnikiem lokalnym. Przyjęte kryterium wydzielenia nocy bezwietrznych nasuwa podobne zastrzeżenia do tych, o których wspomniano przy omawianiu wyboru nocy pogodnych, ponieważ do wydzielenia nocy bezwietrznych posłużono się także danymi pochodzącymi jedynie z pomiarów wieczornych i rannych w dniu następnym.

Nieuwzględnienie nocnych obserwacji wielkości zachmurzenia i prędkości wiatru może prowadzić do błędnego zaszeregowania jakiejś nocy do rozpatrywanej w pracy grupy nocy pogodnych, bezwietrznych i bez zmiany masy powietrza. Wówczas do zbioru temperatury minimalnej powietrza występującej po takich nocach zostaje wprowadzone minimum temperatury powstałe w innych warunkach pogodnych, powodując zmniejszenie jednorodności zbioru. Ażeby ją zwiększyć pomijano w opracowaniu te noce, dla których odchyłka minimalnej temperatury powietrza od średniej arytmetycznej przekraczała $\pm 3\sigma$.

Omawiana w pracy modyfikacja diagramu Schuberta polegała przede wszystkim na wykorzystaniu do sporządzenia tego diagramu temperatury termometrów suchego i zwilżonego w klatce meteorologicznej, a zatem danych łatwo dostępnych, bo wchodzących w zakres codziennych, rutynowych obserwacji prowadzonych przez państwową służbę meteorologiczną.

Prognozowanie przymrozków lokalnych na podstawie zmiennych prognozujących z poziomu pomiarowego 2 m nad powierzchnią ziemi zwiększa reprezentatywność przestrzenną prognozy oraz umożliwia prognozowanie także przymrozków lokalnych o znacznej miąższości, odnotowanych w klatce makroklimatycznej.

Wykorzystując możliwość, jaką daje układ współrzędnych o osiach odpowiadających temperaturze powietrza i termometru zwilżonego, wydzielono w nim pola odpowiadające różnej wilgotności względnej powietrza o godzinie 15 GMT. Znajomość wilgotności względnej powietrza jest

bowiem potrzebna w przypadku stosowania deszczowania przeciwprzymrozkowego. Zabieg ten przeprowadzany w czasie nocy przymrozkowej o małej wilgotności względnej powietrza (niższej od 80%) powoduje zwykle zwiększenie wielkości szkód przymrozkowych, ponieważ parowanie stale zwilżanej wodą powierzchni roślin obniża ich temperaturę poniżej temperatury otaczającego je powietrza. Korzystając z części wilgotnościowej zmodyfikowanego diagramu, należy dla potrzeb deszczowania przeciwprzymrozkowego zwiększać odczytaną wielkość wilgotności względnej powietrza o 20%, taki jest bowiem przeciętny dla nocy o silnej radiacji

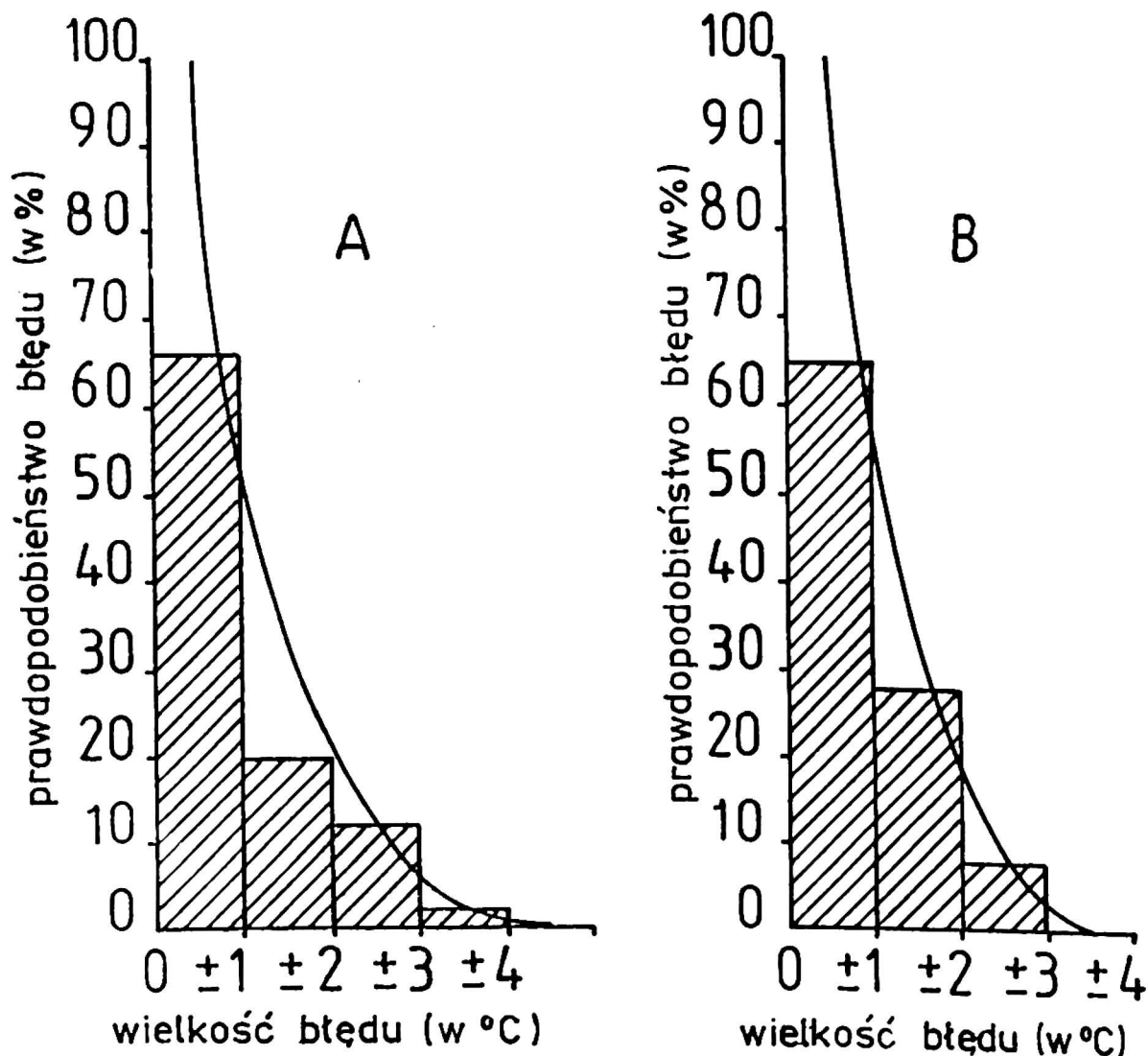
przyrost tej wilgotności powietrza między godziną 15 GMT a późnymi godzinami nocnymi.

Drugi etap modyfikacji diagramu Schuberta stanowiło wprowadzenie do tego diagramu prognozy intensywności przymrozków lokalnych, opracowanej w formie graficznej. Intensywność przymrozków prognozowano prostą regułą Kammermana (1887) o sprawdzonej dla rejonu Warszawy przydatności praktycznej w okresie wiosennym (Radomski, Madany 1984).

Regułę powyższą wyraża wzór:

$$t_{\min} = t' - k$$

gdzie:

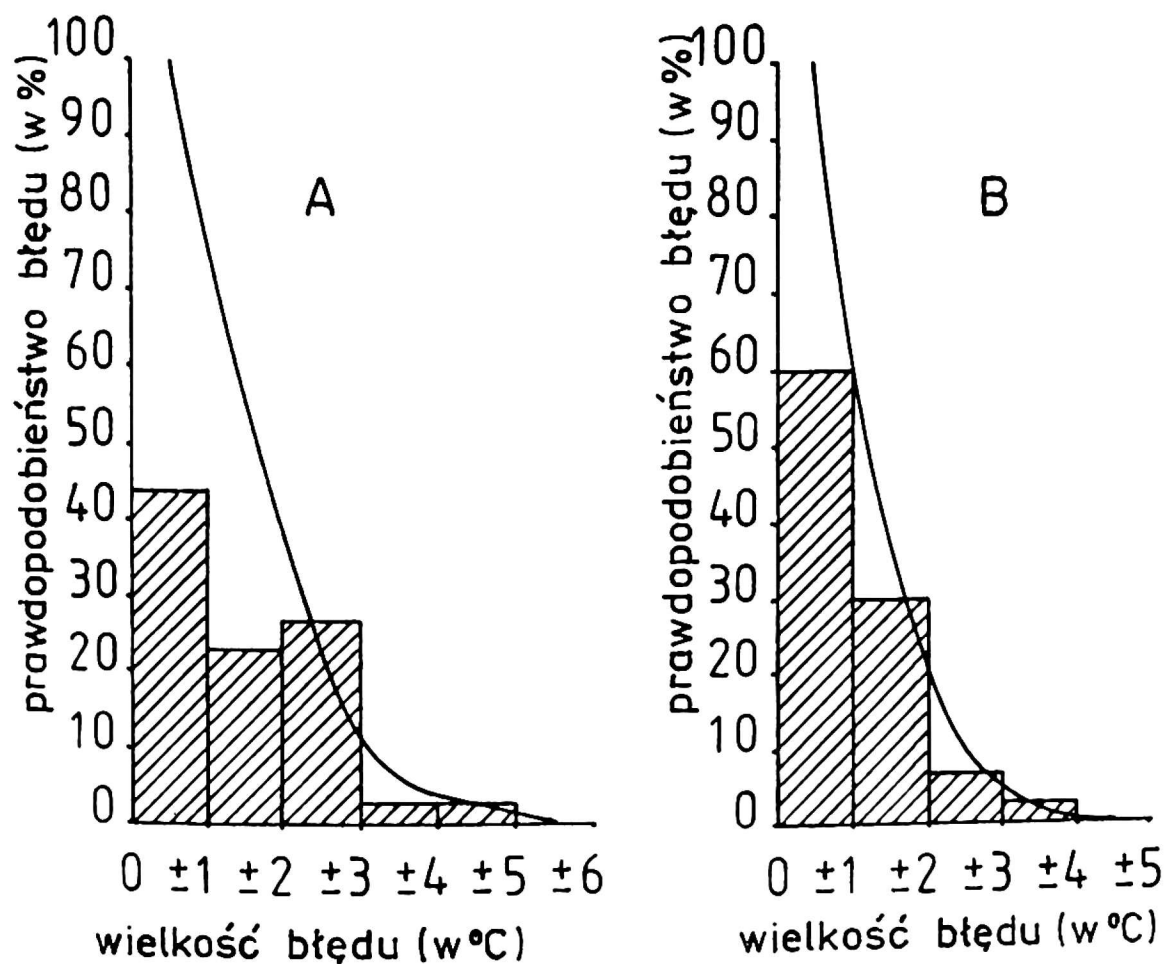


Rys. 1. Prawdopodobieństwo w przedziałach i prawdopodobieństwo całkowite wielkości błędów prognozy intensywności lokalnych przymrozków przygruntnych na wysokości 5 cm nad powierzchnią ziemi w okresie wiosny termicznej i jesieni termicznej (Warszawa-Okęcie, lata 1951–1975); A — błędy prognozy wykonanej prostą regułą Kammermana o stałej wspólnej dla termicznej wiosny i termicznej jesieni, B — błędy prognozy wykonanej tą samą regułą, po uwzględnieniu poprawki na porę roku i temperaturę powietrza o godzinie 15 GMT w dniu poprzedzającym noc przymrozkową

t_{\min} — prognozowana minimalna temperatura powietrza w dniu następnym,
 t — temperatura termometru zwilżonego w określonym terminie dnia poprzedzającego noc o silnej radiacji,
 k — stała Kammermanna.

Wzór ten zastąpiono skalą termometryczną, na której 0°C zostało tak przesunięte, aby odpowiadało ujemnej wartości stałej Kammermanna. Powyższą stałą obliczono dla całego okresu objętego prognozą na podstawie danych pochodzących jedynie z dni poprzedzających bezadwekcyjne noce przymrozkowe. W ten prosty sposób zawężono zakres prognozy tylko do inten-

sywności przymrozków lokalnych. Sprawdzalność prognoz intensywności przymrozków lokalnych, wykonanych prostą regułą Kammermanna z jedną stałą, wspólną dla termicznej wiosny (IV–V) i termicznej jesieni (IX–X), nie jest zadowalająca. Prawdopodobieństwo całkowite prognoz trafnych wynosi bowiem 85,4% dla przymrozków przygruntowych i 67,0% dla przymrozków w klatce makroklimatycznej (rys. 1A, 2A). Do klasy prognoz trafnych zaliczono takie przypadki prognozy, gdy $-2,0^{\circ}\text{C} \leq S_b \leq 2,0^{\circ}\text{C}$, przy czym za błąd prognozy przyjmowano wielkość różnicy między minimalną temperaturą po nocy przymrozkowej, określoną pomiarowo, a



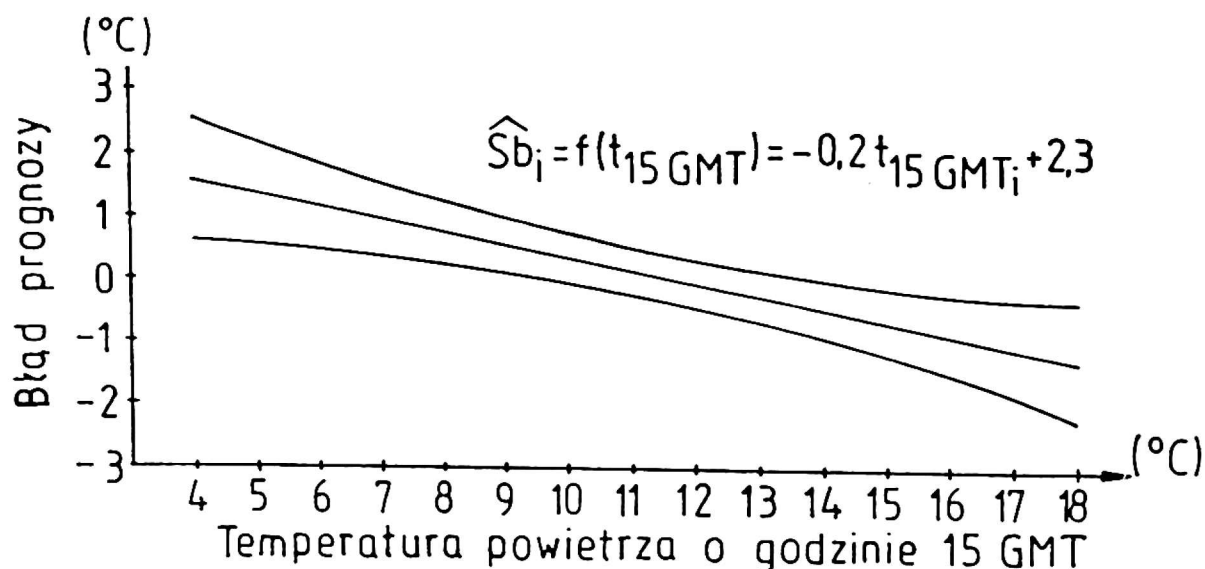
Rys. 2. Prawdopodobieństwo w przedziałach i prawdopodobieństwo całkowite wielkości błędów prognozy intensywności lokalnych przymrozków w klatce makroklimatycznej w okresie wiosny termicznej i jesieni termicznej (Warszawa-Okęcie, lata 1951–1975); A — błędy prognozy wykonanej prostą regułą Kammermanna o stałej wspólnej dla termicznej wiosny i termicznej jesieni, B — błędy prognozy wykonanej tą samą regułą po uwzględnieniu poprawki na porę roku i temperaturę powietrza o godzinie 15 GMT w dniu poprzedzającym noc przymrozkową

minimalną temperaturą — obliczoną omawianą regułą dla tej samej nocy:

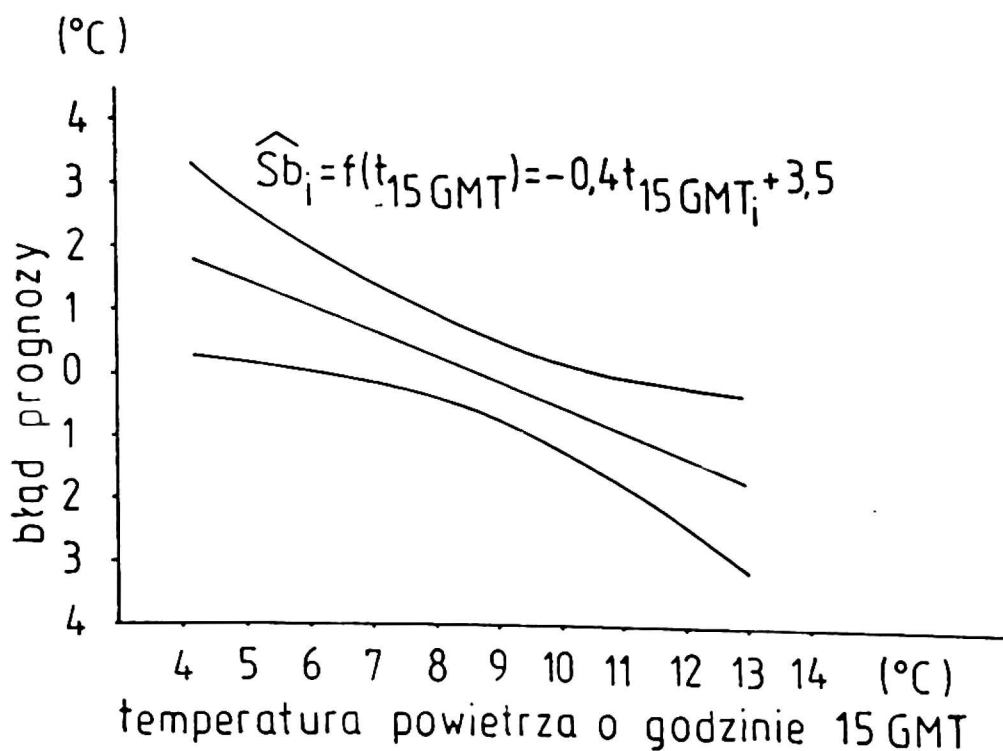
$$S_b = t_{\min. \text{ emp.}} - t_{\min. \text{ teor.}}$$

W celu poprawienia sprawdzalności prognozy wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów liniowe funkcje regresji między temperaturą powietrza o godzinie

15 GMT w dniach poprzedzających bezadwekcyjne noce przymrozkowe a przedstawionym powyżej błędem prognozy intensywności przymrozku przygruntowego (rys. 3) oraz między tą samą temperaturą powietrza a błędem prognozy intensywności przymrozku w klatce makroklimatycznej (rys. 4). W obydwu równaniach regresji



Rys. 3. Liniowa funkcja regresji oraz krzywe ufności Neymana dla wielkości błędu prognozy intensywności lokalnych przymrozków przygruntowych względem temperatury powietrza o godzinie 15 GMT w dniu poprzedzającym noc przymrozkową, przy współczynniku ufności $P = 0,95$ (Warszawa-Okęcie, okres wiosny termicznej i jesieni termicznej w latach 1951–1975)



Rys. 4. Liniowe funkcje regresji oraz krzywe ufności Neymana dla wielkości błędu prognozy intensywności lokalnych przymrozków w klatce makroklimatycznej względem temperatury powietrza o godzinie 15 GMT w dniu poprzedzającym noc przymrozkową, przy współczynniku ufności $P = 0,95$ (Warszawa-Okęcie, okres wiosny termicznej i jesieni termicznej w latach 1951–1975)

współczynnik regresji liniowej jest istotnie różny od zera przy poziomie istotności 0,02, co pozwoliło wykorzystać powyższe równania do wyznaczenia poprawek do prognozy intensywności przymrozków lokalnych (tab. 1, 2). W tabelach poprawek zostały uwzględnione także poprawki związane z porą roku. Za poprawkę dla wiosny termicznej przyjęto wielkość błędu systematycznego prognozy z uwzględnioną poprawką na temperaturę powietrza w okresie wiosennym, a za poprawkę dla jesieni — tak samo wyznaczoną — wielkość błędu

systematycznego prognozy w okresie jesieni termicznej.

Wyniki

Zrealizowany został cel pracy, jakim było dostosowanie reguły Schuberta do zmiennych prognozujących z godziny 15 GMT i poziomu pomiarowego 2 m nad powierzchnią ziemi, na którym te zmienne mierzone są rutynowo na stacjach meteorologicznych IMGW. Zachowana została łatwość prognozowania oraz stuprocento-

TABELA 1. Poprawki do odczytanych z diagramu Schuberta wartości temperatury minimalnej powietrza na wysokości 5 cm nad powierzchnią ziemi, w zależności od pory roku i temperatury powietrza, o godzinie 15 GMT

Wiosna termiczna (IV-V)										
t [°C]	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
4			1,8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6
5	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4
6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2
7	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0
8	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8
9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6
10	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
11	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
12	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2
14	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4
15	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6
16	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8
17	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-1,0	-1,0
18	-1,0	-1,0								
Jesień termiczna (IX-X)										
t [°C]	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
4			1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9
5	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7
6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
7	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
8	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
9	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1
10	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3
11	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5
12	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,7
13	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-0,9
14	-0,9	-0,9	-0,9	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,1
15	-1,1	-1,1	-1,1	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,3	-1,3
16	-1,3	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5
17	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7
18	-1,7	-1,7								

TABELA 2. Poprawki do odczytanych z diagramu Schuberta wartości temperatury minimalnej powietrza na wysokości 2 m nad powierzchnią ziemi, w zależności od pory roku i temperatury powietrza, o godzinie 15 GMT

Wiosna termiczna (IV-V)										
t [°C]	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
4			2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1	2,0
5	2,0	2,0	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6
6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,2
7	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8
8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4
9	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0
10	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4
11	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,7	-0,8
12	-0,8	-0,8	-0,9	-0,9	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,1	-1,2
13	-1,2	-1,2	-1,3							

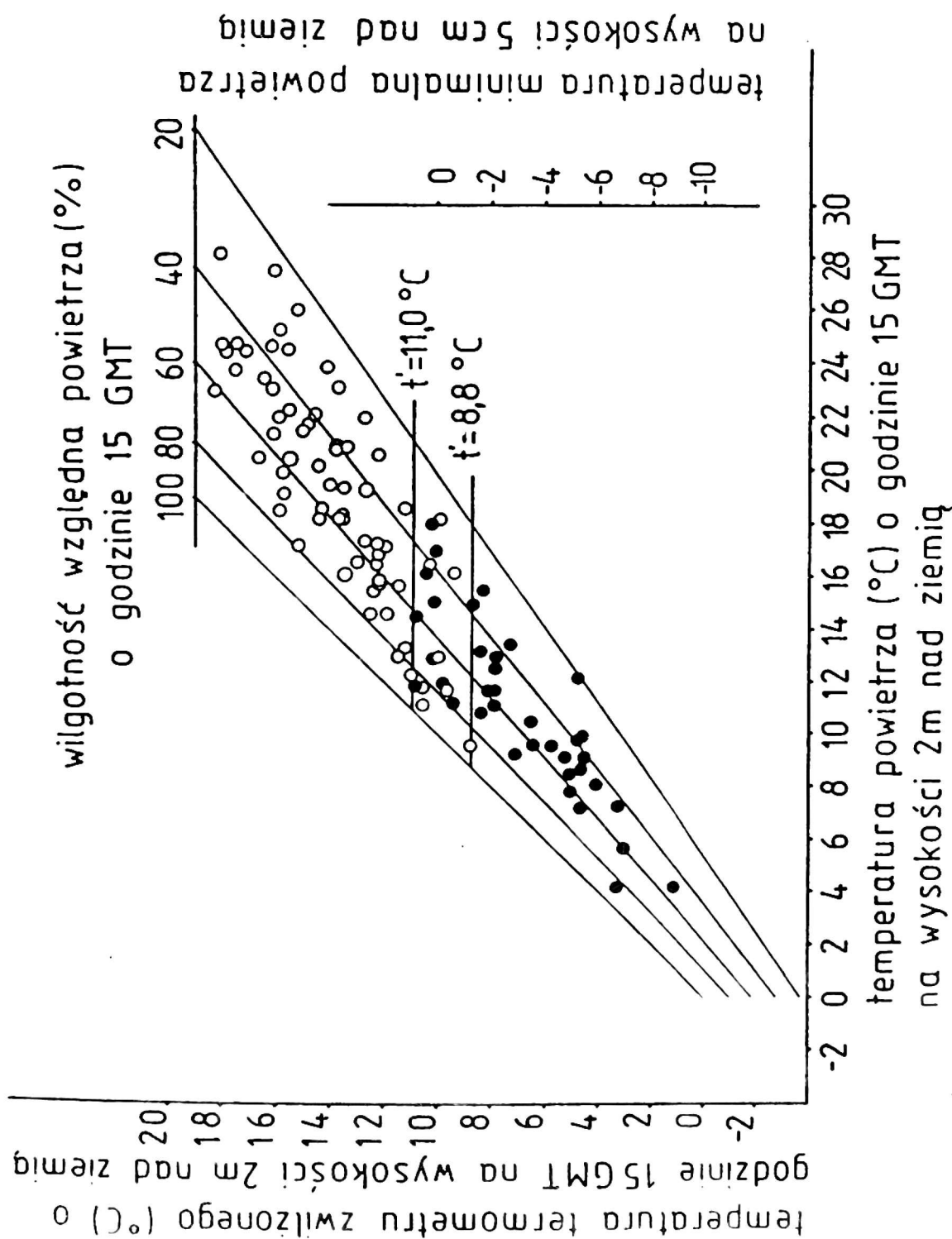
Jesień termiczna (IX-X)										
t [°C]	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
4			-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6	-0,7
5	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	-0,9	-0,9	-0,9	-1,0	-1,0	-1,1
6	-1,1	-1,1	-1,2	-1,2	-1,3	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5
7	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9
8	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,3
9	-2,3	-2,3	-2,4	-2,4	-2,5	-2,5	-2,5	-2,6	-2,6	-2,7
10	-2,7	-2,7	-2,8	-2,8	-2,9	-2,9	-2,9	-3,0	-3,0	-3,1
11	-3,1	-3,1	-3,2	-3,2	-3,3	-3,3	-3,3	-3,4	-3,4	-3,5
12	-3,5	-3,5	-3,6	-3,6	-3,7	-3,7	-3,7	-3,8	-3,8	-3,9
13	-3,9	-3,9	-4,0							

wa sprawdzalność prognozy braku zagrożenia nadchodzącej nocy przymrozkiem lokalnym. Uzyskano dobrą sprawdzalność prognozy intensywności przymrozków lokalnych w termicznym okresie wegetacyjnym. Prawdopodobieństwo uzyskania trafnej prognozy intensywności tych przymrozków, po uwzględnieniu odpowiedniej poprawki do intensywności odczytanej z diagramu, wynosi bowiem dla przymrozków przygruntowych 92,5% (rys. 1B), a dla przymrozków w klatce makroklimatycznej — 90,3% (rys. 2B).

Rekomendacja dla praktyki

Zmodyfikowane diagramy Schuberta (rys. 5 i 6) pozwalają z kilkunastogodzinnym wyprzedzeniem prognostycznym i dużym prawdopodobieństwem prognozować brak zagrożenia przymrozkiem lokal-

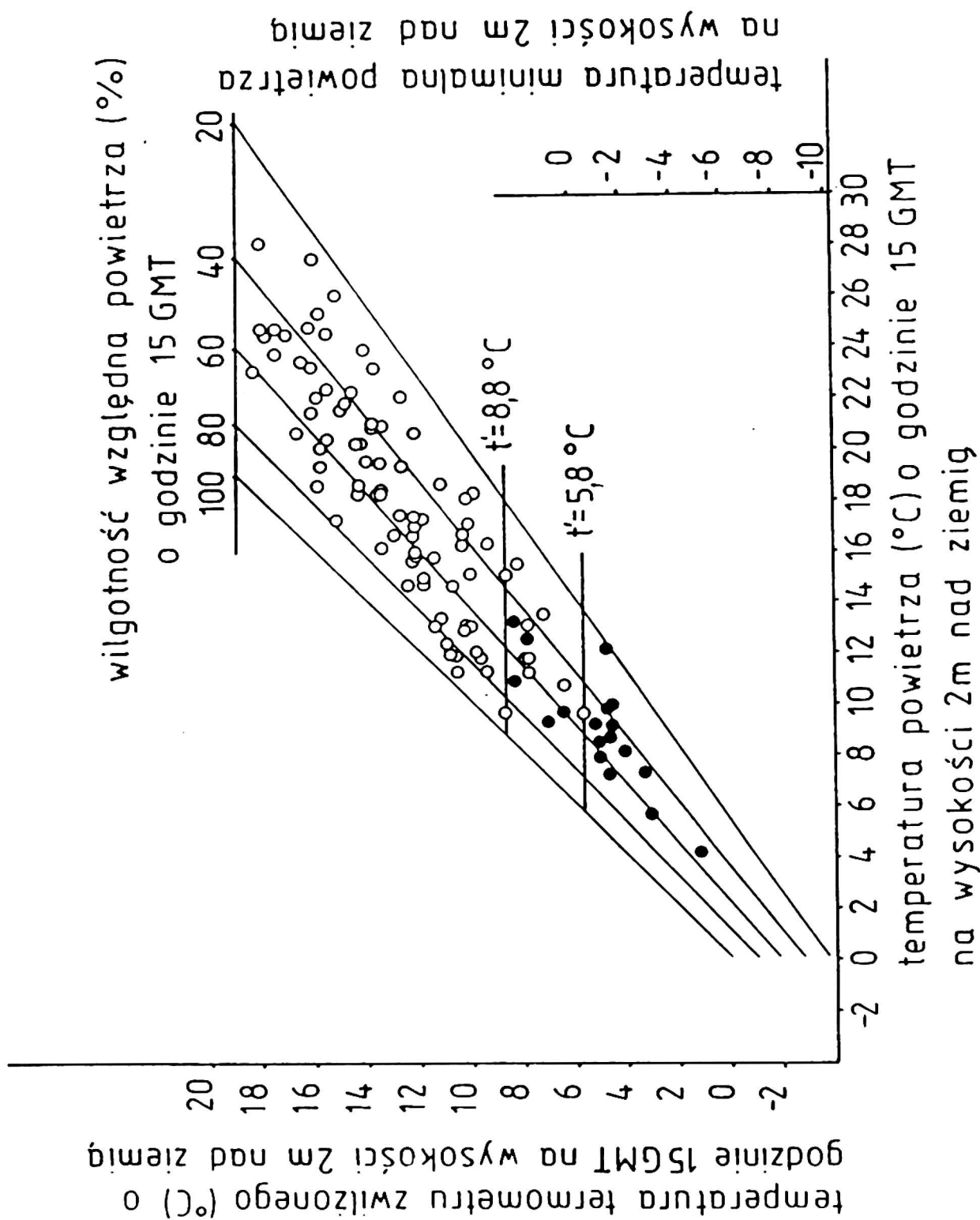
nym oraz wystąpienie i intensywność tych przymrozków w okresie wegetacyjnym na obszarze stołecznego województwa warszawskiego. O rolniczej przydatności tych diagramów decyduje łatwość prognozy. Polega ona na wniesieniu na diagram, podzielony na trzy pola: "pole przymrozkowe", "pole z możliwością wystąpienia przymrozków" i "pole bezprzymrozkowe", punktu odpowiadającego wartości temperatury powietrza i termometru zwilżonego z godziny 17 urzędowego czasu letniego. Jeżeli ten punkt znajdzie się na polu bezprzymrozkowym, to należy się spodziewać, że po nocy bezwietrznej i pogodnej nie wystąpi przymrozek lokalny. Gdy punkt ten znajdzie się na polu przymrozkowym lub z możliwością wystąpienia przymrozków, należy rzędną tego punktu odczytać na skali temperatury minimalnej powietrza, a następnie dodać (algebraicznie) do tej tempe-



Legenda:

- — noc z przymrozkiem przygruntowym,
- — noc bez przymrozku przygruntowego,
- $t' = 8,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ — temperatura termometru zwilżonego o godz. 15 GMT, wyznaczająca górną granicę prognozowania przymrozków przygruntowych,
- $t' = 11,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ — temperatura termometru zwilżonego o godz. 15 GMT, wyznaczająca dolną granicę prognozowania przymrozków przygruntowych

Rys. 5. Zmodyfikowany diagram Schuberta do prognozowania występowania i intensywności lokalnych przymrozków przygruntowych na wysokości 5 cm nad powierzchnią ziemi w okresie termicznej wiosny i termicznej jesieni na stacji Warszawa-Okęcie


Legenda:

- — noc z przymrozkiem w klatce makroklimatycznej,
- — noc bez przymrozku w klatce makroklimatycznej,
- $t' = 5,8^{\circ}\text{C}$ — temperatura termometru zwilżonego o godz. 15 GMT wyznaczająca górną granicę prognozy
- $t' = 8,8^{\circ}\text{C}$ — temperatura termometru zwilżonego o godz. 15 GMT, wyznaczająca dolną granicę prognozy

Rys. 6. Zmodyfikowany diagram Schubertha do prognozowania występowania i intensywności lokalnych przymrozków w klatce makroklimatycznej (wys. 2 m nad ziemią) w okresie wiosny termicznej i jesieni termicznej na stacji Warszawa-Okęcie

ratury odpowiednią poprawkę z tabeli 1 lub 2, zależną od temperatury powietrza i pory roku. Poprawiony odczyt minimalnej temperatury powietrza daje intensywność przymrozku lokalnego. Zmodyfikowany diagram pozwala jedynie prognozować przymrozki lokalne, wywołane czynnikiem statycznym. Jeśli więc między terminem prognozowania nocnego minimum temperatury powietrza i terminem wystąpienia tego minimum nastąpi zmiana masy powietrza lub zwiększy się wielkość zachmurzenia, to diagram da prognozę fałszywą.

Literatura

- ÅNGSTRÖM A. 1920, 1921, 1923: *Studies of the frost problem*. Geogr. Ann. 2: 20–32; 278–288; 5: 401–412.
- BAGDONAS A. i in. 1978: *Techniques of frost prediction and methods of frost protection*. Tech. Note; 197, WMO 487: 159.
- ELLISON E. S. 1928: *A critique on the construction and use of minimum-temperatures formulas*. Month. Weather Rev. 5: 485–495.
- FAUST R. 1949: *Ein Hilfsmittel zur Nachtfrostvorhersage*. Ann. Meteor. 2, 105–111.
- JAGSICH J. 1951: *La prevision de las heladas*. Rev. Meteor. (Montevideo) 10, 36/37: 49–60.
- KAMMERMANN M. A. 1886: *Die Vorausbestimmung des nächtlichen Temperatur-minimums*. Meteorologie 3: 124–128.
- KAMMERMANN M. A. 1887: *Comparaison des indications du thermomètre à boule mouillée dans L'après-midi et le minimum de température pour differents lieux*. Archives des sciences physiques et naturelles XVII: 436–448.
- KANGIESER D. C. 1956: *Forecasting Minimum Temperatures on Clear Winter Nights in an Arid Region*. Month. Weather Rev. 87, 1.
- ŁYKOWSKI B., MADANY R. 1992: *Zróżnicowanie warunków termicznych i wilgotnościowych na terenie Warszawy. Ochrona i kształtowanie środowiska rolniczego (Wybrane problemy)*. Wydaw. SGGW. Warszawa: 96–106.
- MADANY R. 1983: *Prognoza występowania i intensywności wiosennych przymrozków lokalnych w Polsce nizinnej*. Rozpr. Nauk. i Monogr. SGGW-AR. 35, Wydaw. SGGW-AR. Warszawa: 59.
- PLAETSCHKE J. 1953: *Taupunkt und Vorhersage der Temperaturminima nach Strahlungsächten. Extremer Fall einer hochgelegenen*. Bad Kissingen: Deutscher Wetterdienst. Mitt. Dt. Wetterdienst, 1, 5: 18.
- RADOMSKI C., MADANY R. 1983: *Przydatność pagoprognoskopu w Polsce*. XIX Ogólnop. Konf. Agromet. 16–17 września 1983. Wydaw. AR w Szczecinie: 233–239.
- RADOMSKI C., MADANY R. 1984: *Device for forecasting local frostes*. Ann. Warsaw Agricult. Univ. — SGGW-AR. Land Reclam. 20: 67–71.
- SCHUBERT J. 1915: *Über die Maifröste in Eberswalde und deren Vorhersage mit Hilfe des Psychrometers*. Z. Forst-Jagdwesen 1915: 84–92.
- SCHNELLE F. (red.) 1968: *Ochrona roślin uprawnych przed mrozem*. PWRiL, Warszawa: 421 (tłum. z niemieckiego).

Summary

Modification of the Schubert's diagram for local frost prediction. The Schubert's modified diagrams have been presented in this paper (fig. 5 and 6). Using the diagrams we can forecast with a sufficient prognostic outstripping for the agricultural practice and with a big probability (fig. 1B and 2B) the lacks of the impend over local frost during coming night and the intensity of the frost during growing season on the Warsaw District area. The forecast bases on the simply approachable meteorological date that are included within every day standard measurement of the meteorological stations.

Authors' address:

R. Madany, D. Gołaszewski
Warsaw Agricultural University
ul. Nowoursynowska 166
02-766 Warszawa