

Rasprave i prikazi

qtd
551. 509. 323. 2

**PRILOG PROGNOZI MRAZA
U NAŠIM KRAJEVIMA**

Ivo Penzar

Zagreb

1991

..... M e m o i r s

**CONTRIBUTION TO THE FROST
FORECASTING IN OUR COUNTRY**

by
.....
I v o P e n z a r
.....
Zagreb

PRILOG PROGNOZI MRAZA U NAŠIM KRAJEVIMA

Ivo Penzar †/

1. Za meteorologiju općenito, a posebno za sinoptičku meteorologiju i agrometeorologiju važno je poznavati buduće vrijednosti meteoroloških elemenata, a osobito minimalne temperature, koja se očekuje naredne noći. Za poljoprivredu je ovo od osobitog značenja u toku proljeća, ranog ljeta i jeseni, dakle u onom dijelu vegetacionog razdoblja, kad postoji mogućnost za stvaranje mraza.

Ne ćemo ovdje razmatrati meteorološke uvjete, koji dovode do stvaranja mraza, niti utjecaj reljefa tla na intenzitet mraza, nego ćemo se samo pozabaviti pitanjem prognoze mraza. Nadalje napominjemo, da ćemo ovdje razmatrati samo pitanje, prognoze radijacionog mraza.

Tim pitanjem počeli su se meteorolozi baviti već u prošlom stoljeću i do danas su dane mnogobrojne metode za određivanje minimuma temperature. Poljoprivredna služba postavlja, međjutim, stanovite zahtjeve pred ovakve metode kao na pr.:

- a) što veću točnost u prognozi,
- b) mogućnost predviđanja intenziteta mraza, odnosno iznosa minimalne temperature,
- c) što raniju prognozu i
- d) što jednostavniji i u praksi prikladniji način izračunavanja minimuma.

Razmotrimo ovdje neke metode, koje bi našoj poljoprivredi bile pristupačne, i pogledajmo, kako one zadovoljavaju gornje zahtjeve.

/1/ C. L a n g o v o pravilo (5): Jutarnja minimalna temperatura, t_{\min} , veća je ili jednaka temperaturi rosišta τ prethodne večeri. Matematički bi se ovo pravilo moglo ovako formulirati:

$$\tau \leq t_{\min} \quad /1.1/$$

Mraz se može očekivati samo u onim slučajevima, kad je $\tau \leq 0$, ali ni tada ne mora nastati. Iznos minimalne temperature ovako se ne može odrediti. Od gornja četiri zahtjeva ovo pravilo zadovoljava zapravo samo posljednji. Prema tome ne dolazi u obzir za potrebe poljoprivrede.

/2/ A. K a m m e r m a n n o v o pravilo (4): Razlika između temperature mokrog termometra t' izmjerene u neki sat oko podne ili poslije podne i minimuma t_{\min} naredne noći gotovo je konstantna u toku godine. Prevedeno u matematički način izražavanja, ono bi ovako izgledalo:

†/

Ivo Penzar, asistent Prirodoslovno-matematičkog fakulteta. Adresa: Geofizički institut Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Grič 3, Zagreb.

$$t' - t_{\min} = c \quad /1.2/$$

ili

$$t_{\min} = t' - c \quad /1.2'/$$

Konstanta c određuje se statistički iz višegodišnjeg niza motrenja pomoću izraza /1.2/. Ovo pravilo donekle zadovoljava sva četiri zahtjeva, ali samo donekle, jer točnost prognosticiranog minimuma opada ako se t' uzme iz ranih popodnevni sati. Prema tome ono se ne preporučuje za upotrebu.

/3/ A. Defant (2) dao je slijedeći izraz za izračunavanje minimalne temperature:

$$t_{\min} = a\Theta + bt_0 \quad /1.3/$$

gdje je Θ veličina, koja zavisi o tlaku vodene pare u zraku, t_0 je temperatura zraka u času zalaza sunca, a veličine a i b su konstante, koje se dobiju empirički iz višegodišnjih podataka motrenja.

/4/ J. W. Smithova (15) jednačba za minimum ima ovaj oblik

$$t_{\min} = \tau_0 - a + bu_0 \quad /1.4/$$

gdje je τ_0 rosište, a u_0 relativna vlaga u večernjim satima. Konstante a i b određuju se iz višegodišnjeg niza motrenja.

/5/ A. Angstrom (1) daje izraz za izračunavanje minimuma, koji je sličan Defantovu, a glasi

$$t_{\min} = at'_0 - bt_0 - c \quad /1.5/$$

gdje su t_0 i t'_0 temperature suhog i mokrog termometra u času zalaza sunca, a veličine a , b i c su empirički određene konstante.

Metode navedene pod /3/, /4/ i /5/ daju mogućnost da se predvidi iznos minimuma sa zadovoljavajućom tačnošću. Jedini im je nedostatak u tome što upotrebljavaju večernje podatke, pa se prognoza ne može izvršiti dovoljno rano za potrebe poljoprivrede.

Navedimo sada dvije metode, koje uzimaju ranije popodnevne podatke, a te su:

/6/ R. Fausstova (3) metoda prema kojoj možemo pomoću temperature zraka u 14 sati t_{14} i tlaka vodene pare e u tom času zaključiti, da li će biti mraza ili ne. Umjesto tlaka vodene pare može se uzeti i rosište τ . Podatke o mrazu dobivamo na temelju nejednažbi

$$t_{14} + e < c \quad /1.6/$$

ili

$$t_{14} + \frac{\tau}{2} < c' \quad /1.6'/$$

gdje su c i c' konstante dobivene empirički. Ako je zbroj manji od konstantne veličine c , odnosno c' , jutarnji će minimum biti manji od nule, a ako je zbroj veći od tih veličina, ne će biti mraza. Velik je

nedostatak samo u tome, što se ne može odrediti iznos minimuma. Prema tome ova metoda nije najprikladnija za davanje prognoze mraza.

/7/ H. M o l l w o v a (6) metoda, prema kojoj narednu minimalnu temperaturu možemo naći iz razlike dnevnog maksimuma i prosječnog dnevnog ohladjivanja za taj mjesec. Dnevno ohladjivanje sastavljeno je iz dvaju dijelova i to:

- a) ohladjivanje u toku dana, tj. $t_{maks} - t_n$ gdje je t_n temperatura početka noći ili točnije dva sata iza zalaza sunca, i
- b) ohladjivanje u toku noći, tj. $t_n - t_{min}$.

Kako je prema istraživanjima H. Mollwoa ohladjivanje u toku dana približno jednako razlici maksimuma i rosišta u času maksimuma, tj.

$$t_{maks} - t_n \approx t_{maks} - \tau \quad /1.7/$$

a ohladjivanje u toku noći konstantno, tj.

$$t_n - t_{min} = c \quad /1.7'/$$

jutarnji maksimum može se naći iz izraza

$$t_{min} = \tau - c \quad /1.7''/$$

Ova metoda zadovoljava naše zahtjeve i mogla bi se upotrebljavati za prognozu, ali za izračunavanje veličina t_n i c preporučuje se veoma dugi niz motrenja što mi za većinu stanica nemamo. Prema tome ni ova metoda kod nas ne bi došla u obzir.

Ne ćemo se dalje zadržavati na nizu drugih metoda, koje uzimaju za podlogu temperaturu i vlagu tla ili prizemnog sloja zraka, jer naše stanice nisu opskrbljene potrebnim instrumentima za takva mjerenja, pa ne dolaze za nas u obzir, a njihovo bi nas nabranje predaleko odvelo.

Kod nas je do danas na prognozi mraza već nešto malo radjeno (7) i (16). Kako se, međjutim, poljoprivreda sve više počela zanimati za sredstva i način borbe protiv mraza, došlo je vrijeme, da se ovom pitanju posveti više pažnje.

Po dogovoru s Agrometeorološkim odsjekom Hidrometeorološkog zavoda NR Hrvatske u Zagrebu odlučio sam izraditi jednadžbe za slijedeća mjesta: Bistrac, Križevci, Maksimir u Zagrebu, Osijek, Slavonski Brod i Varaždin, pomoću kojih bi se iz podataka maksimalne temperature i relativne vlage u času maksimuma mogla naći minimalna temperatura u slučaju vedrog i mirnog vremena na temelju relacije

$$t_{min} = k(t_{maks} + \tau) + l \quad /1.8/$$

gdje su veličine k i l konstante, koje se empirički odredjuju iz višegodišnjeg niza motrenja.

Za Zagreb-Grič bio je već prije nadjen izraz /1.8/, ali u nešto drugom obliku, pa je u ovoj radnji navedenim mjestima dodana i jednadžba za Zagreb-Grič u gornjem obliku. Tako je u ovoj radnji dano ukupno sedam jednadžbi za izračunavanje jutarnje minimalne temperature.

Da bi se došlo do tih jednadžbi, bile su uzete u razmatranje zadnje tri ili četiri godine motrenja i izabrani su samo vedri dani, tj. oni kad je popodnevna i večernja naoblaka, ne računajući Cirrose, bila manja ili jednaka jednoj desetini. Na taj način promatrana je minimalna temperatura samo kao posljedica noćnog ižaravanja tla.

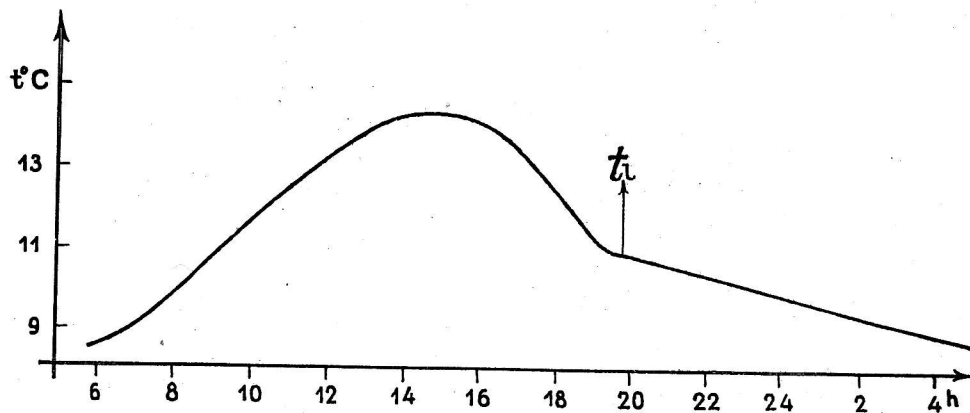
Izračunavanje jednadžbi za ovako velik broj mjesta težak je i dugotrajan posao. Zato mi je ugodna dužnost zahvaliti ovom prilikom Agrometeorološkom odsjeku, što su mi njegovi meteorološki tehničari A. Kapetanović i A. Butorac pomagali pri vadjenju početnog materijala i

na taj način ubrzali započeti posao.

Spomenuli smo u početku, da ćemo ovdje razmatrati pitanje prognoze radijacionog mraza. U našim se krajevima, međjutim, mogu pojaviti i advektivni mrazovi, koji se samo pomoću gornjim metoda ne mogu predvidjeti. Da se predvidi i mogućnost dotjecanja hladnog zraka, treba još poznavati vremenske prilike i u našem susjedstvu, t.j. i sinoptičku situaciju. No, mraz nastaje najčešće za vrijeme vedrih i mirnih noći, a ova je metoda baš za takve slučajeve i izradjena.

2. Odredjivanje minimuma pomoću metode dnevnog maksimuma i relativne vlage u času maksimuma prvi put je upotrebio engleski meteorolog W.E. S a u n d e r s (12,13,14), i dao izraze za odredjivanje minimuma na nekoliko mjesta u Engleskoj 1952 godine i kasnije. T.H. P a r r y (8), E.D. R o b e r t s (11), W.E. R i c h a r d s o n (10) i drugi primijenili su ovu metodu na niz drugih mjesta. Ova metoda iskušana je po prvi put u našoj zemlji godine 1956 na podacima opservatorija Zagreb-Grič (9).

Spomenuti autori polaze zapravo od utvrdjene činjenice, da se kod vedrih dana na krivulji opadanja temperature javlja lom ili diskontinuitet u brzini ohladjivanja. Sto se ovdje razumijeva pod lomom u brzini ohladjivanja najbolje će ilustrirati slika 1.



Sl. 1. Lom ili diskontinuitet na krivulji opadanja temperature

U večernjim satima prelazi se u času loma s naglog ohladjivanja na sporije. U istom vremenskom razmaku, recimo u jednom satu prije loma, ohladjivanja na pr. na Griču iznosi oko 1 do 2°C, dok u satu poslije loma iznosi samo 0,3 do 0,7°C. Slično je i na ostalim mjestima. Lom se javlja prilično pravilno u određeno vrijeme nakon sunčeva zalaza. Na Griču to na pr. iznosi 1 sat i više. Slično i drugdje.

Istraživanja su pokazala, da se iznos temperature u času loma t_l može izračunati iz zbroja maksimalne temperature, t_{maks} i rosišta τ u času maksimuma. Veza između t_l , t_{maks} i τ dana je u obliku

$$t_l = a(t_{maks} + \tau) + b \quad /2.1/$$

Dosadašnja istraživanja pokazala su, da se za koeficijent a može uzeti vrijednost 0,5 tako, da gornja jednadžba /2.1/ glasi

$$t_l = 0,5(t_{maks} + \tau) + b \quad /2.2/$$

gdje je b koeficijent, koji se izračunava statističkim metodama iz meteoroloških podataka pomoću izraza

$$b = t_l - 0,5(t_{maks} + \tau) \quad /2.3/$$

Pokazalo se međjutim, da se na većini stanica s većom točnošću dobivaju vrijednosti temperature u času loma t_l , ako se uzme u obzir i relativna vlaga zraka u času dnevnog maksimuma. Zbog praktične primjene podijeljena je relativna vlaga u dvije grupe i to tako, da je relativna vlaga od 40% granica, koja podatke raspolavlja. U slučaju da je relativna vlaga ispod 40% izračunava se t_l po jednoj jednadžbi, a ako je iznad 40%, po drugoj. Ovakvu razdiobu relativne vlage nije bilo moguće izvršiti na stanicama Križevci i Maksimir, jer je bilo premalo slučajeva s vlagom $u < 40\%$. Zato za ove stanice postoji samo po jedna jednadžba za t_l .

Broj slučajeva, iz kojih je izračunavana vrijednost konstante za pojedina mjesta, kretao se od 30 do 90, a srednje odstupanje između 0,5 i 0,8. Ako se konstanta b , određena za svako od promatranih mjesta, uvrsti u relaciju /2.2/, dobiju se ovi izrazi za temperaturu u času loma (v./2.4/).

KRIŽEVCI

Vlaga nije dijeljena u grupe $t_l = 0,5(t_{maks} + \tau) - 4,0$

OSIJEK

Relativna vlaga $\cong 39$ $t_l = 0,5(t_{maks} + \tau) + 3,0$
Relativna vlaga $\cong 40$ $t_l = 0,5(t_{maks} + \tau) - 0,7$

SL. BROAD

Relativna vlaga $\cong 39$ $t_l = 0,5(t_{maks} + \tau) - 1,2$
Relativna vlaga $\cong 40$ $t_l = 0,5(t_{maks} + \tau) - 1,7$ /2.4/

VARAŽDIN

Relativna vlaga $\cong 39$ $t_l = 0,5(t_{maks} + \tau) + 1,4$
Relativna vlaga $\cong 40$ $t_l = 0,5(t_{maks} + \tau) - 0,6$

ZAGREB-GRIČ

Relativna vlaga $\cong 39$ $t_l = 0,5(t_{maks} + \tau) + 3,4$
Relativna vlaga $\cong 40$ $t_l = 0,5(t_{maks} + \tau) + 2,5$

ZAGREB-MAKSIMIR

Vlaga nije dijeljena u grupe $t_l = 0,5(t_{maks} + \tau) - 2,6$

Poznavajući dakle maksimalnu temperaturu i rosište u času maksimuma, može se izračunati večernja temperatura u času loma t_l po jednadžbama sistema /2.4/.

Ispitivanja su pokazala, da je opadanje temperature od večera do jutra za vrijeme vedrih noći gotovo konstantno u toku jednog dijela godine. Na opservatoriju Zagreb-Grič noćno ohladjivanje na pr. iznosi oko $5,5^{\circ}\text{C}$. U drugim mjestima ima drugu vrijednost, ali opet ko-

nstantnu. Na taj način postoji dakle uska veza između večernje temperature t_l i jutarnjeg minimuma. Veza i u ovom slučaju ima linearni oblik:

$$t_l = m t_{\min} + n \quad /2.5/$$

gdje je t_l temperatura loma, t_{\min} minimalna temperatura naredne noći a m i n su konstante, koje se dobiju metodom najmanje sume kvadrata iz meteoroloških podataka.

Razlika između jutarnje minimalne temperature i večernje temperature loma je drukčija u toplo, a drukčija u hladno godišnje doba. Toplo godišnje doba ovdje predstavlja razdoblje od IV. do IX. mjeseca, a hladno razdoblje od X. do III. mjeseca. Zato je posebno dana veza između t_l i t_{\min} za hladno, a posebno za toplo godišnje doba. No kako su zbog grupiranja vlage podaci već dosad bili podijeljeni u dvije grupe, dobit ćemo novom diobom za većinu mjesta četiri jednadžbe, koje vežu t_n i t_{\min} .

Za promatrana mjesta te jednadžbe imaju slijedeći oblik:

KRIŽEVCI

nema grupe za vlagu	IV.-IX.mj.	$t_l = 1,1 \cdot t_{\min} + 4,8$
	X.-III.mj.	$t_l = 1,2 \cdot t_{\min} + 5,6$

OSIJEK

rel. vlaga $\cong 39$	IV.-IX.mj.	$t_l = 1,1 \cdot t_{\min} + 9,7$
	X.-III.mj.	$t_l = 1,3 \cdot t_{\min} + 9,2$
rel. vlaga $\cong 40$	IV.-IX.mj.	$t_l = 1,0 \cdot t_{\min} + 7,9$
	X.-III.mj.	$t_l = 0,8 \cdot t_{\min} + 7,3$

SL. BROT

rel. vlaga $\cong 39$	IV.-IX.mj.	$t_l = 1,0 \cdot t_{\min} + 8,7$
	X.-III.mj.	$t_l = 1,1 \cdot t_{\min} + 7,4$
rel. vlaga $\cong 40$	IV.-IX.mj.	$t_l = 0,9 \cdot t_{\min} + 8,6$
	X.-III.mj.	$t_l = 1,0 \cdot t_{\min} + 7,3$

VARAŽDIN

rel. vlaga $\cong 39$	IV.-IX.mj.	} $t_l = 0,7 \cdot t_{\min} + 10,7$
	X.-III.mj.	
rel. vlaga $\cong 40$	IV.-IX.mj.	$t_l = 0,7 \cdot t_{\min} + 10,1$
	X.-III.mj.	$t_l = 1,7 \cdot t_{\min} + 10,2$

ZAGREB-GRIČ

nema grupe za vlagu	IV.-IX.mj.	$t_l = 1,4 \cdot t_{\min} + 4,9$
	X.-III.mj.	$t_l = 1,1 \cdot t_{\min} + 4,6$

ZAGREB-MAKSIMIR

nema grupe za vlagu	IV.-IX.mj.	$t_l = 1,1 \cdot t_{\min} + 4,2$
	X.-III.mj.	$t_l = 1,2 \cdot t_{\min} + 6,0$

Kako je veza između temperature u času loma t_l i zbroja maksimalne temperature t_{\max} i rosišta τ dana linearnom vezom, a veza između minimalne temperature t_{\min} i temperature loma t_l ima također linearni oblik, to se može naći direktna veza između t_{\min} i zbroja $t_{\max} + \tau$. Nova veza također će biti linearna, a dobije se eliminacijom veličine t_l iz jednadžbi /2.2/ i /2.5/ i glasi

$$t_{\min} = \frac{0,5}{m} (t_{\max} + \tau) + \frac{b-n}{m} \quad /2.7/$$

Značenje simbola dano je ranije. Ovo je zapravo jednadžba /1.8/.

Iz izraza /2.7/ vidi se, da se jutarnja minimalna temperatura u slučaju vedrog i mirnog vremena može izračunati iz dnevnog maksimuma i rosišta u času maksimuma, a to znači već oko 15 ili 16 sati.

U našem slučaju izraz /2.7/ ima za promatrana mjesta ovakav oblik:

KRIŽEVCI

nema grupe za vlagu IV.-IX.mj. $t_{min} = 0,5 (t_{maks} + \tau) - 10,1$
 X.-III.mj. $t_{min} = 0,4 (t_{maks} + \tau) - 7,8$

OSIJEK

rel. vlaga $\cong 39$ IV.-IX.mj. $t_{min} = 0,5 (t_{maks} + \tau) - 6,9$
 X.-III.mj. $t_{min} = 0,4 (t_{maks} + \tau) - 4,9$

rel. vlaga $\cong 40$ IV.-IX.mj. $t_{min} = 0,5 (t_{maks} + \tau) - 8,4$
 X.-III.mj. $t_{min} = 0,6 (t_{maks} + \tau) - 9,6$

SL. BROAD

rel. vlaga $\cong 39$ IV.-IX.mj. $t_{min} = 0,5 (t_{maks} + \tau) - 10,0$
 X.-III.mj. $t_{min} = 0,5 (t_{maks} + \tau) - 7,9$

rel. vlaga $\cong 40$ IV.-IX.mj. $t_{min} = 0,5 (t_{maks} + \tau) - 11,3$
 X.-III.mj. $t_{min} = 0,5 (t_{maks} + \tau) - 9,1$ /2.8/

VARAŽDIN

rel. vlaga $\cong 39$ IV.-IX.mj. } $t_{min} = 0,7 (t_{maks} + \tau) - 13,3$
 X.-III.mj. }

rel. vlaga $\cong 40$ IV.-IX.mj. $t_{min} = 0,7 (t_{maks} + \tau) - 15,3$
 X.-III.mj. $t_{min} = 0,3 (t_{maks} + \tau) - 6,4$

ZAGREB-GRIČ

rel. vlaga $\cong 39$ IV.-IX.mj. $t_{min} = 0,5 (t_{maks} + \tau) - 1,5$
 X.-III.mj. $t_{min} = 0,4 (t_{maks} + \tau) - 1,2$

rel. vlaga $\cong 40$ IV.-IX.mj. $t_{min} = 0,5 (t_{maks} + \tau) - 4,5$
 X.-III.mj. $t_{min} = 0,4 (t_{maks} + \tau) - 2,4$

ZAGREB-MAKSIMIR

nema grupe za vlagu IV.-IX.mj. $t_{min} = 0,5 (t_{maks} + \tau) - 6,2$
 X.-III.mj. $t_{min} = 0,4 (t_{maks} + \tau) - 7,2$

Poznavajući dakle maksimalnu temperaturu i rosište u času maksimuma, može se pomoću gornjih izraza /2.8/ izračunati korika će biti minimalna temperatura narednog jutra u promatranim mjestima. Kako su pak ova mjesta prilično reprezentativna za svoje područje, može se uzeti, da će se i u okolici dotičnog mjesta temperatura slično vladati.

Promatrajući gornje izraze vidi se dapače, da su oni na pojedinim mjestima međusobno jako slični. To nas vodi na pomisao, da bi se u nekom mjestu, gdje postoji meteorološka stanica, a nema izračunane jednadžbe, moglo vršiti prognosticiranje minimuma po jednadžbi nekog drugog mjesta, koje mu po svojoj konfiguraciji, vrsti tla i biljnom pokrovu najbolje odgovara.

Tako je na pr. za Bistrac statistički utvrđeno na dvogodišnjem materijalu, da se prognosticiranje minimuma iz podataka meteorološke stanice, koja je tamo smještena, može vršiti pomoću izraza za

Križevce, s time, da se ne uzima dnevni maksimum temperature, nego podaci od motrenja u 14 sati. Jednadžbe za Bistrac imaju slijedeći oblik

BISTRAC

nema grupe za vlagu IV.-IX.mj. $t_{\min} = 0,5 (t_{14} + \tau_{14}) - 10,1$
X.-III.mj. $t_{\min} = 0,4 (t_{14} + \tau_{14}) - 7,8/2.8'$

3. izračunavanje minimuma pomoću izraza /2.8/ i u /2.8'/ zahtijeva da se poznaje

- a) dnevni maksimum
- b) relativna vlaga u tom času.

iz tih podataka treba onda pomoću psihometrijskih tablica naći rosište τ .

Navedene podatke dobivamo na točnije iz dijagrama registri-
rskih instrumenata termografa i higrografa. Prije izvođenja samih računa treba izvršiti korekciju podataka, koji su očitani na dijagramima. Korekcija se izvodi tako, da se upotrebe podaci, koji su dobiveni motrenjem u 14 sati to a dana. Razlike, koje su nadjene između termometra (suhog) i termografa i psihometra i higrografa dodaju se ili odbiju od podataka očitanih s autografa u času maksimuma, već prema tome da li su pozitivne ili negativne.

Pomoću psihometrijskih tablica iz korigirane vrijednosti maksimalne temperature t_{\max} i relativne vlage u nadje se rosište τ . No ovakav način izračunavanja rosišta prilično je dugotrajan. Zato sam odlučio izraditi jedan dijagram iz kojeg bi se moglo naći rosište bez upotrebe psihometrijskih tablica. To je postignuto iz slijedeć dviju jednadžbi;

- a) iz definicije relativne vlage

$$u = \frac{e}{E} \quad /3.1/$$

gdje je e stvarni tlak vodene pare, a E maksimalni tlak vodene pare za danu temperaturu t .

- b) iz Magnus-Tetensove formule za izračunavanje maksimalnog tlaka pomoću dane temperature

$$E = C.10^{\frac{at}{b+t}} \quad /3.2/$$

gdje su a i b konstante, koje zavise o agregatnom stanju vode.

Iz navedenih izraza /3.1/ i /3.2/ odmah se vidi, da je relativna vlaga

$$u = f(t, e) \quad /3.3/$$

Ako se na pravokutnom koordinatnom sistemu na os apscisa nanese temperatura, a na os ordinata tlak pare, moći će se gornja veza /3.3/ lako grafički prikazati. Relativna vlaga će se na takovu dijagramu biti predstavljena eksponencijalnim krivuljama (v. priloženi dijagram).

Kako se pak jednadžba /3.2/ može napisati i u obliku

$$e = C.10^{\frac{at}{b+t}} \quad /3.4/$$

vidi se odmah, da se os ordinata može prenumerirati tako, da se mjesto tlaka pare e stavljaju vrijednosti za rosište τ . Time je dijagram za izračunavanje rosišta iz podataka o temperaturi i vlazi gotov.

Detaljniji opis dijagrama neće ovdje dati, jer je radnji priložen sam dijagram. Dat će se samo upute, kako se pomoću tog dijagrama izračunava rosište. To se radi na slijedeći način:

- a) Na horizontalnoj osi potraži se vrijednost, koja odgovara maksimalnoj temperaturi,
- b) od te se vrijednosti podje po dijagramu prema gore, dok se ne dodje do krivulje, koja odgovara onoj vlazi, što smo je dobili

nakon korekcije higrografa. Ako krivulja za dotičnu vrijednost relativne vlage ne postoji (to će biti čest slučaj), treba od oka odrediti mjesto, gdje bi se nalazila vrijednost tražene vlage na dijagramu u odnosu na nacrtane krivulje.

c) kad se pronadje tražena relativna vlaga, podje se od nje u lijevo do skale za rosište, tj. ordinate i to tako, da se ide po onoj crti milimetarskog papira, koja prolazi sjecištem relativne vlage i maksimalne temperature. Mjesto, gdje ta crta siječe os ordinate, pokazuje traženo rosište.

Kad se tako dobiveni podatak o rosištu na nekoj stanici uvrsti u onu jednadžbu iz sistema /2.8/, koja je izradjena za to mjesto, dobije se minimalna temperatura t_{\min} . Kod toga treba samo paziti na to, u kojem se godišnjem dobu nalazimo i da li imamo relativnu vlagu iznad ili ispod 40%.

Da se pak ne bi morale svakodnevno upotrebljavati jednadžbe za izračunavanje t_{\min} , mogu se izraditi tabele, iz kojih se, poznavajući zbroj $t_{\max} + \tau$, odmah pročita koliki je minimum. Te tabele mogu biti ispisane na samim dijagramima. To je i učinjeno za sva promatrana mjesta. Na taj je način postupak izračunavanja minimuma veoma pojednostavljen. Jutarnji minimum izračunava se naprosto pomoću tablica, a iz podataka o temperaturi i vlazi u času dnevnog maksimuma.

Kod upotrebe ove metode dobro je imati na umu slijedeće napomene:

a) Ova se metoda može s uspjehom upotrebljavati samo u onim slučajevima, kad se nakon pretežno ili potpuno vedrog dana očekuje vedra i mirna noć bez advekcije, tj. dotjecanja ili prodiranja hladnog zraka.

b) Ova metoda omogućuje da saznamo hoće li biti mraza ili ne. Ali ne samo to; pomoću nje može se predvidjeti i kolika će biti minimalna temperatura po svojoj vrijednosti.

U slučaju oblačne ili vjetrovite noći stvarni minimum bit će daleko viši od ovako izračunatog.

c) Podaci, koji se dobiju ovom metodom, odnose se na visinu meteorološkog zaklona.

d) Ova se metoda prilagodjuje za svako mjesto posebno. Prema tome izrazi, po kojima se računa minimalna temperatura ili tabele, iz kojih se ona vadi, imaju za svako mjesto nešto drukčiji oblik i mogu se sa sigurnošću upotrebljavati samo na onim mjestima, za koja su računani.

e) Ovom metodom može se prognosticirati minimum veoma jednostavno na onim stanicama gdje postoji termograf i higrograf.

f) Informativni podatak o minimalnoj temperaturi može se ovom metodom dobiti i na onim stanicama, koje ne raspolažu autografima. Tu se mogu upotrebiti obični ili maksimalni termometri. Treba paziti samo da se uoči čas nastupa maksimuma, kako bi se u tom času mogla pročitati vlaga.

g) Približni se podatak o minimumu ovom metodom može nadalje dobiti i na onim stanicama, kojima ona nije posebno prilagodjenja. Postupa se na taj način, da se t_{\min} računa po jednadžbi najbližeg mjesta koje po svojem smještaju, konfiguraciji terena, vrsti tla i sličnosti. biljnog pokrova najbolje odgovara.

4. Interesantno je pogledati, kakvi se rezultati dobivaju upotrebom ove metode. Dakako, tu se ne raspolaže nekim iskustvom, jer se metoda tek ovog proljeća počela upotrebljavati, ali je metoda primijenjena na stari materijal i ispitane su po dvije godine, iz kojih se nisu uzimali podaci za izračunavanje ovih jednadžbi za svaku stanicu. Dobiveni su slijedeći rezultati:

KRIŽEVCI. Izračunani minimum je u 95% slučajeva bio niži od stvarnog. Razlika t_{\min} izrač. - t_{\min} stvar. = Δ varira od 0,5 do -2,8. Srednje odstupanje iznosi -0,7°C.

OSIJEK. Izračunani minimum je u 98% slučajeva bio niži od stvarnog. Δ varira od 0,4 do -2,3. Srednje odstupanje iznosi -1,1°C.

SL. BROAD. Izračunani minimum je u 99% slučajeva bio niži od stvarnog. Δ varira od 0,3 do -3,0. Srednje odstupanje iznosi -2,0°C.

BISTRAV. Izračunani minimum je u 97% slučajeva niži od stvarnog. Δ varira od 0,5 do -2,7. Srednje odstupanje iznosi -1,6.

ZAGREB-GRİČ. Izračunani minimum je u preko 50% slučajeva niži od stvarnog. Δ varira od -1,5 do +1,5. Srednje odstupanje iznosi 0,0°C.

ZAGREB-MAKSIMIR. Izračunani minimum je u 90% slučajeva niži od stvarnog. Δ varira od -1,5 do 0,5. Srednje odstupanje iznosi -1,0°C.

VARAŽDIN. Izračunani minimum je u 85% slučajeva niži od stvarnog. Δ varira od 1,0 do -2,0. Srednje odstupanje iznosi -1,3°C.

Prema tome kod većine mjesta nije potrebno uzimati nikakve dodatne sigurnosne koeficijente. U većini slučajeva bit će stvarna temperatura viša od vrijednosti, koja se dobije ovom metodom. No kako se dobiveni rezultati odnose na visinu meteorološkog zaklona, ovako prognosticirani minimum u većini slučajeva slagat će se s onim pri tlu.

Iz svega što je do sada izneseno, vidi, se, da ova metoda ispunjava sva četiri uvjeta, što ih poljoprivredna služba stavlja pred metode za izračunavanje minimuma, tj.:

- 1) Zadovoljavajuću točnost prognosticiranog minimuma,
- 2) mogućnost izračunavanja i iznosa minimalne temperature,
- 3) što raniju prognozu (14 - 15) sati, i
- 4) jednostavnost, ako se upotrebljava dijagram i tabela.

5) Pomoću izraza /2.8/ i /2.8'/ može se već između 14 i 16 sati dobiti slika razdiobe minimalnih temperatura u nizinskom području Hrvatske i, u slučaju da zaprijeti opasnost od mraza, može se na vrijeme izdati obavijest o opasnosti putem radija ili drukčije, i na vrijeme poduzeti zaštitne mjere na mjestima, gdje je to potrebno i gdje postoje za to uvjeti.

Praktičnu upotrebu ove metode prognosticiranja minimuma temperature zamišljam na slijedeći način:

a) Na samim meteorološkim stanicama omogućeno je motriteljima da zainteresiranim osobama daju u poslijepodnevnim satima vedrih proljetnih i jesenskih dana podatke o minimalnoj temperaturi, koja se očekuje naredne noći. Ponovno se upozoruje, da se na ovaj način može izračunati pad temperature samo zbog noćnog žarenja tla. Advekcija je isključena.

b) U sinoptičkom ili agrometeorološkom odsjeku trebalo bi uvesti službu prognosticiranja minimuma pomoću gornjih izraza. Služba bi se sastojala u tome, da bi dežurni, pošto je putem telefona dobio podatke o maksimalnoj temperaturi i vlazi u času maksimuma iz spomenutih mjesta, izračunao minimume, koji se naredne noći očekuju u tom području. Zatim bi ocijenivši sinoptičku situaciju vidio, gdje postoji mogućnost stvaranja mraza, a gdje ne. Nakon toga njegov bi zadatak bio da putem radiostanice obavijesti zainteresirane, gdje se može očekivati mraz, kako bi se na vrijeme mogle poduzeti zaštitne mjere. Obavijest bi se mogla izdati već oko 16 sati.

LITERATURA:

- (1) A. Angstrom: Studien über das Frostproblem (Met. Zeit. 1921. pp. 119-121)
- (2) A. Defant: Die nächtliche Abkühlung der Luftschichten (Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss., math. nat. Kl. Abt. II. a, 125 Bd.)
- (3) R. Faust: Ein Hilfsmittel zur Nachtfrostvorhersage (Ann. d. Met 1949. pp. 105-111.)
- (4) A. Kammermann: Die Vorausbestimmung des nächtlichen Temperaturminimums (Met. Zeit. 1886. pp. 124-128)
- (5) C. Lang: Die Vorausbestimmung des Nachtfrostes (Das Wetter 1887)
- (6) H. Mollwo: Temperaturminimum und Taupunkt (Met. Rund. 1951. p. 175)
- (7) S. Otorepec: Rani i pozni mrazevi s naročitim osvrtom na njihovu pojavu u Vojvodini (Vesnik HMS/FNRJ god. V.-1956.)
- (8) T. H. Parry: Night Cooling under Clear Skies at Shawbury (Met. Mag. Vol. 82-1953. p. 368)
- (9) I. Penzar: Diskontinuitet na krivulji opadanja temperature u vedrim noćima („Radovi“ Geofizičkog instituta-Zagreb, 1956. Ser. III. Br. 5)
- (10) W. E. Richardson: Night Cooling under Clear Skies at high-level Stations in Cumberland (The Met. Mag. Vol. 84.-1955.- p. 301)
- (11) E. D. Roberts: Night Cooling under Clear Skies at Mildenhall (The Met. Mag. Vol. 84.-1955.-p. 48)
- (12) W. E. Saunders: Some further Aspects of Night Cooling under Clear Skies (Quart. J. R. M. Soc. Vol. 78-1952.-p. 603)
- (13) W. E. Saunders: Night Cooling under Clear Skies, Exeter Airport (The Met. Mag. Vol. 83-1954.-p. 9)
- (14) W. E. Saunders: Night Cooling under Clear Skies at Coastal Stations (The Met. Mag. Vol. 84.-1955.-p. 76)
- (15) J. W. Smith: Predicting minimum temperatures (Month. Weath. Rev. 1917.-p. 402)
- (16) B. Šimić: O rezultatima predviđanja noćnog mraza po metodi R. Fausta (Vesnik HMS/FNRJ god. II. p. 21)

SUMMARY

Contribution to the Frost Forecasting in Our Country

1. Recently, our agriculture has been showing an increased interest in means for crop protection against frost. But in order to make the preparations for the use of such means, the minimum temperature expected for the incoming night has to be known.

Today, many methods are employed for morning minimum temperature forecasts. Several of the simpler ones are described here with emphasis on their shortcomings which render them useless for such purposes.

One method, possibly satisfying the requirements, of agriculture, is to calculate the minimum temperature t_{\min} from the daily maximum temperature t_{\max} and dew-point data. This is why this method has been chosen and adopted in the following stations in Croatia: Pistrac near Samobor, Brod, Križevci, Osijek, Zagreb-Grič, Zagreb-Maksimir, and Varaždin.

Relation between values of t_{\min} , t_{\max} , and τ is given in equation /1.8/. In order to find this relation, data of 3 or 4 previous years have been processed. Only clear and calm days (cloudiness less than 2/10 except Ci, wind less than 2 B) were taken into consideration.

2. A short historical review of this method, and evolution of the equation /1.8/ follow.

Our starting point is that the value of the evening temperature t_e at the moment of cooling discontinuity (see fig. 1) can be derived from the expression /2.1/. As the value of 0.5 can be used for the coefficient a , thus the constant b remains to be defined. It is defined empirically by means of the expression /2.3/.

It is found that the temperature t_e can be calculated more precisely if relative humidity at the moment of maximum is taken into account, too. For the stations mentioned, two equations each of the type /2.1/, were calculated. The first one pertains to such cases when humidity is less than 40% ($u \leq 39$), and the latter to the cases of humidity over 40% ($u \geq 40$). Their form is given in the system /2.4/. There is only one equation for Križevci and Zagreb-Maksimir respectively, because of rare occurrence of $u < 40$ cases there.

Between the evening discontinuity temperature t_e and the morning minimum t_{\min} there is a relation expressed in the form /2.5/. Constants m and n are arrived at by the least-squares method. But this relation between the values t_e and t_{\min} shows a difference for the April-September period from the one in the October-March period. Thus it is necessary to find two equations of the type /2.5/, for the cold and warm seasons respectively. On account of the former division of the relative humidity into two groups, through this additional division we get a double number of equations for each station. They are presented in /2.6/.

From the equations /2.2/ and /2.5/ follows that it is possible to find the relation between t_{\min} , t_{\max} , and τ by means of the expression /2.7/, which is really a generalized form of the equation /1.8/.

The final form of the equations for calculating the minimums at the surveyed weather stations, is presented in systems /2.8/ and /2.8'/.

3. Practical instruction as to the t_{\min} determination is given. To this end, it is necessary to know t_{\max} , and humidity u at the moment of maximum. These data are most readily obtainable from a thermograph and a hygograph. τ is found in psychrometric tables. This procedure can be simplified though, by determining τ by means of the enclosed diagram. In it, there are drawn curves

$$u = f(t, e)$$

/3.3/

where u is relative humidity, t is temperature, and e is vapor pressure. This relation is obtainable from the relative humidity definition /3.1/ and the Magnus-Tetens formula /3.2/. Value e on the x-axis can be replaced by τ , for the two values are related in the expression /3.4/. In this diagram the dewpoint can be determined by starting from the maximum temperature value on the x-axis, then upward do the curve corresponding to the relative humidity, and from here to the left where τ is immediately read on the y-axis.

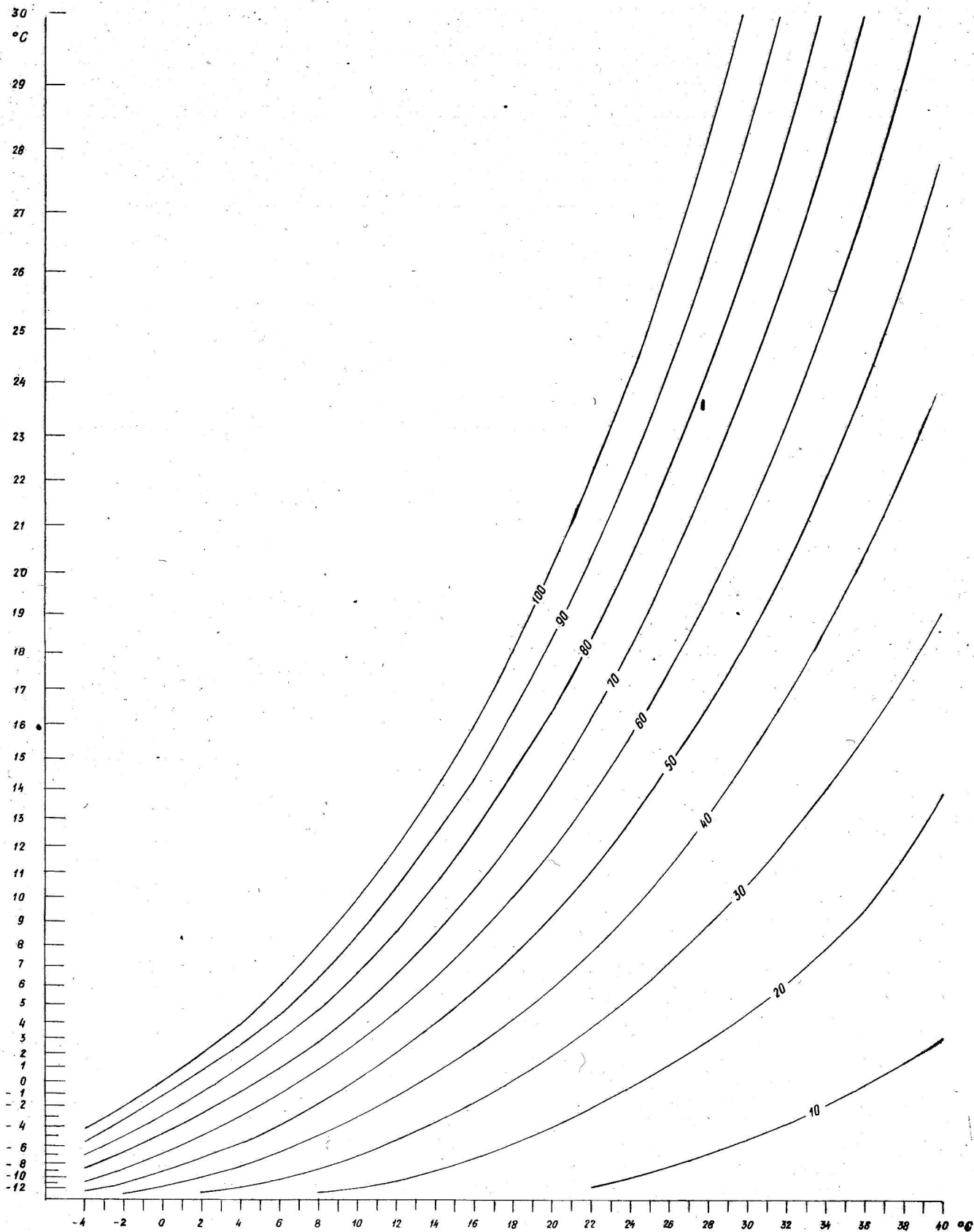
So to avoid everyday calculations of t_{\min} by using equations /2.8/ tables can be made which will directly yield this value if the sum ($t_{\max} + \tau$) is known.

4. This method has been tested, with old data used, and satisfactory results were achieved. The calculated minimum was generally 1-2 degrees Centigrade lower than the actual one.

This is what makes this method very practical. It completely satisfies agricultural needs. Its big advantage lies in the fact that frost forecasts can be issued as early as about 4 p.m.

5. It is proposed that not only weather stations use this method, but that synoptic or agrometeorological centers establish frost forecast services as well. Data so obtained for t_{\min} could be thus fortified or amended by synoptical situation. Such centers would be able then even to give farmers pertinent information through the press or by radio broadcasts.

ROSIŠTE t



TEMPERATURA ZRAKA t