

O METODICI IZRADE KLIMATOLOŠKIH KARATA U VEZI S POJAVOM HLADNIH DANA

I. PENZAR, B. PENZAR, B. VOLARIC

U okviru klimatskog atlasa Jugoslavije što ga izdaje Savezni hidrometeorološki zavod izaći će i četiri karte koje sadrže podatke o tzv. hladnim danima. Budući da pri izradi takvih karata nije primjenljiv relativno jednostavni postupak koji se upotrebljava kod kartiranja većine klimatoloških elemenata, odlučili smo ovdje pobliže prikazati na koji su način neke od tih karata bile izrađene na Geofizičkom zavodu u Zagrebu.

Pod hladnim danom smatra se u meteorologiji onaj dan kad je temperatura zraka mjerena u meteorološkoj kućici, tj. na visini oko 2 m bar neko vrijeme bila manja od 0°C ($t_{\min} < 0.0^{\circ}\text{C}$). To je dakle dan kad vodena površina u prirodi može biti smrznuta. Nijemci takve dane zovu Frosttagen, Englezi Freeze ili Frost days, a međutim beogradskim je meteorolozima u običaju naziv dani s mrazom. Kod nas se takav naziv ne bi smio upotrebljavati, jer dovodi u zabludu da se radi o pojavi mraza (slana, Reif) koju označujemo simbolom \square . Ta pojava međutim nastupa kad je temperatura zraka pri tlu izvjesno vrijeme manja od 0° i ako uz to zrak sadrži još i odgovarajuću količinu vlage.

Spomenute četiri karte u Atlasu sadrže ove podatke:

- Srednji broj hladnih dana u godini
- Srednji početak razdoblja u kojem se pojavljuju hladni dani
- Srednji svršetak razdoblja u kojem se pojavljuju hladni dani
- Srednja duljina razdoblja u kojem nema hladnih dana.

U prvi mah moglo bi se pomisliti da karte a) i d) sadrže iste podatke, točnije da se podatak za kartu d) može dobiti ako se od 365 odbije odgovarajući podatak s karte a). Tome međutim nije tako, jer svi hladni dani u godini ne nastupaju uzastopce i ne čine jedno cjelovito razdoblje u kome je svakog dana $t_{\min} < 0^{\circ}$. Među njima ima kraćih ili duljih toplijih razdoblja, kad se temperatura uoće ne spušta ispod ništice. Stoga je broj hladnih dana u godini redovito manji nego što iznosi duljina razdoblja u kojem se takvi

dani pojavljuju. Ilustrirat ćemo to podacima za Osijek iz razdoblja 1925 — 1940:

srednji broj hladnih dana	79,4
srednji početak razdoblja s hladnim danima	11. XI
srednji svršetak razdoblja s hladnim danima	1. IV
srednja duljina razdoblja bez hladnih dana	223 dana
(odnosno sr. duljina razdoblja u kojem nastupaju hladni dani: 365 — 223 = 142 dana).	

No podaci na kartama pod b, c i d su međusobno povezani, te se iz dva poznata može treći izračunati. Te je tri karte radila ekipa meteorologa na Geofizičkom zavodu i samo o tim kartama će u ovom tekstu dalje biti govora.

Osnovne podatke za svaku stanicu izračunali su republički Hidrometeorološki zavodi standardnim postupkom koji se upotrebljava u meteorologiji. Naime za svaku godinu upotrebljenog niza ustanovljeno je kad se u jesen pojavio prvi hladni dan, te je dotični datum prikazan svojim rednim brojem koji mu u godini pripada. Iz niza takvih rednih brojeva lako je izračunati njihovu srednju vrijednost i pretvoriti je natrag u datum koji tako predstavlja srednji početak razdoblja u kojem nastupaju hladni dani. Analogno je određen i srednji svršetak takvog razdoblja. Srednja duljina razdoblja bez hladnih dana dobiva se kao razlika srednjeg početka i svršetka izraženih ne u datumima nego u rednim brojevima koji im u godini pripadaju, od koje još treba oduzeti jedinicu. (U gornjem primjeru za Osijek datumu 11. XI odgovara redni broj 315, a datumu 1. IV broj 91. Razdoblje bez hladnih dana je dakle dugo $315 - 91 - 1 = 223$ dana, jer su 315. i 91. dan u godini još hladni.)

Svi podaci o hladnim danima izračunani su iz niza mjerenja temperature u razdoblju 1931 — 1960, te predstavljaju srednje vrijednosti za to razdoblje. Za stanice koje su u tih 30 godina imale prekida u mjerenju temperature, podaci su, također u hidrometeorološkoj službi, svedeni na razdoblje 1931 — 1960 metodom diferencija. Tako su autori karata dobili od Saveznog hidrometeorološkog zavoda gotove podatke za srednji početak i svršetak te srednje trajanje u razdoblju 1931 — 1960 za 288 stanica. Raspored tih stanica po republikama i po nadmorskim visinama prikazan je u tablicama koje slijede.

Tab. 1. Raspored meteoroloških stanica kojih su podaci služili za izradu klimatskih karata — po republikama i visinama

Table 1. Distribution of the meteorological stations for which the date for climate map making were used — by republics and altitudes

	Slov.	Hrv.	Srb.	BiH	CG	Mak.	Ukupno
broj stanica	41	70	88	45	15	29	288
		od toga					
ispod 500 m	29	58	70	23	7	16	203
500 — 1000 m	10	9	11	16	7	10	63
iznad 1000 m	2	3	7	6	1	3	22

Tab. 2. Raspored meteoroloških stanica kojih su podaci služili za izradu klimatskih karata — po nadmorskim visinama

Table 2. Distribution of the stations for which the data climate map making were used — by the altitudes

Nadmorska visina m	Broj stanica	
	aps.	%
0 — 200	124	43
200 — 400	58	20
400 — 600	38	13
600 — 800	26	9
800 — 1000	20	7
1000 — 1200	12	4
1200 — 1400	6	2
1400 — 1600	1	0,5
1600 — 1800	2	1
1800 — 2000	0	0
2000 — 2200	1	0,5

Osim toga za orijentaciju je dobiveno još nekoliko podataka iz Bugarske i Rumunjske u blizini naše granice.

Jasno je da raspored stanica nije onakav kako bi to najbolje odgovaralo za izradu meteorološkog kartografskog prikaza. Broj stanica u pojedinim intervalima nadmorske visine nije npr. proporcionalan površini koju dotična nadmorska visina zauzima u Jugoslaviji, nego ovisi o gustoći naseljenih mjesta. To se može zaključiti iz prethodnih tablica iz kojih vidimo da se tri četvrtine podataka odnosi na nadmorske visine ispod 600 m. Stoga naravno treba odrediti postupak s pomoću kojeg će se na temelju poznatih vrijednosti moći izvršiti ekstrapolacija za ona područja u kojima nema mjerenih podataka, osobito za goroviti teren kakvog u nas ima mnogo. U biti taj se postupak osniva na poznavanju vertikalnog gradijenta meteorološke veličine koju promatramo, tj. promjene te veličine s nadmorskom visinom. To vrijedi općenito pri izradi klimatskih karata. Za mnoge elemente može se uzeti da se s visinom mijenjaju po linearnom, eksponencijalnom ili nekom drugom zakonu koji se daje matematički egzaktno izraziti. Takav je slučaj kod različitih srednjih temperatura zraka, kod veličina u vezi s maksimalnim temperaturama, tlaka zraka, srednjih količina oborine i sl, te tu nema većih poteškoća u određivanju vertikalnog gradijenta odnosno vrijednosti koju dotični elemenat ima na izvjesnoj nadmorskoj visini. No u našem slučaju s hladnim danima poznato je da vertikalni gradijent nije podložan nekoj jednostavnoj matematičkoj zakonitosti, nego da se mijenja kako na jednom mjestu s porastom visine tako i u istoj nadmorskoj visini na mjestima s različitom konfiguracijom terena. Kakvi su iznosi tog gradijenta i kolike su mu promjene trebalo je tek ustanoviti. Ovdje ćemo iznijeti rezultate do kojih smo došli na temelju podataka izmjerenih na 288 stanica u Jugoslaviji. Pri tom ćemo u daljnjem tekstu zbog kratkoće datum srednjeg početka raz-

doblja u kojem se pojavljuju hladni dani označavati slovom P, datum prednjeg svršetka takvog razdoblja slovom S, a duljinu razdoblja bez hladnih dana slovom D.

Vertikalne promjene veličina P, S i D

Da bi se ustanovile vertikalne promjene veličina P, S i D unesene su najprije vrijednosti tih veličina za svaku stanicu u koordinatne sustave s nadmorskom visinom stranice kao ordinatom. Da slika ne bi bila pregruba visinska razlika od 50 m prikazana je na skali ordinate razmakom 1 cm; na apscisama dijagrama za P i S dva susjedna datuma udaljena su po 0,5 cm, a na apscisi za D razmak između dva dana iznosi 0,2 cm. Sva tri dijagrama pokazala su u malim nadmorskim visinama vrlo široko i nepravilno razasute točke, a u većim visinama grupiranje točaka sve više prema lijevo na dijagramima za P i D i sve više prema desno na slici za S, što se grubo može nazvati povećanjem hladnoće s nadmorskom visinom.

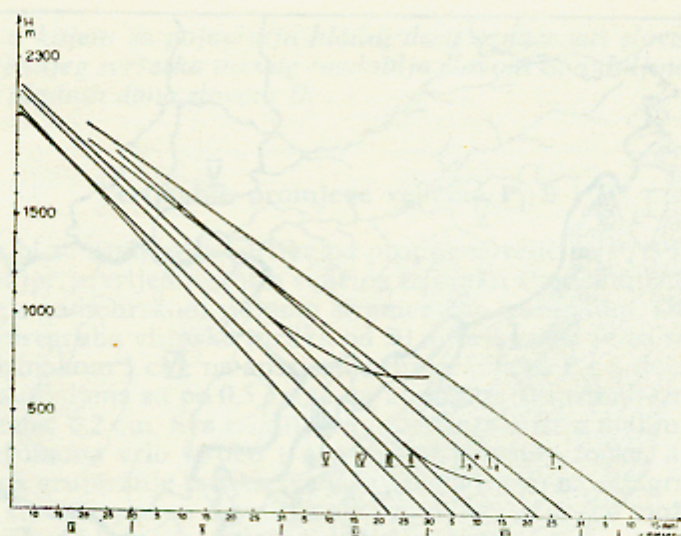
Nakon što su posebno označeni podaci stanica koje leže na obroncima i pošto je uvažen njihov geografski položaj, pokazalo se da se unutar Jugoslavije može razlikovati 5 predjela takvih da unutar svakog od njih vrijednosti kako za P tako za S i D mjerene na obroncima planina leže na pravcu. Predjeli su označeni brojevima I do V, s time što je obalni pojas I morao biti još podijeljen na nekoliko dijelova prema geografskoj širini i udaljenosti od mora (sl. 1). Granice među predjelima nisu oštro izraženi diskontinuiteti, kao što to nije uostalom niti jedna klimatska granica. Treba ih shvatiti prijelaznim područjem izvjesne širine u kome se miješaju utjecaji s jedne i s druge strane. Ta su prijelazna područja najuža tamo gdje prolaze hrptovima visokih planina, dok su u nizinama široka više od 10-ak km i difuzna. Na nekim mjestima nije se položaj granice mogao odrediti iz postojećih podataka. Tada smo promatrali napredovanje proljetnih i jesenskih prodora hladnog zraka i to pomoću sinoptičkih karata i dnevnih vrijednosti temperature na gustoj mreži danas postojećih meteoroloških stanica. Kad se takva analiza provede na više primjera onda postaje vidljivo na kojim mjestima obično nastupa diskontinuitet u nekim značajkama prodora, npr. u njegovoj brzini širenja ili intenzitetu hladnoće i tako se dolazi do položaja granice između dva predjela. Na takav je način ustanovljeno da velik broj hladnih prodora koji dopru u obalno područje izaziva spuštanje temperature ispod ništice duž cijele sjeverne obale. No zrak se na svom putu uz more grije, tako da minimalne temperature nakon prodora bivaju sve više idući prema jugoistoku. U mnogo slučajeva one su sve do Svilaje još niže od 0°C, ali istočno od te planine temperatura nakon hladnog prodora više ne padne ispod nule. Stoga smo granicu između sjevernog i južnog dijela obalnog predjela I naznačili upravo duž hrpta Svilaje.



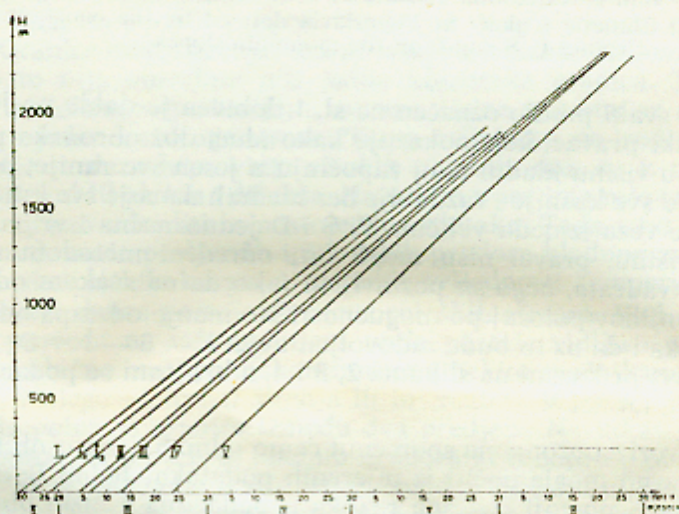
Sl. 1. Klimatski predjeli u Jugoslaviji definirani konstantnim vertikalnim gradijentima veličina P, S i D na planinskim obroncima
 Figure 1. Climatic regions in Yugoslavia defined by the constant lapse rate of values P, S and D on the mountain slopes

Za svaki predio označen na sl. 1 dobiven je dakle po jedan tzv. planinski pravac, koji pokazuje kako idući duž obronaka planina u sve veću visinu hladni dani započinju u jesen sve ranije, prestaju u proljeće sve kasnije i razdoblje bez hladnih dana je sve kraće. Budući da je veza između veličina P, S i D jednoznačna i vrijedi za bilo koju visinu, pravci nisu mogli biti određeni metodom najmanje sume kvadrata, nego su postavljeni tako da na svakom od tri dijagrama njihov položaj po mogućnosti što manje odstupa od stvarnih podataka i da uz to bude zadovoljen uvjet $P - S - 1 = D$. Planinski su pravci prikazani na slikama 2, 3 i 4, a broječni se podaci o njima nalaze u tablici 3.

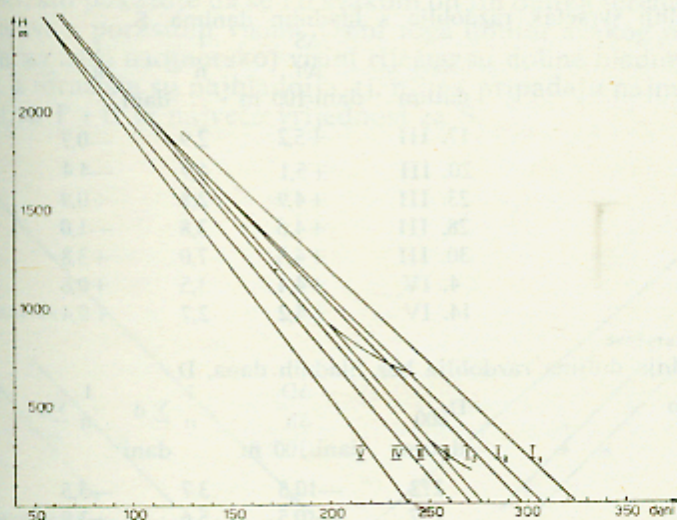
U vezi s obroncima spomenut ćemo odmah dvije osobitosti koje su se jasno mogle uočiti iz mjerenih podataka. Jedno je da unutar predjela I₂ postoji izvjesna razlika u podacima s nižih obronaka u zapadnom dijelu Istre, Slov. primorja i Ravnim Kotarima prema onima s istočne strane Učke ili s Velebita. U istoj nadmorskoj visini ovi su prvi nešto hladniji od posljednjih. Razlika se gubi idući u vis, a na 250 m iznosi 6 dana u početku i 7 dana u svršetku hladnog razdoblja te 13 dana u trajanju razdoblja bez hladnih dana. Smatra-



Sl. 2. Promjena veličine P s nadmorskom visinom duž planinskih obronaka u pojedinim klimatskim predjelima
 Figure 2. Change of the value P with the altitude along the mountain slopes in the single climatic regions



Sl. 3. Promjena veličine S s nadmorskom visinom duž planinskih obronaka u pojedinim klimatskim predjelima
 Figure 3. Change of the value S with the altitude along the mountain slopes in the single climatic regions



Sl. 4. Promjena veličine D s nadmorskom visinom duž planinskih obronaka u pojedinim klimatskim predjelima

Figure 4. Change of the value D with the altitude along the mountain slopes in the single climatic regions

Tab. 3. Neki podaci o pravcima koji pokazuju vezu veličina P, S i D s nadmorskom visinom duž planinskih obronaka (vrijednost na 500 m visine, vertikalni gradijent očitao s dijagrama za P i S na točnost 0,1 dan, a za D na točnost 0,5 dana, srednja odstupanja podataka od pravca na istoj visini i broj upotrebljenih stanica)

Table 3. Some data for the lines showing the connection of the values P, S and D with the altitude along the mountain slopes (value for 500 m altitude, lapse rate read from the diagram for P and with an accuracy of 0.1 days and for D with an accuracy of 0.5 days, mean deviations of the data from a straight line for the same altitude and number of station used)

Srednji početak razdoblja s hladnim danima, P

Predio	P ₅₀₀ datum	$\frac{\Delta P}{\Delta h}$ dani/100 m	$\frac{1}{n} \sum d_i $	$\frac{1}{n} \sum d$	n
			dani		
I ₁	15. XII	-5,3	2,4	-2,3	4
I ₂	3. XII	-5,2	2,9	-0,4	4
I ₃	29. XI	-4,5	2,2	+0,3	11
II	19. XI	-4,4	3,6	-0,9	9
III	15. XI	-4,5	4,7	-2,6	4
IV	10. XI	-4,3	2,1	-0,7	15
V	4. XI	-3,8	4,3	+0,4	24

Srednji svršetak razdoblja s hladnim danima, S

Predio	S_{500} datum	$\frac{\Delta S}{\Delta h}$ dani/100 m	$\frac{1}{n} \sum d$ dani	$\frac{1}{n} \sum d$
I ₁	17. III	+5,2	2,9	-0,7
I ₂	20. III	+5,1	4,9	-4,4
I ₃	23. III	+4,9	2,8	+0,9
II	28. III	+4,6	3,8	-1,0
III	30. III	+4,5	7,0	+3,8
IV	4. IV	+4,4	3,5	+0,6
V	14. IV	+4,2	2,7	+0,4

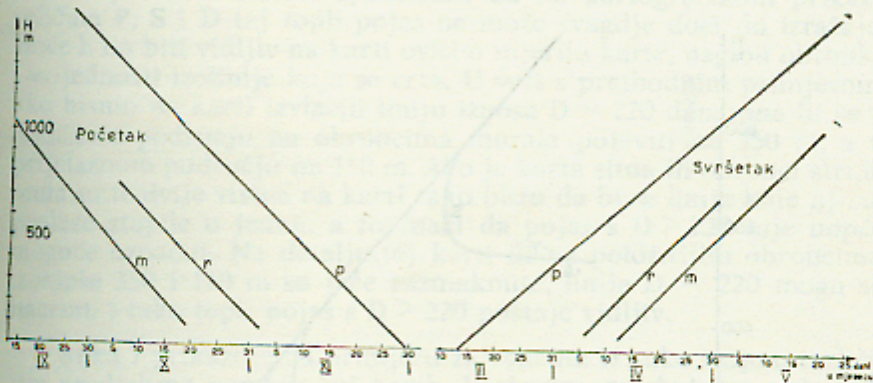
Srednja duljina razdoblja bez hladnih dana, D

Predio	D_{500} datum	$\frac{\Delta D}{\Delta h}$ dani/100 m	$\frac{1}{n} \sum d$ dani	$\frac{1}{n} \sum d$
I ₁	272	-10,5	3,7	-3,5
I ₂	257	-10,5	5,6	+3,9
I ₃	250	-9,5	4,0	-0,6
II	235	-9,0	6,9	-1,2
III	229	-9,0	9,5	-7,5
IV	219	-8,5	5,5	-3,6
V	203	-8,0	6,8	-4,1

mo da se u tome očituje utjecaj jačeg prizemnog noćnog ohlađivanja nad uglavnom položenim terenom zap. Istre i Ravnih Kotara. Takvog ohlađivanja nema u blizini obronaka Velebita i istočne Učke, koji se strmo ruše u more. Druga se osobitost pokazala u Makedoniji: na obroncima u blizini Ohridskog, Prespanskog i Dojranskog jezera započinje jesenska hladnoća kasnije nego na ostalim obroncima u predjelu II, tako da je tu i razdoblje bez hladnih dana dulje. Svršetak hladnog razdoblja u proljeće nastupa naprotiv na obroncima jednake nadmorske visine u cijelom predjelu II istodobno. Uz Ohridsko i Prespansko jezero na visini 750 m veličina P manja je za 8 dana od one na ostalim obroncima, a uz Dojransko jezero na visini 200 m manja je za 4,5 dana. I te se razlike postepeno gube idući u visinu. Činjenica što one postoje u jesen, a u proljeće ih nema govori da se tu radi o utjecaju topline akumulirane u jezerima, tj. o poznatom sporijem ohlađivanju vode od kopna, a time i zraka nad vodom od zraka nad kopnom. Na slikama 2 i 4 vide se odvojci s planinskog pravca II koji pripadaju obroncima uz jezera.

Unutar svakog predjela podaci stanica koje leže na obali većih rijeka također padaju na jedan pravac, a može se ustanoviti i to da podacima s dna mrazišta pripada također jedan pravac. Takva se mrazišta nalaze na dnu izrazito udubljenih dijelova zemljine površine: u kotlinama ili nizinama koje su gotovo sa svih strana okružene brdima, a izlaz iz njih je uzak, tako da staloženi hladni zrak teško istječe. Riječni i mrazišni pravac imaju sličan nagib kao pripadni

planinski, što pokazuje da se i u svakom od tih oblika terena hladnoća povećava s porastom visine. Osim toga unutar svakog pojedinog predjela na istoj nadmorskoj visini riječne su doline hladnije od obronaka, a mrazišta su najhladnija, tj. njima pripadaju najmanje vrijednosti za P i D te najveća vrijednost za S.

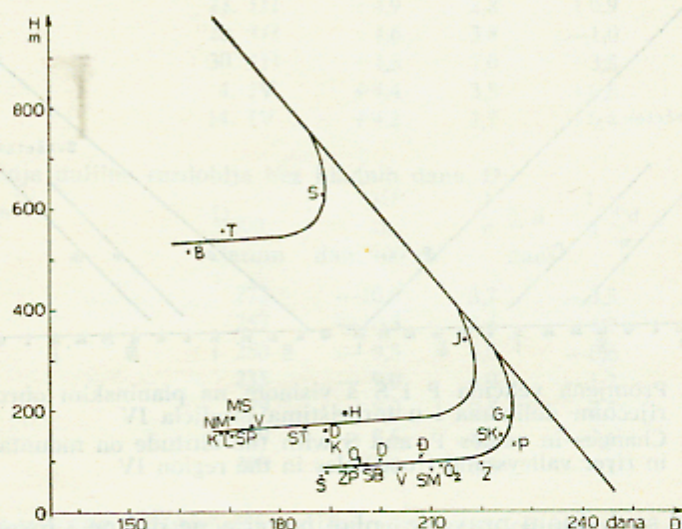


Sl. 5. Promjena veličina P i S s visinom na planinskim obroncima, u riječnim dolinama i u mrazištima predjela IV
Figure 5. Changes in values P, and S with the altitude on mountain slopes in river valleys and frost holes in the region IV

Kad su jednom pravci za planine, riječne doline i mrazišta poznati, onda nema više poteškoća da se na te tri vrste terena odredi iznos veličina P, S i D u bilo kojoj točki. Problem koji se sada postavlja jest kako odrediti iznose tih veličina na mjestima koja nisu ni izrazita mrazišta, ni riječne doline niti slobodni obronci, odnosno kako na kartama za P, S i D izvući izolinijske npr. na prijelazu iz riječne doline na susjedni obronak. Tu je trebalo upotrijebiti podatke onih stanica koje leže na takvim prijelaznim oblicima terena i iz njihovih iznosa izvesti neke općenite zaključke služeći se pri tom poznatim činjenicama o ohlađivanju najnižih dijelova atmosfere.

Podaci s prijelaznih oblika terena općenito ne leže ni na jednom od spomenutih pravaca, nego su na izgled nepravilno rasuti između najhladnijeg pravca za mrazište i najtoplijeg za slobodne planinske obronke. Kad se razluče skupine stanica smještene relativno blizu unutar jednog od pet osnovnih predjela, onda se vidi da se podaci svake takve skupine mogu na dijagramu aproksimirati jednom linijom u obliku skije. Ona počinje u manjoj visini na pravcu za mrazište ili za riječnu dolinu, a svršava u većoj visini na planinskom pravcu. Početak joj ima oblik pravca i pokazuje da se veličine P, S i D počevši od dna mrazišta ili obale rijeke najprije linearno mijenjaju i to u smislu zatopljenja s povećanjem visine. Nagib skije pokazuje koliko je nagla ta promjena. Postepeno pravac prelazi u zakrivljenu liniju koja se sve više približava planinskom pravcu i na izvjesnoj se visini stapa s njim. Ako dakle promjene veličina P, S i D s visinom

kako ih prikazuju planinski pravci shvatimo kao normalne, onda možemo reći da se te veličine na prijelazu iz mrazišta ili riječne doline mijenjaju najprije linearno u inverznom smislu, te da inverzija zatim postepeno prelazi u normalni vertikalni gradijent za obronke. Zanimljivo je i za izradu kartografskog prikaza vrlo koris-



Sl. 6. Krivulje koje prikazuju promjenu veličine D pri prijelazu iz mrazišta riječne doline ili nizine na obronak u predjelu V:

- +) za doline koje se nalaze na visini oko 550 m (Butmir, Travnik, Sarajevo)
-) za doline koje se nalaze na visini 175 m (Križevci, Lipik, Sl. Požega, Murska Sobota, Novo Mesto, Varaždin, Stubičke Toplice, Daruvar, Koprivnica, Hotemež, Jeruzalem)
- ×) za doline koje se nalaze na visini oko 100 m (Šid, Zemun Polje, Osijek 1, Sl. Brod, Derventa, Vinkovci, Đakovo, Sr. Mitrovica, Osijek 2, Zemun, Sr. Kamenica, Gladnoš, Petrovaradin)

Figure 6. Curves representing the change in value D at transition from a frost hole, river valley or lowland to a slope in the region V

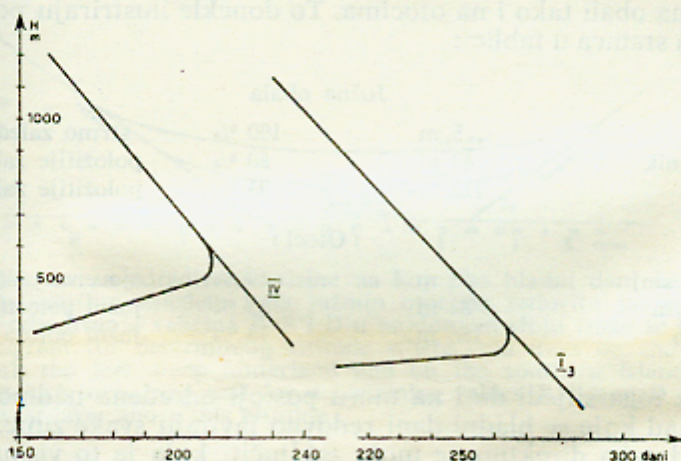
- +) for valleys at approximate altitude of 550 m
-) for valleys at approximate altitude of 175 m
- ×) for valleys at approximate altitude of 100 m

Iz te se slike vidi da se na pr. u predjelu Fruške Gore razdoblje D s minimalnom temperaturom iznad 0° u trajanju od 220 dana pojavljuje na dvije visine: na 350 m na slobodnom planinskom obronku i na 110 m u prijelaznom području. Obronci iznad 350 m i nizina ispod 110 m su hladniji; tu ovakvo razdoblje traje kraće. Između 110 i 350 m se nalazi jedna topla zona u kojoj veličina D iznosi više od 220 dana. Analogni je slučaj s nastupom prvog hladnog dana u jesen i posljednjeg hladnog dana u proljeće. Uvijek se na prijelazu iz nizine na planinu nalazi jedan relativno topli pojas. Njegov najtopliji dio smješten je, kao što su podaci pokazali, na donjim dijelovima obronaka.

no to što se pokazalo da su unutar pojedinog od pet osnovnih predjela sve skije međusobno paralelne. To omogućuje ekstrapolaciju vrijednosti i na one krajeve u kojima nema mjerenja. Na slici 6 donosimo kao primjer tri prijelaza iz doline na obronak u predjelu V s označenim podacima na temelju kojih su skije izvučene.

Ovdje ćemo odmah spomenuti da na kartografskom prikazu veličina P, S i D taj topli pojas ne može svagdje doći do izražaja. Hoće li on biti vidljiv na karti ovisi o mjerilu karte, nagibu obronka i vrijednosti izolije koja se crta. U vezi s prethodnim primjerom, ako bismo na karti izvlačili liniju iznosa $D = 220$ dana ona bi se u dotičnom području na obroncima morala pojaviti na 350 m, a u prijelaznom području na 110 m. Ako je karta sitna ili obronci strmi, onda su te dvije visine na karti tako blizu da bi se linije koje njima prolaze stopile u jednu, a to znači da pojas s $D > 220$ nije uopće moguće označiti. Na detaljnijoj karti ili na položitim obroncima izohipse 350 i 110 m su jače razmaknute, linije $D = 220$ mogu se nacrtati i tako topli pojas s $D > 220$ postaje vidljiv.

Slika 7 prikazuje na primjeru za veličinu D kako skije u različitim predjelima nemaju isti nagib. U sjevernom obalnom pojasu I_3 inverzije na dnu istarskih mrazišta i Kninskog polja vrlo su plitke, tako da se tu pri porastu visine od 25 m razdoblje bez hladnih dana produlji za 35 dana. U unutrašnjosti prizemno ohlađivanje zahvaća deblji sloj zraka, tako da u predjelu IV istoj promjeni visine od 25 m pripada promjena veličine D samo za 9 dana.



Sl. 7. Promjena veličine D s visinom od mrazišta do planinskih obronaka u predjelima I_3 i IV

Figure 7. Change in value D with the elevation from frost holes up to mountain slopes in the regions I_3 and IV

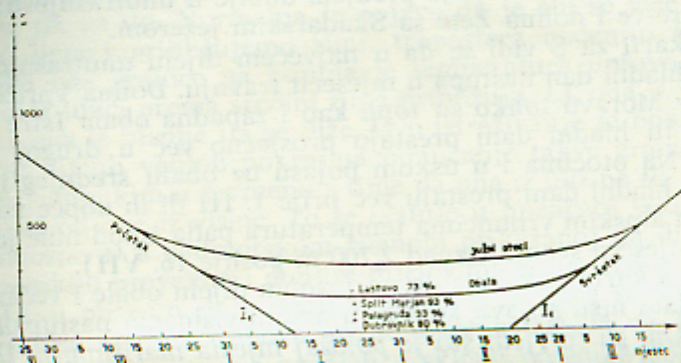
Raspoloživi podaci otočnih i obalnih stanica pokazuju da uz more izuzevši obalni pojas sjeverno od rta Ploče postoji područje u kojem temperatura zraka preko cijele godine može biti iznad 0°C. To nije redoviti slučaj svake godine. Ima naime blažih i oštrijih zima. U blažim se zimama hladni zrak došavši na obalu toliko zagrije od tople morske podloge, da se ni preko noći minimalna temperatura u manjim nadmorskim visinama ne spusti ispod 0°. U oštrijim zimama prodori hladnog zraka znadu zahvatiti cijeli obalni i otočni pojas i izazvati seriju hladnih dana i u malim visinama. Duž obale takva serija traje dulje nego na otocima. A što su otoci udaljeniji od obale ili se nalaze južnije, to je broj hladnih dana sve manji. Osim različitog trajanja serije hladnih dana na pojedinim dijelovima obale i otoka, mijenja se i čestina pojavljivanja takvih serija. Duž sjevernog dijela obale hladni se dani i uz more javljaju redovno svake godine. Na južnom dijelu obale oni su redovita pojava svake zime samo na onim mjestima gdje se tik uz obalu uzdižu strme visoke planine. Na obali s položitim zaleđem i na otocima oni ne nastupaju svake godine u malim visinama. Za primorske stanice koje nemaju svake godine minimum ispod 0° izračunana je vjerojatnost pojave hladnih dana. Ona je dobivena tako da je u 30-godišnjem nizu izbrojeno koliko je bilo zima s makar jednim hladnim danom i taj je broj izražen u procentima od broja 30. Na taj je način utvrđeno da se na određenoj nadmorskoj visini hladni dani, tamo gdje nisu redovita pojava, javljaju s najvećom vjerojatnošću u podnožju visokih planina, s manjom vjerojatnošću na obali s blago nagnutim zaleđem, a s još manjom na otocima i to pogotovo što su oni južniji. Osim toga je ustanovljeno da se ta vjerojatnost povećava s nadmorskom visinom, kako na obali tako i na otocima. To donekle ilustriraju podaci odabranih stanica u tablici:

Južna obala			
Budva	5 m	100 %	strmo zaleđe
Dubrovnik	49 m	80 %	položitiije zaleđe
Split	122 m	93 %	položitiije zaleđe
Otoci			
Mali Lošinj	53 m	60 %	sjeverni položaj
Palagruža	82 m	33 %	južni položaj
Lastovo	186 m	73 %	južni položaj

Iz toga slijedi da i na moru postoji određena nadmorska visina iznad koje se hladni dani redovno javljaju svake zime. Iz samih se podataka direktno ne može zaključiti koja je to visina. Za nježno određivanje upotrebljena je grafička metoda, koja se sastoji u tom da se na dijagram nacrtaju već poznati planinski pravci u I_1 za veličine P i S do visine 500 m, a zatim se na odgovarajuću visinu nanese vjerojatnosti za hladni dan na primorskim stanicama. Iz podataka tih stanica ekstrapolacijom se dobije visina na kojoj je

vjerojatnost 100% i ispod koje veza prikazana planinskim pravcima više nije realna. Na takav je način ustanovljeno da se hladni dani svake godine redovito javljaju: u južnom obalnom pojasu pod strmijim planinama prosječno iznad 90 m u južnom obalnom pojasu s položitim zaleđem iznad 160 m na sjevernim otocima iznad 220 m na južnim otocima iznad 300 m.

Budući da je logično pretpostaviti da se promjene veličina P, S i D s visinom odvijaju kontinuirano, mora postojati neposredno iznad upravo navedenih visina jedan prelazni sloj, u kome se vertikalni gradijenti postepeno približuju onima na slobodnim obroncima. Stoga smo planinske pravce za P i S koji se u malim visinama sve više približuju, spojili konkavnom krivuljom kojoj su koordinate najniže točke: sredina prosječno najhladnije dekade u godini (26. I) i upravo određena visina na kojoj počinje redovita pojava hladnih dana. Ta krivulja sada prikazuje promjenu veličina P i S, a time i D, s nadmorskom visinom u malim visinama primorskog područja koje se nalaze na prijelazu između planinskih obronaka za predio I i sloja bez redovite pojave hladnih dana. (Sl. 8) Ispod tog prijelaznog sloja, tamo gdje $t/\text{min} < 0^\circ$ nije redovita pojava, nema smisla govoriti o srednjem početku i svršetku razdoblja s hladnim danima.



Sl. 8. Dijagram za određivanje visine na kojoj se hladni dani na obali s položitim zaleđem i na južnim otocima redovito javljaju, te za određivanje veličina P, S i D u najdonjem sloju iznad te visine

Figure 8. Diagram for determining altitude where cold days on the coast with the less steep hinterland and on the southern islands are regularly occurring and for determining values P, S and D in the lowest layer above this altitude

Opis karata. Karte koje prikazuju raspodjelu veličina P, S i D u Jugoslaviji radene su u mjerilu 1:750 000, a tiskane u mjerilu 1:1 000 000. Na kartama za srednji početak i svršetak razdoblja s hladnim danima prikazani su izolinijama datumi 1. i 16. u mjesecu, a za veljaču 1. i 15. Srednja duljina razdoblja bez hladnih da-

na prikazana je izolinijama kojima su vrijednosti djeljive s 30 i susjedne se međusobno razlikuju za 30 dana.

Pošto su vertikalni gradijenti bili određeni prethodno opisanim postupkom, poteškoće pri crtanju karata svedene su na to da se odredi koji će se krajevi, gdje nema mjerjenja, smatrati mrazištima, dokle će se područja izvora i gornjih tokova rijeka smatrati da pripadaju obroncima, a gdje počinju riječne doline, te da se izvede postepeni prijelaz iz jednih gradijenata na druge na granicama susjednih predjela. To je naravno učinjeno prema subjektivnoj ocjeni autora na temelju iskustva i poznavanja terena. Opisat ćemo sada ukratko svaku kartu.

Poslije ljeta prvi dan s temperaturom nižom od 0° pojavljuje se najranije na visokim planinskim vrhuncima. U Alpama na visini iznad 1 550 m on nastupa u prosjeku već u prvoj polovici kolovoza. Naprotiv na nižim dijelovima otoka i južne obale temperatura padne ispod 0° tek poslije 16. I ili se uopće ne spusti do tog iznosa. U najvećem dijelu države i to gotovo u cijeloj nizini na sjeveru, te u riječnim dolinama unutrašnjosti osim donjeg toka Vardara, prvi hladni dan nastupa u drugoj polovici mjeseca listopada. Svi niži obronci, unutrašnjost Istre i najveći dio Makedonije nešto su topliji, te imaju prvi hladni dan između 1. i 16. XI. U obalnom području minimalna temperatura ispod nule nastupa sve kasnije idući prema moru i te su promjene uglavnom pravilne osim što se ističu dva relativno toplija predjela dublje u unutrašnjosti i to dolina Neretve i dolina Zete sa Skadarskim jezerom.

Na karti za S vidi se da u najvećem dijelu unutrašnjosti posljednji hladni dan nastupa u mjesecu travnju. Dolina Vardara i obronci uz Moravu toliko su topli kao i zapadna obala Istre i Ravni Kotari; tu hladni dani prestaju prosječno već u drugoj polovici ožujka. Na otocima i u uskom pojasu uz obalu srednjeg i južnog Jadrana hladni dani prestaju već prije 1. III ili ih uopće nema. Na najvišim alpskim vrhuncima temperatura pada ispod nule još i sredinom mjeseca srpnja (iznad 2 700 m poslije 16. VII).

Treća karta pokazuje da na južnom dijelu obale i većini otoka hladni dani nisu pojava koja bi u malim visinama nastupala svake godine. Oni su to rjeđi što je položaj mjesta maritimniji. U većim nizinama obalnog pojasa: zapadnoj Istri, Ravnim Kotarima, dolini Neretve i njenih pritoka te nizini uz Skadarsko jezero razdoblje s temperaturom iznad 0° traje prosječno 270 do 300 dana godišnje. To se razdoblje skraćuje idući u unutrašnjost i prema većim visinama. Najkraće je na visokim planinama, te u Alpama iznad 2 600 m iznosi manje od 30 dana. U najvećem dijelu unutrašnjosti ono traje nešto manje od 200 dana godišnje.

Fizikalno tumačenje. Za razliku od hladnih dana koji nastupaju usred zime — često u neporemećenim, mirnim vremenskim situacijama, kao posljedica postepenog radijacionog ohlađivanja tla i atmosfere — prvi takav dan u jesen i posljednji u proljeće najčešće se javljaju nakon prolaza hladne fronte, te im je početni uz-

rok advekcija svježje zračne mase. Sama nova zračna masa u to doba godine ne mora imati temperaturu nižu od 0° pri tlu, nego tek u izvjesnoj visini, uslijed normalnog opadanja temperature s visinom u troposferi. Hladna advekcija izazove, dakle, neposredno pad temperature ispod ništice u planinama iznad određene visine. No nakon što zračna masa preplavi izvjesni kraj i vrijeme se poslije prolaza fronte razvedri, nastupa intenzivno noćno ohlađivanje prizemnog sloja zraka izazvano nesmetanim toplinskim žarenjem tla. Ohlađeni zrak zbog veće gustoće i težine nastoji zauzeti što je moguće niži položaj, te se slijeva niz obronke prema nižim dijelovima terena, a na njegovo mjesto dolazi zrak iz slobodne atmosfere koji se zbog veće udaljenosti od tla nije toliko ohladio. Na mjestima gdje daljnje spuštanje hladnog zraka nije više moguće ili je vrlo teško, on se taloži i tvori t. zv. jezera hladnog zraka u kojima temperatura biva osobito niska. Takve zatvorene ili gotovo potpuno zatvorene vrtače i kotline nazivamo mrazištima. Jasno je da u njima ne samo što je temperatura niža, nego i razdoblje s hladnim danima traje dulje nego u klancima i nagnutim riječnim dolinama kroz koje ohlađeni zrak protječe, a pogotovo nego na obroncima uz koje se takav zrak ne može dulje zadržati.

Proljetno i jesensko ohlađivanje najnižih kilometara atmosfere, koje dovodi do znatnijeg pada temperature, pa prema tome i do pojave hladnog dana, nastupa dakle s jedne strane u visini, a s druge strane tik uz tlo. Normalna je pojava da je što se više udaljimo od ljeta i približujemo zimi, troposfera općenito hladnija, te se tako one granice na kojima je temperatura upravo postala manja od 0° idući prema sredini zime približuju, t.j. ona iz visine se spušta, a ona iz blizine tla se diže. Ovo istraživanje je pokazalo da se unutar cijelih velikih pokrajina pomicanje takve granice može smatrati jednolikim u vremenu s time da ona iz blizine tla ima manju brzinu od one iz visine. To se očituje u linearnoj vezi veličina P, S, odnosno D s nadmorskom visinom prikazanoj na dijagramima planinskim pravcima i donjim dijelovima skija. Jedino pri dnu obronaka, u plitkom sloju debljine oko 150 m, gdje se spomenute dvije granice sastaju, njihove brzine gibanja izgleda da nisu više jednolike. To su najtopliji predjeli u sklopu pojedine doline i susjedne planine u kojima temperatura najkasnije na početku zime padne ispod 0° i na svršetku zime se najprije digne iznad te granice. Na dijagramima su oni prikazani zavnutim dijelovima skija.

U krajevima izloženim jakom utjecaju mora nema noćnog ohlađivanja atmosfere odozdo, jer more u hladnom dijelu godine čini relativno toplu podlogu od koje se zrak dapače grije. Tu je dakle najniži sloj zraka ujedno i najtopliji, te se temperatura manja od 0° ne može uvijek ni spustiti do same morske površine. Koliko će ona nisko doprijeti ovisi izgleda o intenzitetu grijanja odozdo i o intenzitetu hlađenja odozgo. Grijanje odozdo jače je nad samim morem nego uz obalu i jače je nad južnim Jadranom nego nad sjevernim. Stoga je granica redovite pojave hladnih dana viša na oto-

cima nego na obali i viša na južnim nego na sjevernim otocima. Intenzitet hlađenja odozgo pak izgleda da je jači tamo gdje je granica između maritimnog i kontinentalnog područja oštra i teče tik uz obalu, nego tamo gdje se utjecaji kopna i mora postepeno mijesaju u široj prelaznoj zoni, jer je troposfera zimi nad kontinentom općenito hladnija nego nad morem. I stoga na obali pod Velebitom i ostalim visokim planinama hladni dani nastupaju redovito i tik uz more ili sve do malih visina. A tamo gdje planine nisu tako strme i blize obali, kao na pr. uz ušće Neretve, redovita pojava hladnih dana prestaje na većoj nadmorskoj visini.

Zaključak. Svi navedeni rezultati proizlaze iz klimatološkog materijala i to iz srednjih vrijednosti određenih na temelju dugogodišnjeg mjerenja. Pitanje je koliko bi se od njih razlikovali rezultati što bi ih dala analiza najčešćih vrijednosti, koje su za poljoprivredu sigurno zanimljivije od srednjaka. No takva analiza mogla bi se provesti samo za stanice s potpunim mjerenjima u odabranom razdoblju, jer je svodenje kraćeg niza na dulje razdoblje vrlo problematično kad se radi o najčešćim vrijednostima. Bilo bi korisno sinoptičkim istraživanjem karakterističnih vremenskih situacija u proljeće i jesen ustanoviti kakav je mehanizam ohlađivanja u pojedinačnim slučajevima i koliko se razlikuje od slike što je daju klimatološki podaci.

Naglasimo na kraju da slična razdioba kakvoj se pokoravaju veličine P, S i D mora vrijediti i za broj hladnih dana u godini, za minimalne temperature zraka, temperature površine tla i uopće za sve one meteorološke parametre koji na neki način prikazuju proces ohlađivanja tla i donjih dijelova atmosfere. Kako niske temperature pri tlu djeluju na vegetaciju, raspodjela se takvih parametara očituje i u karakterističnim oblicima vegetacije pridruženim izvjesnoj nadmorskoj visini ili obliku terena. Kao primjer spominjemo ovdje nizinske livade neprikladne za poljoprivrednu obradu zbog dugotrajne hladnoće, obradive površine na nešto višim ili nagnutijim dijelovima zemljišta, vinograde i voćnjake koji najbolje uspijevaju upravo na toplim dijelovima obronaka, iznad toga pojas šume koja mijenja svoj sastav prema nadmorskoj visini to jest prema hladnoći i gdje se na dnu hladnih vrtača napose ističu smrekove asocijacije, zatim zonu klekovina i planinskih pašnjaka te napokon u najvećoj hladnoći golet.

U vezi s tim smatramo da će karte raspodjele veličina P, S i D pružiti korisnu informaciju upravo poljoprivredi, napose pri planском odabiranju terena pogodnih za uzgoj pojedinih kultura. Takvih karata do sada nismo imali, a niti one postoje u klimatskim atlasima drugih država koji su nam bili dostupni. Naravno da pri upotrebi tih karata treba uvijek imati na umu da one prikazuju srednju raspodjelu koja ne mora biti ispunjena svake godine i da se u manjim lokalitetima koji na karti zbog njenog mjerila nisu mogli doći do izražaja, mogu veličine P, S i D i znatno razlikovati od vrijednosti prikazanih izolinijama.

Summary

ON THE METHODOLOGY OF MAKING THE CLIMATIC MAPS RELATED TO THE OCCURRENCE OF COLD DAYS

by

I. Penzar, B. Penzar, B. Volarić

For the Climatic atlas of Yugoslavia maps for cold days ($t_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$) containing the following data are made:

P — the mean beginning of the period in which cold days occur,

S — the mean end of the period in which cold days occur,

D — the mean duration of the period in which there are no cold days

Temperature data from 288 stations for the period 1931 — 1960 are used. The distribution of stations by the republics of Yugoslavia and by their altitudes are given in the Tables 1 and 2.

From the data lapse rates for the values P, S and D were determined and by these it was stated that Yugoslavia could be divided into 5 parts (Fig. 1). Vertical change of values P, S and D for the stations on the mountain slopes for the individual regions I to V are shown on the Figs. 2, 3 and 4 and some numerical data for these lines are contained in the Table 3. Except «mountain» lines in the every climatic region of Yugoslavia it was established that the data from the stations which are situated along a river valley were lying on a so called «river» line and the data from hte stations which are situated on the bottom of the concave ground parts were forming a «frost hole» line. On the same altitude the frost holes are coldest, something warmer are river valleys and still varmer are mountain slopes (Fig. 5). The data of those stations which are relatively close one to another can be approximated by a single line in the form of a ski on the diagram (Fig. 6). In the same climatic region the skis on the different altitudes (above sea level) are paralel. The skis are showing that the values P, S and D going out of a frost hole or a river valley toward mountain slopes are at first lineary changing with the elevation increase and afterwards the changes are more sudden and on a certain elevation a change of sign of the lapse rate is occurring. *In the transition from lowland to mountain thus there is a relatively warm zone. The «ski» inclination is not the same in all regions (Fig. 7).*

Along the coast of North Adriatic cold days are regularly occurring every winter even on the low altitudes and along the southern part they are occurring only at those sites where steep high mountains are rising along the coast. On the other coast parts where the cold days are not regularly occurring the probability of the occurrence of days with $t_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ was calculated for. After this probability the altitude above which the days with $t_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ are regularly occurring was determined. The maps of the distribution of values P, S and D for the territory of Yugoslavia are showing that the first cold day takes place toward the end of October in the most part of the country and the last one in April. On the highest alpine summits a very short period without cold days exists. It remains there only from the middle of July until the first half of August. On the islands and the southern Adriatic coast the period without cold days in return is persisting for the whole year.

At the end a physical explanation for such a distribution of values P, S and D was given. It is connected to the advection of cool air after a cold front passage, to the influence of the orography and to the night cooling in the ground air layer and to the cooling of the free atmosphere on the other hand.