

810881 I

Zdravko Petkovšek

810881 II

PREHOD HLADNIH FRONT PREKO ALP IN NJIH VPLIV
NA VREME V SLOVENIJI

Disertacija



20/1/1961

Ljubljana

1961

ИДЕЯ
ГЛАВНОСТ

1968/1969



БАН

ИЗДАНИЕ А СТОЛЕТИИ
БЪЛГОВЕ НАУКИТЕ БЪЛГОВЕ ВЪЗ ИМ ИЛИ АБГ

8103018

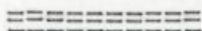
БАН БАН

8103018

V S E B I N A

| | Stran |
|---|-------|
| UVOD | 1 |
| I. HLADNA FRONTA V TOKOVNEM POLJU OB OROGRAFSKI PREGRADI | |
| Osnovne enačbe in primer za nestisljivo atmosfero | 6 |
| Računanje pritiska v motenem toku realne atmosfere | 14 |
| Analitična rešitev lineariziranega problema | 22 |
| Numerično računanje kinematičnega polja in njegova vključitev v osnovne enačbe | 26 |
| II. PRIMERJAVA EFEKTOV, KI JIH POVZROČE HLADNE FRONTE ONSTRAN IN TOSTRAN ALP | |
| Metoda dela in izbira parametrov | 33 |
| Časovne razlike in hitrosti | 41 |
| Povprečne vrednosti efektov in razlike v ohladitvah | 46 |
| Razlike v padavinah | 47 |
| Posebna primerjava jakosti front | 50 |
| III. VPLIV HLADNIH FRONT NA VREME V SLOVENIJI | |
| Osnove, frekvenčna razporeditev in reprezentativnost | 52 |
| Temperaturne spremembe in njihova razporeditev | 57 |
| Padavine v Sloveniji ob hladnih frontah | 71 |
| Odraž hladnih front v oblačnosti | 82 |
| Vetrovi in vetrovnost | 85 |
| Število in razporeditev neviht | 89 |
| Megla in slana | 92 |
| Zračni pritisk | 94 |
| ZAKLJUČEK | 103 |
| LITERATURA | 106 |
| SLIKE | 109 |

U v o d



Velika večina hladnih front, ki vplivajo na vreme v Evropi, pride z Atlantskega oceana. Glede na splošne zahodne tokove v srednjih geografskih širinah in glede na valovanje polarne fronte prihajajo hladne fronte v Slovenijo pretežno iz severozahodnega kvadranta. Ker pa leži v tej smeri del obsežnega gorskega masiva Alp, pridejo hladne fronte v Slovenijo čisto precej spremenjene glede na lastnosti, ki so jih imele v času približevanja Alpam in našim krajem. Te spremembe nastanejo na frontah neposredno pred njihovim prihodom v področja za Alpami, zato je ugotovitev sprememb za vsak poseben primer s prognostičnega stališča prepozna. Prognoza se mora naslanjati na ugotovitev lastnosti hladne fronte, ki se nam približuje, a je še daleč, vse nadaljnje spremembe kot tudi njen vpliv na vreme v naših krajih pa je potrebno predvidevati. Ta predvidevanja morejo sloneti na izkustvih, na fizikalno utemeljenih možnostih razvoja in postavkah in na empiričnih izsledkih, dobljenih s proučevanjem podobnih primerov. Za slednje so potrebni izčrpni podatki kot osnova, ki čisto odločajo o obsegu in uspehih takega dela.

Najprej se moramo zediniti v tem, kaj je hladna fronta in katere so lastnosti, po katerih bomo sodili njeno jakost in spremembe. V meteorološki literaturi najdemo vrsto definicij in shem, ki čisto niso dovolj jasne in natančne. Včasih so natančne, toda količine, ki jih te definicije uporabljajo, niso dovolj natančno določljive. Poglejmo, kaj je fronta po mnenju znanih sodobnih strokovnjakov, ki se bavijo s problemom front. Petterssen /1/ pravi: "Širši izgled front kot cone baroklinosti, področja, ugodnega za vertikalno cirkulacijo in za prevedbo potencialne energije v kinetično, se je izkazal kot najbolj uporaben koncept tako v teoretični kot praktični meteorologiji."

Določiti fronte po gornji definiciji, ki pa ji manjkajo meje, bi pomenilo najprej določiti baroklinost atmosfere nad tako velikim področjem in v tako ozkih časovnih intervalih, da bi nobene fronte (nobene koncentracije baroklinosti) ne mogli prezreti. V smislu takih proučevanj dobe enega leta bi to pomenilo izdelati grmado vertikalnih presekov atmosfere. Vsak tak presek pa sam zahteva študijo, če naj bo izdelan tako, da lahko črpamo iz njega kvantitativne vrednosti v potrebni natančnosti. Že samo to delo pa bi zahtevalo delo celega oddelka. Drugi del koncepta, ki se naslanja na vertikalno cirkulacijo, je v precejšnji meri povezan s prvim. Samostojno oziroma direktno z njim ne gre, ker vertikalna gibanja takih obsegov in velikostnih stopenj, ki tu nastopajo, z današnjimi sredstvi sploh niso merljiva; indirektno metode pa nam dajo za tovrstne opredelitve mnogo premalo natančne vrednosti. Podobno je s tretjim delom koncepta, ki se nanaša na pretvorbo energije.

Najčešče najdemo v literaturi definicijo, da frontalna površina (diskontinuitetna ploskev) loči dve različni zračni masi, presek te površine z neko horizontalno površino ali nivojsko ploskvijo pa je fronta. Vendar pa v sinoptični in praktični meteorologiji uporabljamo ime fronta za skupek efektov in pojavov, ki se ob njej pojavijo.

Po C.E. Palmerju /2/ je definirana fronta na neki nivojski ploskvi, ki seče frontalno cono, kot linija, ki združuje točke v coni, kjer doseže horizontalna projekcija n.pr. gradienata gostote svojo maksimalno vrednost. V ostalem so strokovnjaki dokaj edini, da obstoja neka prehodna cona, katere debelina je zlasti glede na horizontalne dimenzije relativno ozka, ter jo često lahko smatramo kot diskontinuitetno ploskev. Da je hladna fronta tista fronta, ki se premešča tako, da hladen zrak nadomesti toplega, oziroma, ki se giblje od nizkih k visokim temperaturam, je tudi splošno znano in uporabljano.

Koncept zračnih mas se iz definicij fronte kot splošno iz meteorologije vedno bolj umika, ker so se lastnosti, ki so zračne mase definirale, izkazale mnogo manj konzervativne tudi v večjih višinah, kot so prvotno predvidevali /3/. V novejšem času zato često ugotavljamo fronte na osnovi analize polj prostorsko ^umerjenih gradientov lastnosti zraka; le-te navadno določamo ločeno v horizontalni smeri oziroma v smeri nivojskih ploskev ter v vertikalni smeri oziroma pravokotno na uporabljene nivojske ploskve. V praksi pa često določamo fronte bolj po efektih v vremenu, ki jih te povzročajo nad različnimi področji.

Ameriški center za meteorološke analize (NAWAC) že nekaj let določa jakost in eksistenco front z gradientom relativne topografije izobarnih ploskev /4/, torej v smislu omenjenih novejših definicij. Tak sistem dela pride pri nas v poštev le kot komparativni pripomoček, ker ni na razpolago potrebnih kart niti za ugotavljanje števila, a še manj za ugotavljanje spremembe lastnosti front. Upoštevajoč potrebne aproksimacije, moremo uporabiti namesto gradienta relativne topografije kar gradient virtuelne ali celo navadne temperature zraka, česar se poslužujejo mnogi prognostiki. Toda za proučevanje prihoda front preko Alp je tako polje premalo natančno ter pomaga ugotavljati eksistenco front nad nekim večjim področjem, pri čemer pa seveda ni nujno, da bo fronta prešla vse točke tega področja. Malo nam pove tak način dela o efektih, ki jih fronta povzroča, in še manj o tistih, ki jih bo povzročala v svojem nadaljnjem gibanju in razvoju.

Temperaturnega polja pri tleh na sinoptičnih nižinskih kartah ne rišemo, ker je temperatura zraka pri tleh preveč podvržena lokalnim vplivom. Zato pridejo v tem pogledu v poštev le višinske karte, ki so risane na podlagi podatkov radiosondnih postaj, te pa so razmeroma redke ter dajejo podatke le vsakih 12 ur. Temperaturno polje je dovolj natančno dolo-

čeno le tam, kjer je gosta radiosondna mreža, in nad področji, ki so topografsko enotna. Ti pogoji so nekako zadovoljivi v zahodni in srednji Evropi; nikakor pa ne v področju Alp. V Alpah samih ni niti ene radiosondne postaje, v njihovi ožji okolici pa pet. Na njihovi osnovi je mogoče zrisati temperaturno polje, le če zanemarimo vpliv orografije, kar je potemtakem silno dvomljive kvalitete, za reševanje našega problema pa neuporabno.

Po shemah hladnih front, izkustvih in teoretičnih potrditvah, da leže fronte v dolinah pritiskovega polja, da jih spremlja horizontalna konvergenca (ta se ujema po najnovejših ugotovitvah z linijo fronte le slučajno /2/), zlasti pa po efektih, ki jih povzroča fronta, je možno domnevati existenco neke fronte in ji dokaj uspešno slediti s pomočjo vremenskih kart in drugih prognostičnih pripomočkov. Potrebno pa je še kontinuirano spremljanje vseh procesov in sprememb, ki se dogajajo nad področjem, to je, natančno in sistematično je treba analizirati vreme v posameznih točkah področja /5/. Vendar je tudi taka analiza front odvisna od subjektivnih faktorjev oziroma postavljenih mej v definicijah ter je število front zato v vsakem primeru nekoliko subjektivno. Podobno je z jakostjo fronte oziroma z efekti, ki jih pripisujemo neki fronti, saj je potek večina parametrov vremena zvezen ter je čisto težko ločiti, kaj spada k neki fronti in kaj ne več.

Delo v praktični meteorologiji je pokazalo, da nas spredaj navedene definicije vsestransko ne zadovoljujejo ter da je nastala v konceptu front praktične in teoretične meteorologije razlika, se pravi, koncepti so se razvili v smeri, ki jih ni mogoče vedno vskladiti, saj so med njimi celo nekatera nasprotja. Zato se bomo tudi tu prilagodili specifičnosti zahtev ter se s primernimi dopolnitvami izognili nejasnostim.

Celotno proučevanje je razdeljeno na tri dele: V prvem delu, kjer je jakost fronte določena z vrednostjo gradienta neke lastnosti (predvsem potencialne temperature), proučujemo pogoje za spremembo jakosti fronte v območju orografske pregrade. Pri tem se naslanjamo na frontogenetično funkcijo, ki daje individualno spremembo gradienta ustrezne lastnosti v zračnem delcu (ali v frontalni coni), ko se ta premešča preko pregrade. Osnovni problem pri tem je določitev ustrezne tokovne razporeditve.

V drugem delu analiziramo in primerjamo efekte, ki so jih povzročile hladne fronte (po konceptu sinoptične meteorologije, ki pa je v skladu z gornjim) iz leta 1957 tostran in onstran Alp. V tretjem delu pa prikažemo vpliv teh hladnih front na vreme v Sloveniji, njih odvisnosti od sinoptičnih parametrov ter vzajemne vplive in posebnosti, ki se ob prehodih front preko Slovenije pojavljajo.

= = =
=

I. HLADNA FRONTA V TOKOVNEM POLJU NAD OROGRAFSKO PREGRADO

Osnovne enačbe in primer za nestisljivo atmosfero

V smislu spredaj navedene definicije, naj bo jakost gradienta neke skalarne količine, ki ima ob fronti svojo maksimalno vrednost, merilo jakosti fronte. Proučevanje, kako se spreminja jakost fronte pri njenem prehodu preko orografske pregrade - Alp, je tako preneseno na proučevanje sprememb gradienta izbrane količine. Kot taka količina je navadno vzeta potencialna temperatura θ . Nastanek in vzdrževanje fronte je potem vezan na proces frontogeneze, to je ustvarjanje oziroma vzdrževanje relativno močnega gradienta θ v enem in istem delcu atmosfere. Imeti moramo torej individualno frontogenezo (individualno spremembo absolutne vrednosti gradienta potencialne temperature), ki določa frontogenetično funkcijo.

$$F = -\frac{d}{dt} |\nabla\theta| \quad (1)$$

Vrednost je pozitivna pri frontogenezi in negativna pri frontolizi.

V novejšem času je frontogenetično funkcijo razvil in priredil tridimenzionalnemu gibanju Miller /6/. Za tako orientacijo koordinantnega sistema, pri kateri je os x vzporedna presečnicam površin konstantne potencialne temperature s horizontalnimi ravninami, je $\partial\theta/\partial x = 0$. ter je celotna frontogeneza po razvitju gornje enačbe:

$$F = \left[\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{d\theta}{dt} \right) - \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial \theta}{\partial y} - \frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] \cos \psi + \quad (2)$$

$$+ \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{d\theta}{dt} \right) - \frac{\partial v}{\partial z} \frac{\partial \theta}{\partial y} - \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] \sin \psi$$

kjer je ψ kot med gradientom θ in horizontalno osjo y , v in w pa horizontalna oziroma vertikalna komponenta hitrosti. Pri tem predstavlja koeficient pred $\cos \psi$ horizontalno in koeficient pri $\sin \psi$ vertikalno frontogenezo.

Glede na majhen nagib ploskev konstantne potencialne temperature (izentropskih ploskev) v naravi, je kot ψ v splošnem zelo blizu vrednosti $\pi/2$ ter je zato člen s $\cos \psi$ za dva velikostna reda manjši od drugega člena, razen tega pa je vrednost v oklepaju, če zanemarimo neadiabatne vplive pri $\cos \psi$ tudi za en velikostni red manjša. Celotna tridimenzionalna frontogeneza bi bila tako v splošnem predstavljena le z vertikalno komponento. Ker pa je horizontalna frontogeneza često važnejša, se je izkazalo primerno ločiti oba člena in ju proučevati posebej, ter pišemo:

$$F_H = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \theta}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{d\theta}{dt} \right) - \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial \theta}{\partial y} - \frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (3)$$

$$F_V = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{d\theta}{dt} \right) - \frac{\partial v}{\partial z} \frac{\partial \theta}{\partial y} - \frac{\partial w}{\partial z} \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (4)$$

Nekateri avtorji /7,8,9/ so proučevali jakost horizontalne frontogeneze pri posameznih primerih lepo grajenih in izrazitih front gibajočih se preko ravnih tal. V ta namen so se posluževali skrbno izdelanih analiz vetrovnega polja in polja θ na horizontalnih ali izobarnih ploskvah, kot tudi vertikalnih presekov atmosfere. Iz njih so črpali vrednosti faktorjev drugega in tretjega člena za desno stran enačbe (3). Prvi člen te enačbe, ki predstavlja neadiabatni doprinos k horizontalni frontogenezi, pa so večinoma zanemarjali. Z njihovimi deli smo dobili predstavo o razporeditvi in velikosti F_H ob izrazitih hladnih frontah nad ravno podlago. Na važnost vertikalne frontogeneze in na nesoglasje v pojmovanju front, je opozoril že sam Miller ob kvalitativni diskusiji; kvantitativne uporabe enačbe (4) za računanje verti-

kalne frontogeneze pa v literaturi nisem zasledil.

Integriranje gornjih enačb nam da spremembo horizontalnega oziroma vertikalnega gradienta θ

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial y}\right)_t - \left(\frac{\partial \theta}{\partial y}\right)_{t_0} = \int_{t_0}^t F_H dt \quad (5)$$

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)_t - \left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)_{t_0} = \int_{t_0}^t F_V dt \quad (6)$$

Tako dobimo spremembo, ki je nastala v zračnem delcu v času, ko se je ta gibal preko pregrade. Če vzamemo za zračni delec celotno frontalno cono, dobimo tako spremembo jakosti fronte. Točnost analiz polja θ , ki ga ponekod uporabljajo, ne zado-
stuje potrebam za rešitev problema, ki nas zanima; sploh pa nimamo na razpolago potrebnih kart, zato direktno proučevanje sprememb grad θ pri prehodu zraka preko Alp ni možno. Spremembo jakosti fronte, ki nam jo v smislu definicije predstavlja sprememba grad θ , moremo proučevati s pomočjo frontogenetične funkcije z uporabo enačb (3) do (6). Kako in kje fronta ob prehodu preko pregrade slabi ali se jača, lahko dobimo torej iz obnašanja F_H in F_V v območju pregrade - Alp, poznati pa moramo ustrezne faktorje.

Jakost fronte oziroma grad θ je na ravnem področju pred pregrado navadno možno dovolj natančno določiti ali vsaj oceniti. Nepoznane pa so nam vrednosti spremembe komponent hitrosti, ki nastopajo kot faktorji v gornjih enačbah. Če zanemarimo neadiabatna člena, bi bilo proučevanje spremembe jakosti fronte pri njenem prehodu preko pregrade možno, če bi poznali tokovno polje v območju pregrade. Toda dejansko nam tokovno polje v območju velikih gorskih pregrad in tudi Alp, ni poznano. V nasprotju z izjavo Fletcherja /10/, da "sodobna meteorološka teorija ni zmožna določitve tokovnega vzorca ob orografskih pregradah razen v kvalitativnem smislu", bomo pokazali pot do rešitve tega problema. V sledečem bomo najprej na poenostavljenih tokovnih vzorcih ob raznih predpostavkah opozorili na frontogenetične in frontolitične efekte, ki se pri tem pojavljajo.

Vzemimo, da ima gorska pregrada, ki nas zanima, v preseku obliko dela cosinusove krivulje. Postavimo koordinantni začetek ob vpadno vznožje pregrade tako, da bo os z vertikalna, os x vzporedna s pregrado, katere dimenzije v tej smeri so znatno večje od ostalih, in os y v smeri pravokotno na pregrado - presek pregrade v ravnini yz kaže slika I-1. Višina pobočja nad horizontalno ravnino na kateri stoji pregrada, je potem očitno

$$z = \frac{h}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi}{\lambda} y \right) \quad (7)$$

kjer je h višina vrha pregrade in λ širina pregrade.

Vzemimo, da je atmosfera homogena in nestisljiva, ter si zamislimo, da obstaja preko ravnine, na kateri se nahaja pregrada, enoten in stacionaren horizontalen tok brez trenja v smeri osi y . V območju pregrade naj se ta tok spremeni tako, da so tokovnice vzporedne pobočju pregrade do največjih višin, pri čemer zaradi majhnega nagiba ostane horizontalna komponenta hitrosti ista kot pred pregrado, to je v_0 . Za tak tok velja, kot sledi iz omenjenih predpostavk.

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (8)$$

Vertikalne frontogeneze v takem toku očitno ni, horizontalno pa reduciramo na

$$F_h = - \frac{\partial S}{\partial z} \frac{\partial w}{\partial y} \quad (9)$$

Namesto θ smo pisali S , ker potencialna temperatura v nestisljivi atmosferi nima pomena. S naj bo neka lastnost zraka, ki ima v nemotenem toku dane atmosfere enak gradient kot potencialna temperatura v normalni atmosferi. Očitno je, da je vertikalna komponenta vetra, ki se pojavi ob pregradi

$$w = v_0 \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (10)$$

kjer je β naklonski kot pobočja glede na horizontalo in seveda tudi naklonski kot tokovnic. Ker obenem velja $\operatorname{tg} \beta = \partial z / \partial y$, je v skladu z enačbo (7)

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\pi h}{\lambda} \sin \frac{2\pi}{\lambda} y \quad (11)$$

Zaradi konstantne horizontalne hitrosti lahko pišemo tudi

$$y = v_0 t, \quad (12)$$

s čimer je vsaka razdalja od ravnin $y = 0$ enostavna funkcija časa t .

Da bi lahko določili frontogenetično funkcijo, moramo določiti spremembo vertikalne hitrosti vzdolž toka preko pregrade. V skladu z enačbo (10) je

$$\frac{\partial w}{\partial y} = v_0 \frac{\partial}{\partial y} \operatorname{tg} \beta \quad (13)$$

iz česar sledi zaradi (11)

$$\frac{\partial w}{\partial y} = \frac{2\pi^2 v_0 h}{\lambda^2} \cos \frac{2\pi}{\lambda} y \quad (14)$$

Vidimo, da se tudi $\partial w / \partial y$ ob pregradi spreminja po \cos krivulji, ki kaže proporcionalno zrcalno sliko oblike pregrade. Ta faktor ima dve maksimalni vrednosti pri $y = 0$ in $y = \lambda$; minimalno vrednost pa ima nad vrhom pregrade, to je pri $y = \lambda/2$. Pri $y = \lambda/4$ in $3\lambda/4$, to je v točkah, kjer so vertikalne hitrosti ekstremne, pa je $\partial w / \partial y = 0$ (Sl-I-2).

Če sedaj upoštevamo (14) v (9), dobimo

$$F_H = - \frac{\partial S}{\partial z} \frac{2\pi^2 v_0 h}{\lambda^2} \cos \frac{2\pi}{\lambda} y \quad (15)$$

Predpostavimo, da je $\partial S / \partial z > 0$. V tem primeru je F_H nasprotnega znaka kot obravnavani člen $\partial w / \partial y$. V opisanem toku nastopa od

začetka pregrade do $\lambda/4$ frontoliza, od tod do $3\lambda/4$ frontogeneza in nad zadnjo četrtino širine pregrade spet frontoliza.

Sedaj lahko ugotavljamo spremembo $\text{grad}_H S$ in preko njega v skladu z definicijo spremembo jakosti fronte. V skladu z enačbami (5), (9), (12) in (14) je

$$\left(\frac{\partial S}{\partial y}\right) - \left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)_0 = - \int_{t_0}^t \frac{\partial S}{\partial z} \frac{2\pi^2 v_0 h}{\lambda^2} \cos \frac{2\pi v_0 t}{\lambda} dt \quad (16)$$

Glede na majhen nagib velikih gorskih pregrad kot celote lahko z majhno napako smatramo, da je v bistvu $\partial S/\partial z$ vseskozi konstanten in integral gornje enačbe je

$$\left(\frac{\partial S}{\partial y}\right) - \left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)_0 = - \frac{\partial S}{\partial z} \frac{\pi h}{\lambda} \sin \frac{2\pi}{\lambda} y \quad (17)$$

Enačba omogoča tudi določanje absolutnih vrednosti $\text{grad}_H S$ v posameznih točkah; vendar pa nas zanimajo predvsem relativne vrednosti, to je spremembe jakosti $\text{grad}_H S$, ki nastanejo zaradi pregrade, kar nam kaže na spremembe jakosti front. Te spremembe imajo v teh primerih očitno spet sinusovo razporeditev, pri kateri je $(\partial S/\partial y) - (\partial S/\partial y)_0 = 0$ v točkah $y = 0, \lambda/2$ in λ ; ter ekstremni vrednosti v točkah $\lambda/4$ in $3\lambda/4$ (slika I-2). Jakost teh relativnih sprememb je odvisna od amplitude, ki je glede na gornjo enačbo odvisna od $\text{grad}_V S$ in od razmerja h/λ , katere dvojna vrednost predstavlja povprečno strmino pobočja pregrade in tako tudi v nekem smislu obliko pregrade. Od vrednosti $(\partial S/\partial y)_0$, to je od prvotne komponente gradienta količine S v smeri y , je odvisno, ali bo v posameznih področjih nad pregrado gradient ojačan ali oslabljen.

Pri hladni fronti naj bo po analogiji s θ , $(\partial S/\partial y)_0 > 0$, zato bo vpliv pregrade v tem toku tak, da bo hladna fronta na vpadni strani pregrade oslabljena, na zavetrni pa pojačana; v tem ko bo pri topli fronti, kjer je $(\partial S/\partial y)_0 < 0$, vpliv pregrade na fronto glede razporeditve frontogeneze ravno nasproten.

Za ponazoritev efektov in približno orientacijo o velikosti količin, ki tu nastopajo, se bomo poslužili primera z upoštevanjem kvantitativnih vrednosti, zavedajoč se, da bodo rezultati le informativni.

Območje pregrade bomo razdelili na štiri enake cone (A,B,C,D) s širino vsake cone $s = \lambda/4$, začenši od koordinantnega začetka v skladu s sliko I-1. Računali pa bomo povprečne vrednosti frontogenetične funkcije v vsaki coni in spremembo $\text{grad}_H S$ na mejah teh con. Naj nam zato slika 1 predstavlja kar idealiziran presek Alp v smeri NW-SE. Višina grebena naj bo $h = 3$ km in

$\lambda = 200$ km. Maksimalni nagib pobočij je na mejah med conama A,B in C,D, in sicer $\text{tg}\beta = h\pi/\lambda = 4,7 \cdot 10^2$. Horizontalna hitrost toka pravokotno na pregrado naj bo $v_0 = 10$ m/s ter zato ekstremne vrednosti vertikalne hitrosti na mejah omenjenih con $|w| = v_0 \cdot |\text{tg}\beta| = 0,47$ m/s. Za postavitev realnih vrednosti $\text{grad}_V \theta$ oziroma $\text{grad}_V S$, se bomo poslužili vertikalnega preseka atmosfere, ki ga je podal Petterssen in ga označil kot tipičnega /1/. Iz njega dobljene vrednosti bomo uporabili v primerih, podane pa so v tabeli I-1

T A B E L A I-1

(Komponente $\text{grad } \theta$ za tipičen presek ob hladni fronti)

| | pred fronto | v frontalni coni | |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|------|
| $\partial \theta / \partial y$ | $6,6 \cdot 10^{-6}$ | $3,3 \cdot 10^{-5}$ | |
| $\partial \theta / \partial z$ | $4,6 \cdot 10^{-3}$ | $9,2 \cdot 10^{-3}$ | st/m |

V gornji tipični frontalni coni je torej $\text{grad}_V \theta$ dvakrat, $\text{grad}_H \theta$ pa petkrat močnejši kot v področju pred njo oziroma izven nje. $\partial S / \partial z$ naj bo tak kot je $\partial \theta / \partial z$ v Petterssenovi tipični predfrontalni coni.

Povprečna frontogeneza n.pr. za cono A je, kot sledi iz enačbe (15)

$$(\mathbb{F}_H)_A = - \frac{\partial S}{\partial z} \frac{v^2 v_0 h}{\lambda^2} \quad (18)$$

od koder dobimo po vzstavitvi ustreznih vrednosti za grad_v S predfrontalne cone vrednost $(F_H)_A = 3,5 \cdot 10^{-8}$ st/m.s. Iste absolutne vrednosti zavzema frontogenetična funkcija tudi v ostalih treh conah, njen predznak pa se spreminja v skladu z znakom tg .

Sprememba grad_H S je po enačbi (17) $(\partial \theta / \partial y)_{AB} = 2,2 \cdot 10^{-4}$ st/m. Dobljeno spremembo je treba prišteti prvotnemu gradientu, da dobimo vrednost gradienta na meji con AB. Ker je prvotni gradient za dva velikostna reda manjši od spremembe, ga lahko zanemarimo in grad_H S na meji med conama AB znaša $-2,2^\circ/10$ km. Pregrada je torej povzročila, da se je na njenem pobočju ustvarila fronta, (pravzaprav dve, nasprotnih predznakov), ki je petkrat močnejša od tipične fronte (tabela I-1). Horizontalni gradient S v zračnem delcu, ko je ta na vrhu pregrade, pa je enak prvotnemu gradientu v nemotenem toku izven območja pregrade. Pregrada v omenjenem toku ustvarja torej dve skoro enaki stacionarni fronti nasprotnih tipov. Shematično razporeditev grad_H S v področju pregrade kaže slika I-2.

Jakost grad_H S lahko v takem toku izračunamo še na drug način. Zaradi enostavnosti naj bo $(\partial S / \partial y)_0 = 0$, je pa tako majhen. Računamo grad_H S, ki se pojavi, če se zračna plast z danim grad_v S, ki je bila prvotno horizontalna, sedaj nagne ob pobočju v smislu slike 1 in slike 3. S tem tudi pojasnimo smisel upogibnega člena, kakor se zadnji člen enačbe (3) tudi imenuje. Nagib ploskev S je na prehodu med conama AB enak nagibu pobočja na tem mestu. Iz vertikalnega grad S dobimo debelino plasti z_e , v kateri se S spremeni za enoto. Ker je nagib pobočja majhen, lahko smatramo, da ostane grad_v S konstanten. Od tod sledi, da je horizontalna razdalja y_1 , na kateri se S spremeni za isto enoto (slika I-3),

$$y_1 = \frac{z_e}{\sin \beta} = \frac{z_e}{\tan \beta} \quad (19)$$

Horizontalni grad S je potem podan kar z njeno obratno vrednostjo ter ima glede na smer negativno vrednost.

$$\left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)_{AB} = - \frac{\partial S}{\partial z} \tan \beta \quad (20)$$

Po vstavitvi vrednosti podanega nagiba in upoštevanega grad_v S za predfrontalno polje, dobimo za desno stran enačbe isto vrednost (2,2 °/10 km), kot smo jo dobili prej preko frontogenetične funkcije.

Taka rešitev, oziroma pot do rešitve je možna seveda le tam, kjer je upogibni člen edini faktor, ki povzroča frontogenezo, kot je bilo to v tem primeru.

Po Sandersu /7/ sestavlja frontalno cono topel zrak, ki vstopa vanjo na njenem spodnjem delu pri tleh; tu je podvržen najprej močni frontogenezi in nato frontolizi - na ta način se frontalna cona vzdržuje. Sanders je proučeval F_H v intenzivni frontalni coni ter dobil vrednost enakega velikostnega reda kot mi ob pregradi. Horizontalni gradient θ je v spodnji polovici njegove intenzivne frontalne cone (dejanska hladna fronta nad USA), kot se da določiti iz njegovih vertikalnih presekov okrog 2 °/10 km, torej skoro enak gradientu S, ki ga je povzročila v našem primeru pregrada. Še ob primerjavi s Petterssenovo tipično fronto, v kateri je grad_H θ znatno manjši, spoznamo, da bi lahko orografska frontogeneza, če ta proces tako imenujemo, ustvarjala intenzivne fronte, ali pa že obstoječe fronte, ki pridejo v sličnem toku v njeno območje, v nekaterih delih povsem oslabila, na drugih pa močno ojačala. Vendar pa moramo pričakovati v realni atmosferi v območju orografskih pregrad tudi precej drugačne razporeditve frontogenetičnih efektov, saj so tokovna polja nad njimi zelo različna.

Računanje pritiska v motenem toku realne atmosfere

Glavni problem pri ugotavljanju frontogenetičnih efektov v območju velikih gorskih pregrad je v tem, da ne vemo, kakšni so v resnici tokovi stisljive - realne atmosfere v njihovem

območju. Nekateri so reševali problem za manjše pregrade /11, 12, 13, 14/ in tudi valove v zavetrni strani /15, 16/, vendar pa se njihove rešitve ne dajo aplicirati na tako velike pregrade, kot so Alpe. Zato smo prisiljeni najprej poiskati ustrezno rešitev tega problema.

Zamislimo si, da je zračni tok preko pregrade razdeljen v poljubno tanke tokovne cevi. Za vsako tokovno cev velja Bernoullijeva enačba

$$\frac{v_0^2}{2} + g y + c_p T_0 = \frac{v^2}{2} + g z + c_p T \quad (21)$$

kjer so z indeksom 0 označene vrednosti, ki veljajo na začetku tokovne cevi v nemotenem toku pred pregrado. Predpostavimo, da so nam znane; le namesto z_0 pišemo y . Koordinatni sistem postavimo ob vznožje pregrade na njeno privetrno stran, tako da gre os y pravokotno na pregrado in os z navzgor. Nadalje predpostavimo:

1. da je tok stacionaren in laminaren,
2. da je trenje zanemarljivo,
3. da je gibanje adiabatno,
4. da ni komponente hitrosti v smeri x ,
5. da je vpliv zemeljske rotacije zanemarljiv.

Zaradi 3. pogoja velja

$$\frac{p_0}{p} = \left(\frac{p}{p_0}\right)^{-\frac{1}{k}} \quad \text{in} \quad \frac{T}{T_0} = \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (22)$$

kjer je $k = c_p/c_v = 1,404$. Za vsako cev velja tudi zakon o ohranitvi gibalne količine, ki ga pišemo v obliki

$$\sigma p v = \sigma_0 p_0 v_0 \quad (23)$$

kjer pomeni σ presek (debelino) tokovne cevi in v enako kot v enačbi (21), hitrost vzdolž cevi. Iz enačb (21), (22) in (23) dobimo

$$-\frac{v_0^2}{2T_0} + f \frac{z-y}{T_0} - c_p + \frac{1}{2T_0} \left(v_0 \frac{\sigma_0}{\sigma} \right)^2 \left(\frac{p}{p_0} \right)^{-\frac{2}{k}} + c_p \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 0 \quad (24)$$

ali z ustrezno okrajšavo

$$A p^{m_1} - B p^{m_2} + C = 0 \quad (25)$$

kjer sta

$$n_1 = \frac{k+1}{k} = 1,712 \quad (26)$$

$$n_2 = -\frac{2}{k} = 1,424$$

in so ustrezne okrajšave

$$A = p_0^{-n_1} c_p$$

$$B = p_0^{-n_2} \left(c_p + \frac{v_0^2}{2T_0} - f \frac{z-y}{T_0} \right) \quad (27)$$

$$C = \frac{1}{2T_0} \left(v_0 \frac{\sigma_0}{\sigma} \right)^2$$

Iz enačbe (25) dobimo, da je

$$p = p_r = \left(\frac{B}{A} \right)^{\frac{1}{m_1 - m_2}} \quad \text{za } C = 0 \quad (28)$$

Ker je $n_1 > n_2$ in $A > B > 0$, sledi iz (25), da je

$$p \leq p_r \quad (29)$$

C je, kot bomo videli, blizu vrednosti 0 in p_r blizu vrednosti p , njuna razlika pa je majhna. Pišimo enačbo (25) zato na sledeči način

$$A p_r^{m_1} \left(1 - \frac{p_r - p}{p_r} \right)^{m_1} - B p_r^{m_2} \left(1 - \frac{p_r - p}{p_r} \right)^{m_2} + C = 0 \quad (30)$$

Uvedimo okrajšavo

$$\frac{p_r - p}{p_r} = x ; \quad (31)$$

iz (28) pa sledi, da je

$$A p_r^{m_1} = B p_r^{m_2} = a \quad (32)$$

zato lahko pišemo enačbo (30) v obliki

$$(1 - x)^{n_1} - (1 - x)^{n_2} + \frac{C}{a} = 0 \quad (33)$$

Iskanje p smo prenesli na iskanje vrednosti x , v katerem je p preko enačb (31) in (28) enolično določen.

Vidimo, da je $x = x(C)$, in sicer tako, da je $x(0) = 0$. x lahko izrazimo z vrsto

$$x = C x'(0) + \frac{C^2}{2} x''(0) + \dots \quad (34)$$

x je taka funkcija C -ja, da je enačba (33) za vsak C identično izpolnjena; zaradi (34) pa jo lahko pišemo

$$f(C) = \left[1 - Cx'(0) - \frac{C^2}{2}x''(0)\right]^{m_1} - \left[1 - Cx'(0) - \frac{C^2}{2}x''(0)\right]^{m_2} + \frac{C}{a} = 0 \quad (35)$$

Z odvajanjem (35) dobimo $f'(C) = 0$ in od tod

$$f'(0) = -(m_1 - m_2) x'(0) + \frac{1}{a} = 0 \quad (36)$$

iz česar dobimo za faktor v drugem členu enačbe (34)

$$x'(0) = \frac{1}{a(m_1 - m_2)} \quad (37)$$

Drugi odvod enačbe (35) nam da $f''(C)$, iz česar sledi

$$f''(0) = -[m_1(m_1 - 1) - m_2(m_2 - 1)] x'^2(0) - (m_1 - m_2) x''(0) = 0 \quad (38)$$

iz te pa faktor v tretjem členu enačbe (34)

$$x''(0) = - \frac{\mu_1(\mu_1-1) - \mu_2(\mu_2-1)}{\alpha^2(\mu_1 - \mu_2)^3} \quad (39)$$

Enačbo (34) lahko pišemo sedaj

$$x = \frac{c}{\alpha(\mu_1 - \mu_2)} - \frac{c^2}{2\alpha^2} \frac{\mu_1(\mu_1-1) - \mu_2(\mu_2-1)}{(\mu_1 - \mu_2)^3} \quad (40)$$

Preden gremo dalje, moramo ugotoviti, če nas to zadovoljuje, oziroma kakšno napako smo naredili, ker smo v enačbi (34) zamenjali člene višjega reda. Računali bomo primer, kjer so možne napake največje, to je za tokovno cev tik ob pregradi, saj moramo smatrati, da nobena od ostalih tokovnic v motnji nikjer ne odstopa bolj od svoje prvotne višine kot ta nad vrhom pregrade. Vzemimo zato

$$\begin{aligned} v_0 &= 10 \text{ m/s} & T_0 &= 280^\circ \\ p_0 &= 1000 \text{ mb} & z - y &= 3000 \text{ m} \end{aligned} \quad (41)$$

Iz enačb (27) dobimo za konstanti

$$\begin{aligned} A &= 7,352 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ st}^{-1} \text{ mb}^{-1} \\ B &= 47,81 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ st}^{-1} \text{ mb}^{-1} \end{aligned}$$

in z njima zaradi (28) in (26)

$$p_r = 688 \text{ mb}$$

Z upoštevanjem gornjega in enačbe (26) lahko dobimo sedaj iz (32)

$$a = 530 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ st}^{-1}$$

Pričakujemo, da se nobena tokovna cev v motnji ne bo bolj stisnila kot na $1/5$ svoje prvotne debeline; zato bo v skrajnem primeru $\sigma_0/\sigma = 5$ in od tod zaradi (27) $C = 5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ st}^{-1}$, v splošnem pa je C mnogo manjši. Računamo zato največjo možno napako s temi vrednostmi, čeprav moramo v začetku postopati po drugačnem vrstnem redu, začevši s p . Za

$p = 664 \text{ mb}$ je zaradi (33) $c = 5,1113 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ st}^{-1}$

Aproximativni x dobimo iz enačbe (40) in je

$$x_{\text{ap}} = 3,231 \cdot 10^{-2}$$

Iz enačbe analogne enačbi (31) dobimo aproksimativni p

$$p_{\text{ap}} = p_r \cdot (1 - x_{\text{ap}}) \quad (42)$$

kar nam da, upoštevajoč gornje vrednosti

$$p_{\text{ap}} = 665,7 \text{ mb}$$

Relativna napaka je tedaj

$$(p - p_{\text{ap}}) / p = 0,25 \% \quad (43)$$

ki je očitno zelo majhna. Primerjava končne vrednosti x_{ap} , ki je podana zgoraj, in vrednosti prvega člena pri računanju po enačbi (40) nam kaže, da zadostuje že samo prvi člen. Z upoštevanjem samo prvega člena dobimo v tem primeru celo manjšo napako, in sicer 0,14 %. Ker smo vzeli maksimalno razliko $z - y$ in zelo veliko stisnitev tokovnic, so v splošnem napake mnogo manjše: zato pišemo

$$x = \frac{C}{a \left(\bar{n}_1 - \bar{n}_2 \right)} \quad (44)$$

Iz enačbe (31) dobimo

$$p = p_r (1 - x) \quad (45)$$

in od tod zaradi (44), upoštevajoč (28) in (32)

$$p = \left(\frac{B}{A} \right)^{\frac{1}{M_1 - M_2}} - \left(\frac{B}{A} \right)^{\frac{M_2 - 1}{M_1 - M_2}} \cdot \frac{C}{A \left(M_1 - M_2 \right)} \quad (46)$$

Z ureditvijo in uvedbo sledečih konstant

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{1}{M_1 - M_2} = 3,475 \\ m_2 &= \frac{M_2 - 1}{M_1 - M_2} = 1,475 \\ m_3 &= \frac{M_1 - 1}{M_1 - M_2} = 2,475 \end{aligned} \quad (47)$$

jo lahko skrčimo na

$$p = \left(\frac{B}{A}\right)^{m_1} - \frac{m_1 A^{m_2}}{B^{m_3}} C \quad (48)$$

Glede na enačbe (27) vidimo, da se nam izraža pritisk kot funkcija začetnih pogojev in karakteristik toka oziroma pregrade

$$p = p(p_0, T_0, v_0, \gamma, \sigma_0, \sigma, z) \quad (49)$$

Pritiska v točkah tokovnega polja pa ne moremo izračunati, ker nam σ ni poznan. Za reševanje problema moramo pritegniti še enačbe gibanja.

Pospešek, ki ga dobi zračni delec srednje temperature T_{sh} , ker se nahaja v toplejši okolici temperature T_{oh} , dobimo preko vzgona in se izraža

$$F_{\downarrow} = g \frac{T_{oh} - T_{sh}}{T_{oh}} \quad (50)$$

Pod vplivom tega bi se nad nagnjeno podlago (slika I-4) pričel gibati zračni delec ob pregradi navzdol, kar more preprečiti ustrezna komponenta horizontalnega gradienta pritiska. Ravnotežno stanje lahko zato napišemo v sledeči obliki:

$$g \frac{T_{oh} - T_{sh}}{T_{oh}} \sin \beta + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \cos \beta = 0 \quad (51)$$

od koder dobimo vrednost horizontalnega gradienta pritiska, ki je potreben za vzdrževanje ravnotežnega stanja:

$$\frac{\partial p}{\partial y} = -\bar{p}g \frac{T_{oh} - T_{sh}}{T_{oh}} \text{tg} \beta \quad (52)$$

Glede na sliko I-4 je očitno, da je

$$T_{oh} = T_{oo} - \gamma_o \cdot h \quad (53)$$

$$T_{sh} = T_{oo} - \frac{h}{2} (\gamma_o + \gamma_a) + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\lambda}{4}$$

ker je

$$T_{sh} = \frac{T_{oh} + T_h}{2} \quad \text{in} \quad T_h = T_{oo} - \gamma_a h + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\lambda}{2} \quad (54)$$

Za $\partial T / \partial y = 0$ lahko zaradi enačbe (53) pišemo enačbo (52) v obliki

$$\frac{\partial p}{\partial y} = -\frac{\bar{p}gh}{2T_{oh}} (\gamma_a - \gamma_o) \text{tg} \beta \quad (55)$$

Vidimo, da je za prehod zračne mase preko pregrade potreben tem večji horizontalni gradient pritiska, čim višja je pregrada, čim nižja sta temperatura in vertikalni temperaturni gradient zračne mase in čim večja je strmina pobočij. Za $\bar{p} = 1 \text{ kg/m}^3$, $h = 3 \text{ km}$, $\gamma_o = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ/\text{m}$, $T_{oo} = 300^\circ\text{K}$ in $\text{tg} \beta = 1/30$ dobimo $\frac{\partial p}{\partial y} \doteq 6 \text{ mb/100 km}$, kar je glede na naravne vrednosti precej velika vrednost. Pri takih vrednostih pa se zato pred pregrado ustvarijo jezera hladnega zraka, katerih gornja meja tvori novo obliko pregrade z manjšim nagibom, preko katere se pretaka zrak - kot je opazil že Čadež /18/. V območju hladnih front, kjer je $\partial T / \partial y > 0$, je lahko mejna vrednost horizontalnega gradienta pritiska nekoliko manjša.

Znatno manjši gradient pritiska je potreben, kadar nastopi ob dviganju kondenzacija. Dvigajoči se zrak se ohlaja počasneje - po vlažni adiabatni; za taka gibanja pa enačbi (22) ne veljata

ter zato ta primer pri naših izvajanjih ne pride v poštev. Naše rešitve veljajo torej v okviru zgoraj navedenih pogojev.

Analitična rešitev lineariziranega problema

S pritegnitvijo tretje enačbe gibanja k določevanju tokovnega polja nad pregrado, dobimo diferencialno enačbo, ki je v splošnem ni mogoče analitično rešiti. Da bi dobili vsaj grobo predstavbo, kakšno naj bo tako tokovno polje, uporabimo vrsto predpostavk in problem lineariziramo. Eno tako aproksimativno analitično rešitev dobimo na sledeči način.

Iz Taylorjeve vrste sledi

$$(1 - x_0)^n = 1 - n x_0 + \frac{n(n-1)}{2} x_0^2 - \dots \quad (56)$$

pri čemer naj bo

$$x_0 = \frac{p_0 - p}{p_0} \quad (57)$$

Glede na linearizacijo kvadratni in višje člene v enačbi (56) zanemarimo. Smatramo, da je stisnitev tokovnic majhna in je $\bar{\sigma}_0/\sigma$ blizu vrednosti 1 ter zato pišemo $(\bar{\sigma}_0/\sigma)^2 - 1 \approx 2(\bar{\sigma}_0/\sigma - 1)$. S tem lahko člene enačbe (25) pretvorimo, da velja

$$\begin{aligned} A \quad p^{n1} &= c_p (1 - n_1 x_0) \\ - B \quad p^{n2} &= - \left(c_p + \frac{v_0^2}{2T_0} - f \frac{z-\gamma}{T_0} \right) (1 - n_2 x_0) \\ C &= \frac{v_0^2}{T_0} \left(\frac{\bar{\sigma}_0}{\sigma} - \frac{1}{2} \right) \end{aligned} \quad (58)$$

S temi členi postavljena enačba (25) nam da, upoštevajoč, da je $(n_1 - n_2) c_p = R$

$$x_0 = - \frac{v_0^2 \left(\frac{\bar{\sigma}_0}{\sigma} - 1 \right) - f(z-\gamma)}{RT_0 - \frac{v_0^2}{k} + 2f \frac{z-\gamma}{k}} \quad (59)$$

Pišimo

$$z - \gamma = \varphi(\gamma) \quad (60)$$

potem lahko pišemo stisnitev tokovne cevi

$$\frac{\bar{\sigma}_0}{\sigma} = \frac{ds}{dz} = \frac{1}{1+\varphi'} \quad (61)$$

ker je zaradi majhnega nagiba pobočja ($\operatorname{tg} \beta \leq 1/25$), je $0,9992 \leq \cos \leq 1$ in zato velja dovolj natančno $\operatorname{dz} \cdot \cos \doteq \operatorname{dz}$.

Z upoštevanjem gornjih dveh enačb se (59) pretvori v

$$x_0 = - \frac{v_0^2 \varphi' - g \varphi - g \varphi \varphi'}{(1 + \varphi')(R T_0 - \frac{v_0^2}{k} + 2g \frac{\varphi}{k})} \quad (62)$$

Tretjo enačbo gibanja lahko pišemo

$$\frac{dp}{dz} = - \rho (g + \dot{w}) \quad (63)$$

Največji nagib, ki ga lahko pričakujemo pri izgubljenih profilih velikih gorskih pregrad, kot so Alpe, je $\operatorname{tg} \beta \doteq 1/25$. V skladu z enačbo (10) in povprečno horizontalno hitrostjo pretoka $\bar{v} \doteq 20$ m/s je $w_{\max} = 0,8$ m/s. Ta vrednost nastopa približno na

$\lambda/4 = 50$ km, na začetku in na vrhu pregrade pa je vertikalna hitrost 0. Glede na upoštevano horizontalno hitrost je čas, v katerem dosežejo delci w_{\max} 3000 sek, tako da je $\dot{w}_{\max} \doteq 3 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-2}$. Glede na zemeljski pospešek g je v teh primerih vertikalni pospešek \dot{w} vsaj za štiri velikostne rede manjša vrednost, ki jo glede na sumand g v enačbi (63) smemo zanemariti, s čimer preidemo na enačbo statike.

Iz enačbe (22) sledi zaradi (26) in (57)

$$T = T_0 \left[1 + (m_1 - m_2) x_0 \right], \quad (64)$$

s čimer dobimo iz enačbe statike

$$\left[1 + (m_1 - m_2) x_0 \right] \frac{d \operatorname{Lup}}{dz} = - \frac{\delta h}{T_0} \quad (65)$$

Pišemo lahko

$$\frac{d \operatorname{Lup}}{dz} = \frac{d \operatorname{Lup}}{dy} \cdot \frac{dy}{dz} \quad (66)$$

Iz enačbe (57) sledi, da je $p = p_0 (1-x_0)$, zato je

$$\frac{d \ln p}{dy} = \frac{d \ln p_0}{dy} + \frac{d \ln (1-x_0)}{dy} \quad (67)$$

ali zaradi enačbe statike

$$-\frac{d \ln p}{dy} = -\frac{\gamma_h}{T_0} + \frac{1}{1-x_0} \frac{dx_0}{dy} \quad (68)$$

zaradi (68) in (61) lahko pišemo enačbo (66) v obliki

$$\frac{d \ln p}{dz} = - \left(\frac{\gamma_h}{T_0} + \frac{1}{1-x_0} \frac{dx_0}{dy} \right) \frac{1}{1+\varphi'} \quad (69)$$

Upoštevanje (69) v enačbi (65) nam da

$$\left[1 + (m_1 - m_2) x_0 \right] \left[1 + \frac{T_0}{\gamma_h} \frac{1}{1-x_0} \frac{dx_0}{dy} \right] = 1 + \varphi' \quad (70)$$

ki jo linearizirano lahko pišemo v obliki

$$\varphi' - (m_1 - m_2) x_0 + \frac{T_0}{\gamma_h} \frac{dx_0}{dy} = 0 \quad (71)$$

Ako v tej enačbi upoštevamo linearizirano enačbo (62) in njen odvod, dobimo diferencialno enačbo

$$\varphi'' - \varphi' \frac{\gamma_h}{T_0} + \varphi \frac{\gamma_a}{T_0} \frac{g}{v_0^2} = 0 \quad (72)$$

ki se dobro ujema s posebno obliko Scorerjeve /11/.

Rešitev gornje enačbe za izotermno atmosfero je

$$\varphi = e^{\alpha z} \quad (73)$$

Pri tem je

$$\alpha = \frac{\gamma_h}{2T_0} \left(1 \pm \sqrt{1 - \left(\frac{v_c}{v_0} \right)^2} \right) \quad (74)$$

kjer je v_c kritična hitrost (približno hitrost zvoka), pri kateri izraz pod korenem obrne predznak. Zato je

$$v_c = 2R \sqrt{\frac{T_0}{C_p}}$$

V naravi kritična hitrost ni dosežena, zato je $v_c > v_0$ ter je vrednost pod korenem negativna.

Upoštevajoč, da velja $e^{it} = \cos t + i \sin t$, dobimo iz enačb (60), (73) in (74)

$$z - \gamma = \varepsilon e^{\frac{\gamma_h \gamma}{2T_0} y} \cdot \sin\left(\frac{\gamma_h \gamma}{2T_0} y \sqrt{\left(\frac{v_c}{v_0}\right)^2 - 1 + \nu}\right), \quad (76)$$

kjer sta ε in ν poljubni konstanti, ki predstavljata oba robna pogoja. En robni pogoj je oblika pregrade oziroma njena višina v posameznih točkah, ki mora biti identična s spodnjo tokovnico ali $z = h$ za $\gamma = 0$. Glede na to je v skladu z enačbo (76)

$$\varepsilon = \frac{h}{\sin \nu} \quad (77)$$

Drugi - zgornji robni pogoj je v splošnem manj definiran. Izberemo ga ob predpostavki, da je tokovnica na neki višini z_H horizontalna ter je $z_H = \gamma_H$. Pri tem ni potrebno, da so tudi vse nad njo ležeče tokovnice ravne, kar bi pomenilo, da sega motnja samo do višine z_H . Nad ravno tokovnico je lahko polje poljubno (lahko simetrično), vendar seveda v skladu z ustreznimi zakoni. Od višine, ki jo izberemo za z_H , so odvisne, kot bomo videli kasneje, nekatere karakteristike dobljenega tokovnega vzorca. Glede na drugi robni pogoj dobimo iz (76) za drugo konstanto

$$\nu = - \frac{\gamma_h \gamma}{2T_0} \cdot \frac{v_c}{v_0} \gamma_H \quad (78)$$

Enačbo (76) lahko sedaj okrajšano pišemo

$$z - \gamma = h e^D \frac{\sin(D^* + \nu)}{\sin \nu}, \quad (79)$$

$$\text{kjer sta } D = \frac{\gamma_h \gamma}{2T_0} \quad \text{in } D^* = \frac{\gamma_h \gamma}{2T_0} \sqrt{\left(\frac{v_c}{v_0}\right)^2 - 1}$$

Z enačbo (79) dobljena tokovna polja za različne višine gornje mejne tokovnice in za pregrado, visoko do 0,5 km, so prikazana na sliki I-5. Račun, a že tudi ekstrapolacija polj za pregrade

večjih višin nam pokaže, da nam lineariziran problem ne da realnih rešitev za tako visoko pregrado, kot so Alpe - tokovnice bi se pričele sekati. Vidimo, da kljub mnogim predpostavkam in poenostavitvam realne analitične rešitve tokovnega polja za pregrado, kot so Alpe, ni mogoče dobiti, ter moramo preiti na numerično integracijo.

Numerično računanje kinematičnega polja in njegova vključitev v osnovne enačbe

Pri računanju tokovnega vzorca z numerično integracijo ohranimo oba spredaj postavljena robna pogoja. Računamo pa tokovni vzorec navzdol od horizontalne tokovnice, ki ji damo zato indeks 1. Naslednja pod njo ležeča tokovnica z indeksom 2 seveda ni več horizontalna, ker se prilagaja motnji zaradi pregrade. Njena razdalja od ravne, nad njo ležeče tokovnice, bo v skladu s Taylorjevo vrsto

$$z_1 - z_2 = (y_1 - y_2) \left(\frac{dz}{dy} \right)_1 - \frac{1}{2} (y_1 - y_2)^2 \left(\frac{d^2z}{dy^2} \right)_1 \quad (80)$$

kjer pomeni indeks 1 +, da je odvod vzet v neki vmesni točki in je dobljen z ekstrapolacijo. Podobno pa dobimo nadaljnje razdalje niže ležečih tokovnic vse do poslednje z začetno vrednostjo $y = 0$, katere višina v ustrezni točki je obenem višina pregrade. Za računanje po enačbi (67) pa moramo seveda poznati v njej nastopajoče odvode.

Enačbo (25) lahko zaradi (27) pišemo tudi v obliki

$$C = -c_p \alpha^{n_1} + N \alpha^{n_2} \quad , \quad (81)$$

kjer sta

$$\alpha = \frac{p}{p_0} \quad \text{in} \quad (82)$$

$$N = c_p + \frac{v_0^2}{2T_0} - \varepsilon \frac{z-y}{T_0} \quad (83)$$

Če upoštevamo enačbo (61), dobimo iz tretje od enačb (27)

$$\frac{dz}{dy} = \frac{v_0}{\sqrt{2T_0 C}} \quad (84)$$

V tej enačbi, kot je razvidno iz (81), nastopa α . S tem, da nekje na horizontalni tokovnici izberemo za α neko vrednost, postavimo drugi robni pogoj, saj z njim posredno določimo višino pregrade pod to točko, ustrezno dobljeni razporeditvi.

Neznani faktor na desni v enačbi (80) dobimo z odvajanjem enačbe (84) ter je

$$\frac{dz}{dy} = -\frac{1}{2} \frac{dz}{dy} \left(\frac{1}{c} \frac{dc}{dy} - \frac{\gamma_0}{T_0} \right) \quad (85)$$

kjer je

$$\gamma_0 = -\frac{dT_0}{dy} \quad (86)$$

geometrični temperaturni gradient v nemotenem toku. Odvod v oklepaju na desni v enačbi (85) je zaradi (81) in (83)

$$\frac{dc}{dy} = \frac{1}{\alpha} \frac{d\alpha}{dy} (m_2 c - R \alpha^{m_1}) + \alpha^{m_2} \frac{dN}{dy} \quad (87)$$

kjer je, kot sledi iz enačbe (83)

$$\frac{dN}{dy} = \frac{1}{T_0} \left[\gamma_0 (N - q) - g \left(\frac{dz}{dy} - 1 \right) \right] \quad (88)$$

Faktor $d\alpha/dy$ lahko zaradi (82) pišemo z enačbo

$$\frac{d\alpha}{dy} = \frac{1}{p_0} \left(\frac{dp}{dz} \frac{dz}{dy} - \alpha \frac{dp_0}{dy} \right) \quad (89)$$

Oba ustrezna odvoda pritiska v njej pa dobimo iz enačbe statike, ki jo glede na razmotrivanja v enačbi (63) smemo uporabiti. Upoštevajmo še enačbo stanja in (22) pa dobimo zaradi (82)

$$\frac{dp}{dz} = -\frac{\gamma_h p_0}{T_0} \alpha^k \quad \text{in} \quad \frac{dp_0}{dy} = -\frac{\gamma_h p_0}{T_0} \quad (90)$$

s čimer sledi zaradi (89)

$$\frac{d\alpha}{dy} = -\frac{\gamma_h}{T_0} \left(\alpha - \alpha^k \frac{dz}{dy} \right) \quad (91)$$

Z upoštevanjem te v (87) in tako razširjene enačbe (87) v (85), dobimo tudi drugi odvod z po γ , izražen z vrednostmi začetnih pogojev in robnih pogojev. Tako je

$$\frac{d^2 z}{dy^2} = \frac{\left(\frac{dz}{dy}\right)^3}{v_0^2} \left\{ \gamma_0 C + \frac{T_0}{\alpha} \frac{d\alpha}{dy} (m_2 C - R \alpha^m) + \alpha^{m_2} \left[\gamma_0 (N - q) - g \left(\frac{dz}{dy} - 1 \right) \right] \right\} \quad (92)$$

Iz enačbe (80) dobimo višino druge tokovnice z_2 ; po analogiji pa tudi α_2 v tej točki, saj je

$$\alpha_2 = \alpha_1 - (\gamma_1 - \gamma_2) \left(\frac{d\alpha}{dy} \right)_1 + \frac{1}{2} (\gamma_1 - \gamma_2)^2 \left(\frac{d^2 \alpha}{dy^2} \right)_1 - \dots \quad (93)$$

Z znanim α_2 lahko po gornjem postopku računamo dalje vrednosti v točki 3 itd. navzdol vse do tal - do pregrade. Razviti pa moramo še nadaljnje odvode α po γ , ki nastopajo v enačbi (93). Drugi odvod, ki ga dobimo iz (78), lahko pišemo v obliki

$$\frac{d^2 \alpha}{dy^2} = \frac{\gamma_h}{T_0} \left[\frac{d\alpha}{dy} \left(1 + \frac{\gamma_0}{\gamma_h} - \frac{\alpha^{\frac{1}{k}}}{\alpha k} \frac{dz}{dy} \right) - \alpha^{\frac{1}{k}} \frac{d^2 z}{dy^2} \right] \quad (94)$$

kjer se posamezni faktorji izražajo s spredaj podanimi enačbami; pri praktičnem računanju pa nastopajo kot že izračunane in znane količine.

Izkaže pa se, da na desni v enačbi (93) pod danimi pogoji ne zadostujejo trije členi, ampak bi jih moralo biti vsaj pet, da bi dobili enako natančnost, kot jo da enačba (80). Razen izrazov, podanih z enačbami (91) in (94), bi potrebovali še tretji in četrty odvod α po γ . Z njima izpopolnjena enačba (93) pa bi bila za računanje zelo dolgovezna. Pomagamo si zato z enačbo (48) in z njo neposredno izračunamo pritisk v točki 2. Pri računanju vrednosti C_2 , ki nastopa v tej enačbi, pa potrebujemo zaradi (61) še zgostitev v točki 2. To dobimo z odvajanjem enačbe (80), in sicer

$$\left(\frac{dz}{dy} \right)_2 = \left(\frac{dz}{dy} \right)_1 - (\gamma_1 - \gamma_2) \left(\frac{d^2 z}{dy^2} \right)_1 \quad (95)$$

kjer je drugi odvod vzet v vmesni točki ter ga dobimo z ekstrapolacijo oziroma iteracijo. Iz dobljenega p_2 dobimo α_2 neposredno iz enačbe (82) in lahko računamo dalje višino točke 3 in analogno vse nadaljnje.

Za kontrolo dobljenih enačb in postopka, je bila računana tokovnična razporeditev za $\gamma_H = 5$ km, razne α , in razne širine stopenj. Kot začetni pogoj je bila vzeta $v_0 = 20$ m/s in razporeditev standardne NACA atmosfere /17/. V najožjih stopnjah $\Delta\gamma = 130$ m je bil računana del razporeditve za $\alpha = 1,00240$: dobljena tokovnična razporeditev ter potek prvega in drugega odvoda z po γ so prikazani na sliki I-6.

Taka poskusna računanja so pokazala, da dobljene razporeditve malo, vendar sistematično odstopajo od razporeditev, ki jih da za enake robne pogoje analitična rešitev lineariziranega problema. Odstopanje je tako, da je pri numerični razporeditvi z navzdol relativno vse manjši.

Zlasti na začetku - ob ravni tokovnici - kjer se drugi odvod zelo naglo spreminja, morajo biti stopnje zelo ozke, da so ekstrapolirane vrednosti dovolj natančne. Vpliv drugega odvoda je namreč še zelo velik, saj dobimo pri $\gamma_H = 5$ km ob napaki drugega odvoda za 5 % napako za višino pregrade 1 km. Glede na to nam je vsaj v začetnih točkah potreben še tretji odvod oziroma tretji člen v enačbi (80). Dobimo ga iz enačbe (85) in je

$$\frac{d^3z}{d\gamma^3} = -\frac{1}{2} \left\{ \frac{d^2z}{d\gamma^2} \left(\frac{1}{c} \frac{dc}{d\gamma} - \frac{\gamma_0}{T_0} \right) + \frac{dz}{d\gamma} \left[\frac{1}{c} \frac{d^2c}{d\gamma^2} - \left(\frac{1}{c} \frac{dc}{d\gamma} \right)^2 - \left(\frac{\gamma_0}{T_0} \right)^2 \right] \right\} \quad (96)$$

Ostali faktorji so znani iz prejšnjih enačb, potrebujemo le še drugi odvod C po γ , ki je kot sledi iz (87)

$$\frac{d^2c}{d\gamma^2} = \left(\frac{dc}{d\gamma} - \alpha^m \frac{dN}{d\gamma} \right) \left[-\frac{1}{\alpha} \frac{d\alpha}{d\gamma} + \left(\frac{d\alpha}{d\gamma} \right)^2 \frac{dz}{d\gamma^2} \right] + \frac{1}{\alpha} \frac{d\alpha}{d\gamma} \left[m_2 \left(\frac{dc}{d\gamma} + \alpha^m \frac{dN}{d\gamma} \right) - m_1 R \frac{\alpha^m}{\alpha} \frac{d\alpha}{d\gamma} \right] + \frac{\alpha^m}{T_0} \left(2\gamma_0 \frac{dN}{d\gamma} - \rho \frac{dz}{d\gamma^2} \right) \quad (97)$$

V teh dveh enačbah nastopajo količine, ki smo jih dobili ob računanju drugega odvoda, zato določitev vrednosti tretjega odvoda ne zahteva mnogo dodatnega dela.

Vključitev enačb (96) z (97) v računanje primerja je pokazala, da je konvergenca enačbe (80) pri stopnjah širine nekaj deset metrov še vedno majhna. Če naj bo vrednost tretjega odvoda, s katerim po novem nehamo vrsto in ga zato ekstrapoliramo, samo 1 %

Velikosti drugega odvoda, morajo biti stopnje pri omenjenih pogojih manjše od 1,8 m. Število stopenj, ki jih zahteva računanje ene vertikalne razporeditve, naraste s tem na nekaj tisoč. Če upoštevamo, da je za računanje vsake stopnje ob uporabi ročnega računskega stroja potrebnih nekaj ur dela, nam je razumljivo, da brez elektronskega računskega stroja ni umestno računati tokovnega polja.

Hitrost toka vzdolž tokovnice razdelimo na horizontalno in vertikalno komponento, ki sta

$$\begin{aligned} v_H &= v \cos \beta \\ w &= v \sin \beta \end{aligned} \quad (98)$$

Zaradi majhnega nagiba pobočij obsežnih gorskih pregrad, kot so Alpe, ($\text{tg } \beta_{\text{max}} = 1/25$) velja tudi

$$\begin{aligned} v_H &= v \\ w &= v \text{tg } \beta \end{aligned} \quad (99)$$

s čimer smo naredili neznatno napako, ki znaša 0,08 % v prvem in 0,25 % v drugem primeru. Namesto horizontalne komponente pišemo kar v , zato je zaradi (23), (22) in (61)

$$v = v_0 \left(\alpha^{\frac{1}{k}} \frac{dz}{dy} \right)^{-1} \quad (100)$$

od koder dobimo ustrezne odvode, ki nastopajo v osnovnih enačbah frontogenetičnih funkcij (3) in (4). Tako sledita

$$\frac{\partial v}{\partial y} = -v \left(\frac{1}{k\alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial y} + \frac{1}{\sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial y} \right) \quad (101)$$

$$\frac{\partial v}{\partial z} = -v \left(\frac{1}{k\alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial z} + \frac{1}{\sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial z} \right) \quad (102)$$

Glede na drugo enačbo v (99) pa tudi

$$-\frac{\partial w}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial y} \gamma \beta + v \frac{\partial}{\partial y} \gamma \beta \quad (103)$$

$$\frac{\partial w}{\partial z} = \frac{\partial v}{\partial z} \gamma \beta + v \frac{\partial}{\partial z} \gamma \beta \quad (104)$$

kjer sta odvoda "v" v obeh smereh podana z enačbama (101) in (102).

Vse količine, ki nastopajo v gornjih štirih enačbah, določimo iz tokovnih polj, ki smo jih dobili po spredaj podanem postopku. Upoštevajoč ustrezne vrednosti gradienta potencialne temperature, dobimo po enačbah (3) in (4) polja frontogeneze in frontolize. Z enačbama (5) in (6) pa dobimo spremembe gradientov, to je v smislu definicije, spremembe jakosti frontalnih con pri njihovem prehodu preko orografske pregrade.

Očitno je, da sta kraj in jakost frontogenetičnih polj **nađ** pregrado zelo variabilna. Tokovni vzorec in z njim hitrostna razporeditev se močno spreminjata z začetno hitrostjo toka kakor tudi z gornjim robnim pogojem. V splošnem lahko trdimo, da moremo dobiti **nađ** katerokoli točko **nađ** pregrado ob nekih pogojih frontogenezo in ob drugih frontolizo. Efekti, ki jih povzroča frontogeneza oziroma frontoliza, pa so odvisni dalje še od vlažnosti in stratifikacije zračne mase v toku.

Vsekakor bi bilo zanimivo in koristno prikazati glavne tipe tokovnih vzorcev kakor tudi jakost njihovih sprememb in eventualno verjetnost nastopa teh in onih, kar bi imelo neposredno prognostične vrednost. Toda, ker bi za to potrebovali elektronski računski stroj (ki ga žal nimamo) oziroma brez njega mesece ali celo leto računskega dela, smo prisiljeni, da se za sedaj zadovoljimo z dobljenimi ugotovitvami in izdelano metodo. Postalo pa nam je tudi očitno, da ne samo **nađ** majhnimi pregradami, **nađ** katerimi nastopajo valovanja - ampak tudi **nađ** obsežnimi in blago nagnjenimi gorskimi pregradami ne moremo pričakovati

stalnih razporeditev **tekovnih polj** in iz njih izhajajočih standardnih razporeditev polj frontogeneze in frontolize. Njihovo razporeditev je mogoče za posamezne pogoje na podlagi izpeljanih enačb in podanih razmotrivanj s pomočjo naj sodobnejših računskih pripomočkov sorazmerno lahko izračunati ter iz njih ob upoštevanju stratifikacije in vlažnosti **zračne** mase sklepati na efekte v vremenu.

= = =

=

II. PRIMERJAVA EFEKTOV, KI JIH POVZROČE HLADNE FRONTE

ONSTRAN IN TOSTRAN ALP

Metoda dela in izbira parametrov

Koncept hladnih front, ki sloni predvsem na efekti v vremenu, ima svojo realno osnovo in smisel, saj v tej obliki fronto tudi dejansko vsakih nekaj dni občutimo. Zato je koristno obdelati hladne fronte s tega stališča, ki je obenem stališče praktične meteorologije - predvsem prognostike /19, 20/. Ker je sistemizirano gradivo, ki ga imamo na razpolago, predvsem sinoptično, se v glavnem za delo nad večjim področjem naslonimo na sinoptiko. Končni efekti pa se izražajo kot vreme v nekem kraju, zato je umestno in celo nujno potrebno posebej analizirati vreme v posameznih točkah področja. Hladno fronto smatramo sedaj kot dinamično tvorbo, ob kateri nastopajo izraziti vremenski procesi in spremembe vremenskih parametrov v krajih, ki jih fronta pasira. Ti efekti so posledica omenjene koncentracije gradientov, konvergence pri tleh, vertikalnih gibanj in pritoka hladnejšega zraka v prizadete kraje. Zlasti glede na slednje, jih lahko istovetimo s prodori hladnega zraka /6/.

Osnova proučevanja je izbrano število hladnih front. Navadno izberejo avtorji ustrezno število tipičnih in izrazitih primerov, katerih proučevanje je relativno lahko /21 - 25/; vendar pa rezultati često niso dovolj reprezentativni, še manj pa vseplošni. Da bi bili rezultati tu čim bolj splošni, take omejitve nismo naredili, ampak proučevali vse hladne fronte, ki so v letu 1957 vplivale na vreme v Sloveniji. Seveda je bilo potrebno za rešitev posameznih nalog izvršiti ustrezne selekcije; zakaj nesmiselno bi bilo n.pr.

proučevati vpliv Alp na spremembo lastnosti tistih front, ki sploh niso prišle k nam preko Alp, čeprav so sicer vplivale na naše vreme.

Taka splošna obdelava vseh primerov pa je zelo zahtevna naloga, zakaj mnogo je dvomljivih slučajev in šele z najširšimi proučevanji, komparacijami in ponovnimi identifikacijami je mogoče postaviti končno število front, ki pa je še kljub temu do neke mere subjektivno.

V širšem območju Alp je bilo v letu 1957 okrog 100 hladnih front. Fronte so prihajale v to območje večinoma iz severozahodnega kvadranta, vendar imamo tudi primere, ko so prišle od juga in vzhoda. Večina hladnih front, ki je prišla do Alp, jih je tudi prešla. Nekaj jih je prišlo do Alp in so se tam razblinile, ali pa so jih obšle, bodisi zaradi Alp samih ali pa zaradi sprememb v jakosti in položaju velikih baričnih tvorb. Nekatero take fronte, ki so se le "dotaknile" območja Alp, so znatno vplivale na vremenske prilike, druge pa ne. Tudi mnoge izmed tistih front, ki so prišle v področje, so bile tako slabotne in neizrazite, da je bil njihov vpliv na parametre vremena komaj zaznaven, ter so izgubile praktičen pomen. Tudi v takih primerih je lahko pri določanju števila front subjektivni faktor znatnega pomena.

Najpopolnejši pregled nad vremensko situacijo, ki vlada nad večjim področjem zemlje, ima vsekakor sinoptik-prognostik, ki stalno spremlja ves razvoj dogodkov s pomočjo vremenskih kart, vertikalnih presekov, termodinamičnih papirjev itd. Z njimi si dopolnjuje in spreminja tridimenzionalno sliko vremenskih dogajanj nad ustreznim področjem, ki pa je vedno znatno večje od tistega, za katerega daje prognozo. Če vzamemo zato v upoštevanje dela štirih takih samostojnih sinoptikov in njih ugotovitve vsklajamo in dopolnjujemo z dodatnimi analizami, se vsekakor močno približamo dejanskemu stanju. V osnovi ugotavljanja hladnih front se zato naslonimo na sinoptične centre: Zürich, Frankfurt a/M, Wien in Ljubljano. Prognostični center v Zürichu izdeluje svoj koledar

front, ki ga objavlja /26/, koledar front prognostičnega centra v Wienu je bil prepisan, medtem ko so vzete fronte ostalih dveh centrov z njihovih sinoptičnih analiz /27, 28/. Končno število hladnih front v letu 1957 pa je bilo določeno ob dopolnitvi analiz in široke obdelave podatkov iz 12 meteoroloških postaj v Sloveniji.

Po Švicarskem koledarju front je zajelo področje Zürichja v letu 1957 95 hladnih front; sinoptiki v Wienu so jih zabeležili 106, vendar so nekatere časovno tako blizu skupaj (tri ure), da jih po naših shemah in predstavah ne moremo upoštevati kot samostojne tvorbe. Na sinoptičnih kartah prognostičnega centra za Slovenijo jih najdemo 85 in na kartah "Täglicher Wetterbericht" na območju Alp nekaj manj kot 100.

Pri identifikaciji front, ki je zelo zahtevno in težavno delo, se je izkazalo, da nekatere od zahoda prihajajoče hladne fronte, ki so vplivale na vreme na področju Zürichja, k nam sploh niso prišle ali pri nas zaradi oslabelosti niso bile opažene ali smatrane kot fronte. Obratno je bilo opaziti za fronte, ki so prišle od vzhoda; čeprav so taki primeri v obravnavanem letu izjemni. Smeri prihoda teh front so bile detajlno obdelane v posebni razpravi /29/.

Vprašanje je, katere fronte naj zajamemo v proučevanje, da bomo dobili pravilne rezultate. Fronta se v svojih lastnostih spreminja zaradi vpliva orografije, ki ga skušamo določiti. Spreminja pa se tudi zaradi svojega razvoja - stara se in slabi ali pa se krepi v skladu s frontogenetičnimi efekti, ki so posledica sprememb v baričnem polju, stratifikaciji, toplotni bilanci itd. Pri tem proučevanju izločimo tiste fronte, ki niso prišle k nam preko Alp. Nadalje izločimo primere, ob katerih so se razvile izredno močne sekundarne depresije, ki jih je bilo 7. V teh primerih se je struktura front toliko spremenila, da jih ne moremo več smatrati za hladne fronte, ki potujejo preko Slovenije in jih istovetiti z ostalimi ob primerjavi njihovih lastnosti na obeh straneh Alp. Razen tega so procesi, ki ob tem nastajajo, tako svojevrstni /30/, da zahtevajo samostojno proučevanje. Tako nam ostane 75 hladnih front, pri katerih proučujemo

spremembe lastnosti pri prehodu preko Alp, oziroma primerjamo efekte, ki so jih povzročile tostran in onstran te velike orografske pregrade. Število je dovolj veliko ter enako ali celo večje kot je bilo pri podobnih obdelavah drugih avtorjev /31, 32/.

Lastnosti front, katerih spremembe pri prehodu preko Alp bomo proučevali s primerjanjem v krajih tostran in onstran Alp, so: hitrost gibanja, ohladitve, padavine in nevihtna aktivnost. To so najbolj izraziti predstavniki efektov v vremenu, ki jih povzročajo hladne fronte. Primerjali jih bomo v krajih Zürich, Salzburg in Wien, glede na razne smeri, iz katerih prihajajo fronte za predstavnike področij onstran Alp, ter v Ljubljani kot predstavniku za Slovenijo, oziroma področja tostran Alp. Dasi je bila za Slovenijo kot celoto izdelana izčrpna analiza efektov ob frontah, ki je podana v tretjem delu razprave, je bilo za to primerjavo potrebno omejiti se na en kraj zaradi enakosti pogojev pri določanju kriterijev. Ljubljana je bila izbrana zaradi izčrpnih podatkov; pa tudi njena lega je dovolj središčna in je večina podatkov reprezentativnih za obdelovano področje.

Primerjave so zajele sledeče parametre:

a) Hitrost gibanja oziroma premeščanja hladnih front preko Alp, je bila kot bomo videli, določena na osnovi časovne določitve prehoda vsake fronte preko omenjenih krajev.

b) Ohladitev, ki jo je povzročila neka hladna fronta, je določena z diferencami srednje dnevne temperature (ΔT) v ustreznem časovnem območju prehoda hladne fronte preko prizadetega kraja. Ta časovni interval pa ni omejen le na prehod fronte same, ampak zajema tudi ohladitve, ki so nastale še naslednji dan ali celo dva ob nadaljnjem dotoku hladnega zraka, ki je posledica prehoda iste hladne fronte. Težave nastopajo v primerih, ko fronte naglo slede ena drugi, vendar skrbno delo zmanjša možnost napak na minimum.

c) Podobne težave so pri ugotavljanju količine padavin (RR), ki spadajo k neki hladni fronti. Zlasti je to problematično tedaj, kadar hladna fronta kmalu sledi topli. Laže je pri krajih, za katere imamo na razpolago ombrograme; a tudi iz dnevne koli-

čine padavin se da ob pomoči ostalih parametrov in zlasti ob poznavanju točnega časa prehoda fronte dokaj natančno določiti količino padavin, ki jih je povzročila vsaka posamezna fronta.

d) Za ponazoritev razširjenosti nevihtne aktivnosti (W) ob hladnih frontah v splošnem zadošča določanje nevihtnih dni, oziroma že to, ali so ob neki fronti nastopile nevihte (+) ali ne.

Prikazana naj bo odvisnost teh efektov od raznih parametrov, ki utegnejo vplivati na njih intenziteto. S tem naj bi dobili osnovo za postavke, ki bi opozorile na razne vplive, imele pa bi tudi prognoistično vrednost. Parametre, ki jih bomo uporabili, dobimo v glavnem iz vremenskih kart ter jih zato kratko imenujemo sinoptični parametri. Ti so:

1. Smer iz katere prihaja hladna fronta (α_f); pri tem se omejimo na natančnost ± 15 kotnih stopinj ter imamo zato glede na geografsko možnost prihoda front preko Alp v naše kraje smeri 270, 300, 330 in 360°.
2. Povprečna hitrost fronte (\bar{v}_f), ki jo dobimo iz sinoptične določene oddaljenosti fronte od nas (ta mora biti znatno večja kot je oddaljenost od grebena Alp) in časa, ki ga fronta potrebuje od tam do naših krajev.
3. Barični tip (Bt) nižinske sinoptične situacije, ki karakterizira barično in deloma splošno vremensko situacijo ob hladnih frontah nad Evropo. Določa ga medsebojna lega glavnih baričnih tvorb oziroma smer izobar nad srednjo Evropo med glavnima baričnima centroma. Pri tipu A je smer izobar severozahodna, pri tipu B zahodna in pri tipu C severovzhodna /33/. Pri tem je gledano v omenjeni smeri, nizek zračni pritisk na levi strani.
4. Splošna smer tokov preko Alp na 300 mb ploskvi (α_t) tik pred prihodom hladne fronte, tudi v natančnosti $\pm 15^\circ$.
5. Krivina tokovnic oziroma izohips 500 mb ploskve (Kr), po pre-

hodu hladne fronte. Pri tem ločimo ciklonalno C, anticiklonalno krivino A, ravne tokovnice - in sedlo O.

6. Smer (dd) in hitrost (ff) vetra nad nami na 500 mb ploskvi po prehodu hladne fronte preko Alp.
7. Topla advekcija, to je sprememba vetra z višino oziroma diferenca vetrovne smeri med 850 mb in 500 ploskvijo ob fronti nad nami ($\Delta \alpha_t$).
8. Karakteristike hladne doline na 500 mb ploskvi tik pred prihodom hladne fronte, ki so: oddaljenost osi doline od naših krajev (L) izražena v stopinjah geogr. dolžine; položaj doline, to je smer njene osi (α_0) in relativna globina doline oziroma povprečna strmina njenih pobočij ($\text{tg } \beta$), ki je dobljena kot razmerje razlike v višini geopotenciala 500 mb ploskve in horizontalne razdalje istih dveh točk (navadno točke nad našimi kraji in točke na osi doline).
9. Moč ohladitve v višinah na 850 mb ploskvi, ki jo je nad Münchonom povzročila hladna fronta (ΔT_h).
10. Vlažnost toplega zraka, to je depresija rosišča ($\Delta T'$) na 850 mb ploskvi nad Milanom pred prihodom fronte.
11. Stabilnost v toplen zraku, to je temperaturna diferenca med 850 in 500 mb ploskvijo (γ_T) nad Milanom pred prihodom fronte.
12. Razlika v zračnem pritisku pri tleh severno in južno od grebena Alp na 9^o vhojne dolžine. (Δp) na dan prihoda fronte v Zürich in ($\Delta p'$) na dan prihoda v Slovenijo.
13. Posebne karakteristike splošne sinoptične situacije in posebna zapažanja v zvezi z njo.

Seveda bomo iskali odvisnost le v kombinacijah, kjer obstaja fizikalna osnova, da bi dobili realne vrednosti.

T A B E L A F R O N T II-1

| št. | 1957 | | Δt - od: | | | T | | RR | | W _t | α _f | V _f | B _t | α _t | K | dd | ff | Δα _t | ΔT _h | ΔT' | γ _T | ΔP | ΔP' |
|------|------|-----|----------|----|----|---|---|----|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----|----|----|-----------------|-----------------|-----|----------------|------|-----|
| | Dan | čas | ZH | Sz | Wi | o | t | o | t | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 7.1. | 0 | 3 | 3 | 3 | 5 | 6 | 7 | 0 | | 30 | 52 | AB | 30 | C | 31 | 23 | 3 | 9 | 21 | 7,0 | 3 | 3 |
| 2 | 11. | 3 | 12 | 9 | 9 | 3 | 4 | 5 | 0 | | 33 | 32 | A | 27 | C | 27 | 8 | -11 | 8 | 25 | 6,5 | 9 | 12 |
| 3 | 13. | 6 | 3 | 3 | 3 | 4 | 1 | 3 | 3 | | 30 | 57 | A | 36 | C | x | x | x | x | 16 | 7,3 | 3 | 3 |
| 4 | 26. | 3 | 18 | 12 | 3 | 0 | 1 | 2 | 14 | | 30 | 28 | B | 27 | C | 04 | 8 | 5 | 2 | 1 | 7,3 | 3 | 3 |
| 5 | 28. | 6 | 9 | 6 | 6 | 3 | 7 | 3 | 2 | + | 33 | 24 | B | 30 | C | 34 | 20 | 3 | 8 | 18 | 7,3 | 3 | 6 |
| 6 | 7.2. | 6 | 15 | 6 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | | 27 | 40 | B | x | C | x | x | x | 5 | 1 | 4,8 | -6 | -3 |
| 7 | 9. | 6 | 6 | 3 | 0 | 2 | 2 | 4 | 1 | | 30 | 45 | B | 24 | - | 28 | 10 | 0 | 5 | 0 | 4,5 | 0 | 0 |
| 8 | 10. | 18 | 15 | 12 | 6 | 2 | 1 | 2 | 19 | + | 27 | 57 | B | 27 | C | 32 | 10 | 5 | 5 | 1 | 7,0 | 0 | 0 |
| 9 | 13. | 6 | 18 | 12 | 3 | 1 | 0 | 1 | 18 | | 30 | 33 | B | 27 | C | 29 | 18 | -1 | 2 | 6 | 6,8 | 0 | -9 |
| 10 | 14. | 6 | 12 | 6 | 3 | 1 | 0 | 6 | 17 | | 30 | 53 | B | 33 | C | 24 | 20 | 2 | 1 | 0 | 5,3 | 0 | 0 |
| 11 | 15. | 15 | 6 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 27 | + | 27 | 81 | B | 30 | C | x | x | x | 0 | 8 | 6,3 | 0 | 0 |
| 12 | 18. | 15 | - | - | - | 3 | 5 | 5 | 26 | + | 26 | | | | | | | | | | | | 3 |
| 13 | 21. | 9 | 18 | 6 | -3 | 4 | 1 | 2 | 17 | | 27 | 48 | B | 27 | - | x | x | x | 5 | 1 | 6,5 | -6,5 | 12 |
| 14 | 26. | 0 | 6 | 3 | 3 | 1 | 0 | 20 | 0 | | 30 | 38 | B | 30 | - | 29 | 31 | 7 | 3 | 14 | 5,5 | 0 | 3 |
| 15 | 26. | 18 | - | - | - | 5 | 9 | 4 | 0 | | 01 | | | | | | | | | | | | 3 |
| 15 b | 6.3. | x | x | x | x | 0 | 0 | 0 | 0 | | 33 | 20 | X | 33 | - | 32 | 13 | -5 | 1 | 2 | 6,0 | x | -6 |
| 16 | 7. | x | x | x | x | 3 | 4 | 6 | 4 | + | 27 | 19 | B | 24 | C | 01 | 5 | 3 | 2 | 4 | 6,5 | -6 | 0 |
| 16 b | 15. | 6 | 12 | 9 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | | 33 | 29 | X | x | A | 32 | 15 | 1 | 0 | 22 | 7,5 | 0 | 3 |
| 17 | 18. | 21 | - | - | - | 0 | 1 | 3 | 0 | | 33 | | | | | | | | | | | | 3 |
| 18 | 21. | 15 | 21 | 15 | 9 | 4 | 0 | 0 | 0 | | 30 | 31 | B | 27 | - | 30 | 18 | +18 | 1 | 1 | 5,3 | -3 | 0 |
| 19 | 25. | 6 | 36 | 24 | -3 | 6 | 9 | 1 | 3 | | 27 | 26 | B | 18 | A | 14 | 10 | 0 | 4 | 3 | 7,0 | -6 | 0 |
| 20 | 30. | 0 | 6 | 12 | 9 | 5 | 3 | 12 | 18 | + | 33 | 14 | A | 30 | C | 27 | 15 | x | 6 | 0 | 5,5 | 3 | 3 |
| 21 | 2.2. | 18 | - | - | - | 1 | 2 | 4 | 32 | | 26 | | | | | | | | | | | | 0 |
| 22 | 7. | 21 | 6 | 9 | 12 | 8 | 5 | 17 | 22 | + | 33 | 24 | A | 30 | C | 25 | 8 | 18 | 4 | 5 | 7,3 | 6 | 6 |
| 23 | 12. | 0 | 0 | 12 | 6 | 4 | 6 | 12 | 13 | | 36 | 31 | A | x | C | 24 | 15 | x | 8 | 1 | 5,8 | 9 | 9 |
| 24 | 18. | 6 | - | - | - | 1 | 0 | 3 | 0 | | 33 | 22 | AB | 36 | - | 35 | 18 | -1 | 0 | 14 | 6,8 | 6 | 6 |
| 25 | 20. | 15 | 9 | 9 | 6 | 1 | 5 | 6 | 20 | | 33 | 26 | A | 36 | - | 34 | 5 | 9 | 2 | 6 | 6,3 | 3 | 3 |
| 26 | 1.5. | 6 | 12 | 12 | 6 | 7 | 5 | 1 | 7 | | 33 | 17 | A | 36 | C | x | x | x | 6 | 1 | 5,8 | 6 | 6 |
| 27 | 5. | 3 | 9 | 12 | 12 | 3 | 5 | 0 | 10 | + | 33 | 29 | A | 33 | - | 34 | 10 | x | 1 | 7 | 7,3 | 3 | 6 |
| 28 | 5. | 18 | 0 | 3 | 3 | 5 | 7 | 2 | 64 | | 33 | 50 | A | 30 | C | 25 | 20 | -4 | 5 | 10 | 6,8 | 6 | 6 |
| 29 | 13. | 12 | 42 | 27 | 21 | 2 | 0 | 2 | 0 | ++ | 30 | 19 | B | 27 | X | x | x | x | 1 | 4 | 6,5 | -3 | 3 |
| 30 | 17. | 6 | 21 | 15 | 12 | 6 | 1 | 11 | 13 | ++ | 30 | 21 | B | x | A | 09 | 5 | -2 | 8 | 5 | 7,0 | 6 | 6 |
| 31 | 20. | 3 | 21 | 12 | 6 | 7 | 2 | 16 | 1 | ++ | 30 | 29 | B | x | A | 14 | 5 | -7 | 5 | 4 | 6,8 | 6 | 9 |
| 32 | 22. | 9 | x | x | x | 1 | 3 | 3 | 1 | + | 30 | 36 | AB | X | O | x | x | x | 1 | 16 | 7,5 | 6 | 6 |
| 33 | 4.6. | 6 | x | x | x | 4 | 1 | 5 | 8 | | 27 | 30 | B | 24 | C | 18 | 13 | 9 | 6 | 1 | 6,0 | 3 | 3 |
| 34 | 5. | 6 | x | x | x | 1 | 0 | 10 | 0 | + | 30 | 43 | X | x | C | 30 | 18 | x | 1 | 11 | 7,3 | 3 | 3 |
| 35 | 6. | 0 | 9 | 9 | 6 | 0 | 0 | 4 | 5 | + | 33 | 50 | AB | x | C | 27 | 10 | x | 0 | 10 | 6,8 | 3 | 0 |
| 36 | 8. | 0 | 6 | 6 | 3 | 0 | 0 | 14 | 0 | ++ | 27 | 45 | B | 24 | C | 23 | 10 | 0 | 2 | 4 | 5,8 | 0 | -6 |
| 37 | 9. | 15 | 24 | 15 | 12 | 1 | 0 | 5 | 0 | ++ | 27 | 38 | B | 24 | C | 22 | 10 | 0 | 3 | 4 | 6,8 | -6 | -3 |
| 38 | 12. | 6 | 15 | 12 | 9 | 5 | 3 | 12 | 0 | | 30 | 24 | AB | 18 | A | 14 | 13 | -3 | 6 | 2 | 5,8 | 0 | 9 |
| 39 | 21. | 3 | - | - | - | 0 | 0 | 2 | 3 | + | 36 | | | | | | | | | | | | -3 |
| 40 | 22. | 18 | 24 | 18 | 9 | 3 | 4 | 7 | 0 | ++ | 27 | 23 | B | 24 | C | 24 | 18 | -2 | 4 | 5 | 6,8 | -3 | 0 |
| 41 | 24. | 15 | x | 24 | 18 | 1 | 3 | 8 | 18 | ++ | 33 | 08 | X | 24 | XO | x | x | 5x | 35 | 3 | 6,0 | 0 | -3 |
| 42 | 25. | 18 | 30 | 24 | 21 | 8 | 5 | 6 | 1 | ++ | 33 | 12 | X | 24 | C | x | x | x | 3 | 4 | 6,0 | -3 | 6 |

uri ur °C mm .10° km/h .10° ° m/s ° °C °C °/km mb mb

TABELA FRONT /nadaljevanje/

| št. | 1957 dan | čas | Δt - od: | | | ΔT o t | RR | | W o t | α _f | V _f | B _t | α _t | K | dd | ff | Δα _t | ΔT _h | ΔT' | δ _T | Δp | Δp' |
|------|----------|-----|----------|----|----|-----------|-------|---|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----|----|----|-----------------|-----------------|-----|----------------|-----|-----|
| | | | ZH | Sz | Wi | | o | t | | | | | | | | | | | | | | |
| 43 | 3.7. | 3 | - | - | - | 2 0 | 1 0 | + | + | 30 | | | | | | | | | | | | -3 |
| 43 b | 6. | 18 | x | 18 | x | 1 0 | 0 0 | + | + | 33 | 14 | X | x | A | x | x | x | 0 | x | 8,5 | 0 | 0 |
| 43 o | 9. | 0 | 9 | 3 | 3 | 3 8 | 6 0 | + | + | 30 | 24 | X | x | - | 18 | x | -9 | 7 | 7 | 7,3 | 0 | 6 |
| 44 | 11. | 0 | 12 | 9 | 9 | 8 5 | 32 30 | + | + | 33 | 33 | 24B | 24 | C | 20 | 8 | x | 27 | 7,9 | 7,3 | 6 | 12 |
| 45 | 15. | 12 | 18 | 18 | 18 | 6 6 | 11 47 | + | + | 30 | 19 | B | 24 | A | 24 | 5 | 2 | 0 | 10 | 6,3 | 3 | 6 |
| 46 | 20. | 9 | 15 | 9 | 3 | 5 3 | 16 38 | + | + | 30 | 24 | B | 24 | C | 29 | 15 | -4 | 2 | 7 | 5,5 | 6 | 6 |
| 47 | 21. | 18 | 9 | 6 | 0 | 2 1 | 30 41 | + | + | 30 | 43 | B | 27 | C | 23 | 13 | x | x | x | x | 6 | 6 |
| 47 b | 25. | 18 | x | x | x | 0 0 | 9 0 | + | + | 33 | | | | | | | | | | | | 3 |
| 48 | 28. | 6 | 18 | 15 | 12 | 5 9 | 21 47 | + | | 33 | 24 | B | 30 | C | 27 | 8 | 0 | 1 | 1 | 5,8 | 0 | 9 |
| 49 | 8.8. | 9 | 45 | 33 | x | 1 0 | 1 0 | + | | 30 | 12 | X | 30 | A | 30 | 18 | -2 | x | 5 | 6,5 | 0 | -3 |
| 50 | 10. | 9 | 18 | 9 | 3 | 3 4 | 10 0 | | | 30 | 45 | B | 24 | - | 24 | 10 | 0 | 12 | 4 | 6,5 | -6 | 3 |
| 51 | 12. | 3 | 12 | 6 | 3 | 1 0 | 10 0 | | | 30 | 48 | B | 24 | - | 24 | 20 | -1 | 4 | 8 | 6,0 | -3 | 3 |
| 52 | 14. | 12 | 24 | 45 | 42 | 2 3 | 8 3 | + | + | 33 | x | X | 24 | KC | 21 | 18 | 2 | 5 | 16 | 8,3 | 3 | 6 |
| 53 | 16. | 12 | 18 | 15 | 9 | 4 3 | 12 8 | + | + | 30 | 28 | B | 24 | C | 23 | 20 | 2 | 1 | 4 | 6,3 | 6 | 6 |
| 54 | 19. | 3 | 15 | 12 | 9 | 3 3 | 18 10 | + | | 30 | 26 | AB | 27 | - | 23 | 18 | -3 | 3 | 2 | 6,0 | 3 | 9 |
| 55 | 22. | 9 | 9 | 6 | 6 | 3 4 | 5 13 | | | 33 | 24 | AB | 24 | C | 30 | 15 | -4 | 4 | 10 | 6,8 | 3 | 9 |
| 56 | 25. | 0 | 12 | 9 | 6 | 0 0 | 3 10 | + | | 30 | 43 | B | 27 | C | 27 | 10 | 18 | 4 | 2 | 4,5 | -3 | 0 |
| 57 | 26. | 6 | 9 | 9 | 0 | 3 2 | 2 26 | + | | 30 | 48 | B | 27 | C | 28 | 8 | x | 3 | 4 | 6,3 | 0 | 9 |
| 58 | 28. | 15 | 12 | 6 | 3 | 2 2 | 6 26 | + | + | 30 | 38 | AB | 27 | C | 25 | 15 | x | 3 | 2 | 6,0 | 6 | 6 |
| 59 | 3.9. | 0 | 15 | 2 | 6 | 2 1 | 8 25 | + | + | 30 | 36 | B | x | C | 27 | 15 | -9 | 1 | 5 | 6,8 | 3 | 3 |
| 60 | 10. | 6 | 18 | 15 | 9 | 5 3 | 5 0 | | | 30 | 19 | B | 24 | C | 26 | 8 | x | 2 | 8 | 6,3 | -6 | 3 |
| 61 | 12. | 21 | 15 | 12 | 9 | 5 9 | 5 54 | + | | 30 | 36 | B | 30 | C | 26 | 10 | x | 1 | 5 | 5,8 | 6 | 6 |
| 62 | 14. | 18 | 9 | 6 | 6 | 3 0 | 13 10 | + | | 33 | x | B | 24 | C | 24 | 23 | 2 | 2 | 6 | 7,0 | 9 | 9 |
| 62 b | 22. | 6 | 15 | x | x | 1 0 | 9 0 | | | 30 | 30 | B | 27 | A | 27 | 8 | -1 | 0 | 4 | 6,5 | -3 | 0 |
| 63 | 25. | 12 | - | - | - | 5 9 | 17 6 | | | 33 | | | | | | | | | | | | 6 |
| 64. | 30. | 12 | 6 | 9 | 9 | 6 9 | 9 46 | | | 33 | 60 | A | 30 | - | 27 | 23 | x | 10 | 2 | 4,8 | 12 | 12 |
| 65 | 4.10. | 15 | x | 9 | 6 | 2 1 | 0 0 | | | 33 | 40 | A | 33 | O | 30 | 8 | 18 | 4 | 9 | 5,8 | 6 | 6 |
| 65 b | 13. | 9 | 45 | 24 | 21 | 2 2 | 0 0 | | | 33 | 20 | X | x | A | 32 | 10 | 18 | 0 | x | 6,3 | -3 | 0 |
| 66 | 20. | 21 | 27 | 21 | 18 | 6 6 | 9 13 | | | 30 | 21 | B | 24 | - | 25 | 18 | 18 | 6 | 2 | 5,5 | -6 | 6 |
| 67 | 23. | 3 | 12 | 9 | 6 | 3 3 | 7 12 | | | 30 | 33 | AB | 24 | C | 20 | 10 | -11 | 4 | 2 | 6,0 | 3 | 9 |
| 68 | 2.11. | 21 | 30 | 21 | 21 | 3 1 | 0 1 | | | 30 | 26 | B | 24 | - | 23 | 13 | -1 | 2 | 2 | 5,8 | 0 | 3 |
| 68 b | 6. | 9 | 24 | 12 | x | 1 1 | 0 0 | + | | 30 | 26 | B | 24 | A | 22 | 15 | -2 | 7 | 2 | 4,5 | -12 | -3 |
| 69 | 9. | 6 | - | - | - | 3 2 | 4 19 | + | | 19 | | | | | | | | | | | | -3 |
| 69 b | 18. | 6 | - | - | - | 3 2 | 0 0 | | | 01 | | | | | | | | | | | | 0 |
| 70 | 23. | 18 | 18 | 12 | 9 | 0 2 | 0 0 | | | 33 | 36 | A | 18 | O | x | x | x | 1 | 1 | 5,8 | 6 | 6 |
| 71 | 29. | 18 | 3 | 3 | 6 | 9 5 | 7 0 | | | 33 | 33 | A | 33 | C | 33 | 18 | 2 | x | x | x | 12 | 12 |
| 71 b | 7.12. | x | x | x | x | 3 2 | 1 0 | | | 33 | 50 | X | 33 | A | 35 | 8 | -3 | 6 | 9 | 6,5 | 0 | 0 |
| 72 | 9. | 6 | 29 | 9 | 9 | 1 0 | 11 0 | | | 30 | 72 | B | 33 | - | 27 | 31 | 0 | 2 | 3 | 4,8 | 3 | 3 |
| 73 | 10. | 12 | 9 | 3 | 3 | 6 3 | 4 0 | | | 30 | 72 | AB | x | - | 29 | 15 | x | 7 | 14 | 6,0 | 6 | 6 |
| 74 | 13. | 21 | 12 | 9 | -3 | 4 1 | 6 19 | | | 30 | 38 | X | 18 | C | 23 | 10 | 2 | 12 | 0 | 5,3 | 3 | 3 |
| 75 | 15. | 12 | 12 | 6 | x | 4 6 | 0 32 | | | 36 | 23 | C | 18 | A | 18 | 8 | -7 | 1 | x | 6,8 | 0 | 6 |
| 76 | 19. | 15 | 9 | 6 | 3 | 2 2 | 3 0 | | | 30 | 50 | C | x | C | 07 | 8 | 0 | x | 11 | 6,0 | 6 | 6 |

uri ur °C mm .10° km/h .10° ° m/s ° °C °C °/km mb mb

V pojasnilo: Čas prehoda fronte je določen glede na prehod preko Ljubljane oziroma srednje Slovenije. Δt = čas, ki ga je potrebovala fronta od ustreznega kraja do Ljubljane (ZH = ZHrich, SZ = Salzburg, Wi = Wien). Pri nekaterih paramterih (ΔT, RR, W) pomeni 0 = onstran Alp (povprečno za omenjene tri kraje), t = tostran Alp (v Ljubljani). Ostale označbe kot na strani II-437.

Časovne razlike in hitrosti

Ko smo ugotovili, da je hladna fronta v nekem časovnem obdobju obstajala v območju Alp in se gibala preko tega področja, moramo ugotoviti čas njenega prehoda preko posameznih krajev. Ugotovitev čim točnejšega časa je potrebna zaradi primerjanja hitrosti gibanja front preko posameznih delov področja in ugotovitve njihovih zakasnitev oziroma prehitevanja. Nadalje je ugotovitev časa prehoda vsake fronte osnova ostalih primerjav, ker omogoča določanje efektov, ki jih je povzročila fronta in jih omogoči ločiti od efektov drugih front ali drugih vremenskih tvorb oz. njihovih posledic.

Razmeroma malo hladnih front pride v področje Slovenije v obliki oziroma razporedbi elementov in efektov, ki ustreza kateri izmed znanih in tipičnih shem /20/. V takih tipičnih primerih je časovna določitev prehoda fronte razmeroma lahka; toda v večini primerov je potrebno vršiti dodatne analize, ki zahtevajo mnogo tehničnih predpriprav. Delo je pokazalo, da je mogoče le v redkih primerih določiti prehod hladne fronte preko nekega kraja v območju Alp na uro natančno, v večini primerov pa je možno določiti čas prehoda fronte v natančnosti ± 1.5 ure. To natančnost uporablja tudi švicarska meteorološka služba v svojem koledarju front, ki pa raztegne v nočnih urah, ko so opazovanja manj zanesljiva, natančnostni interval na ± 3 ure. V takih primerih je bila potrebna dodatna analiza podatkov. Natančno določanje prehoda front v ostalih krajih je dalo popravke tudi v identiteti front, ki je bila dvomljiva, zlasti pri naglo si sledečih frontah, prihajajočih iz različnih smeri.

Dnevno razporeditev prehoda proučevanih 75 hladnih front za upoštevane kraje daje slika II-1. Iz nje je razvidno, da je prešlo kraje onstran Alp največ hladnih front v popoldanskih in večernih urah, Ljubljano pa v jutranjih urah; tako je torej v tem letu prešlo relativno največ hladnih front Alpe ponoči. Če gre pri tem res za iste hladne fronte, lahko dobimo iz tega tudi približen čas, ki ga rabijo hladne fronte n.pr. od Züricha do Ljubljane; vendar pa je tako določanje mnogo manj utemeljeno kot s tvorbo polja leg /29/. Zato je potrebno določati povprečje iz individualnih razlik v času prehoda hladnih front preko posameznih krajev.

Ta čas je seveda odvisen od smeri, iz katere fronte prihaja. Zato bomo fronte združili po smereh, iz katerih so se približevale Alpam, to je, predno so se ob njih deformirale in spremenile hitrost svojega premeščanja. Rezultate takega proučevanja daje tabela II-2.

T A B E L A II-2

/Povprečen čas, ki ga potrebujejo hladne fronte iz krajev onstran Alp v Ljubljano/

| Smer prihoda | Štev. primerov | Zürich | Salzburg | Wien |
|--------------|----------------|--------|----------|------|
| 330° | 22 | 13 | 13 | 11 |
| 300° | 35 | 16 | 10 | 6 ur |
| 270° | 10 | 18 | 11 | 3 |

Čas, ki ga je potrebovala hladna fronta za prehod razdalje med danim krajem in Ljubljano, je bilo mogoče določiti le pri tistih frontah, kjer je bil čas prehoda fronte preko prizadetih krajev vsaj na tri ure natančno določljiv. To je bilo v veliki večini primerov, zato so števila pri raznih smereh dovolj velika, da so dobljeni povprečki reprezentativni. Vendar to ne velja za hladne fronte, ki so prišle od severa in je zato ta smer v gornji tabeli izpuščena.

Iz tabele je razvidno, da potrebujejo hladne fronte, ki prihajajo od NW (330°) za prehod preko Alp v povprečju 13 ur in to enako od Züricha kot od Salzburga. Ta dva kraja torej dokaj hkrati preidejo, dočim Wien nekoliko pozneje. Iz WNW prihajajoče fronte potrebujejo največ časa od Züricha, od ostalih dveh krajev pa vedno manj, kar je v skladu z geografsko razporeditvijo krajev. Po geografski razporeditvi bi morale fronte iz te smeri zajeti Ljubljano in Wien ob istem času; povprečna razlika pa znaša, kot kaže tabela, 6 ur. Ta razlika je posledica Alp, ki deformirajo fronto, ter jo še nekoliko zadrže. Podobno velja za fronte, ki prihajajo od zahoda; pri njih bi morala biti časovna razlika glede na Wien negativna. V nekaterih posameznih primerih res tudi je negativna, toda v povprečju znaša 3 ure, kot to kaže gornja tabela.

Na podlagi določenih časov prehoda posameznih front preko raznih krajev, lahko dobimo hitrosti posameznih front v želenih odsekih njihove poti in iz teh lahko dalje računamo zakasnitve. Zakasnitev je definirana kot razlika v času, ki nastane zaradi tega, ker se giblje fronta na odseku svoje poti preko Alp z manjšo hitrostjo, kot se je gibala pred prihodom do Alp, prehitevanje pa, če se je gibala na tem odseku z večjo hitrostjo, kar je teoretično tudi utemeljeno /34/. Zakasnitev je

$$t_z = s \left(\frac{1}{v_{fp}} - \frac{1}{v_{fo}} \right)$$

kjer je s dolžina poti preko pregrade, v_{fp} hitrost fronte preko pregrade in v_{fo} hitrost fronte pred pregrado.

Glede na oddaljenost Ljubljane od posameznih krajev, ki jih upoštevamo pri ustreznih smereh, dobimo s pomočjo vrednosti tabele II-2 povprečne hitrosti gibanja front preko Alp. Te so 28 km/h za fronte, ki prihajajo od zahoda preko Zürich, ter 23 km/h oziroma 18 km/h za fronte iz smeri 300° oziroma 330° , ki prihajajo k nam nekako preko Salzburga. Primerjava teh hitrosti s hitrostmi front preko mnogo večjega področja zahodno od Alp, nam v smislu gornje enačbe omogoča računanje povprečnih zakasnitev, ki so v povprečju 7,4 in 3 ure za fronte prihajajoče iz smeri 270° , 300° oziroma 330° . Ker je v razširjenem področju vračunano tudi področje Alp, so gornje vrednosti prenizke; nekoliko povečane vrednosti pa so povsem v soglasju z vrednostmi in razporeditvijo zakasnitev, ki so bile dobljene na dokaj drugačen način /29/. Učinek zaradi segrevanja hladnega zraka /35/ tukaj ni upoštevan.

Pri posameznih frontah se časi, ki jih potrebujejo te od omenjenih krajev do Ljubljane, močno razlikujejo. Postavimo meje tako, da dobimo primerno število front ter smatramo, da so fronte zelo počasne pri hitrostih $v_f \leq 20$ km/h in hitre pri $v_f \geq 40$ km/h, kar pomeni, da so potrebovale počasne fronte za prehod preko Alp več kot 1 dan in hitre manj kot pol dneva. Pri izbiri smo seveda upoštevali smer, iz katere fronta prihaja, ter tako izmed 75 front izbrali 10 front enih in nekaj več drugih ekstremnih primerov. Za-

nima nas, če obstaja kakšna odvisnost med hitrostjo premeščanja front preko Alp in efekti, ki jih povzročijo eni in drugi ekstremni primeri v Ljubljani; še bolj pa, če obstaja kakšna značilna odvisnost od sinoptičnih parametrov, kar bi imelo prognostično vrednost. Rezultate takega proučevanja za zelo hitre in zelo počasne fronte daje tabela II-3.

T A B E L A II-3

/Povprečne vrednosti efektov v Ljubljani in sinoptičnih parametrov pri zelo hitrih (a) in zelo počasnih frontah (b). Označbe kot na strani 37/

| št. front | ΔT °C | RR mm | W % | α_t ° | $\bar{v}_f Bt$ km/h | α_t ° | Kr | | | L °gd | α_0 ° | tg θ 10 ⁻³ | ΔT_h °C | Δp mb | |
|--------------|------------------|----------|--------|-----------------|------------------------|-----------------|--------|--------|--------|----------|-----------------|---------------------------------|--------------------|------------------|------|
| | | | | | | | A % | - % | C % | | | | | | |
| b) | 10 | 3 | 3 | 60 | 300 | 19 B | 24 | 20 | 30 | 50 | 13 | 360 | 5 | 3,2 | -4,0 |
| a) | 16 | 3 | 12 | 40 | 300 | 45 m | 29 | 00 | 25 | 75 | 6 | 360 | 7 | 4,9 | +3,6 |

Predno diskutiramo o rezultatih tabele, naj povemo, da nastopa med vrednostmi posameznih počasnih front dokaj velika enotnost ter, da vrednost standardne deviacije ni velika in so zato dobljeni povprečki večinoma reprezentativni. Med posameznimi vrednostmi hitrih front pa je velika neenotnost ter zato tudi celotna primerjava ne daje rezultatov, kot bi jih pričakovali. Povprečne vrednosti parametrov pri počasnih in hitrih frontah se razmeroma malo razlikujejo in le redke izražajo prognostično vrednost.

Iz tabele sledi, da so ohladike v povprečju očitno pri obojih enake, padavin pa dajo hitre fronte več, čeprav posamezne med njimi tudi nič. Neviht je, kot vidimo, pri počasnih frontah relativno več, vendar razmerje 4 : 6 ni bistveno. Očitno hitrost prehoda hladnih front preko Alp ni odvisna od smeri iz katere fronta prihaja, pač pa velja, da fronte, ki se v splošnem hitreje gibljejo, tudi Alpe hitreje preidejo, dasi obstajajo izjeme (fronte št. 5,37 in 55). Medtem, ko se pojavljajo počasne fronte izključno pri baričnem tipu B, nastopa ta pri hitrih frontah le v polovici primerov. Zračni tokovi preko Alp (α_t) imajo ob počasnih frontah dosledno jugozahodno smer, medtem ko nastopa pri hitrih zahodna smer le kot povpreček; sicer pa imamo hitre prehode front preko

Alp tako pri jugozahodnih kot pri čisto severnih tokovih. Krivina tokovnic oziroma izohips nad nami ob počasnih frontah ni enotna, pri hitrih pa močno prevladuje ciklonalna, med tem ko se anti-ciklonalna sploh ne pojavlja.

Povprečna oddaljenost osi višinske doline od naših krajev na 500 mb ploskvi je ob prihodu počasnih hladnih front dvakrat večja kot pri hitrih, vendar pa nastopajo pri posameznih primerih močni odkloni od tega povprečja; smer osi je pri obojih v povprečju sever-jug. Povprečna strmina pobočij doline je pri počasnih frontah manjša kot pri hitrih, kar pomeni v skladu s predzadnjim stolpcem, ki kaže takorekoč isto v temperaturni skali, da se fronte, ki jih uvajajo manj izrazite doline, gibljejo preko Alp počasneje kot one z izrazitim profilom. To pa je nekoliko v nasprotju z ugotovitvami Petterssena /36/ o gibanju dolin preko ravnih površin.

Najboljšo korelacijo med hitrostjo gibanja hladnih front preko Alp in temi parametri kaže razlika zračnih pritiskov severno in južno od grebena Alp, ko je fronta nad Zürichom. Ne toliko zaradi razlik v absolutnih vrednostih, ki niti niso zelo velike, kot zaradi velike homogenosti oziroma doslednosti pri posameznih primerih, ki nastopa pri obojih frontah. Zračni pritisk je, kot je razvidno iz tabele, v dneh ob počasnih frontah za okoli 4 mb nižji na severni kot na južni strani Alp, ob hitrih frontah pa v povprečju za 3.6 mb nižji na južni strani Alp; v posameznih primerih včasih enak, nikoli pa ne višji.

Od značilnosti splošne sinoptične situacije, ki je bila proučevana vizuelno, bi bilo vredno omeniti, da izhajajo počasne fronte iz plitvih depresijskih centrov, ki jih na vzhodu često omejuje močnejši anticiklon oziroma blokada v višjih plasteh; pri hitrih pa najdemo v višinah večinoma močnejše tokovno polje prevladujoče zahodne komponente smeri. Sicer pa so situacije brez skupne značilnosti, ki bi se lahko uporabila kot prognostični pripomoček.

Podobna analiza parametrov je bila izdelana za 10 hladnih front, ki so stacionirale pred Alpami 18 ali več ur, vendar je presenet-

ljivo, da med njimi ni bilo najti izrazite skupne značilnosti ali enotnosti. To so fronte števil: 5, 14, 36, 41, 42, 43 c, 45, 49, 52 in 53. V splošni vremenski situaciji je značilno ob teh primerih anticiklonalno področje nad Balkanom, ki pa ni vedno posebno močno. V višinah na 500 mb ploskvi obstaja navadno slab barični gradient ali pa je vzhodno od Alp topel greben, medtem ko piha preko Alp jugozahodnik. Tudi glede efekta med njimi ni enotnosti. Tako povzročijo hladne fronte, ki so dolgo stacionirale pred Alpami, potem ko so končno prišle k nam, izredno močne ohladitve in izdatne padavine ali pa ne enih ne drugih.

V nadaljnjem nas zanimajo hladne fronte, ki so se onstran in tostran Alp močno razlikovale v vplivu na vreme, ker smatramo, da so te razlike posledica spremembe lastnosti front pri njihovem prehodu preko Alp.

Povprečne vrednosti efektov in razlike v ohladitvah

Glede na geografsko lego krajev, lahko pričakujemo, da obstajajo med kraji, v katerih primerjamo lastnosti front, stalne razlike, ki niso posledica specifičnosti posameznih front, ampak so neki konstantni faktor. Z njim bi mogli potemtakem vedno računati in bi dal razmeroma enostavno pridobljen doprinos k razumevanju procesov in k prognozi razvoja. V ta namen so računani povprečni efekti za vseh 75 hladnih front, ki so prišle v tem letu preko Alp v naše kraje. Dobljene vrednosti pa so podane na sliki II-2.

Iz slike je razvidno, da vlada med kraji onstran Alp razmeroma velika enotnost v efekti, ki so jih povzročile hladne fronte, medtem ko se efekti v Ljubljani od njih precej razlikujejo. Ohladitve onstran Alp so v povprečju za $0,3^{\circ}$, to je za okrog 10 % močnejše kot v Ljubljani; obratno pa povzročijo hladne fronte onstran Alp v povprečju 3 mm manj, kar to je 35 % manj padavin kot tostran Alp. Vzrok za manjšo ohladitev tostran Alp je verjetno transformacija zraka na tej dodatni poti in pa fenizacija; vzrok za večjo količino padavin pri nas pa so vlažni jugozahodni tokovi iz Sredozemlja, ki pihajo pred hladnimi frontami, v zvezi z orografijo in pa squall-lines. Slednja postavka je v skladu z razporeditvijo števila nevihtnih front, ki je tostran Alp znatno večje kot na oni strani grebena. To je tudi v skladu s spoznanji

o pogojih za nastanek squall-lines, ki so najboljše v maksimalni advekciji toplega zraka v najnižjih plasteh troposfere /37, 38/.

T A B E L A II-4

/Vrednosti parametrov ob hladnih frontah, ki se glede ohladitev onstran in tostran Alp močno razlikujejo. Označbe kot na str.37/.

| močnejše ohladitve | štev. prim. | RR mm | W % | $\alpha_f v_f$ °km/h | Bt | K | dd | ff °km/h | ΔT_h °C | $\Delta T'$ °C | δ_r °/km | Δp mb | |
|-----------------------|----------------|----------|--------|-------------------------|----|---|----|-------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|-----|
| onstran Alp | 9 | 6 | 33 | 31 | 34 | X | X | 24 | 52 | 4,6 | 4,6 | 6,2 | 6,7 |
| tostran Alp | 9 | 21 | 33 | 32 | 28 | X | -C | 27 | 58 | 4,1 | 6,2 | 6,2 | 6,3 |

Ko primerjamo jakost ohladitev, ki so jih povzročile posamezne hladne fronte na eni in na drugi strani Alp (pri tem dopuščamo razliko $\leq 12^\circ$), ugotovimo, da so bile ohladitve pri 70 % vseh front dokaj enako močne. Proučevanje ekstremnih primerov, ki jih predstavlja 9 hladnih front, ki so povzročile v Ljubljani znatno močnejšo ohladitev in enako število front z nasprotno razporeditvijo moči ohladitve glede na Alpe, nam da očitno malo značilnih rezultatov. Ob frontah, ki so povzročile močnejše ohladitve v Ljubljani je, v povprečju znatno več padavin kot pri nasprotnih primerih. To lahko pomeni, da so bile sicer fronte na obeh straneh Alp po temperaturni razliki zračne mase enako izrazite; večje ohladitve v Ljubljani pa so posledica izdatnejših padavin. Primerjava pokaže razliko v povprečni hitrosti front, ki je pri frontah z relativno močnejšimi ohladitvami onstran Alp za 20 % večja. Razlika je očitna tudi pri jakosti višinskih ohladitev nad Münchenom, ki so v povprečju pri teh frontah močnejše. Slednje je bilo pričakovati tudi glede na geografsko lego krajev in glede na povprečno smer horizontalnega temperaturnega gradienta v višinah. Ohladitve so tostran Alp močnejše pri večji vlažnosti toplega zraka ($\Delta T'$), kar je v skladu s padavinami in njihovim vplivom na ohladitve.

Razlike v padavinah

Važen vremenski parameter, po katerem sodimo jakost front v praktični meteorologiji, je količina padavin. Zato jo bomo upoštevali pri proučevanju spremembe jakosti hladnih front ob njihovem prehodu preko Alp. Sama številična omejitev in delitev front po njej

glede na količino padavin, ki so jo dale posamezne fronte na obeh straneh pregrade, tu ne zadovoljuje. Razlika v količini n.pr. 5 mm pri hladni fronti, ki je dala toliko padavin onstran Alp, na tej strani pa nič, nekaj pomeni; pač pa pri fronti, ki je dala onstran Alp 30 mm padavin, na tej strani pa 25 mm, razlika 5 mm ni bistvena. Brez nadaljnjega lahko smatramo, da je bila taka fronta na obeh straneh Alp padavinsko enako močna. Cenitev razlike padavinske jakosti front mora biti zato nekoliko širše osnovana in, čeprav se lahko pojavi v taki cenitvi tudi subjektivni faktor, je mnogo realnejša in bolj smotrna. Na podlagi take razširjene primerjave je bilo ugotovljeno, da je nekaj nad 50 % hladnih front padavinsko približno enakih tostran kot onstran Alp. Od ostalih pa izločimo primerno število ekstremnih primerov: 12 front, ki so dale na tej strani Alp znatno več padavin kot na oni strani, in 12 ekstremnih primerov z nasprotno razporeditvijo padavin glede na Alpe. Za vsako skupino računamo povprečke, jih primerjamo ter skušamo ugotoviti njih različno odražanje v drugih efektih in sinoptičnih parametrih. Rezultate takega dela daje tabela II-5.

T a b e l a II-5.

/Vrednosti nekaterih parametrov za dve skupini front z ekstremno različno razporeditvijo padavin ob Alpah. Označbe kot na str. 37/.

| Fronte, ob katerih je padlo več padavin | RR | α_f | α_t | v_f | γ_r | Δp | ΔT_h | ΔT | $\Delta T'$ | Kr | $N^{\Delta t}$ | S |
|---|------------|------------|------------|----------------------|------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------|----|----------------|-----|
| | mm : mm | stopinj | km/h | $^{\circ}/\text{km}$ | mb | $^{\circ}\text{C}$ | $^{\circ}\text{C}$ | $^{\circ}\text{C}$ | | ur | | ur |
| SEVERNO | 132 : 1 | 300 | 270 | 39 | 6.2 | 1,5 | 4,6 | 2,3 | 8,3 | m | 3,2 | 8,5 |
| JUŽNO | 10 : 1 | 300 | 280 | 45 | 6.7 | 2,4 | 3,2 | 3,9 | 4,3 | C | 6,7 | 5,4 |
| od Alp | (353 : 36) | | | | | | | | | | | |

Zgornja vrsta (pod simboli in enotami) nam podaja povprečne vrednosti raznih parametrov za fronte, ki so dale severno od Alp mnogo padavin, južno od njih pa praktično nič. Razmerje padavin je 132 : 1 ter predstavlja obenem vsoti padavin v mm padlih ob teh frontah. Spodnja vrsta predstavlja povprečke za hladne fronte, ki so dale južno od Alp znatno več padavin kot severno. Razmerje količine padavin je pri teh znatno manjše 10 : 1 ter smo ga dobili iz vsot 353 mm : 36 mm. Vidimo, da so te fronte v celoti pada-

vinsko bogatejše. Primerjava ostalih vrednosti nam ob razlagi simbolov pokaže še nekaj zanimivih spoznanj.

Takoj vidimo, da sta povprečni vrednosti smeri prihoda fronte (α_f) za fronte obeh padavinskih razporeditev enaki in da smer, iz katere pride fronta, za proučevano razporeditev padavin ni važna. Razlika v splošni smeri tokov preko Alp na 300 mb ploskvi tik pred prihodom hladne fronte (α_t) je očitno majhna in nebitvena. Podobno velja za povprečno hitrost premeščanja front na poti zadnjih nekaj sto kilometrov do Alp (V_f). Razlika povprečij znaša 6 km/h ter je majhna glede na velike razlike v hitrostih, ki jih imajo posamezne fronte.

Razlika med obema skupinama front je v pogledu stabilnosti v toplen zraku (γ_T) tudi majhna. To nas preseneča, kot je tudi že druge /39/, zlasti zato, ker je druga skupina front precej bogatejša na padavinah. Podobna nebitvena razlika se kaže tudi v razporeditvi zračnega pritiska severno in južno od Alp v času, ko je fronta na severni strani (Δ_p). Razporeditev pritiska ob frontah je očitno večinoma taka, da je pritisk severno od Alp večji, le da pri prvem tipu front razlika ni zelo velika. Ustrezne vrednosti ΔT_h kažejo, da so hladne fronte, ki so povzročile severno od Alp več padavin, tudi v višinah temperaturno bolj izražene, kot one z nasprotno padavinsko razporeditvijo. Razumljivo nam je, da so povzročile tiste hladne fronte, ki so dale južno od Alp več padavin, tu tudi močnejše ohladitve pri tleh (ΔT) in obratno. Vemo namreč, da je ohladitev, ki jo povzroči hladna fronta, poleti večkrat bolj posledica padavin kot same advekcije hladnega zraka. Povprečni vrednosti obeh tipov front se očitno precej razlikujeta v depresiji rosišča na 850 mb ploskvi ($\Delta T'$) in kažeta, da so padavine južno od Alp izdatne in izdatnejše kot severno, ob veliki vlažnosti toplega zraka, to je ob majhni depresiji rosišča. Primerjava krivine izohips (Kr) na 500 mb ploskvi za omenjene fronte je pokazala, da pri prvi skupini front krivine najčesče ni, to je, da so izohipse ravne. Pri skupini front, ki so dale južno od Alp močnejše padavine, pa številčno močno prevladujejo primeri s ciklonalno ukrivljenostjo izohips.

Največji doprinos termičnega proženja neviht h količini padavin ob hladnih frontah moremo pričakovati okrog 15 ure. Koliko se čas prehoda fronte preko nekega kraja razlikuje od 15 ure označimo z Δt . Določimo take razlike za prehode vseh teh front preko Züricha, kot predstavnika severne strani, in preko Ljubljane, kot predstavnika južne strani Alp in tvorimo povprečke. Vidimo, da so dale več padavin na severni strani Alp tiste fronte, ki so prešle severni rob Alp v dnevnem času, ki se ne razlikuje mnogo od dnevnega časa, ko so tla najtoplejša. Pri teh frontah je obenem čas prehoda fronte preko področja južno od Alp daleč od 15 ure. Podobno, čeprav nekoliko manj izrazito, velja to tudi za fronte, ki so dale več padavin južno od Alp. Očitno je torej, da povzročijo hladne fronte znatno več padavin na področju, ki ga preidejo v dnevnih popoldanskih urah kot v tistih krajih, ki jih preidejo ponoči in zgodaj zjutraj. Za razporeditev padavin je torej poleg ostalega precej odločujoč tudi dnevni čas prehoda fronte.

Spoznali smo parametre, ki kažejo odvisnost in nekatere tiste, ki so brez odvisnosti glede razporeditve padavin severno in južno od Alp ob hladnih frontah. Dobljene ugotovitve nam lahko poleg drugega služijo tudi kot pripomoček pri določanju količine padavin v krajih južno od Alp na osnovi znane količine padavin, ki jo je dala hladna fronta na severni strani. Pri tem pa moramo upoštevati vzajemne vrednosti parametrov, ki kažejo ustrezno odvisnost.

Posebna primerjava jakosti front

Posebna primerjava intenzitete hladnih front na tej in na oni strani Alp je možna glede na jakost front v Zürichu z uporabo švicarskega koledarja front /26/. Po sličnih kriterijih, kot jih uporabljajo v Zürichu je bila določena jakost front tudi v Ljubljani. Kriteriji slone na kombinaciji temperaturnih in padavinskih efektov ter določajo tri stopnje jakosti front: slabo (0), zmerno (1) in močno (2). Nas zanima razlika v jakosti front; njen splošni pregled za omenjenih 75 front v odstotkih daje tabela II-6.

Srednja vrsta v tabeli pove, da je skoro polovica vseh hladnih front, ki so v tem letu prišle preko Alp k nam, v obeh krajih enako intenzivnih. Od ostalih je v Ljubljani več močnejših kot slabših,

kar je posledica večje količine padavin, ki jo dajo fronte tostran Alp, kot sledi iz slike II-2. Ne moremo pa trditi, da sledi iz omenjenih vrednosti tudi taka sprememba jakosti hladnih front pri njihovem prehodu preko Alp, kajti za hladne fronte, ki so prišle iz smeri 330° , jakost fronte v Zürichu ni nujno identična z jakostjo fronte onstran Alp glede na Ljubljano. Zato je primerjava spremembe jakosti hladnih front pri prehodu preko Alp na tej osnovi utemeljena le za fronte, ki prihajajo k nam preko Zürichu, to so fronte iz smeri 270° in 300° . Razporeditev zanje daje spodnja vrsta tabele II-6. Iz nje je razvidno, da je dobra tretjina front na obeh straneh Alp enako močnih, nekaj več se jih do nas okrepi, kot jih oslabi, tudi zaradi zgoraj omenjenih vzrokov. Rezultati tako torej ne presegajo prognostične vrednosti, ki jo daje slika -II-2. Omenim naj še, da so vse fronte (razen ene izjeme), ki jih v Zürichu niso opazili ali smatrali za fronte, tudi v Ljubljani slabe, to je z intenziteto 0. V omenjenem izjemnem primeru pa se je hladna fronta ob Alpah šele formirala in je kot take v Zürichu res ni bilo.

T A B E L A II-6

/Odstotek front glede razlike v njihovi jakosti v Ljubljani in Zürichu; pozitivne vrednosti pomenijo, da je bila fronta v Ljubljani močnejša/.

| Razlika v jakosti | za stopnjo | 2 | 1 | 0 | -1 | -2 |
|-----------------------|------------|---|----|----|----|----|
| vse fronte | % | 4 | 32 | 44 | 13 | 7 |
| fronte izbranih smeri | % | 2 | 34 | 36 | 20 | 8 |

Za ostala dva kraja onkraj Alp preko katerih prihajajo hladne fronte v naše kraje, nimamo koledarja front z določeno intenziteto, zato tovrstno proučevanje spremembe jakosti front ni izvedljivo. Po teh kriterijih pa jakosti front ne moremo sami določiti, ker nimamo na razpolago dovolj opazovalnega gradiva. Sicer pa ni verjetno, da bi rezultati presegli vrednosti, ki jih dajejo sprednje primerjave po posameznih parametrih oziroma efekti.

III. VPLIV HLADNIH FRONT NA VREME V SLOVENIJI

Osnove, frekvenčna razporeditev in reprezentativnost

Slovenija je glede na obsežnost velikih vremenskih tvorb razmeroma majhno področje, vendar obstajajo v pogledu vremena in klime med posameznimi področji precejšnje razlike, ki so predvsem posledica topografskih vplivov. Na eni strani je to prehodno področje med morsko sredozemsko klimo in celinsko klimo Panonske kotline, na drugi pa nastopajo neenotni vplivi Alp in še ožjih lokalnih faktorjev. Vsi ti vplivi se prepletajo in zato podatek z enega kraja v splošnem ne more reprezentirati področja cele Slovenije. V prejšnjem poglavju je bila zaradi posebnosti primerjav omejitev na en kraj potrebna; v naslednjem pa bo predstavljalo Slovenijo 11 krajev. V teh krajih so sinoptične postaje, ki nam nudijo podatke pogostnih, točnih in izčrpnih opazovanj in celo celoten razvoj vremena. Povprečki, računani iz podatkov teh postaj, bodo predstavljali vrednosti, za katere bomo govorili, da veljajo za Slovenijo kot celoto, oziroma bodo nekatere skupine teh krajev predstavljale posamezne dele področja. Po potrebi bodo posebej upoštevani podatki z višinske postaje na Kredarici (2.515 m), ki je, zaradi posebno velike višine, ni primerno vključiti med ostale kraje. Prav tako pa bo potrebna generalizacija tistih posebnih meritev, ki jih vrše le posamezne postaje. Razporeditev in nadmorska višina vseh teh krajev oziroma postaj je razvidna iz slike III-1.

V tem delu nas predvsem zanima, kako se izražajo hladne fronte v Sloveniji v spremembah glavnih vremenskih parametrov; to je tistih, ki predstavljajo vreme, ki vsak dan neposredno vpliva na človekovo počutje in udejstvovanje. Ti parametri, ki so zato tudi glavni sestavni elementi vremenskih napovedi in nas zato najbolj zanimajo, so: temperatura, padavine, oblačnost, veter in razni pojavi (nevihte, megla, slana itd.). Ugotavljali pa bomo tudi odvisnost s pomočjo teh parametrov določenih frontalnih efektov od raznih sinoptičnih parametrov, ki se dajo po sinoptični metodi lažje predvideti kot efekti sami, kar daje neposredno prognostično vrednost.

Poleg 75 hladnih front, ki so prišle v letu 1957 v Slovenijo preko Alp in smo jih obravnavali tudi že v prejšnjem delu, je vplivalo na vreme v Sloveniji še 18 hladnih front. Pri 7 izmed teh so se razvile posebno močne sekundarne depresije v severnem Sredozemlju. S tem se je zgradba front v tem delu tako spremenila, da jih ni primerno vključiti v naša proučevanja ter jih zato tudi v bodoče ne bomo upoštevali. Od ostalih 11 hladnih front, ki niso prišle k nam preko Alp, so prišle 3 od juga (fronte št. 12, 21, 69) in 8 od vzhoda oziroma severovzhoda. Po potrebi in v kolikor se zaključki ne bi nanašali na vplive Alp, bomo v proučevanjih zajeli tudi te fronte, da dobimo čim splošnejšo sliko o vplivih hladnih front na vreme v Sloveniji.

Skupno, všteti tudi fronte z izredno močno sekundarno depresijo, je torej vplivalo na vreme v Sloveniji v letu 1957 93 hladnih front, kar pomeni, da je prišla k nam hladna fronta povprečno vsake 3.9 dni. Ta vrednost je v popolnem soglasju z rezultati proučevanj Schumana in Rooya /40/ za to področje. Določevala sta frekvenco front severne hemisfere za 10-letno dobo na povsem svojevrsten način. Za nas je važna ugotovitev, da pogostnost front v tem letu ustreza večletnemu povprečju. Zanima pa nas seveda tudi natančneje kakšni so časovni presledki med posameznimi zaporednimi frontami, oziroma kakšna je, glede na presledke njihova frekvenčna razporeditev. Odgovor na to vprašanje nam daje tabela III-1; v tej omenjenih 7 hladnih front z močno sekundarno depresijo ni upoštevanih.

T A B E L A III-1

/Frekvenca front v zavisnosti od števila dni, ki so potekli od prehoda predhodne hladne fronte/

| št. dni | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|--------------|----|----|----|----|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| št. front v% | 13 | 22 | 19 | 14 | 7 | 4 | 5 | 6 | 4 | 1 | 3 | 1 | 1 |

Iz tabele je razvidno, da ima frekvenčna razporeditev časovnih presledkov med frontami 3 maksime. Prvi, najmočnejši, leži pri dveh dneh, to je, nekaj pod povprečno vrednostjo, kar je razumljivo, in v celoti zajema 70 % vseh primerov. Tretji maksimum pri 11 dneh je verjetno slučajen ter je posledica majhnega števila primerov.

Bolj zanimiv je drugi maksimum, ki leži pri 8 dneh in je lepo izražen, vendar pa je zanj težko postaviti povsem prepričljivo razlago. Verjetno je, da je ta v zvezi z valovanjem polarne fronte, ki teži k konstantni valovni dolžini oziroma ustrezni frekvenci. S tem v zvezi je nihanje višine izobarnih ploskev, ki ima nad nami prav v sedemdnevem ritmu svojo maksimalno vrednost /41/.

Iz tabele je nadalje razvidno, da je bil najdaljši presledek med dvema zaporednima hladnima frontama 13 dni. Praktično pa ni mogoče določiti najkrajšega presledka. Često namreč nastopajo v zelo kratkih časovnih presledkih (nekaj ur) pojavi, vzporedno s takim potekom elementov, da vsaka skupina sprememb kaže na prehod samostojne fronte. Težko je tedaj ugotoviti ali nastopata res 2 samostojni frontalni tvorbi ali pa imamo opraviti le z deljeno oziroma periodično aktivnostjo ene fronte. Za tako točnejšo opredelitev bi bilo potrebno predvsem široko dopolnilo v definiciji hladnih front, kar bi omogočalo ostrejšo ločitev vsaj nad topografsko enotnimi področji. V topografsko, zlasti pa orografsko neenotnih področjih so težave še večje ter utegne biti še celo doba pol dneva, ki je bila pri nas postavljena za najmanjši možni presledek med dvema zaporednima frontama, prekratka. Pri tem nam delajo težave predvsem squall-lines, ki se lahko znatno oddaljijo oziroma prehitijo matično fronto /38/ in razni impulzivni prelivni hladnega zraka preko orografske pregrade. Iz tega sledi, da bi celo pri tako široki časovni meji lahko nastopila napaka in bi v resnici eno fronto šteli za dve. Tudi v takih dvomljivih primerih nam močno pomaga vsklajevanje mnenj posameznih prognostičnih centrov. Glede tega se mnenja centrov v Zürichu, Frankfurtu in Ljubljani dokaj dobro ujemajo; izstopa pa Wien, kjer dopuščajo časovno razliko med dvema hladnima frontama tudi manj kot 3 ure. V skladu z našimi ugotovitvami o možnosti časovne natančnosti določitve prehoda front v drugem delu, je razumljivo, da je tak interval prekratek. Mi smo v takih primerih šteli obe grupi pojavov za eno fronto. Če upoštevamo še hitrost premeščanja front in smatramo fronto kot mejo med zračnimi masami v zvezi z razsežnostjo mas, lahko ugotovimo, da v manj kot pol dneva ne moremo dobiti dveh ohladitev kot posledico dvojne spremembe zračne mase. Omenjene spremembe so možne le v redkih primerih na ustrezni poti ciklonskih družin, ki potujejo v obrobni

cirkulaciji centralnih depresij preko vzhodnega Atlantika in deloma zahodne Evrope. V področju vzhodno od Alp pa je njihovo gibanje, v kolikor sploh pridejo sem, znatno počasnejše. Upoštevanje razširjenosti kvazistatičnih baričnih tvorb ali tokovnih sistemov v zvezi s hitrostjo njihovih pomikov nam pokaže, da si tudi podobne konvergenčne linije takih dimenzij, da lahko predstavljajo fronto, ne morejo slediti v časovnem presledku, krajšem kot pol dneva. Zelo redka izjema bi lahko nastopila v slučaju, če bi prišli dve fronti oziroma dva prodora hladnega zraka iz različnih smeri. Najkrajši časovni presledek med dvema frontama ni torej najden, ampak je določen na osnovi gornjih razmotrivanj in tvori del celotne definicije hladnih front pri naših proučevanjih.

Kinematika hladnih front, zlasti pa smeri, iz katerih prihajajo hladne fronte v Slovenijo, so bile za te fronte izčrpno obdelane v posebni razpravi /29/. Pri tem se je izkazala kot zelo važna jakost spremembe smeri oziroma lege front v času njenega približevanja Alpam, v čemer se namreč izraža deformacija fronte pred Alpami in ob masivu samem. V zvezi z našimi problemi se deformacije front zelo važne, vendar rezultatov tu ne bomo ponavljali. Trenutno nas že zanima iz katerih smeri in v kakšnem razmerju so vpadale hladne fronte v Slovenijo. Poslužimo se predstave z "rožo smeri" ter primerjajmo rožo teh takoimenovanih končnih leg z rožo smeri, ki velja za iste fronte, toda 42 ur prej, predno so prišle do naših krajev (slika III-2). Roža leg b (prekinjene črte) kaže, da vpade v Slovenijo največ hladnih front iz smeri 330° in od severa, dočim sta od ostalih smeri v tem pogledu omembe vredni le še zahodna in severovzhodna smer. V primerjavi z rožo smeri leg front 42 ur pred prihodom k nam, pri kateri izrazito prevladuje smer 300° , bi nas na prvi pogled utegnilo presenetiti dejstvo, da je ta smer pri končnih legah tako slabo zastopana. Že samo iz primerjave obeh rož v celoti pa se vidi, da se smer približevanja front našim krajem v zadnjih 42 urah spreminja tako, da vpadejo te k nam iz smeri, ki je za nekaj nad 30° spremenjena v negativnem smislu vrtenja - vrtenja urinih kazalcev. To pa ne velja v toliki meri za fronte, ki prihajajo od zahoda. Zato je ta smer pri obeh rožah približno enako frekventna, smer 300° pa ostane zaradi tega v roži končnih leg skoro prazna.

Iz tega se lepo vidi, kako skušajo v splošnem hladne fronte Alpe obiti, in sicer večinoma na severu ter nato od severa ali celo severovzhoda vpadejo v Slovenijo. Pri frontah pa, ki prihajajo od zahoda, je tendenca oziroma možnost za obhajanje pregrade manjša. To je deloma izraženo tudi v smeri rotacije, ki je pri teh frontah često pozitivna. Od zahoda prihajajoče fronte obidejo Alpe često v glavnem na južni strani in pridejo k nam od jugozahoda. Pri taki južni variaciji poti je razumljivo, da nastopa ustrezno močnejša transformacija zračne mase, zlasti še pozimi zaradi relativno zelo toplega Sredozemskega morja.

V ostalem bomo v tem delu proučevali predvsem potek vremena ob hladnih frontah v Sloveniji, naslanjajoč se na posamezne parametre. Celoten prehod hladne fronte pa zajema časovni interval, ki za vse upoštevane kraje ni niti enako dolg niti ne nastopa ob istem času. Pri iskanju primerno določenih parametrov se je izkazalo, da večinoma še najbolj ustrezajo srednje dnevne vrednosti ter se bomo zato tudi v naslednjem obravnavanju naslonili predvsem **nanje**. Celoten vpliv fronte pa zajema često znatno daljšo dobo kot je en dan, ter je lahko zato podan le z ustrezno vsoto srednjih dnevnih vrednosti. Pri tem pa se je često pokazalo tudi potrebno ločiti vrednosti iz povprečja in jih proučevati po posameznih krajih. Pogostnost front nam pove v zvezi z ocenjenim povprečnim časom, v katerem traja njihov vpliv, da pade glede na nekatere parametre, v območje hladnih front več kot polovica dni v letu. Zato je bilo potrebno najprej na poseben način proučiti vreme v Sloveniji za vse leto; večji del tega proučevanja pa je podan v samostojni razpravi /42/.

V tej zvezi nas še zanima kako se odraža leto 1957 v glavnih vremenskih parametrih glede na vrednosti večletnih povprečkov. V ta namen je bil za Slovenijo kot celoto (spredaj definirano z omenjenimi 11 kraji) določen srednji večletni povpreček za 32-letno dobo (1925 - 1956). Ta znaša za padavine 1310 mm in za temperaturo $9,0^{\circ}$ C. Ti povprečni vrednosti primerjamo z vrednostmi za leto 1957, ki so za padavine 1130 mm in temperaturo $9,3^{\circ}$ C. Podobne primerjave za ostale, sicer manj važne parametre, ni mogoče podati, ker pri njih za večino krajev ni na razpolago potrebnih podatkov. Iz gornjega pa sledi, da je bilo

obravnavano leto blizu povprečja ter je zato reprezentativno. Velik del dobljenih rezultatov lahko zato posplošimo in imajo splošno praktično vrednost.

Temperaturne spremembe in njihova razporeditev

Važen vremenski parameter, po katerem sodimo vpliv fronte na vreme v nekem kraju ali nad manjšim področjem, je sprememba temperature zraka pri tleh. Lokalne spremembe srednje temperature nenasičenega zraka izrazimo z enačbo, ki jo enostavno dobimo iz individualne temperaturne spremembe in z uporabo prvega stavka termodinamike /43/. Pri tem zanemarimo večinoma neenotne vplive, ki jih imajo na spremembo temperature spremembe pritiska zaradi horizontalnega gibanja zračnih delcev in lokalne spremembe pritiska. Za naše prilike nekoliko modificirana enačba se glasi:

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = -(\gamma_a - \gamma) \bar{w} - \frac{\partial T_s}{\partial m_f} u_f + \frac{1}{c_p} \cdot \frac{dq}{dt} \quad (T-1)$$

V njej pomenijo γ_a , γ adiabatni oziroma geometrični temperaturni gradient, \bar{w} povprečno vertikalno hitrost, $\partial T_s / \partial m_f$ temperaturni gradient pravokotno na fronto (ne frontalno površino), u_f povprečno hitrost fronte in dq/dt dovedeno toploto. Prvi člen daje adiabatno ohladitev in je ob hladni fronti < 0 ker je $w > 0$. V zaledju hladnega zraka je često pozitiven zaradi ustrezne smeri vertikalne vetrovne komponente, ki je sicer v splošnem majhna. Pri tleh, kjer je $w = 0$, je ta člen brez vpliva. Drugi člen predstavlja advekcijo zraka in je pri hladni fronti seveda < 0 ; dočim je tretji člen > 0 in, če ni padavin, predstavlja predvsem že omenjeni efekt transformacije zračne mase, ki nastopa pri hladni fronti nad toplejšo podlago in vpliva na hitrost njenega gibanja /35/. Direktnen odvod in dovod toplote z radiacijo pa smemo zanemariti zlasti tedaj, če nas zanima srednja dnevna temperatura. Rekli smo, da je pri tleh prvi člen identično 0, zadnji pa je seveda prav tu največji. V višinah in zato na višinskih postajah je ravno obratno. Če smatramo, da je srednji advektivni člen pri tleh in v višinah srednje troposfere približno enako izražen, sledi iz tega, da morajo biti v splošnem ohladitve v višinah močnejše, kar so primerjave, ki jih bomo videli, dejansko pokazale.

Za osnovo proučevanja ohladitev, ki povzročajo hladne fronte, vzamemo interdiurne diference srednje dnevne temperature v dneh ob prehodu fronte. Ustvarimo si razporeditev ohladitev glede na dan prihoda fronte tako, da zajamemo še dan pred fronto ter dva dneva za tem. Težave v določanju ustreznih vrednosti se pojavijo pri frontah, ki si naglo slede brez večjega časovnega presledka tako, da često ni mogoče ugotoviti, h kateri fronti neka vrednost pravzaprav spada. Odločimo se glede na primere, kjer ni teh težav in na splošna izkustva, da nastopajo ohladitve pretežno po prehodu hladne fronte. Zato štejemo vse take dvomljive vrednosti k predhodni fronti, pri naslednji fronti, ki prejšnji naglo sledi, pa smatramo, da je bila ohladitev v tem dnevu nič. Če tvorimo povprečke v posameznih dneh za vse fronte, dobimo razporeditev, ki jo kaže tabela III-2.

T A B E L A III-2

/Povprečne vrednosti interdiurnih diferenc srednje dnevne temperature (ΔT) v dneh ob prehodu hladnih front v Sloveniji in pogostnost nastopa maksimalne ohladitve v ustreznem dnevu/.

| | pred fronto | ob prehodu fronte | 1. dan po prehodu | 2. dan po prehodu |
|----------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| ΔT (°C) | + 0,9 | - 0,7, | - 0,9 | + 0,3 |
| št. primerov maks. ohladitve (%) | 0 | 43 (5) | 49 (14) | 8 (3) |

Dani povprečki za vse fronte kažejo, da nastopa v povprečju v dnevu pred prihodom fronte sorazmerno močan dvig temperature. Ta dvig je posledica advekcije toplejšega zraka iz južnega kvadranta, ki v zvezi s toplo fronto in v toplim sektorju navadno nastopa pred prihodom hladne fronte v Slovenijo. Zlasti lepo izražena je ta topla advekcija pred vsako tako fronto, katere prehod preko naših krajev je z več dnevi ločen od prehoda preje in pozneje prispelih front, ali pri prvi od več naglo si sledečih front. Pri frontah, ki si naglo slede, je ta efekt zakrit s frontalnimi ali pofrontalnimi vplivi predhodne fronte.

V dnevu prehoda fronte, ki je tu določen koledarsko s tistim dnem, ko je hladna fronta prešla osrednjo Slovenijo ne glede na dnevni čas, imamo skoro enako veliko spremembo srednje dnevne

temperature sedaj v negativni smeri - ohladitev. Ta padec je razumljiv in ga ob hladnih frontah pričakujemo, vendar pa nastopi glavni oziroma močnejši padec temperature šele naslednji dan, to je v dnevu po prehodu hladne fronte. Tretji dan se temperature s ponovnim povprečnim dvigom spet približajo nekemu povprečku za tisto obdobje.

Pravkar dobljena predstava pa je silno groba in, čeprav nam daje pravilno predstavo o splošnem poteku temperaturnih sprememb ob fronti, nas v celoti seveda ne zadovoljuje. Kviri jo predvsem dejstvo, da nismo mogli upoštevati dnevnega časa prehoda front. Če je n.pr. fronta prešla Slovenijo v zgornjih jutranjih urah, je vplivala na vrednosti vseh treh terminov, ki določajo srednjo dnevno temperaturo tistega dne; ta kaže zato ustrezno negativno vrednost difference napram prejšnjemu dnevu. Če pa je prišla hladna fronta šele zvečer, je pričakovati, da bo zabeležen glavni temperaturni padec šele naslednji dan, v kolikor niso bile morda za tisti čas izredno visoke temperature znižane že s predfrontalnimi vplivi, kot so oblačnost in predfrontalne padavine. Slednje je možno zlasti tedaj, kadar prodirajoči hladni zrak temperaturno ni pod povprečnimi vrednostmi za to dobo in tudi relativno ni posebno hladen. Kadar je prodirajoči zrak zelo hladen, se oba vpliva seštejeta in je padec v prvem slučaju zelo močan, v drugem slučaju pa pada temperatura močnejše naslednji dan. K temu pa že lahko prispevajo tudi pofrontalni efekti. Kot važen pofrontalni efekt lahko smatramo nadaljnji dotok hladnega zraka, ki je vedno manj transformiran zaradi že znižane temperature tal ob frontalnih efekti. Drugi efekt, ki nastopa predvsem spomladi in poleti, je periodično kolebanje oblačnosti v dnevnem času: zrak, ki ga dovede hladna fronta, je namreč često pogojno labilen. Ta pogojna labilnost se sprošča ob pomoči dnevne insolacije, kar povzroča dnevne pooblačitve in včasih tudi nevihte in plohe, ki znižujejo vrednosti drugega in tretjega termina. Zvečer navadno ta oblačnost zaradi subsidence izgine, s čimer so omogočene močne radiacijske ohladitve, ki vplivajo na prvi - jutranji termin.

Celotna ohladitev, ki jo povzroči neka hladna fronta, je torej posledica mnogih efektov in lahko zajema dobo treh ali celo več dni. Od časovne razporeditve nastopa efektov in njihove relativne jakosti je odvisno, kdaj bo temperaturni padec najmočnejši. V

Sloveniji, ki je topografsko zelo neenotna, so ti efekti v različnih krajih včasih zelo različni in to v taki meri, da samo na podlagi temperaturnih sprememb (poteka termogramskih krivulj ali zaporedja terminskih vrednosti) često niti na en dan natančno ne moremo ugotoviti časa prehoda neke fronte. Celotna ohladitev, ki jo je povzročila fronta, dobimo s seštevanjem vrednosti v dneh ob njenem prehodu. Tu spet naletimo na težave v primerih naglo si sledečih front, ki pa jih premostimo s skrbno analizo drugih parametrov. Srednja vrednost tako določene celotne ohladitve ob hladnih frontah v Sloveniji za vse fronte v tem letu znaša $-2,5^{\circ}\text{C}$. Pri tem naj opozorimo, da nastopajo v izjemno redkih primerih tudi nizke pozitivne vrednosti.

Analiza podatkov, ki so osnova pri izdelavi tabele III-2, je pokazala, da ohladitve v dnevu po prehodu hladne fronte niso znatno močnejše, temveč nekoliko pogostnejše. Procentualna razporeditev primerov z maksimalno ohladitvijo v ustreznem dnevu je razvidna iz spodnjega dela omenjene tabele, pri čemer je v zadnji vrsti podan odstotek primerov, pri katerih so bile ohladitve v dveh sosednjih dneh enake. Vrednosti te zadnje vrste bi skoro z enako upravičenostjo odšteli više ležečim vrednostim predzadnje vrste ter jih prišteli predhodnemu dnevu, kar bi potem zavrnilo gornjo domnevo.

Širšo možnost uporabe diskutiranih podatkov zmanjšujejo poleg omenjene neenotnosti glede na čas tudi geografska lega oziroma razporeditev reprezentativnih krajev. Prednje vrednosti so najbolj značilne tedaj, ko so nastopile ohladitve po vsej Sloveniji istočasno, to je vsaj v istem dnevu in so bile enake ali vsaj ne nasprotujočih si predznakov. Taki so pogoji ob hitrih frontah, katerih prehodi preko Slovenije so časovno osamljeni. Glede geografske razporeditve nastopa ohladitev je analiza pokazala sledeče: pri nekaj nad polovico frontah je nastopila ohladitev v vseh upoštevanih krajih Slovenije, v približno 40 % je padla temperatura le ponekod (v nekem dnevu tu in v drugem dnevu drugje); v ostalih slučajah ni bilo znatnih temperaturnih sprememb izraženih v poteku srednje dnevne temperature posameznih krajev.

V primerih, ko je nastopila ohladitev v vseh krajih Slovenije, je najčešče tako, da imamo ponekod temperaturni padec že pred dnevom,

ko zajame ohladitev celo Slovenijo in prav tako pada čisto temperatura tudi še v dnevu za njim. Včasih je krajevna razporeditev ohladitev povsem brez reda, včasih pa pade temperatura ob dnevu prihoda fronte v enem delu Slovenije, medtem ko v drugem še narašča, naslednji dan pa na prvem področju ponovno raste in v drugem pada. Pri slabotnih ohladitvah je pri takih primerih povprečna interdiurna diferenca srednje dnevne temperature v gornji statistiki za oba dneva nič, kljub temu, da je lahko bil kratkotrajen temperaturni padec, ki je nastopil morda v vseh krajih, znaten. Iz tega izvira verjetno tudi razlika med povprečno vrednostjo vseh ohladitev v Ljubljani, ki smo jo obravnavali v II. delu in med spredaj omenjeno povprečno ohladitvijo za celotno Slovenijo, ki je zato nižja ($-2,8 : -2,5^{\circ} \text{C}$). Za določitev temperaturno slabo izraženih front je zato poleg drugega potreben detajlnejši in sočasen pregled ohladitev v posameznih krajih.

Diskutirali smo o primerih, ko zajame ohladitev prvi dan eno polovico Slovenije in drugi dan drugo polovico. Nastopajo pa mnogi primeri, ko prehitevajo ali zaostajajo v času nastopa ohladitev le poedini kraji ali manjši deli Slovenije. Pri teh primerih se da tudi po vrednostih srednje dnevne temperature v grobem slediti širjenju ohladitev predvsem po njihovi smeri, kar je mogoče seveda predvsem pri počasnih frontah. Rezultate takega proučevanja nam daje naslednja tabela:

T A B E L A III-3

/Krajevna razporeditev začetka in konca ohladitev, ki se odraža v časovni razporeditvi negativnih interdiurnih razlik srednje dnevne temperature/

| Del Slovenije: | Primorska | centralni | NE | NW | sočasen nast.ohl. | neodrejeno in brez reda |
|--------------------------|-----------|-----------|----|----|-------------------|-------------------------|
| št. front z začetkom (%) | 13 | 0 | 12 | 14 | 23 | 38 |
| št. front s koncem (%) | 19 | 9 | 5 | 2 | | 42 |

Glede na velik časovni interval, ki ga zajema posamezna vrednost srednje dnevne temperature, je razumljiv velik odstotek neodrejenih primerov front tako za začetek kot konec nastopa ohladitev.

Ta je tudi posledica naglo si sledečih front, kjer se končni vplivi ene fronte prelivajo v začetne vplive druge, oziroma se vpliva obeh front prekrivata. Od ostalih prevladuje število z istočasnim, ali bolje rečeno z istodnevним nastopom začetka in konca ohladitev preko vse Slovenije. Glede na tako majhno področje in hitrost front je razumljivo, da se lahko v mnogih slučajih v enem dnevu zvrste vsi procesi, ki temperaturni padec povzročijo in končajo.

V ostalem je iz prvega dela te razpredelnice lepo razvidna prevladujoča smer prihoda hladnih front oziroma prodorov hladnega zraka v skladu s sliko III-2 in Čadeževimi opažanji /6/. Izstopa pa veliko število primerov s koncem ohladitvene dobe na Primorskem. Kadar se hladni zrak ne prelije preko Alp, mora priti tja preko ostale Slovenije, kar vpliva na zakasnitev začetka, ki pa iz gornje tabele ni razvidna; veliko število primerov s koncem ohladitvene dobe na Primorskem pa je posledica burje. Ni takih primerov, da bi se pojavile ohladitve najprej v centralnem delu Slovenije. To pomeni, da je zanje odločilen adveksijski člen, bodisi direktno ali v zvezi s širjenjem padavin. Primeri, v katerih traja ohladitev najdlje v osrednji Sloveniji pa nastopajo in so verjetno posledica radiacije v zvezi z ustreznim kolebanjem oblačnosti v dnevnem času.

Za podrobno proučevanje nastopa in širjenja ohladitev ob hladnih frontah v Sloveniji so bile za prvo polovico leta za vsako fronto izdelane posebne kartice z vnešenimi podatki o času nastopa posameznih ohladitev glede na potek temperature po urnih vrednostih. Primer kartice je podan na sliki III-3. Iz nje je razvidno, da je nastopila ohladitev v treh "obrokih", in sicer nekako med drugo in šesto, med 11 in 12 ter med 17 in 18 uro, vendar pa izohron ni mogoče potegniti, kar pomeni, da advektivni faktor ne prevladuje. Podobno je v ostalih primerih, le da je število obrokov včasih večje in včasih manjše kot na podanem primeru. Detajlna analiza ohladitvenih izohron ob hladnih frontah v Sloveniji v splošnem ni možna in je omejena le na redke, skoro izjemne primere.

Čase nastopa ohladitev za izdelavo teh kartic smo dobili iz grafikonov, izdelanih na podlagi urnih vrednosti, katerih primer kaže slika III-4. Temperaturne krivulje na teh grafikonih, v razliko

od krivulj pritiska, ne kažejo izrazitih podobnosti. Zato si z njimi in tudi z analizo termogramov, ki so tem zelo podobni, ne pomagamo mnogo pri časovnem določanju prehoda hladnih front ne pri ugotavljanju vzroka ohladitve in niti pri določanju jakosti ohladitve, ki jo je povzročila neka fronta.

Če pogledamo natančneje potek temperaturnih krivulj na primeru slike III-4, vidimo, da so večinoma najmočnejši temperaturni padci v drugem obroku (med 11 in 12 uro) to je nekaj po času povprečnega prihoda hladne fronte v osrednjo Slovenijo - tabela front. Od izjem je značilen potek temperature v Mariboru, kjer je nastopil izrazit temperaturni padec 3 ure preje in v Planici, kjer je nastopil zelo močan temperaturni padec šele ob 18 uri. Ta spada sicer v tretji obrok, vendar je prav tako možno, da sta tu oba obroka združena, kar potrjuje izredno velika jakost padca v razmeroma kratkem časovnem intervalu. Glede na dnevni čas je pri tem možen tudi že znaten vpliv radiacije. Za podrobno analizo vzrokov in razporeditve ohladitev, bi očitno morali še znatno razširiti in poglobiti analizo, kar bi pomenilo pri tolikem številu front, ki zajema tudi mnoge netipične in dvomljive primere, izredno razširitev dela. Zato tudi nadaljna diskusija ob danem primeru fronte št. 13 nima pomena, ker itak ne bi imela splošne vrednosti, problematika in uspešnost posameznih primerov pa je bila prikazana. Omenim naj le še vpliv pričetka padavin na temperaturni potek, ki ga lahko izluščimo iz danega primera. Ta vpliv se izraža v prvem obroku v Postojni in Novem mestu, medtem ko je pri večini ostalih krajev popolnoma neopazen in ga ne najdemo tudi če upoštevamo, da so v tem dnevnem času časovne določitve začetka padavin razmeroma nezanesljive.

Na višinskih postajah, za katere smatramo, da do neke mere predstavljajo stanje v prosti atmosferi in so karakteristično lokalni vplivi močno oslabljeni, bi lahko pričakovali enotnejši potek temperaturne krivulje z zaobljenimi prelomnicami. V tem smislu bi se lahko navduševali nad soglasnostjo gornjih ugotovitev in temperaturno krivuljo za Kredarico, če ne bi poznali okoliščin, v katerih se v takih primerih in ob takem času nahajajo registrirni instrumenti /44/. Na podlagi izkušenj v merjenjih na Kredarici ob prilikah, ko v zimski noči nastopajo padavine (te so v tem

času vedno snežne) ali je dovolj močan veter, da nosi sneg, kar se tudi večinoma zgodi, vemo, da so registrirni instrumenti ob 7 uri zjutraj popolnoma zasneženi. Tako je v danem primeru pri temperaturi -9°C delovala debela snežna obloga kot dober termični izolator, vse dokler ni opazovalec ob glavnem opazovanju ob 7 uri očistil hišico in instrumente. V krivulji je tedaj nastala ostra prelomnica in instrument je deloval odslej normalno in beležil nižanje temperature. Nov nenaden, a zelo močan skok opazimo spet ob 21 uri, to je v času tretjega glavnega opazovanja, ko dnevna svetloba za opazovanje ne zadostuje. Če upoštevamo temperaturo tik pred opazovanjem (-14°C), nam bo razumljivo, da zanimiva stopnica v temperaturni krivulji ob tem času ni posledica advekcije ali dinamične otoplitve vsled prehoda opazovalne točke v nadinverzno plast, ampak prisotnosti opazovalca in električne žarnice, ki je gorela v času opazovanja. S snegom zabite stene opazovalne hišice pa so poskrbele, da se je za 2° toplejši zrak v hišici le počasi ohlajal. Morda ta temperaturni potek na Kredarici ni povsem pravilno obrazložen, vendar je iz omenjenega razviden in utemeljen dovolj velik dvom o njegovi pravilnosti, ter je zato za analizo ali komparacijo neuporaben. S tem smo hoteli opozoriti še na eno vrsto vplivov, ki so sicer zajeti v predhodni enačbi, v praksi pa navadno ne, čeprav je njihov karakter tako močan in svojevrsten, da bi ga ne smeli v toliki meri zanemarjati, kot se to večinoma dogaja. Izvor in karakter srednje dnevne temperature je pa na drugi strani jamstvo, da so pri njej taki dodatni vplivi večinoma prekriti in res zanemarljivi.

Vsekakor nas zanimajo tudi razlike ohladitev v vertikalni smeri nad Slovenijo in to, tako glede časa nastopa kot njihove jakosti, saj zajema precejšen del Slovenije tudi relativno visoke lege. Nezanosljivost podatkov na višinskih opazovalnicah in preveliko število ozko lokalnih vplivov v nižinah ne dovoljuje, brez izredno natančnih analiz, ki pa so možne le za redke posamezne primere, izdelati slike teh razporeditev za tak kompleks, kot je naših 86 hladnih front, na podlagi striktnejših vrednosti kot je srednja dnevna temperatura.

Potek lokalnih temperaturnih sprememb z višino dobimo načelno z ustreznim parcialnim odvodom enačbe (T-1) po višini, ki se glasi:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial T_s}{\partial t} \right) = - \frac{\partial}{\partial z} [(\delta_a - \gamma) \bar{w}] - \frac{\partial}{\partial z} \left(\bar{u}_f \frac{\partial T_s}{\partial y_f} \right) + \frac{1}{c_p} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{d a}{d t} \right) \quad (T-2)$$

oziroma

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial T_s}{\partial t} \right) = - \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} (\delta_a - \gamma) + \bar{w} \frac{\partial \gamma}{\partial z} - \frac{\partial \bar{u}_f}{\partial z} \frac{\partial T_s}{\partial y_f} - \bar{u}_f \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial T_s}{\partial y_f} \right) + \frac{1}{c_p} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{d a}{d t} \right) \quad (T-3)$$

kjer pomenijo spredaj razloženi simboli sedaj vrednosti za posamezne tanke plasti.

V ciklonih **in** v frontalnih dolinah, ki jih spremlja talna konvergenca, je vertikalna hitrost pozitivna ($w > 0$). Ker nadadiabatni gradient v teh slučajih praktično ne nastopa, sta prva dva člena na desni negativna in delujeta torej tako, da so ohladitve v višinah močnejše kot pri tleh. Glede na razporeditev vertikalnih hitrosti lahko smatramo, da je prvi člen najefektivnejši v prizemnih plasteh zraka, kjer so vertikalne spremembe vertikalnih hitrosti najmočnejše, čeprav je vrednost drugega faktorja razmeroma majhna, ker je zaradi turbulence geometrični temperaturni gradient zelo blizu adiabatnemu. Vpliv drugega člena na potek je v splošnem enakomernejši, toda v posameznih **plasteh, in to zlasti** v frontalni coni in v kondenzacijskem nivoju, kjer nastopajo nenadne in velike spremembe geometričnega temperaturnega gradienta, lahko njegova vrednost močno naraste. Omenjena diskusija velja predvsem za frontalno in predfrontalno področje, **kajti** v področju za hladno fronto je često vertikalna komponenta vetra negativna. Oba člena imata nasproten efekt, to je, **zmanjšujeta** moč ohladitev, dasi je razporeditev njunih vrednosti po vertikali približno enaka kot v obravnavanih primerih.

Tretji člen v enačbi (T-3) daje razmeroma majhen doprinos, ker je prvi faktor majhen, saj vemo, da je hitrost frontalne površine skozi vse višine praktično enaka. Različna je le v izjemnih primerih zaradi termičnih vplivov insolacije in je člen pozitiven dopoldne in negativen v večernih urah /35/. Četrty člen predstavlja razliko v advekciji zaradi sprememb horizontalnega temperaturnega gradienta z višino. Ta je v višinah navadno nekoliko manjši, ker se frontalna cona z višino širi in zmanjšuje svoj

nagib /45/.

Zadnji člen, ki je videti razmeroma enostaven, je kvantitativno najteže določljiv. To nam postane takoj jasno, če ga razdrobimo v smislu porazdelitve energije v atmosferi ter se spomnimo na možnost vseh križnih pretvorb ene energije v drugo. Pri tem pa se le člen, ki predstavlja spremembo enthalpije direktno izraža v spremembah jakosti ohladitev. Glavni odvod toplote se vrši od podlage, ki je pri hladni fronti praviloma toplejša od prihajajočega zraka. Zajema predvsem spodnje plasti, kjer je zato transformacija močnejša, doprinos člena pa je v povečanju jakosti ohladitev v vertikali navzgor. V primeru padavin se vrednost zadnjega člena bistveno spremeni zaradi zmanjšanja transformacije. Ta je zmanjšana zaradi ohladitve tal vsled izhlapevanja padle vode in zaradi relativno hladnejših padavin. Zaradi tega je lahko celotna razporeditev jakosti ohladitev v vertikalni smeri precej drugačna kot sicer.

Časovna razporeditev širjenja ohladitev v vertikali je odvisna seveda od časovne razporeditve, a tudi od jakosti oziroma vpliva vseh omenjenih členov ter je nima pomena posebej diskutirati. Odvisna pa je tudi od vertikalnega temperaturnega gradienta v obeh masah ter iz tega izhajajoče oblike frontalne površine /46/.

Za praktično proučevanje širjenja ohladitev v Sloveniji v vertikalni smeri primerjamo nastop in jakost ohladitev na Kredarici z ohladitvami v nižinah (v Sloveniji definirani s povprečjem upoštevanih krajev) in posebej v Planici, ki leži omenjeni višinski postaji najbliže. Časovna razporeditev, izražena v srednjih dnevnihih temperaturah, razberemo iz tabele III-4.

T A B E L A III-4

/Razporeditev števila front glede na časovno razliko nastopa ohladitve v višinah in nižinah/.

| Število front glede na: | ohladitev preje na Kredarici | | | | ohladitev pozneje na Kredarici | | nedolo- čeni primeri | brez ohl. na Kredarici |
|------------------------------|------------------------------------|---|----|----|--------------------------------------|-----|----------------------------|------------------------------|
| | 3 | 2 | 1 | 0 | - 1 | - 2 | | |
| (dni) | 3 | 2 | 1 | 0 | - 1 | - 2 | | |
| celotno Slove- nijo (%) | 2 | 5 | 33 | 28 | 6 | 0 | 12 | 14 |
| Planico (%) | 0 | 1 | 20 | 35 | 6 | 1 | 23 | |

Glede na prevladujoče število primerov, pri katerih nastopi ohladitev v Sloveniji šele v dnevu po prehodu hladne fronte, kot smo videli v tabeli III-2, je razporeditev, ki jo daje gornja tabela, razumljiva. Iz nje je razvidno, da nastopi največ ohladitev na Kredarici preje kot v nižinah Slovenije, torej na dan prihoda fronte. Vendar pa razlika ni tako velika, kot se zdi na prvi pogled, zakaj tudi na Kredarici nastopi glavna ohladitev čisto šele naslednji dan, to je hkrati z ohladitvijo v nižinah Slovenije, saj zajema rubrika "razlika 0 dni" že sama enak odstotek primerov. Iz vsega torej sledi, da nastopi ohladitev večinoma dokaj istočasno, sicer pa zajame preje zgornje plasti. Če v manjšem številu primerov se širi ohladitev od spodaj navzgor, kar je deloma v nasprotju s splošno oziroma najenostavnejšo shemo hladne fronte, ki pa v območju za orografsko pregrado seveda ne more zadovoljevati. Vzrokov teh ohladitev nismo natančneje analizirali, zato ne moremo trditi, da je taka tudi razporeditev pritoka hladnega zraka, ki nas pri predorih najbolj zanima. Na Kredarici so namreč možne znatne predfrontalne ohladitve zaradi adiabatne ohladitve tople zračne mase, ki se v pojačani cirkulaciji prisilno dviga preko gorskih grebenov Kredarice in okolice.

Glede na postajo v Planici, ki je Kredarici razmeroma blizu, čeprav leži 1600 m niže, so umestne posebne primerjave, katerih rezultati so razvidni iz zadnje vrste tabele III-4. Iz nje je razvidno, da je spet največ takih primerov, pri katerih je nastopila ohladitev na Kredarici in v Planici istega dne, sicer pa nastopa v trikrat več primerih ohladitev na Kredarici preje kot v Planici, kot obratno. Iz tega bi moglo slediti, da je v višinah v takem okolju precej važen člen z adiabatnim vplivom. Dokončno bi to potrdila ali ovrgla primerjava s podatki proste atmosfere, katerih pa brez radiosondaže ne moremo dobiti. Kolikor je prehitevanje ohladitev zgoraj posledica prehitevanja advekcije hladnega zraka v višjih plasteh, lahko pričakujemo močno povečano labilnost ozračja plasti v poletni dobi. Vpliv padavin je pri teh primerjavah težko upoštevati ker so te verjetno pri ohladitvah v višinah stranskega pomena, dočim je njihova vloga v nižinah lahko odločilna. V zimski dobi so v nižinah in kotlinah Slovenije in nasploh alpskega področja znane zelo močne temperaturne inverzije. Njih porušitev v cirkulaciji ob fronti lahko povzroči v višinah znatne

ohladitve, v nižinah pa otoplitve, s čimer so ostali vplivi na temperaturne spremembe močno ali celo povsem prekriti.

Glede jakosti ohladitev v višinah in nižinah smo primerjali Kredarico in Planico. Vrednosti predstavljajo celotno ohladitev, ki jo je povzročila posamezna fronta, to je vsoto negativnih interdiurnih sprememb srednje dnevne temperature v dneh ob fronti. Razlike teh vrednosti so bile urejene za vse fronte po jakosti in procentualno grupirane kot kaže tabela III-5.

T A B E L A III-5

/Razporeditev razlik celotnih ohladitev ob hladnih frontah med Kredarico in Planico glede na njihove jakosti/.

| jakost razlike v ohladitvi (°C) | ohladitev na Kredarici večja za | | | | ohladitev v Planici večja za | | | Nedoločeni primeri |
|---------------------------------------|---------------------------------------|-----|-----|----|------------------------------------|-----|----|-----------------------|
| | ≥5 | 4-3 | 2-1 | 0 | 1-2 | 3-4 | ≥5 | |
| štev.front (%) | 10 | 12 | 13 | 22 | 15 | 5 | 3 | 20 |

Iz gornje tabele je razvidno, da so po jakosti ohladitve na obeh postajah (torej v višinah kot v nižjih legah) večinoma enako močne, kar velja zlasti, če dopustimo pri oceni enakosti razliko $\pm 2^{\circ}$, s čimer pride pod to oceno 63 % vseh tistih primerov, pri katerih je bilo mogoče razliko določevati. Glede večjih razlik v jakosti ohladitev je razvidno, da je več front povzročilo znatno močnejše ohladitve na Kredarici kot v Planici. Front, ki so povzročile v nižinah oziroma v Planici močnejše ohladitve kot v višinah, je malo. To vidimo zlasti tedaj, če iz zadnjih še izločimo primere, v katerih hladni zrak Kredarice sploh ni dosegel, oziroma ohladitev na Kredarici sploh ni nastopila. To je bilo večinoma pri retrogradnjih ali stacionarnih frontah, pri katerih zaledna hladna zračna masa ni preplavila področij južno od Alp in so ležali naši kraji na njeni južni meji.

Vrnimo se spet k proučevanju ohladitev v Sloveniji kot celoti. Izberimo glede ohladitev ekstremne primere front, to je take, ki

so povzročile močne ohladitve in na drugi strani take, pri katerih so bile ohladitve neznatne ali pa sploh nič izražene v interdiurni diferenci srednjih dnevnih temperatur ob fronti. Pogosto neenotna razporeditev jakosti ohladitev v Sloveniji nam v tem slučaju ne dovoljuje izbora enostavno po določenih kriterijih iz povprečnih vrednosti, ampak je umestna izbira takih ekstremnih primerov ob dodatni analizi ohladitev v posameznih krajih, pri čemer moramo upoštevati tudi razširjenost ohladitev preko obdelovanega področja. Tako torej lahko primerjamo hladne fronte oziroma razne parametre ob frontah, ki so povzročile po vsej Sloveniji močne ohladitve s tistimi, ob katerih nikjer v tem področju ni bilo znatnih ohladitev. Rezultate primerjav kaže tabela III-6.

T A B E L A III-6

/Povprečne vrednosti nekaterih meteoroloških parametrov za hladne fronte, ki so bile glede ohladitev močne ali šibke. Označbe kot na strani 37; razen tega je $\Delta\alpha_f$ sprememba smeri fronte ob Alpah in $(dd)_n$ veter pri tleh po prehodu hladne fronte/.

| fronte z - | število primerov | RR | α_f | v_f | Bt | dd | ΔT_h | γ_T | ΔP | Δd_f | $(dd)_n$ |
|---------------------|------------------|----|-------------------|-------|----|-----------------|--------------|------------|------------|--------------|----------|
| | | mm | $\cdot 10^0$ km/h | | | $\cdot 10^0$ °C | °/km | mb | ° | $\cdot 10^0$ | |
| močnimi ohladitvami | 11 | 24 | 32 | 27 | m | 26,4,2 | 6,8 | 7,1 | 3,2 | 34 | |
| šibkimi ohladitvami | 13 | 3 | 31 | 34 | B | 26 | 1,7 | 6,3-0,4 | 2,6 | 23 | |

Čeprav pri analizi posameznih primerov opazimo redke izjeme, je iz gornjih povprečkov precej jasno razvidno, da so bile temperaturno aktivne fronte padavinsko izdatne in fronte s šibkimi ohladitvami tudi padavinsko revne. Razlika je precej velika in kaže močno zavisnost ohladitev od količine padavin. Glede na to bi lahko torej v splošnem rekli, da je praktično jakost neke fronte večinoma že predstavljena s količino padavin, ki jih povzroči. Saj je količina padavin sama na sebi eden glavnih vremenskih parametrov, vpliva na ohladitve in je v najtesnejši povezavi z oblačnostjo - tudi zelo važnim parametrom vremena. Neznatna je razlika pri obojih frontah v smeri, iz katere fronta prihaja, a povsem brez razlike je povprečna smer višinskih tokov na 500 mb ploskvi.

Povprečne hitrosti front, ki so dale močne ohladitve, so manjše kot pri frontah s šibkimi ohladitvami; barični tip pri prvih je mešan, dočim je pri drugih dosledno B, to je tip z zonalno smerjo izobar preko srednje Evrope. Iz tabele je nadalje razvidno, da je pri frontah, ki so povzročile v Sloveniji močne ohladitve, tudi ohladitev nad Münchenom znatno močnejša kot pri tistih, ki pri nas niso povzročile ohladitev. To je posledica advektivnega doprinosa k ohladitvam v Sloveniji, saj je razumljivo, da moremo ob dotoku bolj hladnega zraka, pričakovati tudi močnejše ohladitve pri tleh. Pri frontah z močnimi ohladitvami opazimo tudi večjo labilnost v toplen zraku pred njimi, kar je deloma v zvezi s padavinami, deloma pa z vertikalno turbulenčno oziroma konvektivno izmenjavo.

Razlika med obojimi frontami se kaže nadalje v razporeditvi zračnega pritiska severno in južno od Alp. Pri frontah, ki so dale močne ohladitve, je zračni pritisk višji na severni kot na južni strani Alp - in to kar precej. V tem je pravzaprav tudi posredno izražena temperaturna diferenca zračnih mas severno in južno od te orografske pregrade. Čim večja je ta razlika, tem večja je seveda ohladitev, ko hladna masa nadomesti toplo. Razen tega je ta razlika v precejšnji meri tudi posledica nastanka sekundarne depresije, ki je ob izrazitih frontah močnejša, oziroma pogostnejša. Pri frontah s šibko ohladitvijo je razporeditev pritiskov ne le zmanjšana glede razlik, ampak celo nasprotna, kar je v skladu z gornjimi ugotovitvami.

Da je pri frontah, ki so glede jakosti ohladitev ekstremne, precej odločilen advektivni faktor, nam posredno potrjuje razlika v deformaciji enih in drugih front. $\Delta\alpha_f$ pomeni namreč spremembo smeri gibanja fronte oziroma spremembo pravokotnice na fronto iz Kopr v času njenega približevanja /29/, na podlagi česar je nastala tudi razlika v sliki III-2 a in b. Iz vrednosti v tabeli III-6 sledi torej, da se fronte, ki povzročijo močne ohladitve, znatno bolj deformirajo kot temperaturno slabo izražene fronte. Ta ugotovitev je zato tudi važna; potrjuje domneve o vzrokih deformacije front ter lahko koristno služi pri določitvi časa in smeri prihoda fronte. Obratno pa moremo iz jakosti deformacije, ki jo je doživela fronta ob Alpah, sklepati na jakost ohladitev, ki jih

bo prihajajoča fronta povzročila v Sloveniji. Precejšnjo razliko opazimo tudi med smerjo vetrov, ki pihajo preko Slovenije po prehodu front. Smer vetrov je pri frontah, ki povzročijo močne ohladitve, v povprečju severozahodna, medtem ko je pri frontah, ki niso povzročile ohladitev pri nas, jugozahodna. Pri obojih velja to brez večjih individualnih odklonov ali izjem, tako, da je korelacija res velika. Ta sicer nima direktnega prognostičnega pomena, je pa važna pri ugotavljanju vzrokov ohladitev in njihovega poteka.

V celoti je razvidno, da so hladne fronte v poteku srednje dnevne temperature dokaj lepo izražene in, da se da iz interdiurnih diferenc uspešno proučevati lastnosti in vplive front. Često je bila na tej osnovi dana odločitev o obstoju neke fronte, odkrite pa so bile tudi hladne fronte, ki jih je sinoptična analiza spregledala. Diference srednjih dnevnih temperatur so nam nudile parameter, s katerim smo uspešno določevali jakost front. Z njim pa je bilo mogoče dobiti tudi rezultate o širjenju ohladitev preko Alp in Slovenije.

Proučevanje trenutnih temperaturnih vrednosti po urnih vrednostih ali termogramih je pokazalo, da pri nas ne nastopajo nenadni temperaturni padci, ki bi presegli vrednost 5° na uro, medtem ko so lahko temperaturni dvigi zaradi insolacije v dopoldanskih urah pogosto celo dvakrat večji. Močne ohladitve, ki povzročajo gospodarsko škodo, zato niso nenadne, pač pa postopne in vztrajne. Sicer pa kažejo termogrami, da na potek zračne temperature vplivajo mnogi faktorji, med katerimi čisto lokalni vplivi niso na zadnjem mestu. V pogledu proučevanja hladnih front iz temperaturnih krivulj ne moremo dobiti zakonitosti, ki bi imele neposredno splošno prognostično vrednost.

Padavine v Sloveniji ob hladnih frontah

Mehanizem nastanka padavin je v splošnem precej dobro znan. V njem nastopajo kot glavni faktorji kondenzacijska jedra, količina vode oziroma vodne pare in ohladitveni proces. Na prve ne polagamo velike važnosti, ker smatramo, da je v naravi primernih kondenzacijskih jeder dovolj. Količina vode oziroma vodne pare je

zelo važna; njena določitev s sodobnimi sredstvi tudi za višje plasti troposfere načelno ni težka, dasi pri nas praktično je zaradi pomanjkanja radiosondnih postaj v okolici. Kot glaven problem pa nastopa določitev ohladitvenega procesa. Pri teoretičnih proučevanjih često smatramo, da so neadiabatni vplivi v prosti atmosferi zanemarljivi ter je glavni vzrok za ohladitev adiabatni proces. Ta je vezan na vertikalna gibanja, ki pa direktno niso merljiva. Na podlagi gornjih ugotovitev in postavk se je v glavnem razvijalo teoretično delo za ugotavljanje in prognozo količine padavin. Poznamo že nekaj enačb, ki se v bistvu ne razlikujejo mnogo. Praktičnim možnostim je blizu Fulksova formula /47/, ki daje količino padavin v obliki

$$RR = - \frac{\epsilon}{R-T} \left(\frac{de}{dz} + \frac{eg}{R-T} \right) w \Delta z$$

kjer sta konstanti $\epsilon = 0,622$ in $R = 287 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ st}^{-1}$, T temperatura, e parni pritisk, w verikalna hitrost in Δz debelina posameznih horizontalnih plasti. V teh plasteh smatramo ostale količine za konstantne oziroma vzamemo njihove srednje vrednosti. Poleg vrednosti e , T , de/dz , ki jih je možno dobiti iz radiosondnih podatkov, nastopa v njej vertikalna hitrost, kot v splošnem kvantitativno težko določljiva količina; v območju frontalnih motenj in še ob orografski pregradi pa je praktično neznana. Zato nas ta in podobne enačbe ne privedejo do zanesljivih kvantitativnih vrednosti. Kvalitativna presoja pa lahko izhaja iz samih osnovnih spoznanj o mehanizmu nastanka padavin. Ta nam pove, da je za količino padavin važna tudi debelina oblakov zaradi dolžine poti, na kateri pada kapljica skozi oblak, in višina izoterme 0° C zaradi tvorjenja ledenih kristalčkov. Zato se pridružimo mnenju strokovnjakov, ki smatrajo, da so za praktične potrebe statistični in empirični izsledki na tem področju še vedno najuspešnejši.

Skupno je padlo ob obravnavanih hladnih frontah 822 mm padavin. Podatek predstavlja povpreček z 11 postaj, ki zastopajo Slovenijo. Ta vrednost ob zaokrožitvi pomeni, da je povpreček na hladno fronto 10 mm padavin. Posamezni primeri seveda močno odstopajo od tega povprečja. Ekstremi so pri frontah brez padavin, teh je 12 % in na drugi strani fronta od 6. maja 1957, ob kateri je padlo v Sloveniji povprečno 51 mm padavin (katastrofalni majski

sneg). Za primerjavo z letnim povprečjem, ki znaša 1130 mm, moramo pritegniti še 7 hladnih front, ob katerih so se razvile zelo močne sekundarne depresije, zaradi česar smo jih iz spredaj obrazloženih vzrokov izpustili iz splošnega proučevanja, čeprav so dale skupno 42 mm padavin. Odtod lahko potem ugotovimo, da so dale hladne fronte $\frac{3}{4}$ v tem letu padlih padavin. Postavka "ob hladnih frontah" pomeni, da tu niso vračunane samo tiste padavine, ki so padle prav ob prehodu fronte same. Te je namreč težko ali pa povsem nemogoče ločiti od predfrontalnih, orografskih, v pojačani cirkulaciji pred fronto, od termično konvektivnih ploh kmalu po prehodu fronte, od tistih, ki so nastale v tem času v zvezi z razvojem sekundarne depresije itd. Vsi ti efekti in zato vse te padavine pa so v zvezi s prihodom hladne fronte in bi jih brez nje ne bilo. Zato so tuupoštevane vse padavine, ki so padle v dneh ob fronti, razen tistih, za katere je analiza pokazala, da so nastale zaradi tople fronte. Analiza ostale četrtine padavin je pokazala, da jih nekaj več kot polovica odpade na tople fronte in manjši del na osamljene poletne plohe, procese v zvezi s kapljo hladnega zraka v višinah itd. Dopolnilo k omenjeni povprečni količini padavin ob hladnih frontah daje pregled razporeditve front glede na količino padavin:

T A B E L A III-7

/Razporeditev hladnih front glede na količino povzročenih padavin/

| | | | | | |
|-------------------|----|-----------|------|-------|------|
| Kol. padavin (mm) | 0 | 0, 1-2, 9 | 2-10 | 11-30 | > 30 |
| štev. front v % | 12 | 23 | 34 | 23 | 8 |

Iz nje je razvidno, da 12 % front ni dalo nobenih padavin, v ostalem pa prevladujejo fronte s količino padavin pod 10 mm, dasi tudi padavinsko bogate fronte niso izjeme.

Ker so prav ob hladnih frontah dani pogoji za najmočnejše nalive vsled velike nestabilnosti, ne bo odveč, če si ob tem ogledamo intenzivnost padavin ob teh frontah. Za uspešno delo so seveda potrebni ombrogrami, zato se moramo v tej zadevi spet omejiti le na en kraj - Ljubljano. Izkaže se, da imamo ob hladnih frontah v Ljubljani dokaj tipično razporeditev intenzitete padavin, ki je

shematično prikazana na sliki III-5a. V poletni dobi jo navadno popači izrazit značaj ploh, ki ji da stopničasto obliko, pri čemer je osnovna razporeditev često še lepo ohranjena - sl. - 5b. Intenziteta je določena s strmino tangente na ombrogramsko krivuljo v točki na prvi tretjini količine - na sliki točka A. Morda ta način ni najboljši, vendar je enostaven in kaže, da se giblje intenziteta padavin ob hladnih frontah v zimski polovici leta med 2 in 6 mm/h v poletni pa med 8 in 15 mm/h. Seveda nastopa ob posameznih ploah poleti intenziteta preko 100 mm/h vendar v znatno krajšem času kot je ena ura. Maksimalna dnevna količina padavin v dneh ob hladni fronti v tem letu je bila povprečno za Slovenijo 45 mm (fronta št. 28), od upoštevanih krajev je imela tedaj največ padavin Planica 72 mm.

Vzporedno s tem nas zanima vprašanje o trajanju padavin ob hladnih frontah pri nas, nanj pa je razmeroma težko odgovoriti. Težave pri določanju trajanja padavin nastopajo zlasti poleti, ko padavine niso zvezne ter so časi dejanskega padanja razmeroma kratki, celotna doba ploh pa je lahko precej dolga. Fronte v zimski polovici leta, ki imajo glede padavin dokaj zvezen potek, trajajo povprečno 8 ur, z ekstremnima vrednostima trajanja padavin 3 in 16 ur. Pri tem so bile upoštevane le fronte, ki so dale ob zaokrožitvi nad 1 mm padavin. V letni dobi je bil čas dejanskega trajanja večinoma krajši, v posameznih primerih pa so trajale padavine kontinuirano tudi več kot 24 ur toda le v zvezi s sekundarno depresijo južno od Alp. Ta pa nastane večinoma prav ob prihodu hladne fronte v Sredozemlje /48/.

Proučevanje geografske razširjenosti padavin ob hladnih frontah nam pokaže, da je okrog 70 % od padavinskih hladnih front povzročilo padavine po vsej Sloveniji, to je, na vseh upoštevanih postajah. Včasih se dogodi, da ostane brez padavin le severovzhodna Slovenija in včasih, da je brez padavin le Primorska. V ostalem so brez padavin le posamezni kraji, a brez reda. Več o krajevni razporeditvi padavin bo povedano na koncu poglavja.

Vrst padavin posebej nismo natančneje proučevali. Na podlagi opažanj med celotnim delom in manjših vzporednih tovrstnih analiz pa lahko trdimo, da so ob hladnih frontah pri nas zastopane vse vrste.

Prehod iz dežja v sneg pa je vsekakor značilen prav ob hladnih frontah v zgodni spomladni in pozni jesenski dobi. Oblika padavin, ki je značilna za procese ob veliki labilnosti ob hladnih frontah, je toča, ki povzroča letno v Sloveniji precejšnjo gospodarsko škodo, in je bila v zvezi s tem pri nas že obravnavana /49/. Toča zavzema navadno le manjša področja ter so nekateri kraji, kjer pogosto pada in drugi, kjer je skoro nikoli ni. Iz tega sledi, da so pri njenem nastanku odločujoči lokalni vplivi, vendar pa je splošna velika labilnost ozračja in zadostna količina vlage v zraku potreben predpogoj za njen nastanek. Zaradi močno lokalnega značaja je toča z nedoločeno stopnjo reprezentativnosti zastopana v mreži upoštevanih enajstih postaj. Na teh postajah je bilo v letu 1957 skupno 13 dni s točo, od tega devetkrat le na eni postaji, štirikrat pa sta imeli točo po dve od teh postaj isti dan. Od omenjenih 13 dni jih pade 9 na dan prihoda hladne fronte (med njimi vsi dnevi s točo na dveh postajah hkrati) in dva dneva v naslednji dan po prehodu fronte. Od ostalih dveh dni je bila enkrat toča časovno dlje od prehoda fronte in drugič v Kopru ob višinski depresiji (17.VI.1957).

Kot pripomoček za časovno določitev prehoda hladnih front se je izkazalo primerno upoštevanje razširjenosti padavin nad obravnavanim področjem v določenih časovnih intervalih, kar je dalo zanimive rezultate. Padavine, ki jih povzroči posamezna hladna fronta, trajajo v povprečju, kot smo videli, nekaj ur, zato določanje na uro natančno ni primerno, razen tega pa moramo upoštevati, da delamo primerjave za neko področje, preko katerega potuje fronta neki čas. Izkazalo se je, da je časovni interval 6 ur ugoden. Vsakih 6 ur določimo, koliko od izbranih postaj je imelo padavine, zajamemo pa ob vsaki fronti dobo 30 ur, torej 5 časovnih točk iz območja prehoda fronte, ki smo ga določili po sinoptičnih kartah. Opazimo, da nastopa pri veliki večini primerov neki relativni maksimum, čas njegovega vrha se zelo dobro ujema s časom prehoda hladne fronte preko osrednje Slovenije, določenim po sinoptičnih kartah. Izločiti moramo fronte, ob katerih sploh ni bilo padavin, za ostale primere pa ugotovimo srednji relativni maksimum, ki je tudi v povprečju lepo izražen in ga predstavlja slika III-6. Ujemanje posameznih maksimumov s časom prehoda fronte pa je razvidno iz tabele III-8.

T A B E L A III-8

/Število front glede na časovni odklon maksimalne razširjenosti padavin od sinoptično določenega časa prehoda hladne fronte/

| | maksimalna razširjenost padavin | | | | |
|--------------------------|---------------------------------|---|-----------|-----------|----|
| | pred fronto | | ob fronti | za fronto | |
| stopnja odklona (v urah) | 12 | 6 | 0 | 6 | 12 |
| število front(v %) | 4 | 6 | 63 | 24 | 3 |

Razvidno je, da se v večini primerov čas prehoda hladne fronte in čas nastopa maksimalne razširjenosti padavin ujemata. V ostalem nekoliko prevladuje število tistih primerov, pri katerih nastopi največja razširjenost padavin v intervalu 6 ur po prehodu hladne fronte, določenem po sinoptičnih kartah. To pa je v skladu z razporeditvijo padavin glede na klasično shemo hladne fronte in vremenskega dogajanja v njej. Vendar ni gotovo, da je bil čas po sinoptični metodi vedno povsem pravilno določen in da pri razporeditvi padavin niso prevladovali lokalni vplivi. Če smatramo, da je čas, določen po sinoptični metodi pravilen, potem iz tabele sledi, da nastopa v Sloveniji največja razširjenost padavin najčešče prav ob prehodu hladne fronte, v ostalem pa češče nekaj ur za fronto kot pred njo. Glede na Bergeronovo klasifikacijo /50/ lahko iz tega dalje sklepamo, da prihaja k nam več front I. kot II. reda, oziroma v smislu Faustove klasifikacije /20/ več pasivnih kot aktivnih hladnih front. Tako sklepanje bi lahko ob upoštevanju še drugih kriterijev, ki določajo posamezni frontalni tip, prešlo v trditev, če bi bilo področje topografsko enotnejše in, če bi razpolagali s tako velikim številom hladnih front, da bi lahko eliminirali vpliv dnevnega časa s parcialnimi proučevanji glede na dnevni čas grupiranih front. Z enako upravičenostjo moremo sicer smatrati, da časovni odklon maksimalne razširjenosti padavin od sinoptično določenega prehoda hladne fronte ni posledica tipa fronte, temveč predvsem vpliva dnevnega časa ali pa aktivnosti sekundarnih depresij, zlasti onih, ki potujejo po poti Vb po Van Beberju /51/. Prvo trditev podpira dejstvo, da je 14 od 19 hladnih front, pri katerih je maksimum razširjenosti padavin v času po prehodu fronte, prešlo Slovenijo zjutraj ali dopoldne. Direktno torej niso povzročile padavin,

ampak so te nastopile šele pozneje v obliki ploh ob termalni konvektivni aktivnosti. To lahko velja predvsem za poletno dobo in res tudi velika večina teh primerov nastopa v letni dobi. Ker so ostali trije primeri z "zakasnitvijo padavin" nastali ob razvoju sekundarne depresije, s čimer imamo obrazloženih 90 % takih primerov, sledi, da je na tej osnovi brez drugega resnično neprimer-
no sklepati na tip fronte.

Razmeroma malo je primerov, pri katerih je maksimalna razširjenost padavin nastopila pred prihodom fronte, kot sledi iz tabele. Zato pri njih ni mogoče najti kakega reda in je težko ugotoviti vzrok za to. V posameznih primerih lahko nastopa katerikoli izmed zgoraj obravnavanih vplivov, dodatno pa utegnejo bititu odločujoče predfrontalne orografske padavine ob pojačani horizontalni cirkulaciji pred fronto.

Ugotoviti želimo odvisnost količine padavin od raznih vremenskih in sinoptičnih parametrov. V zvezi s prvimi bi mogli uspešneje razložiti vzroke in razporeditev (krajevno kot časovno), pri drugih pa bi poleg tega pričakovali možnost prognostičnih prijemov, ker se dajo nekateri sinoptični parametri mnogo lažje prognozirati kot direktno količina padavin. V ta namen si izberemo glede padavin ekstremne primere hladnih front. Izločimo 15 front, ki so povzročile povprečno v Sloveniji nad 20 mm padavin in enako število takih, ki niso dale nobenih padavin ali v povprečju za Slovenijo le neizmerljivo malo. Določitev srednjih vrednosti raznih parametrov pri obojih tipih je dala rezultate, ki so razvidni iz tabele III-9

T A B E L A III-9

/Povprečne vrednosti parametrov pri padavinsko bogatih in padavinsko revnih hladnih frontah/Označbe kot na strani 37/.

| fronte, ki so padavinsko - | Δt | ΔT | W | α_f | v_f | α_t | $B_t K$ | dd | ff | $\Delta \alpha_t$ | ΔT_h | $\Delta T'$ | δ_T | $\Delta \alpha_f$ | dd_n |
|----------------------------|------------|------------|------|------------|-------|------------|---------|------|------|-------------------|--------------|-------------|------------|-------------------|--------|
| | ur | °C | .10° | km/h | 10° | .10° | m/s | °C | °C | °/100m | ° | ° | ° | ° | ° |
| bogate | 7 | 4,3 | 10 | 31 | 36 | 28 | m C | 25 | 16 | m | 3,9 | 5,0 | 0,6 | 1,7 | 360 |
| revne | 8 | 1,7 | 0 | 32 | 34 | 28 | m m | 28 | 15 | m | 3,2 | 8,0 | 0,6 | 3,7 | 310 |

Za računanje smiselnega povprečnega časa prihoda enih in drugih front vzamemo srednji odklon od 03 ure, ki je nasprotna tisti vrednosti v dnevu, ob kateri nastopa maksimum dnevne temperaturne krivulje in zato vpliv konvekcije. Tako nam pove majhen odklon, da so prešle tiste fronte v nočnih ali zgodnje jutranjih urah, velik pa, da so prešle v dobi relativno tople podlage, ki daje svoj doprinos h konvekciji. Razporeditev, ki jo dobimo v tem pogledu, je sicer neizrazita, vendar v nasprotju s pričakovanji glede na ugotovitve v tabeli II-5, kar nas vsekakor preseneča. V iskanju vzroka za to se je izkazalo, da smo pri tem izpustili važen faktor, to je letni čas. Razumljivo je, da igra insolacija važno vlogo poleti, medtem ko je njen vpliv na segrevanje tal, konvekcijo in končno dnevno razporeditev padavin pozimi nepomemben. S tega stališča smo analizirali ene in druge fronte in ugotovili močno potrditev naših domnev: 13 do 15 padavinsko bogatih hladnih front spada v letno polovico leta (od 1.IV. - 30.IX.). Obratno je razmerje pri frontah brez padavin: 13 do 15 front ~~jih~~ pade v zimsko polovico leta. Iz tega sledi, da je pri oceni padavin potrebno upoštevati letni čas kot bistveni in često odločujoč faktor.

Podelimo vseh 86 hladnih front, glede na dano razdelitev leta, v letne in zimske, ter določimo vsaki skupini povprečno količino padavin. Za zimske dobimo vrednost 4,5 mm in za letne 13,5 mm, kar pomeni, da so poletne hladne fronte v povprečju trikrat bogatejše na padavinah kot zimske in to daje končno potrditev gornji postavki. Odvisnost količine padavin od dnevnega časa, ki smo jo dobili lepo izraženo pri primerjavah v prejšnjem poglavju, nam tu prekrije vpliv letnega časa, ki je očitno prav tako važen ali celo odločilnejši.

Vzajemnost moči ohladitve in količine padavin ob frontah se kaže tudi iz te tabele, razlika pa je gotovo pri letnih frontah občutnejša kakor pri zimskih. V najtesnejši povezavi z gornjim je tudi nevihtnost, zakaj ob 15 padavinsko bogatih frontah je bilo zabeleženih v obravnavanih krajih Slovenije skupno 146 neviht, ob enakem številu padavinsko šibkih front pa le 4 in še to le pri tistih dveh izjemnih primerih, ki spadata med poletne fronte. Povpreček

vrednosti danih številčk ob zaokrožitvi na število front da vrednosti, ki so razvidne iz tabele. Iz nadaljnjih stolpcev v tabeli sledi, da ni opaziti bistvenih razlik med povprečki enih in drugih front glede smeri, iz katere pride fronta, glede hitrosti front, hitrosti višinskih tokov nad nami, višinske ohladike na 850 mb ploskvi, glede baričnega tipa, vetrovnega striženja z višino, in tudi ne v stabilnosti toplega zraka. Pri tem nas predvsem prese- neča zadnja ugotovitev.

Ostale vrednosti nam kažejo, da je pri padavinsko bogatih frontah krivina tokovnic nad nami pretežno ciklonalna in so le včasih to- kovnice ravne, medtem ko je pri padavinsko revnih frontah to različno. Smer višinskih tokov je pri padavinsko bogatih frontah jugozahodna, medtem ko je pri revnih opaziti majhno severno kom- ponento, v čemer je čutiti rahel vpliv fenizacije, ki je sicer važna, tu pa očitno maskirana z drugimi efekti. Rekli smo, da v vetrovnem striženju pri povprečkih, ki so dani v gornji tabeli, ni opaziti razlik. Analiza po posameznih primerih pa nam pokaže, da vlada med njimi zelo velika neenotnost v predznaku, čeprav absolutne vrednosti res niso velike. Povsem pa izstopajo primeri, ko imamo na 850 mb ploskvi prav nasproten veter kot na 500 mb ploskvi. Zanimivo je pri tem to, da nastopajo taki slučajji češče ob padavinsko revnih hladnih frontah, vendar pa je pri taki razpo- reditvi ob padavinsko bogatih frontah v višinah vedno jugozahod- nik. Ta topel in vlažen zrak se nariva nad hladnega, ki prihaja iz Panonske kotline v nižjih plasteh, kar je pri nas značilen in poznan pojav. Pri padavinsko revnih frontah prevladuje v večjih višinah NW ter imamo višinski fen, v nižjih plasteh pa prodiranje hladnega zraka od vzhoda.

Razlika med obema skupinama front se kaže v vlažnosti toplega zraka ($\Delta T'$), to je depresiji rosišča, ki je seveda večja pri padavinsko bogatih frontah. Tudi radarska proučevanja so pokazala relativno veliko korelacijo med tem parametrom in padavinami /52/. Ker se ta parameter nanaša na stanje pred prihodom fronte, nam služi lahko kot uspešen prognostični pripomoček pri predvi- devanju količine padavin, dasi moramo upoštevati tudi mogoče od- stope od tega povprečja. Glede deformacije front ob Alpah ($\Delta \alpha_f$) se je izkazalo, da je ta pri hladnih frontah, ki so dale mnogo

padavin, znatno manjša kot pri frontah brez padavin, za kar ni videti neposrednega vzroka. Možno je, da igra pri tem važno vlogo vertikalni transport toplote in sproščena latentna toplota v višjih plasteh, verjetno pa je to tudi v zvezi s hitrostjo front, ki je pri prvih nekoliko večja; gotovo pa se tudi tu pozna vpliv letnega časa. Glede na stalno segrevanje zraka v nižjih plasteh in močnejšo vertikalno izmenjavo poleti, lahko smatramo, da se letne fronte manj deformirajo kot zimske, pri katerih je stratifikacija v splošnem stabilnejša in nastopajo veliki temperaturni gradienti. Na hladni zrak pri tleh zato tedaj le malo vplivajo višinski tokovi in se mora samostojno prelivati po poti najmanjšega odpora okoli pregrade.

Glede na spredaj omenjena razmerja obojih front tabele III-9, glede na letni čas, v katerega spadajo, lahko smatramo, da so padavinsko bogate fronte dejansko padavinsko bogate letne fronte in da so fronte, ki sestavljajo drugo vrsto omenjene tabele, dejansko padavinsko revne zimske fronte. Poiščimo tem nasprotne primere in izberimo posebej letne, padavinsko revne in zimske, padavinsko bogate hladne fronte ter primerjajmo fronte v vsaki letni polovici posebej, s čimer izločimo vpliv letnega časa. Če tvorimo kar difference srednjih vrednosti za značilnejše parametre, dobimo vrednosti, ki jih prikazuje tabela III-10. V njej smo dodali zaradi ilustracije še difference, ki jih dobimo iz vrednosti tabele III-9.

T A B E L A III-10

/Razlike povprečnih vrednosti parametrov med padavinsko bogatimi in padavinsko revnimi frontami. Označbe kot na strani 37. Pozitivne vrednosti pomenijo, da so bile te pri padavinsko bogatih frontah večje/.

| Parameter: | Δt | ΔT | W | α_f | v_f | ΔT_h | $\Delta T'$ |
|----------------|------------|------------|------|------------|-------|--------------|-------------|
| | ur | °C | | ° | km/h | °C | °C |
| poletne fronte | 3 | 4,2 | 5,0 | 0 | 1,3 | 2,7 | 2,2 |
| zimske fronte | 0 | 1,6 | 1,6 | -40 | 1,1 | 1,7 | 5,6 |
| iz tab. III-9 | 1 | 2,6 | 10,0 | -10 | 0,2 | 0,7 | 3,0 |

Zadnja vrsta nas v primerjavi z gornjima opozori na tiste parametre, ki so odvisni predvsem od letnega časa. To so nevihte in ohladitve na višinah, pri katerih leže vrednosti zadnje vrste izven vrednosti gornjih dveh, medtem ko so vrednosti ostalih parametrov med temi. O nevihtah bomo še govorili, ohladitve na višinah pa so poleti slabše zaradi močnejše vertikalne izmenjave, vsled konvekcije.

Za proučevanje krajevne razporeditve padavin ob hladnih frontah v Sloveniji so bile za fronte prve polovice leta risane padavinske kartice. Posamezne padavinske kartice kažejo celotno količino padavin, ki jo je povzročila ustrezna hladna fronta. Primerjava teh kartic med seboj je pokazala, da jih moremo grupirati v 5 tipov (a, b, c, d, e) glede na tisti predel Slovenije, kjer je bila količina padavin največja. V veliki večini primerov je nastopil tak maksimum samo nad enim delom Slovenije, odtod vstran pa je bila količina padavin vse manjša; le redko sta bila dva močna maksimuma izrazito ločena. Definicije posameznih tipov in odstotek front, ki pripadajo posameznemu tipu, so razvidni iz slike III-7, kjer je kot primer pridana še kartica za fronto št. 13. Področje maksimalne količine padavin, ki definira tip padavinske razporeditve, je **označeno** na sliki s krogcem. Fronte, ki niso dale nikjer nobenih padavin, so bile iz tega seveda prej izločene.

Iz slike je razvidno, da je skoro v polovici primerov razporeditev tipa a, to je taka, da ima največ padavin Primorska, ~~pri~~ severovzhodu pa jih je vedno manj. Ta razporeditev je v skladu z razporeditvijo, ki izhaja iz splošne padavinske karte Slovenije /53/, ter je bilo zato pričakovati, da bo tudi med našimi tipi najmočnejše zastopana. Frekvenca front za ostale tipe je približno enaka ter so si zato ti tipi po frekvenci precej enakovredni. Parametri, ki smo jih doslej uporabljali za ^{primerjavo} ~~uporabe~~ učinkov in vplivov ob frontah, so bili grupirani za vsak posamezni tip padavinske razporeditve. Rezultati tega dela pa so presenetljivo neenotni in nezadovoljivi. Pričakovali bi, da je razporeditev padavin odvisna od smeri, iz katere prihaja hladna fronta, kar pa rezultati primerjav skoro povsem zanikajo. Še največja enotnost v tem pogledu se kaže pri tipu e (pri tem tipu so padavine najmočnejše v jugovzhodnem delu Slovenije), čigar fronte prihajajo dosledno od severozahoda, medtem ko kaže tip b dokaj izra-

zito dve smeri in sicer isto kot prejšnji in jugozahodno, ki pa je v manjšini. Na podlagi te grupacije smo si obetali podatke za obrazložitev vzrokov posameznih padavinskih razporeditev, vendar pa nam silna neenotnost v parametrih onemogoča kakršne koli zaključke, ki bi imeli splošno vrednost.

Analiza teh skupin pa je nadalje pokazala, da so bile povprečne količine padavin v Sloveniji velike le pri tipu a in b, ki sta zato tudi najbolj važna. Pri ostalih treh tipih pa je v povprečju kot tudi pri posameznih primerih količina padavin daleč pod srednjo vrednostjo razen v enem samem primeru, ki pa tudi ni posebno izrazič. Obratno sledi, da je pri padavinsko bogatih frontah razporeditev padavin v Sloveniji v smislu tipa a in b torej taka, da ima največ padavin zahodna ali severna Slovenija. Najrevnejše po padavinah so fronte, ki dajo maksimalno količino padavin v Prekmurju (tip d). Neugodno dejstvo, da vlada med parametri po tipu padavinske razporeditve grupiranih front izredna neenotnost, nam onemogoča, da bi po katerem izmed njih lahko sodili, kakšna bo razporeditev padavin v Sloveniji ob prihajajoči hladni fronti. Tu si moramo očitno pomagati le s splošno vremensko situacijo, predvsem glede na nastanek, smer in hitrost gibanja sekundarne depresije, ki nastaja na hladni fronti južno od Alp.

Odraž hladnih front v oblačnosti

Za proučevanje oblačnosti se poslužimo srednje dnevne oblačnosti oziroma povprečja srednje dnevne oblačnosti za omenjene kraje, ki nam predstavlja oblačnost Slovenije kot celote. Pri analizi in časovnem določanju prehoda hladnih front smo proučili razporeditev in tudi vrsto oblačnosti po urnih vrednostih in po posameznih krajih. Za splošen pregled in skupne poteze, ki nas tu predvsem zanimajo, pa tako obsežni in podrobni podatki niso primerni.

Povprečna vrednost srednje dnevne oblačnosti v dneh ob prehodu front je 7,5 desetina pokritega neba. To pomeni, da je oblačnost v dneh prehoda front sicer res nad celoletnim povprečjem za vse dni, ki znaša v tem letu 6,0 /42/, vendar ne toliko, kot bi morali pričakovali. Kot pri drugih elementih, velja tudi pri oblač-

nosti, da vpliv fronte ni omejen samo na dan prehoda, ampak se lahko odraža tudi v dneh pred in v dneh po prehodu. Razširjenost vpliva fronte na oblačnost je seveda zelo različna in včasih težko določljiva. Vzemimo v proučevanje tri dni, to je dan prehoda fronte, en dan prej in en dan potem. Srednja dnevna oblačnost za te dni je 6,9 iz česar sledi, da so v oblačnosti hladne fronte relativno slabo izražene.

Povsem pravilno razporeditev v vseh omenjenih dneh ob fronti je mogoče dobiti le v primerih, kadar v tem časovnem obdobju ni drugih front. Kadar pa si fronte naglo slede, so potrebne dodatne analize in redukcije. Kjer je mogoče, tvorimo difference oblačnosti sosednjih dveh dni - glede na oblačnost v dnevu prehoda fronte. Določimo njihove srednje vrednosti in z njimi povprečno oblačnost v sosednjih dveh dneh glede na vrednost oblačnosti v dnevu prehoda fronte. Dobljene končne rezultate kaže tabela:

T A B E L A III-11

/Povprečna oblačnost v Sloveniji v dneh ob prehodu hladnih front/

| dan | pred prih. fronte | ob prih. fronte | po prih. fronte |
|-----------|----------------------|--------------------|--------------------|
| oblačnost | 6,3 | 7,5 | 5,8 |

Iz tabele je razvidno, da je v dneh ob prehodu front povprečno najbolj oblačno v dnevu, ko nas fronta preide. Dan pred prihodom hladne fronte je v povprečju za 1,2 desetine manj oblačen, vendar je njegova vrednost še nad splošnim letnim povprečkom; dan po prehodu fronte pa je za 1,7 desetini manj oblačen in obenem pod letnim povprečkom oblačnosti. Iz tega sledi, da se oblačnost ob hladnih frontah pri nas giblje v skladu s splošno shemo razporeditve oblačnosti ob hladnih frontah ter da kmalu po prehodu nastopajo znatne razjasnitve. V posameznih primerih razporeditev oblačnosti močno odstopa od tega povprečja. Niso izjemni primeri z nasprotno razporeditvijo, vendar pa so ti posledica drugih vplivov in večinoma niso odvisni od lastnosti fronte same.

Proučevanje oblačnosti posameznih delov celotnega področja je pokazalo, da odstopa od večine predvsem in najčešče **Primorska**. Tako je včasih močno oblačno le na Primorskem, kar se dogaja večinoma pred fronto, vzrok pa so jugozahodni vlažni vetrovi, ki se zaradi obalne konvergence in orografskih prilik prisilno dvigajo. Primorska pa izstopa tudi v nasprotni razporeditvi tako, da ima razmeroma malo oblačno ali celo pretežno jasno ob času, ko je večina ostalega področja Slovenije prekrita z oblaki. Primeri nastopajo večinoma ob nasprotni smeri vetrov, to je z burjo, ki je izrazit predstavnik katabatičnih vetrov. Zanimivi so še primeri, ko ima močno oblačnost Primorska na eni in severovzhodna Slovenija na drugi strani, medtem ko ima pretežni del osrednje Slovenije le delno oblačno. Ti so v splošnem kratkotrajni in le redko izraženi v srednji dnevni oblačnosti oziroma njeni geografski razporeditvi, čeprav niso redki. Oblačnost na Primorskem nastane na zgoraj opisani način pred fronto in je v precejšnji meri lokalni pojav, dočim je oblačnost na vzhodu že oblačni sistem same prihajajoče fronte in se giblje z njo.

Iz obravnavanega sledi, da imajo hladne fronte na oblačnost v Sloveniji sicer znaten vpliv, vendar brez posebnih karakteristik in jakosti glede na ostale faktorje, ki jo povzročajo. Zlasti v zimski dobi lahko postane vpliv hladne fronte na oblačnost sekundarnega pomena. Proučevanje oblačnosti nam zato v splošnem ni mnogo pomagalo pri izdelavi naše slike o številu, časovnem določanju in določanju jakosti posameznih front. V tem pogledu je mnogo važnejše in koristnejše proučevanje vrste oblakov. Razumljivo je, da nastopajo ob sami fronti večinoma kompaktni, a neenotni oblačni sistemi močnega vertikalnega razvoja. Tanjši oblačni sistemi se pojavijo le ob brezpadavinskih in degeneriranih frontah; te pa so razmeroma redke. Natančnejša opredelitev in proučevanje vrste oblakov lahko znatno prispeva k analizi procesov, ki se dogajajo. S stališča splošnega pojmovanja vremena pa oblačne vrste niso bistvene, zato jih sedaj pustimo ob strani; sodobna radarska tehnika pa lahko neposredno sledi tudi brezoblačne hladne fronte /55/.

Vetrovi in vetrovnost

Razporeditev vetrov pri tleh ali sprememba vetra v nekem kraju sta parametra, ki sta zajeta pri mnogih klasifikacijah tipov hladnih front. Fizikalna osnova teh parametrov leži v konvergentnosti tokov ob fronti. V skladu z dinamičnim mejnim pogojem, ki pove, da morejo ležati fronte le v izobarnih dolinah, se veter ob prehodu hladne fronte odkloni na desno od smeri, ki jo je imel pred fronto. Tako je vsaj pri klasičnih frontah, ki se gibljejo preko ravne površine.

Lokalni pogoji imajo na smer in jakost vetrov razmeroma velik vpliv. Povzročajo lahko tudi lokalne vetrove, ki so lahko znatno močnejši od vetrov, ki jih povzroča splošno barično polje. Pri proučevanju vetrov ob hladnih frontah se skušamo nekaterim takim vplivom izogniti, da bi dobili komponente, ki so posledica front. Izkazalo pa se je, da često prav hladna fronta ustvari potrebne predpogoje za nastanek močnih lokalnih vetrov n.pr. burje, ki je torej posredna posledica prihoda hladne fronte in spada v področje, ki nas zanima. Ostre meje med lokalnimi in splošnimi vplivi zato ni mogoče postaviti. Drobní lokalni vplivi so eliminirani oziroma prekriti tedaj, če se omejimo na proučevanje relativno močnejših vetrov. Taka omejitev pa je smiselna tudi zato, ker so le močnejši vetrovi splošno važni in lahko prispevajo h karakteristiki vremena. Šibki vetrovi so stranskega pomena za ogromno večino dejavnosti in jih tudi vremenska napoved ne upošteva.

Postavka "močnejši vetrovi" pa je relativna, zato jo bomo za naše potrebe posebej opredelili. V nadaljnjem proučevanju bomo zato upoštevali le vetrove z jakostjo, ki je enaka ali večja od 3 Bf. Za dva višje ležeča kraja, Jezersko in Poštojna, ki sta v primerjavi z ostalimi precej vetrovna, pa vetrove z jakostjo, ki je enaka ali večja od 4 Bf. S temi vetrovi bomo določali vetrovnost posameznih dni ob hladnih frontah. Vetrovnost bo določena s številom postaj, ki so imele v ustreznem dnevu veter z jakostjo nad omenjenimi mejami. Vseh krajev, ki nam predstavljajo Slovenijo, je 11, zato bo imela maksimalna vetrovnost vrednost 11, dočim bo minimalna seveda 0, kar pomeni, da ni imel tako močnega vetra nobeden od upoštevanih krajev. Tudi vetrovnost je,

Kot sledi iz njene definicije, nekakšna dnevna vrednost, ki zato ne dovoljuje velike časovne natančnosti in ni primerna za časovno določanje prehoda front. Lepo pa nam lahko predstavi splošne vetrovne karakteristike v dneh ob prehodu hladnih front. Če proučujemo vetrovnost podobno kot dnevne vrednosti prej obravnavanih parametrov ter jo grupiramo glede na dan prihoda hladnih front v Slovenijo, dobimo sledečo razporeditev:

T A B E L A III-12

/Vetrovnost v Sloveniji v dneh ob prehodu hladnih front/

| dan | pred prihodom fronte | prehoda fronte | po prihodu fronte |
|--------------|-------------------------|-------------------|----------------------|
| vetrovnost b | 1,5 | 2,3 | 1,4 |

Iz tabele lahko sklepamo, da so vetrovi v Sloveniji v splošnem slabi. Vetrovnost je glede na postavljene meje zelo majhna celo ob hladnih frontah, ko po splošni shemi nastopajo razmeroma močni vetrovi. Dan pred in dan po prehodu fronte sta očitno precej enako vetrovna, dočim je vetrovnost na dan prihoda fronte v skladu s splošno shemo relativno znatno večja, dasi absolutno vzeto tudi majhna.

Določanje skupne smeri vetrov je problematična ter nastopa v Sloveniji zaradi razgibanosti reliefa večinoma velika raznolikost. Pomagamo si tako, da določimo skupno smer vetrov, kadar ta nastopa, le za tiste dni, ko so imeli vetrovnost večjo od 4. Pri tem je moralo imeti vsaj 3/4 postaj isto smer vetra. Pogostnost nastopa posameznih smeri proučimo v vsakem dnevu ob fronti. Rezultate takega proučevanja kaže tabela III-13. Iz nje je razvidno, da je na dan pred prihodom fronte skupna smer vetrov v Sloveniji večinoma iz jugozahodnega kvadranta, dočim na dan po prehodu hladne fronte močno prevladujejo smeri severovzhodnega, to je, prav nasprotnega kvadranta. Na dan prehoda fronte sta oba kvadranta približno enako zastopana in znatno močnejša od ostalih dveh. Ta razporeditev je očitno posledica dolžine dneva, ki je znatno večji od časa samega prehoda fronte.

T A B E L A III-13

/Postnost nastopa posameznih skupin smeri vetrov v dneh ob prehodu hladnih front za dni z vetrovnostjo 4/

| smer | dan | pred prihodom fronte | prehoda fronte | po prehodu fronte |
|---------------|-----|-------------------------|-------------------|----------------------|
| NE | | 10 | 18 | 35 |
| E | | 7 | 15 | 23 |
| SE | | 3 | 2 | 5 |
| S | | 18 | 7 | 2 |
| SW | | 23 | 13 | 7 |
| W | | 23 | 13 | 7 |
| NW | | 3 | 3 | 5 |
| N | | 3 | 15 | 5 |
| nedol.primeri | | 10 | 14 | 11 |

Če je namreč prešla fronta Slovenijo v zgodnjih jutranjih urah, so ta dan prevladovali pofrontalni vetrovi, če je prišla fronta zvečer, so prevladovali predfrontalni. Vsekakor je očitno, da so vetrovi pred prihodom fronte pretežno jugozahodni v skladu s splošno shemo; po prehodu fronte pa niso severozahodni, kot naj bi bili po splošni shemi, ampak severovzhodni. Vzrok temu so Alpe, ki jih mora glavna hladna zračna masa obiti, nato pa se preliva okoli njihovega vzhodnega roba iz Panonske kotline preko naših krajev v severno Sredozemlje. Kratko rečeno, vzrok je v deformaciji fronte na Alpah, ki je torej tudi v pogledu vetrov v Sloveniji lepo izražena.

Pri proučevanju celotnega vremena v Sloveniji v tem letu /42/ se je izkazalo, da je glede vetrov Slovenijo neprimerno proučevati kot celoto, ampak jo je koristno razdeliti vsaj na dva glavna dela. Prvi del tvori Primorska (postaje Postojna, Ajdovščina in Koper), drugi pa ves ostali del Slovenije. Če slično razporedimo vetrovnost v dneh ob frontah za oba dela ločeno, dobimo vrednosti, ki jih vidimo iz tabele: III-14.

Ločeni razporeditvi sta očitno med seboj precej različni in karakteristični. Vetrovnost na Primorskem je torej najmanjša na

dan pred prihodom fronte. Na dan prehoda je nekoliko večja, vendar pa je največja šele naslednji dan. V tej razporeditvi se očitno izraža prevladujoč vpliv burje, ki more nastopiti šele, ko se vzhodno ležeče kotline docela napolnijo s hladnim zrakom. Razporeditev za ostalo Slovenijo je podobna skupni razporeditvi podani v tabeli III-12, vendar je razlika med dnevom pred fronto in dnevom po njenem prehodu znatno večja in značilna. Vetrovnost na dan pred prihodom fronte je skoro tako velika kot na dan prehoda fronte ter je posledica omenjenih močnih jugozahodnih vetrov. Na dan po prehodu fronte je za kotline Slovenije (v njih leži večina upoštevanih postaj) relativno najmirnejši. Hladen zrak, ki je zalil kotline, razmeroma mirno leži v njihovem spodnjem delu in le zgoraj odteka nad toplo Jadransko morje v obliki burje, ki je prav tedaj navadno najmočnejša.

T A B E L A III-14

/Vetrovnost v dneh ob prehodu hladnih front ločeno za dva dela Slovenije/

| vetrovnost | dan | pred prihodom fronte | prehoda fronte | po prehodu fronte |
|------------------|-----|----------------------|----------------|-------------------|
| Primorske | | 0,9 (2,7) | 1,2 (3,2) | 1,6 (4,3) |
| ostale Slovenije | | 2,4 | 2,6 | 2,0 |

Vrednosti obeh delov pa med seboj ne smemo brez nadaljnjega primerjati, ker je osnovana vrednost enega le na treh, drugega pa na podatkih osmih postaj. Če pomnožimo vrednosti za Primorsko z ustreznim sorazmernostnim faktorjem, dobimo vrednosti, ki so v gornji tabeli v oklepaju. Iz njih vidimo, da je Primorska v celoti bolj vetrovna kot ostala Slovenija, ter jo vkljub naraščajoči razporeditvi tudi v vrednostih za prvi dan - dan pred prihodom fronte, močno prekaša.

Glede smeri vetrov velja v povprečju za oba dela dokaj enaka razporeditev kot je bila dobljena pri skupnem obravnavanju in je podana v tabeli III-13. Severovzhodna komponenta pa je na Primorskem v obliki burje po prehodu fronte doslednejša in

pogostnejša, dočim je v ostali Sloveniji glede na jugozahodnik relativno slabo izražena.

Število in razporeditev neviht

Vzemimo, da je nevihtni dan tisti, v katerem je zabeležila nevihto vsaj ena izmed upoštevanih meteoroloških postaj. Po tej definiciji je imela Slovenija v tem letu 91 nevihtnih dni, od katerih jih 86 % pade v dneve ob fronti, to je v dan prehoda hladne fronte ali sosednja dneva. Večina ostalih neviht nastopi drugi dan po prehodu hladne fronte in so zato verjetno tudi te nevihte neposredna posledica fronte. Tako lahko ugotovimo, da je velika večina neviht v Sloveniji posledica prihoda hladnih front.

Zanimiva je dnevna razporeditev vseh, na upoštevanih postajah zabeleženih, neviht v tem letu. Glede na posebno delitev dneva v dve polovici je razvidna iz tabele III-15

T A B E L A III-15

/Število neviht v Sloveniji glede na dano delitev dneva/

| | | |
|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| polovica dneva | 9 ^h - 21 ^h | 21 ^h - 9 ^h |
| število neviht v % | 80 | 20 |

Iz tabele je razvidno, da nastane večina neviht v času relativno toplih tal. Iz tega sklepamo, da dajo hladne fronte večinoma le potrebne predpogoje za nastanek neviht, dočim se te prožijo šele s pomočjo termične energije od tal segretega zraka, predvsem v popoldanskih urah. Očitno pa lahko včasih nastopijo nevihte tudi ponoči, tedaj seveda brez termične energije od tal. Analiza teh "nočnih" neviht je pokazala, da nastopajo večinoma neposredno ob hladnih frontah; le dve sta nastali ob prihodu kaplje hladnega zraka, kar pa lahko v nekem oziru tudi smatramo za višinsko hladno fronto.

Na drugi strani nas zanima, kako so hladne fronte izražene v

nevihtni aktivnosti oziroma v nevihtnih dneh. V primerih, ko si fronte tesno slede, nam je težko ugotoviti, koliko neviht pripada posamezni fronti; dovolj natančno pa se da ugotoviti, katera fronta oziroma skupno, koliko front je povzročilo nevihte in koliko front je prešlo Slovenijo, ne da bi jih povzročile. V celoti je povzročilo nevihte 63 % vseh hladnih front, ki so prešle Slovenijo v tem letu. V poletni dobi od 5. maja do 1. oktobra sta bili od vseh 37 front le dve brez neviht. Od teh je bila ena že močno degenerirana in ni dala niti močnejših ohladitev niti padavin, druga pa je prišla v anticiklonskem režimu in je povzročila le neznatne ohladitve. Splošno lahko trdimo, da povzroče v poletni dobi praktično vse hladne fronte v Sloveniji nevihte.

Če merimo nevihtno aktivnost - nevihtnost v nekem dnevu - po tem, koliko izmed upoštevanih postaj je beležilo nevihte, je podana največja možna vrednost za nevihtnost nekega dne s številom 11. S pomočjo tako definirane nevihtnosti lahko ugotavljamo razporeditev neviht v dneh ob prehodih hladnih front preko Slovenije. Upoštevamo seveda le fronte, pri katerih so nevihte sploh nastopile in določimo pri njih povprečno nevihtnost posameznih dni. Rezultati so razvidni iz naslednje tabele:

T A B E L A III-16

/Povprečna nevihtnost v dneh ob prihodu hladnih front v Slovenijo/

| dan | pred prihodom fronte | ob prihodu fronte | po prihodu fronte |
|------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| nevihtnost | 1,2 | 4,7 | 1,3 |

Vidi se, da je nevihtnost na dan prihoda fronte relativno zelo velika - skoro štirikrat večja kot v sosednjih dveh dneh. Kljub temu, da so nevihte v veliki meri vezane na termično energetski dodatek od insolacije preko tal, kot sledi iz dnevne razporeditve neviht, pa kaže očitno gornja tabela, da imajo hladne fronte tudi same zelo velik in neposreden vpliv na nastanek neviht. Nadalje nas glede na znane sheme o razporeditvi neviht ob frontah in za njimi preseneča, da je nevihtnost v dnevu pred prihodom fronte skoro enaka nevihtnosti v dnevu po prihodu. Pričakovali bi, da je v hladni zračni masi, ki jo je privedla hladna fronta,

znatno večja labilnost. Ta naj bi povzročala ob dodatnem termičnem proženju zaradi segrevanja zraka od tal, relativno veliko nevihtnost na dan po prehodu fronte, saj je **oblačnost** ta dan razmeroma majhna in to predvsem v dopoldanskih urah. Vzrok taki razporeditvi bo verjetno v subsidenci zgornjih zračnih plasti. Iz prednjih opažanj glede na splošno sinoptično situacijo po frontah in iz prakse sledi, da se za hladno fronto često razširi nad naše kraje **anticiklon**. Njegovi subsidenčni tokovi naglo zmanjšujejo prvotno labilnost in ustvarjajo inverzne plasti, ki duše konvekcijo.

V primerjavi s tem dnem pa se nam zdi nevihtnost na dan pred prihodom fronte razmeroma velika. Ta je lahko posledica dveh vzrokov: dotoka hladnega zraka v zgornjih ali pa dotoka toplega zraka v nižjih plasteh. V obeh primerih se namreč labilnost ozračja poveča. Labilnost se sicer poveča tudi ob splošnem dviganju zračnih plasti, ki je značilno za ciklone, vendar pa nastajajo cikloni **južno** od Alp šele ob prihodu hladne fronte. Takšna aktivnost centralne depresije pa je pri nas večinoma močno stranskega pomena. Da se pojavijo ohladitve na višinah često prej kot v nižjih plasteh, smo videli iz primerjav nastopa ohladitev na Kredarici in v Planici. Nevihte bi v teh primerih lahko smatrali za neposredno posledico nekakšnih višinskih hladnih front, ki so prehittele fronte pri tleh.

Nevihte, ki se pojavijo ob dotoku toplejšega zraka v nižjih zračnih plasteh, so znane pod imenom **squall-lines** in nastopajo najčešče na liniji prodora jezika toplega zraka /37, 38/. Proučevanje vetrovnih smeri za dan pred prihodom hladne fronte je pokazalo, da nastopajo tedaj pri tleh često močni jugozahodni vetrovi, ki so, glede na topografske pogoje, topli in vlažni. Kadar so ti vetrovi omejeni le na spodnje plasti, imamo ugodne pogoje za nastanek **squall-lines**. Če je potrebno, da k omenjenemu prispevajo še lokalni pogoji, ki lahko povzročijo sprostitve nastale pogojne labilnosti, pa dobimo le posamezne nevihte.

Posebej smo proučevali nevihtnost front v odvisnosti od raznih sinoptičnih parametrov. Da bi izločili velik vpliv letnega časa, so bile močno nevihtne fronte izbrane na podladi primerjav

relativne nevihtnosti, to je, glede na nevihtnost ostalih front v isti dobi in ne glede na njeno absolutno vrednost. Primerjava vrednosti posameznih sinoptičnih parametrov pri tako izbranih močno nevihtnih frontah je pokazala, da so te vrednosti med seboj zelo različne in v splošnem ne kažejo skupnega odklona od povprečja. Med relativno nevihtnostjo front in mnogimi sinoptičnimi parametri torej ni bilo najti odvisnosti. Izjemi sta le: deformacija fronte, ki je pri teh frontah večinoma negativna, to pomeni, da pri njih obide hladni zrak Alpe predvsem na njihovi južni strani, in razporeditev pritiska, ki je ob močno nevihtnih frontah severno od Alp znatno višji kot južno od njih. To kaže na šibkejšo fenizacijo pri frontah, ki prihajajo od zahoda in na povečano ciklonsko **aktivnost** na južni strani Alp, ki ima vsaj na dan prihoda fronte vpliv na nevihtnost preko omenjene labilizacije vsled splošnega dviga zračnih plasti.

Megla in slana

Pri proučevanju vremena ob hladnih frontah v Sloveniji oziroma pri proučevanju vpliva, ki ga imajo na naše vreme, hladne fronte, ne smemo povsem izpustiti megle, ker je v kotlinah Slovenije zelo pogost pojav. Že iz splošne prakse in fizikalnega preudarka o odvisnosti procesov, ki ustvarjajo ali razkrajajo meglo, od procesov na hladnih frontah, vemo, da je zveza med njimi sicer indirektna, vendar ne brez pomena. Za slovensko obalo, ki ima glede megle dokaj svojevrstne razmere, je bilo že ugotovljeno, da obstaja precej jasna zveza med nastankom megle in približevanjem hladne fronte, pri čemer je kritična oddaljenost odvisna od smeri prihoda fronte /54/.

Prava "megla hladne fronte" - v smislu Willetove klasifikacije /56/ zaradi orografskih razmer pri nas nima ugodnih pogojev za nastanek, zato so prave tovrstne megle v Sloveniji redke, če že ne izjemne. Ogromna večina primerov megle, ki nastopajo po kotlinah Slovenije, je radiacijskega tipa. Nastanek megle je zato odvisen predvsem od razporeditve oblačnosti v dnevnem času. Poleg zadostne vlažnosti zraka so namreč ~~znan~~ potrebne jasne noči. Razporeditev oblačnosti in megle v Sloveniji si

morata biti torej, glede na prevladujoči tip megle, nasprotni - ustrezna statistika nam to v celoti potrди. Če definiramo, slično kot nevihtnost, tudi meglenost posameznih dni in poiščemo njeno povprečno vrednost oziroma njeno razporeditev v dneh ob hladnih frontah, dobimo rezultate, ki jih prikazuje naslednja tabela:

T A B E L A III-17

/Povprečna meglenost v Sloveniji v dneh ob prehodu hladnih front/

| dan | pred prihodom fronte | ob prihodu fronte | po prihodu fronte |
|-----------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| meglenost | 1,2 | 1,1 | 1,4 |

Razvidno je, da je razporeditev meglenosti res nasprotna razporeditvi oblačnosti in tudi nasprotna razporeditvi vetrovnosti, vendar so razlike med posameznimi dnevi razmeroma majhne. Najmanjša meglenost na dan prehoda fronte je torej posledica velike oblačnosti in zlasti močnih vetrov, ki onemogočajo nastanek radiacijske megle.

Splošna povečana oblačnost in vetrovnost v dneh ob prihodu hladnih front se prav v meglenosti dokaj lepo izraža. Srednja meglenost za vse dni v letu je namreč 1,9; meglenost katerikoli dan ob fronti pa je, kot kaže gornja tabela, znatno nižja in opozarja na zavirajoč vpliv hladnih front na pojav megle v Sloveniji. Tako torej lahko ugotovimo, da je ob hladnih frontah megle pri nas precej manj kot sicer. Zadnja trditev pa ne velja za dneve pred prihodom fronte za Primorsko, kjer je megla pretežno adveksijskega tipa ter je najpogostnejša prav ob toplih jugozahodnih vetrovih pred hladno fronto, da si je v splošnem tam malo megle.

Proučevanje slane ima pomen predvsem v dobi vegetacije in zato se bomo pri njej omejili na dobo od 1.IV. do 31.X. Na podlagi širših obdelav slane za daljšo dobo je Petkovšek ugotovil /33/, da je osnova in predpogoj za nastop slane v Sloveniji v vege-

tacijski dobi, močna adveksijska ohladitev. Vendar pa adveksijske ohladitve same ne zadostujejo, ampak so nujno potrebne še dodatne ohladitve po radiaciji. Efektivnost radiacijskih ohladitev pa je spet odvisna od oblačnosti in vetra. Nemajhen vpliv na nastop slane ima tudi nadmorska višina prizadetih krajev, ki pa je stalen faktor. Ker omogočajo le hladne fronte znatne adveksijske ohladitve, je razumljivo, da dajejo prav te potreben predpogoj za nastanek slane v dobi vegetacije. Razporeditev oblačnosti in vetra pa je nasprotno ob sami fronti neugodna za nastop močnih radiacijskih ohladitev pri tleh, in s tem za nastop slane. V skladu s tem se pojavljajo dnevi s slano v skupinah, ki nastopajo včasih kmalu, včasih pa šele nekaj dni po prehodu hladne fronte, kar je pač odvisno od razporeditve oblačnosti in vetra.

V spredaj omenjeni dobi, ki je pomembna za proučevanje slane, je bilo v upoštevanih krajih 49 dni s slano, vendar pa v dobi med 31.VI. in 28.VIII. slane v teh krajih sploh ni bilo. Kako veliko vlogo igra pri slani nadmorska višina, nam pove dejstvo, da je za kraje v kotlinah Slovenije poletna doba brez slane vsaj enkrat daljša kot v krajih z nekoliko višjo lego. Prav v tej zvezi sta za ta pojav značilna zadnji spomladanski in prvi jesenski dan s slano. Na vseh postajah, razen na Jezerskem, (ki leži že relativno visoko in je imela slano še pozneje), je v tem letu zabeležen zadnji dan s slano ob razjasnitvah po hladni fronti, ki je prešla Slovenijo 5.V. in povzročila katastrofalni sneg v maju. Prav tako pa so zabeleženi na teh postajah vsi prvi dnevi s slano v jeseni ob razjasnitvah po raznih hladnih frontah. Iz vsega sledi, da dajo prav hladne fronte možnost nastopa slane v vegetativni dobi, čeprav je pojav sam odvisen od dodatnih radiacijskih ohladitev.

Zračni pritisk

Zračni pritisk sicer ni parameter vremena v vsakdanjem pomenu besede in ga direktno ne občutimo, vendar pa je pri proučevanju procesov zelo dober pripomoček. V zvezi z našim proučevanjem nas zanima predvsem njegov potek, razporeditev in jakost spre-

memb, medtem ko so njegove absolutne vrednosti stranskega pomena.

Najbolj splošna enačba za tendenco zračnega pritiska, ki jo je Čadež izpeljal direktno iz enačb gibanja se glasi /43/:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial p_3}{\partial t} + \int_0^s \frac{\partial(p \nabla \phi)}{\partial t} ds^2 + \int_0^s \frac{\partial(p \vec{u})}{\partial t} ds^2 + 2 \int_0^s \frac{\partial(\rho \vec{w} \times \vec{u})}{\partial t} ds^2 \quad (P-1)$$

Ako je pot s izbrana tako, da vodi od tal do vrha atmosfere, prvi člen odpade, za zadnja dva pa se da dokazati, da sta v primerjavi z drugim zanemarljivo majhna. Zaradi kontinuitetne enačbe je pote-m možno pisati

$$\frac{\partial p}{\partial t} = - \int_0^{\infty} g \nabla_H (p \vec{u}) dz + g (p w)_0 \quad (P-2)$$

ki je posebna oblika Bjerknesove oziroma Margulesove enačbe za lokalno spremembo zračnega pritiska.

Kolikor atmosfera ni enotna in sestoji iz n plasti zraka različnih gostot ρ_k , ki so ločene med seboj z diskontinuitetnimi površinami, dobi gornja enačba dodatni člen, ki ga je Ertel imenoval dodatek zaradi singularne advekcije reda \emptyset nič. Tako je celotna lokalna sprememba zračnega pritiska podana z enačbo

$$\frac{\partial p}{\partial t} = - \int_0^{\infty} g \nabla_H (p \vec{u}) dz + g (p w)_0 - \sum_{k=1}^n (\rho_k - \rho_k') w_{fk} \quad (P-3)$$

kjer je ρ_k' , ρ_k gostota zgornje oziroma spodnje zračne mase ob k -ti mejni površini, ki se premešča v vertikali s hitrostjo w_{fk} .

Za proučevanje sprememb pritiska ob hladnih frontah pa je prav ta dodatni člen zelo važen. Ako opazujemo zračni pritisk pri tleh, kjer je $(p w)_0 = 0$, drugi člen v zgornji enačbi odpade. Ako dalje smatramo, da obstaja le ena diskontinuitetna oziroma frontalna površina, lahko sledeč Čadeževim izvajanjem, dobimo enačbo za lokalno spremembo zračnega pritiska pri tleh:

$$\frac{\partial p_0}{\partial t} = \frac{p_0}{p} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{p \gamma_h}{T T'} u_F (T' - T) \operatorname{tg} \vartheta - \frac{p_0 \gamma_h}{T_s^2} \frac{\partial T_s}{\partial t} \quad (\text{P-4})$$

kjer sta p oziroma $\partial p / \partial t$ pritisk oziroma lokalna sprememba pritiska tik nad frontalno površino (ta lokalna sprememba je v celoti predstavljena z enačbo P-1 ali P-2), T' oziroma T temperatura zgornjega oziroma spodnjega zraka ob frontalni površini, T_s srednja temperatura spodnje plasti, v_F horizontalna hitrost premeščanja fronte in $\operatorname{tg} \vartheta$ njen nagib. Zadnji člen je Čadež dalje razvijal in dobil zanimive rezultate o spremembi jakosti premeščanja front zaradi segrevanja hladnega zraka nad toplejšo podlago /35/.

Za praktično delo z vremenskimi kartami bomo skušali gornjo enačbo prevesti v novo obliko z uvedbo takih parametrov, ki jih je s pomočjo kart mogoče hitro določevati. Lokalnih sprememb zračnega pritiska v višinah v prosti atmosferi namreč ne moremo meriti. Sinoptična metoda uporablja sedaj poleg nižinske karte analizo raznih izobarnih ploskev; s primerjavo zaporednih takih višinskih kart pa lahko določamo lokalne spremembe višine izobarnih ploskev v želenih točkah. Vzporedna analiza termičnega polja, ki jo navadno tudi najdemo na višinskih kartah, nam da dokaj natančno položaj frontalne površine in temperaturne vrednosti ene in druge zračne mase ob njej.

Upoštevajoč barometrično formulo, enačbo stanja in geopotenciala, lahko prvi člen gornje enačbe pišemo v obliki

$$\frac{p_0}{p} \frac{\partial p}{\partial t} = - \frac{p}{RT} \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (\text{P-5})$$

pri čemer so količine desnega člena določljive iz vremenskih kart. Podobno je koristno pretvoriti drugi člen, saj tudi $\operatorname{tg} \vartheta$ - nagib frontalne površine - ni direktno določljiv, razen iz vertikalnih presekov, ki pa jih le izjemoma rišejo. Z uporabo Margulesove formule za nagib frontalne površine in z zgoraj uporabljenimi enačbami pretvorimo drugi člen, da velja

$$\frac{p \gamma_h}{T T'} u_F (T' - T) \operatorname{tg} \vartheta = - u_F \frac{p}{R} \left(\frac{1}{T} \frac{\partial \phi}{\partial n} - \frac{1}{T'} \frac{\partial \phi'}{\partial n} \right) \quad (\text{P-6})$$

Desna stran je za praktično delo ugodnejša, saj je horizontalni gradient potenciala pravokotno na fronto iz višinskih kart zelo enostavno določljiv na poljubnem odseku fronte. Z upoštevanjem enačb (P-5) in (P-6) in ustrezno pretvorbo zadnjega člena enačbe (P-4), dobimo iz te

$$\frac{\partial p_0}{\partial t} = -\frac{p_0}{R} \left[\frac{1}{T} \frac{\partial \phi}{\partial t} + u_f \frac{p}{p_0} \left(\frac{1}{T} \frac{\partial \phi}{\partial n} - \frac{1}{T'} \frac{\partial \phi'}{\partial n} \right) + \frac{\phi}{T_s^2} \frac{\partial T_s}{\partial t} \right], \quad (\text{P-7})$$

ki nam daje zvezo med spremembo zračnega pritiska pri tleh in spremembami drugih, iz vremenskih kart lahko določljivih parametrov ter hitrostjo premeščanja fronte. Omogoča nam proučevanje posameznih procesov v atmosferi ob hladni fronti in določevanje jakosti njihovega vpliva.

Vzemimo, da lokalne spremembe temperature ne nastopajo oziroma, da so zanemarljivo majhne, s čimer zadnji člen zgornje enačbe odpade. Iz ostalega izločimo hitrost premeščanja fronte, ki se sedaj očitno izraža

$$u_f = - \left[R \frac{\partial p_0}{\partial t} + \frac{p_0}{T} \frac{\partial \phi}{\partial t} \right] : \left[p \left(\frac{1}{T} \frac{\partial \phi}{\partial n} - \frac{1}{T'} \frac{\partial \phi'}{\partial n} \right) \right]. \quad (\text{P-8})$$

Analogno enačbo je dobil že Giau /1/, vendar so količine, ki nastopajo v zgornji enačbi, direktno določljive iz vremenskih kart in ne potrebujejo tudi nobenih sorazmernostnih faktorjev glede enot. Tako dobimo v najkrajšem času (v nekaj minutah) po gornji enačbi hitrost premeščanja fronte. To je lahko zelo koristen pripomoček glede na prognostične karte. Ker so barična in deloma termična polja dostopna prijemu numerične prognoze, lahko iz prognoziranih polj določamo z njo tudi bodoče hitrosti fronte. V območju orografskih pregrad večjega formata kot so Alpe, pa seveda na ta način ne bo šlo, dokler ne bo prognoza polj po numeričnem postopku zajela tudi vpliva teh motenj. Prvi poskusi take razširitve numerične prognoze pa se že pojavljajo.

Vrnimo se k enačbi (P-7) oziroma (P-4) in v zvezi z njima proučujmo potek zračnega pritiska pri tleh ob naših frontah!

Rekli smo že, da proučujejo navadno strokovnjaki le izbrane, tipične primere front, ker je delo v takih primerih znatno lažje, saj je potek elementov in pojavov večinoma izrazit. Opažanja in zaključki, ki jih dajo taka proučevanja, ne morejo biti splošno veljavna, kljub temu pa na take posplošitve često naletimo, kar grajajo tudi drugi /57/. Prav gotovo je nastal na podlagi proučevanj tipičnih primerov front zaključek in iz njega splošna trditev, ki jo najdemo skoro v vsakem učbeniku meteorologije, da se izraža prehod hladne fronte z nenadnim porastom zračnega pritiska ali celo, da ima obliko pritiskove krivulje obliko črke V. Morda se lahko za nekatera področja gornja trditev popravi tako, da je omenjeni potek zračnega pritiska ob frontah večinoma tak. Prav gotovo pa to ne velja za naše kraje, kjer moremo glede na naslednja proučevanja ugotoviti, da je tak potek zračnega pritiska ob prehodu hladne fronte razmeroma redek.

Karakteristično obliko krivulje pritiska, ki naj predstavlja potek zračnega pritiska ob prehodu hladne fronte prek Slovenije, je mogoče določiti le ob istočasnem pregledu krivulj za vse posamezne kraje skupaj. V ta namen je potrebno izrisati pritiskove krivulje po urnih vrednostih, kot je prikazano na danem primeru na sliki III-4. Ker je sestavljanje takih prikazov zamudno delo, ga je bilo mogoče v celoti izvesti le za polovico leta oziroma za prvih 40 front. Pregled poteka pritiska za te primere je pokazal, da lahko ustrezne oblike krivulj pritiska opredelimo na 5 tipov, ki so seveda številčno raznoliko zastopani. Prikazuje jih slika III-8, kjer najdemo tudi odstotek pogostnosti posameznih tipov (prehod fronte sovпада nekako s sredino časovne lestvice oziroma krivulj).

Razvidno je, da je "klasičen" potek pritiska, ki ga predstavlja ta krivulji a in b, zastopan v razporeditvi pritiska ob omenjenih frontah le v eni četrtini primerov. Največji odstotek zajema oblika tipa c, ki kaže, da nastopa v Sloveniji najčešče začetek porasta pritiska že pred prihodom hladne fronte, prehod sam pa je v poteku zračnega pritiska slabo izražen. Zanimiva je oblika "dvojni v" - tip d, ki očitno ni izjemen pojav, ter

je lahko posledica enega vpliva, ki se pojavlja v dveh "valovih", ali pa zaradi dveh različnih vzrokov. V prvem primeru bi bil lahko posledica predfrontalnih neviht (squall-lines), v drugem pa vzrok zaostajanja ali prehitevanja vpliva singularne advekcije. Tako bi mogli smatrati, da je nastal ta tip poteka pritiska zaradi časovne ločitve vzrokov, ki so v prvih dveh tipih delovali hkrati. Preseneča nas razmeroma velik odstotek primerov s takim potekom zračnega pritiska, pri katerem pritisk v splošnem pada, sam prehod hladne fronte pa je izražen s kratkotrajnim rahlim dvigom ali le s prehodnim oslabljenjem splošnega padanja pritiska - tip e. Napačno bi bilo prehitro soditi, da je tak potek v zvezi s poglobljajočo se sekundarno depresijo, zakaj ta se pojavi pri frontah s potekom pritiska tipa e vsega le enkrat, kar je glede na ostale tipe najredkeje. Pri iskanju vzrokov za nastop posameznih tipov poteka pritiska ob prehodu hladnih front preko Slovenije se poslužimo tabele front - II-1. Za posamezne tipe poteka pritiska (slika III-8) tvorimo skupine vrednosti raznih parametrov in jih med seboj primerjamo. V naslednji tabeli so podani povprečni parametrov, katerih vrednosti za posamezne tipe, ima smisel primerjati.

T A B E L A III-18

/Povprečne vrednosti nekaterih meteoroloških parametrov glede na posamezne tipe poteka zračnega pritiska ob hladnih frontah (glede na sliko III-8). Označbe kot na strani 37/.

| Tip | Δt ur | ΔT °C | RR mm | α_f ° | v_f km/f | ΔT_h °C | Δp mb |
|-----|------------------|------------------|---------------|-----------------|---------------|--------------------|------------------|
| a | 9 | 3,8 | 23 | 28 | 51 | x | 5,2 |
| b | 4 | 3,2 | 9 | 30 | 34 | 6,2 | 2,0 |
| c | 4 | 3,8 | 15 | 31 | 35 | 3,8 | 3,4 |
| d | 5 | 1,9 | 14 | 30 | 39 | 3,0 | 2,6 |
| e | 4 | 1,2 | 24 | 31 | 28 | 2,4 | 1,3 |

Že iz tabele je razvidno, da imajo V - oziroma W obliko pritiskovega poteka (tipa a in d) fronte, ki prihajajo bolj v popoldan-



skih urah ter je pri njih časovni odklon prihoda od 03 ure (Δt) razmeroma velik. Veliko doslednost glede dnevnega časa prihoda front najdemo pri tipu e, ko so vse fronte, razen dveh, prešle osrednjo Slovenijo ob 06 uri, a tudi izjemni dve dopoldan. Malo je verjetno, da bi bila taka doslednost zgolj slučajna, vendar pa prepričljive razlage za eventualno odvisnost ni najti. Dnevni hod pritiska kaže namreč v tem času dviganje.

Razvidno je, da nastopajo pri takem poteku pritiskove krivulje, ki kaže močnejši dvig pritiska (tipi a, b, c), znatno močnejše ohladitve kot pri ostalih dveh tipih. Isto velja tudi glede višinskih ohladitev, kar je razumljivo: glavni dvig pritiska povzroči pritok hladnejše in težje zračne mase ter je razporeditev pritiska njena posledica, sprememba mase pa primaren vzrok. Glede količine padavin sta si slično kot glede dnevnega časa prihoda front, spet nekoliko podobna tipa a in d. Velika medsebojna odvisnost količine padavin od dnevnega časa prihoda front, ki smo jo ugotovili spredaj, se torej tudi pokaže. Vprašanje pa je, kateri od teh dveh parametrov je v bolj direktni zvezi s potekom pritiskovih sprememb in kateri od njiju je morda vezan posredno preko drugega. Nadaljnje proučevanje v tej smeri utegne dati še zanimive rezultate.

Glede smeri prihoda hladnih front je značilno, da kažejo v poteku pritiska bolj značilen prehod (tipi a, b, d) tiste fronte, ki prihajajo bolj od zahoda, dočim prihajajo fronte z neizrazitim prehodom v pritiskovi krivulji bolj iz severozahodne smeri. To utegne biti v zvezi z dejstvom, da leže osi dolin izobarnih ploskev v višinah pretežno v smeri sever-jug ter se pri frontah, ki prihajajo od zahoda pomikajo doline pravokotno na osi in je njihov prispevek k poteku pritiska v obliki črke V velik. Ker smo že v prejšnjih poglavjih ugotovili, da imajo od zahoda prihajajoče fronte večjo hitrost kot one, ki prihajajo bolj od severa, so torej razumljive tudi večje vrednosti povprečnih hitrosti front ob izrazitejših tipih poteka pritiska, kot kaže gornja tabela. Izrazito izstopa zato vrednost hitrosti pri tipu a, katerega fronte so prišle večinoma od zahoda. Od ostalih kaže najmanjšo hitrost gibanja skupina front tipa e. Razumljivo je, da so spremembe pritiska majhne pri frontah, ki

so obenem tudi padavinsko in temperaturno slabo izražene. Prese-
neča pa nas, da v mnogih primerih po prehodu hladne fronte zrač-
ni pritisk še dalje pada, zlasti še, ker je med temi le eden
z izrazito sekundarno depresijo. Statistika širine višinskih
dolin nam proti pričakovanju ne pokaže ničesar ter je očitno
potek pritiska predvsem odvisen od splošne vremenske oziroma
sinoptične situacije, ki pa jo je mogoče podati le za posamezne
primere. Pri kompleksnem podajanju opažanj pa si z njo ne moremo
pomagati, če hočemo zaiti v dolgovezno opisovanje.

Razlike pritiska severno in južno od Alp nam glede na potek
pritiska ob hladnih frontah spet pokažejo veliko odvisnost
tega poteka od temperaturne difference obeh mas oziroma jakosti
ohladitev. Pritisk severno od Alp je očitno znatno večji kakor
oni na njihovi južni strani pri frontah z razporeditvijo poteka
pritiska tipa a in c, pri katerih so ohladitve, kot kaže gornja
tabela, v povprečju najmočnejše. Najmanjše razlike v pritisku
glede na Alpe pa kažejo očitno fronte tipa e in b, ki so najpo-
časnejše in dajo tudi najmanj padavin. Glede na razlike v zrač-
nem pritisku severno in južno od Alp lahko po švicarskem kole-
darju front /28/, sestavimo naslednjo zanimivo tabelo:

T A B E L A III-19

/Razlika zračnega pritiska južno in severno od Alp med točkama
45° 30' in 47° 30' severne širine na 9° zahodnem meridianu. Ne-
gativne vrednosti pomenijo, da je bil zračni pritisk na severni
strani Alp za toliko mb nižji. a) ob prehodu hladnih front preko
Züricha, b) ob prehodu hladnih front preko osrednje Slovenije/

| razlika pritiska (mb) | | 12 | 9 | 6 | 3 | 0 | -3 | -6 | -9 | -12 |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| štev. primerov | a) | 2 | 4 | 22 | 24 | 26 | 12 | 9 | 0 | 1 |
| v % | b) | 6 | 11 | 28 | 24 | 19 | 9 | 2 | 1 | 0 |

Razvidno je, da je zračni pritisk na dan prihoda hladnih front
v Zürich najčešče severno in južno od Alp enak ali pa je sever-
no od Alp višji. Razmeroma redko je nižji na severni strani Alp,

kar je glede na to, da je tam tedaj fronta, ki leži nujno v pritiskovi dolini, na prvi pogled presenetljivo. Pričakovali bi, da bo tedaj, ko je tam fronta, tudi pritisk nižji, vendar pa igra pri krajevni razporeditvi pritiska očitno **važnejšo** vlogo alpski masiv, ki deluje kot pregrada in v splošnem ločuje severno hladnejšo in južno toplejšo zračno maso. Razen tega pa lahko vpliva tudi na zastojni tlak. K dani razporeditvi doprinašata tudi zakasnitev in deformacija front na Alpah ter hiter porast pritiska takoj za fronto. Ta lahko pri frontah, ki pride v prvi polovici dneva, vpliva na večjo povprečno vrednost pritiska ustreznega dne. Iz tega in iz drugih dosedanjih spoznanj sledi, da je zračni pritisk severno od Alp tedaj, ko pride hladna fronta v naše kraje, največkrat kar za 6 mm višji kot na južni strani, kjer je tedaj hladna fronta. - b) v gornji tabeli, a tudi primeri z dvakrat tolikšno razliko pritiska očitno niso izjemni. Primerov, ob katerih je razporeditev nasprotna, je vsega 12 %; analiza teh pa pokaže, da je to v glavnem pri tistih frontah, ki pridejo na južno stran Alp že v jutranjih urah. Zračni pritisk se za njimi tekom dneva znatno dvigne, Severno od Alp pa spet pade pod vplivom novih frontalnih oziroma ciklonalnih motenj. Očitno je torej, da je v dneh ob frontah zračni pritisk južno od Alp večinoma nižji, kar daje v nižjih plasteh osnovo za vzhodne tokove preko naših krajev. Cirkulacija v višinah pa je odvisna od lege doline izobarnih ploskev. Proučevanje baričnih polj ob frontah je nujno vezano na **tipiziranje** in opisovanje sinoptičnih situacij kakršnih pa za evropske razmere nekaj že imamo /19, 20, 33, 58, 59/.

Kakor smo videli, iz lokalnih vrednosti zračnega pritiska ne dobimo korelacij in indikacij, ki bi imele neposredno prognostično vrednost. Iz takih podatkov ne moremo mnogo sklepati o lastnostih prihajajoče fronte in o njenem bodočem vplivu na naše kraje. Pač pa nam razporeditev in časovni potek pritiska mnogo pomagata pri pojasnjevanju procesov in mehanizma ter omogočata popolnejšo uporabo ostalih, predvsem sinoptičnih parametrov. Med te štejejo tudi v prejšnjih poglavjih uporabljano razporeditev baričnih tvorb.

Z A K L J U Č E K

Iz celotnega dela je razvidno, da hladne fronte kot precej zamotanega kompleksa procesov in pojavov, ne moremo hkrati v celoti zajeti s teoretičnega in praktičnega vidika. S posebnim konceptom, po katerem nam predstavlja fronto področje maksimalnega gradienta neke lastnosti zračne mase, pa smo mogli preko frontogenetične funkcije prirediti problem metodam numerične prognoze.

Kot glavni problem se je pojavila določitev kinematičnih polj v vertikalnih presekih, to je, določitev tokovnih vzorcev ob pregradi, iz katerih naj bi črpali potrebne vrednosti za določevanje frontogenetične funkcije. Ta problem smo reševali preko baričnih polj in ga za posebne pogoje uspešno rešili.

Glede na to, da ustrezne hidrodinamične enačbe splošno niso rešljive, efekti, ki se pojavljajo pa so od predstav odmaknjeni, so poenostavitve, ki so potrebne, često zelo problematične. Ker imamo opraviti z velikimi pregradami, nas linearizacija problema (katere so se za majhne pregrade nekateri že posluževali), tu ni mogla zadovoljiti. Potrebno je bilo poseči po drugih prijemih, pri tem pa stalno kontrolirati natančnost, zakaj enačbe (kot sami tokovi) so zelo občutljive in majhne razlike imajo za posledico velike spremembe. Očitno pa nam je uspelo najti pot do ustrezne rešitve zadostne natančnosti.

Enako kot pri ostalih vrstah numerične prognoze, je tudi tu za določevanje kvantitativnih vrednosti potreben elektronski računski stroj. Z njim bo mogoče izračunati konkretne

primere in potrditi uporabnost izdelane metode za numerično prognozo spremembe jakosti front pri njihovem prehodu preko velike orografske pregrade. Ker nastanejo pri takih prehodih ne le prehodne, ampak tudi trajne spremembe v lastnostih zračne mase in fronte, je njihova določitev bistveno važna tudi za področja, ki leže za pregrado - torej za naše kraje. Končne efekte, ki se odražajo v vremenu, pa je potrebno, kot pri ostalih numeričnih prognozah, določiti glede na nekatere lastnosti zračne mase in druge činitelje. Vplive teh pa lahko izluščimo le iz sistematičnih primerjav in proučevanj, takih, kot so v II. in III. delu te razprave.

Primerjava efektov, ki jih povzročé hladne fronte onstran in tostran Alp, nam je dala ugotovitve, ki imajo neposredno prognostično vrednost. Na osnovi efektov, ki jih povzročé hladne fronte onstran in tostran Alp in vzporedno nastopajočih vrednosti sinoptičnih parametrov, ki karakterizirajo lastnosti fronte, je mogoče ob ugotovljenih zavisnostih sklepati na lastnosti, ki jih bo imela fronta, ko bo prišla preko Alp v naše kraje in tudi na efekte, ki jih bo tudi povzročala. Pri tem so med najvažnejšimi dobljene ugotovitve o kinematiki hladnih front, saj je čas prihoda fronte, kakor smo videli, neposredno odločujoč faktor ne le v razporeditvi, ampak tudi v jakosti nekaterih procesov in efektov ter je zato tudi temelj vsake prognoze. Ugotovljene povprečne vrednosti v efektih, ki jih povzročé hladne fronte onstran in tostran Alp, nam kot dragoceni podatki specialne klimatologije - dinamične klimatologije hladnih front - nudijo specifično klimatsko sliko kakršni bi, kljub koristim, ki jih nudi, za katero drugo področje težko našli analogno.

Obravnavane so bile prav vse hladne fronte leta 1957. Očitno je, da je taka vsestranska in detajlna analiza enega leta zelo obsežno in zahtevno delo, čigar obseg in rezultati nedvomno močno presegajo tiste, ki bi jih dalo proučevanje znatno večjega števila izbranih primerov iz večih let. Glede

na dovolj veliko število primerov in glede na ugotovljeno reprezentativnost obravnavanega leta, lahko trdimo, da skoro vse ugotovitve splošno veljajo.

Mnogoštevilni dobljeni rezultati, ki jih je dalo proučevanje vplivov hladnih front na vreme v Sloveniji, kažejo širjenje procesov, efektov in pojavov preko Slovenije s hladno fronto v horizontalni in deloma vertikalni smeri. Mnogo pojavov in vrednosti mnogih elementov se spričo množice različnih vplivov, ki so jim podvrženi, ne da direktno predvidevati. Zato so prikazane mnoge odvisnosti med parametri, ki so dosegljivi sodobnim prognostičnim prijemom, všteti numerično prognozo, in vremenskimi elementi oziroma efekti, ki neposredno vplivajo na človekovo počutje in njegovo dejavnost. Podali smo razporeditev nekaterih efektov in pojavov nad Slovenijo v zvezi s hladno fronto, njihovo trajanje, razširjenost, jakost, njihove razlike in neposredne vplive enih na druge. Prikazali smo dodatne vplive dnevnega in letnega časa, pogostnost nastopanja, njihov vpliv na nadaljni razvoj procesov, njihove posledice in ostale značilnosti.

Neumestno bi bilo dobljene ugotovitve uklepati v pravila nepopolne veljave ali formulirati zakone, zakaj teh ni. Zavedamo se, da imamo opraviti z naravo samo, brez idealnih pogojev, z neomejeno množico vzajemno odvisnih vplivov in njihovih posledic. Celotno delo z vsemi drobnimi ugotovitvami in spoznanji naj doprinaša k našemu in splošnemu znanju o procesih, pojavih in efektih ob hladnih frontah, ko pridejo te v območje orografskih pregrad, v območje Alp in v Slovenijo. Vsa ta spoznanja pa obenem tudi povečujejo možnosti meteorološke znanosti za njeno neposredno pomoč gospodarstvu.

L i t e r a t u r a

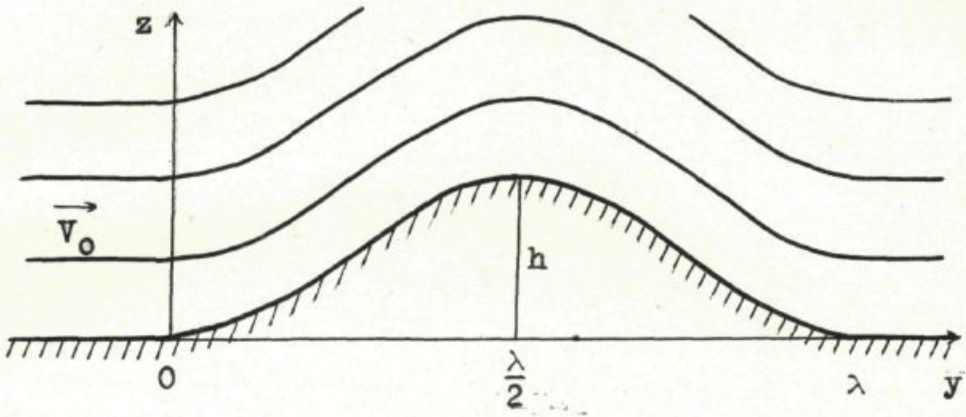
1. Petterssen S: Weather Analysis and Forecasting, London 1956
2. Palmer G B: Some Kinematic Aspects of Frontal Zones, Journal of Met. Vol.14 No.5
3. Flohn H: Luftmassen, Fronten und Strahlströme, Met.Rundschau Jahr. 11
4. Jordan H M and Clark J R: Analysis of frontal boundaries by means of thickness anomalies, Month.Weath.Review Vol.84
5. Čadež M: Analiza vremena u FNRJ u 1951 godini, Rasprave i studije Savezni HMZ Br.5
6. Miller J E: On the concept of frontogenesis, Jour.Met. Vol.5 p.169
7. Sanders F: An investigation of the structure and dynamics of an intense surface frontal zone, Jour.Met. Vol.12 No-6
8. Newton C W: Frontogenesis and frontolysis as a three-dimensional process, Jour.Met. Vol.11 p.449
9. Reed J R and Sanders F: An investigation of a mid-tropospheric frontal zones, Jour,Met. Vol.10 p.338
10. Fletcher R D: Hydrometeorology in the United States, Compendium of Met. AMS Soc. Boston 1951.
11. Scorer R S: Theory of the waves in the lee of mountains, Quart. Journal Vol.75 No-8
12. Corby G A and Sawyer J S: The air flow over the ridge, Quart.Jour. Vol.84 No-359
13. Sawyer J S: Numerical calculation of the displacement of a stratified airstream crossing a ridge of small height, Quart.Jour. Vol.86 No-369
14. Queney P: The problem of air flow over mountains, Bulletin AMS Vol.29 p.16
15. Čadež M: Leewellen der Nördlichen Seite von Plješevica, Atti del Congresso scientif. internationale, Torino 1959
16. Wallington C E: and Pertnall: A numerical study of the wavelength and amplitude of lee waves, Quart.Jour. Vol.84 No-359
17. Haltiner G J and Martin F L: Dynamical and Physical Meteorology, London 1957.
18. Čadež M: Su alcune influenze degli ostacoli orografici sul moto delle correnti aeree, Soc.Italiana di Geof.e Met. Genova 1961.
19. Kletter L: Verwertung der Höhenwetterkarte zu Beurteilung der Wetterwirksamkeit von Kaltfronten, Arch.Met.Geo.Bio. A 1,134

20. Faust H: Kaltfronten und Kaltfronttypen, Ber.Deutsch.Wett.Nr-12
21. Hoikes H: Frontenanalyse mit Hilfe von Bergbeobachtungen, Archiv.Met.Geo.Bio. Band IV. 238
22. O'Connon I F: The record breacking cold wave.. Month.Weather Review Vol.83 No-11
23. Smith C D and Wilhem W K: Precipitation associated with a cold front, Dez. 7-9 1956., Month.Weath.Review Vol.84 No-12
24. Queen R H and Martin R H: A cold damp period associated with the spring-like frontal waves over the eastern United States, Month. Weather Review Vol.84 No-7
25. Smidt R C: Forecasting the passage of selected Southward moving cold fronts in sumer at Washington, Month.W.Rev. Vol.80 No-2
26. Annalen der Schweizerischen Met.Zentralanstalt- 1957, Jahrg.94
27. Täglicher Wetterbericht, Amtsblatt des Deutschen Wetterdienst 1957
28. Sinoptično-aerološki arhiv HMZ, Ljubljana 1957
29. Petkovšek Z: Der Einfluss der Alpen auf die Kaltfront-Bewegungen, Berichte Deutsch.Wetterd. Nr-54
30. Čadež M: Über die orographische Zyklogenese and Antizyklogenese, Berichte Deutsch.Wetterd. Nr-22
31. Sansom H W: A study of cold fronts over the British Isles, Quart.Journal Vol.77 No-331
32. Pristov J: Vremenska dogajanja v zvezi s prodorom hladnega zraka, Meteorološki zbornik I, DMS Ljubljana 1957
33. Petkovšek Z: Doprinosa k prognozi spomladanskih pozeb v Sloveniji, Meteorološki zbornik I, DMS Ljubljana 1957
34. Petkovšek Z: Verspätung der Kaltfront an Orographischen Hindernissen, Met.Rundschau, Jahrg.11 Heft-4
35. Čadež M: Über die Überlagerungsgeschwindigkeit der Fronten, Geofiz. pura e applicata Bd.45, 227
36. Petterssen S: Weather Analysis and Forecasting, London 1940, 248
37. Parter I M and oth.: A synoptic study on the formation of Squall-lines in the North-central US, Bull.AMS Vol.36 No-8
38. Macdonald J D: On the formations of squall-lines, Bulletin AMS Vol.33 No-6
39. Austin I M and Blakmer R H: The variability of cold front precipitation, Bulletin AMS Vol.37 No-9
40. Schumann T E and Rooy M P: Frequency of fronts in the Northern hemisphere, Archiv Met,Geoph.Biokl. Band IV.

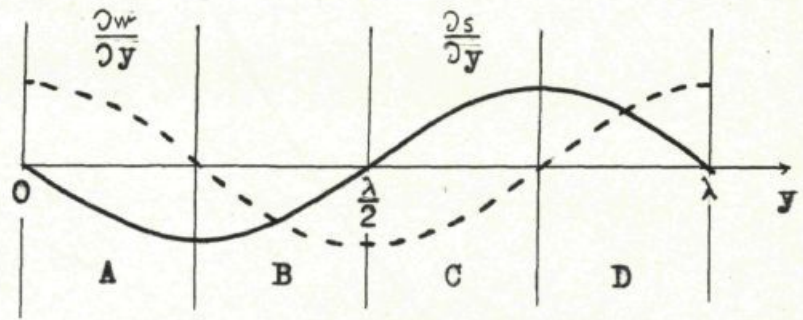
41. Borko M: Periodogramska analiza višine 500 mb ploskve za letna obdobja 1954/55, Meteorološki zbornik I, DMS Ljubljana 1957
42. Petkovšek Z: Poseben prikaz vremena v Sloveniji za leto 1957, Univerza v Ljubljani, razprava 1960
43. Čadež M: Uvod u dinamičku meteorologiju, Savez stud. Beograd 1959
44. Petkovšek Z: Kritična presoja in diskusija sinoptične depeše iz Kredarice, Razprave i prikazi HMZ NR Hrvatske No-4
45. Reed J R and Danielsen E F: Fronts in the Vicinity of the Tropopause, Archiv Met.Geoph.Biokl. Band 11 H-1
46. Čadež M: Sur la forme des surfaces de discontinuite dans l'atmosphere, Idžjaras - 4
47. Petterssen S: Weather analysis and forecasting, sec ed, Vol.II London 1956.
48. Gressel W: Die Bedeutung der Mittelmer-Depresionen in der Alpenen Wetterforhersage, Met.Rundschau Jahrg. 5 Nr-1/2
49. Reya O: Invasion de front froid dans les Alpes sudorientales, La Meteorologie - IV.
50. Bollay E: Fronts, Handbook of Met. London 1945, cit.Bergerona.
51. Van Bebber iz Šchromov S P: Einführung in die synoptische Wetteranalyse, Wien 1940.
52. Cox M K: The distribution and variability of cold front precipitation, Bulletin AMS Vol.40 No-9
53. Reya O: Padavinska karta Slovenije, Zavod za Met, in Geod.Ljubljana
54. Petkovšek Z: Megla ob slovenski obali, 10 let Hidrometeorološke službe HMZ Ljubljana 1957
55. Ligda M G and Bigler S G: Radar Echoe from a Cloudless Cold Front, Journal Met. Vol.15 No-6
56. Bayers H R: Fog, General meteorology, London 1944
57. Čadež M: Sur l'importance des etudes systematiques des invasions d'air froid pour l'analyse et la prevision du temps, Simposio internat. delle nubi, Asti 1958.
58. Miles M K: A sinoptic study on the troughs over Atlantic and British Isles, The Met.Magazin Vol.87 No-1027
59. Schwerdtfeger W: Untersuchungen über den Aufbau von Fronten und Kaltlufttropfen, Berich. Deutsch.Wett. Nr-3

S L I K E

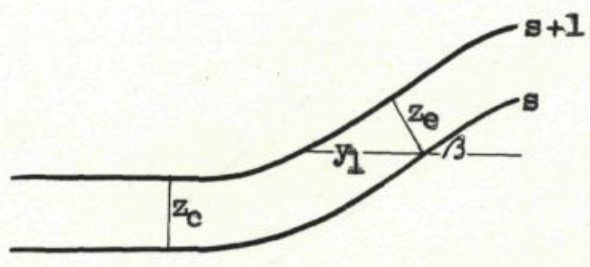
- I-1 Presek pregrade in toka nestisljive tekočine preko nje.
- I-2 Shematičen prikaz razporeditve vrednosti $\partial w/\partial y$ in $\partial S/\partial y$ v območju motenega toka nad pregrado.
- I-3 Del enotne tokovne plasti v toku nad pregrado.
- I-4 Shematičen prikaz razporeditve temperature in nekaterih sil nad pregrado.
- I-5 Nekaj tokovničnih razporeditev, ki jih da za različne pogoje rešitev lineariziranega problema.
- I-6 Primer zgornjega dela tokovnične razporeditve dobljene z numerično integracijo ter potek prvega in drugega odvoda z po y .
- II-1 Dnevna razporeditev prehoda hladnih front preko posameznih krajev
- II-2 Povprečne vrednosti nekaterih efektov v posameznih krajih za proučevanih 75 hladnih front.
- III-1 Meteorološke postaje, ki nam predstavljajo Slovenijo.
- III-2 Pogostost smeri v katerih leže hladne fronte: a) ob času 42 ur pred prihodom v Slovenijo, b) v času prihoda v Slovenijo.
- III-3 Primer kartic izdelanih za proučevanje šarjenja ohladitev in gibanja front preko Slovenije (fronta št.13).
- III-4 Primer grafikonov temperature, pritiska in padavin, izdelanih za proučevanje hladnih front v Sloveniji (fronta št.13).
- III-5 Shema zimske (a) in poletne (b) razporeditve padavin ob hladnih frontah v Ljubljani.
- III-6 Povprečna razporeditev razširjenosti padavin (odstotek postaj s padavinami) v času prehoda hladne fronte preko Slovenije.
- III-7 Tipi padavinske razporeditve glede na področje z maksimalno količino padavin in njihova pogostost.
- III-8 Tipi razporeditve pritiska ob prehodu hladne fronte preko Slovenije in njihova pogostnost.



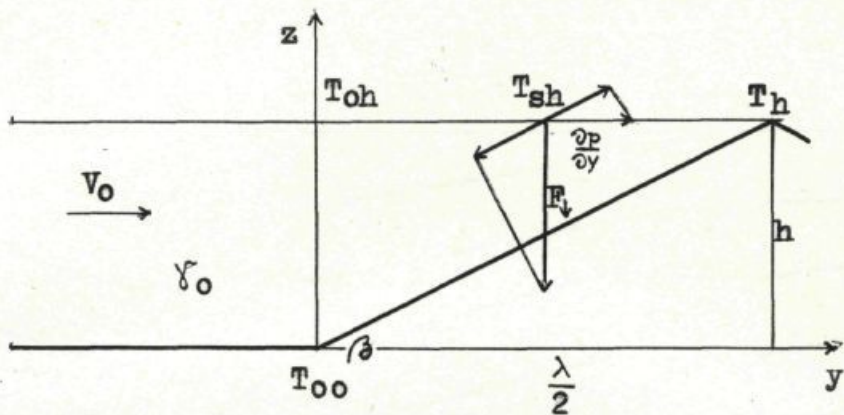
Sl-I-1



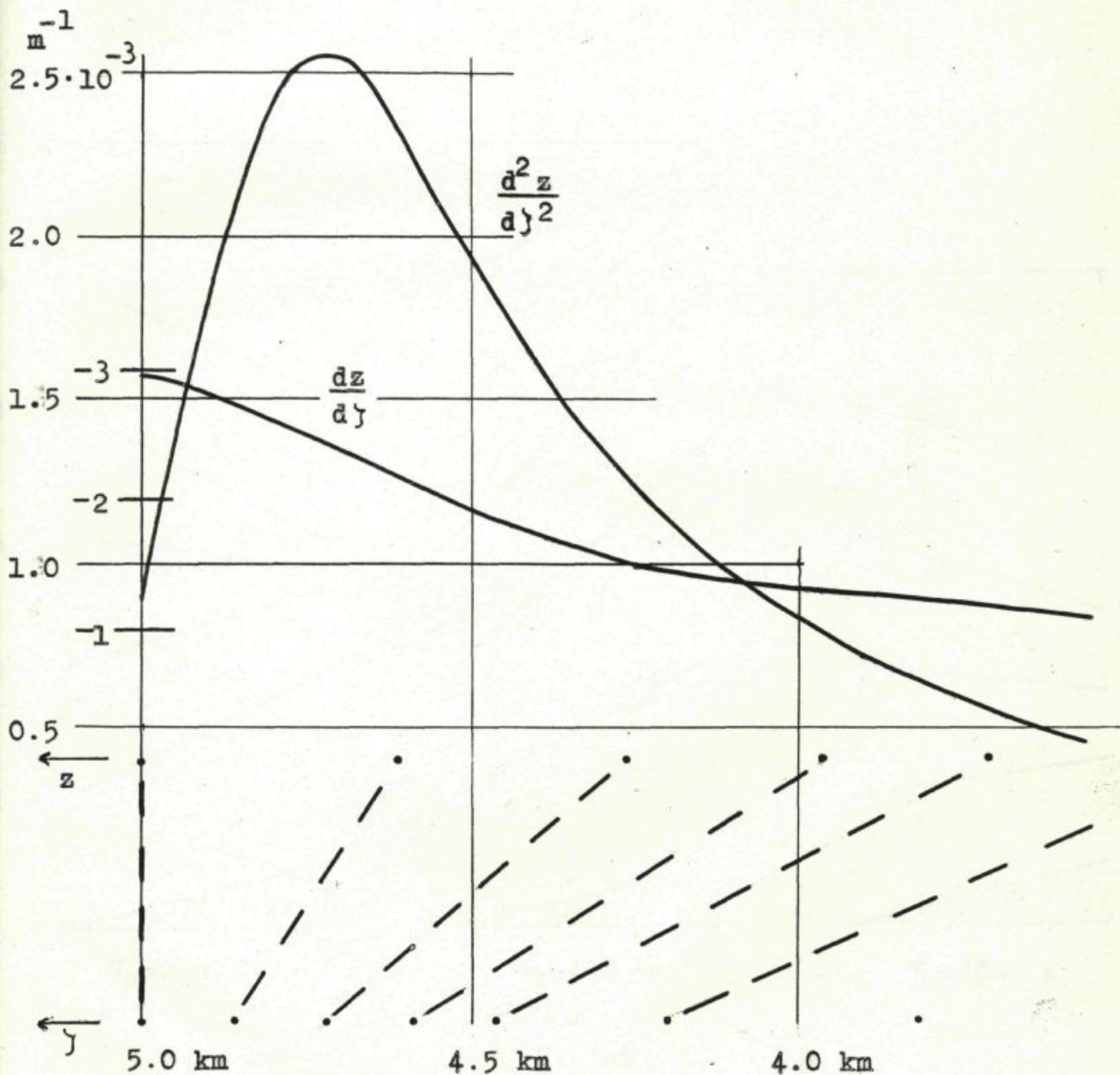
Sl-I-2



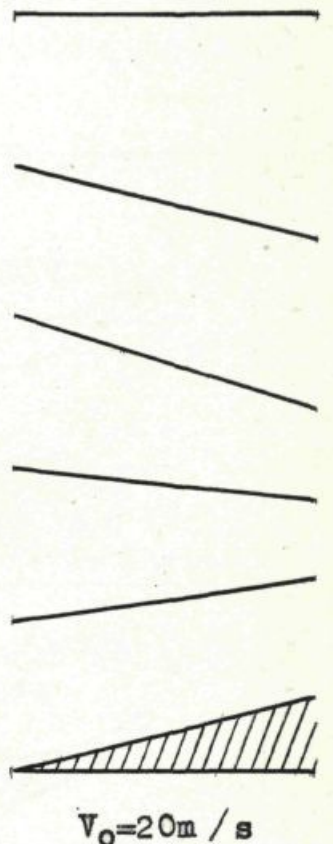
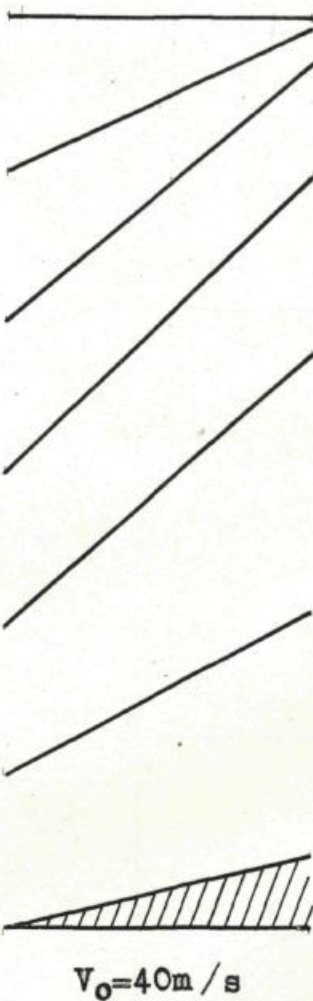
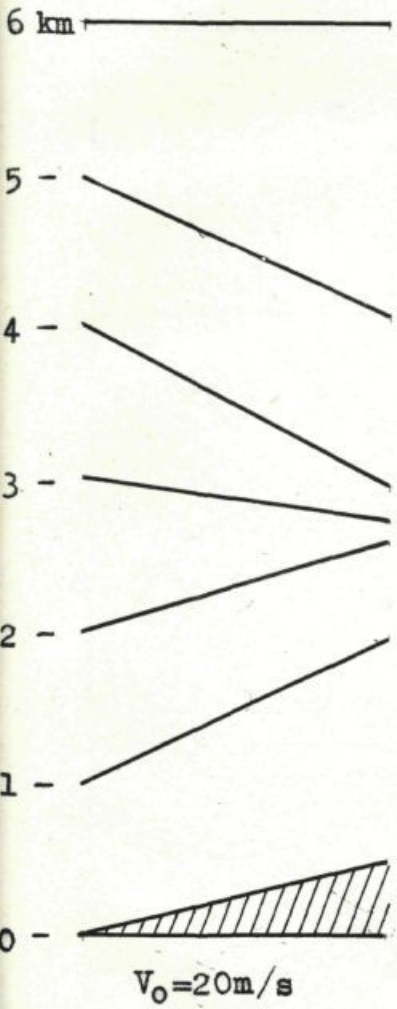
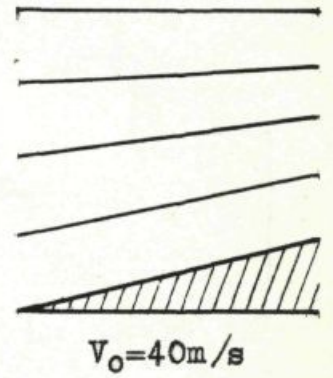
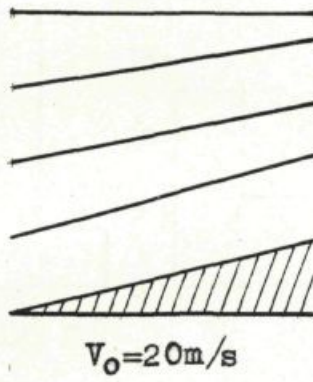
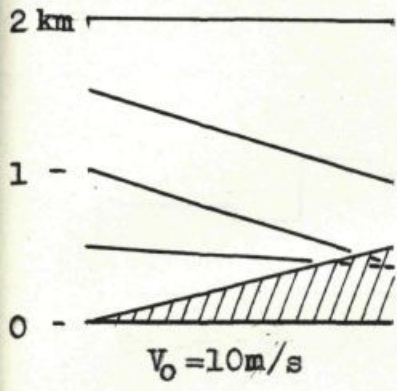
Sl-I-3



SI-I-4

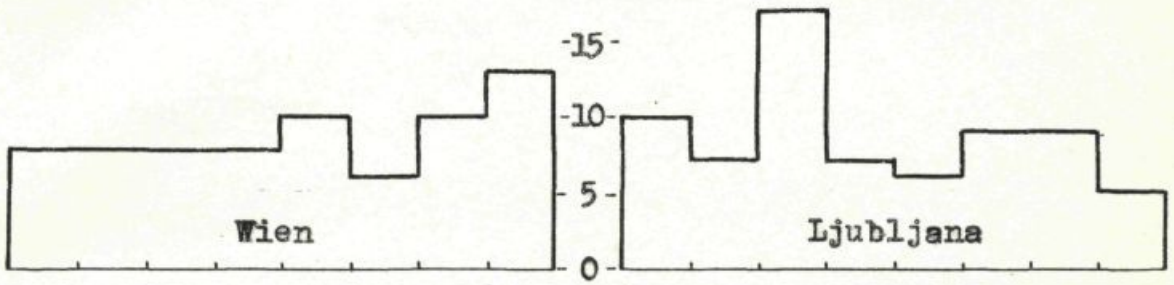
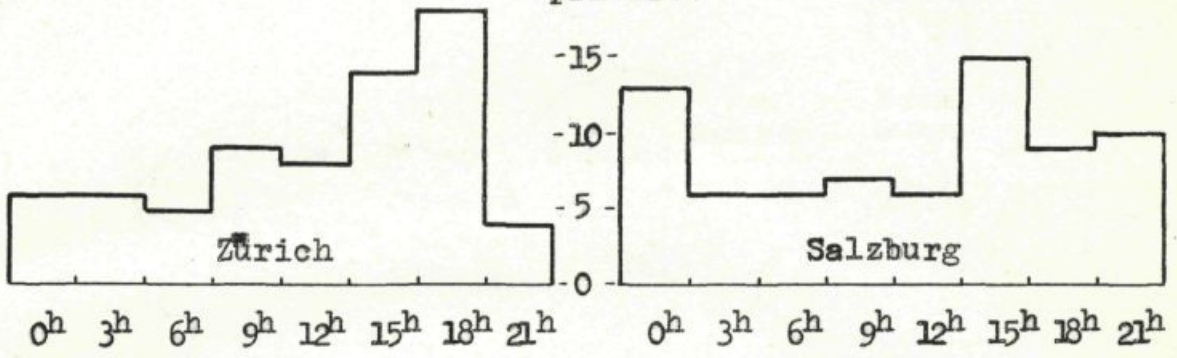


SI-I-6

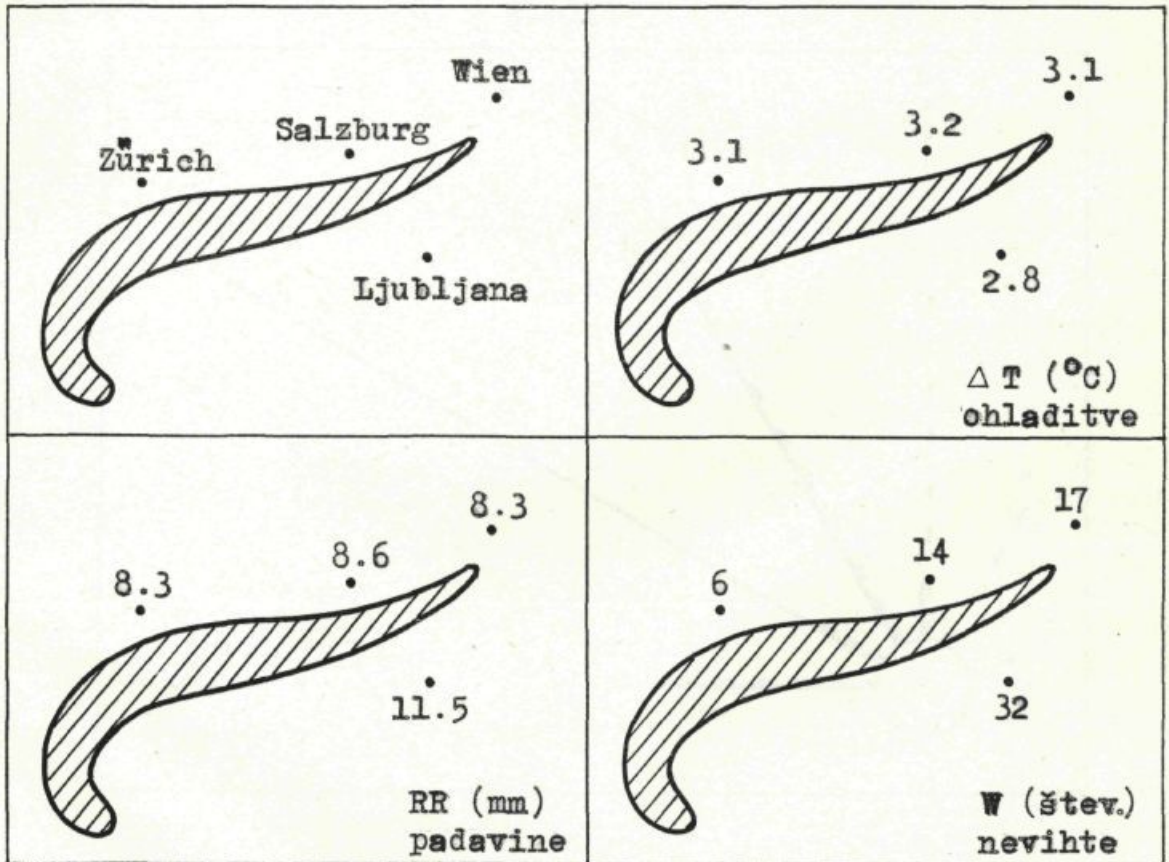


Sl-I-5

Štev. primerov SL-II-1

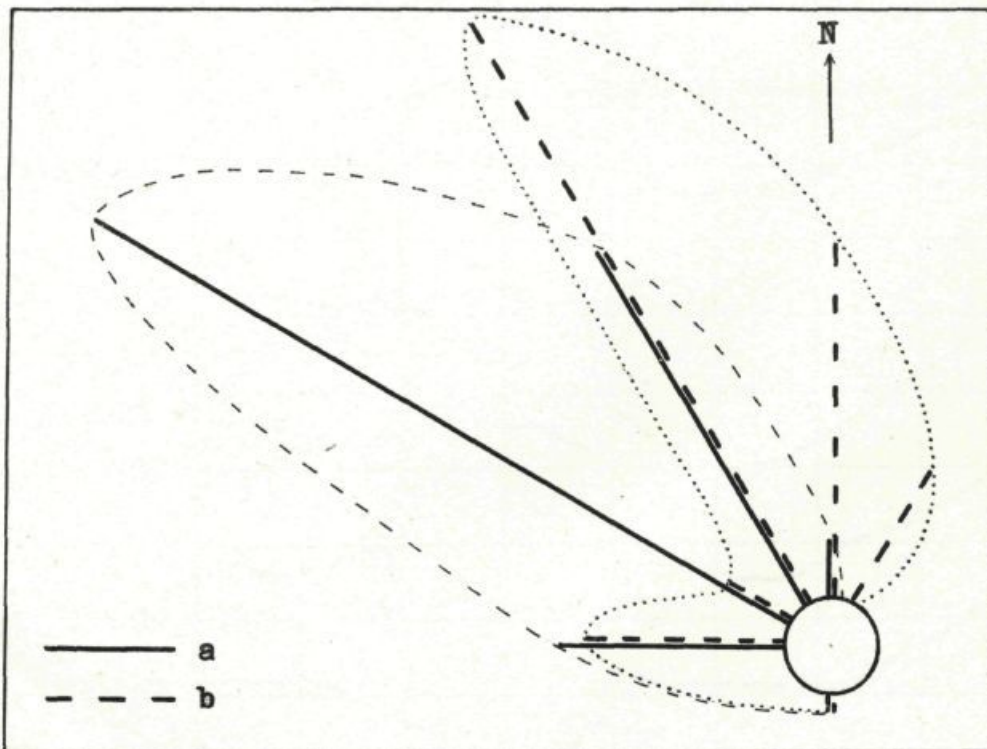


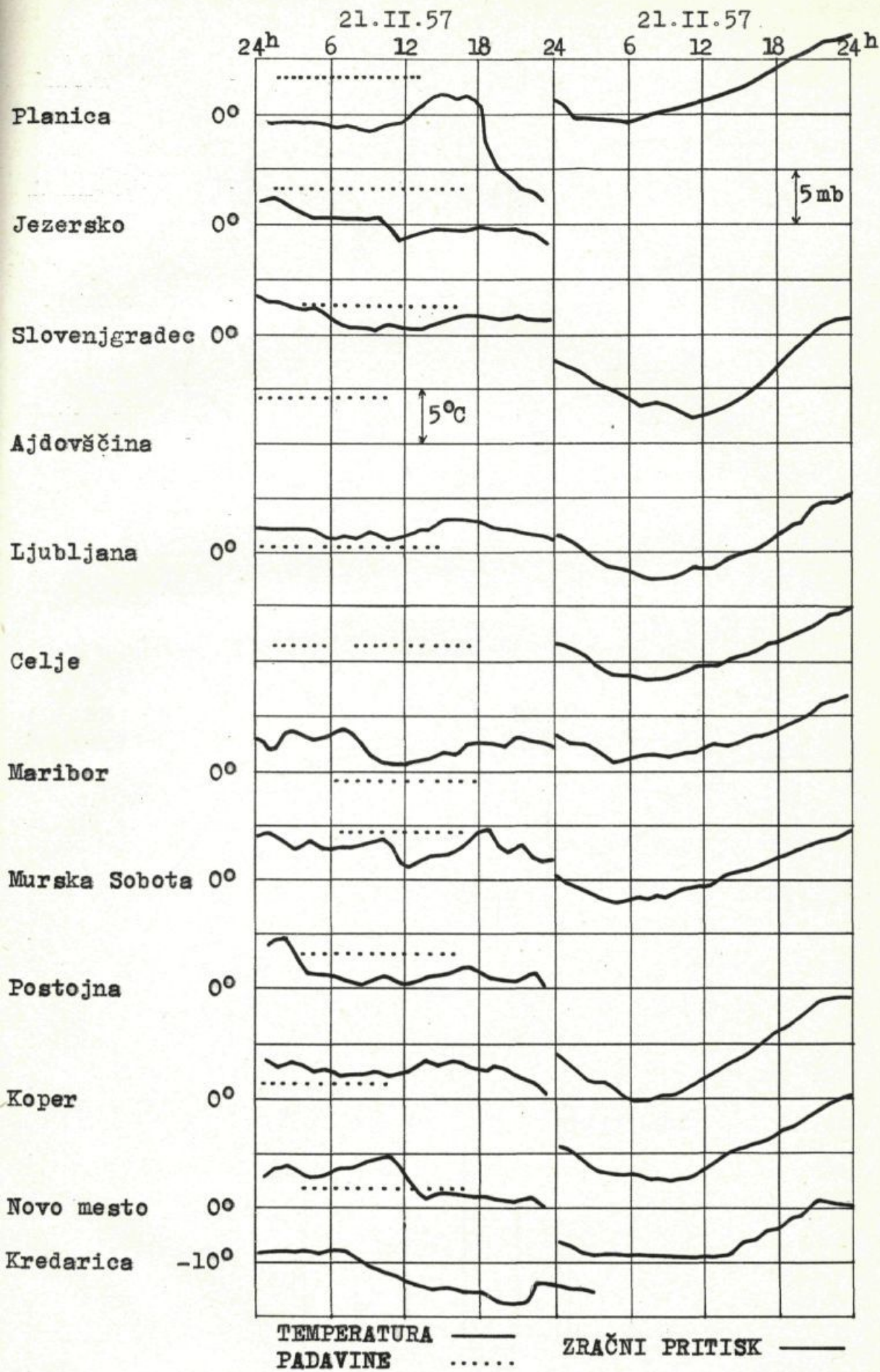
SL-II-2

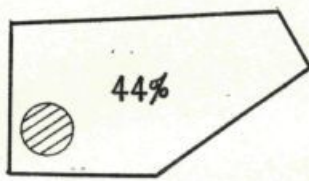




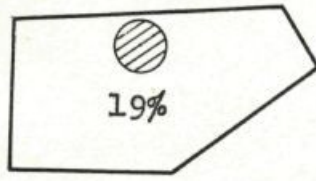
SI-III-2



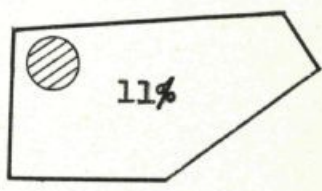




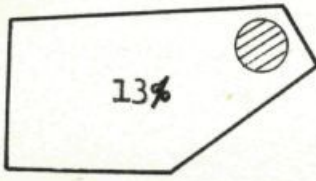
a



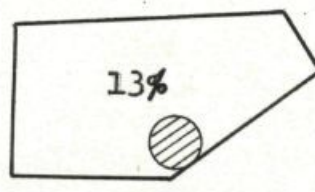
b



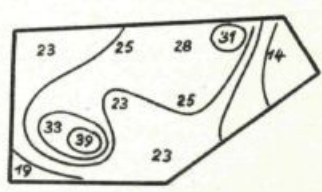
c



d

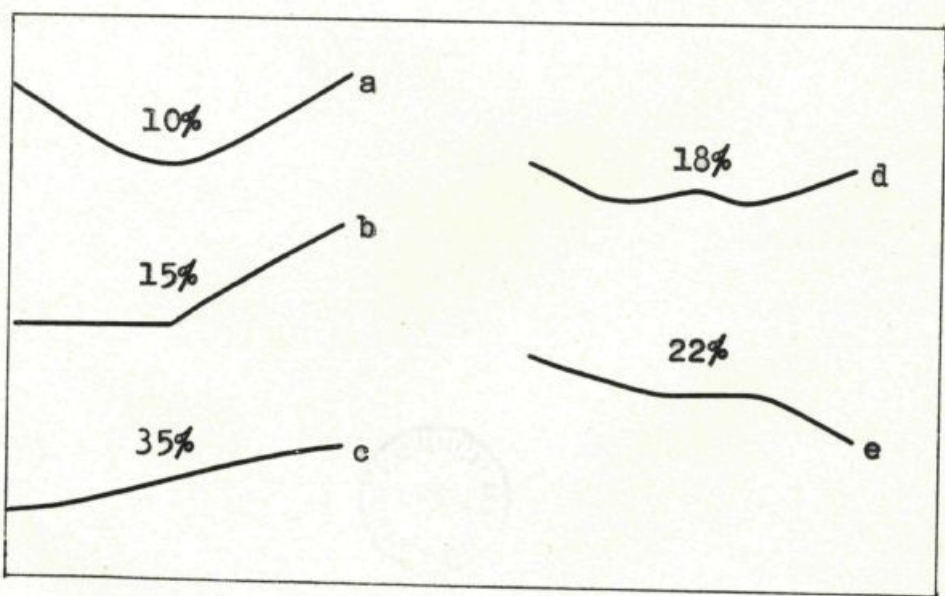


e



primer fr.št.13

Sl-III-7



Sl-III-8

COBISS: 3442488

NARODNA IN UNIVERZITETNA
KNJIŽNICA



00000439126

