

HLADNE FRONTE V OBMOČJU ALP
COLD FRONTS IN THE REGION OF THE ALPS

551.515.8 (23)

ANDREJ ŠEGULA

Meteorološki zavod SRS, Ljubljana

SUMMARY

Our dealing with cold fronts was based on the Zürich Calendar of Fronts, on the surface weather maps and on data about the weather development in Meteorological Institute of Ljubljana, taken for the period from 1961 to 1971. The year 1966 was left out, as the data presented in the calendar of fronts for 1966 differ from the data for the other years. From the calendar of fronts the following data were taken: number, kinds and intensity of fronts, as well as directions of arrival of fronts to Zürich. On the surface weather maps for Ljubljana the number, kinds and directions of fronts in Ljubljana were determined. Data obtained at the measurement station in Ljubljana served for determination of precipitations quantities and temperature differences accompanying cold fronts (and so intensities of cold fronts are determined as well), and storminess accompanying cold fronts. The following results were obtained by having taken statistical mean quantities.

All kinds of fronts on both sides of the Alps are almost equal in number, but in Zürich the cold ones are more frequent and the warm and occluded ones are less frequent, as compared to Ljubljana. Most of cold fronts arrive to Zürich from the W to NW direction, and to Ljubljana from the NW to N direction. As to the intensities of cold fronts, they are about the same on both sides of the Alps, however, they are stronger at the W direction of their arrival to Zürich, as compared to NW. In Ljubljana, intensities are in almost no dependence on the direction of arrival of fronts. Cold fronts, which keep the W direction when crossing the Alps, are most frequently fast or most frequently slow as well. In Ljubljana, cold fronts are most expressive in late summer, while in Zürich there are no essential differences during the year.

POVZETEK

Obravnavo hladnih front sloni na nižinskih vremenskih kartah in podatkih

od leta 1961 do 1971 (brez 1966).

Skupno število vseh vrst front na obeh straneh Alp je skoraj enako, toda v Zürichu je več hladnih ter manj toplih in okludiranih kot v Ljubljani. Večina hladnih front pride v Zürich iz smeri od W do NW, v Ljubljano pa od NW do N. Jakosti hladnih front so na obeh straneh Alp približno enake, vendar so večje, če pridejo iz bolj zahodne smeri v Zürich kot iz severozahodne. Jakosti v Ljubljani skoraj niso odvisne od smeri prihoda front k nam. Hladne fronte, ki obdržijo pri prekoračitvi Alp zahodno smer, so najbolj pogosto hitre ali tudi najbolj pogosto počasne. Hladne fronte so pri nas najbolj izrazite v poznem poletju, medtem ko v Zürichu med letom ni bistvenih razlik.

UVOD

Članek podaja najprej število vseh vrst front v Zürichu in Ljubljani ter porazdelitev hladnih front po smereh prihoda na obeh straneh Alp za dobo 10 let (1961 - 1971, brez 1966). Sledi statistična obravnava hladnih front, ki so prešle Alpe. V njej je podana primerjava jakosti front v Zürichu in Ljubljani. Posebej so za Ljubljano določene ob hladnih frontah še ohladitve in količina padavin ter nevihtnost ob hladnih frontah. Tu je zajeto razdobje 8 let (1963 - 1971). Vsi rezultati predstavljajo poprečja za ta čas in so prikazani z ozirom na spremembe smeri front pri prehodu čez Alpe. Pri identifikaciji in analizi front so bili viri züriški koledar front ter nižinske sinoptične karte in Razvoj vremena na Meteorološkem zavodu SRS v Ljubljani.

Statistična poprečja niso posebej obdelana glede odstopanj posameznih parametrov. Sicer pa vemo, kaj pomeni poprečje tako spremenljivega parametra, kot so npr. padavine. Nekateri rezultati za posamezna leta so na razpolago v knjižnici Katedre za meteorologijo v Ljubljani.

METODA DELA

Kot osnovo za analizo front smo uporabili züriški koledar front od leta 1961 do 1971. Odpadlo je leto 1966, ker se formular s podatki za to leto precej razlikuje od drugih (ni podatkov o jakosti, večkrat ni jasno definiran čas prehoda in obstoj fronte). Smeri prihodov front v Zürich so v omenjenem koledarju označene s koti po $22,5^\circ$ (W, WNW, NW ...) za leta 1967 - 1971. Smeri hladnih front za Ljubljano in za druga leta za Zürich pa smo določili na ljubljanskih nižinskih sinoptičnih kartah s pravokotnico na fronto, ko je bila le-ta v neposredni bližini kraja, ker smo že prej ugotovili zadovoljivo ujemanje glede smeri s podatki v koledarju.

Čas prihoda v Zürich je določen z natančnostjo $\pm 1,5$ ure. Jakost front je v koledarju definirana takole: 0 (padavin manj kot 2 mm, ohladitev manjša od 2°C ali v oznakah: $RR < 2$, $\Delta T < 2$), jakost 1 ($5 > RR \geq 2$, $3 > \Delta T \geq 2$) in 2 ($RR \geq 5$, $\Delta T \geq 3$). Izpolnjen mora biti vsaj en od obeh pogojev. V konkretnem primeru določa jakost parameter z večjo vrednostjo glede na predpisane. Sicer pa züriški koledar pogosto daje samo podatke o jakosti front in ne posebej o količini padavin in ohladitvi.

Pri identifikaciji front v Ljubljani smo uporabili samo nižinske sinoptične karte. Ker se je velikokrat zgodilo, da so bile v züriškem koledarju označene fronte, ki jih na teh kartah ni, smo zaradi enotnega merila te fronte izpustili, kot da jih res ni bilo, saj je le tako možna primerjava. Največ takih front je toplih, ki imajo skoraj vedno jakost 0 (90% primerov) in so najbolj pogoste v topli polovici leta. Sledijo hladne fronte. Teh poleti največkrat ni najti na naših kartah takrat, ko se za glavno hladno fronto v hladnem zraku zaradi sončnega obsevanja in povečane labilnosti pojavljajo nevihte. Zato so lahko te "navidezne" hladne fronte celo močnejše od predhodnih, čeprav večinoma niso izražene v polju izobar, kot so to sekundarne hladne fronte. Jakost 0 je v 70% primerov.

Pri okluzijah so skoraj vsa neskladja posledica okludirane sredozemskega ciklona v hladnem delu leta. V Zürichu je npr. označen v koledarju prehod okluzije, medtem ko na ljubljanskih kartah okluzija sploh ne sega do tja. Verjetno so s tem mišljene padavine, ki ob taki situaciji lahko zajamejo večji del severnega Sredozemlja in Alp. Od izpuščenih okluzij jih je 80% z jakostjo 0.

Pri primerjavi jakosti hladnih front v Zürichu in Ljubljani smo upoštevali tiste hladne fronte, ki so prišle v Zürich in severozahodnega kvadranta (smeri od W do NNW) in so prešle Alpe. Izpuščene so tiste fronte, pri katerih je nastal izrazitejši val oziroma ciklon v Sredozemlju. Nadalje so odpadle pri primerjavi tiste hladne fronte, ki so imele v Ljubljani jakost 0 in ni bilo ob njih niti padavin niti ohladitev ter so bile izražene samo v polju izobar in so bile vrisane na sinoptičnih kartah. Za hladne fronte, ki so v Ljubljani povzročile otoplitve (celo do $+2^\circ\text{C}$), smo šteli, kot da so bile brez ohladitev ($\Delta T = 0^\circ\text{C}$). V züriškem koledarju ni razlage za take primere, ki so vsekakor specifični za ljubljansko kotlino. Sicer jih je pa tako malo, da ne morejo biti vzrok za večja razhajanja pri določanju jakosti na obeh straneh Alp.

Hladne fronte, ki so prešle Alpe in so imele pri nas smer NNE, smo šteli kar med tiste s smerjo N, ker jih je bilo v 8 letih, ki jih obsega primerjava, le 6. Fronte s smerjo NE v Ljubljani nismo primerjali, ker so se razmere pri takem prehodu čez Alpe že zelo spremenile (pogosto se je z juga že okrepil greben anticiklona).

Za trajanje prehoda hladne fronte v Ljubljani smo vzeli čas najmanj 4

ur in največ 8 ur. Pri tem velja daljše obdobje predvsem pozimi in krajše poleti. Trajanje prehoda, padavine in ohladitve smo določali iz Razvoja vremena opazovalnice v Ljubljani. Prehod je navadno izražen z dolino na barogramu tako, da je v poprečju minimum na sredini časovnega intervala 4 oz. 8 ur. Manjša odstopanja so, če so padavine ali ohladitve časovno premaknjene na eno ali drugo stran.

Padavine pri neki hladni fronti padejo večinoma v času prehoda fronte. Padavine pred prihodom so upoštevane, če ni bilo prekinitve, ker bi sicer lahko pripadale predhodni topli fronti. Meja je 4 ure pred prehodom fronte. Če so trajale padavine še po prehodu in so bile neprekinjene, smo jih šteli še največ 4 ure. Tako obsega maksimalno obdobje padavin 16 ur in se pojavlja le pozimi. Z omenjenimi omejitvami so skoraj povsem izločene tudi nevihtne linije (squall lines) in posamezne pofrontalne nevihte v poletnih popoldnevih.

Ohladitve so določene z razliko med poprečno temperaturo 24 ur pred in po prehodu hladne fronte, ne oziraje se na morebitne tople fronte, na radiacijsko ohlajanje, na sončno obsevanje in na padavine. Čas 24 ur je skrčen samo takrat, kadar bi zajel prejšnjo ali naslednjo hladno fronto.

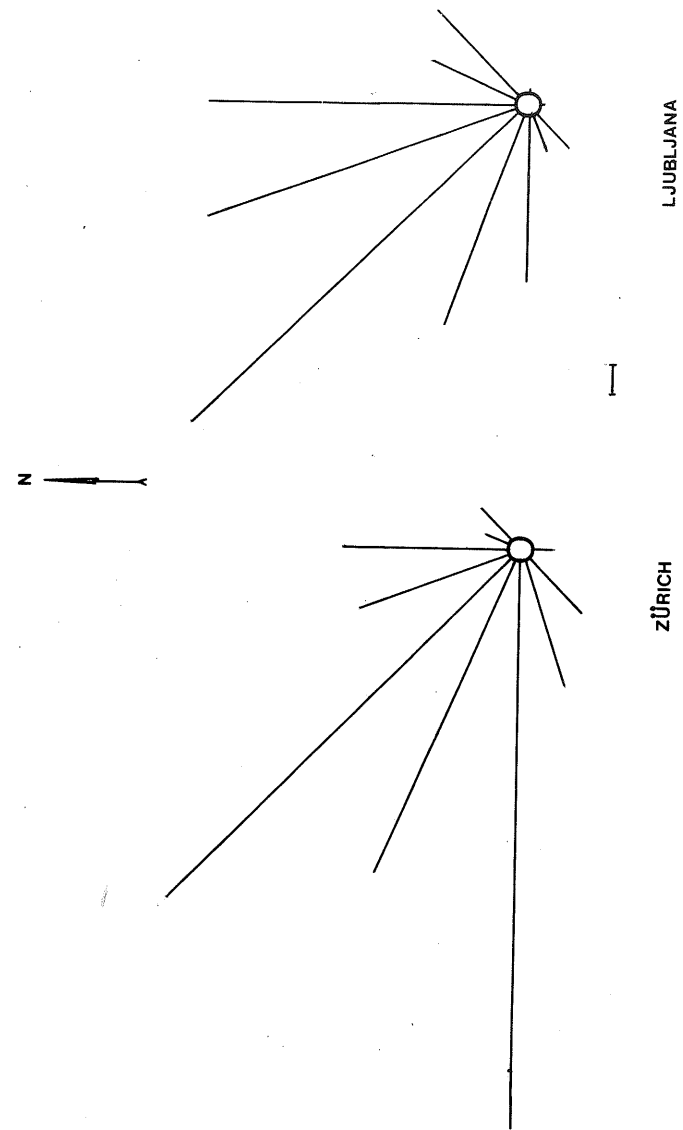
REZULTATI

Vseh front je bilo v obdobju 10 let približno enako veliko na obeh straneh Alp (tabela 1). Posledica nastanka sredozemskih ciklonov ali vsaj izrazitejših valov na hladnih frontah v hladni polovici leta ob njihovem prehodu

Tabela 1 Število front v Zürichu in Ljubljani, ki so na ljubljanskih nižinskih sinoptičnih kartah, in število tistih front, ki jih vsebuje züriški koledar front, pa jih ni na naših nižinskih kartah (označeno z "ni"), za dobo 10 let.

Table 1 Number of fronts in Zürich and in Ljubljana, indicated on Ljubljana synoptical map, and number of fronts indicated on Zürich map of fronts, but not indicated on our surface maps (marked by "ni"), for the period of 10 years.

	hladne fronte	ni	tople fronte	ni	oklu- zije	ni	Skupaj
Zürich	662	90	430	186	221	32	1313
Ljubljana	583		452		292		1327



Slika 1 Porazdelitev hladnih front iz tabele 1 po smereh prihoda v Zürich in Ljubljano. Enota dolžine na sliki pomeni 10 hladnih front.

Fig. 1 Distribution of cold fronts from Table 1 according to directions of arrival to Zürich and Ljubljana. Unit of length is equal to 10 cold fronts.

čeh Alpe je manjše število hladnih ter večje število toplih front in okluzij v Ljubljani. Ti valovi ali cikloni namreč vplivajo na vreme pri nas skoraj izključno le z advekcijo toplega zraka. Tako nastale fronte predstavljajo za Ljubljano nekakšen "nadomestek" za tiste z Atlantika, ki na naši zemljepisni dolžini pogosto zajamejo le še kraje na severnem robu Alp. Prej omenjeni valovi nad Balkanom velikokrat izginejo in potujejo naprej spet samo hladne fronte.

Iz slike 1 je razvidno, da je večina hladnih front v istem obdobju 10 let prišla v Zürich iz smeri W do NW. Vpliv Alp se vidi iz spremembe smeri, saj doseže večina front Ljubljano iz smeri od NW do N. Vendar moramo najbrž tu upoštevati še nekoliko južnejšo lego Ljubljane od Züricha ter ukrivljenost front, ker je že samo to lahko vzrok, da ima ista hladna fronta pri nas nekoliko spremenjeno smer.

Nekatere značilnosti hladnih front, ki so prišle v 8 letih v Zürich iz severozahodnega kvadranta in so prešle Alpe brez večjih transformacij, kažejo tabele 2 do 5.

V tabeli 2 pomeni nastanek ciklona že tudi nastanek izrazitejšega vala na hladni fronti. Razlog za pogostejšo ciklogenezo v Sredozemlju pri hladnih frontah, ki imajo v Zürichu bolj zahodno smer, moramo najbrž iskati v večji izrazitosti teh front, saj je pri njih polarna fronta nad zahodno Evropo največkrat precej južneje, kot pri frontah, ki imajo bolj severno smer. Pri le-teh je skoraj vedno nad jugozahodno Evropo greben anticiklona, kar lahko preprečuje omenjeno ciklogenezo.

Tabela 2 Število hladnih front, pri katerih je nastal sredozemski ciklon, in število hladnih front, ki so razpadle na poti čez Alpe, v odvisnosti od smeri prihoda v Zürich v % za dobo 8 let.

Table 2 Number of cold fronts where Mediterranean cyclone was generated, and number of cold fronts which were broken when crossing the Alps, in the dependence of direction of arrival to Zürich, in percentage, given for the period of 8 years.

smer	nastal ciklon	razpadle fronte
W	27	15
WNW	30	7
NW	20	14
NNW	20	13

Vpliv Alp na spremembo smeri gibanja hladnih front od zahodne na severno je največkrat pogojen s tem, da fronte za Alpami nekoliko zastanejo in dobijo tako lego, ki jo določa alpski greben. Ta poteka na zahodnem delu od jugozahoda proti severozahodu in na vzhodnem delu od zahoda proti vzhodu. Zato nas tudi ne preseneča, da dobe tiste hladne fronte, ki so imele v Zürichu bolj severno smer, pri nas bolj zahodno smer (tabela 3).

Delni vzrok za nadpoprečne jakosti v Ljubljani pri hladnih frontah, ki so spremenile smer od zahodne na bolj severno (tabela 3a), je lahko poletna frontogeneza na našem področju. Takrat so namreč naši kraji velikokrat na meji med sredozemskim anticiklonom in med ciklonskim področjem polarne fronte severno od nas. To so pri nas tudi najbolj nevihtne hladne fronte. Sicer pa je treba upoštevati kot primarni razlog to, da so v Zürichu in pri nas najbolj izrazite tiste hladne fronte, ki imajo v Zürichu bolj zahodno smer prihoda, ker ima polarna fronta takrat nižjo lego nad zahodno Evropo (tabela 3b). S tem v zvezi je treba omeniti še jugozahodnik pred temi frontami, ki dovaja nad Alpe bolj vlažen zrak. Tudi nevihtnost v Ljubljani je ob hladnih frontah, ki imajo v Zürichu bolj zahodno smer, največja.

Vsi že omenjeni razlogi vplivajo na to, da ni večjih razlik v jakosti hladnih front v Ljubljani ob različnih smereh vpada k nam. Močnejše ohladitve pri bolj severnih prodorih hladnih front v Ljubljano (tabela 3a, c) kažejo lahko to, da pride k nam po prehodih teh front direktno s severa bolj hladen in suh zrak kot pri bolj zahodnih prodorih, ko je hladen zrak vlažnejši in že bolj transformiran.

Glede naviht v Ljubljani je treba reči še to, da se pojavljajo ob tistih hladnih frontah, ki pridejo k nam s severozahoda, skoraj le poleti. Z ozirom na dnevni čas pride 57% nevihtnih hladnih front k nam podnevi (od 9. do 21. ure), in 43% ponoči (od 21. do 9. ure). Za vse hladne fronte, ne glede na nevihte, so ti procenti ravno 50 in 50. Nevihte v Ljubljani se pojavljajo pri 39% hladnih front, ki nas dosežejo podnevi in pri 29% tistih, ki pridejo ponoči.

Poprečna jakost hladnih front za 8 let je 1,5 v Zürichu in Ljubljani. Poprečna količina padavin na hladno fronto je v Ljubljani v tem času 9,5 mm in poprečna ohladitev 2,7°C.

V tabeli 4 so hitre hladne fronte tiste, ki so potovale čez Alpe manj kot 8 ur, ne glede na smer, in počasne tiste, ki so za to pot rabile več kot 24 ur.

Presenetljivo je, da hitrost hladnih front ni dosti odvisna od smeri, ki jo imajo v Zürichu. To pomeni, da odtehta velika hitrost zahodnih front, ki to smer obdržijo do nas, zakasnitev tistih, ki zaradi zaostanka za

Tabela 3 Poprečne jakosti hladnih front v Zürichu in Ljubljani, poprečne vrednosti padavin in ohladitev v Ljubljani, število front ter odstotki hladnih front z nevihtami v Ljubljani za dobo 8 let v odvisnosti od:

- a) spremembe smeri hladne fronte pri prehodu čez Alpe,
b) smeri hladne fronte v Zürichu,
c) smeri hladne fronte v Ljubljani.

Table 3 Mean intensities of cold fronts in Zürich and Ljubljana, mean values of precipitations and temperature differences in Ljubljana, number of fronts and percentage of cold fronts with storms in Ljubljana, for the period of 8 years, in dependence of:
a) change of direction of a cold front when crossing the Alps,
b) direction of a cold front in Zürich,
c) direction of a cold front in Ljubljana.

a) sprem. smeri	jakost		\overline{RR}	$\overline{\Delta T}$	štev. front	nevihtne fronte
	Zürich	Ljubljana				
W — W	1,3	1,6	6,2	2,6	15	40
WNW	1,7	1,6	11,9	2,4	28	42
NW	1,6	1,6	9,7	3,1	25	52
NNW	1,6	1,9	13,6	3,5	7	57
N	1,7	1,3	11,5	4,1	7	29
WNW — WNW	1,6	1,1	7,2	1,2	10	20
NW	1,8	1,4	13,3	2,4	17	41
NNW	1,8	1,7	9,3	3,6	10	30
N	1,7	1,7	15,2	3,0	7	43
NW — WNW	1,0	1,0	0,7	1,8	2	0
NW	1,6	1,5	9,1	3,2	27	22
NNW	1,3	1,3	8,8	2,6	24	21
N	1,3	1,5	6,5	2,9	16	25
NNW — NW	1,0	1,3	6,1	1,2	3	0
NNW	1,2	1,2	10,2	1,9	12	41
N	1,3	1,2	4,1	2,2	8	0
b) smer v Zürichu						
W	1,6	1,6	10,7	2,8	82	45
WNW	1,7	1,5	11,8	2,6	44	34
NW	1,4	1,4	8,1	2,8	69	22
NNW	1,2	1,2	7,1	1,9	23	21
c) smer v Ljubljani						
W	1,3	1,6	6,2	2,6	15	40
WNW	1,6	1,4	10,1	2,2	40	35
NW	1,6	1,5	10,2	2,8	72	36
NNW	1,5	1,5	9,8	2,8	53	32
N	1,5	1,5	8,6	2,9	38	24

Tabela 4 Število hitrih in počasnih hladnih front ter njihove poprečne jakosti v Ljubljani za dobo 8 let glede na:

- a) spremembo smeri hladne fronte pri prehodu čez Alpe,
b) smer hladne fronte v Zürichu,
c) smer hladne fronte v Ljubljani.

Table 4 Number of fast and slow cold fronts and their mean intensities in Ljubljana, for the period of 8 years, according to:
a) change of direction of a cold front when crossing the Alps,
b) direction of a cold front in Zürich,
c) direction of a cold front in Ljubljana.

a) sprem. smeri	štev. hitrih front v %	jakost hitrih front	štev. počasnih front v %	jakost počasnih front
W — W	53	1,5	20	1,3
WNW	29	1,4	4	2,0
NW	28	1,6	14	1,7
NNW	0		14	2,0
N	14	0,0	14	1,0
WNW — WNW	50	0,9	10	0,0
NW	41	1,1	12	1,5
NNW	10	2,0	20	2,0
N	14	2,0	14	2,0
NW — WNW	50	0,0	0	
NW	26	1,3	7	2,0
NNW	25	1,5	0	
N	12	2,0	25	1,5
NNW — NW	33	2,0	0	
NNW	42	1,2	8	2,0
N	25	1,5	25	1,5
b) smer v Zürichu				
W	29	1,4	11	1,6
WNW	32	1,1	14	1,5
NW	23	1,4	10	1,7
NNW	34	1,4	13	1,7
c) smer v Ljubljani				
W	53	1,5	20	1,3
WNW	35	1,1	5	1,0
NW	31	1,4	10	1,7
NNW	23	1,4	8	2,0
N	16	1,5	21	1,5

Alpami pridejo k nam s severozahoda. To je razvidno iz spodnjega dela tabele 4, kjer vidimo, da so zahodne hladne fronte obenem tudi zelo pogosto počasne ("normalno" hitrih je le 27%).

Zanimivi so še naslednji podatki: 42% hitrih hladnih front se je pri nas pojavilo podnevi in 58% ponoči. Odstotki nevihtnih hladnih front so naslednji: 19 pri hitrih, 36 pri "normalno" hitrih in 48 pri počasnih.

Za tiste hitre hladne fronte, ki obdržijo pri prehodu čez Alpe bolj zahodno smer, lahko ocenimo, da imajo hitrost večjo od 60 km/h, za počasne pa manjšo od 20 km/h, če računamo z zračno razdaljo med Zürichom in Ljubljano, ki je 470 km.

Majhno število hladnih front v hladni polovici leta (tabela 5) je predvsem posledica razvoja že omenjenih izrazitejših valov ali sekundarnih ciklonov v Sredozemlju. Eden izmed vzrokov, da so jakosti hladnih front v Zürichu vse leto približno enake, je lahko lega Zürichu izven področja frontogeneze poleti. Gotovo je to, da je Zürich bolj odprt direktnim atlantskim vplivom, še posebno zaradi Alp, kot Ljubljana.

Tabela 5 Poprečne jakosti hladnih front v Zürichu in Ljubljani ter poprečne količine padavin in ohladitve v Ljubljani za dobo 8 let v odvisnosti od mesecev v letu.

Table 5 Mean intensities of cold fronts in Zürich and in Ljubljana and mean quantities of precipitations and temperature differences in Ljubljana, for the period of 8 years in the dependence of the months of a year.

mesec	jakost v Zürichu	jakost v Ljubljani	\overline{RR}	$\overline{\Delta T}$	število hladnih front
J	1,6	1,5	9,5	0,7	10
F	1,6	1,2	7,6	1,7	14
M	1,6	1,3	5,3	2,1	14
A	1,6	1,3	8,1	2,5	18
M	1,4	1,2	6,9	3,0	23
J	1,4	1,5	8,0	3,0	25
J	1,5	1,6	10,0	3,1	25
A	1,5	1,6	13,0	3,2	32
S	1,6	1,7	15,0	2,6	21
O	1,6	1,5	12,9	2,3	10
N	1,5	1,3	6,6	3,2	16
D	1,4	1,4	3,9	1,8	10

Tako smo spoznali nekaj značilnosti o učinkih in spremembah smeri ter o hitrosti gibanja hladnih front na območju Alp. Rezultati so izraženi s "prizemnimi" parametri. Za bolj popoln prikaz dogajanj ob prehodih hladnih front prek Alp bi bilo treba upoštevati še druge, zlasti višinske parametre. Potem bi bili tudi rezultati, kakršni so zdaj, bolj podprti.

LITERATURA

- /1/ Petkovšek Z.: Prehod hladnih front prek Alp in njih vpliv na vreme v Sloveniji, Disertacija, Ljubljana, 1961.
- /2/ Pettersen S.: Weather analysis and forecasting, Vol. 1, McGraw-Hill, 1956.
- /3/ Brádka J.: Vznik podružne studené fronty v severozápadním Proudení dne 4.2.1964, Meteorologické Zprávy, 3, 1974.
- /4/ Bosart F., Pagnotti V., Lettau B.: Climatological aspects of Eastern United States back door cold frontal passages, Monthly Weather Review, No. 8, August 1973.
- /5/ Nielsen A.W.: Compendium of meteorology, Vol. 1, part 1, WMO 1973.
- /6/ Čadež M.: Uvod u dinamičku meteorologiju, I. deo, Beograd 1959.
- /7/ Radinović D.: Analiza vremena, Beograd, 1968.