

**RAZPRAVE
PAPERS**

**Letnik 20
2**

VSEBINA - CONTENTS:		Stran
J. Rožkar:	Poskus določitve klime s faktorsko analizo in taksonomijo An attempt to determine the climate by using factor analysis and taxonomy	51
Z. Petkovšek:	Periodičnost sunkov burje Periodicity of bora gusts	67
D. Furlan:	Vpliv reliefa na meglo v nekaterih predelih Slovenije Influence of relief on fog in some regions of Slovenia	77
A. Šegula:	Hladne fronte v območju Alp Cold fronts in the region of the Alps	89

JOŽE ROŠKAR

Meteorološki zavod SRS, Ljubljana

SUMMARY

The idea of this attempt was to determine the climatic regions, by taking into consideration all the data available at a certain measurement point. Weather parameters, observed or measured at a certain station, represent a vector, where the number of coordinates is the same as the number of parameters which are being measured. As the subject in question is the climate, every weather parameter is a time function itself, which means that we are dealing with a vector, the coordinates of which are time functions. In this attempt, standard climatological derived data (mean values, etc.) were taken as coordinates. We are trying to solve the problem by comparing several vectors of the kind, each of them representing one measurement point. Such points are usually called stations. Vectors can be represented as points in a space, the dimensions of which are the number of coordinates, thus the number of considered values of weather parameters. The basis for classification are Euclidean distances, measured among separate points. The smaller is the distance between the two points, the greater climatological accordance exists between the stations, represented by the two points. In our attempt, the number of coordinates was reduced by using factor analysis. The methods of taxonomy were used for classification.

POVZETEK

Ideja poskusa je določitev klimatskih področij, če pri tem upoštevamo vse podatke, s katerimi razpolagamo na neki merilni točki. Parametri vremena, opazovani ali merjeni na neki postaji, predstavljajo vektor s toliko koordinatami kolikor parametrov vremena merimo. Ker govorimo o klimi, je vsak parameter vremena zase časovna funkcija, kar pomeni, da imamo opraviti z vektorjem, katerega koordinate so časovne funkcije. V tem poskusu smo kot koordinate upoštevali standardne klimatološke izvedene podatke (povprečne vrednosti itd.). Problem poskušamo rešiti

tako, da primerjamo več takih vektorjev, kjer vsak predstavlja eno merilno točko. Take točke ponavadi imenujemo kar postaje. Vektorje lahko postavimo kot točke v prostoru, katerega dimenzija je število koordinat, torej število upoštevanih vrednosti parametrov vremena. Evklidske razdalje, izračunane med posameznimi točkami so osnova za klasifikacijo.

Čim manjša je razdalja med dvema točkama, tem bolj se postaji, ki ju točki predstavljata, klimatološko ujemata. V našem poskusu smo število koordinat zmanjšali s pomočjo faktorske analize. Za klasifikacijo pa smo uporabili metode taksonomije.

UVOD

Klimo na nekem področju lahko definiramo kot skupek vremenskih dogajanj v prizemni plasti nad istim področjem čez daljši čas. Klasična klimatologija jo opisuje s preprostimi izvedenimi vrednost parametров vremena, največkrat ka z aritmetičnim poprečjem (npr. temperatura) ali poprečnimi vsotami (npr. padavine). S takimi podatki so poskušali klasificirati geografska področja v tako imenovane klimatske rejone glede na vsak opazovani parameter vremena zase. Z rezultati, ponavadi s kartami, so potem poskušali bolj ali manj uspešno dobiti sintezo. Pri takem načinu dela pa naredimo dve očitni napaki. Najprej se nam izgubijo karakteristike časa, saj je vsak parameter vremena, ki ga opazujemo ali merimo, časovna funkcija, ki je samo z aritmetičnim poprečjem ali podobnim pokazalcem ne moremo prikazati. Druga napaka, ki jo naredimo, je v tem, da ne upoštevamo soodvisnosti parametrov vremena, ki jih upoštevamo pri prikazu klime nekega področja. Parametri, ki opisujejo stanje atmosfere, so nedvomno med seboj odvisni. Zaradi tega tudi klime ne moremo opisovati, ne da bi upoštevali medsebojno odvisnost parametrov vremena.

Zaradi tega poskušamo v pričujočem članku obravnavati objektivno opisovanje klime na osnovi čim več razpoložljivih parametrov vremena hkrati, pri čemer upoštevamo njihovo medsebojno odvisnost. V tem poskusu nismo upoštevali časa, kot je to primer v analizi časovnih vrst (markovske verige, spektralna analiza časovnih vrst), ampak smo čas površno zajeli s podatki, kot na primer: število dni z maksimalno temperaturo večjo od 25°C na časovno enoto itd. Zaradi tega bomo vsekakor dobili nekoliko popačeno sliko. Upoštevali pa smo medsebojno odvisnost parametrov vremena, ki smo jih upoštevali. Ne pričakujemo že kar uporabnih rezultatov; poskus želi prikazati objektivno metodo za prikaz klimatskih razmer pri obravnavanju klime. Dobiti želimo objektivni prikaz klimatskih razmer za določeno področje, kjer naj bi bili subjektivni vplivi popolnoma izključeni. Pokazala se bo še ena ugodnost. Ves čas analize bo prisotna metrika, kar pomeni, da lahko rezultate med seboj primerjamo v smislu metrike, torej merimo.

Za poskus oziroma prikaz metode smo izbrali izvedene meteorološke podatke za poletni čas, to je za mesece od maja do septembra za petletno obdobje 1971-1975. Obravnavali smo 50 enakomerno porazdeljenih postaj po celi Sloveniji. Vsekakor rezultati ne bodo dali tega, kot če bi parametre obravnavali kot časovne funkcije, pa tudi petletno obdobje je prekratko za neki določen rezultat; vsekakor pa je vidna uporabnost metode.

OPIS METODE

Denimo, da v nekem kraju merimo N parametrov vremena, oziroma da lahko iz meritev dobimo čez daljši čas N izvedenih vrednosti parametrov vremena. Tako merilno točno lahko definiramo kot vektor z N koordinatami. Zapišemo ga lahko

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_N),$$

kjer predstavlja vsaka od koordinat neko izvedeno vrednost parametra vremena. Denimo še, da imamo M krajev, kjer merimo. Tedaj lahko za neki kraj zapišemo vektor

$$X_i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_N^i); \quad (1)$$

pri tem predpostavljamo, da imamo v vseh krajih enako število izvedenih vrednosti parametrov vremena. Predpostavimo še, da predstavlja vsak od opisanih vektorjev stanje atmosfere v prizemni plasti za daljši čas, torej opisuje klimo v izbrani točki. Grupirati želimo tiste kraje, ki imajo podobno klimo in tako določiti klimatska področja. Med informacije, zajete v vektorju (1) lahko štejemo tudi podatke o geografski legi kraja, kjer merimo.

Vektorji, definirani z izrazom (1) naj predstavljajo točke v N-dimenzionalnem prostoru. Denimo, da v tem prostoru lahko definiramo evklidsko razdaljo med vektorjema X_i in X_j :

$$d_{ij}^2 = \sum_{k=1}^N (x_k^j - x_k^i)^2 \quad (2)$$

Rečemo lahko, da sta si kraja, ki ju predstavljata vektorja X_i in X_j klimatsko tem bolj podobna, kolikor manjša je razdalja, definirana z izrazom (2). Koordinate M vektorjev sestavljajo matriko velikosti $M \times N$, razdalje med njimi pa simetrično matriko velikosti $M \times M$. Problem določitve klimatskih področij smo tako prevedli na problem klasifikacije, kjer je vhodni podatek matrika razdalj.

Poglejmo bližje matriko, ki jo sestavljajo koordinate vektorjev, definiranih z izrazom (1). Vrstice v tej matriki, imenujmo jo A, predstavljajo

posamezne vektorje, stolpci pa izbrane izvedene vrednosti parametrov vremena. Rečemo lahko, da so vrstice posamezna opazovanja v našem poskusu, stolpci pa posamezne slučajne spremenljivke opazovanega slučajnega vektorja. Kadar je velikost matrike A velika, torej kadar obravnavamo večje število izvedenih vrednosti parametrov vremena na večjem številu mernih točk, je smiselno, da število stolpcev reduciramo in tako zmanjšamo velikost matrike A. Več slučajnih spremenljivk, ki jih nastopa v poskusu, ima lahko namreč neke skupne lastnosti. Statistična metoda, ki jo lahko uporabimo za redukcijo večjega števila spremenljivk v manjše število faktorjev, je faktorska analiza /2/. Faktor je neodvisen izvor variacije. Na ta način razdelimo karakteristike oziroma informacije, ki jih vsebujejo spremenljivke, na neodvisne izvore variacije, ki jih je manj ali toliko kot osnovnih spremenljivk. Faktorska analiza razdeli torej spremenljivke na skupine medsebojno nekoreliranih spremenljivk. Ker so slučajne spremenljivke, ki jih študiramo v našem problemu, zelo verjetno medsebojno korelirane, jih lahko reduciramo v manjše število spremenljivk oziroma faktorjev. Če se izrazimo matematično, je vsak faktor neka linearna kombinacija osnovnih spremenljivk.

Denimo sedaj, da imamo $n < N$ faktorjev. Število faktorjev bomo določili tako, da vsi faktorji zajemajo najmanj 95% celotne variance. Opazovane slučajne vektorje, definirane z izrazom (1), projiciramo v prostor, ki ga razpenjajo izbrani faktorji. To je n -dimenzionalen prostor, kjer lahko definiramo kvadrat razdalje analogno razdalji, definirani z izrazom (2):

$$\rho_{ij}^2 = \sum_{k=1}^n (f_k^j - f_k^i)^2 \quad (3)$$

ρ_{ij} je potem evklidska razdalja med projekcijama vektorjev X_i in X_j . Tako dobljeno matriko razdalj (imenujmo jo D) smo uporabili kot vhodni podatek za klasifikacijo. Uporabili smo taksonomsko metodo oziroma t.im. "clustering tehniko" /3/. Pri tem se je zopet potrdila potreba po redukciji koordinat. Matrika razdalj, ki jo dobimo s prvotnimi vektorji, definiranimi z izrazom (1), je namreč singularna in zato neuporabna za klasifikacijo. Le-to smo izvedli po treh strategijah in sicer po maksimalni, minimalni in UPGMA strategiji. Rezultate klasifikacije smo predstavili z dendrogramom /3/, ki je v bistvu neke vrste "drevo", narisano v smislu razdalj matrike D. Podobnost lahko merimo z merilom, priloženim k dendrogramom, le da je odnos obraten, ker smo kot "podobnostno" matriko v klasifikaciji uporabili "nepodobnostno" matriko (disimilarity matrix).

PRAKTIČNI PRIMER

Po opisani metodi smo poskusili klasificirati 50 krajev v Sloveniji. Upo-

števali smo standardne izvedene vrednosti parametrov vremena za čas od 1. maja do 30. septembra, dobljene iz podatkov petletnega niza 1971-1975. Koordinate vektorja, definirane z izrazom (1), predstavljajo v našem primeru podatki, opisani v tabeli 1. Iz pregleda izvedenih vrednosti, ki smo jih uporabili v poskusu, se vidi, da predstavljajo skupine spremenljivk isti parameter vremena. Če pogledamo npr. spremenljivke od zaporedne številke 4 do zaporedne številke 10, opisujejo vse te izvedene vrednosti temperaturo. Torej je dejansko smiselno obravnavane spremenljivke reducirati. Za redukcijo v smislu faktorske analize smo uporabili

Tabela 1 Spisek parametrov vremena, ki smo jih upoštevali pri obravnavi problema.

Table 1 List of weather parameters, taken into consideration when dealing with the problem.

1. nadmorska višina kraja;
2. geografska širina kraja;
3. geografska dolžina kraja;
4. poprečna temperatura, izračunana iz klimatološkega poprečnega $((T_7 + T_{14} + 2 T_{21})/4)$;
5. poprečna maksimalna temperatura;
6. poprečna minimalna temperatura;
7. absolutna maksimalna temperatura;
8. absolutna minimalna temperatura;
9. število dni z maksimalno temperaturo, večjo ali enako 25°C;
10. število dni z maksimalno temperaturo, večjo ali enako 30°C;
11. poprečni pritisk vodne pare;
12. poprečna jakost vetra v Bufforih;
13. odstotek pojavljanja vetra iz smeri N;
14. odstotek pojavljanja vetra iz smeri NE;
15. odstotek pojavljanja vetra iz smeri E;
16. odstotek pojavljanja vetra iz smeri SE;
17. odstotek pojavljanja vetra iz smeri S;
18. odstotek pojavljanja vetra iz smeri SW;
19. odstotek pojavljanja vetra iz smeri W;
20. odstotek pojavljanja vetra iz smeri NW;
21. število dni z jakostjo vetra, večjo ali enako 6 po Bufforu;
22. poprečna dnevna oblačnost v desetinkah;
23. število dni, ko je poprečna dnevna oblačnost manjša od 2/10;
24. število dni, ko je poprečna dnevna oblačnost večja od 8/10;
25. poprečna poletna vsota padavin;
26. število dni s padavinami, večjimi ali enakimi 0,1 mm;
27. število dni s padavinami, večjimi ali enakimi 1,0 mm;
28. število dni s padavinami, večjimi ali enakimi 10,0 mm;
29. število dni s točo;
30. število dni z nevihto;
31. število dni z meglo.

metodo glavnih komponent /2/. Stolpci matrike A, ki predstavlja izvedene vrednosti parametrov vremena, so tedaj vrednosti slučajne spremenljivke, na katerih smo uporabili metodo glavnih komponent. Pogoj za uporabo te metode je, da so spremenljivke normalno porazdeljene. V našem poskusu imamo navidezno opraviti s tremi vrstami porazdelitev, in sicer z normalno, logaritemsko-normalno in enakomerno porazdelitvijo. Na srečo lahko zadnji dve s transformacijami prevedemo na normalne porazdelitve in nato uporabimo metodo glavnih komponent.

Oglejmo si najprej transformacijo, s katero dobimo iz enakomerne porazdelitve normalno. To je t.im. Erf funkcija, oziroma inverzni integral normalne porazdelitve:

$$P(x \leq x_i) = y_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{-\frac{1}{2}t^2} dt. \quad (4)$$

Če je slučajna spremenljivka

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$$

porazdeljena enakomerno, potem je slučajna spremenljivka

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

dobljena s transformacijo (4), porazdeljena normalno s porazdelitvijo $N(0,1)$.

Poglejmo še logaritemsko-normalno porazdelitev. Če je X slučajna spremenljivka in je $Y = \ln X$ normalna porazdelitev, potem rečemo, da je X logaritemsko-normalno porazdeljena slučajna spremenljivka. V našem primeru smo uporabili naslednji transformaciji

$$Y = \ln \left(\frac{x+a}{b} \right) \quad (5)$$

in

$$Y = \ln \left(1 - \frac{x+a}{b} \right), \quad (6)$$

odvisno od tega, ali je originalna porazdelitev levo ali desno asimetrična. V tabeli 2 lahko vidimo, kakšen tip transformacij smo izvedli za posamezne spremenljivke. Zaporedne številke v tabeli 2 se ujemajo s tistimi v tabeli 1. Ilustracije transformacij lahko vidimo na slikah 1, 2 in 3; prikazane so le tipične transformacije.

Na tako transformiranih spremenljivkah smo uporabili metodo glavnih komponent. V ta namen smo izračunali korelacijsko matriko. Lastni vektorji, ki pripadajo lastnim vrednostim korelacijske matrike, so iskani

faktorji, ki pripadajo lastnim vrednostim korelacijske matrike, so iskani faktorji, ki razpenjajo prostor, v katerega smo preslikali vektorje, definirane z izrazom (1). Koordinate smo seveda transformirali v skladu s tabelo 2. Tabela 3 prikazuje uporabljene faktorje.

Tabela 2 Oblike transformacij, ki smo jih naredili na osnovnih spremenljivkah pziroma parametrih vremena z ozirom na tabelo 1.

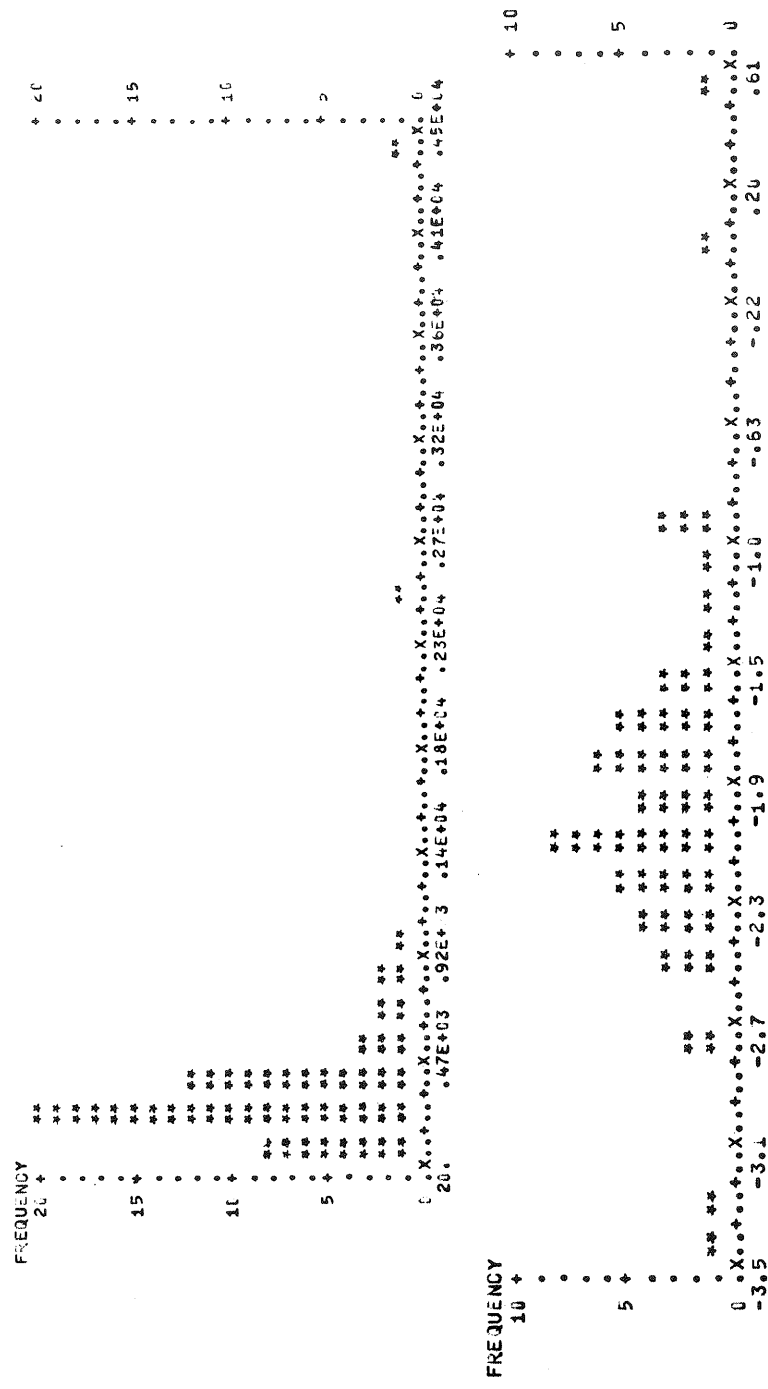
Table 2 Shapes of transformations, carried out at basic variables resp. weather parameters, with regard to Table 1.

1. $y = \ln(x)$	12. $y = \operatorname{erf}(x)$	23. $y = \ln(x)$
2. $y = \operatorname{erf}(x)$	13. $y = \operatorname{erf}(\ln(x))$	24. $y = \ln(1-x)$
3. $y = \operatorname{erf}(\operatorname{erf}(x))$	14. $y = \operatorname{erf}(\ln(x))$	25. $y = \operatorname{erf}(x)$
4. $y = \ln(1-x)$	15. $y = \operatorname{erf}(\ln(x))$	26. $y = x$
5. $y = \ln(1-x)$	16. $y = \operatorname{erf}(\ln(x))$	27. $y = \ln(x)$
6. $y = \ln(1-x)$	17. $y = \operatorname{erf}(\ln(x))$	28. $y = \ln(x)$
7. $y = \ln(1-x)$	18. $y = \ln(x)$	29. $y = \ln(\ln(x))$
8. $y = x$	19. $y = \operatorname{erf}(\ln(x))$	30. $y = \ln(x)$
9. $y = \operatorname{erf}(x)$	20. $y = \operatorname{erf}(\ln(x))$	31. $y = \operatorname{erf}(\ln(x))$
10. $y = \operatorname{erf}(x)$	21. $y = \operatorname{erf}(\ln(x))$	
11. $y = \ln(1-x)$	22. $y = \ln(1-x)$	

Tabela 3 Pregled lastnih vrednosti korelacijske matrike oziroma upoštevanih faktorjev ter pripadajočih varianc.

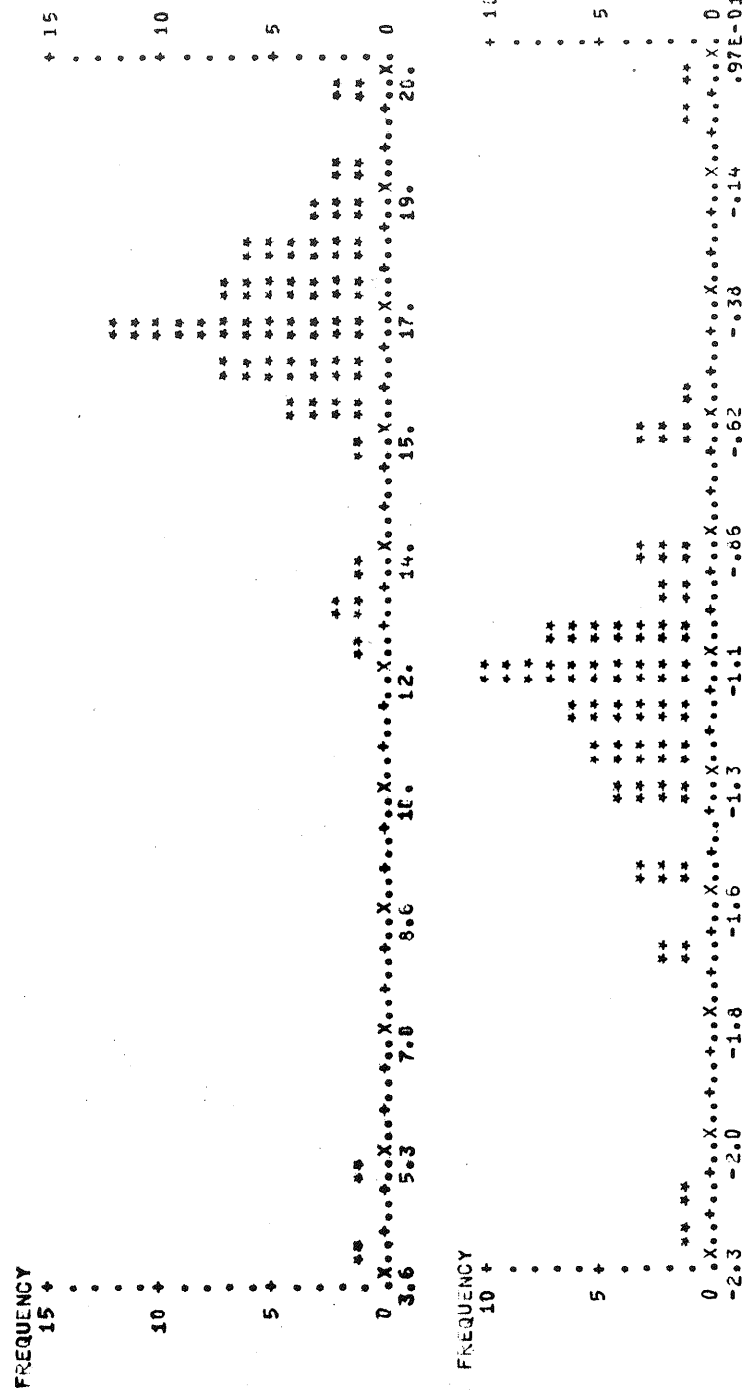
Table 3 Summary of eigen values of correlation matrix resp. of factors taken into consideration and related variances.

zap. št. faktorja	faktorska varianca	procent faktorske variance	procent celotne variance
1.	9.5717	32.3	30.9
2	3.1902	10.8	10.3
3	2.8297	9.6	9.1
4	2.5073	8.5	8.1
5	2.2214	7.5	7.2
6	1.7450	5.9	5.6
7	1.5096	5.1	4.9
8	1.3029	4.4	4.2
9	1.0311	3.5	3.3
10	0.72414	2.4	2.3
11	0.64353	2.2	2.1
12	0.60304	2.0	1.9
13	0.51965	1.8	1.7
14	0.48729	1.6	1.6
15	0.39122	1.3	1.3
16	0.33184	1.1	1.1
skupaj	29.609	100.0	95.5



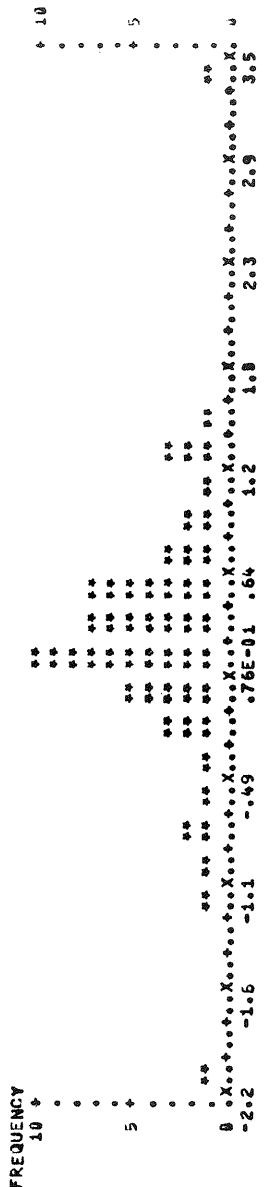
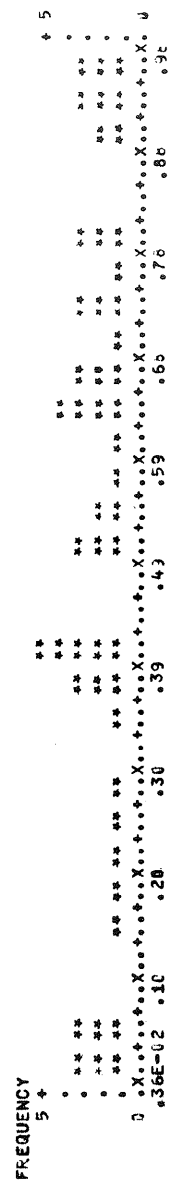
Slika 1 Histogram za spremenljivko 1, to je nadmorsko višino zgoraj - pred transformacijo
spodaj - po transformaciji tipa y = ln (x)

Fig. 1 Histogram for variable 1, i.e. height above-sea level above - before transformation
below - after transformation of type y = ln (x)



Slika 2 Histogram za spremenljivko 4, to je poprečno temperaturo zgoraj - pred transformacijo
spodaj - po transformaciji tipa y = ln (1 - x)

Fig. 2 Histogram for variable 4, i.e. mean temperature above - before transformation
below - after transformation of type y = ln (1 - x)



Slika 3 Histogram za spremenljivko 9, to je število dni z maksimalno temperaturo večjo ali enako 25°C

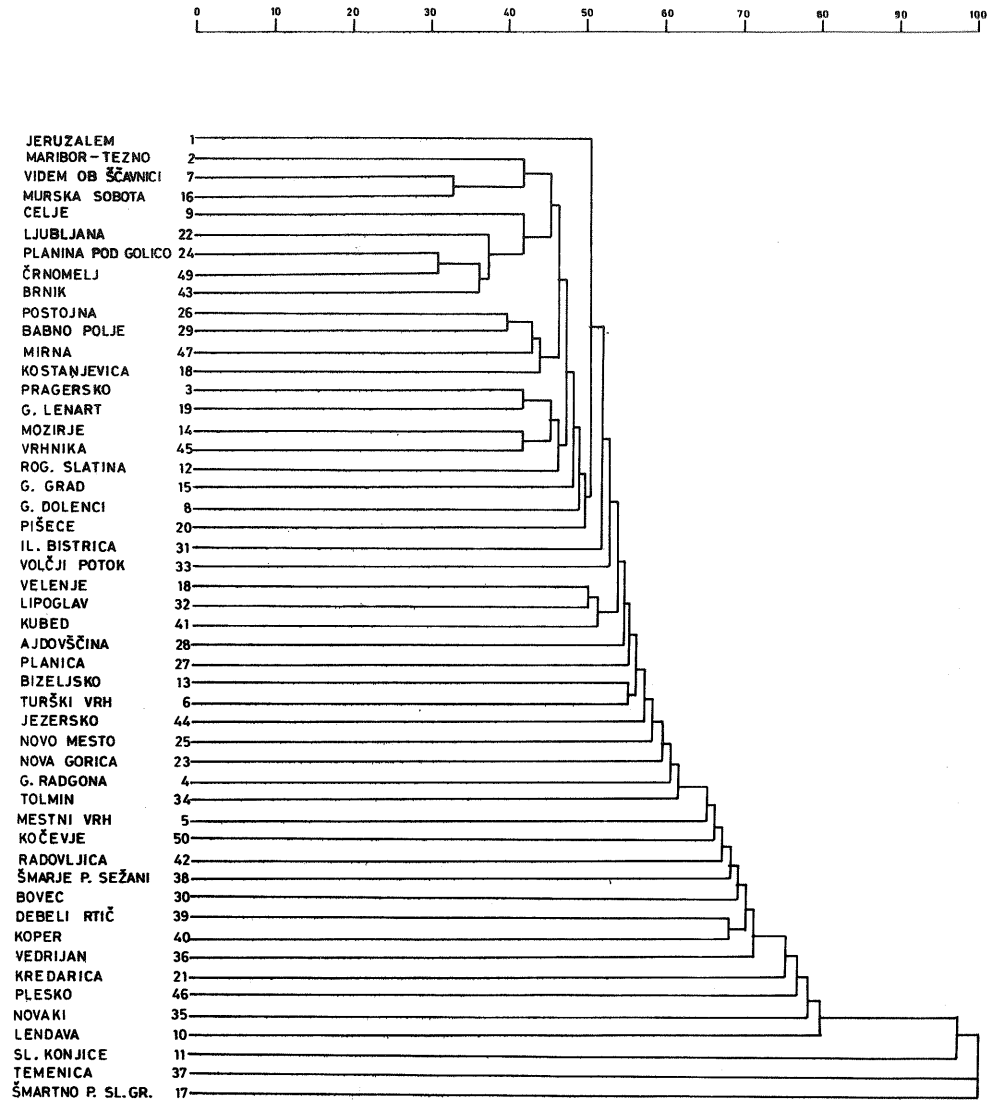
zgoraj - pred transformacijo

spodaj - po transformaciji tipa y = erf (x)

Fig. 3 Histogram for variable 9, i.e. number of days with maximum temperature higher or equal to 25°C

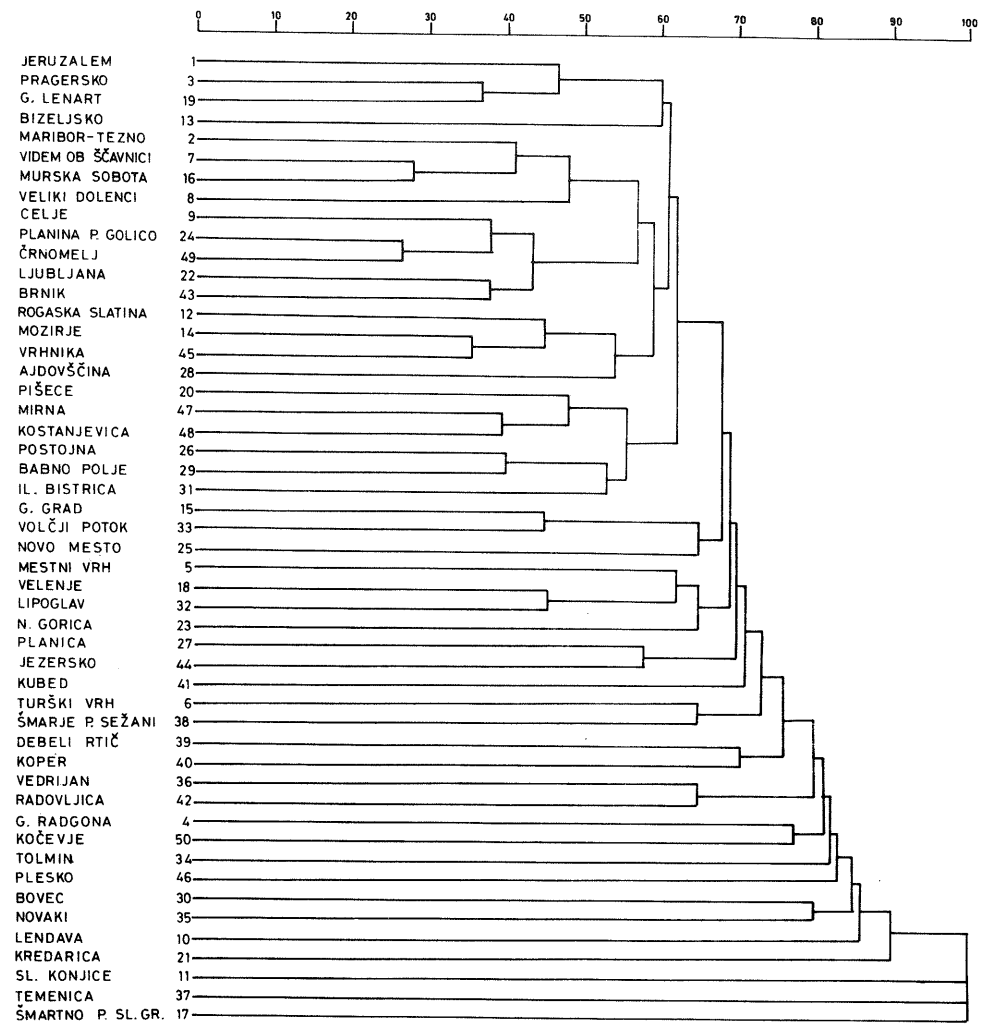
above - before transformation

below - after transformation of type y = erf (x)

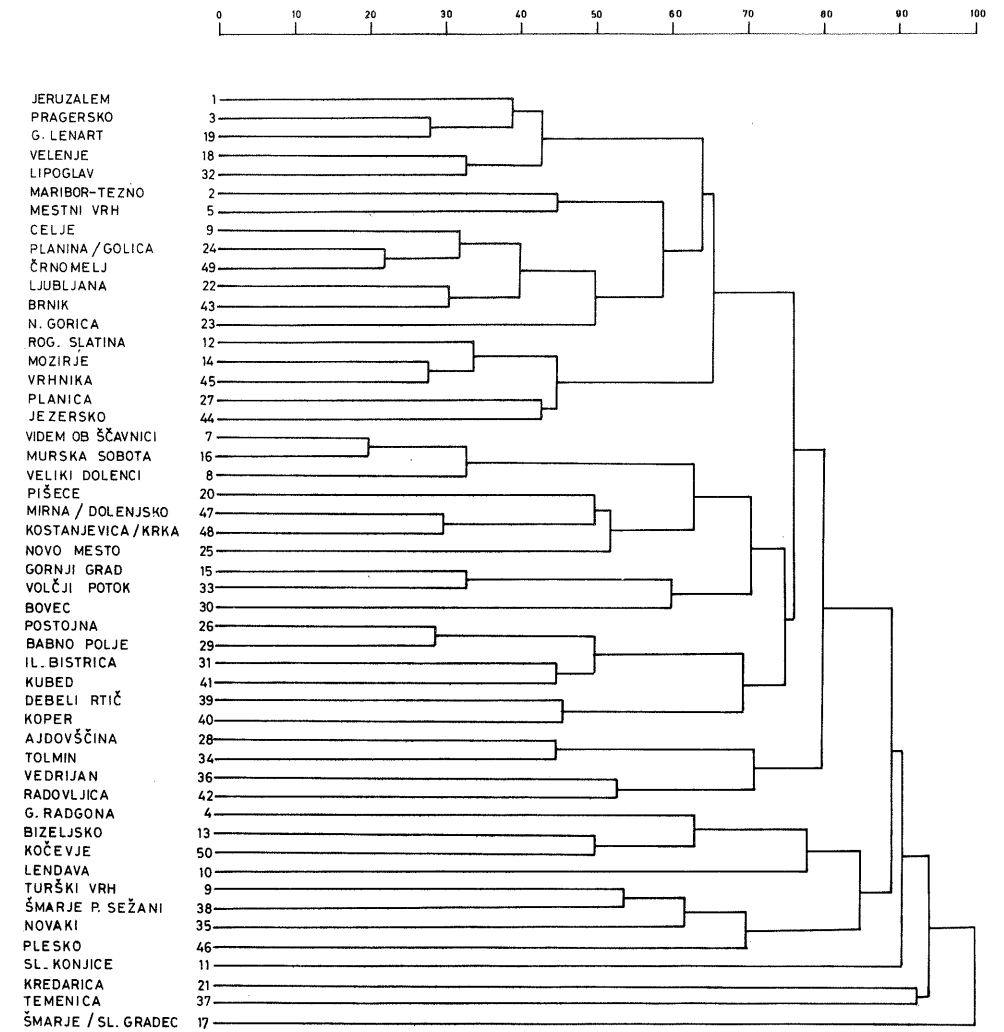


Slika 4 Dendrogram za minimalno strategijo.

Fig. 4 Dendrogram for minimum strategy.



Slika 5 Dendrogram za UPGMA strategijo.
 Fig. 5 Dendrogram for UPGMA strategy.



Slika 6 Dendrogram za maksimalno strategijo.
 Fig. 6 Dendrogram for maximum strategy.

Izračunali smo matriko razdalj, in za posamezne strategije klasifikacije dobili dendograme, predstavljene na slikah 4, 5 in 6. Iz teh slik vidimo, da je merilo podobnosti glede na klimatske spremenljivke oziroma na parametre vremena pri tvorjenju klimatskih področij precej drugačno, kakor smo bili navajeni. Težko bi namreč govorili o klimatskih področjih, saj se po opisani metodi izkažejo za podobne postaje kraji, ki geografsko ležijo relativno precej narazen. Za ilustracijo pogledjmo dendogram na sliki 6, kjer smo uporabili maksimalno strategijo. Izberimo si mero podobnosti $m = 65$ in pogledjmo klastre, ki jih dobimo:

1. klaster sestavljajo naslednje postaje:
Jeruzalem, Pragersko, Gornji Lenart, Velenje, Lipoglav, Maribor-Tezno, Mestni vrh pri Ptujju, Celje, Planina pod Golico, Črnomelj, Ljubljana, Brnik, Nova Gorica;
2. klaster sestavljajo naslednje postaje:
Rogaška Slatina, Mozirje, Vrhnika, Planica, Jezersko;
3. klaster sestavljajo postaje:
Videm ob Ščavnici, Murska Sobota, Veliki Dolenci, Pišece, Mirna na Dolenjskem, Kostanjevica ob Krki, Novo mesto;
4. klaster sestavljajo postaje:
Gornji grad, Volčji potok, Bovec;
5. klaster sestavljajo postaje:
Postojna, Babno polje, Ilirska Bistrica, Kubed;
6. klaster sestavljata postaji:
Debeli rtič in Koper;
7. klaster sestavljata postaji:
Ajdovščina in Tolmin;
8. klaster sestavljata postaji:
Vedrijan in Radovljica;
9. klaster sestavljajo postaje:
Gornja Radgona, Bizeljsko in Kočevje;
10. klaster sestavljajo postaje:
Turški vrh pri Zavrču, Šmarje pri Sežani in Novaki;
11. naslednje postaje so klastri vsaka zase:
Lendava, Plesko pri Hrastniku, Slovenske Konjice, Kredarica, Temnica in Šmartno pri Slovenj Gradcu.

Rezultate lahko vzamemo le kot ilustracijo opisane metode. Za uporabne rezultate je potrebno še precej dela, tako pri izbiri elementov, ki jih vzamemo kot koordinate vektorjev, kakor tudi pri tolmačenju rezultatov samih. V to se nismo spuščali, ker smo imeli prekratek časovni niz podatkov. Nismo pa upoštevali tudi lege kraja oziroma postaje.

Praktični del naloge je izračunan na računalniku CDC CYBER 172. Statistični del smo naredili s sistemskim paketom STATJOB, programe za transformacijo spremenljivk je napisal avtor prispevka.

ZAHVALA

Ob tej priliki se najlepše zahvaljujem mgr. Veljku Boletu za izčrpne nasvete pri obravnavanju tega problema. Prav tako sem dolžan zahvalo dr. Juretu Zupanu, ki mi je odstopil programe za klasifikacijo.

LITERATURA

- /1/ Alexander M. Mood, Franklin A. Graybill: Introduction to the theory of statistics, 1963 by the McGraw-Hill Company, New York.
- /2/ William W. Cooley, Paul R. Lohnes: Multivariate data analysis, John Wiley & sons, 1971, New York.
- /3/ Peter H.A. Sneath, Robert R. Sokal: Numerical taxonomy, 1973 by W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- /4/ Arhiv Meteorološkega zavoda SR Slovenije.

PERIODIČNOST SUNKOV BURJE
PERIODICITY OF BORA GUSTS

551.555.4
551.508.5

ZDRAVKO PETKOVŠEK

Katedra za meteorologijo, VTO Fizika, FNT, Ljubljana

SUMMARY

Borà is a relatively cold and gusty wind blowing on the warm side of mountain ridges particularly along the east Adriatic coast. Although bora was the matter of many studies and articles including peak velocities in the gusts, there are no considerations about periodicity of the gusts and their structure. Gustiness that surprises drivers and sailors is mainly about twice the average only, but consequences due to resistance law increase with the square and potential magnitude of wind power even as the cube of the speed. There are laboratory experiments and numerical models of bora as well, but no one has considered its gustiness. Therefore, a simple instrument was constructed for registration of gusts on the basis of resistance law. Only few registrations were obtained until now, and only five of them are appropriate for analysis. Statistical approach is therefore not possible, however, there are indications, as shown in Fig. 5, that the periodicity of the strongest gusts is rather constant in the period of one hour at least, although it considerably varies from one bora case to the other.

POVZETEK

Značilnost burje je njena sunkovitost. Čeprav je o burji in o jakosti njenih sunkov precej napisanega, ni najti v literaturi o časovnih karakteristikah sunkov skoraj ničesar. Zato smo izdelali preprost instrument za registracijo sunkov burje in z njim izvedli tudi že nekaj meritev. Čeprav jih je malo, je iz njih videti, da je periodičnost najmočnejših sunkov približno stalna, a se od primera do primera burje precej spreminja.

UVOD

Burja je relativno hladen in zelo sunkovit veter. Pojavlja se na toplejši

strani gorskih pregrad, kamor priteka čeznje hladnejši zrak in se ob po-
bočjih spušča pod toplejšega. Tako nastaja pogosto burja ob vzhodnih oba-
lah Jadrana, a tudi drugod po svetu.

O burji je bilo že precej napisanega. Vsa važnejša dela in novejša razi-
skave pa zajema in združuje obsežna monografija "Local Wind Bora" /1/.
Vendar pa tudi v tem delu, ki na mnogih mestih poudarja sunkovitost
burje in daje maksimalne hitrosti v sunkih (te presegajo 180 km/h), ne
najdemo podatkov o pogostnosti, periodičnosti in strukturi sunkov.

Znano je, da je prav izredna moč posameznih sunkov burje vzrok mnogih
nesreč na cestah in na morju ob burji. Take nesreče se praviloma pojav-
ljajo vsako leto. Zato je prav sunkovitosti burje vredno posvetiti več po-
zornosti in z ugotovitvami zmanjšati število nesreč, ki terjajo tudi člo-
veške žrtve.

Zapiske o sunkovitosti burje najdemo leta 1893 /2/, a so gotovo še sta-
rejši. Prvo posredno registracijo periodike sunkov pa najdemo v delu
Kesslitza /3/ 1910. Tu piše, da se sunki burje kažejo na barogramu kot
oscilacije s približnim horizontalnim razmikom 0,3 mm. Upoštevajoč te-
danjo velikost valjev za tedensko registracijo zračnega pritiska (obseg
cca. 40 cm), dobimo približno periodo sunkov okrog 8 minut, kar se uje-
ma z našimi registracijami. V poznejši dostopni literaturi o periodiki
sunkov v burji nismo našli ničesar.

ZNAČAJ SUNKOV

Nevarnost burje je v njeni sunkovitosti; pri oceni moči posameznih sun-
kov pa se lahko zmotimo. Poprečne vrednosti hitrosti vetra v burji se-
veda ne dajo dovolj informacij in pravilne predstave; celo podatki o
maksimalnih hitrostih v sunkih nam brez posebne presoje ne omogočajo
pravilne ocene moči burje in možnih učinkov posameznih sunkov. Pri tem
namreč presojamo podatke o hitrosti vetra kot take, ne upoštevajoč, da
upor teles v toku narašča pri teh hitrostih s kvadratom hitrosti in moč
vetra celo s tretjo potenco njegove hitrosti /4/.

Kvadratni zakon upora, ki velja tudi za hitrosti vetra v burji, daje silo
upora F , ki deluje pri hitrosti v na telo oblike zajete v faktorju c

$$F = \frac{c \rho S v^2}{2}$$

pri čemer je ρ gostota zraka in S površina preseka telesa v toku.

Gostota zraka je približno konstantna. Večina teles (razen kroglice in ne-
katerih drugih rotacijskih oblik) ima v različnih smereh različno obliko

in različni presek. Zato tudi za vozilo na cesti ali na morju v splošnem
ni vseeno, s katere strani pride sunek burje; vendar nas tu zanima pred-
vsem to, da je sila, s katero se upre burja ob nenadnem sunku z dva-
kratno hitrostjo - štirikrat večja.

Še večji je faktor razlike moči, če primerjamo potencialno moč vetra
/4/. Masa zraka, ki preteče skozi presek enotne površine S v enoti časa,
je

$$\frac{1}{S} \frac{\partial m}{\partial t} = \rho v$$

Energijski tok na enoto površine in časa, ki ga imenujemo potencialna
moč toka ali vetra, pa je tedaj

$$P = \frac{\rho v \cdot v^2}{2} = \frac{v^3 \rho}{2}$$

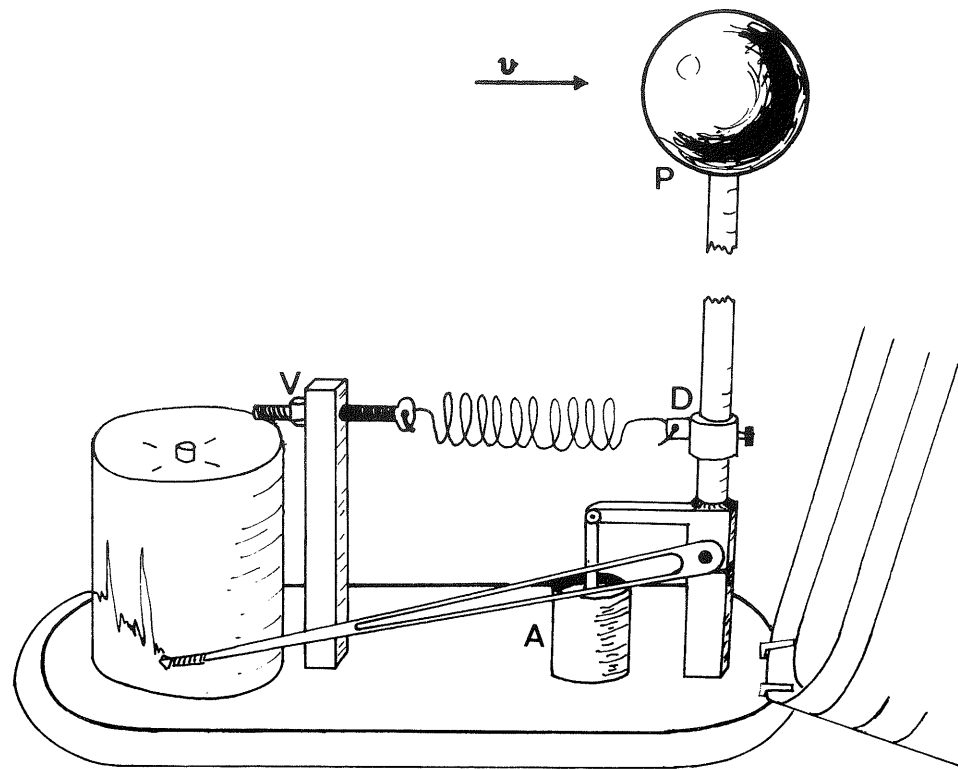
To pomeni, da je potencialna moč vetra sorazmerna s tretjo potenco hi-
trosti in je pri podvojeni poprečni hitrosti vetra v sunku osemkrat večja.
Tako nam je bolj razumljivo, zakaj lahko posamezni sunki burje močno
presenetijo tudi izkušenega voznika na cesti ali mornarja na morju, zla-
sti na jadrnici.

Sunkovitost burje je torej ne-le glede sprememb hitrosti, ampak tudi pe-
riodičnosti vredna pozornosti in raziskovanja. Če vlada v periodičnosti
najmočnejših sunkov kaj reda, oziroma če je mogoče oceniti verjetnost
ponovitve močnih sunkov, je s tem dana možnost za varnejše manevrira-
nje vozil ali opravljanje raznih del ob burji.

Bistvo učinkov burje je torej v njeni sunkovitosti, zato modeli, ki tega
ne upoštevajo, ne zajemajo bistva. Taki pa so vsi znani modeli burje
/1/: Eksperimentalni model je zgrajen na osnovi poskusov v vetrovnem
tunelu in daje le valovanja v šibkoturbulentnem toku za pregrado. Prav
tako pomanjkljiv je tudi numerični eksperiment Arakawe. Ta sicer upo-
števa doprinos temperaturnih razlik zračnih mas in odtod izhajajočih
gravitacijskih sil, a daje le poprečne hitrosti tokov ob pregradi in čez
gorsko sedlo.

INSTRUMENT

Izhajamo iz potreb za določitev periodičnosti sunkov burje glede na nji-
hov učinek, in to s skromnimi sredstvi. Tedaj je primerno, da merimo
z instrumentom, ki bazira na kvadratnem zakonu upora. Tak preprost
instrument, ki smo ga izdelali iz barografa, je shematično prikazan na
sliki 1.



Slika 1 Preprost instrument za registracijo sunkov burje.

Fig. 1 A simple instrument for registration of bora gusts.

Hitrost vetra v burji se naglo in močno spreminja, važna pa je predvsem relativna sprememba hitrosti. Zato ima instrument dve možnosti prilaganja: vijak (V), ki omogoča spreminjanje sile vijačnega peresa, in drsnik (D), s katerim lahko spreminjamo prijemališče in s tem navor sile vijačnega peresa.

Z meritvami v vetrovnem tunelu smo dobili umeritvene krivulje za različne lege vijaka in drsnika in za različne oblike in velikosti "senzorja" (P) - krogle ali polkrogle. Prek umeritvenih krivulj lahko tako iz zapisa instrumenta določimo trenutne hitrosti v posameznih sunkih in ugotovljamo tudi njihovo razporeditev v času.

Giblјivost senzorja je samo v eni smeri, zato moramo orientirati in pri-

trditi instrument tako, da je obrnjen v poprečni smeri vetra v burji. Odklone dobimo torej v smeri poprečnega toka, prav v tej smeri pa so sunki najmočnejši. Registriramo torej spekter sunkov le enodimenzionalno.

Zanimajo nas predvsem najmočnejši sunki burje v relativno kratkem časovnem intervalu, okrog ene ure. Taki močni sunki trajajo večinoma nekaj sekund ali več in so relativno redki. Zanje moramo nastaviti občutljivost instrumenta na maksimalne predvidene hitrosti, in nihanja okrog in pod poprečnimi vrednostmi iz registracije izpadejo. Lahko pa z drugačno nastavitvijo večje občutljivosti instrumenta registriramo tudi drobna nihanja standardne longitudinalne komponente turbulentnosti. Vendar pa so ta nihanja zapisana nekoliko popačeno zaradi dušenja vračanja senzorja, kar povzroča amortizer (A). Ta predvsem preprečuje udarce in poškodbe instrumenta pri vračanju senzorja (in pisala) v začetni položaj ob nenadnem koncu sunka. Povratni čas lege senzorja ali pisala med obema skrajnima legama, oziroma od zgornje do spodnje meje (ne pa tudi obratno), je nekaj sekund in je seveda odvisen od nastavitve občutljivosti - je daljši pri nastavitvi za šibkejšo burjo oziroma za poprečne hitrosti. Zaradi enostranskega učinkovanja amortizerja pero ob sunku takoj skoči v najbolj odmaknjen položaj, ki ustreza maksimalni hitrosti, in vidneje zapisuje v naslednjih trenutkih nihanja ali relativno počasnega vračanja navzdol, če je sunek zelo kratek.

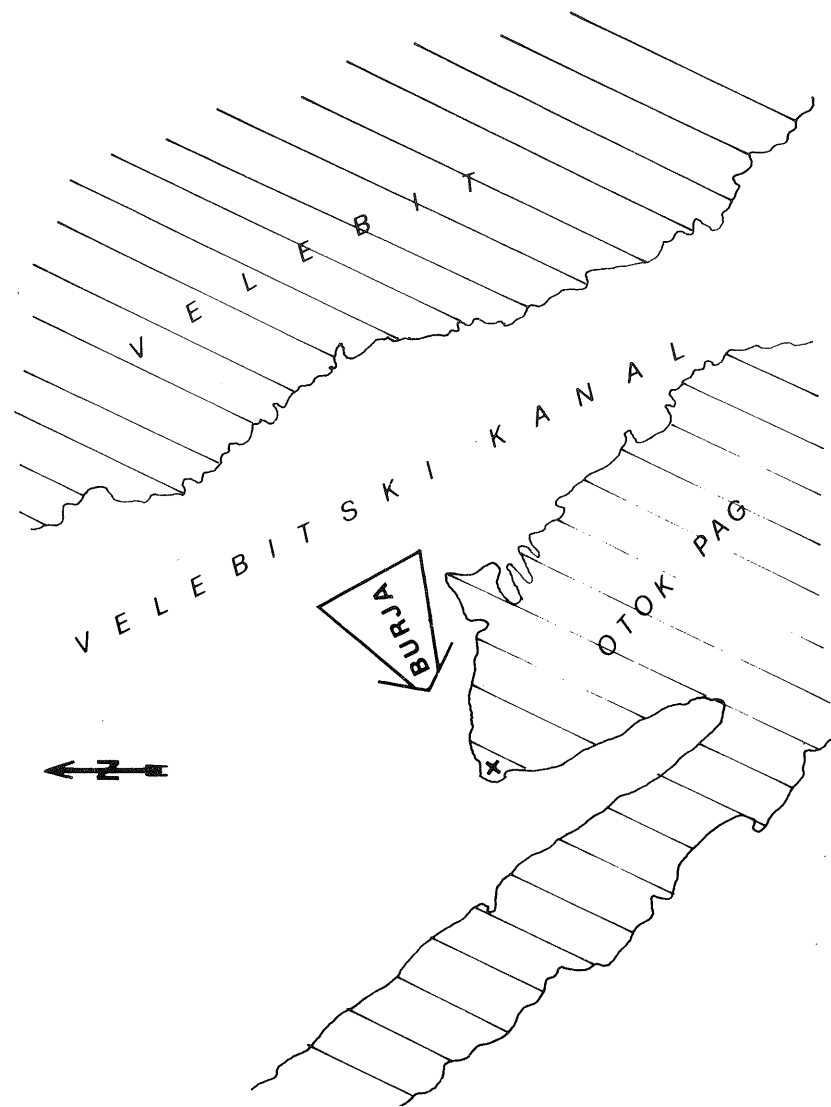
Da bi dobili zadostno natančnost registracij, smo preuredili urni mehanizem vrtenja valja tako, da ustreza en obrat okrog 1,3 ure ali da zavzame enominutni zapis 3,6 mm dolžine registrirnega traku. To vse dobro ustreza preučevanju navedenih lastnosti in strukture maksimalnih sunkov burje.

PRVI REZULTATI

Prve registracije sunkov burje s tem instrumentom imamo iz julija in avgusta 1976. Merilno mesto je bilo na otoku Pagu 40 m nad rtom Deda pri Stari Novalji (slika 2). Kraj je cca. 7 km od podnožja Velebita, s katerega se spušča burja najčešče v smeri iz NE. Instrument je bil na vzvišenem mestu pritrjen na živo skalo, da je bilo tresenje celega instrumenta ob sunkih čim manjše.

Sprememba občutljivosti instrumenta z vijakom in drsnikom nam omogočata, da lahko dobimo načelno dve vrsti zapisa:

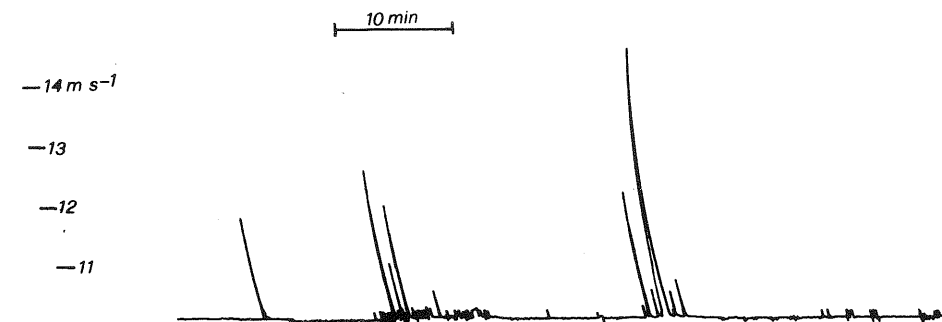
1. zapis "vrhov" najmočnejših sunkov (slika 3) - občutljivost je prirejena na močne sunke in le-ti dvignejo pero oziroma odmaknejo senzor od začetne lege. Tako imamo zabeležene samo najvišje vrhove hitrostne razporeditve; poprečje pa lahko le ocenjujemo ali določamo posebej iz merjenja poti vetra.



Slika 2 Karta področja meritev.

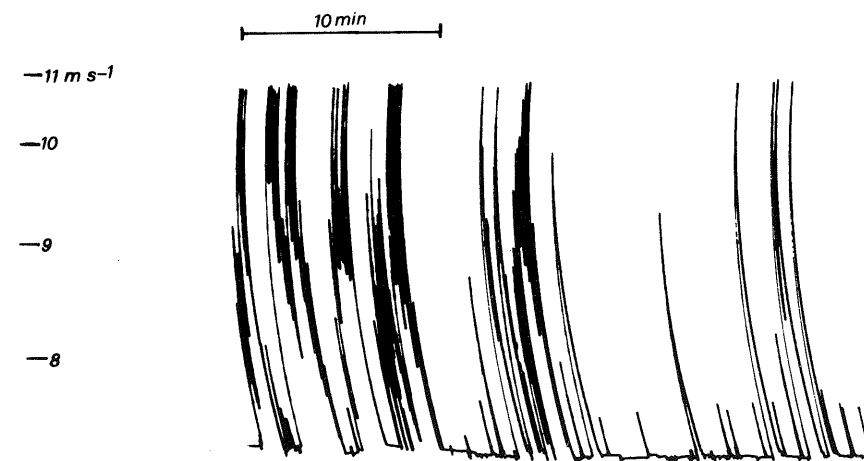
Fig. 2 The map of the measurements district.

2. zapis poprečnih hitrosti - občutljivost instrumenta je večja - toda vrhovi močnih sunkov so "porezani" (slika 4) in njihove jakosti ne poznamo, zato pa je natančneje podana struktura okrog poprečnih vrednosti hitrosti burje. Nas tu zanima prvo.



Slika 3 Primer registracije najmočnejših sunkov.

Fig. 3 An example of registration of the strongest gusts.

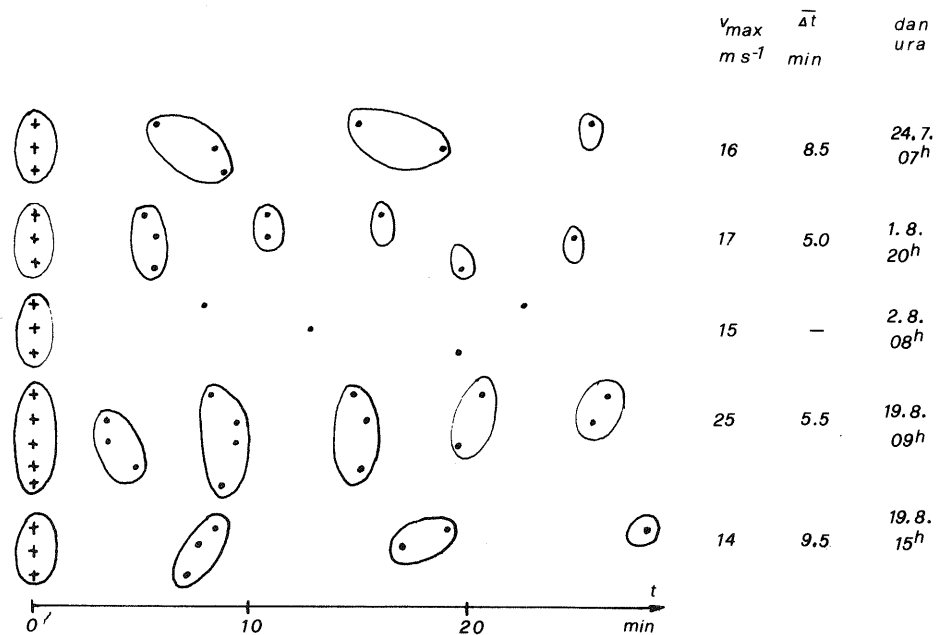


Slika 4 Del registracije z območja poprečnih hitrosti.

Fig. 4 A part of registration in the domain of average velocities.

Doslej smo v omenjeni dobi uspeli registrirati 7 vzorcev ne posebno močne burje. Le v enem primeru je bila burja tako močna (hitrosti čez 23 m/s), da je bil trajektni promet ustavljen. Od teh sedmih registracij pa je za analizo periodičnosti močnih sunkov uporabnih le pet, ker imata dve rezane vrhove.

Trajanje posameznih sunkov je različno - od nekaj deset sekund do nekaj minut. Videz pa je (kolikor ga daje to sorazmerno majhno število primerov), da je trajanje sunkov koristno izločiti. Zato prikažemo periodičnost sunkov tako, da pričnemo šteti čas posamezne periode na koncu prejšnjega sunka in zabeležimo začetek naslednjega, ne da bi vključili njegovo trajanje. Na ta način dobljene razporeditve v časovni skali so prikazane na sliki 5. Iz njih vidimo, da je periodičnost sunkov burje v različnih dneh (ali delih dneva) različna; vendar pa je v obdobju ene ure čas ponovitve sunkov v grobem približno enak. Če posamezne relativne ponovitve



Slika 5 Relativna časovna razporeditev sunkov burje za pet registriranih primerov.

Fig. 5 Relative time distribution of bora gusts for five registered cases.

grobo grupiramo (tanke zaključene krivulje na sliki 5), lahko ocenimo povprečne vrednosti časovnega presledka ($\overline{\Delta t}$) med sunki). Te vrednosti so podane ob desnem robu slike 5 skupaj z maksimalno hitrostjo in časom meritve. V enem primeru pa dolžina presledka med sunki narašča.

Iz teh primerov seveda ne gre izvajati statističnih prikazov /5/, niti splošnih zaključkov. Primeri pa kažejo, da je v času ene ure periodičnost močnih sunkov burje približno enaka. Šele mnogo večje število registriranih primerov bo omogočilo širšo statistično obdelavo, ki bo lahko privedla do zanesljivejših sklepov in nadaljnjih izvajanj turbulentnih in drugih parametrov strukture burje.

LITERATURA

- /1/ Yoshino M.M.: Local Wind Bora, University of Tokyo Press, 1976 (289 str.).
- /2/ Mazelle E.: Zur Bestimmung der Stärke einzelner Borastösse, Met. Zeitschrift, 10 Jahrg. (1893) H. 2.
- /3/ Kesslitz W.: Zum Borasturm in der Nordadria am 31. März 1910, Met. Zeitschrift, Bd. 27 (1910) H. 5.
- /4/ Buick T.R. et al.: On Monitoring Wind Power, Weather RMS, Vol. 31, 1976, No. 12.
- /5/ Dilger H.: Berechnung des dreidimensionalen Windspektrums aus Vektorfahnenmessungen für eine Periodendauer von 0,1 bis 120 Minuten, Met. Rundschau, 29. Jahrg., 1976, H. 4.

DANILO FURLAN

Meteorološki zavod SRS, Ljubljana

SUMMARY

In basins, the probability of fog formation is greater when the relief conditions for the development of inversions near the ground are more favourable. Most frequently these are the lowest parts of basins, not permitting the outflow of the air. As a rule, in the same geographical unit the height above-sea level of the station and the frequency of days with fog are values with inverse proportion, but only in case when the accessibility for winds is equal for the entire basin. If not so, the differences in the number of days with fog could become considerable.

Dependency between the height above-sea level and frequency of days with fog is the same also in mountain valleys, but only up to the absolute height of approx. 500 m. Namely, cold air in valleys is not being accumulated, but flows out of the valley. The more the bottom of the valley is inclined, which is particularly the case in the upper part of the valley, the more intense is the outflow of the air, and the less frequent are the days with fog.

The turning-point in the relation between the absolute height of the bottom of the valley and the number of days with fog occurs at approx. 500 m, the reason probably being in low clouds, as the number of days with fog increases from this level upwards. Taking into account the relation between the number of days with fog in Bovec valley and the one by the source of Soča river, the same rule can be applied also for basins.

POVZETEK

V kotlinah je verjetnost za formiranje megle tem večja, čim ugodnejše so reliefne razmere za razvoj talnih inverzij, ki morajo zajeti dovolj debelo plast zraka. Najčešče so to najnižji deli kotlin, iz katerih zrak nima odtoka. V isti geografski enoti sta nadmorska višina postaje in pogostost meglenih dni praviloma obratno sorazmerni vrednosti, vendar le

v primeru, ako je stopnja dostopnosti za vetrove za vso kotlino enaka. Ako stopnja ni enaka, so razlike v številu dni z meglo lahko zelo velike.

Enaka je odvisnost med nadmorsko višino in pogostostjo dni z meglo tudi v dolinah gornje Soče in Save Dolinke, vendar le do absolutne višine cca. 500 m. V dolinah se namreč hladen zrak ne kopiči, ampak odteka. Čim bolj je dno doline nagnjeno, tako pa je zlasti v povirju, to je v gornjem delu doline, tem intenzivnejši je odtok zraka in tem redkejši so dnevi z meglo.

Do preloma v razmerju med absolutno višino dna doline in med številom dni z meglo pride na višini cca. 500 m. Od te višine navzgor se število dni z meglo veča. Vzrok so verjetno nizki oblaki, zlasti v hladni polovici leta. Zato raste tudi število dni z meglo, čim višje je dno doline. So-deč po razmerju med številom dni z meglo v Bovški kotlini in tistim ob izviru Soče velja isto pravilo tudi za kotline.

UVOD

Med značilnostmi klime alpskega sveta šteje tudi megla. Zapažanja kažejo, da je megla najčešča v zaprtih kotlinah, mnogo redkeje pa se pojavlja v dolinah. Tako stanje potrjuje tudi uradna meteorološka statistika. Vendar velja poudariti, da opazovalci, razen manjšega števila, niso poklicni meteorološki uslužbenci, torej ne taki, ki morajo spremljati razvoj vremena prek vsega dne. Le ob določenem času opišejo stanje vremena, njegov razvoj pa spremljajo le toliko, kolikor jim to dopušča čas. Opazovanja zato niso neoporečna, vsaj vsa ne!

Pri ocenjevanju razpoložljive dokumentacije velja podčrtati, da se reliefne razmere vzdolž vodotokov, večjih, pa prav tako tudi manjših, naglo spreminjajo. Doline se ožijo in širijo, prehajajoč v kotline in kotlinice; s tem so spremenjeni pogoji za prezračevanje, kar pomeni, spreminjajo se tudi pogoji za nastanek megle. Zato tudi velike razlike v številu dni z meglo, čeprav že na kratke razdalje, niso dokaz o nezanesljivosti opazovanj.

V tem prispevku je obravnavana le letna pogostost megle, torej poprečno število dni v letu, v katerih je opazovalec ugotovil, da je vidnost v vodoravni smeri, v času, ko je spremljal razvoj vremena, vsaj prehodno padla pod 1 km /1/. Primeri megle so obravnavani enotno, brez delitve v 3 osnovne vrste: radiacijsko, frontalno in advektivno /2/.

POGOSTOST DNI Z MEGLO V SPODNJEM DELU LJUBLJANSKE KOTLINE

Praviloma je megla najčešča v nižjem delu kotline. Čim bolj se oddaljamo od tega področja, tem manjša je verjetnost za nastop megle, in na robu kotlin, kjer se vanjo stekajo doline, je število dni z meglo že občutno manjše. V spodnjem delu Ljubljanske kotline je situacija naslednja: Ljubljansko barje ima v svojem osrčju, Črni vasi in Notranjih Goricah, prek 250 dni z meglo. Ljubljana-Bežigrad jih ima "le" še 150, Brnik in Volčji potok pa blizu 135. Ako gremo še ven iz spodnjega dela kotline, na Gorenjsko, imajo v Lescah le še 60 dni z meglo letno /3/. Nadmorske višine naštetih postaj pa so, po istem vrstnem redu: 293 m, 295 m, 299 m, 360 m in 500 m (tabela 1). Razmerje med nadmorsko višino in številom dni z meglo je v tem primeru torej obratno sorazmerno.

Trditev, da je v isti kotlini pogostost megle odvisna samo od višine postaje, pa bi bila vendar prenačljiva. Tako ima, na primer, postaja Vrhnika zabeleženih le blizu 100 dni z meglo, Ljubljana-Bežigrad pa kar 50% več, čeprav sta absolutna in relativna višina praktično isti. Za primerjavo je koristen podatek tudi o Tomišlju, blizu začetka Iškega Vintgarja, z enako nadmorsko višino (299 m), dni z meglo pa ima blizu 120.

Primeri kot sta Vrhnika in Tomišelj, govorita prepričljivo o tem, da odloča o številu dni z meglo več dejavnikov. Glavni dejavnik je stopnja zaprtosti kotline; prvič, zaprtost, ki preprečuje odtekanje hladnega zraka po dnu, in drugič, zaprtosti za posredne učinke vetrov nad kotlino.

Neposredni vzrok za nastajanje megle in za njeno trajanje, je kopičenje hladnega zraka. V poznih popoldanskih /9/, nočnih in zgodnjih jutranjih urah se nabira hladni zrak na dnu kotlin. Tu se še dalje ohlaja, seveda v odvisnosti od radiacije zemeljske površine.

Reke in potoke, ki so si utrli pot, urezali struge iz kotlin nizvodno, spremljajo navadno le ozke doline. In ker hladen zrak ne teče kot voda, ampak le polzi kot viskozna tekočina /4/, je pri izrazitejši zožitvi doline odtok onemogočen ali vsaj močno oviran. Takšna je tudi situacija na vzhodnem zaključku Ljubljanske kotline. Odtekanje hladnega zraka proti mnogo nižji Panonski nižini preprečuje ozka dolina Save, vrezana v Posavsko hribovje. Zato večina doline Save ni znana po pogosti megli, medtem ko imamo v Ljubljanski kotlini, z večjo nadmorsko višino, tudi prek 250 meglenih dni.

Ako rečemo, da je vlaga, ki je potrebna za nastanek megle, v atmosferi /5/, in upoštevamo, da so najnižje temperature tiste, ki odločilno vplivajo na visoke vrednosti relativne vlage in s tem na formiranje megle, pogojene z relativno višino /6,7/, je pojav megle direktno odvisen

od nje. Dejstvo, da imajo postaje na dnu kotline, kot Vrhnika, Lipe na Barju, Volčji potok, Brnik, Lesce, različno pogostost megle, zahteva dodatno tolmačenje.

Stabilna stratifikacija preprečuje, da bi turbolenca, kot posledica vetrov nad kotlinami, redno prodrla do dna kotlin /8/. Posledica izostane ali vsaj oslabiljene turbulence je ta, da zdrkne v dovolj debeli plasti (pri talni megli je ta plast debela le dober meter) temperatura vsaj blizu rosišča /9/, ako ne pod rosišče, in že nastopi megla. Osnovni pogoj pa je dovolj debela plast hladnega zraka, kajti sicer se izločata le rosa ali slana.

Da imamo v spodnjem delu Ljubljanske kotline tako različno pogostost dni z meglo, med skoraj 300 in 100 dnevi, je vzrok predvsem različna dostopnost dna za vetrove nad kotlinino. Najbolj sta pred njimi zaščiteni postaji Notranje gorice in Črna vas na Barju, saj ju krijeta Krim in planota Pokojišča na jugu in jugozahodu, v nemajhni meri pa tudi Plešivica na severozahodu. Odtod največ dni z meglo na teh dveh postajah. Tolmačenje, da pomeni večja stopnja zaščitenosti pred vetrovi tudi povečano možnost za nastanek megle, je potrjena z opazovanji v dolini Radovne /12/.

Povsem drugače je s Tomišljem, Vrhniko in Volčjim potokom! Prvi leži na izteku doline Iške, Vrhnika na zaključku Logaškega podolja, Volčji potok pa na podaljšku podolja med Ljubljansko in Celjsko kotlinino, ki ju loči le Trojanski prag. V vseh treh primerih so postaje vetrovom dostopnejše (neposredno prek dinamične turbulence). Pogostost dni z meglo pa de zato tam približno na polovico od one v osrčju Barja.

POGOSTOST DNI Z MEGLO V DOLINAH GORNJE SOČE IN SAVE DOLINKE

Ljubljanska kotlina prehaja na severozahodu v dolino Save Dolinke. Obrobje alpskih dolin je praviloma višje kot pri kotlinah. Možnosti za turbulenco, pogojene z vetrovi nad dolino, in ki bi segla do tal, so torej manjše. Boljši pa so pogoji za odtok najhladnejšega zraka zato, ker je dno doline bolj nagnjeno v smeri dolinskega izteka. Hladni zrak, ki polzi po pobočjih proti dnu kotline, se zaradi zadostne nagnjenosti dolinskega dna ne ustavi, ampak polzi še naprej in nadaljuje svojo pot kljub manjšim zaprekam.

Tudi če pride v kasnih popoldanskih in naslednjih večernih urah, zaradi radiacijskega tipa vremena, do stabilizacije /7/, je plast najhladnejšega zraka preplitva za nastanek megle. Njegovo kopičenje prepreči namreč nastop nočnika, ki vznemiri plast stabiliziranega ozračja in ga odnaša

proti stečišču doline. Pri tem pride do mešanja različno ogretyh plasti, in v končni fazi dobimo normalno temperaturno razporedbo, vse do relativne višine od cca. 200 do cca. 400 m /7/. Tak primer kaže slika 1, ki je bila delana na osnovi meritev v dolini Save pri Hrastniku in ne v Savinem povirju.

Z ozirom na velikost padca doline in njene oblike pa ni vzroka, zaradi katerega gornje sheme ne bi mogli uporabiti za katerokoli ozko dolino. Pogoji za nastanek megle v dolinah torej niso enaki tistim v kotlinah.

Pogoj za močne ohladiitve v jasnih nočeh je odprto obzorje, ki omogoča neovirano sevanje dna, izključuje pa protisevanje pobočij /10/. Taka je situacija na dnu širokih kotlin, kot so Ljubljanska, Celjska in druge, enako kot tudi plitvih kraških polj in planot. V relativno ozkih dolinah tega pogoja ni in zato doline niso izrazita inverzna področja /6/, in je megle manj. Vsaka razširitev doline v večjo ali manjšo kotlinino pa ima za posledico zbiranje hladnega zraka in s tem povečano pogostost dni z meglo, kot je primer z Litijo.

Večja možnost za ohranitev ali obnovitev normalnega temperaturnega gradienta in manjša možnost za zadostno ohladiitev na dnu so torej vzrok, zakaj je megla v gornjem toku Iške, Borovniščiice in Gradaščiice, po opazovanjih avtorja, mnogo redkejši pojav kot na istih višinah osamelcev Ljubljanskega barja, pa čeprav med naštetimi lokacijami ni nikakih orografskih preprek. Iz istega vzroka naj bi imela postaja Žaga v dolini Soče le 9 dni z meglo, Bovec v majhni kotlini, pa 20.

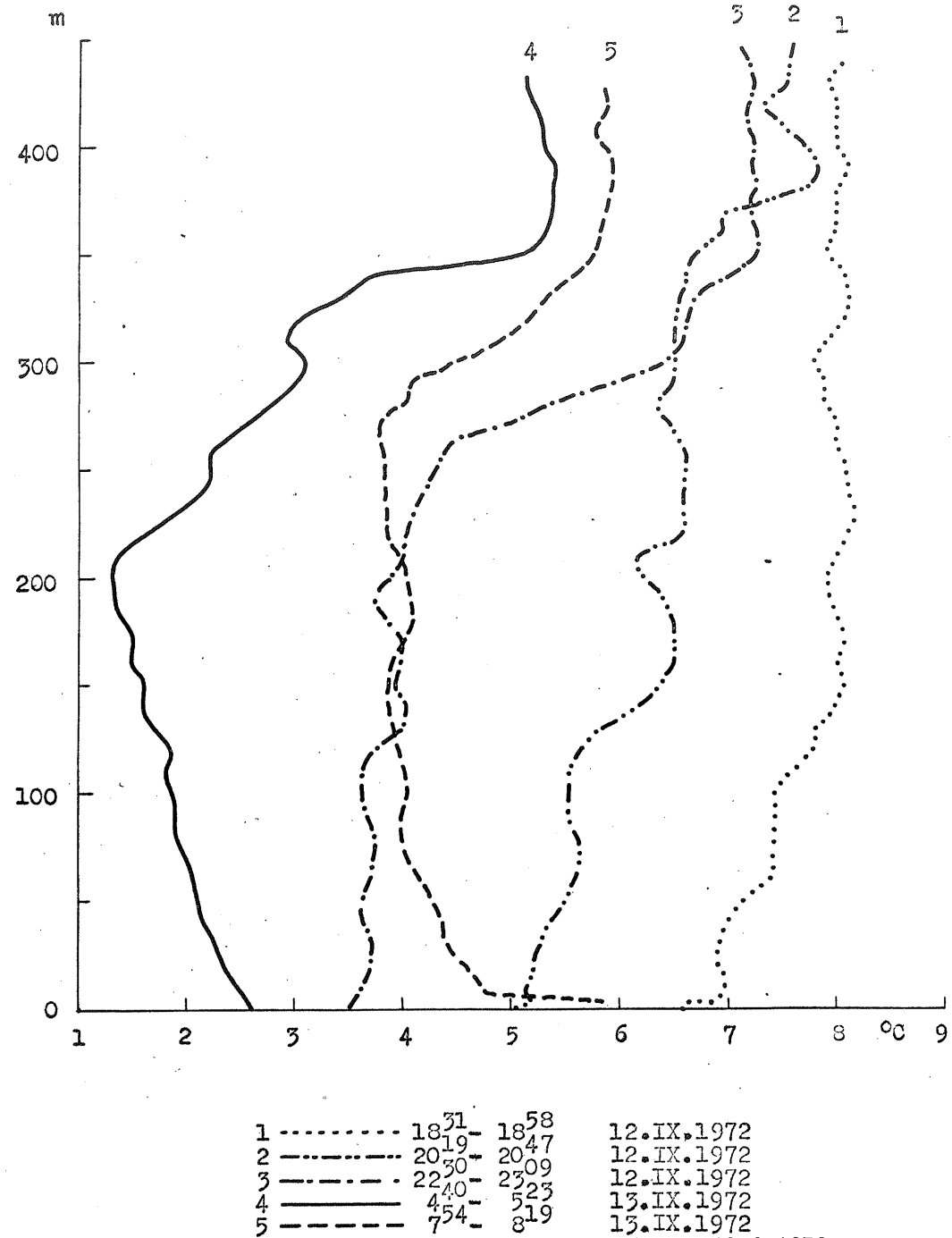
Strma pobočja in močno nagnjena dna dolin, in njihova izrazita ozkost so vse češči pojav, čimbolj se pomaknemo v povirno področje rek in potokov. To pa pomeni: čim višje leži dno doline, tem manjša je pogostost megle. Med nadmorsko višino in pogostostjo meglenih dni v ozkih dolinah naj bi torej bilo obratno sorazmerje, torej prav tako, kakršno je bilo za kotline in nižine v Sloveniji /11/.

V dolini Save Dolinke pa potrdila za tak, čeprav logičen zaključek, ni. Iz slike 1 in tabele 1, v kateri so vnešene absolutne višine postaj in pogostost megle na njih, je razvidno, da sta letna pogostost dni z meglo in absolutna višina postaje premo in ne obratno sorazmerni spremenljivki. Rateče na višini 864 m imajo blizu 27 dni z meglo, Moste pri Žirovnici na višini 550 m pa le 4. Tudi vmesne postaje: Kranjska gora (26 dni), Mojstrana (18 dni) in Jesenice (8 dni) dobro podpro podmeno o naraščanju števila dni z meglo, vzporedno z naraščanjem nadmorske višine. Prav tako razmerje ugotovimo tudi za zgornjo Soško dolino, severno od Bovške kotline, pa čeprav je dolina ob izviru Soče dokaj razširjena in postaja Izvir Soče izstopa zaradi češče megle. Isto velja tudi za postajo Bovec, ki tudi leži v kotlini.

Ime postaje	Mes.		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Letna vrednost
	HS	HS													
Zg. Radovna	750		3,3	3,8	2,2		2,4			0,3	2,2	1,6	2,7	3,0	21,5
Radovina - elektrarna	680		3,4	1,9	3,2		1,6			0,3	3,6	1,0	2,8	2,9	21,1
Vinčgar	510		2,7	0,7	0,2	0,1			0,1	0,2	1,7	2,2	2,9	2,0	12,7
Savica	530		11,6	8,6	7,6	6,4	6,5	7,2	13,1	16,1	18,1	16,7	11,5	14,7	138,1
Stara Fužina	547		7,2	8,1	10,3	4,9	3,8	5,8	7,2	10,0	14,1	13,7	7,8	11,2	104,1
Bohinjska Bistrica	507		3,9	3,2	2,4	2,3	2,3	3,4	5,2	9,0	12,7	12,1	4,6	3,8	64,9
Nomenj - soteska	480		1,0	2,1	2,6	3,4	2,3	8,5	2,9	5,2	12,4	7,9	3,4	3,8	55,5
Izvir Soče	800		4,0	3,1	3,1	3,2	3,9	4,8	2,8	3,3	4,5	5,8	7,0	3,7	49,2
Trenta	622		1,1	1,2	1,4	0,9	0,6	0,8	0,8	0,4	0,8	1,4	1,8	2,2	13,4
Soča	487		0,7	0,4	0,1					0,1	0,3	0,2	0,9	0,3	3,1
Lepena	480		0,2		0,2					0,1	0,3	0,1	0,6	0,3	1,4
Bovec	425		3,3	2,3	2,5	1,1	0,2	0,4	0,5	0,6	1,3	2,3	3,0	2,6	20,1
Žaga	353		0,6	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	1,0	0,6	1,2	2,5	1,0	1,0	9,4
Kobarid	263		3,2	2,6	2,2	1,9	4,4	4,4	6,0	7,8	10,3	9,4	4,4	3,4	60,0
Tolmin	180		9,5	17,0	6,3	10,5	8,1	10,9	11,2	19,1	17,4	14,1	13,1	12,9	150,1
Selca	480		8,4	8,0	7,5	7,1	7,6	5,4	6,4	13,4	17,2	16,1	8,8	10,6	116,5
Bukovščica	453		5,9	7,0	7,7	6,8	8,7	10,2	11,3	15,6	19,9	16,7	8,6	8,2	127,6
Zg. Besnica	480		1,2	0,7	0,8	0,8	0,6			0,6	2,6	3,0	1,9	2,0	13,6
Rateče	864		3,2	2,2	2,2	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	2,6	3,2	5,2	5,0	26,8
Kranjska gora	812		3,8	3,0	4,1	0,2	0,5	0,6	0,3	0,6	2,3	1,4	4,1	4,9	25,8
Mojstrana	660		3,0	1,8	1,7		1,2	0,6	0,3	0,1	1,5	1,2	4,0	3,0	18,4
Jesenice	573		3,4	1,5	0,5					0,1		0,2	0,5	2,1	8,3
Moste pri Žirovnici	550		1,2	0,7	0,1							0,4	0,2	0,9	3,6
Lesce	500		9,5	7,3	4,7	1,2	1,3	2,3	1,0	3,6	5,7	7,8	7,5	9,7	61,6
Brnik	371		13,9	12,2	7,7	4,5	5,3	6,2	6,5	13,3	17,3	13,2	12,1	17,7	129,9
Ljubljana	299		18,8	14,5	9,4	6,0	6,6	6,6	9,0	13,5	17,6	17,8	14,2	18,5	152,5
Notranje Gorice	297		25,2	26,4	21,7	20,3	17,6	15,6	20,1	22,8	25,5	23,0	19,7	24,8	295,8
Črna vas na Barju	289		22,9	21,6	23,7	16,0	19,1	15,7	20,1	26,1	27,2	25,5	20,2	23,9	262,0

Tabela 1 Srednje mesečno in letno število dni z meglo (≡, ≡≡) - opazovalni niz 1951-1970.

Table 1 Monthly and yearly mean number of days with fog (≡, ≡≡) - series of observations from 1951 to 1970.



Slika 1 Spreminjanje temperature z višino dne 12. in 13. 9. 1972 v Hrastniku.

Fig. 1 Changing of temperature with height on September 12 and 13, 1972, in Hrastnik.

Trend v obeh dolinah pa je dovolj jasen, da o utemeljenosti podmene ni mogoče dvomiti.

Ako pogledamo v tabeli 1, kako so dnevi z meglo razporejeni med letom, ugotovimo, da je maksimum v jeseni in pozimi, torej v času, ko nastopajo oblaki z zelo nizko bazo in tudi relativno tanki so, saj gre pogosto le za dvignjeno meglo. Zato je visokogorski svet neredko brez oblakov, doline in kotline pa imajo tudi po ves dan oblačnost 10. Razlika je lepo razvidna iz primerjave števila ur sončnega obsevanja na postajah Lesce in Kredarica /13/.

Tabela 2 Stopnja osončenja v Lescah in na Kredarici, izražena v mesečnih vsotah ur in v odstotkih (osnova Lesce), za opazovalni niz 1951 - 1970.

Table 2 Degree of solar insolation in Lesce and on Kredarica, expressed in monthly sums of hours and in percentage (basis Lesce), for the series of observations 1951 - 1970.

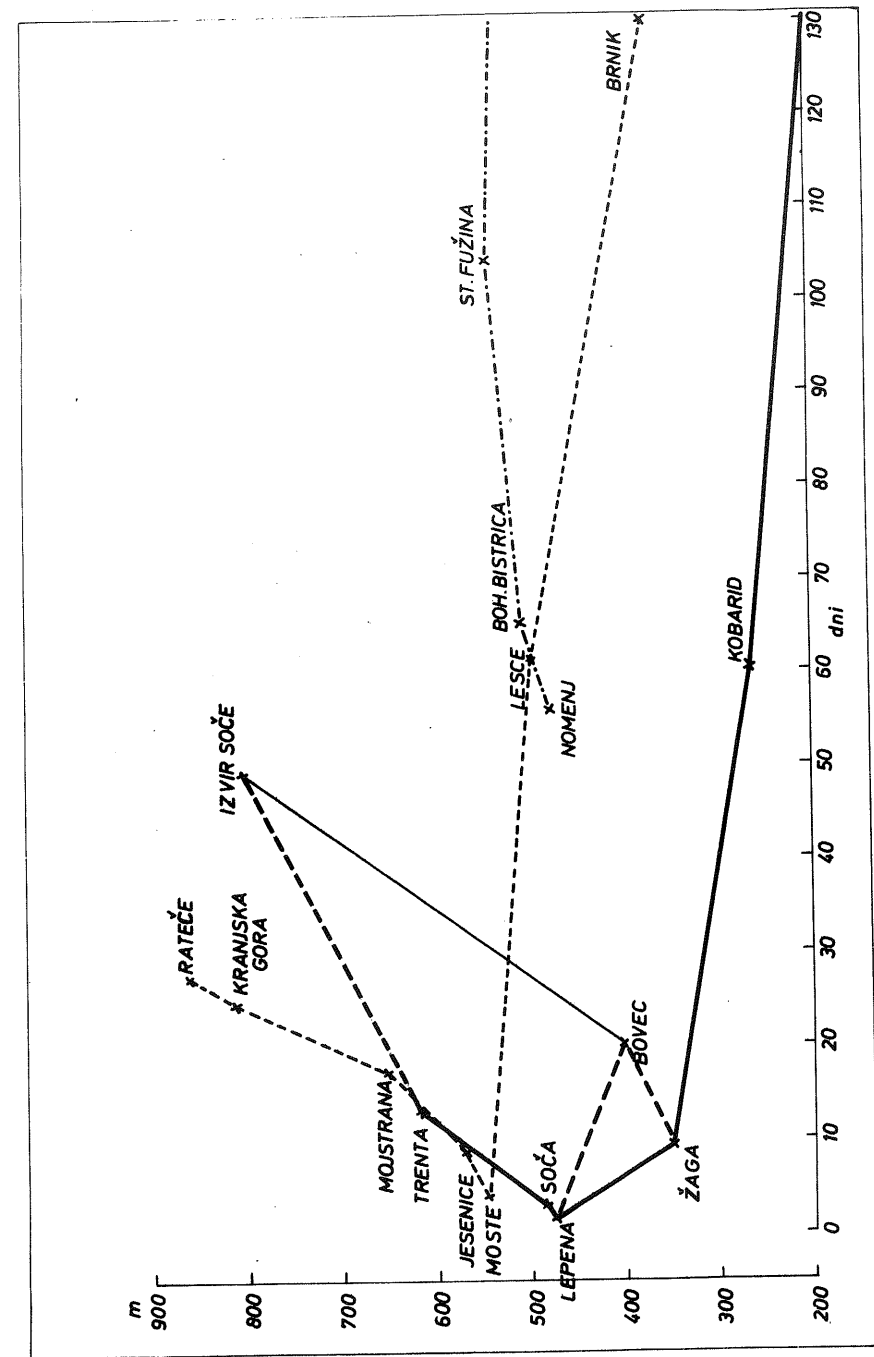
mesec				
postaja	november	december	januar	skupno
1. Lesce	79	55	76	210
2. Kredarica	93	97	114	304

% (2 : 1)	118	176	150	144

V analiziranih 3 mesecih ima Kredarica skoraj 50% več sonca kot Lesce in zelo verjetno gre naraščanje števila dni z meglo, ob vsoprednem naraščanju nadmorske višine postaje, na račun nizke oblačnosti, odnosno dvignjene megle.

Iz podatkov v tabeli 1 in enako iz slike 2 sledi, da velja gornja ugotovitev za obe dolini, vendar le, če je njuno dno na višinah nad cca. 500 m. Te višine pa ni mogoče uporabiti brez pridržkov tudi za kotline. V našem alpskem svetu, ki se po obsegu in višinah ne more primerjati, postavimo, s Centralnimi Alpami, so v višjih legah kotline plitve. Njihova dna so zato pristopnejša za vetrove. Potrebne so dodatne analize o tem, v koliki meri pogosto učinkovanje vetra izravna posledice pogostih primerov nizke oblačnosti, ki preplavi tako kotline, kot tudi doline.

Sodeč po legi (slika 2) postaj Bovec in Izvir Soče, ki ležita v razširjenih delih, v kotlinicah, doline Soče, je vpliv nizke oblačnosti večji od vpliva turbulence, pogojene z vetrom nad dnom doline. Podobno kot pri dolinah,



Slika 2 Odvisnost števila dni z meglo od nadmorske višine v alpskih dolinah in kotlinah.

Fig. 2 Dependence of number of days with fog on the height above-sea level in alpine valleys and basins.

raste tudi v omenjenih dveh majhnih kotlinah število dni z meglo, vzporedno z naraščanjem absolutne višine postaje. Do katere višine? Če je upoštevanje postaje Izvir Soče upravičeno, potem velja še prek 800 m absolutne višine. Upoštevanje postaje Izvir Soče je za obravnavani problem sporno zato, ker je dolina globoka in je dostop vetra močnejše oviran. Kotlini z dnom na višini nad 800 m in visokim obrobjem pa so v Sloveniji prej izjema, kot pa pravilo.

Zaključki, na osnovi analize razmer v samo dveh alpskih dolinah, so vsekakor tvegani. To še celo zato, ker je bilo z analizo razmer v celotni Sloveniji, torej ne na močno utesnjenem prostoru, ugotovljeno, da imajo od 400 m nadmorske višine navzgor kotlini in nižine tem manj megle, čim večja je njihova nadmorska višina /11/.

Dopolnilo:

V tabeli 1 so prikazani poprečki 20-letnega niza 1951-1970, dobljeni s pomočjo redukcije neredko zelo kratkih opazovalnih nizov. Verjetno bodo kasnejši, iz daljših nizov dobljeni poprečki, drugačni. Vsekakor pa razlike ne bodo bistvene.

Na sliki 1 sta v dolini Soče postaji Trenta in Izvir Soče povezani s prekinjeno in neprekinjeno črto. Vzrok: Izvir Soče leži v dokaj razširjeni dolini in je število dni z meglo za ozko dolino nereprezentativno. Isto velja za primer Bovca in ga zato debela neprekinejna zveznica obide.

LITERATURA

- /1/ Začasno navodilo za delo na klimatoloških postajah. Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana, 1958.
- /2/ Hann J.: Handbuch der Klimatologie, B X. Allgemeine Klimalehre. Stuttgart, 1952.
- /3/ Megla v Sloveniji niz 1951-1970. Arhiv meteorološkega zavoda SRS.
- /4/ Geiger R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig 1942.
- /5/ Meritve temperaturne razporedbe v Ljubljani in Hrastniku v letih 1972 in 1973. Arhiv Meteorološkega zavoda SRS.
- /6/ Furlan D.: Temperature v Sloveniji. SAZU, Ljubljana, 1963.
- /7/ Furlan D.: Informacija o dnevnoj temperaturnoj razpodeli u dolinama i kotlinama za vreme različitih sinoptičkih situacija. IX. savetovanje klimatologa Jugoslavije, Beograd, 1974.
- /8/ Furlan D.: L'influence du relief sur la repartition des temperatures. VI. Internacionalni kongres za alpsko meteorologijo, Beograd, 1962.

- /9/ Kovač M.: Temperature 300 meterske prizemne plasti zraka v Ljubljanski kotlini. Razprave X, Ljubljana, 1968.
- /10/ Furlan D.: Megla v Ljubljani. Letno poročilo meteorološke službe za leto 1955, HMZ SRS, Ljubljana, 1957.
- /11/ Petkovšek Z.: Pogostost megle v nižinah in kotlinah Slovenije. Razprave XI, Ljubljana, 1969.
- /12/ Pristov J., Trontelj M.: Megla v nekaterih slovenskih alpskih dolinah glede na višinske vetrove in na posamezne vremenske situacije. Razprave XVII, Ljubljana, 1975.
- /13/ Dokumentacija o sončnem obsevanju. Arhiv Meteorološkega zavoda SRS.

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.

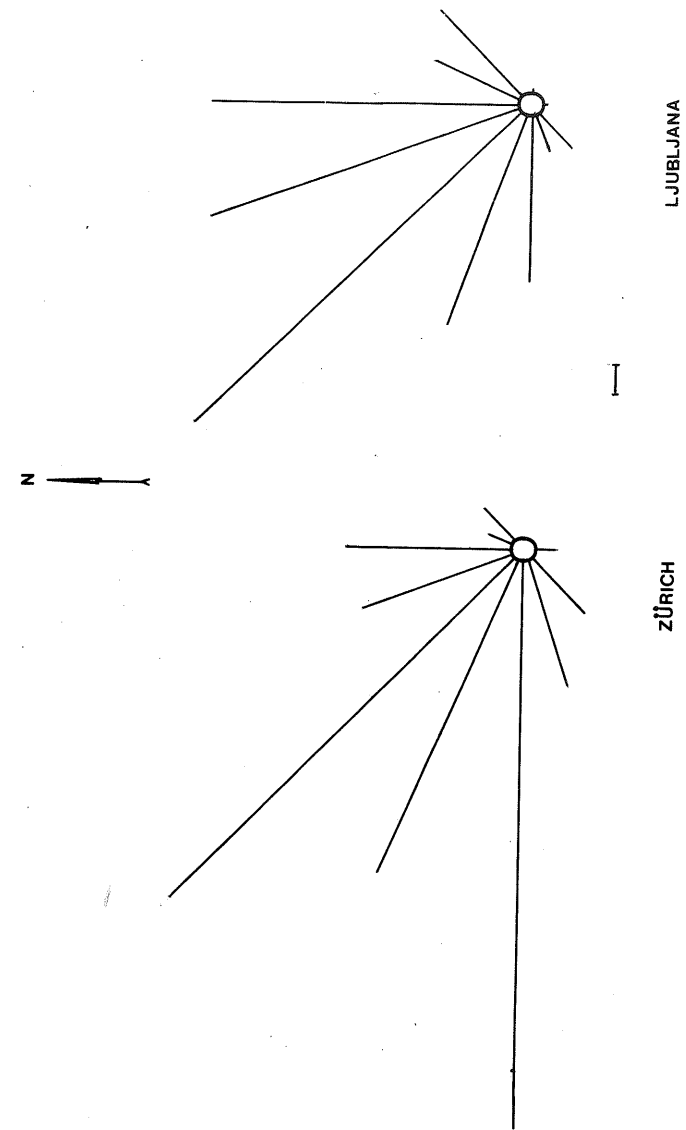
REZULTATI

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 ohladike 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 ohladikev 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.