

R A Z P R A V E
P A P E R S
X

VSEBINA — CONTENTS:

- E. Pirtovšek: Občutljivost foto celice in človeškega očesa pri Regnaultovi metodi določevanja rosišča
Sensibility of the photocell and the human eye with Regnault's method for determination of dew point
- M. Borko: Nekaj ugotovitev v zvezi s pojavom neviht na Brniku
Some statements about thunderstorm phenomena at Brnik (Ljubljana-airport)
- M. Kovač: Temperatura 300 metrske prizemne plasti zraka v Ljubljanski kotlini
Some temperature data of the planetary boundary layer — first 300 meters — of Ljubljana basin
- Z. Petkovšek: Temperatura polja v adiabatnih tokovih čez gorske grebene
Temperature fields in adiabatic flow over mountain ridges
- D. Furlan: Zona maksimalnih padavin v Julijskih Alpah in njena utemeljitev
On the problem of the zone of maximum amounts of precipitations in Julian Alps
- E. Lončar
N. Pleško
N. Šinik: Jedna možnost prikaza klime za potrebe zdravstva i turizma
A climatological description suitable for medical and touristic purposes

OBČUTLJIVOST FOTO CELICE IN ČLOVEŠKEGA OČESA PRI REGNAULTOVI METODI
DOLUČEVANJA ROSIŠČA

SENSIBILITY OF THE PHOTOCCELL AND THE HUMAN EYE WITH REGNAULT'S METHOD FOR
DETERMINATION OF DEW POINT

551.508.7

ERVIN PIRTOVŠEK

Katedra za meteorologijo FNT, Ljubljana

ABSTRACT:

Regnault's method for determination of dew point is very useful at low temperatures and small values of absolute humidity. Using this method in this work a comparison has been made in the determination of the dew point with photocell, diode and the human eye searching for the best sensor. Photocells - gas and vakuum ones - proved to be more sensible than the human eye. The human eye is very subjective perceiving the steam on the mirror under the best conditions only. A photocell responds to the smallest amounts of water and enables a very exact determination of the dew point. The results of measurements are presented on graphs.

UVOD

Določevanje rosišča je dandanes pri posameznih vejah znanosti, tehnike in gospodarstva zelo zahtevna naloga. Merjenje vlage pri visokih pritiskih terja čisto drugo metodo kot merjenje vlage v meteorologiji ali v biologiji v celicah raznih organizmov. Enako velja za merjenje vlage pri nizkih pritiskih in nizkih temperaturah. Tu najbolj ustreza Regnaultova metoda merjenja rosišča in posredno tudi vlage. To metodo odlikuje zelo široka meritvena sposobnost in daljinsko avtomatsko merjenje rosišča. Omogoča konstrukcijo instrumenta, s

katerim lahko temperaturo rosišča tudi napovedujemo.

Za konstrukcijo instrumenta za merjenje vlage po Regnaultovi metodi je zelo važno, da vemo, kakšno občutljivost lahko dosežemo z njim. Kako natančen bo instrument, je odvisno od občutljivosti foto celice in natančnosti merjenja temperature.

Sam princip je zelo preprost. Meriti je treba le temperaturo zrcala, ki ga ohlajamo, dokler se ne orosi. Takrat se snop žarkov, ki pada na zrcalce, razprši in foto celica da znak, da je doseglo zrcalce temperaturo rosišča. Važno je torej čimbolj natančno določiti to temperaturo; z drugimi besedami, na zrcalcu je treba zaznati že najmanjšo spremembo, ki jo povzroči vlaga. Nastane vprašanje: ali je oko občutljivejše od foto celice in ali foto celica zadovoljuje vsem potrebam? Odgovor na to vprašanje naj bi dal pričujoči sestavek.

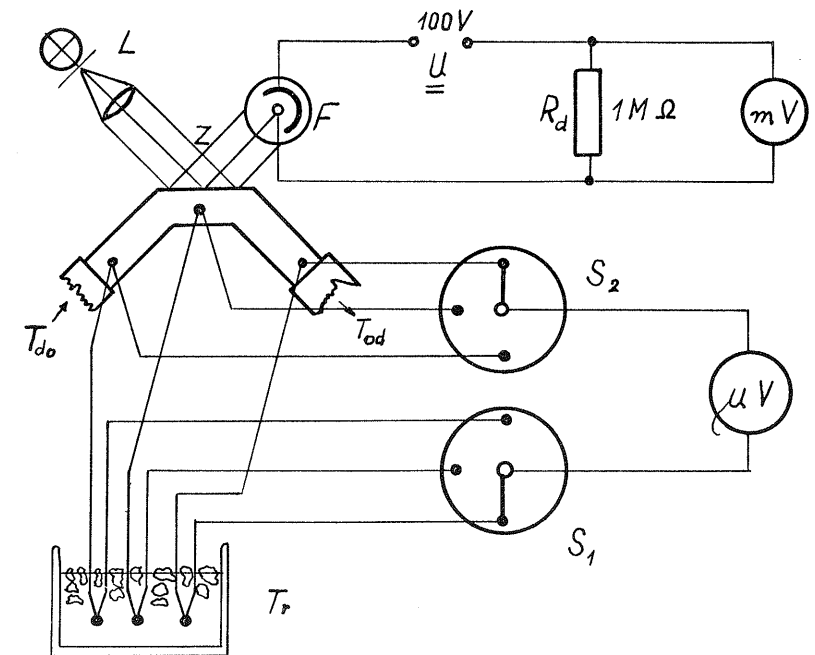
MERJENJE TEMPERATURE ZRCALCA S TERMO ČLENOM

Nemajhen problem je merjenje temperature zrcalca in registriranje vsakršnih najmanjših sprememb na njem, če hočemo točno izmeriti rosišče. Izkaže se, da vse metode, razen električnih, odpadejo, ker bodisi ne merijo dovolj natančno, bodisi ne sledijo dovolj hitro vsem spremembam zaradi prevelike lastne toplotne kapacitete. Termo člen ustreza vsem tem zahtevam. Težava nastopi le pri merjenju zelo majhnih napetosti, ki se pojavijo zaradi temperaturnih sprememb med obema stičnima točkama. Napetost U_e je premosorazmerna temperaturni razliki ΔT :

$$U_e = a \Delta T$$

Za termo člen, sestavljen iz konstantana in bakra, je termoelektrični koeficient, ki je za vsako kovino značilen, enak $a = 4,3 \cdot 10^{-3}$ V/st. To je sorazmeroma majhna vrednost, zato pa je treba ustvariti čim večjo temperaturno razliko ali pa najti instrument z veliko občutljivostjo in sposobnostjo, da

meri napetosti reda velikosti 10^{-6} V. Instrument, ki zadošča naštetim potrebam, je enosmerni voltampermeter "Boonton Electronic Corporation Model 95 ADC". Z njim lahko merimo napetosti $\pm 1,0$ u V do ± 1000 V z natančnostjo $\pm 3\%$ pri polnem odklonu kazalca in tokove od $\pm 0,1$ u A do $\pm 1,0$ A s $\pm 4\%$ napako pri polnem odklonu kazalca. Instrument je elektronski, kombinacija voltmetra, ampermetra in ojačevalca in je prirejen za merjenje enosmernih tokov. Notranja upornost voltmetra je $10 \text{ M} \Omega$, kar je popolnoma zadoščalo vsem meritvam. Iz podatkov je razvidno, da lahko brez težav merimo napetosti pri eni zanki termo člena, da torej ni treba zaporedno vezati več členov. To prednost izkoristimo pri zrcalu, ki je narejeno na posebej ukrivljeni medeninasti cevi; nanjo trdo pri-
spajkamo tri termo člene, da lahko ugotovimo morebitne temperaturne gradiente vzdolž same cevi in tako čim natančneje merimo temperaturo zrcala. Natančno lego in vezavo termo členov na cevi kaže slika 1, 2.



Slika 1,2 Shema naprave za merjenje rosišča

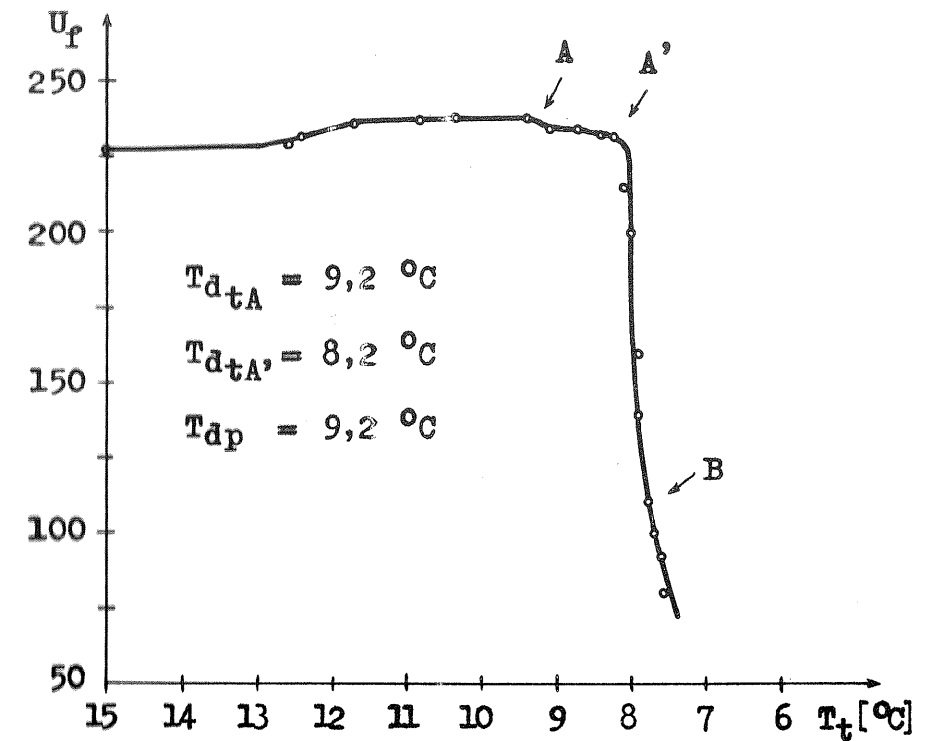
Fig. 1,2 Scheme of the device for measurement of the dew point

Zrcalce je bilo izdelano na sami cevi iz medenine. Zrcalna ploskev je bila zbrušena in spolirana do popolnega sijaja, nato pa je bila nanjo nparjena tanka plast srebra, tako da je bila odbojnost čim boljša, s tem pa pridobljena maksimalna možna občutljivost na spremembe na sami zrcalni površini.

Stikalo S_1 je povezovalo voltmeter z bakreno žico, ki je bila trdo prisajkana s konstantanom, ta stik pa potopljen v ledenomrzlo vodo; rabil je kot "hladna točka" T_p . Pri natančnih meritvah temperature je merodajna ravno stabilnost "hladne točke", kajti le tako izmerimo natančno temperaturo v "topli točki". Natančnost izmerjene temperature je torej odvisna od tega, kako smo uspeli držati in meriti rezistenčno temperaturo "hladne točke". V ta namen uporabimo ledišče destilirane vode. V litrski termovki je bila dvakrat destilirana voda z ledom prav tako iz destilirane vode. V razmikih po pet minut ali še pogosteje pomešamo led v termovki, da je temperatura po vsej zmesi enaka. Tako nam uspe držati vodo pri temperaturi od $0,2$ do $0,3^{\circ}\text{C}$, kar zadošča meritvam temperature. Rezistenčno temperaturo merimo s posebej umerjenim živosrebrnim termometrom, pri katerem je mogoče oceniti stotinke stopinje.

Stikalo S_2 je povezovalo bakreno žico termo členov (katerih konci so bili na medeninasti cevi) z mikrovoltmetrom. Takšno vezje je omogočilo meriti trenutno temperaturo na dveh mestih cevi skoraj istočasno, tako da je bila temperatura zrcalca kolikor le mogoče natančno izmerjena. Meritve so pokazale, da ni bilo opaznega temperaturnega gradienta vzdolž medeninaste cevi in da bi zadostovala že samo ena zanka termo člena. Zaradi poenostavljenega merjenja uporabimo na stikalu S_2 le skrajna kontakta, prvega in zadnjega, t.j. termo člen na začetku cevi in na koncu. Izkazalo se je, da vmesni stik ne da prav nobenih novih ali drugačnih podatkov.

Najprej je bilo treba mikrovoltmeter umeriti in narediti umeritveno krivuljo, s katero je mogoče odčitati poznejše meritve s foto celico. V ta namen uporabimo tekočo vodo iz vodovoda, ki teče skozi cev z zrcalcem in rabi kot



Slika 4 Rezultati merjenja z valjasto vakuumsko fotocelico VSCP 351, ki je lovila od zrcalca odbiti žarek

A Kaže pojav higroskopskih pik, A' Celo površino zrcalca je prekrila rahla meglica, ki se je vedno bolj gostila in debelila
B Kapljice na zrcalu so se začele zlivati

Fig. 4 Measurements obtained by a cylinder vakum photocell VSCP 351 which caught the beam reflected from the mirror

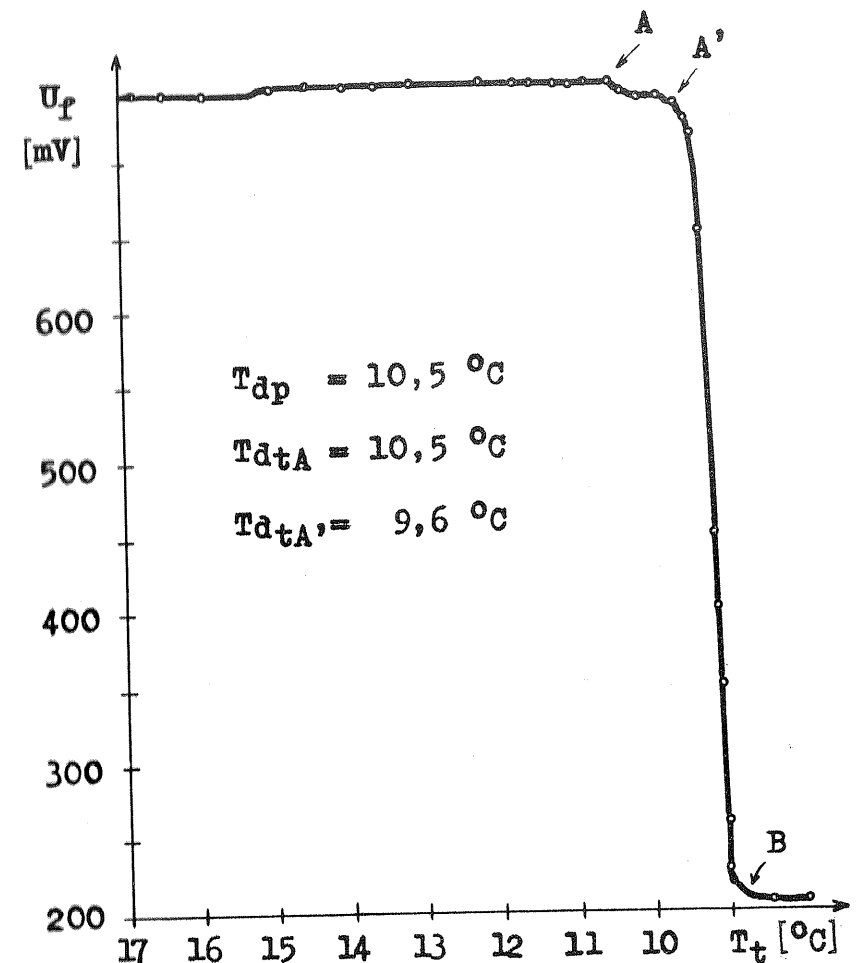
A The phenomena of hygroscopic spots is shown, A' The whole mirror got covered with increasingly condensing steam
B The drops on the mirror started to coalesce

Segreto zrcalce nemoteno odbija žarke, toda ko ga ohladimo do temperature rosišča, se na njem pojavi rosa, ki oslabi odbiti žarek. Na površini zrcalca,

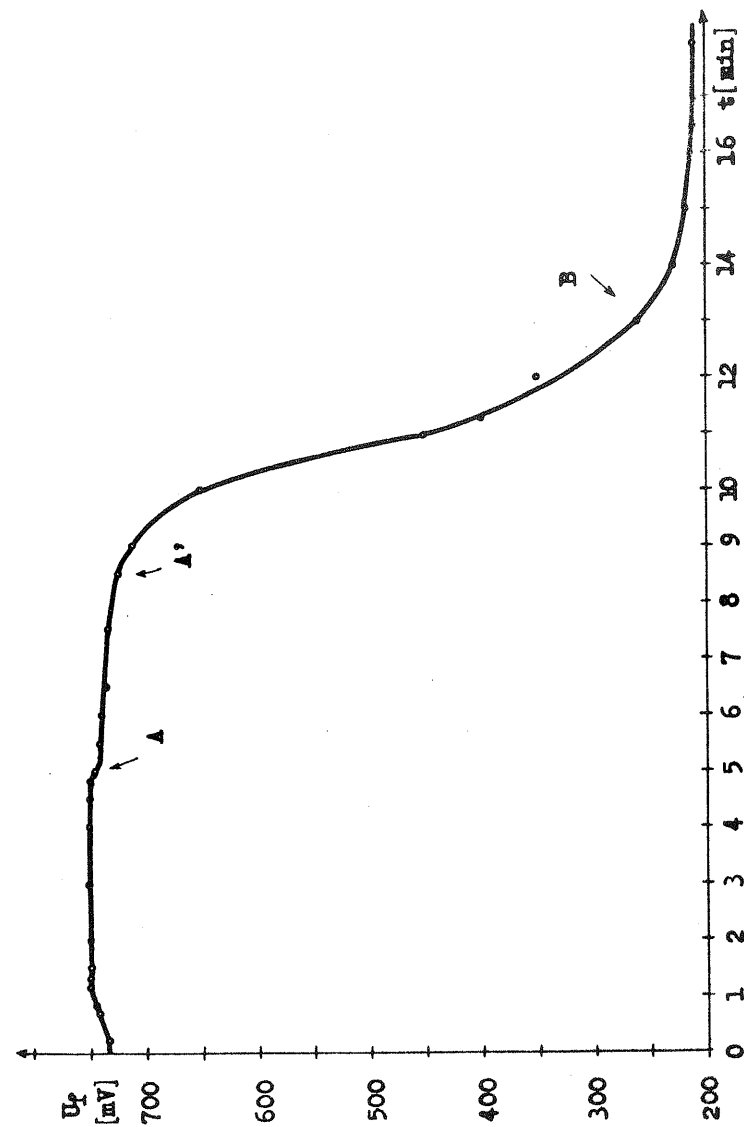
ki rabi kot kondenzacijska jedra, se tvorijo mikroskopske kapljice velikostnega reda 1μ , ki so očesu vidne kot rahla meglica. Svetlobni žarek se na teh kapljicah zaradi njihove ukrivljene površine siplje. Sprva so kapljice redke, tako da se žarki med njimi na zrcalu vseeno odbijajo po Lambertovem zakonu. Gostota kapljic in njihova velikost vedno bolj naraščata, čeprav se temperatura zrcalca ne spreminja in ostaja na rosišču. Če se temperatura zrcalca znižuje, se kondenzacija pospeši zaradi konvekcije in ohlajevanja zraka nad zrcalcem. Čim bolj se kapljice gostijo in večajo, tem več svetlobe se na njih siplje, dokler ne dobimo skoraj popolnega sipanja. Foto celica prejme le del sipane svetlobe. Če je foto celica nameščena pravokotno na smer odbitega žarka, ta ob pojavu meglice oslabi, če pa je nameščena pravokotno nad zrcalcem, se ji svetlobni tok poveča. V prvem primeru, ko foto celica lovi odbiti žarek, se je električni tok zmanjšal, s tem pa se zmanjša napetost na delovnem uporu, ali pa povečal, če je foto celica nameščena pravokotno nad zrcalcem. Sčasoma se kapljice tako povečajo, da se začno med seboj zlivati. Izkraj se padanje svetlobnega toka v foto celici ustavi /točka B na sliki 5/, s tem pa postane tudi napetost na delovnem uporu konstantna, čeprav še nadalje znižuje temperaturo zrcalca. Iz sheme na sliki 2. je razvidna celotna vezava in princip merjenja za primer, da foto celica lovi odbiti žarek.

Sliki 5 in 6 kažeta odvisnost napetosti na delovnem uporu R_d od hlajenja zrcalca, oziroma od intenzitete odbitega žarka.

Kmalu so se pokazale razlike med takšnimi poskusi in meritvami rosišča z Assmanovim psihrometrom, ki ga uporabimo kot umeritveni instrument. Po nekaj poskusih se je pojavila občutna razlika, ki je znašala tudi do 1°C . Na zrcalcu se je rosa, ki je občutno oslabila žarek, pojavila veliko pozneje, šele takrat, ko se je zrcalce ohladilo za pol ali celo stopinjo pod rosišče - točka A na slikah. Pri ohlajevanju so se najprej pojavile na zrcalcu drobne pike, ki so se potem rahlo povečale. Opazne so bile že pri toplem zrcalu. Nastajanje



Slika 5 Rezultati merjenja rosišča z vakuumsko fotocelico VSCP 2141
 Fig. 5 Measurements of the dew point obtained with a vacuum photocell VSCP 2141

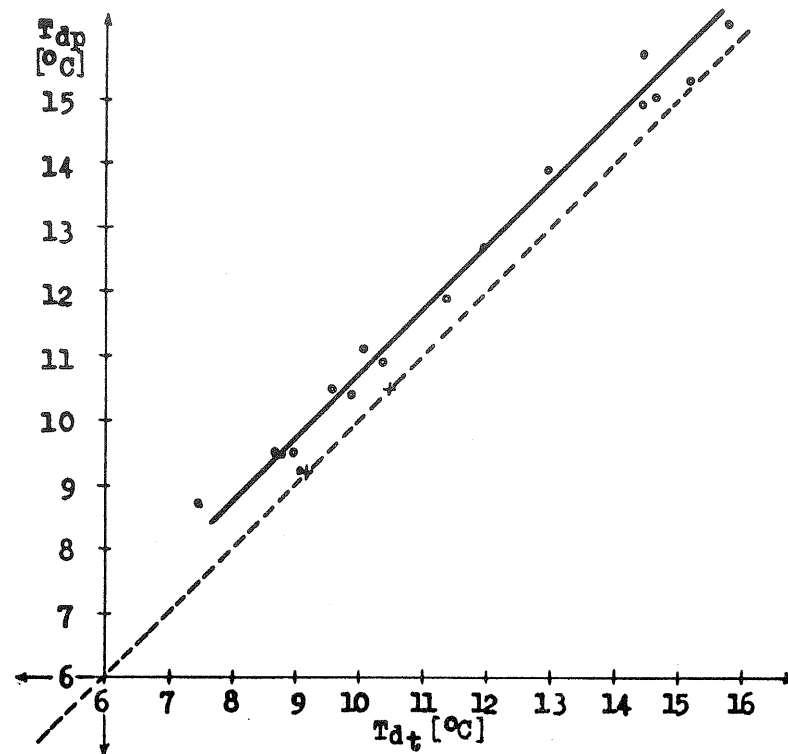


Slika 6 Časovni potek zarositve zrcalca

Fig. 6 Time distribution of steaming of the mirror

le so po izhlapevanju alkohola, s katerim čistimo zrcalca in so pozneje postala nekakšna kondenzacijska jedra. Pri temperaturi rosišča so se kapljice sprva okrepile, potem pa povečale in razširile. Voltmeter, ki je meril napetost na delovnem uporu v toku fotocelice, se je ob pojavu pik le za malenkost premaknil, potem pa na tem mestu nekaj časa vztrajal. Šele ko je temperatura zrcalca padla na pol ali celo stopinjo, je celotno zrcalce prekrila rahla koprena, ki se je pozneje vedno bolj gostila, dokler se niso pojavile očesu vidne kapljice. Pri nadaljnjem ohlajevanju so se začele te zlivati in združevati, kar je zelo dobro vidno na sliki 5 /točka B/. Na omenjenih pikah je ves proces kondenzacije potekal hitreje kot na ostalem delu zrcalca. Ob njih se je meglica takoj zgostila in kmalu so se začele drobne kapljice združevati, medtem ko se je drugod po zrcalu meglica šele gostila. Ta pojav da slutiti, da se je ob higroskopskih jedrih kondenzirala najprej vlaga s tanke plasti zraka nad zrcalcem, dokler se ni izločila večina vlage. Plast je nekaj časa učinkovala kot izolator pred dotokom drugega vlažnega zraka in preprečevala še nadaljnjo zarositve. Ko se je zrcalce še bolj ohladilo, je prišlo do izmenjave plasti, s tem pa tudi do večje orositve. Na diagramih je zelo lepo vidna stagnacija zarositve zrcala ob pojavu pik /območje A - A'/, posebno na časovnem diagramu slike 6.

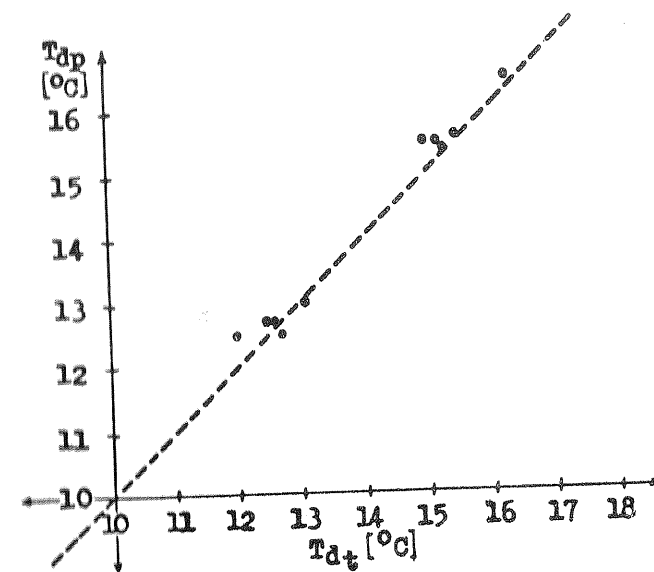
Čo primerjamo temperaturo rosišča, izmerjeno prvič s psihrometrom, drugič pa s termo členi in foto celico, vidimo, da odstopata od črte popolnega ujemanja /črtkasta premica na sliki 7/. Na njej je opaziti tudi nekaj točk, ki padejo na idealizirano premico. Te so posledica odklona na milivoltmetru pri pojavu kondenzacijskih pik in njihovem povečanju.



Slika 7 Razlika med meritvami rosišča merjenim s psihrometrom (T_{dp}) in foto-celico (T_{dt})

Fig. 7 Difference between the dew point values obtained by psychrometer (T_{dp}) and by photocell (T_{dt}).

Da bi potrdili to domnevo, usmerimo proti zrcalu ventilator, ki naj bi mešal zrak nad njim. Več poskusov je potrdilo pravilnost domneve, saj je maksimalno odstopanje znašalo sedaj največ za $0,5^{\circ}$ C. Tipično meritev z ventilatorjem kaže slika 4. Intenzitete zarositve je seveda odvisna predvsem od hitrosti ohlajevanja, to je od pretoka vode skozi cev. Izkazalo se je, da pretok vode ne vpliva bistveno na intenziteto orosenja, čeprav tudi ni čisto brez vpliva.



Slika 8 Razlika med meritvami rosišča merjenim s psihrometrom (T_{dp}) in foto-celico (T_{dt}) ob aspiriranju zrcalca.

Fig. 8 Difference between the dew point values obtained by psychrometer (T_{dp}) and by photocell (T_{dt}) while aspirating the mirror.

Primerjava med temperaturama rosišča, merjenima z Assmanovim psihrometrom in zrcalcem s foto celico ob aspiriranju, kaže na večje približevanje k idealizirani premici; odstopanja so, kot vidimo na sliki 8 manjša. Večja natančnost instrumentov in naprav pri poskusih bi dala verjetno tudi še večje ujemanje. Dejansko kaže slika 8 meritve le pri dveh vlažnostih, ker ni bilo mogoče poljubno spreminjati vlažnosti prostora; primerne komore, kjer bi se dali delati poskusi, pa tudi ni bilo. Zadovoljiti se je bilo treba le s spreminjanjem temperature sobe, s tem pa dobimo tudi različne relativne vlage prostora, torej tudi rosišče. Odstopanja zaradi tega sicer niso velika, vendar so.

Meritve z vakuumsko foto celico, nameščeno pravokotno nad zrcalcem, brez aspiriranja niso dale posebno zadovoljivih rezultatov. Poskusi so pokazali, da

lahko taka postavitev foto celice zmanjša natančnost registriranja. Tokovi, ki nastanejo zaradi sipanja svetlobe na zrcalu ob pojavu pik, so tako majhni, da nanje vpliva že nihanje instrumenta. Morda bi pri aspiriranju zrcalca bili boljši rezultati, s tega zaradi preurejanja laboratorija ni bilo mogoče preiskati.

Fotodioda se obnaša podobno kot foto celica, le da ima to prednost, da je ni treba posebej napajati z delovno napetostjo, saj deluje kot izvor napetosti. Pri fotodiodi merimo napetost v direktnem stiku brez delovnega upora, kar je prednost pred foto celico. Poskusi so bili opravljeni samo pri ohlajevanju zrcalca brez aspiriranja pri pravokotni namestitvi fotodiode v smeri žarka in pri pravokotni legi nad zrcalcem. Kažejo, da fotodioda v prvem primeru verjetno ni lovila odboja žarkov na higroskopskih pikah, ker ni registrirala njihovega pojava. To je deloma razumljivo, saj je površina fotosenzibilne snovi fotodiode več kot desetkrat manjša od zrcalca in prav nič težko ni zadeti mesta, kjer ni bilo higroskopskih pik. Ta slabost je bila še posebej opazna pri pravokotni legi fotodiode nad zrcalom. Napetost fotodiode je bila tako majhna, da jo je nihanje instrumenta popolnoma izmaličilo.

V tej legi, t.j. pravokotno nad zrcalcem, se je posebno odlikovala plinska foto celica, pri kateri je sipanje svetlobe na pikah dalo dovolj močan signal, da sproži vžig foto celice. Ujemanje s psihrometrom je bilo presenetljivo dobro, pa čeprav pri poskusih nisem uporabljal ventilatorja. Slabše se je obnašala pri legi, ko je lovila odbiti žarek /sl. 2/. Higroskopske pike niso dosti vplivale na delovanje foto celice in na napetost delovnega upora. Prav tukaj bi bil potreben ventilator, ki bi verjetno pokazal prednost plinske foto celice pred vakuumsko, saj da plinska foto celica skoraj desetkrat jačji signal kot vakuumsko.

Vse meritve, posebno še meritve z vakuumsko foto celico, so pokazale, da je foto celica enako ali pa še bolj občutljiva od očesa. Oko je resda opazilo

že najmanjšo senco in piko na zrcalcu, toda le pri posebnih pogojih in pod primernim kotom. Za zrcalcem je treba imeti teman zaslon, tako da se vsaka sprememba na zrcalni površini s temnim ozadjem zablešči v svetlobnem žarku, ki pada nanjo iz svetila. Pri pravokotnem pogledu na zrcalce teh pik ni bilo videti; opazna je bila šele meglica. Vakuumska foto celica je zabeležila tudi higroskopske pike in meglice. Pri poskusih sem si na tabelah zaznamoval temperaturo, pri kateri naj bi bilo rosišče, ko sem opazoval zrcalce z očmi. Poznejše načrtovanje diagramov me je močno presenetilo, saj so meritve s foto celico nemalokrat pokazale boljše rezultate, kot sem jih predvideval. Pri poskusih z aspiratorjem bi se gotovo izkazalo, da so tudi ostali fotoelementi, kot so plinska foto celica, fotodioda in fototranzistor, občutljivejši od očesa, saj jih ne moti pri določevanju rosišča lega - niso odvisni od kota, pod katerim lovijo odbite žarke. Seveda pa je za vsak fotoelement potrebna posebna konstrukcija zrcalca in dodatki, ker se po velikosti in funkcionalnosti med seboj precej razlikujejo. Vsak izmed naštetih elementov ima svojevrstne prednosti in odlike. Namen, kje in kako naj bo uporabljena naprava, določa izbiro elementa. Če ni na voljo dovolj električne energije, je boljši fototranzistor ali fotodioda, če pa je potreben močan signal, ki naj vključi večje releje, je boljša plinska fotocelica. Možnost konstrukcij ter njihove uporabe je zelo velika; ona izmed teh bi bila tudi merjenje in določevanje ter celo napovedovanje rose in posledice na letaliških stezah ali na cestah. Za hladilni sistem bi izrabili Peltierov efekt, ki omogoča, da z dovajanjem električnega toka grejemo ali hladimo stično mesto, kar je odvisno od smeri toka. Namesto kovin kot pri termo členih vzamemo polvodnike, ki toploto slabše prevajajo in s tem omogočijo na krajšo razdaljo ustvariti večjo temperaturno razliko. Zrcalce konstruiramo kar na eni izmed stičnih točk, kamor priopajkamo še termo upor, da izmerimo temperaturo, pri kateri nastopi rosišče. Za indikator rose na zrcalni površini si izberemo fototranzistor ali fotodio-

do, za izvor svetlobe pa majhno baterijsko žarnico, saj ni potreben močan snop svetlobe. Vse skupaj mora biti zaprto v temnem ohišju, da zunanja svetloba ne moti meritve, možen pa mora biti dotok svežega zraka od tal, kjer merimo roso ali poledico. Kadar se ujemata temperatura letališke steze, ki jo tudi merimo s termo uporom, in rosišče, pride do pojava rose, če pa so te temperature negativne, pomeni, da je možna poledica. Merjenje poteka avtomatično, podatke in rezultate pa lahko prenašamo na daljavo, kar daje zopet prednost tej metodi pred klasično metodo s psihrometri. Iz tendenc in drugih faktorjev lahko pojav rose ali poledice zelo dobro napovedujemo, to pa so za letalski in cestni promet zelo važni podatki, saj omogočajo večjo varnost.

LITERATURA

- Gregory H. S.: Hygrometry, London 1959
- Parrott J., Penn A.: Applications of the Peltier Effect, AEI Engineering 4/62
- Gardner J.: Electric Power from Nuclear Heat Direct, The English Electric Journal 12/61

NEKAJ UGOTOVITEV V ZVEZI S POJAVOM NEVIHT NA BRNIKU

SOME STATEMENTS ABOUT THUNDERSTORM PHENOMENA AT BRNIK /LJUBLJANA-AIRPORT/

551.509.326

MIRAN BORKO

Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana

ABSTRACT:

Synoptic parameters have been studied to determine the disposition of the atmosphere for development of thunderstorms at Ljubljana-airport.

Ljubljana-airport is at the fringe of the European belt of thunderstorm maximal frequency. The mean yearly frequency of thunderstorms is about 40. Time distributions of thunderstorms during the day and the year have all the characteristics of a continental climate. A peculiarity is the secondary maximum of frequency between 10 p.m. and 11 p.m.

The following relationships between synoptic parameters and thunderstorm phenomena have been found:

Optimal conditions for development of thunderstorms are given with temperatures between -12 and -14° C at 500 mb surface and large differences $/14$ till 18° C/ between temperatures at 700 mb and 500 mb surfaces. Thunderstorms are the most frequent at vertical temperature gradients $.75$ till $.80^{\circ}$ C/100 m.

The study of the upper winds shows that the directions at 500 mb surface are almost always from SW till NW. The SW direction connected with 40% of all the thunderstorms is by far the most frequent one. The wind speed distribution shows that all wind speeds are equally frequent.

Thunderstorms without precipitations are usually related to weak upper winds. A tendency to linear relationship between the amount of precipitations and the wind speed at 500 mb surface has been noticed. Precipitations connected with thunderstorms with amounts above 10 mm occur only at wind directions 200 till 320° at 500 mb surface. The most ample precipitations are being observed exclusively at wind directions 200 till 260° at 500 mb surface.

Synoptic situation and analysis of soundings from some aerological stations are the basis for a genetic classification of thunderstorms. The thunderstorms are grouped into: Local thunderstorms in the preheated tropical air mass, thunderstorms in the rear of the advancing polar air mass, thunderstorms related to labilisation of the upper air layers, thunderstorms at the invasions of cold air at the surface, peculiarity are the thunderstorms at the invasion of cold air from NE and finally thunderstorms in relation to cool pool, stationary front and crossing of the cyclonic center.

UVOD

Prispevek je le kratek pregled o proučevanju neviht v odvisnosti od sinoptičnih, aeroloških in klimatskih parametrov. Na tem mestu želimo podati predvsem nekatere ugotovitve glede sinoptičnih parametrov, ki določajo dispozicijo ozračja za razvoj neviht.

Obravnavani podatki o nevihtah so rezultat triletnega opazovanja na letališču Brnik pri Ljubljani $\varphi = 46^{\circ} 13'$, $\lambda = 14^{\circ} 29'$, $h = 362$ m/. Glede pogostnosti neviht na območju Brnika navajamo ugotovitve Critchfilda in Petkovška /3,4/ o pasu maksimalnega letnega števila neviht prek srednje Slovenije; Brnik bi bil tako na robu tega področja, ki ima v vsej Evropi največje število neviht na leto. Sorazmerno veliko število neviht v Brniku /približno 40 letno/ je pogojeno z dejstvom, da je kraj na robu gozdnega sistema in da

je celotno področje (Gorenjska) na robu jugovzhodnega predgorja velikega gorskega masiva-Alp. Razumljivo je, da ima razporeditev neviht na Brniku glede na dnevni in letni čas vse značilnosti kontinentalnega podnebja: maksimum neviht v prehodu iz junija v julij, najpogostejše nevihte med 15. in 16. uro. Izrazita posebnost v pojavljanju neviht je sekundarni maksimum frekvence v času med 22. in 23. uro, kar moramo, kakor so pokazale obdelave, pripisati kasnitvi prehodov nekaterih hladnih front, ki so podnevi že dosegle Vzhodne Alpe; gibanje proti vzhodu pa nadaljujejo šele v nočnem času, ko popustijo južni vetrovi, ki pihajo podnevi ob vzhodnem robu alpskega masiva.

Preden preidemo na obravnavanje sinoptičnih parametrov, si pogledajmo še odvisnost med pojavom neviht in odklonom zračnega pritiska od poprečnih vrednosti. Na to odvisnost je pokazalo že več avtorjev, tako na primer za nevihte v Ljubljani Čadež /5/. Odklon zračnega pritiska od poprečnih vrednosti je v nekem smislu indikator vremenskega stanja nekega kraja. Velik negativni odklon kaže na močno advektivno komponento v vremenskem dogajanju, ki za nastanek večjih vzponskih tokov ni ugodna. Velik pozitivni odklon zračnega pritiska od normalne vrednosti pa je zopet običajno povezan z močnimi subsidenčnimi gibanji v ozračju, to pa tudi zmanjšuje verjetnost nevihte.

Podatki za meteorološko postajo Brnik kažejo, da se več kot polovica vseh neviht pojavi pri zračnem pritisku v intervalu ± 2 mm od normalne vrednosti. V intervalu zračnega pritiska odklona od normale, večjim 4 mm nad normalo, oziroma 6 mm pod normalo, se pogostnost neviht bistveno zmanjša. Pri sestavljanju statistike je upoštevan stvarni zračni pritisk v času nevihte. Ugotovitve se ujemajo z obdelavo neviht v Ljubljani /5/, namreč, da je nevihta najverjetnejša pri zračnem pritisku tik pod normalno vrednostjo. Pri statistiki lokalnega pojavljanja neviht omenimo še pregled verjetnosti neprekinjenega trajanja nevihtnih oblakov nad Brnikom. Podatki se nanašajo na podobo celotnega neba, torej na istočasni pojav nevihtnih oblakov nad različnimi področji, ki jih

lahko registrira opazovalec meteorološke postaje Brnik, in ne na trajanje ene formacije cumulonimba. Najpogostnejše neprekinjeno trajanje stanja neba z nevihtnimi oblaki je do 2 uri /27%/, le malo manj pogostni sta eno in triurno trajanje. Neprekinjeno trajanje nevihtnih oblakov nad 4 ure je že bolj redek pojav. Najdaljše trajanje 11 ur se je pojavilo samo v enem primeru.

NEVIHTE IN SINOPTIČNI PARAMETRI.

V zvezi z nevihtami na Brniku in v širši okolici so bile poiskane zveze s temile sinoptičnimi parametri: razlika v temperaturah med posameznimi baričnimi ploskvami, razlika v rosišču med posameznimi baričnimi ploskvami, višina posameznih baričnih ploskev, smer in hitrost vetra na posameznih baričnih ploskvah, nadalje razlike v rosišču in temperaturah v horizontalni smeri na 500 mb izobarni ploskvi. Končno je bila določena sinoptična karakteristika nevihtnih dni glede na cirkulacijo v ozračju in aktivnost vremenotvornih procesov, na tej osnovi pa tudi klasifikacija neviht.

1./ Zveza med temperaturno razliko izobarnih ploskev 700 in 500 mb ter temperaturo na višini 500 mb izobarne ploskve kaže, da so optimalni pogoji za nastanek neviht: temperatura na višini 500 mb izobarne ploskve od -12° do -14° , razlika v temperaturah obeh izobarnih ploskev pa 14 do 18° . Pri nižjih temperaturah na izobarni ploskvi 500 mb se pomakne območje pogostejših neviht v smer večjih temperaturnih razlik med obema ploskvama. V temperaturnem intervalu -12 do -18 se pojavi skoro 90% vseh neviht. Zanimivo je še primerjati temperature na višini 500 mb izobarne ploskve in temperaturne razlike med izobarnima ploskvama 850 in 500 mb. Optimalni pogoji za nastanek neviht so pri temperaturni razliki med obema ploskvama med 24 in 29° in pri temperaturi na višini 500 mb ploskve od -12 do -14° .

2./ Zveza med višino 500 mb izobarne ploskve in pojavom neviht. Okoli 80% vseh opazovanih neviht smo registrirali v intervalu višine 500 mb

ploskve od 564 do 578 dekametrov, pri čemer je najpogostnejša mejna vrednost 578 dekametrov.

3./ Zveza med vertikalnimi razlikami temperatur na posameznih baričnih ploskvah in pojavom nevihte.

Poiskane so bile temperaturne razlike 850/700 mb ploskve, 700/500 in 850/500. Spodaj navajamo optimalne razlike v temperaturah omenjenih izobarnih ploskev ob nevihtnih dneh:

Izobarne ploskve:	850/700	700/500	850/500	mb
temperaturne razlike ob nevihtnih dnevih	9-12	15-18	25-29	$^{\circ}\text{C}$
Največje število neviht pri temperaturnih razlikah	11°	17	28°	$^{\circ}\text{C}$

Omenjene temperaturne razlike ustrezajo približno vertikalnemu temperaturnemu gradientu $0,75$ do $0,80^{\circ}$ na 100 m /upoštevane so poprečne višine izobarnih ploskev/.

4./ Zveza med smerjo in hitrostjo višinskega vetra in pojavom nevihte. Od obravnavane zveze smo si mnogo obetali, saj so podobne obdelave (na primer Pristov /6/) pokazale določeno odvisnost med smerjo in jakostjo vetra ter lokalnimi vremenskimi procesi. Tako sklepanje je še tembolj utemeljeno za Slovenijo, ki leži na jugovzhodnem robu Alp, ki kot velik gorski masiv vplivajo na modifikacijo vremenotvornih procesov v ozračju ter pospešujejo ali slabijo vpliv zračnih tokov različnih smeri v prostem ozračju.

V tabelah št. 1 in 2 navajamo višinski veter v nevihtnih dneh (smer in hitrostna stopnja) na 850 in 500 mb izobarni ploskvi. Najštevilnejše so nevihte pri šibkejšem jugozahodnem vetru na višini 850 mb izobarne ploskve, precej manj pogostne pa so pri jugovzhodnem in severovzhodnem vetru, medtem ko

so pri drugih smereh zelo redke.

TABELA 1

Višinski veter na 850 mb ploskvi v nevihtnih dneh

TABLE 1

Upper wind at 850 mb surface on days with thunderstorms

Smer vetra:	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Skupno število:	4	13	7	14	8	35	19	6
hitrost do 20 km/h	3	10	6	7	3	24	10	4
21 do 40 km/h	1	3	1	6	4	7	2	1
nad 41 km/h				1	1	4	1	1

TABELA 2

Višinski veter na 500 mb ploskvi v nevihtnih dneh

TABLE 2

Upper wind at 500 mb surface on days with thunderstorms

Smer vetra:	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Skupaj v %
Skupno število:	3	6	2	5	3	40	15	26	100
hitrost do 20 km/h	1	4	1	2	1	4	3	3	19
od 21 do 30 km/h	1	1		2		10	4	7	25
od 31 do 40 km/h	1	1	1			8	1	6	18
od 41 do 60 km/h				1		10	3	8	22
nad 60 km/h					2	8	4	2	16

Primerjava vetra na višini 500 mb izobarne ploskve s pojavom neviht pa kaže, da nastajajo nevihte skoraj izključno pri smeri vetra med jugozahodno in severozahodno smerjo, pri čemer smer vetra jugozahod vključuje približno 40% vseh neviht. Glede odvisnosti od hitrosti vetra pa velja, da so vse hitrostne stopnje zastopane precej enakomerno.

Če primerjamo podatke o vetru na obeh obravnavanih izobarnih ploskvah, lahko ugotovimo, da je na večjih višinah jugozahodna smer v nevihtnih dneh močnejše nakazana kakor v nižjih zračnih plasteh. Nadalje je zanimiva ugotovitev, da imamo sorazmerno številne nevihte tudi pri severozahodnem vetru na večjih višinah. Pri tej ugotovitvi pa moramo poudariti tole: višinski veter je določen le na osnovi enega izmed dveh dnevnih terminov aeroloških opazovanj /ob 01 in 13. uri/, nevihte pa se pojavljajo ob vsakem dnevnem času, čeprav je okoli 44 % neviht v času \pm 3 ure glede na opazovalni termin ob 13. uri.

5./ Zveza med vetrom na 500 mb izobarni površini in količino padavin v času neviht.

Spričo primerjalnih podatkov, prikazanih v tabeli 3 lahko ugotovimo:

- 1./ brezpadavinske nevihte se pojavljajo v splošnem ob šibkih vetrovih na višinah;
- 2./ obstaja do neke mere linearna odvisnost med količino padavin in hitrostjo vetra;
- 3./ ob šibkem vetru na višinah se manjša verjetnost večjih padavin;
- 4./ nevihte, ki dajejo padavine, se pojavljajo v zelo veliki meri le v intervalu smeri vetra na 500 mb izobarni površini med 200° in 280° , najmočnejše je zastopan interval smeri 240° do 260° ;
- 5./ količina padavin ob nevihti nad 10 mm nastopi izključno pri smeri vetra na 500 mb izobarni površini med 200° in 320° ;
- 6./ zelo intenzivne padavine /količine nad 30 mm/ se pojavljajo izključno v intervalu smeri vetra na 500 mb izobarni površini med 200° in 260° .

Količina padavin je določena v času trajanja nevihte in predhodnega ali po nevihti še nadalje trajajočega dežja.

TABELA 3

Število neviht glede na količino padavin v času neviht in smer vetra na 500 mb ploskvi

TABLE 3

Frequency of thunderstorms as a function of the amount of precipitations and wind direction at 500 mb surface.

Smer vetra:	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100	101-120	121-140	141-160	161-180
brez padavin (ali do 0,1 mm)	2	1	0	2	1	0	0	1	0
1 do 5 mm	1	0	0	1	0	0	0	1	1
6 do 10 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11 do 15 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16 do 20 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21 do 25 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26 do 30 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31 do 40 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41 do 50 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nad 51 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Smer vetra /500 mb/	181-200	201-220	221-240	241-260	261-280	281-300	301-320	321-340	341-360
brez padavin	2	1	7	5	10	7	4	3	2
1 do 5 mm	0	2	5	6	4	1	1	0	2
6 do 10 mm	0	3	1	0	3	1	0	0	1
11 do 15 mm	0	2	2	1	1	1	1	0	0
16 do 20 mm	0	2	0	2	1	0	0	0	0
21 do 25 mm	0	2	0	2	1	0	0	0	0
26 do 30 mm	0	0	1	1	0	0	0	0	0
31 do 40 mm	1	1	2	3	0	0	0	0	0
41 do 50 mm	0	0	1	1	0	0	0	0	0
nad 51 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TABELA 4

Število neviht glede na količino padavin v času neviht in hitrost vetra na 500 mb ploskvi

TABLE 4

Frequency of thunderstorms as a function of the amount of precipitations and wind direction at 500 mb surface

Deka vozli	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
brez padavin	11	12	16	6	7	2	0	0	0	0	0
0,1 do 5 mm	1	4	4	5	9	2	1	0	0	0	0
6 do 10 mm	0	2	1	3	4	0	0	0	0	0	0
11 do 15 mm	0	1	1	4	2	0	0	0	0	0	0
16 do 20 mm	0	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0
21 do 25 mm	0	0	2	1	1	0	1	0	0	0	0
26 do 30 mm	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
31 do 40 mm	0	0	0	1	2	1	1	1	0	0	0
41 do 50 mm	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
nad 50 mm	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

6./ Zveza med razliko v temperaturi in rosišču na posameznih izobarnih ploskvah in pojavom neviht.

TABELA 5

Število neviht glede na depresijo rosišča na treh izobarnih ploskvah

TABLE 5

Frequency of thunderstorms as a function of the dew point depression at three isobaric surfaces

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
850 mb	4	8	18	11	23	8	8	2	5	2	1	3	1	1	1	3	-	-	-
700 mb	6	13	14	9	10	12	8	12	1	2	2	2	1	0	1	1	1	-	-
500 mb	1	1	4	7	6	6	5	9	5	6	6	10	11	8	4	3	3	2	-

Podatki v tabeli št. 5 kažejo, da je za nevihte najugodnejša višja relativna vlaga v nižjih zračnih plasteh.

7./ Zveza med temperaturnimi razlikami v horizontalni smeri na višini 500 mb izobarne ploskve in pojavom neviht.

Podatki so obdelani v tabeli št. 6. Vidimo, da imamo ob nevihtnih dneh najhladnejši zrak v polovici vseh primerov v severozahodni smeri. Precej zastopana je še zahodna smer, medtem ko se druge smeri pojavijo le redko.

SINOPTIČNE KARAKTERISTIKE NEVIHT

Za ca 280 nevihtnih dni so bile izdelane sinoptične karakteristike na osnovi višinskih kart 500 mb izobarne ploskve, nižinskih sinoptičnih kart in analize radiosondnih vzponov okolnih seroloških postaj. Na osnovi te obdelave lahko podamo nekatere kompleksne sinoptične situacije po katerih ločimo nevihte, oziroma v nekem smislu s tem nakažemo klasifikacijo vzrokov za nastanek neviht.

TABELA 6

Število neviht glede na horizontalni temperaturni gradient in na sinoptične karakteristike na 500 mb ploskvi

TABLE 6

Frequency of thunderstorms as a function of the horizontal temperature gradient and synoptic characteristics at 500 mb surface

Stopnja temperat. razlik °/100 km	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	Os grebena	Center kaplje	Os doline	Brezgradi- entno polje
0-1,0	17	9	6	0	0	2	4	10	4	3	1	6
1,1-2,0	23	6	3	1	0	0	1	2	0	0	0	0
> 2,0	4	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Skupaj	44	15	9	1	0	2	5	14	4	3	1	6

1./ Lokalne nevihte zaradi močne preogretosti tropske zračne gmote.

Te nevihte se pojavljajo predvsem v končni fazi anticiklonov, ki se razkrajajo in umikajo proti vzhodu. Na višinah se prično šibki jugozahodni vetrovi. Višinska dočina je običajno že dosegla Zahodne Alpe. Lokalni vreme ima vse značilnosti tropske zračne gmote, predvsem pa majhna vidnost. Običajno ni močnejšega predfrontalnega pada zračnega pritiska.

2./ Nevihte v zaledju prodrlega polarnega zraka.

Nevihte nastajajo običajno naslednji dan, ko je hladna fronta prešla Slovenijo in je nad osrednjim ali vzhodnim Balkanom. Centralni ciklon se giblje iznad Danske proti južni Skandinaviji. V višinah imamo nad srednjo Evropo dolino, ki se pomika proti vzhodu, vendar tako, da se pri nas v višinah zahodni zračni tokovi. Slabotno izražen greben azorskega anticiklona je usmerjen proti severovzhodu. Nevihte se pojavijo že sorazmerno zgo-

daj, vsekako pa prej kakor v tropski zračni gmoti. V primeru močnejše postfrontalne subsidence zračnih plasti /tedaj je greben azorskega anticiklona močnejši in je usmerjen proti vzhodu/ ta tip nevihte odpade. Večkrat je zgodnji dopoldanski nastanek cumulonimbov tega tipa kmalu ustavljen.

3./ Nevihte v zvezi z labilizacijo višjih zračnih plasti.

Hladna fronta se na Alpah ustavi in zavzame lego zahod-vzhod, Ob jugovzhodnih Alpah in nad zahodnim Balkanom se še zadržuje slabotno področje visokega zračnega pritiska. Osrednje ciklonsko področje je nad severno Britanijo in Dansko. V višinah je dolina hladnega zraka nad zahodno Evropo, tako da nad Alpami pihajo močnejši jugozahodni vetrovi. Prodor hladnega zraka prek Alp proti vzhodu se še ni izvršil, to se običajno zgodi šele naslednje dni, včasih pa ostane hladni zrak v nižjih zračnih plasteh sploh za Alpami. Labilizacija ozračja nastane zaradi pritekanja hladnejšega zraka v višjih zračnih plasteh, pa tudi zaradi segrevanja najnižjih zračnih plasti, ki so običajno najtoplejše pred prehodom hladne fronte. Nevihte kot posledica take labilizacije ozračja so običajno redke, kar je pripisati temu, da so pred prehodom fronte pogosto močnejši vetrovi tudi v nižinah in da je pogosto zmanjšano segrevanje nižjih zračnih plasti zaradi oblačnosti. S tem tipom so često povezane hladnofrontalne nevihte, ki preidejo naše kraje v nočnem času; v popoldanskem času pred prehodom hladne fronte se prično krajevne nevihte, medtem ko sledijo v nočnem času nevihte s prodorom hladnega zraka.

4./ Nevihte ob vdoru hladnega zraka v nižinah /hladnofrontalne nevihte/.

Hladna fronta prehaja Alpe, ciklon v zvezi z njo je v območju Severnega morja ali južne Skandinavije, anticiklon je pomaknjen nad vzhodno Evropo, večkrat pa se nad Francijo in proti srednji Evropi gradi greben azorskega področja visokega zračnega pritiska. V višinah imamo dolino nizkega

zračnega pritiska z osjo približno pravokotno na Alpe. Smer vetra v višinah se izpreminja od SW na NW. Od velikosti in oblike doline je odvisna stopnja hladne advekcije in s tem tudi temperaturna razlika med prodirajočim polarnim zrakom in prejšnjo tropsko zračno gmoto. Ta razlika pa popolnoma pogojuje stopnjo labilizacije ozračja pri prehodu fronte. Razumljivo je, da imamo padavinsko bolj izražene nevihte ob SW vetrovih na fronti in za njo, medtem ko pomeni NW veter v višinah slabitev nevihtne aktivnosti. Skoro vse hladne fronte od maja do septembra povzročajo nevihte razen v primorih: ko aktivnost hladne fronte ugasne pri prehodu prek Alp /zaradi močnega anticiklona, ki se gradi v predfrontalno področje/ ali ko se spodnje zračne plasti ne segrejejo močnejše zaradi prejšnjih vremenskih procesov /zaradi oblačnosti, stalnejšega dotoka hladnega zraka/ ali kadar se na hladni fronti razvije južno od Alp sekundarno ciklonsko jedro z obsežnim oblačnim sistemom. Vendar se v tem zadnjem primeru nevihte včasih le pojavijo.

5./ Nevihte ob prodoru hladnega zraka od severovzhoda.

Velja v bistvu isto, kar smo ugotovili za nevihte ob prehodu hladne fronte, le da preidejo v tem primeru nevihte v trajnejši dež. Ob Vzhodnih Alpah se je hitro razvil greben visokega zračnega pritiska in hladni zrak prodira v Slovenijo od severovzhoda v najnižjih zračnih plasteh, medtem ko so višje še jugozahodni vetrovi.

6./ Nevihte v zvezi s kapljami hladnega zraka.

Na zadnji strani kaplje /glede na smer gibanja kaplje/ imamo povečano labilnost, kjer lahko tudi v pogojih skoro strnjene oblačnega sistema nastajajo nevihte. V nižinah imamo polje majhnega baričnega gradienta. Značilna je velika vlažnost v vseh zračnih plasteh. Kaplja hladnega zraka je običajno locirana nad osrednjim Balkanom ali nad Jadranom tako, da pri nas prevladujejo vetrovi jugovzhodne smeri.

7./ Nevihte v zvezi s stacionarno fronto.

Ob vzhodnih Alpah poteka malo izražena stacionarna fronta. Zahodna in srednja Evropa sta v območju ciklona, običajno z več jedri. V višinah in nižinah je polje šibkega baričnega gradienta.

8./ Nevihte v zvezi s prehodom ciklona.

Po hladni fronti, ki je dosegla Alpe, se je južno od Alp razvilo sekundarno ciklonsko jedro. Višinska dolina se pomika iznad zahodne Evrope nad srednjo, naši kraji so v višinah pod vplivom hladnega in močnega jugozahodnika. Ob Vzhodnih Alpah in nad severnim Jadranom se razvije samostojna ciklonska cirkulacija, tako da doteka v nižinah še sorazmerno tople in vlažen zrak od SE ali S. Nevihte dobimo, ko se premakne ciklonsko jedro nad severni Jadran ali nad Slovenijo in potuje dalje proti E ali NE. Nevihte tega tipa so bolj pogoste v hladni polovici leta. Vzrok, da smo nevihte tega tipa diferencirali od neviht v zvezi s prehodi hladnih front, je, da imamo v Sloveniji ali v njeni neposredni južni okolici sekundarni ciklon z izrazito lastno cirkulacijo, ki se izraža vsaj do višine 850 mb izobarne ploskve.

Pri pregledu sinoptičnih situacij ob nevihtah naj opozorimo še na vzroke močnejših vetrov. Močne vetrove v zvezi z nevihtami bomo imeli predvsem pri močnem predfrontalnem padu zračnega pritiska in velikem ponovnem porastu v zaledju hladne fronte /značilno "nevihtno koleno" na barogramu/, nadalje, kadar nastane nevihta na hladni fronti, ki ima v zaledju znatno hladnejši zrak, kakor je nad nami, in končno, kadar daje nevihtni oblak obilne in sunkovite padavine. Paziti je potrebno predvsem na barične doline, ki imajo izrazito obliko črke V, ker utegnemo tedaj dobiti prava nevihtna neurja.

Intenzivnost električnih pojavov v nevihtnem oblaku je posebno velika pri močni vertikalni razvitosti oblaka, dalje pri nevihtnem oblaku, ki se

je razvil zelo hitro in končno v primeru velikih električnih napetosti v prizemnih plasteh ozračja.

Na koncu naj omenimo še relativno pogostnost neviht glede na glavne vzroke nastanka:

- 1./ lokalne nevihte /toplotne in nevihte v zaledju hladne fronte/ in nevihte v zvezi s kapljami hladnega zraka so najbolj pogoste, in sicer odpade na ta tip 48% vseh neviht. Neviht, ki bi jih lahko označili za izrazito toplotne, je manj kot 10%.
- 2./ Nevihte zaradi labilizacije ozračja pred hladno fronto so zastopane z 20%.
- 3./ Nevihte ob prehodu fronte 25%.
- 4./ Nevihte ob prehodu ciklonov in na stacionarnih frontah so zastopane s 7%.

LITERATURA

- Heyer E.: Witterung und Klima, Leipzig 1956
- Scherhag R.: Wetteranalyse und Wetterprognose, Berlin 1956
- Petkovšek Z.: Nevihtna karta in nevihtna pogostnost v Sloveniji,
Razprave-Papers VII, DMS, Ljubljana 1966
- Critschfeld H.J.: General Climatology, Eng. Cliffs 1960
- Čadež M.: Nevihte v Ljubljani, Kronika slovenskih mest, Ljubljana
1937
- Pristov J.: Razporeditev padavin v Sloveniji, poročilo skladu
B. Kidriča, Ljubljana 1966 /v rokopisu/
- Borko M.: Wärmegewitter im slowenischen Alpengebiet, Zbornik
SHMZ, Beograd 1962

TEMPERATURA 300 METRSKE PRIZEMNE PLASTI ZRAKA V LJUBLJANSKI KOTLINI

SOME TEMPERATURE DATA OF THE PLANETARY BOUNDARY LAYER - FIRST 300 METERS - OF
LJUBLJANA BASIN

551.524.4

MIRKO KOVAČ

Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana

ABSTRACT:

Temperature data are given for the first 300 meters of the planetary boundary layer at Ljubljana airport /362 m above MSL./ for the period between June 1, 1967 and May 31, 1968. Mean values and some relationships with regard to cloudiness and relative height above the airport are given on graphs and tables.

Temperature measurements were taken at various heights respectively: 5 cm above the ground, 2 m above the ground in the thermometer screen, 25 m above the ground at the airport tower and at the hill of "Šmarna gora" /667 m above mean sea level/ 10 km apart from the airport. The relative height between the hill and the airport is 305 meters.

The data show a strong ground inversion as expected because the radiation fog is observed very frequently.

Za natančno prognozo radiacijske megle rabimo meritve temperature, vlage in vetra v neposredni bližini tal na področju, kjer nas to zanima. Ob primerjanju, kako nastaja megla na letališču Brnik (h = 362 m) ter v mestu Ljublja-

na smo ugotovili, da se radiacijska megla na letališču Brnik javlja v drugačnih okoliščinah in času kot v Ljubljani, predvsem kot talna megla. V tem delu bo govora o temperaturah v prizemni plasti, ne pa o nastanku radiacijske megle. Vendar so nas opazovanja nastanka megle privedla do tega, da smo začeli natančneje opazovati temperaturni gradient od tal do višine 300 m. Temperaturo redno merimo na višini 5 cm od tal ter na višini 2 m na meteorološki postaji letališča Brnik, ki ima nadmorsko višino 362 m. Dodatna opazovanja temperature in vlage smo uvedli v kontrolnem stolpu, oddaljenem od postaje proti severozahodu za 2 km na zemljišču, ki se vzpne za 18 m, termometri pa so postavljeni v stolpu 25 m nad tlemi; dejanska razlika v višini med termometri na postaji in v kontrolnem stolpu je 41 m. Tretja opazovalna točka je na Šmarni gori, ki je oddaljena od postaje 10 km in ima nadmorsko višino 667 m.

V Sloveniji opazujejo vse klimatološke postaje le trikrat dnevno, in to v klimatoloških terminih. Za natančnejšo obdelavo temperaturnih razmer pa so bolj prikladne urne vrednosti. Za nastanek megle bi rabili meritve v časovnih presledkih, krajših od ene ure. Vsa opazovanja na stolpu, na postaji in Šmarni gori so zadovoljiva, ker imamo registrirne instrumente za temperaturo in vlago, na žalost pa manjkajo registrirne meritve na višini 5 cm; to pomanjkljivost smo skušali odpraviti z opazovanjem temperature vsako uro, toda le v marcu 1968. Ta mesec smo izbrali zaradi enakonočja. Pri izbiri smo imeli srečo, saj je bil ta mesec v celotnem obdobju med 1.VI.1967. in 31.V.1968, za katero so obdelani podatki v tej razpravi, najbolj jasen. Jasnost pa je pogoj za močne radiacijske ohladiitve. Težko je reči, da so omenjene višine najbolj prikladne za meteorološke meritve. Opazovanja smo uvedli pač tam, kjer niso bili potrebni dodatni stroški. Upamo, da bodo ti podatki pri nadaljnjih obdelavah, kjer bodo potrebne temperaturne razmere pri tleh, koristni.

V nobenem mesecu v letu ni bila povprečna temperatura na stolpu /25 m/ nižja od temperature v hišici /2 m/. Najmanjša razlika je bila v maju in juni-

ju, in to za 1⁰ C, največja pa v januarju - za 3,1⁰ C. V spodnji tabeli bomo prikazali poprečne mesečne temperature za vse ure dneva:

TABELA 1

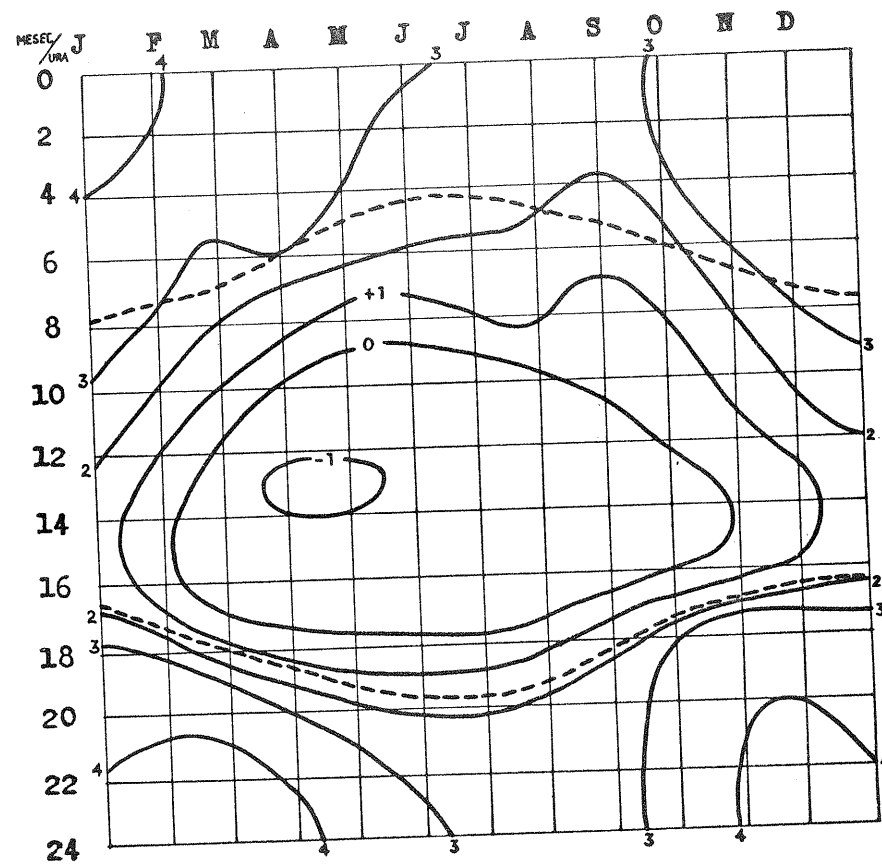
Poprečne temperaturne razlike med stolpom /25 m/ in tlemi /2 m/ za posamezne ure in mesoce v ⁰ C.

TABLE 1

Mean temperature differences - tower /25/ minus thermometer screen /2 m/ - for various hours and months in degrees centigrade.

Ura	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	4.1	1.9	3.1	4.0	2.2	3.3	2.9	2.4	2.2	3.1	2.1	2.5
1	3.7	2.0	3.6	3.6	1.9	2.7	2.9	2.3	2.2	3.3	2.0	2.4
2	4.1	1.9	3.4	3.6	1.7	2.7	2.8	2.3	2.0	3.3	1.9	2.6
3	4.1	1.8	3.1	3.4	1.8	2.5	2.7	2.2	2.0	3.0	1.7	2.8
4	3.9	1.7	3.3	3.4	1.8	2.5	2.6	2.2	1.8	2.4	1.7	2.9
5	3.9	1.8	2.9	3.2	1.8	2.0	2.7	2.1	1.6	2.3	1.7	2.7
6	3.6	1.8	2.7	3.1	1.4	1.9	1.8	1.8	1.4	1.4	1.5	2.5
7	3.3	1.8	2.7	1.9	1.0	1.0	1.1	1.2	0.7	1.7	1.7	2.0
8	3.4	1.6	1.6	1.2	0.8	0.0	1.1	1.2	0.8	1.1	1.5	2.1
9	3.2	1.6	1.7	0.7	1.0	-0.2	0.2	0.4	0.7	0.9	0.7	2.0
10	2.8	1.5	1.0	-0.1	0.2	-0.2	-0.2	-0.1	0.3	0.6	0.7	1.6
11	2.8	1.3	0.4	-0.6	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	0.0	-0.1	0.3	1.5
12	2.3	0.9	-0.1	-0.8	-0.5	0.0	-0.7	-0.6	-0.1	0.5	0.1	1.4
13	1.8	0.8	-0.3	-1.4	-0.6	-0.5	-0.5	-0.7	-0.8	-0.2	0.0	1.1
14	1.8	0.8	-0.6	-0.7	-0.6	-0.4	-0.7	-0.7	-0.5	-0.6	-0.1	1.1
15	1.3	0.5	-0.5	-0.7	-0.4	-0.2	-0.9	-0.8	-0.4	-0.4	-0.1	1.2
16	1.6	0.7	-0.4	-0.9	-0.5	-0.1	-0.5	-0.5	-0.5	-0.8	0.7	1.8
17	2.7	1.0	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	0.1	1.2	1.7	2.7
18	3.4	1.5	1.0	0.2	0.0	0.3	-0.1	0.4	1.5	3.3	2.1	2.8
19	3.5	1.8	2.8	1.9	0.3	1.2	0.7	1.4	2.2	3.7	2.2	2.9
20	3.6	1.6	3.7	2.8	1.5	1.9	1.6	2.0	2.4	3.5	2.3	2.6
21	3.6	1.6	4.7	3.3	2.3	2.2	2.7	2.4	2.1	3.4	2.1	2.3
22	3.6	1.8	4.6	4.1	2.4	2.7	2.8	2.5	2.3	3.2	2.1	2.5
23	4.0	1.9	4.2	3.8	2.4	2.9	3.1	2.5	2.2	3.5	2.0	2.7
24	4.1	1.9	3.1	4.0	2.2	3.3	2.9	2.4	2.2	3.1	2.1	2.5
Pov.	3.1	1.6	2.0	1.6	1.0	1.0	1.9	1.1	1.1	1.6	1.4	2.2
Obl.	5.7	7.4	4.4	4.8	6.5	5.5	4.6	4.8	5.8	4.9	7.1	6.8

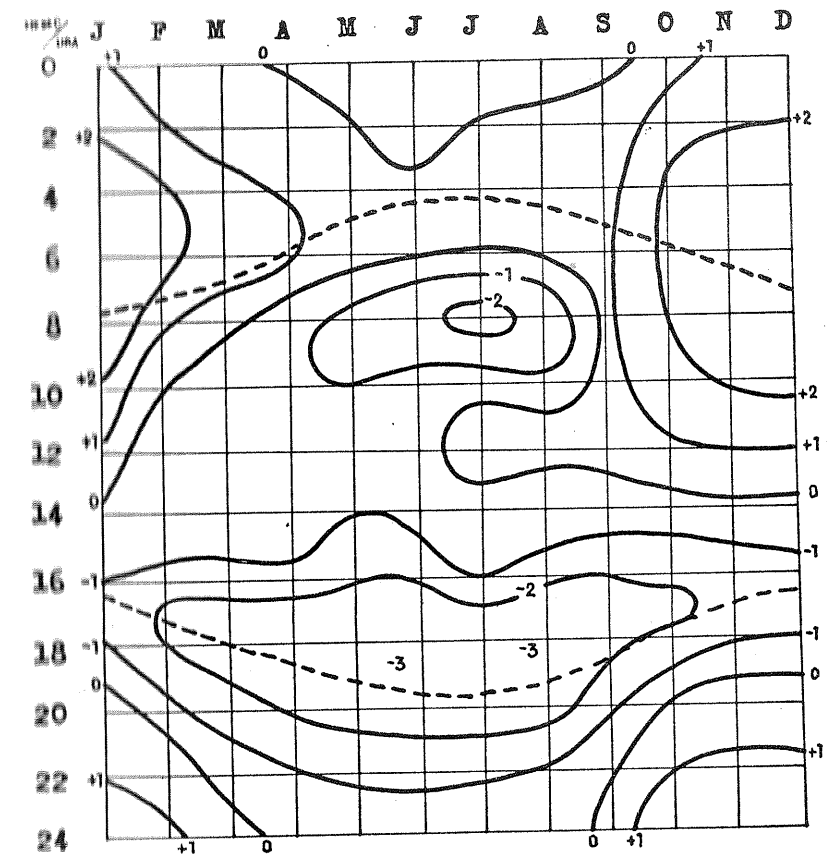
Iz tabele 1 ugotovimo, da so najmanjše razlike v mesecih: februarju, maju, novembru in decembru. Ravno v navedenih mesecih je bilo najbolj oblačno, in sicer je bila srednja mesečna oblačnost večja kot 6/10. Če izvzamemo omenjene mesece, oziroma reduciramo njihove vrednosti glede na skupno oblačnost, pridemo do zelo preglednega grafikona, ki nam ponazarja, v katerih mesecih je inverzija večja, kdaj je ni in kdaj je nadadiabatni gradient.



Slika 1 Povprečna razlika med temperaturama na stolpu /25/ in 2 m nad tlémi. Črtkani krivulji označujeta sončni vzhod in zahod.

Fig. 1 Mean temperature difference - tower /25/ minus thermometer screen - as a function of time during the day and the year. Dashed curves represent sunrise and sunset.

Pozitivne vrednosti nam povedo, za koliko stopinj poprečno je topleje na višini 25 m od višine 2 m nad tlémi, negativne pa obratno. V drugi tabeli bomo prikazali za isto obdobje kot na prednji strani razlike med poprečnimi urnimi vrednostmi temperature na Šmarni gori /667 m NV/ in 25 m nad tlémi. Grafikon 11 je izdelan iz podatkov tabele 2 z redukcijo vrednosti za iste mesece kot v grafikonu.



Slika 2 Povprečna razlika med temperaturama na Šmarni gori in stolpu. Črtkani krivulji označujeta sončni vzhod in zahod.

Fig. 2 Mean temperature difference - The hill of "Šmarna gora" minus tower - as a function of time during the day and the year. Dashed curves represent sunrise and sunset.

TABELA 2

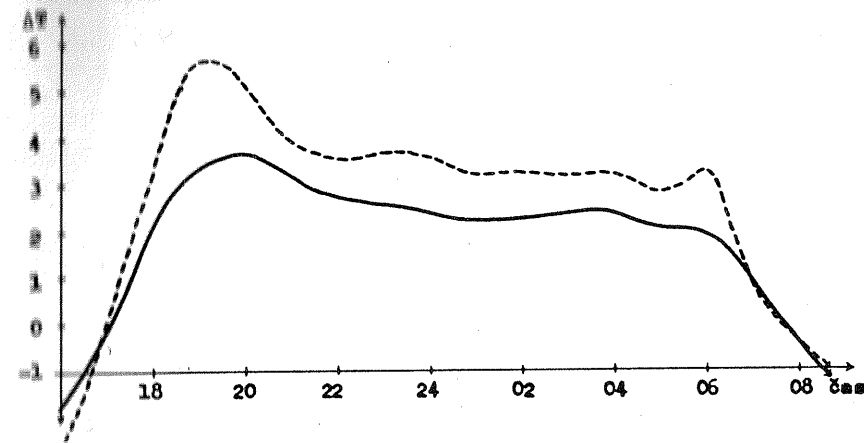
Poprečne temperaturne razlike med Šmarno goro in stolpom za posamezne ure in mesece v °C.

TABLE 2

Mean temperature differences - the hill of "Šmarna gora" minus tower /25 m/ - for various hours and months in degrees centigrade.

Ura	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.6	-0.6	0.1	-0.3	-0.5	-1.0	0.3	-0.5	0.1	1.5	-0.4	0.4
1	1.8	-0.3	0.6	0.3	-0.3	-0.6	-0.1	-0.2	0.0	0.9	-0.2	0.4
2	1.9	-0.1	0.8	0.5	0.3	-0.3	0.2	0.0	0.2	1.8	-0.2	0.5
3	2.2	-0.1	0.9	0.8	0.4	-0.1	0.4	0.2	0.5	2.2	-0.1	0.6
4	2.2	0.0	1.0	1.0	0.4	0.3	0.6	0.2	0.6	2.2	-0.1	0.8
5	2.3	0.0	1.1	1.3	0.6	0.6	0.8	0.5	0.7	2.1	0.1	0.9
6	2.5	0.0	1.2	1.2	0.2	0.2	0.1	0.3	0.9	2.0	0.3	0.9
7	2.6	0.0	0.9	0.4	-1.5	-1.4	-1.0	-0.8	0.7	2.1	0.1	1.0
8	2.7	0.3	0.6	-0.3	-1.2	-1.3	-2.1	-1.7	0.3	2.1	0.6	1.2
9	2.5	-0.3	-0.6	-0.4	-1.3	-1.0	-1.1	-1.3	0.1	1.8	0.9	1.5
10	2.4	-0.5	-0.2	0.9	-1.0	-0.5	-0.3	-0.9	0.3	1.8	0.4	1.0
11	1.7	-0.6	-0.1	1.5	-0.8	-0.5	1.1	-0.4	0.2	2.3	0.3	0.5
12	0.9	-0.6	0.6	1.3	-0.6	-0.1	0.7	0.1	0.3	0.8	0.0	-0.2
13	0.3	-0.9	0.3	1.7	-0.8	-0.1	0.3	-0.4	0.0	0.5	-0.5	-0.2
14	-0.2	-0.8	-0.1	0.3	-1.3	-0.8	-0.1	-0.4	-0.7	0.1	-1.0	-0.6
15	-0.4	-1.5	-0.7	-0.5	-1.5	-1.7	0.0	-1.0	-1.6	-1.0	-1.2	-1.0
16	-0.9	-1.0	-1.6	-0.9	-2.1	-2.2	-0.5	-2.3	-1.8	-1.5	-1.7	-1.4
17	-1.1	-2.1	-2.1	-2.3	-2.4	-2.2	-1.1	-2.9	-2.3	-2.3	-2.7	-1.3
18	-0.7	-1.8	-2.5	-2.5	-2.8	-2.6	-2.2	-3.0	-2.4	-1.5	-1.4	-0.9
19	-0.1	-1.6	-2.1	-2.5	-2.4	-3.0	-2.2	-2.8	-1.7	-0.8	-0.9	-0.8
20	0.1	-1.0	-1.6	-2.1	-2.4	-2.6	-2.2	-2.4	-1.1	-0.0	-0.8	-0.4
21	0.4	-0.8	-1.2	-1.7	-1.7	-1.9	-1.8	-1.9	-0.8	0.8	-0.5	-0.1
22	0.9	-0.8	-0.9	-1.5	-1.4	-1.4	-1.1	-1.4	-0.5	1.2	-0.4	-0.1
23	1.4	-0.7	-0.2	-0.7	-1.0	-0.9	-0.7	-0.8	-0.1	1.1	-0.2	-0.1
24	1.6	-0.6	0.1	-0.3	-0.5	-1.0	0.3	-0.5	0.1	1.5	-0.4	0.4
Pov.	1.2	-0.8	-0.2	-0.1	-1.1	-1.0	-1.4	-1.0	-0.4	1.1	-0.4	0.1

Med stolpom in opazovalnim prostorom nastopa inverzija vedno med sončnim zahodom in sončnim vzhodom. Približno eno uro po sončnem zahodu doseže temperaturna razlika največjo vrednost in s kolebanjem nekaj desetink stopinj se ta razlika ohrani do približno eno uro po sončnem vzhodu. Ta ugotovitev pa ne velja za 4 zimsko mesece, ko se inverzija ohrani tudi v opoldanskih urah. Ne glede na oblačnost, kakor bomo naknadno ugotovili pri odvisnosti jakosti inverzije od oblačnosti, je temperaturni obrat največji v mesecu januarju, ko znaša razlika celo popoldne več kot eno stopinjo.



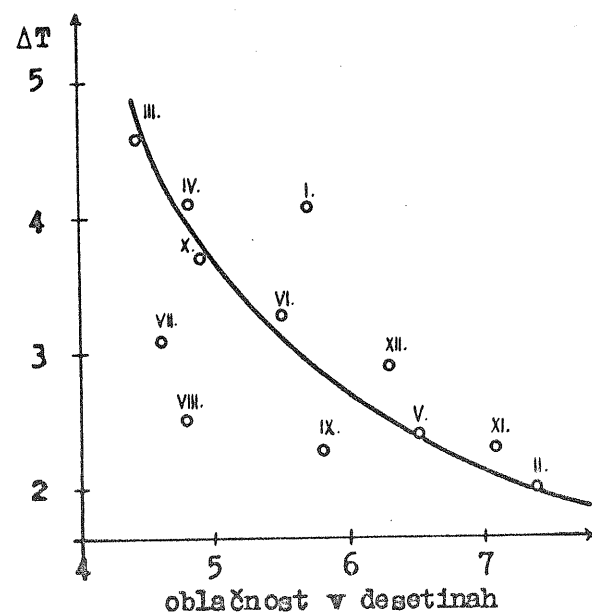
Slika 3 Poprečna razlika med temperaturama na 2 m in 5 cm nad tlemi za mesec marec 1968. Poprečna razlika za 11 jasnih noči v istem mesecu je označena z črtkano krivuljo.

Fig. 3 Mean temperature difference - thermometer screen minus 5 cm above the ground - as a function of time during the day as taken within March 1968. Mean temperature difference for 11 clear nights in this month is represented by a dashed curve.

Precej drugačno sliko dobimo, ko primerjamo temperaturne razlike med Šmarno goro in stolpom. Inverzija nastopa le v zimskih mesecih, in še takrat je popoldne prekinjena za nekaj ur.

Med majem in avgustom zasledimo, da je Šmarna gora med 6 in 10 uro za več kot eno stopinjo hladnejša od stolpa, prav tako med 15 in 22 uro od marca pa do novembra, ko nastopi največja razlika - do 3 stopinje ob 18 uri.

Urne vrednosti temperature na 5 cm so na razpolago samo za marec 1968. Razlika med 2 m in 5 cm nad tlemi je prikazana na sliki 3. Izkazalo se je, da je poprečno največja razlika dve uri po sončnem zahodu. Če pa upoštevamo samo jasne večere, potem ugotovimo, da nastopi že v prvi uri po sončnem zahodu ekstremna vrednost. Ta ne ostane vso noč, temveč se po eni uri zmanjša za približno eno stopinjo. Ta diferenca ostane skoraj enaka vse do sončnega vzhoda.

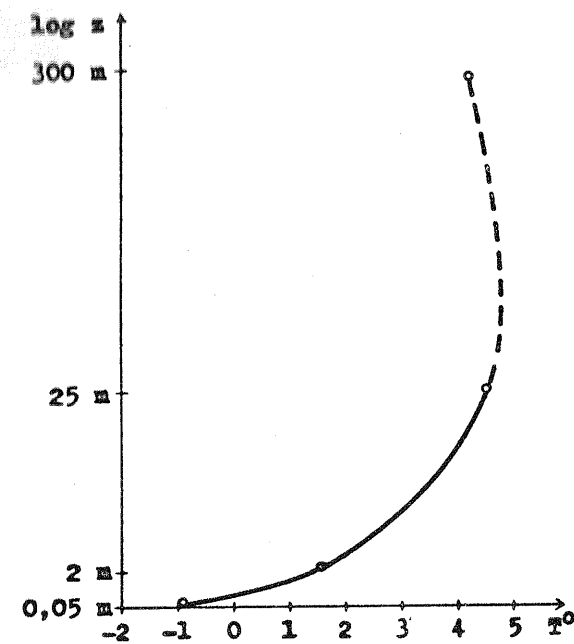


Slika 4 Odvisnost maksimalne temperaturne razlike med 25 m in 2 m nad tlemi od poprečne oblačnosti.

Fig. 4 Maximum temperature difference - tower /25 m/ minus thermometer screen - as a function of mean cloudiness.

Vse te meritve ter poprečne vrednosti se ujemajo z znanimi ugotovitvami o radiaciji in insolaciji, po katerih so v nočnem in zimskem času prizemne plasti zraka znatno bolj ohlajene kot zrak nekaj metrov nad tlemi. Velikost teh razlik pa je odvisna predvsem od oblačnosti, kar je razvidno iz slike 4.

Pri upoštevanju poprečnih temperaturnih vrednosti iz vseh štirih opazovalnih točk za marec 1968 med 17 uro in 06 smo dobili krivuljo /slika 5/, ki ponazarja temperaturni gradient z višino. Temperaturni gradient je največji v neposredni plasti zraka pri tleh, in že od višine 2 m navzgor se hitro zmanjša. Na kateri višini je običajno zgornja meja inverzije, je težko reči, ker za to ni meritev, verjetno pa ta nastopa najpogosteje med 20 in 50 m nad tlemi.



Slika 5 Poprečne nočne temperature /med 17. in 06. uro/ za mesec marec 1968 za razne višine.

Fig. 5 Mean night temperatures /between 5 p.m. and 6 a.m./ as taken for March 1968 at various heights above the ground.

LITERATURA

Godske C., Bergeron T., Bjerknes J. and Bundgard R.:

Dynamic Meteorology and Weather Forecasting, str. 103, Boston 1957.

TEMPERATURA POLJA V ADIABATNIH TOKOVIH ČEZ GORSKE GREBENE
TEMPERATURE FIELDS IN ADIABATIC FLOW OVER MOUNTAIN RIDGES

551.558.21

ZDRAVKO PETKOVŠEK

Katedra za meteorologijo FNT, Ljubljana

ABSTRACT:

The graphically obtained temperature fields that originate in the simplified adiabatic airflow over the mountain ridges are presented and used as a base for the study of changed stratifications, baroclinic fields and some ideas about the development of lee-waves and rotors. Examples of temperature fields are given for different initial air mass stratification as for different flow characteristics, namely: parallel /1/ or confluent /11/, uniform /A/ or vertical sheared /B/, and steady /1'/ flow or displacement at the beginning of the flow /2'/.

Temperature fields in the steady flow for different stratifications are presented in Figs. 1 and 2. Characteristic and near the natural conditions are the patterns in Figs. 1b and 2b. Stratification above the ridge is in the last case a little more stable, the circulation due to baroclinity however converges the streamlines.

The temperature field patterns at the beginning of the flow are significant and changeable. The region of the strongest cooling is spreading toward the ridge on the windward slope, the strongest warming however towards the base on the lee side /Fig. 3/. Created baroclinic field and circulation can arouse a development of lee-waves /Fig. 5b/. The predominant natural conditions

are believed to be similar to the pattern in Fig. 4c. There is a significant initial labilisation of the atmosphere on the lee side and sink of the circulation cell to the foothill /Fig. 5c/. That can give a new explanation for creation a well known rotor, without preconditioned wind shear.

Taking in account the vertical wind shear, the corresponding deformation of temperature fields are presented in Figs. 6 and 7. Now on both, the changes of stratification are to be found although the general characteristics are like those in Fig. 4c. Explanation of the lee waves and rotor phenomena could also start out from the changes in baroclinic fields and not just merely from stable displacements in gravity field and wind shear.

UVOD

Splošno horizontalno gibanje zračnih mas dobi v območju orografskih pregrad tudi vertikalno komponento. Pri tem nastopijo znane adiabatne temperaturne spremembe pretakajočih se zračnih delcev.

Posledica teh temperaturnih sprememb so nastanek in spremembe temperaturnih polj v samem območju gorskih pregrad in tudi v področjih na njihovi zavetrni strani. Karakteristike teh temperaturnih polj so odvisne od karakteristik toka pa tudi od prvotne stratifikacije zračne mase, to je, od prvotnega geometričnega vertikalnega temperaturnega gradienta v zračni masi. Nastala temperaturna polja pa preko spremenjene stabilnosti in solenoidnih polj, ki ustvarjajo cirkulacijo, tudi vplivajo na tok zračne mase čez pregrado in preko sprememb njegovih karakteristik spet nazaj na spremembo temperaturnih polj. Zaradi teh in še mnogih drugih vzporedno nastopajočih vplivov /diabatne temperaturne spremembe, trenje in turbulenca, fazne spremembe vodne pare v zraku itd./ nam tokovno polje v območju pregrad ni natančno znano in se tudi stalno spreminja. Z različnimi približki in poenostavitvami dobljene teoretične rešitve, in še to le za stacionarne tokove /1, 3, 4, 5/, nam kažejo veliko raznolikost in potrjujejo

močno občutljivost tokovnih vzorcev od postavljenih začetnih in robnih pogojev in drugih predpostavk.

Kompleksna in eksaktna rešitev je očitno še daleč /5/. Naša naloga v tem delu pa je pokazati vzorce temperaturnih polj, njihove spremembe ter nastale efekte v vertikalnih presekih. Temperaturna polja so dobljena grafično in so predstavljena za različne karakteristike osnovnega toka in za različne stratifikacije zračne mase, ki se preteka, oziroma se prične pretakati čez gorski greben. Videli bomo namreč, da so prav ob začetku pretakanja temperaturna polja močna, spremenljiva in zanimiva in zato odločujoča glede na karakteristike kasnejšega, trajnejšega, kvazistacionarnega temperaturnega polja in tokovnega vzorca nad gorsko pregrado in za njo. Glede na to moremo tudi smatrati, da so karakteristike toka in valov za pregrado v veliki meri pogojene z nastalo, zlasti začetno baroklinostjo in ne le z neposredno topografsko vzbujenimi gravitacijsko-inercijskimi oscilacijami.

OSNOVNE POSTAVKE IN VZORCI.

Glede osnovnega toka zračne mase čez pregrado ločimo in predpostavimo trikrat po dve karakteristiki, ki nam definirajo preproste slike gibanja zračnih delcev oz. tokovnic v območju pregrade. Pri tem je lahko tok:

- I paralelen ali II konfluenten
- A enoten ali B z vertikalnim striženjem
- 1' stalen ali 2' začetni

Glede stratifikacije prvotne zračne mase pa smo izbrali tri značilne vertikalne temperaturne gradiente $-\partial T/\partial z = \gamma_0$, in sicer

- $\gamma_0 = 0$ izotermna atmosfera, zelo stabilna
- $\gamma_0 = 5^\circ/\text{km}$ stabilna stratifikacija
- $\gamma_0 = 10^\circ$ " indifirentna atmosfera

Seveda za prikaz glavnih značilnosti in efektov ni potrebno obravnavati

vseh možnih njihovih kombinacij, ampak si bomo ogledali samo najznačilnejše med njimi.

Paralelni tok /I/ pomeni, da so tokovnice v njem paralelne tudi nad pregrado, in zato sega motnja od pregrade neomejeno navzgor izven območja našega interesa. To pa je le v spodnjih nekaj kilometrih v okolici, predpostavljeno, 2 km visoke pregrade, idealizirano izgajene oblike - slika 1.

Konfluentni tok /II/ pa pomeni postavko, da sega motnja v toku zaradi pregrade le do višine 4 km nad ravnino, oziroma 2 km nad vrh pregrade, kjer so tokovnice enakomerno zblížane. Nad postavljeno zgornjo mejo pa je tok nemoten in vseskozi horizontalen - slika 2.

Karakteristika "enoten" /A/ pomeni, da je horizontalna hitrost delcev na vseh višinah enaka; /B/ pa pove, da je predpostavljeno linearno vertikalno vetrovno striženje, ki je definirano z enačbo

$$U_z = U_0 + k z$$

pri čemer je v teh primerih vzet $k = dU/dz = 30 \text{ h}^{-1}$, kar pomeni, da je hitrost na vsak km višine za 30 km/h večja. To je precej močno striženje, vendar pa z njim nazorno predstavimo njegove učinke na deformacijo temperaturnih polj in temu sledečih sprememb v stratifikaciji in baroklinosti.

Stalni /stacionarni/ tok /1'/', kot bomo videli, ustvarja v obravnavanih okoliščinah stacionarna temperaturna polja, medtem ko se temperaturna polja ob začetku pretakanja /2'/ prvotno mirujoče in povsod enako stratificirane zračne mase hitro in značilno spreminjajo.

V nadaljnjem si bomo torej ogledali in diskutirali o temperaturnih poljih v vertikalnih presekih ob različnih karakteristikah toka. Pri tem bomo zanemarili vse ostale vplive, kot je n.pr. ogrevanje od tal, dnevne spremembe raznih elementov, vlaga v zraku in njene fazne spremembe, spremembe pritiskovega polja itd. Smatrali bomo, da zrak z vlago ni nasičen, niti do nasičenosti ne pride ter je stopnja ohlajanja ali ogrevanja vseskozi po suhoadiabatnem individualnem

temperaturnem gradientu $\gamma_a = g/c_p = 10^\circ/\text{km}$. Razen tega velja vseskozi predpostavka, da v prvotni zračni masi na obravnavanem področju ni horizontalnega temperaturnega gradienta. S tem so nastala temperaturna polja in njihove spremembe res samo posledica pretakanja zraka čez pregrado. Prav te in iz njih sledeče efekte pa želimo prikazati v tem delu.

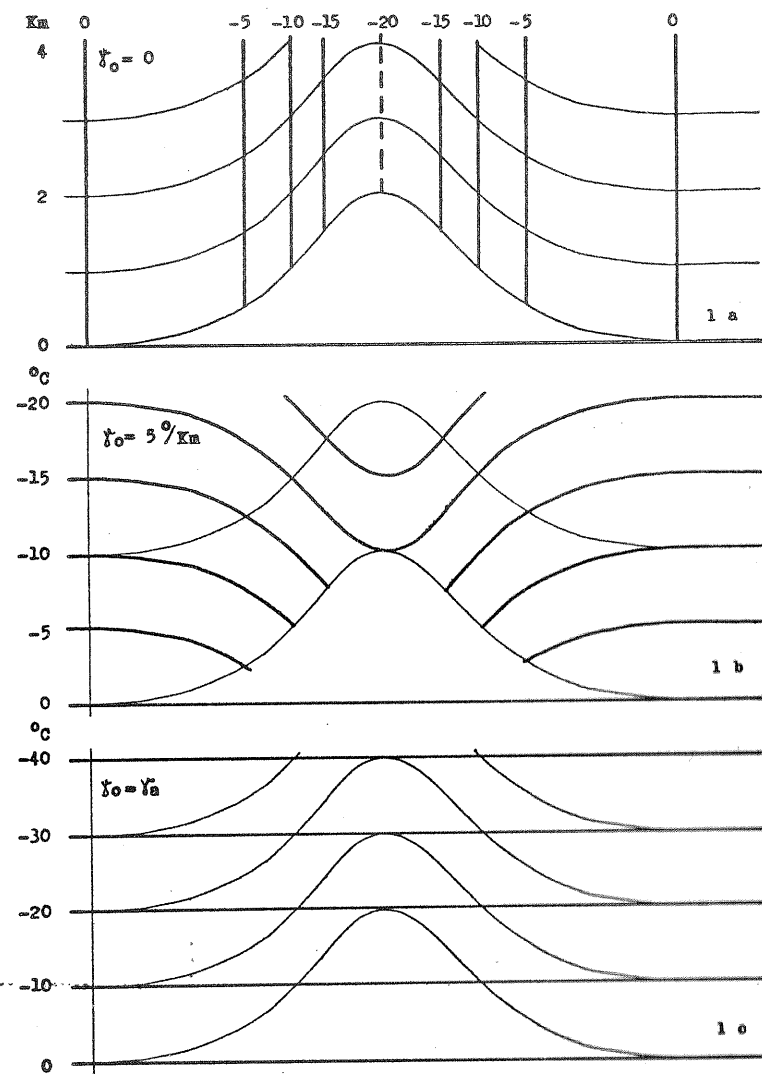
TEMPERATurna POLJA V STALNEM TOKU

Paralelni, enotni in stalni tok /IA1'/ - slika 1-da zgoraj neomenjena, navzgor enaka in glede na simetrijo preseka pregrade simetrična temperaturna polja, ki pa so močno odvisna od prvotne stratifikacije zračne mase, ki se pretaka čez greben. Adiabatna temperaturna sprememba je odvisna le od spremembe višine, in ker se delci gibljejo paralelno, nastopa tu zanje istočasno enaka ohladitev oziroma otoplitev. V prvotno izotermni atmosferi so zato izoterme navpične /slika 1a/, kar bi bil v naravi le izjemen primer. Dejanska temperatura delca v neki točki pa je odvisna tudi od njegove začetne vrednosti. Za $\gamma_0 \neq 0$ ta ni povsod enaka in temperaturna polje je drugačno. Pri prvotni stratifikaciji $\gamma_0 = 5^\circ/\text{km}$ /slika 1b/ je temperaturna polje značilno za prevladujoče okoliščine v takem toku. Če je pa geometrični temperaturni gradient v masi pred pregrado večji, so izoterme nad pregrado vse manj strme in so ob $\gamma_0 = \gamma_a$ povsod horizontalne - slika 1c.

Bistvene poteze prevladujočega temperaturnega polja v takem toku so torej prikazane na sliki 1b. Glede na praktično horizontalno lego izobar je nad pregrado očitna baroklinost. Sprememba cirkulacije /cirkulacijski pospešek/, ki je v skladu s cirkulacijskim teoremom za baroklino polje podana z

$$\frac{dC}{dt} = \oint \alpha \delta p = N/T, -R \cdot \ln p,$$

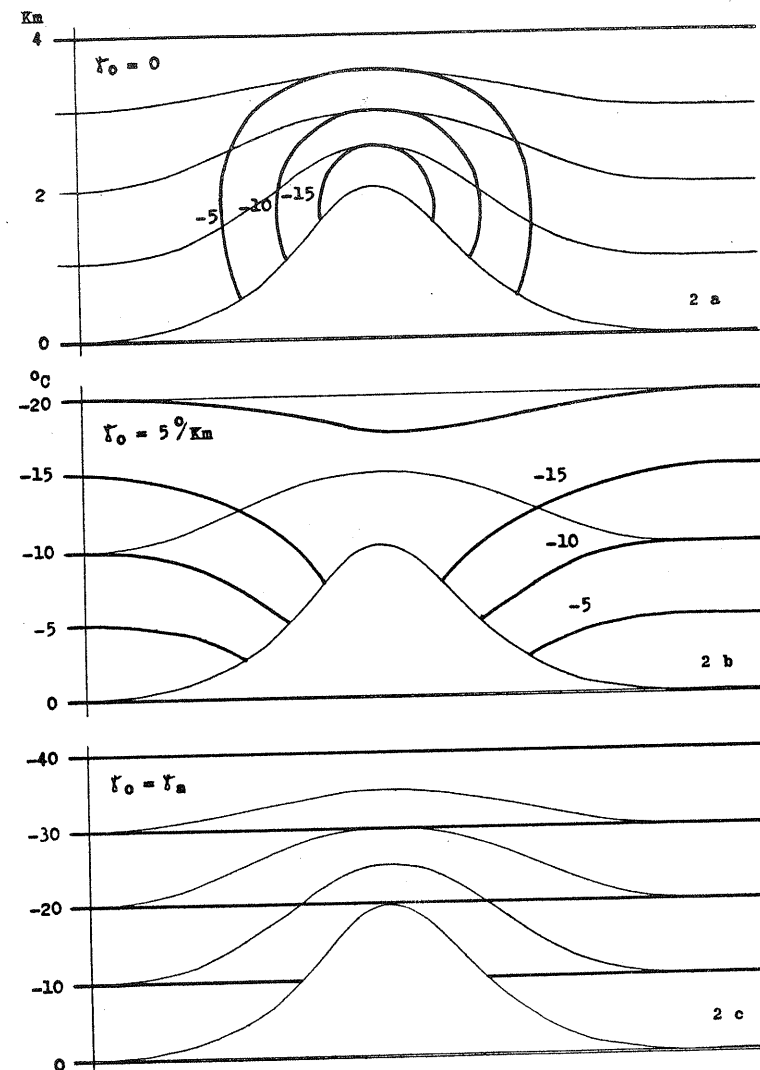
deluje od ∇T proti $-\nabla p$. S tem poljem pogojena cirkulacija je sorazmerna gostoti enotnih solenoidov, ki je očitno najmočnejša nad pobočjema in simetrična glede na vrh pregrade /slika 5a/. Nad privetrnim pobočjem deluje v negativnem smislu vrtenja, na zavetrnem v pozitivnem. Tako se pojavijo nad vrhom



Slika 1 Temperaturna polja nad pregrado v paralelnem, enotnem in stalnem toku /IA1'/ za tri različne začetne stratifikacije zračne mase.

Fig. 1 Temperature fields above the mountain in a parallel, uniform and steady airflow /IA1'/ for three different initial air mass stratifications.

grebena pospeški navzdol, tokovnice se zblížajo in morda prav zaradi tega preide paralelni tok nad pregrado v vzorec toka /II/, to je tok nad pregrado stisnjenih tokovnic, kakor ga kaže naslednja slika.



Slika 2 Temperaturna polja nad pregrado v konfluentnem, enotnem in stalnem toku /IIA1'/ za tri različne začetne stratifikacije zračne mase.

Fig. 2 Temperature fields above the mountain in confluent, uniform and steady airflow /IIA1'/ for three different initial air mass stratifications.

Slika 2 kaže temperaturna polja pri konfluentnem, enotnem in stalnem toku / ΔA^2 / za različne začetne stratifikacije. Očitno je glede na sliko 1 večja razlika le pri prvotno izotermni atmosferi /sliki a/, medtem ko sta si temperaturni polji slik 1c in 2c čisto, sliki 1b in 2b pa močno podobni. Solenoidno polje pa je v zadnjem navedenem primeru šibkejše in z njim tudi prej navedeni efekt nadaljnjega stiskanja tokovnic. Glede na ta kratki pregled teh šestih primerov lahko ugotovimo, da so najbolj bistvene poteze temperaturnega polja, ki se zgradi zaradi adiabatnih sprememb v stalnem toku, približno take, kot so prikazane na slikah 1b oziroma 2b. Stratifikacija nad pregrado je torej enaka prvotni ali pa je nekoliko stabilnejša.

Relativna ohladitev delca je torej v vsakem primeru le funkcija relativne spremembe njegove višine, absolutna temperaturna vrednost pa je poleg tega odvisna še od prvotne vrednosti oziroma stratifikacije. Obe količini pa sta neodvisni od horizontalne hitrosti vetra oz. toka, ki je lahko zato različna v posameznih plasteh, ne da bi se vzorec temperaturnega polja /v stalnem, a čeprav neenakomernem toku/ kaj spremenil. Na obeh slikah prikazana temperaturna polja veljajo torej tudi pri poljubnih vertikalnih vetrovnih striženjih. To pa ne velja na začetku pretakanja.

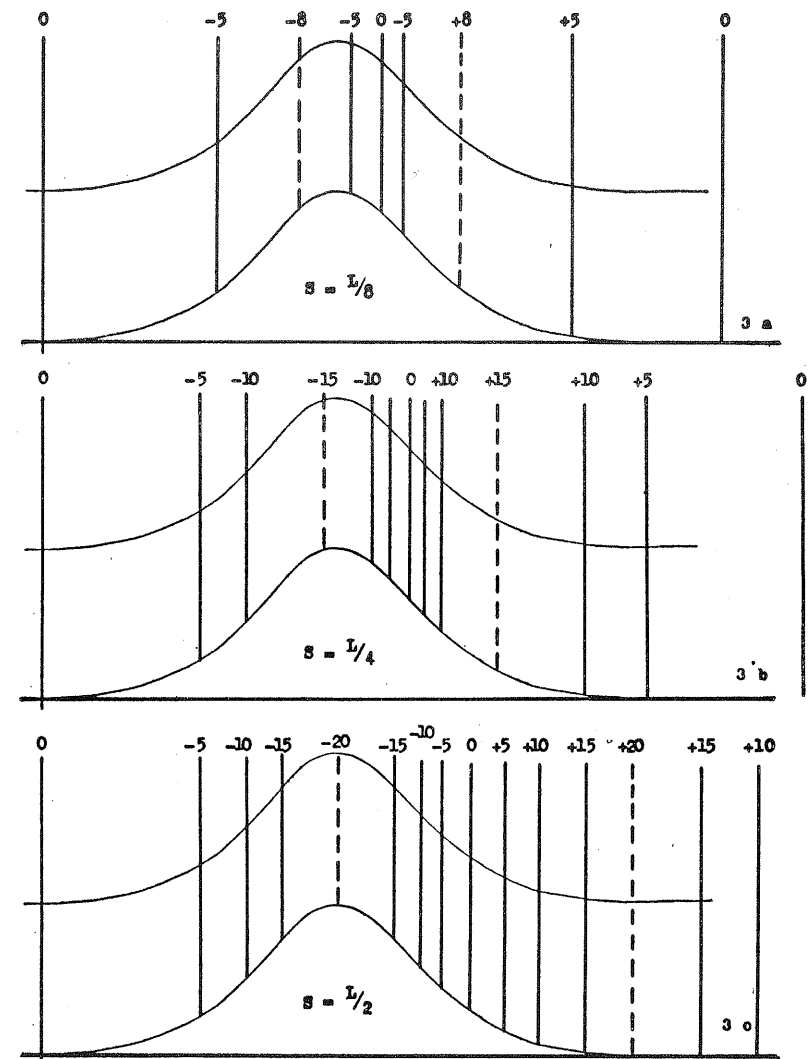
POLJA OB ZAČETKU PRETAKANJA.

Ob začetku pretakanja prvotno enotno stratificirane zračne mase, ki je mirno ležala v območju pregrade, se temperaturno polje šele vzpostavlja in zato relativno hitro spreminja. Najhitrejše adiabatne spremembe nastopajo ob največji strmini pobočij, saj je vertikalna hitrost w odvisna od naklonskega kota pobočij do horizontalne ravnine / β /, in sicer

$$w = U_0 \cdot \operatorname{tg} \beta$$

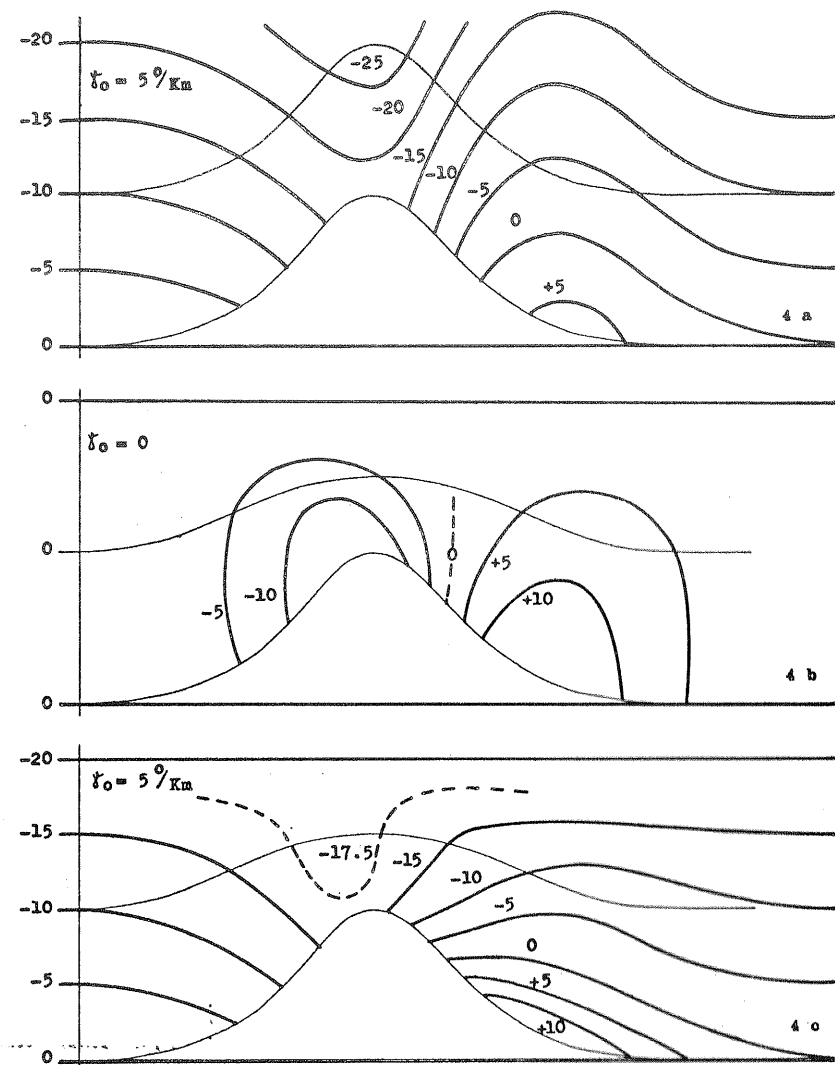
Na najpreprostejšem primeru paralelnega, enotnega toka / ΔA^2 / prvotno izotermne zračne mase / $\gamma_0 = 0$ / si bomo ob sliki 3 ogledali temperaturna

polja, ki nastanejo po premiku zračne mase na desno za pot S , ki je a / osmina, b / četrtina in c / polovica širine pregrade /označene z L /.



Slika 3 Temperaturna polja ob začetku pretakanja prvotno izotermne zračne mase po paralelnem in enotnem tokovnem vzorcu / ΔA^2 / . Premiki mase so za: a/ osmino, b/ četrtino in c/ polovico širine pregrade.

Fig. 3 Temperature fields at the beginning of airflow of the initially isothermal air mass by parallel and uniform flow pattern / ΔA^2 / . Displacements of airmass are for: a/ an eighth, b/ a quarter and c/ a half of the mountain broadness.



Slika 4 Temperaturna polja ob začetku pretakanja v enotnem toku po premiku mase za $S = L/4$. Druge značilnosti so: a/ paralelen tok, $\gamma_0 = 5 \text{ }^\circ/\text{km}$; b/ konfluenten tok, $\gamma_0 = 0$; c/ konfluenten tok, $\gamma_0 = 5 \text{ }^\circ/\text{km}$.

Fig. 4 Temperature fields at the beginning of uniform flow after a displacement of airmass for $S = L/4$. Other specifications: a/ parallel flow, $\gamma_0 = 5 \text{ }^\circ/\text{km}$; b/ confluent flow, $\gamma_0 = 0$; c/ confluent flow, $\gamma_0 = 5 \text{ }^\circ/\text{km}$.

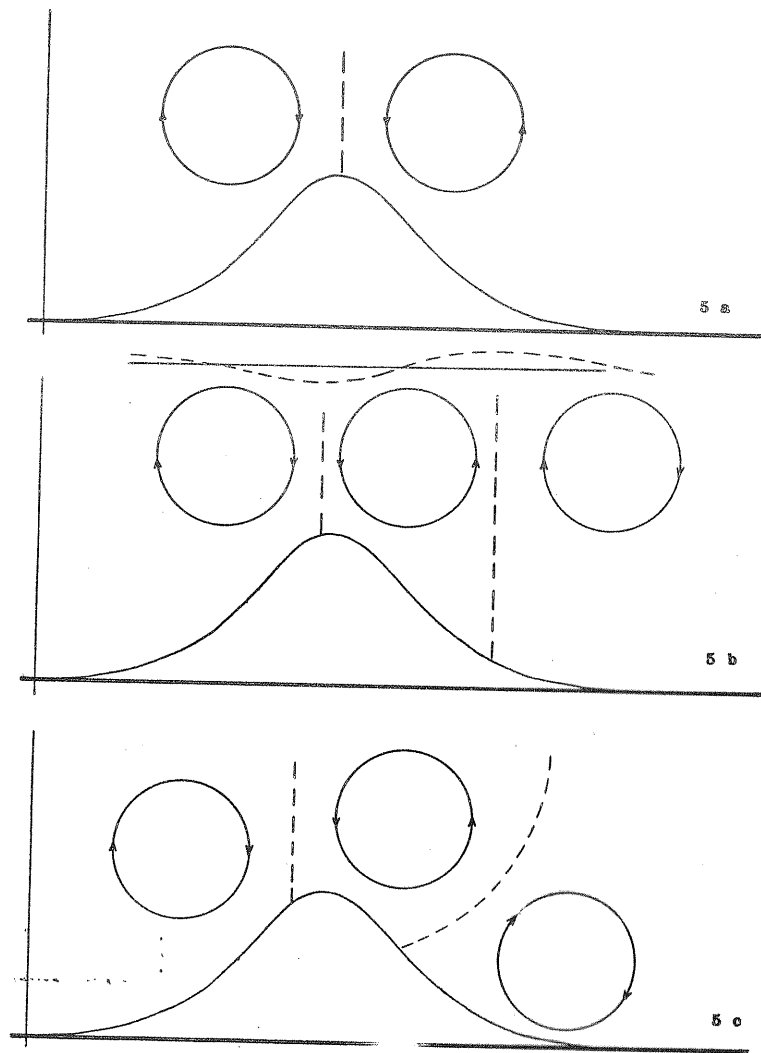
Vidimo, kako se področje najmočnejše ohlaiditve krepi in se od največje strmine na privetrni strani pobočij pomika proti vrhu. Po premiku mase za $S = L/2$ je temperaturno polje na privetrni strani pregrade že identično s poljem v stacionarnem toku /slika 1a/. Področje najmočnejše otoplitve, ki se začne pod največjo strmino na zavetrni strani, se krepi in odmika proti podnožju pregrade. Po premiku za $S = L/2$ ga ravno doseže obenem z nastopom maksimalne vrednosti. Ob premiku za $S = L$ je nad celotno pregrado že stacionarno polje, toplo področje pa se odmika od pregrade.

Pri takih okoliščinah ne pride do sprememb v stratifikaciji zračne mase nad pregrado, solenoidna polja in iz njih sledeči cirkulacijski pospeški pa so sorazmerni gostoti solenoidov. Cirkulacija spet zgoščuje tokovnice nad vrhom grebena, a jih razmika, oziroma dviga v področju največjih otoplitev /n. pr. slika 5b/. To pa je lahko odločilnega pomena za nastanek valovanja v toku za pregrado, ki je značilna poteza tokov nad gorskimi pregradami in za njimi /1 do 5/.

Isto velja glede stratifikacije in cirkulacije v primeru paralelnega toka tudi v primeru, da je prvotna zračna masa normalno stratificirana $(0 < \gamma_0 < \gamma_a)$, čeprav je samo temperaturno polje bistveno drugačno. Primer za stratifikacijo $\gamma_0 = 5 \text{ }^\circ/\text{km}$ in $S = L/4$ ob sicer enakih okoliščinah je za ustrezno temperaturno polje prikazano na sliki 4a.

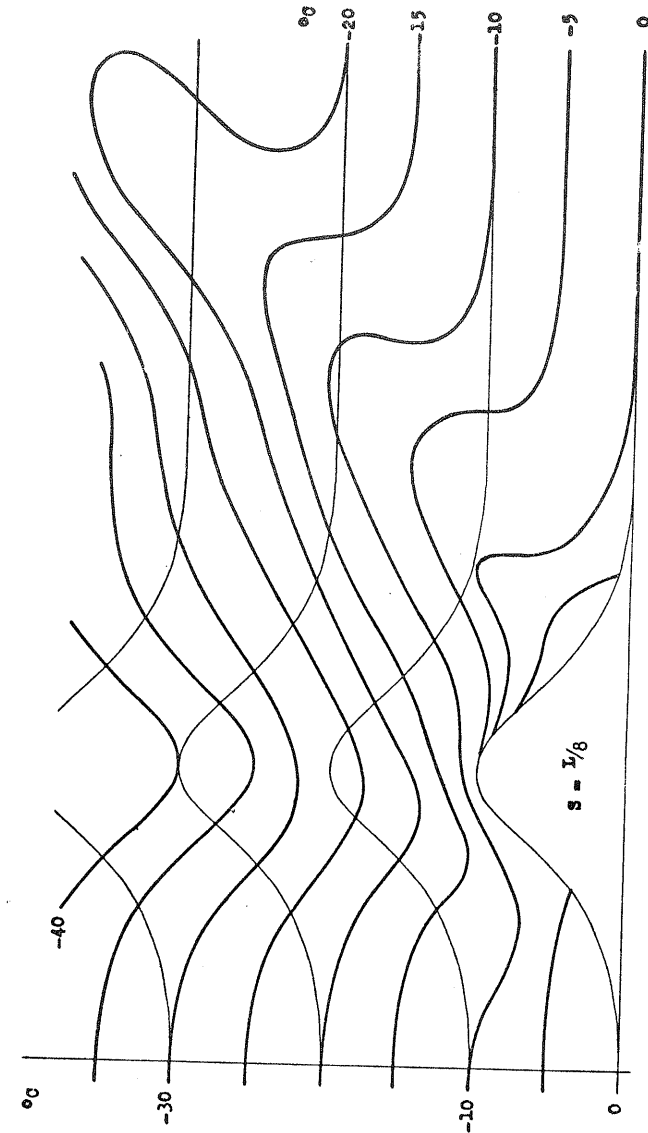
V prvem primeru konfluentnega toka pa daje temperaturno polje ob začetku pretakanja večje spremembe tudi v stratifikaciji zračne mase nad pregrado in za njo. Ustrezna temperaturna polja za $S = L/4$ in $\gamma_0 = 0$ oziroma $\gamma_0 = 5 \text{ }^\circ/\text{km}$ so prikazana na sliki 4b in 4c. Slika 4c kaže značilne poteze temperaturnega polja, kakor ga lahko v prevladujočih primerih v naravi pričakujemo ob teh okoliščinah. Zlasti v spodnjih plasteh na zavetrni strani je tu značilna močna labilizacija zračne mase. Tukaj nastali vertikalni temperaturni gradient očitno celo presega adiabatnega in je atmosfersko stanje v tem območju absolutno labilno ter zato v tako izraziti obliki malo verjetno. Pač pa je

to tipičen primer za možnost nastanka toplih jezer, ki jih je opazoval in obravnaval že Čadež /2/



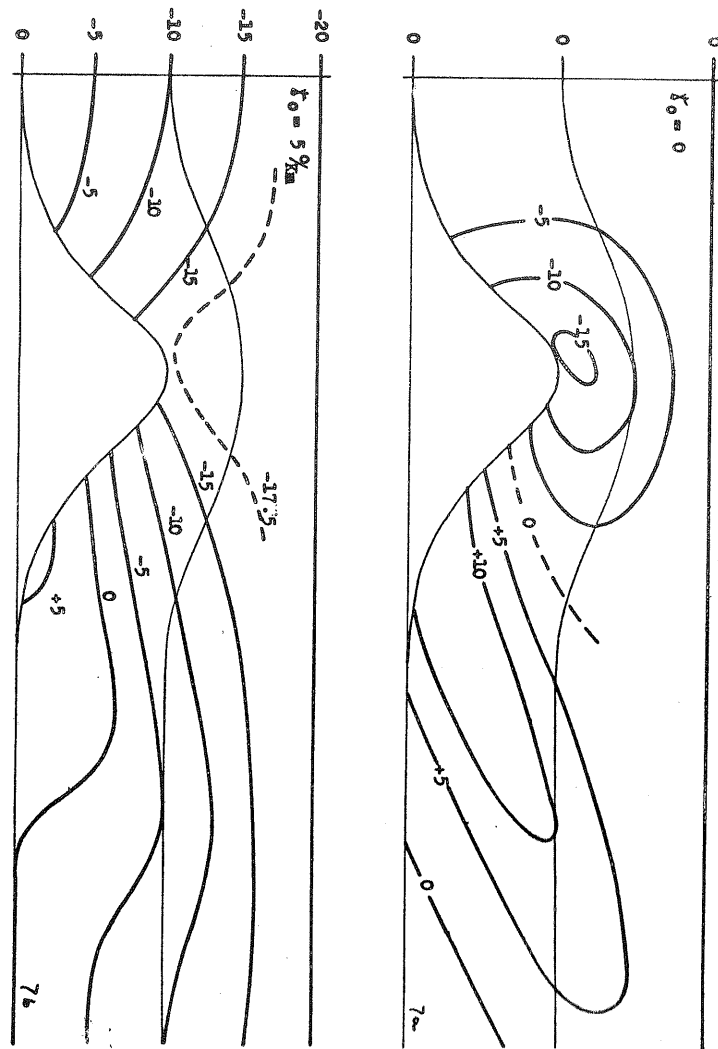
Slika 5 Polja cirkulacije glede na temperaturna polja: a/ k sliki 1b in 2b, b/ k sliki 3c, c/ k sliki 4c.

Fig. 5 Circulation fields regarding the temperature fields: a/ to Fig. 1b and 2b, b/ to Fig 3c, c/ to Fig. 4c.



Slika 6 Temperaturno polje v paralelnem, strižnem začetnem toku / 10^2 / za $\gamma_0 = 5$ $^{\circ}$ /km - po premiku mase za $S = L/8$.

Fig. 6 Temperature field in the parallel, sheared initial flow / 10^2 / for $\gamma_0 = 5$ $^{\circ}$ /km - after displacement of the airmass for $S = L/8$.



Slika 7 Temperaturni polji v konfluentnem, strižnem začetnem toku /11B2°/ po premiku zračne mase za $S = L/4$ ob dveh različnih začetnih stratifikacijah.

Fig. 7 Temperature fields in confluent shared initial airflow /11B2°/ after the displacement of air mass for $S = L/4$ at two different initial stratifications.

Ob teh okoliščinah pa se pojavlja tudi deformacija cirkulacijskega polja. Ta je taka, da se smer jedra pozitivnih vertikalnih pospeškov nagne - slika 5c - horizontalna os oziroma središče zavetrne negativne cirkulacije pa se spusti proti podnožju in je v njem verjetno osnova znanega rotorja na zavetrni strani, ki ga često dejansko opazujejo /1, 2, 4, 5/.

Vertikalno vetrovno striženje, kot smo videli, pri stalnem toku nima vpliva na vzorec temperaturnega polja. Ob začetku pretakanja pa ni tako. Medtem ko se n.pr. delci spodaj ob pregradi premaknejo za $S = L/8$, so delci na neki višini, kjer je hitrost osemkrat večja, že čez pregrado /slika 6/. Temperaturno polje se s tem seveda deformira ter se tudi pri paralelnem toku /1B2°/ pojavijo spremembe v stratifikaciji oz. stabilnosti zračne mase nad pregrado in za njo. Taka temperaturna polja so prikazana na slikah 6 in 7.

Ob začetku pretakanja pri vertikalnem vetrovnem striženju in pri $\gamma_0 = -5^0/km$ sta si vzorca temperaturnih polj za paralelni in konfluentni tok v bistvenih potezah precej podobna /slika 6b in 7b/. Značilno je povečana labilnost zračne mase nad pregrado predvsem na zavetrni strani, a deloma že tudi pred vrhom - zlasti v zgodnjem začetku pretakanja.

Ob striženju je tudi bolj deformirano solenoidno polje in s tem razporeditev cirkulacijskih pospeškov. Vendar pa se ta tu bistveno ne razlikuje od tiste, ki je podana na sliki 5c.

Okoliščine, ki nastopajo vsakokrat posamič v naravi, so precej spremenljive in odvisne, kot že rečeno, še od mnogih drugih faktorjev. Vendar pa so adiabatske temperaturne spremembe med najbolj učinkovitimi in zato imajo temperaturna polja, ki nastajajo ob pretakanju zraka čez grebene, glavne poteze vzorcev, ki so prikazani na slikah 4c, 6b in 7b. Ti pa so si med seboj tako precej podobni.

Tako smo dobili torej širšo in detajlnejšo predstavo o temperaturnih poljih, ki jih povzročajo adiabatske spremembe pri pretakanju zraka čez gorske gre-

bene v različnih okoliščinah. Iz dobljenih vzorcev sledeče spremembe v stratifikaciji oziroma stabilnosti atmosfere in razporeditev cirkulacijskih pospeškov dajejo novo oziroma dodatno možnost za razlago nastanka valovanja in rotorjev, ki jih opazujemo v zračnem roku nad orografskimi pregradami in za njimi.

LITERATURA

- Queney P in sod.: The Airflow over Mountains, WMO Tech. Note No. 34, Geneva 1960.
- Čadež M : Vreme u Jugoslaviji, Razprave 4, PMF, Beograd 1964
- Petkovšek Z in Ribarič M: On the airflow over mountains with gentle slopes, Tellus XVII, 4, 1965
- Cohen A in Doron E : Mountain Lee Waves in the Middle East, Jour, App. Met. Vol. 6, No. 4, 1967
- Reynolds R D, Lamberth R L and Wurtele M G : Investigation of a Complex Mountain Wave Situation, Jour. App. Met. Vol. 7, No. 3, 1968

ZONA MAKSIMALNIH PADAVIN V JULIJSKIH ALPAH IN NJENA UTEMELJITEV

ON THE PROBLEM OF THE ZONE OF MAXIMUM AMOUNTS OF PRECIPITATIONS IN JULIAN ALPS

551.577.2

DANILO FURLAN

Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana

ABSTRACT:

In the Julian Alps the distribution of precipitations is very intricate. The valley stations /Bovec, Plužna, Savica/ get the largest amounts of precipitations /about 2750 mm/. On the lee sides of the neighbouring mountains the amounts of precipitations are smaller than those. They are the smallest - according to the totalisator data - at the highest elevations of the Julian Alps.

A fairly large area - from the Gulf of Trieste to the Saurer Alps - has been studied to make an exact analysis of precipitation distribution. This area provides the following advantages for our study:

1. The precipitations are mainly due to SW winds on the entire area.
2. All the main ridges are laying in W - E direction. A diversion to NW - SE direction appears only in the neighbourhood of the Gulf of Trieste.
3. The altitude of the main ridges is increasing from the Gulf of Trieste to the Saurer Alps.

The disadvantage is that the effects of stemming are different because only some of the ridges present main barriers.

From five main ridges - Tržaški kras /500 m above MSL/, Trnovski gozd /1400 m above MSL/, Bohinjski greben /above 1700 m above MSL/, Triglavaska skupina

/2500 m above MSL/ and the Saurer Alps /above 3000 m above MSL/ - the third one has the greatest amount of precipitation /3500 mm/; According to the water balance calculation even more than 5000 mm. The second and the fifth get more than 3000 mm. Triglavška skupina gets only 2000 mm and Tržaški kras gets the smallest amount of precipitations with values about 1600 mm. These are mean values for the period between 1931 and 1960.

Two different systems of precipitation distribution have been found according to analysis. The first one is caused by three ridges respectively: Tržaški kras, Triglavška skupina and the Saurer Alps. Close to the Gulf of Trieste this system is joined by another one which is formed by some other ridges respectively: Tržaški kras /a member of the first system too/, Trnovski gozd and Bohinjski greben.

The large amounts of precipitations of the second system are mainly due to the Adria cyclones which are formed above the Po plain and the Gulf of Trieste and travel to the East. These cyclones or sometimes mere waves on the Polar front are so shallow, that they can not be detected at 700 mb surface.

A conclusion can be made, that the large amounts of precipitations caused by these cyclones must be below 2000 m above MSL. Or in general: The belt of maximum amounts of precipitations is given by the mean height of cyclones and fronts above the area. The altitude up to which this can be applied is a function of temperature distribution; therefore it is a function of the geographic location and time during the year.

UVOD

Razporedba padavin je v visokogorskem svetu še nerešeno vprašanje, pri čemer sta glavna vzroka za tako stanje: neobljudenost visokogorskega sveta in neustrezen instrumentarij. Posledica obojega so redki in mestoma nepriljubljeni podatki. Kljub temu moramo oceniti dosedanje meritve, na osnovi katerih so

se meteorologi opredelili za eno od podmen o višini pasu maksimalnih padavin kot vsaj okvirno realne. To pomeni, da imamo dejansko področja, kjer naraščajo padavine še preko 3.000 mm, in zopet druga, kjer ni tako.

V Julijskih Alpah je razporedba padavin še celo zamotana. Dolinske in kotlinske postaje Bovec, Plužna, Savica imajo več padavin /cca 2.750 mm/, kot postaje na privetrni strani sosednjih pobočij Livek, vas Krn, Ravne /cca 2.600 mm/. Najvišja področja Julijskih Alp /Triglavška skupina/ pa so najmanj namočena /cca 2.200 mm^{1/}.

Navedeni podatki povedo, da razporedba v Julijskih Alpah ni le zamotana, ampak tudi povsem svojska. Saj je ni mogoče spraviti v sklad niti s teorijo, da naraščajo padavine še preko najvišjih vzpetosti, kot so to ugotovili v švicarskih in avstrijskih Alpah /2, 3, 4/, niti ni v skladu s teorijo o zoni maksimalnih padavin že pod najvišjimi grebeni, zlasti v absolutnih višinah med 2.000 m in 2.200 m /5, 6, 7, 8, 9, 10/. Minimum padavin v najvišjih področjih Triglavške skupine ovrže sklepe prve podmene, maksimum v kotlinah in dolinah pa ugotovitve meteorologov iz druge skupine. Kaže, da imamo v Julijskih Alpah inverzno razporedbo, saj je največ padavin na najnižjih postajah, najmanj pa na najvišjih.

STAREJŠE OCENE PADAVIN

Navedene vrednosti pomenijo normalne višine padavin za niz 1931-1960 in ne morda razporedbo v izbranem letu ali v kratkem nizu. Kljub temu pa bi bilo prenačljeno sklepati, da gre za resnično inverzno razporedbo. Dvom o taki razporedbi opravičuje že dejstvo, da do danes še nobena padavinska karta obravnavanega področja ni bila izdelana ob domnevi, da je inverzija padavin osnovna zakonitost za določanje absolutne višine posameznih izohijet v predelih, za katere niso na razpolago opazovane vrednosti.

Kratek pregled dosedanjih kart.

Prve karte obravnavanega področja so bile izdelane že v času avstroogrške

monarhije. V klimatografiji Koroške iz leta 1913 je Conrad enako ocenil padavine v Bohinjskem grebenu in v Triglavski skupini /11/. Najvišja izohijeta je 2.400 mm, torej toliko, kot izkazujejo v tistem času postaje v sosednih kotlinah in dolinah. Avstrijski hidrografski urad je 5 let kasneje izdal padavinsko karto, ki zajema tudi celotno slovensko ozemlje; tudi na tej karti je na področju vzhodnih Julijskih Alp najvišja izohijeta 2.400 mm /12/. V klimatografiji obalnega področja, ki je izšla leta 1927, Triglavska skupina ni vsa zajeta; prikazan je še Bohinski greben in sicer z izohijeto 2.600 mm /13/. Prvi dve karti se opirata na niz 1876-1900, zadnja pa na niz 1890-1914. Celotno področje Julijskih Alp je prikazano na karti padavin v vseh Alpah, ki sta jo izdelala Knoch in Reichl leta 1930, opira pa se na niz 1876-1910. Z najvišjo izohijeto 3.000 mm sta obdala Bohinski greben, ne pa tudi Triglavske skupine /14/.

V drugi polovici 20 let je vključitev totalizatorjev v padavinsko mrežo v pasu anekumene omogočila merjenje padavin tudi v višinah nad gornjo mejo stalnih naselij. Rezultati takih merjenj v centralnem delu Zahodnih in Vzhodnih Alp so pokazali, da v višinah okoli 2.000 m padavine ne prenehajo naraščati, kakor je učila stara šola. V omenjeni višini naj bi bilo le nekakšno koleno, nad katerim preide relativno hitro naraščanje padavin v počasnejše. To naj bi segalo še preko najvišjih vrhov in grebenov /2, 3, 4, 15/. Morda Reya prav pod vplivom teh ugotovitev padavin v Triglavski skupini ni ocenil nižje kot v Bohinjskem grebenu. Njegova karta se opira na medvojna opazovanja, najvišja izohijeta v Triglavski skupini in v Bohinjskem grebenu pa je 3.000 mm /16/. Osnovo za oceno padavin v Bohinjskem grebenu je dala postaja Savica s 3.112 mm. Vendar je treba za to karto poudariti naslednje: medvojno obdobje je bilo izrazito mokro. Po analizi padavinskih razmer v spodnjem delu Ljubljanske kotline v preteklih 100 letih je bila doba med obema svetovnjima vojnama najbolj mokra v vsem času od leta 1850 /17, 18/. Popreček za niz 1925-1940 je bil 1.616 mm, to je celih 200 mm ali 14 % več od 100 letnega poprečka. Podobno kot je bilo

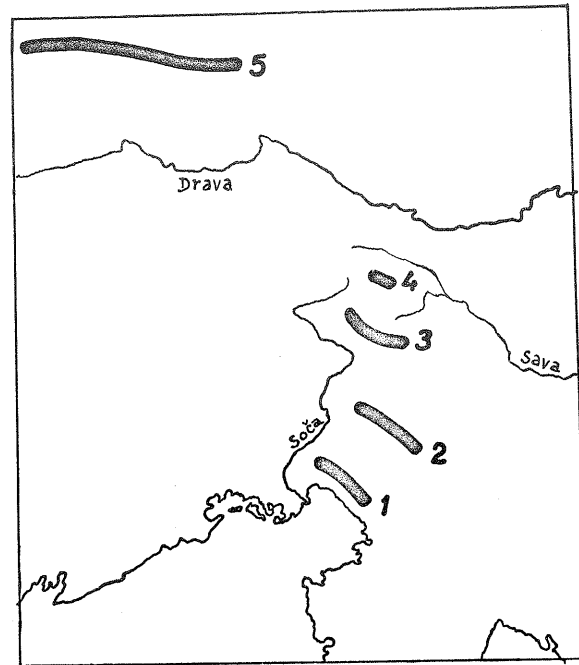
medvojno obdobje najbolj namočeno v vsej opazovalni dobi, je bilo naslednje obdobje najbolj suho v vsem preko 100 let trajajočem nizu /18/. Obe obdobji skupaj sestavljata zaključeno Brücknerjevo periodo, sestavljeno iz padavinskega vala /1925-1937/ in dole /1938-1960/, katere poprečna vrednost naj bi bila blizu sekularnemu poprečku /19/. Normalni niz se močno približa Brücknerjevi periodi; s poprečnimi padavinami 1.387 mm ima le 27 mm manj kot znaša sekularni popreček za Ljubljano. Primanjkljaj je nastal, ker v nizu 1931-1960 manjkajo leta 1926-1930, ki so bila izrazito mokra in ki začenjajo Brücknerjevo periodo /18/.

V prejšnjem odstavku so za osnovo rabila opazovanja v Ljubljani, ki je od osrčja Julijskih Alp oddaljena preko 60 km. Zaradi tolikšne razdalje ni nujno, da bi bil padavinski trend v Julijskih Alpah isti kot v Ljubljani. Podoben pa vsekakor! Saj je prav dejstvo, da zajema klimatski nemir /z istim predznakom/ velika področja, osnova za redukcijo, kratkotrajnih nizov na daljša obdobja. Točnost podmene o skladnosti trenda padavin v Ljubljani in v Julijskih Alpah potrjuje primerjava višine padavin. V medvojnem nizu, ki ga je uporabil Reya, so imele alpske postaje več padavin kot v normalnem nizu 1931-1960. Posamezne postaje so imele naslednje razlike - v korist medvojne dobe: Savica 223 mm, Ravne 315 mm in Mrzli Studenec celo 413 mm.

Enako kot starejši avtorji tudi Reya pri ocenjevanju višine padavin pri izdelavi karte ni sponiral inverzne razporedbe, torej razporedbe, kakršno sugerirajo podatki v uvodu. Isto velja tudi za avtorje naslednjih 3 kart /21 a, 22, 21 b/.

Tudi po pravkar končanem intermezzu ostaja torej še nadalje brez odgovora vprašanje: katere so zakonitosti, ki ustvarjajo tako svojsko razporedbo padavin v srcu Julijskih Alp? Da bi povečali možnost za pravilno rešitev zastavljene vprašanja, je potrebno: prvič, razširiti področje raziskav na široko zadlje Tržaškega krasa od obale prav do najvišjih grebenov Vzhodnih Alp, torej do Visokih Tur. Pri tem ni nujno, obravnavati padavine celotnega področja, am-

pak le najmarkantnejših planot in grebenov, za katere razpolagamo z ustreznim dokumentarijem. To so: Tržaški kras, Trnovski gozd, Bohinjski greben, Triglavska skupina in Visoke Ture. In drugič, vključiti je treba tudi rezultate

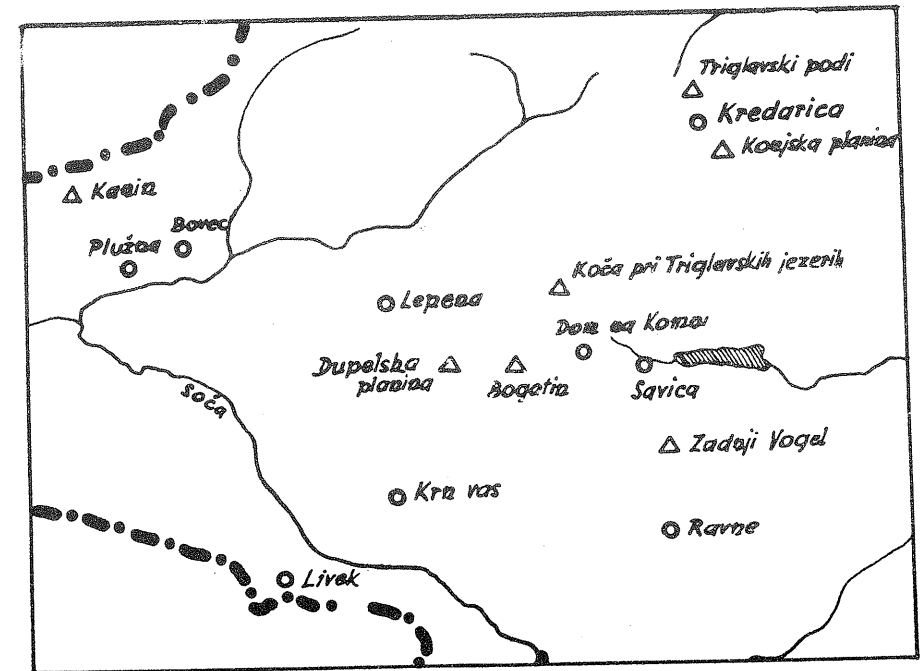


- 1 Tržaški kras
- 2 Trnovski gozd
- 3 Bohinjski greben
- 4 Triglavska skupina
- 5 Visoke Ture

Slika 1 Geografska razporeditev glavnih grebenov

Fig. 1 Geographical distribution of the main ridges

opazovanj na novih postajah, tako običajnih kot tudi totalizatorjev. Take postaje so: Totalizatorja na Šiji /Vogel/ in na Dupelski planini pri Krnskem jezeru, ter postaja Komna.



Slika 2 Geografska razporeditev opazovalnih postaj

Fig. 2 Geographical distribution of observing stations

Za študij padavinske problematike ima celotnost naštetih gorskih skupin nekaj zelo dobrih in nekaj manj ugodnih pogojev. Pozitivno je:

1. da je za vse skupine glavni oskrbovalec z vlago subtropski zrak s prevladujočo južno komponento;
2. da se absolutne višine naštetih skupin postopno dvigajo od obale Tržaškega zaliva pa do Visokih Tur;
3. da imajo vse naštete skupine isto osnovno smer slemenitve, namreč Z-V.

Naštete 3 prednosti pa oslabijo:

1. neenake razdalje med izbranimi vspetostmi;

2. neenaki pogoji za razvoj zaježitvenih procesov.

Našteti 5 okvirnih prednosti razširjenega območja raziskave dopolnjujejo še naslednje podrobnosti: južna komponenta vetrov, glavnih oskrbovalcev z vlagom, ni v vseh višinah ista. Tako so v najnižjih nivojih zelo pogosti južni in jugovzhodni vetrovi, čim više pa gredo, toliko bolj prihaja do veljave jugozahodna smer. Vzrok za prikazano razhajanje je posebna cirkulacija sekundarnih ciklonov in valov na polarni fronti nad severnim Sredozemljem, zlasti nad Padsko nižino in nad severnim Jadranom. Razlika v smeri vetra je zelo važna, saj pomeni istočasno tudi razliko v stopnji absolutne vlažnosti. Zrak z juga in jugovzhoda je po izvoru pogosto kontinentalni tropski, iznad Sahare. Ko doseže severne obale Sredozemskega morja, torej tudi Tržaški kras, pa je že močno transformiran; saj se je nad toplim morjem predhodno tako zelo ovlažil, da dobi svojstva maritimnega tropskega zraka in je mnogo bolj vlažen od subtropskega zraka z JZ /v višinah/.

Toliko o vetrovih.

Naraščanje nadmorskih višin od obale do Visokih Tur je nakazano že z absolutnimi višinami posameznih vrhov-prvakov: v Tržaškem krasu /zahod/ Trieste s 643 m, v Trnovskem gozdu Mali Golak s 1.495 m, v Bohinjskem grebenu Rodica s 1.962 m, v Triglavski skupini Triglav z 2.863 m, v Visokih Turah Veliki Klek s 3.798 m.

Opiranje na absolutne višine le najvišjih vrhov pa pri iskanju zakonitosti v padavinski razporedbi ni smiselno. Stopnja izločanja padavin je v veliki meri odvisna od zaježitvenih procesov. Te povzročajo predvsem izraziti hrbti in planote, ne pa osamljeni vrhovi, pa čeprav so zelo visoki. V stabilni atmosferi zrak osamljene vrhove namreč obide, medtem ko mora grebene prekoračiti /23, 24/. Pri tem pride do zaježitve dotekajočega zraka ter do njegovega prisilnega dviganja; pri ustreznih drugih okolnostih nastanejo tudi padavine. Zato je smiselneje, da pri obravnavani problematiki upoštevamo tisto poprečno višino,

v kateri je prepreka že v toliki meri strnjena bariera, da jo je večji del zraka prisiljen prekoračiti.

Določitev teh višin je le približna: za Tržaški kras ca 500 m, za Trnovski gozd ca 1.300 m, za Bohinjski greben ca 1.700 m, za Triglavsko skupino ca 2.300 m in za Visoke Ture ca 3.000 m. Vendar tudi ob upoštevanju tako dobljenih poprečnih višin pogoji za zaježitev zraka še vedno niso izenačeni in so Tržaški Kras, Trnovski gozd, Bohinjski greben in Visoke Ture mnogo bolj kompaktne prepreke kot pa Triglavska skupina.

Prve 3 skupine imajo pri zaježitvenih procesih prednost tudi zaradi smeri grebenov. Osnovna smer je pri vseh petih skupina sicer V-Z; pri najnižjih, morju najbližjih skupinah, pa se pokaže močna meridionalna komponenta, tako da potekajo že v smeri SZ-JV. Ker je prevladujoči del vlažnih vetrov iz JZ kvadranta, udarjajo ti vetrovi pravokotno na prve tri skupine-prepreke, kar stopnjuje hitrost dviganja in s tem tudi intenzivnega izcejanja. Zato imata severnejši, bolj oddaljeni skupini, manj pogojev za izdatne padavine.

Končno še podatki o oddaljenosti posameznih skupin: Tržaški kras leži neposredno za obalo-glavne višine so od obale oddaljene ca 8 km, vlagne višine Trnovskega gozda so oddaljene ca 18 km od obale, Bohinjskega grebena ca 32 km, Triglavske skupine ca 60 km in Visokih Tur ca 150 km.

REZULTATI NOVIH POSTAJ

Ocenjevanje višine padavin v visokogorskem svetu je tvegano delo, saj nimamo na razpolago zadostnih podatkov. Prav zato je Hidrometeorološki zavod, želeč ugotoviti resnične višine padavin in njihov letni tok, organiziral mrežo opazovalnic tudi nad gornjo mejo ekumene, torej v svetu, kjer ni več stalnih naselij.

V vzhodnem delu Bohinjskega grebena je bil postavljen totalizator na Šiji /Vogel/; absolutna višina 1.480 m. Drugi totalizator je bil postavljen na Du-

pelski planini pri Krnskem jezeru, višina 1.410 m, tretji v zahodnem delu Komne, vzhodno od Bogatina, višina 1.429 m. V dolini Sedmerih jezer je bil postavljen četrti totalizator v višini ca 1.600 m. Opazovanja na tem totalizatorju so pokazala, da dolina Sedmerih jezer ni več v območju največjih letnih padavin. Zato doslužen totalizator ni bil zamenjan z novim.

Totalizator na Šiji je na dokaj vetrovnem mestu in zato tudi Nieferjev ščitnik ne more povsem preprečiti učinka vetra, ki dežne kaplje, še bolj snežinke, nosi mimo odprtine totalizatorja. Zato prestrežene višine padavin ne pomenijo dejanskih višin padavin na ožjem področju meritev. Na normalni niz reducirana 10 letna opazovanja dado vendar 3.227 mm letnih padavin. Še več padavin imata zapadni del Komne in kotlina Krnskega jezera. Totalizator vzhodno od Bogatina izkazuje 3.600 mm, oni na Dupelski planini pa 3.400 /reducirano na niz 1931-1960/.

Poleg naštetih totalizatorjev je uspelo organizirati tudi stalno postajo na vzhodnem robu Komne, v domu na Komni 1 525 m. Na normalni niz reducirane višine dosežejo skoraj 3.300 mm.

Pred vetrom ima najbolj zaščiten lego postaja na Komni. Zato ne preseneča, da je kljub temu, da ombrometer ni zaščiten z Nieferjevim obročem, tudi na tej postaji toliko padavin.

Glavni uspeh nove mreže je v tem, da so njena opazovanja pokazala strnjeno področje s padavinami ca 3500 mm. Če pa upoštevamo učinek vetra, ki ga tudi z Nieferjevim ščitnikom ni mogoče povsem preprečiti, potem lahko računamo na najvišjem področju Bohinjskega grebena in na južni polovici Komne v višinah nad ca 1400 mm z letnimi padavinami tudi preko 4000 mm.

Da je letnih padavin preko 4000 mm, opravičujejo tudi rezultati analize padavinskih razmer v Bohinjskem grebenu, dobljenih z odtočnimi količniki /26/. Vzrok za tako pot, ki je v klimatologiji redka, so bili disproporciji med padavinami in odtoki na celotnem področju gornjega Posočja. Po starih ocenah letnih padavin so odtočni količniki za porečja posameznih pritokov Soče, kot tudi Soče same, v zgornjem toku večji od 1 /27/. To pa je izključeno, razen če gre za nekontrolirano podzemno pritekanje vode s sosednjih področij Save in Nadiže. Ker so take možnosti razmeroma majhne, ostanejo kot najprimernejše tolmačenje za neprirodni odtočni količnik, večji od 1,0, prenizko ocenjene padavine v najvišjih grebenih, med drugimi tudi v Bohinjskem grebenu. Odtočni količnik se zmanjša pod 1,0 ako zvišamo oceno padavin v najvišjem delu Bohinjskega grebena na preko 5000 mm /28/.

Reševanje problema odtočnih koeficientov v Gornjem Posočju na takšen način ni brez tveganja. Pritoki Soče, kot Bača, Koritnica, Zadlaščica in podobni, so izraziti hudourniki z velikim kolebanjem in neredko so pretoki zelo majhni. Oboje, hudourniški karakter kot tudi pogosto nizka voda, onemogoča točno ugotavljanje višine letnih pretokov. To pomeni, da tudi s pretoki ne moremo za

trdno ugotoviti padavin preko 5000 mm.

Glede na padavine, kakršne so bile ugotovljene na območju Šije, na Komni in na Dupelski planini, kjer se gibljejo že okoli 3500 mm, pa vendar skoro ni dvoma, da prejmejo v najvišjem delu Bohinjskega grebena okoli 4000 mm letno.

V Triglavski skupini je stvar naslednja: totalizator na Kredarici je prestregel v poprečju le ca 2100 mm letnih padavin. Ker so bile tudi višine padavin, izmerjene z navadnim in višinskim ombrometrom praktično povsem enake, je bil totalizator na Kredarici prestavljen na Triglavske pode, poleg tega pa je bil postavljen še drugi, primerjalni totalizator na Konjski planini. Višina instrumenta na Triglavskih podih je ista kot na Kredarici, lokacija pa je ugodnejša, saj instrument ni tako izpostavljen vetru. Absolutna višina primerjalnega totalizatorja je ca 1800 m. Pred vetrom je tudi ta boljše zaščiten, tudi boljše kot-cni na Triglavskih podih.

Kljub različnim absolutnim višinam in različni stopnji zaščitenosti so bile višine padavin močno podobne. Reducirane na normalni niz znašajo ca 2200 mm, kar je v primerjavi s padavinami kotlinskih postaj Bovec, Savica in Plužna malo, le ca 3/4 tistih padavin, ki jih prejmejo v poprečju našete postaje. Ker pa dajo take vrednosti kar vse tri postaje, moramo izmerjene višine oceniti kot realne. To pomeni, da prejme Triglavska skupina v višinah okoli 2300 m ca 2200 mm letnih padavin.

Na videz sporne so tudi višine padavin v visokih Turah. Glede na opazovanja v obdobju 1876.- 1910 sta nemška klimatologa Knoch in Reichl /14/ vključila tudi Visoke Ture v suho cono Vzhodnih centralnih Alp.

Tudi prvi rezultati opazovanj s totalizatorji slike niso bistveno spremenili. Totalizatorji so bili namreč postavljeni na vetru izpostavljenih mestih. Steinhauser navaja za obdobje 1927 - 1936 za vrh Sonnblicka /2366 mm /29/. Vsekakor je že ta podatek pokazal, da so bili starejši sklepi o sušnosti Visokih Tur prenašljivi. Pozneje je Tollner /30/ z nadaljnimi merjenji ugotovil,

da prejmejo najvišji grebeni Visokih Tur preko 3000 mm.

Po rezultatu meritev v Sloveniji bi bilo mogoče že na osnovi tistih opazovanj, ki so pokazala, da prejme vrh Sonnblicka blizu 2400 mm, sklepati, da znaša dejanska višina padavin vsaj 3000 mm. Na Snežniku je namreč totalizator na vrhu prestregel poprečno po 2000 mm, drugi v zaščiteni legi, pa skoro 3000 mm. Podobne rezultate so dali tudi poizkusi na Malem Golaku, v Trnovskem gozdu in na Poreznu /31/.

Spornosti o višini padavin v Visokih Turah torej ni, in tako imamo v zaporedju vzpetosti: Tržaški kras, Trnovski gozd, Bohinjski greben, Triglavska skupina in Visoke Ture naslednje okvirne vrednosti letnih padavin ca: 1600 mm, 3000 mm, 4000 mm, 2200 mm in 3000 mm.

Na prvi pogled tu ni nikakega sistema. Padavine najprej naraščajo do višine 4000 mm v Bohinjskem grebenu, nato močno popuste in se na dolgi poti do Visokih Tur ojačijo zopet na preko 3000 mm.

PODMENA O DVEH PADAVINSKIH SISTEMIH.

Določen sistem je vendarle mogoče zaslediti! Bohinjski greben, ki prejme največ padavin med vsemi navedenimi vzpetostmi, jih torej prejme največ tudi med prvimi tremi, morju najbližjimi, med katerimi je tudi najvišji. Taka razporedba ustreza novejšim ugotovitvam, da naraščajo padavine še preko vrhov. Prav tako ustreza tudi starejšemu naziranju, da naraščajo padavine le do ca 2200 m. Dejstvo, da imamo pri stopnjevanju absolutnih višin, potem ko je bil dosežen prvi in glavni maksimum, najprej zmanjšanje padavin v Triglavskem pogorju, nato pa zopet njihovo naraščanje, nakazuje naslednje tolmačenje.

Dejansko naj bi imeli na obravnavanem področju dva padavinska sistema. Prvi, osnovni sistem se kaže v višinah padavin v Tržaškem krasu, Triglavskem pogorju in v Visokih Turah s poprečnimi nadmorskimi višinami najvišjih predelov ca 500 m, 2300 m in 3000 m in letnimi padavinami ca 1600 mm, 2200 mm in 3000 mm.

Drugi sistem, ki osnovnega prekriva z izdatnejšimi padavinami, se odkriva v letnih višinah padavin na področju prvih treh, morju najbližjih grebenov. To so: Tržaški kras, ki pomeni tudi prvo stopnjo osnovnega padavinskega sistema, dalje Trnovski gozd in pa Bohinjski greben. Poprečne višine najvišjih področij naštetih planot v drugem sistemu so naslednje /ca/: 500 m, 1300 m in 1700 m, padavine pa ca 1600 mm, 2800 mm in 4000 mm.

Sekundarne depresije in valovi na polarni fronti nad severnim Sredozemljem ali nad Padsko nižino so plitve tvorbe. Praviloma imajo tako majhno vertikalno razsežnost, da na 700 mb ploskvi izohipse niso več zaključene. Zaradi tako majhne višine je tudi področje njihovega ploskovnega razprostiranja omejeno.

Navzočnost polarne fronte na čelu hladne doline, ki sega preko Zapadne Evrope neredko celo globoko v Afriko, sproži padavinske procese /ob jugozahodnih vetrovih/ nad vsem področjem od severnega Jadrana do Visokih Tur. Njihova razporedba ustreza vsaj v poprečju osnovnemu, v prejšnjem odstavku navedenemu padavinskemu modelu z maksimumom v Visokih Turah.

Dodatni učinek, posledice sekundarnega ciklona ali vala, pa se manifestira v drugem sistemu. Prva bariera, Tržaški kras, tudi pri teh dodatnih padavinah verjetno ni izvzeta, saj bi sicer vzpetost z višino ca 500 m le težko imela okoli 1600 mm letnih padavin. Največ padavin pa je pričakovati tam, kjer gorska pobočja prisilijo zrak k naglemu dviganju. Za strujanja, ki jih dirigirajo sekundarni cikloni, pa jugovzhodna slemenitev Tržaškega krasa, Trnovskega gozda in Bohinjskega grebena ni ugodna, saj imata veter in slemenitev isto smer.

Ob dalmatinski in kvarnerski obali preprečujejo Mosor, Velebit in Risnjak, da bi se področje sekundarnih ciklonov razširilo globlje v notranjost. Zato imamo pas maksimalnih padavin blizu obale. Drugače je na severu, na področju naše analize. Tu dovoljuje relief, da se vplivno področje sekundarnih ciklonov razširi globlje v notranjost. Po zoni izredno visokih letnih padavin lahko sklepamo, da sega vplivno področje še preko Trnovskega gozda v Bohinjski greben, zapadno od Soče pa preko Matajurja še v Kanin. Vse štiri prepreke so prav

markantne; tolikšne višine padavin v njih pa lahko utemeljimo edino tedaj, ako najdemo poleg zaježitev še druge dejavnike, ugodne za formiranje izdatnih padavin.

V prvi vrsti velja pozornost povečani stopnji labilnosti na področju, ki je pod vplivom sekundarnih ciklonov ali valov. Njihova cirkulacija uvaja, kot že omenjeno, močno ovlaženi tropski kontinentalni zrak iz jugovzhodnega kvadranta; v zgodnji fazi sekundarnega ciklona se ta zrak vriva v najnižjih plasteh kot hladnejši subtropski zrak, ki priteka praviloma iz jugozapadnega kvadranta. V zrelejši fazi se vriva pod polarni zrak. Relativno - v hladni polovici leta - ali celo absolutno - v toplem delu leta - topla voda Sredozemskega moraja povzroča labilizacijo polarnega zraka v toliki meri, da spada zlasti zapadna polovica sredozemskega bazena med najbolj ciklogenična področja sveta /32, 33/. Vključevanje tropskega zraka na dnu atmosfere stopnjo labilnosti še poveča. Zunanji izraz tega so nalivi in to izredno intenzivni. Kratkotrajni nalivi so v Slovenskem Primorju in v Brdih za ca 50 % intenzivnejši od nalivov v notranjosti. Tako znaša na primer 15 minutni naliv s pogostostjo $n - 1$, torej tak, ki se pojavlja v dolgoletnem poprečju po enkrat letno, v Kopru ca 24 mm, v Ljubljani in Mariboru pa le ca 16 mm /34, 35/.

Verjetno so tudi izjemno visoke letne padavine z 200 in tudi preko 300 mm, ki so na področju Slovenije omejene skoro izključno na svet jugozahodno od dinarsko-alpske pregrade /36, 18/, posledica vrinjenega tropskega zraka in s tem pogojene labilizacije ozračja.

Ni mogoče potegniti ločnice med padavinami, ki so posledica frontalne aktivnosti in ojačene z zaježitvenimi procesi, in med tistimi dodatnimi padavinami, ki jih povzroča vlaga vključenega tropskega zraka. Vsekakor pa ni preveč tvegan sklep, da je na območju, ki je v večini padavinskih situacij pod vplivom valov ali sekundarnih ciklonov, razlika med višinami padavin prekrivajočega in osnovnega padavinskega sistema posledica vrinjenega tropskega zraka. Ako upoštevamo razliko /v metrih/ med poprečnimi višinami najvišjih delov Tržaškega krasa in

Triglavske skupine, prav tako pa tudi ustrezne višine Trnovskega gozda in Bohinjskega grebena /prvi dve skupini imata padavine po osnovnem padavinskem sistemu, drugi pa po prekrivajočem/ potem prejme Trnovski gozd ca 1000 mm iz tropskega zraka, Bohinjski greben pa celo ca 1800 mm.

V kalkulaciji je več neznank, boljše šibkih točk, glavni pa sta dve. Za Tržaški kras ne vemo, koliko sodeluje v njegovih padavinah tropski zrak. Kalkulacija je izvršena tako, kot da prav nič ne sodeluje, kar pa sploh ni mogoče. Druga šibka točka je neenakost pogojev za zajezitev, o čemer smo govorili že poprej. Gotovo je namreč, da bi bilo v Triglavski skupini več padavin, ako bi bilo gorovje oblikovano kot dolg hrbet, potekajoč tako kot Bohinjski greben.

Ker imajo posledice obeh šibkih točk v odnosu s končno oceno nasprotni predznak, absolutne vrednosti obeh posledic pa smemo oceniti kot enake, navedena podatka o deležu padavin iz tropskega zraka nista brez vrednosti.

Sprejemljivo tolmačenje moramo poiskati še za vprašanje, zakaj je največ padavin na Bohinjskem grebenu. Vprašanje se vsiljuje zaradi domneve, da je glavni vzrok za tolikšne padavine v prekrivajočem sistemu - labilizirana atmosfera. Plast tropskega zraka je nad morjem debelejša kot nad Trnovskim gozdom ali nad Bohinjskim grebenom in je zato tolikšna namočenost v obeh skupinah nekako ne-
logična. Zlasti še, če upoštevamo, da ima tropski zrak pri tleh isto smer kot našete planote; saj to pomeni, da ni pogojev za prisilno dviganje tropskega zraka.

Prepričljivega odgovora na vprašanje, do katere višine imamo v poprečju v tropskem zraku smer JV - SZ, nimamo. Višina tropskega zraka je funkcija globine sekundarnega ciklona in se torej menja od situacije do situacije in med vsako posamezno situacijo. Sodeč po izdatnosti padavin v Trnovskem gozdu mora tropski zrak preiti v cirkulacijo hladne doline v poprečju že precej pod povprečno višino najvišjih predelov, morda v višini 1000 m. Le tako si lahko, vendar brez prijemljivih dokazov, razložimo, zakaj ima Trnovski gozd toliko več

padavin od Triglavskega pogorja. Ni pa mogoče povsem obiti naslednje kombinacije: ne glede na to, ali je tropski zrak že vključen v cirkulacijo hladne doline in priteka proti dinarsko-alpskim planotam od jugozapada, ali pa še struja v prvotni smeri od jugovzhoda, v vsakem primeru pride ob prehodu polarne fronte pred planotami do zajezitve polarno-tropskega zraka na čelni strani doline. Padavine so posledica dveh vzrokov: zrak se prisilno dviga in ohlaja, to je eden vzrok. Zaradi dviganja pa pride nad planotami do zgostitve izoterm in do povečanega termičnega gradienta in s tem do labilizacije atmosfere - to je drugi vzrok. Iz obeh vzrokov se začno padavine najprej v območju najvišjih planot, od tod pa se širijo nekako pravokotno na prepreko, in to v obeh smereh: vzporedno z vetrom in v vetru nasprotni smeri /37/. Lahko sklepamo, da se začetno, prisiljeno dviganje zraka, ako ne vedno, pa vsaj praviloma pretvori v spontano dviganje, saj pride zaradi stopnjevanja padavin s približevanjem fronte tudi do vzporednega povečanja sproščene latentne toplote.

Spontano dviganje, ki ga potrjuje velika pogostnost nevihtnih dni nad tem področjem /morda največja v Evropi /38, 39/, se začne verjetno najčešče nad pregradami, ki dobijo v takih primerih funkcijo, podobno funkciji dimnika. Srk, ki pri tem nastane, uvaja vedno nov, še malo izcejen zrak. Prav zato prihaja do velike koncentracije padavin prav v območju najmarkantnejših pregrad. Razporedba padavin kaže, da se to dogaja v območju Bohinjskega grebena.

S tolmačenjem, zakaj nimamo maksima padavin v najvišji skupini Vzhodnih Julijskih Alp, v Triglavski skupini, ampak že v mnogo nižjem Bohinjskem grebenu, smo dobili tudi tolmačenje za navidezno izveržno razporedbo padavin v tem delu Alp.

Letne višine padavin kotlinskih postaj Savica, Bovec in Plužna res presega-
jo višine padavin pobočnih postaj, kot so Ravne in druge. Zato pa zaostajajo močno za tistimi vrednostmi, ki smo jih spoznali z novo padavinsko mrežo v višinah nad 1400 m. Povsem normalno je, ako prejme Bohinjski greben okoli 3500 ali celo 4000 mm, za njim ležeča Savica pod 3000 m.

Podobno lego kot Bohinjski greben v vzhodni polovici Julijskih Alp ima na zahodu Matajur. V njegovem zaledju pa sta postaji Bovec in Plužna. Tudi v tem primeru imamo povsem normalno razmerje v višinah padavin. Inverzne razporedbe padavin torej v Julijskih Alpah ni.

SKLEP

V tem prispevku je ocenjen kot edini vzrok za maksimalne padavine že v Bohinjskem grebenu in ne v Triglavski skupini ali v Visokih Turah - tropski zrak z visoko absolutno vlago, ki ga uvajajo sekundarni cikloni in valovi na polarni fronti, torej lokalni akcijski centri, ki ne segajo visoko.

Nova podmena pomeni korak dalje zato, ker precizira lokacije, kjer obstoja možnost, da doseže absolutna vlaga neko kritično stopnjo. S to oznako je mišljena tista stopnja vlage, ki omogoča najizdatnejše izcejanje že nižje in ne šele v najvišjih področjih visokogorskega sveta. Take lokacije imamo povsod, kjer je pogostna aktivnost sekundarnih ciklonov.

Novo ugotovitev je mogoče posplošiti: pri podobnih reliefnih razmerah je višina pasu maksimalnih padavin pogojena s poprečno višino ciklonov in front, aktivnih nad določenim poprečjem. Višina, do katere velja to pravilo, je funkcija temperaturnih razmer, torej tudi zemljepisne lege in letnega časa.

LITERATURA

1. Letno poročilo meteorološke službe za leto 1962.
2. Tollner H.: Niederschlagsverhältnisse im Gebiet des Rausiger Sonnblicks. Jahresbericht des Sonnblick-vereines für die Jahre 1951-1952.
3. Uttinger H.: Zur Höhenabhängigkeit der Niederschlagsmessungen in den Alpen. Arch. f. Met. Geoph. und Biokl. Serie B; 4. Heft, 1951, Wien.
4. Hoeck E; Thams J.C.: Zum Problem der Niederschlagsmessung. Geophysica p. e app. Milano, vol. XIX., 1951.
5. Steinhauser F.: Die Meteorologie des Sonnblicks. 1938, Wien.
6. Tollner H.: Niederschlagsverhältnisse der Übergossenen Alm auf dem Hochkönig. XLVI. Jahresber. d. Sonnblick-Vereins 1937.
7. Steinhauser F.: Ergebnisse neuerer Beobachtung über die Niederschlagsverhältnisse im Sonnblickgebiet. XLI. Jahresber. d. Sonnblickvereins für 1932.
8. Steinhauser F.: Über die Struktur des Jahresganges des Niederschlages am Zentrallalpenkamm. Wetter und Leben, Mai 1949.
9. Tollner H.: Zum problem Eishaushalt und Niederschlag im Hochgebirge. Mitt. d. Geogr. Gesellschaft in Wien, Bd. 90, 1948.
10. Hann-Sörling, Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig 1951.
11. Conrad V.: Klimatographie von Kärnten, Klimatographie von Österreich VI. Wien 1913.
12. Beiträge zur Hydrographie Österreichs. Wien 1918.
13. Biel E. Klimatographie des ehemaligen österr. Küstenlandes. Deutsche Akad. Wiss. Wien 1927.
14. Knoch und Reichl: Verteilung und jährlicher Gang der Niederschläge in den Alpen. Abhand. Preus. Met. inst. IX. Nr. 16. Berlin 1930.
15. Uttinger H.: Statistische Untersuchungen über den Einfluss der Orographie auf die Niederschlagsverteilung. Izvleček v: Verhandlungen der Schweizerischen naturforschenden Gesellschaft. Davos 1950.

16. Reya O.: Padavinska karta Slovenije, Ljubljana 1945.
17. Pleško-Šinek: Sekularne varijacije oborinskih nizova u odnosu na Atlas klime Jugoslavije. Zagreb 1968.
18. Furlan D.: Padavine v Sloveniji. Geografski zbornik VI, Ljubljana 1961.
19. Brückner E.: Klimaschwankungen seit 1700 nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit. Geographische Abhandlungen 4, H.2, 1890.
20. Conrad-Pollak: Methods in Climatology. Cambridge 1950.
21. Furlan D.: Padavinske karte Slovenije, Ljubljana 1954 in 1958.
22. Karte izohieta. Hidrometeorološka služba FNR Jugoslavije. Beograd 1953.
23. Hann-Söring, Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig 1951.
24. Landsberg H.: Physical Climatology. Du Bois, Pennsylvania.
25. Nosan B.: Totalizatorji v Sloveniji in njihovi rezultati. Letno poročilo meteorološke službe za leto 1966.
26. Furlan D.: Determinazione delle precipitazioni mediante le portate unitarie. A. Geofisica e meteorologia. Genova 1963.
27. Štefančič P.: Študij padavinskih področij zg. Soče in Idrijce z ozirom na visoki odtočni koeficijent. Uprava hidrometeorološke službe Slovenije. Ljubljana 1954.
28. Hidrološki elaborat Soče, Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana 1962.
29. Steinhauser F.: Die Meteorologie des Sonnblicks. 1938, Wien.
30. Tollner H.: Wetter und Klima im Gebiete des Grossglockners. Klagenfurt 1952.
31. Furlan D.: Mreža totalizatorjev v Sloveniji. Letno poročilo meteorološke službe za leto 1958.
32. Radinović-Lalić: Ciklonska aktivnost u zapadnom Sredozemlju. Beograd 1960.
33. Biel E.: The Mediteranean, Chicago 1944.
34. Furlan D.: Hidrometeorološke osnove za projektiranje mestnih kanalizacij v Sloveniji. Letno poročilo met. službe za leto 1956.
35. Furlan D.: Nalivi in odtoki v Kopru. Arhiv HMZ Slovenije, Ljubljana 1968.
36. Petkovšek Z.: Nevihtna karta in nevihtna pogostnost v Sloveniji za dobo 1951-1960. Razprave - Papers 7, DMS, Ljubljana 1966.
37. Furlan D.: Nevihte v Sloveniji v letih 1951-1966. Arhiv HMZ Slovenije, Ljubljana 1967 (v rokopisu).

JEDNA MOGUĆNOST PRIKAZA KLIME ZA POTREBE ZDRAVSTVA I TURIZMA

A CLIMATOLOGICAL DESCRIPTION SUITABLE FOR MEDICAL AND TOURISTIC PURPOSES

551.586

EDITA LONČAR, NADA PLEŠKO i NADEŽDA ŠINIK

Hidrometeorološki zavod NRH, Zagreb

ABSTRACT:

Bioclimatological quantities: comfort zones, cooling power and skin equivalent temperature may be used in touristic and medical aspects of a climate description. Therefore the main characteristics of these quantities are given together with the corresponding criteria for human sense of climate. Final bioclimatological description is illustrated with values for three towns in Yugoslavia /Table 1./ A comparison proves that the skin equivalent temperature is most complex and sensitive for a bioclimatological study of a place or region, since it comprises the temperature, humidity and wind effects upon the human being.

U ovom je radu prikazana mogućnost upotrebe bioklimatskih veličina za ocjenu klime nekog mjesta pri čemu su kompleksno korišteni klimatski osjet, veličina ohladjivanja te - po prvi puta kod nas - ekvivalentna temperatura kože. Na osnovu dobivenih vrijednosti i njihovog godišnjeg hoda može se zaključiti koliko je i u koje doba godine neko mjesto, odnosno područje povoljno sa zdravstvenog i turističkog aspekta.

Pošto čovjekov osjet ugodnosti /hladnoće, sparine i slično/ ne ovisi samo o jednom meteorološkom elementu, već o kombiniranom djelovanju njih nekoliko

trebalo bi odrediti veličine, koje bi odražavale taj zajednički uticaj. U tu svrhu koristilo se: klimatski osjet, veličinu ohladjivanja i ekvivalentnu temperaturu kože.

Klimatski je osjet veličina, koja na osnovu podataka o temperaturi i relativnoj vlazi zraka određuje kako zdrav organizam čovjeka osjeća neko, bilo trenutno, bilo jedno duže prosječno vremensko stanje.

Na temelju eksperimenata s većom grupom ljudi /2/, što je u literaturi često navodjeno, određene su uz potpuno miran zrak granične vrijednosti temperature i vlage zraka, koje kod čovjeka izazivaju osjet sparine, hladnoće ili ugodnosti. Najčešće se u praksi koriste grafikoni, izradjeni na osnovu tih eksperimenata, a prilagodjeni za direktno unošenje podataka temperature i vlage, pa je i u ovom radu korišten jedan takav grafikon za određivanje klimatskog osjeta /4/. Za tabelarno prikazivanje klimatskog osjeta po mjesecima /vidi Tabl. 1/ upotrebljene su u radu skraćenice VH, KU, SP što znači: vlažna hladnoća, klimatski ugodno i sparno.

Medjutim, ovako određen klimatski osjet, iako daje jednu orijentaciju klimatskog stanja, ne može u potpunosti odraziti osjet čovjeka. Naime, na kompletan klimatski osjet organizma utječe i strujanje zraka, znači važna je i brzina vjetra.

Indeks ohladjivanja /H/ upravo je veličina, koja koristi pored temperature zraka i jačinu odnosno brzinu vjetra kao bazu za bioklimatsku klasifikaciju/1/. Ta veličina prikazuje gubitak topline u jedinici vremena s površine 1 cm^2 ljudskog tijela pri temperaturi organizma od 37°C u raznim klimatskim uslovima, prezentiranim temperaturom i jačinom vjetra. U vezi s većim ili manjim gubitkom topline s površine organizma javlja se i različit osjet za klimu. Klasifikaciju klime za indeks odnosno veličinu ohladjivanja dao je V. Conrad /1/, a ovdje je prenosimo da bi mogli prema veličini ohladjivanja, upisanoj za svaki mjesec u Tabl. 1, ocijeniti klimu s bioklimatskog stanovišta odnosno sa stanovišta osjeta čovjeka.

Veličina ohladjivanja
 $\text{mg cal cm}^{-2} \text{ sek}^{-1}$

Osjet klime

0 - 10	vruća klima
10 - 20	klima relaksacije
20 - 30	blaga ali stimulatívna klima
30 - 40	jako stimulatívna klima
>40	vrlo hladna klima

I ta nam veličina daje određenu bioklimatsku klasifikaciju, ali isključujući utjecaj relativne vlage zraka. Taj se utjecaj, medjutim, nikako ne smije zanemariti kod klimatske studije jednog mjesta ili područja s aspekta turizma i zdravstva.

U našem istraživanju željele smo koristiti veličinu, koja bi pokazivala zajednički, istovremeni utjecaj temperature, vlage i vjetra na organizam čovjeka i njegov osjet vremena i klime. Takva je veličina ekvivalentna temperatura kože.

Ekvivalentna temperatura kože definirana je pomoću ekvivalentne temperature zraka i brzine vjetra. Prva od njih - ekvivalentna temperatura zraka t_e - odgovara onoj temperaturi, koju bi imeo 1 m^3 zraka kada bi se ugrijao na račun oslobodjene toplinske energije pri kondenzaciji /uz konstantan tlak/ one vodene pare što je dotična jedinica zraka sadrži. Prema tome, ekvivalentna temperatura zraka jednom jedinom vrijednosti izražava kombinirano djelovanje temperature zraka i vlage zraka, ali za razliku od klimatskog osjeta ona nije prilagodjena čovjekom osjetu vremena i klime.

Najčešće se t_e određuje iz izraza

$$t_e = t + k'e \quad /1/$$

gdje je t temperatura zraka, $k' = 2 \text{ st/mb}$, a e tlak vodene pare /1/. Gornja formula se može koristiti za različite vrijednosti tlaka zraka izmedju 770

mm Hg i 740 mmHg i različite temperature od -20°C do 30°C .

Medjutim, izvan gornjih granica za tlak i temperaturu jednažba 1 ne vrijedi. Za mjesta s većom nadmorskom visinom, gdje su srednje mjesečne vrijednosti tlaka zraka ispod 740 mm Hg, mora se koristiti Linke-ova jednažba /1/, koja daje egzaktnu vrijednost:

$$t_e = t + \frac{u}{100} \frac{1543 + 1,68 t}{p - 0,377 E} \left(\frac{E}{p}\right) \quad /2/$$

$$t_e = t + k(p, t) \frac{u}{100}$$

gdje je u relativna vlaga, E maksimalni tlak vodene pare i p tlak zraka. Da bi se što brže odredila ekvivalentna temperatura zraka t_e kada se radi s velikim brojem podataka, izradjen je dijagram na bazi jednažbe /2/.

Iz jednažbe /2/ slijedi, da je k funkcija tlaka zraka p i temperature t. Ukoliko se t_e računa za konstantan tlak p, k je samo funkcija temperature t, te jednažba /2/ glasi:

$$t_e = t + k(t) \frac{u}{100} \quad /3/$$

Za svaku od vrijednosti tlaka zraka /700, 710 . . . 760 mm Hg/, koja je uzeta kao konstantna, izradili smo odgovarajući dijagram ekvivalentne temperature zraka t_e , izračunavši t_e iz jednažbe /3/. Dijagrami nisu priloženi u ovom prikazu, medjutim bili su korišteni u našem radu.

Zatim je ekvivalentna temperatura zraka t_e zajedno s brzinom vjetra korištena za određivanje nove veličine - ekvivalentne temperature kože. Ta je određena mjerenjem temperature i vlage u sloju zraka neposredno uz kožu ljudskog organizma. Leistner /3/ je izradio dijagram za određivanje ekvivalentne temperature kože iz podataka ekvivalentne temperature zraka i brzine vjetra. Uz to je dao i kriterij, po kojemu određenim intervalima ekvivalentne temperature

kože pridružuje, na temelju eksperimenata, ljudski osjet: hladno, vrlo svježe, svježe, malo svježe, ugodno, malo sparno i sparno. Na taj način dobija slijedeću bioklimatsku klasifikaciju:

Ekvivalentna temperatura kože, $^{\circ}\text{C}$	Ljudski osjet	- Simbol
35 - 40	hladno	hl
40 - 45	vrlo svježe	vsv
45 - 50	svježe	sv
50 - 55	malo svježe	msv
55 - 65	ugodno	ug
65 - 70	malo sparno	msp
>70	sparno	sp

Mogućnost primjene Leistnerovog fizioklimograma kao i bioklimatske klasifikacije pomoću ekvivalentne temperature kože ispitali smo na nizu mjesta duž južnog jadranskog Primorja i njegovog neposrednog zaledja.

Zato smo pomoću prosječnih mjesečnih vrijednosti temperature, relativne vlage zraka i brzine vjetra iz razdoblja 1956-1965. odredile za ta mjesta ekvivalentnu temperaturu kože, klimatski osjet i veličinu ohladjivanja H. Neke od vrijednosti prikazane su radi ilustracije u Tabl. 1.

Bioklimatska razdioba na osnovu ekvivalentne temperature kože podudara se s razdiobama dobivenim uz pomoć klimatskog osjeta, a naročito veličine ohladjivanja, ali je mnogo detaljnija. To nam ukazuje, da je razdioba bazirana na takvoj veličini, koja kompleksno održava termodinamički i bioklimatski utjecaj, najpreciznija i najpovoljnija za istraživanja klime, u kojima se mora odraziti osjet čovjeka.

Turista ne osjeća klimu kao funkciju samo jednog klimatskog elementa /na pr. temperature/ te zato i ne može ocijeniti njenu pogodnost samo na osnovu nune-

ričkih vrijednosti /kakve se obično reprezentiraju u turističkim prospektima/, nego kao kompleks klimatskih veličina. Zato smatramo, da jedino bioklimatske veličine mogu prikazati klimu upravo na onaj način, kakav je potreban za turizam i zdravstvo. U vezi s time trebalo bi javnost obavještavati o klimi pojedinih mjesta ili krajeva barem na sličan način kao što je prikazano u prethodnoj tabeli.

Za prikaz klime nekog većeg područja, također gledano s aspekta turizma i zdravstva, moguće je izvući izolinije bioklimatskih veličina. Ovdje su naša iskustva pokazala, da ekvivalentna temperatura kože može najbolje poslužiti za određivanje prirodnih bioklimatskih granica odnosno za bioklimatsku rajonizaciju nekog područja.

TABELA 1
Vrijednosti nekih elemenata i bioklimatska klasifikacija Splita, Mostara i Titograda.

TABLE 1
Air temperature, relative humidity, wind speed, cooling power, climatic sense, equivalent temperature, skin equivalent temperature and human sense for Split, Mostar and Titograd.

SPLIT MARJAN /122 m/	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Temperatura zraka /°C/	7,5	7,7	9,9	14,1	18,5	22,7	25,4	25,5	21,4	17,1	13,1	9,2
Relativna vlaga zraka /%/	59,3	58,1	61,7	61,5	59,2	56,8	51,2	49,3	56,5	57,5	68,7	66,1
Vjeter /sred. jač. Beauf./	3,2	3,2	3,1	2,9	2,4	2,3	2,3	2,2	2,4	2,7	3,1	3,2
H /mg cal cm ⁻² sek ⁻¹ /	33	33	29	25	16	13	11	10,12	15	21	26	31
Klimatski osjet	KU	KU	KU	KU	KU	KU	KU	KU	KU	KU	KU	KU
Ekvival. temp. zraka /°C/	15,9	15,9	21,3	19,1	37,8	45,9	50,0	29,4	43,1	34,2	29,0	20,7
Ekvival. temp. kože /°C/	40,8	40,8	43,0	48,8	55,5	62,0	65,0	65,0	59,0	53,0	48,5	43,0
Ljudski osjet	VSV	VSV	VSV	SV	ug	ug	msp	msp	ug	msv	SV	VSV
MOSTAR /99 m/												
Temperatura zraka /°C/	4,8	5,8	9,3	13,5	17,8	21,9	24,9	25,1	20,6	15,6	11,0	7,0
Relativna vlaga zraka /%/	65,9	62,7	63,7	62,7	61,4	60,5	52,3	49,5	56,5	63,7	74,4	71,3
Vjeter /sred. jač. Beauf./	3,2	3,2	2,7	2,4	2,3	2,3	2,5	2,5	2,4	2,5	2,3	2,7
H /mg cal cm ⁻² sek ⁻¹ /	36	35	29	22	17	14	12	11,5	15	20	24	31
Klimatski osjet	VH	KU/VH	KU	KU	KU	KU	KU	KU	KU	KU	KU/VH	VH
Ekvival. temp. zraka /°C/	13,3	14,5	20,8	28,4	35,8	45,7	49,5	48,5	41,0	32,8	25,8	16,9
Ekvival. temp. kože /°C/	38,2	39,0	43,0	49,0	55,5	62,0	63,0	62,0	58,5	50,8	47,7	40,5
Ljudski osjet	h1	h1	VSV	SV	ug	ug	ug	ug	ug	msv	SV	VSV
TITOGRAĐ /52 m/												
Temperatura zraka /°C/	5,0	5,5	9,5	14,0	18,5	23,0	26,1	26,2	21,5	16,1	11,3	7,4
Relativna vlaga zraka /%/	70	68	65	63	62	56	48	47	55	64	79	75
Vjeter /sred. jač. Beauf./	1,8	2,0	1,9	2,0	1,8	2,0	2,2	2,1	2,0	1,7	1,2	1,7
H /mg cal cm ⁻² sek ⁻¹ /	26	27	24	20	14	12	9,5	9,3	13	15	18	24
Klimatski osjet	VH	VH	KU	KU	KU	KU	KU	KU	KU	KU	VH	VH
Ekvival. temp. zraka /°C/	14,4	15,1	21,2	19,0	38,3	46,2	50,7	50,5	42,7	33,3	27,4	19,2
Ekvival. temp. kože /°C/	39,9	40,5	44,2	50,1	57,8	62,5	66,0	65,5	59,0	52,5	50,5	43,0
Ljudski osjet	h1	VSV	VSV	MSV	ug	ug	msp	msp	ug	msv	MSV	VSV

LITERATURA

Conrad V. and Pollak L.W.: Methods in Climatology, Cambridge 1950.

Critchfield H.J.: General Climatology, Eng. Cliffs 1960.

Flach E.: Grundbegriffe und Grundtatsachen der Bioklimatologie, cit. Leistner-a, Linkes Met. Taschenbuch, Leipzig 1957.

Trauner L.: Medicinska meteorologija u Hrvatskoj, Vjestnik hidrometeorološke službe SNRJ, V., Jan.-Juni, Beograd 1956.