

UGOTOVITVE OB MARŠRUTNIH TEMPERATURNIH MERITVAH V
SLOVENIJI

STATEMENTS ON TRAVERSE TEMPERATURE MEASUREMENTS IN
SLOVENIA

551.524.1

ZDRAVKO PETKOVŠEK

Katedra za meteorologijo FNT, Ljubljana

SUMMARY:

Increased needs for more accurate knowledge of temperature distribution in meso scale forced us to introduce the moving point (or along the route) temperature measurements. In the very changeable terrain as it is considered such measurements give series of interesting results and call attention to some problems.

It was found out that even 3 degree centigrade temperature difference on 100 meters horizontal distance can occur on very heterogenous relief and surface characteristics. The greatest differences were measured in the morning along the roads leading over rugged (cleft) terrain covered with the forest on shadow slopes and with the grass or stone on the sunny parts.

Considering the complete equation for local temperature changes, transformed for a moving point (Eq. 4), it is shown that on the basis of such measurements any conclusion about horizontal or vertical temperature gradients is possible only if neglecting the series of influencing factors. Therefore they can not be determined exactly by such measurements, they can be only approximated, however with the great care by analysing and considering all influences like time of the day, relief, overgrowth of surface, buildings or settlements, motor traffic, dynamic effects, effects of phase changes, air circulation and other weather parameters and their changes along the route.

The results of measurements contributed to some statements on temperature of cold air lakes in basins and its daily course. All these are important parameters in connection with the studies of air pollution dispersion in such relief units,

The enormous air temperature changeability, established by these measu-

rements, call for attention that by all considerations of air temperature data at the surface above rugged terrain much more care should be devoted to the microscale and local characteristics around the points of site measurements.

UVOD

Temperaturo zraka, ki je funkcija prostora in časa merimo predvsem in največkrat v kaki fiksni točki, zato so nam splošne temperaturne spremembe in temperature v Sloveniji s tega vidika dokaj dobro poznane /1/. Tudi vertikalnih temperaturnih meritev v atmosferi je na splošno precej in vedno več, vendar predvsem za potrebe makso vremenske slike. Znatno manj je temperaturnih meritev v mezoskali - nekaj deset kilometrov v horizontalni smeri in v prvih spodnjih nekaj sto metrov višine. Posamezne meritve s teh območij pri nas pa kažejo /2/, da so nam tod razmere še slabo znane, saj nas rezultati nemalo presenečajo.

V mezoanalizi, ki postaja v zvezi z mestno klimo in varstvom okolja vse bolj pomembna, so potrebni mnogo gostejši podatki, kot v makroanalizi, naša predstava o horizontalnih temperaturnih gradientih pa je zelo pomanjkljiva. Merilne točke stalne mreže so razmeroma daleč narazen, zato lahko dobimo natančnejše predstave o horizontalnih in vertikalnih (ob pobočjih) sprememba temperature le z maršrutnimi meritvami - merjenji vzdolž poti. Pri teh meritvah pa se pojavi vrsta faktorjev, ki vplivajo na meritve in tudi na temperaturne razmere vzdolž poti. Izmerjene vrednosti nas tudi opozarjajo na vplive, ki jih sicer pri vrednotenju temperaturnih podatkov očitno premalo upoštevamo. Nekaj tovrstnih ugotovitev, izkušenj, podatkov in spoznanj, ki smo jih dobili ob maršrutnih meritvah temperature zraka v osrednji Sloveniji, bo podanih v tem delu.

PROBLEMI, NAČIN IN PODROČJE MERITEV

Meritve z instrumenti na vozilih niso novost; začele so se na biciklih /3/. Glede na dimenzije v mezoskali je najbolj primerno opravljati take meritve pri tleh z instrumentom na avtomobilu, ki omogoča dovolj velike hitrosti in s tem dovolj nagle spremembe neodvisne spremenljivke s , ki jo merimo vzdolž poti. Ta je v malo razgibanem reliefu skoraj identična svoji horizontalni projekciji (n); v močno razgibanem ali strmem terenu pa vsebuje tudi znatno vertikalno komponento (z), ki je predvsem glede na stabilnostne razmere v atmosferi zelo važna, obenem pa omogoča predstavu temperaturnih razmer v sistemu $T(z)$.

Temperatura nastopa pri maršrutnih meritvah kot prava funkcija prostora in časa ter je

$$T = T(x, y, z, t) \quad (1)$$

Čeprav nas predvsem zanimajo prostorske razporeditve, izhajamo iz enačb za časovne spremembe.

Iz Eulerjeve relacije med individualno, lokalno in advektivno spremembo ter splošne energijske enačbe sledi izčrpna enačba za lokalne temperaturne spremembe v razgibanem reliefu /4/, ki jo v skrajšani obliki lahko zapišemo

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\vec{u}_h \cdot \nabla_h T - w(\gamma_a - \gamma) + \frac{1}{c} \frac{dE}{dt} \quad (2)$$

pri čemer predstavljata prva dva člena na desni posebej temperaturne spremembe zaradi horizontalne in vertikalne advekcije, zadnji pa spremembe zaradi ogrevanja pri energijskih spremembah, ki se končno odražajo v odtoku ali dovodu toplote zraku. Te zajemajo obsevanje, kondukcijo, fazne spremembe, lokalne spremembe pritiska, trenje in spremembe kinetične energije zračnih delcev.

Za uspešno nadaljnje izvajanje moramo del drugega - vertikalno advektivnega člena

$$\gamma_a - w = \frac{g w}{c_p}$$

vkjučiti nazaj v energijski člen iz katerega izhaja in pišemo enačbo (2) v obliki

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\vec{u}_h \cdot \nabla_h T + w \gamma + \frac{1}{c_p} \left(\frac{dE}{dt} - g \frac{dz}{dt} \right) \quad (3)$$

Maršrutne meritve lahko štejemo za meritve lokalnih sprememb v gibanju se točki senzorja ali vozila (indeks v) in zapišemo

$$\left(\frac{\partial T}{\partial t} \right)_v = -(\vec{u}_h - \vec{u}_{hv}) \cdot \nabla_h T + (w - w_v) \gamma + \frac{1}{c_p} \left(\frac{dE}{dt} - g \frac{dz}{dt} \right) \quad (4)$$

Za vozilo, ki bi se gibalo ravno skupaj z delci zraka $\vec{u} = \vec{u}_v$, bi prva dva člena na desni odpadla in tedaj bi merili le posledice energijskih sprememb teh delcev, temperaturne razporeditve v prostoru za nek čas pa tedaj ne bi mogli dobiti.

V enačbi (4) so znane vrednosti le tri, in sicer merjena $(\partial T / \partial t)_v$ ter komponenti vektorja hitrosti vozila \vec{u}_{hv} in w_v , neznane pa so nam advekcije (gibanje delcev in temperaturni gradienti) ter vrsta neznank, ki jih

vsebuje člen z energijskimi vplivi ali energijskimi spremembami s časom. Vidimo torej, da lahko na podlagi maršrutnih meritev določamo horizontalne in vertikalne temperaturne gradiente le ob postavkah, da ni gibanja zraka $\vec{u} = 0$ in da v tej zračni plasti ni energijskih sprememb ali da sta obe ti okvirni količini zanemarljivi. Razumljivo je, da to v splošnem ne velja, da so te postavke zelo grobe in seveda rezultati ob njih zelo približni. Velika hitrost vozila in kratek čas meritev le delno opravičujeta take postavke, napake pa so kljub temu lahko zelo velike.

Če odštejemo od enačbe (4) enačbo (3) dobimo

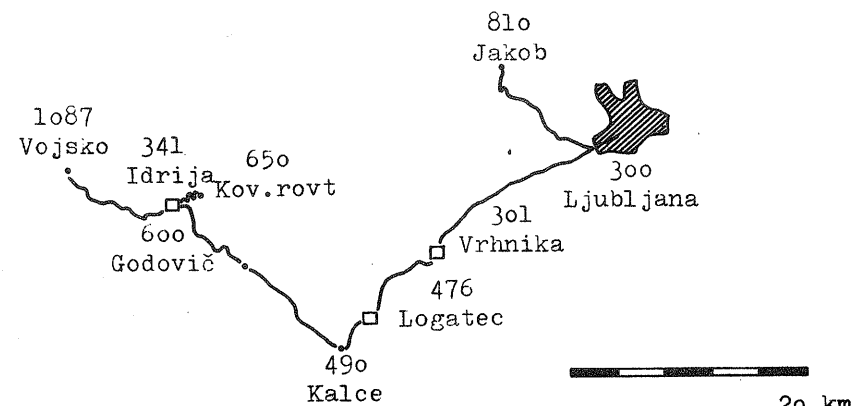
$$\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_v - \frac{\partial T}{\partial t} = \vec{u}_v \cdot \nabla T \quad (5)$$

Iz analogne enačbe za pritisk (namesto T) določajo pravo tendenco pritiska za šipse na morju, toda šele sinoptiki ob vremenski karti, ki imajo znan ∇p . Pri maršrutnih meritvah pa bi za določevanje ∇T potrebovali še podatek o lokalnih temperaturnih spremembah. Teh podatkov pa seveda ni, zato se naslanjamo direktno na enačbo (4) ob upoštevanju gornjih postavk; ob tem pa ne smemo pozabiti, da so dobljene vrednosti le približne.

Meritve, ki jih bomo obravnavali, so bile izvedene pri hitrostih med 40 in 80 km/h, nobena posamezna meritev pa ni trajala dalj kot eno uro, mnoge pa precej manj. Vendar pa lokalnih temperaturnih sprememb seveda ni mogoče zanemariti, zlasti ne dopoldne, ko so te razmeroma velike. Najmanjše in zanemarljive so pred sončnim vzhodom /5/.

Glede na hitrost vozila in glede na potrebe naj bi bila določena občutljivost instrumenta oziroma njegova prilagodljivost temperaturnim spremembam zraka. Vendar glede tega nimamo veliko izbire. Živosrebrni termometri so seveda mnogo preveč vztrajni ali počasi prilagodljivi. Glede na dobro cirkulacijo zraka okrog sensorja pa je bil primeren občutljiv Atkinsov termistorski termometer z razmeroma majhnim sensorjem ($\emptyset 2 \times 12$ mm), ki je dajal temperaturne spremembe skoraj $1^\circ \text{C}/\text{sek}$. - časovna konstanta je 3 sek. Uporabili smo isti senzor za dva merilna instrumenta z območji -12 do $+12^\circ \text{C}$ in 0 do 24°C . Posebni kontrolni sistem v instrumentu je omogočal pravilno nastavitvev in je bil porok za pravilnost izmerjenih vrednosti. Merili smo tako, da smo med vožnjo kontinuirano spremljali kazalec instrumenta in beležili vse pomembnejše spremembe pri krajših meritvah, pri meritvah na daljših razdaljah pa smo se, zlasti na ravnini, omejili le na značilne lokacije, ki smo jih pasirali. Instrument za odčitavanje vrednosti je bil v vozilu, senzor pa je bil vezan z instrumentom z 1,5 m dolgim kablom in je bil primerno nameščen na zunanji sprednji strani vozila. Vrednosti smo torej odčitavali in zapisovali; regulator, tudi če bi ga imeli, zaradi tresenja ne bi bil uporaben.

Področje meritev je razvidno s slike 1, meritve pa zajemajo štiri maršrutne relacije: Ljubljana-Idrija, Idrija-Vojsko, Idrija-Kovačev rovt in Ljubljana-Katarina (ali Jakob). Pri prvi maršruti je najznačilnejša horizontalna dimenzija, medtem ko je pri drugih zaradi relativno velikih višinskih razlik važnejša vertikalna komponenta ter so tudi rezultati v glavnem temu primerno prikazani.



Slika 1 Področje in relacije maršrutnih temperaturnih meritev.
Fig. 1 Region and routs of traverse temperature measurements.

REZULTATI IN DISKUSIJA

Naj podamo najprej nekaj splošnih ugotovitev in spoznanj, ki so nam jih dale maršrutne meritve. Predvsem nas preseneča velika spremenljivost temperature zraka, ki je doslej nismo poznali: izmerili smo temperaturne spremembe do 3° v 5 sekundah ali - upoštevajoč hitrost vozila - okrog 3° na 100 m poti. Vzporedna opazovanja raznih pogojev in naknadne analize so pokazale, da so za tako spremenljivost potrebne ustrezne kombinacije reliefnih in vremenskih pogojev.

V reliefnih pogojih, kjer se vije cesta ob grapastem pobočju in naglo prihaja iz osovinih v prisojne lege, pri čemer so prve navadno gozdnate druge pa porasle s travo, so lahko temperaturne spremembe največje oz. najhitrejše. Seveda pa igrajo pri tem važno vlogo vremenski pogoji in dnevni čas. Mirno in jasno vreme z neznatno turbulentno izmenjavo zraka omogoča dopoldne, da je zrak v gozdnatih osovinih legah še hladen, na prisojnih pa že močno ogret. Kotline so še lahko zapolnjene z jezeri hladnega zraka, medtem ko se že tako toplejši zrak v inverzni plasti in

nad njo ob prisojnih pobočjih še dodatno ogreva. Taka jezera so lahko obsežna in zalivajo velike kotline, zjutraj pa lahko izpolnjujejo le nekaj metrov globoke vrtače ob robovih katerih ponekod potekajo lokalne ceste - kot n.pr. med Kalcami in Godovičem.

Detajlnejša analiza drugega člena in sestavin zadnjega člena enačbe (3) za močno razgiban relief /4/ je pokazala, da je v hribih glede na ravnine velika razlika ter da je tu lahko vsak efekt pomembno učinkovit.

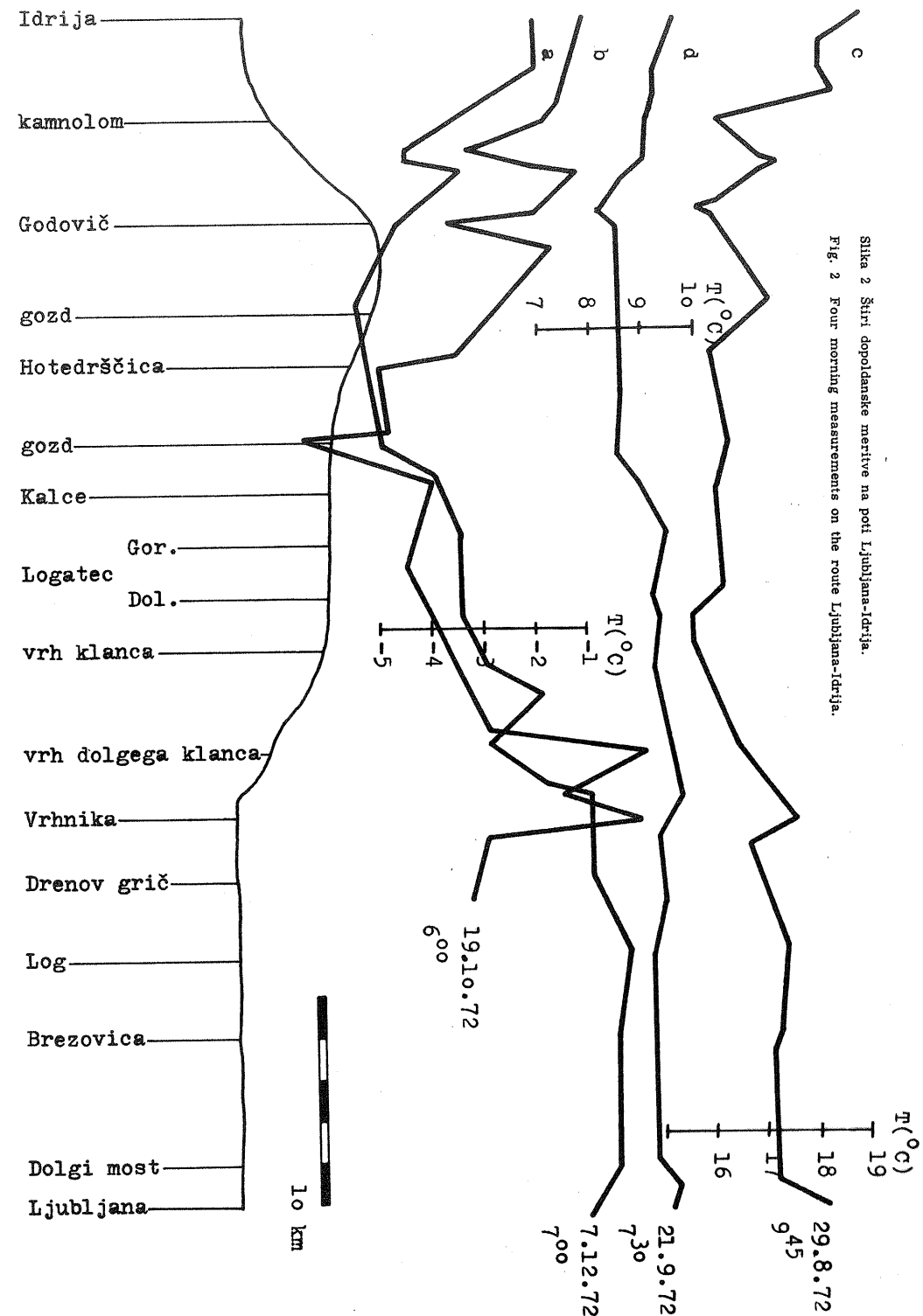
Maršrutne meritve, ki vodijo vzdolž poti vključujejo posledice lokalnih sprememb v spremembe gradientov. Precej močan je tudi vpliv gozda, četudi ta ni obsežen. To je v skladu z Bendarekovimi ugotovitvami /6/, da so tovrstni efekti na notranjem robu gozda pravzaprav enaki tistim globoko v gozdu.

Glede na vse te vplive različnih lokacij, ki so očitno mnogo večji, kot smo doslej mislili, nas maršrutne meritve opozarjajo na to, da je v našem razgibanem reliefu in pestro poraščeni površini tal temperatura zraka pri tleh močno odvisna od izbire lokacije in mikrolokacije. Zato ni mogoče nobeno izmerjeno vrednost brez upoštevanja teh faktorjev uporabiti za reprezentativno za mezo ali celo makro razsežno področje. Razlike v temperaturi 5° , ki so v sinoptični meteorologiji že odločujoče pri analizi front, lahko nastopajo torej tu na razdalji manj kot 200 m. Pri oblačnem in vetrovnem vremenu so razlike seveda znatno manjše.

Maršrutne meritve, ki jih uvajamo vzdolž prometnih cest pa v precejšnji meri moti motorni promet. Pri vetrovnem vremenu in pri višjih temperaturah je njegov vpliv razmeroma majhen ali celo zanemarljiv; zelo občuten pa je pri mirnem vremenu in temperaturah pod ničlo. Meritve so pokazale, da se je temperatura zraka, ko smo se od zadaj približevali večjemu tovornjaku dvignila za celi 2° in takoj spet toliko padla, ko smo ga prehiteli. Podobne efekte so dajale tudi kolone nasproti vozečih vozil. Če hočemo dobiti reprezentativne podatke za pokrajino, moramo te vplive izločiti, če pa nas zanima temperaturno stanje na cestah, pa seveda ne. Tako smo ugotovili, da je pozimi ob mirnem vremenu zrak nad cestami z gostim prometom za $1 - 2^{\circ}$ toplejši kot v okolici.

Na sliki 2 so prikazane štiri meritve na poti Ljubljana-Idrija, izvedene v jutranjih ali dopoldanskih urah; na sliki 3 pa meritve v nasprotni smeri in v popoldanskih in večernih urah. Nobena meritev ni trajala dalj kot eno uro, štartni čas in datum pa je podan ob vsaki krivulji. Spodaj je prikazan reliefni profil poti z(n) zgoraj pa "potek" temperature zraka $T(n)$, pri čemer so upoštevane glavne in karakteristične točke, vpliv posameznih vozil pa je izločen.

Od splošnih karakteristik teh krivulj je značilna precejšnja variabilnost, ki je ponekod brez reda, ponekod pa očitno izrazito reliefno pogojena,



Slika 2 Štiri dopoldanske meritve na poti Ljubljana-Idrija.
Fig. 2 Four morning measurements on the route Ljubljana-Idrija.

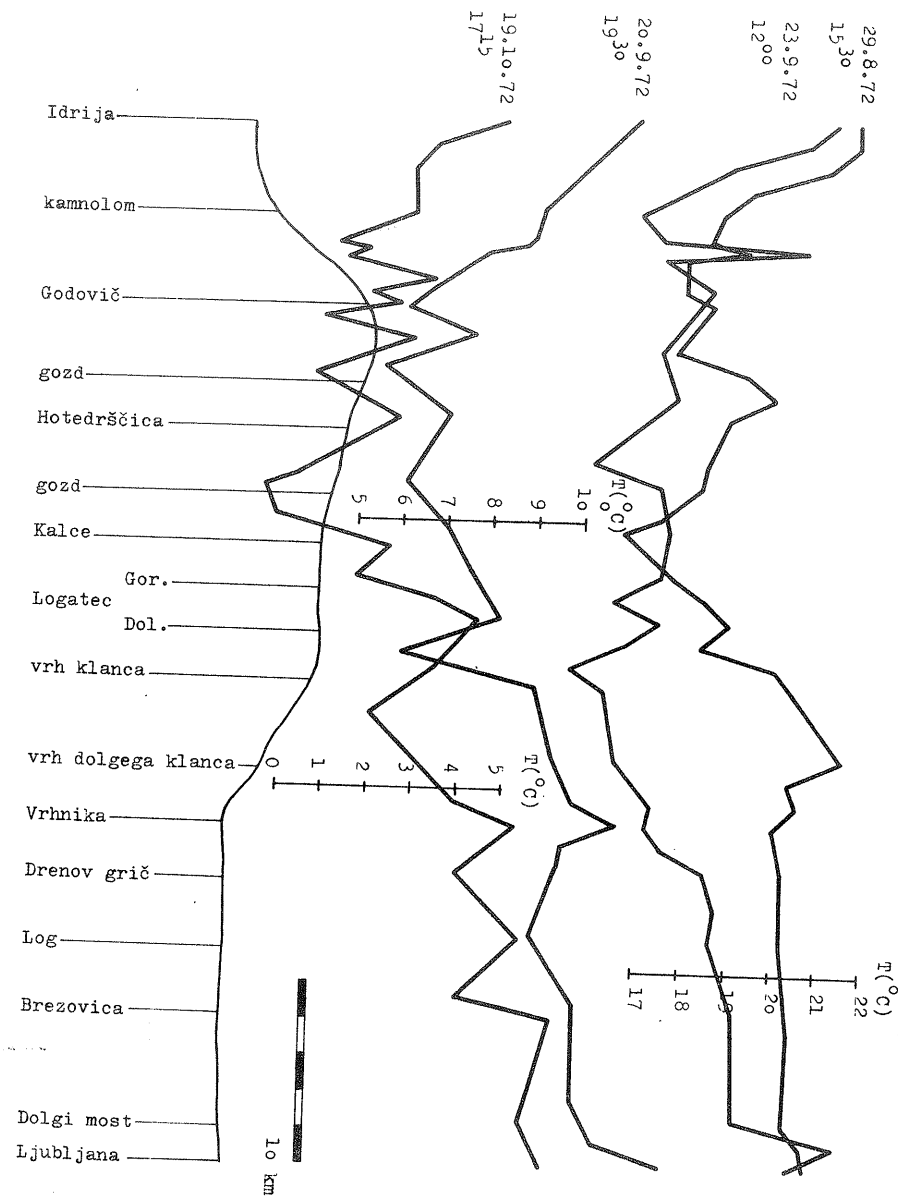


Fig. 3. Pomeni smerovni in časovni razporeditev temperature.

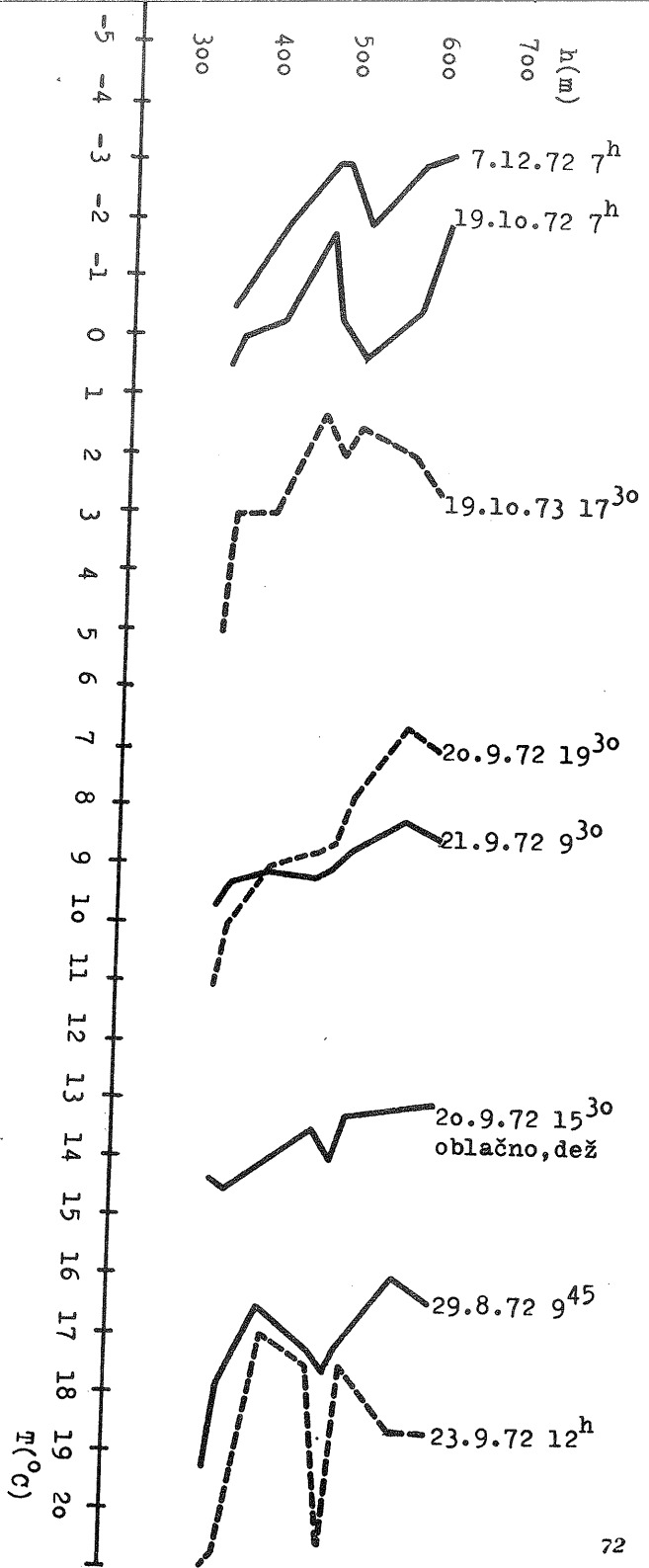
kot n.pr. med Idrijo in Godovičem. Precej dobro sta izražena toplotna otoka mest Ljubljane in Idrije. Pri Idriji, ko se pot kmalu začne razmerno hitro dvigati, se ta vpliv spoji z vplivom vertikalnih temperaturnih sprememb. Tudi posamezni manjši kraji kažejo navadno nekoliko višje temperature, s čemer je potrjena ugotovitev, da imajo lahko toplotne otoke tudi manjši kraji in ne le velika mesta. Splošni potek krivulj tudi kaže nižje temperature nad dvignjenim reliefom, medtem ko so temperature v Ljubljanski kotlini med Vrhniko in Ljubljano približno enake, izjemoma pa tudi precej različne (slika 3, 19.10.). Krivulje očitno kažejo še nekatere značilnosti, vendar bi opis vseh presegal okvir tega dela.

Del poti med Idrijo in Godovičem se, kot smo že omenili, naglo dviga, zato je meritve s tega dela poti smiselno prikazati še v vertikalni skali, to je v sistemu $T(z)$ - slika 4. Absolutne temperaturne vrednosti so predvsem posledica letnega in dnevnega časa; relativne vrednosti pa kažejo, da je zrak na dnu Idrijske kotline na splošno precej toplejši od zraka v grapi ob Zali in od tistega na višje ležečem Godoviču, in to tudi ob času jezera hladnega zraka v Idrijski kotlini. Pri tem velja poudariti, da je speljana ta pot po izrazito osojnih pobočjih in skozi grapo. Temperaturni gradienti s te slike seveda ne predstavljajo vertikalnih temperaturnih gradientov nad Idrijsko kotlino. Glede na lege ovinkov po prisojnih in osojnih rebrih in grapah se očitno temperature na kratke razdalje močno razlikujejo, če bolj ali manj pa je odvisno predvsem od ostalih vremenskih parametrov.

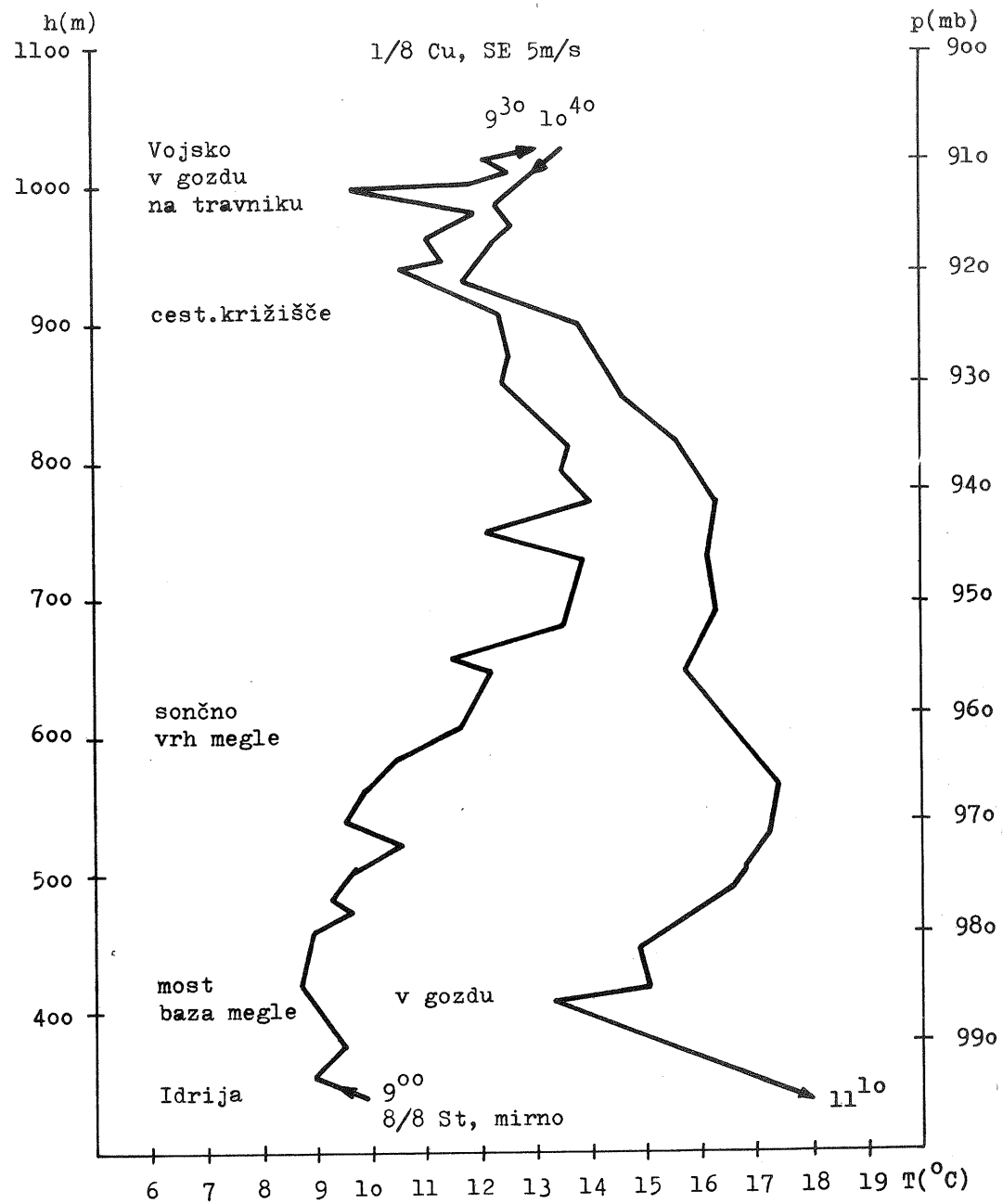
Zaradi pomembnosti vertikalnih temperaturnih gradientov pred horizontalnimi, sta naslednji dve obravnavani maršrutni meritvi iz Idrije na Vojško in na Kovačev rovt, prikazani samo v vertikalni skali $T(z)$ - slika 5 in slika 6; sicer pa je tudi izvajanje meritev slonelo na vzporednem merjenju pritiska $T(p)$ in ne dolžine poti ali časa. Obe meritvi sta bili izvedeni ob mirnem in jasnem vremenu, z meglo nad dnom Idrijske kotline in ob približno enaki višini baze in zgornje meje megle v obeh dneh.

Leva krivulja na sliki 5 kaže, da je bila temperatura od Idrije do malo pod vrhom megle približno enaka: $10^{\circ}C$. Ob prehodu na prisojno pobočje se je dvignila za dobre 3° , navzgor pa kaže velike spremembe v skladu z reliefom in drugimi karakteristikami terena. Ob jasnem vremenu v dopoldanskem času se je celotna atmosfera izdatno ogrevala, zato je temperaturna krivulja, ki velja za meritve ob povratku, pomaknjena na desno proti višjim temperaturam. Značilen pa je močan dvig temperature zraka v spodnji plasti, kjer je bila prej megla ali pa jezero hladnega zraka. Opaziti je, da se do konca meritev (ob 11^{10}) jezero hladnega zraka še ni povsem razkrojilo; posebno v senci grape in v gozdu je ostal zrak še relativno hladen - skoraj za 5° hladnejši kot v mestu.

V nekaterih značilnostih kaže podobno razporeditev potek krivulj na sliki 6. Te meritve so bile izvedene naslednji dan ob podobnem vremenu,

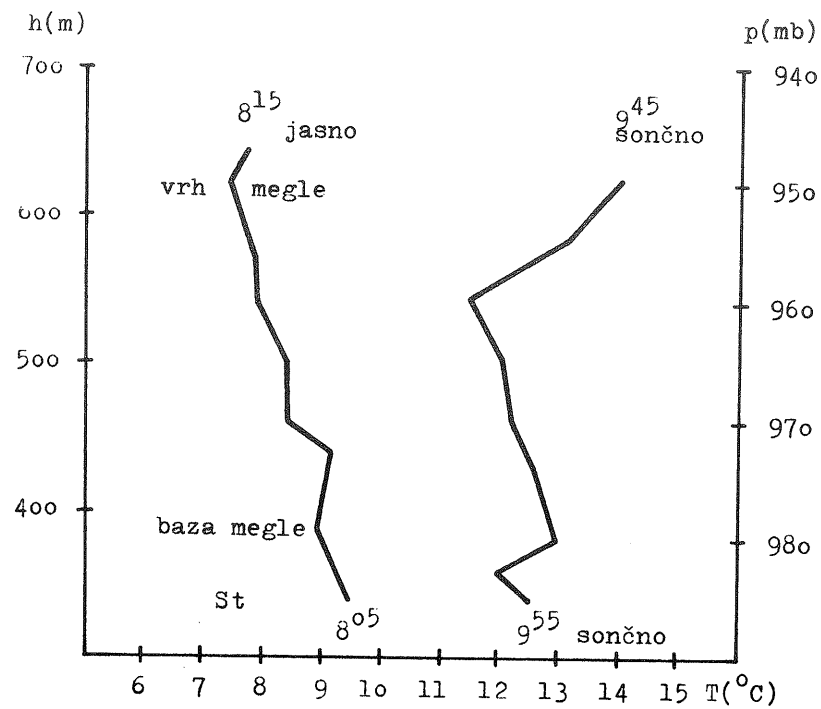


Slika 4 Krivulje temperaturnih meritev za odsek Idrija-Godovci podane v sistemu T(z).
Fig. 4 Temperature distribution as function of height z on the route section Idrija-Godovci.



Slika 5 Temperature zraka na poti Idrija-Vojsko-Idrija 22.9.1972.

Fig. 5 Air temperature on the route Idrija-Vojsko-Idrija on 22.9.1972.

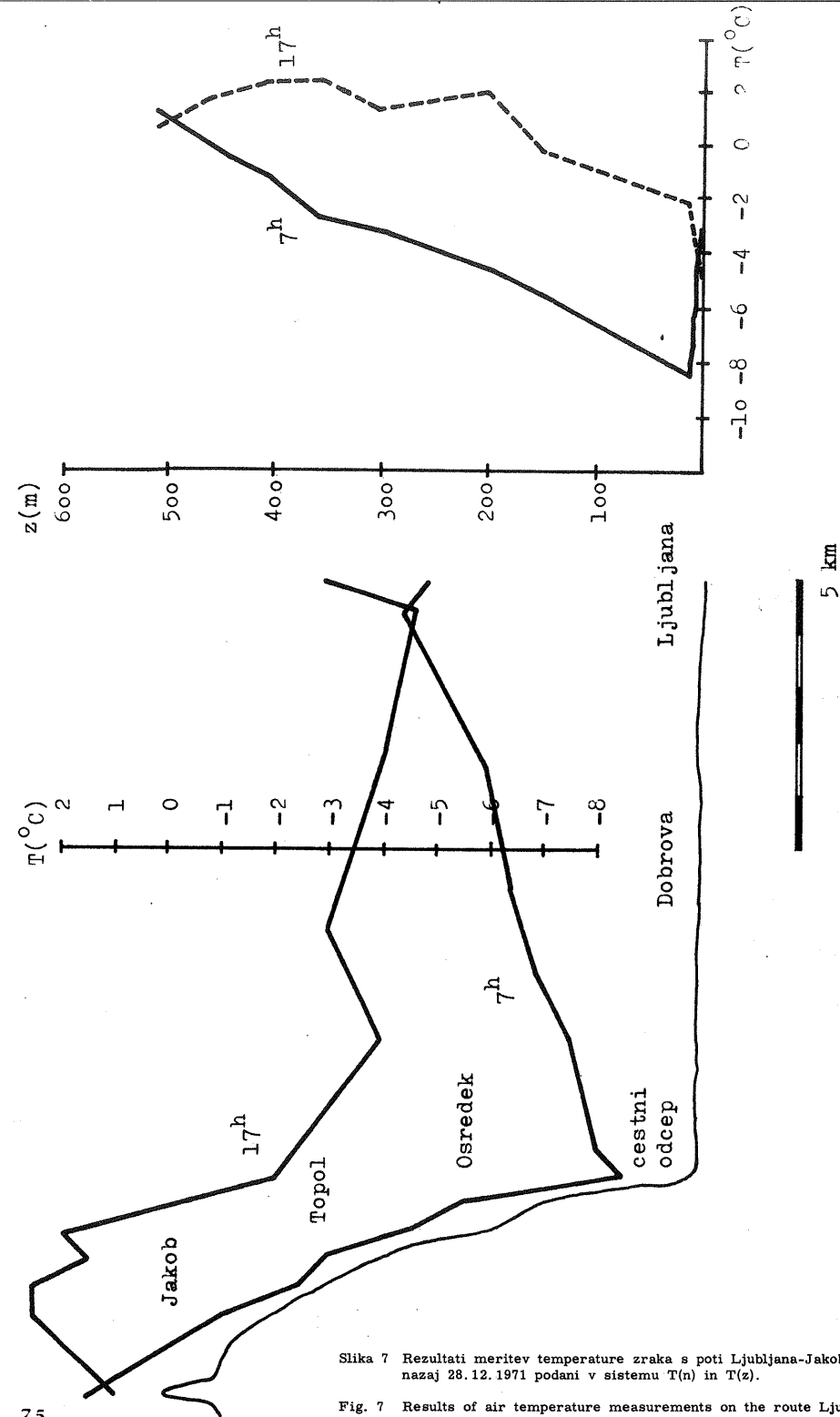


Slika 6 Temperature zraka na poti Idrija-Kovačev rovt in nazaj dne 23.9.1972.

Fig. 6 Air temperature on the route Idrija-Kovačev rovt and backwards on 23.9.1972.

vendar na bolj osojnih NE pobočjih Idrijske kotline. Zato so temperatur-
na nihanja manjša. Najmočnejše je bilo ogrevanje v zgornjem delu, ki
je bil izpostavljen sončnemu obsevanju. Čeprav se je megla do 9⁴⁵ ure
povsem razkrojila in je bil zrak pod višino 540 m za 3,5° toplejši kot
dve uri prej, je bilo še opaziti tudi vpliv jezera hladnega zraka.

Končno naj na kratko predstavimo še zanimive podatke maršrutnih meri-
tev na relaciji Ljubljana-Jakob pri Katarini. Vreme je bilo na dan 28.
12.1971 zgoraj popolnoma jasno z meglo v Ljubljanski kotlini, ki pa je
opoldne prešla v meglo z vidnim nebom, medtem ko se je kotlinsko je-
zero hladnega zraka obdržalo ves dan. Na krivulji desne polovice slike
7 vidimo nazorneje, da so zjutraj inverzni temperaturni pogoji presegle
višino 500 m nad dnem kotline, medtem ko je popoldne ob približno 5°
višjih temperaturah osrednjega dela merjene plasti, potek bolj neenoten,



Slika 7 Rezultati meritev temperature zraka s poti Ljubljana-Jakob in nazaj 28.12.1971 podani v sistemu $T(n)$ in $T(z)$.

Fig. 7 Results of air temperature measurements on the route Ljubljana-Jakob and backwards 28.12.1971 presented in systems $T(n)$ and $T(z)$.

toda z izrazito inverzijo pri dnu. Višja temperatura pri 200 m nad dnem je posledica zaselka Osredok in kaže, kako nas neupoštevanje vseh vplivov pri oceni gradientov lahko zavede. Očitno pa je, da se je zgornja meja jezera hladnega zraka popoldne znižala, kar je pogosto opazno in tudi že teoretično obdelano /7/.

Levi del slike 7 v sistemu T(n) z dodanim profilom poti z(n) kaže v jutranji temperaturni krivulji bolj izrazito kontinuiran in znaten padec temperature od mesta proti Dobrovi in naprej po dolini ob neznatnem dviganju dna kotline in poti. To je verjetno posledica gostote megle in onesnaženega zraka, ki naj bi manj onesnažen dalje proč od mesta, dajal boljše radiacijske pogoje in omogočil močnejše ohlajevanje v pretekli noči. To bi bilo tudi v skladu z ugotovitvami Idsa /8/, da je "težišče" dolgovalovnega sevanja okrog 200 m nad tlemi, zlasti ponoči, pri višjih temperaturah in zato močnejše kot pri tleh. Čim se začne pot močnejše vzpenjati, začne rasti tudi temperatura v skladu z inverzno vertikalno temperaturno razporeditvijo. Naraščanje je precej enakomerno, ker v tem času (zjutraj pred sončnim vzhodom) še ni izrazitih lokalnih reliefnih vplivov. Ti vplivi pa so že nekoliko izraženi v popoldanski krivulji, ko je tudi mestni toplotni otok izrazit.

Iz vsega tega vidimo, da nam lahko dajo maršrutne temperaturne meritve zanimive in koristne podatke o temperaturnih razmerah v prizemni zračni plasti. Očitno pa v primerjavi z meritvami v neki točki ali s pravimi vertikalnimi meritvami z baloni, nastopajo tu dodatni činitelji (relief, promet, mikrolokacija, močnejši odraz drugih vremenskih parametrov itd.), ki lahko bistveno vplivajo na posamezne vrednosti. Zato je že način meritev, čas in izbiro točk potrebno prilagoditi namenu uporabe podatkov. Posebno previdni moramo biti, če hočemo na tej osnovi določati horizontalne in vertikalne temperaturne gradiente. Gotovo je, da je celo ob najskrbnejši analizi mogoče dobiti zanje le približne vrednosti. Vsekakor pa so nam te meritve posredovale precej koristnih izkušenj in spoznanj ter nas opozorile, da je tudi sicer pri primerjavi temperaturnih razmer dveh krajev, nujno potrebno detajlno upoštevati neposredne lokalne reliefne in druge karakteristike vsake merilne točke.

* * * *

Zahvaljujem se kolegu A. Hočevarju za sodelovanje pri meritvah.

* * * *

Del merjenj in preučevanj je bilo izvedenih v okviru raziskovalne teme SBK: "Kvantitativne ocene sončnega obsevanja in temperaturnih razmer v razgibanem reliefu" in ekspertize za RŽS Idrija: "Študija o klimatskih razmerah in gibanju zraka na območju mesta Idrije".

LITERATURA

- /1/ Firlan D.: Temperature v Sloveniji. Slovenska akademija znanosti in umetnosti štev. 15, Ljubljana 1965.
- /2/ Hočevar A., Petkovšek Z.: Doprinos k poznavanju razmer v jezuru hladnega zraka v Ljubljanski kotlini. Razprave-Papers XIII, DMS, Ljubljana 1971.
- /3/ Schnelle F.: Frostschutz im Pflanzenbau, Band 1, BLV Verlagsgesellschaft, München Basel Wien 1963.
- /4/ Petkovšek Z.: Vergleichen der lokalen Temperaturänderungen im Gebirgsgeiete, Flachland und freie Atmosphäre, La Météorologie No. 10-11, Paris 1973.
- /5/ Hočevar A., Martsolf J. D.: Temperature distribution under radiation frost conditions in a central Pennsylvania valley, Agr. Meteorol. 8, Amsterdam 1971.
- /6/ Bednarek A.: Wplyw predkości wiatru na różnice temperatur maksymalnych miedzdy lesem a terenem otwartym, Przegląd Geof. Met. Hydr., R. XVI, Z. 3, Warszawa 1971.
- /7/ Petkovšek Z.: Dissipation of the upper layer of all-day radiation fog in basins, XII. Cong. Alpine Met., Sarajevo 1972. (in print).
- /8/ Idso S. B.: Systematic deviations of clear sky atmospheric thermal radiation from predictions of empirical formulae, Quart. Journal RMS, 98, Bracknell 1972.