

RADIOSONDAŽNE MERITVE TUDI V SLOVENIJI

Miran Trontelj *

UDK 551.508.82 (497.12)

Vsaka meteorološka meritev na pravem mestu je pomemben prispevek k boljšim vremenskim napovedim. Meritve v prosti atmosferi pa so še pomembnejše, saj se vreme "dela" v ozračju, torej v tistem delu, kjer merimo z radiosondami.

Radiosondaža je meritev meteoroloških elementov (temperature, vlage, vetra, zračnega pritiska) s sondo obešeno na balonu. Po radiozvezi oddaja podatke sprejemni postaji na zemlji; njeno gibanje spremlja navigacijski sistem, računalnik pa iz gibanja izračuna smer in hitrost.

Kljub razmeroma gosti mreži takih meritev v Evropi so podatki iz spodnjih plasti ozračja vedno dobrodošli in zelo pomembni. Zato smo se v Sloveniji odločili tudi za te meteorološke meritve.

Meritve temperature in vlage zraka, smeri in hitrosti vetra ter relativne vlage zraka v prosti atmosferi so po svetu znane razmeroma malo časa (začetek sega v trideseta leta tega stoletja). V Sloveniji so meteorologi že večkrat predlagali, da bi merili te meteorološke elemente, a so druga dela, morda celo pomembnejša, dobila prednost. Tovrstne meritve so se zaradi hitrega napredka elektronike sicer pocenile, a so še vedno razmeroma drage, saj stane vsaka sonda okoli 100 ameriških dolarjev, da o sprejemni merilni napravi pri tleh in stroških meritev niti ne govorimo.

Leta 1994 nam je uspelo od danske meteorološke službe brezplačno dobiti komaj šest let staro napravo za tovrstne meritve. Prvi testi so pokazali dobre rezultate in potrdili upravičenost meritev, saj kljub dokaj gosti mreži takih meritev v tem delu Evrope predstavlja Slovenija vsaj v spodnjih plasteh ozračja svojevrstno klimatsko posebnost, ki jo je primerno raziskovati. Ko bodo zagotovljena sredstva za redne meritve, bomo njihove rezultate pošiljali tudi v globalni meteorološki sistem izmenjave. Podatke bodo upoštevali tudi v globalnih modelih za računanje prognoziranih sprememb, predvsem pa v prognostičnem modelu na manjšem, omejenem območju srednje Evrope. Podatki bodo neposredno koristni še za mnoge druge analize in prognoze posameznih elementov vremenskih napovedi ter napovedi nekaterih drugih sprememb (koncentracij onesnaženosti zraka...) in bodo namenjeni prometu, gospodarstvu,

turizmu, kmetijstvu in drugim. To je prav gotovo ena od meteoroloških naložb, ki bo vloženi denar vrnila vsaj desetkratno.

Razvoj radiosondažnih meritev

V prazgodovini se je človek prepustil vplivom bogov in verjel, da njegovo življenje vodijo izključno nezemska bitja. Tudi o vremenskih spremembah je mislil enako. Pozneje jih je začel opazovati in s stoletji ugotovil tudi prve zakonitosti. Leta 1648 je francoski fizik B. Pascal izmeril spremembo zračnega pritiska z višino na stolpu St Jacques v Parizu. Že zelo zgodaj so torej raziskovalci ugotovili, da se vreme "kuha" visoko v ozračju. Ikarus je sicer prvi hotel poleteti, vendar ne zaradi preučevanja ozračja. Ko pa se je človek le odlepil od zemlje, je kaj kmalu začel raziskovati tudi ozračje.

Takratni raziskovalec si z opazovanji pri tleh ni mogel razložiti mnogih meteoroloških pojavov, zato je začel meriti sprva temperaturo, nato tudi spremembe vetra in vlage in pozneje še druge meteorološke elemente na vse višjih hribih in gorah. Ko tudi s tem ni bil več zadovoljen, je ob poletih s prvimi zračnimi plovili, zmagji, pošiljal v ozračje (1749 dr A. Wilson) tudi meteorološke instrumente. To so bile prve meritve v prostem ozračju. Bile so občasne in namenjene le raziskavam. Pozneje so takratni raziskovalci začeli uporabljati tudi druga zračna prevozna sredstva, balone (1783), letala in na koncu tudi rakete. Toda vsi ti "prevozniki" so bili za redne meritve predragi. Z baloni in letali so občasno pošiljali v zrak tudi meteorografe, ki so na registriranih trakovih zapisovali izmerjene podatke o temperaturi in zračnem pritisku. Med drugo svetovno vojno je pred vsako večjo akcijo

poletelo več deset letal, ki so raziskovala razmere v atmosferi.

Ker se zračne mase z različno temperaturo in vlago stalno gibajo in je od smeri in hitrosti še kako pomembno, kaj se dogaja z vremenom, so meteorologi želeli meriti tudi smer in hitrost vetra na različnih višinah. Prve ocene so sicer dobili iz hitrosti in smeri gibanja oblakov, vendar pa so bili potrebni podatki o vetru tudi tam, kjer ni bilo oblaknosti in kjer so oblaki zastirali pogled. Zato so že razmeroma zgodaj začeli spremljati gibanje balonov.

Sprva to ni bilo ravno preprosto. Ko so začeli meriti gibanje sonde z optičnimi teodoliti in dobili dve komponenti v prostoru, tretjo pa po izračunu hitrosti dviganja balona, je bila glavna ovira za redne meritve le še oblačnost, ki je zastrla pogled na balon. To je pomagala odstraniti radiogoniometrija.

Tehnika je v tem stoletju izjemno napredovala, meteorologi pa so spet začeli uporabljati balone, vendar tokrat z instrumenti in brez posadke. V ozračje so začeli pošiljati sonde, ki so jim po radijskih zvezah na Zemljo sporočale podatke o izmerjenih meteoroloških količinah. Znali so izmeriti temperaturne razmere na poti balona s sondo, vlago in zračni pritisk ter tako dobili podatke v preseku od tal do višine, na kateri je balon počil.

Začela se je doba meritev meteoroloških elementov v atmosferi. Te meritve so prispevale k hitremu razvoju analiz in prognoz vremena, začele pa so se leta 1929, ko sta Francoza P. Idrac in R. Bureau uvedla radiosondne meritve. Že leta 1930 je več držav začelo občasne meritve, med drugo svetovno vojno pa je razvoj še bolj napredoval. Po njej so strokovnjaki bogatejših držav ves čas izboljševali instrumente v sondah in tudi načine spremljanja in sprejemanja podatkov pri tleh.

Temperaturo so sprva merili z bimetalnim trakom, nato s termistorjem in danes z modernimi senzorji. Razvoj je razmeroma hitro napredoval tudi pri merilnih zračnega pritiska od Vidijevih doz do modernih sen-

UJMA

zorjev. Še najtrši oreh je bila meritev relativne vlage v zraku. Sprva so jo merili s higrometri na las in nato s senzorji iz različnih kemičnih sestavin. Zelo težko je namreč meriti majhne vrednosti relativne vlage pri zelo nizkih temperaturah, ki so visoko v ozračju.

Problem meritev smeri in hitrosti vetra so reševali na različne načine in skoraj vsi se uporabljajo še danes. Meriti so začeli z optičnimi teodoliti, nato radioteodoliti, radarji in uporabljali različne navigacijske sisteme: Omega, Loran-C in na koncu satelitsko navigacijo.

Istočasno so razvijali tudi metode za sprejem in obdelavo izmerjenih podatkov. Sprva so morali v električne signale spremenjene vrednosti posameznih meteoroloških elementov preračunati v meteorologom dostopne količine, npr. stopinje, odstotke vlage, milibare ter stopinje za smer vetra in metre na sekundo za njegovo hitrost. Nato so narisali krivulje v dia-

gramih in sestavili meteorološke depeše za prenos podatkov v svetovnem meteorološkem informacijskem sistemu. Po stopoma so delo prevzemali avtomati, nato računalniki.

Najmoderneje postaje že avtomatsko narišejo krivulje sprememb meteoroloških elementov, sestavijo meteorološko depešo za svetovno izmenjavo in podatke pripravijo za arhiviranje v računalniško banko podatkov.

Pri meritvah pa je zelo pomembno tudi transportno sredstvo – balon. Prvi baloni so bili zaradi razmeroma težke radiosonde zelo veliki (s premerom do 4 m) in so zato potrbivali zelo velike količine nevarnega vodika. Sonde so bile bistveno težje od današnjih predvsem zaradi baterij, saj so tedanje naprave zahtevale razmeroma veliko energije. Danes pa je elektronika že tako miniaturizirana in naprave potrebujejo bistveno manj energije, da tehta postaja komaj še desetino

toliko, kot so prve. Tudi nosilni balon je 191 zato velik komaj dober meter.

Radiosonažne meritve

V Sloveniji so začeli redne meteorološke meritve v prostem ozračju z baloni (pilot-balonska opazovanja) na dveh lokacijah po letu 1947. Te meritve pa smo sčasoma opustili zaradi prevelikega števila dni z meglo ali nizko oblačnostjo, torej takrat, ko bi meritve najbolj potrebovali.

S pravimi sondami pa je že pred leti občasno delala meritve tedanja JLA za svoje potrebe, zlasti v artilerijskih enotah. Za potrebe meteorološke službe je opravila tudi nekaj testnih meritev v Slovenski Bistrici leta 1981 in 1982, predvsem za veliki mednarodni meteorološki poskus – ALPEX. Prvo radiosondažno meritev v Ljubljani pri HMZ so naredili predstavniki Vaisale iz Helsinkov, ko so nam prišli predstaviti svoj program meteoroloških merilnih naprav leta 1992.

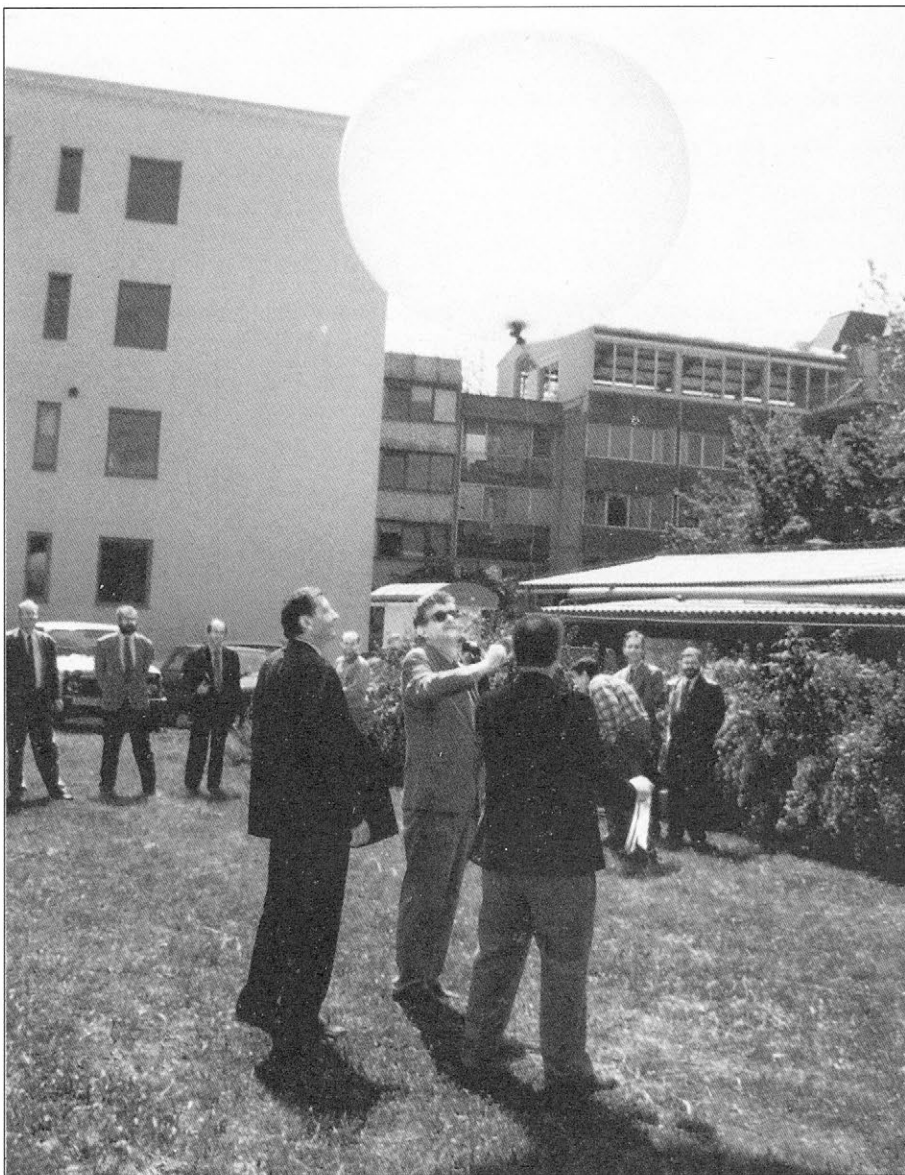
Prvo samostojno meritev (sondažo) z našo novo napravo smo naredili 3. oktobra 1994.

Balon, ki nosi meteorološko sondo (težka je 200 g), ima ob začetku meritve premer približno 1,5 m in se dviga s hitrostjo 5 do 6 m/s. Instrumenti v sondi na svoji poti nenehno merijo podatke o meteoroloških lastnostih ozračja in jih sporočajo postaji na Zemlji. Tako dobimo podatke o temperaturi, vlagi in zračnem pritisku ter smeri in hitrosti gibanja zraka za točke, ki so med seboj po višini oddaljene 15 metrov in segajo do 22 km nad površino Zemlje. Tam se balonov premer zveča na 5 do 6 m in se zaradi zelo redke atmosfere razpoči.

Izmerjenih podatkov ne uporabljamo samo pri analizah meteoroloških višinskih kart, kamor jih vnašajo računalniki. Uporabijo jih tudi računalniški modeli, ki iz njih in še obilo dodatnih računajo prognoistične karte gibanj zračnih mas za celo hemisfero. Podatki pa so uporabni tudi za raziskave dogajanja v ozračju nad ožjim območjem kjer merimo. Z isto sondažno napravo pa lahko spremljamo tudi koncentracije ozona, radioaktivnosti in še kaj, le namestiti moramo sondo z drugačnimi senzorji.

Naštejmo nekaj koristnih podatkov, ki jih dobimo le s sondažnimi meritvami ozračja.

1. Razporeditev temperature kot samostojen element nam v nižjih plasteh ozračja pokaže temperaturne inverzije, ki so še kako pomembne za: napoved nastanka in razkroja megle, povečano ali zmanjšano koncentracijo škodljivih snovi v ozračju in drugo. Iz razporeditve lahko tudi ocenimo temperature zraka na posameznih višinah, kjer ni



Slika 1. Otvoritvena sondaža v Ljubljani – sondo je spustil gospod minister P. Gantar (Fotoarhiv HMZ)

Figure 1. Initial exploratory boring in Ljubljana – launched by Minister Pavel Gantar

192 mamoritev in ob padavinah mejo med snegom in dežjem.

2. Potek relativne vlage glede na višino je meteorološki element, brez katerega ne moremo napovedati višine baze oblakov in verjetnosti razvoja kopastih oblakov, neviht in padavin.
3. Stabilnost atmosfere lahko preprosto izračunamo iz podatkov obeh zgornjih meritev. Ta je predvsem pomembna za napovedovanje časovnega in količinskega nastanka oblakov vertikalnega razvoja – to je tistih, ki predvsem poleti povzročajo plohe, nevihte in točo.
4. Smer in hitrost vetra na različnih višinah ni pomembna le za ves zračni promet od tistega s toplozračnimi baloni, zmagi, jadralnimi in ultralahkimi letali, do prometa s helikopterji ter vojaškimi in civilnimi letali. Element veter je pomemben tudi za vse vrste napovedi, saj tudi kot posreden dejavnik vpliva na: nastanek burje, orografskih padavin na gorskih pregradah, nastanek snežnih opasti in povečano nevarnost plazov, če naštejemo le nekaj pomembnih. Iz podatkov vetra v prosti atmosferi lahko z računalniškimi meteorološkimi modeli ob upoštevanju reliefa zemeljske površine izračunamo tudi smer in hitrost vetra v prizemni plasti. Nikakor ne nazadnje je veter še kako pomemben element ob nastanku elementarnih

nesreč. Na podlagi izmerjenih podatkov o vetru izračunamo potnice (trajektorije), ki so pomembne za prenos onesnaženega zraka. Nevarne posledice nesreč se širijo z gibanjem zraka: radiološki oblak ob nesrečah v jedrskih objektih, oblak plinov ob razlitju ali eksploziji strupenih snovi. V Sloveniji že zdaj vsak dan računamo trajektorije za gibanje zračnih delcev na različnih višinah iznad jedrske elektrarne v Krškem in trajektorije za zračne delce, ki prihajajo nad Slovenijo. Tako vemo za vsak dan vnaprej, od kod bodo k nam prišle zračne mase. Ob meritvah z našo radiosondažno postajo bodo izračuni še precej bolj točni.

Dodatni razlog za radiosondažne meritve vetra pa so tudi razmeroma redke meritve vetra pri tleh v Sloveniji. Dobre meritve (z elektronskimi anemografi) so drage, razgibanost terena v Sloveniji pa zelo izražena. Zato bomo lahko dobili dragocene podatke tudi z radiosondažnimi meritvami in računanjem v točkah površja Slovenije z računalniškimi modeli, ki upoštevajo orografijo.

Pomen meritev

Že kar precej let si meteorologi ne moremo predstavljati napovedovanja brez mete-

oroloških višinskih kart, ki pa lahko nastanejo le na podlagi sondažnih meritev. Te karte niso uporabne le posredno, kot orodje za boljše meteorološke napovedi, temveč tudi neposredno za vse uporabnike zračnega prostora za letenje. Letalo, ki leti na daljši poti, bo lahko ob primerni izbiri smeri glede na veter, prihranilo veliko goriva, da o krajšem času letenja niti ne govorimo. Pri veliki hitrosti vetra v vetrovnih strženih je lahko prihranek goriva in časa tudi več kot 20-odstoten.

Radiosondažne meritve so pomembne tudi za obrambne sile. Za zračni promet obrambnih sil veljajo enake ugotovitve kot za civilni promet. Posebno pomembni pa so radiosondažni podatki za nizke prelete in helikopterske enote, saj so tovrstni preleti še posebno občutljivi za vremenske razmere.

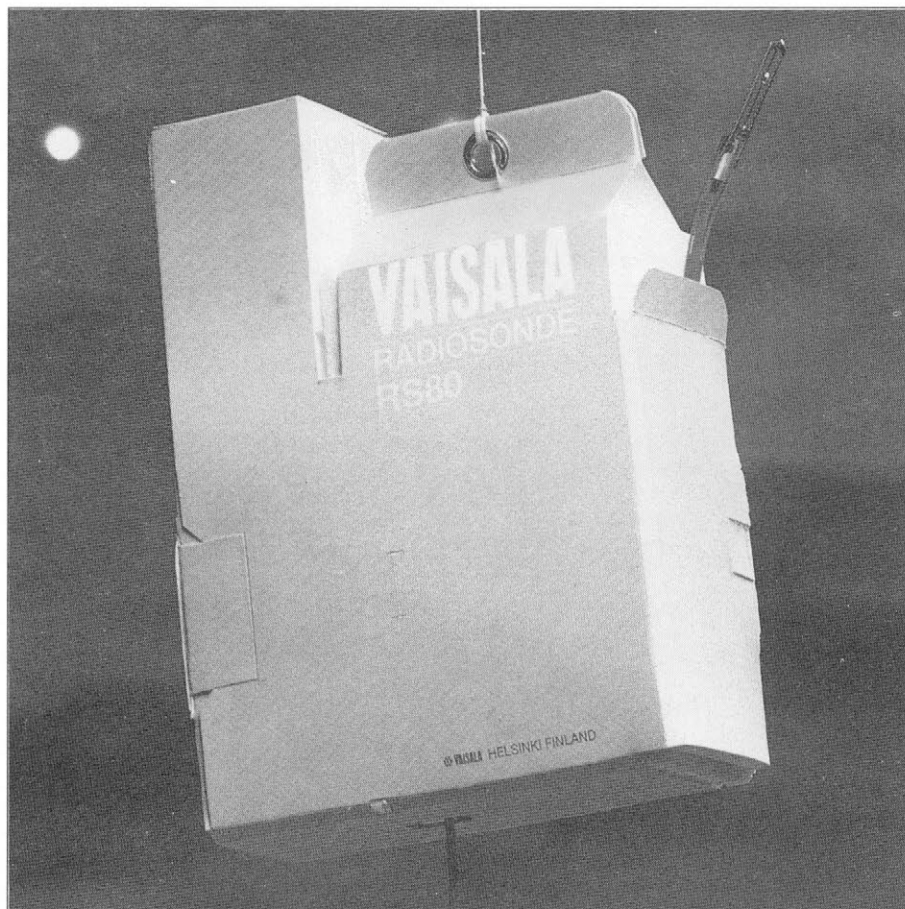
Razporeditev temperature, vlage, zračnega pritiska in vetra z višino je zelo pomemben element, ki ga mora upoštevati vsaka artilerijska enota (natančnost zadetkov). Na krivuljo leta izstrelkov vplivajo namreč meteorološke razmere v ozračju, saj je povprečna pot izstrelkov preračunana na povprečne razmere, teh pa v ozračju skoraj nikoli ni. Pri določitvi popravkov moramo upoštevati izmerjene meteorološke parametre.

Tudi pri radiološki, kemični in biološki zaščiti ter drugih izjemnih razmerah z onesnaženjem ozračja s strupenimi ali radioaktivnimi snovmi si ni mogoče predstavljati dobrega dela enot brez meteoroloških podatkov. Dekontaminacije ne moremo opraviti hitro in racionalno brez podatkov o gibanju in smeri dela onesnažene zračne mase. Še bolj pa postanejo pomembni podatki o stabilnosti ozračja (inverzije) in njegovem gibanju pri obveščanju enot ob uporabi jedrskega in kemijskega orožja. Človeško življenje je neprecenljivo, zato ob uporabi dobro izmerjenih podatkov ne moremo govoriti o prihrankih.

Predvsem pa je pomembno, da imamo svoje meritve ob kakršnihkoli izrednih razmerah, ko ni podatkov iz sosednjih postaj. Države, ki so v vojnem stanju, jih takoj prenehajo objavljati. Za vojaško strategijo so zelo pomembni in so zato vojaška skrivnost. Tudi sosednja Hrvaška je prvi dan vojne prenehala pošiljati podatke svojih radiosondažnih meritev, prekinitev pa je trajala več kot leto dni.

Testne meritve leta 1995

Ob koncu leta 1994 in v prvih petih mesecih letošnjega smo testirali radiosondažno napravo, ki nam jo je podarila danska meteorološka služba. Prvih meritev pri naši obravnavi nismo upoštevali, ker so bile zaradi različnih tehničnih ovir in šolanja delavcev še nezanesljive. Prav



Slika 2. Vaisalina radiosonda
Figure 2. Radiosonde

tako nismo mogli upoštevati tistih meritev, ko nismo imeli podatkov obeh sosednjih radiosondažnih postaj (Zagreb, Videm). V Zagrebu so aprila zaradi pomanjkanja denarja opoldne prenehali sondirati. Tako nam je ostalo za obdelavo le devet radiosondažnih meritev. Že primerjave samo teh meritev pa kažejo, da je bila namestitev radiosondažne aparature v Sloveniji pomembna, čeprav so meritve razmeroma drage.

Razporeditev radiosondažnih meritev je bila glede na gostoto mreže opazovalnih točk že doslej na večjem delu Evrope zadovoljiva. To pa ne pomeni, da takih meritev, predvsem nad razgibanim področjem ne bi bilo treba še dopolnjevati. Tako smo že s testnimi meritvami ugotovili, da so take meritve v Sloveniji zelo potrebne.

Predvidevanje, da bodo razlike med temperaturami treh razmeroma malo oddaljenih postaj (Videm, Ljubljana, Zagreb) največje v nižjih plasteh ozračja, to je do višine 500 milibarske ploskve (približno 5500 m), se je pri primerjavi meritev potrdilo kot popolnoma upravičeno. Zato so radiosondažne meritve v Sloveniji kot neposreden vir novih podatkov zelo pomembne predvsem v nižjih plasteh atmosfere. Absolutne razlike temperatur zraka so bile največje blizu tal (925 mb ali približno 700 m nad morjem), manjše na višini 850 mb ploskve (približno 1400 m), še manjše na 700 mb ploskvi (približno 2900 m) in najmanjše na višini okoli 5500 m (500 mb ploskev).

Podobne ugotovitve veljajo tudi za smer vetra. Tako kot se temperaturne razlike med postajami z višino manjšajo, se manjšajo tudi razlike pri smereh vetra. Za hitrost vetra pa ta ugotovitev seveda ne velja, saj ta z višino skoraj vedno narašča in se zato tudi razlike z višino večajo. Rezultati pa kažejo na zanimivo posebnost, da je pri več kot 50 % izbranih primerih veter močnejši (večje hitrosti) na vseh obravnavanih višinah nad Zagrebom (v primerjavi z meritvami nad Ljubljano) in šibkejši nad Vidmom kot nad Ljubljano. Vzrok za to posebnost bomo morali še raziskati.

Tudi pri temperaturi rosišča se razlike z višino manjšajo, izjema je le razlika med Ljubljano in Vidmom na 500 mb ploskvi, kar pa je lahko tudi napaka pri meritvi, ko je nastala največja razlika 7,6 stopinj (30. januar 1995), kar je na tako kratki razdalji skoraj nemogoče, a kljub temu možno.

Ob koncu lahko že iz te kratke obdelave ugotovimo, da so razlike med sosednjimi meritvami tolikšne, da je bila naložba upravičena.

Preglednica 1. Temperaturne razlike (v °C)
Table 1. Temperature differences (°C)

Višina Height	Ljubljana – Videm			Ljubljana – Zagreb		
	maks. max.	sr. mean	min. min.	maks. max.	sr. mean	min. min.
925 mb	2,6	1,3	0,4	2,2	1,6	0,2
850 mb	2,8	0,7	0,0	1,8	1,1	0,6
700 mb	2,6	0,7	0,0	3,0	0,9	0,0
500 mb	1,4	0,6	0,0	1,6	0,8	0,4

Preglednica 2. Razlike pri izmerjenih smereh vetra (v stopinjah smeri neba)
Table 2. Differences in wind direction (in degrees).

Višina Height	Ljubljana – Videm			Ljubljana – Zagreb		
	maks. max.	sr. mean	min. min.	maks. max.	sr. mean	min. min.
925 mb	210	71	10	40	14	0
850 mb	50	16	0	20	9	5
700 mb	45	13	0	150	24	5
500 mb	25	9	0	20	9	0

Preglednica 3. Temperaturne razlike rosišča (vlaga) v °C
Table 3. Differences in dew point temperatures (°C)

Višina Height	Ljubljana – Videm			Ljubljana – Zagreb		
	maks. max.	sr. mean	min. min.	maks. max.	sr. mean	min. min.
925 mb	9,2	3,2	0,3	4,5	2,2	0,5
850 mb	5,7	2,5	0,6	6,9	2,0	0,2
700 mb	5,0	1,8	0,1	6,0	2,0	0,0
500 mb	7,6	3,1	1,2	3,4	1,7	0,6

3. WMO, Technical note No. 140, Upper-air sounding studies, WMO-No.394, 1979, Geneva.

4. Arhiv HMZ.

Miran Trontelj Radiosonde measurements now also in Slovenija

Slovenia recently has joined the group of states which perform radiosonde measurements. In 1994, six-year old radiosonde equipment MicroCORA, produced by Vaisala in Finland, was donated to Slovenia by the Danish Meteorological Service. After installation of the equipment in 1994, test measurements were performed in 1995.

To date only wind measurements have been performed in the free atmosphere. The acquired radiosonde station permits observations of meteorological elements (temperature, moisture, pressure, wind) in

misty and cloudy weather as well. The Omega navigation system is used to locate the sonde. In addition to standard sondes, it is also possible to use special sondes to measure radioactivity and ozone.

Because of comparatively dense networks of radiosonde stations in Europe, the Slovene Meteorological Service could make use of data from the neighboring stations in Udine and Zagreb. But comparisons between measurements at the mentioned stations and test measurements at the station in Ljubljana demonstrate that differences in the bottom air layers are significant, and therefore measurements in Ljubljana are necessary as well.

There are several benefits of radiosonde measurements: they contribute to better weather forecasting, particularly to special forecast (thunderstorms) for air carriers, there is a possibility for research work, and data is always available, even also in the case of war.

Presented are results of the comparison test for 9 measurements available at the three stations.

A historical and a technical review of the development of measurements in the free atmosphere is also given in this paper.

1. WMO, Instruments and observing methods, 1993, Report No.50, WMO/TD-No.541, Geneva.

2. VAISALA, Upper-Air Systems, 1989, REF.NO BO139/86-03, Helsinki.