

ISSN 0352-1559

SLOVENSKO METEOROLOŠKO DRUŠTVO
SLOVENIAN METEOROLOGICAL SOCIETY
&
HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD REPUBLIKE SLOVENIJE
HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE OF SLOVENIA

RAZPRAVE PAPERS

LETNIK 32

ŠT. 1-2

RAZPRAVE-PAPERS * LETNIK 32 * ŠT. 1-2 * STR. 1-107 *
LJUBLJANA-DECEMBER 2000

SLOVENSKO METEOROLOŠKO DRUŠTVO

SLOVENIAN METEOROLOGICAL SOCIETY

&

HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD REPUBLIKE SLOVENIJE

HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE OF SLOVENIA

R A Z P R A V E

P A P E R S

32

1-2

Vsebina

Jože Rakovec in Tomaž Vrhovec	Povzetki diplomskih del iz meteorologije od 1990 do 2000	5
Marjeta Gerjevič	Analiza pojavljanja zadnjih pomladanskih in prvih jesenskih negativnih temperatur v Sloveniji.....	7
Mateja Gjerek	Tipizacija vremena za potrebe optimalne interpolacije	12
Marko Uršič	Merilni sistem za merjenje fluktuacij vetra	15
Mark Žagar	Dinamična analiza dogajanj ob meji različnih zračnih mas	19
Saša Gaberšek	Analiza pogostnosti različnih vremenskih tipov v Sloveniji z vidika klimatskih sprememb.....	23
Jure Jerman	Sistematične neinstrumentalne napake pri merjenju padavin z meteorološkim radarjem	27
Gregor Gregorič	Statistična napoved temperature s Kalman Bucyjevimi filtrom	31
Uroš Strajnar	Diagnoza lege frontalnih con v vertikalnih presekih troposfere nad Evropo.....	35
Andrej Hrabar	Numerična simulacija nastanka in razkroja jezer hladnega zraka	38
Sandra Turk	Vodna bilanca tal v Sloveniji in v bližnji okolici v zadnjem stoletju.....	43

Mojca Dolinar	Vstopanje okolišnjega zraka v kumulusni oblak	48
Špela Pirnat	Ugotavljanje virov onesnaženja z ozonom s pomočjo trajektorij	52
Klemen Bergant	Merjenje in modeliranje UV-B obsevanja	56
Petra Golob	Napovedovanje količine naravnega UV-B sevanja	59
Anton Zgonc	Časovna ekstrapolacija radarskih odbojev iz ozračja	63
Metod Koželj	Uporaba prognoziranih polj potencialne vrtinčnosti za izboljšanje napovedovanja intenzivnih padavin	68
Gregor Sluga	Prostorska razporeditev akumulacije snežnih padavin vzdolž grebena Spodnjih Bohinjskih gora v zimi 1997-1998	73
Mateja Iršič	Vzroki za močne padavine	77
Joško Knez	Napovedovanje temperature in meteorološkega stanja cestišča	80
Uroš Bergant	Napovedovanje megle na letališču Ljubljana z metodami statistične interpretacije opazovanj in rezultatov numeričnih modelov	85
Boris Žorž	Verifikacija napovedi višine baze oblakov na letališču Ljubljana-Brnik	92
Janko Merše	Simulacija turbulentnega razkroja jezera hladnega zraka z modelom MM5	98
Rahela Žabkar	Preučevanje spreminjanja koncentracij SO ₂ v Zasavju s pomočjo trajektorij	104

ANALIZA POJAVLJANJA ZADNJIH POMLADANSKIH IN PRVIH JESENSKIH NEGATIVNIH TEMPERATUR V SLOVENIJI

ANALYSIS OF LAST SPRING AND FIRST AUTUMN NEGATIVE AIR TEMPERATURES IN SLOVENIA

Marjeta GERJEVIČ¹

(mentorica Lučka KAJFEŽ-BOGATAJ², somentor Zdravko PETKOVŠEK³)

pripravil Jože Rakovec⁴ 14. avgusta 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Za 5 postaj v Sloveniji (Koper-Portorož, Ljubljana-Bežigrad, Maribor-Tezno, Novo mesto in Rateče-Planica) je obravnavan pojav zadnjih spomladanskih in prvih jesenskih negativnih minimalnih temperatur zraka na višinah 5 cm in 2 m nad tlemi v časovnem obdobju od jeseni 1951 do pomladi 1991. Izračunane so bile statistične značilnosti datumov nastopov teh vrednosti: deskriptivne statistike, kumulativna relativna frekvenca pojavljanja, pogostnostna porazdelitev in dinamika pojava. V tem prikazu sta podani le kumulativna frekvenca pojavljanja in multipli regresijski model za napoved datuma nastopa temperaturnega razreda.

SUMMARY

Analysis of the days with last spring and first autumn negative minimum air temperature at the heights of 5 cm and 2 m on 5 stations in Slovenia (Koper-Portorož, Ljubljana-Bežigrad, Maribor-Tezno, Novo mesto and Rateče-Planica) during the period 1951-1991 is given. The following results were computed: descriptive statistics, cumulative relative frequencies, frequency distribution, linear trend, correlations among different temperature classes at same height and same temperature classes at two heights. Here only cumulative frequency distribution and multiple regression models for forecasting are presented.

¹ Marjeta Gerjevič, Iskratel, d.o.o., Ljubljanska cesta 24 a, 4000 Kranj, gerjevic@iskratel.si

² Lučka Kajfež-Bogataj, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Agronomski oddelek, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, lucka.kajfez.bogataj@bf.uni-lj.si

³ Zdravko Petkovšek, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

⁴ Jože Rakovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, joze.rakovec@uni-lj.si

1 UVOD

Občutljivost rastlin na nizke temperature verjetno najbolj omejuje razprostranjenost rastlin in je tudi glavni vzrok poškodb na gojenih rastlinah. Nizke temperature, ki nastopajo jeseni pred zaključkom vegetacije in spomladi ob začetku vegetacije, uvrščamo v skupino tistih meteoroloških pojavov, ki lahko povzročijo na rastlinah znatno škodo. Zlasti občutljive so sadne rastline in vinska trta, pri katerih pozeba dostikrat ne pomeni le izgube pridelka v enem letu, pač pa so posledice občutne v naslednjih letih.

Za srednjeevropske podnebne razmere, ki prevladujejo tudi v Sloveniji, sta slana in pozeba vsakoletna pojava (Petkovšek 1957, Malovrh 1957, Hočevnar 1966, Kajfež-Bogataj in Pivec 1986, Svetek 1990). Če želimo nanju kakorkoli vplivati, ju moramo dobro poznati in razumeti. Ločiti moramo pojma slana in pozeba ter poznati mehanizem pozebe rastlinskih tkiv. Pri tem upoštevamo velik vpliv geografske lege in topografije območja, ki skupaj z vremensko situacijo vpliva na način ohlajanja zraka in energijsko bilanco rastline.

2 METODA IN PODATKI

Na osnovi temperaturnih podatkov ugotovljamo, kdaj se v časovni skali pojavijo razni temperaturni pragi ter kako dolga so obdobja s temperaturami nad določenim temperaturnim pragom. Pri analizi klimatskih podatkov lahko uporabimo številne statistične metode (npr. Schöwiese 1985). Računamo deskriptivne statistike (aritmetično sredino, median, modus, minimum, maksimum, kvartile, standardni odklon), razporeditev pogostnosti podatkov primerjamo z Gaussovo ali kakšno drugo porazdelitvijo, računamo prostorsko in časovno linearno in multiplo korelacijo enakih in različnih klimatskih podatkov, avtokorelacijo, harmonično analizo in podobno. V tem prikazu sta podani le kumulativna frekvenca pojavljanja in multipli regresijski model za napoved datuma nastopa temperaturnega razreda.

Temperaturne podatke smo vzeli iz Arhiva Hidrometeorološkega zavoda R. Slovenije od jeseni 1951 do vključno pomladi 1991 (Arhiv HMZ). Upoštevali smo pet postaj na katerih v tem času merili minimalno temperature zraka na višini 5 cm in 2 m nad tlemi. To so Maribor-Tezno, Novo mesto, Rateče-Planica in postaja Koper, ki pa se je leta 1974 preselila v Portorož. Postaje smo izbrali tako, da so čimbolj enakomerno pokrile področje Slovenije.

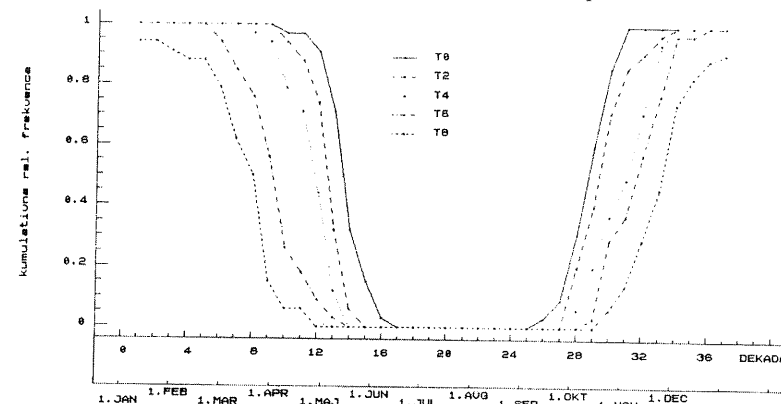
Za vse postaje smo obdelali podatke o minimalnih dnevni temperaturah zraka za pomladansko in jesensko obdobje. Za vsak kraj in za vsako leto smo ugotovili dan v letu, ko je bila minimalna dnevna temperature zraka na 5 cm ali 2 m višine zadnjič spomladi ali prvič jeseni 0 °C, -1 °C, -2 °C, ..., -8 °C ter ≤ -9 °C. Na vseh postajah niso merili na višini 5 cm in 2 m nad tlemi vseh štirideset let, zato so vzorci nekoliko manjši.

Na nekaterih postajah je velikost vzorca manjša tudi pri nižjih temperaturnih razredih, ker se v nekaterih letih tako nizke sploh ne pojavijo. Najočitnejša je postaja Koper-Portorož, če posebej na višini 2 m nad tlemi. Tako se tam npr. pojavijo temperature ≤ -9 °C na višini 2 m v spomladanskem času le štirikrat v štiridesetih letih. To pa je premajhen vzorec za kakršnokoli statistično obravnavo. Vse nize podatkov, katerih velikost je manjša od 30 smo izločili iz obdelave, saj je po priporočilih Svetovne meteorološke organizacije to mejna velikost vzorca za klimatološke študije.

3 REZULTATI

3.1 Kumulativna frekvenca pojavljanja

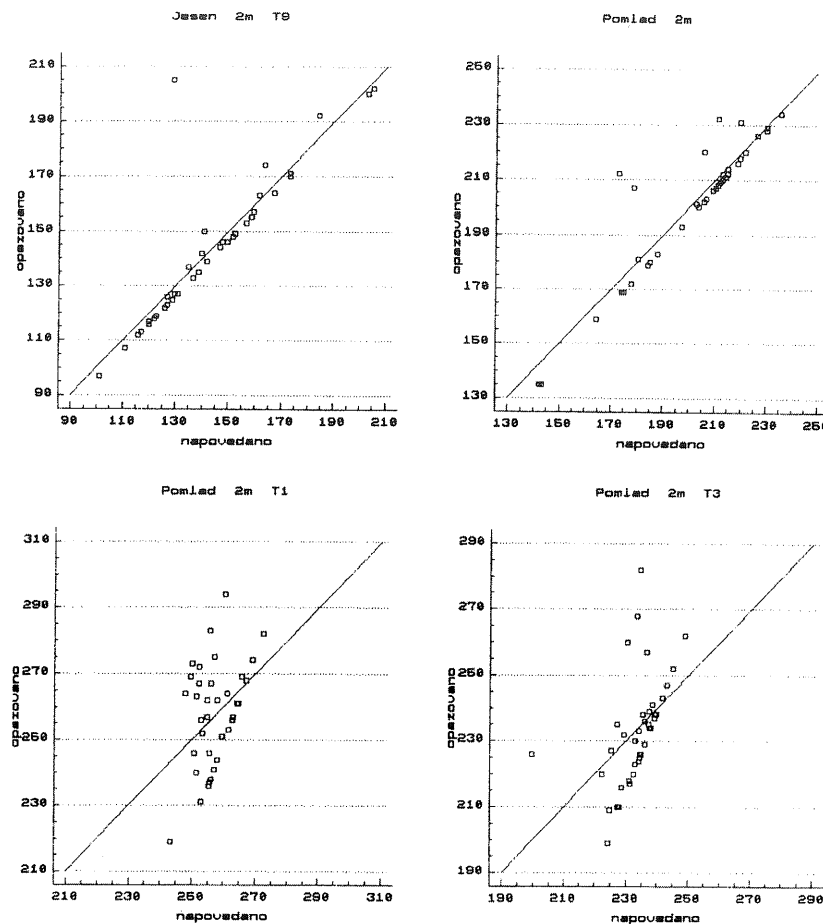
Če želimo določiti verjetnost, s katero lahko računamo zadnjič spomladi ali prvič jeseni na pojavljanje temperature v nekem razredu, izdelamo kumulativno relativno frekvenčno porazdelitev. Za vsako dekada posebej določimo kdaj se je tam npr. spomladi zadnjič pojavila temperatura iz nekega razreda. Podobno naredimo za jesensko obdobje. (Dvaindvajseta dekada v letu, od 30. julija do vključno 8. avgusta, naj bo meja med pomladanskim in jesenskim obdobjem, ker se prav tedaj ne pojavijo na nobeni postaji negativne temperature. Tako smo vzeli 1. avgust kot prvi dan jesenskega obdobja in 31. julij zadnji dan spomladanskega obdobja.) Nato te vrednosti seštejemo od 22. dekada v obe smeri proti zimi. Tako dobimo kumulativne absolutne vrednosti iz katerih izračunamo še relativne. Na sliki 1 je narisana kumulativna frekvenca pojavljanj zadnjih spomladanskih in prvih jesenskih minimalnih temperatur za postajo Novo mesto na višini 5 cm nad tlemi. Iz te slike npr. razberemo, da je v Novem mestu na višini 5 cm okrog 45 % verjetnost da se po 12. dekadi (po 30. aprilu) zadnjič pojavi minimalna temperatura -4 °C.



Slika 1. Kumulativna relativna frekvenca zadnjih pomladanskih in prvih jesenskih minimalnih temperatur v Novem mestu na višini 5 cm nad tlemi. Oznake T0, T2, itd. označujejo ustrezne temperaturne razrede.
Figure 1. Cumulative relative frequency of last spring and first autumn minimum temperatures in Novo Mesto at 5 cm above the ground. T0, T2 etc. designate respective temperature classes.

3.2 Regresija

Datum pojavljanja zadnje pomladne ali prve jesenske temperature pod nekim pragom lahko določamo tudi s pomočjo regresijskega modela. Po preiskovanju raznih multiplih regresijskih zvez se je pokazalo, da je prediktor, ki ima daleč največji determinacijski koeficient, temperatura v sosednjem razredu. Tako npr. prvi pojav temperature pod -9 °C najbolj določa dan, ko se je pojavila temperatura v razredu -8 °C. Zato smo se namesto z multiplo zadovoljili kar z linearno regresijo v odvisnosti dneva pojava temperature v enem ter v sosednjem temperaturnem razredu: spomladi nižjem, jeseni pa višjem.



Slika 2. Opazovani in z linearno regresijo napovedani dnevi prvega jesenskega (zgoraj levo) oz. zadnjega pomlanskega (drugi trije diagrami) pojavljanja negativne temperature na višini 2 m nad tlemi v Ljubljani. Oznake T9, T7, T1 in T3 označujejo ustrezne temperaturne razrede.

Figure 2. Observed and with linear regression predicted days of the first autumn (upper left) and the best (other three figures) negative temperature at 2 m above the ground in Ljubljana. T9, T7, T1 and T3 designate appropriate temperature classes

Na sliki 2 je kot primer prikazano nekaj diagramov, ki ponazarjajo kvaliteto in uporabnost take regresijske napovedi. Očitno so nekatere regresijske zveze boljše (gornji dve regresijski zvezi), nekatere pa slabše.

4 SKLEP

Vrednosti deskriptivnih statistik so si za postaje Ljubljana-Bežigrad, Maribor-Tezno in Novo mesto podobne, obmorski Koper-Porotroč in alpska Rateče-Planica pa imajo drugačne značilnosti. Podatki so na splošno normalno porazdeljeni.

Kumulativne porazdelitve pogostosti pojavljanja minimalnih temperatur podajajo verjetnost za pojavljanje take temperature v določeni dekadi v letu. Analiza časovne vrste (ni prikazana v tem članku) pa pokaže, da se datumi pojavljanja negativnih temperature tako pomladi, kot jeseni, postopno pomikajo proti zimi; obdobja brez nevarnosti za rastline so torej vse daljša – pričenjajo se bolj zgodaj spomadi in končujejo pozneje jeseni.

Povezava med temperaturnimi razredi različnih višin je šibka. V regresijski zvezi pa je dovolj da uporabimo linearno regresijo z enim samim prediktorjem: dnevom pojavljanja temperature iz sosednjega temperaturnega razreda.

LITERATURA

Arhiv HMZ: Podatki o minimalnih temperaturah 5 cm in 2 m nad tlemi od jeseni 1951 do pomladi 1991.

Hočevar, A., 1966: Karakteristike obdobja brez slane v Sloveniji. Ljubljana, *Zbornik Biotehn. Fakult.* 12, 31-48.

Kajfež-Bogataj, L. in I. Pivec, 1986: Zadnja spomladanska slana in njene klimatske značilnosti v Sloveniji za obdobje 1955-1984. *Zbornik Biotehn. Fakult.* 47, 9-16.

Malovh, V., 1957: Zadnja pomladanska slana v Sloveniji. 10 let hidrometeorološke službe. Ljubljana, HMZ LRS, 117-136.

Petkovšek, Z., 1957: Doprinos k prognozi pomladanskih pozeb v Sloveniji. *Meteorološki zbornik Društva meteorologov Slovenije* 1, 58-69.

Schönwiese, C. D., 1985: *Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler*. Berlin, Stuttgart, Gebr. Bornträger, 231 s.

Svetek, S., 1990: *Značilnosti prve jesenske slane v Sloveniji*. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, 74 str.

Kratek članek

Ključne besede: optimalna interpolacija, vremenski tipi
UDK 551.589, 551.509**TIPIZACIJA VREMENA ZA POTREBE OPTIMALNE
INTERPOLACIJE****WEATHER TYPE TIPIZATION FOR OPTIMAL INTERPOLATION****Mateja GJEREK¹**
(mentor Jože RAKOVEC²)

prispelo 19. oktobra 1999

v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Diplomska naloga podaja pregled metode optimalne interpolacije in njene uporabe v objektivni analizi mezometeoroloških polj. Predstavljen je preprost model za izračun povprečnih vrednosti temperatur in standardnih deviacij od mesečnih povprečij v odvisnosti od geografskega položaja postaje in vremenskega tipa. Določili smo modelsko avtokorelacijsko funkcijo in uporabili klasifikacijo vremenskih tipov določenih po Hess-Brezowskem.

SUMMARY

Objective analysis scheme and optimal interpolation of mesometeorological fields are presented. A simple regression model for monthly temperature averages depending on geographical parameters (as latitude, longitude and evaluation of location) and weather type is introduced. On the basis of experiences a model of auto correlation function was determined. The classification of weather types based on Hess-Brezowsky has been used. Some of the weather types were put together in groups. For one weather type complete objective analysis was performed for five days period. The results were compared with the values of analysis where data for whole months were used. Historical data set of Slovenian weather service has been used for surface air temperature at 7h CET in the period 1982-1986 and the data set of Croatian weather service has been used for weather types based on Hess-Brezowsky.

¹ Mateja Gjerek, Hidrometeorološki zavod RS, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana, Slovenija, mateja.gjerek@rzs-hm.si² Jože Rakovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, joze.rakovec@uni-lj.si**UVOD**

Objektivno analizo lahko definiramo kot metodo s katero se iz izmerjenih vrednosti na meteoroloških postajah po objektivni poti s pomočjo numeričnih metod in računalnikov določijo polja meteoroloških elementov ali vrednosti v presečnih točkah neke pravilne mreže, ki pokriva analizirano področje. Ena najpomembnejših faz objektivne analize je interpolacija. Metoda, ki zmanjša napako analize na minimum, je metoda optimalne interpolacije. Skušali smo ugotoviti, če upoštevanje vremenskega tipa izboljša rezultate optimalne interpolacije.

1 PODATKI

Uporabili smo metodo optimalne interpolacije za analizo polja jutranje temperature (ob 7h). Za obdobje petih dni smo za en tip vremena izvedli celotno analizo in dobljene rezultate primerjali z vrednostmi analize, ko so modelske funkcije določene na osnovi vseh podatkov za določen mesec, ko ne upoštevamo tipa vremena. Uporabljeni so bili podatki HMZ RS za temperaturo zraka na 2 m ob 7 h (1982-1986) in podatki HMZ Hrvaške o klasifikaciji vremenskih tipov določenih po klasifikaciji Hess-Brezowsky.

2 METODOLOGIJA**2.1 Modeliranje polj**

Za uspešno uporabo optimalne interpolacije moramo primerno modelirati avtokorelacijsko in preliminarno polje na področju, ki ga obravnavamo. Ker nimamo na razpolago prognostičnega modela za napovedovanje temperatur, smo se pri izbiri preliminarne polja odločili za mesečne povprečne vrednosti temperature. Za izračun uteži optimalne interpolacije potrebujemo tudi standardne deviacije dejansko izmerjenih temperatur od mesečnih povprečij v mrežnih točkah.

2.2 Klasifikacija vremenskih tipov

Uporabili smo klasifikacijo vremenskih tipov po Hess - Brezowskem (29 vremenskih tipov), ki se nanaša predvsem na centralni del srednje Evrope. Kriterij za določitev vremenskih tipov po tej klasifikaciji je bila oblika splošnega toka v ozračju. Upoštevali so tudi lego večjih vremenskih sistemov ter razširitev frontalnih con. Glede na podobnost smo tipe vremena določene po klasifikaciji Hess - Brezowsky združili na dva načina:

1. glede na razporeditev pritiskovega polja v Sloveniji in
2. glede na obliko splošnega toka v ozračju.

2.3 Analiza

Za nadaljno analizo smo uporabili severni vremenski tip za katerega je značilna meridionalna oblika splošnega toka, nad področje srednje Evrope pa doteka morska polarna oziroma arktična zračna masa. Vrednosti analiziranih temperatur smo izračunali v 50 testnih točkah, vrednosti pa smo interpolirali iz 10 vplivajočih postaj. Primerjali smo opazovane in analizirane vrednosti temperatur za primer s tipom vremena oziroma brez tipa vremena. V

vseh testnih točkah smo izračunali oceno napake metode. Polji analiziranih temperatur se med seboj skoraj ne razlikujeta, večje razlike so le v bližini postaj z višjo nadmorsko višino.

3 REZULTATI ANALIZE

Rezultati analize kažejo, da z uvedbo tipov bistveno ne izboljšamo ne preliminarne polja ne avtokorelacijske funkcije. Vzrok temu je najverjetneje slaba klasifikacija vremenskih vremenskih tipov, ki ne opiše dobro razmer v Sloveniji, saj se pojavljajo povsem različne vremenske situacije ob istem tipu vremena določenem po klasifikaciji Hess - Brezowsky.

4 SKLEP

Klasifikacija tipov vremena po Hess- Brezowskem ni primerna za opis vremenskega dogajanja v Sloveniji. Za potrebe optimalne interpolacije bi bilo potrebno določiti preprostejšo klasifikacijo vremenskih tipov, ki bi natančneje določala vremenska dogajanja v Sloveniji.

Rezultati bi bili verjetno boljši, če bi izračun opravili na daljšem nizu podatkov.

Regresijski model preliminarne polja je precej boljši od povprečja v toplejšem delu leta, slabši pa so rezultati v zimskem času, ko na klimo zaradi pogostih inverzij v veliki meri vplivajo lokalne, orografske in termične značilnosti.

Z uvedbo vremenskih tipov nismo dosegli bistveno boljših rezultatov.

LITERATURA

Nadrag, M., 1992: *Tipizacija vremena za potrebe optimalne interpolacije*. Diplomski naloga, FNT Fizika, Katedra za meteorologijo, Ljubljana, 34 str.

MERILNI SISTEM ZA MERJENJE FLUKTUACIJ VETRA

SYSTEM FOR MEASURING WIND FLUCTUATIONS

Marko URŠIČ¹
(mentor Jože RAKOVEC²)

pripravil mentor² 14. avgusta 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. decembra 2000

POVZETEK

Sestavili smo merilnik velikosti hitrosti vetra. Za senzor smo uporabili anemometer z greto žico, ki smo ga preko analogno digitalnega konverterja povezali z računalnikom. Z njim smo izmerili fluktuacije hitrosti vetra pred fronto in po fronti. Pred fronto smo merili velikost hitrosti jugozahodnega vetra, po fronti pa velikost hitrosti severozahodnega vetra. Obe zaporedji meritev sta potekali v časovnem intervalu dolgem približno 1 uro. Meritve pa smo v obeh primerih ponavljali vsako sekundo. Iz meritev je bilo razvidno veliko večjih fluktuacij hitrosti vetra po fronti. Časovni zaporedji smo s hitro Fourierjevo transformacijo prevedli v diskretni energijski spekter hitrosti vetra, ki kaže vrhove s periodami okrog 12 sekund pred fronto, za njo pa močnejše vrhove s periodami okrog 17 sekund ter še enega s polurno periodo.

SUMMARY

The measuring system for wind velocity has been composed. Hot wire anemometer was used for a sensor, being linked with a personal computer via an analogue-digital card. Wind velocity was measured before and after the front: before it the southwest, and after the front the northwest wind. In both cases the measurements were carried out for approx. one hour, in one-second time intervals. The wind after the frontal passage shows more fluctuations. The obtained time sequences were transformed by Fast Fourier Transformation into the discrete power spectrum of the wind. Before front the peaks are at approx. 12 seconds period, while after the front fluctuations have stronger peaks with shorter periods of approx. 17 seconds, and one with a half hour period.

¹ Marko Uršič, Srednja gradbena, geodetska in ekonomska šola, Dunajska 102, 1000 Ljubljana, Slovenija, marko.ursic1@arnes.guest.si

² Jože Rakovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, joze.rakovec@uni-lj.si

1 UVOD

Standardne meritve vetra pri tleh za potrebe sinoptične meteorologije na meteoroloških postajah morajo podajati splošen veter. Zato se po navodilih Svetovne meteorološke organizacije (WMO, 1983) meri 10 minutno povpreče hitrosti vetra. Zahtevana natančnost je 0.5 m/s do hitrosti 5 m/s, nad to hitrostjo pa 10 %. Prag instrumentov mora biti vsaj 1 m/s. Za take meritve je zelo primeren instrument Robinsonov križ (votle polkrogle na ročicah).

Velikokrat pa dogajanja v ozračju opredeljujejo tudi kake druge karakteristike vetra in ni pomembno le povprečje. Za promet in gradbeništvo so pomembni močni sunki vetra, za atmosfersko difuzijo drobne fluktuacije in podobno.

2 MERILNI SISTEM IN MERITVE

Za merjenje in zapisovanje hitrosti vetra v gostih časovnih intervalih smo skonstruirali merilni sistem, katerega senzor je anemometer z greto žico. Z njim smo merili sekundna povprečja velikosti hitrosti vetra v izbrani smeri. Anemometer z greto žico, ki smo ga uporabili (Weathertronics mod. 2440, 1987-88), je narejen tako, da kaže rezultate meritev na kazalnem instrumentu, kar pa za naše meritve ni zadoščalo. Želeli smo namreč meriti več kot eno uro na vsako sekundo, tako da smo vsakič izvedli več kot 4000 meritev. Hitro branje velike količine podatkov smo uredili tako, da smo na instrumentu naredili še en izhod, vzporeden kazalnemu instrumentu in ga povezali preko AD konverterja z računalnikom. Med izhod anemometra in vhod AD konverterja smo morali postaviti še napetostni ojačevalnik zaradi napetostne in uporabne prilagoditve.

Pri tovrstnih meritvah je potrebno upoštevati tudi temperaturo zračnega toka, kateremu merimo hitrost. Ohlajanje tople žice anemometra namreč ni odvisno le od hitrosti vetra, temveč tudi od razlike med temperaturo žice in temperaturo vetra. Zato pred meritvijo anemometer umerimo v brezvetrju. Sondo, v kateri je greta žica zapremo in nastavimo kazalec anemometra na vrednost nič. Privzamemo, da se temperatura vetra med meritvijo ne spreminja. V našem primeru je tudi dejansko bilo tako, saj se pri obeh meritvah, pred fronto in po njej, ki sta trajali vsaka nekaj več kot po eno uro, temperatura zraka ni znatno spremenila.

Merilni sistem smo preizkusili ob prehodu fronte, ko se močno spremeni hitrost vetra. Za Slovenijo v splošnem velja, da ima hitrost vetra pred fronto jugozahodno smer, za fronto pa severozahodno smer. Tudi v našem primeru (dne 11. novembra 1992) je bilo tako. Zato smo se glede smeri hitrosti vetra omejili na ti dve smeri. Meritve velikosti hitrosti vetra so potekale pri konstantni smeri vetra: pred fronto smo merili jugozahodni, za fronto pa severozahodni veter.

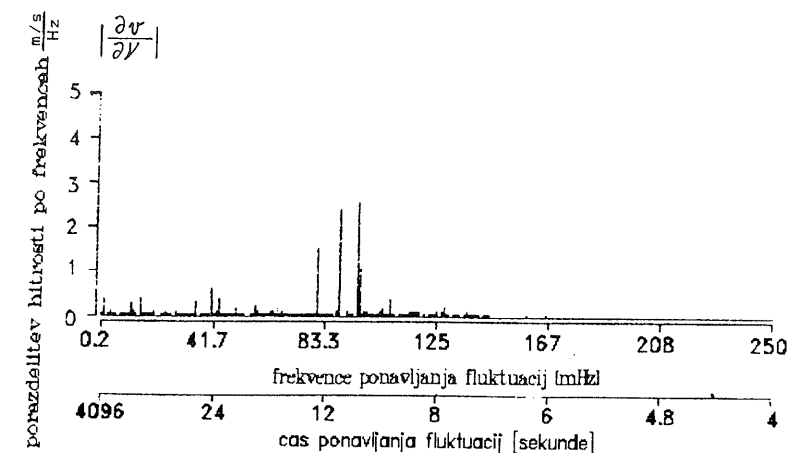
3 REZULTATI

Rezultat meritev strnjeno prikazemo v obliki spektrov. Časovni zaporedji izmerkov smo namreč s hitro transformacijo prevedli v diskretni energijski spekter hitrosti vetra (Geçkinli and Yavuz 1983), ki kaže vrhove s periodami okrog 12 sekund pred fronto, za njo pa

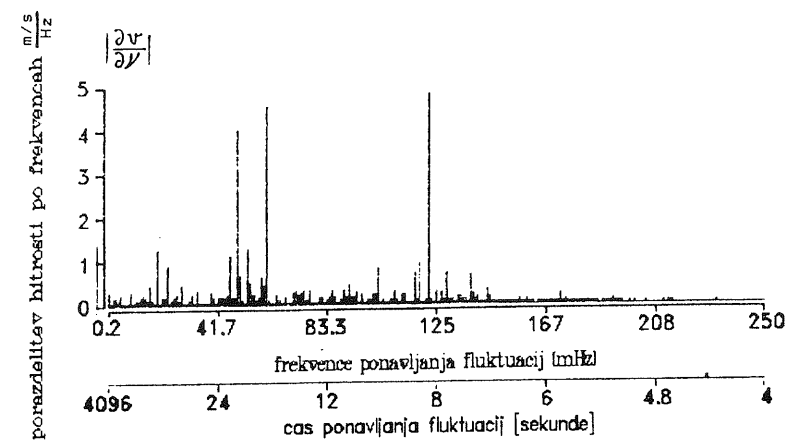
močnejše vrhove s krajšimi periodami okrog 17 sekund ter še enega s polurno periodo (sliki 1 in 2)

4 SKLEP

Pokazali smo, da je dokaj preprosto sestaviti sistem za merjene fluktuacij vetra tako, da v instrumentu z greto žico naredimo vzporedni izhod, ga primerno prilagodimo in preko analogno-digitalnega pretvornika povežemo z računalnikom. Sistem se je pokazal kot dovolj dober (pri tem se ne spuščamo v zanesljivost samega osnovnega instrumenta Weathertronics 2240), pomankljivost pa je morda ta, da morajo biti pri preprostejši konfiguraciji sistema nekateri njegovi deli (računalnik) v zaprtim prostoru.



Slika 1. Diskretni energijski spekter hitrosti vetra pred fronto.
Figure 1. Discrete energy spectrum of wind velocity ahead of the front



Slika 2. Diskretni energijski spekter hitrosti vetra po fronti.
Figure 2. Discrete energy spectrum of wind velocity behind the front.

LITERATURA

- Geçkinli, C. G., and D. Yavuz, 1983: *Discrete Fourier Transformation and Its Applications to Power Spectra Estimation*. Studies in Electrical and Electronic Engineering **8**, Amsterdam etc., Elsevier, xv+ 340 pp.
- Weathertronics 1987-88: *Catalogue*. Sacramento, Wethertronic Inc, 310 pp.
- WMO, 1983: *Guide to meteorological instruments and methods of observation (5th Ed.)*, WMO-No.8, Geneva, WMO, loč pag.

DINAMIČNA ANALIZA DOGAJANJ OB MEJI RAZLIČNIH ZRAČNIH MAS

DYNAMIC ANALYSIS OF PROCESSES AT THE INTERFACE OF TWO DIFFERENT AIR-MASSSES

Mark ŽAGAR¹
(mentor Jože RAKOVEC²)

prispele 27. decembra 1999

sprejeto v končni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Celovito preučevanje zgradbe hladne fronte in njenega napredovanja v pogojih različne atmosferske stabilnosti ter trenja s tlemi in razporeditve hrapavosti podlage ni možno drugače, kot s pomočjo računskega modela. Dogajanje ob fronti, poenostavljeno prikazani kot diskontinuiteti, je opisano analitično le v prosti atmosferi, kjer so ugotovljene in pojasnjene tudi pomanjkljivosti takega opisa. Raziskavo vplivov različne podlage na sinoptična dogajanja opravimo v več delih, analitično in numerično. Končna ugotovitev je, da učinki razlik v hrapavosti podlage določajo tok le v povsem spodnji, največ nekaj sto metrov debeli plasti.

SUMMARY

Dynamical structure and propagation of a cold front in different atmospheric stability conditions: surface drag or roughness, are being examined through numerical simulation (using FITNAH-RKM). Analytically only the free atmosphere processes are being studied; some imperfections of such analytical approach are shown. The effects, associated with different roughness only determine, according to the results of numerical experiments, the flux characteristics in some lower hundred meters of the atmosphere.

¹ Mark Žagar, Hidrometeorološki zavod R Slovenije, Vojkova 1b, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, mark.zagar@rzs-hm.si

² Jože Rakovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, joze.rakovec@uni-lj.si

1 FRONTE

Prikazana je izpeljava enačbe za naklon frontalne ploskve oziroma meje med dvema zračnima masama z različnimi dinamični in termodinamičnimi lastnostmi:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{f}{g} \cdot \frac{v_{gH} - \frac{\Theta_H}{\Theta_T} v_g T}{\frac{\Theta_H}{\Theta_T} - 1}$$

Prikazana je tudi povezava med vertikalnimi gibanji na obeh straneh diskontinuitete, ugotovitev pa je razmeroma zanimiva:

$$w_r|_m = w_H|_m$$

To je seveda posledica dejstva, da zadevo gledamo v geostrofskem približku, ob dejanskih frontah pa kot vzroki raznih pojavov prevladujejo ageostrofski dejavniki.

2 VPLIV TAL NA TOK ZRAKA

Na kratko je ponovljena teorija opisa zračnega toka v planetarni mejni plasti in v prizemni plasti. Na virtualni meji je potrebno oba opisa sklopiti, kar je v diplomski nalogi narejeno z nekaj variantami: preko sklapljanja strižne napetosti, koeficienta turbulentne difuzivnosti ali odvoda $\partial u / \partial z$. Za najbolj primerno se je izkazala varianta z uporabo slednjega. Če torej na višini h izenačimo hitrost vetra po Ekmanovi špirali oziroma po logaritmskem zakonu:

$$\frac{u_*}{k} \ln \frac{h}{z_0} = u_k \sqrt{1 + e^{-ah} (e^{-ah} - 2 \cos ah)}$$

in oba vertikalna odvoda:

$$\frac{u_*}{kh} = au_g e^{-ah} \frac{\cos ah + \sin ah - e^{-ah}}{\sqrt{1 + e^{-ah} (e^{-ah} - 2 \cos ah)}}$$

z iterativnim reševanjem sistema dveh enačb dobimo neznanke, torno hitrost u_* in višino prizemne plasti h .

Vertikalni potek horizontalnega vetra, dobljen na omenjen način, je primerjan z rezultatom numeričnega modela FITNAH-RKM, ujemanje pa je zelo dobro.

3 STRIŽENJE VETRA NA MEJI RAZLIČNO HRPAVE PODLAGE

Če veter piha preko ali vzdolž meje dveh različno hrapavih podlag, se zaradi konvergence oziroma divergence zraka pri tleh v spodnji plasti atmosfere pojavijo vertikalne hitrosti:

$$w(d) = -\frac{1}{k\Delta y} \int_{z_0}^d \left(u_{*2} \ln \frac{z}{z_{02}} \sin \psi_2 - u_{*1} \ln \frac{z}{z_{01}} \sin \psi_1 \right) dz,$$

kjer je Δy širina področja konvergence ali divergence (ker je ne poznamo, jo v primerjavi z modelom nadomestimo z mrežno razdaljo), ψ pa odklon vetra v prizemni plasti, ki ga, tako kot torno hitrost, dobimo po malo prej omenjeni poti.

4 HLADNA FRONTA V PLANETARNI MEJNI PLASTI

Frontalna cona se zaradi interakcije s podlago deformira. Dinamične vzroke za deformacijo, se pravi zaradi spreminjanja vetra v planetarni mejni plasti, smo razdelali v prejšnjih poglavjih. Potek naklona frontalne cone z višino je torej:

$$\tan \alpha(z) = \frac{f \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0} \sin \psi - \frac{u_*^2}{z}}{g \left(\frac{\Theta_H}{\Theta_T} - 1 \right)}$$

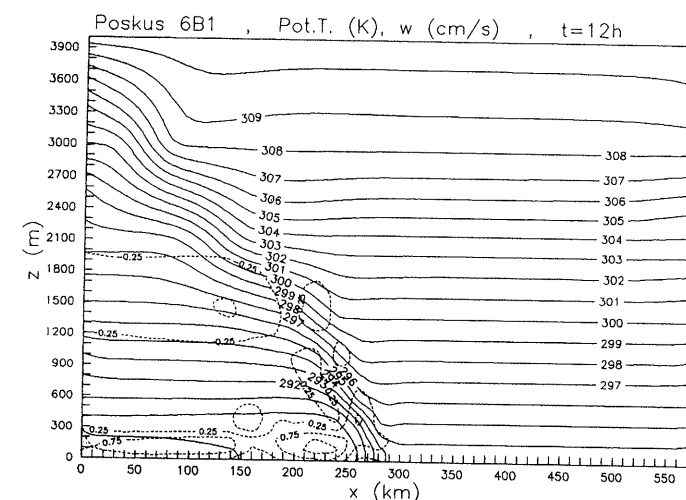
Če se zazremo v zgornjo enačbo ugotovimo, da se naklon manjša, bliže tlem gremo, kar je sicer logično, saj naklon frontalne cone vzdržuje striženje vetra, vendar neskladno z resničnostjo. V naravi seveda na obliko frontalnega čela vplivajo drugi dejavniki, predvsem tako imenovani težnostni tok oziroma poenostavljeno rečeno valjenje hladnega zraka po podlagi. Njegova hitrost je

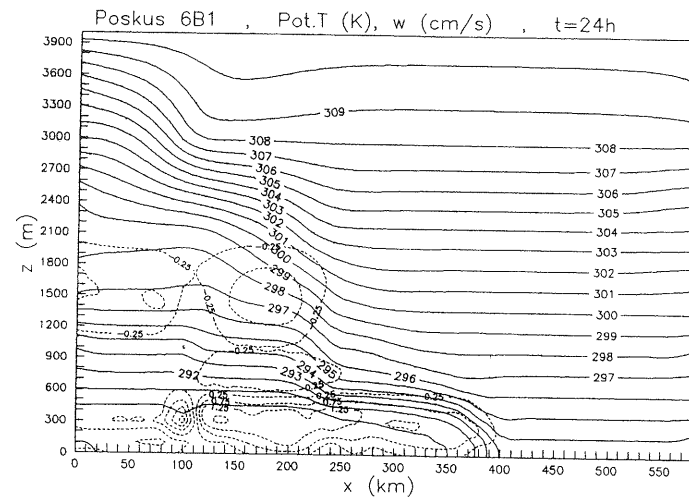
$$c(z) = Fr \sqrt{g(d-z) \frac{\Delta \Theta}{\Theta_T}},$$

kjer je Fr Froudovo število, d pa višina stolpca hladnega zraka.

5 REZULTATI NUMERIČNEGA MODELA

Simulirali smo veter nad različno konfigurirano podlago raznih hrapavosti, ter napredovanje hladne fronte v spodnjih nekaj kilometrih atmosfere. Razlike med simulacijami so predvsem glede stabilnosti ozračja. Med ugotovitvami omenimo na primer, da hrapavost podlage na frontalno cono deluje frontolitično, da fronta napreduje hitreje v nestabilni atmosferi ter da tedaj, ko ni siljenja za napredovanje fronte v sinoptični skali, fronta od nekega časa napreduje le še v spodnjih nekaj sto metrih, da torej težnostni tok popolnoma prevlada. En primer takega simuliranega napredovanja fronte je prikazan na sliki 1.





Slika 1 a and b. Napredovanje hladne fronte pri tleh zaradi težnostga toka.
Figure 1 a and b. The displacement of a front at the ground due to the gravity current.

LITERATURA:

- Garrat, J.R. in Physick, W.L., 1986: Numerical study of atmospheric gravity currents: I. Simulations and observations of cold fronts, *Beitr. Phys. Atmos.*, **59**, 282-300
Steinacker, R., 1992: Dynamical aspects of frontal analysis, *Met. Atmos. Phys.*, **48**, 93-104

ANALIZA POGOSTNOSTI RAZLIČNIH VREMENSKIH TIPOV V SLOVENIJI Z VIDIKA KLIMATSKIH SPREMEMB

ANALYSIS OF WEATHER TYPES FREQUENCY IN SLOVENIA AS A SIGN OF CLIMATIC CHANGE

Saša GABERŠEK¹

(mentorica Lučka KAJFEŽ-BOGATAJ², somentor Tomaž VRHOVEC³)

pripravil somentor³ 8. avgusta 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Klimo petih značilnih krajev v Sloveniji (Ljubljana, Rateče, Kubeč, Novo mesto in Murska Sobota) smo skušali opredeliti z lokalnimi vremenskimi tipi. Izbrali smo Čadežo klasifikacijo tipov in iz klimatološkega niza podatkov (tri meritve dnevno) tipizirali vreme za vsak dan. Na koncu naredimo statistično obravnavo časovnih vrst posameznih tipov in skupin tipov.

SUMMARY

The aim of work is to analyse climatic changes over the region of Slovenia (5 weather stations: Ljubljana, Rateče, Kubeč, Novo mesto in Murska Sobota) by using local weather types. The classification by Čadež was used. Types were classified from partly reduced data set (three measurements per day) and finally some statistics were made.

1 VREMENSKI TIPI IN IZBRANA METODA DELA

Ločeno statistično preučevanje meteoroloških parametrov (temperatura, pritisk, vlaga, veter, količina padavin, oblačnost ...), nam da samo informacijo o parametru, na primer njegovo povprečje, dnevni in letni potek ter druge statistike. Takšen pristop je uporabljen v klasični klimatologiji. V našem primeru se odločimo za vzporedno obravnavo večih parametrov, kar nas pripelje do kompleksne slike vremena v nekem časovnem intervalu. To sliko vremena imenujemo tip vremena (Čadež 1949) v nekem časovnem intervalu (ponavadi en dan).

¹ Saša Gaberšek, Department of Atmospheric Sciences, University of Washington, Box 351640, Seattle, WA 98195-1640, USA, sasa@atmos.washington.edu

² Lučka Kajfež-Bogataj, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Agronomski oddelek, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, lucca.kajfez.bogataj@bf.uni-lj.si

³ Tomaž Vrhovc, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Odeleke za fiziko, katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, tomaz.vrhovec@uni-lj.si

Sedaj se moramo odločiti, ali bomo obravnavali stanje v neki fizični točki ali na širšem področju. V prvem primeru govorimo o lokalni, v drugem pa o regionalni tipizaciji. Odločimo se za prvo, glavna razloga za to pa sta dva:

- poleg časovnih sprememb pogostosti pojavljanja posameznih lokalnih vremenskih tipov nas zanimajo tudi krajevne razlike;
- poleg že naštetih parametrov potrebujemo pri regionalni tipizaciji še polja karakterističnih količin (pritisak na več nivojih, temperature nad obravnavanim področjem. Te informacije pa so na voljo le za krajši časovni interval, kot ga je v primeru analiz klimatskih nihanj potrebno obravnavati (npr. 90 let v primeru Ljubljane).

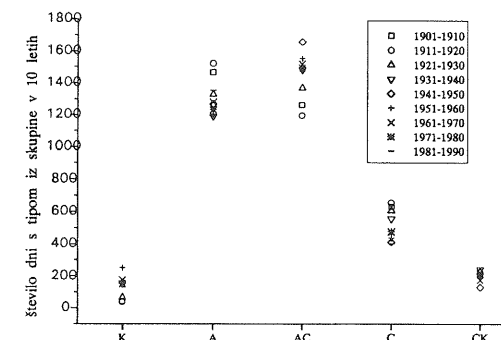
Izbrali smo Čadeževo klasifikacijo (1949) in postopek tipizacije avtomatizirali. Potrebovali smo dovolj dolge nize podatkov v računalniškem arhivu (HMZ). Zbrali smo 90-letni niz (1901-1990) za postajo Ljubljana in 30-letne (1961-1990) za postaje Rateče, Kubed, Novo mesto in Murska Sobota. Ti nizi podatkov so klimatološki (opazovanja ob 7., 14. in 21. uri). Nato smo naključno izbran letni niz podatkov (leto 1957, 24 opazovanj dnevno) iz postaje Ljubljana tipizirali "ročno", kar pomeni, da smo za vsak dan v letu določili tip glede na 24-urne podatke tistega dne. Tako tipiziran enoletni niz nam je služil za kontrolo metod tipizacije. Kot prvo metodo tipizacije smo preizkusili nevronske mrežec, vendar s slabim uspehom. Druga metoda je bila enaka kot "ročna" vendar smo jo sprogramirali za računalnik in umerili s klimatološkimi podatki. Potem smo izbrali naključni letni niz podatkov o vetru (leto 1985, 24 opazovanj dnevno), naredili "ročno" tipizacijo vetra in program za tipizacijo optimizirali tako, da je končni delež uspešno določenih tipov med 0,84 in 0,90.

2 POGOSTNOST VREMENSKIH TIPOV IN NJIHOVIH SKUPIN

Za tridesetletno obdobje smo izračunali povprečno pogostnost pojavljanja posameznega tipa vremena v desetletnem intervalu. Če upoštevamo vse vremenske tipe, je na vseh postajah najpogostejše zastopan tip A, naslednji pa je pri postajah v notranjosti Slovenije tip CA. Sledijo glavni vetrovni tipi (N, E, S, W, AN, AS, AW) nato pa ciklonski tipi C, K, AC in CK.

Za postajo Ljubljana smo ugotovili vremenske tipe tudi za 90-letno obdobje od 1901 do 1990. Vremenske tipe smo združili v 5 skupin tipov:

- skupina K:** tipi K, KN, EK, SK, WK;
- skupina A:** tipi: A, AN, AS, AE, AW;
- skupina AC:** tipi AC, CA, N, E, W, S;
- skupina CK:** tipi: KC, CK, KCN, KCE, KCS, KCW, KNC, KEC, KSC, KWC ;
- skupina C:** tipi: C, CN, CS, CE; CW, NC, EC, SC, WC.



Slika 1. Število dni s skupinami vremenskih tipov za postajo Ljubljana (1901-1990)
Figure 1. Number of days with groups of weather types for Ljubljana (1901-1990).

3 SPREMEMBE POGOSTOSTI VREMENSKIH TIPOV IN SKUPIN TIPOV

Za štiri postaje smo pregleda spremembe pogostosti pojavljanja posameznih vremenskih tipov in njihovih skupin v 30-letnem obdobju, za postajo Ljubljana pa v 90-letnem. Za štiri postaje smo pregledali spremembe pogostnosti po posameznih letnih časih. Za vse postaje in za vse letne čase smo narisali kumulativne diagrame. Za postajo Ljubljana pa posebej še trende. Za skupine vremenskih tipov podajamo preglednico njihove variabilnosti in trendov. Končne ugotovitve so:

klimatološki podatki dovolj dobro rekonstruirajo stanje vremena, po katerem določimo lokalni vremenski tip;

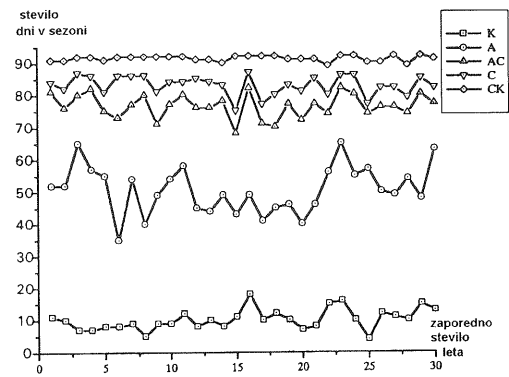
program za tipizacijo je po optimizaciji dobro določal tipe (napaka med 10% in 15%);

pri postajah s krajšimi nizi lahko opazimo samo spremembe pri pogostosti pojavljanja skupin lokalnih vremenskih tipov, pri čemer odstopa druga dekada (1971-1980); zanimiva je še odvisnost od letnih časov; pri postaji z daljšim nizom (Ljubljana, obdobje 1901-1990) smo izračunali trende ter ocenili signifikantnost le-teh za posamezne tipe in za skupine tipov; razpršenost podatkov je zelo velika, pri nekaterih tipih se variabilnost v zadnjih letih povečuje.

Tabela 1. Trendi skupin vremenskih tipov za postajo Ljubljana (1901-1990).
Table 1. Trends of groups of weather types for Ljubljana (1901-1990).

skupina tipov	razlika št. dni na 100 let	pov.št dni/leto	stand. dev. št dni/leto	koeficient korelacije	signif. trenda
K	+17	12,8	7,7	0,59	da
A	-25	131,2	21,4	-0,31	da
AC	+39	144,4	20,8	0,49	da
C	-31	51,3	13,6	-0,59	da
CK	-4	19,9	6,1	0,15	ne

Vsa opazovana nihanja in spremembe so bila večja od meje, ki bi jo lahko pripisali nezanesljivi tipizaciji.



Slika 2. Kumulativni diagram števila dni s posameznimi skupinami vremenskih tipov za postajo Rateče, poleti, za obdobje 1961 – 1990.
Figure 2. Cumulative frequencies of days with group of weather types for Rateče in summer, 1961-1990.

LITERATURA

Čadež M., 1949 : O tipovima vremena, *Hidrometeorološki glasnik* (Beograd), 2. 88-95.

SISTEMATIČNE NEINSTRUMENTALNE NAPAKE PRI MERJENJU PADAVIN Z METEOROLOŠKIM RADARJEM

SYSTEMATIC NON-INSTRUMENTAL ERRORS OF RADAR MEASURED PRECIPITATION

Jure JERMAN¹
(mentor Jože RAKOVEC²)

prispelo 2. septembra 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

V delu smo predstavili teoretične osnove radarskega merjenja količine padavin in našli poglobitve razloge za napako radarske ocene. Na vzorcu, ki vsebuje okoli štiristo ur hkratnih radarskih in dežemernih meritev, smo testirali vpliv različnih meteoroloških parametrov (višine izoterme 0 °C, oslabitve radarskega snopa v padavinah in tipa padavin) na napako radarske ocene urnih akumulacij padavin. Izdelali smo preprost algoritem za tipizacijo padavin. Kot statistično metodo za korekcijo radarske ocene urne akumulacije padavin nad neko točko smo uporabili linearno multiplo regresijo, ki smo jo primerjali z nelinearnim modelom - modelom nevronske mreže. Ugotovili smo, da se radarska ocena urnih akumulacij padavin v primerjavi z dežemerom izmerjenimi vrednostmi razlikuje v povprečju za faktor 2.

SUMMARY

Theoretical basis for rainfall measurement with radar are reviewed and the most important causes for radar estimation error listed. The influence of several meteorological parameters (zero degrees level, radar beam attenuation in rainfall, precipitation type) on the error in radar estimation of hourly rainfall was tested on the sample, consisting of about four hundred hours of radar and raingauge data. Linear multiple regression was used as the statistical procedure for the correction of radar estimations of hourly rainfall above certain point. Corrected radar estimations of hourly rainfall were on average in error by a factor 2, compared to the raingauge measurements. The calibration results from linear multiple regression procedure were compared with the results from nonlinear model i.e. neural network model.

¹ Jure Jerman, Hidrometeorološki zavod R Slovenije, Vojkova 1b, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, jure.jerman@rzs-hm.si

² Jože Rakovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, joze.rakovec@uni-lj.si

1 UVOD

V našem delu smo skušali ugotoviti statistično zvezo med posameznimi meteorološkimi količinami in napako radarske ocene urnih akumulacij padavin za radar na Lisci. Znano je (npr. Joss in Waldvogel 1990, Divjak 1992), da se pri radarskih merjenih padavin pojavljajo velike napake zaradi narave pojava samega in zaradi načina zazanavanja tega pojava z meteorološkim radarjem. Osredotočili smo se predvsem na oslabitev radarskega žarka v padavinah in na odvisnost napake radarske ocene od tipa padavin in vigine izoterme 0 °C.

Kot statistično metodo za korekcijo radarskih ocen količine padavin smo preizkusili dve metodi: linearno (multipla regresija) in nelinearno (model nevronske mreže). Nelinearni model se je izkazal kot boljši v vseh pogledih, res pa je, da izboljšanje ni veliko. Poglavitni pomanjkljivosti nelinearnega modela sta računska zahtevnost v procesu izračuna modela in omejitve pri fizikalni interpretaciji rezultatov, kamor štejemo tudi pomankanje matematičnih orodij za delo z nevronskimi mrežami. Da bi lahko z gotovostjo trdili, da je nelinearni model uporaben tudi v operativni rabi, bi morali imeti na voljo večjo količino podatkov. Poglavitna prednost, ki je v svojem delu nismo dokonca izkoristili (razlog za to leži tudi v premajhni količini podatkov in njihovi naravi), je svoboda pri vključevanju dodatnih parametrov modela.

2 PODATKI IN OBDELAVA

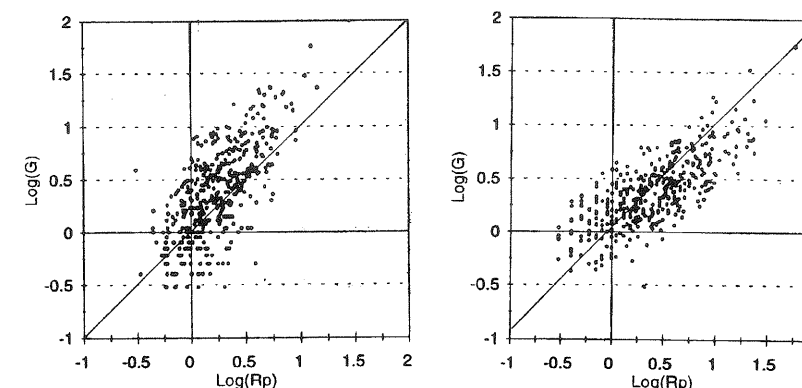
Uporabili smo podatke meteorološkega radarja na Lisci v obliki kvazi-dvodimenzionalnih slik z ločljivostjo 2 km x 2 km (x 1 km) za leto 1991, v obdobju med 1. majem in 2. oktobrom 1991 – vseh slik je 1580. Za isti čas smo zbrali tudi dežemerne podatke iz osmih postaj iz območja, ki ga pokriva meteorološki radar.

Pri regresiji v zvezo med oboje podatke o padavinah (izmerjene pri tleh – G, izmerjene z radarjem – R) vključimo tudi (po Divjaku 1992) logaritem oddaljenosti od radarja r, poleg tega pa še oslabitev skozi padavine med mestom obravnave in radarjem $K(x,y)$, nekatere parametre strukture padavinskih polj, npr. s povprečjem radarskih vrednosti R_9 v 9 točkah okrog obravnavanega mesta, (ter v testni fazi regresije še z nekaterimi parametri strukture polja padavin, pa z višino izoterme 0 °C itd.). Tako je končno uporabljena zveza med padavinami G, izmerjenimi pri tleh, in tistimi (R) izmerjenimi z radarjem sledeča: $\log(G) = a + b \log(R) + c \log(r) + d K(x,y) + f \log(R/R_9)$. Ugotovili smo, da predstavlja oslabitev radarskega žarka v padavinah (K) enega od pomembnejših prispevkov k skupni napaki radarske ocene količine padavin, v našem primeru celo pomembnejšega kot sama razdalja do padavin (r). Do močnih oslabitev radarskega žarka prihaja ob zelo intenzivnih padavinah, te pa so povezane v glavnem s konvektivnim tipom padavin.

Pri metodi nevronskih mrež smo imeli poleg vhodnih kanalov (njihovo število je enako številu prediktorjev pri regresijskem pristopu) in enega izhodnega kanala (količina padavin) še en skriti nivo. Za učenje nevronske mreže in kasnejše testiranje smo vzorec v razmerju 2:1 razdelili na učno in testno podmnožico podatkov: 272 učnih in 137 testnih vektorjev.

Kako se v povezavi med tema dvema viroma podatkov o padavinah izkažeta regresijska metoda in metod nevronskih mrež, je prikazano na sliki 1 in v tabeli 1. Sipanje pri

nevronskih mrežah je nekoliko manjše, tudi sistematska napaka nagiba oblaka točk je manjša.



Slika1. Sipanje radarske ocene urnih akumulacij padavin za testno množico po a) kalibraciji z linearnim regresijskim modelom, kot je naveden v tekstu in b) po kalibraciji z nevronske mreže z enakim vhodnim vektorjem, kot so prediktorji pri linearnem modelu.

Figure 1. Mean scatter factor for radar precipitation estimate around rain gauge precipitation ($\log^{-1}(\sigma_{R-G})$) for various models. For linear regression models also explained variance R^2 is included.

Tabela 1. Faktor povprečnega sipanja radarske ocene okoli z dežemerom izmerjene vrednosti $\log^{-1}(\sigma_{R-G})$ za posamezne modele. Za linearne regresijske modele z vključenimi dodatnimi parametri je podan tudi delež pojasnje variance R^2 . Table 1. Mean scatter factor for radar precipitation estimate around rain gauge precipitation ($\log^{-1}(\sigma_{R-G})$) for various models. For linear regression models also explained variance R^2 is included.

model, dodatni parameter	$\log^{-1}(\sigma_{R-G})$	R^2
nekalibrirano	2,4	-
linearna regresija, parameter: r	2,2	0,38
linearna regresija, parametra: r, K	2,1	0,43
linearna regresija, parametri: r, K, R/R ₉	2,0	0,47
nevronske mreže z $Z = AR^b$	1,9	-
nevronske mreže brez relacije Z - R	2,0	-

3 SKLEPI

Pokazali smo, da se lahko sipanje radarske ocene urnih akumulacij padavin nekoliko zmanjša z upoštevanjem dodatnih parametrov meritve. Merilo, ki pove kako uspešni smo bili pri vključevanju posameznih parametrov v model, je faktor povprečnega sipanja radarske ocene okoli z dežemerom izmerjene vrednosti $\log^{-1}(\sigma_{R-G})$. Ena od bistvenih omejitev, s katerimi smo se srečali pri našem delu, je vsebina arhiviranih radarskih slik. Razloga sta dva. Slika maksimalnih radarskih odbojnosti je primerna za spremljanje razvoja vremena na omejenem področju, manj pa je primerna za radarsko oceno količine padavin, vsaj ne brez dodatnih informacij. Druga omejitev je število intervalov v katere se vzorci radarska odbojnost. Širina intervala (8 dB) je razlog, da se velik delež informacije izgubi.

Na osnovi naše obdelave lahko zaključimo, da so nevronske mreže za problem statistične korekcije radarske ocene padavin uporabne, potrebno pa je mnogo dela, da bi njihove prednosti dokazali in do konca izkoristili. Menimo, da predstavlja linearni model v vmesnem času zadovoljivo osnovo, na katero se lahko kasneje opremo pri študiju modela nevronske mreže.

LITERATURA

Arhiv HMZ: Arhiv radarskih slik maksimalnih odbojnosti za 1991.

Joss, J. and A. Waldvogel, 1990: Precipitation measurement and hydrology. In: D Atlas (Ed.): *Radar in meteorology*. Boston, Amer. Meteorol. Soc., 577-618.

Divjak, M., 1992: Operational Radar Measurement of precipitation: The Accuracy of Point Estimates of Hourly Accumulations. *Preprints 2nd Conf. on Hyd. Appl. of Weather Radar*, Hannover BRD.

STATISTIČNA NAPOVED TEMPERATURE S KALMAN BUCYJEVIM FILTROM

USE OF KALMAN BUCY FILTER FOR THE STATISTICAL TEMPERATURE FORECASTS

Gregor GREGORIČ^{1*}
(mentor Jože RAKOVEC²)

prispelo 13. julija 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

V delu je opisana uporaba poenostavljenega Kalmanovega filtra za statistično korekcijo modelskih napovedi. Metoda je bila uporabljena na napovedih temperature na višini 2 m z modelom ECMWF. Metoda v povprečju praktično odstrani sistematično napako; rezultati so boljši v točkah, kjer so napovedi zaradi kompleksne okolice (in posledično slabše interpolacije) manj zanesljive.

SUMMARY

The use of Kalman Bucy filtering for adaptive statistical interpretation (correction) of numerical meteorological forecasts is discussed. The method is simplification of Kalman filter equations; identity is used as forecast model and observation operator is introduced through empirical linear relations. The method was applied on ECMWF 2 m temperature forecasts. Results show large reduction of systematic error on one year average. The benefit is larger in points with complex surroundings since horizontal interpolation is worse there.

¹ Gregor Gregorič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, gregor.gregoric@uni-lj.si.

* To temo je naprej razvijala do uporabe Jasna Vehovar: HMZ, Vojkova 1b, SI-1000 Ljubljana, jasna.vehovar@rzs-hm.si.

² Jože Rakovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, joze.rakovec@uni-lj.si

1 UVOD

Numerični modeli so danes daleč najpomembnejše orodje za napovedovanje vremena. Prognostikom omogočajo vpogled v trenutno in v bodoča stanja atmosfere. Še pred nekaj leti je napoved vremena temeljila predvsem na rezultatih globalnega modela, danes so na voljo prognostična polja modelov v mezo- α in mezo- β skali. Šibka točka modelskih sistemov pa ostaja zajemanje (asimilacija) merskih podatkov. Trenutno pri nas potekajo raziskave o možnostih asimilacije podatkov v numerični model, tako da lahko v prihodnosti pričakujemo napredek na tem področju.

Drug način kombinacije merskih in modelskih podatkov predstavljajo statistične metode. Tradicionalni pristop vsebuje npr. multiple regresije, izračunane za posamezne mesece ali letne čase (Cegnar 1987). Na podoben način je mogoče uporabiti tudi Kalmanov filter.

2 KALMANOV FILTER

Kalmanov filter je l. 1960 razvil madžarsko-ameriški statistik R. E. Kalman za potrebe navigacijske kontrole ameriškega vesoljskega programa. Gre za sistem enačb, ki na podlagi prognostičnega modela in preslikave iz modelskega v merski prostor (če je le-ta potrebna, če torej ne merimo neposredno modelskih spremenljivk) omogoča izračun evolucije ocene napake prognostičnih spremenljivk in tudi (ko so dostopne meritve) analizo prognostičnih spremenljivk hkrati z analizo ocen njihovih napak. Enačbe same v tem prispevku niso predstavljene, dostopne so v literaturi (Daley 1991, Likar 1992, Gregorič 1994). Če so prognostične enačbe linearne, je konstrukcija filtra dokaj preprosta. Če pa gre za kompleksen, nelinearen sistem prognostičnih enačb (kakršni so numerični modeli) pa je konstrukcija enačb filtra precej zapletena in računsko zahtevna; terja namreč izdelavo ti. adjungiranega modela. V tem smislu lahko trenutno zelo aktualno področje – štiridimenzionalno variacijsko asimilacijo podatkov – obravnavamo kot del Kalmanovega filtra.

2.1 Uporaba Kalmanovega filtra za statistično napoved

Kalmanov filter za statistično napoved (oziroma, pravilneje, za statistično popravljanje modelskih napovedi) precej poenostavimo (Persson 1990). Namesto prognostičnega modela uporabimo identično preslikavo, saj ne poznamo nobene teoretične ali empirične zveze, ki bi opisovala potek napake numeričnega modela s časom. Namesto meteoroloških spremenljivk kot prognostično spremenljivko y definiramo napako modelske napovedi meteorološke spremenljivke S :

$$y = S_{\text{NAPOVED}} - S_{\text{OPAZOVANJE}}$$

Napako pa napovedujemo s pomočjo empirične linearne zveze:

$$y = x_1 + x_2 S_1 + x_3 S_2 + \dots$$

Prognostične spremenljivke v filtru so torej koeficienti empirične zveze x_1, x_2, \dots, x_n , empirična linearna zveza pa predstavlja okno sistema. S_1 in S_2 sta (poljubni) spremenljivki, ki po pričakovanjih vplivata na napako modelske napovedi spremenljivke S .

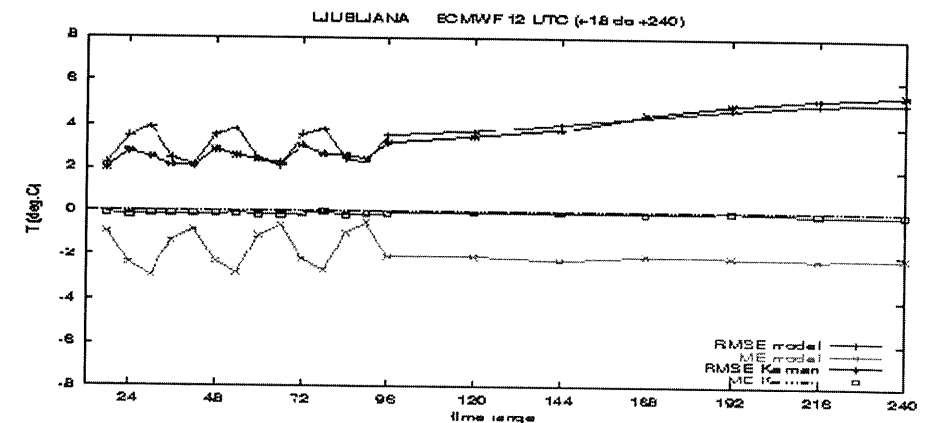
3 STATISTIČNA KOREKCIJA T_{2m} PRI ECMWF MODELU

Za korekcijo napovedi temperature na višini 2m z modelom ECMWF smo se odločili za uporabo dvodimenzionalnega modela napake:

$$y = T_{\text{ECMWF}(2m)} - T_{\text{OPAZOVANJE}} = x_1 + x_2 T_{\text{ECMWF}(2m)}$$

Vpeljava Kalmanovega filtra je pokazala dobre rezultate predvsem tam, kjer so večja odstopanja modelske orografije od dejanske, ter v primerih večje oddaljenosti postaje od modelskih točk. Pomemben dejavnik je tudi fluktuacija višine okoliških točk, iz katerih interpoliramo.

Primerjavo modelskih in s Kalmanovim filtrom popravljenih vrednosti smo naredili za tri postaje: Ljubljano (kotlina), Maribor (ravnina) in Portorož (obala) za leto 1999. Medmrežna razdalja modelskih točk je bila v tem času 1.5×1.5 geografske stopinje. Vrednosti za posamezne postaje so dobljene z interpolacijo iz štirih okoliških točk. Vsem postajam je skupno to, da so povprečne napake (ME) dnevnih temperatur večje od povprečnih napak nočnih temperatur, ter da so vse temperature razen nočnih v Portorožu (dve točki sta na morju!) v povprečju podcenjene.



Slika 1. Potek ME in RMSE za ECMWF napoved T_{2m} ob 12 UTC ter popravljeno modelsko napoved za Ljubljano v letu 1999 za čase napovedi od +18 do +240 ur (Vehovar 2000).
Figure 1. Time evolution of ME and RMSE of ECMWF model and corrected forecast of T_{2m} at 12 UTC for station Ljubljana in 1999 for forecasting time ranges from +18h to +240h (Vehovar 2000).

V poletnem času so modelske napovedi boljše kot v zimskih mesecih, ko nastopajo inverzije (predvsem v kotlinah). Take napake niso sistematične in jih je težko odpraviti, zato precej prispevajo k povečanju napake. Rezultati statistične obdelave so pokazali, da je sistematična napaka z uporabo Kalmanovega filtra v večini odpravljena, prav tako pa je večinoma izboljšana tudi RMSE (koren povprečne kvadratne napake). Izboljšanje je veliko v dnevnih urah (12 UTC, 18 UTC) in manjše v nočnih urah (00 UTC, 06 UTC), ko so modelske napovedi boljše. Dnevni hod napake, ki je zelo očiten pri modelstih statističnih parametroh, je pri Kalmanovih bistveno zmanjšan. Naraščanja napake v prvih treh do štirih dneh napovedi praktično ni opaziti, po četrtem dnevu pa se začne RMSE filtriranih vrednosti približevati modelskemu. RMSE filtriranih podatkov pri Portorožu se za opoldanske

napovedi, kjer so rezultati najboljši, izboljša za 60% v primerjavi z RMSE-jem modelskih podatkov, pri Ljubljani ob istem terminu pa za 40% (slika 1). Najslabše se filter obnese pri Mariboru, ki ima že brez filtra dosti dobre napovedi, saj je blizu mrežne točke in ima majhen razpon višine točk iz katerih interpoliramo.

4 SKLEP

Kalmanov filter je s poenostavitvami mogoče uporabljati tudi za statistično (empirično) popravljanje napovedi numeričnih modelov. S preprostim modelom napake za napoved T_{2m} z modelom ECMWF dosežemo praktično izginotje sistematične napake (slika 1). V povprečju so rezultati torej zelo dobri. Pri uporabi pa je potrebno nekaj pazljivosti, saj ob določenih situacijah (npr. ob spremembi zračne mase v primeru napovedi temperature) filter lahko napoved tudi poslabša. Nadzor prognostika je torej še vedno potreben.

LITERATURA

- Cegnar, T., 1987: *Metoda objektivne prognoze lokalnega vremena v razgibanem reliefu*. Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, 86 str.
- Daley, R., 1991: *Atmospheric data analysis*. Cambridge University Press, str. 377-384
- Gregorič, G., 1994: *Statistična napoved minimalne temperature s Kalman Bucyjevim filtrom*. Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, 56 str.
- Likar, A., 1992: *Osnove fizikalnih merjenj in merilnih sistemov*. DMFA, Ljubljana, str. 13-45
- Persson, A., 1990: *Kalmanfiltering – a new approach to adaptive statistical interpretation of numerical meteorological forecasts*. ECMWF Newsletter
- Vehovar, J., 2000: osebno sporočilo.

DIAGNOZA LEGE FRONTALNIH CON V VERTIKALNIH PRESEKIH TROPOSFERE NAD EVROPO

DIAGNOSYS OF FRONTAL ZONES IN VERTICAL TROPOSPHERIC CROSS-SECTIONS OVER EUROPE

Uroš STRAJNAR¹
(mentor Jože RAKOVEC²)

prispelo 19. oktobra 1999

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Predstavljena je metoda za objektivno analizo vertikalnih presekov atmosfere, ki temelji na hermitski polinomski interpolaciji v vertikalni in horizontalni smeri. Odvode v vertikalni smeri računamo polanalitično z rekurzivnimi izentropskimi relacijami. V delu so predstavljene osnovne izentropske relacije, ki so uporabljene v objektivnih metodah. S študijami primerov je prikazana uporabnost vertikalnih presekov osnovnih meteoroloških spremenljivk ter izračunanih polj stabilnosti, potencialne vrtničnosti in Richardsonovega števila za diagnozo lege frontalne cone.

SUMMARY

An objective cross-section analysis scheme based upon Hermite interpolation polynomials in horizontal and vertical direction is presented. Semi analytic recursive isentropic relations are used for calculation of vertical derivatives. Case studies suggest the usefulness of vertical cross-sections of basic meteorological variables and derived fields of stability, potential vorticity and Richardson number for frontal zone location diagnosis.

1 OBJEKTIVNA INTERPOLACIJSKA METODA

Interpolacijska funkcija mora zadoščati naslednjim kriterijem:

- mora biti zvezna, zvezni morajo biti tudi prvi odvodi,
- predstavljati mora s sondažo izmerjeno strukturo atmosfere,

¹ Uroš Strajnar, Hidrometeorološki zavod R Slovenije, Vojkova 1b, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, uros.strajnar@rzs-hm.si

² Jože Rakovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, joze.rakovec@uni-lj.si

- valovno strukturo v interpolaciji omejimo na polovico cikla oddaljenosti med sosednjima postajama.

Tem zahtevam zadošča hermitska polinomska interpolacijska metoda. Predstavljena metoda za interpolacijo v horizontalni in vertikalni smeri (Glasnović, 1983) temelji na izpopolnitvi metode Shapira in Hastingsa (1973), ki sta uporabila interpolacijski polinom tretje stopnje (metoda uporabna le v horizontalni smeri).

Interpolacijski polinom napišemo splošno:

$$y_i(x) = \sum_{k=0}^n c_k x^k$$

njegov odvod pa:

$$y_n^{(m)}(x) = m! \sum_{k=m}^n \binom{k}{m} x^{k-m} a_k$$

kjer indeks n označuje stopnjo polinoma, indeks m pa stopnjo odvoda. Prednost uporabljene metode je, da analitično izrazimo odvode funkcije. Hermitska interpolacijska metoda je definirana s sistemom enačb, ki vključuje pare polinomov poljubne stopnje n in njihove odvode stopnje m . Polinome tvorimo v končnih točkah interpolacijskega intervala tako, da sta prva dva koeficienta polinoma izračunana iz gornje enačbe za odvod za $m = 0$, vsi ostali pari enačb so odvodi izračunani za poljuben m .

V delu uporabljena interpolacijska metoda v vertikalni smeri vsebuje polinome pete stopnje. Interpoliramo preko nekega intervala, na katerega mejah z_A in z_B poznamo vrednosti količine, ki jo želimo interpolirati npr. $y_A = y(z_A)$ in $y_B = y(z_B)$. Poleg tega v sistemu enačb nastopajo samo odvodi sode stopnje. Taka sprememba omogoča več možnosti za formacijo simetričnih matrik pri reševanju osnovnega sistema algebrskih enačb. Sistem enačb za $n=5$ sestavlja šest enačb s šestimi neznankami v obliki:

$$\begin{aligned} y_A(z) &= \sum_{k=0}^5 \binom{k}{0} z_A^k a_k & y_A^{(2)}(z) &= 2! \sum_{k=2}^5 \binom{k}{2} z_A^{k-2} a_k & y_A^{(4)}(z) &= 4! \sum_{k=4}^5 \binom{k}{4} z_A^{k-4} a_k \\ y_B(z) &= \sum_{k=0}^5 \binom{k}{0} z_B^k a_k & y_B^{(2)}(z) &= 2! \sum_{k=2}^5 \binom{k}{2} z_B^{k-2} a_k & y_B^{(4)}(z) &= 4! \sum_{k=4}^5 \binom{k}{4} z_B^{k-4} a_k \end{aligned}$$

Odvode računamo s pomočjo analitičnih izentropskih relacij, dobljenih z uporabo plinske in hidrostatične enačbe.

Interpolacijske polinome v horizontalni smeri ali v časovnem prostoru tvorimo vzdolž izentropskih ploskev na podoben način.

2 REZULTATI IN SKLEPI

Primerjava izbrane metode z metodo minimalnih kvadratov (program SURFER, Golden software) je pokazala, da metoda hermitske izentropske interpolacije bolje opiše vertikalne profile atmosfere, saj so sama polja in dobljeni gradienti polj bolj realistični.

Na podlagi več študij primerov vertikalnih presekov in uporabe različnih meteoroloških parametrov za določevanje frontalne cone na vertikalnih presekih, je v delu ugotovljeno, da so najbolj primerne količine za diagnozo lege frontalne cone Richardsonovo število ter potencialna in ekvivalentpotencialna temperatura. Osnovna omejitev uporabe vertikalnih presekov atmosfere je relativno majhno število postaj z vertikalnimi sondažami ozračja.

LITERATURA

- Shapiro, M. A., Hastings, J.T., 1973, Objective Cross-Section Analyses by Hermite Polynomial Interpolation on Isentropic Surfaces, *J. Appl. Meteor.*, **12**, 753-762
 Glasnović, D., 1983, *Diagnostički izentropski model za istraživanje vertikalne strukture atmosfere*, RSHMZ SRH, Zagreb, 33 str.

NUMERIČNA SIMULACIJA NASTANKA IN RAZKROJA JEZER HLADNEGA ZRAKA

NUMERICAL SIMULATION OF FORMATION AND OF DISSIPATION OD COLD-AIR POOLS

Andrej HRABAR¹
(mentor Jože RAKOVEC²)

prispelo 5. avgusta 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Modelsko preučevanje dogajanj ob razkroju jezer hladnega zraka ni možno drugače, kot s pomočjo numeričnega meteorološkega modela. Analitična rešitev za časovno napoved razkroja jezer hladnega zraka, ob poznavanju velikosti dnevnega hoda sončnega obsevanja, je možna samo za termični razkroj. Dinamična dogajanja ob razkroju jezer hladnega zraka pa so preveč zapletena, da bi bila časovna napoved razkroja analitično napovedljiva. Rezultati kažejo, da od hidrostatičnega mezometeorološkega modela z vključenim realnim reliefom lahko pričakujemo dovolj dobre časovne napovedi za dinamični razkroj jezer hladnega zraka.

SUMMARY

The comprehensive examination of events during the dissipation of cold air lakes in basins is not possible in any other way but with the assistance of numerical meteorological computer model. The analytical solution for the dissipation of cold air lakes in basins as a function of time, taking into consideration the duration of daily sun irradiation, is possible for the thermic dissipation only. The dynamic sequences at cold air lakes in basins dissipation are too complicated to allow dissipation's analytical solutions as a function of time. The results indicate that relatively good time-forecasts can be expected for the dynamic dissipation of cold air lakes in basins from the hydrostatic meso-meteorological model with inbuilt actual relief.

¹ Andrej Hrabar, Hidrometeorološki zavod R. Slovenije, Služba letalske meteorologije, Vojkova 1b, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, andrej.hrabar@rzs-hm.si

² Jože Rakovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Odelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, joze.rakovec@uni-lj.si

1 NASTANEK JEZER HLADNEGA ZRAKA

Glavni vzrok za nastanek jezer hladnega zraka v dolinah je dolgovalovno ohlajanje tal ponoči. Ker se tla ponoči ohlajajo hitreje kot zrak v prosti atmosferi (Whiteman 1990), se tudi zrak, ki je v neposrednem stiku s tlemi, ohlaja hitreje kot zrak v prosti atmosferi. Hladnejši zrak ima večjo gostoto kot toplejši zrak, zato sila vzgona potiska zrak proti dnu doline (Petkovšek in Hočevnar 1971). Zrak se začne stekati proti dnu doline, zaradi česar nastanejo konvergenčne cone, ob katerih se zrak dviga in s tem adiabatno ohlaja. Tako dobimo pri tleh plast zraka, ki je hladnejša od zraka nad njo, torej nastane jezero hladnega zraka (Vrhovec 1991a). Plast s temperaturno inverzijo še dodatno okrepi subsidenca zraka v primeru anticiklonalnega vremena in pa možna topla advekcija v višinah.

2 OBRAVNAVA RAZKROJA JEZER HLADNEGA ZRAKA

Do razkroja jezer hladnega zraka pride ločeno zaradi dveh vzrokov. Prvi vzrok je termični razkroj, drugi pa dinamični razkroj jezer hladnega zraka. Pri dinamičnem razkroju nastopata dva procesa, prvi je razkroj z advekcijo hladnejšega zraka, drugi pa je razkroj z mešanjem od zgoraj. V naravi pogosto sodelujejo termični in eden ali celo oba dinamična procesa skupaj.

Do termičnega razkroj jezer hladnega zraka pride zaradi dotoka energije ob sončnem obsevanju, ki povzroči segrevanje tal, tla nato prenašajo toploto v zrak s sevanjem, kondukcijo in turbulentnim prenosom zaznavne oz. latentne toplote. Prava kondukcija je omejena samo na nekaj milimetrov debelo prizemno plast. Segrevanje zraka zaradi sevanja tal je pri jasnem nebu zanemarljivo majhno (Arya 1988). V višje plasti zraka se toplota prenaša s turbulentnim prenosom zaznavne oz. latentne toplote. Za termični razkroj 200 m globokega jezera hladnega zraka s 5 °C hladnejšim zrakom je potrebno približno 280 Wh/m² toplotne energije. Količnik pretvorbe energije sončnega obsevanja v energijo za ogrevanje tal je odvisen od vrste, sestave tal in naklona terena. V povprečju je ta količnik reda velikosti 0.2 (Hočevnar in Petkovšek 1988). V zimskih mesecih energija sončnega obsevanja ne zadošča za razkroj tipičnega jezera hladnega zraka.

Za dinamični razkroj z advekcijo hladnejšega zraka mora dotekati nad jezero hladnega zraka še hladnejši zrak. Pri tem se začne advektirani zrak mešati z zrakom v jezeru hladnega zraka. Do dinamičnega razkroja jezer hladnega zraka pride zaradi turbulentnega mešanja zgornjih plasti zraka z zrakom v jezeru hladnega zraka. Turbulenca nastane kot posledica trenja zraka ob hrapavo podlago v okolici doline, v kateri se zadržuje jezero hladnega zraka. K turbulentni največ prispeva podlaga na privetni strani, zato se pri isti velikosti hitrosti vetra lahko pojavijo različno močne turbulence, ker veter ne piha vedno iz iste smeri (Petkovšek 1992). Zaradi zelo stabilne stratifikacije predstavlja inverzija ponor turbulence, tako da mora prevladati produkcija turbulence nad ponorom.

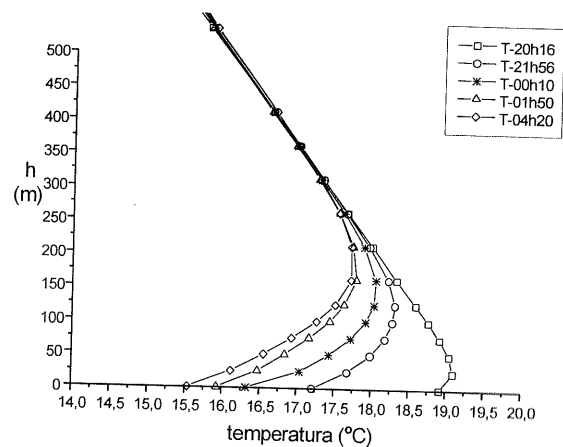
3 REZULTATI RAČUNALNIŠKIH SIMULACIJ NASTANKA IN RAZKROJA JEZER HLADNEGA ZRAKA

Za modeliran nastanek in razkroj jezer hladnega zraka je bil uporabljen hidrostatičen tridimenzionalni mezometeorološki numerični model APIKA (Vrhovec 1991b). V modelu se krajevni odvodi računajo s pomočjo sheme s privetrnimi razlikami, za časovno integracijo pa uporablja Heunovo časovno shemo. Model zajema prostor velikosti 10x20 točk po horizontali, z medtočkovno razdaljo 1000 m, ter atmosfero do višine 2200 m s sedemnajstimi računskimi nivoji, ki niso ekvidistantni. Poleg tega model zajema še 12 nivojev v tleh.

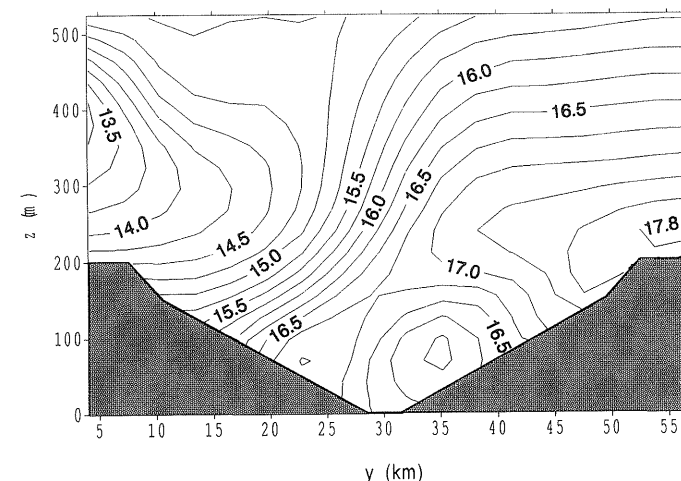
Slika 1 prikazuje modeliran nastanek temperature inverzije v kotlini. Temperature inverzija je globoka približno 250 m.

Za termičen razkroj jezera hladnega zraka pozimi ni dovolj sončne energije. Do dinamičnega razkroja pa pride zaradi advekcije še hladnejšega zraka, ki izpodrine zrak na dnu kotline (slika 2).

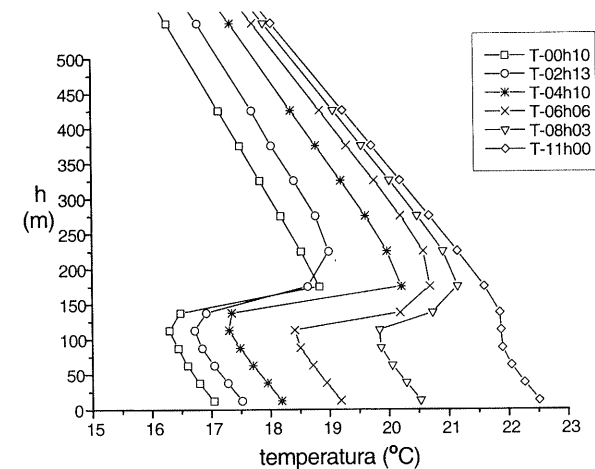
Druga možnost dinamičnega razkroja je vertikalno mešanje turbulentnega zraka. Pri dovolj turbulentnem vetru se premeša zrak do dna kotline. Zaradi turbulentnega mešanja od zgoraj, se temperature inverzija začasno še okrepi, preden se zrak ne premeša do dna kotline (slika 3).



Slika 1. Modeliran časovni potek nastanka inverzne plasti na dan 19.07. Oblačnost je 2/8.
Figure 1. Modelled time evolution of temperature inversion development according on 19th July, Cloudiness is 2 octas.



Slika 2. Razporeditev temperature v vertikalnem preseku pri $x=13.5$ km, ob času 2h 49min po začetku dovajanja hladnega zraka. Hladnejši zrak prodira z leve proti desni.
Figure 2. Vertical cross-section at $x=13.5$ km of temperature field 2h 49 min after the start of the cold air advection. Cold air is advancing from the left.



Slika 3. Modelirani časovni potek razkroja temperature inverzije na sredini kotline ob turbulentnem mešanju.
Figure 3. Modelled time evolution of the temperature inversion dissipation due to turbulent mixing in the center of the basin.

4 SKLEP

Prava vrednost numeričnih modelov v meteorologiji je, da v operativno uporabnem času dobimo čimbolj zanesljive napovedi dogajanj v atmosferi. Model APIKA pri uporabi na običajnih računalnikih (npr. PC-586 ali delovna postaja) nima teh lastnosti in je uporaben samo za preučevanje mezometeoroloških dogajanj, ne pa za dajanje operativno uporabnih napovedi.

Rezultati modela kažejo, da je model uporaben za preučevanje dogajanj ob dinamičnem razkroju JHZ, za termičen razkroj JHZ pri tako gosti računski mreži, pa bi bil potreben nehidrostatičen model. Termični razkroj JHZ ni tako problematičen, saj se ga da dobro opisati s precej enostavnimi enačbami. Pri dinamičnem razkroju JHZ sodeluje preveč procesov, da bi bil problem enostavno rešljiv brez uporabe modela. Rezultate modela pri dinamičnem razkroju JHZ bi bilo potrebno podrobneje preveriti še z dejanskimi meritvami v naravi.

Z vpeljavo sondažnih meritev v prognozo, bi se splačalo model predelati in čimbolj optimizirati, ter ga tako poskušati preurediti za operativno uporabo.

S semi-empiričnimi enodimenzionalnimi modeli ne moremo v celoti zajeti dogajanj ob razkroju JHZ, saj se po pripovedovanju prognostikov dogajanja ob dinamičnem razkroju JHZ bistveno razlikujejo glede na smer vetra. Torej ima veliko vlogo tudi oblika reliefa, ki v enodimenzionalnih modelih ni vključena. Rezultati modela APIKA kažejo, da na razkroj JHZ vplivajo tudi vzporedna dogajanja v samem JHZ, ki jih enodimenzionalni modeli zanemarjajo.

Kot kažejo rezultati modela so nekatere ocene o približni potrebni hitrosti vetra za razkroj JHZ kar dobre, seveda pa je treba spet poudariti, da je potrebno, zaradi oblike reliefa, pri teh ocenah upoštevati tudi smer vetra.

Dinamična dogajanja za nasičeno vlažna ali nenasičeno vlažna JHZ so popolnoma enaka, tako da bi lahko bil tudi predelani in optimizirani model APIKA z vključitvijo realnega reliefa, operativno uporaben za napovedovanje razkroja megle v kotlinah. Kako velik problem predstavljajo nasičeno vlažne temperaturne inverzije, pa vedo najboljše prognostiki na letališčih.

LITERATURA

- Arya, S. P., 1988: *Introduction to micrometeorology*. Academic press, INC, San Diego, 305 pp.
- Petkovšek, Z., 1992: Turbulent dissipation of cold air lake in a basin. *Meteorol. Atmosph. Phys.* **47**, 237-245
- Petkovšek, Z., 1971: Night drainage winds, *Arch. Met. Geoph. Biokl., ser. A*, **20**, 353-360
- Vrhovec, T., 1991: *Mezometeorološki model vetrovnih in temperaturnih polj v razgibanem reliefu. Disertacija*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, FNT, Oddelek za fiziko 103 str.
- Vrhovec, T., 1991: A cold air lake formation in a basin-a simulation with a mesoscale numerical model. *Meteorol. Atmosph. Phys.* **46**, 91-99
- Whiteman, C.D., 1990: Observations of thermally developed wind systems in mountainous terrain. In: Blumen, W. (ed.), *Atmospheric processes over complex terrain. Meteor. Monogr.* **45**, Boston: Amer. Meteor. Soc., pp.5-42.

VODNA BILANCA TAL V SLOVENIJI IN V BLIŽNJI OKOLICI V ZADNJEM STOLETJU

SOIL-WATER BALLANCE IN SLOVENIA AND ITS NEIGHBOURHOOD IN LAST CENTURY

Sandra TURK¹

(mentorica Lučka KAJFEŽ-BOGATAJ², somentor Jože RAKOVEC³)

pripravil somentor³ 22. avgusta 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

V diplomski so predstavljeni izračuni členov vodne bilance tal (potencialna evapotranspiracija, primanjkljaji in viški vode) po Thornthwaitovi metodi za dva tipa tal z vodnoretencijsko kapaciteto 60 in 100 mm za osem klimatsko različnih krajev: Celje (1896-1994), Kočevje (1872-1994), Ljubljana (1851-1994), Maribor (1901-1994), Novo mesto (1862-1994), Dunaj-Wien (1845-1992), Trst-Trieste (1851-1990) in Zagreb (1862-1994). Podane so opisne statistike za mesečne vrednosti in za letne vsote. S preprostim scenarijem IPCC, ki predvideva porast temperature za 2 °C in zmanjšanje padavin za 10 % v mesečni skali, smo skušali oceniti velikosti členov vodne bilance tal v bodočnosti. Izkazalo se je, da bi se letna potencialna evapotranspiracija v povprečju povečala za 10 %, povečali bi se primanjkljaji vode in zmanjšalo bi se število let brez primanjkljajev.

SUMMARY

The calculations of water balance components (potential evapotranspiration, water surpluses and deficits) according to Thornthwaite's method for two soils with moisture storage capacity of 60 and 100 mm for eight different locations: Celje (1896-1994), Kočevje (1872-1994), Ljubljana (1851-1994), Maribor (1901-1994), Novo mesto (1862-1994), Vienna (1845-1992), Trieste (1851-1990) and Zagreb (1862-1994) are presented. IPCC scenario that includes warming of 2 °C accompanied with 10 % decrease of precipitation amount was used to assess the water balance components values in the future. According to the calculations, the annual sum of potential evapotranspiration will be increasing in average by 10 % under the supposed scenario conditions, and resulting in water deficits.

¹ Sandra Turk

² Lučka Kajfež-Bogataj, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Agronimski oddelek, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, lucka.kajfez.bogataj@bf.uni-lj.si

³ Jože Rakovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Odeleke za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, joze.rakovec@uni-lj.si

1 UVOD

Na podlagi meritev vemo, kako se padavine spreminjajo od kraja do kraja, kakšen je njihov letni potek in kako se spreminjajo iz leta v leto. Nasprotno pa še ni izdelan tako izpopolnjen instrument, ki bi v celoti meril transport vode iz zemlje v atmosfero. Posledica tega je slabo poznavanje časovne in krajevne porazdelitve evapotranspiracije. Danes se v klimatologiji uporabljajo veliko različnih metod za izračun vodne bilance tal in njenih parametrov (evapotranspiracija, padavine, odtoki, spremembe v zalogi vode v tleh).

Vemo, da le majhna klimatska nihanja lahko povzročijo velike probleme pri oskrbi z vodo v številnih področjih, še posebno v aridnih in semiaridnih. Kakšna bo prihodnost, če se bo učinek tople grede povečal? Bi porast temperature ozračja vplivala na vodno bilanco tal? V nalogi smo z razmeroma preprostimi metodami želi predvideti, kako bi lahko klimatske spremembe vplivale na vodno bilanco pri nas in v bližnji okolici.

2 METODA IN DELOVNA HIPOTEZA

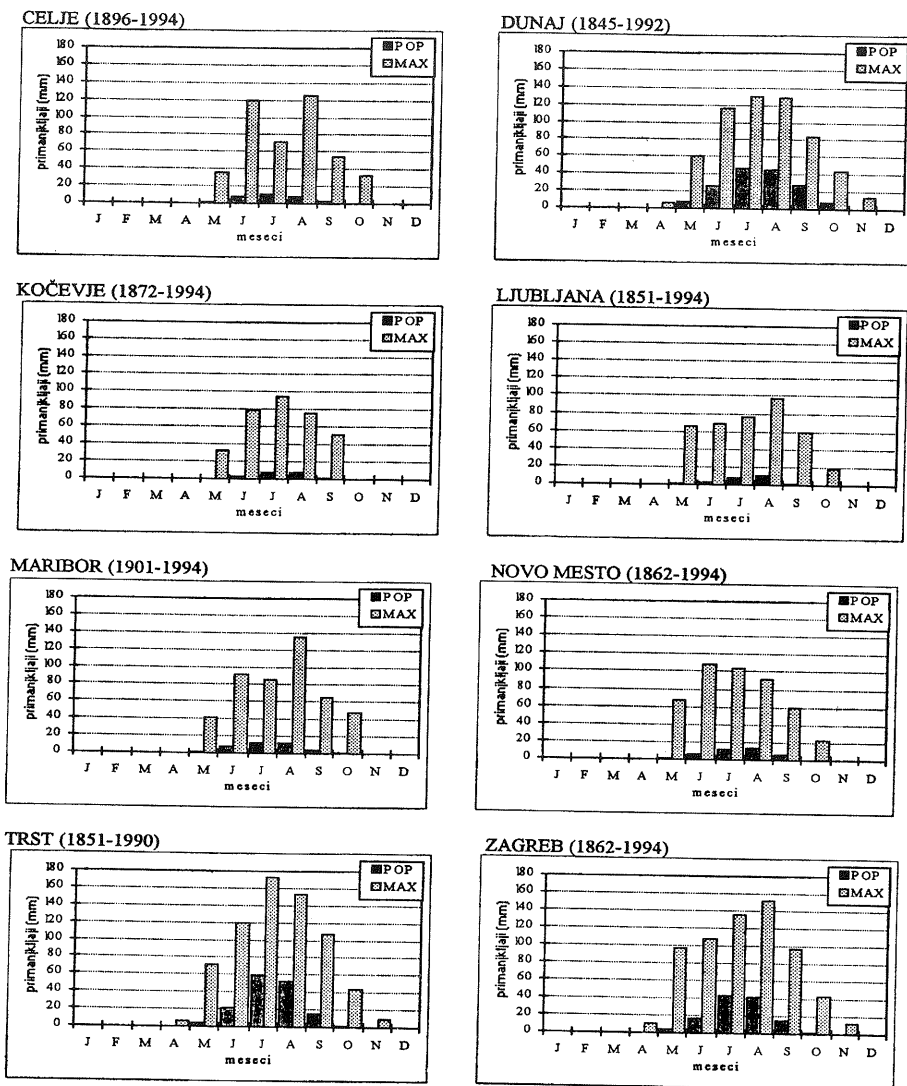
Za izračun evapotranspiracije in primanjkljajev vode v tleh smo uporabili Thornthwaitovo (1948, povzeto po Hočevar 1971) metodo. Pri naši obdelavi smo za vse izbrane postaje obravnavali evapotranspiracijo le kot funkcijo meteoroloških elementov. Ob tem smo predpostavili, da so tla travna ruša na podobnih tleh. Obravnavali smo dva tipa tal z vodnoretencijsko kapaciteto 60 in 100 mm, ki sta v Sloveniji dokaj pogosta. Želeli smo preučiti čim daljše časovne vrste obeh parametrov, zato smo si v Sloveniji izbrali pet krajev, ki zajemajo daljše časovne nize, po možnosti daljše od stotih let. Primerjalno smo poleg Slovenije zajeli še tri lokacije izven meja Slovenije, in sicer Dunaj, Zagreb in Trst (Arhiv HMZ). Trst je še posebno zanimiv, saj je edina obmorska postaja. Poleg prostorske primerjave smo naredili še časovno primerjavo med klimatološkimi obdobji.

Z uporabo scenarija, ki predvideva porast temperature za 2 °C in zmanjšanje padavin za 10 % v mesečni skali (Houghton 1991), smo ocenili vpliv klimatskih sprememb na evapotranspiracijo in primanjkljaje vode v tleh. Prikazali smo osnovne karakteristike za letne vsote posameznih parametrov in posebej za mesečne vrednosti za celotno opazovano obdobje. Časovne spremembe parametrov smo podali z linearnimi trendi. Za vnaprej bomo ocenili, kakov velike poraste evapotranspiracije in primanjkljajev vode v tleh lahko pričakujemo kot posledico tako privzetih klimatskih sprememb. Porast obeh parametrov bi moral biti zaradi segrevanja ozračja občutnejši v zadnjem klimatološkem obdobju od leta 1961 do leta 1990.

3 DISKUSIJA

3.1 Primerjava med kraji

Iz parametrov vodne bilance tal, npr. iz potencialne evapotranspiracije (PET) ali iz mesečnih primanjkljajev vode v tleh (grafično so prikazani na sliki 1), se pokažejo nekatere značilnosti obravnavanih krajev.



Slika 1. Mesečni primanjkljaji vode v tleh z vodnoretencijsko kapaciteto 60 mm za obravnavane kraje. (POP povprečje, MAX največje vrdnosti)
Figure 1. Monthly soil-water deficits for soils with 60 mm retention capacity for different places. (POP maximum values, MAX maximum values)

Za vse kraje velja podoben letni hod potencialne evapotranspiracije (PET). Najmanjše vrednosti PET so v zimskih mesecih, nato vrednosti naraščajo, julija so največje, nato pa se začnejo spet zmanjševati. Najmanjšo povprečno vrednost letnih vsot PET ima Kočevje (610 mm), ki ima tudi nižjo povprečno letno temperaturo zraka. Skladno z največjo povprečno letno temperaturo zraka je največja povprečna vrednost letnih vsot PET v Trstu (795 mm). Z izjemo Kočevja je za kraje v Sloveniji povprečna vrednost letnih vsot PET skoraj enaka (med 644 in 647 mm). Dunaj je po temperaturah zraka podoben krajem v Sloveniji, zato so primerljive tudi vrednosti PET. Zagreb ima nekoliko višje temperature zraka kot so v Sloveniji (za okoli 2 °C), zato so tudi vrednosti PET večje (711 mm).

Primanjkljaji vode v tleh (slika 1) se glede na temperature zraka in padavinski režim pojavljajo predvsem v poletnih mesecih. Primerjava med kraji v Sloveniji in ostalimi kraji pokaže, da se primanjkljaji pri nas pojavljajo razmeroma redko, saj je več kot polovica let iz opazovanega obdobja brez primanjkljajev, pa tudi velikosti primanjkljajev so veliko manjše kot na Dunaju, v Trstu in v Zagrebu. Povprečne letne vsote primanjkljajev za tla z vodnoretencijsko kapaciteto 60 mm so pri nas med 20 in 40 mm (primanjkljaji so od maja do septembra), na Dunaju, v Trstu in v Zagrebu pa med 124 in 164 mm (primanjkljaji so od aprila do oktobra). Največji primanjkljaje smo izračunali za Dunaj: povprečna letna vsota primanjkljajev je 164 mm za tla z vodnoretencijsko kapaciteto 60 mm (čeprav so tu temperature zraka nižje kot npr. v Trstu). Vzrok tako velikih primanjkljajev na Dunaju ni temperatura, temveč majhna količina padavin v poletnih mesecih. Za primanjkljaje vode v tleh so pomembnejša od letne količine padavin, količina padavin v poletnih mesecih.

Pregled viškov vode v tleh pokaže ravno obratno razporeditev krajev kot pregled primanjkljajev. Najmanj viškov vode v tleh je na Dunaju, sledita Zagreb in Trst. V slovenskih krajih so viški veliko večji. Največ viškov je glede na temperature zraka in količino padavin v jesensko-zimskih mesecih, v poletnih mesecih so viški manjši ali pa jih sploh ni.

3.2 Primerjava med leti

Pregled temperature zraka v posameznih klimatoloških obdobjih ne pokaže enotne slike za vse kraje. Za Dunaj, Ljubljano, Maribor in Trst je najtoplejše tridesetletno obdobje v letih 1961- 1990, medtem ko je za Celje in Novo mesto to obdobje najhladnejše.

Analiza trenda temperature zraka je pokazala, da se v vseh krajih, razen v Celju, pojavlja pozitiven trend povprečne letne temperature zraka. K zvišanju letnih temperatur zraka največ prispeva zvišanje zimskih temperatur zraka. Največji trend temperature zraka je v Mariboru (za 1 °C/100 let), najmanjši pa v Trstu (za 0.2 °C/100 let), kjer morje upočasnjuje vplive segrevanja ozračja.

Dunaj, Kočevje in Novo mesto imajo pozitiven linearni trend letne količine padavin. Ostali kraji imajo negativne trende letne količine padavin, najbolj pa se je količina padavin zmanjšala v Trstu. V poletnih mesecih se je količina padavin povečala v Ljubljani in v Novem mestu.

4 SKLEP

Iz trendov temperatur in padavin izračunani trendi potencialne evapotranspiracije in zaloge vode v tleh po Thornthwaitovi metodi kažejo naslednje zaničilnosti:

- Trendi potencialne evapotranspiracije so po krajih neenotni: v Celju negativen (.17 mm/100 let), tudi v Kočevju in Trstu rahel negativni trend (zaradi negativnega trenda temperature). V drugih krajih so trendi pozitivni.

- Trendi izračunanih primanjkljajev vode v tleh so negativni kar v petih od obravnavanih krajev. Torej naj bi bili (računski) primanjkljaji vode v tleh v teh krajih v začetku prejšnjega stoletja hujši, kot so danes. Na Dunaju, v Mariboru in v Trstu pa so se (predvsem zaradi negativnega trenda količine padavin) računski primanjkljaji povečevali.

LITERATURA

- Arhiv HMZ: *Podatki o mesečnih temperaturah in padavinah za obdobje od cca 1850 do 1995*. Thornthwait, 1948, povzeto po: A. Hočevar, 1971: *Agrometeorologija*. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 193 str.
- Houghton, J. T., Jenkins, G. J. and Ephraums, J. J. (Eds), 1990: *Scientific Assessment of Climate change – Report of Working Group I*, Cambridge University Press, UK.

VSTOPANJE OKOLIŠNJEGA ZRAKA V KUMULUSNI OBLAK

ENTRAINMENT INTO A CUMMULUS CLOUD

Mojca DOLINAR¹
(mentor Jože RAKOVEC²)

prispelo 12. novembra 1999

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Z enodimenzionalni modelom mešanja zraka na robu oblaka (Paluch 1979) so preučevani primeri oblakov, katerih lastnosti so merili z letalom nad Furlanijo in nad Gradcem v Avstriji. Oblačni zrak, oslavljen z okolišnjim zrakom iz določenega nivoja, lahko prodre do nekaj kilometrov nižjega nivoja merjenja v razumnem času. Vertikalne hitrosti, izračunane s tem modelom, so bile običajno večje kot izmerjene vertikalne hitrosti.

SUMMARY

Cloud air and clear air measurements are analysed to determine the mode of entrainment in cumulus congestus clouds. The data were collected in 15 cloud towers sampled above Graz and Friuli in August and September 1994. The Paluch method, which is based on a comparison of the total water mixing ratio and wet equivalent potential temperature in the cloudy air and nearby environment, was used to identify the origin of the in-cloud air at the observation level. The analysis shows that in most examined clouds one edge of the cloud is diluted with environmental air, that originates from the level several kilometres above the level of observation. The other edge of the cloud is more diluted and cloudy air originates from several different levels above the observation level. The mixed regions are typically found in downdrafts and in weaker updraft regions. Values of total water mixing ratio shows that most of examined clouds have undiluted adiabatic cores, while values of cloud air wet equivalent potential temperature shows quite the opposite. This situation could be the consequence of different causes. The total water mixing ratio could be increased due to precipitation particles from higher levels of the cloud, which separated while falling down to the observation level. Low wet equivalent potential temperature in the cloud core in comparison with that at the cloud base could be the consequence of poorly predicted cloud base properties. Wetting of Rosemount temperature sensor in the cloud core could be

¹ Mojca Dolinar, Hidrometeorološki zavod R Slovenije, Vojkova 1 b, 1000 Ljubljana, Slovenija, mojca.dolinar@rzs-hm.si

² Jože Rakovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, joze.rakovec@uni-lj.si

another reason for low measured wet equivalent potential temperatures in cloud core. Separately, the mass flux method is used to determine the presence of undiluted cloud cores. Regions with adiabatic total water mixing ratio are tending to be in the faster upward moving interior of the cloud. The analysis shows that examined clouds have undiluted adiabatic regions.

1 UVOD

Mehanizem mešanja okolišnjega zraka je kompleksen in zaenkrat še slabo poznan. V zadnjih dveh desetletjih so znanstveniki razvili dovolj zanesljive instrumente za merjenje fizikalnih količin v oblakih. Na podlagi teh in predhodnih meritev so nastale različne teorije, ki razlagajo mehanizem mešanja okolišnjega zraka v oblak (Prupacher in Klett 1978, Rauter in Yau 1987, Rogers in Yau 1989). Glavna dilema je glede nivojev vstopanja zraka v oblak. Nekateri zagovarjajo mešanje oblačnega z okolišnjim zrakom samo na vrhu oblaka, medtem ko drugi dopuščajo možnost vstopanja tudi pri straneh oblaka.

S pomočjo meritev, narejenih v kumulusnih oblakih nad Gradcem in Furlanijo, poizkušamo ugotoviti mehanizem mešanja okolišnjega zraka v merjene oblake. Pri mešanju oblačnega zraka s suhim in ponavadi hladnejšim zrakom se oblačni zrak ohladi in del kapljic izhlapi, da se vzpostavi nasičena vlažnost. Z merjenjem vodnosti in temperature tako lahko posredno ugotovimo, koliko zraka iz okolice je primešano v oblak. Z merjenjem vertikalnih hitrosti dobimo dodatno informacijo o slabitvi oblaka, saj mešanje zavira vzgornik.

2 METODE ANALIZE MERITEV

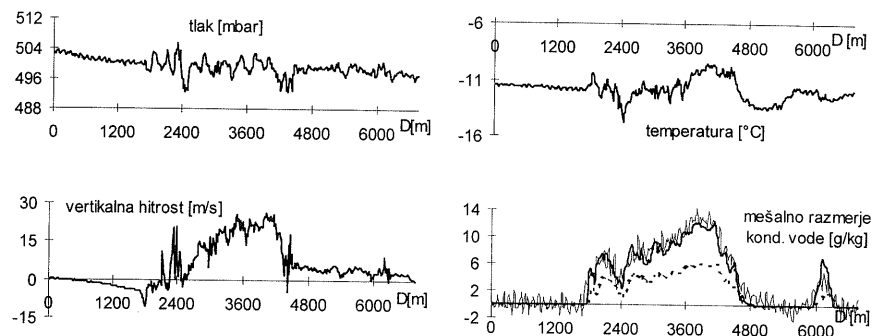
Za analizo meritev sem uporabila Paluchino metodo, ki s pomočjo dveh parametrov, ki se ohranjata pri adiabatnem dviganju, ugotovi izvor zraka v oblaku. Ta dva parametra sta mešalno razmerje vse vode v zraku (W_i) in nasičena ekvivalentna potencialna temperatura (θ_e). Nasičena ekvivalentna potencialna temperatura (θ_e) je količina, ki se ohranja vzdolž nasičene reverzibilne adiabate. Pri adiabatnem dviganju in spuščanju zraka se opisana parametra ohranjata, pri mešanju dveh različnih zračnih mas pa se seštevata linearno.

S pomočjo vertikalnega toka mase lahko analiziramo, kolikšen delež oblaka je adiabatan. Poiščemo relativno in kumulativno frekvenčno porazdelitev vertikalnega toka mase zraka (delež od celotnega vertikalnega toka mase v oblaku na višini merjenja) v odvisnosti od mešalnega razmerja vse vode (W_i). Mešalno razmerje vse vode izrazimo kot delež adiabatnega mešalnega razmerja vse vode (W_i^{AD}).

3 REZULTATI

Za raziskavo so uporabljene meritve temperature (T), tlaka (p), vertikalne hitrosti (w) in meritve mešalnega razmerja tekoče (kondenzirane) vode oblačnega zraka (W_i) z metodo CSIRO-King ter metodama evaporacije in potencialne temperature. Meritve so se izvajale vsake 0.1 s in pri hitrosti letala 150 m/s je to pomenilo na vsakih 15 m v horizontalnem profilu oblaka. Opazovanje oblakov z letalom so bila izvršena poleti 1994. Primer meritev za oblak nad Gradcem (2.8.1994) je na sliki 1.

Analiza kaže, da so robovi v vseh oblakih oslavljeni zaradi mešanja z okolišnjim zrakom. Na enem robu je bil oblačni zrak v večini oblakov mešanica okolišnjega zraka iz dveh diskretnih nivojev. Del zraka iz oblačne mešanice je izviral izpod baze oblaka, medtem ko je drugi del izviral iz nivoja nad nivojem merjenja. Zrak, ki izvira pod bazo, je primarni oblačni zrak. To pomeni, da se konvekcija za nobenega od merjenih oblakov ni začela pri tleh, ampak s stekanjem zraka nekje višje v atmosferi. Iz zadnjega višjega nivoja je okolišnji zrak lahko vdrl v oblak, ko je vrh oblaka prodiral skozi ta nivo, ali pa kasneje skozi stranske robove oblaka. Na teh robovih so bile izmerjene vertikalne hitrosti manjše kot tiste iz jedra, vendar niso bile vedno negativne. En rob oblaka je bil običajno bolj oslavljen. Oblačni zrak iz tega roba je bil mešanica okolišnjega zraka iz več različnih nivojev. Izmerjene vertikalne hitrosti so na teh robovih dosegale največje negativne vrednosti in tudi pasovi z izmerjeno negativno vertikalno hitrostjo so bili širši. Ker se je močno oslavljen zrak na robu oblaka pojavil pri večini merjenih oblakov, lahko sklepamo, da na mešanje okolišnjega zraka v oblak vpliva nek zunanji dejavnik. Tak dejavnik bi bil lahko splošen veter v atmosferi, ki povzroči, da se okolišnji zrak na privetnem robu zajeda v oblak in tako pospešuje mešanje okolišnjega zraka v oblak. Seveda bi bilo to potrebno podrobneje raziskati in potrditi z ustreznimi meritvami.



Slika 1. Grafičen prikaz meritev za oblak nad Gradcem 2.8.1994
Figure 1. Measurements of cloud parameters in cloud above Graz on the 2nd August 1994

4 SKLEP

Meritve temperature zraka v oblaku, mešalnega razmerja vse vode in vertikalnih hitrosti v oblaku so dale konsistentno sliko strukture oblakov. Meritve vertikalne hitrosti so bile tipično korelirane z meritvami mešalnega razmerja vse vode. Mešalno razmerje vse vode je za večino oblakov potrdilo obstoj nepremešanih adiabatnih jeder. Tudi analiza z vertikalnim tokom mase je potrdila obstoj teh jeder, medtem ko so se izmerjene temperature zraka vedno razlikovale od izračunanih adiabatnih vrednosti.

Izmerjeno mešalno razmerje vse vode v oblaku kaže, da jedro oblaka ni bilo oslavljen z okolišnjim zrakom, medtem ko meritve temperature oblačnega zraka kažejo ravno nasprotno. Na tako sliko mešalnega razmerja vse vode in temperature oblačnega zraka lahko vpliva več dejavnikov:

-Mešalno razmerje vse vode oblačnega zraka se je lahko povečalo na račun padavinskih kapljic, ki so med padanjem na merilni nivo iz višjih delov oblaka razpadle v oblačne kapljice.

-Zaradi časovne oddaljenosti sondaže okolišnjega zraka so razmere na bazi oblaka določene z manjšo natančnostjo.

-Izmerjeni oblaki imajo zelo veliko vodnost, zato je velika možnost, da je prišlo do navlažitve Rosemountovega temperaturnega senzorja.

Enodimenzionalni model mešanja zraka na robu oblaka je pokazal, da oblačni zrak, oslavljen z okolišnjim zrakom iz določenega nivoja, lahko prodre do nekaj kilometrov nižjega nivoja merjenja v razumnem času. Vertikalne hitrosti, izračunane s tem preprostim modelom, so bile običajno večje kot izmerjene vertikalne hitrosti. Močnejše spuščanje zraka ob robovih oblaka lahko delno pojasnimo tudi s kompenzacijskim spuščanjem zraka.

ZAHVALA

Zavodu ERSa iz Furlanije - Julijske krajine se zahvaljujemo za dovoljenje za uporabo njihovih podatkov.

ACKNOWLEDGEMENT

The ERSa of Friuli-Venezia Giulia is appreciated for allowing the use of their aircraft data.

LITERATURA

- Paluch I.R., 1979: The entrainment mechanism in Colorado cumuli. *J.Atmos.Sci.*, **36**, 2467-2478.
Prupacher H.R., Klett J.D., 1978: *Microphysics of clouds and precipitation*. Reidel, Dordrecht, Holland, 714.
Rauter G.W., Yau M.K., 1987: Mixing mechanism in cumulus congestus clouds. Part 1: Observations. *J.Atmos.Sci.*, **44**, 781- 797.
Rogers R.R., Yau M.K., 1989: *A short course in cloud physics*, Pergamon Press, McGill University, Canada, xiii + 293.

UGOTAVLJANJE VIROV ONESNAŽENJA Z OZONOM S POMOČJO TRAJEKTORIJ

OZONE POLLUTION SOURCES DETECTION WITH TRAJECTORIES

Špela PIRNAT¹

(mentor Tomaž VRHOVEC²)

pripravil mentor² 8. avgusta 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Trajektorije so krivulje s katerimi ponazarjamo gibanje delov zraka v atmosferi. Točnost trajektorij je odvisna od načina računanja, gostote prostorske mreže, dolžine časovnega koraka in vremenskih razmer. Z različnimi načini urejanja trajektorij, računanih za Zavižan in Ljubljano, smo si skušali ustvariti sliko o vzorcih gibanja delov zraka. Pregledali smo kakšna je razlika horizontalnih pozicij računanih za Ljubljano in za Zavižan. Trajektorije smo kot orodje uporabili pri razlagi primerov povišane koncentracije ozona. Rezultati so pokazali, da so trajektorije, računane v obdobjih povečane koncentracije ozona, v povprečju krajše.

SUMMARY

A modelled trajectory is an estimate of the pathway of an air parcel. The accuracy of trajectory depends on the procedure for computations, the spatial and temporal resolution of meteorological data and the weather conditions. There are two basic methods of grouping the trajectories: sector analysis and cluster analysis. Sector analysis was used to group trajectories calculated for Zavižan. We calculated the differences between the horizontal positions of the trajectories for Zavižan and for Ljubljana. We used trajectories as a tool to analyse ozone episodes. The results showed that the trajectories calculated at the time of ozone episode are shorter than average trajectories.

1 UREJANJE TRAJEKTORIJ

Trajektorije (izobarne ali izentropne) urejamo z dvema metodama: s sektorsko analizo in z razporejanjem trajektorij v skupine (cluster analysis). *Sektorska analiza* razdeli prostor okoli

¹ Špela Pirnat

² Tomaž Vrhovc, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, tomaz.vrhovec@uni-lj.si

kraja po smereh vetrov v kotne izseke široke 45°, včasih pa so nekateri sosednji izseki združeni v en sektor. Preštejemo trajektorije, ki prihajajo v izbrani kraj iz smeri posameznega sektorja. Poleg smeri upoštevamo še dolžino trajektorije. *Razporejanje trajektorij v skupine* je multivariantna statistična tehnika. Razporeditev dosežemo z uporabo matematičnih kriterijev, s katerimi iščemo največjo podobnost znotraj posameznih skupin, skupine pa naj bodo med seboj kar najbolj različne. Vsaka skupina je predstavljena z v njej povprečno trajektorijo. Zraven podamo zasedenost skupine, podano v odstotkih celote, enodnevnih pomiki so označeni. Za ločevanje trajektorij uporabimo 20 lokacij vzdolž trajektorije (točka vsakih 12 ur, za 10 dni, geografska dolžina in širina). Vsako trajektorijo tako določi vektor s 40 komponentami, iščemo evklidsko najbližje trajektorije. Zaradi stekanja poldnevnikov moramo uporabiti rotacijo koordinat na sferi.

1.1 Določanje izobarnih in izentropnih trajektorij

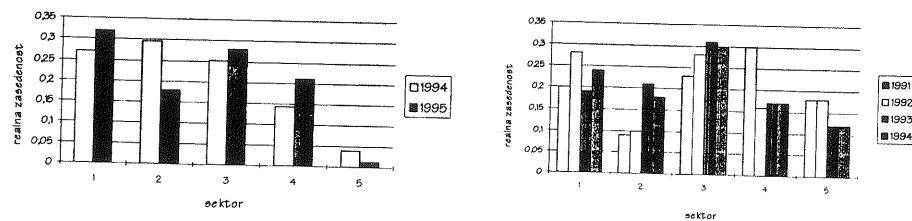
Operativno določanje *izobarnih* trajektorij na ploskvah 850, 700 in 500 hPa na HMZ poteka na podlagi prognoističnih polj ECMWF in z metodo zaporednih popravkov. Računajo trajektorije za 24 in 48 ur nazaj za lokacijo Ljubljana, z njo se določi točko, od koder bo prišel zrak. Ker računajo na podlagi prognoziranih polj in ker kakovost prognoze s časom upada, so prvi segmenti trajektorije (ki pa jo najbolj determinirajo) najmanj natančni. *Izentropne* trajektorije so bile izračunane s programom CMDL (NOAA). Prednost izentropnih trajektorij pred izobarimi je v tem, da se pri izentropnih upoštevajo znatni vertikalni premiki zraka in vertikalno vetrovno striženje. Delu zraka pa ni mogoče vedno slediti z izentropno trajektorijo, saj izentropne pogosto poniknejo v tla ali pa je izentropna ploskev vertikalna ali zvita. Trajektorije CMDL računajo na podlagi analiziranih (izmerjenih) vrednosti modela ECMWF. Trajektorije so zato natančnejše, ni pa možno napovedovanje bodočih stanj. Na HMZ dobijo vsak dan takšne trajektorije za postajo Zavižan na Hrvaškem.

2 REZULTATI SEKTORSKE ANALIZE IN RAZPOREDITVE V SKUPINE

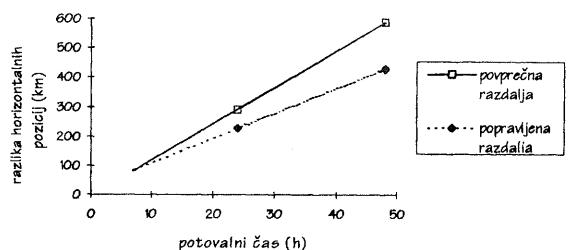
Sektorska analiza je bila opravljena za izobarne trajektorije za Ljubljano in za izentropne za Zavižan (sliki 1 in 2). Največ trajektorij pade v sektor 1 (Ljubljana) in v sektor 3 (Zavižan). Za Zavižan je bistveno pogostejši sektor 5.

Razporeditev v skupine je za trajektorije za Zavižan opravil Vidic in sod. (1995). Izoblikovanih je šest skupin, pogoste so trajektorije iz severozahodnih smeri, iz te smeri so trajektorije tudi dolge, krajše trajektorije pa so iz smeri W-SW, ki so hkrati najpogostejše.

Izračunali smo tudi, za koliko se razlikujeta točki, kjer je trajektorija en in dva dni pred prihodom v končno točko (slika 3). Ciljni točki Ljubljana in Zavižan se razlikujeta 1.30° N-S in za 0.50° v smeri W-E. Razlike pozicij smo zato korigirali.



Sliki 1. in 2. Porazdelitev trajektorij po sektorjih. 1: levo, izobarne za Ljubljano, 2: desno, izentropne za Zavižan. Definicija sektorjev: 1: WNW-N, 293° - 360°; 2: W, 247° - 293°; 3: S-SW: 113°-247°; 4: E, 0°-113°; 5: šibki vetrovi, brez izrazite smeri.
Figure 1. and 2. Trajectories according to directions sectors. 1: left, isobaric for Ljubljana, 2: right, isentropic for Zavižan. Defintions of sectors: 1: WNW-N, 293° - 360°; 2: W, 247° - 293°; 3: S-SW: 113°-247°; 4: E, 0°-113°; 5: weak winds, direction not clear.

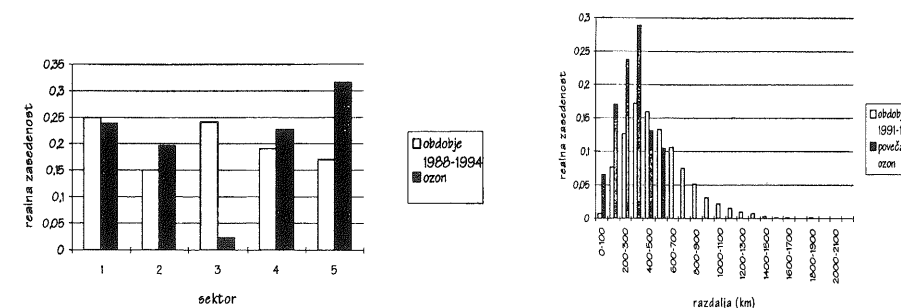


Slika 3. Razlike horizontalnih pozicij izobaric in izentropnih trajektorij v odvisnosti od časa potovanja
Figure 3. Differences between horizontal positions of isobaric and isentropic trajectories according to the travel time.

3 UPORABA TRAJEKTORIJ ZA PREUČEVANJE POVEČANIH KONCENTRACIJ OZONA NA KRVAVCU

Merilna postaja Krvavec leži visoko nad Ljubljansko kotlino. Koncentracija ozona z višino narašča, spreminja se z letnim časom (maksimum poleti). Na Krvavcu izmerijo včasih povečane koncentracije ozona večja od 70 ppb. V obdobju 1991-1995 smo našli 59 takšnih dni, obravnavali pa smo jih 16. Naredili smo sektorsko analizo trajektorij za izbrane termine ter rezultate primerjali z večletnim povprečjem. Ugotovimo lahko, da je izrazito manj »ozonskih« trajektorij iz sektorja 3 (S-SW), več pa v sektorju 5 (šibki vetrovi) (slika 4).

Ugotavljali smo tudi dolžino izentropnih trajektorij za ozonske epizode (slika 5). Dolžino takšnih eno in dvodnevni trajektorij smo primerjali z dolžinami vseh trajektorij. Enodnevne in dvodnevne dolžine izentropnih trajektorij so za ozonska obdobja bistveno krajše od vseh eno- in dvo- dnevni trajektorij (slika 4). Zrak z večjimi koncentracijami ozona torej priteka iz razmeroma bližnje okolice (viri v razdalji do 1000 km). Upoštevati pa moramo, da je vzorec trajektorij za obdobja s povečanimi koncentracijami ozona majhen.



Slika 4 (levo). Porazdelitev po sektorjih za desetdnevne trajektorije skupaj s pogostnostjo povečanih koncentracij ozona na Krvavcu.

Figure 4 (left): Distribution of 10-days trajectories according to sectors together with frequencies of elevated ozone concentrations at Krvavec.

Slika 5 (right). Porazdelitev po dožini za enodnevne trajektorije skupaj s pogostnostjo povečanih koncentracij ozona na Krvavcu.

Figure 5 (right): Distribution of 1-day trajectories according their length together with frequencies of elevated ozone concentrations at Krvavec.

MERJENJE IN MODELIRANJE UV-B OBSEVANJA

MEASUREMENTS AND MODELLING OF UV-B IRRADIANCE

Klemen BERGANT¹
(mentor Jože RAKOVEC²)

prispelo 3. januarja 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

V Sloveniji so leta 1996 potekale meritve UVB obsevanja na treh lokacijah: Kredarica, Ljubljana in Portorož. Za ocenjevanje UVB obsevanja na različnih lokacijah smo preizkusili model LOWTRAN 7. Rezultate, ki smo jih dobili z modelom LOWTRAN 7, smo morali za primerjavo z meritvami utežiti s spektralno občutljivostjo inštrumenta ter nato integrirati po obravnavanem intervalu valovnih dolžin. Primerjava modelskih rezultatov z meritvami je bila narejena za jasne poletne dni, za vse tri merilne točke. V splošnem so rezultati pokazali dobro ujemanje med modelskimi rezultati in izmerjenimi vrednostmi še posebej v primeru Kredarice.

SUMMARY

In year 1996 measurements of UVB irradiance took place in Slovenia on three locations: Kredarica, Ljubljana and Portorož. The model LOWTRAN 7 code was tested for estimation of UVB irradiance on different locations. Comparison between model results and measurements was done for clear summer days for all three measuring locations. To make comparison between the model results and observed values, the relative response of EKO MS-210W instrument, used for measurements of UVB irradiance in Slovenia, has to be taken into account. In general the correlation between model results and measurements was good, especially for location Kredarica. Results show that LOWTRAN 7 code could be used for estimation UVB irradiance on any location in Slovenia, where the input parameters for model are available.

¹ Klemen Bergant, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Center za biometeorologijo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, Klemen.Bergant@bf.uni-lj.si

² Jože Rakovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, joze.rakovec@uni-lj.si

1 UVOD

Zaradi bioloških učinkov, ki jih povzroča UVB obsevanje, je priporočljivo imeti na razpolago čim več informacij o količini UVB obsevanja, ki prispe do zemeljskega površja. V ta namen smo za ocenjevanje UVB obsevanja na različnih lokacijah preizkusili model LOWTRAN 7.

2 PRIMERJAVA MERITEV Z MODELSKIMI REZULTATI

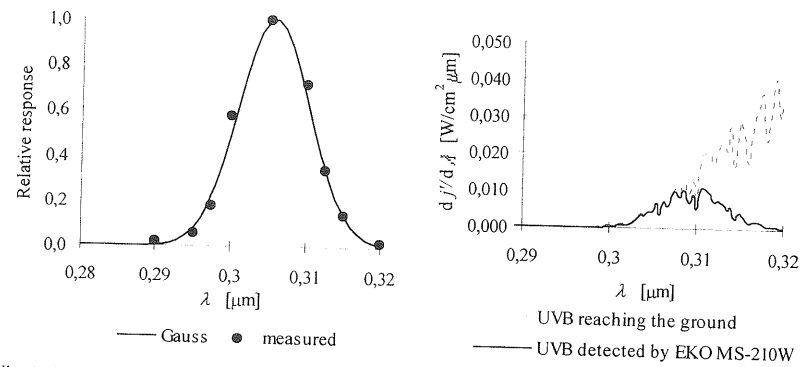
Primerjava modelskih rezultatov z meritvami je bila narejena za jasne poletne dni, za vse tri merilne točke. Poleg standardnih vertikalnih profilov, ki jih vključuje model LOWTRAN 7, ima uporabnik možnost vključevanja lastnih vertikalni profilov za različne spremenljivke. V primeru aerosola, ozona ter ostalih plinov razen vodne pare smo uporabili standardne vrednosti, ki so na voljo v modelu, dodali pa smo v Ljubljani izmerjene vertikalne profile temperature zraka, zračnega pritiska ter vlage. Kot vhodni parameter smo spreminjali tudi vidnost in albedo. Na podlagi vidnosti model oceni vpliv aerosola na transmissijske lastnosti ozračja do višine 10 km (Morreli in Stortini, 1992). Izbirali smo tudi med različnimi tipi aerosola: mestni, morski in podeželski. Pri primerjavi modelskih rezultatov z meritvami je bilo potrebno upoštevati spektralno občutljivost inštrumenta EKO MS-210W, ki se v Sloveniji uporablja za merjenje UVB obsevanja (slika 1).

Rezultate, ki smo jih dobili z modelom LOWTRAN 7, smo morali utežiti s spektralno občutljivostjo inštrumenta ter nato integrirati po obravnavanem intervalu valovnih dolžin. Šele tako so bile izmerjene in modelirane vrednosti med seboj primerljive. Primer modelskih rezultatov ter primerjave le-teh z meritvami je za lokacijo Kredarica (7 junij 1996) prikazan na sliki 2.

3 SKLEP

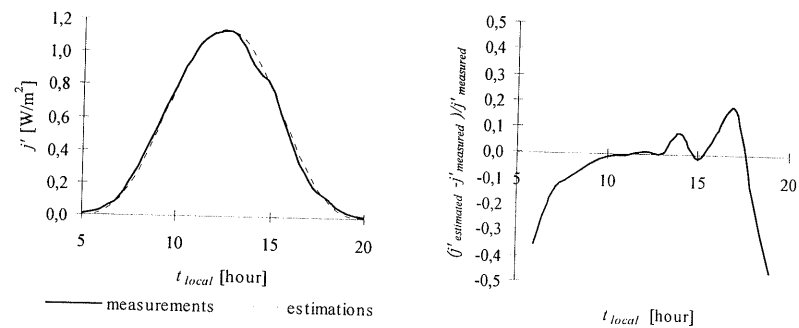
V splošnem so rezultati pokazali dobro ujemanje med modelskimi rezultati in izmerjenimi vrednostmi še posebej v primeru Kredarice. Na podlagi rezultatov lahko sklepamo, da model LOWTRAN 7 lahko uporabimo za oceno UVB obsevanja na različnih lokacijah v Sloveniji, če imamo za te lokacije na voljo vhodne podatke za model.

MERJENJE IN MODELIRANJE UV-B OBSEVANJA



Slika 1. Spektralna občutljivost inštrumenta EKO MS-210W (Sasaki s sod., 1993) (levo) ter spektralna porazdelitev UVB obsevanja ocenjena z modelom LOWTRAN 7 (Kredarica, 7. junij 1996 ob 10 uri) v primerjavi z UVB obsevanjem, kot bi ga zaznal inštrument EKO MS-210W.

Figure 1. The EKO MS-210W instrument spectral response curve (Sasaki et al., 1993) (left) and spectral distribution of the UVB irradiance estimated with the LOWTRAN 7 code (Kredarica, 8 June 1996 at 10 a.m.) in comparison to the UVB irradiance as it would be detected by EKO MS-210W instrument (right).



Slika 2. Dnevni hod UVB obsevanja na Kredarici 7 junija 1996 (primerjava med modelskimi rezultati in meritvami)
Figure 2. Daily course of UVB irradiance for location Kredarica on 7th June 1996 (comparison between measurements and model results).

LITERATURA

Ambach, W. in Blumthaler, M., 1994: Characteristics of solar UV irradiance. *Metorol. Zeitschrift*, N.F. 3, 211-220.
 Morelli, S. in Stortini, M., 1992. Direct and Total Irradiance: Measurement, Calculation and Comparison with Lowtran 6 and Lowtran 7 Predictions. *Il Nuovo Cimento*, Vol. 15C, N.4.
 Sasaki, M., Sugiura, M., Sudo, N., Miyake, Y., Furusawa, Y. in Sakata, T., 1993: Ground-Based Observation of Biologically Active Solar Ultraviolet-B Irradiance at 35°N Latitude in Japan, *J. Geomag. Geoelectr.*, 45, 473-485.

NAPOVEDOVANJE KOLIČINE NARAVNEGA UV-B SEVANJA

FORECASTING NATURAL UV-B IRRADIATION

Petra GOLOB¹
(mentor Tomaž VRHOVEC²)

pripravil mentor² 8. avgusta 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

V nalogi so prikazani rezultati analize triletnega obdobja meritev UV-B sončnega sevanja pri tleh v Ljubljani, Portorožu ter na Kredarici (krajše obdobje). Orisani so vplivi nekaterih dejavnikov, ki vplivajo na količino UV-B obsevanja. Izračunane so statistične povezave med količino UV-B obsevanja ter drugimi merjenimi meteorološkimi količinami. V nadaljevanju je predstavljena uporaba metode MOS za statistično napoved UV-B obsevanja za naslednji dan. Statistični model je razdeljen v razrede glede na stopnjo kumulusne oblačnosti in prisotnost padavin. Opravljene so tudi verifikacije modelov za omenjene merilne postaje.

SUMMARY

The results of the analysis of a three-year record of UV-B measurements in Ljubljana, Portorož and at Kredarica high altitude station (shorter period) are presented. They show us the effects of some essential parameters influencing UV-B irradiance. Statistical relations between UV-B irradiance and other meteorological parameters were calculated. Further on, the MOS forecasts of UV-B irradiance are introduced. The statistical model is divided into subgroups according to a level of cumulus cloudiness and occurrence of precipitation. Also verifications of models for each of three stations are calculated.

¹ Petra Golob

² Tomaž Vrhovc, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, tomaz.vrhovec@uni-lj.si

1 UPORABLJENI PODATKI IN NEKATERE NJIHOVE ZNAČILNOSTI

Glavni podatek v nalogi je niz meritev energijskega toka UV-B obsevanja. Meritve UV-B sevanja pri tleh potekajo v Sloveniji na treh lokacijah: v Ljubljani, Portorožu ter na Kredarici. Postaje se precej razlikujejo po prostorski legi in s tem po lokalnih troposferskih pogojih. Glavne so razlike v nadmorski višini. (Ljubljana 299 m; Portorož 2 m; Kredarica 2514 m). V nalogi smo za analizo in pri oblikovanju statističnega modela uporabili tri vrste podatkov:

- urne vrednosti UV-B, globalnega in difuznega obsevanja, rel. vlage, padavin
- opazovane podatke: količina oblačnosti v osminah, vidnost
- točkovne napovedi ECMWF (za naslednji dan ob 12 GMT)

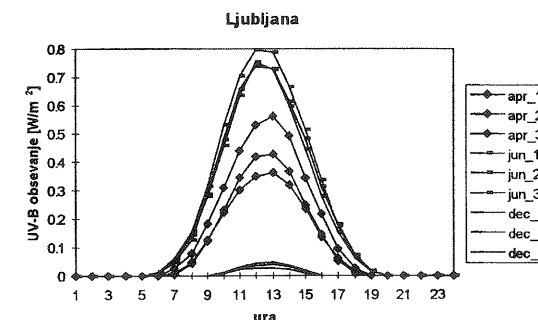
Na Hidrometeorološkem zavodu Slovenije se je merjenje UV-B dela sončnega spektra pričelo maja 1993 v Portorožu, nekoliko kasneje v Ljubljani ter na Kredarici. V nalogi smo tako uporabili podatke v letih 1994, 1995 in 1996 za Ljubljano in Portorož, medtem ko so za Kredarico podatki uporabni šele od maja 1995. Na vseh treh postajah se za merjenje UV-B obsevanja (290-320 μm) uporablja širokopasovni UV-B piranometer tipa EKO MS-210W japonske izdelave. Za obravnavana obdobja smo za tri postaje pregledali podatke o UV-B in globalnem sevanju. Sliki 1. in 2. predstavljata del razultatov te obdelave.

1.1 Povezave med UV-B in meteorološkimi spremenljivkami

Preverili smo, kakšne so povezave med energijo UV-B in izbranimi sočasno izmerjenimi vrednostmi meteoroloških spremenljivk. Korelacijske koeficiente, predstavljene v tabeli 1. smo izračunali iz niza meritev ob urah med 11. in 15. uro. Najboljše so povezave UV-B z globalnim obsevanjem in kosinusom zenitnega kota.

2 NAPOVEDOVANJE UV-B SEVANJA

Z metodo MOS smo poizkušali napovedovati energijo UV-B. Za prediktorje smo vzeli rezultate modela ECMWF. Izbrali smo modelske spremenljivke: količino skupne oblačnosti, količino kumulacije oblačnosti, padavine (binarno: da – ne) relativno vlago U na 850, 700 in 500 hPa, temperaturo zraka pri tleh (T_{gnd}) in maksimalno temperaturo zraka pri tleh. Zanima nas 24 urna napoved (torej za 12.00 naslednjega dne).



Slika 1. Triletna povprečja dnevni potekov UV-B obsevanja v Ljubljani za posamezne dekade v aprilu, juniju in decembru.

Figure 1: 3-year average daily courses of UV-B part of insolation in Ljubljana for decades in April, June and December.

Tabela 1: Korelacijski koeficienti $r(\text{UVB})$ med količino UV-B obsevanja in med zenitnim kootm sonca ter izbranimi merjenimi količinami. (Oznake $\cos Z$ – kosinus zenitnega kota, GLO – globalno obsevanje, DIF – difuzno obsevanje, U – relativna vlažnost, N – oblačnost, V – vidnost)

Table 1: Correlation coefficient $r(\text{UVB})$ between UV-B insolation and solar zenith angle and selected measured variables. ($\cos Z$ – cosine of solar zenith angle, GLO – global radiation, DIF – diffuse radiation, U – relative humidity, N – cloudiness, V – visibility)

$r(\text{UVB})$	Ljubljana	Portorož	Kredarica
$\cos Z$	0.785	0.802	0.738
GLO	0.930	0.912	0.884
DIF	0.488	0.425	0.406
U	- 0.675	- 0.478	- 0.156
N	- 0.607	- 0.521	- 0.284
V	0.431	0.073	0.233

Na podlagi statističnih povezav med prediktorji in količino UV-B sevanja smo izdelali statistične modele. Naredili smo linearne in polinomske modele, kot ločitvene parametre smo upoštevali prisotnost padavin in količino kumulacije oblačnosti. Posebej smo izpeljali model za jasno vreme, saj je tedaj UV obsevanje najmočnejše.

Ljubljana: $r^2=0,833$

$$\text{UVB} = -0,179 + 1,661 \cos^2 Z - 0,752 \cos Z + 1,473 \cdot 10^{-8} T^3$$

Portorož: $r^2=0,865$

$$\text{UVB} = -0,371 + 0,835 \cos^2 Z + 1,703 \cdot 10^{-8} T^3$$

Kredarica: $r^2=0,908$

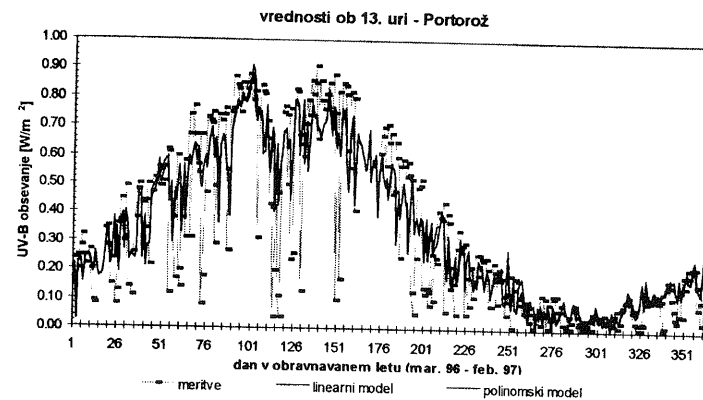
$$\text{UVB} = 0,043 + 1,203 \cos^2 Z - 1,964 \cdot 10^{-3} U(500)$$

Vidimo, da je v tem primeru variabilnost zelo dobro pojasnjena z regresijo (visok determinacijski koeficient r^2).

2.1 Verifikacija modelov

Z regresijskimi zvezami smo izračunali napovedane urne vrednosti okoli poldneva za obdobje od marca 1996 do konca februarja 1997. Sistematično so bile precejšnje majhne količine UV-B sevanja, deloma (manj kot majhne) pa so bile podcenjene maksimalne vrednosti. Med linearnimi in polinomskimi modeli ni bistvene razlike. Ob urah z jasnim vremenom je ujemanje boljše. Metodo smo preizkusili tudi na kasnejšem krajšem neodvisnem obdobju (20.6. do 20.7. 1996). Ker je bilo v tem obdobju vreme pogosto oblačno, so rezultati pričakovano nekaj slabši, saj naša metoda precenjuje nizke vrednosti UV-B obsevanja.

Opazili smo, da so v triletnem obdobju merilne postaje izmerili vsako leto manj UV-B obsevanja glede na leto prej. To je lahko le slučaj, morda pa je to posledica staranja merilnih instrumentov, ker ti niso umerjani. Povprečen prirastek UV-B obsevanja z višino je okoli okrog 19%/1000m, kar se zelo dobro ujema z rezultati tujih študij. Glede na dobro povezavo UV-B obsevanja z globalnim, bi bilo zelo zanimivo poskusiti z globalnim obsevanjem kot prediktorjem v statističnem modelu.



Slika 3. Potek meritev in rezultatov metode MOS za Portorož ob 13.00 za obdobje mar. 1996 – feb. 1997.
Figure 2. Measured and with MOS predicted UV-B radiation for Portorož at 1 p.m. for a period March 1996 to February 1997.

ČASOVNA EKSTRAPOLACIJA RADARSKIH ODBOJEV IZ OZRAČJA

TIME EXTRAPOLATION OF WEATHER RADAR ECHOES

Anton ZGONC¹
(mentor Jože RAKOVEC²)

prispelo 1. avgusta 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Kratkoročne napovedi radarskih slik lahko dobimo iz zaporednih radarskih slik, ki si sledijo na največ pol ure. Vektorje premikov delov slike izračunamo s korelacijsko metodo TREC. Primerjali smo več kriterijev podobnosti med deli obeh slik. Izkaže se, da je namesto korelacijskega koeficienta, ki se običajno uporablja, bolj primeren kriterij povprečna absolutna razlika med deloma slik ali drugi sorodni kriteriji. Zelo odstopajoče vektorje smo nadomestili s povprečjem najbližjih sosedov, nato pa sem z variacijsko tehniko COTREC zgladil polje premikov tako, da zadošča plitvi kontinuitetni enačbi. Ekstrapolirana polja radarskih odbojev dobimo z vzvratno časovno integracijo trajektorij vzdolž hitrostnega polja, za katerega predpostavmo, da se ne spreminja s časom. Točkovne vrednosti radarskih odbojev so enostavno advektirane.

SUMMARY

Short-term forecasts for radar echo patterns can be obtained from consecutive radar images taken about half an hour apart or preferably less. Calculation of motion vectors is made by a cross-correlation method (TREC). Several criteria for similarity of boxes of both images are compared. The cross-correlation coefficient, which is commonly used, turns out to be inferior to some other criteria such as the mean absolute difference between boxes. A variational technique with constraint to fulfil the shallow continuity equation (COTREC) is used to smooth the motion vector field and to eliminate noisy vectors. Extrapolated radar echo patterns are then obtained by backward-time integration of trajectory lines over motion vector field that is assumed to be constant in time. The values of radar echoes are simply advected.

¹ Anton Zgonc, Hidrometeorološki zavod R Slovenije, Vojkova 1b, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, tone.zgonc@rzs-hm.si

² Jože Rakovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, joze.rakovec@uni-lj.si

1 UVOD

Radarske slike se merijo na tipično 5-30 minut. Pri tem je očitno, da se zlasti ob stratiformnih padavinskih situacijah padavinski sistemi radarskih odbojnosti premikajo, gledano iz slike v sliko, pri tem pa se bolj ali manj spreminjajo. Časovna skala stratiformnih procesov je okoli 6 ur, zato pričakujemo, da bi lahko nekako do tega časa vnaprej predvidevali gibanja stratiformnih sistemov na radarskih slikah. Časovna skala konvektivnih procesov je bistveno krajša, okoli 30 minut. Pri tem se močno razlikujejo različni tipi konvekcije. Tako se najhitreje spreminja termična konvekcija (v diplomii poimenovava kot lokalna konvekcija), tudi hitreje kot v pol ure. Frontalna konvekcija je precej vezana na stratiformni sistem, ki jo je povzročil, zato ima časovno skalo nekje vmes med 30 min in nekaj ur. Enako velja za organizirano konvekcijo, to je sistem selic, ki zaradi vetrovnega striženja v višinah vzdržuje samega sebe in se giblje približno v smeri splošnega vetra.

Ideja je preizkusiti eno od novejših in sorazmerno preprostih metod za prepoznavanje in sledenje premikov padavinskih sistemov na radarskih slikah, to je COTREC (Li, Schmidt in Joss 1995). Med izdelavo programja se je pokazalo, da lahko metodo izboljšamo z delno modifikacijo.

Uporabili smo radarske slike arhiva RC Lisca 1990-98. Radar an Lisci slabo pokriva alpska in dinarska gorata območja, zato je delovno območje področje 100x100 km okoli radarja. Celotna radarska slika ima sicer dimenzije 200x200 km.

2 SLEDENJE RADARSKIM ODBOJNOSTIM

Za sledenje odbojnosti na zaporednih radarskih slikah uporabimo metodo TREC (Tracking Radar Echoes by Correlation), prvič omenjeno v Rinehart in Garvey (1978). Metoda deluje na principu iskanja parov najpodobnejših območij na prvi in drugi radarski sliki. Območji sta enakih velikosti, le da območje na prvi sliki pustimo na izbrani lokaciji, na drugi sliki pa prečesemo vso okolico, dokler ne najdemo najpodobnejšega. Primerjamo ju s kriteriji za podobnost. V literaturi, ki je bila na voljo, so za kriterij podobnosti uporabljali korelacijski koeficient. Med izdelavo programja se je pokazalo, da ta kriterij ne razločuje dobro med podobnimi si območji. Preizkusil sem še druge kriterije, opisane v Pavešić (1992):

$$\text{metrika Manhattan} \quad -d(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = -|\mathbf{a} - \mathbf{b}|$$

$$\text{evklidska metrika} \quad -d(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = -|\mathbf{a} - \mathbf{b}|^{1/2}$$

$$\text{metrika Minkowskega} \quad -d(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = -|\mathbf{a} - \mathbf{b}|^{1/s}$$

$$\text{korelacijski koeficient} \quad r(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{(\mathbf{a} - \bar{\mathbf{a}})(\mathbf{b} - \bar{\mathbf{b}})}{\sqrt{|\mathbf{a} - \bar{\mathbf{a}}|^2 \cdot |\mathbf{b} - \bar{\mathbf{b}}|^2}}$$

$$\text{metrika Canberra} \quad -d(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = -\left(\frac{|\mathbf{a} - \mathbf{b}|}{|\mathbf{a}| + |\mathbf{b}|} \right)$$

Tu so \mathbf{a} , \mathbf{b} kvadratni območji radarske slike velikosti $N \times N$ točk, nepregledne povprečene vsote nad istoležnimi točkami dveh območij pa so označene z

$$\overline{f(\mathbf{a}, \mathbf{b})} = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N f(a_{i,j}, b_{i,j})$$

Metrike imajo negativen predznak zato, ker je podobnost definirana tako, da večja vrednost pomeni večjo podobnost. Metrika manhattan ter evklidska metrika sta poseben primer metrike Minkowskega. Uporabili smo tudi korensko metriko, to je metriko Minkowskega s parametrom $s = 1/2$.

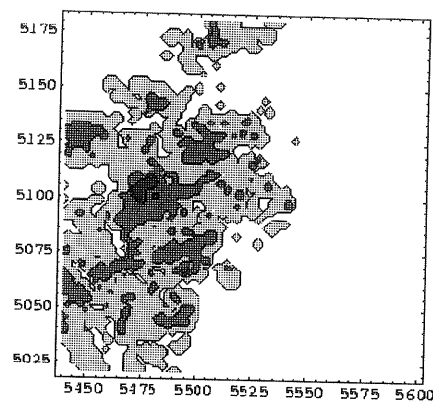
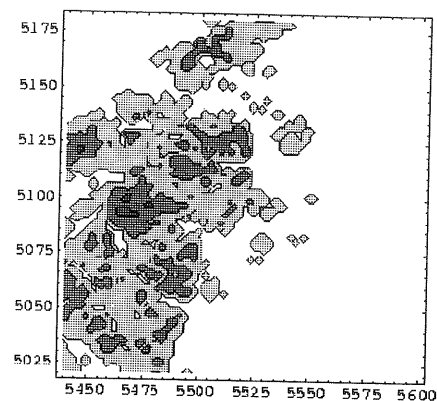
Razlika med njimi je v tem, kako favorizirajo velika odstopanja med istoležnimi točkami. To prihaja vedno bolj do izraza, če npr. parameter s večamo. V limitnem primeru, ko gre čez vse meje, dobimo metriko Čebiševa, pri kateri nastopa samo največja od vseh absolutnih razlik parov istoležnih točk. Ker so radarske meritve obremenjene tudi s točkovnimi napakami, nam taki kriteriji podobnosti ne služijo dobro. Majhne vrednosti s , se pravi od $1/2$ do 2 pa so dale enaka polja premikov. Korelacijski koeficient tudi preveč favorizira večja točkovna odstopanja, zato tudi ni primerna izbira. Posebej zanimiva je metrika Canberra, saj povprečuje normirane absolutne razlike istoležnih točk. Verjetno bi se dobro obnesla za konvektivne situacije, kjer podobne oblike rastejo in odmirajo v času.

Velja še omeniti podrobnost, ki je v literaturi preskočijo. Pri iskanju najpodobnejšega območja je treba iskalni prostor omejiti. Vsi ti kriteriji vendarle niso tako zanesljivi, da bi zmogli razbrati bistvo iz precej fluktuiranih radarskih slik. Tako omejimo iskanje na tisto razdaljo, do koder bi prišla izredno hitra celica s hitrostjo 30 m/s, po smeri pa na 45° na vsako stran od povprečnega premika celotne slike.

Postopek lahko prilagajamo z izbiro velikosti primerjalnih območij, ločljivostjo polja premikov in izbranim kriterijem podobnosti. Jasno je, da večja območja in redkejša hitrostno polje zgladijo majhne fluktuacije, od nas je odvisno, kaj želimo zanemariti. Tako smo s preskušanjem subjektivno prišli do izbire velikostno območja na 40×40 km, kar je več, kot običajno omenjajo v literaturi (Browning et al. 1982, Bellon in Austin 1978, Rinehart in Garvey 1978), smo pa uporabili drugačne kriterije podobnosti. Pomemben faktor je tudi časovni razmik med slikama. Če sta bližje, je zanesljivost določitve premikov večja, vendar zaradi horizontalne resolucije radarskih slik omejena. Pri resoluciji 2 km in časovni razliki 5 min je hitrost natančna na borih 6.7 m/s, pri razliki 15 min pa 2.2 m/s. Vpliv teh parametrov je detaljno obdelan v Rinehart (1981).

3 HITROSTNO POLJE, ČASOVNA EKSTRAPOLACIJA IN REZULTATI

Na ta način dobimo polje premikov radarske slike, vendar samo na področjih, kjer se nahajajo odbojnosti na prvi sliki. Od tu naprej metodo malo modificiramo. Ker želimo imeti čim boljše hitrostno polje za integracijo trajektorij, na enak način izračunamo tudi premik celotne radarske slike, s katerim smo zapolnili praznine v polju premikov. Za glajenje tako dobljenega polje uporabimo glajenje v brezdivergentno polje z variacijskim principom. Ta metoda se imenuje COTREC (Continuity of TREC vectors), opisana v Li, Schmidt in Joss (1995). Hitrostno polje dobimo z deljenjem premikov s časovno razliko med radarskima slikama. Brezdivergentnost hitrostnega polja nam zagotavlja, da se trajektorije ne bodo sekale.



Slika 1. Prepoznavanje radarskih odbojev pri stratiformni situaciji in vektorji premikov posameznih celic.

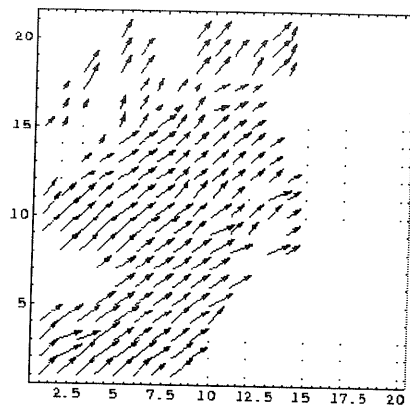
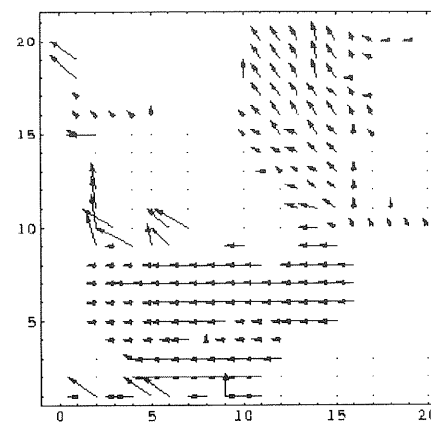


Figure 1. Recognition of radar echoes and the resulting vectors of displacements of precipitation cells.

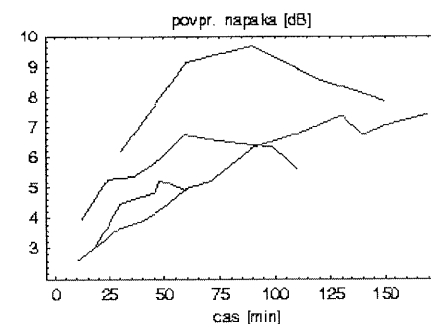
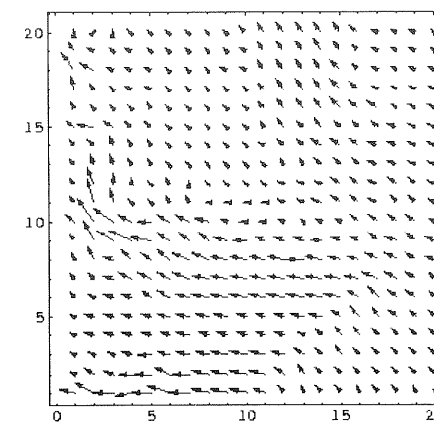
Časovno ekstrapolacijo gibanja radarskih odbojnosti računamo z vzvratno integracijo končnih točk, tako da dobimo njihov začetni položaj na drugi radarski sliki, ki je vzeta kot začetno stanje. To je neke vrste Lagrangeova časovna shema.

Pri tem je privzeto, da se hitrostno polje ne spreminja s časom in da se začetne odbojnosti prenesejo vzdolž trajektorije na končni položaj. Preskusili smo tudi linearno rast oz. odmiranje odbojnosti, a se je izkazala za numerično slabo pogojeno. Razlog je tudi v močno kvantiziranih vrednostih odbojnosti v radarskih podatkih (v razredih po 8 dBZ).

Vzdolž vsake trajektorije upoštevamo trenutno lokalno hitrostno polje, tako da napredujemo s koraki, velikimi 1/10 resolucije hitrostnega polja, pri tem pa se sproti računamo hitrost z interpolacijo najbližjih 4 hitrostnih točk. Kot merilo za uspešnost izberemo povprečno absolutno razliko med ekstrapoliranimi in dejanskimi radarskimi slikami. Kot maksimalno odstopanje vzamemo polovico širine razredov, to je 4 dBZ. Po pričakovanju se je postopek dobro izkazal pri stratiformni situaciji. Omeniti je treba, da je rezultat pokvaril robni efekt, ker pač ni bilo na voljo podatkov iz smeri prihoda stratiformnega oblačnega sistema.



Slika 2. Glajenje hitrostnega polja z metodo COTREC
Figure 2. Smoothing of wind field with the COTREC method



Slika 3. Povprečna napaka (absolutna razlika) pri časovni ekstrapolaciji od spodaj navzgor: stratiformne situacije, frontalne konvekcije, organizirane konvekcije, termične konvekcije.

Figure 3. Average error (absolute difference) of time extrapolation for: a stratiform case (lowest line), a frontal convection case, an organised convection, and a thermal convection case (uppermost line)

LITERATURA

- Browning, K.A. et al. (1982): On the forecasting of frontal rain using a weather radar network. *Monthly Weather Review*, **110**,534-552.
- Bellon, A. in Austin, G.L. (1978): The evaluation of two years of real-time operation of a short-term precipitation forecasting procedure (SHARP). *Journal of Applied Meteorology*, **17**,1178-1187.
- Li, L. Schmidt, W. in Joss, J. (1995): Nowcasting of motion and growth of precipitation with radar over a complex orography. *Journal of Applied Meteorology*, **34**,1286-1300.
- Pavešić, N. (1992): *Razpoznavanje vzorcev*, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, Ljubljana, strani 169-210.
- Rinehart, R.E. (1981): A pattern recognition technique for use with conventional weather radar to determine internal storm motions. *Atmospheric Technology*, pp. 119-134.
- Rinehart, R.E. in Garvey, E.T. (1978): Three-dimensional storm motion detection by conventional weather radar. *Nature*, **273**,287-289.

UPORABA PROGNOZIRANIH POLJ POTENCIALNE VRTINČNOSTI ZA IZBOLJŠANJE NAPOVEDOVANJA INTENZIVNIH PADAVIN

USE OF PREDICTED FIELDS OF POTENTIAL VORTICITY FOR ENHANCED INTENSIVE PRECIPITATION FORECAST

Metod KOŽELJ¹
(mentor Tomaž VRHOVEC²)

prispelo 10. avgusta 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Stanje ozračja opišemo z osnovnimi količinami, to je s tlakom, temperaturo, vlažnostjo, smerjo in hitrostjo vetra, ... toda te količine včasih ne prikažejo stanja ozračja v ustrezni obliki. Uporaba potencialne temperature θ kot vertikalne koordinate omogoči uporabo potencialne vrtničnosti kot uporabnega diagnostičnega orodja. Potencialna vrtničnost je že dolgo poznana količina, vendar pa do pred kratkim ni bila v splošni uporabi. Razvoj računalniških orodij je omogočil uporabo različnih diagnostičnih pripomočkov v vsakdanji rabi. V diplomskem delu je predstavljena izpeljava potencialne vrtničnosti v različnih vertikalnih koordinatnih sistemih, na kratko pa je opisana tudi povezava med potencialno vrtničnostjo in padavinami.

SUMMARY

The state of the atmosphere is usually described using basic quantities, such as air pressure, temperature, humidity, wind field, ... But these quantities sometimes don't show the state clearly. Using somehow unusual coordinate system with potential temperature θ as vertical coordinate offers possibility for efficient use of potential vorticity as diagnostic tool. The potential vorticity has been long known to meteorology but has not been in wide use until recently. The development of computer technology has offered possibility to use different diagnostic tools in operational environment. The derivation of potential vorticity equation in various vertical coordinates is presented in the thesis. Connection between potential vorticity and precipitation is briefly described and a case study is presented.

¹ Metod Koželj, Hidrometeorološki zavod R. Slovenije, Vojkova 1b, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, metod.kozelj@rzs-hm.si

² Tomaž Vrhovc, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, tomaz.vrhovec@uni-lj.si

1 UVOD

Že precej zgodaj so meteorologi iskali diagnostična orodja. Leta 1940 je Carl-Gustaf Rossby v svojem članku o enačbah plitve vode izpeljal količino, ki jo je poimenoval *potencialna vrtničnost*. Drugi meteorologi so sledili Rossby-jevi ideji in so potencialno vrtničnost uporabili kot količino, s katero lahko določamo stanje ozračja. Stanje ozračja naj bi po njihovem določale tri med seboj neodvisne količine. Poleg potencialne vrtničnosti naj bi to bili še potencialna temperatura in specifična vlažnost.

Neodvisno od njihovega dela je Hans Ertel objavil članek o splošnem vrtničnem teoremu v povezavi s hidrodinamičnimi invariantami. Kot poseben primer je omenil adiabatno gibanje in v zvezi s tem količino, ki jo je poimenoval *invarianta adiabatne vrtničnosti*. Leta 1949 je Jule G. Charney objavil članek, v katerem je ponovil Ertlovo izpeljavo, rezultat pa primerjal z Rossby-jevo potencialno vrtničnostjo. Od tod verjetno izvira današnje imenovanje Ertlove *invariante adiabatne vrtničnosti* z nazivom *potencialna vrtničnost*.

Korak k praktični uporabi potencialne vrtničnosti kot diagnostične količine je naredil Ernst Kleinschmidt v svojem članku, ki je izšel v treh delih v letih 1950 in 1951. V svojem članku je obravnaval primer ciklogeneze iz marca 1943. Pri tem je uporabil ohranitev potencialne vrtničnosti kot pripomoček za sledenje delom zraka.

Vendar potencialna vrtničnost kot diagnostična količina ni že tedaj prišla v splošno uporabo, saj se je takrat kot vertikalna koordinata že uveljavil zračni tlak p . Potencialna vrtničnost v koordinatnem sistemu, kjer je vertikalna koordinata p , ni kaj prida uporabna. Veliko bolj uporabna je v koordinatnem sistemu, kjer je vertikalna koordinata potencialna temperatura θ . Ovira za uporabo te vertikalne koordinate je bila najbrž ta, da potencialna temperatura ni direktno merljiva, zračni tlak pa je. Že koncem 19. stoletja so na razne načine (zmaji, baloni, ...) ugotavljali stanje atmosfere. Običajno so merili temperaturo in zračni tlak, tako da se je zračni tlak kar sam ponudil za vertikalno koordinato.

Potencialno vrtničnost so uporabljali na mnogih področjih, vedno pa bolj v teoretičnih delih in razpravah, manj pa v praksi kot rutinski pripomoček. Razvoj računalništva je v osemdesetih letih dosegel stopnjo, ko je postala uporaba računalnikov samoumevna, tudi kot pripomoček za analizo stanja ozračja. Tako je postala kot vertikalna koordinata zanimiva tudi potencialna temperatura, s tem pa se je povečalo zanimanje tudi za potencialno vrtničnost. Leta 1985 je izšel članek (Hoskins in sod. 1985) "*On the use and significance of isentropic potential vorticity maps*". Ta članek je vzpodbudil uporabo potencialne vrtničnosti kot diagnostičnega pripomočka v dinamični meteorologiji. Potencialna vrtničnost se lahko uporabi tudi kot pripomoček za preverjanje (verifikacijo) kvalitete prognostičnih modelov.

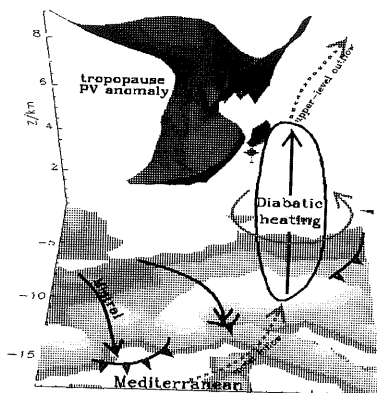
2 POTENCIALNA VRTINČNOST IN PADAVINE

Približno polovica padavin v Alpah je povezana s prehodom hladne fronte. Osnovne mehanizme prehoda fronte preko gorske pregrade poznamo že dolgo. Glavni vpliv gorske pregrade se kaže kot upočasnitev in preoblikovanje front zaradi zajezitve hladnega zraka na privetni strani pregrade. Pri intenziviranju pojavov ob fronti igra vlogo tudi predfrontalni fen, ki zmanjšuje statično stabilnost, kar je včasih dovolj, da se sprožijo močni konvektivni

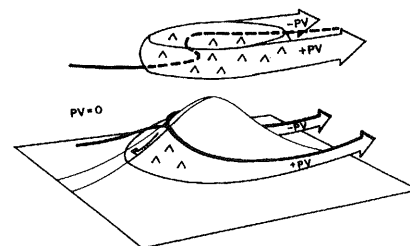
fen, ki zmanjšuje statično stabilnost, kar je včasih dovolj, da se sprožijo močni konvektivni padavinski procesi. Z upočasnitvijo fronte in zaježitvijo hladnega zraka za Alpami sta povezana ciklonalni in anticiklonalni tok okoli obeh koncev Alp. Ciklonalni tok se kaže kot mistral, anticiklonalni tok pa kot burja. Velikokrat v takem primeru nad Genovskim zalivom nastane sekundarni ciklon, ki povzroči močne padavine na južnem obrobju Alp. Napovedljivost nastanka sredozemskega ciklona je dokaj dobra, zaradi pogostih močnih deževij pa bi radi mehanizme nastanka podrobno poznali. Zato so začeli v letih 1993 in 1994 pripravljati projekt MAP (*Mesoscale Alpine Project*), kot eden izmed pripomočkov za spoznavanje teh mehanizmov se ponuja potencialna vrtinčnost.

3 SPREMINJANJE POTENCIALNE VRTINČNOSTI

V splošnem obstajajo trije mehanizmi za spreminjanje potencialne vrtinčnosti: vdor stratosferskega zraka z visoko potencialno vrtinčnostjo v nižje plasti, nastanek potencialne vrtinčnosti zaradi trenja in nastanek potencialne vrtinčnosti zaradi diabatnega ogrevanja (slika 1).



Slika 1. Kombinacija treh mehanizmov za spreminjanje potencialne vrtinčnosti.
Figure 1. Combination of PV changing mechanisms.

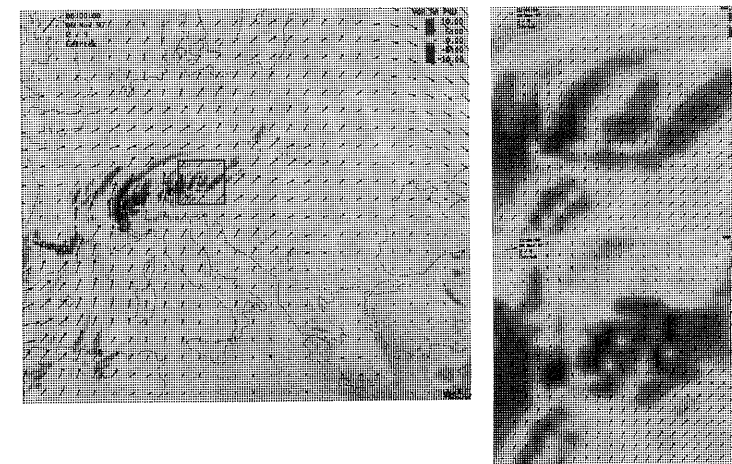


Slika 2. Nastajanje potencialne vrtinčnosti zaradi trenja
Figure 2. PV production caused by friction

Vsak izmed teh mehanizmov se pokaže nekoliko drugače. Povečanje potencialne vrtinčnosti zaradi vdorov stratosferskega zraka v nižje plasti ozračja ima navadno večje geografske razsežnosti, na koncu pa se razvije v ciklonalne tvorbe.

Potencialna vrtinčnost lahko nastane zaradi trenja ob gorskih pregradah (slika 2). Zrak gorske pregrade obtaka, ob tem na zavetrni strani nastaja potencialna vrtinčnost. Na desni strani nastaja pozitivna potencialna vrtinčnost, na levi pa negativna. Z vetrom se nastala potencialna vrtinčnost prenaša naprej, zato nastanejo značilni trakovi potencialne vrtinčnosti (slika 3). Podoben je mehanizem nastanka potencialne vrtinčnosti nekoliko višje na gorskih pregradami, kjer prihaja do lomljenja gravitacijskih valov. Tudi v tem primeru nastanejo trakovi potencialne vrtinčnosti.

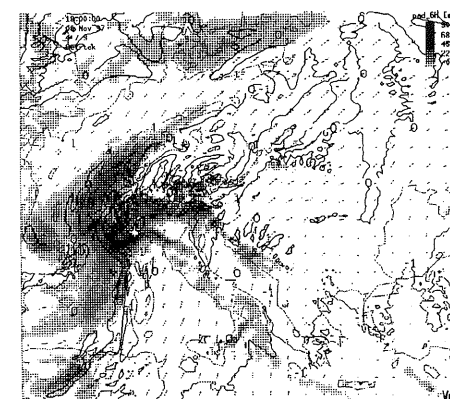
Trakovi potencialne vrtinčnosti nastanejo ob močnih vetrovih in so manjših krajevnih dimenzij. Tudi tako nastala potencialna vrtinčnost bi morda lahko vplivala na intenzivnost padavin, vendar nastane na zavetrni strani gorskih pregrad, kjer je pomemben proces fenizacija. Zaradi fenizacije padavin tam navadno ni, oziroma so neintenzivne.



Slika 3. Trakovi potencialne vrtinčnosti na območju vzhodnih Alp. Na slikah so narisana polja anomalije potencialne vrtinčnosti na ploskvi $\theta=305K$ in vetrovno polje pri tleh. Na sliki spodaj desno je slika polj, kakršni sta bili 6 ur kasneje kot na sliki zgoraj desno. Na spodnji sliki se lepo vidi spremenjeno vetrovno polje, takšno spremembo pa je nakazovalo polje anomalije potencialne vrtinčnosti na sliki zgoraj desno.

Figure 3. PV banners over east Alps area. Figures show fields of PV anomaly on surface $\theta=305K$ together with ground wind field. Lower right figure shows fields as predicted for 6 hours later than those on upper right figure. Change of wind field has been predicted by PV anomaly field, show on upper right figure.

Kadar pride do diabatnega ogrevanja, se ploskve $\theta=konst.$ spustijo. Zaradi tega pod območjem največjega ogrevanja nastane pozitivna potencialna vrtinčnost, nad tem območjem pa nastane negativna potencialna vrtinčnost. Diabatno ogrevanje ozračja je najpogosteje posledica kondenzacije vlage v ozračju, posledica kondenzacije vlage so tudi padavine (slika 4).



Slika 4. Na kombinaciji slike polja anomalije potencialne vrtinčnosti in polja padavin se dobro razbere lokacija, prav tako pa tudi smer napredovanja fronte.

Figure 4. Combination of PV anomaly field and precipitation field shows the location of front

Najpomembnejšo vlogo pri nastanku močnih padavin ima veter, saj zaradi prisilnega dviga ob gorskih pregradah pogosto prihaja do proženja konvekcije v nestabilnih zračnih masah. Zaradi dviganja se lahko kondenzira velika količina vlage in se ob tem sprosti velika količina latentne toplote. Zaradi diabatnega ogrevanja pri tleh nastaja pozitivna potencialna vrtinčnost, višje v ozračju pa negativna potencialna vrtinčnost. Zaradi takega načina nastanka potencialne vrtinčnosti je ni smiselno uporabiti kot prognostični pripomoček. Količina nastale potencialne vrtinčnosti je namreč odvisna od količine padavin, uporabna pa bi bila ravno obratna zveza.

Pri nastanku močnih padavin nad ravninskimi območji in morjem so pomembni tudi drugi procesi v ozračju. Najpomembnejši je dviganje zraka v frontalni coni. Frontalne cone krajevno pogosto sovpadajo s pozitivnimi anomalijami polja potencialne vrtinčnosti. To sovpadanje sega različno visoko in lahko seže tudi visoko v stratosfero. Zaradi sovpadanja pozitivne anomalije polja potencialne vrtinčnosti in frontalne cone krajevno sovpadajo tudi pozitivne anomalije polja potencialne vrtinčnosti in maksimumi padavin. Padavine seveda niso omejene le na območje frontalne cone, ampak tudi so tudi v območju pred fronto (pri topli fronti) oziroma za njo (pri hladni fronti). Anomalije v polju potencialne vrtinčnosti so razmeroma velikih razsežnosti in zaradi tega niso uporabne za krajevno podrobnejše napovedovanje.

Sodobni meteorološki modeli padavine dokaj dobro napovedujejo tako krajevno kot časovno, zato polj potencialne vrtinčnosti praktično ne moremo uporabiti za izboljšanje napovedi. Predvsem padavine, ki nastanejo oziroma se intenzivirajo zaradi vpliva reliefa, bodo še bolj napovedljive z modeli, ki bodo imeli boljšo ločljivost in bodo tako bolj upoštevali obliko reliefa. Potencialna vrtinčnost se bolje izkaže kot uporaben pripomoček za študij procesov, ki privedejo do nastanka in poglobitve sekundarnega ciklona na območju zahodnega Sredozemlja.

LITERATURA

- Charney, J. G. (1948), On the scale of atmospheric motions. *Geophys. Publ.*, **17**.
- Ertel, H. (1942), Ein neuer hydrodynamischer Wirbeisatz. *Meteorologische Zeitschrift*, **59**, 277-281.
- Hoskins, B. J., McIntyre, M. E., in Robertson, A. W. (1985), On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, **111**, 877-946.
- Rossby, C.-G. (1940). Planetary flow patterns in the atmosphere. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, **66** 68 - 87.
- Kleinschmidt, E. (1950a). Ueber Aufbau und Entstehung von Zyklonen (I. Teil). *Meteorologischen Rundschau*, **3**, 1-6.
- Kleinschmidt, E. (1950b). Ueber Aufbau und Entstehung von Zyklonen (II. Teil). *Meteorologischen Rundschau*, **3**, 54-61.
- Kleinschmidt, E. (1951). Ueber Aufbau und Entstehung von Zyklonen (III. Teil). *Meteorologischen Rundschau*, **4**, 96-108.

**PROSTORSKA RAZPOREDITEV AKUMULACIJE SNEŽNIH
PADAVIN VZDOLŽ GREBENA SPODNJIH BOHINSJKIH GORA V
ZIMI 1997-1998**

**SPATIAL VARIABILITY OF SNOW COVER WATER CONTENT IN
THE RIDGE OF LOWER BOHINIAN MOUNTAINS IN WINTER 1997-
1998**

Gregor SLUGA¹
(mentor Tomaž VRHOVEC²)

prispelo 8. avgusta 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Južne Julijske in Karnijske Alpe ležijo na območju padavinskega maksimuma na območju celotnih Alp. Mreža padavinskih postaj na tem območju je precej gosta (povprečna razdalja med postajami je okrog 20 km), toda večinoma so postaje postavljene v dolinah in ne na višjih legah, kjer sta akumulacija padavin in intenzivnost padavin največja. Za določitev prostorske variabilnosti akumulacije padavin v višinskem pasu med 1400 in 1900 metri nadmorske višine je bila v zimi 1997-1998 izvedena raziskava vodnosti snežne odeje na območju visoke planote v okolici Vogla v gosti mreži merilnih mest (razdalja okrog 500m med merilnimi mesti). Rezultati terenskega merjenja so bili ovrednoteni z pomočjo GIS-a in primerjani s podatki sinhrono, operativne padavinske mreže.

SUMMARY

The southern Julian and Carnic Alps are the area of yearly precipitation maximum within the Alps. The precipitation measurement stations network is dense in the area (average distance between the stations is about 20 km) but most of the stations are located in valleys and not at higher altitudes where the precipitation accumulations are expected to be the greatest and the precipitation the most intense. To determine the spatial variability of precipitation in altitude belt between 1400 and 1900 m a.s.l. a field survey of snow cover water content was made in winter 1997-1998 in the area of Vogel high plain in a dense network of measuring sites (spatial density about 500 m between snow pits). The results of

¹ Gregor Sluga, Statistični urad Republike Slovenije, Parmova 33, Ljubljana, Slovenija, gregor.sluga@gov.si

² Tomaž Vrhovc, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, tomaz.vrhovec@uni-lj.si

field campaign were evaluated with help of GIS and the fine mesh data are compared with the contemporary operational precipitation network data.

1 EKSPERIMENTALNA ZASNOVA

Zima 1997-1998 je bila **netipična** za Juljske Alpe. November in December sta bila namočena z frontalnimi padavinami povezanimi s sredozemskimi cikloni in stalna snežna odeja se je pojavila nad 1300 merih nadmorske višine. V januarju, februarju in prvi polovici marca skoraj ni bilo padavin na merilnem območju in temperature so bile 1-2 K nad povprečjem. V aprilu pa so se pojavljale močne padavine pogosto v obliki ploh in neviht.

Vodna vsebnost snežne odeje je lahko dobro merilo za skupno količino padavin, ki je padla na merilnem mestu, če so izpolnjeni sledeči pogoji:

- izhlapevanje iz snežne odeje je zanemarljivo
- snežna odeja je zadosti debela in hladna da morebitne tekoče padavine in voda, ki nastane pri taljenju same snežne odeje, ne odteče skozi odejo ampak zamrzne v nižje ležečih plasteh
- merjenje moramo opraviti pred spomladansko odjugo
- merilna mesta moramo izbrati tam, kjer sta erozija in depozicija zaradi vetra majhni, in tam kjer ni aktivnosti snežnih plazov
- merilna mesta morajo biti čimbolj ravna, da jih lahko primerjamo z meteorološkimi meritvami na padavinskih postajah.

Izhlapevanje iz snežne odeje je pozimi majhno zaradi nizkih temperatur. Merilna mesta smo izbrali na pobočjih, ki so manj izpostavljena soncu (severno orientirana). Ker se je zima 1997-1998 začela z močnim sneženjem v Juljskih Alpah, zadostimo vsem pogojem v dobri meri.

Meritve smo opravili v dveh terminih: prvi 18. in 19. marca - merjenje starega snega (celotna akumulacija snežne odeje od prvega stalnega snega) - in drugi 22. aprila - akumulacija svežega snega. V vsakem terminu smo opravili približno 100 meritev debeline snežne odeje, skopali 20 snežnih lukenj in v njih določevali vodno vsebnost pet centimeterskih plasti.

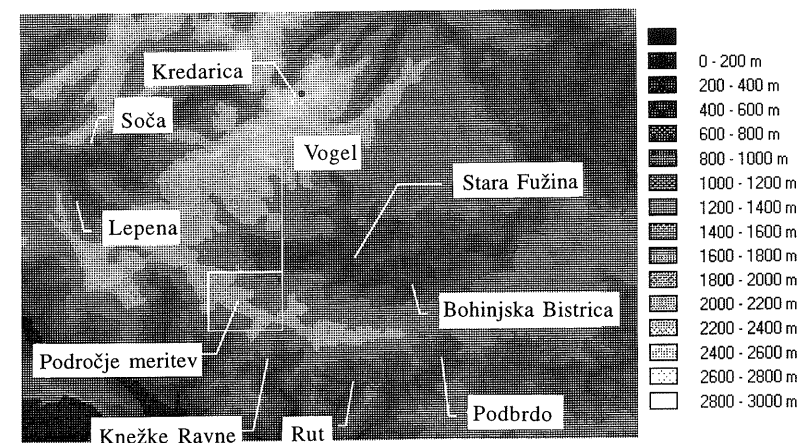
Merilna mesta so bila na nadmorskih višinah od 1350 do 1850 metrov v pravokotniku 2 x 3 kilometre. Pred prvimi meritvami v zimi 1997-1998 na območju meritev ni bilo opaziti aktivnosti snežnih plazov. Pri drugih meritvah mesec kasneje pa smo opazili nekaj sledi plazov in na nekaterih merilnih mestih ni bilo mogoče opraviti meritev, ker so se plati ustavljali v neposredni bližini.

2 OVREDNOTENJE PODATKOV IN REZULTATI

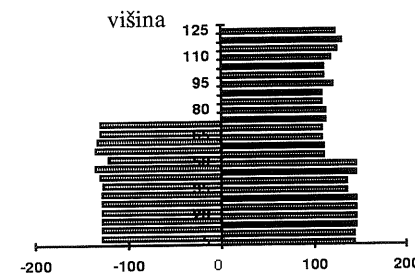
Podatki o snežnih luknjah so bili preračunani v vodne vsebnosti za vse luknje. Podatki o vodni vsebnosti snežne odeje so bili prostorsko interpolirani. Preizkusili smo nekaj lokalnih interpolacijskih funkcij in nato razvili regresijski model na podlagi digitalnega modela reliefa. Za podatke o snežni akumulaciji stratiformnih padavin, ki so se akumulirale v decembru, januarju in februarju smo uspeli razviti statistično značilen regresijski model, ki je imel za vhodne parametre nadmorsko višino, azimut, smer vzhod-zahod, azimut in naklon

pobočja. Za spomladanske snežne padavine v drugi polovici marca in aprila, ki so bile pretežno konvektivne, pa ni bilo opaziti statistično značilne odvisnosti izmerjenih podatkov od prostorskih parametrov.

Ko smo izločili še merilna mesta z največjimi odstopanji smo za stratiformne padavine dobili model determinacijskim koeficientom 81% (neodvisni spremenljivki le nadmorska višina in smer vzhod-zahod). Ekstrapolacija z regresijsko odvisnostjo izven merilnega področja je otežkočena zaradi močne odvisnosti od smeri vzhod-zahod. Za boljše rezultate bi bile potrebne meritve na širšem območju. Močna odvisnost od smeri vzhod-zahod kaže na to, da je padavinski maksimum zahodno od področja meritev.

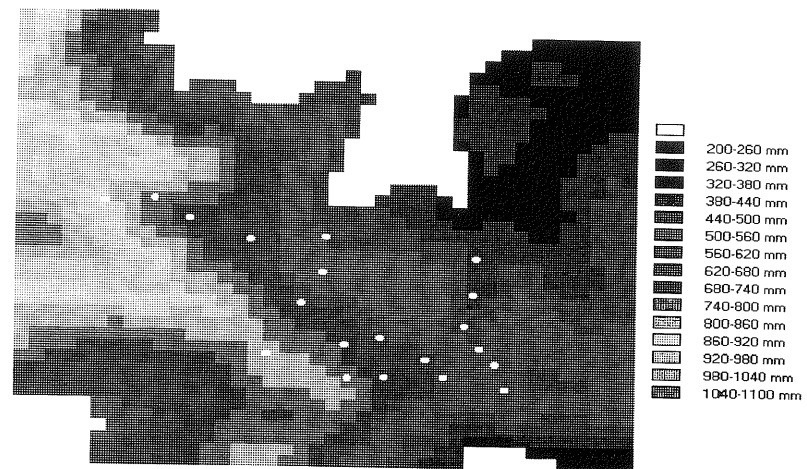


Slika 1. Lokacija nekaterih meteoroloških postaj v okolici področja meritev.
Figure 1. Location of some climatological precipitation stations near the survey area.



Slika 2. Gostota posameznih 5 cm debelih plasti v enotah g/vzorec. Levo profil, izmerjen 18. marca, in desno profil, izmerjen 22. aprila na merilnem mestu številka 1.
Figure 2. The density of snow samples (in 5 cm intervals) for snow pit No. 1. Left March data, right April data.

PROSTORSKA RAZPOREDITEV AKUMULACIJE SNEŽNIH PADAVIN
VZDOLŽ GREBENA SPODNJIH BOHINJSKIH GORA V ZIMI 1997-1998



Slika 3. Razporeditev v marcu izmerjene količine padavin kot rezultat regresijskega modela. Z belimi pikami so označena merilna mesta za lažjo prostorsko predstavbo.

Figure 3. Snow water content for March data: regression model. White points are snow pits.

LITERATURA

Wackernagel H., 1995, *Multivariate Geostatistics*, Springer Berlin, Heidelberg, New York 256 str.

VZROKI ZA MOČNE PADAVINE

CAUSES FOR SEVERE PRECIPITATION

Mateja IRŠIČ¹
(mentor Jože RAKOVEC²)

prispelo 6. oktobra 1999

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Opisani so razni mehanizmi za orografske padavine. Ker je določitev konvekcije zelo pomembna, je opisan postopek diagnoze vertikalnega konvekcijskega toka. Obdelana je situacija močnih padavine nad Furlanijo in zahodno Slovenijo. Pri opisu primera so bila uporabljena polja, ki so rezultat mezo-meteorološkega modela ALADIN/LACE. V diplomskem delu so kratko opisane značilnosti izračuna padavin v tem modelu.

SUMMARY

Different mechanisms for orographic precipitation are presented. Because of the great importance of convection the diagnose for the vertical convective flux is illustrated. An intense precipitation event over regions of Friuli and Western Slovenia was studied. In the case study the prognostic fields used were computed by way of mesometeorological model ALADIN/LACE. Presented are also the main characteristics for computing precipitation of this model.

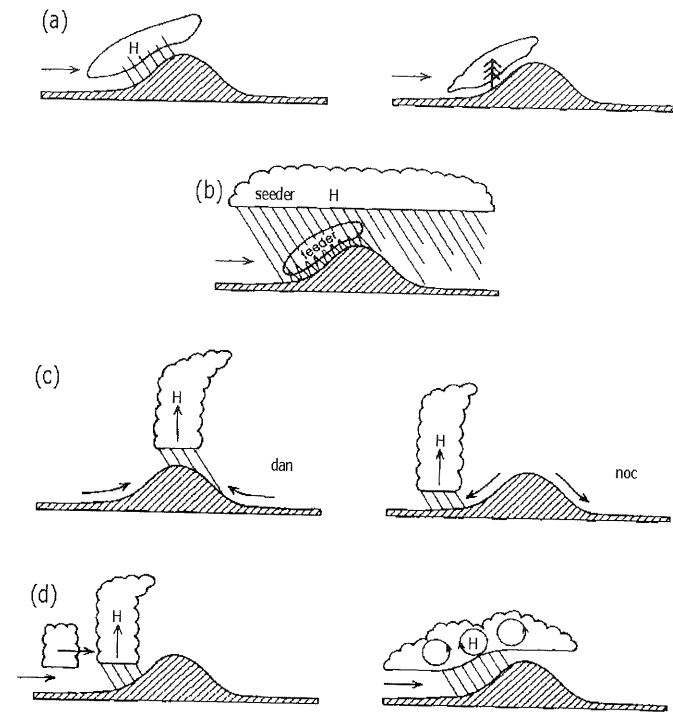
1 UVOD

Vzroke za padavine iščemo v dogajanju v atmosferi, ki ga določajo meteorološke spremenljivke. Padavinske sisteme lahko delimo glede na njihovo fenomenologijo ali na podlagi fizikalnih procesov, ki se dogajajo v njih. Padavine določene z vertikalnimi tokovi toplote in mase, kot so plohe in nevihte, so *konvektivne*. Pri konvektivnih padavinah nam stabilitetni indeksi pomenijo statično merilo, ki določa pogoj za nestabilnost. Drugi tip padavin je *stratiformni*, kjer so oblačni sistemi in z njimi povezane padavine glede na konvektivne določeni z relativno blagimi vertikalnimi tokovi toplote in mase.

¹ Mateja Iršič, Kuzmičeva 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, matejai@fiz.uni-lj.si

² Jože Rakovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, joze.rakovec@uni-lj.si

V primeru, da dnevna količina padavin doseže 100 mm, označimo padavine, kot *močne padavine*.



Slika 1. Idealizirani mehanizmi orografskih padavin, (a) gladek prisilni dvig z nastankom hidrometeorjev ali s kondenzacijo na rastlinah, (b) princip izcejanja, (c) dnevna konvekcija, (d) proženje prodorne ali plitve konvekcije. Prikazana so področja nastanka hidrometeorjev (H) (po Smith, 1989).
Figure 1. Idealized mechanisms for orographic rain, (a) smooth forced ascent with hydrometeor formation or scavenging by foliage, (b) seeder-feeder, (c) diurnal convection and (d) triggering penetrative or shallow convection. The region of hydrometeor formation (H) is shown (after Smith 1989).

2 VZROKI ZA MOČNE OROGRAFSKE PADAVINE

V diplomskem delu je opisanih več neodvisnih mehanizmov za orografske padavine, pri katerih lahko pride do nastanka konvekcije ali pa tudi ne.

Pri prisilnem dvigu (slika 1.a) se zrak ob hribu zaradi vetra prisilno dviga in padavine nastanejo na privetni strani. Padavine so lahko okrepljene zaradi izcejanja pri dvigu ob orografski pregradi (slika 1.b) v primeru, da je na pobočju debela oblačna plast z zgornjo padavinsko plastjo. Na poti do tal pride do izcejanja padavin iz spodnje plasti. Količina padavin ob orografski pregradi se tem bolj poveča, čim večja je hitrost vetra čez hrib in čim več padavin pade iz zgornje plasti v spodnjo plast oblačnega sistema.

Termično konvektivne padavine (slika 1.c) nastanejo, kadar se površje zaradi sončnega sevanja segreje in nato se zrak nad površjem segreje s kondukcijo in konvekcijo. Pri obtekanju toka okrog gorske pregrade lahko pride na zavetrni strani do proženja konvekcije zaradi konvergence toka. Pri delni blokadi toka zraka ob gorski pregradi lahko pride do labilizacije plasti pred gorsko pregrado (slika 1.d).

V numeričnih prognozičnih modelih predstavlja dogajanje ob konvekciji zaradi 'grobe' krajevne resolucije modela pod mrežni proces. Zato dogajanje ob konvekciji parametriziramo. V diagnostičnih modelih pa lahko pod mrežni tok toplote v vertikalni smeri povežemo z individualno mrežno spremembo toplote ob upoštevanju Bowenovega razmerja kot pogoja za zaprtje sistema, (Dorninger 1992).

V konkretni vremenski situaciji smo z analizo meteoroloških polj pokazali, da je bil največji prispevek h količini padavin pri tleh stratiformnega tipa. V ozračju je bila velika količina vode. Zaradi počasnega prisilnega dviga ob orografiji je prišlo do proženja padavin in tudi do izcejanja vode ob dvigu ob orografiji. Prisotne so bile tudi konvektivne padavine vendar le v manjši meri.

3 SKLEP

Padavine, ki nastanejo oziroma se povečajo zaradi vpliva reliefa, se bo dalo bolje napovedati z modeli, ki bodo imeli boljšo krajevno ločljivost in bodo tako boljše upoštevali obliko reliefa. To je razvidno tudi iz obravnave primera, kjer je maksimum padavin izračunan z modelom v primerjavi z meritvami premaknjen za nekaj kilometrov.

LITERATURA

- Dorninger, M., Ehrendorfer, M., Hantel, M., Rubel, F. and Wang, Y., 1992: A thermodynamic diagnostic model for the atmosphere. Part I: Analysis of the August 1991 rain episode in Austria. *Meteorol. Zeitschrift NF* 1, 86-121.
Houze, R. A., Hobbs, P.V., 1982: Organisation and Structure of Precipitating Cloud Systems. *Advances in Geophysics* 24, 225-316.
Smith, R. B., 1989: Mechanisms of orographic precipitation. *Meteorological Magazine* 118, 85-8

NAPOVEDOVANJE TEMPERATURE IN METEOROLOŠKEGA STANJA CESTIŠČA

FORECASTING ROAD SURFACE STATE AND TEMPERATURE

Joško KNEZ¹
(mentor Tomaž VRHOVEC²)

prispelo 22. avgusta 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Cestna meteorologija je v zadnjih dvajsetih letih doživela velik razcvet. Sprva so postavljali le avtomatske cestne meteorološke postaje, ki so merile meteorološko stanje cestišča, hitrost in smer vetra, zračno vlago, vrsto in količino padavin ... Izkazalo se je, da je neprestan monitoring meteorološkega stanja cest izredno koristen za zimske vzdrževalce cest, saj tako poznajo trenutne razmere na cestah. Postaje, ki so jih smiselno locirali, so nato povezali v mreže - cestne informacijske sisteme (CIS).

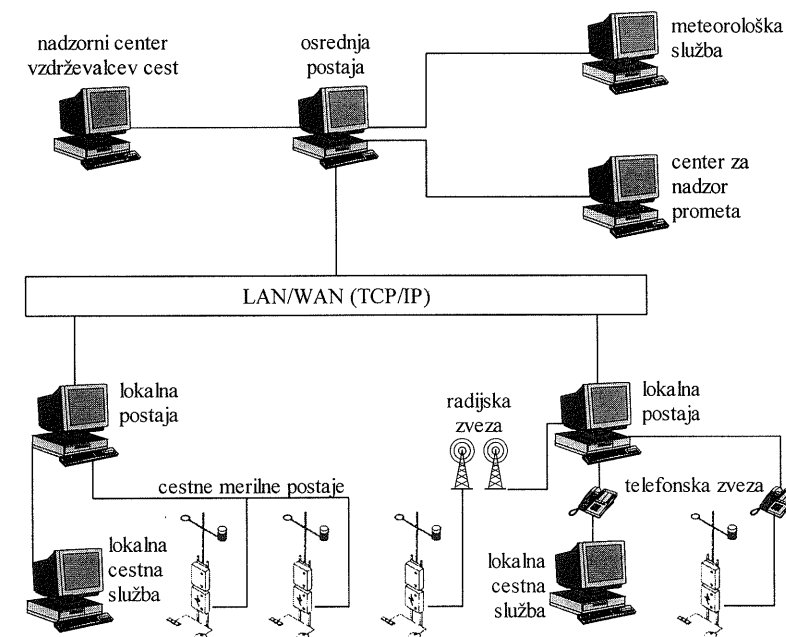
Sodoben CIS sestavljajo avtomatske cestne merilne postaje, povezane z lokalnim računalnikom, ta pa je povezan s centralo za spremljanje cestnih meteoroloških razmer. Nanjo sta priključena center za obveščanje o razmerah na cestah in meteorološki center, ki uporablja izmerjene podatke predvsem za napovedovanje temperature cestišča in njegovega meteorološkega stanja. Temperaturo cestišča se napoveduje s pomočjo kratkoročnih energijsko - bilančnih numeričnih modelov, ki kot vhodne podatke uporabljajo tudi rezultate prognoističnih modelov. V Evropi uporabljajo več omenjenih modelov. S podatki s treh cestnih merilnih postaj z avtoceste Hrušica - Vrba sem preizkušali nemško - švicarski model SWIS. Zaradi vrste pomanjkljivosti ni bilo mogoče dobro oceniti uporabnosti modela v Sloveniji. Cestne merilne postaje niso primerno postavljene za preverjanje uporabnosti modela, ne merijo vseh potrebnih parametrov, vprašljiva pa je tudi natančnost meritev. Problem predstavljajo tudi višine modelskih točk prognoističnega modela ALADIN, ki še zdaleč ne ustrezajo dejanskemu reliefu.

¹ Joško Knez, Hidrometeorološki zavod R. Slovenije, Vojkova 1b, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, joze.knez@rzs-hm.si

² Tomaž Vrhovc, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, tomaz.vrhovec@uni-lj.si

SUMMARY

The 1980s and 1990s have seen an evolution of the highway meteorology. It started with the setting up of the road measurement stations with the sensors for road surface weather conditions, road surface temperature, wind speed and direction, humidity, the type and amount of precipitation ... Sets of the road weather monitoring stations were connected into road-weather information systems, that helped to improve the efficiency of winter road maintenance and reduce the cost of keeping roads free of ice and snow. The road weather information system consists of a network of external measuring stations and a local and a central computer, which is connected to the meteorological office, road authorities and road maintenance centre, which provides the road-weather information to the general public. The meteorological office produces road weather and road surface temperature forecasts. Forecasters use energy balance models, which are based on the output of the numerical weather prediction model and values of the measured meteorological parameters. There are many different energy balance models in Europe, but I focused on the German model with name SWIS. As there were several faults in the measured and forecasted meteorological data and as several locations of the road stations are bad it proved not to be possible to define the exact precision of the model for highway use in Slovenia.



Slika 1. Shema cestnega informacijskega sistema.

Figure 1. The scheme of the road weather information system.

1 METEOROLOŠKO STANJE CESTIŠČA

Meteorološko stanje cestišča predstavlja od časa odvisne razmere na cestišču. Odvisno je od nemeteoroloških in tudi od meteoroloških parametrov: kvalitete cestne površine, poškodb na cestišču ter snovi na njem, temperature zraka in cestišča, vlage, temperature in vrste padavin, meteorološke vidnosti, vetra ... Vidnost je lahko poslabšana zaradi megle, padavin ali pa povečane količine prahu ali peska v zraku. Cestišče je glede na meteorološke parametre lahko suho, vlažno, mokro, zasneženo ali poledeno. Vzdrževalci cest rečejo poledenemu cestišču poledica, kar ni v skladu z meteorološko definicijo poledice. Vzdrževalci cest namreč k poledici prištevajo tudi zmrzovanje luž in padavinske vode na cestišču, zmrzovanje snežne kaše, zmrzovanje vode, nastale zaradi taljenja občestnih kupov snega in ledu, zglajen sneg, depozicijo vlage na podhlajenih objektih, ivjenje, slano ter zmrznjeno roso.

2 NAPOVEDOVANJE TEMPERATURE CESTIŠČA

Za vzdrževalce cest je najpomembnejše vedenje, kdaj bo na cestišču nastala poledica. Nastanek poledice je v prvi vrsti odvisen od temperature cestišča, zato je za pravočasno ukrepanje vzdrževalcev potrebna njena prognoza. Temperaturo cestnega površja se običajno napoveduje z energijsko bilančnimi modeli, s pomočjo senzorjev za ugotavljanje temperature ledišča (t.i. aktivnih sond) pa se določi temperaturo cestišča, pri kateri bo pri obstoječi koncentraciji soli na cestišču nastala poledica.

2.1 Cestni model SWIS in njegova implementacija v Sloveniji

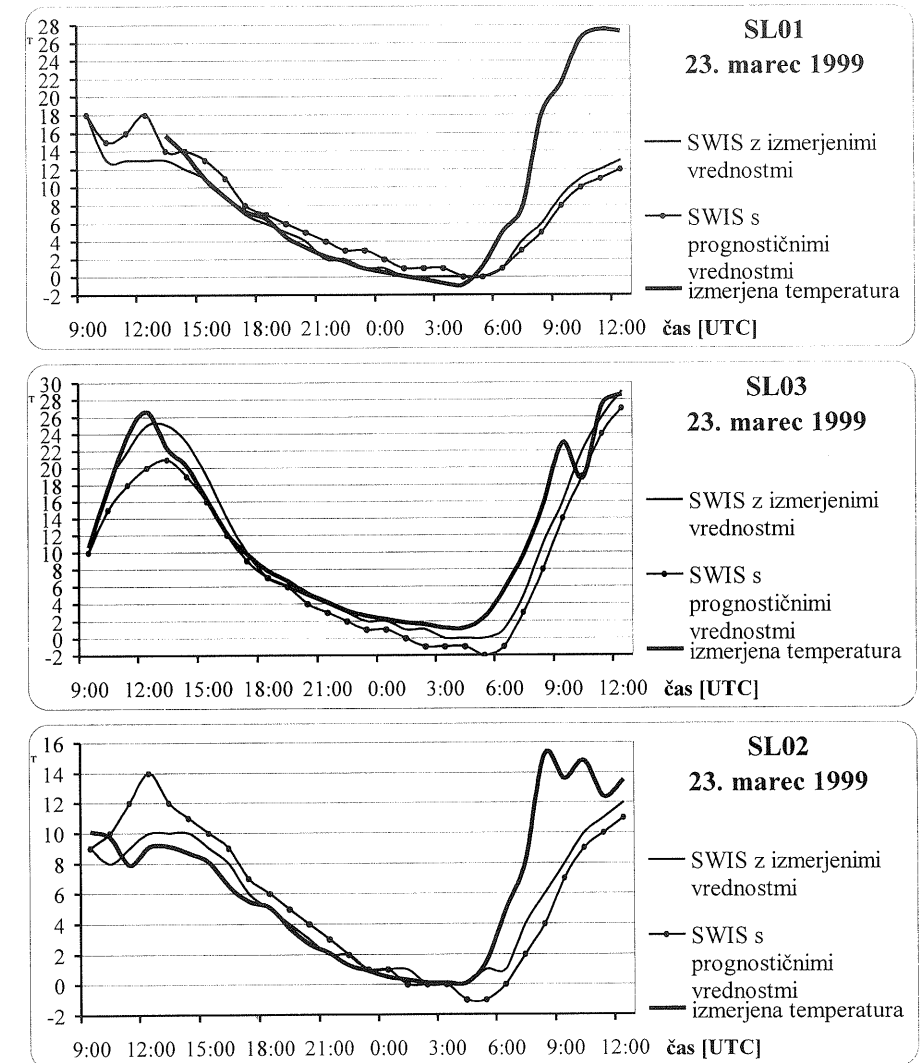
Cestni energijsko bilančni model SWIS (Jacobs, Raatz, 1996, 1998) je v operativni rabi v Nemčiji in Švici. Namenjen je 27 urnemu napovedovanju meteorološkega stanja cestišča ter njegove temperature. Model lahko upošteva pet različnih tipov cest: neoviran odsek ceste z običajnim in maloštevilnim prometom, osenčeni odsek, mostove ter urbane ceste. Preizkušanje v Nemčiji je pokazalo, da je povprečno odstopanje prognozirane in izmerjene temperature med 1500 in 1800 UTC med 1 in 2 K, drugače pa manj kot 1 K. Rezultati so točnejši ob jasnem nebu.

Model SWIS sem testiral na odseku Hrušica – Vrba. Robne pogoje sem dobil iz operativne verzije modela ALADIN/SI, pri čemer nadmorska višina v modelskem prostoru ALADIN-a ni enaka višinam postaj. Za testiranje sem izbral časovni obdobji med 11. in 15.12.1998 ter 21. in 25.3.1999. Pri napovedani temperaturi zraka sem enkrat vzel napovedane podatke iz ALADIN-a, drugič pa dejanske izmerjene vrednosti na merilni postaji (s tem sem odstranil morebitne ALADIN-ove napake). Za oblačnost in vremenske pojave sem povzel podatke iz ALADIN-a, s sinoptične postaje Rateče in padavinske postaje Hrušica.

2.2 Rezultati modela SWIS na odseku Hrušica – Vrba

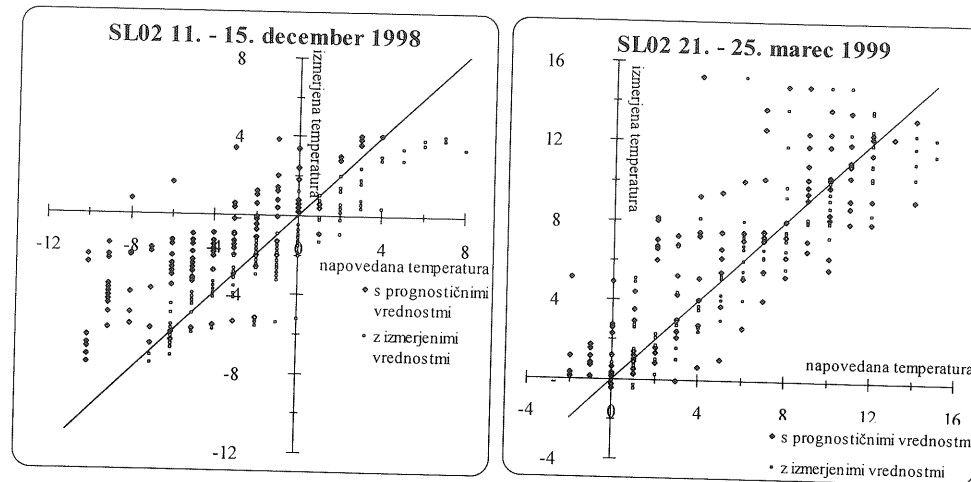
Rezultati modela SWIS imajo pričakovano nekaj napak, saj so vse tri postaje postavljene na viaduktih, dve celo na osenčenih. Poleg tega je temperatura zraka merjena le en meter nad

tlemi, temperatura v globini cestišča pa ni poznana. Modelska točka v ALADIN-u je več kot 900 metrov previsoko glede na realni relief.



Slika 2. Potek napovedanih in izmerjenih temperatur cestišča za 23.3.1999.
Figure 2. Predicted and observed road temperatures for 23rd March 1999.

O uporabnosti modela SWIS težko sodimo le na osnovi rezultatov modela za tri gorenjske cestne merilne postaje, zato bi ga bilo potrebno še dodatno preizkusiti. Večji del težav bi se dalo odpraviti, ostale pa bi napake prognoziranih vrednosti parametrov ALADIN/SI. Njegov relief zaradi resolucije namreč ne ustreza dejanskemu stanju.



Slika 3. Odstopanje napovedane temperature od izmerjene za decemberski in marčevski niz na postaji SLO2 – Podmežakla.

Figure 3. Deviations of predicted temperatures from the observed ones for December and March at station SLO2 – Podmežakla.

LITERATURA

- Jacobs, W., Raatz, W., 1996: *Ergänzung zur Dokumentation des Energiebilanzmodells (ver. DWD 3.0) zur Vorhersage von Strassenoberflächentemperatur und Strassenzustand*. Offenbach, DWD.
- Jacobs, W., Raatz, W.E., 1998: *Climatology of Road-Surface Temperatures for Different Site Characteristics*, v: Proceedings of the 9th SIRVEC Conference, Luella, Sweden.
- Knez, J., 1999: *Napovedovanje temperature in meteorološkega stanja cestišča*, FMF Univerza v Ljubljani, (Diplomsko delo). Ljubljana.

NAPOVEDOVANJE MEGLE NA LETALIŠČU LJUBLJANA Z METODAMI STATISTIČNE INTERPRETACIJE OPAZOVANJ IN REZULTATOV NUMERIČNIH MODELOV

FOG FORECASTING AT LJUBLJANA AIRPORT USING THE STATISTICAL METHODS OF INTERPRETING OBSERVATIONS AND NUMERICAL WEATHER MODELS RESULTS

Uroš BERGANT¹
(mentor Tomaž VRHOVEC²)

prispelo 1. septembra 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Napovedovanje lokalnih vremenskih pojavov, med njimi nastanka in razkroja megle, je zanimiv problem kratkoročne napovedi vremena. Nastanek in razkroj megle bistveno vplivata na varnost in učinkovitost letalskega prometa, hkrati pa je meгла značilen pojav v kotlinah razgibanega reliefa. Pregledan je petletni niz opazovanj vidnosti na letališču Ljubljana, iz katerega so razvidne značilnosti tamkajšnje megle. S pomočjo statistične interpretacije opazovanj in rezultatov numeričnega modela ECMWF določimo povezavo med prediktorji in nominalno spremenljivko 'pojav megle'. Za izbrani statistični metodi, diskriminantno analizo in odločitvena drevesa, sta izpeljani ustrezni povezavi med prediktorji in spremenljivko 'pojav megle' ter prikazani rezultati metod na razvojnem vzorcu. Povezavi sta verificirani na enoletnem časovno neodvisnem vzorcu, ki daje realnejšo sliko natančnosti napovedi. Obe metodi sta se izkazali za primerni in približno enako natančni. Za operativno rabo je natančnost še vprašljiva, vendar bi se z vključitvijo dodatnih prediktorjev, predvsem rezultatov numeričnega modela ALADIN, dalo doseči boljše rezultate.

SUMMARY

The forecast of local weather phenomena, such as formation and dissipation of fog is an interesting problem of short-range weather forecast. Formation and dissipation of fog greatly impact the safety and effectiveness of aviation traffic. At the same time, fog is a distinctive phenomenon in the basins of rough terrain. The five-year sample of visibility

¹ Uroš Bergant, Hidrometeorološki zavod R. Slovenije, Vojkova 1b, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, uros.bergant@rzs-hm.si

² Tomaž Vrhovc, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, tomaz.vrhovec@uni-lj.si

data at the Ljubljana airport is studied to see the characteristics of fog at that place. With the use of statistical methods of interpreting the observations and the ECMWF numerical weather prediction model output we define the relationship between predictors and nominal variable 'fog'. For the two chosen methods, discriminant analysis and decision trees, the relationships between predictors and nominal variable 'fog' are presented. The relationship is then verified on a one-year independent test sample to give an impression of real accuracy of the forecast. Both methods proved appropriate and nearly equally accurate. For operational use the accuracy is still questionable, but with the inclusion of additional predictors, especially the results of the numerical model ALADIN, better results could be achieved.

1 UVOD

Megla že od nekdaj predstavlja velik problem kratkoročne napovedi vremena. Je namreč izrazito lokalno pogojena in izredno občutljiva na vrsto dejavnikov, od sinoptične meteorološke situacije, lokalnih vremenskih posebnosti pa do reliefa v mikro skali, lastnosti tal ipd. Najbolj je megla odvisna od spremenljivk vremena pri tleh, te pa modeli najslabše napovedo. Še posebej slabo modeli napovedo vlažnost, od katere pa je bistveno odvisen nastanek megle.

Kljub omejitvam pa nam rezultati numeričnih modelov z upoštevanjem lokalnih modifikacij vremena lahko pomagajo pri napovedi megle. To nam omogoča statistična interpretacija opazovanj in rezultatov numeričnih modelov, pri kateri iz arhiviranih podatkov iz preteklosti določimo statistično povezavo med prediktorji (to so lahko opazovanja ali rezultati numeričnih modelov) in predikanti (vremenske spremenljivke, ki jih napovedujemo, v našem primeru megla).

Poskušal sem najti primerno statistično metodo in primerne prediktorje za napoved megle za naslednje jutro na letališču Ljubljana. Meglo sem obravnaval kot dvokategorično nominalno spremenljivko, torej je napoved vsebovala le dve možnosti: megla se bo oz. se ne bo pojavila. Prediktorje sem izbral med opazovanimi vremenskimi parametri na letališču Ljubljana ter med rezultati globalnega numeričnega modela ECMWF. Dobljeno statistično povezavo sem preveril na neodvisnem vzorcu (leto 1999), kar mi je dalo realnejši delež pravih napovedi.

2 METODA RAZISKAVE

2.1 Uporabljeni statistični metodi

Prva metoda, ki sem jo uporabil, je 'linearna diskriminantna analiza', pri kateri se določi linearna funkcija prediktorjev in vrednost te funkcije, ki najbolje ločita dogodke z in brez megle med seboj. Druga uporabljena metoda so 'odločitvena drevesa (ang. CART)', pri kateri se iz prediktorjev razvije odločitveno drevo, ki kar najbolje loči dogodke z in brez megle. Pri obeh metodah je treba paziti, da je povezava med prediktorji in predikanti čim bolj preprosta, t.j. da uporabimo čim manj prediktorjev. V nasprotnem primeru se lahko zgodi, da povezava dobro deluje le na razvojnem vzorcu, na testnem oz. v praksi pa ne.

2.2 Izbira prediktorjev

Pri izbiri prediktorjev sem poskušal zajeti glavne fizikalne dejavnike, ki vplivajo na nastanek in razkroj megle:

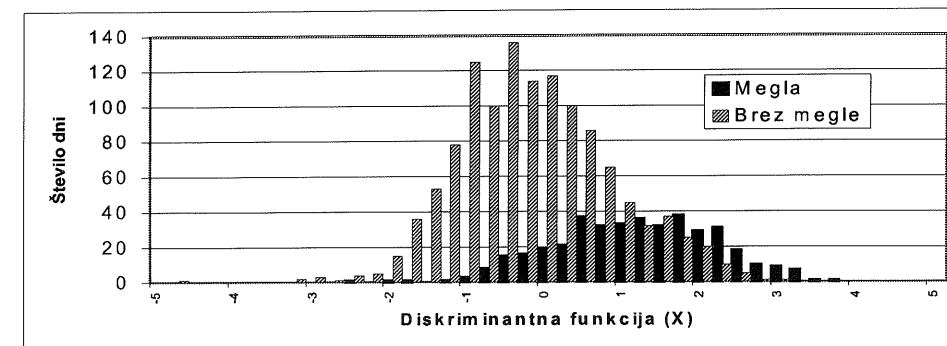
- vlažnost pri tleh,
- dolgovalovno sevanje tal (oblačnost, dolžina noči, vlaga),
- mešanje zraka in advekcija (hitrost in smer vetra na tleh in v višjih plasteh),
- razlika pritiska Portorož – Maribor ter Planica - Lisca),
- vertikalni temperaturni gradient (temperaturna razlika Brnik – Lisca),
- padavine.

Tako sem dobil množico 24. možnih prediktorjev, ki bi lahko vplivali na meglo.

3 REZULTATI

3.1 Diskriminantna analiza:

S statističnim paketom SPSS for Windows 9.0 sem dobil naslednjo diskriminantno funkcijo:



Slika 1. Porazdelitev vrednosti diskriminantne funkcije za dogodke brez in z meglo
Figure 1. Discriminatory function for cases with and without fog.

$$X = 0.587 \cdot Sev / dep + 0.015 \cdot Depresija - 0.084 \cdot TBr_Li - \\ - 0.263 \cdot Dnoci - 0.465 \cdot VBrAvg + 0.066 \cdot VlagaECM + \\ + 0.180 \cdot Obl21_06 + 0.0046 \cdot Sevanje - 0.119 \cdot PPoMbAbs - 5.357$$

Diskriminantna funkcija

Vidimo, da so v diskriminantno funkcijo vključeni prediktorji, ki so značilni za napoved radiacijske megle, na katero najbolj vplivajo vlažnost pri tleh (*Depresija*), dolgovalovno sevanje tal ponoči (*Dnoci*, *VlagaECM*, *Obl21_06*, *Sevanje*), vertikalni gradient temperature (*TBr_Li*) ter hitrost vetra (*VBrAvg*, *PPoMbAbs*). Izkazalo se je, da vključitev nadaljnjih prediktorjev, poleg izbranih devetih, ne bi prinesla bistvenega izboljšanja, lahko pa bi se pojavili problemi na testnem vzorcu, ker bi bilo vključenih preveč spremenljivk.

Vrednost diskriminantne funkcije, pri kateri dobimo največjo zanesljivost, to pomeni, da je število napovedi megle enako dejanskemu številu megel, je enaka 0.828. Z upoštevanjem te vrednosti dobimo spodnjo klasifikacijsko matriko:

NAPOVEDOVANJE MEGLE NA LETALIŠČU LJUBLJANA Z METODAMI STATISTIČNE INTERPRETACIJE OPAZOVANJ IN REZULTATOV NUMERIČNIH MODELOV

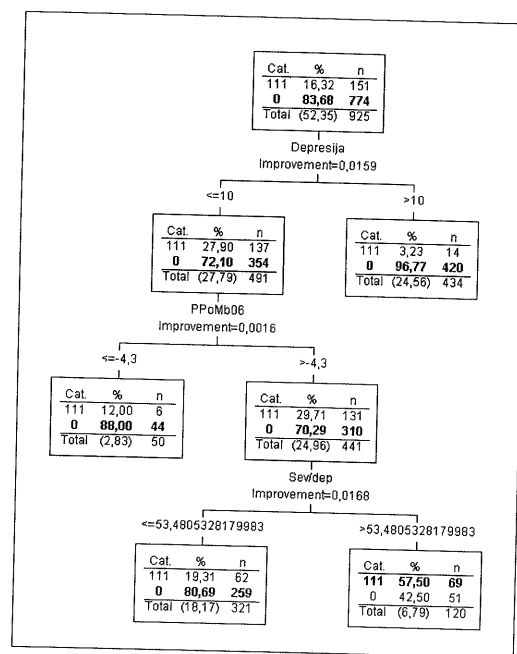
Tabela 1. Klasifikacijska matrika, dobljena z diskriminantno analizo.
Table 1. Classification matrix for discriminant analysis forecasts.

Napovedana Kategorija	prava kategorija			skupaj
	brez megle	megla	skupaj	
	brez megle	1052 (86.44%)	165 (41.25%)	
megla	165 (13.56%)	235 (58.75%)	400	
skupaj	1217	400	1767	

Razvidno je, da so jutra z meglo napovedna v nekaj manj kot 60%, jutra brez megle pa v dobrih 85%.

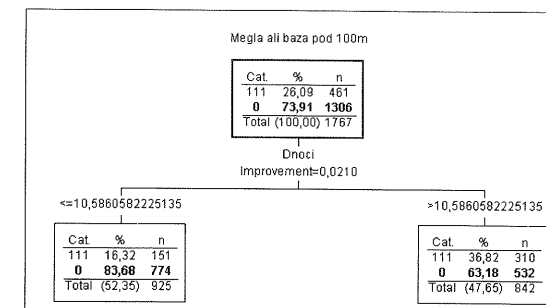
3.2 Odločitveno drevo

S pomočjo programa AnswerTree iz statističnega paketa SPSS for Windows sem sestavil odločitveno drevo, ki vsebuje 7 prediktorjev. Prvi prediktor, dolžina noči -Dnoci, razdeli drevo na topli in hladni del leta:



Slika 2. Odločitveno drevo za toplejši del leta.
Figure 2. Decisions tree for the warm half of year.

U. Bergant



Slika 3. Prvo razvejišče odločitvenega drevesa – delitev na topli in hladni del leta.
Figure 3. The first branching of decisions tree: the warm and cold half of year.

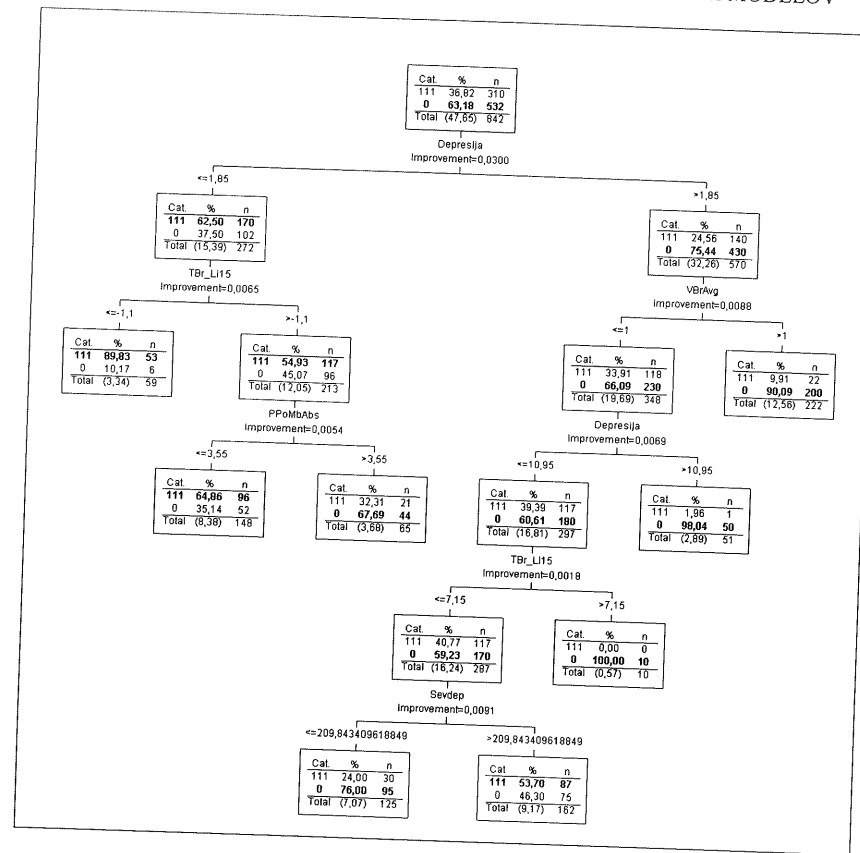
V odločitvenem drevesu so uporabljeni prediktorji *Depresija*, ki je dobro merilo za vlago pri tleh, *PPo_Mb06*, *PPo_Mbab*, *VBrAvg*, ki kažejo na veter pri tleh ter *Sevdep* in *Sevdep*, ki sta povezana z oblačnostjo oz. intenziteto dolgovalovnega sevanja tal. Nekaj prispeva tudi *TBr_Li*, ki je merilo za vertikalni gradient. Klasifikacijska matrika, ki sem jo dobil z odločitvenim drevesom, je prikazana v spodnji tabeli:

Tabela 2. Klasifikacijska matrika, dobljena z odločitvenim drevesom.
Table 2. Classification matrix for decisions tree forecasts.

Napovedana Kategorija	prava kategorija		
	brez megle	megla	skupaj
	Brez megle	1122	156
megla	184	305	489
Skupaj	1306	461	1767

Napovedana Kategorija	prava kategorija	
	brez megle	megla
	Brez megle	85.9%
megla	14.1%	66.1%
Skupaj	100%	100%

Napovedana Kategorija	prava kategorija		
	brez megle	megla	skupaj
	brez megle	87.8%	12.2%
megla	37.6%	62.4%	100%



Slika 4. Odločitveno drevo za hladnejši del leta.
Figure 4. Decisions tree for the cold half of year.

3.3 Verifikacija

Preizkusil sem obe metodi – diskriminantno analizo in odločitvena drevesa. Za verifikacijo sem izbral podatke iz leta 1999, torej 365 dni. V tem letu je bilo 117 dni z meglo in 248 dni brez megle. Odstotek dni z meglo je bil tako 32%, kar je nad povprečjem iz razvojnega vzorca (1994-1998), ki znaša 26%.

Pri obeh metodah, tako diskriminantni analizi kot pri odločitvenem drevesu je bil odstotek pravilnih napovedi okoli 62%, kar ni praktično nič slabše kot pri razvojnem vzorcu. To pomeni, da je dobljena statistična povezava med prediktorji in predikantom stabilna in velja tudi na neodvisnih podatkih.

4 ZAKLJUČEK

Statistična interpretacija opazovanj in rezultatov numeričnih modelov je ena izmed metod objektivne napovedi vremena. Glavni namen te metode je izraziti subjektivne izkušnje prognostikov na objektivni način. Tako dobimo bolj natančno in bolj zanesljivo napoved, ki je neodvisna od prognostika.

Uporabljeni metodi, diskriminantna analiza in odločitvena drevesa, sta se izkazali kot primerni za napoved megle in približno enako natančni. Odstotek pravilnih napovedi za dneve z meglo je pri obeh metodah okoli 62%, za dneve brez megle pa okoli 83%. Najbrž bi bilo za operativno rabo najbolje za vsako napoved preizkusiti obe metodi in izbrati tisto, ki zagotavlja večjo verjetnost kategorije, ki naj bi se pojavila. Glede na verjetnost pravilne napovedi, ki jo obe metodi posredujeta, bi se prognostik odločil, če bo napoved upošteval ali ne.

Možnosti za izboljšanje dobljene metode za napoved megle, s tem mislim na povečanje deleža pravilnih napovedi, je veliko. Poleg večjega razvojnega vzorca si veliko obetam od uporabe rezultatov numeričnega modela ALADIN. Zaradi prekratkega niza shranjenih rezultatov tega modela žal nisem mogel uporabiti že sedaj.

Naslednja možnost za izboljšanje bi bila prav gotovo v tem, da bi napovedi razvili posebej po vremenskih tipih. Precej bi prinesla že delitev na anticiklonalne in ciklonalne situacije. Seveda bi bil za take delitve potreben večji razvojni vzorec.

Izkazalo se je, da uporabljena metoda za določanje povezave med prediktorji in predikantom sploh ni tako pomembna kot dobra izbira prediktorjev. Na tem področju bi se dalo še marsikaj izboljšati. Tako bi se dalo oba izvedena prediktorja, ki sta merilo za dolgovalovno sevanje in s tem ohlajanje tal ponoči, še nekoliko optimizirati, predvsem pa bi bilo potrebno bolje določiti vlažnost zraka. Edini prediktor, ki je merilo za vlažnost, je namreč depresija rosišča prejšnji dan ob 15h. S tem pride do razlik med zimo in poletjem, saj je ta termin pozimi tik pred nočjo, poleti pa sredi popoldneva. Dobro bi bilo, če bi uvedli še meritev vlažnosti v kontrolnem stolpu, to je na višini 25 metrov. Preizkusiti bi bilo potrebno, če k boljši napovedi kaj pripomoreta prediktorja, ki sta odvisna od stanja tal (suha, mokra in snežna odeja).

LITERATURA

- Wanner, H., 1979: *Zur Bildung, Verteilung und Vorhersage winterlicher Nebel im Querschnitt Jura – Alpen*.
 Cegnar, T. 1987: *Metoda objektivne prognoze lokalnega vremena v razgibanem reliefu*, Univerza v Ljubljani, FNT, magistrsko delo.
 Hrabar, A. 1998: *Študija o zmanjšani vidnosti na pristajalni stezi – RWY31 na letališču Ljubljana* Hidrometeorološki zavod RS, Ljubljana.
 WMO 1999: WMO technical note No. 195 - Working Group on Advanced Techniques Applied to Aeronautical Meteorology, *Methods od interpreting numerical weather prediction output for aeronautical meteorology* WMO, Geneve, Switzerland.

VERIFIKACIJA NAPOVEDI VIŠINE BAZE OBLAKOV NA LETALIŠČU LJUBLJANA-BRNIK

VERIFICATION OF CLOUD-BASE HEIGHT FORECAST FOR LJUBLJANA AIRPORT

Boris ŽORŽ¹
(mentor Jože RAKOVEC²)

prispelo 20. julija 1999

sprejeto 22. novembra 2000

POVZETEK

Predstavljena je verifikacija napovedi višine baze oblakov na letališču Ljubljana-Brnik: preverili smo kakovost napovedi višine baze najnižje plasti oblakov v letaliških napovedih TAF, sestavljenih ob 10. in 16. uri v letih 1998 in 1999. Najprej je opisana metoda merjenja višine baze oblakov s ceilometri, nato pa potek oblačnosti nad letališčem Brnik od leta 1993 do 1999. Prikazan je dnevni potek količine, vrst in višine oblačnosti za toplejši in hladnejši del leta. Metoda za verifikacijo TAF-ov je povzeta po predlogu verifikacije TAF-ov v okviru TIPS (TAF Interactive Production System) in prirejena za razpoložljivo obliko podatkov. Predstavljeni so rezultati verifikacije napovedi višine oblakov za dve leti, pozimi, poleti januar in avgust, in to za napovedi, sestavljene ob 10. in 16. uri.

SUMMARY

The verification of cloud base forecasting at Ljubljana-Brnik airport is presented: it examines the quality of forecasts of the lowest layer of clouds height in TAFs, composed at 10 and 16 UTC in the years 1998 and 1999. The cloud base height measurements with ceilometers are described and a typical daily course of cloud type, amount and height for warmer and colder part of the year for Brnik airport in the years from 1993 to 1999 is given. The TAF verification method is based on the proposal for TAF verification within TIPS (TAF Interactive Production System) and is arranged for use with specific data that was available. The results of cloud base height forecast verification for two-year period, winter, summer, January and August, all this for forecasts, composed at 10 and 16 UTC, are presented.

¹ Boris Žorž, Hidrometeorološki zavod R Slovenije, Služba letalske meteorologije, Vojkova 1b, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, boris.zorz@rzs-hm.si

² Jože Rakovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, joze.rakovec@uni-lj.si

1 UVOD

Prikazana je verifikacija napovedi višine baze na letališču Brnik. Napoved višine baze oblakov sestavi prognostik s pomočjo različnih podatkov, napoved pa pada v obliki TAF (Terminal Airfield Forecast), ki se uporablja za potrebe letalstva. Ta vsebuje napoved več plasti oblačnosti in za vsakega pada višino in količino. Ker TAF obravnava oblačnost bolj natančno kot druge napovedi, so bili za verifikacijo napovedi višine baze oblakov izbrani prav TAF-i.

2 PODATKI IN METODA

Za verifikacijo napovedi so najbolj primerni tako imenovani long TAF-i, ki napovedujejo vreme za 18 ur naprej. Na Brniku take napovedi izdajajo dvakrat na dan, prvič ob 10^h, drugič pa ob 16^h. Prvi TAF za 18 ur velja od 18. ure istega dne do 12^h naslednjega dne, drugi TAF pa velja od 0 do 18^h naslednjega dne. Skupaj sta torej na razpolago dve napovedi višine baze oblakov na dan, za dve leti, 1998 in 1999.

Metoda za preverjanje napovedi višine baze oblakov je povzeta po predlogu za verifikacijo TAF-ov (Mahringer in Kerschbaum, 1998) v okviru TIPS. TIPS pomeni TAF Interactive Production System in je skupina, ki se ukvarja z avtomatsko generacijo in verifikacijo TAF-ov. Podatki o dejanskem vremenu, s katerimi bi preverjali napovedi, so posebej za letalstvo na razpolago na vsake pol ure. Kodirani so v METAR poročilih o vremenu na letališčih. Zaradi pomanjkanja poročil METAR sem metodo verifikacije priredil za uporabo s poročili SYNOP. Ker nimam drugih podatkov, verificiram le višino najnižjih oblakov.

Metoda TIPS preverja točnost napovedi tako, da napovedi in opazovanja razporedi v razrede, potem pa s posebno metodo preverja, ali sta za določen termin razreda enaka. Uporabljeni so kar enaki razredi kot v poročilih SYNOP, ki so pri tleh bolj podrobni, v višinah pa manj. Tako je npr. 0. razred: od 0 do 49 m, 1. razred: od 50 do 99 m, 2. razred: od 100 do 199 m, itd, tja do 8. razreda: od 2000 do 2499 m in 9. razreda: 2500 m in več. Napovedi CAVOK, SKC ali NSC so pri naši obdelavi prav tako uvrščene v 9. razred.

Način verifikacije napovedi je sorazmerno zapleten, saj upošteva napoved, verjetnost napovedi, prehode med dvema napovedima in prekrivanje večih napovedi za isti termin, tako da gredo nekatere napovedi skozi več verifikacijskih ciklov. Rezultati verifikacije se vpisujejo v kontingenčne tabele, iz njih pa se lahko izračuna posamezne indekse, ki pomagajo pri interpretaciji rezultatov.

Verjetnost dogodka (p(E)) je preprosto število opazovanj v nekem razredu, deljeno s številom vseh opazovanj. Tako dobimo relativni delež opazovanj po razredih.

Verjetnost odkritja (POD - Probability Of Detection) je določena kot število pravih napovedi, deljeno z opazovanji. Če je bila napoved popolna, je verjetnost odkritja enaka 1, če pa so bile vse napovedi napačne, je verjetnost odkritja enaka 0.

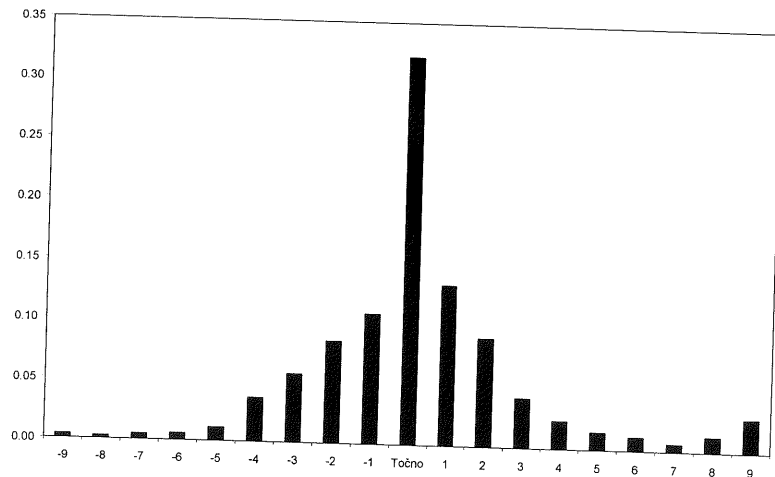
Pogostost lažnih alarmov (FAR - False Alarm Rate) je določena kot število neuspešnih napovedi, deljeno z vsemi napovedmi. Če so bili napovedani le lažni alarmi, je FAR enak 1, če pa ni bil napovedan noben, pa je FAR enak 0.

Indeks TSS (True Skill Statistic) dobimo, če od pravilne napovedi, deljeno z vsemi opazovanji, odštejemo število neuspešnih napovedi, deljeno s številom dogodkov, ko ni bilo

opazovanj v tem razredu. TSS se lahko giblje med -1 in 1. Če je TSS negativen, to pomeni, da je napoved slabša kot lahko pričakujemo po klimatologiji, če pa je pozitiven, pa je napoved boljša kot lahko pričakujemo po klimatologiji.

3 REZULTATI

Rezultati verifikacije kažejo, da napovedi niso enako dobre čez vse leto, ampak da so poleti precej boljše kot pozimi. To velja tako za napovedi, sestavljene ob 10^h, kot za tiste, sestavljene ob 16^h. To nakazuje, da je najboljši in najslabši mesec po uspešnosti napovedi, saj so bile le-te najboljše v avgustu, najslabše pa v januarju. Podobna slika je zato tudi pri kakovosti napovedi v različnih letnih časih. Pri napovedih, sestavljenih ob 10. uri, denimo, je bilo poleti točnih 37% napovedi, pozimi pa le 28%. Pozimi je bilo nekoliko manj napovedi, ki so predvidevale za nekaj razredov višjo bazo oblakov kot je dejansko bila, poleti pa manj takih, ki so predvidevale za nekaj razredov nižjo bazo. Velika razlika je tudi pri odstopanjih opazovanega razreda višin od napovedanega za 8 oziroma 9 razredov, kjer je pozimi kar precejšnje število napovedi, skupaj kar okoli 10%. Pojavijo se zato, ker je bila napovedana megla ali nizka oblačnost, ki pa bodisi ni nastala bodisi se je prekmalu razkrojila, nad njo pa je bilo jasno nebo ali pa so bili oblaki višji od 2500 m. Rezultat je tako veliko odstopanje napovedi od opazovanj.



Slika 1. Odstopanje opazovanega razreda višin od napovedanega za vse napovedi ob 10. uri. Negativni razredi pomenijo precejšnje, pozitivni razredi pa podcenjeno višino.
Figure 1. Frequency distribution of deviations of forecasted class of cloud-base heights from the observed ones for 10 a.m. forecasts. Negative classes contain overestimated, while positive classes contain cases of underestimated heights.

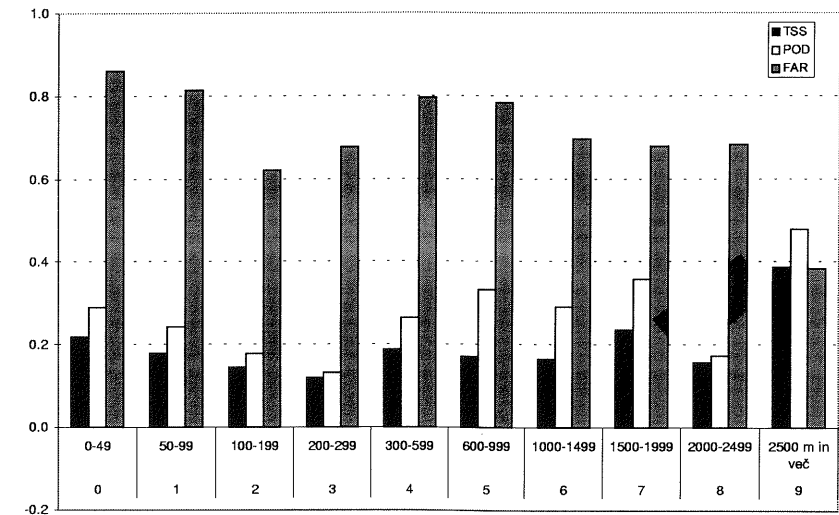
Odstopanje opazovanega razreda višin od napovedanega za vse napovedi ob 10. uri. Negativni razredi pomenijo, da je bila napovedana višina precejšnja in da je bila dejanska višina baze za določeno število razredov manjša, pozitivni razredi pa, da je bila višina podcenjena.

Tudi pri napovedih ob 16. uri so razmere zelo podobne, razlika je le v deležih posameznih razredov. Tako je še večja razlika med točnimi napovedmi poleti in pozimi, saj je bilo pozimi točnih 31%, poleti pa že 43% napovedi, torej je razlika za 12%. Še večje razlike so

med napovedmi za januar in avgust, ki sta najslabši in najboljši mesec po uspešnosti napovedi. Avgusta je bilo namreč uspešnih skoraj 44% napovedi, medtem ko je bilo januarja le 23% napovedanih višin oblakov v istem razredu kot kasnejša opazovanja.

Kar se tiče kakovosti napovedi za posamezne razrede višin baze oblakov, so med poletnimi in zimskimi meseci razlike. Pozimi je namreč precej več nizkih oblakov kot poleti in zato je poleti napoved prvih nekaj višinskih razredov, recimo do višine 300 m, nekoliko slabša. Precej bolje so napovedani nekoliko višji razredi, kjer se verjetnost pravilne napovedi približa 50%. Pozimi so napovedi slabše kot poleti, nekoliko bolje pa so napovedani nižji oblaki, pri višjih pa so rezultati zelo odvisni od razreda, saj napovedi nihajo v kvaliteti. Izjema je le 9. razred z višinami baz nad 2500 m, kjer so tudi pozimi dobri rezultati. Vzrok je to, da je pozimi precejšnje število jasnih dni, ko je napoved višin oblakov precej lažja kot na primer pri pojavu ali razkroju megle.

Značilna za zimske mesece je tudi velika količina lažnih alarmov, torej da je bila višina oblakov napovedana za nek razred, pa se napoved ni uresničila. Vrednosti se v glavnem gibljejo okoli 0,8, torej je bilo okoli 80% napovedi napačnih. Poleti so vrednosti nekoliko nižje, vseeno pa so pri nekaterih višinskih razredih vrednosti zelo visoke.

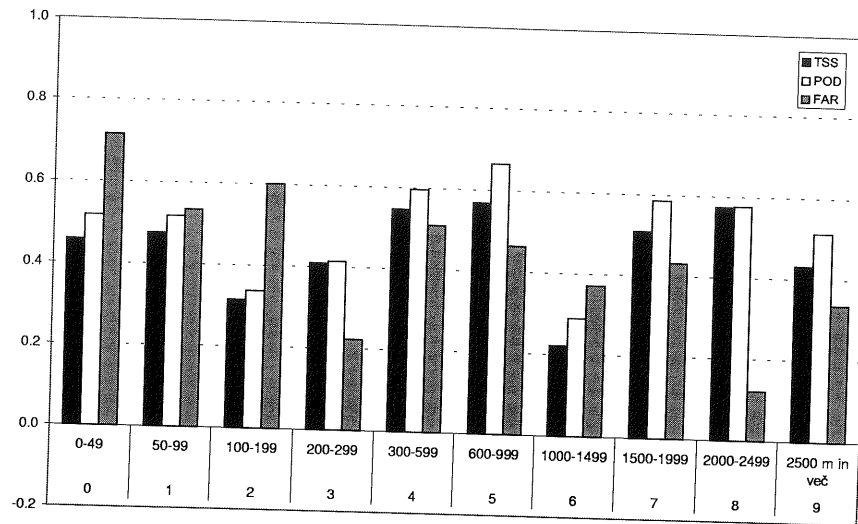


Slika 2. Tri merila za uspešnost napovedi. Verifikacija je bila narejena za dve leti napovedi, sestavljenih ob 10. uri. Značilna je velika stopnja lažnih alarmov in dokaj slaba verjetnost odkritja.
Figure 2. Three indexes of successfulness of forecast (POD - Probability Of Detection, FAR - False Alarm Rate, TSS - True Skill Statistic) for forecasts at 10 a.m. Note high FAR and low POD values.

Splošna ugotovitev je torej, da so poleti napovedi višin baze oblakov bolj zanesljive kot pozimi. V nekaterih razredih so pozimi rezultati sicer boljši, vendar je poleti v teh razredih relativno malo napovedi in rezultati so zato zelo občutljivi na nekaj neuspešnih prognoz.

Če pogoje za uspešnost napovedi višine baze oblakov nekoliko omilimo, se pravi, da dopustimo, da se napovedana višina baze od dejansko opazovane razlikuje za en višinski razred, povsod dobimo precej boljše rezultate. Razlog za to je, da se je lahko opazovana višina baze le za malo razlikovala od napovedane, pa je bila uvrščena v sosednji razred, kar

se je prej štelo za napačno napoved, tako pa je še pravilna. S tem se zraven dobi še precej napovedi iz sosednjih razredov, kar pa bistveno popravi uspešnost napovedi.



Slika 3. Kot slika 2, toda tu štejemo napako za samo en razred kot uspešno napoved. Stopnja lažnih alarmov je sedaj precej nižja, verjetnost odkritja pa višja.
Figure 3. As figure 2, but here an error for only one class is counted as successful forecast. Note substantially lower FAR and higher POD values

To se posebej pozna pri nižjih višinskih razredih, ki imajo zelo majhno širino in je torej tam treba zelo natančno napovedati višino baze. Z upoštevanjem sosednjega razreda se lahko tu za nekajkrat poveča območje višine baze oblakov in posledično se tudi napoved precej izboljša. Podoben rezultat bi lahko pričakovali, če bi povečali območje razredov. Najbolj objektivno bi bilo, če bi bili vsi razredi enako veliki, vendar zaradi oblike podatkov, ki so nam bili na voljo, to ni bilo mogoče.

Zanimivo si je tudi pogledati kakovost napovedi ob dveh različnih terminih. Ob 10. uri se izdaja prognoza, ki velja od 18. ure do 12. ure naslednjega dne, ob 16. uri pa za naslednji dan od polnoči do 18. ure. Tema dvema napovedima je skupno to, da pričneta veljati 8 ur po izdaji, obe pa tudi napovesta vreme od 0^h do 12^h. Razlika med njima je v tem, koliko podatkov ima prognostik na voljo oziroma koliko ga je uspel pregledati, in pa to, da enkrat napoveduje vreme zvečer, drugič pa popoldne. Primerjava rezultatov verifikacije napovedi pokaže, da so prognoze ob 16. uri boljše kot ob 10^h. To velja tako za posamezne mesece kot za letne čase in posledično tudi za vse napovedi skupaj. Če preverimo uspešnost vseh napovedi v obdobju dveh let, izdanih ob 10. uri, lahko ugotovimo, da jih je bilo povsem točnih 32%, pri izdanih ob 16. uri pa nekoliko več, namreč 36%.

Napovedi, sestavljene ob 16^h so skoraj vedno boljše od tistih, ki so jih pripravili ob 10^h, pa naj gre za verjetnost odkritja ali za lažne alarme. Ker skoraj enake rezultate dobimo tudi pri primerjavi najboljših in najslabših napovedi ter pri napovedi za različne letne čase, lahko nedvoumno zatrdimo, da so tiste ob 16^h boljše od napovedi ob 10^h. Vzroka za to sta lahko

dva. Prvi je ta, da je mogoče nekoliko lažje napovedovati višino oblakov v popoldanskem času kot zvečer, ta del dneva pa spada v prognozo ob 16. uri. Drugi razlog bi lahko bil napoved oblakov oziroma megle v jutranjem času, kar je zelo zahtevno opravilo. Ob 16^h ima prognostik več podatkov, ki jih lahko uporabi za svojo napoved, pa tudi več časa že spremlja vreme in ima nad njim boljši pregled, zato so tudi napovedi lahko boljše.

4 SKLEP

Višine baze oblakov je očitno dokaj težko napovedati, saj rezultati niso preveč dobri. Nekoliko boljše razmere so v poletnih mesecih, pozimi pa so rezultati dokaj skromni. Napovedi, pripravljene ob 16^h, so boljše od napovedi, ki jih pripravijo ob 10^h, kar je verjetno posledica napovedi za nekoliko različna termina in pa več podatkov, ki jih ima na voljo prognostik.

LITERATURA

- Bradbury, T., 1996: *Meteorology and Flight, A pilot's guide to weather*, Second edition, A&C Black, London.
- Brnik, 1998-1999: *Napovedi TAF*, HMZ, Služba letalske meteorologije, Brnik
- HMZ, 1993-1999: *Poročila SYNOP*, Arhiv HMZ RS
- Mahringer, G. in Kerschbaum, M., 1998: *Principles and Algorithms for TAF Verification within TIPS*, <http://projects.dnmi.no/~tips/>
- WMO, 1996: *Aerodrome reports and forecasts: A user's handbook to the codes (revised edition)*; Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva. ii + 68 pp.

SIMULACIJA TURBULENTNEGA RAZKROJA JEZERA HLADNEGA ZRAKA Z MODELOM MM5

SIMULATION OF TURBULENT DISSIPATION OF A COLD AIR LAKE USING MM5 MODEL

Janko MERŠE¹
(mentor Jože RAKOVEC²)

prispelo 12. junija 2000

prejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Z nehidrostatskim mezometeorološkim modelom MM5 so simulirani turbulentni razkroji jezera hladnega zraka v kotlini. Prve simulacije opisujejo dogajanje v idealizirani, geometrijsko pravilni kotlini. Modeliran je razkroj jezera hladnega zraka ob dotoku potencialno toplejšega zraka v višinah. Hitrost vetra mora biti dovolj velika, da povzroči dovolj turbulentnega mešanja na meji s hladnim zrakom, tako da se toplejši zrak od zgoraj lahko premeša v hladnejše jezero zraka v kotlini.

V drugem delu je opisan realen primer turbulentnega razkroja jezera hladnega zraka v Ljubljanski kotlini, podprt s prizemnimi in sodarskimi meritvami. Pri numerični simulaciji so privzete nekatere poenostavitve.

SUMMARY

A non-hydrostatic mesometeorological model MM5 is used to simulate turbulent dissipation of a cold air lake in a basin.

First simulations are introduced in an idealized geometrically regular basin. Modelled cold air lakes are dissipated by the advection of the potentially warmer air. The flow has to be strong enough to provide enough turbulence on the border between the cold and the warm air so that warm air can mix downward into the cold air lake.

In the second part a case of turbulent dissipation of a cold air lake in Ljubljana basin is described, confirmed with ground and sodar measurements. Numerical simulation of the case follows with certain simplifications.

¹ Janko Merše, Hidrometeorološki zavod RS, Vojkova 1b, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, janko.merse@rzs-hm.si

² Jože Rakovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, joze.rakovec@uni-lj.si

1 UVOD

Za razgibano topografijo je značilno, da se v kotlinah ponoči, še posebej v zimskem času in ob anticiklonalni situaciji, vzpostavijo jezera hladnega zraka. V zimskem času lahko taka jezera vztrajajo več dni tudi v jasnem vremenu, ker je sončno obsevanje prešibko, da bi jih razkrojilo. V tem primeru se taka jezera razkrojijo šele ob spremembi vremenske situacije z advekcijo še hladnejšega zraka ali z večanjem hitrosti vetra nad jezerom hladnega zraka, pri čemer se jezero razkroji s turbulentnim mešanjem od zgoraj navzdol. Prikazane so numerične simulacije za slednji primer razkroja.

2 MODEL

V simulacijah turbulentnega razkroja jezera hladnega zraka je bil uporabljen nehidrostatski mezometeorološki model MM5. Gre za peto generacijo modela, ki so ga pričeli razvijati na univerzi Penn State v ZDA. Model uporablja razmaknjeno mrežo točk (tipa B po Arakawi). Za vertikalno koordinato je uporabljena ti. σ koordinata, ki pa je odvisna le od referenčnega stanja (to je v modelu horizontalno izotropno, hidrostatsko usklajeno in v času konstantno). Krajevni odvodi se izračunavajo kot končne diference (centralna shema z napako II. reda), časovna integracija pa je izvedena s preskočno (leapfrog) shemo. Zaradi večje učinkovitosti se različni členi v dinamičnih enačbah izračunavajo z različnimi časovnimi koraki, z najkrajšim časovnim korakom se izračunava le člene, povezane s tridimenzionalnim stiskanjem in razpenjanjem zraka (zvočni valovi). Za zgornji robni pogoj je uporabljen radiacijski robni pogoj (gravitacijski valovi se od zgornje meje ne odbijajo). Parametrizacija turbulentnih členov je bila izvedena po shemi iz Eta modela (Janjić, 1990). Gre za parametrizacijo po Mellorju in Yamadi stopnje 2.5, kjer se v modelu izračunava prognoistična enačba za turbulentno kinetično energijo, prek katere so parametrizirani posamezni turbulentni tokovi. Temperatura tal se izračunava na petih računskih nivojih.

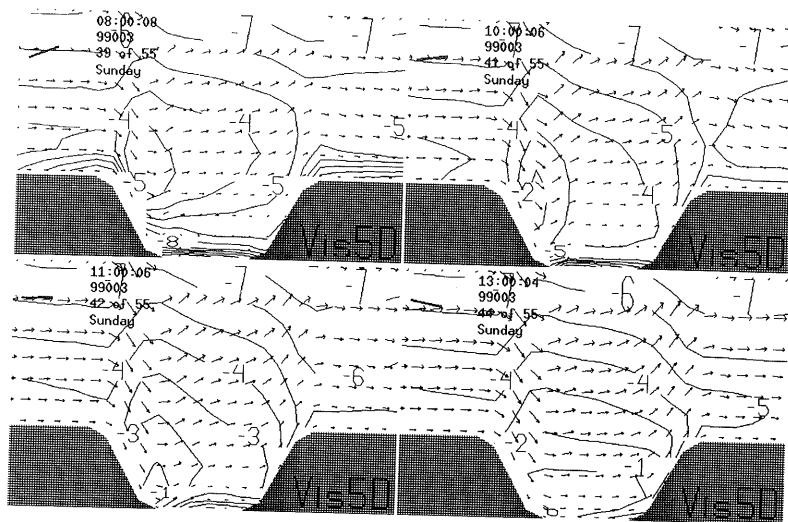
3 REZULTATI

3.1 Idealizirana kotlina

Najprej predstavljamo simulacije razkroja v idealizirani, geometrijsko pravilni kotlini. Horizontalna ločljivost v modelu je 4 km, velikost računske domene pa je 36×36 točk na 27 vertikalnih nivojih. Pri tleh so nivoji gostejši, nato razlika z višino narašča (pri tleh razdalja med nivoji okrog 35 m, pri vrhu približno 820 m). Vrh računske domene je pri referenčnem pritisku 250 hPa. Na sredini domene je kotlina z dnom velikosti 24×24 km na nadmorski višini 0 m. V treh medmrežnih razdaljah se kotlina dvigne do 400 m visokega platoja (najprej za 100 m, nato za 200 m in zopet za 100 m), ki se razteza do robov domene. Sredina računske domene ustreza geografskim koordinatam Ljubljane. Začetek modelske simulacije je postavljen na fiktivni datum 1.januar 1999 ob 18h. V brezvetrju se v modelu v 30 urah v kotlini ustvari jezero hladnega zraka, nato veter, ustvarjen s spremembo pritiskovega gradienta na robovih domene, povzroči njegov razkroj.

Zahodnik nad jezerom hladnega zraka v kotlini pospešujemo z rastjo 2.5 ms⁻¹/h (pospeševati pričnemo 3.januarja ob 00h, 30 ur po začetku simulacije). Razkroj se prične šele pri

hitrostih vetra okrog 7 m/s, ob samem razkroju pa se inverzijska plast na vrhu jezera hladnega zraka okrepi in za nadaljnji razkroj so potrebne večje hitrosti vetra s posledično močnejšo turbulenco (večjo turbulentno kinetično energijo). Če tako pospešujemo veter do hitrosti 15 m/s in nato pospeševanje ustavimo, se jezero hladnega zraka razkroji do nadmorske višine okrog 150 m, nato se razkroj ustavi. Za razkroj celotnega jezera hladnega zraka v modelski kotlini so potrebne hitrosti vetra do 30 m/s, kar je prikazano na slikah 1 in 2.



Slika 1. Prerez zahod-vzhod po sredini kotline za 3. jan. ob 8h, 10h, 11h in 13h za razkroj v idealizirani kotlini s hitrostmi vetra do 30 m/s; temperaturno polje (izolinije) in veter (puščice, vertikalna komponenta povečana za približno faktor 50).

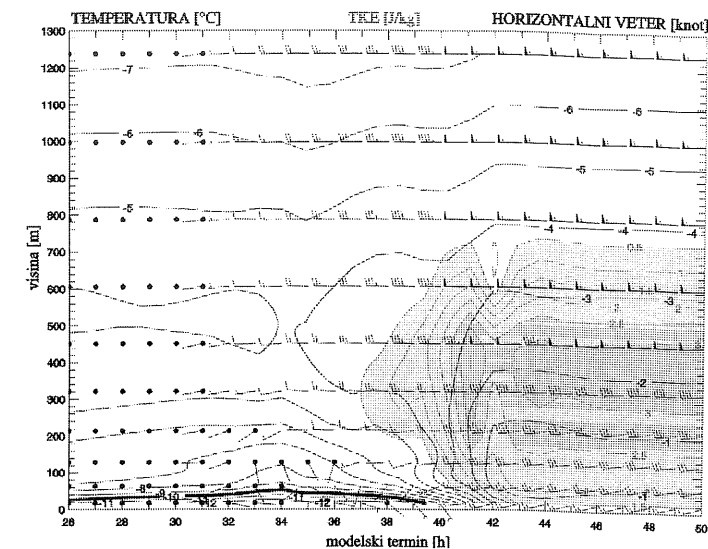
Figure 1. Vertical cross-section W-E trough the center of the basin for Jan 3rd at 8, 10, 11 and 13 hours for the case of dissipation in the idealized basin with the wind velocities up to 30 m/s; temperature field (isolines) and wind (black arrows, vertical component magnified for approximately 50 times).

3.2 Realen primer razkroja s tople advekcijo v višinah

Predstavljen je realen primer turbulentnega razkroja jezera hladnega zraka v Ljubljanski kotlini 7. januarja 1999. V daljšem obdobju anticiklonalne situacije se je v Ljubljanski kotlini ustvarilo megleno jezero hladnega zraka, močna temperaturna inverzija do višine okrog 1800 m pa je prevladovala nad vso Slovenijo. 7. januarja se je veter nad jezerom hladnega zraka obrnil v jugozahodnik in se okrepil, 8. januarja pa so naši kraji prišli pod vpliv območja nizkega zračnega pritiska. Ob krepitvi vetra sta se kotlinska inverzija in jezero hladnega zraka v Ljubljanski kotlini razkrojila s premešanjem od zgoraj navzdol.

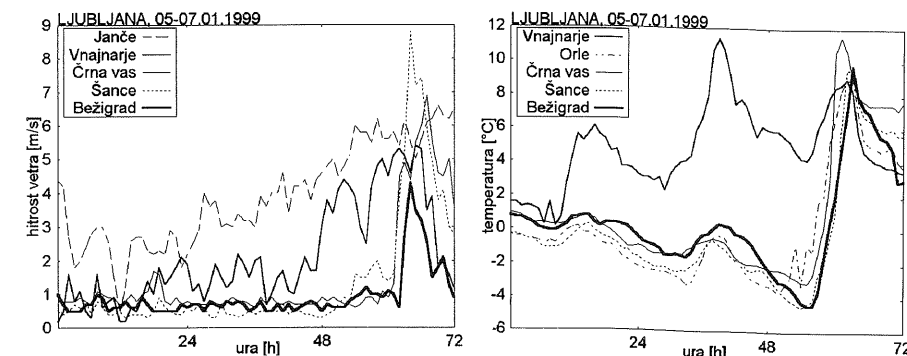
Sam razkroj je precej dobro opisan z meritvami, saj je bilo v tem času na področju Ljubljanske kotline postavljenih še nekaj dodatnih meteoroloških merilnih postaj, opravljale pa so se tudi meritve s sodarjem. Meritve vetra in temperature ter sodarske meritve so predstavljene na slikah 3 in 4. Veter na višje ležečih postajah Vnajnarje (630 m) in Janče (798 m) se na dan razkroja počasi krepi, na postajah znotraj jezera hladnega zraka pa ni opaziti bistvenih sprememb vse do skokovitega preobrata, ko razkroj doseže merilno postajo. Tako po vrsti sledijo Šance (385 m) okrog 13h, skoraj istočasno Črna vas (288 m) in slabe dve uri kasneje Bežigrad (299 m). Zelo podoben oris dogodkov nam opišejo

meritve temperature, ko ob razkroju temperatura zraka skokovito poraste. Iz meritev vetra in temperature je razvidno, da se z večanjem vetra inverzijska plast pomika vse bolj proti dnu kotline, tako jezero hladnega zraka izginja najprej na višje ležečih točkah, dno kotline pa razkroj najprej doseže približno v smeri, iz katere piha veter, razkranje pa se nato nadaljuje v smeri vetra (podoben potek je opažen tudi pri idealiziranih simulacijah). Meritve sodarja razkrijejo spreminjanje vetrovnega polja po vertikali med razkrojem praktično do najmanjših podrobnosti, prikazane so na sliki 4.



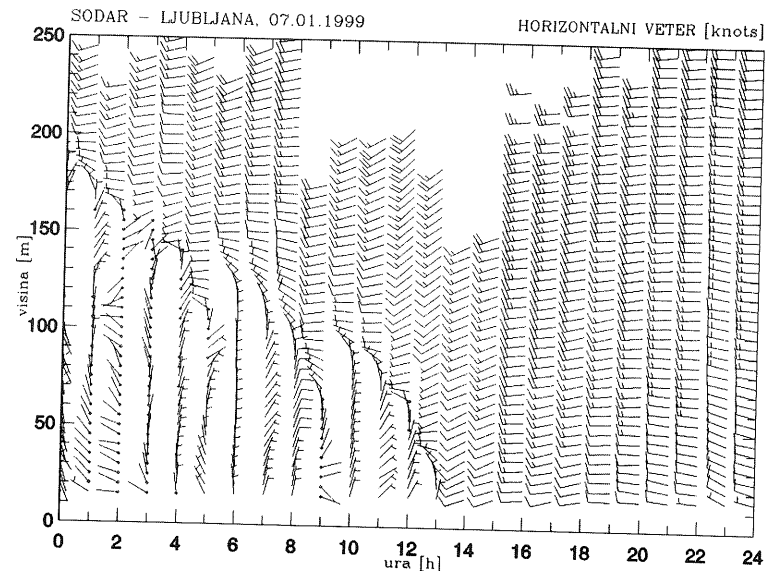
Slika 2. Časovno višinski prerez polj temperature, horizontalnega vetra in turbulentne kinetične energije za točko na sredini kotline za razkroj v idealizirani kotlini s hitrostmi vetra do 30 m/s.

Figure 2. Time-vertical cross-section of temperature, horizontal wind and turbulent kinetic energy over the center of the idealized basin for the case of dissipation with wind up to 30 m/s.



Slika 3. Hitrost vetra (levo) in temperatura zraka (desno) na različnih merilnih postajah na področju Ljubljanske kotline za obdobje 5.-7. januar 1999

Figure 3. Wind velocity (left) and temperature (right) at different stations in the Ljubljana basin for Jan. 5th-7th, 1999



Slika 4. Meritve horizontalnega vetra s sodarjem za 7. januar 1999 na severnem robu Ljubljanskega barja (urne vrednosti).

Figure 4. Horizontal wind measured with SODAR on Jan 7th, 1999 above the northern part of Ljubljansko Barje (hourly values).

Narejena je bila tudi simulacija realnega primera razkroja z modelom MM5. Prvi poskus simulacije je bil izveden s sklopitvijo z operativnim meteorološkim modelom ALADIN/SI, rezultati pa so se izkazali za neuporabne, saj niti vhodno polje ni opisovalo kotlinske inverzije, pa tudi napovedan veter nad Ljubljansko kotlino je bil precej šibkejši od izmerjenega. V nadaljnjih poskusih je bilo tako potrebno posebej pripraviti vhodna polja in robne pogoje, pri čemer so bile uporabljene določene poenostavitve. Začetni in robni pogoji so rekonstruirani na osnovi izglajenih in prilagojenih radiosondažnih meritev nad Ljubljano. Poenostavljena je tudi modelska topografija, kjer je prirejena realna topografija opisana le v sredini domene, na robovih pa je relief opisan kot raven plato. Kljub številnim poenostavitvam se je simulacija precej dobro približala izmerjenemu procesu v naravi, zaradi poenostavitve pa je bila možna le kvalitativna primerjava.

4 SKLEP

Jezero hladnega zraka v kotlini se lahko razkroji tudi z dotokom toplejšega zraka v višinah, če je le veter dovolj močan. Opisane so numerične simulacije takega razkroja: najprej za idealizirano kotlino, potem pa skupaj z izmerjenimi karakteristikami za nek primer tudi za Ljubljansko kotlino. Mezometeorološki nehidrostatični model MM5 se je pokazal kot primerno orodje za take simulacije. Težave so še pri pripravi primernih začetnih pogojev, saj operativni modeli za napoved ne opišejo dovolj podrobno razmer pri tleh, predvsem temperaturne inverzije.

LITERATURA

- Grell, G.A., Dudhia, J., in Stauffer, D.R., 1995: *A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5)*. NCAR/TN-398+STR, National Center for Atmospheric Research, CO, USA.
- Janjić, Z.I., 1990: The Step-Mountain Coordinate: Physical Package. *Mon. Wea. Rev.* 118, 1429-1443.
- Jernej, S., 2000: *Planungsrelevante Stadtklimaanalyse Laibach / Ljubljana*, Dissertation, Institut für Geographie der Karl-Franzens-Universität Graz, 292 str..
- Markošek, J., 1999: Razvoj vremena v januarju 1999. *Mesečni bilten* Januar 1999, Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 6, št. 1, 16-21.
- Petkovšek, Z., 1992: Turbulent Dissipation of Cold Air Lake in a Basin. *Meteorol. Atmos. Phys.* 47, 237-245.

PREUČEVANJE SPREMINJANJA KONCENTRACIJ SO₂ V ZASAVJU S POMOČJO TRAJEKTORIJ

STUDY OF SO₂ CONCENTRATION VARIATIONS IN ZASAVJE WITH TRAJECTORIES

Rahela ŽABKAR¹

(mentor Tomaž VRHOVEC²)

prispelo 1.septembra 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Zasavje je območje v Sloveniji, kjer so koncentracije SO₂ še vedno visoke, saj je tam izrazit vir - Termoelektrarna Trbovlje (TET). Pregledala sem meteorološke in ekološke značilnosti Zasavja ter meritve onesnaženja. Za nekatere termine sem s pomočjo tridimenzionalnih trajektorij ugotavljala, kam vetrovi ženejo onesnaženje iz TET. Z analizo obdobj, v katerih TET ni obratovala, sem ugotovila, kolikšen je vpliv ostalih onesnaževalcev. V teh obdobjih so bile na eni od merilnih postaj v okolici TET izmerjene razmeroma velike koncentracije SO₂. Za nekaj takšnih terminov sem s pomočjo trajektorij ugotovila, od kod je prišlo onesnaženje. Visoke koncentracije so se ponavadi pojavljale ob severnem vetru, zato sem za te termine preverila tudi kam je veter nesel onesnaženje iz Termoelektrarne Šoštanj (TEŠ), kije tudi velik onesnaževalec zraka z žveplovim dioksidom.

SUMMARY

Air pollution by SO₂ remains is still a problem in environmental protection. Zasavje region is one of the most polluted in Slovenia with a large emissions from Thermo-power plant Trbovlje (TET). I studied meteorological and ecological characteristics of Zasavje region and their pollution measurements. I computed 3D trajectories to find out where the wind carries pollution from the TET. I analysed time periods when TET didn't operate to see the effect of other polluters. During these periods high concentrations of SO₂ were measured on one of the stations. I selected some of these cases and used trajectories to find out where the pollution came from. High concentrations were usually present at north wind. I checked whether the wind brings the pollution from Thermal power plant Šoštanj (27.5 km North from Zasavje) and it is like TET, a large contributor to air pollution by SO₂.

¹ Rahela Žabkar, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, rahela.zabkar@fmf.uni-lj.si

² Tomaž Vrhovc, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, tomaz.vrhovec@uni-lj.si

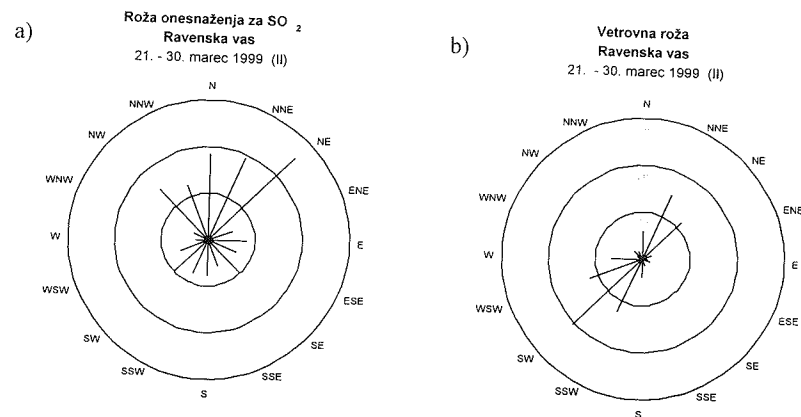
1 RAČUNANJE TRAJEKTORIJ

Eden od načinov spremljanja zračnih tokov je računanje trajektorij. Napisala sem program za računanje tridimenzionalnih trajektorij. Uporabljala sem polja vetra, ki jih izračunavajo z dinamično adaptacijo z modelom ALADIN. Resolucija horizontalne mreže točk z vetrom je bila 2,5 km. V vertikalni je bil veter podan na 15 modelskih 7 nivojih, ki so bili pri teh gostejši, z višino pa vse redkejši. (Najvišji nivo pri 27,2 hPa.) Veter je bil na voljo za 6 do 9 ur, v časovnem razmiku 1 ure. Pri računanju trajektorij sem veter v točkah na trajektoriji računala s pomočjo linearne interpolacije po času in po prostoru. Časovni korak Δt med dvema zaporednima točkama na trajektoriji sem določala v vsaki točki posebej tako, da sem dovolila premik največ v sosednji mrežni kvadratale v x oziroma y smeri.

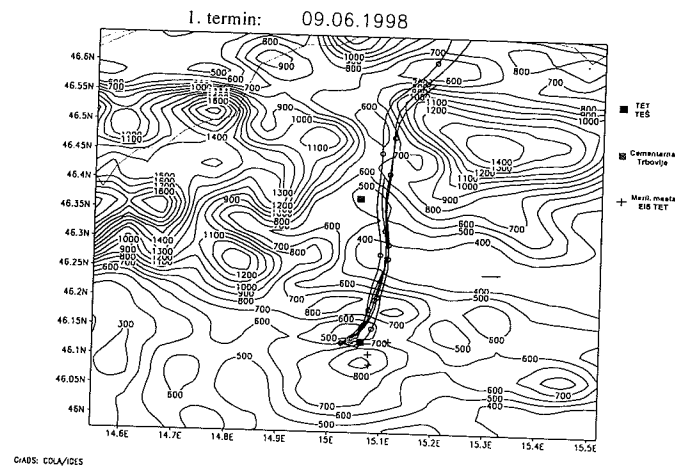
2 SPREMLJANJE TRANSPORTA ONESNAŽENEGA ZRAKA S POMOČJO TRAJEKTORIJ

Glavni vir žveplovega dioksida v Zasavju je TET. Zaradi 360 m visokega dimnika je njen vpliv čutiti le na višje ležečih pobočjih in planotah. V okviru merilne mreže EIS TET kvaliteto zraka neprekinjeno spremljajo na štirih merilnih mestih (Kovk, Kum, Dobovec, Ravenska vas). Na teh mestih sem ocenila vpliv TET ter vpliv ostalih onesnaževalcev zraka s SO₂. V letih 1998 in 1999 sem poiskala 5 najdaljših obdobj (dolgi od 7,7 do 31 dni), ko TET ni obratovala. V Ravenski vasi so se tudi tedaj, ko TET ni obratovala, občasno pojavljale visoke koncentracije SO₂. Rože onesnaženja so pokazale, da onesnažen zrak v teh obdobjih večinoma prihaja iz N-NE smeri.

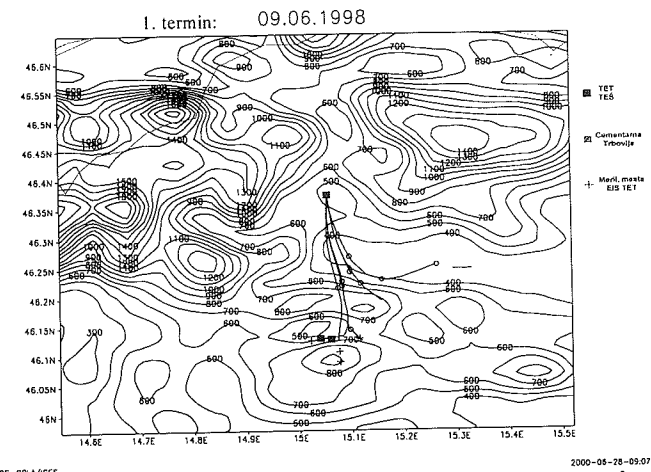
Vire onesnaženja sem tako poskušala najti v tej smeri. Prvi možen vir bi lahko bila Cementarna, ki se nahaja v smeri NE, malo več kot 1 km stran. Toda njene emisije SO₂ so bistveno manjše od emisij TEŠ, ki leži severno od Ravenske vasi, v oddaljenosti 27,5 km. S pomočjo trajektorij sem tako poskušala preveriti, če bi veter onesnažen zrak lahko prinesel iz TEŠ. Trajektorije, izračunane za štiri izbrane termine, ko so bile koncentracije v Ravenski vasi povišane, so pokazale, da bi v dveh terminih onesnaženje lahko prišlo iz TEŠ, v preostalih dveh pa ne. Glede na to, da so v vseh terminih izračunane trajektorije potekale preko Cementarne, bi onesnaženje lahko izviral tudi od tod. Tudi v obdobjih, ko nista obratovala niti TET niti blok 5 TEŠ, razmere v Ravenski vasi niso bile bistveno drugačne. Trajektorije torej kažejo, da bi v nekaterih terminih onesnaženje lahko prišlo tako iz Termoelektrarne Šoštanj kot iz Cementarne. Glede na to, da so bile koncentracije visoke tudi v času, ko blok 5 TEŠ ni obratoval, lahko sklepamo, da del onesnaženega zraka gotovo prihaja iz Cementarne.



Slika 1. a) Roža onesnaženja - povprečna koncentracija SO₂ ob vetru iz posamezne smeri - za merilno mesto Ravenska vas v obdobju, ko TET ni obratovala. b) Vetrovna roža za isto obdobje.
 Figure 1. a) Air pollution »rose« - concentrations of SO₂ according to the wind direction - for measuring station Ravenska vas in a period when termoplant Trbovlje did not work. b) Wind rose for the same period.



Sliki 2. Trajektorije nazaj za Ravensko vas. Najvišja polurna koncentracija SO₂ 9.6.1998 je bila 265 µg/m³ ob 4.00. Narisane trajektorije nazaj se v Ravenski vasi nahajajo ob 0.30, 1.30, 2.30, 3.30, 4.30 in 5.30 uri. Vse potekajo blizu TEŠ Šoštanj in preko Cementarne Trbovlje.
 Figure 2. Backward trajectories for Ravenska vas. Highest half-hour SO₂ concentration on June 9th 1998 was 265 µg/m³ at 04.00. Plotted trajectories are in Ravenska vas at 00.30, 01.30, 02.30, 03.30, 04.30 and 05.30 hour. All pass close to termoplant Šoštanj in concrete plant Trbovlje.



Slika 3. Trajektorije naprej iz TEŠ. Najvišja polurna koncentracija SO₂ 9.6.1998 je bila 265 µg/m³ ob 4.00. Dve trajektoriji, izračunani ob 2.00 in 3.00 iz TEŠ, se v Zasavju nahajata približno v času maksimuma konc. SO₂ v Ravenski vasi, tri pa gredo mimo Zasavja.
 Figure 3. Forward trajectories for termoplant Šoštanj. Highest half-hour SO₂ concentration on June 9th 1998 was 265 µg/m³ at 04.00. Two trajectories, computed from termoplant Šoštanj at 02.00 and 03.00 pass the region of interest - Zasavje - very close to the peak concentration of SO₂ in Ravenska vas, while three of them do not cross the Zasavje region.

LITERATURA

- Čuhalev, I., 2000: *Ocena ekoloških sanacijskih ukrepov in stanje onesnaženosti zraka na vplivnih območjih termoenergetskih objektov od leta 1995 do 1998*, Elektroinštitut Milan Vidmar, Ljubljana
- Čuhalev I., Šušteršič A., Kokalj A., 1999.: *Rezultati meritev imisijskega in emisijskega obratovalnega monitoringa TE Trbovlje*, Strokovno poročilo, Elektroinštitut Milan Vidmar, 4 zvezki: maj 1999, junij 1999, julij 1999, avgust 1999.
- Paradiž B., Maček J., Zupančič T., 1972: *Ugotovitve o onesnaženosti zraka v Zasavju, vzrokih in posledicah*, Hidrometeorološki zavod RS, Ljubljana.
- Žagar M., 1999: *Napovedovanje pojavov majhnih razsežnosti z dinamičnim prilagajanjem*, disertacija v somentorstvu, Univerza v Ljubljani, FMF, Ljubljana.