

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.

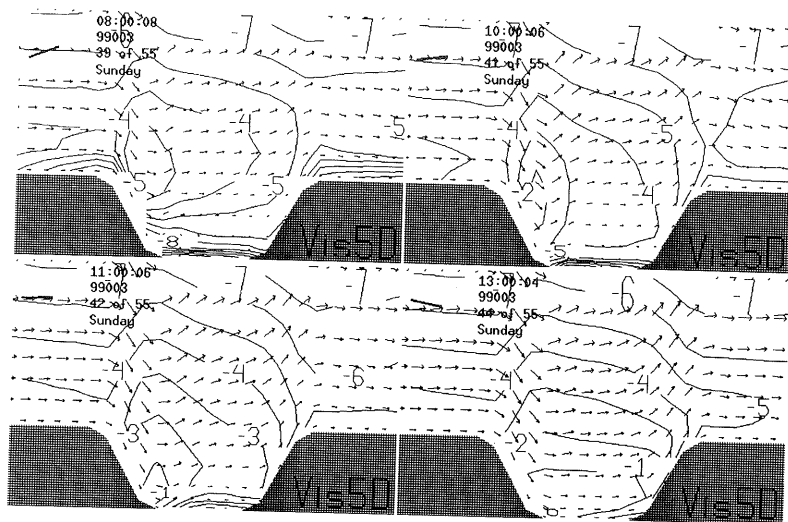
3 REZULTATI

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).

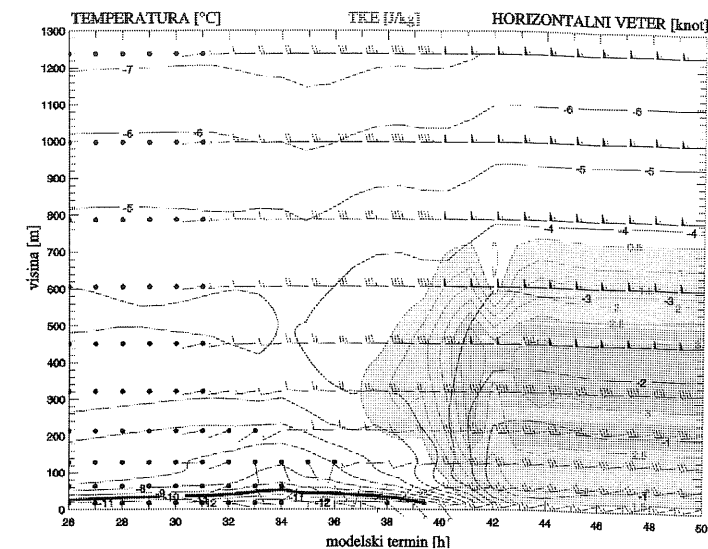
Figure 1. Vertical cross-section W-E trough the center of the basin for Jan 3rd at 8, 10, 11 and 13 hours for the case of dissipation in the idealized basin with the wind velocities up to 30 m/s; temperature field (isolines) and wind (black arrows, vertical component magnified for approximately 50 times).

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.

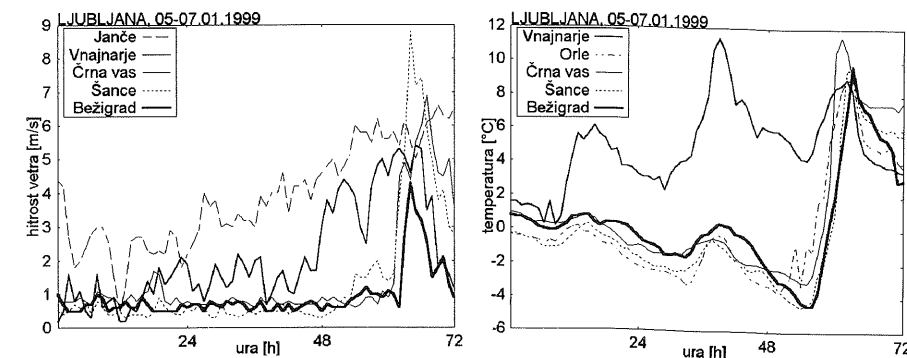
Sam razkroj je precej dobro opisan z meritvami, saj je bilo v tem času na področju Ljubljanske kotline postavljenih še nekaj dodatnih meteoroloških merilnih postaj, opravljale pa so se tudi meritve s sodarjem. Meritve vetra in temperature ter sodarske meritve so predstavljene na slikah 3 in 4. Veter na višje ležečih postajah Vnajarje (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.



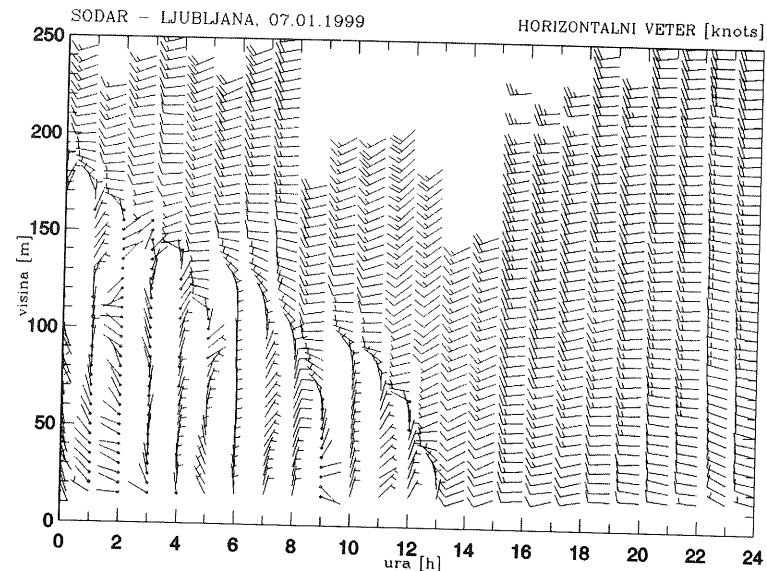
Slika 2. Časovno višinski prerez polj temperature, horizontalnega vetra in turbulentne kinetične energije za točko na sredini kotline za razkroj v idealizirani kotlini s hitrostmi vetra do 30 m/s.

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 poenostavitvev 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.