

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 turbulenci 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.

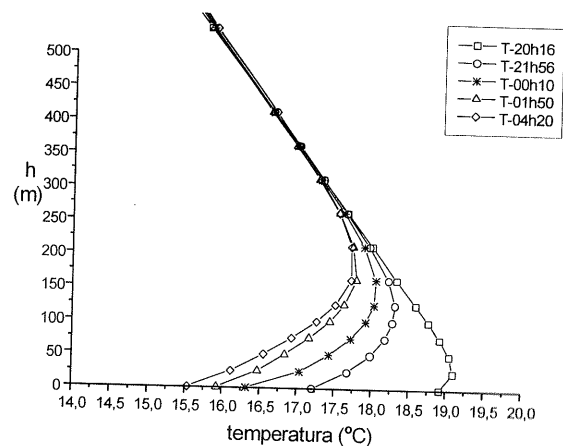
3 REZULTATI RAČUNALNIŠKIH SIMULACIJ NASTANKA IN RAZKROJA JEZER HLADNEGA ZRAKA

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 privetnimi 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.

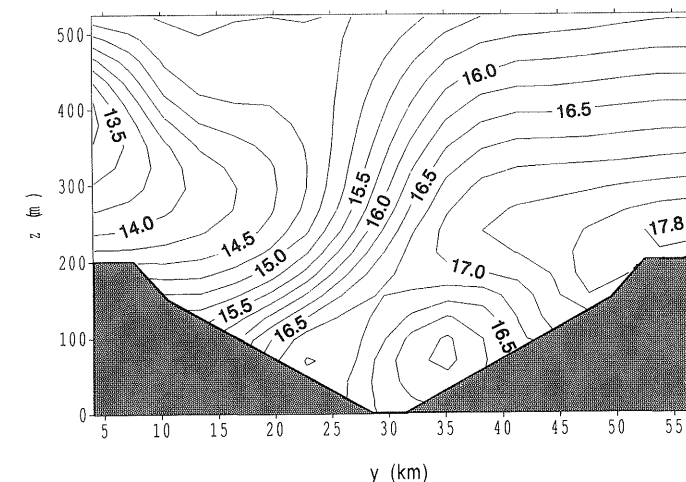
Slika 1 prikazuje modeliran nastanek temperaturne inverzije v kotlini. Temperaturna inverzija je globoka približno 250 m.

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).

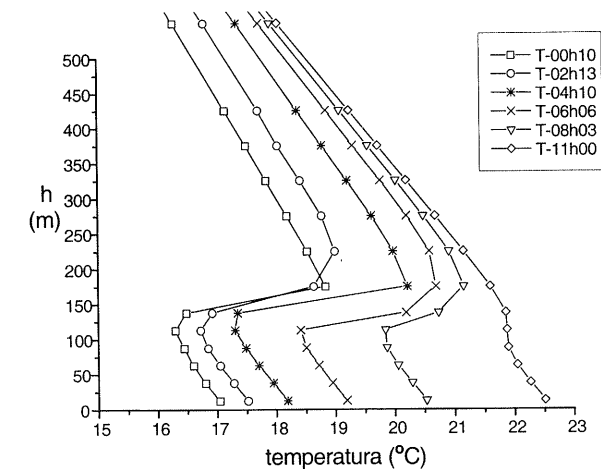
Druga možnost dinamičnega razkroja je vertikalno mešanje turbulentnega zraka. Pri dovolj turbulentnem vetru se premeša zrak do dna kotline. Zaradi turbulentnega mešanja od zgoraj, se temperaturna inverzija začasno še okrepi, preden se zrak ne premeša do dna kotline (slika 3).



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 temperaturne 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.