

ANALIZA VZROKOV IN NUMERIČNO MODELIRANJE MOČNIH PADAVIN

18. SEPTEMBRA 2007

Analysis of causes and numerical modelling of heavy precipitation on 18 September 2007

Mark Žagar* UDK 551.577.37(497.4)“2007”

Povzetek Abstract

Prikazani in pojasnjeni so najverjetnejši vzroki za nastanek močnih padavin 18. septembra 2007 v dopoldanskem času nad zahodno Slovenijo. Odločilno vlogo je odigralo proženje potencialne nestabilnosti, ki je v povezavi z oblikami reliefa povzročilo kvazistacionarne konvektivne linije. Numerični modeli so dogodek dobro zajeli, omejitve pa so posledica njihove trenutne prostorske ločljivosti, kar smo potrdili s simulacijo z raziskovalnim modelom ločljivosti 1 km.

The most probable causes of the heavy rain episode of September 18, 2007 are presented and explained in the paper. We believe that the orographic triggering of potential instability contributed significantly to the intensity of rain, coupled to the quasi-stationary character of the convection due to the terrain shape in western Slovenia. The available numerical models provided good and useful guidance for as much as 4 days in advance. Deficiencies in the forecast were due to insufficient model resolution, which is confirmed by a simulation using a research model at 1 km resolution.

Uvod

Padavine so posledica kondenzacije vodne pare zaradi ohlajanja vlažnega zraka pod temperaturo rosišča. Ohlajanje zraka je običajno povezano z dviganjem, saj se ob dviganju zrak adiabatno razpenja in s tem opravi delo, zaradi česar se mu ustrezno zniža temperatura. Hitrejše ko je dviganje, bolj se zrak ohlaja in hitreje se kondenzira vodna para.

Zrak se lahko dviga zaradi več vzrokov: prisilno s hitrostjo normalne komponente vetra ob pobočju, s konvergenco pri tleh, ob frontalnih površinah, v območju nizkega zračnega tlaka in konvektivno, kadar je temperatura delca zraka toplejša od okolice. Posebej konvektivno dviganje lahko povzroči zelo velike vertikalne hitrosti, saj je ozračje temperaturno razslojeno tako, da se delec ob dviganju ohladi manj kakor okolica in se mu s tem še poveča pozitivni vzgon. Ob kondenzaciji vodne pare se namreč sprostijo relativno zelo velike količine toplote, na kilogram vodne pare kar 2,5 MJ.

Izjemno veliko padavin lahko pade, če se konvektivna celica zaradi dalj časa trajajočih vzrokov obnavlja na istem mestu. Dva poglobljena taka vzroka sta oblika reliefa in značilnost zračne mase. Ob situacijah, ko se hladna fronta od severozahoda bliža Alpam, lahko nad

območjem zahodne Slovenije dalj časa piha jugozahodni veter, ki prinaša precej vlažen in relativno topel zrak.

V nadaljevanju so prikazane značilnosti vremenske situacije 18. septembra 2007, ki je privedla do poplav v dolini Selške Sore. Prikazana je uspešnost napovedovanja takšnih dogodkov s sedanjimi operativnimi in raziskovalnimi numeričnimi meteorološkimi modeli visoke prostorske ločljivosti.

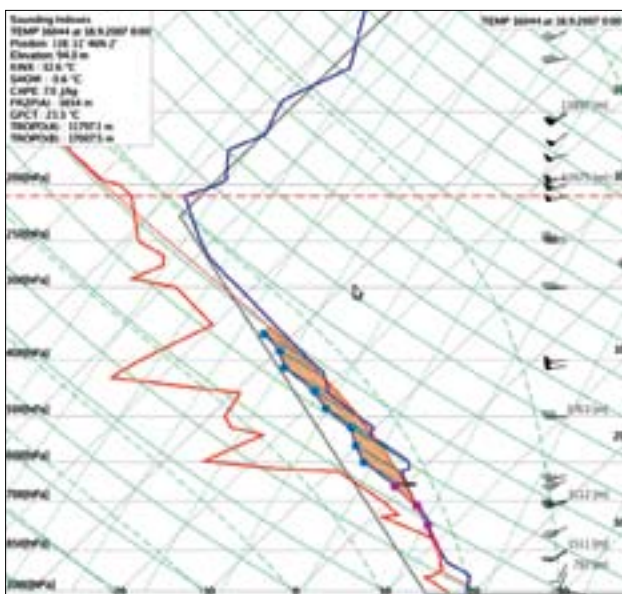
Ozadje dogajanj

18. septembra 2007

Značilnosti zračne mase na dan dogodka so prikazane na sliki 1. Ob vertikalnem poteku temperature in temperature rosišča ter vetra, izmerjenega 18. 9. 2007 ob OOUTC v Vidmu, je označena tudi energija, ki se potencialno lahko sproži ob prisilnem dvigu celega stolpca zraka. V konkretnem primeru več kilometrov debela plast vlažnega in nasičeno vlažnega zraka, ki priteka od zahoda in jugozahoda, naleti na relief, orientiran pravokotno na to smer, in se zaradi tega cela dvigne že v privetrju reliefa in s tem destabilizira.

Nato je potrebna le še motnja v obliki povečane konvergence zraka pri tleh, za katero je relief v zahodni Sloveniji še kako primeren in konvekcija se lahko prične. Na zaporedju radarskih posnetkov (ni prikazano v tem članku) je dobro vidno, da konvektivne celice nastajajo vedno znova v bližini italijanske meje v višini Kobarida (slika 2). Jakost padavin v

* doc. dr., Ministrstvo za okolje in prostor RS, ARSO, Vojkova 1 b, Ljubljana, mark.zagar@gov.si



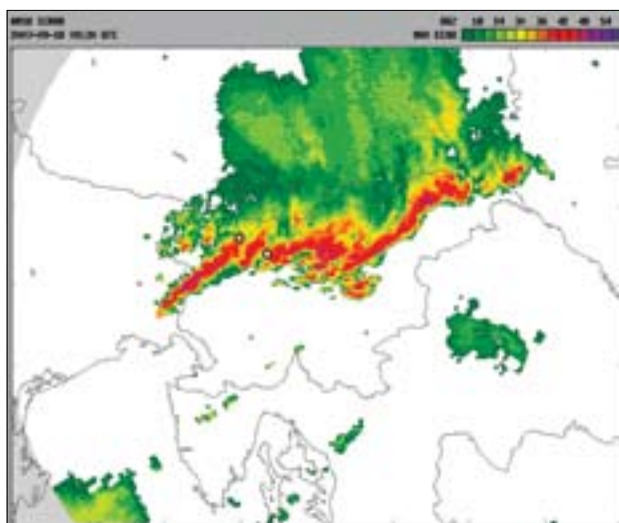
Slika 1. Vertikalna sondaža ozračja nad Vidmom, 18. 9. 2007 ob 00 UTC. Modra črta predstavlja temperaturo zraka, rdeča temperaturo rosišča. Vijolične in modre črte s piko označujejo spremembo temperature delca zraka z neke višine, če se suho (vijolična) ali nasičeno (modra) dvigne za 1 km. Z oranžno barvo je označena ocena energije konvektivne nestabilnosti (CAPE), ki bi se pojavila ob takšnem dvigu za 1 km v konkretnem primeru.

Figure 1. Atmospheric sounding at Udine, 18 September 2007 at 00 UTC. The blue line represents air temperature while the dew point temperature is plotted with a red line. Purple and blue lines with dots on one end denote a 1 km lift from each of the points and the attained temperature for dry adiabatic (purple) and saturated (blue) lifting. The shaded area is an estimate of the convective available potential energy (CAPE) for such a 1 km lift in the presented case.

Lescah in na Brniku, prikazana na sliki 3, lepo kaže dejstvo, da konvektivne celice, nastale na omenjenem območju, živijo dalj časa, ker iz okolice srkajo vlažen zrak. Izjemna je tudi časovna spremenljivost jakosti padavin.

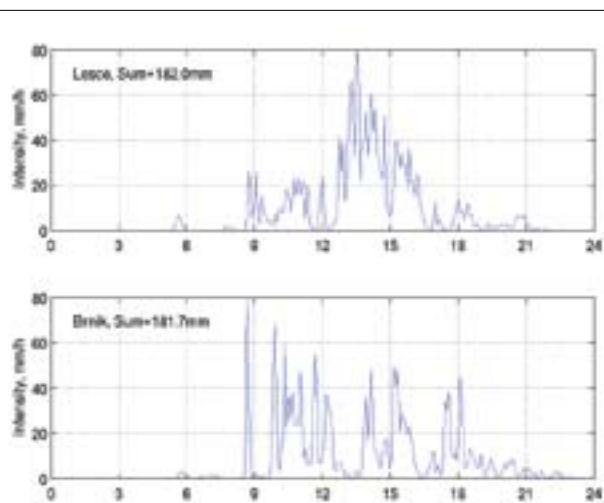
Numerično modeliranje dogodka

Za vnaprejšnje opozarjanje in napovedovanje dogodka in še posebej njegove jakosti je zelo pomembno, da dogajanje zajamejo prognoistični meteorološki modeli. V Evropi je za srednjeročno napovedovanje, se pravi za več kakor dva dneva vnaprej, primarni model Evropskega centra za srednjeročno napovedovanje vremena (ECMWF, www.ecmwf.int). Ker model ne more zaznati pojavov, ki so manjši od ločljivosti, ti pojavi pa lahko pomembno vplivajo na razvoj vremena v resnici, prihaja v modelu do napak, ki se sčasoma povečujejo. Poleg nena-



Slika 2. Radarska slika odbojnosti 18. 9. 2007 ob 9.30 UTC. Rumeni piki označujeta dežemerni postaji Lesce in Brnik.

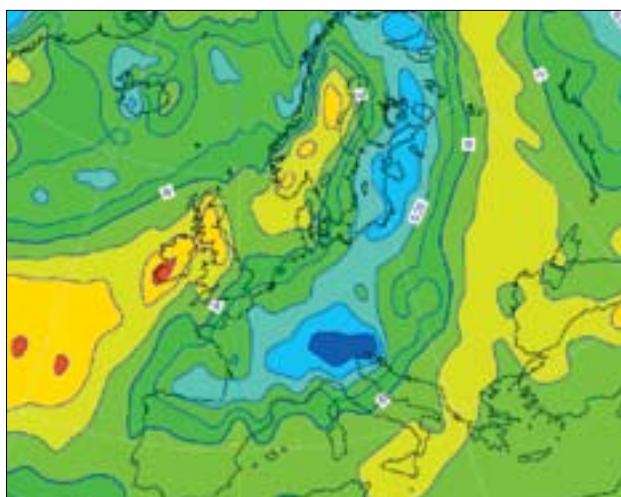
Figure 2. Radar reflectivity on 18 September 2007 at 0930 UTC. The yellow dots denote locations of two rain gauges, Lesce and Brnik.



Slika 3. Potek jakosti padavin na Lescah in na Brniku dne 18. 9. 2007. V tem primeru je zanimiva velika podobnost vsote padavin, kljub popolnoma različnima časovnima potekoma.

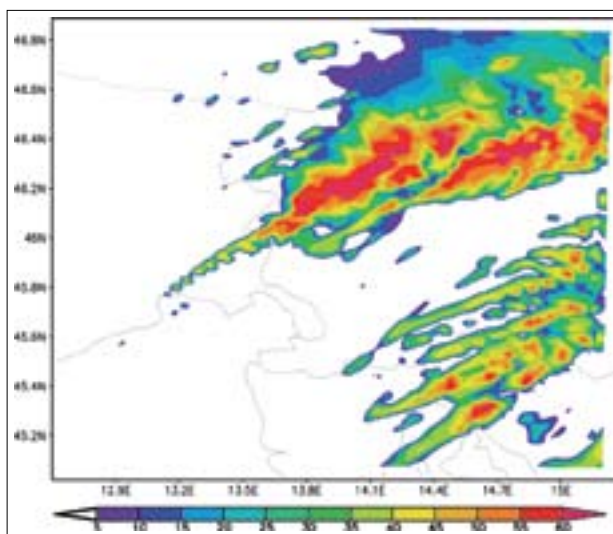
Figure 3. Rain intensity temporal evolution at Lesce and Brnik on 18 September 2007. Note the similar total accumulation but very different temporal evolutions.

tančnega poznavanja začetnega stanja ozračja (učinek metulja) to privede do zmanjšane napovedljivosti. Za obdobje več kakor štiri dni vnaprej so najbolj uporabne tako imenovane skupinske napovedi. Skupinske napovedi dobimo tako, da začetno stanje nekoliko spremenimo in na podlagi različnih začetnih stanj izračunamo mnogo rešitev, iz katerih dobimo statistično oceno verjetnosti določenega vremenskega scenarija. Na podlagi množice rešitev lahko s statistično analizo izvedemo tudi različne indekse. Primer takega indeksa je indeks izjemnosti napovedi (EFI – extreme forecast index), ki



Slika 4. Indeks izjemnosti napovedane 24-urne količine padavin za 18. september 2007, izračunan na podlagi skupinske napovedi ECMWF štiri dni vnaprej. Temno modra barva označuje verjetnost izjemnega dogodka nad 0.5. Verjetnost 0 pomeni, da je količina padavin v okviru normalnih vrednosti.

Figure 4. The extreme forecast index (EFI) of the 24-hour rain accumulation for 18 September 2007, based on a 4-day ensemble forecast of the ECMWF. Blue represents the probability of an extreme event of over 50 %. Probability 0 means that the rainfall is the average for the month.



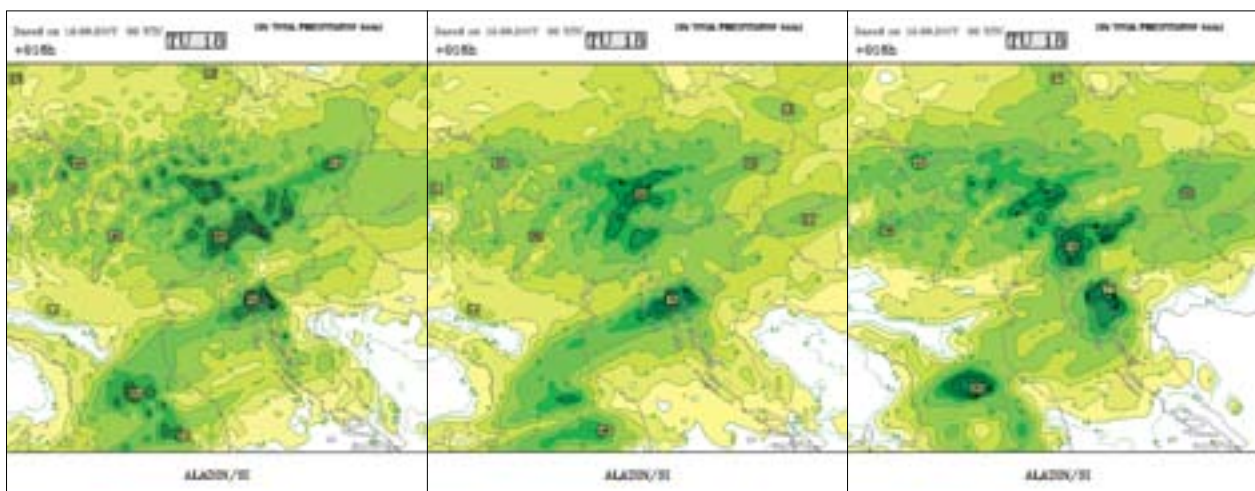
Slika 6. Simulirana radarska slika za 18. 9. 2007 ob 9.30 UTC, torej za isti čas kakor na sliki 2, z raziskovalnim modelom WRF-ARW z ločljivostjo 1 km.

Figure 6. Simulated radar reflectivities on 18 September 2007 at 0930 UTC using the WRF-ARW research model at 1 km resolution.

je izračunan na podlagi skupine 51 modelskih napovedi modela ECMWF. Na sliki 4 je prikazana vrednost indeksa izjemnosti napovedane 24-urne količine padavin za 18. september 2007, izračunanega na podlagi skupine modelskih rešitev z dne 14. 9. 2007, torej štiri dni vnaprej. Vidimo, da je na območju Alp, vključno z delom Slovenije, predvidena verjetnost, da bo akumulacija padavin ekstremna, se pravi v tem modelskem sistemu še nikdar izračunana, več kakor 50 %, kar je razmeroma

Za operativno napovedovanje procesov razsežnosti nekaj deset kilometrov v Sloveniji uporabljamo model ALADIN (Fischer in soav, 2006), ki je eden od treh ali štirih znanstveno najpopolnejših modelskih sistemov za analizo in napovedovanje vremena nad omejenim območjem v Evropi. Model je za ta primer izračunan v nekaj različicah v mreži z ločljivostjo 9 km. Na sliki 5 je prikazana 12-urna akumulacija padavin. Vidimo, da je model za obdobje pred prehodom fronte razmeroma dobro umestil območje

močan signal. V obravnavanem primeru je bila tovrstna napoved prvi kazalec za verjetnost močnejših padavin.



Slika 5. 12-urna akumulacija padavin v treh različicah modela ALADIN. Levo – operativna različica na dan dogodka, sredina – poskusna različica, desno – naslednja različica. Ločljivost modela je v vseh treh primerih enaka.

Figure 5. 12-hour rainfall accumulation from three versions of the ALADIN model. Left-the operational version, center-test version, right-the next operational version. The resolution is identical in all three cases.

močnejših padavin. Ob intenzivnih padavinah je ta ločljivost preslaba, zato se moramo zavedati omejitev, predvsem v obliki premajhne jakosti napovedanih padavin. Skrajna zmožnost dandanašnjih standardnih modelov za to in podobne vremenske situacije je prikazana na sliki 6, kjer vidimo trenutno simulirano radarsko sliko z modelom WRF-ARW (Skamarock in soav., 2005) z ločljivostjo 1 km. Primerjamo jo z dejansko radarsko sliko (slika 2).

Sklepne misli

Izjemna količina dežja, ki je padla 18. septembra 2007 v dopoldanskem času nad zahodno Slovenijo, je bila najverjetneje posledica destabilizacije že tako komaj stabilne zračne mase zaradi reliefa. Vzrokov za natančno določitev kraja najmočnejših padavin ali lego kvazistacionarnih nevihtnih linij zaenkrat še ne znamo natančno opredeliti. Povezani so z majhnimi reliefnimi strukturami in lokalnim stekanjem vlažnega zraka v spodnjih plasteh ozračja. Mogoče je, da imajo pomembno vlogo tudi majhna jezera hladnega zraka.

Dogodek je bil s stališča numeričnega modeliranja dobro napovedan, seveda pa je modelska ločljivost kakor vselej v takih primerih povzročila nekatere omejitve, predvsem glede jakosti padavin. Oceno največje jakosti in tudi drugače boljšo natančnost, še posebej pri iskanju in razlagi vzrokov za lokalne ekstremne padavine, dosežemo z raziskovalnimi modeli v zelo visoki ločljivosti. Taka ločljivost, npr. 1 km, bo v modelih v operativni uporabi na voljo v 5-10 letih.

Viri in literatura

1. Fischer C., Montmerle, T., Berre, L., Auger, L. and Stefanescu, S. E., 2006. An overview of the variational assimilation in the ALADIN/France NWP system. *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, 613, 3477–3492
2. Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Wang, W. and Powers, J. G., 2005. A Description of the Advanced Research WRF Version 2. NCAR Technical Note [http://wrf-model.org/wrfadmin/docs/arw_v2.pdf].