

UPORABA MODELA ALADIN V KLIMATOLOŠKE NAMENE

Jure Cedilnik*

Povzetek

V Sloveniji se v zadnjih osmih letih za potrebe operativnega napovedovanja vremena uspešno uporablja model ALADIN. Operativno se kot robni pogoji za model uporabljajo polja francoskega globalnega modela ARPÈGE. ALADIN pa lahko gnezdimo tudi v ponovno analizirana polja meteoroloških spremenljivk v grobi ločljivosti (reanalize). To so globalna polja meteoroloških spremenljivk, ki so karseda verna predstava stanja v atmosferi. V tem primeru so izhod modela ALADIN tridimenzionalna polja spremenljivk v pravilni mreži, ki so bolj ali manj dobra predstava dejanskega stanja na lokalni ravni.

Če takšne diagnostične simulacije izvajamo sosledno preko daljšega obdobja, je tak način uporabe ALADIN-a lahko alternativa klasičnim postopkom prostorske interpolacije meritev v pravilno mrežo, ki se uporabljajo v klimatologiji. Na ta način torej z modelom pridemo do klimatoloških polj v pravilni mreži. Uporabnost te metode pa s tem še ni izčrpana. Potencialno lahko model ALADIN gnezdimo tudi v rezultate globalnih klimatoloških modelov in tako simuliramo klimatske spremembe v prihodnosti na regionalni ravni.

V okviru tega prispevka bo na kratko predstavljen meteorološki model ALADIN, prikazani bodo primer uporabe ALADIN-a v klimatološke namene, rezultati takšne uporabe in težave, ki se pri tem pojavijo, ter možne rešitve.

Uvod

V klimatologiji se uporabljajo različne metode, namenjene diagnosticiranju nizov in časovnih vrst podatkov, odpravljanju napak v nizih in za homogenizacijo le-teh. Ti postopki so v glavnem bolj ali manj komplicirani logično-fizikalni algoritmi (kontrola napak) in statistično-matematične metode (homogenizacija nizov). Na podlagi tako pridobljenih nizov se računajo razna obdobja povprečja (recimo povprečna 30-letna temperatura zraka).

Glavna slabost takih nizov je, da so to točkovne vrednosti – časovne vrste meteoroloških spremenljivk v nekaj točkah prostora. Za mnoge uporabnike imajo bistveno večjo vrednost dvodimenzionalna ali tridimenzionalna polja meteoroloških spremenljivk. Takšna polja se izdelajo s prostorsko interpolacijo točkovnih vrednosti. Kakovost tako izdelanih polj je v prvi vrsti odvisna od kakovosti samih meritev in od gostote mreže merilnih postaj.

Alternativni način prostorske interpolacije je uporaba mezometeorološkega modela. S polji meteoroloških spremenljivk v veliki skali krmimo mezometeorološki model in z njim izvajamo kratke integracije (dolge na primer dva dneva). Potrebujemo dobro definirana polja meteoroloških spremenljivk kot vhodni podatek. Dober primer takih polj so ponovno analizirana polja (reanalize) ERA-40 Evropskega centra za srednjeročno vremensko napoved (ECMWF). Reanalize so s sodobnim modelom za asimilacijo ponovno analizirane meritve s celega sveta preko daljšega obdobja. V primeru ponovnih analiz ERA-40 je to obdobje od leta 1957 do 2001. Predvsem je pomembno, da se za ponovno analizo

*Jure Cedilnik univ. dipl. meteorol. (jure.cedilnik@fmf.uni-lj.si), Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, Jadranska 19, Ljubljana

uporabijo surovi podatki (nepokvarjeni s kakšnimi starimi algoritmi za obdelavo meritev) in da se za celotno obdobje uporablja isti asimilacijski model – to zagotavlja homogenost časovnih nizov tako pridobljenih podatkov.

Več o ponovnih analizah ERA-40 je napisano v *The ERA-40 Project Plan* (2002), kjer so navedene tudi meritve, na podlagi katerih so te ponovne analize napravljene.

Model ALADIN

Mezometeorološki model za napovedovanje vremena ALADIN je nastal leta 1992 kot rezultat sodelovanja meteoroloških služb več Evropskih držav z Météo France. V Sloveniji se za potrebe operativne prognoze vremena uporablja od leta 1997.

ALADIN je model za meteorološke simulacije v mezoskali nad omejenim območjem. Je izvedenka francoskega globalnega modela ARPÈGE. Bistvene razlike med obema so le v nekaterih fizikalnih parametrizacijah in v uporabljenih baznih funkcijah. Oba modela sta namreč sprektalna – ARPÈGE za bazne funkcije nad celotno Zemljo uporablja Legendrove polinome, ALADIN pa računa nad omejenim območjem v prostoru z uporabo Fourierjevih funkcij. Vsi dinamični procesi se računajo v spektralnem prostoru, fizikalne parametrizacije pa v točkovnem prostoru. Računanje s spektralnim modelom ima nekaj pomembnih posledic:

- računanje krajevnih odvodov je natančno, ker poznamo analitične odvode baznih funkcij,
- hitra eliminacija napake razpoznavanja, saj imamo vedno na voljo spektralni razvoj po komponentah in se lahko enostavno znebimo previsokih frekvenc,
- problematičen opis reliefa (velikih gradientov nadmorske višine) zaradi gladkih baznih funkcij,
- časovno potratno stalno prehajanje iz spektralnega v realen prostor in nazaj,
- vpeljava biperiodizacijskega območja zaradi eliminacije neželenih odbojev na robovih domene (bazne funkcije se zaključijo same vase, čeprav gre za omejeno območje).

V vertikalni smeri ALADIN uporablja hibridno koordinato, ki je definirana tako, da pri tleh sledi reliefu, z višino pa prehaja v pritiskovo koordinato. Odvisna je od vrednosti pritiska na tisti višini in od pritiska pri tleh na tistem mestu. ALADIN-ova časovna shema je semiimplicitna semilagrangreva shema.

Natančen opis modela ALADIN najdemo v Gerard (2000) in Joly (1992).

Opis simulacij

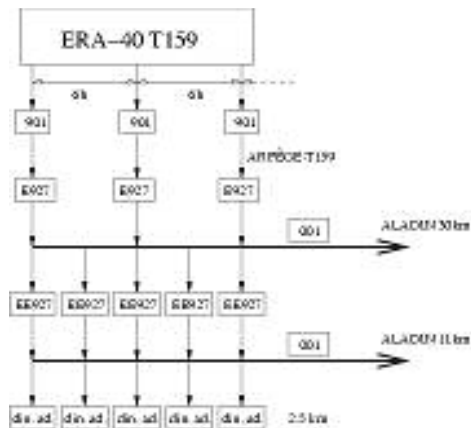
Za učinkovit prehod z globalnih polj ponovnih analiz (z ločljivostjo v naši geografski širini približno 120 km) na mezo skalo (z ločljivostjo ~10 km), potrebujemo vmesno modelsko gnezdo (Cedilnik, 2003). Pri neposrednem gnezdenju modelskega prostora z ločljivostjo 10 km v mrežo ERA-40 ponovnih analiz je faktor med ločljivostima več kot 10. Za meteorološko modeliranje pa v grobem velja, da naj bi bil faktor ločljivosti pri gnezdenju približno 3. Kakovost takega gnezdenja je precej odvisna tudi od same velikosti ciljnega modelskega prostora. Beck in sod. (2002) so namreč pokazali, da pri neposrednem gnezdenju velikega modelskega prostora (približno štirikrat večjega od ciljnega modelskega prostora v našem primeru) v ERA-40 ponovne analize ni bistvenih razlik v rezultatih glede na simulacije z vmesnim gnezdom.

Simulacije v našem primeru so bile izvedene z vmesnim modelskim prostorom z ločljivostjo 30 km. Razporejene so bile ena za drugo z dolžino integracije 60 ur. Prvih 12

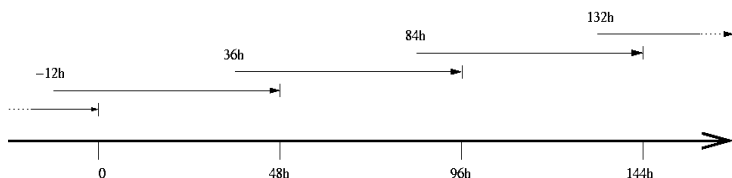
ur simulacij pa nismo upoštevali zaradi t. i. *spin-up* časa, tako je bila efektivna dolžina posamezne simulacije 48 ur.

Prvi korak simulacije je pretvarjanje globalnih polj ERA-40 v polja, ki jih uporablja model ARPÈGE. Sledi prostorska interpolacija globalnih polj na računsko območje vmesnega gnezda (ločljivost 30 km). Na tem območju potem izvedemo integracijo, katere rezultate spet interpoliramo na ciljni modelski prostor z ločljivostjo 11 km, ti rezultati pa potem služijo kot začetni in robni pogoji za integracijo na tem modelskem prostoru. Čisto na koncu verige lahko uporabimo še dinamično adaptacijo vetra (Žagar, 1999). Rezultat modela v ločljivosti 11 km prilagodimo reliefu v 2,5 km mreži s poganjanjem zgolj dinamičnega dela modela.

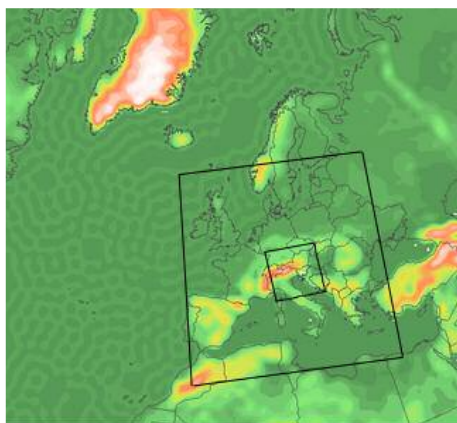
Shematski prikaz poteka posamezne simulacije je prikazan na Sliki 1, sosledje simulacij pa na Sliki 2. Velikosti uporabljenih modelskih prostorov sta prikazani na Sliki 3.



Slika 1 - Shematski prikaz simulacije. Najprej se polja ERA-40 pretvorijo v ARPÈGE obliko (901), ta polja se potem interpolirajo na modelski prostor z ločljivostjo 30 km (E927), izvede se integracija na tem modelskem prostoru (001), rezultati te integracije se interpolirajo v modelski prostor z 11 km ločljivostjo (EE927) in se uporabijo za začetne in robne pogoje za integracijo na modelskem prostoru z 11 km ločljivostjo (001). Dodatno se lahko na rezultatih integracije napravi dinamična adaptacija vetrovnega polja na relief z ločljivostjo 2,5 km.



Slika 2 - Shematski prikaz sosledja simulacij. Simulacije si sledijo ena za drugo, prvih dvanajst ur nove simulacije pa se prekriva z zadnjimi 12 urami prejšnje simulacije. Kot rezultat upoštevamo čase med +12 in +60 urami integracije. Efektivna dolžina simulacij je tako 48 ur.

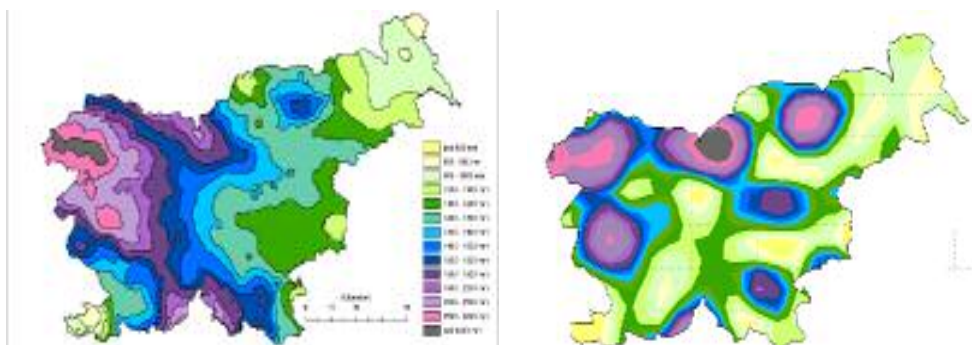


Slika 3 - Oba uporabljena modelska prostora: večji štirikotnik je modelski prostor z ločljivostjo 30 km, manjši štirikotnik pa modelski prostor z ločljivostjo 11 km.

Rezultati

Sosledne simulacije, opisane v prejšnjem poglavju, poženemo preko obdobja več let. Na ta način proizvedemo popolne (brez manjkajočih vrednosti) nize meteoroloških podatkov z zelo dobro prostorsko ločljivostjo. Iz takšnih nizov lahko računamo razna obdobjna povprečja in dobimo modelsko klimatologijo veliko meteoroloških spremenljivk. Tako dobljena povprečja lahko primerjamo z obdobjnimi povprečji realnih meteoroloških meritev.

Najprej si pogledamo ujemanje simuliranih in izmerjenih padavin. Primerjamo letno akumulacijo padavin za leto 1998. V tem primeru kot simulirane padavine uporabljamo rezultate simulacij v ločljivosti 11 km. Na Sliki 4 sta prikazani polji izmerjene (po interpolaciji v pravilno mrežo z metodo kriginga) (obdelala Mojca Dolinar (ARSO)) in na naš način simulirane kumulativne količine padavin.



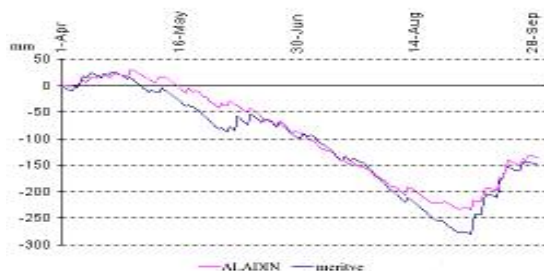
Slika 4 - Primerjava kumulativne letne količine padavin za leto 1998. Levo so objektivno interpolirane meritve, desno pa simulirane z ALADIN-om, dvakrat gnezdenim v ponovne analize ERA-40. Meritve je obdelala Mojca Dolinar (ARSO¹).

¹ Agencija Republike Slovenije za Okolje

Lepo se odražajo vsi orografsko pogojeni ekstremi letne količine padavin. Največja slabost modela je pretirana količina padavin na nekaterih gorskih grebenih (npr. v Kamniško-Savinjskih Alpah) in pretirano suhe razmere na severovzhodni strani večjih topografskih ovir. Ta pretirano suha modelska klimatologija je posledica preveč izrazite fenizacije jugozahodnih vetrov. Vemo namreč, da se večina padavin v Sloveniji pojavlja ob izrazitem jugozahodniku, model pa ta proces preceni.

Padavine v ALADIN-u namreč niso predstavljene s svojo prognostično enačbo. To pomeni, da jih veter ne nosi s seboj, temveč padejo iz zraka kjer nastanejo. Zato imamo največkrat presežek simulirane količine padavin na privetni strani hribov in pretirano suhe razmere na zavetrni strani topografskih ovir. Dodatno prispeva k temu dejstvo, da je modelska topografija topografija z ovojnico. Višini posamezne modelske točke (povprečni višini digitalnega reliefa v visoki ločljivosti znotraj območja, ki pripada tej modelski točki) prištejejo še del podmrežne standardne deviacije topografije. S takšnim postopkom precej izboljšajo rezultate simuliranja vetrov zaradi trenja zraka pri tleh, hkrati pa pokvarijo rezultate količine padavin.

Precej neposredno je s padavinami povezana suša. Na Sliki 5 sta prikazani izmerjena in simulirana vodna bilanca na merilni postaji v Murski Soboti ob poletni suši leta 2001. Vodna bilanca je razmerje med količino vode, ki izhlapi ali odteče, in vodo, ki pade na tla kot padavine. Ujemanje meritev in modela na Sliki 5 je zelo dobro. V tem primeru prevladuje izhlapevanje, ki je očitno dobro opisano. Ker je to primer iz sušnega obdobja, nam slabo modelsko simuliranje padavin ne pokvari rezultatov. Tudi dejstvo, da smo primerjali točkovno vrednost meritev in točkovno vrednost v modelu, v tem primeru ne igra bistvene vloge. Modelskih padavin namreč ne smemo neposredno kvantitativno primerjati z meritvami. V bolj mokrem primeru bi morali izmerjene padavine predhodno prostorsko interpolirati.



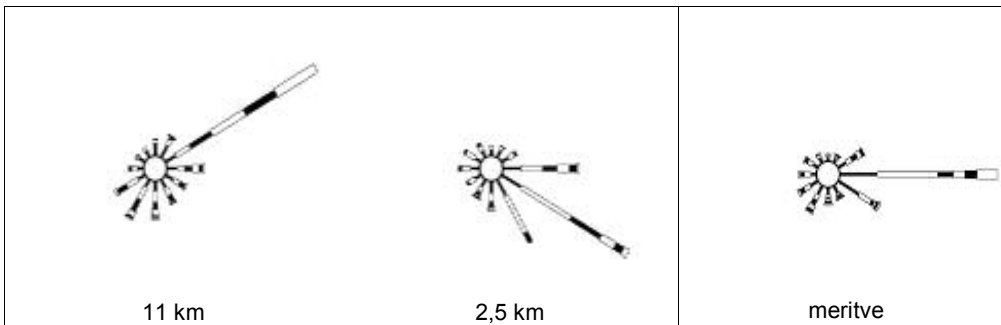
Slika 5 - Primerjava izmerjene in simulirane talne vodne bilance v Murski Soboti v obdobju od 1. aprila 2001 do konca septembra 2001. Z modro so označene meritve, z vijolično pa simulacije z ALADIN-om dvakrat gnezdenim v ERA-40. Meritve je obdelal Blaž Kurnik (ARSO).

Pri simuliranju vetra smo uporabili dinamično adaptacijo modela na modelsko orografijo v ločljivosti 2,5 km. Ta poteka tako, da ob vsakem izhodu modela z ločljivostjo 11 km opravimo še nadaljnje gnezdenje v boljšo ločljivost, vendar le z uporabo modelske dinamike. Govorimo o dinamičnem prilagajanju vetra bolj natančnemu reliefu. To močno izboljša kakovost simulacije vetra pri tleh. Na Slikah 6 in 7 so prikazane vetrovne rože simuliranih in izmerjenih hitrosti in smeri vetra. Zelo dobro se ujemajo glavne značilnosti vetrovnih rož. Prevladujeta dva izrazita vetrovna režima – severni do severovzhodni veter in jugozahodnik. Zlasti na Rogli (Slika 6) je ujemanje izredno dobro. V Bilju (Slika 7) pa

je opazna izrazita razlika med simulacijo z 11 km in 2,5 km ločljivostjo. Ta razlika gre predvsem na račun nerazpoznavnosti Vipavske doline v reliefu 11 km modela. Burja v 11 km modelu se ne kanalizira v Vipavski dolini, medtem ko simulacija z 2,5 km ločljivostjo precej bolj realno spremeni smer burje, kar se zelo dobro vidi na vetrovni roži.



Slika 6 - Primerjava simuliranih in izmerjenih porazdelitev smeri in velikosti hitrosti vetra na Rogli za celo leto 2001. Na levi je simulacija v 11 km ločljivosti, na sredini dinamična adaptacija z 2,5 km ločljivostjo, na desni pa je porazdelitev po smeri in hitrosti za meritve. Obdelava meritev: Renato Bertalanič (ARSO).



Slika 7 - Enako kot Slika 6, le da vrednosti veljajo za postajo Bilje.

Zaključek

S primerjavo izmerjenih in simuliranih obdobjnih povprečij meteoroloških spremenljivk smo pokazali, da na tak način simulirana polja padavin neposredno niso uporabna. Potrebno bi bilo proučiti možnost uporabe dodatnih statističnih metod, ki bi uporabile tako realne meritve kot na opisan način simulirane vrednosti. Morda bi se dalo uporabiti vrednosti simuliranega polja neposredno kot enega od parametrov pri prostorski interpolaciji padavinskih polj z metodo kriginga.

Primerjava rezultatov simulacije vetra pokaže, da z modelom lahko zelo dobro simuliramo klimatologijo vetra. Ujemanje simulacij z meritvami je zelo zadovoljivo na Rogli. To pripisujemo dejstvu, da lahko že 11 km topografija zelo dobro opiše glavne značilnosti kopastega reliefa na Pohorju. V primeru Bilja se izrazito pokaže dodana vrednost dinamične adaptacije na 2,5 km, vendar pa tudi topografija v tako visoki ločljivosti ne more dovolj natančno opisati Vipavske doline. Verjetno bi bilo smiselno narediti dinamično adaptacijo v še višji ločljivosti (1 km). Tako bi dobili solidno gosto

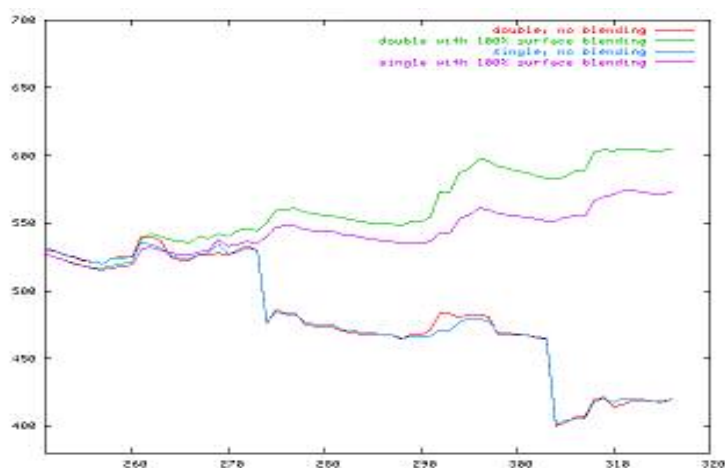
vetrovno polje, ki bi bilo precej blizu realnemu.

Eden od najbolj ambicioznih načrtov za uporabo takšnih simulacij je napovedovanje klimatskih sprememb. S tem mislimo na napovedovanje klimatskih sprememb na lokalni skali. Današnji moderni klimatski modeli tečejo namreč še v zelo grobih ločljivostih. Posledica tega je nezmožnost zanesljive interpretacije takšnih rezultatov na lokalni ravni. Podatek, da se bo spremenila povprečna temperatura na Zemlji za nekaj stopinj, nam koristi zelo malo, če ne poznamo prostorske porazdelitve takšne spremembe temperature. Tako kot v opisanih simulacijah bi tudi pri simuliranju klimatskih sprememb potrebovali globalna polja v grobi ločljivosti, s katerimi bi krmili naš model, le da bi bila ta polja simulacija dogajanj v prihodnosti. Takšna polja bi bila lahko izhodna polja modela ECHAM5 (Roeckner et al., 1996), ki temelji na modelu za napovedovanje vremena ECMWF. Vendar pa je pri takšnem simuliranju potrebno opozoriti na resno težavo.

Ob gnezdenju modela nad omejenim območjem v globalni model, ki uporablja drugačne fizikalne parametrizacije, je potrebno zelo paziti pri inicializaciji fizikalnih polj. To lahko nazorno pokažemo tudi na primeru naših simulacij. IFS² model, s katerim so bile narejene ponovne analize ERA-40, uporablja sicer enako dinamično jedro kot ARPÈGE/ALADIN, vendar se fizikalna parametrizacija tal razlikuje. Tla v ERA-40 imajo štiri vodne nivoje v tleh (tri za vodo globoko v tleh), medtem ko ALADIN uporablja le dva (enega za vodo globoko v tleh s kapaciteto 800 mm/m²) (Gerard, 2000). Trenutno je implementiran precej enostaven način inicializacije vode globoko v tleh. Vsa tri polja, ki opisujejo vodo globoko v tleh pri ponovnih analizah, se kar seštejejo in zapišejo v eno polje, ki se uporablja v fizikalni parametrizaciji tal ALADIN-a. Zaradi neskladja vrednosti te spremenljivke z referenčno klimatologijo modela, ALADIN ob koraku E927 (Slika 1) z večjo utežjo upošteva referenčno klimatološko vrednost vode globoko v tleh. Posledica tega je precejšnja odvisnost od te referenčne klimatološke vrednosti.

Predlagana rešitev za to težavo je izboljššan način inicializacije polja, ki bi celostno upoštevala razlike med parametrizacijama tal. Ena od enostavnih rešitev pa je, da npr. polje globoke vode v tleh inicializiramo tako, da izračunamo uteženo povprečje med interpoliranimi polji ERA-40 in končnim poljem iz predhodne simulacije. V skrajnem primeru talnih količin v modelu sploh ne inicializiramo, vendar je bolj običajno, da uporabimo razmerje 95 : 5 v korist predhodne integracije z ALADIN-om. Tak postopek se imenuje *blending*. Primer uporabe *blendinga* za polje vode globoko v tleh je na Sliki 8. S prvim septembrom 1999 smo začeli dve simulaciji: s popolno inicializacijo vode globoko v tleh s predhodno simulacijo (100 % *blending* – temu lahko rečemo tudi klimatski zagon modela za tla) in z inicializacijo vode globoko v tleh s polji ERA-40. Bistvena razlika nastane pri preskoku meseca. To se zgodi zato, ker je referenčna klimatologija, s kombinacijo katere se inicializira model v drugem primeru, vzorčena na en mesec.

2 Integrated Forecasting System – meteorološki model, ki se uporablja v ECMWF.



Slika 8 - Prikazuje prostorsko povprečje preko celotnega računskega območja za količino vode globoko v tleh. Na abscisi so dnevi v letu 1999, na ordinati pa količina vode globoko v tleh v mm na kvadratni meter površine po 24 urah integracije. Različne krivulje ustrezajo različnim načinom inicializacije količine vode globoko v tleh in različnim načinom gnezdenja modela v ponovne analize: vijolična in modra barva predstavljata simulacije z enojnim gnezdenjem (neposredno gnezdenje ALADIN-a v ERA-40), zelena in rdeča pa z dvojnimi gnezdenjem (tako kot v našem primeru). Zelena in vijolična ustrezata popolni inicializaciji nove simulacije z rezultati predhodne (klimatološko poganjanje modela za tla), rdeča in modra pa inicializaciji z uporabo referenčne klimatologije. Izraziti skoki pri neposredni inicializaciji modela (rdeča in modra barva) ustrezajo spremembam meseca. Vsak mesec model uporablja drugo klimatološko referenco.

Literatura

- Beck, A.; Ahrens, B.; Stadlbacher, K. (2004). **Impact of nesting strategies in dynamical downscaling of reanalysis data.** *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 31, No. 19
- Cedilnik, J. (2003). **Ugotavljanje skladnosti rezultatov diagnostičnih simulacij vgnezenih v reanalize ECMWF z meritvami.** *diplomsko delo, Mentor: dr. Tomaž Vrhovec, Univ. v Lj., Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo*
- Gerard, L. (2000). **Physical Parametrizations in ARPÈGE-ALADIN.** URL: <http://www.crmn.meteo.fr/aladin/MODELES/EXT/Physics/index.html>
- Gibson, J. K., P. Källberg, S. Uppala, A. Hernandez, A. Nomura et E. Serrano (1997). **ERA description.** *ECMWF Re-Analysis Final Report Series. 71pp.*
- Joly, A. (1992). **ARPÈGE/ALADIN: adiabatic model equations and algorithm.** *Internal note, Météo France, pp. 56.*
- Roeckner, E., G. Bäuml, L. Bonaventura, R. Brokopf, M. Esch, M. Giorgetta, S. Hagemann, I. Kirchner, L. Kornbleuh, E. Manzini, A. Rhodin, U. Schlese, U. Schulzweida et A. Tomkins (2003). **The atmospheric general circulation model ECHAM5, part 1: Model description.** *Max-Planck-Institut für Meteorologie, Report No. 349, Hamburg, Germany*
- The ERA-40 Project Plan.** (2002). Ed.: A.J. Simmons and J.K. Gibson.
- Žagar, M. et J. Rakovec (1999): **Small-Scale Surface Wind Prediction using Dynamic Adaptation.** *Tellus, 51A, 489-504*