



Vetrnica

ISSN 1855-7457

*glasilo Slovenskega
meteorološkega društva*

WWW.METEODRUSTVO.SI

0412

**Nagrajenka SMD
za leto 2011**

20 let modela
Aladin

VSEBINA:

3 UVODNIK

POD DROBNOGLEDOM

- 4 OKRAJŠAVE, UPORABLJENE V PRISPEVKIH OB 20. OBLETNICI MODELA ALADIN
- 5 ALADIN IN RC LACE – PREDSTAVITEV, NASTANEK IN KRATKA ZGODOVINA MEDNARODNEGA SODELOVANJA
- 12 UPORABA VISOKO ZMOGLJIVIH RAČUNALNIKOV ZA POTREBE NUMERIČNEGA MODELIRANJA VREMENA V SLOVENSKI METEOROLOŠKI SLUŽBI
- 17 PRIPRAVA NUMERIČNE METEOROLOŠKE NAPOVEDI ALADIN-SI
- 23 RAZVOJ MODELA ALADIN V ZADNJIH LETIH SKOZI PRIZMO NAPOVEDOVANJA NEKATERIH VREMENSKIH DOGODKOV
- 30 PRVI REZULTATI VREDNOTENJA MODELSKEGA SISTEMA ALADIN-CAMX ZA NAPOVEDOVANJE OZONA IN DELCEV V OZRAČJU
- 36 VREDNOTENJE NAPOVEDI PADAVIN NAD SLOVENIJO
- 42 NUMERIČNO MODELIRANJE MORJA V JADRANU
- 45 PODNEBNE NOVICE

ZANIMIVOSTI

- 51 ZASEDANJE COP17/CMP7 V DURBANU
- 55 11. SREČANJE EVROPSKE METEOROLOŠKE ZVEZE IN 10. EVROPSKA KONFERENCA O APLIKACIJAH V METEOROLOGIJI
- 59 8. MEDNARODNI METEOROLOŠKI FORUM
- 61 INCA-CE – PROJEKT, KI POVEZUJE METEOROLOŠKE SLUŽBE OSREDNJE EVROPE S KONČNIMI UPORABNIKI

IZ ŽIVLJENJA DRUŠTVA

- 64 PREDSTAVITEV STALIŠČA SMD O PODNEBNIH SPREMEMBAH
- 65 LETNI OBČNI ZBOR SMD 2011
- 66 PREDNOVOLETNO SREČANJE ČLANOV SMD
- 67 NAGRAJENKA SMD ZA LETO 2011
- 68 IZLET V POSOČJE

ŠTUDENSKI KOTIČEK

- 71 POVZETEK DOKTORSKE TEZE
- 77 POVZETKI DIPLOMSKIH NALOG

RAZPRAVE

- 80 ANALIZA VREMENA Z LOKALNO ASIMILACIJO OPAZOVANJ

NOVOSTI V MEDIJIH

- 90 IZZIVI SLOVENIJE NA PODROČJU SUŠ IN DEGRADACIJE TAL

NAPOVEDNIK

- 91 POMEMBNEJŠI DOGODKI



 **UVODNIK**

Pred tremi leti smo na rednem letnem občnem zboru sprejeli sklep, da bomo ponovno začeli izdajati društveno glasilo. Od sredine 50-tih let preteklega stoletja pa tja do začetka 90-tih smo izdajali strokovno-znanstveni časopis Razprave, ki pa je preprosto nehaj izhajati. Tokrat smo si postavili za cilj, da naj bo v novem časopisu le ena od rubrik strokovno-znanstvena, ostale pa bolj poljudne, časopis pa naj odseva tudi utrip dogajanja v društvu. Upamo trditi, da smo z našo Vetrnico cilj dosegli. V preteklih treh letih smo izdali tri številke. Prva številka leta 2009 je imela 28 strani, naslednja že 56. V preteklem letu smo prvič izdali tematsko številko. Po nekaj mesecih priprav, okroglih miz in predavanj smo pripravili stališče Slovenskega meteorološkega društva o podnebnih spremembah, ki je bilo osrednja vsebina lanske številke na zajetnih 72 straneh.

Pred vami je četrta številka glasila. Osrednja tema je tokrat model ALADIN, ki je v preteklem letu slavil 20. obletnico obstoja. Ko je ob koncu 80-tih let preteklega stoletja prišlo do prelomnih političnih sprememb, je v srednji Evropi je nastala potreba po meddržavnem sodelovanju državnih meteoroloških služb ne samo pri izmenjavi podatkov, ampak tudi na področju meteorološkega modeliranja. Meteorološke službe so potrebovale orodje ali model, s pomočjo katerega bi lahko pripravljale bolj kakovostne in natančne vremenske napovedi in opozorila. Zato je avstrijska meteorološka služba maja 1991 organizirala sestanek na temo modeliranja na omejenem območju in v visoki ločljivosti. Prisotni so bili predstavniki Avstrije, Češke, Hrvaške, Madžarske, Slovaške in Slovenije. Na tem sestanku je bila sprejeta francoska pobuda o načinu modeliranja, iz katere se je v naslednjih letih razvil model ALADIN. Zato ta sestanek štejemo kot rojstvo modela ALADIN.

Na straneh, ki so pred vami, smo z nekaj prispevki poskušali prikazati razvoj modela, pa tudi pomembno vlogo slovenskih meteorologov pri njegovem razvoju. Za nami je bogato obdobje naporov in prav je, da so dogajanja iz tega obdobja zabeležena. Sodelavci, ki so bili tesno vpeti v razvoj ALADINA, so na papir spravili svoje spomine in jih tako trajno ohranili tudi za bodoče rodove meteorologov. Prispevki, posvečeni modelu ALADIN, so označeni z „20 LET MODELA ALADIN“. Začenjamo s prispevkom „ALADIN in RC LACE – Predstavitev, nastanek in kratka zgodovina mednarodnega sodelovanja“. Kot pove že naslov, v njem je avtorica opisuje potek razvoja modela in njegove glavne značilnosti, pri čemer ni pozabila opisati optimističnega vzdušja pa tudi odrekanja sodelujočih. Naslednji prispevek „Uporaba visoko zmogljivih računalnikov za potrebe numeričnega modeliranja vremena v slovenski meteorološki službi“ prikazuje razvoj uporabe računalnikov v slovenski službi. Brez računalniške opreme modeliranje vremena ni mogoče. Preteklo 20-letno obdobje razvoja računalniške tehnologije je bilo brez dvoma enkratno in svoj delež v tem razvoju so dodali tudi naši kolegi. Nadaljujemo s prispevkom „Priprava numerične meteorološke napovedi ALADIN-SI“. Avtorji so v tem prispevku poskusili prikazati, kaj vse je potrebno, da lahko operativno poganjamo model. V naslednjem članku z naslovom „Razvoj modela ALADIN skozi prizmo napovedovanja nekaterih vremenskih dogodkov“ so opisane zadnje novosti v modelu, avtorja pa prikažeta tudi nekaj primerov, kjer je napredek očiten. Poleg nekaj drugih prispevkov, ki posredno tudi omenjajo model ALADIN, pregled končujemo s strokovno-znanstvenim prispevkom v rubriki razprave z naslovom „Analiza vremena z lokalno asimilacijo meritev“.

Seveda poleg tematskih vsebin, tokrat namenjenih modelu ALADIN, številka vsebuje tudi ostale, že ustaljene rubrike: zanimivosti, iz življenja društva ter študentski kotiček. Prijetno branje!

Uredniški odbor

**Izdaja:**

Slovensko meteorološko društvo
Vojkova 1b,
SI - 1000, Ljubljana
<http://www.meteo-drustvo.si>

Glavna urednica: Mojca DOLINAR

Uredniški odbor: Matjaž ČESEN, Damijana KASTELEC,
Jožef ROŠKAR, Iztok SINJUR, Gregor VERTAČNIK

Tehnično urejanje: Mojca DOLINAR, Jožef ROŠKAR

Oblikovna zasnova: Sabina KOŠAK, Solos, d.o.o.

Ljubljana, JUNIJ 2012

ISSN 1855-7457

Naslov uredništva:

Vojkova 1b
SI-1000, Ljubljana
vetrnica.smd@gmail.com

Na naslovnici:

Izračun modela ALADIN-SI dne 18. septembra 2007 ob izrazitih hudourniških poplavah v severozahodni Sloveniji.

V barvah je prikazano polje ekvivalentne potencialne temperature na pritiskovi ploskvi 850 hPa, dodane so tokovnice 10 m nad tlemi (izven računskega območja modela ALADIN je s sivimi plastnicami prikazan geopotencial pritiskove ploskve 925 hPa globalnega modela ECMWF).

Na sliki izstopa frontalna cona vzdolž južnega dela Alp, nad Panonsko nižino ter delom srednje in vzhodne Evrope z izrazitim stekanjem pri tleh.

Okrajšave, uporabljene v prispevkih ob 20. obletnici modela ALADIN

ALADIN	Ime konzorcija, v katerem sodelujejo državne meteorološke službe, ki uporabljajo model ALADIN
RC LACE	Regional Co-operation for Limited Area modelling in Central Europe - regionalno sodelovanje za meteorološko modeliranje na omejenem območju v srednji Evropi
HIRLAM	High Resolution Limited Area Model; regionalno sodelovanje za meteorološko modeliranje na omejenem območju državnih meteoroloških služb pretežno skandinavskih držav, tudi ime modela, ki ga uporabljajo; v zadnjem obdobju se povezuje s konzorcijem ALADIN
COSMO	Consortium for Small-scale Modelling - ime meteorološkega modela, katerega razvoj usmerja Nemčija in ime konzorcija državnih meteoroloških služb, ki ga uporabljajo
EUMETNET	The Network of European Meteorological Services - Mreža evropskih državnih meteoroloških služb
SRNWP	Short Range Numerical Weather Prediction - program za kratkoročno numerično napovedovanje vremena v okviru EUMETNET-a
EWGLAM	European Working Group for Limited Area Modelling - evropska delovna skupina za modeliranje na omejenem območju
Météo-France	naziv francoske državne meteorološke službe
ECMWF	European Centre for Medium Range Weather Forecast - Evropski center za srednjeročne vremenske napovedi; meddržavna medvladna evropska organizacija, ki jo trenutno sestavlja 19 polnopravnih članic in 15 sodelujočih držav
NWP	Numerical Wether Prediction - numerično napovedovanje vremena
LAM	Limited Area Model - (meteorološki) model za omejeno območje
IFS	Integrated Forecasting System - ECMWF-jev globalni meteorološki model
ARPÈGE	Action de Recherche Petite Échelle Grande Échelle - raziskovalni/razvojni projekt za majhne in velike skale, ime globalnega modela Météo-France, znan Landinov parfum; ime izhaja iz arpeggio, ki je način igranja akordov v glasbi
ALADIN	Aire Limitée, Adaptation Dynamique, Développement International; omejeno območje - dinamična adaptacija, mednarodno sodelovanje; ime meteorološkega modela za omejeno območje, katerega razvoj usmerja Francija
Méso-NH	Non-Hydrostatic Mesoscale atmospheric model - francoski nehidrostatski raziskovalni model, razvit v sodelovanju Météo-France in Univerze v Toulousu, namenjen za simulacije vremena v vseh skalah
AROME	Applications of Research to Operations at Mesoscale - uporaba in prilagoditev fizikalnih shem raziskovalnega modela Méso-NH za model ALADIN; pomen besede je vonj, vonjava
ALARO	konvergenca med ALADIN in AROME; označuje fizikalne parametrizacije v modelu ALADIN za operativno uporabo za horizontalne ločljivosti med ločljivostjo ALADIN-a in AROME-a

ALADIN in RC LACE – Predstavitev, nastanek in kratka zgodovina mednarodnega sodelovanja

Neva Pristov, Jure Cedilnik, Agencija Republike Slovenije za okolje

Sodobne meteorološke službe si ne moremo zamisliti brez skupine za numerično modeliranje ozračja, saj so numerične simulacije vremena osnova za splošne vremenske napovedi in opozorila pred izrednimi vremenskimi dogodki. Prav tako se numerični modeli ozračja vedno pogosteje uporabljajo tudi na drugih področjih, v zadnjem času so nenadomestljivi pri spremljanju in proučevanju podnebja. Celotno področje numeričnega simuliranja vremena je zelo obsežna veja moderne meteorologije. Za njegovo obvladovanje potrebujemo precejšnje računske in človeške vire. To dejstvo dobesedno sili manjše meteorološke službe, kakršna je tudi slovenska, v globlje povezovanje na mednarodni ravni.

Slovenska meteorološka služba je bila med ustanovnimi članicami skupine za numerično napovedovanje vremena z imenom RC LACE, leta 1993 pa se je uradno priključila projektu ALADIN. To nam je omogočilo, da že 15 let vsakodnevno pripravljamo računalniške simulacije vremena z modelom ALADIN v visoki horizontalni ločljivosti, sprva na 12 km, sedaj pa že na 4 km, ter hkrati aktivno sodelujemo pri načrtovanju in samem razvoju modela.

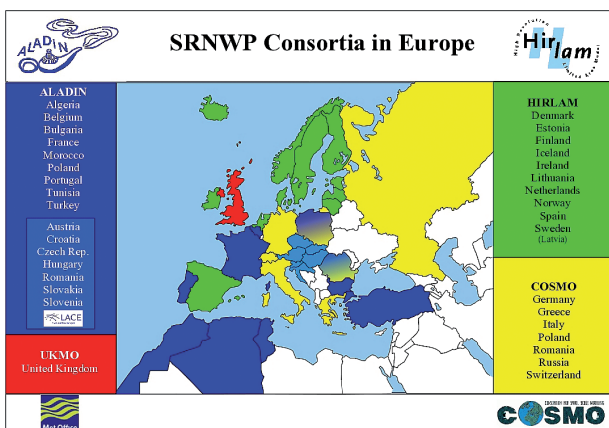
Sodelovanje v Evropi

V Evropi se meteorološke službe povezujejo v mednarodne skupine, ki skupaj razvijajo operativne numerične modele za napovedovanje vremena. Cilj vsake skupine je kvaliteten in učinkovit numerični model, uporaben za kratkoročno napovedovanje vremena. Meteorološke službe že od leta 1979 sodelujejo v okviru evropske delovne skupine za modeliranje nad omejenim območjem (EWGLAM), ki se redno sestaja na letnih sestankih. V okviru EUMETNET od leta 1993

deluje poseben program SRNWP, kjer se izmenjujejo izkušnje in načrti pri razvoju numeričnih modelov.

Slovenska meteorološka služba sodeluje v skupini ALADIN, kjer poleg francoske državne meteorološke službe aktivno sodelujejo še meteorološke službe Alžirije, Avstrije, Belgije, Bolgarije, Češke republike, Hrvaške, Madžarske, Maroka, Poljske, Portugalske, Romunije, Slovaške, Tunizije in Turčije.

Znotraj skupine ALADIN je tudi pomembna in nekoliko drugače organizirana skupina RC LACE (meteorološke službe Avstrije, Češke republike, Hrvaške, Madžarske, Romunije, Slovaške in Slovenije), ki si še dodatno prizadeva na podlagi skupnih prispevkov izboljšati in optimizirati operativne procese na področju numerične napovedi vremena. Poudarek je na razvoju modelske programske kode za ločljivosti od enega do petih kilometrov, okolju za asimilacijo meritev in ansambelskem sistemu na mezometeorološki skali za dvodnevno napoved. Na primer: v madžarski meteorološki službi zbirajo najrazličnejše vrste meritev in jih v primerni obliki pošiljajo drugim službam znotraj RC LACE za uporabo v procesu podatkovne asimilacije. Skupina za modeliranje na omejenem območju HIRLAM, v kateri sodelujejo državne meteorološke službe Danske, Estonije, Finske, Islandije, Irske, Litve, Nizozemske, Norveške, Španske in Švedske, se v zadnjih letih tesneje povezuje s konzorcijem ALADIN. V Evropi sta še dve večji skupni s celotno modelsko



Slika 1. Prikaz konzorcijev na področju numeričnega modeliranja v Evropi: ALADIN, RC LACE, HIRLAM, COSMO, Met Office.

verigo, od globalnega modela do modela visokih ločljivosti. V COSMO skupini so vključene meteorološke službe Nemčije, Švice, Italije, Grčije in deloma Poljske, Romunije in Rusije. V britanski službi Met Office pa je že sama velikost skupine za numerično modeliranje vremena primerljiva s posameznimi konzorciji, v zadnjih letih pa širi sodelovanje z nekaterimi meteorološkimi službami izven Evrope.

Začetki povezovanja

Ob koncu osemdesetih let prejšnjega stoletja je ob globokih političnih spremembah prišlo do prvih pobud za povezovanje in sodelovanje meteoroloških služb z območja srednje in vzhodne Evrope na področju numeričnega napovedovanja vremena. Na začetku je bila v tej vlogi najbolj aktivna Avstrija z idejo, da bi povezali službe v svoji soseščini in nato kot skupina pritegnili k sodelovanju enega izmed večjih evropskih centrov za numerično napovedovanje vremena. V tistem času so bile to predvsem meteorološke službe Velike Britanije, Nemčije in Francije, nezanemarljiv pomen pa je imela tudi meteorološka služba nekdanje Jugoslavije. V pobudi za sodelovanje je svojo priložnost prepoznala zgolj francoska meteorološka služba.

Météo-France je ob precejšnji podpori francoske vlade novembra 1990 uradno predlagala sodelovanje šestim evropskim državam: Češkoslovaški, Poljski, Madžarski, Romuniji, Avstriji in Bolgariji. V januarju 1991 so v Pariz prispela pisma (klasična, ne elektronska) s pozitivnimi odgovori. To je pomenilo rojstvo projekta ALADIN. Slovenija je bila takrat še jugoslovanska republika in zato uradnega vabila ni dobila.

Avstrijska vlada je takrat politično in finančno podpirala meteorološko sodelovanje z državami v svoji soseščini. Maja 1991 je avstrijska meteorološka služba (ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) na Dunaju organizirala sestanek na temo modeliranja ozračja v visoki ločljivosti za potrebe operativnega napovedovanja vremena. Predstavniki meteoroloških služb Avstrije, Hrvaške, Češke, Madžarske, Slovaške in Slovenije so se na tem sestanku dogovorili za medsebojno sodelovanje in sprejeli francosko pobudo. Srečanje je tako postalo ustanovni sestanek organizacije RC LACE. LACE je angleška beseda za čipko, kar je prikladna metafora za mrežo, bodisi mrežo računskih točk v modelu, bodisi kot mrežo sodelovanja. Tako sta že od samega začetka ALADIN in RC LACE tesno povezana projekta oziroma skupini. Njuno delovanje in razvoj v zadnjih dveh desetletjih je bil skupen in močno prepleten.

Slovenija je že jeseni 1991 iskala možnosti za sodelovanje z Météo-France na osnovi znanstvenega projekta, vendar takrat mednarodni sporazum o

sodelovanju med Francijo in Jugoslavijo ni več veljal. Slovenska meteorološka služba, takratni Hidrometeorološki zavod, je prošnjo za vključitev v projekt ALADIN poslala aprila 1992. Počakati pa je bilo potrebno še na nov sporazum o znanstvenem sodelovanju med Francijo in Slovenijo, ki je bil podpisan novembra 1992. Že naslednjega leta sta bila na delovnih obiskih v Météo-France sodelavca HMZ Jože Rakovec in Mark Žagar, kar je bil začetek uspešnega sodelovanja v naslednjih letih.

Koncept sodelovanja in razvoja na področju numeričnega napovedovanja vremena, kot ga je predlagala Météo-France, je temeljil na sodelovanju s skupnimi koristmi za vse. Glavni gradniki tega sodelovanja so bili in so še danes:

- priprava in vzdrževanje programske modelske kode za numerično napovedovanje vremena na omejenem geografskem območju s poudarkom na uporabi le zmerne računске moči,
- prizadevanje za računanje na omejenem območju v večji horizontalni ločljivosti od globalnega modela ARPÈGE, kar v meteorološkem smislu omogoča napovedovanje lokalnih vetrov, termalnega vetra, nevihtnih linij ipd.,
- združitev moči preko mednarodnega sodelovanja, kjer imajo partnerji enakovredno vlogo in imajo vsi koristi od skupnih prizadevanj.

Razvoj programske modelske kode in prvi operativni zagoni

Priprave so se pričele s prvimi študijami spomladi leta 1991. Sprva se je projekt imenoval LAM-ARPÈGE; šlo je namreč za prilagoditev francoskega globalnega modela (ARPÈGE) na omejeno območje. Septembra 1991 je 17 strokovnjakov iz Francije, Romunije, Češkoslovaške, Madžarske, Avstrije in Poljske pričelo z razvojem modela. Malo pred tem se je iz Pariza v nove prostore v Toulousu preselila glavnina Météo-France, kar je nudilo zelo dobro delovno okolje. Takrat se je projekt tudi preimenoval v ALADIN.

V dveh letih in pol je skupini uspelo razviti in pripraviti numerični model za omejeno območje, ki je poznan pod imenom ALADIN. Osnova je bila opis dinamike iz francoskega globalnega modela ARPÈGE oziroma globalnega modela Evropskega centra za srednjeročne vremenske napovedi IFS, kjer so izračuni narejeni v spektralnem prostoru, opis fizikalnih procesov pa je temeljil na metodah iz ARPÈGE. Model na omejenem območju potrebuje vrednosti modelskih spremenljivk na mejah območja napovedi – robne pogoje. Za ALADIN so uporabili napovedi globalnega modela ARPÈGE. Pri tem pa je bil ključen razvoj metode za sklapljanje meteoroloških polj na robovih modela ALADIN s polji globalnega modela in metode za pripravo začetnega stanja modela ALADIN, za kar

so razvili napredno interpolacijo med računskimi območji ARPÈGE in ALADIN. Ker sta tako model ALADIN kot model ARPÈGE spektralna modela, je bil velik dosežek že to, da so uspešno preoblikovali sprektalne metode iz globalnega modela s sferično geometrijo na omejeno območje. Modelska polja so predstavljena spektralno, kjer je predpostavljeno, da so periodična v obeh horizontalnih smereh, kar dosežemo z dodanim umetnim območjem. Metodo so nekoliko prej razvili in vpeljali pri HIRLAM modelu, kjer pa je nato niso uporabili.

Konec maja 1994 so model že pričeli vsakodnevno poganjati na super-računalniku Cray C90 v Météo-France v Toulousu. Horizontalna ločljivost je bila 18,3 km, izračun za 36 ur vnaprej pa so pripravili enkrat dnevno. Sodelujočim meteorološkim službam so bili na voljo tudi prvi produkti, ki so jih lahko prenesli preko svetovnega spleta ali sprejeli preko satelitske povezave.

Postopno je tudi skupnost RC LACE želela vzpostaviti lasten operativni ALADIN/LACE sistem za računanje in posredovanje uporabne numerične vremenske napovedi v realnem času, ki bi bila na voljo vsem članicam. Sprva je bil regionalni center predviden na Dunaju, vendar se je, ko je Avstrija vstopila v EU, politična situacija v Avstriji zasukala in finančne podpore za povezovanje meteoroloških služb ni bilo več. Tako so to nalogo v zmanjšanem obsegu prehodno izvajali kar v Toulousu. Météo-France je omogočila dostop do super-računalnika CRAY-J916/12 in pred-operativno delovanje sistema. Spomladi 1996 je LACE ustanovil upravno skupino, ki je v Toulousu vzpostavila in vzdrževala svoj operativni ALADIN sistem. Ta je začel delovati julija 1996. Poleg standardnih produktov za napoved vremena so pripravljali tudi začetne in robne pogoje za modele, ki so jih poganjali na sedežih posameznih meteoroloških služb, članic RC LACE.

V letu 1997 so na češkem hidrometeorološkem inštitutu kupili super-računalnik NEC, da bi na njem operativno poganjali ALADIN/LACE sistem. Marca 1998 so predstavniki šestih meteoroloških služb sodelujočih držav (Avstrija, Češka, Hrvaška, Madžarska, Slovaška in Slovenija) podpisali RC LACE sporazum o medsebojnem sodelovanju. Formalno so ustanovili regionalni center v Pragi ter združili moči pri razvoju in vzdrževanju skupnega operativnega sistema. Prvemu sporazumu sta sledila še dva, sedaj pa pripravljajo že četrtega, za obdobje 2013–2018. Oznaka RC se je medtem iz začetnega pomena regionalni center spremenila v regionalno sodelovanje. Vso operativno dejavnost ALADIN/LACE so junija 1998 prenesli iz Toulousa v Prago, kjer je tekla do leta 2002. Produkti se članicam razpošiljali preko Dunaja, kjer je bil komunikacijski center in center za arhiviranje. Seveda so za vzpostavitev skupne operative v Pragi vse sodelujoče službe RC LACE prispevale nekaj človeških

virov. Vzporedno je v centru v Pragi teklo tudi precej raziskav s področja numeričnega napovedovanja vremena.



HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE OF REPUBLIC OF SLOVENIA
Vojkova 1b, 61000 Ljubljana, Slovenia
fax ++386 61 133 13 96

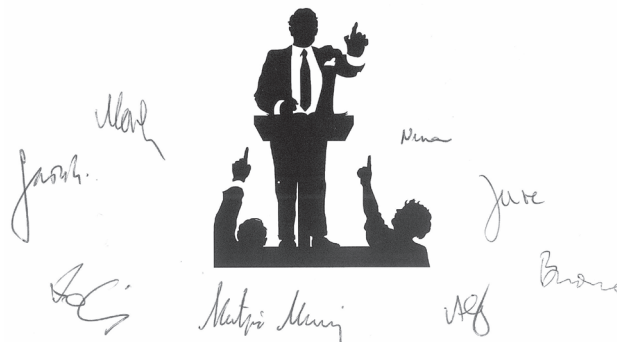
FAX COVER SHEET

Date: 1997/02/17
from : ALADIN/Slovenija
phone: ++386 61 31 35 83
fax: ++386 61 133 13 96
to: CNRM/GMAP - ALADIN (cc Mr. Joël Hoffman)
fax: 0033 5 61 07 84 53
Number of pages, this page included: 1
Subject: Aladin/SLO

Dear friends,

we have a great pleasure to spread the news, that ALADIN/SLO was officially proclaimed as quasi-operational from today on.

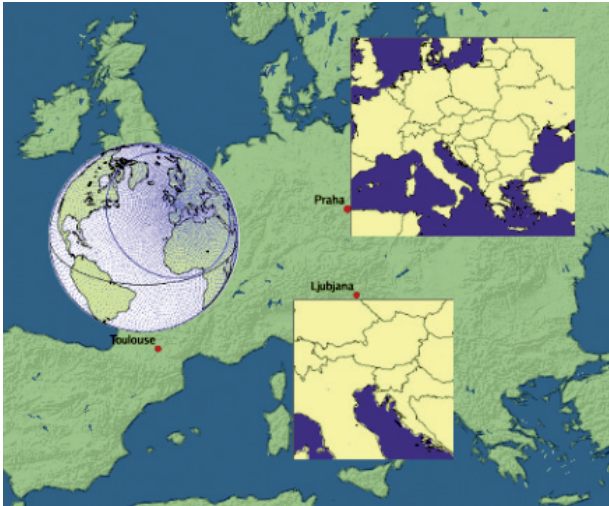
Slovenian Aladin team®



Slika 2. Obvestilo o pričetku rednega poganjanja modela ALADIN 17. februarja 1997 v Ljubljani.

Kmalu po prvih delovnih obiskih v Franciji leta 1995 se je porodila ideja, da bi model ALADIN poganjali tudi v Ljubljani. Skupaj z romunsko in francosko pomočjo smo uspeli sistem prilagoditi na način, ki je dovoljeval poganjanje modela na delovni postaji. Avgusta 1996 smo izvedli prve uspešne teste, do februarja 1997 (slika 2) pa je bil sistem že dovolj stabilen, da smo lahko pričeli z rednimi izračuni.

Implementacije sistema ALADIN so sledile tudi pri drugih meteoroloških službah: v Maroku in Romuniji leta 1996 oziroma 1997, v Belgiji in na Madžarskem leta 1998, v Avstriji, Bolgariji, na Poljski in Slovaškem leta 1999 ter na Hrvaškem in Portugalskem leta 2000. Za poganjanje modela v državah LACE so začetne in robne pogoje do leta 2002 izračunavali v Pragi (slika 3). Medtem se je tudi ločljivost globalnega modela ARPÈGE precej izboljšala, tako da je bilo neposredno gnezdenje lokalnih modelov vanj možno in smiselno.



Slika 3. Strategija sklopjanja modela ALADIN-SI leta 2000. Rezultati globalnega modela ARPÈGE so se uporabili za začetne in robne pogoje ALADIN/LACE, ti rezultati pa so služili za začetni in robne pogoje za ALADIN-SI.

Tako se robni in začetni pogoji še danes pripravljajo neposredno iz globalnega modela na skupnem geografskem območju in so na voljo sproti že med samim izračunom globalnega modela.

S širjenjem uporabe ALADIN modela je bilo potrebno tudi nekoliko formalizirati sodelovanje. Programska koda je na voljo le članicam projekta in ni prosto dostopna. Prvi sporazum o sodelovanju je bil podpisan novembra 1996, ko so se direktorji meteoroloških služb zbrali v Parizu, na prvem letnem zboru, tudi ob prisotnosti generalnega sekretarja Svetovne meteorološke organizacije prof. G.O.P. Obasija. Takrat so formalizirali sodelovanje na projektu in začrtali nadaljnji razvoj v smeri decentralizacije. Čez dve leti so sporazum dopolnili s pravili do dostopa in uporabe

ALADIN programske kode. Maja 2001 je bil podpisan drugi sporazum o sodelovanju, konec leta 2005 je tretji sporazum prinesel novo organizacijsko obliko, ta se je še nekoliko dopolnila z zadnjim trenutno veljavnim sporazumom, sprejetim leta 2010.

Raziskovalna dejavnost in razvoj

Med procesom operativne uvedbe modela v posameznih državah je ves čas potekal tudi razvoj modela. Razvili so nehidrostatično verzijo modela, moderen variacijski sistem za asimilacijo podatkov, primeren za pripravo analize začetnega stanja ozračja v visoki ločljivosti za omejeno območje, izboljševali so opis dogajanj v ozračju in tleh.

Leta 2000 so v Météo France začeli razmišljati o modelu naslednje generacije s ciljno horizontalno ločljivostjo 2.5 km za potrebe kratkoročne napovedi vremena. Poleg ALADIN modela so imeli tudi raziskovalni model Méso-NH, ki pa ni bil primeren za operativno uporabo. Odločili so se, da združijo nehidrostatično dinamiko in variacijsko asimilacijo podatkov iz ALADIN-a ter opis fizikalnih procesov v ozračju iz Méso-NH. V nekaj letih je nastal model AROME, ki je decembra 2008 postal operativen. Velika začetna težava tega hibridnega modela je bila precejšnja računrska zahtevnost, imel pa je tudi nekatere pomanjkljivosti, ki so bile rezultat kombiniranja dveh različnih principov modeliranja dogajanj v ozračju: akademskega, s poudarkom na točnosti, in operativnega, s poudarkom na učinkovitosti algoritmov. Potrebne računrske moči si večina partneric ALADIN, vključno s članicami RC LACE-a, ni mogla privoščiti. Odločile so se za postopen prehod k višji ločljivosti in za bolj premišljeno nadgradnjo modela ALADIN. Svoje znanje in človeške vire so vložile v razvoj modela, ki lahko



Slika 4. V Kranjski Gori smo maja 2002 organizirali izobraževanje na temo numeričnih tehnik v okviru ALATNET programa.

uspešno deluje tudi na vmesni ločljivosti med deset in dvema kilometroma. Zato pa je bilo potrebno razviti nove metode, predvsem za opis konvekcije. Rezultat takšnega alternativnega pristopa je tako imenovana ALARO verzija, ki jo za operativne potrebe uporabljamo tudi v slovenski meteorološki službi.

Vzporedno z razvojem operativnega sistema, kjer je vključenega tudi veliko tehničnega dela, so v okviru projekta ALADIN skrbeli tudi za raziskovalno delo. Zgovoren rezultat o močni raziskovalni dejavnosti je, poleg uspešno delujočega modela, tudi 350 objav v različnih znanstvenih revijah od leta 1990 dalje. V začetni fazi razvoja modela je največ finančnih virov prispevala francoska vlada in tako omogočila daljše delovne obiske in raziskovalno delo za razvoj modela ter pripravo doktorskih disertacij. Za razvoj in testiranje modela je bil ključen tudi dostop do super-računalnika v Toulousu.

veliko mladih raziskovalcev. V Ljubljani sta bila Klaus Stadlbacher iz Avstrije (25 mesecev) in Raluca Radu iz Romunije (16 mesecev).

S širjenjem skupnosti, tehničnim razvojem, povečevanjem moči računalnikov v več članicah, razvojem telekomunikacij in z vse večjo hitrostjo povezav na svetovnem spletu, pa tudi s pridobljenim znanjem in z zmanjševanjem razlik v tehnični opremljenosti posameznih služb je razvojno delo sčasoma postalo bolj razpršeno po močnejših meteoroloških službah (v Toulousu, Pragi, Bruslju, Budimpešti). Météo France tako danes ni več edino središče za raziskave in razvoj modela, je pa še vedno vodilni pri vzdrževanju programske kode.

Zelo pomemben del razvoja so nekajtedenske izmenjave zaposlenih med različnimi sodelujočimi službami. V prvih letih so bili obiski predvsem v Toulousu,



Slika 5. Študenti v okviru projekta ALATNET, zbrani ob vmesnem poročilu aprila 2002 v Bruslju

Francosko ministrstvo za izobraževanje je v dveh štiriletnih obdobjih finančno podprlo doktorski študij, tako da je omogočilo daljše obiske raziskovalcev iz srednje in vzhodne Evrope pri skupini za modeliranje, asimilacijo in napovedovanje (GMAP) v Météo France. Med devetimi doktorandi je bil tudi Mark Žagar, ki je svoj doktorski študij zaključil leta 2000.

Od marca 2000 do februarja 2004 je sledil štiriletni projekt ALATNET (ALADIN Training NETWORK; ALADIN mreža za izobraževanje), ki ga je v okviru petega okvirnega programa finančno podprla Evropska skupnost. Omogočil je širjenje znanja o numeričnem modeliranju vremena in modelu ALADIN. Devet doktorskih in trije poddoktorski študenti so v tem času gostovali in delali na svoji izbrani temi v petih centrih (Toulouse, Bruselj, Praga, Budimpešta in Ljubljana). Organizirani so bili trije izobraževalni seminarji s področja modeliranja vremena, ki se jih je udeležilo

kasneje so sledili številni delovni obiski v Pragi, kot prispevek k tamkajšnji skupni LACE operativni aplikaciji. V zadnjih letih pa so obiski bolj razpršeni med posameznimi službami, manj pogosti in krajši, saj nam moderna tehnologija omogoča delo na daljavo. Skozi številne delovne obiske se je več posameznikov z oddelka za meteorološke napovedi slovenske meteorološke službe dobro spoznalo z načinom dela in življenja v Toulousu in nekaterih evropskih prestolnicah (preglednica 1). Pohvalimo pa se lahko, da smo tudi pri nas gostili tuje sodelavce skoraj vsako leto (preglednica 2).

Med krajšimi in daljšimi obiski so se spletle tudi prijateljske vezi. Običajno je bilo v Toulousu vedno nekaj gostujočih kolegov (stažistov ali "stagiairejev") iz različnih meteoroloških služb. Na izletih smo spoznali okolico, se družili ob večerih in pri športnih aktivnostih. Navadili smo se sporazumevanja v tujem jeziku,

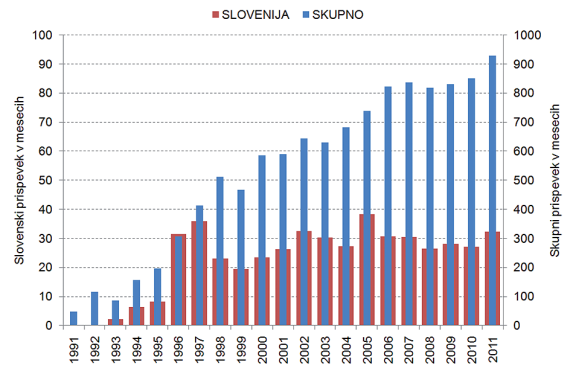
predvsem v angleščini, nekateri so se naučili tudi francosko. Včasih smo bili le presenečeni (v pozitivnem ali negativnem smislu) nad francoskim načinom življenja in se čudili močnemu francoskemu naglasu.

Osnovni koncept sodelovanja se ni oziral na precejšnjo raznovrstnost v znanstvenih in tehničnih kapacitetah posameznih članic. Od prve delavnice ALADIN-a leta 1996 v Bratislavi jih je bilo organiziranih že 21; od leta 2006 so bile organizirane skupaj s konzorcijem HIRLAM. Prav združitev s HIRLAM-om je prinesla skupnosti ALADIN precejšen razvojni moment in postavila skupni konzorcij ALADIN/HIRLAM na prvo mesto v Evropi. Za majhne meteorološke službe je takšno sodelovanje ključnega pomena, saj omogoča vpetost v razvoj in uporabo najnovjših verzij modela za operativno pripravo numeričnih napovedi vremena.

Kadarkoli govorimo o zgodovini in razvoju modela ALADIN, ne moremo mimo Jean-François Geleya, ki je bil in je še glavna gonilna sila. Kot vodja GMAP skupine in vodja ARPÈGE projekta je bil pobudnik in idejni vodja za začetek in razvoj ALADIN-a. Nato je kot mednarodni koordinator in kasneje kot vodja projekta ogromno prispeval k uspešnosti projekta. S svojimi številnimi, raznovrstnimi in obsežnimi prispevki in z neverjetnim pregledom nad vsemi posameznimi deli v celotni zgodbi, je spodbujal in vedno zagovarjal znanstven in učinkovit vidik operativnega razvoja. Brez njega ALADIN, RC LACE in HIRLAM ne bi bili to, kar danes so. Bil je so-mentor številnim doktorskim študentom, predaval oziroma še predava na École Nationale de La Météorologie v Toulousu, na univerzah v Pragi in Gentu. Številnim mladim znanstvenikom in strokovnjakom je pomagal utirati pot v znanstveno in strokovno delo. V letu 2011 je dobil srebrno medaljo Evropske meteorološke zveze za izjemni prispevek k mednarodnemu sodelovanju med znanstveniki v Evropi, ki je vodil k nastanku meteorološke skupnosti na področju numeričnega napovedovanja vremena (slika 6).



Slika 6. Jean-François Geleyn prejema srebrno medaljo na letnem srečanju EMS v Berlinu 2011. Fritz Neuwirth, dolgoletni direktor avstrijske meteorološke službe (ZAMG) in eden od pobudnikov LACE (desno), in Dominique Marbouty, dolgoletni direktor ECMWF (levo).

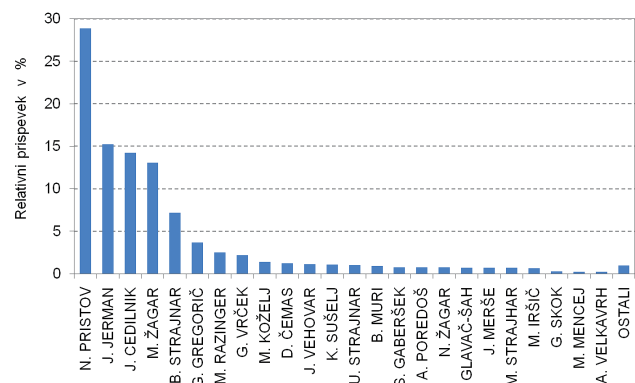


Slika 7. Skupni prispevek vseh sodelujočih in slovenski delež (v mesecih na leto) pri ALADIN projektu.

V povezavi z ALADIN-om moramo omeniti tudi Evropski center za srednjeročne vremenske napovedi (ECMWF). Precejšen del programske kode ARPÈGE/ALADIN in ECMWF-jevega sistema IFS je namreč skupen in vloga ECMWF je pri vzdrževanju različic te kode enako pomembna kot vloga Météo France. Ne moremo tudi mimo dejstva, da je bilo delo z ALADIN-om za mnoge odskočna deska za nadaljevanje kariere na sedežu ECMWF v Readingu.

Skupnost projekta ALADIN se je razvijala postopoma in tesno sledila ter tudi sama krojila razvoj na področju numeričnega modeliranja vremena v Evropi. Od leta 1991 do danes je bilo vloženega okoli 900 človek-let dela različnih znanstvenikov in strokovnjakov (540) iz 16 držav. Od tega so Slovenci prispevali približno dvajsetino opravljenega dela (slika 7 in 8).

Težišče slovenskega prispevka v ALADIN in RC LACE skupini je bilo bolj na tehnično aplikativnem nivoju kot pa na raziskovalnem področju. Med prvimi smo pripravili programske kodo na način, ki je omogočal poganjanje na delovni postaji (najprej na DEC alpha, potem na linux gruči), razvili smo metodo za napovedovanje vetra in padavin v zelo visoki ločljivosti, prispevali k boljšemu opisu sevanja, med prvimi smo uporabili lokalni model za klimatološko modeliranje (potencial vetra), med prvimi smo začeli operativno uporabljati podatkovno asimilacijo na ločljivosti 4 km. V Ljubljani smo vzpostavili operativno verifikacijo ALADIN modelov različnih meteoroloških služb.



Slika 8. Prispevek slovenskih strokovnjakov (skupno 480 mesecev) pri ALADIN projektu med leti 1993 in 2011.

Pogled naprej

Kvaliteta globalnih modelov se nenehno izboljšuje. Njihova ločljivost je že primerljiva z ločljivostjo modelov na omejenem območju izpred nekaj let, kar nas sili v modeliranje vremena na vse bolj finih skalah, kjer je potrebno vključiti opis dodatnih procesov. Vedno bolj pomemben je realističen opis površja (jezera, mesta, vrsta tal), ki močno vpliva na dogajanje v mejni planetarni plasti. Vprašanje je, ali bo še možno vztrajati pri spektralnem zapisu, ali lahko parametризacijo konvekcije popolnoma izpustimo (problem je ustvariti pogoje za proženje), kako povezati vpliv sosednjih točk pri opisu turbulence in sevanja (sedaj se vse dogaja znotraj vertikalnega stolpca). Morda bo potrebna tudi drugačna izbira vertikalne koordinate.

Glavna smer razvoja modeliranja na omejenem območju je povezana tudi z razvojem visoko zmogljivih računalnikov. Povečevanje števila računskih jeder prinaša težave s paralelizacijo, saj od nekega števila procesorjev naprej pohitritev računanja s povečevanjem števila procesorjev ni več linearna in procesorji delajo v "prazno". To odpira pot k verjetnostnemu modeliranju, kot ga že kar nekaj časa poznamo v svetu globalnih meteoroloških modelov. S stališča uporabe računskih virov je namreč učinkoviteje izvajanje večjega števila nekoliko različnih simulacij pri slabši ločljivosti (t.i. ansambelske napovedi) kot ene same pri zelo visoki ločljivosti. Iz množice rezultatov se nato lahko izračunajo verjetnosti za določen dogodek. Čas bo pokazal, ali prinašajo verjetnostne napovedi dodano vrednost v primerjavi z determinističnimi napovedmi, razviti pa bo potrebno tudi nove metode za učinkovit prikaz in njihovo uporabo. Našteli smo le nekaj odprtih vprašanj, možnosti in potreb za nadaljnje sodelovanje med partnerji ne bo zmanjkalo.

Preglednica 1. Delovni obiski tujih sodelavcev v Ljubljani (vsaj 1 teden)

Leto	Kdo
1995	Ryad el Khatib, Jean-Daniel Gril
1996	Patrick le Moigne, Joel Hoffman
1998	Jean-Marc Moisselin
1999	Ryad el Khatib
2000	Klaus Stadlbacher, Gabor Radnoti
2001	Raluca Radu, Klaus Stadlbacher, Gabor Radnoti
2002	Lovro Kalin, Raluca Radu, Klaus Stadlbacher,
2003	Raluca Radu, Klaus Stadlbacher,
2005	Dunja Drvar, Lovro Kalin
2006	Dunja Drvar, Lovro Kalin
2007	Lovro Kalin, Ligia Amorim
2008	Nuno Lopez
2009	Edit Adamcsek, Gergely Boloni, Dijana Klarić, Lora Taseva
2010	Edit Adamcsek, Gergely Boloni, Marcin Kolonko
2011	Alex Deckmyn, Jadwiga Woyciechowska

Preglednica 2. Slovenski delovni obiski pri večjih službah v okviru razvoja ALADIN-a (vsaj 1 teden)

Leto	Kje	Kdo
1993	Toulouse	Jože Rakovec, Mark Žagar
1994	Toulouse	Saša Gaberšek, Jurij Jerman, Miran Trontelj
1995	Toulouse	Jurij Jerman, Aleš Poredoš, Tomaž Vrhovec, Uroš Strajnar, Andrej Velkavrh, Mark Žagar
1996	Toulouse	Gregor Gregorič, Jurij Jerman, Aleš Poredoš, Neva Pristov, Uroš Strajnar, Andrej Velkavrh, Mark Žagar
1997	Toulouse	Saša Gaberšek, Gregor Gregorič, Jure Jerman, Neva Pristov, Uroš Strajnar, Mark Žagar
1998	Toulouse Praga	Danijel Čemas, Jurij Jerman, Neva Pristov, Mark Žagar Metod Koželj, Jasna Vehovar
1999	Toulouse Praga	Jurij Jerman, Mark Žagar Jurij Jerman, Metod Koželj
2000	Toulouse Budimpešta Zagreb Praga	Metod Koželj, Mark Žagar Metod Koželj, Neva Pristov Jurij Jerman, Neva Pristov Danijel Čemas, Jure Jerman, Metod Koželj, Neva Pristov, Uroš Strajnar, Mark Žagar
2001	Toulouse Praga	Jurij Jerman, Janko Merše, Jožef Roškar Danijel Čemas, Jurij Jerman, Metod Koželj
2003	Toulouse Praga	Mateja Iršič Žibert Rok Glavač-Šah, Gregor Skok, Kay Sušelj
2003	Toulouse Praga	Mateja Iršič Žibert Rok Glavač-Šah
2004	Toulouse Praga Dunaj	Jurij Jerman Neva Pristov Jure Cedilnik
2005	Toulouse, Praga	Jure Cedilnik
2006	Bruselj Praga	Jure Cedilnik Neva Pristov
2007	Toulouse Budimpešta	Jure Cedilnik Benedikt Strajnar
2008	Toulouse Bruselj	Benedikt Strajnar, Jure Cedilnik Benedikt Strajnar
2009	Budimpešta Praga	Jure Cedilnik, Benedikt Strajnar Neva Pristov
2010	Toulouse Budimpešta Praga	Benedikt Strajnar, Jure Cedilnik Neva Pristov, Vanja Blažica Neva Pristov
2011	Praga	Neva Pristov

Dodatne informacije:

ALADIN <http://www.cnrm.meteo.fr/aladin/>
 RC-LACE: <http://www.rclace.eu>
 HIRLAM: <http://hirlam.org>
 SRNWP: <http://srnwp.met.hu/>

Uporaba visoko zmogljivih računalnikov za potrebe numeričnega modeliranja vremena v slovenski meteorološki službi

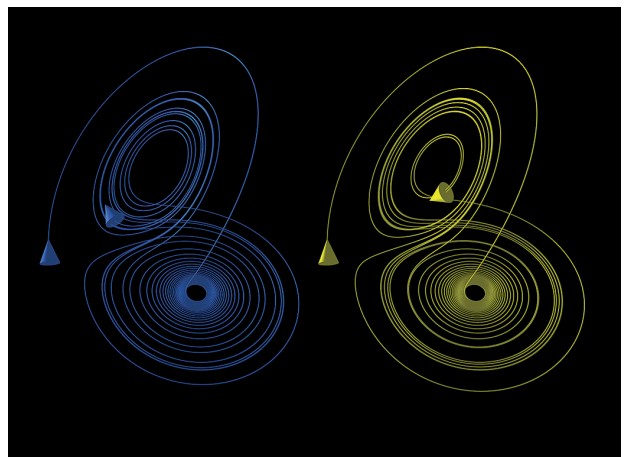
Jurij Jerman, Agencija Republike Slovenije za okolje

Začetki uporabe numeričnih vremenskih modelov

Napovedovanje vremena s pomočjo numeričnih meteoroloških modelov je področje, ki je v zadnjih 30 letih doživelo ogromen napredek in temeljito spremeniло proces spremljanja in napovedovanja vremena. Napredek ni zaobšel slovenske meteorološke stroke, saj ima zgodovina numeričnega modeliranja vremena v Sloveniji sedaj že več kot 20-letno zgodovino. V pričujočem zapisu želimo osvetliti predvsem napredek in uporabo visoko zmogljivih računalnikov, ki so bistvena komponenta infrastrukture, potrebne za delovanje operativnega sistema za numerično napovedovanje vremena.

Numeričnega modeliranja vremena si ne moremo zamisliti brez dovolj zmogljivih računalnikov, kajti število računskih operacij, ki jih je potrebno izvesti za simulacijo vremena s pomočjo numeričnega modela, je ogromno. Kljub temu, da so bile teoretične osnove za numerično modeliranje vremena znane že v začetku prejšnjega stoletja, ko je Lewis Fry Richardson brez uporabe računalnikov izračunal prvo 6-urno numerično vremensko napoved za območje srednje Evrope. Za računanje je skupaj s sodelavci porabil 14 dni. Razvoj numeričnega modeliranja vremena se je pričel okoli leta 1950 z razvojem in dostopnostjo prvih digitalnih računalnikov. Prve napovedi, izdelane s pomočjo numeričnih modelov, so pričeli v ZDA uporabljati okoli leta 1955, ko so z modeli uspeli izračunati prve realistične simulacije dogajanj v ozračju. Enačbe gibanja zraka, termodinamike in enačba stanja, ki skupaj opisujejo ozračje in so poznane kot sistem primitivnih enačb, so postale s precejšnjimi poenostavitvami osnova modelov v začetku 60. let preteklega stoletja. Prve računalniške simulacije dogajanj v atmosferi so Edwarda N. Lorenza, ki jih je izvedel leta 1964 na takrat najhitrejšem IBM računalniku, nameščenem na Tehnološkem institutu v Massachusetts-u, napeljale k razvoju teorije kaosa. Ugotovil je, da majhna napaka,

ki nastane pri shranjevanju vmesnih rezultatov simulacije z manjšim številom decimalnih mest, pripelje po določenem času do povsem druge vremenske napovedi. Odkril je tako imenovani metuljev efekt.



Metuljev efekt

V Evropi so pri pripravi vremenskih napovedi prvi začeli operativno uporabljati numerične napovedi v Nemčiji leta 1966. Sledili so jim v Veliki Britaniji leta 1972. V letu 1967 so na pobudo posebne delovne skupine, ki jo je ustanovil Svet Evropske gospodarske skupnosti, pričeli s pripravami na ustanovitev Evropskega centra za srednjeročne vremenske napovedi (ECMWF). Ustanovljen je bil šele leta 1975, ko je konvencija o ECMWF ratificirala večina takrat sodelujočih držav. Prva različica modela, katere razvoj je potekal vzporedno z gradnjo prostorov, je bila pripravljena za testno poganjanje leta 1979, ko se je center preselil v nove prostore in je kmalu zatem pričel z redno pripravo numeričnih vremenskih napovedi.

Kompleksnost numeričnih meteoroloških modelov, in z njo povezana kakovost napovedi, je rasla skupaj z razvojem računalnikov in večanjem razpoložljive računske moči za izvajanje numeričnih simulacij. Veliki

meteorološki centri so postali izložbeno okno proizvajalcev visoko zmogljivih računalnikov. Meteorologi so namreč že samo s povečanjem prostorske ločljivosti modelov uporabili vso razpoložljivo računsko moč. Situacija se je pričela spreminjati, ko so visoko zmogljivi računalniki v obliki Linux gruč postali dostopni tudi akademskim in raziskovalnim ustanovam. Še vedno pa na listi 500 najbolj zmogljivih računalnikov na svetu najdemo kar nekaj računalniških sistemov, ki so namenjeni operativnemu računanju napovedi vremena z numeričnimi meteorološkimi modeli.

Relativna dostopnost "zmogljivejših" računalnikov je odprla vrata numeričnemu modeliranju vremena tudi v Sloveniji. Računalniki ali računalniški sistemi, ki smo jih na Hidrometeorološkem zavodu (HMZ) in kasneje na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO) uporabljali za poganjanje numeričnih meteoroloških modelov, so bili pokazatelj tehnološke razvitosti službe. Pri razvoju numeričnih modelov pri nas imamo seveda predvsem v mislih model ALADIN, ki je še marsikaj več kot le numerični meteorološki model. V sodelovanju pri razvoju modela so se stkale močne povezave z drugimi sodelujočimi meteorološkimi službami, pomemben pa je tudi prenos znanja in izkušenj. Pri prenosu modela ALADIN na novo in včasih za tiste čase zelo eksotično strojno opremo smo mnogokrat igrali vodilno vlogo v konzorciju. Naše izkušnje so uporabili kolegi na Portugalskem, sodelovali smo tudi pri namestitvi modela ALADIN na Poljskem in Hrvaškem.

Ko računalniški sistemi zastarijo, počasi zbledi tudi spomin nanje kljub temu, da je z njimi povezanega ogromno dela in tudi čustev. Prepričevanje nadrejenih o pomembnosti numeričnega modeliranja vremena, preizkušanje novih konceptov uporabe zmogljivih računalnikov, piljenje programske kode, da bi lahko na razpoložljivi strojni opremi izračunali model kar najhitreje, vse to in še več je skrito v zgodovini numeričnega modeliranja vremena v Sloveniji.

Numerično modeliranje vremena se je v Sloveniji pričelo na Katedri za meteorologijo na Fakulteti za matematiko in fiziko, ko je dr. Tomaž Vrhovec izdelal prvi preprost numerični meteorološki model "apika" in ga poganjal na delovni postaji HP (Hewlett Packard). Podobno delovno postajo smo imeli tudi na tedanjem Hidrometeorološkem zavodu Republike Slovenije.

Prvi začetki na delovni postaji HP 720 (1993-2001)

Zapišemo lahko, da se je zgodovina modeliranja vremena pri nas pričela s to delovno postajo. Bila je namreč prva delovna postaja z operacijskim sistemom Unix, ki smo jo imeli na HMZ. Postaja je imela RISC procesor (RISC - Reduced Instruction Set Computing).

Prvi disk je imel 4 GB prostora, postaja pa 64 MB delovnega spomina. Take postaje so takrat razvili predvsem za uporabo zahtevne grafike. V poizkusih, da bi na postaji pognali model ALADIN, nismo uspeli, saj je bil HP-jev FORTRAN90 prevajalnik še preokoren. Kljub temu pa je postaja služila kot peskovnik za učenje obvladovanja operativnih procesov. Na tej postaji je leta 1995 po zaslugi Metoda Koželja, ki je bil takrat še študent, pričel delovati prvi spletni strežnik HMZ. To je bilo leto, ko se je HMZ vpisal na zemljevid svetovnega spleta, spletna stran pa ena od 10-ih tedaj najbolj obiskanih spletnih strani v Sloveniji. Leto kasneje je spletni strežnik HP nadomestil prvi računalnik z Intel procesorjem in operacijskim sistemom Linux. HMZ je tako postal eno od prvih spletnih mest v Sloveniji in tudi širše, kjer je bil operativno v uporabi operacijski sistem Linux. Za ta operacijski sistem, ki je danes standard na področju visoko zmogljivega računalništva, je do takrat slišalo bolj malo ljudi.

Nadaljevanje na delovni postaji Digital Alpha 5/333: Calvus (1995-2005)

Prvi računalnik, ki smo ga na HMZ zares uporabljali za modeliranje vremena, je bila delovna postaja Digital Alpha 5/333, imenovana Calvus. Imela je zmogljiv 333 Mhz procesor, 256 MB delovnega spomina in ob začetku trde diske z 120 GB skupnega prostora. Posebnost te delovne postaje je bil Digitalov procesor Alpha, ki je bil precej bolj zmogljiv kot takratni Intelovi procesorji. Računalnik je bil za tiste čase glede računske moči prava zver, pa tudi cena je bila znatna, saj je ob nakupu stal okoli 70.000 USD. V pričetku delovanja je imel nameščen operacijski sistem DigitalUnix, ki smo ga kasneje nadomestili z operacijskim sistemom RedHat Linux. Delovna postaja Calvus je kot operativni računalnik služil vse do leta 2005, ko je odšla v zasluženi pokoj.

Prva gruča v Sloveniji - Alibaba 20xAlphaStation 667 (1998)

Stalno pomanjkanje računske moči nas je leta 1998 napeljalo k ideji, da bi skupaj povezali več računalnikov in izkoristili njihovo skupno računsko moč. V tem času so se po svetu pričele pojavljati prve t.i. Beowulf linux gruče, ki so sledile tej enostavni ideji. Tako je nastala gruča Alibaba, ki je predstavljala enega prvih uspešnih poizkusov v tej smeri v Sloveniji in širše. Da smo bili na pravi poti, je pokazal kasnejši razvoj, saj je to še danes poglobitna smer razvoja visoko zmogljivih računalnikov.

Gruča Alibaba ni nastala na HMZ-ju, temveč na našo pobudo na podjetju Bit v Ljubljani, ki je takrat tržilo Digitalove računalnike v Sloveniji. Podjetje je prijazno odstopilo svoje prostore in posodilo 21 samostojnih



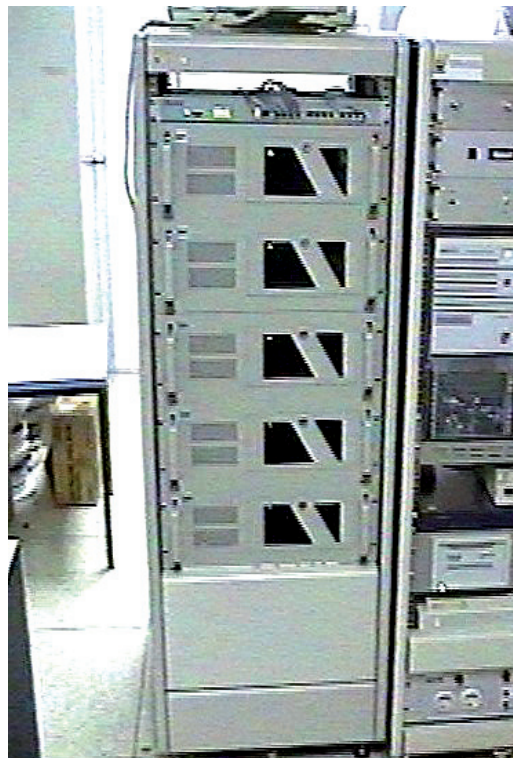
Slika 1. Gruča Alibaba, nameščena na podstrešju podjetja BIT. V tistem času je bil to najbolj zmogljiv računalniški sistem v Sloveniji.

delovnih postaj Alpha 21164sx, vsako s 533Mhz procesorjem, 128 MB spomina in 4 GB trdim diskom za uporabniške podatke. Računalniki so bili med seboj povezani z ethernet povezavo preko 100 Mb stikala. Ethernet je tehnologija za povezovanje računalnikov, ki se pretežno uporablja še danes. Izvorno kodo modela ALADIN smo še vedno prevajali z Digjtalovim FORTRAN90 prevajalnikom, na gruči Alibaba pa je bil nameščen operacijski sistem RedHat Linux. Gruča je tako segrevala podstrešje starejše hiše, v kateri je bil sedež podjetja Bit, da je bil vrh strehe kljub mrzli in sneženi zimi vedno brez snega. Skupna računsko moč gruče je bila verjetno največja skupna nameščena računsko moč na kakem računalniku v Sloveniji v tistem času. Na novico o tem računalniku v računalniški reviji Monitor je bilo na forumih kar nekaj odziva. Veliko bralcev se namreč ni strinjalo, da je šlo za dejansko najbolj zmogljiv računalnik v Sloveniji. Marsikdo je oporekal, da gre za enoten računalniški sistem, kljub temu, da je gruča izvajala eno aplikacijo, računanje katere pa je bilo porazdeljeno na posamezne računalnike, ki so sestavljali gručo. Čas je pokazal, da je bilo v našem početju kar precej jasnovidnosti, saj današnji najbolj zmogljivi računalniški sistemi niso nič drugega kot Linux gruče, kjer je osnovni princip delovanja podoben tistemu, ki smo ga uporabili pri gruči Alibaba.

Prva gruča na HMZ - Incus (1999-2003)

Pet računalnikov iz gruče Alibaba je leta 1999 HMZ odkupil in sestavil v gručo Incus. Na njej smo pričeli poganjati model ALADIN na isti način, kot je bilo to na gruči Alibaba. Tako smo postali prva meteorološka služba na svetu, ki je operativni numerični model za napovedovanje vremena poganjala na Linux gruči. Kot zanimivost povejmo, da je takrat glas o uporabi Linux gruče segel daleč preko meja Slovenije vse do daljne Japonske, saj so se o naših izkušnjah

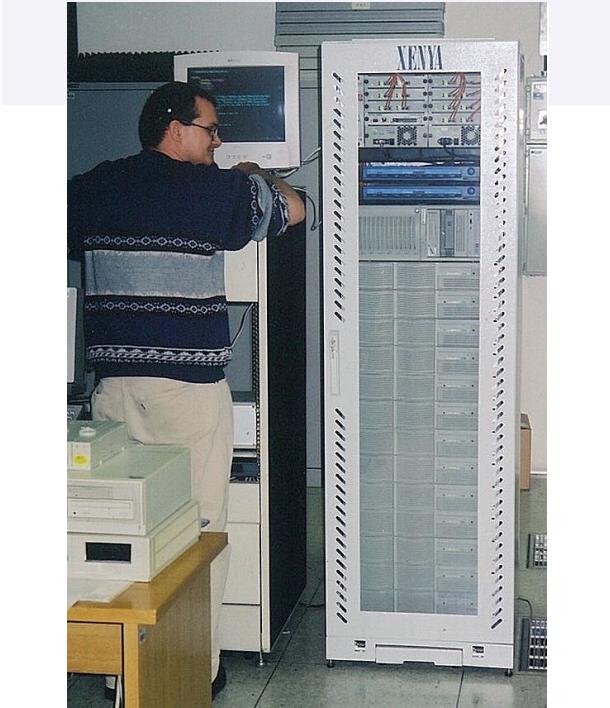
zanimali tudi v podjetju Fujitsu, ki je bil takrat in je še danes eden največjih proizvajalcev visoko zmogljivih računalnikov na svetu. Takrat so na področju visoko zmogljivih računalnikov proizvajali samo računalnike z vektorskimi procesorji. Danes pa so prav Linux gruče njihov edini izdelek na tem področju.



Slika 2. Gruča Incus, zgrajena z DEC Alpha procesorji.

Prva prava gruča na ARSO - Tuba (2002- 2008)

Gruča Tuba, ki smo jo namestili v letu 2002, je bila na nek način vrh domačega slovenskega razvoja računalniških sistemov visoko zmogljivih računalnikov. Sestavljalo jo je 13 delovnih postaj s po dvema procesorjema, povezanih med seboj z gigabitnim stikalom. Prvič smo uporabili Intel procesorje, ki so postopno postali konkurenčni Alpha procesorjem. Kot operacijski sistem smo uporabili različico Linuxa, Score Linux, zgrajen na osnovi RedHat distribucije. Score distribucija je posegla v Linux jedro na način, da so bila vsa jedra med seboj sinhronizirana. Score projekt je bil plod raziskovalnega dela na eni od japonskih fakultet. Žal pa je projekt zaradi premajhne kritične mase kljub temu, da je bil tehnološko zelo napreden, počasi ugasnil. Pri gruči Tuba smo prvič spoznali potrebo po medsebojni uglašenosti poglobljenih komponent sistema. Še tako velika računsko moč ne pomaga, če je šibek člen branje in pisanje podatkov. Kljub nekaterim težavam je bila gruča Tuba tehnološko zelo inovativna. Uporabljena programska oprema je več računalnikov povezala v celoto tudi na nivoju operacijskega sistema.



Slika 3. Gruča Tuba in sistemski inženir Izток Daneu.

Pravi računalnik visoke zmogljivosti SGI-ICE 8200 (Nimbus) (2007 - danes)

Računalnik Nimbus smo v računski center ARSO namestili decembra 2007. V tem času so postale gruče na osnovi operacijskega sistema Linux že povsem gotovi produkti, ki so jih, in jih še ponujajo vsi največji ponudniki visoko zmogljivih računalnikov. Pri njegovi fizični namestitvi v računalniški center smo imeli kar nekaj težav. Računalnik namreč tehta nekaj več kot 1500 kg in je tudi primerno velik. Zaradi tega smo ga morali povsem razstaviti in ga potem v centru znova sestaviti. Bil je naš prvi računalnik z zelo hitro Infiniband mrežno povezavo, ki je dejansko postala standard za hitre povezave med računalniki, posameznimi vozlišči gruče. V njem je trenutno 45 računskih vozlišč. V vsakem sta dva 4-jedrna procesorja in 16 GB spomina. Vsako računsko vozlišče je preko dveh infiniband mrežnih priključkov povezano z drugimi računskimi vozlišči in sedmimi servisnimi strežniki. Prvič smo uporabili vzporeden datotečni sistem Lustre, ki omogoča vzporedni dostop do podatkov, ki so razpršeni na 4 strežnikih. Hkratno branje in pisanje podatkov je precej hitrejše, vzporedni datotečni sistemi pa nujni za doseganje dovolj dobrih karakteristik pri vhodno izhodnih operacijah. Poleg vzporednega datotečnega sistema uporabljamo še SAN diskovno polje s preko 40 TB razpoložljivega diskovnega prostora. Ob polni obremenjenosti porabi računalnik za delovanje kar 16 kW električne moči.

Računalnik Nimbus je bil ob zagonu drugi najmočnejši računalnik v Sloveniji. V primerjavi s prvimi gručami

je velik korak naprej tudi s stališča operacijskega sistema in podporne programske opreme, saj je njegovo upravljanje bistveno lažje, delovanje pa stabilno.



Slika 4. Računalnik SGI ICE 8200, trenutno operativni računalnik za izvajanje numerično intenzivnih aplikacij na ARSO.

Povzetek razvoja zadnjih 17 let

Ko se ozremo nazaj na razvoj numeričnega modeliranja vremena na HMZ/ARSO in širše, lahko ugotovimo, da je bilo to obdobje polno pragmatizma in pionirstva. S sorazmerno majhnimi finančnimi sredstvi smo prišli do relativno zmogljivih računalniških sistemov, s katerimi smo lahko vzdrževali korak na področju numeričnega modeliranja tudi v večjimi meteorološkimi službami. Pri tem smo naredili kar nekaj pionirskih korakov:

- bili smo eni prvih, ki smo za operativno delo uporabljali operacijski sistem Linux,
- bili smo prva meteorološka služba na svetu, ki je za poganjanje operativnega modela uporabljala Linux gručo.

Vse to seveda ne bi bilo mogoče brez standardizacije podporne programske opreme, ki je potekala v tem obdobju. Predvsem pa ne brez operacijskega sistema Linux, okoli katerega je potekal razvoj prosto dostopne programske opreme.

Zelo pomembno je bilo dejstvo, da je arhitekturo kode modela ALADIN posredno preko skupnega projekta IFS/ ARPÈGE usmerjal ECMWF. Uporaba Linux gruč je bila mogoča z vpeljavo standarda za paralelizacijo na sistemih s porazdeljenim spominskim prostorom (MPI), ki ga je že dovolj zgodaj prevzel tudi

ECMWF. Kasneje je standard postal še OpenMP; to je način paralelizacije na sistemih s skupnim spomin-skim prostorom, ki je svoje mesto prav tako našel v kodi IFS/ ARPÈGE/ALADIN. Ker so se prosto dostopne implementacije MPI pojavile tudi na operacijskem sistemu Linux, se je odprla možnost za uporabo tudi na Linux gruĉah.

Pomemben element razvoja je seveda tudi program-ski jezik, v katerem so numerični meteorološki modeli napisani. To je seveda programski jezik FORTRAN (FORmule TRANslation - prevajanje enaĉb), ki je od priĉetkov numeričnega modeliranja vremena do danes še vedno standard za programiranje nume-riĉno zahtevnih aplikacij. Programski jezik FORTRAN je najveĉji preskok napravil pri prehodu iz verzije FORTRAN77 na FORTRAN90, ko je postal enakovre-den drugim modernejšim objektnim jezikom. Pre-vajalniki so postajali vedno bolj standardizirani. Še vedno pa se pojavljajo neprijetna preseneĉenja, ko se ob prehodu na novo verzijo prevajalnika ali na novo verzijo modela ALADIN pojavijo teŹave pri poganjanju modela. Postopek odpravljanja napak je vĉasih dol-gotrajen, vedno pa je potrebno preveriti tudi ĉasovno uĉinkovitost izvajanja modela, saj lahko prevajalnik iz takega ali drugaĉnega razloga pripravi kodo, ki se izvaja poĉasneje. V svetu ĉasovno kritiĉnih aplikacij je to nedopustno. Še vedno se spominjamo primera, ko smo s postavitvijo dvopiĉja nekam v 3 milijone programskih vrstic modela ALADIN njegovo izvajanje pohitrili za 30%.

Danes model ALADIN tvori preko 3 milijone vrstic programske kode. Doloĉeni deli so napisani poleg FORTRAN-a tudi v programskem jeziku C++. Sistemi za prevajanje modela so zaradi medsebojne odvi-snosti posameznih delov programske kode postali precej zapleteni. Prav tako je predvsem s prehodom na asimilacijo podatkov postalo zapleteno okolje, ki skrbi za izvajanje modela ter za pred in po-obdelavo rezultatov modela.

Z narašĉajoĉo prostorsko, horizontalno in vertikalno ter ĉasovno loĉljivostjo modela strmo rastejo tudi zah-teve po diskovnem prostoru za obdelavo in hranjenje podatkov. Ĉe je imel naš prvi operativni raĉunalnik okoli 40 GB celotnega prostora na trdih diskih, je danes samo dnevne produkcije modela ALADIN okrog 120 GB, ob dvakratnem poveĉanju horizontalne pro-storske loĉljivosti pa se ta številka poveĉa za štiri krat.

In kaj bo v prihodnosti?

Razvoj na podroĉju visoko zmogljivih raĉunalnikov se še ni in se tudi ne bo ustavil. Kljub temu, da se je Źe mnogokrat zgodilo, da so strokovnjaki Mooro-vem zakonu, ki pravi, da se Źtevilo pol-prevodniških elementov na procesorskem vezju in z njim povezana

raĉunska moĉ podvoji vsakih 18 mesecev, napovedali konec veljavnosti, se to še ni zgodilo, in se verje-tno še nekaj ĉasa ne bo. V zadnjih letih smo priĉa poveĉevanju Źtevilca procesorskih jeder na posame-znem sistemu, ko jih imajo najveĉji sistemi na svetu nekaj sto tisoĉ. Ĉe smo še pred nekaj letih govorili o sistemih z zmogljivostjo peta flopsa (10^{15} operacij s plavajoĉo vejico v sekundi), so danes na vidiku exa flops sistemi z 10^{18} flopsov, ki bodo postali realnost nekje do leta 2018-2020. Veliko raĉunsko moĉ bodo ti sistemi dosegli predvsem s pomoĉjo poveĉevanja Źtevilca raĉunskih jeder. Take sisteme bi lahko naredili Źe danes; teŹava pa bi bila ogromna poraba elektriĉ-ne energije, saj naj bi taki sistemi po optimistiĉnih napovedih za svoje delovanje potrebovali najmanj 100 MW elektriĉne moĉi, lahko pa tudi veĉ. Na po-droĉju strojne opreme je poglobitni izziv zmanjŹanje porabe energije, na programskem podroĉju pa, kako napisati aplikacije, ki bodo znale uĉinkovito uporabiti sto-tisoĉe procesorskih jeder. Na nek naĉin je razvoj masovno paralelnih sistemov 'ubil' visoko zmogljivo raĉunalniŹtvo, saj si nihĉe veĉ ne privoŹi razvoja in izdelave dragih vektorskih procesorjev. RajŹi upo-rabljujejo standardne komponente sistemov in na ta naĉin zniŹajo ceno proizvodnje takega raĉunalnika.

Trenutno je zelo aktualna tudi uporaba grafiĉnih pro-cesorjev, saj so le ti izvedeni na naĉin res masovne paralelizacije in zmanjŹanega nabora implementira-nih procesorskih ukazov. Sekvenĉni deli programske kode se izvajajo na klasiĉnem procesorju, numerično intenzivni deli pa na stotinah procesorskih jeder, ki so del grafiĉnega procesorja. Z njihovo uporabo lahko izredno poveĉamo Źtevilo raĉunskih operacij na enem samem ŹtreŹniku, saj lahko izvedejo $2 \cdot 10^{12}$ operacij s plavajoĉo vejico v sekundi, pri tem pa je poraba elektriĉne energije v znosnih mejah. TeŹava grafiĉnih procesorjev je dejstvo, da je potrebno programske algoritme prilagoditi izvajanju na velikem Źtevilu raĉunskih jeder, prilagoditve pa je potrebno izvesti na nivoju programske kode modela.

V skladu s projektom BOBER, ki ga izvajamo na ARSO za obnovo in potrebno razŹiritev opazovalnega in raĉunalniŹkega sistema, bomo predvidoma v letu 2013 namestili nov raĉunalnik, ki bo imel vsaj 10-krat veĉjo raĉunsko moĉ kot raĉunalnik Nimbus. Nov raĉunalnik bo Źe bolje izkoristil tudi podporno infrastrukturo (na-pajanje, hlajenje in sistem za gaŹenje) prenovljenega raĉunskega centra, katerega prenova je bila prav tako izvedena v okviru projekta BOBER. Raĉunska zmoglj-i-vost novega raĉunalnika naj bi zadoŹĉala potrebam nekje do leta 2018. Źelimo si, da bi do takrat morda Źe priŹlo do zametka drŹavnega super-raĉunalniŹkega centra, ki bi zagotavljal veliko raĉunsko moĉ veĉjemu Źtevilu uporabnikov. Uporaba skupnih virov bi bila gotovo bolj smotrna. Deloma bomo temu cilju sledili Źe v bliŹnji prihodnosti z vkljuĉevanjem v slovenske GRID projekte.

Priprava numerične meteorološke napovedi ALADIN-SI

Neva Pristov, Jure Cedilnik, Jurij Jerman, Benedikt Strajnar, vsi iz Agencije Republike Slovenije za okolje

Uvod

Model ALADIN je v slovenskem prostoru postal sinonim za numerično napovedovanje vremena. Pri pripravi meteorološke in hidrološke napovedi na Agenciji Republike Slovenije za okolje ga uporabljajo kot primarni meteorološki model za kratkoročno napoved vremena na območju Slovenije. Po zaslugi interneta in poljudne grafične predstavitve so z njegovimi rezultati redno seznanjeni vsi, ki jih vreme zanima, ali so od njega odvisni. Tako ima pomembno vlogo tudi pri promociji meteorologije v Sloveniji. Malokdo pa ve, kaj vse je potrebno za izračun in rutinsko pripravo numerične vremenske napovedi. V tem sestavku bomo tako skušali predstaviti glavne komponente celotnega sistema.

Okolje, ki je povezano s pripravo modelske napovedi, je živ sistem, ki se neprestano spreminja. Vanj sodi programska oprema, ki jo sestavljajo v prvi vrsti programska koda samega modela in množica ukaznih datotek ter podpornih programov. Vse to podpira obsežna infrastruktura, kamor sodijo zmogljiva strojna računalniška oprema z dovolj velikim diskovnim prostorom z neprekinjenim napajanjem in hlajenjem, internetna povezava itd. Najbolj pomembni pa so seveda ljudje, ki skrbijo za zasnovo, vzpostavitev, delovanje in razvoj sistema. Sodelujoči izvajamo stalne naloge, kot so: nadzor delovanja celotnega sistema, sprotno odpravljanje napak v operativnem okolju, nadzor računalniške infrastrukture, neprestano spremljanje kakovosti rezultatov modela s primerjavo modelskih napovedi in meritev ter arhiviranje rezultatov. Hkrati skrbimo za razvoj in napredek celotnega sistema ALADIN-SI.

Kratek opis modela ALADIN

ALADIN je numerični meteorološki model za računanje bodočega stanja ozračja nad omejenim geografskim območjem za vsakodnevno operativno izvajanje. V tem poglavju opisujemo osnovne lastnosti modela.

Osnovne enačbe in modelska mreža

Osnova modela ALADIN so fizikalne enačbe, ki opisujejo obnašanje nestisljivega zraka v vlažnem ozračju na vrteči se Zemlji: Navier-Stokesova enačba, kontinuitetna enačba in energijska enačba. Iz njih dobimo sistem diferencialnih enačb, ki nima analitične rešitve. Lahko ga rešujemo le s pomočjo numeričnih metod. Enačbe so zato prilagojene takemu reševanju. V ta namen ozračje nad območjem, kjer z modelom simuliramo bodoči razvoj vremena, razdelimo na posamezne prostorninske dele, ki so v horizontalni smeri običajno enakomerno razporejeni, v vertikalni smeri pa je računska mreža zgoščena blizu tal. Velikost ali dolžina posameznega prostorninskega dela v horizontalnih smereh predstavlja horizontalno ločljivost, višine vertikalnih slojev pa vertikalno ločljivost. Na tak način razdelimo ozračje na diskretne prostorninske dele, ki predstavljajo računske točke, v katerih numerično rešujemo sistem diferencialnih enačb. Tako dobimo tridimezionalno mrežo računskih točk. V vsaki mrežni točki računamo hitrost gibanja zraka (veter), temperaturo, vlago, pritisk in druge količine, kot so vsebnost oblačnih in padavinskih delcev, itd. S tipično horizontalno ločljivostjo modelske mreže, ki je danes v modelih za omejeno območje od nekaj kilometrov do nekaj deset kilometrov, lahko ustrezno simuliramo razvoj sinoptičnih meteoroloških procesov (cikloni, anticikloni, fronte) in meteoroloških procesov v mezoskali (organizirani konvektivni sistemi, gorska in priobalna cirkulacija). Od horizontalne ločljivosti je odvisna tudi izbira hidrostatične ali nehidrostatične verzije enačb. Pri hidrostatični verziji je zračni tlak v neki točki odvisen le od teže zraka nad njo in so vertikalne hitrosti mnogo manjše od horizontalnih. Pri nehidrostatični verziji pa je tudi vertikalna hitrost zraka modelska prognostična spremenljivka.

Podmrežni procesi in parametrizacije

Nekateri procesi v ozračju so premajhni, da bi jih zajeli z modelsko računsko mrežo, ali pa so preveč kompleksni in jih zato ne moremo eksplicitno vključiti v enačbe modela. Vseeno pa imajo lahko zelo velik ali celo odločilen učinek na procese večjih razsežnosti,

ki jih model sicer simulira. Imenujemo jih pod mrežni procesi. Metodo opisa teh procesov, katere končni rezultat je učinek na osnovne spremenljivke v modelskih točkah, imenujemo parametrizacija. Od namena uporabe numeričnega modela je odvisno, katere procese je potrebno opisati na tak način in kako podroben opis zadostuje. Med pomembnejše parametrizacije, ki jih v pogovornem jeziku imenujemo tudi „modelska fizika“, sodijo opisi kratkovalovnega in dolgovalovnega sevanja, globoke in plitve konvekcije, nastanka oblakov in padavin ter turbulence. Parametrizacija je potrebna tudi pri opisu tal in interakcij med ozračjem in kopnim oziroma morjem.

Numerično reševanje modelskih enačb

Kot že omenjeno, rešujemo sistem meteoroloških diferencialnih enačb numerično. V modelu ALADIN enačbe zapišemo v spektralnem prostoru. To pomeni, da polje vsake meteorološke spremenljivke predstavlja linearna kombinacija različno dolgih horizontalnih valov. Prednost spektralnih metod je predvsem točen izračun horizontalnih odvodov, potrebnih pri računanju advekcije - transporta meteoroloških količin z zračnim tokom. Dinamika modela (advekcija, difuzija) se računa v spektralnem prostoru, izračun večine ostalih fizikalnih procesov pa se odvija v realnem prostoru. Zato je v vsakem računskem koraku potreben prehod iz spektralnega v realni prostor in spet nazaj.

Bodoče modelsko stanje oziroma napoved dobimo s časovno integracijo. V vsakem časovnem koraku modelskemu stanju prištejemo izračunane tendence (časovne odvode) meteoroloških spremenljivk in tako dobimo novo stanje po vsakem časovnem koraku. Na ta način korakamo naprej v času do želenega časovnega dosega napovedi. Dolžina časovnega koraka je omejena z numerično stabilnostjo shem^1 in razdaljo med mrežnimi točkami.

Število računskih operacij, ki jih je potrebno izvesti v vsakem časovnem koraku, je odvisno predvsem od horizontalne in vertikalne ločljivosti računske mreže. Poleg tega je čas izračuna napovedi odvisen od računske sposobnosti računalnika, na katerem pogajamo model. Če je model kompleksnejši in izberemo previsoko ločljivost računske mreže, bodočega stanja ni mogoče izračunati dovolj hitro in s tem napoved ne bo uporabna. Tako moramo že vnaprej sprejeti kompromise, kaj si lahko privoščimo in česa ne. Smiselni časovni doseg napovedi z modelom ALADIN je, poleg računske zahtevnosti, omejen tudi z napovedljivostjo vremenskih procesov. Napaka se z vse daljšim časom integracije v modelu zaradi napak začetnega stanja ozračja, poenostavljenih in nepopolnih modelskih

enačb in približnih numeričnih metod povečuje.

Začetni in robni pogoji

Za rešitev sistema diferencialnih enačb nad izbranim geografskim območjem potrebujemo začetno stanje modelskih spremenljivk (začetne pogoje) in njihove vrednosti na mejah računskega območja (robne pogoje). Robne pogoje je potrebno predpisati pri tleh in na vrhu ozračja. Kadar pa modelsko območje ne vsebuje celotne zemeljske oble, so robni pogoji potrebni tudi na stranskih robovih. Slednje lahko dobimo s časovno in krajevno interpolacijo napovedi globalnega modela.

Začetne pogoje lahko pripravimo s podobno interpolacijo polj iz globalnega modela, ali pa uporabimo svojo analizo s pomočjo meritev ozračja in asimilacijskega cikla, podrobno opisanega v samostojnem prispevku B. Strajnarja. Pred začetkom časovne integracije je potrebno odstraniti še morebitne neuskkljenosti med različnimi meteorološkimi spremenljivkami, ki lahko povzročijo numerično nestabilnost modela. Ta neskladja odpravimo s postopkom glajenja meteoroloških polj z uporabo digitalnega filtra.

Poleg meteoroloških robnih in začetnih pogojev so za izračun modela potrebni še podatki o višini in hrpavosti zemeljskega površja in tipu tal (vodna površina ali trdna tla, delež peska in zemlje) ter druge fiziografske lastnosti, ki vplivajo na izmenjavo energijskih tokov med tlemi in ozračjem. Za večino teh količin nimamo dnevni vrednosti, ampak uporabimo statistične mesečne vrednosti. Sem sodijo na primer albedo tal, tip vegetacije in indeks pokritosti z rastlinskimi listi.

Programska koda ALADIN

Po pregledu pomembnejših lastnosti meteorološkega modela ALADIN v nadaljevanju predstavljamo, kako je model zapisan v obliki programske kode, kako gha vzdržujemo in razvijamo.

Programska koda

ALADIN je v bistvu obsežen računalniški program z več kot tremi milijoni vrstic izvorne programske kode. Velik del kode je skupen tudi modeloma IFS in ARPÈGE. Poleg numerične integracije vsebuje program še številne druge komponente, ki so potrebne pri računanju napovedi. Sem sodijo variacijska asimilacija podatkov (3D-Var in 4D-Var), optimalna interpolacija za analizo polj pri tleh, priprava geografskih podatkov za izbrano računsko območje kjerkoli na Zemlji, interpolacija globalnih polj za pripravo robnih ali začetnih pogojev, inicializacija z digitalnim filtrom ter različna orodja za obdelavo rezultatov in pripravo produktov za uporabnike.

¹ ALADIN uporablja semi-implicitno semi-lagrangeovo časovno diskretizacijo, kar omogoča uporabo dolgih časovnih korakov.

Nekaj specifičnih sklopov kode modela ALADIN je namenjenih prilagajanju globalne ravni na lokalno. Primer je postopek za optimalno prehajanje informacij iz globalnega v lokalni model (sklapanje) ali prilagoditev računskega prostora spektralni metodi za omejeno območje¹. ARPÈGE in ALADIN imata enak opis dinamičnih in v veliki meri tudi fizikalnih procesov, kar omogoča vzajemen razvoj obeh modelov. Nekatere komponente, kot npr. variacijsko asimilacijo 3D-Var, so razvili v okviru globalnega modela in jo nato prenesli v model na omejenem območju. Drugod pa je bila smer obratna, na primer pri razvoju nehidrostatične dinamike.

Večji del ALADIN-a je napisan v programskem jeziku FORTRAN (FORMule TRANslation – prevajanje enačb). Nekaj zelo starih delov kode je napisano še v FORTRAN77, večina pa v FORTRAN95. V zadnjem času se vse pogosteje vpeljuje objektni programski jezik C++. Program je napisan za uporabo na računalnikih s paralelnim računanjem, kar omogoča istočasno zaposlitev velike množice procesorjev. To na primer pomeni, da vsak procesor računa meteorološki razvoj za svoj del geografskega prostora, nato pa si ob določenem času te podatke izmenjajo med seboj.

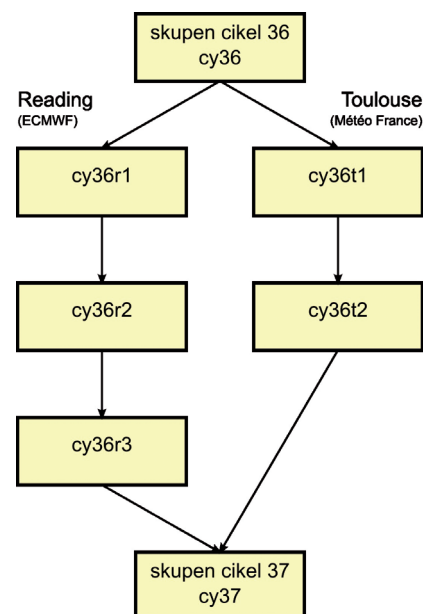
Prilagajanje programske kode specifičnemu lokalnemu okolju, ki ga določajo arhitektura računalnika, verzije C in FORTRAN prevajalnikov, vrsta paralelizacije, verzije knjižnic za paralelizacijo, in samo prevajanje ter izdelava zagonske datoteke je dokaj zahtevna naloga. Marsikdaj pa težave povzročajo tudi način optimizacije kode s strani prevajalnika. Včasih je potrebno narediti kompromis in nekatere procedure prevesti brez optimizacije na račun nekoliko počasnejšega izvajanja modela.

Zaradi velikega obsega programa se moramo držati nekaterih pravil za pisanje novih sklopov kode. Imena procedur, funkcij in spremenljivk so določena po predpisanih vzorcih, vzorec komentarjev je povsod enak, globalne in lokalne spremenljivke se ločijo po točno določenem ključu in podobno. Različne komponente modela lahko vključimo, izključimo ali prikrojimo z uporabo vhodne datoteke s seznamom parametrov (t.i. namelist), s čimer dosežemo precejšnjo fleksibilnost pri uporabi modela.

Vzdrževanje skupne verzije

Pri sodelovanju tolikšnega števila ljudi iz različnih meteoroloških služb, kot je to pri skupnem programskem paketu IFS/ARPÈGE/ALADIN, postane vzdrževanje

skupne potrjene verzije (t.i. cikla) izvorne programske kode zelo pomembno opravilo. Vsak posameznik ali skupina gradi na njeni osnovi in prispeva izboljšave, ki naj bi čim hitreje postale del modela. Da ta postopek uspešno teče, mora nekdo bdeti nad vsemi spremembami in sproti usklajevati, kaj vstopi v naslednjo skupno verzijo programske kode. Proces imenujemo »phasing« – takrat »poravnajo v fazo« vse prispevke različnih virov in s skupnimi močmi poskrbijo, da so prispevki različnih skupin skladni. Takšno usklajevanje (slika 1) opravijo nekajkrat na leto in na različnih ravneh: najprej posebej v Readingu za ECMWF-jev del kode in posebej v Toulouseu za ARPÈGE/ALADIN kodo, nato pa približno enkrat letno naredijo skupen cikel, ki je nato osnova za nadaljnji razvoj. Tak postopek



Slika 1: Shematski prikaz »phasinga«.

zagotavlja, da se razvoj ne razhaja v različne smeri. Sam »phasing« pogosto izgleda kot mukotrno iskanje najbolj nemogočih hroščev v programski kodi in popraviljanje kode za nekom, ki je prepričan, da jo je napisal na lep in pregleden način.

Sistem ALADIN-SI

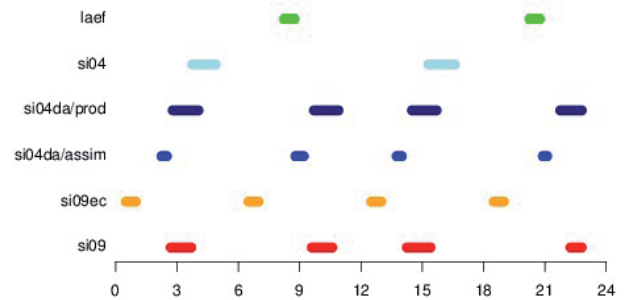
Ko je programska koda modela pripravljena na izvajanje, moramo vzpostaviti še operativno okolje. Izbrati je treba zemljepisno območje, način priprave začetnih in robnih pogojev, primerno zahtevnost opisa procesov, vir začetnih in robnih pogojev ter urnik opravil. V zadnjem poglavju opisujemo, kako smo vse te postopke združili v celoto in kako tak sistem nadzorovano in neprestano teče.

¹ Potrebna je t.i. biperiodizacija, postopek, ki vase zaključijo računski prostor. Prav tako se v ALADIN-u uporablja Fourierjev razvoj v dveh dimenzijah namesto globalnih Legendrovih polinomov.

Implementacija modela ALADIN v Ljubljani

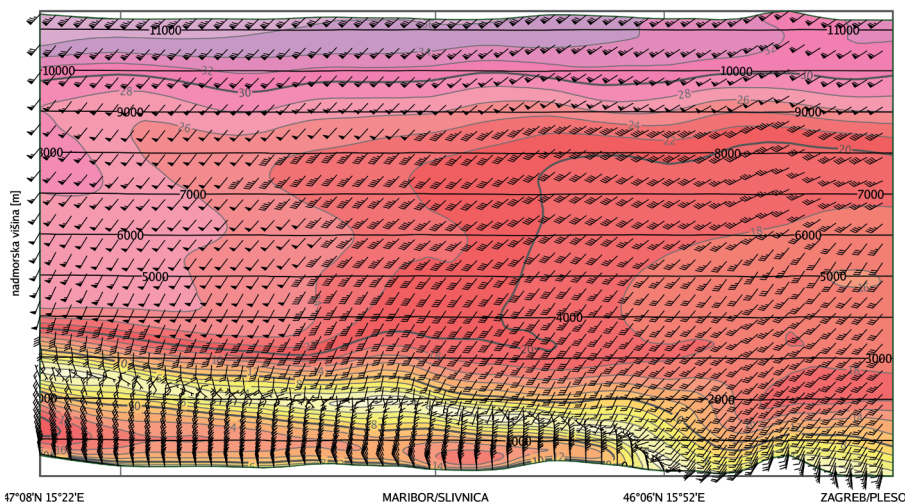
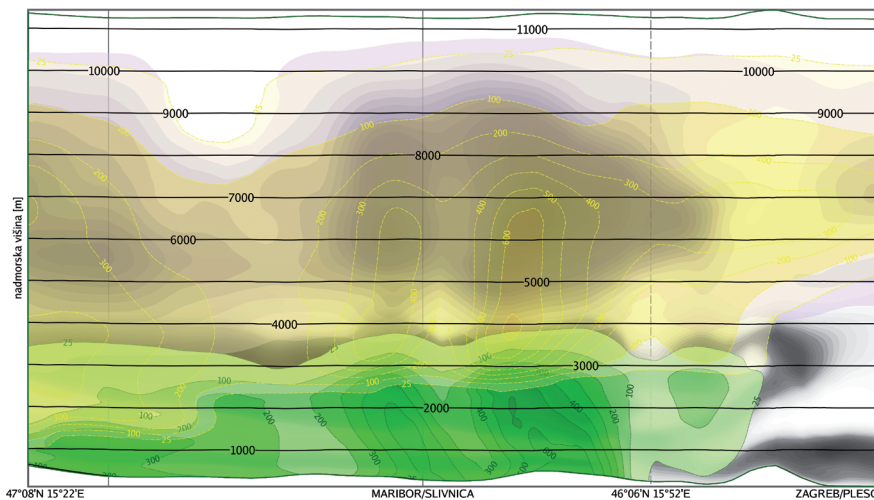
ALADIN-SI uporabljamo kot oznako za sistem, ki ga uporabljamo v Sloveniji in ima določene značilnosti. Kot model za omejeno območje v visoki prostorski ločljivosti je dopolnitev izračunom globalnih modelov, saj omogoča podrobnejšo napoved nad širšim območjem Slovenije za naslednje tri dni. To časovno obdobje nam določa tudi, kako veliko geografsko območje potrebujemo. Le-to ne sme biti premajhno, saj mora biti rob računskega območja dovolj daleč stran od območja, kjer imajo rezultati modela poglavitno težo. Izbira velikosti modelskega območja, horizontalne in vertikalne ločljivosti je določena z želeno hitrostjo izračuna in z razpoložljivo računsko močjo. Zadali smo si cilj, da so produkti na voljo najkasneje v eni uri po zagonu modela.

Prvi ALADIN-SI leta 1997 je imel v horizontalni smeri 72 krat 72 mrežnih točk v razdalji 12,5 km. Po vertikali pa je bilo ozračje razdeljeno na 27 nivojev. Napoved smo pripravljali za 2 dneva vnaprej na podlagi

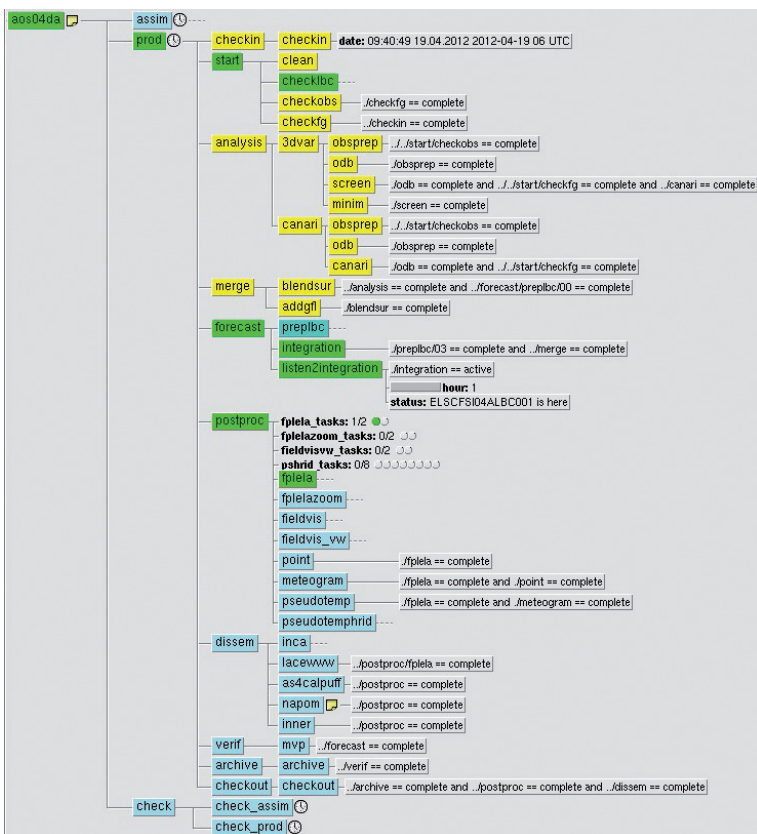


Slika 2. Dnevni potek priprave napovedi s sistemom ALADIN-SI, trenutno imamo več različnih izvedb (glede na ločljivost, doseg napovedi, pripravo začetnega stanja, vir robnih pogojev):

- si04da/assim: ALADIN-SI 4,4 km (+6ur), lokalna analiza, robni pogoji iz ARPÈGE,
- si04da/prod: ALADIN-SI 4,4 km (+54ur), lokalna analiza, robni pogoji iz ARPÈGE,
- si04: ALADIN-SI 4,4 km (+54ur) začetni in robni pogoji iz ARPÈGE,
- si09: ALADIN-SI 9,5 km (+72ur) začetni in robni pogoji iz ARPÈGE,
- si09ec: ALADIN-SI 9,5 km (+72ur) začetni in robni pogoji iz IFS(ECMWF),
- laef: obdelava skupinske napovedi z modelom ALADIN, ki so izračunane v ECMWF.



Slika 3. Vertikalni krajevni presek za 7.10.2011 ob 10^h v liniji Maribor - Zagreb. Na zgornji sliki so prikazane količine oblačne vode (vijolična), ledenih kristalčkov v oblakih (siva), dežja (zelená) in snega (rumena), na spodnji pa horizontalna hitrost (barvno polje) in smer vetra (smer zastavic). Iz preseka polja vetra na spodnji sliki je viden položaj hladne fronte, na zgornji sliki pa lahko razberemo, kako se ob padavinah postopno znižuje meja sneženja.



Slika 4. Prikaz posameznih nalog znotraj SMS sistema, ki se v osnovi deli na asimilacijsko (assim) in produkcijsko (prod) verigo. Prikazan je seznam opravil produkcijske verige, namenjene čim hitrejši izdelavi daljših napovedi. Znotraj posamezne verige si po vrstem redu sledijo: inicializacija časovnih in drugih spremenljivk (checkin), pregled dostopnosti opazovanj, robnih pogojev in prejšnje napovedi (start), izdelava analize s podatkovno asimilacijo (analysis), kombiniranje analize z zunanji viri in z nekaterimi polji iz prejšnje napovedjo (merge), priprava robnih pogojev in integracije modela (forecast), po-obdelava in vizualizacija (postproc), priprava in razpošiljanje produktov specialnim uporabnikom (dissem), verifikacija (verif), arhiviranje (archive) in zaključek zagona (checkout). Vse te naloge imajo še množico podnalog, ki imajo določene medsebojne odvisnosti. Z barvo je prikazan status posamezne naloge (rumene naloge so končane, zelene v teku, modre čakajo na izvedbo).

analize ob 0 UTC¹. Izboljšave računalniške infrastrukture so z leti omogočale vedno višjo ločljivost in zanesljivost, hkrati se je izboljševala tudi kakovost modelskih izračunov. Zadnja verzija ima sedaj 439 krat 421 mrežnih točk z ločljivostjo 4,4 km (glej naslovnico), 43 vertikalnih nivojev in doseg napovedi do 54 ur, model pa poženemo vsakih 6 ur.

Omenili smo že vlogo začetnih in robnih pogojev. V sistemu ALADIN-SI uporabljamo robne pogoje globalnih modelov ARPÈGE in IFS. Robne pogoje prenašamo preko internetne povezave ali preko globalnega meteorološkega komunikacijskega omrežja GTS. Po prenosu z različnimi interpolacijskimi metodami meteorološka polja iz redkejše mreže globalnega modela interpoliramo v gostejšo ALADIN-ovo mrežo točk. Pri tej ločljivosti lahko še vedno varno uporabimo hidrostatično aproksimacijo, saj so v večini primerov razlike majhne, hkrati pa prihranimo pri dolžini trajanja časa izračuna.

Izvajanje in nadzor izračunov

Napovedi pripravljamo ob 00, 06, 12 in 18 UTC, pri tem težimo k čim krajšim časovnim zamikom, ki jih določa razpoložljivost robnih pogojev modela gostitelja (ARPÈGE ali IFS). Takoj, ko je na voljo triurna napoved globalnega modela, pripravimo začetno

stanje s pomočjo analize z lokalno asimilacijo, pri kateri uporabimo opazovanja, ki so na voljo do tedaj. Analizi sledi izračun 54-urne napovedi, kjer je časovni korak integracije 3 minute. Med potekom integracije še naprej sproti prenašamo potrebne robne pogoje. Vsako uro izpisujemo tridimenzionalna polja meteoroloških spremenljivk. V povprečju se računanje napovedi prične ob 3:00, 9:50, 14:40, 22:20 UTC (slika 2). Računanje napovedi je ob uporabi 160 računskih jeder končano v 40 minutah.

Modelske izračune moramo seveda predstaviti v primerni obliki. Zato že med računanjem napovedi sproti pripravljamo grafične produkte, ki prikazujejo stanje meteoroloških spremenljivk ali izvedenih parametrov na izbranem območju. Pripravljamo tudi izbrane časovne in vertikalne preseke (slika 3) v grafični obliki. Produkti so na voljo na internem spletnem pregledovalniku VisPro, ožji izbor je prikazan tudi na spletnih straneh državne meteorološke službe (www.meteo.si).

S tem pa produkcija še ni zaključena. Pripravljamo še vrsto posebnih produktov za različne uporabnike. Javnosti so poznani produkti DADA, kjer s pomočjo poenostavljenega modelskega izračuna izboljšamo ločljivost polja vetra na 2,5 km tako, da gibanje zraka dinamično prilagodimo boljšemu opisu površja.

Število vseh nalog v procesu enega zagona modela je zelo veliko: od prenašanja začetnih in robnih pogojev, predpriprave vseh potrebnih podatkov, časovne

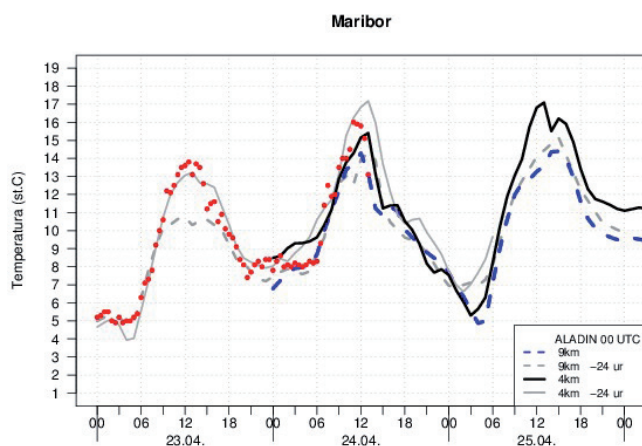
1 UTC - univerzalni koordinirani čas (Universal Time Coordinated)

integracije modela, nadaljnje obdelave rezultatov, priprave grafičnih produktov, pretvorbe rezultatov v druge oblike in nenazadnje razpošiljanje rezultatov uporabnikom. Za ves proces skrbi množica ukaznih datotek (skript), ki so napisane v školjčnem jeziku Bash. Naloge so medsebojno odvisne; priprava nekega produkta se na primer ne more začeti, preden niso izračunani vsi potrebni vhodni podatki. Medsebojno proženje nalog ureja okolje SMS (Supervision Monitoring System), ki so ga razvili v ECMWF in tako poenostavimo obvladovanje zapletenega sistema ukaznih datotek in programov (slika 4).

Celoten sistem je zasnovan tako, da je njegova zanesljivost čim večja. To pomeni, da poizkuša predvideti in samodejno odpraviti morebitne spremembe ali težave v avtomatičnem procesu brez nadzora operaterjev. Zelo pomembno je tudi stalno nadziranje strojne in mrežne opreme. V primeru kritičnih napak sistem avtomatično pošlje sporočila na mobilne telefone administratorjev, ki lahko težave odpravijo na daljavo. S pravočasnim zaznavanjem težav skrbimo za čim večji izplen uspešno končanih zagonov modela.

Uporaba izračunov

Uporaba napovedi ALADIN-SI je zelo široka. Prvi in ključni uporabnik je meteorološka prognoza, poleg tega pa rezultate modelskih izračunov uporabljajo pri mnogih procesih na Agenciji Republike Slovenije za okolje, na primer pri aplikaciji za kratkoročno napoved (INCA), v prognostičnih hidroloških modelih, v modelih za računanje stanja morja (NAPOM, SWAN) in širjenja onesnaženja (CAMx, FlexPart). Izbrana polja posredujemo v nemško meteorološko službo, kjer pripravijo skupinske napovedi na podlagi številnih drugih regionalnih modelov evropskih meteoroloških služb. Napovedi posredujemo tudi meteorološki službi Furlanije – Julijske krajine ter v Bratislavo, kjer lahko v



Slika 5. Izmerjene vrednosti temperature zraka na 2 m (rdeče pike) v primerjavi z napovedmi različnih zagonov 24. 4. 2012 ob 13h.

okviru LACE spletne strani primerjamo naše izračune z izračuni drugih meteoroloških služb LACE skupnosti.

Rezultati sistema ALADIN-SI predstavljajo sorazmerno kakovostno meteorološko informacijo. Zato so zanimivi tudi za zunanje uporabnike. Numerična meteorološka napoved je pomemben vhodni podatek v modele za optimalno pridobivanje in distribucijo energije. Rezultate modela uporabljajo vzdrževalci cest za načrtovanje njihovih aktivnosti, na primer pluženja in posipanja. V zadnjem času se nakazujejo nove možnosti uporabe podatkov pri določanju področij z visokim tveganjem zemeljskih plazov, pri napovedovanju vetrne energije in ogroženosti pred požari.

Spremljanje kakovosti

Za zagotavljanje kakovosti je potrebno sprotno preverjanje pravilnosti napovedi. Modelske vrednosti primerjamo z meritvami (slika 5) ter zbiramo pripombe in opažanja prognostikov, drugih uporabnikov in z ALADIN-om povezane izkušnje iz drugih držav. Tako pridobimo koristne povratne informacije, na podlagi katerih lahko sami odpravljamo nekatere pomanjkljivosti ali, kadar gre za večje težave, sodelujemo s celotno ALADIN skupino pri njihovem odpravljanju. Ugotovljamo, da je napoved vetra v splošnem precej dobra. Težave opažamo pri napovedi temperature zraka pri tleh, ki je posebno ob jasnih zimskih nočeh previsoka, kar pa je v veliki meri posledica omejene ločljivosti. V povprečju pa je model pri tleh sistematično nekoliko prehladen. V zadnjem času se je zaradi novih fizikalnih parametrizacij močno izboljšala napoved padavin. Te so ob prehodih vremenskih sistemov načeloma dokaj dobro napovedane, pri konvektivnih situacijah pa prihaja tudi do večjih odstopanj.

Zaključek

V prispevku smo poskusili na preprost način prikazati ozadje vsakodnevne napovedi vremena z modelom ALADIN. Pri tem je pomembna vpetost v mednarodno sodelovanje, ki nam omogoča dostop do globalnih modelov za pripravo začetnih in robnih pogojev ter stalen razvoj in izboljšave modela. Za učinkovito vsakdanje poganjanje modela je ključen tudi stalen nadzor operativnega izvajanja.

Z vključevanjem novih vrst meritev iz različnih virov bo sistem ALADIN-SI postal še bolj kompleksen in, upajmo, tudi zanesljivejši. Na količino in vrsto uporabljenih meritev bo v ključni meri vplivala ločljivost modela. Ta se bo ob nadgradnji računske moči v bližnji prihodnosti približala dvem kilometrom.

Razvoj modela ALADIN v zadnjih letih skozi prizmo napovedovanja nekaterih vremenskih dogodkov

Jure Cedilnik, Manca Štrajhar, Agencija Republike Slovenije za okolje

Uvod

Model ALADIN je precej manj enovit in konstanten kot se to morda zdi povprečnemu neodvisnemu uporabniku. Glede na izbire določenih parametrov obstaja več verzij modela (trenutno se v evropskem prostoru operativno uporabljajo vsaj tri), hkrati pa se model neprestano nadgrajuje z manjšimi ali večjimi spremembami v opisu določenih fizikalnih pojavov ali v spremembah nekaterih računskih algoritmov. Vsako leto izide približno ena večja verzija programske kode modela (imenovana tudi "cikel") in dve ali tri manj obsežne podverzije.

Pred približno petimi leti smo na oddelku za meteorološko modeliranje ARSO v skladu s strategijo RC-LACE za srednjeročni cilj zastavili operativno uporabo sistema ALADIN z asimilacijsko verigo (3D-Var asimilacijska veriga, včasih imenovana tudi ALADIN DA "data assimilation"). Ob tem smo definirali tudi ciljno horizontalno prostorsko ločljivost in sicer okoli 5 km ter uporabo modelske različice s kombinacijo modelske fizike in dinamike imenovano ALARO.

Tako je šel razvoj slovenskega ALADIN-a od starega modela s približno desetimi kilometri horizontalne prostorske ločljivosti preko uporabe novih fizikalnih shem in parametrizacij na ločljivost 4,4 km. Vzporedno s tem smo vzpostavili modelsko verigo z asimilacijo podatkov na tej ločljivosti. Lastna asimilacija podatkov je velik korak naprej. Na ta način naša napoved ni zgolj dinamična prilagoditev stanja globalnega modela na izboljššan opis površja, temveč uporaba mnogih (tudi naših) podatkov za objektivni opis začetnega stanja ozračja.

Hkrati smo opravili tudi nekatere druge teste. Preizkusili smo obnašanje modela in trajanje izračuna integracije v izboljšani vertikalni ločljivosti s povečanim številom vertikalnih nivojev v spodnji troposferi. Vključili smo še spremenjen opis tal, kjer smo višino površja z ovojnico zamenjali s povprečno višino. Hkrati smo preizkušali vključevanje nekaterih ne povsem konvencionalnih virov podatkov v proces podatkovne

asimilacije za izboljšanje opisa začetnega stanja. Naprimer visokoločljivih IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer) satelitskih podatkov ali Landsat podatkov o albedu z geostacionarnega satelita za asimilacijo albeda tal. Nadaljnje izboljšanje rezultatov modela načrtujemo z uporabo variacijske metode za odstranjevanje sistematične napake satelitskih meritev (Var-BC) in z uporabo nove sheme za površje zemlje (SURFEX).

Izboljšana fizika (ALARO)

V modelu lahko z enačbami eksplicitno opišemo le procese, ki se horizontalno raztezajo preko več računskih točk. V horizontalni ločljivosti, na primer 10 km, predstavlja območje 10x10 km eno mrežno ali računsko točko v modelu. Procese, ki se odvijajo v manjši skali od ločljivosti, imenujemo pod mrežni procesi. Ker teh v modelu ne moremo opisati z enačbami, jih poskušamo reševati na poseben način, ki ga imenujemo parametrizacija. Območje med približno 2 in 10 kilometri horizontalne ločljivosti včasih imenujemo siva cona. Razlog za to poimenovanje je, da je v tem območju konvekcija lahko pod mrežen proces, kadar so nevihtni oblaki v preseku manjši od razdalje med računskimi točkami. Lahko pa je dinamično razločen proces, kadar so oblaki v preseku večji od te razdalje in konvektivne procese v njih lahko opišemo z enačbami. Obstoječe parametrizacijske sheme se večinoma uporabljajo v območju horizontalne ločljivosti nad okoli 10 kilometrov. V večini primerov modeli z ločljivostjo okoli dveh kilometrov parametrizacije konvekcije ne uporabljajo, čeprav je konvekcija tudi pri dveh kilometrih deloma še pod mrežen proces – del procesa konvekcije se dogaja na skali manjši od 2 km. Pri vmesnih ločljivostih pa pride do težave, da kakšen padavinski prispevek nevihtnega oblaka upoštevamo dvakrat, enkrat kot rezultat parametrizacije, enkrat pa kot rezultat dinamično razločenega procesa. Obravnava parametrizacije konvekcije v zveznem smislu glede na naravo procesa in ločljivost in ne zgolj kot 0 in 1, je ena od bistvenih elementov nove fizike. Glavni sestavni sklopi ALARO fizike so:

- psevdoprognostična shema turbulence: je nekakšen hybrid med shemo Louisovega tipa (Louis, 1979) in polno prognostično enačbo turbulence. Viri v enačbi turbulentne kinetične energije (TKE, produkcija in disipacija zaradi striženja in vzgona) so nadomeščeni z relaksacijo proti stari (Louisovi) shemi ničtega reda. Koeficienti izmenjave momenta in toplote so izpeljani iz TKE enačbe v stacionarnem stanju brez advekcije in transporta;
- shema sevanja: osnova je Ritter in Geleyn, (1992), vendar je v ALARO precej dopolnjena: opis sevanja temelji na približku z dvosmernim pristopom; uporablja le dva spektralna pasova (kratkovalovnega in dolgovalovnega) in je zaradi tega dovolj učinkovita, da jo lahko uporabljamo pri računu v vsakem časovnem koraku. Optične lastnosti oblakov za sevanje v obeh spektrih so natančneje opisane z novim modelom oblačnega nasičenja. Shema upošteva tudi vpliv aerosola in ozona;
- 3MT mikrofizika in konvekcija (Gerard et. al. 2009): shema, ki skupaj obravnava razločene in pod mrežne procese. Tudi pod mrežni procesi so obravnavani prognostično in razdeljeni na transportni del (vzgonnik, dolnik) in mikrofizikalni del, v katerem so združeni vsi procesi s faznimi spremembami vode; v vzgonniku in dolniku pa sta obravnavana procesa kondenzacije in izhlapevanja.

Asimilacijska veriga (3D-Var)

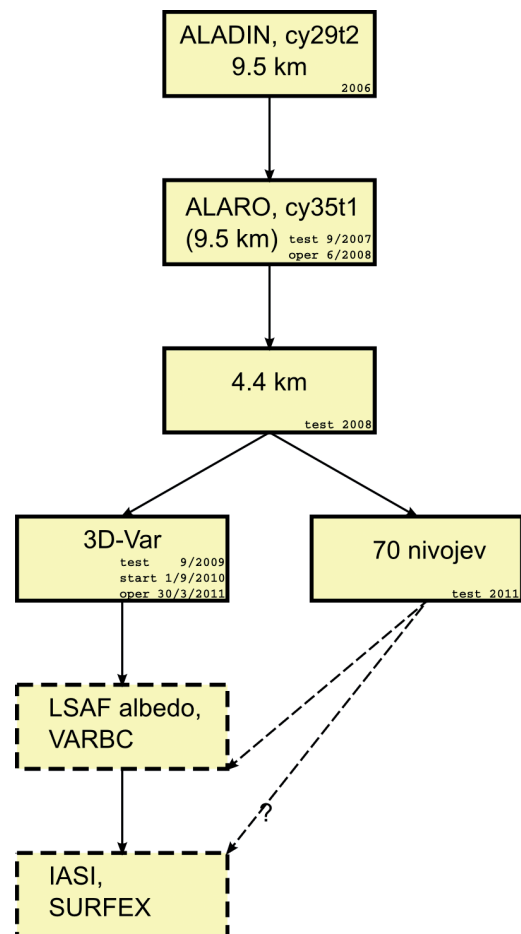
Glavna prednost naše asimilacijske verige je, da kot najboljši približek uporabljamo rezultat modela s horizontalno ločljivostjo 4,4 km in da je takšna tudi ločljivost, na kateri računamo minimizacijski problem (t.j. iskanje meritvam najbližjega stanja na osnovi predhodne napovedi ob upoštevanju fizikalni zakonitosti). Poskušamo uporabiti tudi čimveč lokalnih podatkov, kot so meritve iz vseh slovenskih SYNOP postaj in tudi nekatere meritve iz postaj sosednjih držav, ki jih dobimo na osnovi bilateralnih sporazumov.

Več izboljšav v bližnji prihodnosti načrtujemo prav v povezavi z asimilacijsko verigo: odstranjevanje sistematične napake satelitskih meritev (Var-BC), vpeljava več novih virov podatkov – za začetek IASI satelitske meritve, pozneje tudi Mode-S letalske meritve letal, ki pristajajo in vzletajo z Brnika.

Asimilacijska veriga je podrobneje opisana v prispevku Benedikta Strajnarja v tej številki Vetrnice v rubriki razprave.

Opis tal (SURFEX) in asimilacija albeda

V kratkem bomo v model vključili novo shemo za opis tal SURFEX (Le Moigne, 2009). To je shema tal, razvita v raziskovalnem oddelku Météo-France in jo uporabljajo tudi za druge namene, neodvisno od meteorološke napovedi (klimatske študije zaradi širjenja urbaniziranosti, modeliranje snežne odeje in plazov,...). SURFEX uporablja mnogo novih baz fiziografskih podatkov in omogoča bolj natančno napovedovanje temperature na 2 m in vetra na 10 m nad tlemi. V spodnji plasti je namreč definiranih nekaj dodatnih nivojev, kjer se fizikalne količine računajo prognostično. Na ta način dosežemo, da je npr. temperatura na dveh metrih dejanska modelska količina in ne ocenjena vrednost na podlagi temperature tal in temperature na najnižjem modelskem nivoju. SURFEX loči tudi med več vrstami površja kot trenutno uporabljana shema tal. Poleg morja in kopnega pozna še jezera in mesta. Poleg izboljšane napovedi temperature na dveh metrih si nekaj izboljšanja obetamo tudi od posebne obravnave modeliranja obnašanja zraka v mestih: opis toplotnega otoka, razkroj megle in podobno.



Slika 1. Shema posameznih komponent sistema ALADIN-SI, kot so si sledile glede na čas razvoja ali uporabo. V spodnjem desnem vogalu posamezne škatle je časovni mejnik, ki govori o tem, kdaj smo določeno shemo začeli uporabljati v testni ali operativni verziji modela.

Asimilacija albeda s Kalmanovim filtrom z uporabo podatkov z geostacionarnega satelita Eumetsat druge generacije (MSG), analiziranih v okviru programskega paketa LandSAF, je enostaven način, kako lahko odbojnost tal in njeno časovno spremenljivost pripeljemo v model. Na ta način izboljšamo klimatološke oziroma statistične podatke o albedu, ki smo jih doslej uporabljali v modelu, kar vpliva predvsem na napovedi temperature pri tleh spomladi ob jasnem vremenu. Na ta način zmanjšamo sistematsko napako modela v določenih primerih tudi za nekaj stopinj (Cedilnik in sod., 2012).

Omenjeni koraki razvoja so shematsko prikazani na sliki 1. Načrtujemo, da bomo v roku enega leta v operativni verigi združili vse pomembne sestavne dele: asimilacijo z novimi viri podatkov, večje število vertikalnih nivojev, ALARO fiziko in SURFEX opis tal.

Rezultati v nekaterih vremenskih situacijah

V nadaljevanju članka sledijo primerjave modelskih izračunov ob prognozično zanimivih meteoroloških situacijah: vztrajni nizki oblačnosti in megli, orkanski burji in veliki intenziteti padavin. Ob vsaki meteorološki situaciji sva prikazala nekaj bistvenih rezultatov, iz katerih se dá izluščiti vzrok izboljšanja ali poslabšanja napovedi. Razen eksplicitno omenjenih sprememb so vsi ostali parametri simulacij enaki: vir robnih pogojev je v vseh primerih globalni model ARPÈGE, frekvenca sklapanja z njim je tri ure. Kjer ni navedeno drugače, model uporablja 43 vertikalnih nivojev.

Nizka oblačnost in megla ob stabilni situaciji

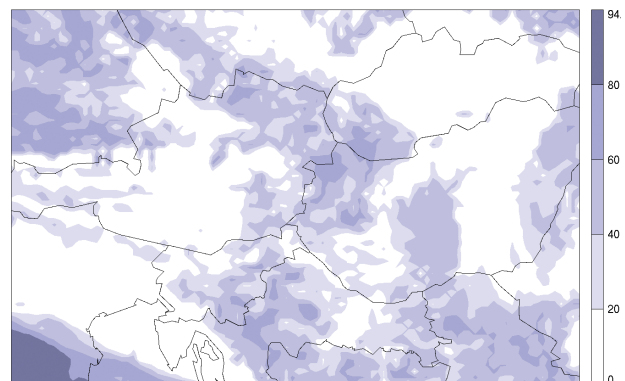
Opis in napoved stabilne situacije predstavlja ena večjih izzivov napovedovanja vremena, tako za meteorološke modele kot tudi za prognostike. Pri tem je za meteorološki model izrazito težavna že simulacija vztrajne megle ali nizke oblačnosti, njen razkroj pa je še dodatna težava. Takšno vreme sicer ne sodi med ekstremno, vendar sva primer vključila ravno zaradi težavnosti napovedovanja.

Inverzne situacije z meglo ali nizko oblačnostjo so precej pogoste pozimi, kadar se nad našimi kraji dlje časa zadržuje območje visokega zračnega tlaka. Pod subsidenčo inverzijo (običajno na višinah 800-1300m) nastaja tanka plast oblačnosti, ki lahko vztraja več dni. Takšna slojasta oblačnost zelo dobro odbija sončno sevanje v vidnem spektru in kadar je vpadni kot sončnih žarkov majhen, je te energije enostavno premalo za razkroj inverzije.

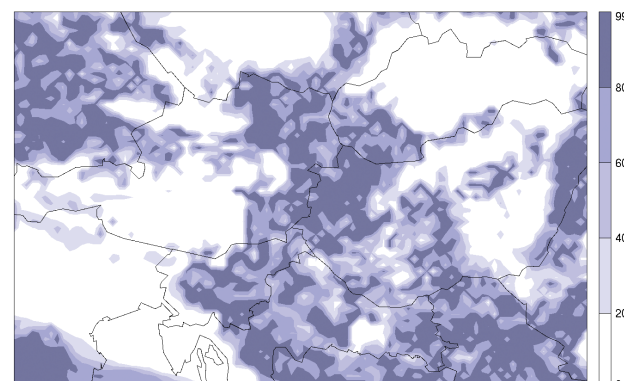
Slika 2a prikazuje napoved nizke oblačnosti z modelskim ciklom 29, torej tako, kot bi stanje 31. januarja

2011 napovedal model izpred petih let. Na slikah od 2b do 2e pa je simulacija narejena s ciklom 35t1, kjer je vključena ALARO fizika. Namenoma sva prikazala takšno območje, da se vidi tudi del srednje Evrope in Panonska nižina, kjer je pozimi nizka oblačnost pogost pojav.

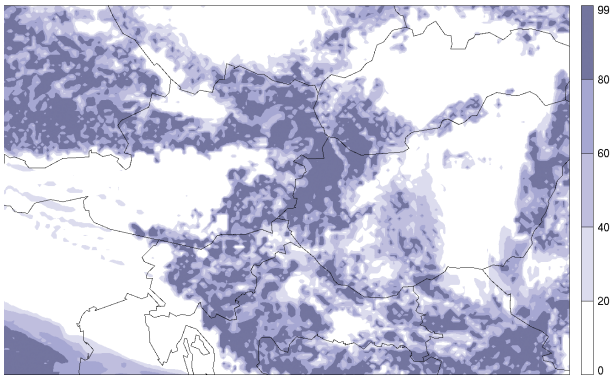
Na sliki 2a lahko najprej opazimo, da je simulirana oblačnost precej redka, stodontne pokritosti z oblaki ni praktično nikjer. Ključno za boljše napovedovanje takšnega vremena je izboljšana fizikalna shema turbulence in sevalna shema, ki delujeta tako na 9,5 kot na 4,4 kilometrski ločljivosti (sliki 2b in 2c), odvisni sta le od uporabljene fizike oz. verzije modela. Ob povečanju števila vertikalnih nivojev, tako da je gostota računskih nivojev večja predvsem pri tleh, lahko naredimo nizko oblačnost še bolj gosto. Slika 2d prikazuje takšno simulacijo oblačnosti s 70 vertikalnimi nivoji. Sama asimilacija podatkov se pri napovedovanju takšnega dogodka ne pozna prav dosti (slika 2e), opazi se le nekaj območij, kjer je nizke oblačnosti več ali manj kot pri dinamičnih prilagoditvah (slika 2c v primerjavi s sliko 2e). Dejansko stanje ob istem času je prikazano kot objektivna analiza nizke oblačnosti na podlagi satelitske slike (slika 2f).



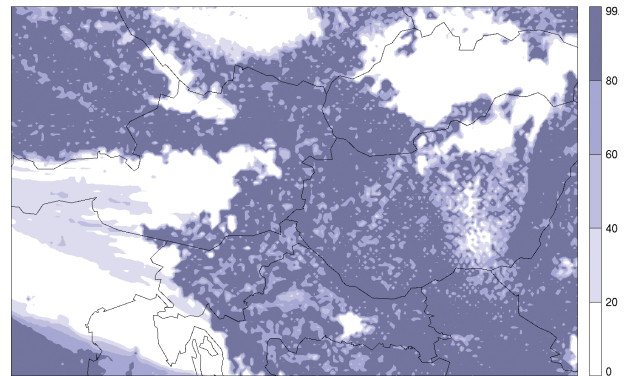
Slika 2a. Oblačnost [v %] dne 31. 1. 2011 ob 6 UTC, s "staro" verzijo modela cy29t2, ločljivostjo 9,5 km in 43 vertikalnimi nivoji.



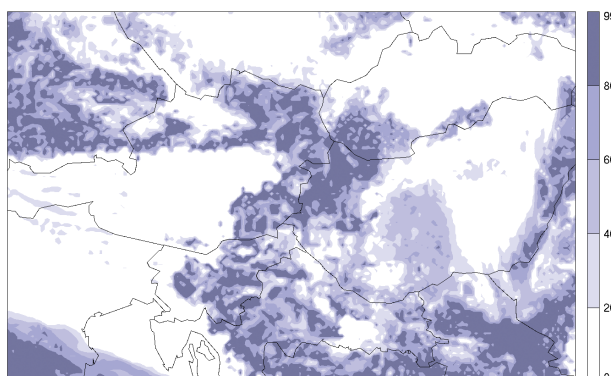
Slika 2b. Enako kot slika 2a, le z verzijo modela cy35t1.



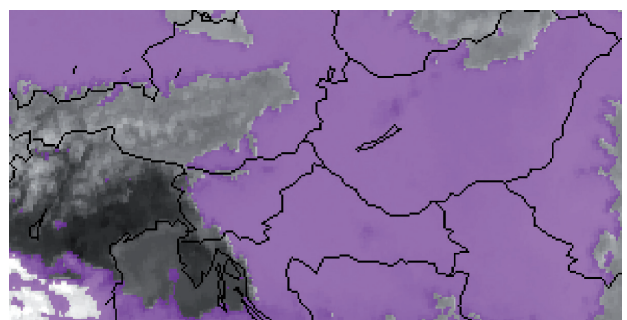
Slika 2c. Enako kot slika 2a, le za verzijo modela cy35t1 s horizontalno ločljivostjo 4,4 km.



Slika 2d. Enako kot slika 2a, le za verzijo modela cy35t1, s horizontalno ločljivostjo 4,4 km in 70 nivoji.



Slika 2e. Enako kot slika 2a, le za verzijo modela cy35t1 s horizontalno ločljivostjo 4,4 km in asimilacijo podatkov.



Slika 2f. Avtomatsko ugotavljanje oblačnosti z METEOSAT satelitom druge generacije dne 31. 1. 2011 ob 6 UTC; vijoličasta barva označuje nizko oblačnost

Močna burja

Veter in sunke vetra je ALADIN že od nekdaj napovedal precej dobro. Pri nekaj zadnjih situacijah z res močno burjo se je pokazalo, da je verifikacija napovedi burje dokaj težavna naloga in da težko natančno sklepamo o kakovosti modela. Polje vetra ob burji je namreč zelo nehomogeno v prostoru. Ponekod burja piha zelo močno, drugod pa ob istem času bistveno šibkeje ali celo v povsem drugi smeri. Na to izrazito vpliva razgibano površje, ko se hribovi na zelo kratki razdalji dvignejo z morskega nivoja na tisoč in več metrov nadmorske višine. Nadaljnji problem je slemenitev površja: kjer je orientacija grebena v smeri pravokotno na splošni severovzhodnik, je smer burje izrazito favorizirana in zato je tam burja res močna.

Tako se pojavi velika težava z reprezentativnostjo meritev na postajah glede na istoležne mrežne računske točke v modelu. Višina modelskega površja je namreč zgolj približek pravemu in tudi ni povsem enolično določena. To pa ne velja le za nadmorske višine temveč tudi za lastnosti mikrolোকacij (kjer so ozke doline, kako izgledajo posamezna gorstva itn.). Kako torej primerjati napovedano polje vetra z izmerjenimi vrednostmi burje na različnih lokacijah? Rešitev, ki sva jo uporabila v tej študiji, je, da sva primerjala meritve burje v Ajdovščini z modelskimi rezultati sunkov vetra na mestu, ki po obliki površja najbolj ustreza dejanskim

razmeram v Ajdovščini. Nismo torej vzeli meritve v mrežni točki, ki ustreza merilni postaji, ampak sva poiskala modelsko točko v njeni okolici, kjer piha najmočnejši veter in te vrednosti primerjala z najvišjimi izmerjenimi vrednostmi, čeprav je lahko taka mrežna točka tudi nekaj modelskih točk oddaljena od položaja merilne postaje.

Površje v modelu je še dodatno poenostavljeno s tako imenovano ovojnico. To pomeni, da se višini modelskega površja prišteje podmrežna standardna deviacija te višine, s čimer poskušamo izboljšati opis trenja vetra ob tla. Gre za trik, ki je v numeričnih modelih praktično že od začetka in ga je večina podobnih modelov na primerljivih ločljivostih že opustila. S prehodom na eno od naslednjih verzij bomo tudi v slovenskem ALADIN-u pri računanju trenja vetra ob tla opustili ta dodatek in uporabljali zgolj povprečno višino površja. Ključna težava ovojnice je, da precej prispeva k višjim horizontalnim gradientom višine površja, kar ima za posledico tudi višje hitrosti sunkov burje.

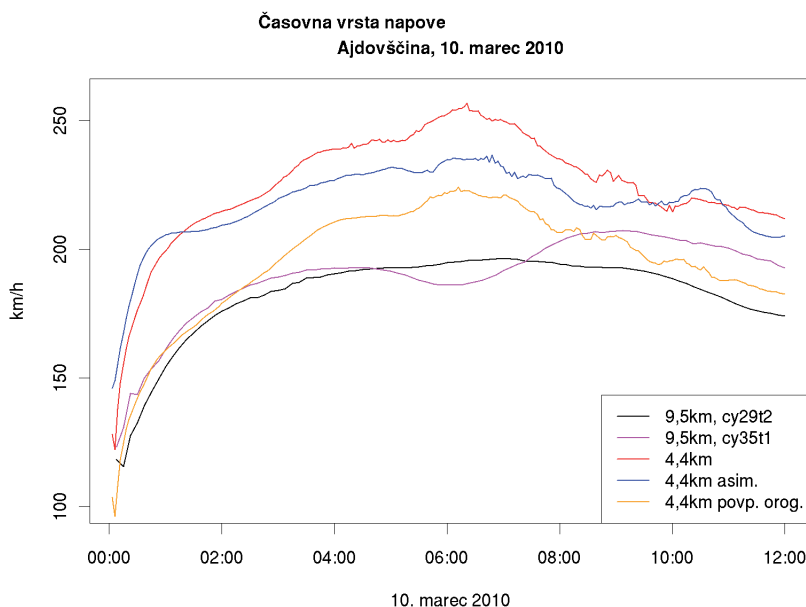
Nadaljnja težava je, da so merilne postaje ARSO na burji manj izpostavljenih mestih. Ob močni burji 10. marca 2010 so ARSO postaje izmerile neprimerno manjše vrednosti sunkov vetra kot postaje DARS-a (Poročilo ARSO, 2010), ki ležijo na burji bistveno bolj izpostavljenih mestih.

Eno takšnih najbolj izpostavljenih mest je na nadvozu Ajdovščina na vipavski hitri cesti. Tam so 10. marca 2010 zjutraj DARS-ove postaje izmerile sunke do 187 km/h. Zdi pa se, da je to le praktična omejitev na senzorju (glede na stopničast časovni potek maksimalne hitrosti) in bi lahko bolje prilagojene postaje izmerile tudi višje hitrosti. Na podlagi teh podatkov in svojih izkušenj so na DARS-u ocenili, da je takrat pihala burja s hitrostjo sunkov med 190 in 220 km/h (Poročilo ARSO, 2010).

Časovna vrsta napovedanih hitrosti sunkov burje v Ajdovščini za 10. marec 2010 je prikazana na sliki 3. Različne krivulje ustrezajo različnim verzijam modelske fizike, modelske ločljivosti ali opisa površja. Opazimo dokaj podobno obnašanje modela za različne verzije modelske fizike z enako horizontalno ločljivostjo (črna in vijolična črta na sliki 3). Ob povišanju

hitrosti v prvih dveh urah simulacije) dogaja monotonno. Pri ostalih modelih hitrost sunkov najprej malo pade in se nato dvigne. Meritvam in ocenam DARS-a še najbolj ustreza rezultat modela brez ovojnice z uporabo povprečnega površja (oranžna črta na sliki 3). V tem primeru so največje hitrosti malo nad 210 km/h. Sklepamo, da bi bila najbolj uporabna kombinacija s povprečnim površjem in asimilacijo podatkov.

Opozoriti je treba tudi na dejstvo, da je hitrost sunkov burje izveden parameter na podlagi hitrosti vetra na spodnjem modelskem nivoju in vertikalne stabilnosti atmosfere in ni prognostična spremenljivka. Sta pa prognostični spremenljivki povprečen veter v zonalni in meridionalni smeri ter turbulentna kinetična energija (TKE). Raziskave potekajo tudi glede načina uporabe TKE za oceno maksimalnih sunkov vetra.



Slika 3. Časovne vrste napovedi burje v Ajdovščini z različnimi verzijami modela za dogodek z močno burjo 10. marca 2010. Glej besedilo za natančno razlago različnih črt.

horizontalne ločljivosti se največje hitrosti neprimerno povišajo: iz vijolične (9,5 km) črte na rdečo (4,4 km) je precej velik skok – iz največjih vrednosti hitrosti okoli 190 km/h na 260 km/h! Asimilacija podatkov sicer nekoliko zmanjša ta preskok, a največje hitrosti modre črte so še vedno izredno velike (največ okoli 230 km/h). Zanimivo je tudi, kako se rdeča in modra črta razlikujeta v hitrosti prilagajanja na površje – zaradi višjega začetka modra črta približno pol ure prej doseže prilagoditev na površje v visoki ločljivosti v primerjavi z rdečo. Hitrost burje v zagonu z asimilacijo je ob sami inicializaciji najvišja, ker je začetno polje v tem primeru v veliki meri že prilagojeno na površje v 4,4 km ločljivosti in ne zgolj rezultat interpolacije na to ločljivost. Model z asimilacijsko verigo je tudi edini, kjer se prilagajanje vetra površju (strmo naraščanje

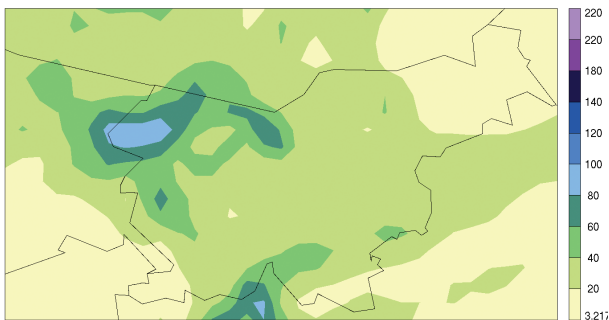
Hudourniške poplave v Železnikih

Hudourniške poplave 18. septembra 2008 so bile posledica burnih vremenskih dogodkov, ki spadajo med najbolj intenzivne v nedavni zgodovini Slovenije. Izredna količina dežja kot posledica stacionarne konvekcije v kombinaciji z zelo razgibanim površjem je privedla do poplav neslutene moči (Vertačnik, 2008). Površinski pretoki so hipoma močno narasli. To je bila posledica konvektivne narave vremenskega procesa in s tem povezane velike prostorske spremenljivosti količine dežja. Padavine so bile razporejene zelo neenakomerno tako v času kot v kraju; v krajih z intenzivnimi padavinami so bile tudi dolgotrajne. Takšna vremenska situacija predstavlja velik problem za numerično meteorološko napoved (Žagar, 2008).

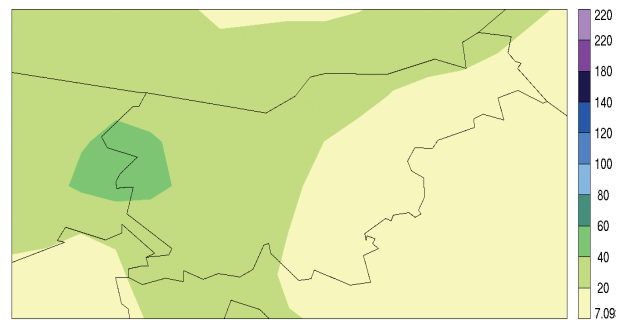
Napoved, narejena v operativni verigi ALADIN (slika 4a) je vsebovala bistveno premalo dežja z največjo količino v Posočju in ne Julijcih, saj model ni uspel simulirati izrazite stacionarne konvekcije. Zaradi tega se dogodek vnaprej ni zdel posebno ekstremen. Še manj uporabna je bila napoved globalnega ECMWF modela za isto obdobje (slika 4b) in ni mogla služiti kot osnova za ustrezno opozorilo na izjemni dogodek. Z izboljšano fiziko ALARO (slika 4c) je model ALADIN napovedal precej večjo količino padavin, prostorska porazdelitev pa je ob nespremenjeni horizontalni ločljivosti ostala dokaj podobna. Ob prehodu na višjo ločljivost (slika 4d) se je prostorska porazdelitev padavin bistveno spremenila. Območje z največjo količino padavin se je iz Posočja premaknilo bolj proti vzhodu, povečala se je tudi količina padavin ponekod drugod, v Kamniško-Savinjskih Alpah in na Trnovski planoti. Hkrati se skupna količina padavin nad celotnim ob-

močjem Julijskih Alp ni bistveno povečala. Prostorski vzorec se še dodatno spremeni ob uporabi asimilacijske verige (slika 4e). V Julijcih nastaneta dva poveznata maksimuma, eden bolj proti zahodu, drugi vzhodnejše, čeprav je skupna vsota padavin na območju Julijcev ostala približno enaka. Spet pa se je nekoliko zmanjšala količina padavin v Kamniških Alpah.

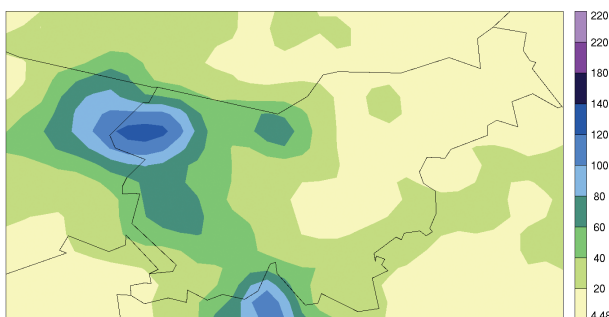
Izmerjene količine padavin (slika 4f) so bile višje od simulacij s katerokoli predstavljeno verzijo. Opazimo pa izrazito povečanje skupne vsote padavin z uporabo nove fizike in izboljšanje prostorske porazdelitve padavin z uporabo asimilacijske verige. Ob tem je treba še enkrat poudariti, da gre v primeru Železnikov za v naših krajih dokaj redko situacijo izrazite stacionarne konvekcije in da bodo hudourniške poplave v Železnikih služile kot učni primer tudi za prihodnje generacije meteoroloških modelov.



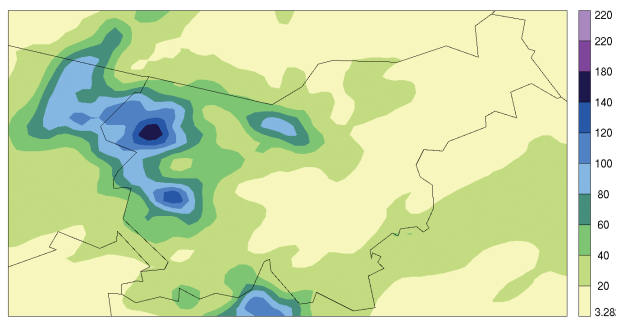
Slika 4a. Napovedana skupna vsota padavin od 18.9.2008 06 UTC do 19.9.2008 ob 06 UTC z modelom verzije cy29t2 z ločljivostjo 9,5 km.



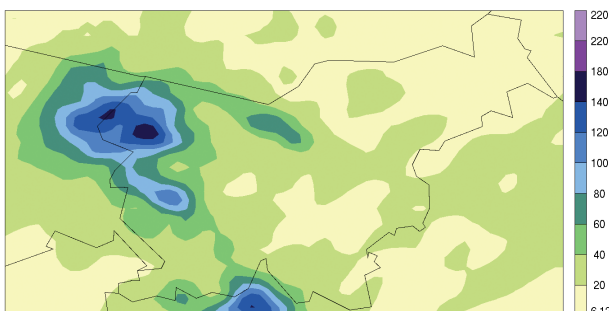
Slika 4b. Enako kot slika 4a, le za takratno verzijo modela ECMWF z ločljivostjo 25 km.



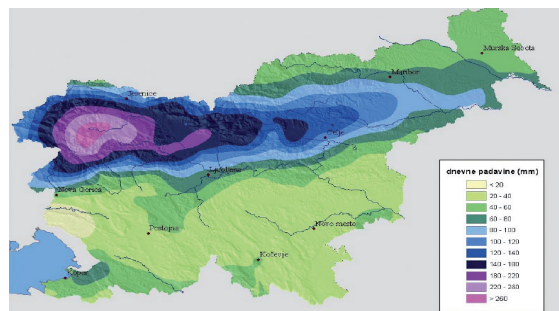
Slika 4c. Enako kot slika 4a za verzijo modela cy35t1 s horizontalno ločljivostjo 9,5 km.



Slika 4d. Enako kot slika 4a za verzijo modela cy35t1 s horizontalno ločljivostjo 4,4 km.



Slika 4e. Enako kot slika 4e za verzijo modela cy35t1 s horizontalno ločljivostjo 4,4 km in z lokalno asimilacijo podatkov.



Slika 4f. Prostorsko interpolirane meritve skupne vsote padavin v istem časovnem obdobju (Poročilo ARSO, 2007).

Zaključek

Skozi vpliv posameznih komponent modela ALADIN na napoved različnih vremenskih situacij sva prikazala napredek sistema ALADIN-SI v zadnjih nekaj letih. Omejila sva se le na tiste komponente, ki bistveno vplivajo na napoved. Razlike med njimi so precej velike.

Eno od presenečenj je izrazit pozitiven vpliv izboljšane fizike pri horizontalni ločljivosti 9,5 km – večja količina padavin v primerjavi s tedaj operativno verzijo modela v primeru poplav v Železnikih. Skupna količina padavin nad območjem ostane približno enaka tudi ob povečanju horizontalne ločljivosti modela na 4,4 km, bistveno se spremeni le njihova prostorska porazdelitev. Prav tako je pozitivno presenečenje dobra simulacija nizke oblačnosti in megle z ALARO fiziko na manjši horizontalni ločljivosti (9,5 km). Pričakovano pa se simulacija nizke oblačnosti bistveno izboljša s povečano vertikalno ločljivostjo, z večjim številom računskih nivojev blizu tal.

Rezultat asimilacije podatkov na visoki ločljivosti je več kot zadovoljiv in v večini primerov prinese pozitiven rezultat (porazdelitev padavin v primeru Železnikov, hitrejše prilagajanje hitrosti burje). To kaže na pravilen koncept naše lokalne asimilacijske verige. Ni namreč samoumevno, da je rezultat asimilacije podatkov na lokalni skali pozitiven. V marsikateri meteorološki službi težko najdemo primer dodane vrednosti lokalne asimilacije podatkov v primerjavi z enostavnim dinamičnim prilagajanjem polj iz globalnega modela.

Večji izzivi, ki nas čakajo v ne tako bližnji prihodnosti, so povezani z:

- dodatnim povečanjem modelske horizontalne in vertikalne ločljivosti; predvidevamo, da bomo lahko v nekaj letih operativno napoved izračunavali na okoli dvokilometrski ločljivosti,
- izboljšavami modelske dinamike – vključitev nehidrostatične verzije modela (v povezavi z višjo horizontalno ločljivostjo),
- nadgradnjo fizike za dvokilometersko ločljivost (ALARO-1): nova shema turbulence, izboljšan opis sevanja ter plitve in globoke konvekcije,
- dodatnimi možnostmi za uporabo lokalnih podatkov; s tem misliiva predvsem na uporabo radar-skih podatkov, ki pa zahtevajo natančno kontrolo, kalibracijo in predprocesiranje.

Viri

ARSO poročilo o izjemnem dogodku, 2007: Izjemen padavinski dogodek 18. Septembra 2007, <http://www.meteo.si/met/sl/climate/natural-hazards/archive/>

Cedilnik, J., D. Carrer, J.-F. Mahfouf in J.-L. Roujean, 2012: Impact assesement of daily satellite derived surface albedo in a limited area NWP model, *J. Appl. Meteorol.*, (sprejeto za objavo)

Gerard, L., J.-M. Piriou, R. Brožkova, J.-F. Geleyn, D. Banciu, 2009: Cloud and precipitation parameterization in a meso-gamma scale operational weather rediction model, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 137 Issue 11, 3960-3977

Louis, J. F., 1979: A parametric model of vertical fluxes in the atmosphere, *Boundary-Layer Meteorol.*, Vol 17, 187-202

Le Moigne, P., 2009: SURFEX scientific documentation, http://www.cnrm.meteo.fr/surfex/IMG/pdf/surfex_scientific_documentation.pdf

Ritter, B., in J.-F. Geleyn, 1992: A comprehensive radiation scheme of numerical weather prediction with potential application to climate simulations. *Mon. Wea. Rev.*, 120, 303-325

Vertačnik, G., 2008: Klimatološki opis izjemnega padavinskega dogodka 18. Septembra 2007. *UJMA 2008*, 22

Žagar, M., 2008: Analiza vzrokov in numerično modeliranje močnih padavin 18. Septembra 2007. *UJMA 2008*, 22

Prvi rezultati vrednotenja modelskega sistema ALADIN-CAMx za napovedovanje ozona in delcev v ozračju

Rahela Žabkar, Marko Rus, Jože Rakovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
Manca Štrajhar, Agencija Republike Slovenije za okolje

Povzetek

V prispevku je na kratko predstavljen modelski sistem, v katerem je bil za potrebe napovedovanja ozona in delcev na območju Slovenije meteorološki model ALADIN sklopljen s (foto)kemijsko-transportnim modelom CAMx. Predstavljeni so rezultati nekaterih prvih primerjav modelskih izračunov z meritvami za mesec januar 2011. V tem mesecu so bile na različnih merilnih mestih po Sloveniji pogosto izmerjene visoke koncentracije delcev v zraku.

Uvod

Koncentracije različnih onesnaževal¹ v ozračju so odvisne od vrste fizikalnih in kemijskih procesov, ki vplivajo na to, kako se onesnaževala iz virov izpustov širijo v ozračju, sodelujejo v različnih kemijskih pretvorbah in vplivajo na izločanje onesnaževal iz ozračja. Spreminjanje koncentracije različnih onesnaževal v ozračju poenostavljeno zapišemo z disperzijsko enačbo, v kateri so časovne spremembe koncentracije onesnaževala (c_1) odvisne od transporta, ki ga določa vetrovno polje (\vec{v}), redčenja onesnaževala v ozračju zaradi turbulentne difuzivnosti (predstavljene v enačbi preko členov, v katerih nastopajo koeficienti turbulentne difuzivnosti K), različnih kemijskih pretvorb in drugih virov (izpusti) ter ponorov (suha in mokra depozicija) onesnaževal v ozračju:

$$\frac{\partial c_1}{\partial t} = -\nabla \cdot (\vec{v}c_1) + \nabla \cdot (K\nabla c_1) + \frac{dc_1}{dt}_{\text{viri}} + \frac{dc_1}{dt}_{\text{kem}} - \frac{dc_1}{dt}_{\text{izpad}}$$

Hitrost vetra in turbulentna difuzivnost se v kraju in času lahko močno spreminjata glede na vremenske pogoje. Poleg tega na kemijske pretvorbe in na učinkovitost izločanja primesi iz ozračja vplivajo tudi druge vremenske odvisne spremenljivke, predvsem temperatura zraka, količina kemijsko aktivnega seva-

nja (kratkovalovnega, delno tudi IR), vlažnost zraka in padavine.

Pri modeliranju onesnaženosti zraka v eulerskem načinu spremenljivke v ozračju opišemo v mreži točk, v katerih računamo časovne spremembe količine posamezne primesi. V vsakem volumskem elementu ozračja je sprememba količine onesnaževala rezultat vseh prej omenjenih dogajanj: od izpustov, preko transporta in difuzije, do kemijskih pretvorb in izločanja snovi iz ozračja. Poleg dobrega opisa meteoroloških spremenljivk za modeliranje potrebujemo tudi podrobno opisane točkovne in ploskovne izpuste posameznih onesnaževal ter koncentracije modeliranih onesnaževal v ozračju na začetku zagona modela ter na robovih računskega območja.

Modelskega sistema ALADIN-CAMx

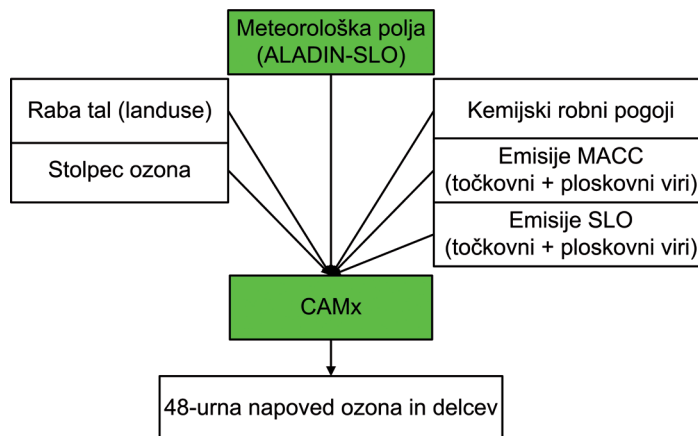
Eden od disperzijsko-fotokemičnih modelov za modeliranje ozona in delcev v ozračju, ki vsebuje matematičen opis vseh zgoraj omenjenih procesov, je model CAMx (Comprehensive Air quality Model with extensions; ENVIRON, 2011). CAMx je US EPA (US Environmental Protection Agency – Agencija Združenih držav za zaščito okolja) odobrila za modeliranje ozona in delcev v različni časovni in prostorski ločljivosti. Za izračune potrebuje meteorološka polja, ki jih je potrebno računati ločeno z meteorološkim modelom, in nekatera druga vhodna polja, predvsem časovno spremenljiva polja izpustov, različne geografske spremenljivke in podatke o skupni količini ozona v ozračju. V prispevku opisujemo modelski sistem

¹ Onesnaževala (polutanti) v zraku so snovi (različni plini, prah ali dim), ki so v prevelikih količinah lahko škodljive za zdravje in počutje ljudi, živali in rastlin, oz. imajo škodljiv vpliv na neživo naravo.

ALADIN-CAMx, v katerem smo model CAMx povezali z operativnim meteorološkim modelom ALADIN na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO). V modelski sistem je bil vključen tudi podroben opis antropogenih izpustov na območju Slovenije in sosednjih držav ter transport onesnaževal prek robov območja modeliranja, pridobljen iz globalnega fotokemijskega modela. Za računanje kemijskih in fotokemijskih pretvorb v modelu smo izbrali kemijski mehanizem SAPRC99 (Carter, 2000), ki vključuje 114 različnih

modelskih nivojih ocenili z vrednostjo 0. Ta predpostavka je bila večinoma upravičena, saj smo imeli zelo malo primerov, v katerih je bilo v zraku dlje časa veliko padajočih ledenih delcev, oziroma je njihova količina znatno vplivala na kemijske procese.

Poleg meteoroloških polj model CAMx pri računanju kemijskih in fotokemijskih pretvorb potrebuje nekatera dodatna polja, prikazana v preglednici 1. Za pripravo polja rabe tal smo uporabili podatke Geološkega



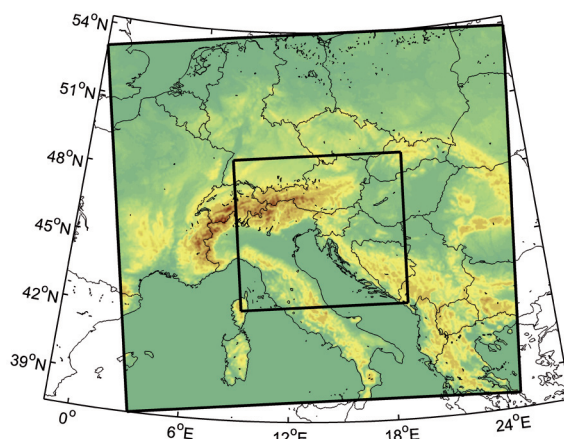
Slika 1. Poenostavljena shema modelskega sistema ALADIN-CAMx.

kemijskih spojin oziroma skupin spojin, od tega 16 radikalov, 22 skupin delcev in 217 kemijskih reakcij. Na ta način smo dobili orodje, s katerim je mogoče modelirati ozon in delce na območju Slovenije in sosednjih držav. Poenostavljeno shemo modelskega sistema prikazuje slika 1.

Priprava vhodnih polj

Vhodna polja meteoroloških spremenljivk, ki jih potrebuje model CAMx, so polje zračnega tlaka, temperature, vetra, specifične vlage, oblačne vode, padavinske vode, snežne vode, količine padajočih ledenih kristalov, optične debeline oblakov, koeficienta vertikalne turbulentne difuzivnosti in temperature tal. Večina teh polj so neposredni izhodi meteorološkega modela ALADIN in jih je precej preprosto vključiti v model CAMx. Nekatera polja (oblačna voda, optična debelina oblakov, koeficient turbulentne difuzivnosti) pa je potrebno parametrizirati, oceniti na podlagi polj meteoroloških spremenljivk modela ALADIN. Za parametrizacijo količine oblačne vode in optične debeline oblakov je bilo potrebno dodatno ugotoviti in izračunati oblačnost s pomočjo konvektivnih padavin in višine planetarne mejne plasti. Koeficient vertikalne turbulentne difuzivnosti smo izračunali po metodi, ki jo je opisal O'Brien (1970), pri čemer smo kot vhodni podatek uporabili oceno višine planetarne mejne plasti. Maso padajočih ledenih kristalov smo na vseh

zavoda Združenih držav Amerike (USGS - US Geological Survey) s 24 razredi rabe tal, ki jih je bilo potrebno pretvoriti v klasifikacijo s 26 razredi, ki jih uporablja model CAMx. Za oceno celotne količine ozona v stolpcu ozračja smo v model sproti vključevali prosto dostopne rezultate satelitskih meritev. Za delež listne površine smo uporabili podatke iz modela ALADIN, medtem ko smo za motnost ozračja obdržali v CAMx modelu privzeto konstantno vrednost za primere, ko na voljo ni drugih podatkov o motnosti.



Slika 2. Območje modeliranja v sedanji konfiguraciji modelskega sistema ALADIN-CAMx. Prikazano je tudi gnezdeno računsko območje.

Preglednica 1. Vir dodatnih vhodnih polj, potrebnih za izračun fotokemičnih procesov v modelu CAMx.

Dodatna vhodna polja za model CAMx	Vir
raba tal	podatki USGS o rabi tal
UV-albedo	izračunan na osnovi rabe tal
motnost	privzeta konstantna vrednost
količina ozona v celotnem stolpcu ozračja	http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone.html
delež listne površine (LAI)	model ALADIN

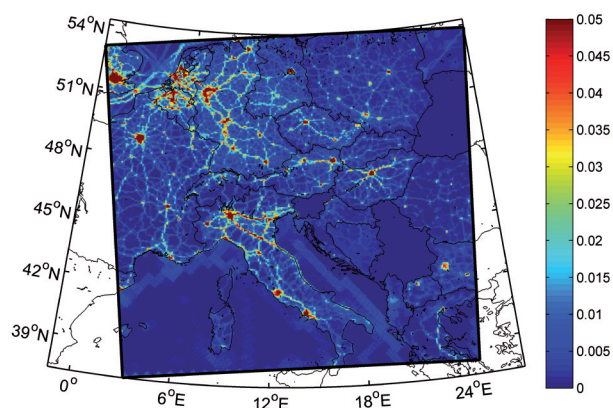
Območje modeliranja

V sedanjih konfiguraciji modelskega sistema ALADIN-CAMx je območje modeliranja prilagojeno obstoječi konfiguraciji modela ALADIN/SI na ARSO. Zaradi časovne zahtevnosti modela CAMx smo uporabili postopek gnezdenja, v katerem imamo dve računski območji (slika 2). Horizontalna ločljivost notranjega (gnezdenega) računskega območja je 4,4 km in je enaka ločljivosti operativne konfiguracije modela ALADIN/SI. Horizontalna ločljivost zunanjega računskega območja pa je trikrat manjša, torej 13,2 km. Modelske točke v notranjem računskem območju modela CAMx sovpadajo z modelskimi točkami konfiguracije modela ALADIN, medtem ko v zunanjem računskem območju modela CAMx točke sovpadajo z vsako tretjo točko modela ALADIN. Notranje računsko območje namenoma vključuje tudi večino industrializirane Padške nižine, ki lahko ob določenih vremenskih razmerah s svojimi izpusti znatno poveča količino nekaterih onesnaževal v Sloveniji.

Vertikalni modelski nivoji se ujemajo z vertikalnimi nivoji v modelu ALADIN, le da imamo v modelu CAMx vključenih le spodnjih 34 nivojev od skupno 43 nivojev v modelu ALADIN. Računanje disperzije onesnaževal in fotokemijskih pretvorb na zgornjih 9 nivojih namreč zaradi velike nadmorske višine teh nivojev za napovedovanje kakovosti zraka v plasti zraka blizu tal ni potrebno.

Antropogeni izpusti

Polja antropogenih izpustov smo pripravili ločeno za območje Slovenije in za druge evropske države. Za območje Slovenije smo v izračunih vhodnih polj izpustov uporabili natančne podatke o letnih izpustih, pripravljenih na ARSO; za območje izven Slovenije smo podatke o letnih izpustih pridobili v okviru projekta MACC (Monitoring Atmospheric Composition and Climate – Spremljanje sestave ozračja in podnebja; MACC a). Za območje Slovenije smo uporabili zbirko podatkov o izpustih leta 2009, za ostale evropske države pa za leto 2007. Prostorska ločljivost podatkov o letnih izpustih za območje Slovenije je 100 m x 100 m, za območja izven Slovenije pa 1/8° x 1/16°.



Slika 3. Primer polja ploskovnih izpustov NO_x v tonah/h v prostorski ločljivosti 4,4 km na območju izven Slovenije, izračunanega iz podatkov pridobljenih iz projekta MACC, za nedeljo v mesecu avgustu ob 6h zjutraj.

Letne vrednosti izpustov smo preračunali v urne vrednosti točkovnih in ploskovnih virov izpustov NO_x, CO, NMVOC, NH₃, SO₂, CH₄, PM₁₀ in PM_{2.5}¹. Izračune smo naredili s pomočjo ocenjenih letnih, tedenskih in dnevni časovnih potekov izpustov. Poleg tega smo iz skupnih izpustov NMVOC in delcev s pomočjo pretvorb preglednic ločeno po različnih virih izpustov razdelili izpuste v posamezne podskupine med seboj podobnih organskih spojin oziroma delcev v skladu z zahtevami modela CAMx. Skupno količino izpustov NMVOC smo tako za 24 različnih tipov virov izpustov razdelili med 49 osnovnih skupin spojin, skupne izpuste delcev pa za 96 različnih tipov virov izpustov med 15 različnih vrst delcev.

Primer vhodnega polja antropogenih izpustov je prikazan na sliki 3. V modelski sistem zaenkrat še nismo vključili polj biogenih izpustov, zaradi česar v izračunih pričakujemo podcenitve simuliranih vrednosti ozona.

Kemijski začetni in stranski robni pogoji

Začetno vsebnost onesnaževal v ozračju model CAMx prebere iz rezultatov prejšnje simulacije, oziroma jo nastavi na ničelne vrednosti, če prejšnja simulacija

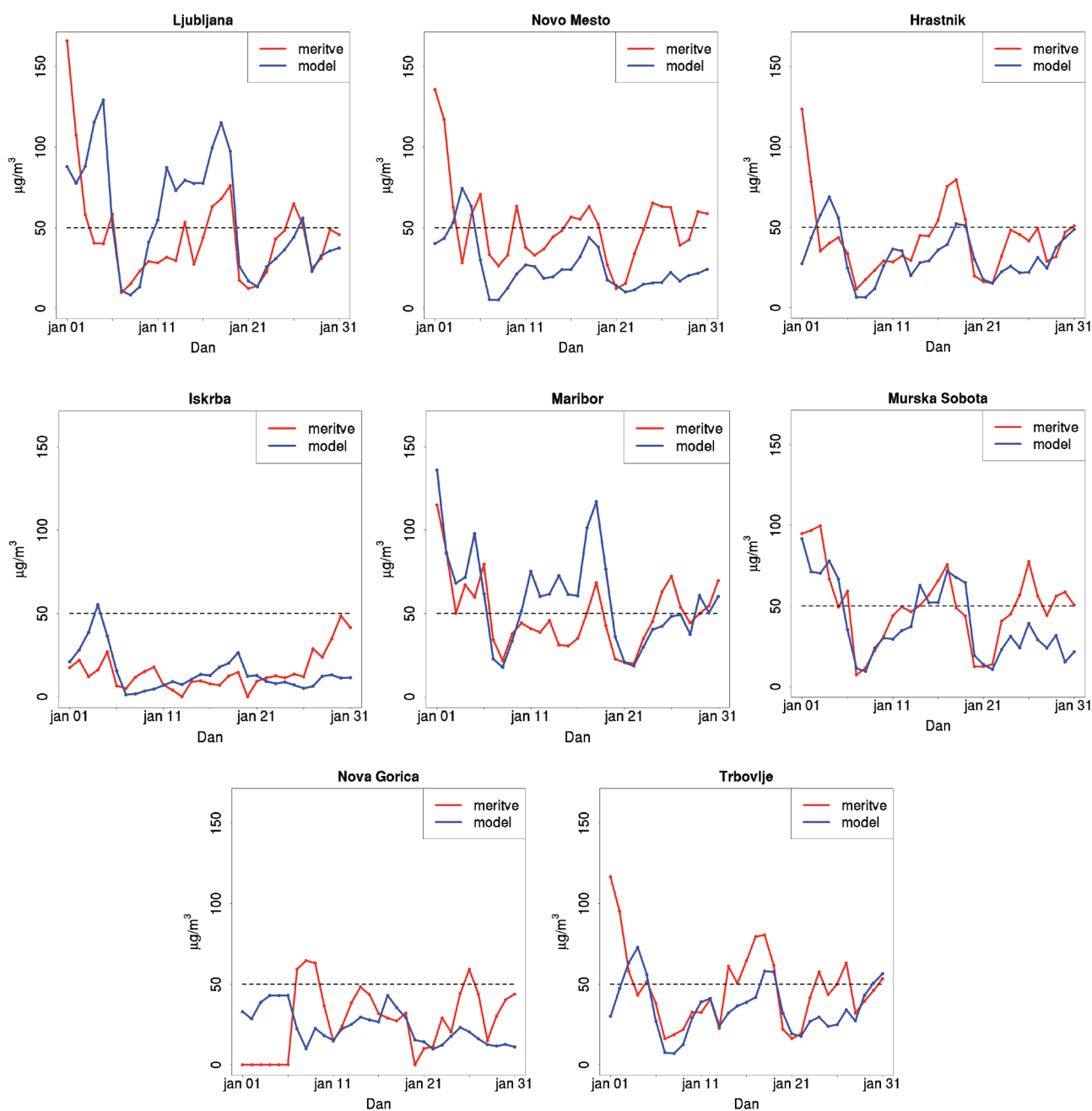
1

NO_x	skupna količina vseh dušikovih oksidov v ozračju
CO	ogljikov monoksid
NMVOC	hlapne organske spojine razen metana (angl. non-methan volatile organic compounds)
NH₃	amoniak
SO₂	žveplov dioksid
CH₄	metan
PM₁₀	trdni delci (angl. particulate matter) s premerom pod 10 μm
PM_{2.5}	trdni delci s premerom pod 2,5 μm

ni na razpolago. V tem primeru mora od začetnega zagona modela preteči dovolj časa, da lahko vpliv začetnega stanja na rezultate simulacij zanemarimo. Koncentracije onesnaževal na stranskih robovih modelskega območja pridobivamo iz operativnega globalnega fotokemijskega modela MOZART (Model for Ozone And Related chemical Tracers – model za ozon in sorodne kemijske spojine; MACC b). Horizontalna ločljivost teh modelskih polj je $1,875^\circ$ geografske dolžine in približno $1,93^\circ$ geografske širine. Potreben je bil preračun koncentracij spojin modela MOZART v skupine spojin, ki jih obravnava model CAMx.

Primerjava modelskih izračunov delcev v zraku z meritvami januarja 2011

Modelski sistem ALADIN-CAMx simulira vrsto različnih primarnih in sekundarnih primesi v ozračju, med katerimi je za potrebe spremljanja in napovedovanja kakovosti zraka na območju Slovenije najbolj pomembno predvsem simuliranje ozona in delcev. Visoka koncentracija ozona v plasti zraka pri tleh se pojavlja v najtoplejših mesecih, ko visoka temperatura, obilo sončnega sevanja in šibka dinamika v ozračju omogočajo učinkovito tvorbo sekundarnih

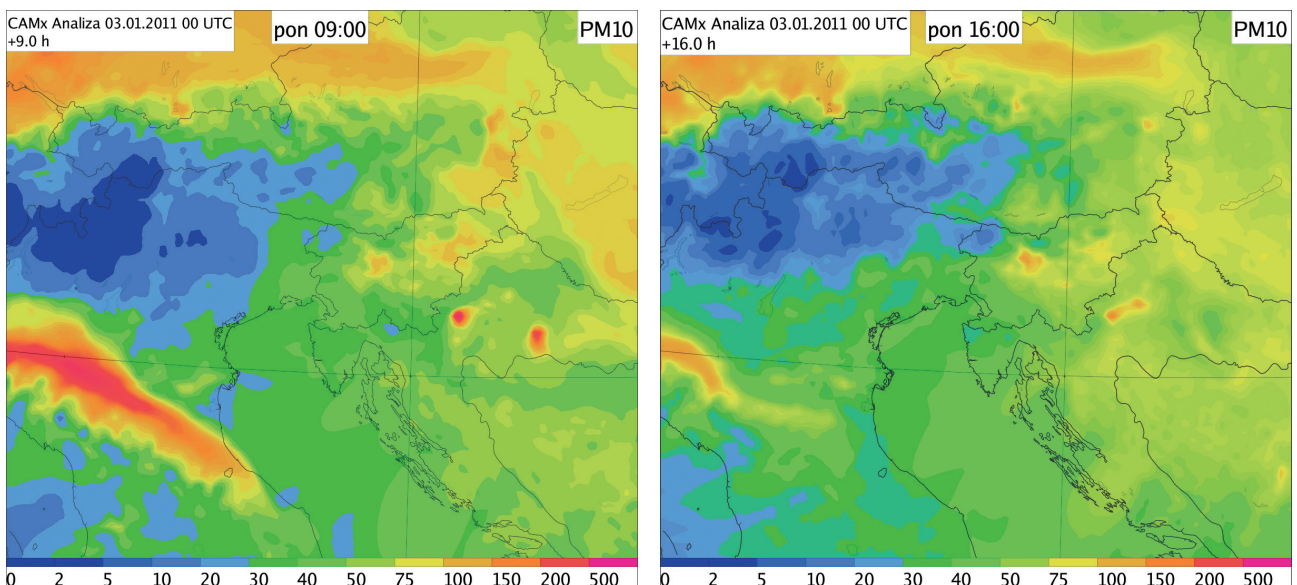


Slika 4. Primerjava povprečnih dnevni simuliranih in izmerjenih vsebnosti PM_{10} v zraku na nekaterih merilnih postajah po Sloveniji za obdobje enega meseca (januar 2011), v katerem je bilo na različnih merilnih mestih po Sloveniji izmerjeno presežanje zakonsko predpisane mejne dnevne vrednosti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ delcev PM_{10} v zraku. Izmerjene vrednosti smo primerjali z vrednostjo v najbližji modelski točki.

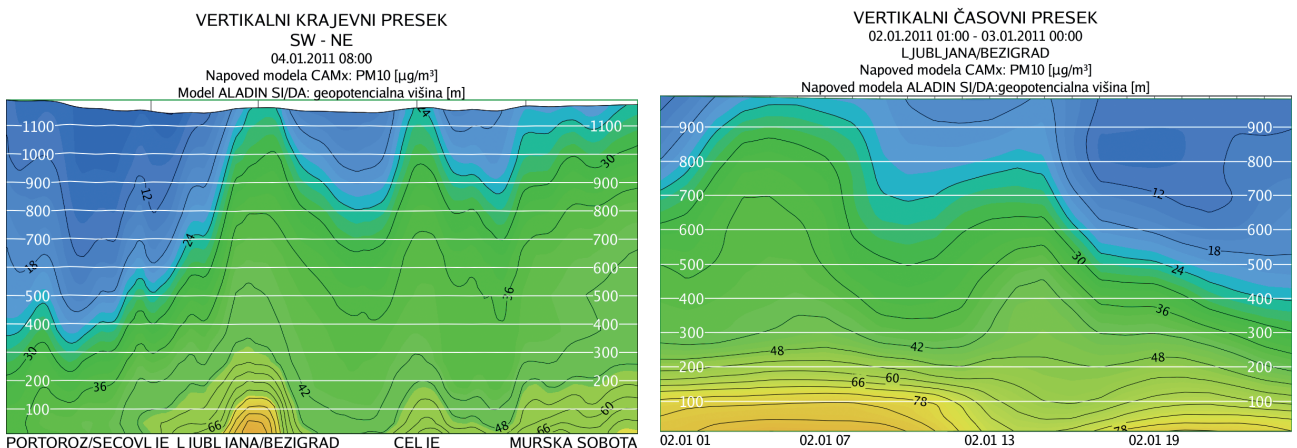
onesnaževal v zračni masi z veliko količino nakopičenega onesnaženja. Nasprotno je koncentracija delcev najvišja v zimskih mesecih, predvsem v zgodnjih jutranjih urah, ko je temperaturni obrat najizrazitejši. Preseganje delcev se v zimskih mesecih pojavlja po vsej Sloveniji.

Trenutno v modelski sistem še nismo vključili biogenih izpustov, ki imajo pomemben vpliv pri tvorbi ozona. Zato v nadaljevanju prikazujemo rezultate modelskih izračunov le za vsebnost delcev v zraku. Slika 4 prikazuje primerjavo simulirane in izmerjene povprečne dnevne gostote delcev v zraku na različnih merilnih mestih po Sloveniji. V splošnem je kvalitativno ujemanje modelskih izračunov z meritvami zelo dobro. Dobro so simuliran trend rasti količine delcev in razlike med gostotami delcev v mestih in izven mestnih središč (Iskrba). Kljub mnogim virom negotovosti v modelu (npr. urni izpusti, preračunani iz podatkov

o letnih izpustih) je večinoma zelo dobro ujemanje tudi v količini delcev. Veliko razhajanje med modelom in meritvami 1. januarja na nekaterih merilnih mestih je posledica množične uporabe pirotehničnih sredstev (petard, raket), ki predvsem v mestih, kjer je gostota prebivalstva večja, znatno prispevajo k povišani koncentraciji delcev. Večje kvantitativne razlike med modelskimi rezultati in meritvami lahko na nekaterih merilnih mestih (npr. v Ljubljani) opazimo tudi v drugi dekadi, kar bi lahko bila posledica slabše modelirane vpliva izpiranja delcev iz ozračja s padavinami. Model ALADIN je namreč za 11. in 12. januar v nekaterih krajih podcenil količino padavin, zaradi česar je bila v modelu CAMx podcenjena učinkovitost mokrega izpiranja (mokre depozicije) onesnažil iz ozračja. Posledično so v modelu ponekod precenjene gostote delcev v vseh nadaljnjih suhih dnevih do naslednjega padavinskega dogodka 20. januarja. Tega dne je bila z modelom ALADIN napovedana količina padavin



Slika 5. Z modelskim sistemom ALADIN-CAMx simulirane gostote delcev PM10 v plasti zraka pri tleh (v $\mu\text{g}/\text{m}^3$) na notranjem modelskem območju v ločljivosti 4,4 km. Prikazani so rezultati za 3. 1. 2011 ob 9. (levo) in ob 16. uri (desno).



Slika 6. Levo: Vertikalni krajevni presek gostote delcev v ozračju od Portoroža do Murske Sobotice 4. 1. 2011 ob 8. uri. Desno: Časovni potek gostote delcev v ozračju nad modelsko točko, ki je najbližje Ljubljani, od 1. do 24. ure 2. 1. 2011.

ponekod precenjena, kar bi morda lahko deloma razložilo nekoliko prenizke modelske gostote delcev v zraku po 20. januarju (npr. v Murski Soboti).

Primer polja gostote delcev na celotnem gnezdenem računskem območju prikazuje slika 5. Obsežna območja povečanih količin delcev se v obliki širokega pasu razprostirajo po Padski nižini od severozahoda proti jugovzhodu. V Sloveniji so gostote delcev v zraku povišane predvsem v okolici mest, kot so Ljubljana, Celje in Maribor.

Z višino nad tlemi vsebnost delcev v zraku izrazito pada (slika 6), saj se povečuje razdalja do izpustov delcev pri tleh. Poleg tega je nad višino temperaturnega obrata mešanje zraka in s tem redčenje onesnaževal v ozračju dosti bolj učinkovito. Iz vertikalnega časovnega preseka gostote delcev v Ljubljani (slika 6) je razviden tudi značilen dnevni hod količine delcev v zraku: najvišje vrednosti se pojavijo v zgodnjih jutranjih urah, najnižje pa v popoldanskem času (npr. okrog dveh ali treh po lokalnem času), ko je ozračje zaradi povečanega sončnega sevanja najbolj labilno, vertikalno mešanje najizrazitejše in višina planetarne mejne plasti zraka najvišja.

Zaključek

Primerjava modelskih rezultatov z meritvami za izbrano obdobje enega meseca je pokazala zelo dobro kvalitativno ujemanje med izmerjenimi in simuliranimi gostotami delcev v plasti zraka pri tleh. Nekatera kvantitativna odstopanja lahko razložimo s pomanjkljivostmi v vhodnih poljih izpustov (npr. zaradi vpliva uporabe pirotehničnih sredstev 1. januarja) in s težavami meteorološkega modela predvsem pri napovedovanju količine in lokacije padavin, kar ima za posledico podcenitev ali precenitev vpliva mokre depozicije na količino onesnaževal v ozračju. Pri vrednotenju modelskih rezultatov je potrebno upoštevati tudi, da vrednosti v modelskih točkah predstavljajo povprečje v prostoru, ki pripada modelski točki, medtem ko meritve niso nujno reprezentativne za širšo okolico

lokacije merilnega mesta. Za delce je značilna tudi velika časovna spremenljivost koncentracij, zato je z meritvami količine delcev v zraku za krajša časovna obdobja (urne meritve) povezana velika merilna negotovost in majhna reprezentativnost. Zaradi mnogih različnih virov negotovosti, s katerimi se srečujemo pri modeliranju delcev v zraku, ter tudi zaradi negotovosti meritev, je dobro kvantitativno ujemanje med meritvami in modelskimi vrednostmi pogosto težko doseči.

Viri

Agencija RS za okolje (ARSO): model ALADIN in podatki o izpustih za Slovenijo

Carter, W. P. L., 2000: *Documentation of the SAPRC-99 Chemical Mechanism for VOC Reactivity Assessment. Final Report to California Air Resources Board Contract No. 92-329, and 95-308.* <http://www.cert.ucr.edu/~carter/absts.htm#saprc99>

ENVIRON, 2011: *CAMx User's Guide, Comprehensive Air Quality Model With Extensions Version 5.40*, ENVIRON International Corporation, Novato, California.
MACC a: izpusti za področje Evrope, <ftp://macclient@neptunus.tno.nl/projects/TNO/beno/macc/>

MACC b: kemijski robni pogoji, <http://macc.icg.kfa-juelich.de:50080/access>

MOZART: kemijski robni pogoji: http://www.gmes-atmosphere.eu/d/services/gac/nrt/nrt_fields

O'Brien, J. J., 1970: *A Note on the vertical structure of the eddy exchange coefficient in the planetary boundary layer*, *J. Atmos. Sci.*, 27, 1213–1215

TOMS: <http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone.html>
USGS: raba tal iz podatkov modela WRF

Vrednotenje napovedi padavin nad Slovenijo

Blaž Šter, Matic Šavli, Luka Honzak, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, CO Vesolje-SI

Povzetek

V članku smo predstavili primerjavo modelov WRF z ARW jedrom (WRF) in ALADIN z meritvami za padavinska dogodka od 6. do 7. oktobra 2011 in od 19. do 21. oktobra 2011. Z meritvami na 68 samodejnih meteoroloških postajah smo primerjali dve različni verziji modela WRF v visoki ločljivosti (3.35 in 3.7 km) in tri različice modela ALADIN, eno v višji ločljivosti 4.4 km in dve v nižji 9.5 km ločljivosti z različnimi začetnimi in robnimi pogoji. Analizirali smo enourno in skupno intenziteto padavin. Za izbrana padavinska dogodka je skupno količino padavin najbolje napovedal model ALADIN z ločljivostjo 9.5 km, ko smo robne in začetne pogoje dobili iz globalnega modela ARPEGE.

Uvod

Spomladi 2011 je Katedra za meteorologijo Fakultete za matematiko in fiziko (<http://meteo.fmf.uni-lj.si>) v okviru projekta Center odličnosti Vesolje-SI (<http://www.space.si>) v sodelovanju z Uradom za meteorologijo Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) pripravila napoved vremena v visoki ločljivosti v raziskovalne namene. V okviru obvezne študentske prakse je bila opravljena primerjava napovedi padavin modela WRF (Weather Research and Forecasting system – sistem za raziskovanje in napovedovanje vremena) z napovedmi padavin treh različic modela ALADIN, ki jih uporabljajo na ARSO. Različne napovedi smo primerjali z izmerjenimi padavinami na prizemnih meteoroloških postajah. Zaradi prekratkega niza dostopnih napovedi je sedanja študija omejena na dve vremenski situaciji v oktobru 2011.

Podatki

Uporabljene napovedi modela WRF, verzija ARW 3.2.1, pripravljamo na dva načina. Za zagon WRF03AL s horizontalno ločljivostjo 3.35 km uporabimo začetne in robne pogoje iz slovenskega operativnega modela ALADIN AL09AR z ločljivostjo 9.5 km. Drugi zagon, poimenovan WRF03GFS, ima horizontalno ločljivost 3.7 km in je dvakratno gnezden v operativni globalni model GFS (Global Forecast System) ameriške meteorološke službe NCEP (National Centers for Environmental Prediction). Poleg razlik v začetnih in robnih pogojih ter horizontalni ločljivosti se modela

razlikujeta tudi v velikosti domene¹, pri WRF03AL je večja, čeprav je v obeh primerih napoved izračunana na enakem številu točk (181x145).

Rezultate modelov WRF smo primerjali z rezultati treh različic modela ALADIN: AL04DA z ločljivostjo 4.4 km ter AL09AR in AL09EC, oba z ločljivostjo 9.5 km. Prvi model uporablja za pripravo začetnih pogojev lastno asimilacijo podatkov in iz globalnega modela francoske meteorološke službe ARPEGE jemlje le stranske robne pogoje. Drugi model je direktno gnezden v ARPEGE, tretji pa v globalni model Evropskega centra za srednjeročne vremenske napovedi (ECMWF).

V vseh primerih smo uporabili napovedi z začetnimi pogoji ob 18 UTC (univerzalni koordinirani čas), razen za AL04DA, katerega napoved se začne ob 00 UTC. Napovedi padavin so dostopne za vsako uro. Merjene vrednosti padavin so predstavljale meritve na 68 samodejnih meteoroloških postajah (SMP) iz merilne mreže ARSO. SMP podatke smo kritično pregledali in jih v primeru dvomljivih vrednosti subjektivno smiselno ovrednotili.

Vrednotenje smo naredili za mesec oktober 2011, kar je prekratek časovni niz za statistično pomembne zaključke. Zato se bomo v tem članku omejili na dva padavinska dogodka, prvega od 6. do 7. oktobra 2011 in drugega od 19. do 21. oktobra 2011.

1. Domena je območje, nad katerim se računa vremenska napoved v treh dimenzijah.

Metodologija

Analizirali smo razlike med modelskimi napovedmi padavin in izmerjenimi vrednostmi. Modeli izračunajo rezultate v točkah mreže. Točka mreže ali modelska točka predstavlja v naravi običajno pravokotnik s stranicama, ki predstavljata horizontalno ločljivost modela. Lokacija merilne postaje je tako točka nekje na pravokotniku. Tako torej izmerjeno točkovno

pravilno napove maksimum in obliko padavinskega pasu, vendar ga prikaže na drugem območju, kot je v resnici bil. Tako se napaka poveča na mestu, kjer ni padavin, model pa jih je napovedal in na mestu, kjer padavine so, pa jih model ni napovedal. Pri modelih z nižjo ločljivostjo so maksimumi manjši in padavinski pasovi bolj razmazani, tako da je napaka manjša kakor v prvem primeru. To je tudi glavna težava vrednotenja po točkah. Za potrebe priprave

Preglednica 1. Kratek opis modelov.

	WRF03AL	WRF03GFS	AL04DA	AL09AR	AL09EC
horizontalna ločljivost	3,35 km	3,7 km	4,4 km	9,5 km	9,5 km
število vertikalnih nivojev	42	42	43	43	43
robni pogoji	AL09AR	GFS	ARPEGE	ARPEGE	ECMWF
začetni pogoji	AL09AR	GFS	asimilacija	ARPEGE	ECMWF
število točk	181x145	181x145	439x421	258x244	258x244

vrednost primerjamo s ploskovno vrednostjo, ki jo je model izračunal za modelsko točko, na kateri se nahaja lokacija merilne postaje. Zaradi tega smo se odločili, da za modelsko napoved padavin vzamemo povprečje napovedi štirih modelskih točk, ki ležijo najbližje modelski točki, na kateri se nahaja postaja. Smiselnost odločitve smo preverili s primerjavo izračunov različnih povprečij: štirih, osmih in ene same, torej vrednosti v točki, na kateri se nahaja merilna postaja. Ugotovili smo, da razlike v skupni količini padavin v večini primerov niso problematične, težava je le na lokacijah, ki se nahajajo na razgibanem površju (slika 1).

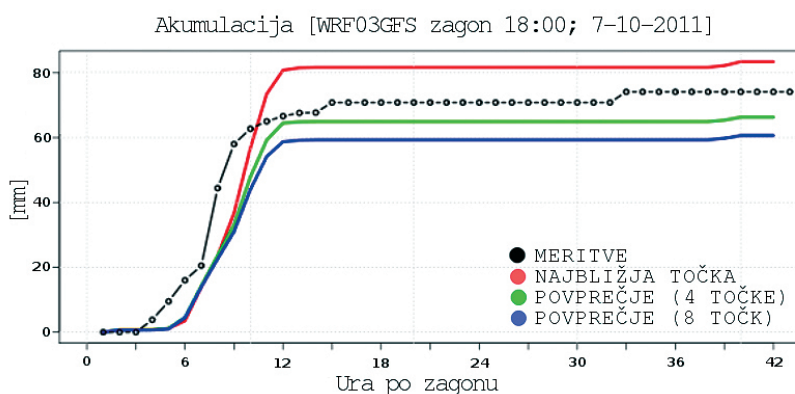
S povprečenjem smo se deloma izognili tudi dvojni napaki (ang. double penalty), ki nastane pri modelih z visoko horizontalno ločljivostjo. Model namreč lahko

vremenske napovedi za določeno širšo območje nas najprej zanima, kolikšen bo maksimum in kakšne bodo skupne padavine v nekem časovnem obdobju, manj pa je pomembna natančna prostorska porazdelitev padavin.

Padavine v vremenski situaciji 6. in 7. oktobra 2011

Opis sinoptične situacije

V dneh od 1. do 6. oktobra 2011 so bili naši kraji v območju visokega zračnega pritiska, v višinah pa je pritekal suh in zelo toplel zrak. V dneh do 5. oktobra je bil nad severno Evropo višinski greben s toplim



Slika 1. Izmerjena skupna količina padavin padavinskega dogodka 6.-7.10.2011 na SMP Rudno Polje z nadmorsko višino 1347m (črna) in modelski rezultati za WRF03GFS, ki so dobljeni iz povprečja štirih (zelena), osmih (modra) in najbližje modelske točke (rdeča).

zrakom, v noči na 5. oktober pa je del severne Evrope zajelo ciklonsko območje, ki se je pomikalo proti našim krajem. Veter se je v višinah obrnil v zahodno do jugozahodno smer. Z obratom vetra je v višinah k nam začel dotekati vlažen zrak. 7. oktobra dopoldne je Slovenijo dosegla izrazita hladna fronta in prinesla padavine z močno ohladitvijo. Nad severnim Jadranom se je zgradilo območje nizkega zračnega tlaka. Ciklonalna cirkulacija nad Jadranom je povzročila, da so padavine vztrajale dalj časa; trajalo je približno en dan, da se je padavinski pas umaknil iznad Slovenije. Proti večeru 7. oktobra se je začelo jasneti.

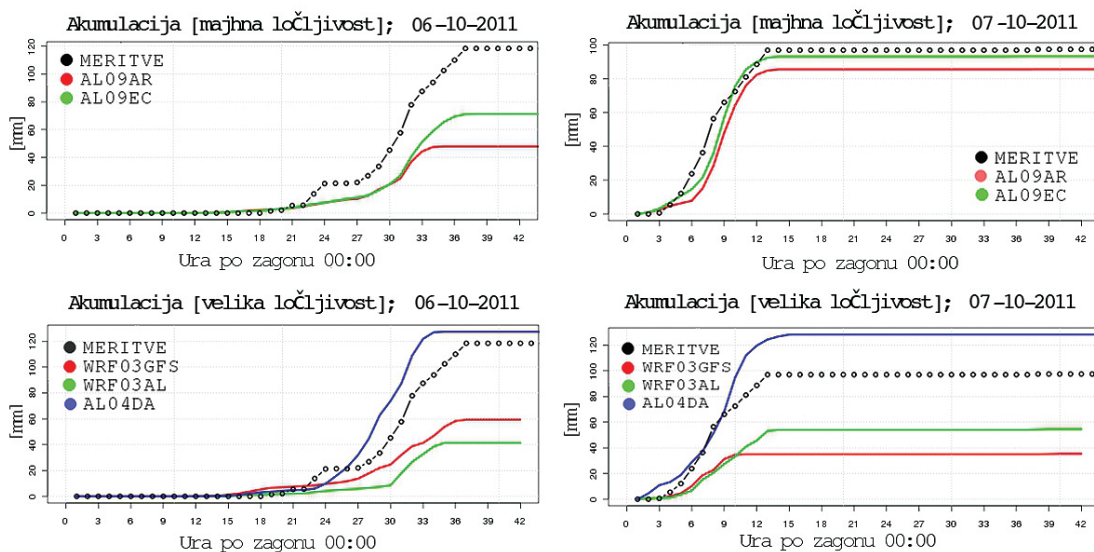
Izmerjene padavine

Globalni modeli so že nekaj dni pred dogodkom napovedovali prehod intenzivne hladne fronte, ohladitev ozračja in prekinitev niza izredno toplih dni. Že 6. oktobra so se na severozahodu in v Gorskem Kotarju zaradi dotekanja vlažnega zraka od zahoda in jugozahoda in ohlajanja v višinah začele pojavljati orografske padavine. Do jutra 7. oktobra je na SMP Bovec padlo približno 80 mm padavin. 7. oktobra zjutraj je fronta dosegla severno mejo države in frontalne padavine so zajele tudi ostale kraje. Ob fronti so se predvsem na Primorskem pojavljale tudi nevihte z močnejšimi nalivi. Kasneje so se padavine umirile, nato pa je sledil še drugi maksimum v intenziteti padavin, ki pa je bil manj izrazit. Opazen je bil samo deloma v osrednji in vzhodni polovici države. Padavinski dogodek lahko razdelimo na pet faz: orografske padavine, intenzivne predfrontalne padavine (prvi maksimum), padavine po prehodu fronte, drugi padavinski maksimum povezan s ciklonom nad Jadranom in pojevanje padavin.

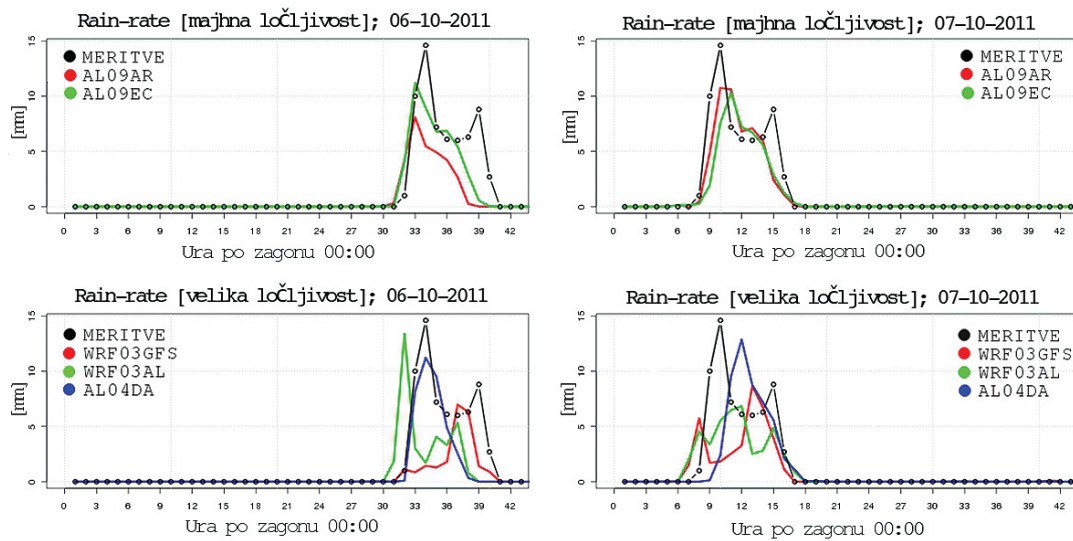
Vrednotenje modelskih napovedi padavin

Začetek orografskih padavin so napovedali vsi modeli, a je bila pri vseh predvidena jakost padavin precej nižja od izmerjenih. Tudi predfrontalne padavine so slabo napovedali vsi modeli, kar je povezano z dejstvom, da so bile padavine v prvi fazi omejene na relativno majhno območje. Najboljše rezultate je dal model AL04DA, ki je padavine v prvi fazi napovedal, vendar za nekaj ur pozneje, kar je za SMP Bovec razvidno iz slike 2. Prvi vrh v intenziteti padavin ob fronti so zaznali vsi modeli, pri čemer so predvsem modeli z višjo ločljivostjo prehod fronte napovedali nekoliko pozneje, kot je dejansko bil. Vsi modeli so napovedali bistveno hitrejšo pojevanje padavin, kot je bilo izmerjeno. V jugozahodnem delu Slovenije je bil prehod fronte bolj izrazit: intenziteta padavin je bila na začetku večja zaradi neviht, kasneje pa so padavine hitro ponehale. Vse verzije modela ALADIN so napovedale podoben scenarij, le časovno sta bolj natančno napoved dala modela z manjšo ločljivostjo. Značilno za obe konfiguraciji modela WRF je, da intenziteta padavin zelo niha, kar je prikazano na sliki 3 na primeru SMP Ljubljana. Iz slike se vidi, da sta modela ob prehodu fronte napovedovala precej manj intenzivne padavine, kot je bilo izmerjeno.

Slika 4 prikazuje relativno razliko med napovedano in izmerjeno količino padavin za celoten padavinski dogodek za vse SMP. Vsi modeli so napovedali premajhno količino padavin za vzhodno polovico države, bolje so napovedali količino padavin za zahodno Slovenijo. Na obali in na Notranjskem pa so odstopanja nekoliko večja. Skupno količino padavin sta najbolje napovedala modela ALADIN z nižjo ločljivostjo, malo slabše

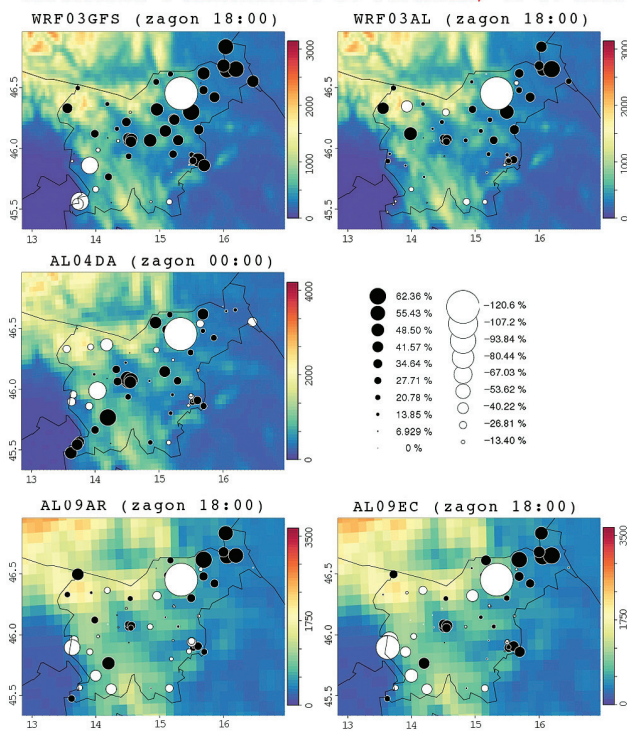


Slika 2. Količina padavin za SMP Bovec za padavinski dogodek 6.-7.10.2011. Levo: primerjava rezultatov modela z meritvami za napoved, ki je bila narejena 6.10., 18 ur pred dogodkom. Desno: primerjava za napoved 7.10., ko so se padavine že pričele. Zgoraj: primerjava rezultatov modelov v nižji ločljivosti (AL09AR – rdeča in AL09EC – zelena) z meritvami (črna). Spodaj: primerjava rezultatov modelov v višji ločljivosti (WRF03GFS – rdeča, WRF03AL – zelena in AL04DA – modra) z meritvami (črna).



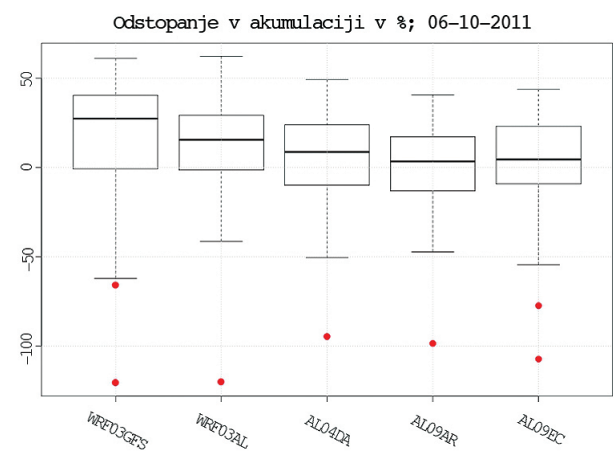
Slika 3. Primerjava eno-urne intenzitete padavin za SMP Ljubljana z modelskimi napovedmi za padavinski dogodek 6.-7.10.2011. Levo: napovedi, narejene 6.10., 31 ur pred dogodkom. Desno: napovedi, narejene 7.10., 7 ur pred dogodkom.

ODSTOPANJE V AKUMULACIJI PO POSTAJAH; 06-10-2011



Slika 4. Relativna razlika med izmerjeno in napovedano količino padavin (odklon) za padavinski dogodek 6.-7.10.2011 za 68 AMP po Sloveniji za različne modele. Zgoraj: rezultati modela WRF; levo: WRF03GFS, desno: WRF03AL. Sredina levo: AL04DA. Spodaj: rezultati modelov ALADIN z 9.5 km ločljivostjo; levo: AL09AR, desno: AL09EC. Odkloni na posamezni postaji so prikazani s krogi; večji krog pomeni večjo razliko. Kot ozadje je dodana modelska orografija. Opozoriti velja, da je na postaji na Rogli do tako velikih odklonov najverjetneje prišlo zaradi napačno izmerjenih padavin ob sneženju.

modela AL04DA in WRF03AL, precej slabše pa model WRF03GFS. Zanimivo je tudi posebej primerjati oba modela ALADIN z nižjo ločljivostjo, saj se modela razlikujeta le v začetnih in stranskih robnih pogojih. V tem primeru so razlike relativno majhne, zato lahko sklepamo, da razlike v začetnih in stranskih robnih pogojih niso bistveno vplivale na napovedi padavin. Primerjava osnovnih statističnih količin je prikazana z okvirjem z ročaji na sliki 5. V povprečju vsi modeli napovedo preveč padavin, mediana je najbližje povprečju pri AL09AR, potem si sledijo AL09EC, AL04DA, WRF03AL in WRF03GFS, kjer mediana odstopa okoli 30%. Najmanjši razpon odstopanj ima AL09AR, sledijo mu AL04DA, WRF03AL in AL09EC,



Slika 5. Okvir z ročaji za relativno razliko med napovedano in izmerjeno količino padavin za padavinski dogodek 6.-7.10.2011 za 68 SMP po Sloveniji za različne modele. Od leve proti desni: WRF03GFS, WRF03AL, AL04DA, AL09AR, AL09EC. Ročaja definirata pogojni minimum oz. maksimum: vrednosti, ki od prvega oz. tretjega kvartila odstopata za manj kot 1.5-kratnik kvartilnega razmaka.

največji razpon pa se pojavi pri WRF03GFS. Odstopanja so glede na mediano enakomerno porazdeljena pri ALO9AR in WRF03AL, pri ostalih pa so odstopanja neenakomerno razpršena, še posebej pri WRF03GFS. Najboljše je obravnavani padavinski dogodek po teh analizah napovedal ALO9AR, ker je mediana najbližje povprečju, razpon odstopanj najmanjši in razpršenost odstopanj enakomerna, najslabše pa WRF03GFS zaradi velikega odstopanja mediane in neenakomerne razpršenosti.

Padavine v vremenski situaciji od 19. do 21. oktobra 2011

Opis sinoptične situacije

Prostorska porazdelitev tlaka na morskem nivoju v vremenski situaciji 19. do 21. oktobra je bila precej podobna situaciji od 6. do 7. oktobra 2011. Nad severno Evropo je bilo območje nizkega zračnega tlaka, nad južnim Sredozemljem in zahodnim Atlantikom je prevladoval anticiklon in toplo vreme. Po prehodu fronte čez Alpe je nad Genovskim zalivom nastal sekundarni ciklon, ki je upočasnil prehod padavin in je vplival na vremensko dogajanje v Sloveniji predvsem v nižjih slojih troposfere. Z vzhodnimi vetrovi je v nižjih zračnih plasteh nad Slovenijo pritekal hladen zrak, medtem ko je v višinah še pihal vlažen jugozahodni veter. Gradient tlaka čez Alpe je bil manjši kakor pri prvem padavinskem dogodku. Intenziteta dogodka je bila manjša kot v situaciji 6. in 7. oktobra. Porazdelitev polja geopotenciala na 500 hPa ploskvi je bila nad Slovenijo in okolico v obeh primerih identična. Osnovna razlika je bila v intenziteti višinskega grebena nad zahodnim Atlantikom, ki je bil pri prvem padavinskem dogodku bolj intenziven in bližje našim krajem, kar je

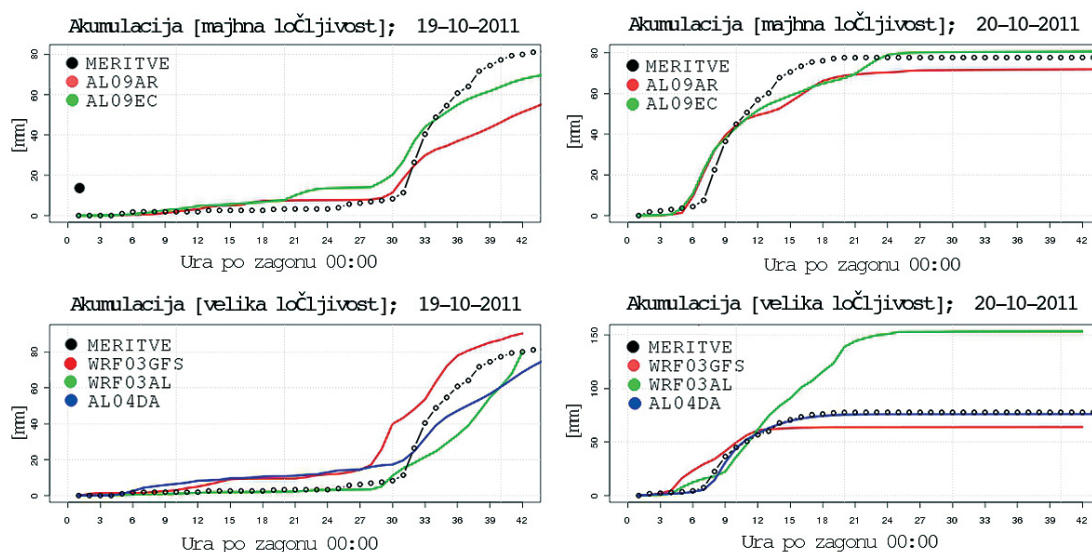
pomenilo močnejši jugozahodni tok nad Slovenijo.

Vrednotenje modelskih napovedi padavin

Vsi modeli so slabše napovedali količino padavin kakor pri prvem padavinskem dogodku. Med razlogi za skupno slabšo napoved sta pomembna dolgotrajnost dogodka in fizikalni procesi, povezani s sneženjem. Najbolje je intenziteto padavin napovedal model ALO4DA, najslabše pa WRF03AL, pri katerem je padavinski dogodek trajal predolgo, zato je napovedana količina padavin v večini Slovenije, še posebej pa na Notranjskem, prevelika, kar je razvidno iz slik 6 in 7.

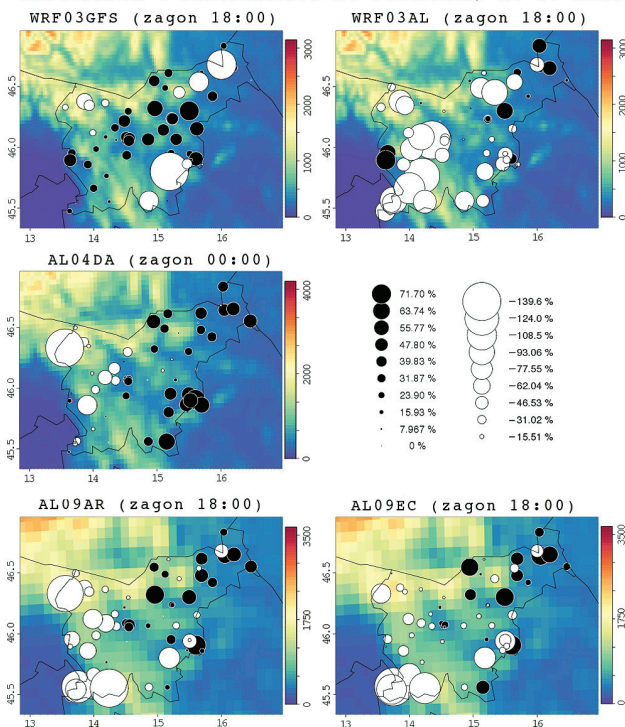
Iz slike 7 vidimo, da so napake v povprečju večje kot pri prvem padavinskem dogodku. Modela ALADIN z 9.5 km ločljivostjo imata, tako kot pri prvem padavinskem dogodku, majhne razlike v napovedi količine padavin, v zahodni Sloveniji napove preveliko količino, v vzhodni pa premajhno. Podobno velja tudi za ALO4DA. Modela WRF sta si zelo različna, model WRF03AL napove za skoraj celotno Slovenijo večjo količino padavin od dejanske, medtem ko različica WRF03GFS v povprečju napove premalo padavin. Najslabše skupno količino padavin v tej primerjavi napove WRF03AL.

Z analizo osnovnih statističnih parametrov (slika 8) vidimo, da za obravnavani padavinski dogodek model ALO9AR v povprečju napove pravilno količino padavin, malo premalo padavin napove ALO9EC, še manj pa WRF03AL. Malo preveč padavin napove ALO4DA, še malo več pa WRF03GFS. Vsi modeli imajo podoben razpon odstopanj, odstopanja so enakomerno porazdeljena le pri WRF03AL. Glede na to, da je mediana najbližja povprečju, ima najboljše rezultate ALO9AR.



Slika 6. Količina padavin za AMP Postojna za padavinski dogodek 19.-21.10.2011. Levo: napovedi, narejene 19.10.2011, 4 ure pred dogodkom. Desno: napovedi, narejene 20.11.2011, ko se je dogodek že začel.

ODSTOPANJE V AKUMULACIJI PO POSTAJAH; 20-10-2011



Slika 7. Kot slika 4, le za padavinski dogodek 19.-21.10.2011.

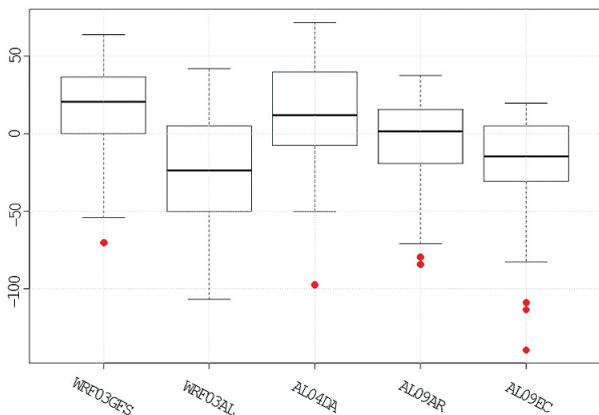
(AL09AR). Ta rezultat je seveda lahko povsem naključen. Med tremi modeli z višjo ločljivostjo (okoli 4 km) so bili rezultati najboljši za model ALADIN v ločljivosti 4.4 km (AL04DA). Dve različni konfiguraciji modela WRF sta pokazali različne rezultate pri dveh situacijah.

Osnovni namen opravljenega dela je bilo učenje, in to je doseženo. Rezultat je nekoliko drugačen pristop k vrednotenju napovedi padavin, ki se lahko še naprej razvija in uporablja. Pri nadaljnjem razvoju metodologije se lahko dodatno raziskuje način povprečenja po modelskih točkah z upoštevanjem ločljivosti modela. Za kvalitetnejšo analizo, ki bi omogočala sklepanje tehtnejših zaključkov o kvaliteti napovedi padavin nad Slovenijo, bi bilo potrebno izvesti študijo na daljšem nizu podatkov. Posebej zanimiva bi bila primerjava modelov z višjo in nižjo ločljivostjo za primere konvektivnih padavin, predvsem v poletnem času.

Zahvala

Za pripravo rezultatov simulacij modelov ALADIN in podatkov o meritvah SMP se zahvaljujemo mag. Nevi Pristov in Mihi Demšarju z Agencije Republike Slovenije za okolje.

Odstopanje v akumulaciji v %; 20-10-2011



Slika 8. Okvir z ročaji za relativno razliko med napovedano in izmerjeno količino padavin za padavinski dogodek 19.-21.10.2011 za 68 AMP po Sloveniji za različne modele.

Razprava in zaključki

Primerjava modelskih napovedi padavin z meritvami samodejnih meteoroloških postaj je pokazala, da je v predstavljenih vremenskih situacijah napoved padavin varirala glede na uporabljeni model, začetne in stranske robne pogoje in horizontalno ločljivost. V dveh situacijah je skupno količino padavin najbolje napovedal model ALADIN z nižjo ločljivostjo 9.5 km, pri čemer so bili rezultati boljši z modelsko različico, ki robne pogoje dobi iz globalnega modela ARPEGE

Viri

Goeber M., Wilson C.: *Why, when a model resolution is improved, do the forecasts often verify worse?* Medmrežje: http://cawcr.gov.au/bmrc/wefor/staff/eee/verif/Goeber_Wilson/Double_penalty_combined.html (14.2.2012).

Jolliffe I.T., Stephenson D.B. *Forecast Verification A Practitioner's Guide In Atmospheric Science.* Wiley, 2003.

Poročila o izrednih dogodkih: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/natural-hazards/>. Medmrežje (14.2.2012).

Strajnar B.: *Verifikacija napovedi količine padavin.* Seminar, 2006.

The Centre for Australian Weather and Climate Research - *Forecast Verification Issues, Methods and FAQ.* Medmrežje: <http://www.cawcr.gov.au/projects/verification/> (14.2.2012).

Wilks D. S. *Statistical methods in the atmospheric sciences, 3rd edition.* Academic Press, 2011.

WMO: *Forecast Verification Research Mission.* Medmrežje: http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/Forecast_Verification.html (14.2.2012).

WRF Users Page. Medmrežje: <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/> (14.2.2012)

Numerično modeliranje morja v Jadranu

Matjaž Ličer, Martin Vodopivec, Morska biološka postaja
Maja Jeromec, Jure Jerman, Agencija Republike Slovenije za okolje

Uvod

Slovenija je edina Jadranska država brez specializirane službe, ki bi se ukvarjala z dinamiko morja in ozračja nad morjem in v priobalnem pasu. Nedavne nesreče ladij v severnem Jadranu, kopica izjemnih vremenskih situacij z močnim vetrom in valovanjem ter posegi v morsko okolje z nepredvidljivimi posledicami, kot je predvidena izgradnja plinskih terminalov, nas opozarjajo, da sta morje in ozračje nad njim pomemben del našega prostora. Spremljanje, opozarjanje in napovedovanje stanja morja in ozračja pa zahteva celovit in sistematičen pristop.

Modeliranje morja v Jadranu je zato smiselno iz mnogih razlogov. Poznavanje stanja morja je v prvi vrsti pomembno za obalne prebivalce, za katere je obveščeno o tem, da bo morje močno vzvalovano ali da bo poplavelo nižje dele obale, pogosto pomembno, saj ima lahko nepripravljenost na razmere tako varnostne kot finančne posledice.

Drugi vidik modeliranja morja je ekološki. Slovensko morje je plitvo in relativno zaprto ter zaradi tega precej občutljivo na vremenske spremembe in morebitna onesnaženja. Z naraščajočim ladijskim prometom se veča tudi možnost neljubih dogodkov, kot so ladijske nesreče in izlivi snovi, ki onesnažujejo morje. Hkrati določeni meteorološki pogoji, kot na primer močan južni veter ali izrazito nizek zračni tlak, zaradi plitkosti povzročajo izrazito naraščanje in upadanje gladine morja. Z ustreznimi modeli, s katerimi lahko pravočasno predvidimo dogajanje na morju, lahko zmanjšamo ali omilimo posledice izjemnih hidroloških in meteoroloških dogodkov ter izrednih ekoloških dogodkov tako za ljudi kot za okolje.

Na stanje morja so vezane tudi različne turistične in gospodarske dejavnosti, še zlasti Luka Koper. Ta pri določanju vplutij in izplutij največjih tankerjev zanaša na napoved plimovanja. Ko je februarja 2010 pred Luko Koper nasedla kitajska tovorna ladja, so morali pri načrtovanju reševalne akcije upoštevati napoved plimovanja in čakati na najbližjo visoko vodo. Za napovedovanje stanja morja in izdajo opozoril ob pričakovanih izjemnih dogodkih sta trenutno zadolžena oddelka za hidrološke in meteorološke napovedi na ARSO. Za opozarjanje na izjemne dogodke ter pri

vsakdanjem delu so operativni modeli odločilnega pomena.

Poleg naštetega si brez poznavanja fizikalnih razmer v morju in na morski površini tudi ne moremo predstavljati konsistentne napovedi vremena drugje po Sloveniji. Geografsko področje, ki ga zajema računska domena meteorološkega modela Aladin/Sl, ki ga ARSO uporablja za napovedovanje vremena, sega od srednje Evrope globoko nad Sredozemsko morje. Če ne poznamo stanja osnovnih spremenljivk morske površine, kot so temperatura vode, višina vodne gladine, tokovi v morju, valovanje ipd., smo prisiljeni v to, da robne pogoje nad morsko površino za model Aladin/Sl ocenimo ali pa uporabimo klimatološke oziroma statistične vrednosti. Če napoved temperature morske površine izboljšamo za 1 stopinjo Celzija, se kakovost napovedi količine padavin nad celino zaradi boljše simulacije konvekcije poveča za okoli 10 odstotkov. Dobro poznavanje površinske temperature Jadranskega morja je zato pomembno tudi pri ocenjevanju tveganj za poplave in hudourniške dogodke po celotni Sloveniji, še zlasti v zahodni.

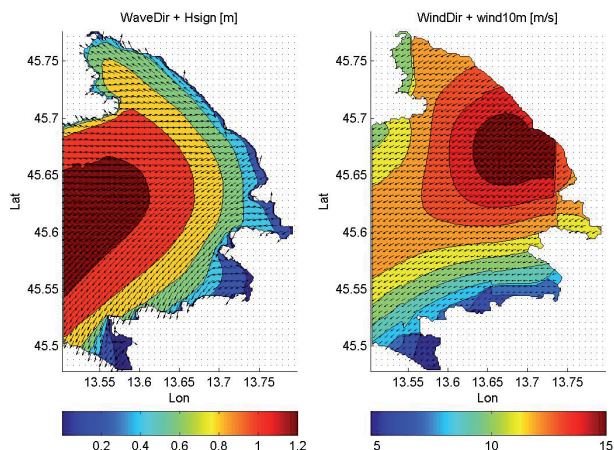
Numerični modeli na ARSO

ARSO pri vzpostavitvi verige modelov za napovedovanje stanja morja sodeluje z Morsko biološko postajo v Piranu, ki je del Nacionalnega inštituta za biologijo (odslej MBP) in s Katedro za mehaniko tekočin Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (odslej FGG UL). Namen sodelovanja je vzpostavitev dvosmerno sklopljene verige modelov, ki vključuje valovni model SWAN, oceanski model POM, model razlitja polutantov NAFTA in meteorološki model Aladin/Sl. Na kratko si oglejmo omenjene numerične modele za napovedovanje stanja morja

Model SWAN

Model SWAN (Surface Wave ANalysis – analiza površinskih valov) je dvodimenzionalni valovni model, ki omogoča izračun značilne višine in smeri valovnega vektorja valov v računski domeni modela. Vhodna podatka modela sta tokovanje na površini in vetrovno polje, ki jih zagotavlja meteorološki model Aladin/Sl.

Rezultate valovnega modela potrebujemo za ustrezno obravnavo turbulentne mejne plasti tako v ozračju kot v morju. Model, postavljen na ARSO, omogoča napovedovanje značilne smeri ter značilne višine valovanja na računski domeni severnega Jadrana, pa tudi na področju celotnega Jadranskega morja.



Slika 1. Produkti valovnega modela SWAN, ki omogoča napovedovanje značilne smeri in višine valovanja v Tržaškem zalivu. Na sliki sta prikazani značilna višina in smer valovanja (levo) ter smer in hitrost vetra (desno).

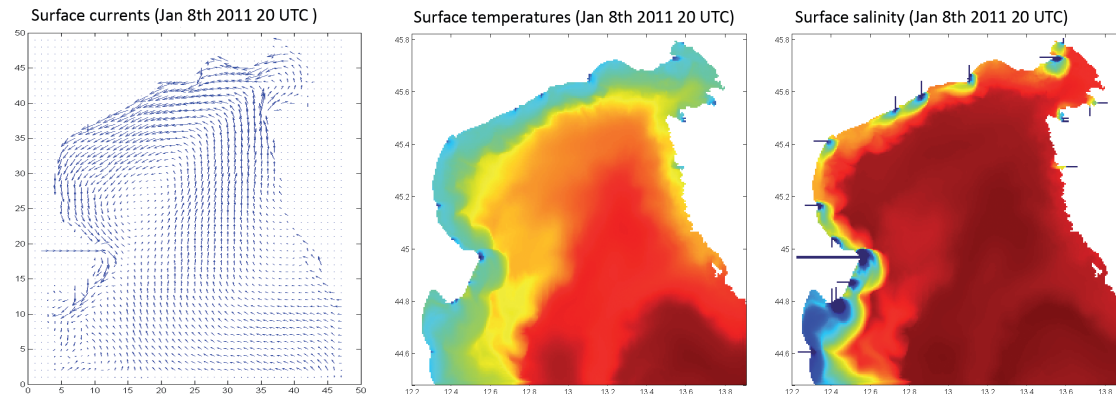
Sklopitev modela z modelom Aladin/SI in oceanskim modelom POM bo omogočila boljše napovedi vetra pri tleh in boljši opis pretoka toplote in gibalne količine v mejni plasti. Produkte modela SWAN predstavljamo na sliki 1.

Model POM/NAPOM

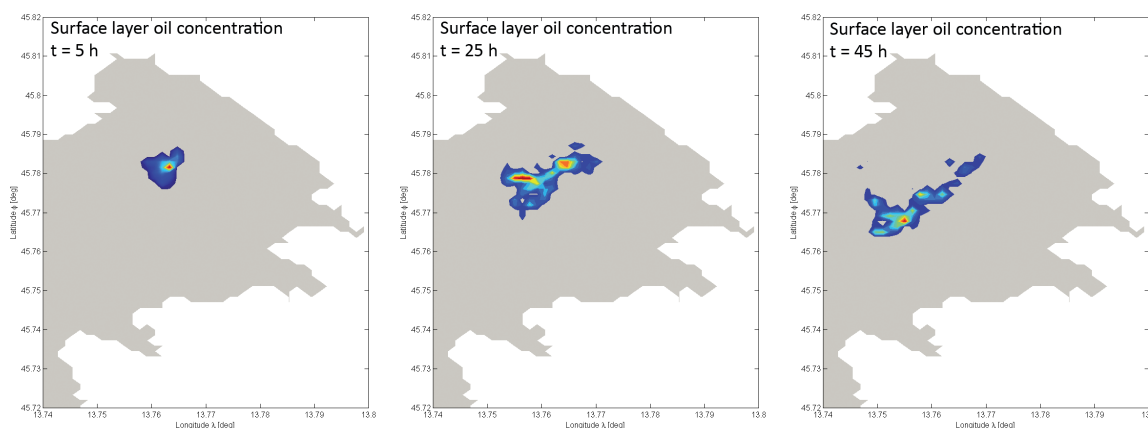
Model POM (Princeton Ocean Model – model oceana s Princetona) je tridimenzionalni oceanski model za izračun tokovanja, plimovanja ter advekcije in disperzije temperature in slanosti. Trenutno na ARSO operativno teče oceanski model NAPOM, razvit v sodelovanju z MBP. Računska domena tega modela zajema področje severnega Jadrana, izhodni modelski izdelki in produkti pa so tridimenzionalno polje hitrosti, temperature, slanosti in gostote ter dvodimenzionalno polje odklona višine morske gladine na računski domeni. Nekaj rezultatov modela NAPOM je predstavljenih na sliki 2.

Model NAFTA

Na FGG UL, ARSO in MBP je bil za simulacijo razlitja nafte in podobnih goriv razvit model NAFTA, ki na podlagi hidrodinamike modela NAPOM prek metode sle-



Slika 2. Nekateri produkti modela NAPOM: polje površinske hitrosti (levo), površinske temperature (sredina) in površinske slanosti morja (desno).

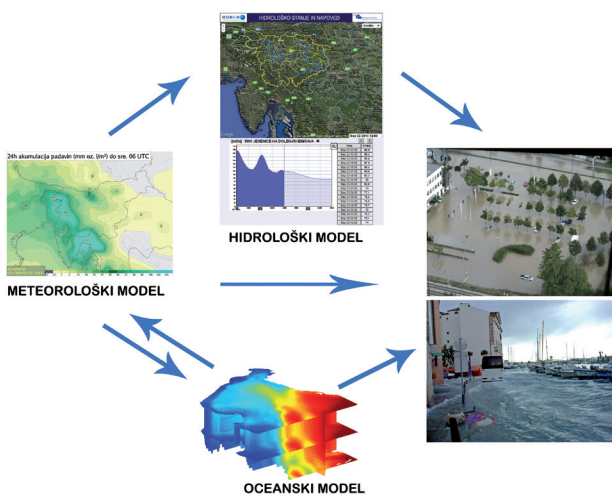


Slika 3. Rezultati simulacije razlitja nafte z modelom NAFTA. Slike prikazujejo koncentracijo nafte v površinskem sloju 5, 25 in 45 ur po razlitju.

denja delcev (ang. particle tracking) omogoča izračun disperzije in advekcije naftnega madeža in nekaterih biogeokemijskih sprememb razlitega ogljikovodika. Model NAFTA poganjamo občasno – kadar pride do izlitja ogljikovodikov ali kadar obstaja nevarnost izlitja (na primer, če nasede ladja ali na njej izbruhne požar). Za uspešen zagon potrebujemo samodejno pripravljene začetne pogoje, hidrodinamiko iz modela NAPOM ter vetrovno polje iz modela Aladin/SI. Na sliki 3 prikazujemo rezultate simulacije razlitja nafte v Tržaškem zalivu ob zmernem jugozahodnem vetru.

Rezultati simulacije modela NAFTA so še zlasti pomembni v prvih urah po razlitju, ko je potrebno pravočasno organizirati reševalno akcijo in so zato kakovostne napovedi dinamike naftnega madeža pomemben dejavnik pri načrtovanju intervencije služb Civilne zaščite.

Sklopljena atmosfersko-oceanografska veriga modelov pomeni, da se bodo podatki o stanju površja morja v oceanografskem in valovnem modelu ter najnižjega sloja meteorološkega modela izmenjevali med modeli v posameznih korakih integracije. Večinoma izmenjava informacij poteka samo enosmerno, to je v smeri ozračje–ocean. Mi pa želimo izboljšati opis stanja morja tudi v meteorološkem modelu in klimatološke vrednosti nadomestiti z izhodom oceanografskega in valovnega modela. Od natančnejšega opisa stanja morja v meteorološkem modelu si ometamo izboljšano napoved spremenljivk ozračja kot so veter, vlažnost zraka in posledično tudi padavine. Prav te spremenljivke pa so pomembne (ali niso zares pomembne samo padavine?) vhod v hidrološke modele za napovedovanje pretokov rek. Z medsebojnim sklapljanjem modelov bomo torej zagotovili natančnejši opis pojavov na stiku morja in ozračja in izboljšano napoved najbolj pomembnih spremenljivk.



Slika 4. Dvosmerno sklopljena oceansko-meteorološko-hidrološka veriga modelov vodi do natančnejših izračunov stanja morja in ozračja ter do boljše napovedi hidroloških spremenljivk v Sloveniji

Zaključek

Končni cilj verige modelov je zagotavljanje boljše podpore vsem uporabnikom, ki potrebujejo informacije o stanju morja ter vodotokov po Sloveniji (glej sliko 4).

Eden od dolgoročnih ciljev ARSO je vzpostavitev Službe za morsko meteorologijo in oceanografijo, ki bo zagotavljala pomembne informacije in napovedi stanja morja in ozračja nad morjem. Vzpostavitev take službe pa ni mogoča brez ustreznih modelov za analizo in napovedovanje stanja morja in ozračja. Ker ARSO pokriva tako področje oceanografije kot meteorologije, na področju numeričnega modeliranja ozračja pa ima dolgo tradicijo in ustrezno infrastrukturo, se kot logična možnost ponuja izdelava sklopljene atmosferske-oceanografske verige modelov. Sklopljena veriga modelov bo omogočila natančnejše napovedi stanja morja, ozračja in vodnatosti rek, vodila v globlje razumevanje geofizikalnih procesov in omogočila učinkovitejšo in zanesljivejšo podporo službam, ki so ob izrednih dogodkih najbolj izpostavljene.

Viri

ŽAGAR, Dušan, LIČER, Matjaž, MALAČIČ, Vlado. Modeliranje razlitja nafte v morskem okolju = Oil spill modelling in marine environment. V: EBERLINC, Matjaž (ur.), ŠIROK, Brane (ur.). Kuhljevi dnevi, 22. september 2011, Mengeš. Zbornik del. Ljubljana: SDM - Slovensko društvo za mehaniko, 2011, str. 283-290

JERMAN, Jure, JEROMEL, Maja, LIČER, Matjaž, ŽAGAR, Dušan. Application of an artificial neural network model for analysis of the extreme tide events in the Gulf of Trieste in early December 2008 : Case Study. Geophys. res. abstr. (Online), 2009

LIČER, Matjaž, ŽAGAR, Dušan, ČETINA, Matjaž, RAMŠAK, Vanja. Simulacija razlitja ogljikovodikov v Tržaškem zalivu ob tipičnih vetrovnih situacijah z modelom PCFLOW3D - Naf-ta2 : poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem, 2009

BOGUNOVIČ, Branko, MALAČIČ, Vlado. Circulation in the Gulf of Trieste: Measurements and model results. Nuovo cimento Soc. ital. fis., C Geophys. space phys., 2008, issue 3, vol. 31, str. 301-326.

JEROMEL, Maja, MALAČIČ, Vlado, RAKOVEC, Jože. Weibull distribution of bora and sirocco winds in the northern Adriatic sea. Geofizika (Zagreb), 2009, vol. 26, no. 1, str. 85-100

MALAČIČ, Vlado, PETELIN, Boris. Climate circulation in the Gulf of Trieste (northern Adriatic). J. geophys. res., 2009, vol. 114, c07002, str. 1-15

MARKOŠEK, Janez. High resolution NWP model in operational use in Slovenia, <http://www.euroforecaster.org/latest-news/slovenia.pdf> (11.1.2012)

Podnebne novice

Gregor Vertačnik, Agencija Republike Slovenije za okolje

Povzetek

V obdobju od februarja do decembra 2011 smo v Sloveniji zabeležili nekaj izjemnih vremenskih dogodkov, zlasti nenavadno topla obdobja, dve oktobrski sneženji in silovito marčevsko burjo. Tudi po svetu vreme ni skoparilo z ekstremi, zlasti velja to za ZDA. Toliko uničevalnih ujm v enem letu v tej državi ne pomnijo, zvrstile pa so se tako poplave, suše kot tudi vročinski rekordi in tornadi. Največjo škodo pa so povzročile jesenske poplave na Tajskem. V prispevku so opisani še nekateri ostali izstopajoči vremenski in podnebni ekstremi v obdobju od februarja do decembra 2011.

Vremenske in podnebne posebnosti v Sloveniji

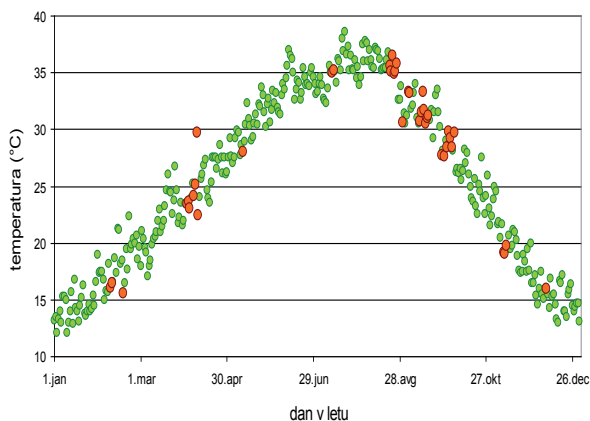
Januar in februar sta minila brez vremenskih ujm, še najbolj – če sploh – si ju bomo zapomnili po pomanjkanju snega. Zato pa smo že prva dneva meteorološke pomladi občutili moč zimske burje. Nad Sredozemljem se je takrat raztezal ciklon, nad srednjo Evropo pa mogočen anticiklon. Zaradi velike tlačne razlike je marsikje na Jadranu in v zaledju divjala močna burja. Na Primorskem je spominjala na marčevsko leto prej. V sunkih je preseгла 100 km/h, na merilnih mestih DARS-a celo prek 150 km/h. Najvišja hitrost, 212 km/h, je bila izmerjena na viaduktu Lozice, povprečna polurna hitrost vetra pa je dosegla 108 km/h.

Dober mesec dni kasneje nas je presenetilo že prvo krajše obdobje poletnega vremena. V zelo topli in suhi zračni masi je bilo najtopleje 7., na Primorskem pa 9. aprila. V Biljah se je živo srebro povzpelo do novega

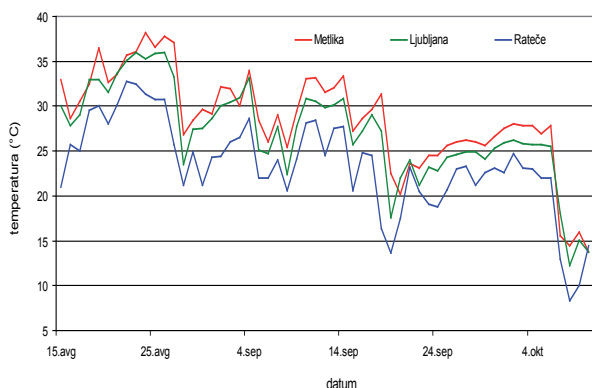
aprilskega rekorda, 29,7 °C; enako velja za Postojno s 26,1 °C in Rateče s 25,6 °C. Omenjene vrednosti so glede na letni čas zares izjemne, tudi za 5 °C višje od doslej najvišje zabeležene temperature v začetku aprila (slika 1). Prva dekada aprila je bila skoraj povsod najtoplejša od začetka meritev.

Poletna neurja so bila glede na prejšnja leta redkejša. Izpostaviti pa velja katastrofalno neurje s točo v poznih popoldanskih urah 11. julija na Kozjanskem in v Obsotelju. V vročem dnevu so ob približevanju hladne fronte s severa nastajale nevihte in ena od teh je med 18. in 19. uro zajela omenjeno območje. Tla je pobelilo nekaj cm različno velikih zrn toče, zapihal je tudi zelo močan veter.

Sence v letu 2011 nismo najbolj iskali julija ali prvo polovico avgusta, temveč šele ob koncu avgusta. Vroči dnevi so se nato zavlekli še globoko v september (slika 2). Na Kredarici so 22. avgusta z 19,6 °C dosegli nov avgustovski rekord in tretjo najvišjo vrednost na sploh od l. 1955 dalje. Zato pa so v Novi vasi na Blokah s 34,1 °C istega dne izenačili postajni rekord. V Ljubljani se je dan kasneje ogrelo kar do 36,0 °C, v Metliki pa smo 24. avgusta namerili 38,2 °C. Pod 1000 m nadmorske višine se je praviloma vsaj enkrat ogrelo nad 30 °C – celo na Vojskem nad Idrijo, 1070 m visoko, so namerili 30,5 °C. Po krajši prekinitvi je septembra še dvakrat pritisnila vročina, še posebej četrtega v mesecu. V Ljubljani in Celju je bil s 33,2 °C znatno presežen obstoječi septembrski rekord in tudi številne druge meteorološke postaje so podirale rekorde. V Postojni se je ogrelo do 31,2 °C, v Babnem Polju do 30,5 °C in na Lisci nad Sevnico do 27,0 °C. Sledila je blaga osvežitev, nato je bilo ponekod spet znatno prek 30 °C. Dne 14. septembra so v Metliki namerili kar 33,4 °C, nekaj postaj pa je vroč dan beležilo še 18. septembra. Zaradi izjemne vročine je bil september marsikje najtoplejši od začetka meritev.



Slika 1. Časovni potek najvišje dnevne temperature zraka v obdobju meritev (1962–2011) na meteorološki postaji Bilje pri Novi Gorici. V letu 2011 dosežene rekordne vrednosti – teh je kar 40 – so obarvane rdeče. Najbolj izstopa 9. april, saj je nekaj stopinj Celzija nad rekordom v sosednjih dneh (Vir podatkov: Meteorološki arhiv Agencije RS za okolje).



Slika 2. Časovni potek najvišje dnevne temperature zraka od 15. avgusta do 10. oktobra 2011 na meteoroloških postajah Metlika (rdeče), Ljubljana (zeleno) in Rateče (modro) (Vir podatkov: Meteorološki arhiv Agencije RS za okolje).

Zelo toplo vreme nas je razvajalo še v začetku oktobra, v Biljah se je večkrat ogrelo nad 29 °C! Rekordno toplo je bilo tudi v Postojni (25,9 °C) in Ratečah (24,7 °C). Sedmega dne v mesecu se je poletje vendarle dokončno poslovilo, saj se je od severa zelo močno ohladilo. Od 6. oktobra popoldne se je v 24 urah po nižinah ohladilo za 17 °C do 20 °C. Ponekod tako močne ohladike v 24-urnem časovnem intervalu še nismo zabeležili. Meja sneženja se je ob obilnih padavinah ponekod spustila celo do nižin, nekoliko višje pa je zima pošteno pokazala zobe. V Mrzli Rupi na Idrijskem, 930 m nad morjem, je zapadlo 20 cm snega. Trinajst dni kasneje nas je znova prešla izrazita hladna fronta in lokalno spet prinesle snežinke do nižin. Naslednje jutro so rekordno višino snežne odeje v oktobru med drugim namerili na Vojskem nad Idrijo (38 cm) in na Črnem Vrhu nad Idrijo (23 cm). Na postajah z zelo dolgim nizom meritev rekordov nismo beležili, saj je v daljni preteklosti že oktobra lahko pritisnila prava zima. Ob koncu tega meseca leta 1905 je bilo sneženje v večjem delu Slovenije izdatno, marsikje na Notranjskem in Gorenjskem ga je namedlo več kot pol metra.

Za zaključek opisa vremenskih posebnosti v naših krajih potegnimo še črto čez minulo leto. V visokogorju je bilo verjetno najtoplejše v več kot sto letih, po nižinah pa med najtoplejšimi. Na Kredarici je povprečna temperatura zraka prvič doslej preseгла ledišče, znašala je 0,2 °C. Nasprotno od leta prej je tokrat padavin občutno primanjkovalo, še najbolj na jugozahodu. V Ljubljani smo prvič po letu 1949 beležili manj kot 1000 mm padavin – padlo je zgolj 998 mm oziroma 73 % povprečja obdobja 1981–2010. Še večjega primanjkljaja, 36 %, je bil deležen Portorož s pičilimi 614 mm padavin. Na vzhodu je bil odklon manjši, marsikje je bilo leto 2003 še bolj sušno. Leto je bilo prav tako revno s snegom. Vsota novozapadlega snega je v Ljubljani nanesla zgolj 12 cm, sedmino običajne vrednosti in najmanjšo vrednost po letu 1989 dalje, ko sta zapadla le 2 cm snega. V Novem mestu je lani

vsega skupaj namedlo 22 cm, v Celju 14 cm in v Murški Soboti 7 cm snega. Tudi v visokogorju je manjkalo beline, 666 cm novega snega na Kredarici je pravo nasprotje triletju pred tem, ko je vsako leto zapadlo 12–13 metrov snega. Zato pa se nismo mogli pritoževati nad sončnim vremenom, saj ga je bilo v večjem delu države prek 2000 ur. Najdaljše trajanje, 2729 ur, smo beležili v Portorožu. To je celo nekoliko več kakor v letu vročine – 2003. K temu je najbolj pripomogel maj, ko je sonce sijalo kar 356 ur.

Viri:

Meteorološki arhiv Agencije RS za okolje
 Radarski arhiv Agencije RS za okolje
 Spletna poročila ARSO o izrednih vremenskih dogodkih:
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/natural-hazards/>
 Direkcija za avtoceste Republike Slovenije

Vremenske in podnebne posebnosti v svetu

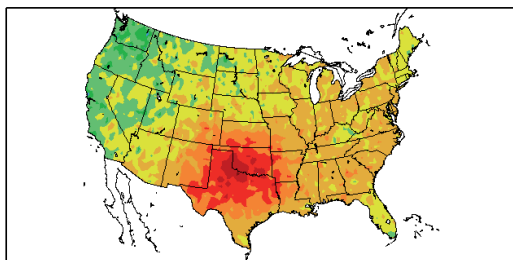
Temperaturni ekstremi

Kot vsako leto so številni predeli po svetu izkusili nenavadno topla ali hladna obdobja. Med prvimi prav gotovo izstopa izjemna poletna vročina v južnem delu ZDA. V zveznih državah Teksas, Oklahoma, Nova Mehika in Louisiana so beležili najtoplejše poletje doslej (slika 3). Tudi marsikje drugod po ZDA so bili minulo leto vsaj za krajši čas deležni hude vročine, rekordi so padali kot za stavo. V Teksasu in Oklahomi je povprečna temperatura dosegla kar 30,4 °C oziroma 30,3 °C. To lahko prevedemo v pozitivni odklon 3–4 °C glede na zadnja desetletja. Nazadnje je bila poletna vročina podobno neusmiljena davnega leta 1936. V Fort Smithu v Teksasu in Little Rocku v Arkansasu so 3. avgusta namerili 46 °C, v Tulsi v Oklahomi pa se dan prej ni ohladilo pod 31 °C. V Shreveportu v Louisiani je povprečna poletna temperatura dosegla kar 33,1 °C. V teksaškem kraju Wichita Falls so v sto dneh namerili vsaj 100 °F (37,8 °C)! Zaradi vročine je v Teksasu in Oklahomi umrlo 66 ljudi.

Na Novi Zelandiji je zima krepko zamujala, saj je bil maj najtoplejši, junij pa tretji najtoplejši doslej. Prevladovali so severni in severovzhodni vetrovi, ki so dovajali toplejši subtropski zrak. Temperaturni odklon glede na referenčno obdobje 1971–2000 je v maju dosegel 2,2 °C in v juniju 1,5 °C. V začetku maja je bilo ponekod še poletno toplo, v Hokitiki na zahodni obali Južnega otoka so izmerili rekordnih 26,7 °C.

Ponekod v osrednji Evropi je bilo leto 2011 najtoplejše od začetka meritev. V Švici je odklon glede na obdobje 1961–1990 dosegel 2,0 °C, malenkost več od doslej rekordnega leta 1994 (slika 4). Tudi visokogorska območja Avstrije in Slovenije se lahko pohvalijo z najtoplejšim letom doslej. V Nemčiji kot celoti je bilo opisano leto med petimi najtoplejšimi v obdobju 1881–2011.

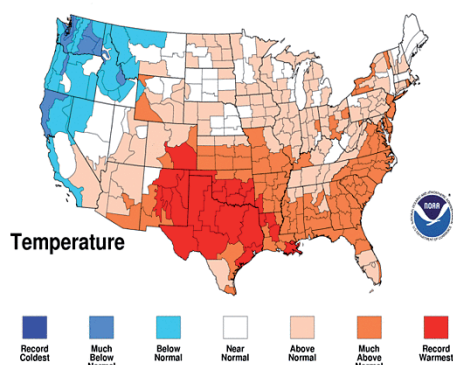
Departure from Normal Temperature (F)
6/1/2011 – 8/31/2011



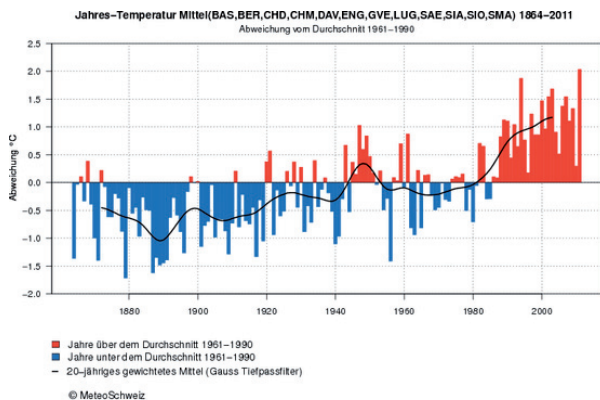
Generated 9/1/2011 at HPRCC using provisional data. Regional Climate Centers

Jun - Aug 2011

National Climatic Data Center/NESDIS/NOAA



Slika 3. Odklon povprečne temperature zraka v ZDA poleti 2011 (zgoraj) in rang temperature po podnebnih območjih (spodaj) (Vir: NOAA/National Climatic Data Center, <http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/maps.php>).



Slika 4. Odklon v povprečni letni temperaturi zraka v Švici v obdobju 1864–2011 glede na obdobje 1961–1990 (Vir: Meteoschweiz, http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_heute/trends_schweiz.html).

Viri:

NOAA National Climatic Data Center, State of the Climate: National Overview for August 2011, na spletu objavljeno septembra 2011, uporabljeno 9. januarja 2012 (<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/national/2011/8>)
<http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/time-series/index.php?parameter=tmp&month=8&year=2011&filter=3&state=41&div=0>
<http://www.wunderground.com/blog/weatherhistorian/article.html?entrynum=33>

<http://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/cmb/images/us/2011/aug/August-2011-climate-records.pdf>
<http://www.srh.noaa.gov/ewx/?n=100degreedays.htm>
<http://blog.metservice.com/2011/12/2011-the-weather-in-review/>
<http://www.niwa.co.nz/climate/summaries/monthly/climate-summary-for-may-2011>
<http://www.niwa.co.nz/climate/summaries/monthly/climate-summary-for-june-2011>
 MeteoSchweiz, 2011. Klimabulletin Jahr 2011. Zürich, dosegljivo na spletu: http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_heute/jahresflash/bulletin2011.Par.0001.DownloadFile.tmp/klimabulletinjahr2011.pdf
http://www.zamg.ac.at/aktuell/index.php?seite=1&artikel=ZAMG_2011-12-23GMT12:19
http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_menu2_presse&T98029gsbDocumentPath=Content%2FPresse%2FPressemitteilungen%2F2011%2F20111229_DeutschlandwetterJahr_2011_news.html

Poplave

Med poplavami je v letu 2011 verjetno največ medijske pozornosti pritegnila velika pomladanska povodenj na Misisipiju in Ohio. Močnemu taljenju snega na severu osrednje ZDA in obilnim padavinam v zgornjem povodju Misisipija je ob koncu aprila sledil velik poplavni val, ki se je počasi širil proti jugu. Rekordno moker april v povodju reke Ohio je za nameček botroval še njenemu rekordnemu dvigu. V Kentuckyju je povprečno padlo kar 300 mm, kar je daleč največ v več kot stoletni zgodovini meritev in 180 % nad povprečjem obdobja 1981–2010. V okoliških zveznih državah so namerili okoli 200 mm padavin. Zato ne preseneča, da je bila ob sotočju obeh velikih rek in naprej proti jugu majska povodenj izredno obsežna. Inženirska enota ameriške vojske (US Army Corps of Engineers) je za zaščito mesta Cairo razstrelila nasip pri kraju Birds Point v Misuriju. Kasneje je odprla še jez Morganza in s tem obvarovala urbanizirana območja Baton Rouge-a in New Orleansa. Poplave so na srečo terjale le eno smrtno žrtev, a povzročile gmotno škodo v višini petih milijard ameriških dolarjev.

Opisane poplave pa v preteklem letu niso ostale osamljen primer v ZDA. Že junija so se s presežkom vode ubadali v porečju Misurija in Sourisa; slednji je dosegel rekordni vodostaj od l. 1881 dalje. Poplave so sledile taljenju obilne snežne odeje v goratih predelih severa in obilnim majskim padavinam v porečju omenjenih rek. Naslednje večje poplave so Američane doletele konec avgusta in v začetku septembra. Najprej je 27. avgusta vzhodno obalo, v Severni Karolini, od juga dosegel orkan Irene. Nato je vzdolž obale potoval proti severu in za seboj pustil velikansko razdejanje, saj je še v New Jersey-ju divjal z orkansko močjo. Štirim zveznim državam je zapustil tudi najbolj namočen avgust. V Filadelfiji so s 491 mm povsem potolkli prejšnji mesečni rekord – 332 mm septembra 1999. Dne 4. septembra je Louisiana dosegel tropski

ciklon Lee, ki se je nato usmeril proti severovzhodu. Številne postaje so javljale več kot 250 mm padavin, kar je bistveno pripomoglo k rekordnemu septembrskemu izkupičku padavin v enajstih zveznih državah. Pensilvanija je povprečno beležila 247 mm padavin – 140 % nad povprečjem obdobja 1981–2010.

Še precej hujše od ameriških so bile jesenske poplave na Tajskem. Kombinacija obilnega monsunskega deževja in tropskih ciklonov se je pričela že v juniju, jeseni pa so nastopile izjemno obsežne poplave. Od januarja do oktobra je na državi ravni povprečno padlo dobrih 1800 mm padavin oziroma 28 % nad dolgotnim povprečjem. V deževni dobi od maja do oktobra je presežek na severu države dosegel 20–60 %, na jugu nekoliko manj. Poplavljenega je bilo kar 60.000 km² ozemlja. Povodenj je močno prizadela številne kraje, kmetijstvo in industrijo ter za seboj pustila tudi 600 trupel. Nad 100 mrtvih so zaradi poplav naštel tudi v sosednjih državah Mjanmar, Vietnam in Kambodža. Svetovna banka je zgolj na Tajskem nastalo škodo ocenila na kar 45 milijard ameriških dolarjev, kar opisano poplavo na svetovni lestvici »najdražjih« naravnih ujm uvršča na četrto mesto.

Tudi na evropskih tleh je bilo nekaj omembe vrednih poplav. V oktobru in novembru so severozahodno Italijo, zlasti Ligurijo, prizadele hudourniške poplave. Dne 25. oktobra se je v Brugnato, blizu La Spezie, v eni uri zlilo 153, v šestih urah pa kar 472 litrov dežja na kvadratni meter. V poplavah je umrlo vsaj 9 ljudi. Že 4. novembra je v Liguriji znova divjalo dolgotrajno nevihtno neurje. V nekaj urah je padlo več sto mm dežja, kar je povzročilo hudourniške poplave, v katerih je umrlo vsaj 7 ljudi. V Vicomorassu so namerili kar 181 mm dežja v eni uri in 337 mm v treh urah. Silovito deževje je prizadelo tudi druge italijanske dežele.

Viri:

NOAA National Climatic Data Center, *State of the Climate: National Overview for April 2011*, objavljeno na spletu maja 2011, uporabljeno 9. januarja 2012 (<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/national/2011/4>)

NOAA National Climatic Data Center, *State of the Climate: Global Hazards for May 2011*, objavljeno na spletu junija 2011, uporabljeno 9. januarja 2012 (<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/hazards/2011/5>)

NOAA National Climatic Data Center, *State of the Climate: Global Hazards for November* objavljeno na spletu decembra 2011, uporabljeno 9. januarja 2012 (<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/hazards/2011/11>)

<http://www.wunderground.com/blog/JeffMasters/comment.html?entrynum=1981>

http://en.wikipedia.org/wiki/2011_Thailand_floods

http://www.tmd.go.th/en/event/flood_in_2011.pdf

[http://www.arpal.gov.it/contenuti_statici//pubblicazioni/rapporti_eventi/2011/REM_20111025_alluvione_spezzi-no_\(versione_19122011\).pdf](http://www.arpal.gov.it/contenuti_statici//pubblicazioni/rapporti_eventi/2011/REM_20111025_alluvione_spezzi-no_(versione_19122011).pdf)

[http://www.arpal.gov.it/contenuti_statici//pubblicazioni/rapporti_eventi/2011/REM_20111104_alluvione_geno-va_\(versione_19122011\).pdf](http://www.arpal.gov.it/contenuti_statici//pubblicazioni/rapporti_eventi/2011/REM_20111104_alluvione_geno-va_(versione_19122011).pdf)

Suše

Medtem ko se je osrednji del ZDA utapljal v obilici padavin, je zlasti Teksas, Oklahomo, Novo Mehiko in sosednje predele Mehike pestila dolgotrajna in rekordna suša. V prvih treh mesecih je zmerna do močna suša že zajela posamezna območja na jugu ZDA, a šele z aprilom je situacija postala kritična. Izjemno suh april v Teksasu in bližnji okolici je ponekod že dvignil stopnjo suše na izjemno visoko. V naslednjih tednih se je območje močne do izjemne suše še razširilo in doseglo višek od konca junija do začetka oktobra; takrat je več kot 10 % celinskih ZDA trpelo izjemno hudo sušo. Od oktobra 2010 do septembra 2011 je na območju Teksasa povprečno padlo zgolj 280 mm padavin, kar je najmanj od l. 1896 dalje in le 40 % običajne letne vrednosti. Poleg suše je divjalo še nekaj večjih požarov. Največji med njimi, Wallow v Arizoni je od konca maja do začetka julija požgal 2200 km² površine. Nekaj več dežja in nižje temperature so proti koncu leta sušo omilile. Skupno je suša povzročila za več kot pet milijard dolarjev škode.

Dolgotrajna suša je zlasti poleti močno prizadela tudi države Afriškega roga – Somalijo, Etiopijo, Eritrejo, Kenijo in Džibuti. Veliko pomanjkanje dežja v deževnih dobah od oktobra do decembra in od spomladi je sprožilo eno najhujših suš zadnjih desetletij. Posledično je pomanjkanje hrane trpelo okoli 10 milijonov ljudi.

Precejšen del Evrope je v meteorološki jeseni prejel bistveno manj padavin kakor običajno. Zlasti na severu in zahodu Balkana, na Slovaškem, Poljskem, v Ukrajini, delu Belorusije, Finske in Švedske je padla kvečjemu polovica običajnih padavin. V Avstriji je bil november najbolj suh vsaj od leta 1858 dalje, padlo je zgolj 2 % pričakovane višine padavin; podobno je bilo v Nemčiji, ki je povprečno prejela le dobre 3 % običajnih padavin. Le redka območja v Evropi so prejela več kot 200 mm moče v treh mesecih. Zaradi dolgotrajnega primanjkljaja padavin je Donava v Srbiji decembra padla na rekordno nizko raven, v Bolgariji pa je vodostaj dosegel rekord zadnjih 70 let. Marsikje od Nemčije do Bolgarije je bil ladijski promet znatno okrnjen.

Viri:

NOAA National Climatic Data Center, *State of the Climate: National Overview for April 2011*, objavljeno na spletu maja 2011, uporabljeno 9. januarja 2012 (<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/national/2011/4>)

NOAA National Climatic Data Center, *State of the Climate: Global Hazards for June 2011*, objavljeno na spletu julija 2011, uporabljeno 9. januarja 2012 (<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/hazards/2011/6>)

NOAA National Climatic Data Center, *State of the Climate: Global Hazards for July 2011*, objavljeno na spletu avgusta 2011, uporabljeno 9. januarja 2012 (<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/hazards/2011/7>)

NOAA National Climatic Data Center, *State of the Climate:*

*Global Hazards for December 2011, objavljeno na spletu januarja 2012, uporabljeno 9. januarja 2012 (<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/hazards/2011/12>)
http://droughtmonitor.unl.edu/DM_tables.htm?archive
<http://www.wunderground.com/blog/JeffMasters/comment.html?entrynum=1981>
<http://www.reuters.com/article/2011/06/28/us-africa-drought-idUSTRE75R2JQ20110628>
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/monitoring_and_data/restworld.shtml
http://www.zamg.ac.at/klima/klima_monat/wetterueckblick/
http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_klima_umwelt*

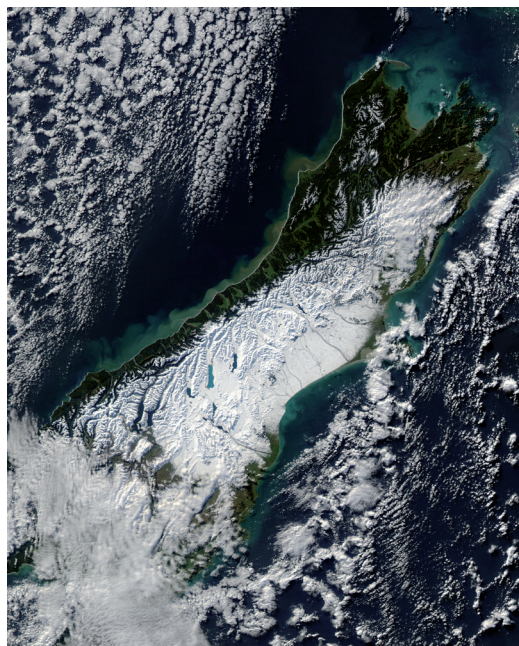
Snežna neurja

Silovito snežno neurje je v prvih treh februarjskih dneh prizadelo osrednji in severovzhodni del ZDA ter južno Kanado. Marsikje, na primer v Chicagu, je zapadlo od 50 do 70 cm snega. V predelih doline reke Ohio in Velikih jezer je močno žledilo, led je dosegel debelino do 2,5 cm. Neurje je spremljal močan veter, v Chicagu so sunki dosegli 113 km/h. Sneženje je močno ohromilo promet. Drugega februarja je zaradi neurja brez električne energije ostalo 375.000 gospodinjstev. Že 8. in 9. v mesecu je nov snežni metež prizadel osrednji del ZDA, zlasti Oklahomo, Kansas in Arkansas. Za nameček se je v jasni noči po neurju v Nowati ohladilo do $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$, najhladneje doslej v Oklahomi.

Med 11. in 14. februarjem je vzhod Južne Koreje zajelo izjemno obilno sneženje. V mestu Samcheok, 37 ° severno od ekvatorja, je zapadel meter snega, v 24 urah pa so v nekem drugem kraju namerili 80 cm novozapadlega snega – morebiti nov južnokorejski rekord. Sneg je povzročil veliko težav v prometu in povzročil za štiri milijone ameriških dolarjev škode na zasebni lastnini.

V juliju je neobičajno obilno sneženje dvakrat zajelo Čile. Hladna fronta je sedmega v mesecu na severu države, v puščavi Atakama, prinesla obilno pošiljko snega, do 80 cm v višino. Eno najbolj suhih območij na Zemlji tolikšnih padavin ni vajeno, podobno zasneženo je bilo nazadnje pred dvema desetletjema. Sredi meseca je snega nasulo na osrednjem vzhodu države, v mestecu Longquimay na 800 m nadmorske višine ga je zapadlo skoraj 3 metre.

Še bolj nenavadno pa je bilo avgustovsko snežno neurje na Novi Zelandiji (slika 5). Sredi meseca je to otoško državo od juga zajela mrzla antarktična zračna masa. V Aucklandu je snežilo prvič po letu 1939 in 15. avgusta se je ogrelo le do $8,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, kar je najnižji dnevni maksimum doslej. Snežno neurje s povratno dobo 50 let je zasnežilo tudi mesti Wellington in Christchurch. Tisoči domov so ostali brez električne energije, zaprte so bile številne šole, visoki valovi so onemogočali trajektno povezavo med največjima otokoma.



Slika 5. Satelitska slika zasnežene Nove Zelandije 13. junija 2011 (Vir: NASA Earth Observatory (<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=6657>)).

Viri:

NOAA National Climatic Data Center, State of the Climate: Global Hazards for February 2011, objavljeno na spletu marca 2011, uporabljeno 12. januarja 2011 (<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/hazards/2011/2>)

NOAA National Climatic Data Center, State of the Climate: Global Hazards for July 2011, objavljeno na spletu avgusta 2011, uporabljeno 12. januarja 2011 (<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/hazards/2011/7>)

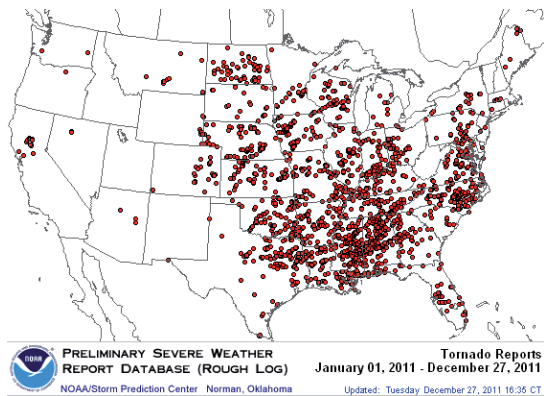
NOAA National Climatic Data Center, State of the Climate: Global Hazards for August 2011, objavljeno na spletu septembra 2011, uporabljeno 12. januarja 2011 (<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/hazards/2011/8>)

Nevihтна in vetrna neurja

Leto 2011 bo Američanom ostalo v spominu tudi po številnih in uničujočih tornadi, ki so terjali visok smrtni davek in ogromno gmotno škodo. V vsem letu so zabeležili okoli 1700 tornadov, ki so skupaj terjali 553 življenj (slika 6).

Sezona tornadov se je v ZDA začela zmerno, april pa je postregel z doslej največjim številom tornadov v enem mesecu. Po dokaj burnem maju je tornadna aktivnost padla pod običajno vrednost. V aprilu so se vremenske situacije s številnimi tornadi kar vrstile, izstopata pa predvsem obdobji od 14. do 16. aprila z okoli 155 zabeleženimi vrtinci in od 25. do 28. aprila z okoli 305 tornadi.

Nekaj posameznih tornadov je povzročilo gromozansko razdejanje. V osrednji Alabami je 27. aprila tornado stopnje EF-4 močno prizadel mesti Tuscaloosa

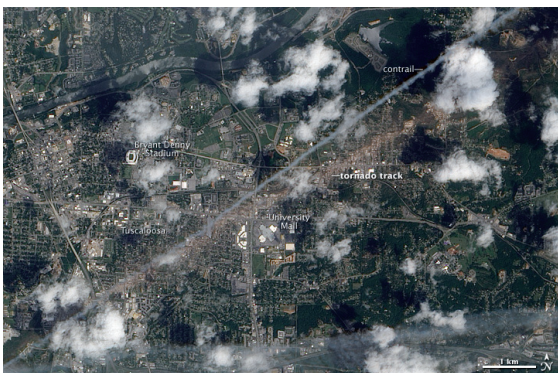


Slika 6. Karta opaženih tornadov v letu 2011 v ZDA (Vir: NOAA/Storm Prediction Center (http://spc.noaa.gov/climo/online/monthly/2011_annual_map_torn.gif).

in Birmingham (slika 7). Hitrost vetra je dosegla 300 km/h, pas opustošenja pa do dobrih dveh kilometrov širine. Umrlo je 65 ljudi. Dne 22. maja je mesto Joplin v Misuriju zadela še večja tragedija. Tornado stopnje EF-5 z vetrom do 320 km/h je na svoji 10 km dolgi in 1 km široki povzročil veliko razdejanje. Ob prečkanju močno poseljenega južnega dela prej omenjenega mesta je terjal kar 160 življenj in povzročil za eno do tri milijarde dolarjev škode. Tako smrtonosnega tornada ZDA v zadnjih desetletjih ne pomnijo.

Za konec prispevka o vremenskih ujmah se ustavimo še pri nekaterih zanimivih ciklonih leta 2011. Super tajfun Nanmadol je konec avgusta v severozahodnem Pacifiku dosegel hitrost vetra do 250 km/h, njegova moč pa je ob prihodu na severne Filipine na srečo znatno padla. Materialne škode in žrtev ni bilo posebej veliko. Dne 28. avgusta je dosegel Tajvan z močjo orkana prve stopnje in v kraju Bruwan spustil 528 mm dežja. Čez dva dni je kot tropski vihar pometal še po kitajski obali.

Tajfun Talas je v začetku septembra zaradi svojega počasnega gibanja in obilnega dežja precej prizadel zahodno Japonsko; umrlo je vsaj 59 ljudi, škoda pa je dosegla nekaj sto milijonov ameriških dolarjev.



Slika 7. Sled opustošenja za tornadom 27. aprila 2011 v Tuscaloosi (Vir: NASA Earth Observatory <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=50434>).

Sredi meseca je orkan Katia zavil proti Evropi, kjer je po preobrazbi v ciklon zmernih širil trčil v Britansko otočje. Marsikje tako močnega vetra z orkansimi sunki po orkanu Lili I. 1996 še niso namerili.

Med vsemi viharji je največ smrtnih žrtev v letu 2011 terjal tropski vihar Washi. Dne 16. decembra je dosegel južni filipinski otok Mindanao, kjer tropskih viharjev niso vajeni. Močno deževje je sprožilo uničujoče plazove, ki so pod sabo pokopali več kot 1200 ljudi. K visokemu davku so prispevali tudi pretirana sečnja, neprimerna gradnja in nezadostna ozaveščenost domačinov pred pretečo ujmo.

Decembra sta Evropo prečkala dva močna ciklona. Od 15. do 17. decembra se je prvi, Joachim, pomikal prek Britanskega otočja, Beneluksa, Nemčije in Poljske ter nazadnje v Baltskem morju oslabel. Sunki vetra so na alpskih vrhovih dosegli do 175 km/h, marsikje po nižinah pa prek 100 km/h. Najmočnejši sunek, s hitrostjo 212 km/h, so namerili na vrhu 1465 m visokega Puy de Dome v osrednji Franciji. Na višku moči, v Nemčiji, je središčni pritisk, preračunan na morskem nivo, padel na 964 hPa. Vihar na srečo ni zahteval smrtnih žrtev.

Na božični dan je vihar Dagmar prizadel Norveško, Švedsko in Finsko. Na Norveškem je veter dosegel povprečno hitrost do 161 km/h, sunki pa celo do 233 km/h. Približno četrto milijona prebivalcev je ostalo brez električne energije v viharju, ki je bil najhujši po Janiki v novembru 2001.

Viri

NOAA National Climatic Data Center, State of the Climate: Tornadoes for April 2011, objavljeno na spletu maja 2011, uporabljeno 9. januarja 2012 (<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/tornadoes/2011/4>)

NOAA National Climatic Data Center, State of the Climate: Global Hazards for August 2011, objavljeno na spletu septembra 2011, uporabljeno 9. januarja 2012 (<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/hazards/2011/8>)

NOAA National Climatic Data Center, State of the Climate: Global Hazards for September 2011, objavljeno na spletu oktobra 2011, uporabljeno 9. januarja 2012 (<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/hazards/2011/9>)

NOAA National Climatic Data Center, State of the Climate: Global Hazards for December 2011, objavljeno na spletu januarja 2012, uporabljeno 9. januarja 2012 (<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/hazards/2011/12>)

http://spc.noaa.gov/climo/online/monthly/2011_annual_summary.html#

<http://www.spc.noaa.gov/climo/online/monthly/newm.html#latestmts>

<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsfaxsem.html>
MeteoSchweiz, 2011. Klimabulletin Dezember 2011. Zürich. Dosegljivo na spletu: http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_heute/monatsflash/bulletin201112.Par.0001.DownloadFile.tmp/klimabulletindezember2011.pdf

http://en.wikipedia.org/wiki/2011_Joplin_tornado

http://en.wikipedia.org/wiki/Cyclone_Joachim

Zasedanje COP17/CMP7 v Durbanu

Andrej Kranjc, Služba vlade Republike Slovenije za podnebne spremembe

Uvod

17. zasedanje Konference pogodbenic Okvirne konvencije ZN o spremembi podnebja in 7. zasedanje Konference pogodbenic Kyotskega protokola (COP17/CMP7) je potekalo od 28. novembra do 9. decembra 2011 v Durbanu, Južnoafriška republika. Najbolj udarni temi zasedanja sta bili: drugo ciljno obdobje Kyotskega protokola in bodoči globalni sporazum o spoprijemanju s podnebnimi spremembami, ki naj bi vključeval vse države. Sprejetje drugega ciljnega obdobja z obveznostmi zmanjšanja emisij razvitih držav je bila glavna zahteva držav v razvoju, za konkreten dogovor o globalnem sporazumu pa so se zavemale predvsem razvite države. Na dnevnem redu so bile seveda tudi druge teme, med njimi Zeleni podnebni sklad za pomoč državam v razvoju, razvoj in prenos čistejših tehnologij, financiranje projektov prilagajanja na podnebne spremembe v državah v razvoju in druge. Na zasedanju sta bila prisotna tudi predsednik IPCC Rajendra Pachauri in generalni sekretar Svetovne meteorološke organizacije Michel Jarraud. Sodelovala sta na več zelo dobro obiskanih dogodkih.

Potek zasedanja

Zasedanje je odprla predsednica predhodnega zasedanja (COP16/CMP6), ki je bilo decembra 2010 v mehiškem Cancunu, ministrica za zunanje zadeve Mehike Patricia Espinosa. Po izvolitvi za predsednico COP17/CMP7 je vodenje prevzela ministrica za zunanje zadeve Južne Afrike Maite Nkoana-Mashabane.

V drugem tednu zasedanja, ko so prispeli ministri, sta predsednica Nkoana-Mashabane in ambasadorka Mxakato Diseko vodili t.i. »indaba« posvetovanja, po vzoru tradicionalnih javnih posvetovanj ljudstva Zulu. Ozračje v konferenčnem centru je bilo v pričakovanju odločitev vse bolj napeto. Še v soboto zvečer je bilo dogajanje nepredvidljivo in rezultat popolnoma negotov. Mnogi so napovedovali neuspeh. Zaključna pogajanja na politični ravni med glavnimi igralci, tudi v okviru procesa indaba, so še kazala na očiten razkol. Evropska unija (EU) je vztrajala pri dogovoru o časovnici za pripravo globalnega pravno zavezujočega sporazuma. Nekatere velike države, npr. Kitajska in Indija, so sicer pristajale na nova pogajanja, ne pa na to, da bi bil cilj teh pogajanj doseči pravno zavezujoče obveznosti za vse.

Med zaključnima zasedanjema delovnih teles za Kyotski protokol (AWG-KP) in za dolgoročno sodelovanje v

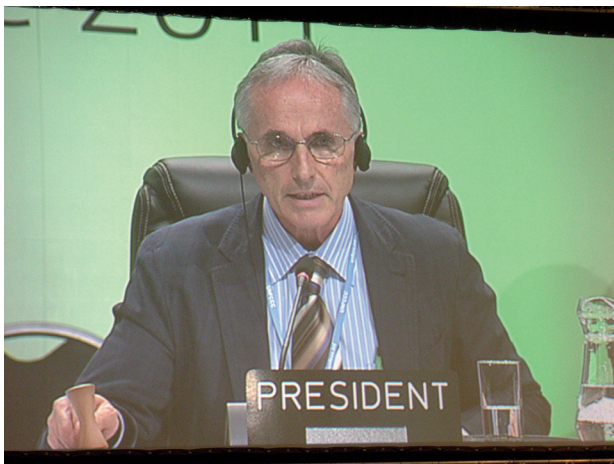
okviru konvencije (AWG-LCA) je bilo slišati zelo hude kritike nekaterih držav v razvoju, da so teksti neustrezni in za njih nesprejemljivi. Na skupnem plenarnem zasedanju, ki je sledilo, pa sta bila dokumenta obeh skupin, tako po kyotskem kot po konvencijskem tiru, na presenečenje mnogih sprejeta. Najbolj srdito in najdlje je protestirala indijska ministrica, in sicer proti zahtevi EU, da se iz teksta LCA umakne presplošen opis želenega rezultata (»legal outcome«) za načrtovani celovit globalni sporazum. Po nekaj intervencijah EU in drugih držav je predsednica Mashabane prekinila zasedanje za 10 minut. Po tričetrtturnem posvetu med predstavniki največjih držav kar sredi plenarne dvorane je bil sprejet kompromis, ki je vključeval zavezo o pravno obvezujoči naravi bodočega mednarodnega dogovora (»protocol or other legal instrument or an agreed outcome with legal force« - »protokol, drug pravni instrument ali dogovorjen izid s pravno močjo«).

K preobratu v drugi polovici zadnje noči je odločilno pripomoglo dejstvo, da se je na stran EU postavila večja skupina držav v razvoju (predvsem skupnost malih otoških držav (AOSIS) in skupina najmanj razvitih držav (LDC)), tako, da so pod tem pritiskom popustile države, ki niso želele sklepa o pravno zavezujočem globalnem sporazumu. EU, LDC in AOSIS so tudi izdale skupno izjavo, v kateri so poudarile, da je bilo dovolj premišljevanja, in da je potrebno začeti delovati, da je velik prepad med potrebnim in obljubljenim zmanjšanjem emisij toplogrednih plinov, da je odlašanje z ukrepi za mnoge države vprašanje preživetja, ter da je potrebno sprejeti drugo ciljno obdobje Kyotskega protokola ter trden mandat in kažipot za sprejetje pravno zavezujočega sporazuma, ki bo zavezoval vse države, v skladu z načelom skupne, a deljene odgovornosti in individualnih zmožnosti.



Med plenarnim zasedanjem v Durbanu.

EU je na teh pogajanjih pokazala pravo vodstvo, najmočnejše v zadnjih letih. Le-to je omogočilo oblikovanje koalicije z mnogimi manj razvitimi državami, to pa je posledično pomagalo doseči in nato sprejeti zadovoljive kompromisne sklepe. Koordinacija EU v zadnji noči je bila izjemno konstruktivna, učinkovita in odločilna s postavitvijo meje glede izraza »legal outcome«; naši pogajalki, evropski komisarki Connie Hedegaard, je dala jasen mandat za končna pogajanja na plenarnem zasedanju. Na koncu je bil sprejet Durbanski paket, ki ni idealen, vendar predstavlja dober, uravnotežen rezultat. Zasedanje se je končalo v nedeljo, 11. decembra, malo pred sedmo zjutraj. S tem se je to zasedanje Konference pogodbenic, ki bi se moralo končati že v petek zvečer, zapisalo v zgodovino kot nadaljše doslej.



Avtor kot član Biroja COP17/CMP7 nadomešča predsednico Maite Nkoana-Mashabane pri vodenju plenarnega zasedanja.

Najpomembnejši sklepi Durbanskega paketa

Bodoči celoviti globalni sporazum

Za EU in mnoge druge razvite države je bil najpomembnejši sklep, da mora biti najkasneje leta 2015 pripravljen in sprejet nov globalni sporazum, ki bo začel veljati leta 2020. Ta sporazum bo določil obveznosti za vse države, torej tudi za tiste v razvoju, ob tem pa bo upoštevano načelo skupne, a deljene odgovornosti in individualnih zmožnosti. Sporazum bo pripravila novoustanovljena Ad hoc delovna skupina za Durbansko platformo za okrepljeno akcijo, ki bo začela z delom v prvi polovici leta 2012, delo delovne skupine AWG-LCA pa je bilo podaljšano za eno leto (do konca leta 2012). Sprejet je bil tudi sklep, da bo omenjena nova delovna skupina med drugim obravnavala naslednja področja: zmanjševanje emisij (mitigacija), prilagajanje na podnebne spremembe (adaptacija), finance (pri tem gre predvsem za pomoč državam v ra-

zvoju pri spoprijemanju s podnebnimi spremembami), razvoj in prenos tehnologij ter izgradnja zmogljivosti (pomoč državam v razvoju).

Dolžina drugega ciljnega obdobja

Sprejet je bil sklep, da se bo drugo ciljno obdobje Kyotskega protokola začelo 1. januarja 2013, končalo pa 31. decembra 2017 ali 2020; glede slednjega tudi v EU še ni soglasja. Drugo ciljno obdobje se bo torej začelo neposredno po koncu prvega, kar bo zagotovilo, da med njima ne bo vrzeli. Žal so Japonska, Kanada in Rusija izjavile, da ne bodo vstopile v drugo ciljno obdobje.

Pričakovana udeležba držav v drugem ciljnem obdobju

Pričakovati je, da bodo v drugo ciljno obdobje vključene države članice EU, Avstralija, Hrvaška, Islandija, Liechtenstein, Monako, Norveška, Nova Zelandija, Švica in Ukrajina. Te države so povabljeni, da do 1. maja 2012 sporočijo, kakšno obveznost zmanjšanja emisij so pripravljene sprejeti v drugem ciljnem obdobju.

Finance

V Durbanu je bil ustanovljen Zeleni podnebni sklad, v katerega naj bi se do leta 2020 natekalo po 100 milijard USD letno za pomoč državam v razvoju za spoprijemanje s podnebnimi spremembami. Določena finančna sredstva za ta sklad sta že najavili Nemčija (40 mio EUR) in Danska (15 mio EUR).

LULUCF (raba tal, sprememba rabe tal in gozdarstvo)

Za obračunavanje ponora CO₂ v gozdovih je bila sprejeta metoda referenčne vrednosti – to je načrtovane višine ponorov v ciljnem obdobju (zanjo se je zavzemala tudi Slovenija). Skupno stališče EU je bilo, naj bo omejitev uporabe ponorov določena pri 5 % emisij v izhodiščnem letu, a so države v razvoju vztrajale na 3 % in so končno pogajalci EU morali privoliti v kompromis pri 3,5 %.

Prenos AAU-jev (dodeljenih emisijskih enot)

Pomembno vprašanje je bilo, če in v kolikšni meri naj se dovoli prenašanje presežka dodeljenih emisijskih enot iz prvega v drugo in morebitna sledeča ciljna obdobja. Te presežke imajo nove članice EU iz srednje in vzhodne Evrope (z izjemo Slovenije) ter države bivše Sovjetske zveze (slednje največje količine, na prvem mestu seveda Rusija). Do konca zasedanja o tem vprašanju ni bilo mogoče doseči soglasja (tudi ne znotraj EU), zato bo o njem potekala razprava na naslednjem zasedanju AWG-KP maja letos v Bonnu.

Prilagajanje

Sprejet je bil sklep o sestavi in delovanju Odbora za prilagajanje, ki bo tako lahko začel z delom.

Razvoj in prenos tehnologij

Sprejet je bil poslovnik za delovanje Podnebnega tehnološkega centra in mreže. Sprejet je bil sklep o začetku delovanja tega centra in mreže za zadovoljevanje potreb držav v razvoju.

Pregled

Potrjen je bil sklep iz Cancuna, da bo periodično izvajanje pregled (review), ki bo ocenil ustreznost dolgoročnega cilja zmanjšanja (svetovnih) emisij toplogrednih plinov, in sicer glede na končni cilj konvencije (zapisan v njenem 2. členu) ter na osnovi novih znanstvenih spoznanj, med drugim tistih v Petem poročilu IPCC, ki naj bi bilo objavljeno v letih 2013 (prvi del) in 2014 (drugi in tretji del). Prvi pregled se bo začel prihodnje leto in bo končan v letu 2015.

Druge teme

O mnogih temah še niso bili sprejeti dokončni sklepi; o njih se bodo razprave in pogajanja nadaljevali. Te so predvsem:

- Ambicije ciljev zmanjšanja emisij
- Skupna vizija
- MRV (meritve, poročanje, verifikacija)
- Emisije iz mednarodnega letalskega in ladijskega prometa
- Novi tržno orientiran mehanizem
- Izboljšave obstoječih prožnih mehanizmov (predvsem mehanizma čistega razvoja – CDM)
- REDD+ (zmanjševanje emisij zaradi krčenja in degradacije gozdov; gre predvsem za tropske gozdove v državah v razvoju)
- Delovni program iz Nairobijskega o učinkih podnebnih sprememb in prilagajanju nanje.

Omeniti velja še en sklep, in sicer, da, za razliko od zadnjih štirih let, v prvi polovici letošnjega leta ne bo dodatnega zasedanja v okviru konvencije in protokola. Vzroka za to sta dva: želja mnogih, da bi prešli na »normalen« način delovanja, t.j. dve zasedanji letno, in pa velika zasedenost pogajalcev s pripravami na konferenco Rio+20, ki bo od 20. do 22. junija letos v Rio de Janeiru. Naslednje zasedanje delovnih teles konvencije in protokola bo tako od 14. do 25. maja letos v Bonnu.

Ključni dosežki

Med ključne dosežke zasedanja COP17/CMP7 lahko štejemo naslednje:

1. Dogovor o pogajanjih o novem globalnem pravno zavezujočem sporazumu, vključno z dorečeno časovnico za pogajanja in za začetek veljavnosti; stališče mnogih držav je, da le globalni pravno



Generalni sekretar ZN Ban Ki-moon z ministri držav BASIC (Kitajska, Indija, Južna Afrika in Brazilija) med zasedanjem v Durbanu.

zavezujoči sporazum lahko zagotovi učinkovite rezultate; sodelovanje držav na prostovoljni osnovi bi bilo premalo učinkovito.

2. Razumevanje, da kljub dorečenemu še obstaja t.i. mitigation gap - razkorak med potrebnim zmanjšanjem emisij za zagotovitev omejitve globalnega segrevanja pod 2 °C glede na predindustrijsko obdobje in med doslej doseženimi dogovori držav glede zavez, in da bodo zato potrebni dodatni napor (vključeno v t.i. Durbansko platformo).
3. Dejstvo, da je politika pogojevanja s strani EU na področju drugega ciljnega obdobja Kyotskega protokola uspela; odprto seveda ostaja vprašanje sprejema bolj ambicioznega cilja znižanja emisij toplogrednih plinov z 20 % na 30 % znotraj EU.
4. Doseženega je bilo veliko tehničnega napredka na različnih področjih, od operacionalizacije Zelenega podnebnega sklada do načrta glede razprave o novih virih, dogovorov o novih tržnih mehanizmih, krepitev nadzora in poročanja itd.

Kako naprej

V naslednjem letu bo potrebno v prvi vrsti:

- začeti s procesom priprav na pogajanja o novem globalnem, pravno zavezujočem sporazumu v okviru UNFCCC;
- začeti s pripravo delovnega programa s ciljem zmanjšati razkorak med potrebnim zmanjšanjem izpustov za zagotovitev globalnega segrevanja pod 2 °C in med doslej doseženimi dogovori držav glede zavez (t.i. zvišanje ambicije);
- doreči pravila glede drugega ciljnega obdobja Kyotskega protokola; EU se bo morala tudi odločiti glede povečanja ambicioznosti na področju cilja znižanja izpustov toplogrednih plinov z 20 % na 30 %;
- ohraniti zagon na področju financ, prilagajanja, nadzora in poročanja itd.;

- med največjimi izzivi pa bo implementacija sprejetih sklepov, predvsem tistih iz Cancuna in novih iz Durbana.

Zaključek

Menim, da pomeni konferenca v Durbanu uspeh. Dobili smo solidno osnovo za nadaljnje delo, s ciljem priti do celovitega, globalnega sporazuma, ki je glavni cilj EU in nekaterih drugih držav. Po eni strani smo dobili drugo ciljno obdobje Kyotskega protokola, kar je bil pogoj držav v razvoju za doseg kakršnega koli sporazuma. To je izjemno pomembno za premostitev vrzeli med prvim ciljnim obdobjem in prihodnjim globalnim sporazumom in zaradi tega, ker s tem kyotska pravila obračunavanja, mehanizmi in trgi ostanejo v veljavi kot učinkovita orodja za spodbujanje globalnih podnebnih aktivnosti. Po drugi strani pa je bil sprejet sklep, da bo Ad hoc delovna skupina za Durbansko platformo za okrepljeno akcijo dokončala svoje delo najkasneje leta 2015, da bi sprejeli protokol, pravni instrument ali dogovorjen izid s pravno močjo na COP21, in da bo le-ta postal veljaven in bo implementiran od leta 2020 naprej. To vidimo kot glavni dosežek in kot resničen preboj v pogajalskem procesu, ki poteka

pod okriljem Združenih narodov. Pred Durbanom je bilo težko verjeti, da bodo države v razvoju, vključno z največjimi (Kitajska, Indija, Brazilija, Južna Afrika in druge), pripravljene sprejeti pravno zavezujoče obveznosti za njih. Seveda pa je do končnega cilja še daleč in potrebnega bo še mnogo dela; Durban ni končna zmagaja, je pa resnična priložnost.

V Durbanu je prišlo tudi do nekaterih premikov v smislu koalicij. Skupina G77 + Kitajska ne deluje več kot en sam blok, temveč se v pogajanjih izražajo razlike med temi državami, ki so marsikdaj večje kot pa med razvitimi in hitro razvijajočimi se državami (npr. Južna Koreja in Singapur). EU je vzpostavila neke vrste zavezništvo z najmanj razvitimi in otoškimi državami, ki so vitalno zainteresirane za zaustavitev globalnega segrevanja, saj že resno čutijo njegove posledice. Uspeh tokratnih podnebnih pogajanj je torej predvsem v tem, da je zagotovljeno nadaljevanje skupnega boja proti podnebnim spremembam, ki je nujno multilateralen proces, saj jih nobena država ne more nasloviti sama. Nadaljuje se proces izgradnje globalnega, mednarodnega, pravno zavezujočega režima za skupno ukrepanje proti eni najbolj resnih groženj, s katerimi se človeštvo sooča v 21. stoletju. Pot do tega režima pa bo v multipolarnem svetu 21. stoletja še zelo zahtevna.

Pomen kratic v sestavku

AOSIS	Skupnost malih otoških držav (Alliance of Small Island States)
AWG-LCA	Ad hoc delovna skupina za dolgoročno sodelovanje v okviru konvencije (Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention)
AWG-KP	Ad hoc delovna skupina za Kyotski protokol (Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol)
CDM	Mehanizem čistega razvoja (Clean Development Mechanism)
CMP	Konferenca pogodbenic Kyotskega protokola (Conference of the Parties serving as the Meeting of the Parties to the Kyoto Protocol)
COP	Konferenca pogodbenic (Conference of the Parties)
G77+China	Skupina 77 + Kitajska (Group of 77 + China)
IPCC	Medvladni forum za podnebne spremembe (Intergovernmental Panel on Climate Change)
LDC	Najmanj razvite države (Least Developed Countries)
MRV	Merjenje, poročanje, verifikacija (Measurement, Reporting, Verification)
REDD+	Zmanjševanje emisij zaradi krčenja in degradacije gozdov, ohranitev in povečevanje zaloga ogljika v gozdovih ter trajnostno gospodarjenje z gozdovi v državah v razvoju (Reducing emissions from deforestation and forest degradation, Conservation of forest carbon stocks, Sustainable management of forests and Enhancement of forest carbon stocks in developing countries)
UNFCCC	Okvirna konvencija ZN o spremembi podnebja (UN Framework Convention on Climate Change)

11. srečanje Evropske meteorološke zveze in 10. Evropska konferenca o aplikacijah v meteorologiji

Tanja Cegnar, Agencija Republike Slovenije za okolje

Letna konferenca Evropske meteorološke zveze (EMS Annual Meeting), že enajsta zapovrstjo, in Evropska konferenca o aplikacijah v meteorologiji (European Conference on Applications of Meteorology – ECAM) sta od 12. do 16. septembra 2011 potekali v Berlinu, v konferenčnem centru Seminaris. Konferenco so skupno organizirali EMS (European Meteorological Society - Evropska meteorološka zveza), DWD (Deutsche Wetterdienst - Nemška meteorološka služba), DMG (Deutsche Meteorologische Gesellschaft - Nemško meteorološko društvo) in ECSN (European Climate Support Network - Evropska podnebna podpora mreža). Letošnja vodilna tema konference je bila »Napovedovanje vremena – ansambelske tehnike in napovedovanje vremena z vključevanjem negotovosti«, torej napovedovanje vremena s pomočjo množice izračunov z istim modelom in nekoliko spremenjenimi vhodnimi podatki ali z izračuni različnih modelov in podajanjem verjetnosti različnih možnih razvojev vremena.

Letošnja konferenca je bila doslej najuspešnejša, saj uradna statistika beleži 716 udeležencev iz 53 držav. Največ jih je bilo iz Nemčije, kar 202, sledila je Italija s 46 udeleženci, po 40 pa jih je bilo iz Francije, Nizozemske in Velike Britanije. 10 udeležencev je na konferenco prišlo iz Združenih držav Amerike, 7 iz Japonske, 3 iz Koreje, 2 iz Kitajske, Peruja in Irana ter po en iz Argentine, Indije, Martinika in Tajvana, kar daje konferenci ne le evropsko, ampak tudi svetovno razsežnost. Slovenija prav tako spada med države, ki so bile zastopane zgolj z enim udeležencem.

Izvedba konference je bila tudi letos zaupana organizaciji Copernicus. Programski in znanstveni odbor konference je vodil Horst Böttger, člani pa smo bili: Erik Andersson, Tanja Cegnar, Jean-Pierre Chalon, Ben Dieterink, Zoltan Dunkel, Jochen Grandell, Sylvain Joffre, Martina Junge, Haleh Kootval, Ulrike Langematz, Gregor Leckebusch, Lukasz Legutko, José Antonio Lopez Diaz, Ewen McCallum, Olivija Morell, Jean Pailleux, Heleen ter Pelkwijk, Hans Richner, Dennis Schulze, Christa Stein, Gerhard Steinhorst in Aryan van Engelen. Poleg tega je deloval tudi lokalni organizacijski odbor pod vodstvom Gerharda Steinhorsta s člani Ulriko Langematz, Claudio Rubart in Marion Schnee.



Konferenčni center Seminaris (foto: T. Cegnar)

Vsebina konference je bila razdeljena na 5 večjih sklopov, od katerih je imel vsak svojega koordinatorskega. Sklopi in koordinatorski so bili:

- Aplikacije v meteorologiji (C. Stein),
- Sistemi v ozračju in njihovo medsebojno delovanje (S. Joffre),
- Komunikacija in izobraževanje (T. Cegnar),
- Numerična napoved vremena (J. Pailleux),
- Podnebje (A. van Engelen).

Pred, med in po konferenci je potekalo kar nekaj spremljajočih dogodkov:

- Delavnica: Orodja za napovedovanje vremenskih dogodkov z velikim učinkom,
- Prikaz nevarnih vremenskih dogodkov v virtualni resničnosti,
- Programski in znanstveni odbor EMS&ECAC 2012,
- PRIMET (The Association of Private Meteorological Services – Združenje privatnih meteoroloških služb),
- Mreženje žensk,
- Skupščina članov Nemškega meteorološkega društva,

- COST Action 1002 WIRE: »Vremenske informacije za obnovljive vire energije«,
- Delavnica Svetovne meteorološke organizacije regionalnega podnebne centra (RCC),
- ECOMET (The Economic Interest Grouping of the National Meteorological Services of the European economic Area – Ekonomsko združenje državnih meteoroloških služb evropskega ekonomskega področja),
- Mednarodno združenje meteorologov v medijih: letna skupščina,
- Delavnica EMS: Komunikacija za klimatologe.

Med spremljajočimi dogodki naj izpostavim delavnico o komunikaciji za klimatologe, saj jo je skupaj z EMS organizirala in izvedla Agencija Republike Slovenije za okolje. Eno in pol dnevna delavnica je bila namenjena treningu nastopanja klimatologov na radiu in televiziji. V uvodnem delu smo udeležencem predstavili teoretične osnove nastopanja v medijih, večino časa pa smo namenili nastopom pred kamero in nato analizi posnetkov ter priporočilom. Etične osnove in izkušnje pri posredovanju informacij na področju podnebnih sprememb je predstavil Rasmus Benestad. Priprave na nastop, vaje in snemanje smo izvajali v treh skupinah, poleg mene sta skupine vodila Claire Martin in Frank Cavallaro. Oba sta že dolgo mednarodno uveljavljena in večkrat nagrajena za delo v medijih na področju posredovanja meteoroloških informacij, zaposlena sta na CBC (Canadian Broadcasting Corporation – Kanadska radio-televizijska družba).

Z izjemo plenarnih predavanj je delo sočasno potekalo v 5 dvoranah, veliko pa je bilo tudi posterjev. Že tradicionalno konferenco je spremljala tudi razstava podjetij, ki je ponujala meteorološko opremo in storitve ter literaturo.

Otvoritvena slovesnost

Uradno se je konferenca začela z otvoritveno slovesnostjo; vodil jo je dotedanji predsednik EMS Fritz Neuwirth. Pozdravne govore so imeli Gerhard Adrian (predsednik DWD), Helmut Mayer (predsednik DMG), Uwe Ulbrich (Inštituta za meteorologijo FU Berlin), Dennis Schulze (PRIMET), Aryan van Engelen (ECSN), Ben Dieterink (HMEI) in Jonathan T. Malay (predsednik AMS).

Otvoritveni slovesnosti so po krajšem odmoru in tiskovni konferenci sledila tako imenovana strateška predavanja. Michel Jarraud, generalni sekretar Svetovne meteorološke organizacije, je začel s predavanjem o podnebnih storitvah z naslovom »Postavitev resnično globalnega okvira za podnebne storitve: izziv evropski meteorologiji«. Sledili sta dve predavanji na temo napovedovanja vremena. Prva je bila Laura Ferranti (ECMWF – Evropski center za srednjeročne vremenske napovedi), ki je v predstavitvi z naslovom »Razvoj skupinske napovedi: metode in izdelki ECMWF«



Predsednik EMS Fritz Neuwirth in generalni sekretar Svetovne meteorološke organizacije Michel Jarraud na otvoritveni svečanosti (foto: Jens Jeske)

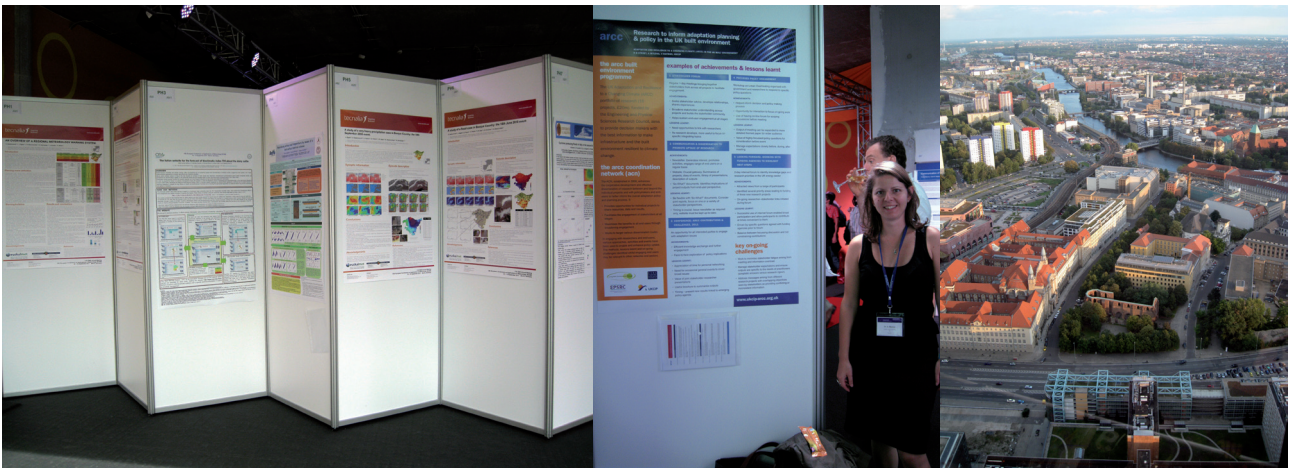
govorila o izdelkih ECMWF. Sledila je Susanne Theis (DWD), ki se je v predavanju »Skupina na omejenem območju – gostejša mreža in krajši čas zagona« poglobila v večjo prostorsko in časovno ločljivost. Žal je zaradi zamud v letalskem prometu predavanje Silvia Tschudija (Head Cat Research & Development, Allianz Re) »Spremenjeno okolje tveganja – kako kvantificirati?« odpadlo.

Nagrade

Srebrno medaljo, najvišje odlikovanje, ki ga vsako leto podeljuje Evropska meteorološka zveza, je za življenjsko delo na področju meteorologije letos prejel Jean-François Geleyn za izjemen prispevek k spodbujanju sodelovanja med znanstveniki v Evropi. Kot je že tradicija, je podelitvi priznanja sledilo predavanje nagrajenca, tokrat z naslovom »Vse evropsko sodelovanje pri modeliranju na omejenem območju – numerična vremenska napoved. Geleyn je analiziral, kako politika na področju znanosti in mednarodno sodelovanje vplivata na razvoj in delovanje skupin v posameznih državah, ki razvijajo modele za napovedovanje vremena na omejenem območju. Njegove izkušnje temeljijo predvsem na projektih ALADIN, RC LACE in HARMONIE, a je poskušal zajeti tudi širše dogajanje.

Podeljevanje nagrade najboljšemu posterju je na konferenci postalo že tradicija, s katero želimo posterjem nameniti več pozornosti in pritegniti k ogledu večje število udeležencev. Letos je komisija izbrala dva posterja. Upoštevali so strokovnost, inovativnost, potencialni vpliv izsledkov, izgled in privlačnost posterja ter jasnost podajanja. Na osnovi teh kriterijev so se odločili za dva posterja, in sicer:

- »Dnevno spreminjanje zračnega tlaka, integrirana vodna para in stratosferski ozon« avtorjev K. Hocke, S.C. Studer, N. Kämpfer, O. Stähli, E. Maillard in
- »Napovedovanje negotovosti velikih sprememb vetrne energije« avtorjev A. Bossavy, R. Girard, N. Siebert, P. Pinson, G. Kariniotakis.



Posterji so bili razstavljeni od začetka do konca konference in tako omogočili ogled kar najširšemu krogu udeležencev. K velikemu številu udeležencev so prispevale tudi dobre prometne povezave z Berlinom; pogled na del Berlina s televizijskega stolpa (foto: T. Cegnar).

Vsako leto na konferenci podelijo tudi vrsto nagrad mladim znanstvenikom. Poleg plakete prejemnikom nagrade finančno podpremo udeležbo na konferenci. Prejemniki nagrad za mlade znanstvenike so bili: Laura Dobor, Simon Gosling, Christian Grams, Martin Ivanov, Priscilla Marimo, Pierre Pinson, Eva Plavcoca in Julia Atrelchenko.



Predsednik EMS Fritz Neuwirth z nagrajenimi mladimi znanstveniki (foto: Jens Jeske)

Konferenčne teme

Vsako leto želijo zajeti vse pomembne teme na področju meteorologije, vendar je prispevkov veliko. Zaradi preglednosti in porazdelitve nalog jih strnejo v nekaj vodilnih tematskih sklopov, ki sem jih naštela že pri splošnem opisu konference, na tem mestu pa so opisani nekoliko obširneje.

APLIKACIJE V METEOROLOGIJI – uvajanje verjetnosti vremenskih dogodkov v vremenske napovedi zahteva nove izdelke in nove načine posredovanja in komuniciranja z javnostjo ter posebnimi uporabniki meteoroloških informacij. Danes so množice izračunov za napoved vremena pogosto v operativni uporabi in s to metodo opišemo negotovost tako v začetnih pogojih

kot tudi v samih modelih. Izziv je ta pristop razvijati dalje in omogočiti boljše upravljanje z negotovostjo v povezavi s tveganji, ki jih prinašajo izredni vremenski dogodki. Izdelki visoke ločljivosti so zahtevni tudi za tolmačenje. Uporabniki napovedi ekstremnih in nevarnih vremenskih dogodkov so predvsem iz vrst letalstva, energetike, prometa in kmetijstva.

SISTEMI V OZRAČJU IN NJIHOVE INTERAKCIJE – sem uvrščamo razumevanje, opazovanje in modeliranje procesov v ozračju in vodnem krogu, vključno s povratnimi povezavami in multidisciplinarnimi študijami.

KOMUNIKACIJA IN IZOBRAŽEVANJE – ta del konference je namenjen posredovanju informacij javnosti in medijem. Učinkovitost, različne metode in mediji posredovanja so v središču tega sklopa, ki zajema tudi izmenjavo izkušenj na področju strategij prilagajanja podnebni spremenljivosti in spremembam podnebja na lokalni, državni in mednarodni ravni. Ukvarjamo se tudi z oblikovanjem informacij za različne uporabnike ter prilagajanju potrebam in željam najrazličnejših uporabnikov. Veliko zanimanja pritegnejo tudi primeri dobrih praks ter izmenjava izkušenj tako v izobraževanju kot tudi na področju biometeorologije človeka.



Utrinek s konference (foto: Jens Jeske)

V ta tematski sklop sodijo tudi vse tri sekcije, ki sem jih organizirala in izpeljala. Poleg že tradicionalne sekcije za medije in komunikacijo sva skupaj z Andreasom Matzarkisom pripravila zelo uspešno sekcijo o biometeorologiji človeka. Večina prispevkov je bila namenjena modeliranju toplotnega okolja, govorili smo tudi o sistemih opozarjanja in ukrepanja ob vročinskih valovih, uporabi modelov za potrebe turizma, o sončnem sevanju in alergogenosti cvetnega prahu. Sekcijo o strategijah prilagajanja na podnebne spremembe sem v sodelovanju s kolegi, ki vodijo FP7 projekt CIRCLE2, organizirala drugo leto zapored.

NUMERIČNA NAPOVED VREMENA – ta tematski sklop obravnava razvoj in operativno računanje vremenskih napovedi. Odgovoriti poskuša na vprašanje, kako robustni so modeli in kako učinkoviti so algoritmi za superračunalnike. Asimilacijski algoritmi še vedno ostajajo v središču pozornosti, prav tako uporaba podatkov in verjetnost. Vzporedno s subjektivno interpretacijo se razvija interpretacija s pomočjo algoritmov.

PODNEBJE – ta sklop je osredotočen na široko področje povezave med podnebjem, družbo in ekosistemi. Podnebje in podnebne spremembe obravnavamo kot vir in priložnost, a tudi kot tveganje in nevarnost. Razumevanje podnebnega sistema je še vedno v razvoju, podnebne storitve pa so in bodo osrednja tema tudi v 21. stoletju.

Plenarna razprava

Plenarna razprava z naslovom »Optimalna uporaba izdelkov, ki jih ponuja napoved na osnovi večjega števila izračunov« je potekala 14. septembra popoldne. Razvojni oddelki mnogih meteoroloških služb že vrsto let veliko napora in sredstev vlagajo v razvoj napovedi na osnovi večjega števila izračunov in tako zagotavljajo verjetnostne napovedi za uporabnike in odločevalce. Kljub temu pa je uporaba teh rezultatov še vedno skromna. Prav tako najdemo malo verjetnostnih napovedi v medijih. Tudi uporabniki in odločevalci se ne navdušujejo nad njimi. Razpravljalci so iskali

odgovore, zakaj se taka vrsta izdelkov ne prime med uporabniki in kaj bi lahko naredili za boljše uporabljanje in izkoriščanje takih izdelkov.

Razpravo je vodil Ewen McCallum (Met Office – Državna meteorološka služba Združenega kraljestva Velike Britanije in Severne Irske - VB), vključevala je vidike komunikatorjev, uporabnikov/naročnikov, vidike operativne priprave napovedi, kompetentnosti na področju množice izračunov možnega razvoja vremena ter družbene vidike znanosti. Jasno se je pokazala razlika v pogledih, kako nove dosežke meteorologije približati uporabnikom. Uporabniki in eksperti komuniciranja so zagovarjali predvsem jasnost informacij in prilagoditev potrebam ter zahtevam uporabnikov, medtem ko so znanstveniki predvsem izpostavljali izobraževanje uporabnikov, da bi le-ti razumeli izdelke, ki jim jih meteorologi ponujajo.

Društvene aktivnosti

V nedeljo, 11. septembra popoldne, je bila 25. seja sveta EMS, ki sem se je udeležila kot vodja EMS skupine za medije in komunikacijo. Sejo je vodil predsednik društva Fritz Neuwirth, prisotnih je bilo 7 svetnikov in 8 vabljenih udeležencev. Na seji so člani sveta sprejeli poročila o delu in finančnem stanju ter plan porabe in pridobivanja sredstev v letu 2012. Svet se je seznanil tudi z delom odborov in tematskih skupin, kot je na primer skupina za medije in komunikacijo. Pripravili so gradivo za popoldansko skupščino, ki je vsebovala tudi volitve novih članov sveta in predsednika EMS.

Popoldne sem na letni skupščini sodelovala kot zastopnica Slovenskega meteorološkega društva. Sprejemali smo poročila o delu in finančnem stanju EMS, prav tako smo sprejeli finančni načrt za leto 2012. Izvolili smo novega predsednika EMS. To je Dominique Marbouty, ki je v meteorološki srenji dobro poznan predvsem kot bivši direktor Evropskega centra za srednjeročno vremensko napoved v Readingu. Vlogo finančnika EMS je prevzel Jean-Pierre Chalon. Oba sta člana francoskega meteorološkega društva.



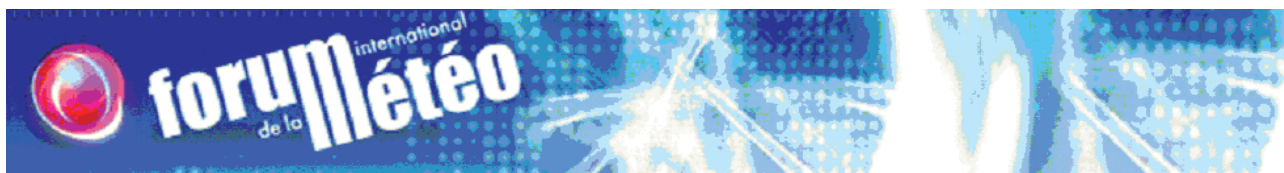
Dieter Walch je prejel letošnjo medijsko nagrado za življenjsko delo (foto: Jens Jeske)

8. Mednarodni meteorološki forum

Tanja Cegnar, Agencija Republike Slovenije za okolje

Francosko meteorološko društvo je že 8. leto zapored izvedlo Mednarodni meteorološki forum, ki je tokrat od 1. do 5. oktobra 2011 potekal v Parizu. Med množico dogodkov, med katerimi so bili nekateri namenjeni najširši javnosti, nekateri pa omejeni le na strokovnjake, naj omenim le po moji presoji najpomembnejše: to so zelena vožnja po Parizu, izmenjava izkušenj na področju ozaveščanja javnosti o okolju in

se sama s kolesom po mestu najbrž ne bi upala, a v vodeni skupini je bilo to prav prijetno doživetje. Še posebej, ker je k dobremu vzdušju izdatno prispevalo tudi sončno in za oktober nenavadno toplo vreme. Cilj vožnje je bil v Palais de la découverte, kjer nas je pričakal fotograf za obvezno skupinsko sliko. Televizijske hiše posnamejo reportažo o akciji in intervjuje, v katerih kolegi svetujejo, kako lahko posameznik



podnebnih spremembah, pregled zbirke televizijskih vremenskih napovedi z vsega sveta in simpozij z naslovom »Podnebne spremembe: Učinki in prilagajanje«. Seveda je bilo tako kot vsako leto veliko pozornosti namenjene tudi šolski mladini, zanj je bila pripravljena tematska razstava, pogovori in vodene eksperimentalne delavnice.

»Green ride« oz. zelena vožnja je na programu srečanja vsako leto. Tokrat smo jo opravili že kar na začetku, in sicer v nedeljo, 2. oktobra. V skupini skoraj sto meteorologov smo se izpred Eifflovega stolpa odpravili na organizirano promocijsko vožnjo s kolesom po Parizu. Glede na gost promet v francoski prestolnici

prispeva k manjšemu obremenjevanju okolja. Z uporabo kolesa pa ne prispevamo le k čistejšemu okolju, ampak je kolesarjenje dobro tudi za počutje. Seveda je množica novinarjev najbolj oblegala francoske kolegice in kolege. Zelena vožnja je vsekakor odlična promocijska poteza, s katero lahko prispevamo k ozaveščanju prebivalcev in jih vzpodbudimo k pogostejši uporabi kolesa v mestu.

V ponedeljek je dan potekal pod motom »Vreme in mediji«. Po otvoritvenih nagovorih Michela Petita in uvodnem predavanju o sistemu napovedovanja za oceane je okroglo mizo z naslovom »Oceani danes in jutri« moderiral John Morales (NBC Universal ZDA).



Po končani zeleni vožnji po Parizu

Predstavljeni so bili tako sistemi za opazovanja in zbiranja podatkov kot tudi modeli za napovedovanje bodočih razmer.

V nadaljevanju je nekaj kolegov predstavilo svoje projekte, med njimi so bili Patrick de Bellefeuille (Meteo-media, Kanada) in njegov podvig v bolivijsko gorovje v korist mladinskih centrov. Tomas Molina (Televiso de Catalunya, Španija) je predstavil oddajo »Espai terra«, ki jo dnevno pripravlja na temo okolja in geofizike, traja pa celih 16 minut. Med javnostjo je izredno dobro sprejeta, vendar jo omogoča le sponzor, ki za oddajo namenja potrebna sredstva. V taki oddaji se lahko za ozaveščanje javnosti in opozarjanje na okoljske probleme naredi zelo veliko. Jill Peeters (VMT, Belgija) je predstavila nagrado Harry Otten za inovativne pristope v meteorologiji. Poleg bogate denarne nagrade je ta razpis izjemen tudi zaradi širine projektov, ki jih nagraduje, saj poleg znanstvenih dosežkov eksplicitno vključuje tudi dosežke na področju komuniciranja. Thu Pham Thi Thanh (VTV, Vietnam) pa je predstavila pristop do posredovanja opozoril na nevarne vremenske in podnebne dogodke na televiziji, ki se ga poslužujejo v Vietnamu.

Osrednji dogodek letošnjega srečanja je bil simpozij na temo podnebnih sprememb z naslovom: »Podnebne spremembe: Učinki in prilagajanje«. Znanstvenemu odboru simpozija je predsedoval Jean Jouzel, predsednik Francoskega meteorološkega društva, ki je simpozij tudi otvoril.

Paul Watkins je govoril o prilagajanju na podnebne spremembe na državni in evropski ravni. Sledila je okrogla miza o vlogi znanstvenikov pri pripravi načrtov za prilagajanje. Popoldanski del se je začel s predavanjem o prilagajanju na lokalni ravni, sledil pa je pogovor o vlogi privatnega sektorja v naporih za prilagajanje na podnebne spremembe. Razpravljavci na zaključni okrogli mizi so iskali odgovore, kako vključiti javnost v strategijo prilagajanja na podnebne spremembe. Večina podanih predlogov je izhajala iz francoskih izkušenj, ki so za nas zelo zanimive, ne pa tudi neposredno prenosljive, saj Francija razpolaga z bistveno večjimi viri, tako na finančnem kot tudi na človeškem področju. Na simpoziju so sodelovali meteorologi, klimatologi, novinarji, raziskovalci in odločevalci.



Začetek oktobra je bil v Parizu sončen in neobičajno tople (foto: T. Cegnar)

Ogledali smo si tudi 46 različnih vremenskih napovedi. Največ jih je bilo sicer iz Evrope, a zastopane so bile tudi ostale celine. Z leti opažamo, da je med vremenskimi napovedmi vse več podobnosti, čeprav nekatere razlike ostajajo. V ZDA je vse večji poudarek na strokovnosti in večina posredovalcev vremenskih napovedi ima vsaj diplomu iz meteorologije, nekateri tudi doktorat, večinoma pa poleg formalne izobrazbe opravijo še poseben kvalifikacijski izpit pri Ameriškem meteorološkem društvu. Američani v povprečju govorijo tudi nekoliko hitreje, več pa je tudi javljanj v živo, še posebej med nevarnimi vremenskimi dogodki. Tako v primeru nevarnih vremenskih dogodkov nekatere televizijske postaje prekinejo program z obvestili o vremenskem dogajanju.

Letošnjega srečanja se je udeležilo okoli 100 udeležencev. Srečanje je dragocena priložnost za izmenjavo izkušenj, primerov dobrih praks v posredovanju in tolmačenju vremena in podnebnih sprememb, poučni pa so tudi primeri, ko naporji niso dosegli pričakovanega cilja. Ugotavljamo, da je vse več pozornosti namenjene vsebini in razumljivosti informacije. Obdobje impresivnih letečih animacij in posebnih grafičnih učinkov, ki so delovali, kot bi jih privzeli iz računalniških igrice, se je večinoma izteklo in pozornost je ponovno usmerjena v razumljivost, natančnost in uporabnost posredovanih informacij. Veliko se lahko učimo tudi iz napak, ki so jih naredili drugi. Velik poudarek je namenjen tudi seznanjanju z aktualnimi temami, ki so povezane s podnebnimi spremembami.

INCA-CE – projekt, ki povezuje meteorološke službe osrednje Evrope s končnimi uporabniki

Alenka Šajn Slak, Rok Kršmanc, CGS plus d.o.o.
Janko Merše, Agencija Republike Slovenije za okolje

POVZETEK

Projekt INCA-CE razvija partnerstvo med meteorološkimi službami in končnimi uporabniki na področjih hidrološkega opozarjanja, civilne zaščite in varnosti na cestah. Rezultati projekta bodo pripomogli k zmanjšanju vplivov izjemnih vremenskih pojavov in prispevali k povečanju splošne varnosti ter zaščite prebivalcev.

Osebna izkaznica projekta

Naziv: Integrirani sistem za zelo kratkoročno napovedovanje vremena v srednji Evropi - Integrated nowcasting system for the Central European area

Akronim: INCA-CE

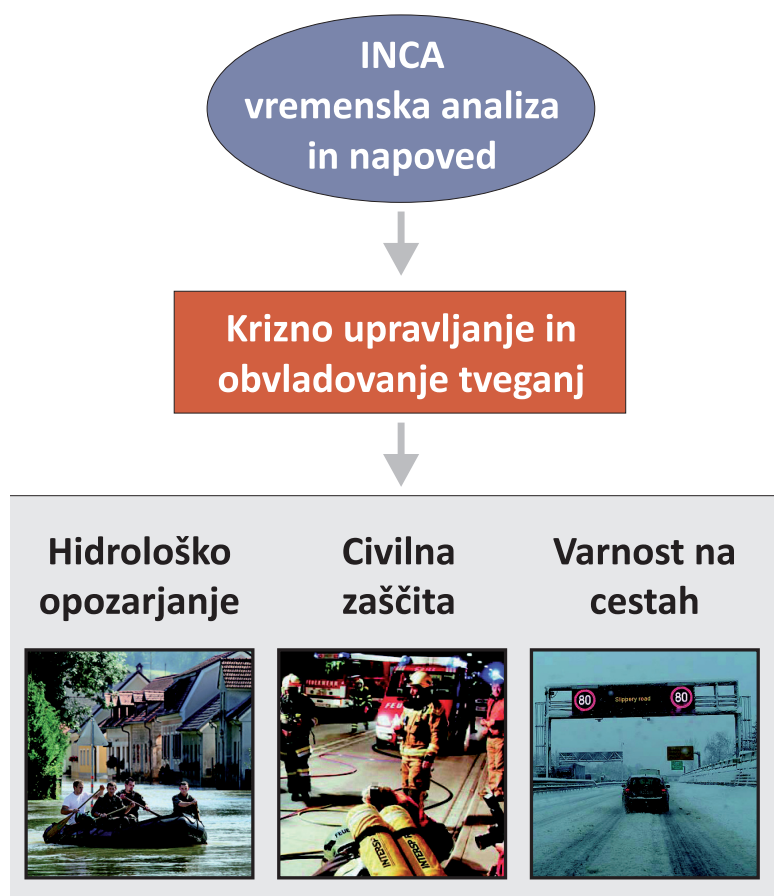
Program: Srednja Evropa

Trajanje: 1. april 2010 – 30. september 2013

Partnerstvo: 16 partnerjev iz osmih držav srednje Evrope

Slovenska partnerja: Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), CGS plus d.o.o.

Spletna stran: <http://www.inca-ce.eu/>

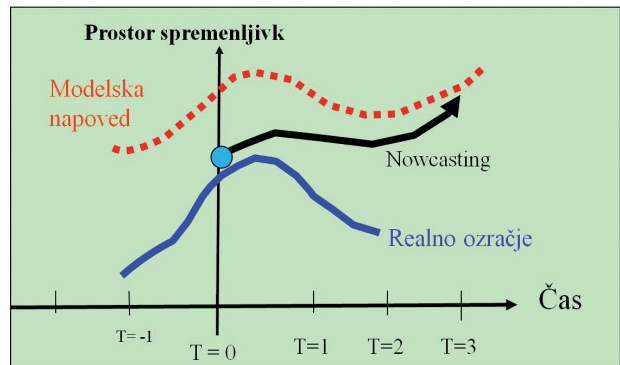


Slika 1. Shema projekta INCA-CE.

Aprila 2010 je v okviru programa Central Europe začel teči mednarodni projekt INCA-CE. 16 partnerjev iz osmih držav si prizadeva za izboljšanje sistema kratkoročnega napovedovanja vremenskih pojavov v visoki prostorski in časovni ločljivosti in s tem za zmanjševanje negativnih vplivov izrednih vremenskih dogodkov. Prav tako si prizadevajo izboljšati strategije pri uporabi vremenskih opozoril, kar bo omogočalo boljše predvidevanje izrednih vremenskih dogodkov in izboljšanje podpore procesom odločanja in opozarjanja (slika 1). Slovenski del konzorcija tvorita Agencija RS za okolje (ARSO) in podjetje CGS plus d.o.o.

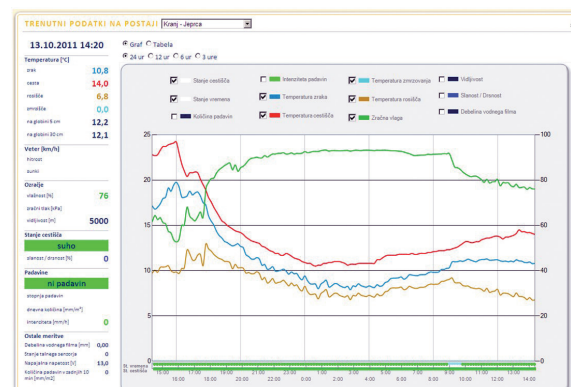
V pripravi so implementacije kratkoročne vremenske napovedi v obstoječe informacijske sisteme na področjih hidrološkega opozarjanja, civilne zaščite in cestne varnosti, kar bo pripomoglo k manjši ekonomski škodi in zmanjševanju števila smrtnih žrtev. Skupni spletni portal bo omogočal dostop do napovednih podatkov tudi za potrebe okoljskega monitoringa, proizvodnje, turizma, kmetijstva in gozdarstva. Na področju hidrološkega opozarjanja bo izboljšana napoved intenzivnih padavin v povezavi s poplavno varnostjo. Za civilno zaščito bo pomembna večja zanesljivost in natančnost vremenskih napovedi. Na večjo cestno varnost pa bo vplivala izboljšana napoved meteorološkega stanja cestišča.

Sistem INCA (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis) je eden izmed sistemov za izračun zelo kratkoročnih ali zdajšnjih (nowcasting) meteoroloških napovedi v visoki prostorski in časovni ločljivosti. INCA uporablja kot prvi približek stanja v atmosferi prostorska polja meteoroloških spremenljivk numeričnega meteorološkega modela (npr. ALADIN), nato pa s pomočjo interpolacijskih metod ob upoštevanju določenih fizikalnih zakonitosti izračunava 3-dimenzionalno fizikalno konsistentno analizo v visoki krajevni ločljivosti (1 km), v katero vključuje širok spekter različnih meritev (podatke s klasičnih in avtomatskih meteoroloških postaj, radarske in satelitske podatke in še druge razpoložljive podatke izven državne meteorološke mreže). Ta analiza je nato osnova za izračun nekaterih diagnostičnih polj kot tudi za kratkoročno napoved meteoroloških spremenljivk za 12 ur naprej. Pri tem nowcasting del izračuna, ki temelji pretežno na ekstrapolacijskih metodah, postopno prehaja v izračun numeričnega meteorološkega modela, kot je shematično prikazano na sliki 2. Ključno pri tem je, da so izračuni dovolj hitri, da so lahko analize in napovedi dostopne praktično v realnem času ali zelo blizu realnega časa, kar omogoča tudi pogosto obnavljanje napovedi ob dostopnosti novih podatkov. Podrobnejši opis algoritmov podajajo Haiden in sod. (2011).



Slika 2. Shematični prikaz nowcasting izračuna napovedi, ki postopno prehaja v modelsko napoved.

Državna meteorološka služba (ARSO) bo sistem INCA v okviru projekta vpeljala v operativno delovanje ter preverila njegovo uporabnost pri nalogah meteorološke, pa tudi hidrološke službe. Drugi slovenski partner, CGS plus d.o.o., bo v okviru pilotne implementacije na področju cestne varnosti izvedel implementacijo INCA napovedi v cestnovremenski informacijski sistem (slika 3), kar bo omogočalo optimizacijo aktivnosti zimske službe. Poleg tega bodo rezultati sistema INCA preizkušeni kot vhodni vremenski podatki v energijsko-bilančnem modelu za napovedo-



Slika 3. Cestnovremenski informacijski sistem Direkcije Republike Slovenije za ceste (DRSC).

vanje temperature in stanja cestišča, opravljena pa bo tudi verifikacija INCA napovedi temperature tal na državni mreži cestnovremenskih postaj. Tako pridobljene izkušnje in rezultati bodo vplivali na nadaljnji razvoj sistema INCA tekom projekta.

Ob uspešnem zaključku projekta bodo meteorološke službe razpolagale s sodobnim sistemom za kratkoročne vremenske napovedi, katerega kakovost in



uporabna vrednost bo preizkušena na različnih področjih. Več informacij najdete na projektni spletni strani (<http://www.inca-ce.eu/>), kjer je na voljo že tretja številka projektne časopisa, ki je tokrat namenjena hidrološkim vsebinam.

Vir

Haider, T., A. Kann, C. Wittmann, G. Pistotnik, B. Bica, C. Gruber, 2011: *The Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) System and Its Validation over the Eastern Alpine Region*. *Weather and Forecasting*, 26, 166–183.



V Ljubljani je v prostorih ARSO od 9. do 11. novembra 2011 potekal tretji sestanek INCA-CE projektnih partnerjev. Po opravljenem delu smo druženje nadaljevali v mladinskem hotelu Celica, kjer nas je arhitekt Ira Zorko popeljal v mistiko tega objekta, prav tako je bil čaroben večerni sprehod z njim po megleni Ljubljani. Na večer sv. Martina pa smo vino krstili v Vitovljah na kmetiji Malovščevo.



Predstavitev Stališča SMD o podnebnih spremembah

Miha Demšar

Z izborom teme z naslovom "Podnebje za vas" je Svetovna meteorološka organizacija ob svetovnem dnevu meteorologije 2011 želela opozoriti na pereč problem podnebnih sprememb in ob tem na pomen podnebnih informacij za varnost in blagostanje človeštva. Tema je sovpadala z aktivnostmi našega društva v zadnjih mesecih, zato smo se odločili, da Stališče društva o podnebnih spremembah, ki je nastalo kot posledica jesenskega cikla predavanj in okroglih miz, javnosti predstavimo prav na svetovni dan meteorologije.

Tako smo dne 23. marca 2011 skupaj z Agencijo Republike Slovenije za okolje organizirali tiskovno konferenco ob svetovnem dnevu meteorologije. V skladu s temo je Agencija predstavila svoje aktivnosti na področju podnebja, Slovensko meteorološko društvo pa je predstavilo Stališče Slovenskega meteorološkega

društva o podnebnih spremembah. Na konferenco so prišli novinarji različnih medijskih hiš, za katere smo pripravili tiskano verzijo Stališča društva kot ločeni odtis Vetrnice 0311.

Konferenco je vodil generalni direktor Agencije za okolje dr. Silvo Žlebir, tudi član našega društva. V uvodu je izpostavil pomembno vlogo Agencije pri opravljanju potrebnih meritev in raziskav na področju podnebnih razmer in njihovih sprememb v Sloveniji. V nadaljevanju je predsednik SMD Jožef Roškar predstavil Stališče društva o podnebnih spremembah. Aktivnosti, ki v zvezi s proučevanjem podnebja potekajo na Agenciji, ter prve rezultate pomembnega projekta *Podnebna spremenljivost Slovenije* pa je predstavila vodja oddelka za klimatologijo na ARSO, mag. Mojca Dolinar.



Počastitev dneva meteorologov s predstavitvijo stališč SMD

Letni občni zbor SMD 2011

Miha Demšar

Dne 15.3.2011 ob 16. uri smo imeli v prostorih Agencije Republike Slovenije za okolje vsakoletni občni zbor Slovenskega meteorološkega društva. V času, ko smo čakali, da smo dosegli sklepčnost, nam je Jaka Ortar predstavil meritve orkanskih sunkov burje na Nanosu in v Vipavski dolini v začetku marca.

Ob okoli 16:30 je bilo prisotnih 40 članov. Ugotovili smo sklepčnost in začeli občni zbor. Najprej smo potrdili predlagani dnevni red, nato pa smo za predsednika občnega zbora izglasovali Gregorja Vertačnika, zapisnikarja Miha Demšarja ter overovatelja zapisnika Iztoka Sinjurja in Zorka Vičarja.

Poročilo o delu v preteklem letu je najprej podal predsednik društva Jožef Roškar. Leta 2010 je bilo društvo zelo dejavno. Tako smo izdali 2. številko Vetrnice, na spletni strani smo po zaslugi mladih članov Matije Klančarja, Veronike Kladnik in Katje Kozjak objavili digitalne kopije vseh številok Razprav, strokovne revije društva, katerih prva številka je izšla leta 1957. Organizirali smo poletno šolo, ki so se je udeležili številni ljubitelji vremena. V jeseni pa smo pripravili serijo predavanj na temo podnebnih sprememb. Več članov društva je na spletni strani <http://www.skepticalscience.com/> prevedlo več kot 50 člankov o podnebnih spremembah. V okviru Evropske meteorološke zveze (EMS) pa je aktivno sodelovala gospa Tanja Cegnar.

Poročilo o delu in dogajanju v zvezi s prihodki in odhodki društva je podal blagajnik Andrej Velkavrh. Poročilo nadzornega odbora pa je podal Gregor Gregorič. Nadzorni odbor je pregledal finančno poročilo in ugotovil, da je vzorno urejeno in ga blagajnik vodi tudi v elektronski obliki.

Dne 14. 3.2011 je bilo v SMD včlanjenih 111 članov. Pred občnim zborom smo dobili 13 novih prošenj za včlanitev v društvo. Na občnem zboru so se nam nekateri kandidati predstavili. Prošnje prosilcev, ki niso bili prisotni, pa smo prebrali. Vse kandidate smo potrdili za nove člane društva, tako da je po občnem zboru v društvo včlanjenih 124 članov.

Predsednik zbora je nato prešel na točko o predstavitvi stališča o podnebnih spremembah. Predsednik Jožef Roškar je bil s pripravo stališča zelo zadovoljen in je pohvalil je angažiranje nekaterih članov. Tudi predavanja o podnebnih spremembah so bila dobro obiskana. Za predstavitev stališča društva javnosti smo izbrali svetovni dan meteorologije, 23.3.2011.

Na koncu je predsednik društva Jožef Roškar podal načrte za tekoče leto. Nadaljevali bomo z obstoječimi aktivnostmi: poskusili bomo stiskati pravkar pripravljeno 3. številko Vetrnice in morebiti pripraviti tudi 4. številko, nadaljevali bomo s predavanji in organizirali izlet s hrvaškim meteorološkim društvom v aprilu. Odzivali se bomo na morebitne aktualne dogodke, povezane z meteorologijo.

Pod točko razno stekla razprava o problemu glede termina za zračni pritisk, ki jo je sprožil Boštjan Muri. Urad za meroslovje je sprejel uredbo, po kateri je potrebno uporabljati termin zračni tlak, kljub temu, da je v meteorologiji veliko bolj pogosto uporabljen termin zračni pritisk. Starejši člani so omenili, da so se podobne zahteve v preteklosti že večkrat ponovljale. V društvu bomo skušali pripraviti osnutek z argumenti, zakaj naj se zračni pritisk še naprej uporablja na področju meteorologije.



Spremljanje občnega zbora (Foto: M. Demšar).

Prednovoletno srečanje članov SMD

Miha Demšar

Tako kot prejšnja leta, smo tudi leto 2011 zaključili s tradicionalnim prednovoletnim srečanjem, ki smo ga organizirali 22. decembra v veliki sejni sobi, v četrtem nadstropju Agencije Republike Slovenije za okolje. Udeležilo se ga je približno 50 članov.

Druženje je s kratkim pozdravom in nekaj uvodnimi besedami odprl predsednik društva Jožef Roškar. Na kratko je strnil najpomembnejše letošnje dosežke društva in člane vzpodbudil k čim večji aktivnosti v okviru društva tudi v prihodnje.



Pozorno spremljanje potopisa po Etiopiji (Foto: M. Demšar).

Za uvod v tovrstna druženja je postal že običaj, da nekdo od članov, ki je v preteklem letu obiskal kakšno zanimivo deželo, še ostalim članom predstavi svoje vtise in doživetja. Letos se je Jože Knez s svojo družino odpravil na obširno popotovanje po Etiopiji, deželi, ki se ponaša z zelo staro kulturo. Z izredno zanimivim prikazom svoje poti, tako slikovno, kakor tudi besedno, je predstavil utrip življenja in lepote Etiopije, ki jih je skupaj s svojo družino doživel na popotovanju.

Po koncu predavanja smo si zaželeli vse lepo v prihajajočem letu ter nadaljevali srečanje v veselem vzdušju ob praznični hrani in pijači. Kot vedno se je med udeleženci razvila marsikatera zanimiva debata.



Resni pogovori med mlajšimi člani...



Tudi naša dekleta so prispevala k dobremu vzdušju.



Je bilo letos spet pretoplo?

Nagrajenka SMD za leto 2011

Komisija za nagrade in priznanja SMD v sestavi prof. dr. Andrej Hočevar, dr. Gregor Gregorič in Branko Gregorčič je v začetku marca 2012 glede na prispеле predloge za priznanja odločila, da za leto 2011 priznanje SMD podeli doc. dr. Nedjeljki Žagar za njene izredne raziskovalne dosežke na področju meteorologije.

Priznanje SMD za leto 2011 prejme doc. dr. Nedjeljka Žagar.



Nagrajenka doc. dr. Nedjeljka Žagar je po podelitvi priznanja za člane pripravila zanimivo predavanje z naslovom **Kje je osrednja lokacija intertropske konvergenčne cone.**

Priznanje je predsednik Slovenskega meteorološkega društva Jožef Roškar nagrajenki podelil 15. marca 2012. Dobitnica priznanja je ob tej priložnosti predstavila članom društva eno svojih zadnjih raziskav o legi intertropske konvergenčne cone.

Doc dr. Nedjeljka Žagar, mednarodno uveljavljena znanstvenica in raziskovalka na področju meteorologije, je v letu 2011 pridobila raziskovalni projekt Evropskega raziskovalnega sveta (ERC). To je prvi primer, da je slovenski znanstvenik uspel na tem prestižnem razpisu. Njen uspeh je bil zato zelo odmeven v slovenski znanstveni in tudi splošni javnosti, s čimer je znatno pripomogla k prepoznavnosti in ugledu meteorološke stroke v slovenskem prostoru. Projekt bo v prihodnjih letih omogočil raziskovalno delo trem mladim meteorologom.

Raziskovalno delo nagrajenke na področju asimilacije in inicializacije podatkov v polja meteoroloških spremenljivk dobro poznajo v številnih priznanih mednaro-

dnih institucijah: v ameriškem Nacionalnem centru za atmosferske raziskave (NCEP), v Evropskem centru za srednjeročno napoved vremena v Readingu (ECMWF), v Evropski agenciji za uporabo meteoroloških satelitov (EUMETSAT), v Evropski vesoljski agenciji (ESA), na japonski Univerzi v Tsukubi, seveda pa tudi na Univerzi v Stockholmu (kjer je doktorirala) in na Univerzi v Zagrebu (kjer je magistrirala). Redna vabila s štipendijami potrjujejo interes omenjenih institucij za nagrajenkine dosežke in za znanstveno sodelovanje z njo. V zadnjih letih je npr. imela kar nekaj deset vabljenih predavanj.

Omenjeni projekt Evropskega raziskovalnega sveta pa je le eden od njenih številnih strokovnih aktivnosti v mednarodnem prostoru v zadnjih letih. V letu 2011 je pridobila projekt v okviru Evropske vesoljske agencije, ki ga tudi vodi. Hkrati vodi tudi meteorološki del programa Centra odličnosti vesolje ter redno predava diplomske in podiplomske predmete meteorologije na Fakulteti za matematiko in fiziko.



Številni udeleženci podelitve so z zanimanjem spremljali nagrajenkino predavanje.

Izlet v Posočje

Dušan Hrček

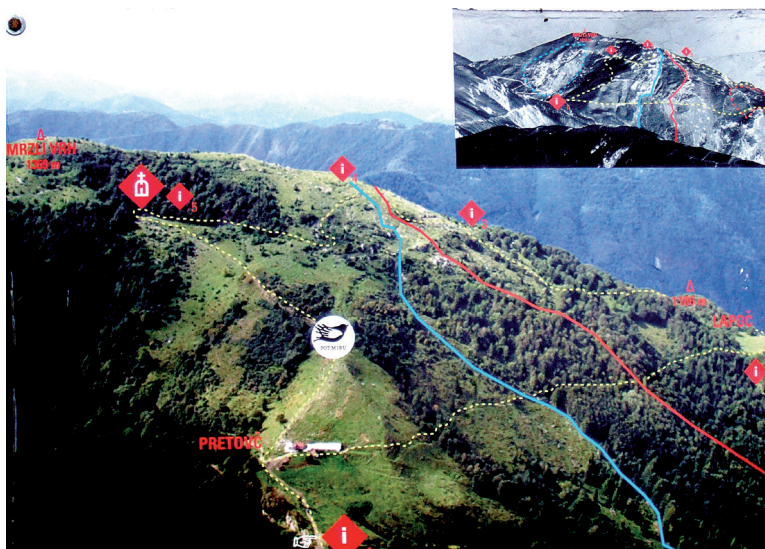
Cilj letošnjega izleta Slovenskega meteorološkega društva, na katerega smo povabili kolege iz Hrvaškega meteorološkega društva, je bilo Posočje. V petek, 15. aprila zvečer smo se udeleženci izleta iz obeh društev zbrali v hotelu Alp v Bovcu in se dogovorili o podrobnostih programa za konec tedna. Smučarji, ki so bili v manjšini, so se organizirali za smučanje na Kaninu. Ostali pa smo se dogovorili za izlete in ogled lokalnih znamenitosti. Prenočevali smo v Kaninski vasi.

V soboto zjutraj smo se odpravili v Muzej prve svetovne vojne v Mašerovem kmečkem dvorcu v Kobaridu. Lepo urejen muzej je dobil nagrado za najboljši evropski muzej za leto 1993. Soška fronta je bila od maja 1915 do oktobra 1917 prizorišče največjega spopada na gorskem območju v celotni zgodovini človeštva in največji spopad na slovenskem ozemlju. Po kratkem

uvodnem predavanju o soški fronti smo se odpravili na Mrzli vrh, da si vtise iz muzeja utrdimo še na eni izmed strateško najpomembnejših točk soške fronte.

Kolegom iz Hrvaške, ki so z avtobusom lahko prišli le do Vrsna, smo priskočili na pomoč in jih z osebnimi avtomobili zvozili do vasi Krn pod pobočjem veličastnega Krna. Nato smo se napotili po markirani poti proti Mrzlemu vrhu (1360 m). Spotoma nam je vodič, g. Janko Jeličič, kustos iz kobariškega muzeja, razlagal podrobnosti bitke za Mrzli vrh in pomen posameznih delov bojišča. Malicali smo pri kapelici ob vhodu v podzemne rove. Tisti, ki so imeli baterijske svetilke, so se na kratko sprehodili po rovu.

Vreme se je držalo napovedi. Sprva je bilo sončno in zelo prijetno, sredi dneva, ko smo počivali na planini Prtovc, se je za kratek čas pooblačilo, zapihal je



Cilj večine udeležencev izleta po poti miru Mrzli vrh, zelo pomembna točka na soški fronti

Zbiranje v soboto zjutraj 16. aprila 2011 v Kaninski vasi
(Foto: B. Zupančič)



hladen veter in padla je tudi kakšna snežinka. Vreme, kot se spodobni za april! Na samem Mrzlem vrhu je bilo spet sončno, tako da smo lahko uživali izvrsten razgled. Na povratku smo se ustavili in sprehodili po lepo urejeni vasi Vrsno.

V nedeljo nas je v Kaninski vasi zbudilo prekrasno jutro. Po zajtrku smo se spet odpravili v Kobarid. Od tam smo se peš odpravili mimo Napoleonovega mostu po desnem bregu Soče in nato čez viseči most po dolinici potoka Kozjak do slapa Veliki Kozjak.



Po malici pred vhodom v rov pod Mrzlim vrhom (foto: J. Rožkar)



Krasna si bistra hči planin ... (foto: G. Vertačnik)

Z vremenom smo imeli srečo in barve narave so res prišle do izraza. Na povratku smo malicali v gostišču v kampu ob Soči, nekateri pa so pohiteli spet v muzej v Kobaridu. Ko smo se spet zbrali, smo se odpeljali na grič nad Kobaridom na ogled kostnice italijanskih

vojakov, padlih na soški fronti. Na povratku v Bovec smo si od daleč pogledali še slap Boka.

Po kosilu v Bovcu smo se poslovili od kolegov s Hrvaške z željo, da se spet srečamo, če ne prej pa na izletu nekje na Hrvaškem.



Občudovanje slapu Kozjak (foto: J.Roškar (levo), G. Vertačnik (desno))



Pred kostnico v Kobaridu (foto: J. Roškar)

Simulacija rasti in razvoja koruze v spremenjenih podnebnih razmerah

Andrej Cegljar, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta

Uvod

Podnebje na Zemlji se zaradi človeških posegov v podnebni sistem vse hitreje spreminja (Luterbacher, 2004). Vsebnost toplogrednih plinov v ozračju zaradi intenzivnega izkoriščanja fosilnih goriv, krčenja gozdov ter sprememb v rabi tal že 200 let stalno narašča. Meritve kažejo globalni dvig temperature zraka ter spremembe v količini, intenziteti, frekvenci in vrsti padavin (IPCC, 2007). V Evropi opažamo povečano pogostost ekstremnih vremenskih dogodkov, kot so vročinski valovi, suše, neurja z nalivi ter močnim vetrom (Benestad, 2005). Posledice podnebnih sprememb čutimo tudi v Sloveniji, saj se je temperatura zraka v obdobju od leta 1951 do 2000 v povprečju dvignila za 1,1 °C (Kajfež-Bogataj in Bergant, 2004). Spremembe temperature zraka so manj raznolike kot spremembe v količini in prostorski razporeditvi padavin.

Podnebne razmere imajo ključen vpliv na kmetijsko proizvodnjo, saj s svojo medletno spremenljivostjo povzročajo velika nihanja v višini pridelka. Zlasti temperatura zraka in tal, sončno obsevanje, vlažnost zraka, količina in razporeditev padavin imajo odločilen vpliv na kmetijsko pridelavo. Vse večja pogostost in intenzivnost vremenskih ujm povečuje regionalno ranljivost kmetijstva (Porter, 2005). Podnebne spremembe povečujejo ranljivost kmetijske pridelave, zlasti ob nepravilnem ter nepravočasnem prilagajanju nanje. Predvidene podnebne spremembe bodo spremenile pridelok tako količinsko kot kvalitativno. Prav tako bodo imele vpliv na lokacijo proizvodnje, kar ogroža kmetijske prihodke in pridelavo hrane, lahko pa povzročijo tudi opustitev rabe zemljišč v nekaterih predelih (Kajfež-Bogataj, 2005).

Eden izmed načinov ocenjevanja vpliva podnebnih sprememb na višino pridelka je uporaba fizikalnih modelov, ki razlagajo rast pridelka na osnovi procesov v rastlini, upoštevajoč vpliv okoljskih razmer. V naši študiji smo obravnavali vpliv podnebne spremenljivosti na rast in končno višino pridelka koruze (*Zea mays* L.) na treh lokacijah (Ljubljana, Murska Sobota in Novo mesto). Kоруza je poleg pšenice najbolj razširjena poljščina v Sloveniji. Pridelujemo jo na okoli 40 % vseh njivskih površin, kar je največji delež v setveni sestavi med vsemi evropskimi državami (Čergan, 2008). Pridelok koruze in ostalih poljščin je ob neugodnih vremenskih razmerah manjši. Raziskave kažejo, da se količina padavin v Sloveniji na letni ravni značilno ne spreminja, je pa vse bolj izrazita sezonska preraz-

poreditev padavin (Kajfež-Bogataj, 2010). Zaznati je zmanjšanje količine padavin v obdobju, ko je kоруza od njih najbolj odvisna (pozno spomladi ter poleti), kar sovпада z obdobjem cvetenja ter polnjenja zrnja. Hkrati postaja jesenski maksimum padavin bolj izrazit, kar pri spravilu koruze lahko povzroči veliko škode. Podnebne spremembe so povezane s številnimi negotovostmi. Na vremenske okoliščine v rastni sezoni ne moremo vplivati, a s primernimi ukrepi lahko zmanjšamo tveganje pridelave. Taki ukrepi so: izbira primerne hibrida z višjo stopnjo tolerance na sušo, izbira optimalnega časa setve, način obdelave tal in izbira območja za gojenje koruze. Pri tovrstni optimizaciji pridelave koruze in ostalih poljščin si lahko pomagamo z modeliranjem višine pridelka, kjer je končni rezultat odvisen od okoljskih razmer v času rastne sezone.

Postopek raziskave

V našem delu smo si zastavili več ciljev. Namen prve faze je bil prilagoditev modela WOFOST, opisanega v naslednjem poglavju, na lokalne razmere v Sloveniji, saj je bila prvotna različica modela umerjena za izračune na Nizozemskem, kjer je model nastal. Pomemben korak pred samim umerjanjem modela je izdelava analize občutljivosti, s katero lahko določimo parametre, na katere je izračun pridelka najbolj občutljiv. Kompleksni dinamični modeli, kot je WOFOST, namreč vsebujejo veliko število parametrov (okrog 100), zato je pomembno izluščiti tiste, ki imajo na izbrano simulirano spremenljivko največji vpliv. Korak je pomemben, saj ne razpolagamo z veliko količino ter raznovrstnostjo podatkov, na osnovi katerih lahko umerimo model. Z omenjenim postopkom prihranimo računski čas. Kakovost simulacije je odvisna od modeliranja fenološkega razvoja rastline (Streck, 2007). Zato smo primerjali različne metode za izračun fenološkega razvoja in za nadaljnje simulacije izbrali najbolj primerno.

V drugi fazi je bilo potrebno pridobiti časovne nize meteoroloških spremenljivk na dnevni ravni ob spremenjenih podnebnih razmerah. Lahko jih pridobimo na osnovi sintetičnih scenarijev, kjer po korakih spreminjamo izmerjene vrednosti, ali pa uporabimo scenarije podnebnih sprememb, ki jih simulirajo podnebni modeli. Izdelali smo projekcije sprememb podnebnih razmer na osnovi obstoječih podatkovnih zbirk scenarijev na območju Slovenije. Z uporabo simulacij smo nato določili vpliv sprememb na povprečje in spremenljivost ključnih meteoroloških spremenljivk na rast koruze.

Tretja faza je obsegala uporabo umerjenega modela WOFOST pri vrednotenju vpliva podnebnih sprememb na višino pridelka z uporabo izdelanih scenarijev podnebnih sprememb. Poseben poudarek v tej fazi smo dali vrednotenju negotovosti v modelskih simulacijah in ugotavljanju njenega izvora. Rezultate simulacij naše in podobnih študij je potrebno podati v okviru negotovosti, ki spremljajo izračun. Tako povemo, kako gotovi smo, da bo do teh sprememb res prišlo. V študijo smo vključili tudi predvidene spremembe koncentracije CO₂, ki vpliva na fotosintetsko aktivnost rastlin ter učinkovitost izrabe vode (Kajfež-Bogataj, 2005).

V nadaljevanju podajamo kratek pregled uporabljenih metod, bistvene rezultate in ugotovitve v našem delu.

Metode

Model rastlinske produkcije WOFOST

WOFOST je fizikalni model, ki razlaga rast pridelka na osnovi procesov, ki se dogajajo v rastlini, z upoštevanjem okoljskih dejavnikov. Osnovo za izračun produkcije suhe snovi predstavlja asimilacija CO₂ v rastlinski odeji. Ta je odvisna od količine vpadnega sončnega sevanja in skupne listne površine. Del ogljikovih hidratov, nastalih s procesom fotosinteze, se porabi za bazalni metabolizem, ostali pa se pretvorijo v gradbeni material. Suha snov se porazdeli med korenine, liste, stebela in založne organe, pri čemer model uporabi porazdelitvene koeficiente, ki so funkcija fenološke razvojne faze. Suho maso rastlinskih organov dobimo z integracijo njihove hitrosti rasti po času. Akumulacija in porazdeljevanje suhe snovi po rastlini je simulirana od setve do dozoretja na bazi fizioloških procesov, ki jih določajo odzivi poljščin na dnevne vremenske situacije, stanje vode v tleh ter setveno prakso.

Umerjanje modela WOFOST

Pri ocenjevanju parametrov dinamičnega modela se zgodi, da je podatkov za umerjanje premalo. Zato v splošnem dejanska numerična ocena vseh parametrov sploh ni mogoča. Dinamični modeli za simulacijo pridelka so še posebej problematični, saj imamo ponavadi na voljo zelo omejeno količino podatkov. Ocenjevanje parametrov v modelih za simulacijo pridelka zato ni le enostaven regresijski problem, ki bi vključeval ocenjevanje parametrov na osnovi enega niza podatkov (npr. suha masa biomase ob zrelosti). Proces umerjanja dinamičnega modela mora povezati tako podatke o količini pridelka kot tudi podatke, pridobljene z opazovanji in meritvami razvoja rastlin tekom rastne sezone.

Namen statističnih metod umerjanja je oceniti vrednosti modelskih parametrov na osnovi podatkovnega

vzorca. Ista količina se lahko pojavlja kot parameter ali spremenljivka, odvisno od okoliščin. Začetna vsebnost dušika v tleh je lahko količina, ki jo izmerimo in zato podamo kot vhodno spremenljivko; v nasprotnem primeru je to parameter. Vektor modelskih parametrov sestavljajo prave vrednosti, pri tolmačenju le teh pa moramo biti previdni, saj so v praksi prave vrednosti parametrov neznane (npr. Makowski, 2006).

V študiji smo za ocenjevanje parametrov modela uporabili Bayesovo metodo, ki omogoča integracijo predhodnega znanja o modelskih parametrih in izmerjenih podatkih v modelski izračun. Posteriorno porazdelitev parametrov smo izračunali z uporabo Metropolis-Hastingsovega algoritma (podrobneje opisan v Ceglar s sod., 2011), ki temelji na Bayesovem teoremu.

Povečevanje ločljivosti regionalnih podnebnih modelov

Kontrolne simulacije regionalnih podnebnih modelov (ang. regional climate model, RCM) predstavljajo prostorsko porazdelitev dnevni vrednosti ključnih meteoroloških spremenljivk za obdobje 1961–2000. V naši študiji smo izmed vseh simuliranih spremenljivk izbrali tiste, ki so potrebne za izračun pridelka z modelom WOFOST. To so: višina padavin, minimalna in maksimalna temperatura, globalni sončni obsev, delni tlak vodne pare in hitrost vetra.

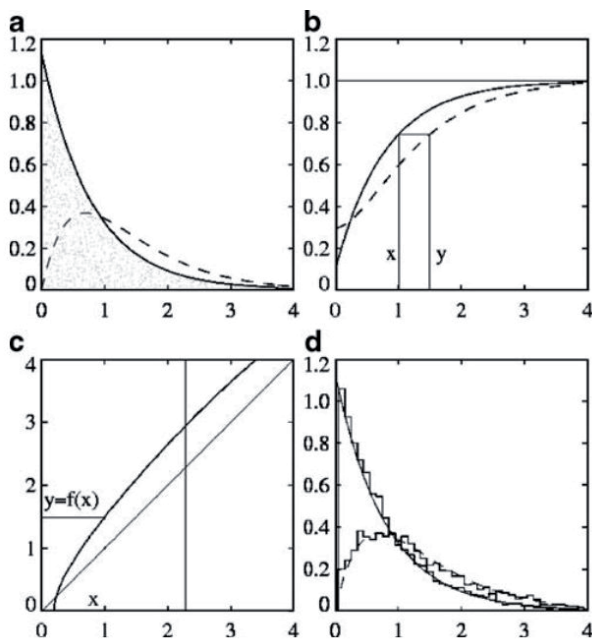
Za premostitev med regionalnim in lokalnim velikostnim redom smo uporabili metodo prilagajanja porazdelitve. Pri metodi prilagajanja porazdelitve predpostavimo, da izmerjene in simulirane spremenljivke dobro opiše predpostavljena teoretična porazdelitvena funkcija. Prvi korak je zato izbira primerne porazdelitvene funkcije za izbrano meteorološko spremenljivko, čemur sledi prilagajanje parametrov porazdelitve. Kot pri vseh ostalih metodah odpravljanja sistematičnih odstopanj, tudi tu predpostavljamo, da parametri transformacije ostanejo nespremenjeni, kar je vse prej kot trivialna predpostavka (Trenberth, 2003). Večja robustnost transformacijske funkcije, ko je le ta odvisna od majhnega števila parametrov (dobljenih na osnovi podatkov), govori v prid tej predpostavki. Izbiri porazdelitvene funkcije sledi ocenjevanje parametrov porazdelitve za simulirane vrednosti α_{RCM} in parametrov za izmerjene vrednosti spremenljivk (α_{OBS}). Oba nabora parametrov določimo za referenčno obdobje, za katero imamo na voljo meritve, ter simulacije RCM. Parametre porazdelitve smo izračunali z metodo največjega verjetja (angl. maximum likelihood). Omenjena metoda temelji na principu izbire največje verjetnosti vzorčnih podatkov. Za iskanje nabora parametrov, ki maksimira logaritem funkcije verjetja, smo uporabili uteženo metodo najmanjših kvadratov. Ocenjeno gostoto verjetnosti simuliranih vrednosti RCM za referenčno obdobje uporabimo za iskanje verjetnosti

določene vrednosti spremenljivke. To verjetnost nato uporabimo v gostoti verjetnosti izmerjenih vrednosti, iz česar ocenimo popravljeno vrednost:

$$y_{pp} = F_{obs}^{-1}(\alpha_{obs}, F_{RCM}(\alpha_{RCM}, y_{RCM})) ,$$

pri čemer y_{pp} predstavlja popravljeno vrednost spremenljivke, F kumulativno verjetnost, y_{RCM} pa simulirano vrednost v referenčnem obdobju ali primerjalnem obdobju. Rezultat je v bistvu inverz kumulativne verjetnosti, dobljen na osnovi parametrov porazdelitvene funkcije izmerjenih vrednosti.

Uporaba metode prilagajanja porazdelitve je predstavljena na sliki 1. Na sliki 1a sta prikazani verjetnostni gostoti izmerjenih (prekinjena črta) in simuliranih vrednosti (neprekinjena črta) spremenljivke x . Območje pod neprekinjeno črto je napolnjeno s sintetičnimi vrednostmi, pridobljenimi z naključnim vzorčenjem (temu bomo rekli podatkovni set X'). Na sliki 1d smo še enkrat narisali verjetnostno gostoto. Podatkovni niz X' nato pretvorimo z opisano metodologijo: $Y=f(X')$. Histogram Y' je narisan na sliki 1d, kjer opazimo pričakovano dobro ujemanje z verjetnostno gostoto izmerjenih vrednosti.

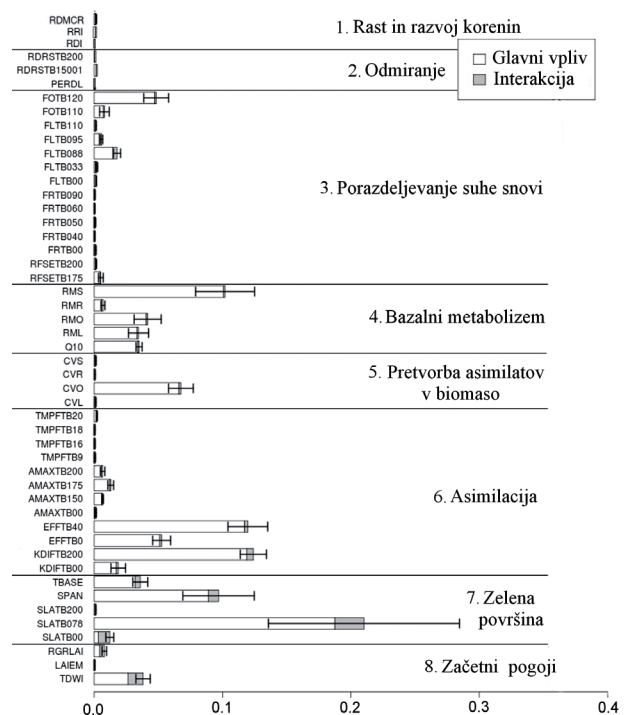


Slika 1. Ponazoritev uporabe metode prilagajanja porazdelitve. (a) Gostota verjetnosti simulirane količine padavin (neprekinjena črta) ter opazovanih vrednosti (prekinjena črta). (b) Kumulativni porazdelitveni funkciji, pridobljeni z integracijo pripadajočih porazdelitvenih funkcij v (a). (c) Transformacijska funkcija, dobljena grafično iz slike (b) kot rešitev enačbe: $cdf_{obs}(y) = cdf_{sim}(x)$ (operator cdf predstavlja kumulativno porazdelitev). (d) Histogram sintetičnega podatkovnega niza enakomerno porazdeljenih točk pod funkcijo gostote verjetnosti simuliranih vrednosti (a), ki je dodan na isto funkcijo gostote verjetnosti (neprekinjena črta) in histogram pretvorjenih vrednosti, ki je ravno tako dodan na funkcijo gostote verjetnosti izmerjenih vrednosti (prekinjena črta).

Rezultati z razpravo

Analiza občutljivosti dinamičnega modela WOFOST je pokazala najbolj občutljive parametre. Analizo smo izvedli za večino parametrov, potrebnih v parametrizacijskih shemah modela WOFOST. Pokazala nam je, da jih izmed 50 približno 15 pojasni večji del spremenljivosti višine pridelka (slika 2). Teh 15 parametrov je potrebno podati s čim večjo natančnostjo oziroma jih prilagoditi tako, da se bo končna višina pridelka čim boljše ujemala z izmerjeno. To nam je omogočila umeritev modela z Metropolis-Hastingsovimi algoritmi. Ob združitvi predhodnega znanja o vrednosti parametrov in izmerjenih višin pridelka smo kasneje z Bayesovim teoremom prišli do posteriornih porazdelitev omejenih 15 parametrov in s tem tudi do posteriorne porazdelitve višine pridelka, ki je odraz negotovosti parametrov. Z umerjenim modelom WOFOST smo na treh lokacijah pojasnili več kot 50 % spremenljivosti izmerjenega pridelka, pri čemer je bilo ujemanje najslabše v Ljubljani. Vzrok je verjetno reprezentativnost meteoroloških podatkov, ki niso bili izmerjeni v neposredni bližini poskusnega polja. V Novem mestu ter Murski Soboti smo pojasnili 76 % ter 72 % spremenljivosti izmerjenega pridelka.

Višina pridelka je močno odvisna od dolžine rastne sezone, zato je pri simulaciji zelo pomemben način izračuna fenološkega razvoja. To nas je vodilo v primerjavo različnih fenoloških metod. Wang-Engelova metoda (funkcija beta) se uvršča med nelinearne in je edina, katere vrednosti parametrov imajo bio-fizikalni



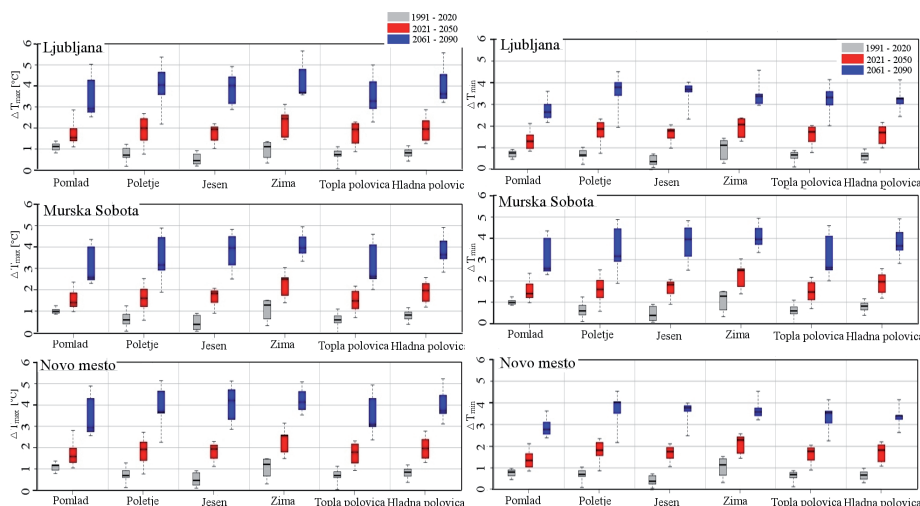
Slika 2. Indeks občutljivosti parametrov modela WOFOST.

pomen. Ostale metode, ki smo jih primerjali, so izključno statistične narave. Pri fenološkem razvoju koruze je najpomembnejši prehod iz vegetativnega v reproduktivno stanje, ko je koruza zelo občutljiva na vremenske razmere. Zato ob neprimerni simulaciji fenološkega razvoja prihaja do velikih odstopanj v končni višini pridelka. Da bi ugotovili vpliv izbire metode fenološkega razvoja na simulacijo pridelka, smo v WOFOST-u preizkusili pet metod in primerjali končno višino pridelka. Ugotovili smo, da v sedanjih podnebnih razmerah v letih, ko je koruza optimalno preskrbljena z vodo, izbira metode ne vpliva bistveno na višino simuliranega pridelka. V sušnih razmerah pa je najboljša Wang-Engelova metoda (Ceglar s sod., 2011).

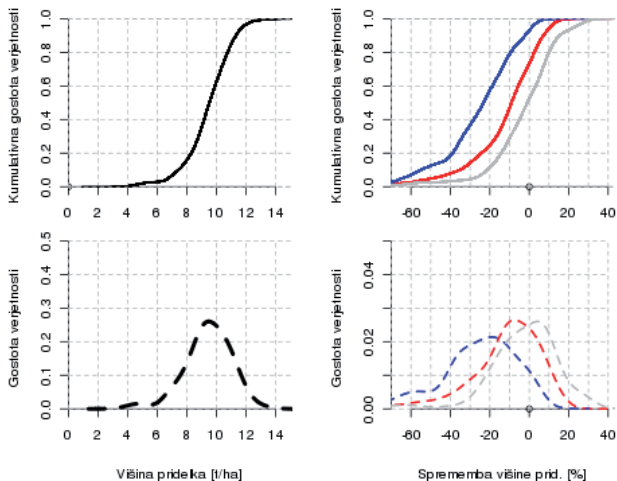
Osnova za izdelavo scenarijev podnebnih sprememb so simulacije globalnih podnebnih modelov (ang. global climate model, GCM). Njihova horizontalna ločljivost je premajhna za neposredno uporabo na lokalnem nivoju, kakršne so bile zahteve v naši študiji. Premostitev med globalno ter lokalno prostorsko ločljivostjo smo izvedli z dinamično-statističnim pristopom k zmanjševanju velikostnega reda. V prvem koraku z gnezdenjem RCM v GCM pridobimo simulacije potrebnih meteoroloških spremenljivk na regionalni skali, tem pa je v drugem koraku potrebno odpraviti še sistematično odstopanje. Simulacije RCM smo pridobili iz podatkovnih baz, izgrajenih tekom evropskega projekta ENSEMBLES. Uporabili smo simulacije osmih različnih RCM, gnezdenih znotraj dveh GCM. Horizontalna ločljivost vseh uporabljenih RCM je znašala 25 km. Simulacijam smo pred uporabo na lokalni skali odpravili sistematično odstopanje, pri čemer smo primerjali tri različne metode: direktno, prilagajanje porazdelitve ter kvantilno prilagajanje. Pri tem smo ugotovili, da je kakovost popravljenih simulacij odvisna predvsem od kakovosti surovih simulacij RCM, predvsem od zmožnosti RCM za realistično simulacijo trendov podnebnih spremenljivk. Primerjava popravljenih simulacij z meritvami je pokazala, da je v topli polovici leta najboljša metoda prilagajanja

porazdelitve, k podobnim rezultatom pa je v večini primerov vodila tudi metoda kvantilnega prilagajanja. Na kakovost popravljenih simulacij so, poleg izbire RCM, vplivali tudi letni čas, lokacija ter izbira meteorološke spremenljivke. Z metodo prilagajanja porazdelitve smo izboljšali statistične lastnosti surovih simulacij RCM. Najmanjša odstopanja pri vrednotenju metod smo pričakovano dobili pri minimalni temperaturi, maksimalni temperaturi in delnemu tlaku vodne pare. Predvsem v hladni polovici leta smo izboljšali tudi simulacije višine dnevnih padavin ter pogostosti padavinskih dogodkov. Do večjih razlik je prihajalo v topli polovici leta. Takrat večino padavin prispevajo plohe in nevihte – pojavi na pogosto mnogo manjši prostorski skali, kot je horizontalna ločljivost obravnavanih RCM. Konvekcija v RCM zato predstavlja pod mrežni proces, ki je vpeljan s pomočjo parametrizacijske sheme; različne študije so pokazale na veliko občutljivost simulirane količine padavin na spreminjanje parametrizacijskih shem. Posledično je v topli polovici leta prihajalo do večjih odstopanj tudi pri globalnem sončnem obsevu.

Z umerjeno metodo prilagajanja porazdelitve izbranih meteoroloških spremenljivk smo izdelali projekcije rezultatov simulacij RCM. Rezultati kažejo na dvig minimalne temperature, maksimalne temperature (slika 3) in delnega tlaka vodne pare na vseh obravnavanih lokacijah. Modeli so bolj neenotni glede spremembe dnevne višine padavin, predvsem v poletnem času. Pozimi je simuliran razpon sprememb manjši in večinoma enoten po predznaku. Projekcije sprememb pogostosti padavinskih dogodkov spremlja precej manjša negotovost kot višino dnevnih padavin. Vsi modeli so enotni v tem, da se bo število padavinskih dni v poletnem času zmanjšalo, v ostalih letnih časih pa je pričakovati manj izrazite spremembe. Zelo velika negotovost spremlja tudi projekcije sprememb globalnega sončnega obseva v vseh letnih časih, razen v jeseni. Za to obdobje vsi modeli napovedujejo zmanjšanje globalnega sončnega obseva, ki je dokaj enotno tekom celotnega 21. stoletja. Ob izdelanih projekcijah



Slika 3. Projekcije sprememb maksimalne (levo) in minimalne temperature zraka (desno) na obravnavanih lokacijah v Sloveniji, upoštevajoč rezultate 8 različnih RCM, ki smo jim predhodno odpravili sistematično odstopanje z metodo prilagajanja porazdelitve.



Slika 4. Kumulativna porazdelitev in empirična gostota verjetnosti višine pridelka v obdobju 1961–1990 (levo) ter kumulativne porazdelitve, skupaj z empirično gostoto verjetnosti simuliranih sprememb višine pridelka (desno) v Murski Soboti za tri različna obdobja (siva 1991–2020, rdeča 2021–2050 in modra 2061–2090).

sprememb obravnavanih spremenljivk se moramo zavedati bistvene predpostavke, na kateri temelji metoda odpravljanja sistematičnih odstopanj. Ta namreč predvideva stacionarnost zveze med simulacijami RCM na regionalni skali ter spremenljivko na lokalni skali. Glede na to, da so lokalne podnebne razmere odraz globalnih vzorcev kroženja zraka na regionalnem nivoju (na katere vpliva predvsem topografija), je pričakovati, da bo predpostavka izpolnjena v primeru, če se ti ne bodo bistveno spremenili.

Rezultate odpravljanja sistematičnih odstopanj surovih simulacij RCM smo uporabili pri simulaciji pridelka korusa v preteklih ter spremenjenih podnebnih razmerah. Pri tem smo uporabili model WOFOST, ki smo ga predhodno prilagodili lokalnim razmeram. Izračun pridelka za referenčno obdobje smo najprej naredili na osnovi surovih simulacij RCM, nato še na osnovi popravljenih simulacij. Primerjava obeh izračunov je pokazala, da je predhodno odpravljanje sistematičnih odstopanj v simulacijah RCM nujno potrebno, saj je v nasprotnem primeru višina pridelka v večini primerov močno podcenjena. Glavni razlog za podcenjevanje pri uporabi surovih simulacij RCM gre iskati v dnevni višini padavin, saj modeli v splošnem simulirajo preveč padavinskih dogodkov z nizko količino padavin. Odpravljanje sistematičnih odstopanj RCM vodi k boljšemu ujemanju simuliranih ter izmerjenih pridelkov. Ob tem velja previdnost pri izbiri RCM, uporabljenih pri izračunu pridelka. Če so simulirana suha obdobja med dvema padavinskima dogodkoma predolga, se talni vodni rezervoar izprazni in korusa posledično utrpi sušni stres, kar vodi v podcenjevanje pridelka. Simulacije RCM z opisano problematiko je potrebno izključiti iz nadaljnega izračuna pridelka (Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2012).

Izračuni ob podnebnih spremembah kažejo na zmanjševanje pridelka tekom 21. stoletja, obenem pa tudi na krajše trajanje rastne sezone (slika 4). Analiza občutljivosti končne višine pridelka na vremenske razmere v rastni sezoni je pokazala, da gre vzrok zmanjševanja pridelka iskati v neugodnem vremenu v obdobju največje občutljivosti rasti korusa (metličenje, svilanje in oplodnja). Zaradi dviga temperature izračuni modela WOFOST kažejo tudi na zmanjševanje potencialnega pridelka, ki ni odvisen od količine padavin. Dejanski pridelok, ki vključuje vpliv količine in razporeditve padavin v rastni sezoni, je še nekoliko manjši. Izračuni kažejo tudi na večjo medletno spremenljivost pridelka, kar bo povečalo tveganje pridelave. Tveganje pridelave lahko zmanjšamo z zgodnejšo setvijo korusa in predvsem pridelavo na tleh z višjo sposobnostjo za zadrževanje rastlinam dostopne vode.

Študija občutljivosti na podnebne spremembe je pokazala tudi na številne negotovosti, ki vstopajo na različnih nivojih modeliranja. Temelj vseh izračunov predstavljajo simulacije podnebnih modelov, na podlagi katerih so določene ocene pričakovanih sprememb ključnih podnebnih spremenljivk v študiji občutljivosti. Te rezultate vključujemo v modele občutljivosti na podnebne spremembe, ki vnesejo v končno oceno nov vir negotovosti. Pomemben del prispevajo emisijski scenariji, temelječi na predpostavkah o razvoju družbe v prihodnosti. V naši študiji smo obravnavali le t.i. srednji scenarij A1B, zato negotovosti zaradi izbire scenarija ne moremo podati. Izredno pomembno je, da se pri tolmačenju končnih rezultatov zavedamo predpostavk in pomanjkljivosti, na katerih temelji študija.

Viri

- Benestad R. 2005. *Climate change scenarios for northern Europe from multi-model IPCC AR4 climate simulations*. *Geophysical Research Letters*, 32: L17704
- Boogard H.L., van Diepen C.A., Rotter R.P., Cabrera J.C.M.A., Laar H.H.V. 1998. *WOFOST 7.1: User Guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 5.1*. Wageningen, Alterra: 52 str.
- Bergant K. 2003. *Projekcije simulacij globalne klime na lokalni nivo in njihova uporaba v agrometeorologiji*. *Doktorska disertacija*. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 170 str.
- Ceglar A., Pogačar T., Kajfež-Bogataj L., Crepinšek Z. 2011. *The simulation of phenological development in dynamic crop model: The Bayesian comparison of different methods*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151: 101–115
- Ceglar, A., Kajfež-Bogataj, L., 2012. *Simulation of maize yield in current and changed climatic conditions: addressing modelling uncertainties and the importance of bias*

correction in climate models simulations. *European Journal of Agronomy*. Vol. 37, 1. str. 83-95

Čerčan Z. 2008. Morfologija koruze. V: Koruza. Čerčan Z., Jejič J., Knapič M., Modic-Moljk B., Poje T., Simončič A., Sušin J., Urek G., Verbič J., Vrščaj B., Žerjav S., M. (ur.). Ljubljana, Založba Kmečki glas: 22-40

IPCC-TGCI 2007. General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. Version 2. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment: 66 str.

Kajfež-Bogataj L., Bergant K. 2004. Podnebne spremembe v Sloveniji in suša. *Ujma* 19: 37-41

Kajfež-Bogataj L. 2005. Podnebne spremembe in ranljivost kmetijstva. *Acta agriculturae Slovenica*, 85: 25-40

Kajfež-Bogataj L., Pogačar T., Ceglar A., Črepinšek Z. 2010. Spremembe agroklimatskih spremenljivk v Sloveniji v zadnjih desetletjih. *Zbornik biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani*, 95: 97-109

Luterbacher J., Dietrich D., Xoplaki E., Grosjean M., Wanner H. 2004. European seasonal and annual temperature variability. Trends and extremes since 1500. *Science*, 303: 1499-1503

Makowski D., Hiller J., Wallach D., Andrieu B., Jeunot M.H. 2006a. Parameter estimation for crop models. V: Working with dynamic crop models. Wallach D., Makowski D., Jones J. W. (eds.). UK, Elsevier: 101-149

Strech N., de Paula F.M., Bisognin D., Heldwein A., Dellai J. 2007. Simulating the development of field grown potato (*Solanum tuberosum* L.). *Agricultural and Forest Meteorology*, 142: 1-11

Porter J.R., Semenov M.a. 2005. Crop responses to climatic variation. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 360, 1463: 2021-35

Trenberth K.E., in sod. 2003. The changing character of precipitation. *Bulletin of American Meteorological Society*, 84: 1205-1217

Pomen nekaterih pojmov v sestavku

Posteriorsna porazdelitev	To je porazdelitev, ki predstavlja produkt priorne porazdelitve ter funkcije verjetja. Posteriorsna verjetnost je verjetnost dogodka, ki se izračuna z Bayesovim izrekom iz priorne verjetnosti in vzorčnih podatkov: $f(\theta Y) = f(Y \theta) f(\theta) / f(Y)$.
Globalni podnebni model	Globalni podnebni model oz. model splošne cirkulacije je matematični model splošne cirkulacije planetarne atmosfere ter oceanov, ki temelji na sistemu Navier-Stokesovih ter termodinamičnih enačb.
ENSEMBLES	To je bil evropski projekt v 6. okvirnem programu, katerega namen je bil izdelati ansambelsko napoved podnebnih sprememb nad Evropo, ki temelji na simulacijah podnebnih modelov z visokimi ločljivostmi. Eden izmed pomembnih ciljev projekta je bila tudi ocena negotovosti, povezani s fizikalnimi, kemijskimi, biološkimi ter antropogeno povzročenimi mehanizmi v klimatskem sistemu. Več na: http://www.ensembles-eu.org
Podmrežni procesi	To so procesi v ozračju, ki se odvijajo na manjši prostorski skali, kot je ločljivost podnebnih modelov. Podmrežne procese je zato potrebno v modelih parametrizirati, s čimer skušamo sestaviti fizikalno formulacijo za te procese.

Analiza letalskih meritev Mode-S v spodnjih slojih ozračja v Ljubljanski kotlini

Nina Lamut

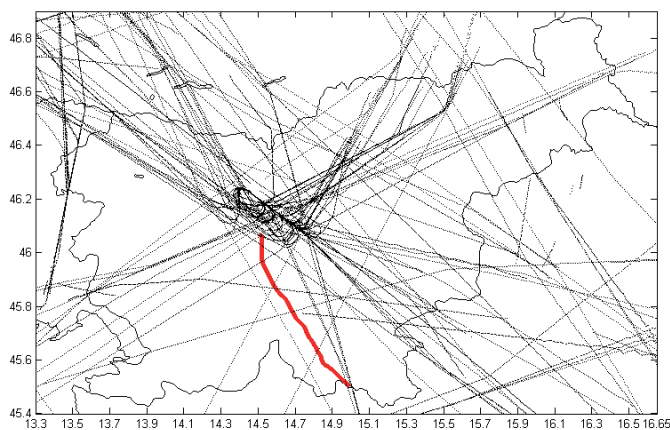
Podatki preko sistema AMDAR, do nedavno edinega sistema, ki je zajemal letalske meritve preko radijskih linij, so pridobljeni z ustrežno opremo na letalih, vendar večina letal te opreme nima. V sistemu Mode-S so meteorološki podatki od letala pridobljeni s pomočjo radarja, ki z letalom komunicira preko transponderja na letalu. V primerjavi s sistemom AMDAR je frekvenca podatkov Mode-S večja, večja pa je tudi prostorska pokritost, saj je vsako letalo v dosegu radarja dolžno odgovarjati na njegov poziv. Cilj diplomskega dela je bilo uporabiti meritve radarja Mode-S, postavljenega na letališču Jožeta Pučnika v Ljubljani, ki so od konca leta 2010 dostopne tudi meteorologom.

Sistem Mode-S ponuja nadomestne meritve, ki so na območjih, kjer je podatkov o vertikalni strukturi hitrostnega polja vetra zelo malo (npr. Slovenija), lahko izjemnega pomena. Meritve vertikalne strukture ozračja nad Slovenijo se opravljajo le enkrat na dan s pomočjo radiosonde na Agenciji za okolje, zato količina in časovna gostota podatkov Mode-S omogočata bolj natančen vpogled v strukturo hitrostnega polja vetra in temperature nad tlemi v Ljubljanski kotlini.

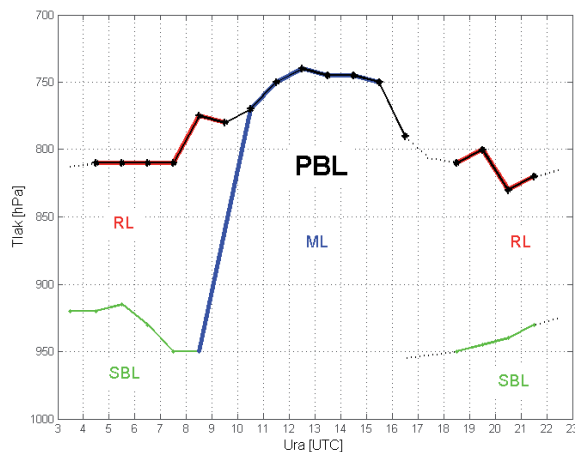
Namen te diplome je analizirati časovne in krajevne lastnosti podatkov Mode-S v mesecu aprilu 2011 s poudarkom na lastnostih spodnjih 3 km ozračja - planetarna mejna plast. V planetarni mejni plasti na hitrost in smer vetra zelo vpliva orografija, ki generira tok zraka na nekaterih merjenih lokacijah. Podatki Mode-S

so prostorsko in časovno neenakomerno porazdeljeni (izjema je porazdelitev po dnevu). Prostorsko jih omejuje predvsem razgiban teren v Sloveniji, časovno pa gostota letalskega prometa na ljubljanskem letališču. Dnevno s pomočjo radarja prejmemo nekaj deset tisoč izmerkov o temperaturi in vetru. Do višine približno 3 km je bilo v aprilu 2011 znotraj horizontalnega radija oddaljenosti 60 km od ljubljanskega letališča dobljenih povprečno nekaj čez 4000 izmerkov dnevno. Največja gostota meritev je v okolici Domžal. V horizontalnem radiju oddaljenosti 20 km od Domžal in do višine okoli 3 km zajamemo skoraj 90 000 podatkov mesečno. Število meritev se z višino zmanjšuje, rahlo se poveča na višini približno 1200 m.

Zajeta količina podatkov v mesecu aprilu 2011 je razmeroma majhna za obravnavo lastnosti planetarne mejne plasti atmosfere in zato tudi pride do pričakovanih razlik med vertikalnimi profili temperature in vetra, dobljenih s pomočjo podatkov Mode-S, ter teoretičnimi idealiziranimi krivuljami. Debelina planetarne mejne plasti se skozi dan spreminja. Ponoči in proti jutru je njena višina v mesecu aprilu segala do približno 840 hPa, podnevi pa se je s pomočjo turbulentnih tokov višina planetarne mejne plasti dvignila do približno 740 hPa. Rezultati so prva dosedanja meteorološka analiza podatkov Mode-S pri nas in lahko pomagajo slovenskim meteorologom pri raziskovanju uporabe Mode-S podatkov v numeričnem prognostičnem modelu ALADIN/SI.



Slika 1. Trajektorija radiosonde (rdeča krivulja) spuščene dne 1.4.2011 ob 03 UTC, tekom celotnega merjenja (do višine približno 20 km m.n.v. in v času dveh ur) in meritve letal (črne pike). Meritve letal so bile narejene 14.4.2011 nad območjem Slovenije.



Slika 2. Skupna debelina PBL in debelina posameznih plasti (SBL, RL in ML), ki sestavljajo planetarno mejno plast.

Vpliv stranskih robnih pogojev na napake meteoroloških napovedi v idealiziranih in realističnih numeričnih simulacijah

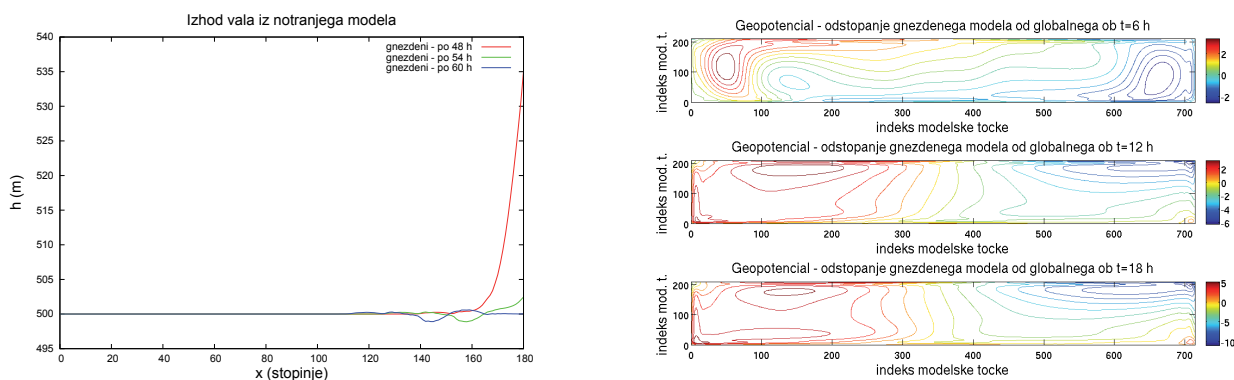
Urška Bajec

V diplomskem delu sem obravnavala napake, ki se pojavijo v gnezdenih modelih zaradi vpliva stranskih robnih pogojev na primerih idealiziranih simulacij v eni in dveh dimenzijah ter na realnem primeru gnezdenega modela.

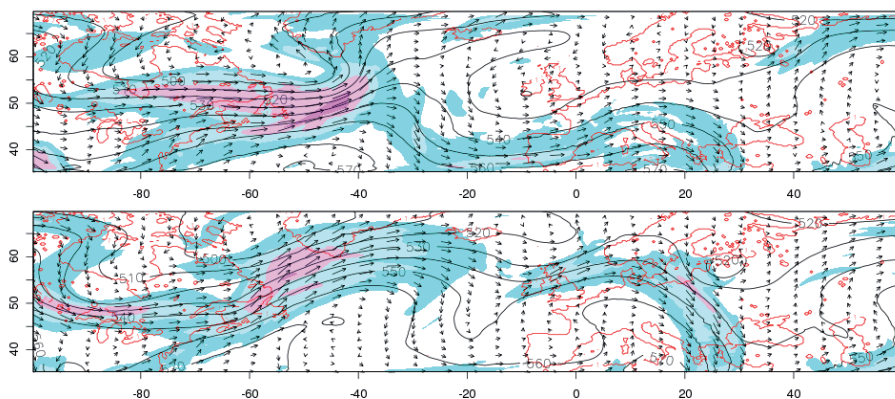
Za potrebe idealiziranih simulacij sem razvila enodimenzionalni model plitve vode v programskem jeziku C. S simulacijami sem opazovala, kako se perturbacija spreminja pri prehodu skozi meje gnezdenega modela (v in iz modela) in vpliv amplitude perturbacije ter debeline tekočine na napake. Opažene napake izvirajo iz nepopolne relaksacijske sheme v robnem območju, ki povzročata delne odboje izhajajočih perturbacij. Opazimo lahko tudi napake, ki so posledica diskretizacije in povzročijo disperzivnost valov. Z dvodimenzionalnim modelom plitve vode sem opazovala prehajanje idealiziranega planetarnega vala skozi meje gnezdene

domene, kar pomeni stalno vnašanje perturbacije v model. Napake se najprej pojavijo ob robovih gnezdene domene, s časom pa se okrepijo in razširijo v notranjost domene. Večje napake so se pojavile v območju, kjer se je val advektiral v notranjost domene, nekoliko manjše pa v območju, kjer se je val advektiral iz domene.

Za primer realne simulacije sem uporabila model WRF, gnezden v globalni model ECMWF. V opazovanih poljih sem v specifičnih primerih lahko opazila vplive robnih pogojev, ki v gnezdenem modelu lahko povzročijo napake. V realističnih primerih je zelo težko ocenjevati napake zaradi robov, saj so le ena od mnogih prisotnih napak. Zato je za razumevanje vpliva robov nujno opazovanje idealiziranih primerov, kjer lahko te napake vsaj delno ločimo od drugih napak.



Slika 2. Princip delovanja Lagrangejevega delčnega modela. Na levi strani slike je prikazan odziv modela na različne stabilnosti ozračja (nestabilno, nevtrarno, stabilno), na desni strani slike pa je prikazana porazdelitev končnih leg delcev po višini glede na stabilnost ozračja.

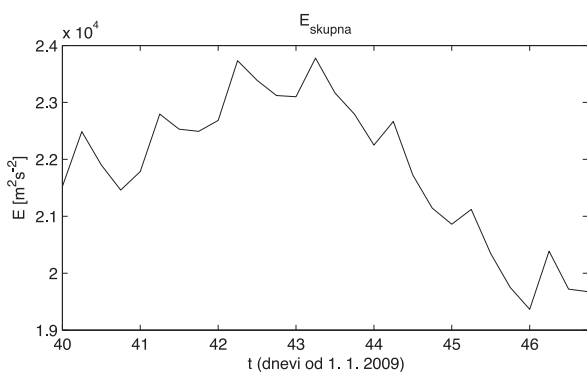


Slika 3. Delovanje Lagrangejevega paketnega modela. Paket se advektira v smeri vetra (iz leve proti desni) in se razširja v okolico.

Atmosfersko plimovanje

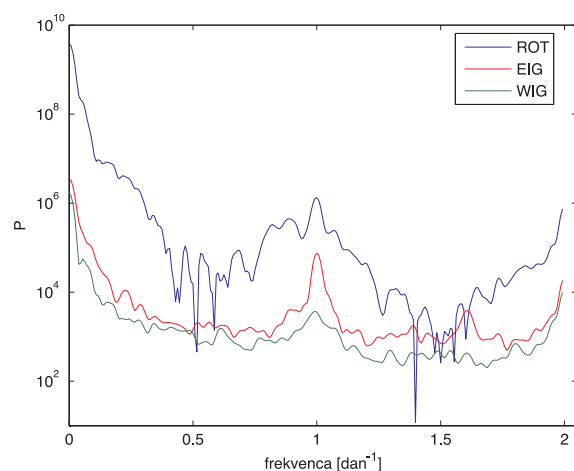
Katarina Kosovelj

Atmosfersko plimovanje je gibanje atmosfere pod vplivom Sonca in Lune. Sestavlja ga množica valovanj na globalni skali, s periodo do enega dne. Glavni vzrok za plimovanje je segrevanje atmosfere zaradi absorpcije ultravijoličnega sevanja, predvsem v stratosferskem ozonu in vodni pari. Atmosfersko plimovanje povzroča tudi gravitacija Sonca in Lune, a je njen prispevek zelo majhen. Glavni komponenti plimovanja sta dnevna in poldnevna komponenta, s periodo en dan, oziroma pol dneva. Plimovanje ločimo na potujoče plimovanje, ki se giba skupaj s Soncem, in nepotujoče plimovanje, na katerega vpliva predvsem površje Zemlje. Najenostavnejši matematični opis predpostavi, da lahko plimovanje opišemo kot perturbacijo osnovnega stanja atmosfere. Pri tem upoštevamo nekaj predpostavk in zanemarimo nepotrebna siljenja. Rešitev sistema lineariziranih enačb predstavlja vsota sferičnih harmonikov, pomnožena z vertikalnimi funkcijami spreminljivk. Takšne rešitve se imenujejo normalni načini. Izračun normalnih načinov je v diplomskem delu predstavljen na enostavnem primeru, lineariziranih enačbah plitve vode. Prikazan je izračun disperzijske zveze za lastne frekvence ter polja vetra in geopotenciala, ki ustrezajo normalnim načinom. Normalne načine lahko razdelimo na proti vzhodu gibajoče se inercialno-gravitacijske načine, proti zahodu gibajoče se inercialno-gravitacijske načine ter na Rossbyjeve načine.



Slika 1. Energija v valovanjih (načinih z zonalnim valovnim številom večjim od nič) za en teden v letu 2009. Opazi se plimovanje, naloženo na spremembe na daljših časovnih skalah.

V svojem diplomskem delu sem poskušala oceniti, kolikšen delež valovne energije je v plimovanju. Računala sem na podatkih za leto 2009, ki so produkt analiz ECMWF, projiciranih na normalne načine. Energijo plimovanja sem računala s pomočjo spektralne analize v časovni domeni. Najprej sem ocenila valovno energijo v valovih s periodami krajšimi od 36 h. V tem primeru je največ energije v Rossbyjevih načinih in na velikih skalah (majhna zonalna valovna števila). Med posameznimi načini so najpomembnejši proti vzhodu gibajoči se inercialno-gravitacijski valovi na velikih skalah. Največji delež energije plimovanja glede na totalno valovno energijo posameznega načina na določeni skali je v proti vzhodu gibajočem se inercialno-gravitacijskem načinu z zonalnim valovnim številom 2 (13,5%). Posebej sem raziskovala valovno energijo v dnevnih in poldnevni gibanjih. Rezultati kažejo, da je največji delež valovne energije v plimovanju, glede na totalno valovno energijo v določenem načinu na določeni skali, v 12 urni periodi inercialno-gravitacijskega vala, ki se giba proti vzhodu (11%). Skupno pa 12 in 24 urna perioda prinašata manj kot 1% totalne valovne energije na velikih skalah. Pokazano je tudi, da se plimovanje spreminja z letnimi časi.



Slika 2. Porazdelitev valovne energije po frekvencah, posebej za Rossbyjeve načine (ROT), proti vzhodu gibajoče se inercialno-gravitacijske načine (EIG) in proti zahodu gibajoče se inercialno-gravitacijske načine (WIG). Opazi se, da je največ energije v Rossbyjevih načinih, povsod pa izstopata frekvenci 1/dan (perioda 24 h) in 2/dan (perioda 12 h).

Analiza vremena z lokalno asimilacijo opazovanj

Benedikt Strajnar, Agencija Republike Slovenije za okolje

Povzetek

V zadnjih desetletjih je bil za izboljšave v numeričnem napovedovanju vremena ključen tudi razvoj metod za pripravo začetnih pogojev. Izziv pri modeliranju nad omejenim območjem predstavlja priprava lokalne visoko ločljive analize vremena, kar je alternativa uporabi začetnih pogojev iz modela gostitelja po metodi dinamičnega prilagajanja. V prispevku je pregledno opisan postopek priprave analize vremena, ki se prepleta z opisom uporabe sistema za lokalno asimilacijo z modelom ALADIN-SI v Sloveniji. Opisana je uporaba meritev ter izvedba asimilacijskega cikla. S pomočjo objektivne in subjektivne verifikacije je prikazana uspešnost sistema. Prve izkušnje kažejo, da asimilacija izboljša napovedi v bližini zemeljskega površja, medtem ko je vpliv v višjih delih ozračja v povprečju nevtralen. Pozitiven vpliv asimilacije pa opazimo na posameznih primerih meteoroloških situacij, zlasti v povezavi s konvekcijo.

Ključne besede: asimilacija podatkov, mezoskalna analiza, model ALADIN, numerično napovedovanje vremena

Abstract

Improvements in numerical weather prediction in recent decades have also relied on the development of methods for the initial conditions preparation. The challenge in limited-area modelling is a preparation of high-resolution weather analysis, which is an alternative to using the initial conditions of the host model by the method of dynamic adaptation. This paper describes the process of data assimilation together with a description of the implementation of local data assimilation with ALADIN-SI model in Slovenia. The use of observations and the assimilation cycle procedure are presented. Objective and subjective verification are used to show the effectiveness of the system. First experience shows that local data assimilation improves forecasts near the ground, while the impact in the free atmosphere is neutral on average. The positive impact of assimilation can be observed in individual cases of meteorological situations, particularly in relation to convection.

Keywords: data assimilation, mesoscale analysis, ALADIN model, numerical weather prediction

Uvod

Natančnost numeričnih napovedi vremena se je v zadnjih dveh desetletjih precej povečala. Po eni strani so ta razvoj omogočile izboljšave meteoroloških modelov, kot so boljši opis fizikalnih procesov v ozračju, izboljšane numerične metode in večja horizontalna ter vertikalna ločljivost, po drugi pa nesluten razvoj računalnikov. Ker pa je meteorološka napoved tudi problem začetnih vrednosti, je uspešnost napovedi omejena še z natančnostjo začetnih pogojev. Ti so se izboljšali zaradi nenehnega povečevanja števila meteoroloških meritev in izboljševanja njihove kakovosti, obenem pa je bil dosežen bistven napredek asimilacije meritev,

procesa, ki meritve in modelsko informacijo združuje v analizo – začetno stanje numerične vremenske napovedi.

Na območjih z razgibanim terenom, ki vključuje gorata in obalna območja, je zelo pomemben čimbolj natančen opis procesov v najmanjših prostorskih in časovnih skalah. To omogočajo regionalni numerični meteorološki modeli nad omejenim območjem, ki imajo večjo prostorsko in časovno ločljivost od globalnih modelov. Pri vsakodnevni redni pripravi napovedi vremena uporabljamo v Sloveniji regionalni model ALADIN (fr. Aire Limitée Adaptation Dynamique Développement International, Bubnová in sod. 1995),

ki je rezultat širšega mednarodnega sodelovanja (medmrežje 1). Čeprav je danes napovedljivost vremena v sinoptični skali, to je vremenskih procesov velikostnega reda nekaj 100 km in več, okrog enega tedna, pa je napovedljivost procesov v mezoskali, od nekaj km do nekaj 100 km, še vedno precej manjša. Primeri vremenskih procesov, ki imajo relativno kratko napovedljivost in so zelo zanimivi pri praktičnem napovedovanju vremena, so priobalni in zavetrni zračni tokovi, organizirani konvektivni sistemi in konvekcija na splošno. Analiza vremena, ki omogoča zadovoljivo napoved takih procesov, mora že vsebovati gibanja majhnih razsežnosti, ki lahko pomembno vplivajo na razvoj zgoraj omenjenih procesov.

Modeli nad omejenim območjem uporabljajo kot stranske robne pogoje polja globalnih modelov. Model ALADIN lahko uporablja polja globalnega modela ARPEGE (fr. Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle) ali polja modela Evropskega centra za srednjeročno napoved vremena ECMWF/IFS (Integrated Forecast System). Kot začetne pogoje je prav tako mogoče uporabiti analizo globalnega modela, ki jo je prej potrebno interpolirati v večjo prostorsko ločljivost. Takšen postopek, imenovan dinamično prilagajanje, uporabljamo v modelu ALADIN od vsega začetka. Pojavi majhnih velikostnih skal se tako v modelu razvijajo šele v postopku numerične integracije. Drugi, in vsaj teoretično bolj upravičen pristop, je lokalna asimilacija meritev v model nad omejenim območjem. Ta s kombiniranjem bolj podrobne predhodne napovedi (prvega približka) in meritev v gostejši računski mreži omogoča tudi več podrobnosti v analizi, hkrati pa omogoča ohranitev modelske informacije iz zagona v zagon (t.i. »spomin« modela), kar pri dinamičnem prilagajanju, kjer predhodni izračun neposredno ne vpliva na naslednjega, ni možno.

V članku je predstavljen teoretični okvir postopka asimilacije meritev, ki se prepleta z opisom vzpostavitve lokalne asimilacije v Sloveniji na Agenciji RS za okolje (ARSO) z modelom ALADIN-SI. Ta poteka že od leta 2007 in je leta 2011 dosegla status operativne aplikacije s štirimi zagoni dnevno v realnem času. Hkrati dajemo v drugem delu oceno delovanja obstoječega asimilacijskega sistema s stališča uporabe meritev in vpliva na kakovost vremenskih napovedi.

Meteorološke meritve in predpriprava za analizo

Vrste meteoroloških meritev

V splošnem so za asimilacijo uporabne skoraj vse vrste meteoroloških meritev. Pri analizi vremena na ARSO uporabljamo meritve prizemnih meteoroloških postaj, radiosondažne, letalske in satelitske meritve ter, sicer maloštevilne, točkovne radarske meritve

vertikalnih profilov vetra. Zbiranje potrebnih podatkov za asimilacijo je v zadnjih letih pomembno poenostavil skupni sistem za predpripravo meritev držav članic RC-LACE (Regional Cooperation for Limited Area modeling in Central Europe, medmrežje 2) na Madžarski meteorološki službi v Budimpešti, od koder tudi na ARSO v realnem času dobivamo večino podatkov.

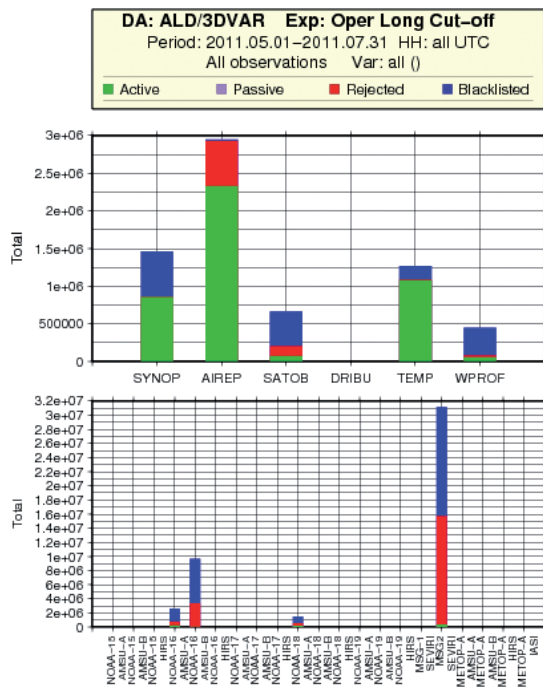
S talnih postaj uporabljamo meritve zračnega tlaka, temperature in vlage, ne pa tudi meritev vetra, ki zaradi razgibanega površja in omejene modelske ločljivosti niso dovolj reprezentativne. Meritvam, ki sicer niso v mednarodni izmenjavi, dodajamo dodatne meritve iz Slovenije in take, ki jih prejemamo na podlagi dvostranskih dogovorov s sosednjimi državami.

Letalske meritve vetra in temperature so za potrebe meteorologije na voljo v okviru programa Aircraft Meteorological Data Relay (AMDAR), ki ga financira Svetovna meteorološka organizacija. Žal s tem sistemom velika večina letal, ki pristajajo na slovenskih letališčih, ni opremljena. Tako so nad Slovenijo prek tega sistema na voljo le meritve v višjih slojih ozračja. Vrzel v spodnjih plasteh ozračja bodo v prihodnje zapolnile letalske meritve, pridobljene lokalno na ljubljanskem letališču s pomočjo novejšega sistema za sledenje letal Mode S.

Satelitske meritve, ki globalno predstavljajo že prek 90% vseh meteoroloških podatkov, pomembnih za asimilacijo, tudi v sistemu ALADIN predstavljajo pomemben delež. Uporabljamo meritve polarno-orbitalnih ameriških sateliov NOAA 16 in 18, evropskega Metop-A in meritve senzorja SEVIRI z Eumetsat geostacionarnega satelita druge generacije (Meteosat Second Generation - MSG). Z MSG uporabljamo tudi vektorje premikov ozračja, na primer oblakov v vidnem delu spektra, ki služijo kot posredne meritve vetra.

Na sliki 1 je prikazano število meritev po posameznih vrstah, uporabljenih za asimilacijo v Sloveniji v trimesečnem obdobju, ter status meritev v analizi. Opazimo na primer, da dejansko uporabimo (zelena barva, »Active«) večino prizemnih, letalskih in sondažnih meritev, medtem ko za analizo izberemo le manjši del satelitskih meritev; večino jih iz različnih in v nadaljevanju omenjenih razlogov zavržemo.

Obstaja nekaj vrst meritev, ki jih na ARSO še ne uporabljamo. V prvo spadajo vsekakor podatki meteorološkega radarja, kjer bi bila mogoča asimilacija radarske odbojnosti in vetra. Pri tem smo omejeni z mednarodno izmenjavo originalnih neobdelanih podatkov in s kontrolo podatkov. Drugo vrsto predstavljajo geodetske meritve zakasnitev signala GPS zaradi vpliva ozračja, iz česar se da sklepati na porazdelitev vlažnosti po višini.

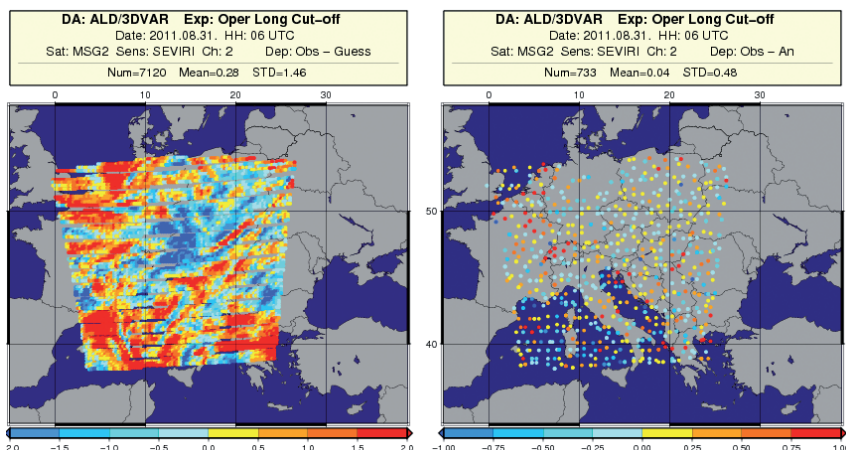


Slika 1. Število uporabljenih meritev po posameznih vrstah v obdobju maj – julij 2011 ter njihov status v postopku analize. Oznake vrst meritev so SYNOP (prizemne meritve), AIREP (letalske meritve), SATOB (vektorji premikov v ozračju s satelitov), DRIBU (oceanske boje), TEMP (radiosondaže) in WPROF (meritve vetra z radarji). V spodnjem delu slike so prikazane uporabljene satelitske meritve po posameznih satelitskih senzorjih.

Figure 1. Number of processed observations per observation type in the period of May–July 2011 and their status in the process of analysis. Different types are SYNOP (surface measurements), AIREP (aircraft measurements), SATOB (satellite-derived atmospheric motion vectors), DRIBU (buoys), TEMP (radiosondes) and WPROF (wind profilers). Usage of satellite measurements (by sensors) is shown in the bottom panel.

Predpriprava in izbira meritev: »screening«

Preverjanje popolnosti in kakovosti podatkov je ključen pogoj pred vstopom v proces asimilacije. Skupek postopkov predpriprave meritev, namenjenih kontroli kakovosti in izboru primerne nabora meritev za postopek analize, pri čemer se kot referenca uporablja prvi približek, se v angleščini imenuje »screening« (Järvinen 1998) in prave slovenske sopomenke še nima. Prvi korak je preverjanje popolnosti poročil, nepopolne podatke izločimo. Sledi primerjava vseh meritev z modelskim prvim približkom. Če meritve glede na predpisano natančnost preveč odstopajo od modelskih polj, jih zavržemo. Preverjamo tudi vertikalno konsistentnost sprejetih podatkov, npr. če se vse meritve neke radiosondne postaje ujemajo med seboj in v podatkih ni nerealnih nezveznosti. Nato odstranimo odvečne meritve. Za vsako vrsto meritev je določeno časovno okno okoli časa analize, znotraj katerega meritve sprejmemo. S povečevanjem časovnega okna se število meritev povečuje, hkrati pa vedno manj velja uporabljena predpostavka, da so meritve narejene ob času analize. Če je na istem mestu na voljo več meritev iste vrste v časovnem oknu, uporabimo le tiste, ki so najbližje času analize. Za merilne sisteme z veliko gostoto (letalske, satelitske meritve) podatke redčimo; vzamemo le eno, najbolj kakovostno meritev v določeni prostorski celici (primer za meritve MSG SEVIRI prikazuje slika 2). Pri satelitskih meritvah obstaja še nekaj posebnih postopkov predpriprave. Pogosto izberemo le meritve na območju, kjer v ozračju ni oblakov (t.i. »clear-sky«). Zelo važno je tudi odstranjevanje sistematične napake meritev, ki je specifična za različne satelitske senzorje in satelitske kanale. Statično shemo odstranjevanja (klimatološke) sistematične napake je v novjšem času zamenjalo adaptivno variacijsko ocenjevanje sistematične napake satelitskih meritev (angl. variational bias correction, Harris in Kelly 2001). Pomembno je še ločevanje uporabe različnih spektralnih kanalov nad morjem in kopnim.



Slika 2. Redčenje satelitskih meritev za instrument SEVIRI: razlika meritev in prvega približka modela v vseh merilnih točkah (levo) ter razlika meritev in analize v točkah, izbranih za asimilacijo (desno) na območju ALADIN-SI.

Figure 2. Thinning of satellite data for SEVIRI instrument: observational innovations (observation minus first guess) for all satellite pixels (left) and for pixels, selected for assimilation (right) over ALADIN-SI domain.

Analiza vremena z variacijsko asimilacijo

V modelu simuliramo potek vremena z reševanjem sistema enačb, ki opisujejo stanje ozračja v mreži točk. Analiza vremena je definirana kot modelsko stanje, ki se najbolj prilega prejšnji napovedi modela, imenovani tudi prvi približek, in novim meritvam. Analizo uporabimo kot začetno stanje ali začetni pogoj pri zagonu modela. Poleg ujemanja z omenjenima viroma informacij od analize pričakujemo tudi, da bo filtrirala šum meritev, njihovo informacijo gladko prenesla v tridimenzionalni prostor in ohranila ravnotežja med spremenljivkami v modelu, npr. geostrofsko ravnotežje (Bouttier in Courtier 1999).

Razvoj metod za asimilacijo meritev

Razvoj asimilacijskih metod je z manjšim zaostankom sledil razvoju metod za numerično integracijo vremenskih enačb. Richardson (1922) in Charney sta v svojih numeričnih napovedih kot začetni pogoj še uporabljala ročno izdelano analizo. Prvi poskusi objektivne analize segajo v zgodnja šestdeseta leta. Cressman (1959) je uporabljal interpolacijsko metodo, ki je prvi približek popravljala z linearno kombinacijo razlik med napovedjo modela in meritvami znotraj končnega območja, določenega z območjem vpliva (t.i. metoda zaporednih popravkov). Večji preskok je bil dosežen z uporabo statistične interpolacije (tudi optimalne interpolacije, Eliassen 1954, Gandin 1963), ki je iz družine metod najmanjših kvadratov in že uporablja statistično informacijo o prostorskih korelacijah napak prvega približka, s čimer se določa vpliv meritev. Optimalno interpolacijo so med letoma 1970 in 1990 uporabljali v mnogih centrih za operativno vsakodnevno napoved vremena. Odtlej pa do danes so v operativni uporabi variacijske tehnike (Lorenz 1986), ki so enakovredne statistični interpolaciji. Njihova pomembna prednost je, da lahko vse meritve analiziramo simultano in da lahko uporabimo tudi z modelskimi spremenljivkami nelinearno povezane satelitske meritve. Evropski center za srednjeročne napovedi vremena (ECMWF) uporablja štiridimenzionalno variacijsko asimilacijo (4D-Var) od leta 1997, francoski ARPEGE, čigar napovedi kot robne pogoje uporabljamo na ARSO, pa od leta 2000. Trenutno so v razvoju predvsem tehnike skupinskih napovedi, ki omogočajo spreminjanje napak prvega približka v odvisnosti od vremena oziroma zračnega toka (npr. Belo Pereira in Berre 2006).

Tridimenzionalna variacijska asimilacija (3D-Var)

Za analizo v modelih večje ločljivosti za omejena območja je trenutno najbolj razširjena variacijska metoda 3D-Var (Courtier in sod. 1998), ki jo uporabljamo

tudi na ARSO. Analiziramo ves tridimenzionalni prostor – vse ozračje naenkrat. Pri tem predpostavljamo stacionarnost zračnega toka oziroma privzamemo, da so vse meritve izvedene ob istem času, to je ob času analize. Ta predpostavka metodo loči od zapletenejše in računsko veliko zahtevnejše 4D-Var, kjer se upošteva tudi natančen čas meritev. Implementacija 4D-Var je opisana npr. v Rabier in sod. (2000).

Variacijska oblika zapisa problema analize vsebuje funkcijo cenilko (angl. cost function), ki meri oddaljenost od obeh virov informacije. Ta ima v primeru 3D-Var obliko

$$J(x) = 1/2 (x - x_b)^T B^{-1} (x - x_b) + 1/2 (y - Hx)^T R^{-1} (y - Hx),$$

kjer je x vektor stanja v modelu (vrednosti vseh spremenljivk v vseh računskih točkah), x_b vektor modelske napovedi (prvega približka), y vektor meritev, H v splošnem nelinearna preslikava iz modelskega v prostor meritev (krajevne interpolacije ter pretvorbe enot), R kovariančna matrika napak meritev in B kovariančna matrika napak napovedi. Vektor stanja x , v katerem doseže $J(x)$ minimum, je analiza x_a .

Vsebina vektorja stanja je odvisna od spremenljivke, ki jo želimo analizirati. V modelu ALADIN, pa tudi v podobnih modelih, je $x = (\zeta, \eta, (T; p_g), q)$, kar pomeni, da po vrsti analiziramo vrtničnost, divergenco, temperaturo in pritisk pri tleh ter specifično vlažnost zraka. Temperatura in pritisk pri tleh nastopata skupaj, ker je model hidrostatičen in torej lahko pritisk kjerkoli v ozračju izračunamo s pomočjo pritiska na zemeljskem površju in temperaturnega profila v ozračju. Velik del informacije o stanju ozračja je vsebovan že v predhodni napovedi. Tako je potrebno poiskati optimalen prirastek analize $x_a = x_b + \delta x$. Cenilko lahko zapišemo v podobni obliki kot funkcijo prirastka analize δx . Da bo analiza čim bližje pravi rešitvi x_r , je potrebna dobra ocena napak napovedi in meritev, podana s kovariančnima matrikama B in R , predstavljenima v naslednjih razdelkih. Za minimizacijo funkcije cenilke v modelu ALADIN uporabljamo računsko učinkovito verzijo kvazi-Newtonove iteracije (Gilbert in Lemaréchal 1989), posebej razvito za tovrstne probleme.

Kovariance napak v polju prvega približka

V procesu asimilacije ima posebno pomembno vlogo kovariančna matrika napak v polju prvega približka B , ki določa, koliko se vektor modelskega stanja x lahko razlikuje od x_b . Kovariančna struktura pa poleg tega tudi določa vpliv meritev v horizontalni in vertikalni smeri ter obliko prirastkov analize. Nadalje omogoča (lineariziran) opis ravnovesij med različnimi spremenljivkami – npr. posamezna meritev temperature povzroči tudi ustrezen prirastek v polju vetra in vlažnosti zraka (Bouttier in Courtier 1999).

Ker je dimenzija vektorja stanja zelo velika, bi bila kovarična matrika, ki bi vsebovala kovariance za vsak par točk v prostoru za vse kombinacije analiziranih spremenljivk, izredno velika (dimenzije okrog $10^7 \times 10^7$), s stališča hrambe v spominu ter računanja neobvladljiva. Zato se kovariance napak v polju prvega približka v praksi izraža v spektralnem prostoru: tam kot elementi matrike nastopajo kovariance med valovnimi števili, koeficienti bi-Fourierovega razvoja meteoroloških polj v horizontalni ravnini. Ob predpostavkah homogenosti (neodvisnosti od lokacije) in izotropnosti kovarianc (neodvisnosti od smeri), so različna valovna števila med seboj nekorelirana. Tako za vsako valovno število ostanejo matrike kovarianc med računskimi nivoji ter kovariance med različnimi spremenljivkami, ki se jih izraža posebej. Namesto ene velike matrike imamo tedaj množico manjših matrik, s katerimi se med postopkom minimizacije množi vektor stanja. Natančen opis spektralnih kovarianc za modele nad omejenim območjem podaja Berre (2000).

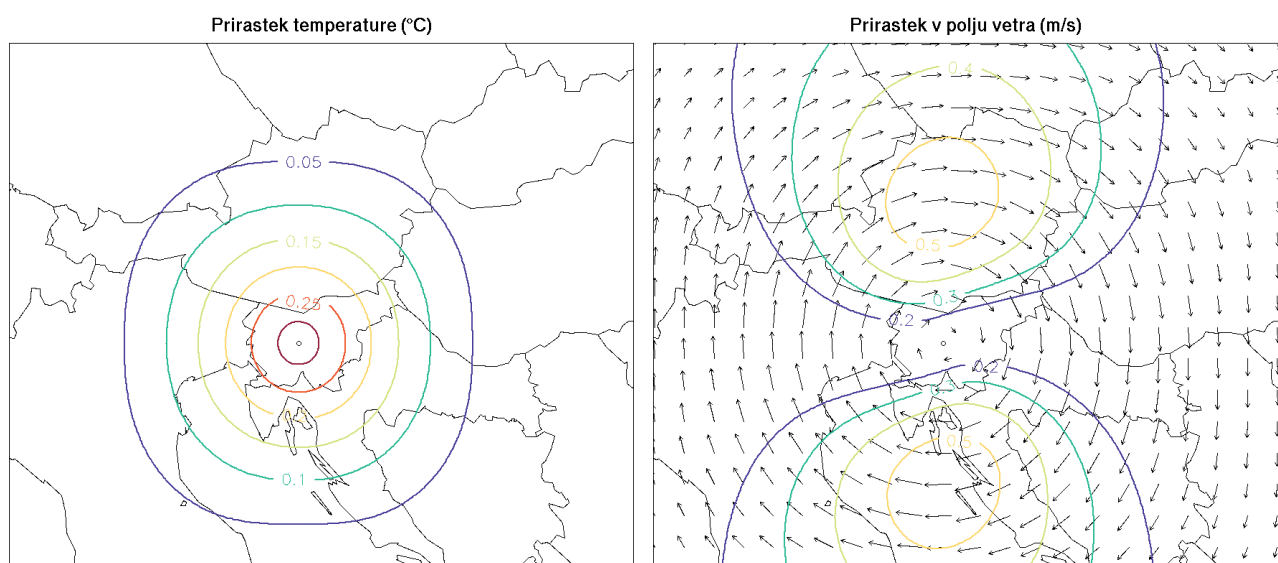
Kovariance napak prvega približka niso poznane, saj bi bilo potrebno poznati resnično stanje ozračja. Približno jih je mogoče oceniti z več različnimi pristopi. Navadno kovariance izračunamo na podlagi množice modelskih napovedi, veljavnih ob istem času. Napovedi se med seboj malo razlikujejo v začetnih pogojih ali pa imajo različno dolžino. Razlike med njimi približno simulirajo napake prvega približka. Za izračun kovarične matrike za model ALADIN-SI na ARSO smo uporabili razlike med 6-urnimi napovedmi modela ALADIN, pri čemer smo kot robne pogoje uporabili skupinsko napoved s šestimi člani modela ARPEGE.

Niz podatkov je obsegal 4 zagone dnevno v juliju 2007. Tako lahko rečemo, da so kovariance napak v polju prvega približka »poletnega« tipa. V idealnem primeru bi imeli več takšnih kovaričnih matrik, ki bi opisovale sezonsko, pa tudi dnevno oziroma vremensko spremenljivost.

Slika 3 prikazuje delovanje kovarične matrike v polju prvega približka na primeru asimilacije ene meritve temperature. Vidimo, da povečanje temperature glede na prvi približek povzroči tudi spremembo vetra v okolici meritve, in sicer se polju doda vrtenje v anticiklonalni smeri, kar ustreza geostrofskemu prilagajanju. Opazovali bi lahko tudi prirastek v polju vlažnosti zaradi prirastka v polju temperature, kar s pomočjo statistične zveze tudi opisuje kovarična matrika.

Kovariance napak meritev

Napake meritev je v primerjavi z napakami v prvem približku nekoliko lažje izraziti. V splošnem so napake meritev prostorsko nepovezane oziroma medsebojno neodvisne. To velja zlasti za instrumentalno napako, medtem ko je napaka reprezentativnosti meritev glede na omejeno modelsko ločljivost lahko (znatno) prostorsko korelirana. Matriko R v praksi obravnavamo kot diagonalno in predstavlja utež posamezne vrste meritev v analizi. Njen instrumentalni del se da določiti v laboratoriju, medtem ko je potrebno napako reprezentativnosti oceniti na podlagi obnašanja med procesom analize, npr. z metodami »a posteriori« diagnostike (Desroziers 2005).



Slika 3. Primer asimilacije ene letalske meritve temperature nad območjem Slovenije (na okoli 400 hPa): prirastek analize temperature (levo) in pripadajoč prirastek v polju vetra (desno) zaradi spremembe polja temperature.

Figure 3. Assimilation of a single aircraft observation at around 400 hPa: analysis increment of temperature (left) and corresponding increment of wind (right) caused by change of temperature field.

Analiza tal

Analiza temperature in vlage v tleh

Napoved procesov v ozračju je zelo odvisna od spodnjega robnega pogoja, to je zemeljskega površja. Pri tem je meritev meteoroloških spremenljivk v tleh, primernih za analizo, v realnem času na voljo zelo malo. Zato v modelu ALADIN analizo tal izvajamo s pomočjo meritev temperature in vlažnosti zraka na višini 2 m. Polji vsebnosti vode v tleh in temperature tal nato popravljamo s pomočjo ekstrapolacije. Uporabljamo enostavnejšo optimalno interpolacijo. Tu pri analizi v vsaki modelski točki upoštevamo le nekaj bližnjih meritev. Kovariančni matriki R in B sta v tem primeru majhni in lahko obrnljivi, analiza x_a pa je v vsaki točki posebej podana z enačbo

$$x_a = x_b + K(y - Hx_b), \quad K = BH^T(HBH^T + R)^{-1}.$$

Utež K določa, koliko se bo analiza približala posameznim meritvam. Elementi kovariančne matrike B so podani s pomočjo empirične korelacijske funkcije, odvisne le od razdalje. Postopek optimalne interpolacije obširneje opisuje Daley (1991).

Analize temperature morja zaradi pomanjkanja lokalnih meritev ne izvajamo. Uporabljamo analizo ameriške državne službe za satelitske podatke o okolju (National Environmental Satellite, Data, and Information Service - NESDIS), ki jo uporablja tudi globalni model ARPEGE, v katerega je gnezden model ALADIN-SI.

Analiza albeda zemeljskega površja

Na ARSO razvijamo tudi asimilacijo albeda zemeljskega površja glede na vpadno sončno sevanje (Cedilnik in sod. 2012). Ta je zasnovana tako, da optimalno združi informacije, ki jih enkrat dnevno ponuja satelitski produkt Land Satellite Application Facility (Land SAF) – albedo in dolgoletno povprečje za vsako kopno točko računske mreže modela ALADIN-SI. Za oceno dnevne vrednosti albeda se uporablja enostavna oblika Kalmanovega filtra. Optimalno želimo oceniti vrednosti dveh polj albeda, posebej za rastje in gola tla. Vhodni meritvi za ta filter sta satelitsko izmerjen albedo in njegova nedoločenost ter dve klimatološki vrednosti albeda (spet posebej za rastje in neporasla tla) z arbitrarno določeno napako. Tak enostaven Kalmanov filter lahko zapišemo z enačbo za razvoj kovariančne matrike B v času t (s korakom en dan):

$$B(t+1) = MB(t)M^T + Q$$

Kovariančna matrika napak prvega približka B je v tem primeru diagonalna, model spremembe albeda v času (M) v Kalmanovem filtru je kar persistenca (M je identiteta). Predvidevamo namreč, da se albedo v

enem dnevu bistveno ne spremeni. V matriki šuma modela (Q) pa je zajeta rast napake s časom po zadnji meritvi. Kadar nekaj časa ni meritve, se negotovost ocene albeda v modelu povečuje, vrednost pa se približuje dolgoletnemu povprečju. Vrednost modelskega albeda se hitro približa novim meritvam, takoj ko so na voljo.

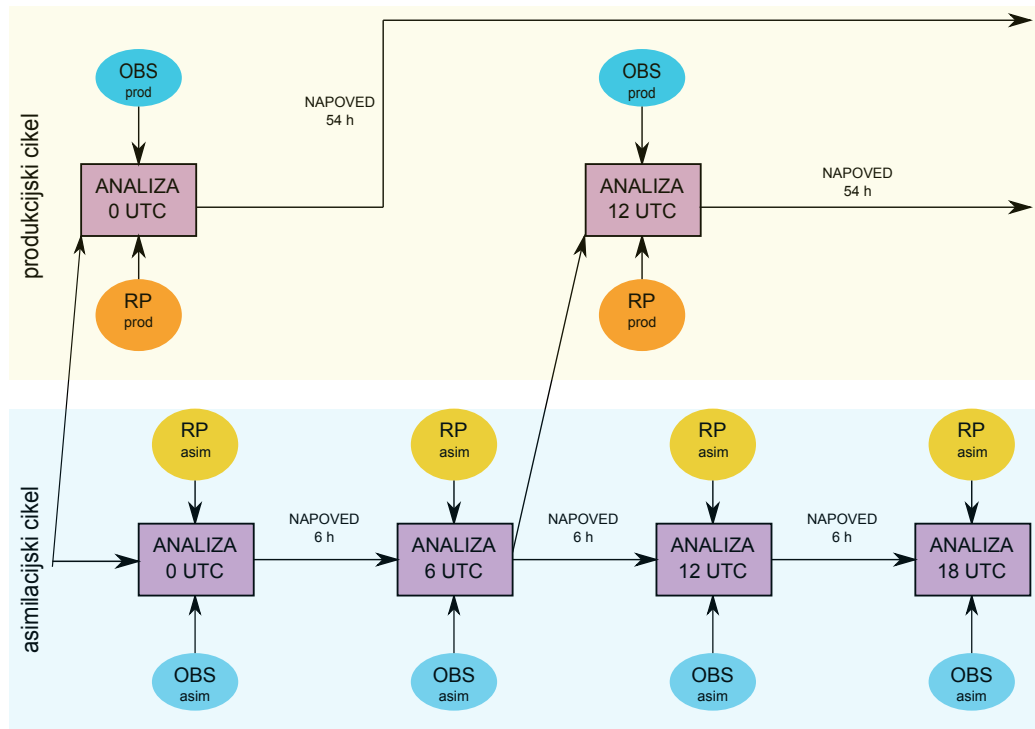
Dobra ocena velikosti albeda je pomembna zaradi bolj natančnega izračunavanja sevalnega ravnovesja v modelu. To se lahko neposredno kaže na temperaturi tal in spodnje plasti ozračja, saj model običajno podcenjuje temperaturo. Kadar pa je ozračje manj stabilno, se zaradi popravkov albeda spremenita količina in porazdelitev konvektivnih padavin.

Asimilacijski cikel

Asimilacija meritev je neprekinjen proces, sestavljen iz zaporedja analiz vremena, opisanih v prejšnjih razdelkih, in kratkoročnih vremenskih napovedi, ki predstavljajo začetna stanja novih analiz. Skupek obeh delov imenujemo asimilacijski cikel. Naloga asimilacijskega cikla je, da s pomočjo meritev v modelu kopiči informacijo o stanju ozračja. Število modelskih točk je namreč mnogo večje od števila meritev. V posameznem terminu meritev ni dovolj za konsistentno sliko ozračja, ki jo dobimo šele s kombinacijo meritev in modelskega stanja med analizo.

Dolžina koraka asimilacijskega cikla v meteoroloških centrih, kjer uporabljajo 3D-Var, je praviloma 6 ur, kar pomeni da analizo izvajajo štirikrat dnevno, ob 0, 6, 12 in 18 UTC. Ob teh glavnih terminih je na voljo tudi največ talnih meritev in sondaž. Seveda je potrebno z analizo počakati najmanj toliko časa, da se zberejo podatki, ki jih želimo uporabiti, in to znotraj časovnega okna, v katerem jih analiziramo. Pri modelih nad omejenim območjem, kot je ALADIN, je potrebno počakati še na izračun robnih pogojev modela gostitelja. Na ARSO tako prvo analizo, ki je tudi podlaga za operativno 54-urno vremensko napoved ob 0 in 12 UTC, pričnemo ob 3:00 in 14:40 (slika 4, produkcijski cikel). Robni pogoji modela ARPEGE, ki jih tu uporabimo, so pripravljene z manjšim naborom meritev.

Ob 8:50 in 20:55 ter še ob 13:45 in 2:15 UTC za termina 6 in 18 UTC pa analizo ponovimo z več kot 8-urnim zamikom (slika 4, asimilacijski cikel). Uporabimo celoten nabor meritev, nato pa izvedemo le 6-urno napoved, pri čemer pa uporabimo tudi obnovljene robne pogoje modela ARPEGE, pripravljene na podlagi zakasnjene, popolnejše analize. S tem zagotovimo, da bo prvi približek za naslednje analize vseboval kar največ uporabne vremenske informacije. Vrsten red analize je sledeč: najprej iz modela gostitelja (ARPEGE) interpoliramo temperaturo morja v model ALADIN. Nato izvedemo analizo tal s pomočjo

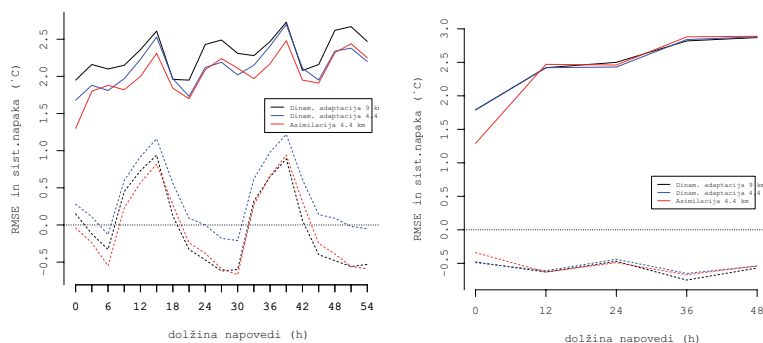


Slika 4. Shematični prikaz asimilacijskega in produkcijskega cikla z modelom ALADIN-SI. »RP« so robni pogoji, »OBS« meritve. Figure 4. Schematic of the design of assimilation and production cycles with ALADIN-SI model. »RP« stands for boundary conditions, »OBS« for observations.

optimalne interpolacije meritev temperature in vlažnosti na dveh metrih nad tlemi. Končno izvedemo analizo ozračja s 3D-Var. Vrsteni red analize je pomemben, saj na primer predhodna analiza tal izboljša asimilacijo satelitskih meritev, kjer pri pretvorbi v analizirane modelske količine nastopa tudi temperatura tal. Končno se iz prvega približka prepisejo še polja hidrometeorjev (oblačna voda, ledeni kristalčki, dež, sneg), ki jih trenutno še ne znamo primerno analizirati. Pred numerično integracijo modela, ki izračuna napoved, izvedemo inicializacijo z digitalnim filtrom (DFI, Lynch in Huang 1992), s čimer izločimo hitre valove v modelu.

Vpliv asimilacije na kakovost napovedi

V predhodnih razdelkih smo predstavili bistvene komponente asimilacijskega sistema in konstrukcijo asimilacijskega cikla modela ALADIN-SI. To poglavje je namenjeno oceni vpliva asimilacije na kakovost in uporabnost modelskih napovedi. Delovanje asimilacijskega cikla je možno po eni strani preveriti s pomočjo objektivnih statističnih verifikacijskih metod, po drugi strani pa je zelo pomembna subjektivna verifikacija, npr. uspešnost in uporabnost na konkretnih primerih meteoroloških situacij. Ker je asimilacijski cikel z modelom ALADIN-SI še precejšnja novost, je zbranih opažanj uporabnikov, predvsem meteorološke napovedi na ARSO, zaenkrat sorazmerno malo.



Slika 5. Celotna napaka (polna črta) in sistematična napaka (pikčasta črta) za različne konfiguracije modela ALADIN za obdobje maj–julij 2011. Levo temperatura na 2 m, desno hitrost vetra na pritiskovi ploskvi 850 hPa. S črno in modro sta prikazani dinamični prilagoditvi v ločljivosti 9 in 4,4 km, z rdečo pa model z lokalno asimilacijo v ločljivosti 4,4 km.

Figure 5. RMSE (full line) and bias (dotted line) for various ALADIN model configurations for the period of May–July 2011. 2 m temperature (left) and 850 hPa wind speed (right). Black and blue colours denote dynamic adaptation at 9 and 4.4 km resolution, local assimilation at 4.4 km resolution is shown in red.

Objektivna verifikacija

Slika 5 prikazuje vpliv asimilacije na napovedi temperature pri tleh, za mesece maj, junij in julij 2011. Prikazan je razvoj sistematične napake in celotne napake (angl. root mean square error - RMSE) napovedi glede na meritve. Kot referenca so uporabljene meritve talnih postaj na celotnem računskem območju. Ta verifikacijska indeksa sta na področju validacije meteoroloških modelov zelo pogosto v uporabi. Pristop ni idealen, saj se pri tem privzame, da so instrumentalne in reprezentativnostne napake manjši del skupne napake napovedi. To vsekakor ne velja za prvih nekaj ur napovedi.

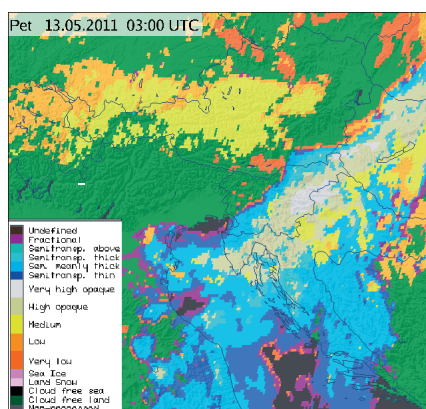
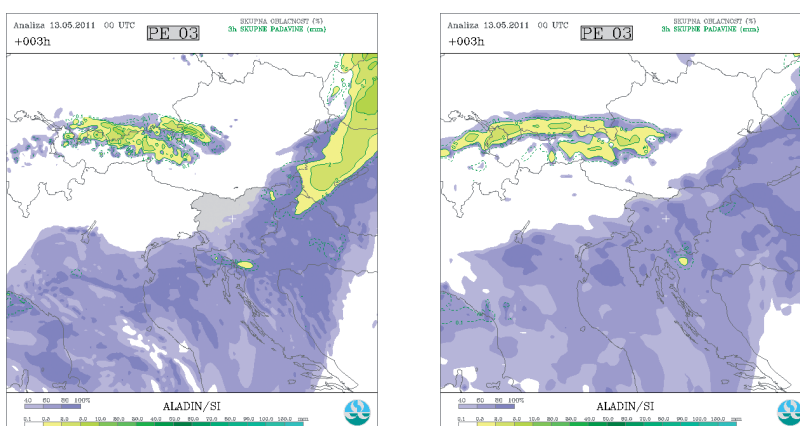
Primerjava na sliki 5 pokaže večjo uspešnost modela z lokalno asimilacijo v primerjavi z dinamičnim prilagajanjem pri ločljivosti 4,4 in 9 km. Prikazani so le zagoni ob 12 UTC, a so zaključki za 0 UTC podobni. Opazimo, da gre del izboljšanja celotne napake pripisati izboljšanju sistematične napake. Poudariti velja, da se verifikacijski indeksi v primeru asimilacije ob začetku integracije bolj približajo idealni vrednosti

(ničli). To je značilno za vse spremenljivke na vseh nivojih. Slika 5 prikazuje razvoj sistematične in celotne napake za veter na 850 hPa pritiskovi ploskvi. Verifikacija je tokrat izvedena s pomočjo radiosondaž na modelskem območju. Opazimo, da se po začetnem približanju meritvam vpliv asimilacije v povprečju tu hitro izgubi. Do podobnega zaključka pridemo pri verifikaciji temperature, vlage in vetra na večini nivojev v ozračju.

Subjektivna verifikacija na primerih meteoroloških situacij

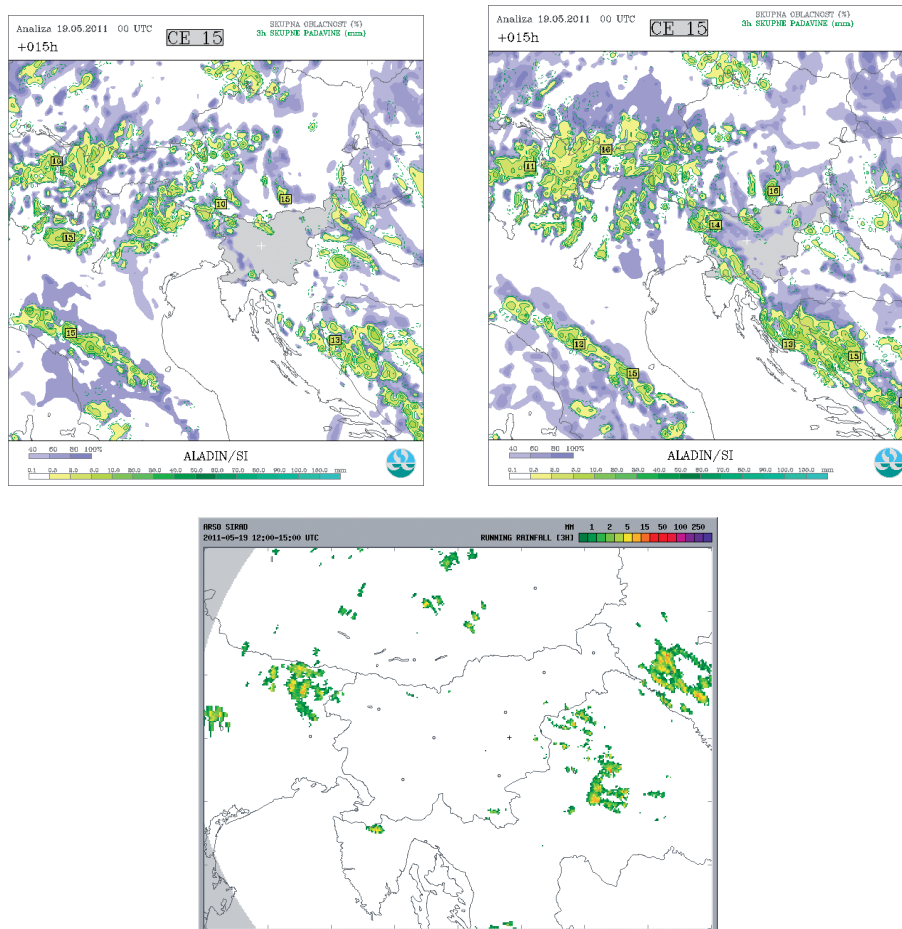
V nadaljevanju sta predstavljeni dve meteorološki situaciji, za kateri lahko rečemo, da je asimilacija ponudila boljši časovni ali krajevni opis meteoroloških procesov.

Prva situacija je prehod zelo oslabiljene, vendar dobro izražene vremenske fronte prek območja Alp (slika 6). Noč na 13.5.2011 je bila oblačna, proti jutru pa se je jasnilo, najprej v severozahodni Sloveniji. Slika



Slika 6. Študija primera prehoda neizrazite fronte 13. 5. 2011 ob 3 UTC: Napoved oblačnosti (modro) in padavin z modelom ALADIN-SI z lokalno asimilacijo (zgoraj levo) ter napoved istega modela z uporabo dinamične prilagoditve (zgoraj desno). Kot referenca je prikazan satelitski produkt oblačnosti NWC-SAF ob 3 UTC (spodaj).

Figure 6. Case study of weak front passage on May 13th 2011 at 3 UTC: Cloudiness (bluish) and precipitation forecast of ALADIN-SI model with local assimilation (upper left) and similar forecast with dynamical adaptation (upper right). As a reference, satellite derived NWC-SAF cloudiness product for 3 UTC is shown (below).



Slika 7. Študija primera popoldanske konvekcije 19.5.2011 ob 15 UTC: Napoved oblačnosti (modro) in triurne vsote padavin z modelom ALADIN-SI z lokalno asimilacijo (zgoraj levo) ter napoved istega modela z uporabo dinamične prilagoditve (zgoraj desno). Kot referenca je prikazana radarska akumulacija padavin v enakem obdobju (spodaj).

Figure 7. Case study of afternoon convection of May 19th 2011 at 15 UTC: Cloudiness (bluish) and 3-hourly precipitation (green) forecast of ALADIN-SI model with local assimilation (upper left) and similar forecast with dynamical adaptation (upper right). As a reference, radar accumulation for the same period is shown (below).

prikazuje napovedi oblačnosti ob 3 UTC z in brez lokalne asimilacije, prikazana je tudi satelitska analiza oblačnosti ob istem času (Nowcasting SAF). Na temno zelenih območjih je nebo brez oblakov. Opazimo, da se napoved modela z asimilacijo precej bolje ujema s satelitskim produktom nad Slovenijo kot napoved modela z dinamičnim prilagajanjem.

Drugi primer prikazuje napoved triurne vsote padavin v situaciji s popoldansko konvekcijo nad širšim območjem Slovenije (slika 7). Pojavljale so se posamezne plohe, neviht ni bilo. Modela z lokalno asimilacijo in z dinamičnim prilagajanjem napovesta podobno količino padavin, a je prostorska razporeditev nekoliko boljša v modelu z asimilacijo (glej jugozahodno Slovenijo in severno Hrvaško). Kot referenca je uporabljena radarska akumulacija padavin v enakem časovnem obdobju.

Skupna lastnost obeh predstavljenih primerov je, da se vpliv lokalne asimilacije pokaže v začetnih urah

napovedi. Primerov, ko asimilacija znatno vpliva tudi na daljše napovedi, je bilo do zdaj zelo malo.

Sklep

V prispevku je opisana izvedba lokalne asimilacije z modelom ALADIN-SI. Dodan je še osnovni opis konceptov asimilacije meritev, predvsem ker je v Sloveniji to sicer hitro razvijajoče se področje numeričnega napovedovanja vremena še precej novo in se s to tematiko ukvarja malo ljudi. Tako je tudi strokovno izrazoslovje na tem področju še nepopolno. Več podrobnosti o postopkih asimilacije meritev je na voljo v navedeni tuji literaturi.

Uporaba modela ALADIN z asimilacijo na ARSO prinaša značilne izboljšave napovedi v bližini tal. V višjih plasteh ozračja je vpliv večinoma nevtralen, čeprav so v posameznih napovedih opazne razlike, če primerja-

mo zagone z asimilacijo in dinamičnim prilagajanjem. Ali gre pretežno za izboljšave ali ne, je za zdaj še težko ugotoviti.

Delujoč lokalni asimilacijski cikel prinaša še pomembno, a do zdaj v veliki meri neizkoriščeno prednost. To je možnost vključevanja lokalnih meritev, ki iz različnih razlogov niso na voljo v mednarodni izmenjavi in torej za analizo globalnih modelov niso na voljo. Sem sodijo že omenjene visoko ločljive nove letalske meritve, pridobljene s pomočjo letaliških radarjev, lokalne geodetske meritve zakasnitev signala GPS, lokalne samodejne in klasične talne postaje ter radarske meritve. Na ARSO si bomo v prihodnosti prizadevali v asimilacijski cikel vključiti čim več tovrstnih meritev. To je dolgotrajen proces, ki zahteva veliko skrbnega preverjanja kakovosti meritev in vpliva posameznih vrst meritev na celoten sistem. Le tako je možno doseči željeni cilj – povečevati natančnost numeričnih vremenskih napovedi.

Viri

- Belo Pereira, M., in L. Berre, 2006: *The use of an ensemble approach to study the background error covariances in a global NWP model*. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 2466–2489.
- Berre, L., 2000: *Estimation of Synoptic and Mesoscale Forecast Error Covariances in a Limited-Area Model*. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 644–667.
- Bouttier F., in F. Courtier, 1999: *Data assimilation concepts and methods*. ECMWF, Reading.
- Bubnová, R., G. Hello, P. Béenard, P., in J.-F. Geleyn, 1995: *Integration of the fully elastic equations cast in the hydrostatic pressure terrain following coordinate in the framework of the ALADIN NWP system*. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 515–535.
- Cedilnik, J., D. Carrer, J.-F. Mahfouf in J.-L. Roujean, 2012: *Impact assessment of daily satellite derived surface albedo in a limited area NWP model*. *J. Appl. Meteorol. Clim.*, v recenziji.
- Courtier, P. in sod., 1994: *A strategy for operational implementation of 4D-VAR, using an incremental approach*. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 120, 1367-1387.
- Courtier, P. in sod., 1998: *The ECMWF implementation of three-dimensional variational assimilation (3D-Var). Part 1: formulation*. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 124, 1783-1807.
- Cressman, G. P., 1959: *An operational objective analysis system*. *Mon. Wea. Rev.*, 87, 367–374.
- Daley R., 1991: *Atmospheric data analysis*, Cambridge University Press, 1991.
- Desroziers G., L. Berre, B. Chapnik in P. Poli, 2006: *Diagnosis of observation, background and analysis error statistics in observation space*. *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, 131, 3385-3396.
- Eliassen, A. 1954: *Provisional report on calculation of spatial covariance and autocorrelation of the pressure field*. *Inst. Weather and Climate Research, Acad. Sci., Oslo, Report No. 5*.
- Gandin, L., S., 1963: *Objective analysis of meteorological field*. *Gidrometeorologicheskoe Izdatestvo, Sankt-Petersburg*.
- Gilbert J. C., C. Lemarechal, 1989: *Some numerical experiments with variable storage quasi-Newton algorithms*. *Math. Programming*, 45, 407-435.
- Harris B. A. in G. Kelly, 2001: *A satellite radiance-bias correction scheme for data assimilation*. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 127, 1453–1468.
- Järvinen H., 1998: *Observations and diagnostic tools for data assimilation*. ECMWF, Reading.
- Kalnay E., 2003: *Atmospheric modeling, data assimilation and predictability*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lynch P. in X. Y. Huang, 1992: *Initialization of the HIRLAM model using a digital filter*. *Mon. Wea. Rev.*, 120, 1019–1034.
- Lorenc, A., 1986: *Analysis methods for numerical weather prediction*. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 112, 1177-1194.
- Rabier F. in sod., 2000: *The ECMWF operational implementation of four-dimensional variational assimilation. I: Experimental results with simplified physics*. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 126, 1143.
- Richardson, Lewis F., 1922: *Weather Prediction by Numerical Process*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Medmrežje 1: <http://www.cnrm.meteo.fr/aladin/> (25. 8. 2011).
- Medmrežje 2: <http://www.rclace.eu/> (25. 8. 2011).

Izzivi Slovenije na področju suš in degradacije tal

Andreja Sušnik, Agencija Republike Slovenije za okolje

Pomembno vodilo avtorjem pri nastajanju knjige »IZZIVI SLOVENIJE NA PODROČJU SUŠ IN DEGRADACIJE TAL« je bilo na poljuden način predstaviti problematiko degradacije tal v svetu in Sloveniji ter načine, kako slediti tem pojavom in o njih obveščati in ozaveščati splošno in strokovno javnost. Dejstvo je, da se premalo zavedamo škodljivih vplivov človekove dejavnosti na kakovost in delovanje tal.



Tla so neobnovljiv naravni vir, medij za pridelavo hrane in druge biomase ter tudi vir surovin. So življenjski prostor talne flore in favne, ki omogoča kroženje snovi in energije. So temelj za človekovo dejavnost ter element krajinske in kulturne dediščine. Degradacija tal in kmetijske suše predstavljajo pereč problem, tako v svetovnem kakor tudi v evropskem merilu. Mednarodna skupnost je v duhu reševanja težav z dezertifikacijo in degradacijo tal sprejela že številne dokumente. Krovni med njimi je Konvencija ZN o boju proti suši in degradaciji tal (UNCCD), instrument mednarodne skupnosti, ki zavezuje države podpisnice k spodbujanju dolgoročnih strategij, usmerjenih k povečevanju pridelovalne sposobnosti zemljišč, sanaciji degradiranih zemljišč ter ohranjanju in trajnostnemu gospodarjenju s talnimi in vodnimi viri.

Slovenija je dejavna na tem področju. Pod okrilje Agencije RS za okolje je sprejela Center za upravljanje s sušo v jugovzhodni Evropi (DMCSEE), ki deluje v smeri bdenja nad razmerami suše. V okviru transnacionalnega projekta razvija orodja, ki bodo omogočila kakovostne podatke o stanju ter napovedi suše in bodo vodilo

za oblikovanje politik in strategij za zmanjševanje posledic suše v tem delu Evrope.

Sloveniji je v knjigi namenjena posebna pozornost. Suša in degradacija tal sta predstavljeni v zaokroženi celoti, v kateri so izpostavljeni vsi ključni problemi degradacije tal, s katerimi se danes soočamo. Zaradi naravnih danosti, geološko-tektonske zgradbe in velike morfološke razgibanosti terena je država močno izpostavljena eroziji in zemeljskim plazovom. Zlasti slednji so v preteklem desetletju terjali ogromno gospodarsko škodo in na žalost tudi človeška življenja. Zaradi neupoštevanja naravnih danosti pri prostorskem razvoju so tudi škode povzročene zaradi poplav bistveno večje. Izguba kmetijskih tal zaradi urbanizacije je v zadnjem desetletju v Sloveniji posebno pereč problem, toliko bolj ker je Slovenija po obsegu kmetijskih obdelovalnih površin na prebivalca že sedaj na repu držav članic EU. Nadalje ne smemo pozabiti onesnaževanja tal, saj je v RS že ugotovljenih nekaj močno onesnaženih območij, potrebnih sanacije. Potrebno je spremljanje preostalih degradacijskih procesov, saj je o njih premalo znanega: zbijanje tal, zaslanjevanje, zmanjševanje vsebnosti organske snovi v tleh, ter vse bolj ogrožene biotske raznovrstnosti.

Nedvomno je degradacija tal ena največjih groženj svetovnemu okolju. Poleg tega globalne podnebne spremembe najbolj prizadevajo sušne ekosisteme, kjer je proces dezertifikacije že tako ali tako prisoten. Obenem pa degradacija tal na sušnih območjih pomembno prispeva k podnebnim spremembam, predvsem prek spremenjene rabe in pokrovnosti tal. Reševanje problema zahteva usklajeno zakonodajo na širšem evropskem nivoju, še zlasti kar zadeva lastniško zakonodajo. V Sloveniji bo potrebno posebno pozornost nameniti trajnostnemu upravljanju vodnih virov, varčnejši in učinkoviti rabi vode in primernemu upravljanju z zemljišči. Pri tem so dejavnosti Slovenije skladne s cilji Konvencije, saj je sonaraven trajnosten razvoj glavna usmeritev Slovenije na vseh področjih. Okoljska problematika mora biti obravnavana celovito in biti integrirana v strukturno, kmetijsko, energetska, raziskovalno in industrijsko politiko.

Naj bo knjiga tudi vabilo k večjemu sodelovanju vseh vpletenih na tem področju, h gospodarnejšemu upravljanju s tlemi in k ohranjanju njihovih lastnosti v obstoječem in spreminjajočem se podnebnju.

POMEMBNEJŠI DOGODKI

JUNIJ

28. MAJ – 2. JUNIJ 2012, OHRID, MAKEDONIJA

BALWOIS 2012

<http://www.balwois.com/2012/>

25.–29. JUNIJ 2012, TOULOUSE, FRANCIJA

7th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD 2012)

<http://www.meteo.fr/cic/meetings/2012/ERAD/>

10.–17. JUNIJ 2012, LA ROCHELLE, FRANCIJA

CNRS summer school 'Michael Ghil' : Feedbacks in environmental systems

<http://www.environnement.ens.fr/enseignement/ecole-thematique-cnrs/>

AVGUST

20.–24. AVGUST 2012, STEAMBOAT, ZDA

15th Conference on Mountain Meteorology

<http://www.ametsoc.org/meet/fainst/201215mountmet.html>

13. AVGUST – 2. SEPTEMBER 2012, VALSAIN, ŠPANIJA

International Summer School Tree Rings, Climate, Natural Resources, and Human Interaction

<http://www.dendrospain.es/>

SEPTEMBER

3.–7. SEPTEMBER 2012, SOPOT, POLJSKA

2011 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference

www.eumetsat.int

3.–7. SEPTEMBER 2011, READING, VELIKA BRITANIJA

ECMWF 2011 Annual Seminar: Seasonal prediction

http://www.ecmwf.int/newsevents/meetings/annual_seminar/2012/index.html

9. SEPTEMBER 2011, LODZ, POLJSKA

EUMETNET Climate monitoring SAF Workshop

<http://www.conferences.eumetsat.int/conferences/>

10.–14. SEPTEMBER 2012, LODZ, POLJSKA

12th EMS Annual Meeting and 9th European Conference on Applied Climatology

<http://meetings.copernicus.org/ems2012>

17.–21. SEPTEMBER 2012, CASTRO MARINA, ITALIJA

4th Summer School at ISAC Institute: Severe Convective Weather: Theory and Applications

<http://summerschool2012.le.isac.cnr.it/>

SPONZORJI, KI SO OMOGOČILI IZID VETRNIC:



Luka Koper, d. d.



MEIS storitve za okolje
d. o. o.



Elektroinštitut Milan
Vidmar



CGS plus d. o. o.



AMES d.o.o.



ARSO



Klaro d.o.o.



REALIZACIJA GRAFIČNIH IDEJ
Solos d.o.o.

