



Vetrnica

ISSN 1855-7457

glasilo Slovenskega
meteorološkega društva

WWW.METEO-DRUSTVO.SI

0815

Hidrometeorologija

Razprave

Sklopitev atmosferskega in
morskega modela

VSEBINA:

3 UVODNIK

POD DROBNOGLEDOM

- 4 HIDROLOŠKO STANJE VODA KOT POSLEDICA VREMENSKEGA DOGAJANJA
- 8 UPORABA MODELSKIH ORODIJ PRI HIDROLOŠKIH ANALIZAH IN NAPOVEDIH
- 14 SISTEM ZA HIDROLOŠKO NAPOVEDOVANJE AGENCIJE REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE
- 21 RAZVOJ SISTEMA ZA OPOZARJANJE PRED HUDOURNIŠKIMI POPLAVAMI V JUGOVZHODNI EVROPI
- 23 SPREMLJANJE KMETIJSKE SUŠE
- 30 OD PRVEGA POSKUSA SLEDENJA TOKA PODZEMNE VODE DO PRVEGA MODELA NAPAJANJA VODONOSNIKOV V SLOVENIJI
- 38 BOBER – NADGRADNJA SISTEMA ZA SPREMLJANJE IN ANALIZIRANJE STANJA VODNEGA OKOLJA V SLOVENIJI

ZANIMIVOSTI

- 54 10. EVROPSKA KONFERENCA APLIKACIJ NA PODROČJU PODNEBNIH ZNANOSTI IN 14. LETNO SREČANJE EVROPSKE METEOROLOŠKE ZVEZE

IZ ŽIVLJENJA DRUŠTVA

- 58 NAGRAJENKA EVROPSKE METEOROLOŠKE ZVEZE
- 59 OBELEŽITEV 60. OBLETNICE USTANOVITVE SMD
- 61 PREDNOVOLETNO SREČANJE ČLANOV SMD
- 62 LETNI OBČNI ZBOR SMD 2015

ŠTUDENSKI KOTIČEK

- 63 ŠTUDENSKA PRAKSA
- 91 POVZETEK DOKTORSKE TEZE

RAZPRAVE

- 75 ENOSMERNI IN DVOSMERNI SKLOPITEV ATMOSFERSKEGA IN MORSKEGA MODELA NA PODROČJU SEVERNEGA JADRANA ZA PRIMER BURJE FEBRUARJA 2012

NOVOSTI V MEDIJIH

- 84 KAKOVOST ZRAKA V SLOVENIJI V LETU 2014
- 85 FENOLOGIJA V SLOVENIJI

NAPOVEDNIK

- 86 AGROMETEOROLOŠKI SEMINAR
- 87 POMEMBNEJŠI DOGODKI

 **UVODNIK**

Voda in zrak sta prvini, brez katerih življenja, kot ga poznamo na Zemlji, ne bi bilo. V naravi sta neposredno povezani. Delovanje sil v ozračju vpliva na stanje voda na ali v tleh. Voda in zrak, ki nam omogočata življenje, pa se lahko obnašata tudi uničujoče. Z vremenom in njegovim obnašanjem se ukvarjamo meteorologi, z vodami na površini in pod njo pa hidrologi.

V zadnjem desetletju skoraj ni bilo leta, da se v Sloveniji ne bi ukvarjali z enim od hidroloških izjemnih dogodkov. Celo več, v kar nekaj zadnjih letih smo se srečali s sušo in poplavami v razmiku nekaj mesecev. Tako kot v svetu tudi pri nas naravne nesreče, povezane s padavinami, povzročijo daleč največ škode. Čeprav Slovenija velja za vodnato deželjo, se soočamo tudi s sušo. Na Primorskem in v Prekmurju je to praktično vsakoletni pojav. Vse pogostejša pa so leta, ko suša v rastni sezoni pustoši tudi drugod po Sloveniji.

Ker so poplave in suše pereč problem v našem prostoru, smo tokratno številko Vetrnice namenili veji meteorologije, ki se ukvarja z vodo - hidrometeorologiji, pa tudi hidrologiji. Poleg hidrologov, ki se ukvarjajo s podzemno in površinsko vodo na našem ozemlju, so v to vejo meteorologije močno vpeti tudi agrometeorologi, saj je voda ključnega pomena za uspešno kmetijstvo. Obe veji sta zaradi napredka tehnologije v zadnjih desetletjih naredili velik napredek. Glede na to, da že danes ugotavljamo, da so suše in poplave stalnica v našem prostoru, podnebni scenariji pa kažejo, da bo v prihodnosti takih izjemnih dogodkov še več, smo napredka v teh dveh vejah lahko zelo veseli. Samo dobro poznavanje naravnih danosti in dobre ter pravočasne napovedi izjemnih dogodkov nam omogočajo, da se ustrezno zaščitimo in tudi prilagodimo pričakovanim hidrološkim razmeram. Kako so se spremljanje, analiza in napovedi stanja voda razvijale v slovenskem prostoru in kakšno je stanje na tem področju danes, vam predstavljamo v okviru vodilne teme hidrometeorologija v rubriki Pod drobnogledom.

V rubriki Razprave boste našli zanimiv prispevek o sklapljanju morskega in atmosferskega modela. Pri uporabi modelov za napoved vremena na svetovni ravni v večjih državah in meteoroloških centrih tako sklapljanje že dolgo uporabljajo, saj oceani zaradi svoje velikosti in zaloge shranjene energije odločilno vplivajo na razvoj vremenskih procesov. Pri uporabi modelov na omejenem območju, ki jih meteorologi uporabljamo kot osnovno orodje pri pripravi kratkoročnih napovedi vremena, pa doslej sklopljenih morskih in atmosferskih modelov pri nas nismo uporabljali.

Za analize in napovedi vremena ter stanja voda moramo zelo dobro poznati sprotno in preteklo stanje spremenljivk, ki opisujejo vreme in vode. Pravočasne in kakovostne podatke o dejanskem stanju na terenu nam omogočajo edino meritve, ki morajo zaradi zagotavljanja kakovosti slediti strogim profesionalnim standardom. Da bi izboljšali kakovost in količino potrebnih podatkov za pripravo analiz vremena in voda, so v Agenciji Republike Slovenije za okolje v sredini preteklega desetletja začeli s pripravo obsežnega projekta, imenovanega »Nadgradnja sistema za spremljanje stanja vodnega okolja v Sloveniji«, poznamo tudi pod imenom BOBER. Po finančnih vlaganjih in uporabi človeških virov je to najboljšežnji projekt v zgodovini slovenske meteorologije in hidrologije. Z izgradnjo 90 samodejnih meteoroloških, 145 na površinskih vodah in 46 postaj na podzemnih vodah se je zelo izboljšala gostota in dostopnost podatkov o stanju vodnega kroga v sprotne času. Razen izgradnje merilnih postaj, so v okviru projekta nadgradili radarsko mrežo z drugimi meteorološkimi radarjem ter zgradili laboratorijski prizidek, kjer po izgradnji domujejo kemijski in biološki laboratorij ter laboratorij za sestavljanje in umerjanje merilnih postaj. V okviru projekta so razvili tudi nekatera modelska orodja, ki bodo izboljšala delovanje meteorološke in hidrološke službe. Zato smo nekaj strani namenili tudi predstavitvi tega projekta.

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.**Tisk:** IZI PRINT d.o.o.**Ljubljana, NOVEMBER 2015****ISSN 1855-7457****Avtor fotografije na naslovnici:** Odsev v vodi, Foto: Iztok Sinjur**Fotografija na zadnji strani:** Kapljice na listih, Foto: Iztok Sinjur**Tiskana naklada:** 350 izvodov**Naslov uredništva:**

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



**Slovensko
meteorološko
društvo**

Od 1954

Hidrološko stanje voda kot posledica vremenskega dogajanja

Mira Kobold

Uvod

Hidrološko stanje voda je v največji meri posledica vremenskega dogajanja. Dejavniki, ki vplivajo na odtok površinskih voda, so številni: podnebje, površje, tla, geološka sestava, vegetacija in človekova dejavnost. V Sloveniji je najpomembnejši dejavnik podnebje, saj so pretoki rek v glavnem odvisni od razporeditve padavin, temperature zraka in trajanja snežne odeje. Tudi človek s svojim poseganjem v vodni režim lahko bistveno vpliva na hidrološko stanje, kar se najbolj odraža pri mejnih vrednostih, to je pri poplavah in suši. Dokler je pretok reke ali potoka na neki lokaciji blizu srednji oz. običajni vrednosti in ne povzroča nevarnosti, predstavlja reka ali potok vodni vir, ki je uporaben za različne namene. Ko pa doseže vrednost, ki je izven območja običajnih vrednosti in preneha biti ugoden, se zazna kot tveganje. Daljše nizkovodno stanje povečuje tveganje za sušo, zelo velik pretok pa poplavno nevarnost. Tveganje je odvisno od jakosti in časovnega trajanja dogodka.

Osnovna naloga državne hidrološke službe je spremljanje, analiziranje in napovedovanje hidrološkega stanja voda, kar obsega meritve in ocenjevanje količinskega stanja voda, ugotavljanje hidroloških značilnosti vodnih območij in vodnih teles, vodne bilance ter spremljanje, analiziranje in napovedovanje hidroloških sprememb vseh elementov hidrološkega

kroga. Hidrološke meritve obsegajo meritve višine vodne gladine, hitrosti vode, pretoka, geometrije merskih prerezov in meritve temperature vode ter vsebnosti suspendiranega materiala v vodi; na morju pa tudi meritve valovanja in morskega toka. V zadnjih letih smo spremljali stanje na površinskih vodah na približno 190 postajah.

Ravno spremljanje, napovedovanje in obveščanje pred izrednimi hidrološkimi pojavi je bilo vseskozi gonilo razvoja na področju posodabljanja merilnih mest, samodejnega prenosa podatkov in uporabe matematičnih modelov za izračun napovedi. Prve samodejne meteorološke in hidrološke postaje so v Sloveniji začele delovati sredi osemdesetih let prejšnjega stoletja (Roškar, 2008). Razvoj računalnikov je pospešil razvoj in rabo matematičnih modelov. Na področju meteorologije se je modeliranje ozračja hitro razvijalo in meteorološki modeli so danes osnovno orodje za napovedovanje vremena in posameznih vremenskih spremenljivk. Na področju hidrologije je potekal razvoj hidroloških modelov (modelov padavine–odtok), ki omogočajo simulacijo odtoka s porečij, za potovanje (propagacijo) valov pa hidrodinamičnih modelov. S pomočjo modelov smo danes sposobni napovedati poplave in povodnji za več dni vnaprej, odvisno od vrste modela in časovnega dosega izračuna in napovedljivosti vremenskih in padavinskih razmer.



Slika 1. Hidrološki krog.
(vir: <http://water.usgs.gov/edu/water-cycleslovene.html>)

Odnos med padavinami in odtokom

Padavine so najbolj pomemben element v izračunu odtoka. Zveza med padavinami in odtokom ni enostavna, kar ponazarja hidrološki krog, ki prikazuje proces kroženja in porazdelitve vode v naravi (slika 1). V hidrološkem izrazju (Mikoš in sod., 2002) je hidrološki krog opisan kot sosledje faz, skozi katere se giblje voda od ozračja do kopnega in ponovno v ozračje: izhlapevanje s površine tal, morja ali celinskih voda, utekočinjenje v oblakih, padavine, zadrževanje v tleh ali vodnih telesih in ponovno izhlapevanje.

Odtok je del padavin, ki prispejo na kopno in se ne zadržijo na rastlinah, v tleh ali ne izhlapijo, ampak odtečejo površinsko in podpovršinsko v mrežo vodotokov. Prispevek skupne količine padavin k različnim členom bilance hidrološkega kroga je odvisen od vrste padavin, trajanja padavin, letnega časa, predhodne namočenosti, fizikalno-geografskih lastnosti povodja, rabe tal in vrste tal. Enačba bilance hidrološkega kroga, ki se nanaša na določeno prispevno območje v nekem časovnem intervalu, se glasi

$$P = Q + I + ET + S$$

kjer so P padavine, Q površinski odtok, I pronicanje v tla, ET evapotranspiracija (izhlapevanje in transpiracija), S pa predstavlja izgube. Ker del padavin prestreže vegetacija, del pa se jih zadrži v tleh kot vlaga, je prostornina odtekle vode manjša od prostornine padavin in to razliko imenujemo izgube. Odtok torej sestavljajo kompleksni, dinamični procesi, ki se stalno spreminjajo.

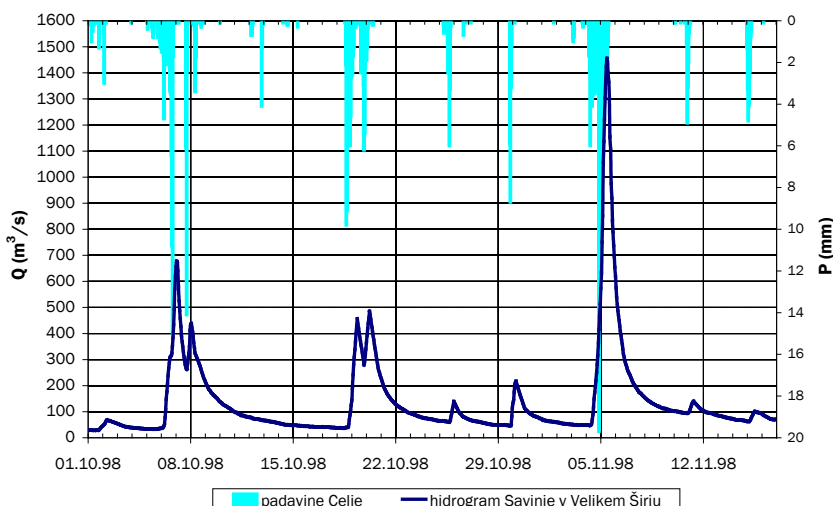
Glede na naravne razmere v Sloveniji in neenakomerno razporeditev padavin čez leto se odtok površinskih voda neprestano spreminja. Padavine imajo močan vpliv na odtok, saj leži Slovenija pretežno v povirju rek. Vode že po okoli 100 km dolgem toku v enem dnevu ali dveh zapustijo naše ozemlje. Ozke doline z velikimi vzdolžnimi padci dajejo rekam hudourniški značaj, kar

pomeni zelo hitro naraščanje in tudi hitro upadanje vodnih količin (slika 2).

Na obliko hidrograma, ki kaže časovno spremembo pretoka, poleg količine padavin vplivata tudi časovna razporeditev in jakost padavin. Ni enako, če padavine nastopijo z veliko jakostjo na začetku dogodka in potem ponehajo, ali če se začnejo z rahlim dežjem, ki na koncu preraste v močan naliv. Enake količine padavin, ki imajo različno dinamiko, bodo dale bistveno drugačne odtočne hidrograme. Tudi enaka največja jakost dveh časovno različnih nalivov ne bo dala enakih največjih odtočnih količin. Padavine z največjo jakostjo proti koncu padavinskega dogodka bodo dale bistveno višje konice odtoka od padavin z največjo jakostjo na začetku.

Izredno pomembna je tudi količina vlage v tleh ali predhodna namočenost. Tudi od vlažnosti tal je odvisno, kolikšen del padavin odteče površinsko v strugo vodotoka in povzroča dvig gladine vode v strugi. Čim večja je predhodna vlažnost tal, tem večja količina padavin odteče površinsko. Za poplavne valove je značilno hitro naraščanje pretoka, sledi kratkotrajen pretok vrha vala in zatem počasnejše upadanje pretoka. Ker leži Slovenija pretežno v povirju rek, se večinoma srečujemo s kratkotrajnimi večurnimi hudourniški poplavami, razen na kraških rekah ter Dravi in Muri, kjer lahko poplave trajajo tudi več dni.

Glavna in najboljšežnejša območja poplav so v predalpskih dolinah in kotlinah ter v nižinsko-ravninskih predelih zahodne, osrednje, vzhodne in severovzhodne Slovenije. Poplave s povratno dobo 50 in več let pomenijo katastrofalne poplave. V večini primerov poplave z enako povratno dobo ne nastopijo hkrati po celi državi, niti na posameznih porečjih (slika 3). Na manjših povodjih so za nastop poplav odločilne intenzivne padavine krajšega trajanja (do nekaj ur), ki so najpogostejše v poletnem obdobju, medtem ko so za poplave na večjih povodjih odločilne padavine z daljšim trajanjem, ki nastopijo večinoma v jesenskem



Slika 2. Hudourniški značaj reke Savinje, ki se kaže v hitrem porastu ob padavinah in hitrem upadu po koncu padavin. (vir: ARSO)

letnih pretokov za vodomerne postaje z nizom nad 30 let (Jurko, 2009) ugotavljamo upadajoč trend srednjih letnih pretokov povsod po Sloveniji, kar pomeni, da se letna količina razpoložljive vode v strugah vodotokov zmanjšuje.

Tako kot pri pretokih smo zaznali spremembe tudi pri temperaturi vode rek, jezer in morja. Trendi temperature vode so naraščajoči, temperatura vode se je opazno zvišala predvsem v poletnih mesecih (Kobold in Ulaža, 2010), saj je temperatura površinskih voda v veliki meri odvisna od temperature zraka.

Podatki državnega hidrološkega monitoringa površinskih voda ter izvedeni analitični izračuni kot tudi poročila in publikacije so javnosti dostopni na spletnih straneh Agencije RS za okolje: <http://www.arso.gov.si/vode/>. Vse podatke, dostopne na spletnih straneh, je možno izvoziti in uporabiti za nadaljnje hidrološke analize, pri čemer je potrebno objaviti vir podatkov. Podatke mesečno objavljamo v mesečnem biltenu ARSO "Naše okolje" (<http://www.arso.gov.si/o-agen-ciji/knjiznica/mesečni-bilten/>). Poročila o monitoringu in rezultati hidroloških analiz so zbrani v periodičnih in strokovnih publikacijah ter poročilih na <http://www.arso.gov.si/vode/poročila-in-publikacije/>.

Viri

Frantar, P., 2008: Vodna bilanca obdobja 1971–2000. V: *Vodna bilanca Slovenije 1971–2000* (ur. Frantar, P.). Agencija RS za okolje, Ljubljana, 71-79.

Jurko, M., 2009: *Statistična analiza trendov značilnih pretokov slovenskih rek*, Diplomaska naloga, FGG, Ljubljana.

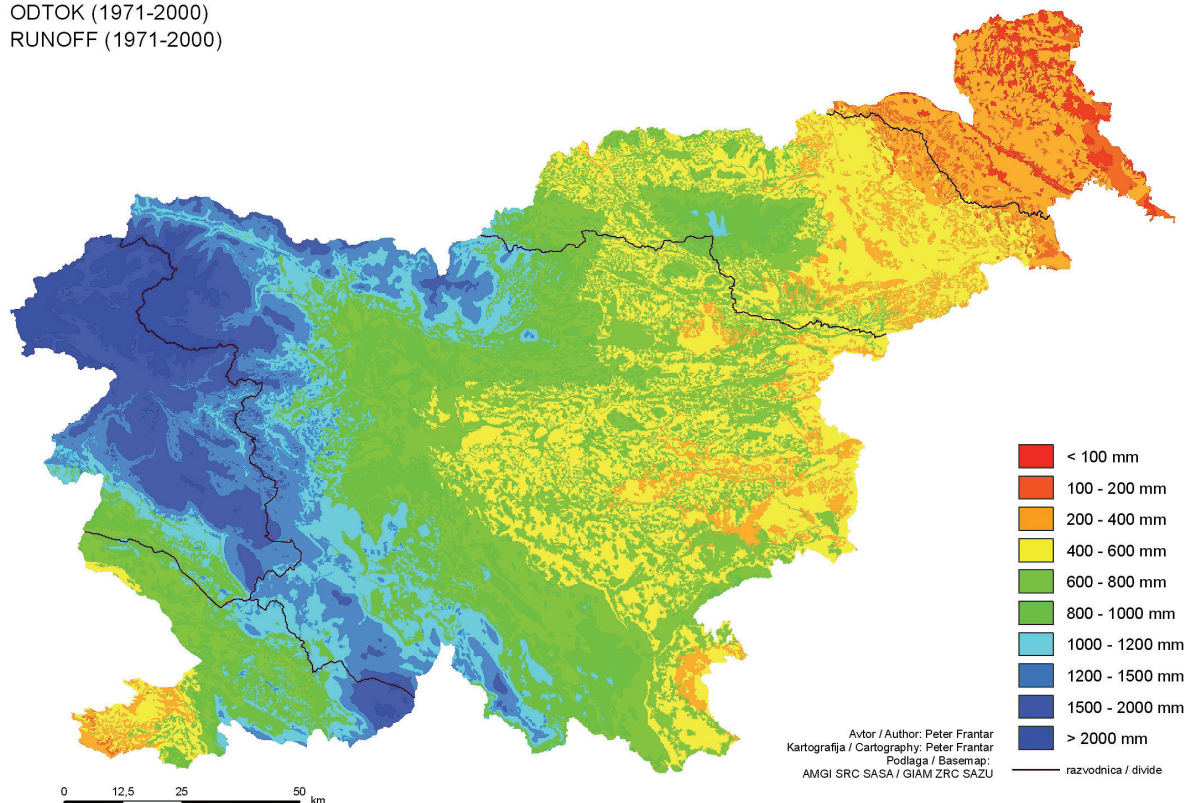
Kobold, M. in Dolinar, M., 2014: *Podnebne spremembe v Sloveniji in njihov vpliv na vodni režim*. Zbornik *Vodni dnevi 2014*, Portorož, Slovensko društvo za zaščito voda, 117-131.

Kobold, M. in Ulaža, F., 2010: *Hidrološko stanje voda in podnebna spremenljivost*. V: *Okolje se spreminja: podnebna spremenljivost in njen vpliv na vodno okolje* (ur. Cegnar, T.), Agencija RS za okolje, Ljubljana, 43-56.

Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M., 2002: *Hidrološko izrazje*. *Acta hydrotechnica* 20/32.

Roškar, J., 2008: *60 let slovenske državne meteorološke službe*. Posebna številka biltena Agencije RS za okolje, Ljubljana.

ODTOK (1971-2000)
RUNOFF (1971-2000)



Slika 5. Povprečni odtok na ozemlju Slovenije v mm na leto. (vir: ARSO)

Uporaba modelskih orodij pri hidroloških analizah in napovedih

Mira Kobold

Uvod

Napovedovanje poplav in zagotavljanje pravočasnih opozoril je osnova za dovolj zgodnje ukrepanje pred nastopom pojava. Meteorološki modeli so danes glavno orodje za napovedovanje vremena in s tem tudi padavin. Na osnovi napovedi padavin lahko napovemo poplave in druge vodne ujme tudi za več dni vnaprej. Pri tem si pomagamo s hidrološkimi modeli, s katerimi izračunamo odtok s porečij, in z metodami za potovanje valov vzdolž vodotoka.

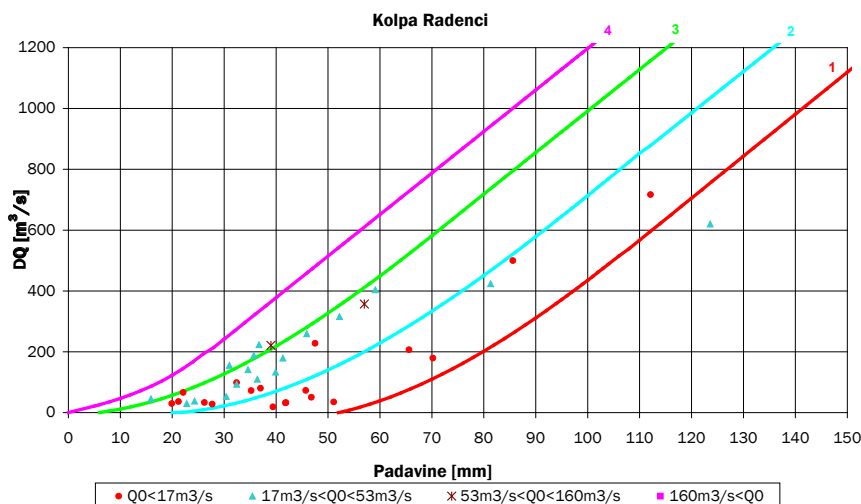
V literaturi zasledimo veliko število modelov za računanje površinskega odtoka, od preprostih metod, ki temeljijo le na statističnem odnosu med padavinami in odtokom, do zapletenih modelov, ki ponazarjajo fizikalne procese kroženja vode v naravi (Singh, 1995). Slednji zahtevajo veliko vhodnih podatkov, v njih pa običajno nastopa tudi veliko število parametrov, ki jih je potrebno določiti v postopku umerjanja modela. V praksi se je pokazalo, da izbira modela ni najbolj pomembna za uspešno pripravo napovedi, ampak je bolj kritično pomanjkanje podatkov, ki so potrebni za umerjanje in kasneje za operativno uporabo (Kobold, 2007). To se kaže še zlasti pri modeliranju hudourniških poplav, kjer je časovna ločljivost modela ena ura ali manj in je pomanjkanje vhodnih podatkov glavna ovira pri umerjanju in kasnejši uporabi rezultatov modelov.

Ni predpisanega modela za vsestransko in širšo uporabo. Modeli so večinoma zasnovani glede na cilj, ki ga želimo doseči z modeliranjem, razpoložljivost podatkov, obseg obravnavanega pojava ter poznavanje sistema in matematičnih orodij. Prav tako je potrebno vsak model, ki ga želimo uporabiti za izračun odtokov na določenem porečju, predhodno umeriti in ovrednotiti. Od vrste modela je odvisno število vhodnih in izhodnih spremenljivk ter število parametrov, ki jih je potrebno umeriti. Zahtevnejši modeli poleg pretoka običajno omogočajo izračun in prikaz ostalih hidroloških spremenljivk na porečju, kot so ploskovne padavine, izhlapevanje, zaloga vode v tleh in drugo. Tehnološki razvoj in razvoj meteoroloških modelov spodbujajo tudi razvoj hidroloških modelov, saj si lahko tudi z njihovo pomočjo ustvarimo celostno sliko dogajanja v porečju.

Uvajanje hidroloških modelov v delo državne hidrološke službe

Slovenska hidrološka služba si je za potrebe zagotavljanja podatkov, napovedovanja poplav in zagotavljanja pravočasnih opozoril vseskozi prizadevala za razvoj in modernizacijo merilnih mest, spremljali pa smo tudi razvoj na področju hidrološkega modeliranja v svetu. Svetovna meteorološka organizacija je proti koncu 70. in v začetku 80. let preteklega stoletja osnovala večnamenski hidrološki sistem HOMS (Hydrological Operational Multipurpose System), kjer so bile zbrane informacije o razpoložljivih hidroloških merilnih instrumentih in opremi, metodah opazovanj, prenosu podatkov, tehnikah obdelave podatkov in modelih. Sistem je bil namenjen prenosu tehnološkega razvoja v operativne hidrološke službe in posodobljen je v uporabi še danes. Prenos modelov v tistih letih ni bil enostaven, saj so bili prvi računalniški sistemi okorni, datoteke vhodnih podatkov je bilo potrebno ročno pripravljati. Pogoste menjave računalnikov in operacijskih sistemov so zahtevale nenehne prilagoditve programov in vhodnih datotek ter tudi znanje računalniških jezikov, zato razvoj in uporaba prvih hidroloških modelov, ki so bili na voljo, v slovenski državni hidrološki službi nista zaživila. Prvi modeli so bili v svojem začetku v glavnem namenjeni izračunu srednjih dnevnih pretokov, saj ni bilo na voljo zadosti podatkov v boljši časovni ločljivosti, s katerimi bi lahko modelirali hudourniške poplave, ki so značilne za Slovenijo.

Težava pri napovedovanju vodnih količin v Sloveniji je prav hudourniški značaj vodotokov. Količine vode se lahko hitro povečajo in tudi hitro odtečejo. Razgibanost površja ter velika časovna in prostorska spremenljivost padavin povzročata izredno pestre hidrološke pojave, ki jih še s tako gosto merilno mrežo ne moremo popolnoma zajeti. Hudourniške poplave je veliko težje napovedovati kot poplave velikih rečnih sistemov. Količine vode se, z izjemo kraških rek ter čezmejnih rek Mure in Drave, hitro povečajo in tudi hitro odtečejo. Glavnina padavin, ki v padavinskih dogodkih povzroči hudourniški visokovodni val, pade v nekaj urah. Konica vala traja zelo kratek čas, običajno samo nekaj minut. Pri napovedovanju poplav je zato pomembno razumeti mehanizme, zaradi katerih prihaja do takšnih poplav in poznati različne vrste padavin, ki lahko povzročijo poplave.



Slika 1. Primer rezultata regresijskega modela za Kolpo v Radencih. (vir: ARSO)

Pri napovedovanju poplav so najpomembnejše spremenljivke:

- pretok konice poplavnega vala oziroma vodostaj,
- čas nastopa konice in
- prostornina poplavnega vala.

Poplava mora biti pravočasno napovedana, da se lahko prepreči izguba življenj, poškodbe ljudi in poškodbo lastnine. Napoved mora zato čim bolj natančno opredeliti območje oziroma vodotok, ki mu grozi poplava, velikost poplavnega vala ali višino vode in čas nastopa konice vala. Če je napoved zanesljiva in opozorilo dovolj zgodnje, torej če je na voljo dovolj časa za ukrepanje, se lahko bolje pripravimo na poplavo in ublažimo njene posledice, več je možnosti za nadziranje poplave, možna pa je tudi evakuacija ljudi. Na Nizozemskem so leta 1993, ko je poplavljal reka Maas, z opozorilom do tri dni vnaprej evakuirali okrog 100.000 ljudi z ogroženih območij (Bruen, 1999). Za majhna porečja tako dolg predopozorilni čas ni mogoč. Ljudje lahko v teh primerih le preselijo svoje dragocenosti v višja nadstropja in se po možnosti zaščitijo pred vdorom vode v objekt.

Uvajanje empiričnih modelov

Za potrebe napovedi in izdaje opozoril smo v hidrološki službi pri rednem delu najprej začeli uporabljati klasične regresijske modele (Lalić, 1994; Sušnik in Polajnar, 1998). Razvoj teh modelov sega v devetdeseta leta prejšnjega stoletja, modeli pa temeljijo na statističnem odnosu med padavinami, običajno 24-urno višino padavin, in najvišjim odtokom (konico) vala, pri čemer je bila upoštevana še predhodna namočenost zemljišča oziroma začetni pretok (slika 1). Take modele smo uporabljali za večino večjih rek v Sloveniji (Savinja, Ljubljanka, Krka, Kolpa, Vipava). Z njimi je bilo mogoče napovedati pretok konice visokovodnega vala, ne pa tudi časa nastopa in trajanja

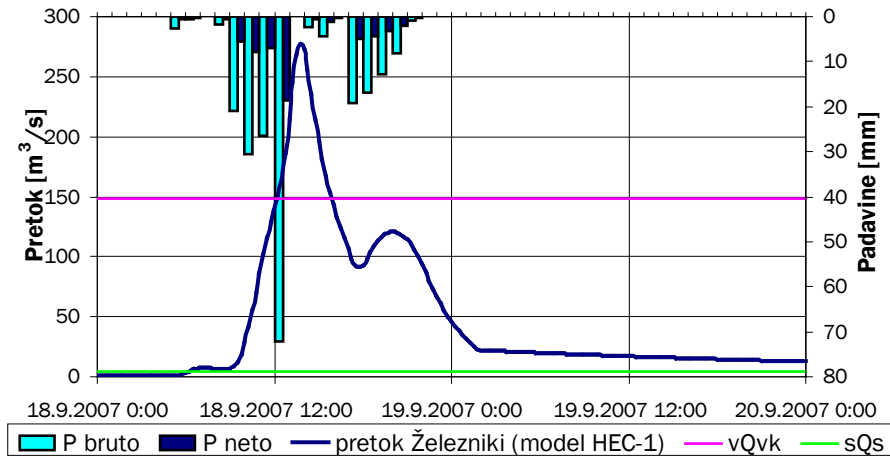
konice. Za časovno določitev potovanja vala smo poleg teh modelov izdelali tudi analize potovanja visokovodnih valov vzdolž glavnih vodotokov med lokacijami vodomernih postaj.

Izkušnje s konceptualnimi modeli

Leta 1998 smo se odločili za uvajanje konceptualnih modelov padavine–odtok. Raziskava tržišča nas je takrat pripeljala do programskega orodja WMS (Watershed Modeling System), ki je zapleten sistem, namenjen hidrološkim analizam in modeliranju (WMS, 1997). Razvit je bil na Univerzi v Brigham (Brigham Young University) pri Engineering Computer Graphics Laboratory v sodelovanju z ameriško vojsko (US Army Corps of Engineers). Dobra stran tega orodja je združitev funkcij geografskih informacijskih sistemov za modeliranje porečij s standardnimi hidrološkimi modeli. Z digitalnim modelom površja je možno zgraditi model porečja z rečno mrežo in delitvijo na podporečja ter izračunati pripadajoče geometrijske lastnosti, ki so potrebne v hidroloških modelih. WMS podpira več hidroloških modelov, od preprostih do bolj kompleksnih kot je HEC-1¹, pa tudi model za oceno povratnih dob.

Model HEC-1 je eden najstarejših in najbolj znanih programov za simulacijo površinskega odtoka, ki ga je razvila ameriška vojska v začetku šestdesetih let prejšnjega stoletja (Feldman, 1995). Program HEC-1 modelira posamezne padavinske dogodke s trajanjem od 5 minut do 10 dni. Z njim ni mogoče izračunati odtoka v daljših časovnih obdobjih z daljšimi presledki brez padavin, ker ne računa obnove in zaloge vlage v tleh. Model HEC-1 na osnovi matematičnih enačb, ki opisujejo hidrološke in hidrodinamične procese med padavinami in odtokom, pretvori padavine v časovni potek odtoka oziroma hidrogram. Z modelom HEC-1 je mogoče modelirati tudi izredno zapletena porečja, ka-

¹ Hydrologic Engineering Center pri US Army Corps of Engineers je razvil hidrološki model in ga poimenoval HEC-1.

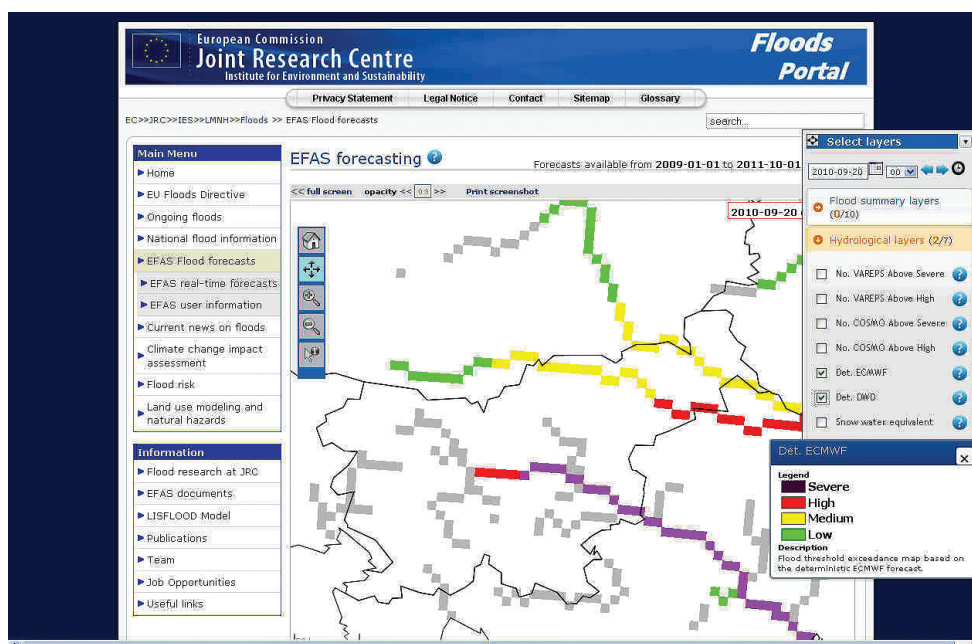


Slika 2. Z modelom HEC-1 izračunani hidrogram Selške Sore v Železnikih in obdobjni srednji (sQs) in največji (vQvk) pretok ter ploskovne padavine do Železnikov. (vir: ARSO)

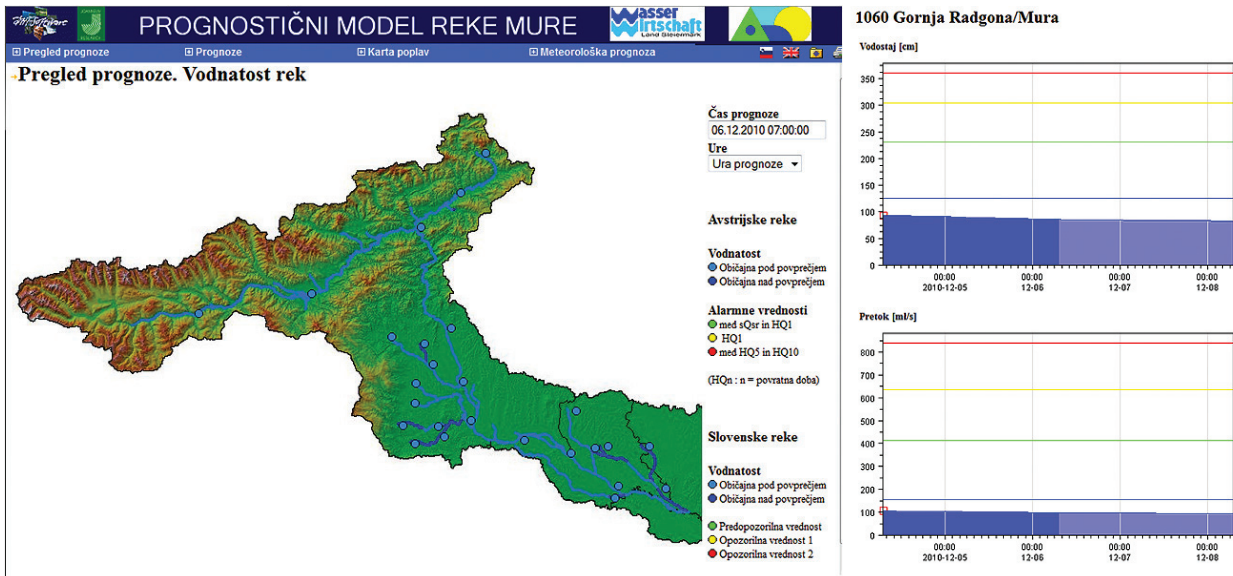
kršna je večina slovenskih porečij. Porečje razdelimo na manjša homogena podporečja z enakimi hidrodinamičnimi in hidrološkimi lastnostmi. Število in velikost podporečij je odvisno od spremenljivosti hidroloških in meteoroloških procesov ter lastnosti prispevnih površin. Čeprav je model HEC-1 primarno namenjen analizi poplavnih valov, ga je mogoče uporabljati tudi za napovedovanje poplav. Osnovni vhodni podatki v model so padavine, določiti pa je potrebno delež padavinskih izgub, to je padavin, ki ne prispevajo k površinskemu odtoku. Del padavin namreč izhlapi, nekaj jih prestreže vegetacija, del pa se jih zadrži v tleh kot vlaga. Zaradi tega je prostornina površinske in podzemne odtekle vode manjša od prostornine padavin in to razliko imenujemo izgube.

S programskim paketom WMS in modelom HEC-1 smo

modelirali več porečij: Gradaščico, Savinjo, Savo do sotočja s Savinjo in Sočo. Težava, ki se je pokazala pri uporabi modela HEC-1, je določitev padavinskih izgub za vsak posamezen padavinski dogodek, saj se izgube padavin razlikujejo od dogodka do dogodka. To je bil tudi razlog, da smo vzpostavljene modele pogosteje uporabljali za analitične namene, manj pa za prognostične. Z orodjem WMS in modelom HEC-1 smo učinkovito izvedli več modelskih izračunov. Izmed teh velja omeniti rekonstrukcijo hidrološkega dogajanja za porečje Koritnice v novembru 2000, ko se je po dolgotrajnem deževju sprožil plaz pod Mangartsko planino in zasul vas Log pod Mangartom (Kobold in sod., 2001). Na podoben način smo ocenili tudi katastrofalno poplavo Selške Sore v Železnikih 18. septembra 2007, ko je prišlo do okvare hidrološke merilne postaje in poplavni val ni bil zabeležen. Z



Slika 3. Prikaz poplavne ogroženosti v sistemu EFAS. (vir: <https://www.efas.eu/>)



Slika 4. Prikaz rezultatov mednarodnega prognostičnega sistema za Muro. (vir: ARSO)

modelom HEC-1 smo izvedli oceno odtoka poplavnega vala v Železnikih (slika 2). Vhodni podatki v predhodno umerjeni model so bile padavine s padavinskih postaj na porečju Sore in okolice.

Sodelovanje v mednarodnem projektu Evropski sistem za napovedovanje poplav (projekt EFFS – European Flood Forecasting System) v letih 2002 in 2003 (Kobold in sod., 2003) smo med drugim izkoristili tudi za ovrednotenje modela HBV (Bergström, 1995). Razvili so ga na Švedskem meteorološkem in hidrološkem inštitutu, v oddelku za vodno bilanco urada za hidrologijo (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning), po katerem ima tudi ime. Osnovna različica modela je bila razvita v začetku sedemdesetih let prejšnjega stoletja. Spada med konceptualne modele padavine–odtok. Omogoča delitev porečja na podporečja. Vsako podporečje lahko naprej delimo na območja po nadmorski višini, ta pa še po vegetaciji. Vendar je slednja delitev precej groba, saj loči samo dve kategoriji, in sicer gozdne in negozdne površine. Delitev na vegetacijske cone se upošteva pri postopkih za računanje snega in vlage v tleh. Model omogoča neprekinjeno računanje odtoka, kar je pomembno pri redni pripravi hidroloških napovedi na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO), kjer si prizadevamo izdajati količinske napovedi odtokov, ne samo v primeru visokovodnih situacij, ampak tudi v primeru upadanja pretokov in nizkovodnih stanj. Prve napovedi s tem modelom so izdelali za porečja na severu Švedske leta 1975. Model uporabljajo za napovedovanje pretokov rek, zlasti v primeru visokih voda in poplav, pa tudi za potrebe obratovanja hidroelektrarn in ocene vodnih virov. Model temelji na enačbi vodne bilance. Običajno teče na podatkih dnevni padavin in temperature zraka ter mesečnih ocenah potencialne evapotranspiracije, možno pa je uporabiti krajši časovni korak. Uporabe in izkušnje z modelom HBV v Sloveniji pred tem ni bilo. Tudi nismo zasledili uporabe modela HBV

za napovedovanje hudourniških poplav, kar je bil za nas največji izziv. V literaturi smo zasledili le uporabo modela na dnevni podatkih. Model HBV smo umerili na porečju Savinje, kar je poleg izračunov največjih poplav na porečju Savinje služilo za analizo vplivov hidroloških spremenljivk na odtok in oceno vpliva napačne ocene padavin na napako v napovedi odtoka (Kobold, 2007). Kasneje je bil model HBV na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo umerjen na porečju reke Save v Sloveniji in uporabljen za izračun verjetne največje poplave iz različnih padavinskih scenarijev na porečju Save (Primožič, 2007).

V projektu EFFS je bil tudi zametek izgradnje sistema za spremljanje in napovedovanje poplav v Evropi, imenovanega s kratico EFAS (European Flood Awareness System). Sistem so razvili na JRC (Joint Research Centre) v Ispri (De Roo in Thielen, 2004), služi pa zgodnjemu opozarjanju pred visokimi vodami večjih rek. Za Slovenijo rezultati sistema služijo kot predopozorilo o možni poplavni ogroženosti za reke Savo, Dravo in Muro (slika 3).

Razvoj sistema za hidrološko napovedovanje na ARSO

Prvi sistem za hidrološke napovedi, ki je močno olajšal pripravo napovedi v hidrološki službi ARSO, je bil leta 2006 izdelan čezmejni sistem za napovedovanje pretokov na reki Muri v okviru programa EU INTERREG IIB CADSES². Pri projektu sta sodelovali hidrološki službi Slovenije in avstrijske Štajerske (Ruch in sod., 2006). Uporabljen je bil programski paket MIKE 11

² INTERREG IIB CADSES je bil čezmejni program za ozemeljsko sodelovanje med državami prostora srednje, jadranske, podonavske in jugovzhodne Evrope (CADSES) v obdobju 2000–2006.

danskega podjetja DHI (Danish Hydraulic Institute), ki vključuje model padavine–odtok s kratico NAM (okrajšava iz Nedbor-Afstromnings-Model). NAM je konceptualni model, primeren za neprekinjeno računanje odtoka, pri čemer so potrebni vhodni podatki v model višina padavin, potencialna evapotranspiracija in temperatura zraka, ki je pomembna predvsem pri modeliranju taljenja snega. Najpomembnejši računski rezultat je odtok vode iz obravnavanega porečja. To je bil prvi sistem za hidrološke napovedi, ki sta ga hidrološki službi Slovenije in avstrijske Štajerske vpeljali v svoje delo za spremljanje in napovedovanje pretokov reke Mure (slika 4).

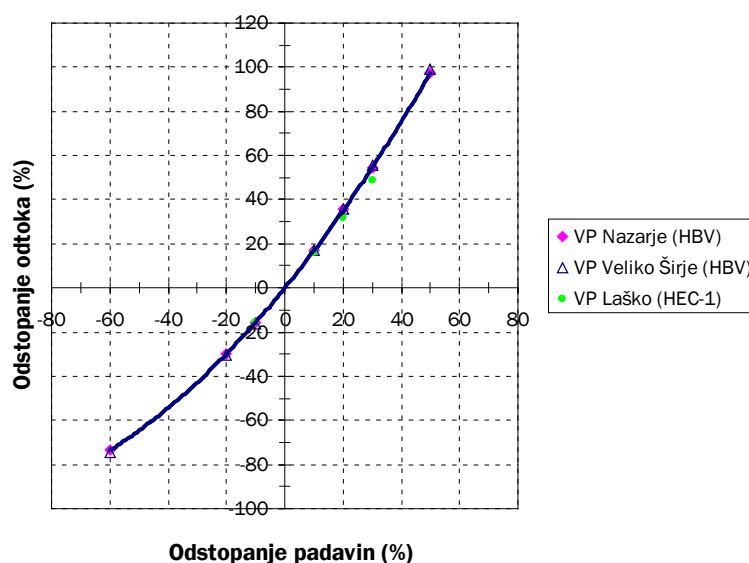
ARSO je leta 2009 s pomočjo kohezijskih sredstev Evropske unije začela izvajati projekt Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji, poimenovan BOBER, kar pomeni Boljše Opazovanje za Boljše Ekološke Rešitve (angl. Better Observation for Better Environmental Response) (ARSO, 2010). Projekt je del operativnega programa razvoja okoljske in prometne infrastrukture v obdobju 2007–2013. Eden izmed rezultatov projekta je bila vzpostavitev sistema za napovedovanje hidrološkega stanja rek Save in Soče, ki je bil v drugi fazi nadgrajen za napovedovanje hudourniških poplav. Modelsko orodje sistema za napovedovanje je MIKE 11. Sistem združuje hidrološka in meteorološka opazovanja ter napovedi meteoroloških modelov (ALADIN/SI, ECMWF, NAM) in omogoča spremljanje trenutne vodnatosti na vodomernih postajah državnega monitoringa in napovedovanje pretokov do šest dni vnaprej. Sistem za porečji Save in Soče ter že obstoječ sistem reke Mure bosta hidrologom služila kot osnovni pripomoček za pregled trenutnih hidroloških stanj, pripravo hidrološke napovedi in pravočasno izdajo opozorila pred poplavami. Sistem je podrobneje opisan v tej

številki Vetrnice avtorja Saše Petane s sodelavci pod naslovom »Sistem za hidrološko napovedovanje Agencije Republike Slovenije za okolje«.

Občutljivost hidroloških modelov na padavine

Osnovni vhodni podatki v hidrološke modele odtoka so padavine, ki so zaradi napačne ocene padavin na porečju tudi glavni vir napak v oceni odtoka. Hidrološki procesi se odvijajo v prostoru in določevanje ploskovnih padavin iz točkovnih podatkov dežemernih postaj je eden od osnovnih problemov v hidrologiji. Še vedno se za izračun ploskovnih padavin najpogosteje uporablja metoda Thiessenovih poligonov. Za umerjanje in ovrednotenje modela je običajno na voljo več podatkov kot kasneje za sprotno izvajanje, ko so na voljo samo podatki samodejnih postaj. Podatki v umerjen hidrološki model so izmerjene točkovne količine padavin in temperatura zraka s samodejnih meteoroloških postaj ter napovedi količine padavin in temperature zraka iz meteoroloških modelov. Čeprav so meritve padavin z metodami daljinskega zaznavanja (radarji in sateliti) danes že običajne in lahko z njimi zelo natančno spremljamo razvoj padavinskih dogodkov, določitev količinske ocene padavin na tleh na njihovi osnovi še vedno ni zadovoljiva za hidrološko modeliranje.

Količinske napovedi padavin kot tudi ocena ploskovnih padavin na porečju so obremenjene z določeno napako. Napaka v izračunanem odtoku glede na napako v količini padavin ni v razmerju 1:1, ampak je večja (Kobold, 2007). Za porečje Savinje je odvisnost med napako v količini padavin in napako izračunanega odtoka polinomska ter ni odvisna od hidrološkega modela (slika 5). Pri rabi hidroloških modelov za



Slika 5. Odstopanje odtoka glede na odstopanje padavin na porečju Savinje. (vir: ARSO)

napovedi, kjer so vhod v model napovedane količine padavin, je lahko odstopanje simuliranega pretoka od kasneje dejansko izmerjenega precej veliko, saj so napovedi količine padavin precenjene ali podcenjene. Na primer, če je napovedana količina padavin na porečju Savinje precenjena za 20 %, je odstopanje izračunanih pretokov okrog 36 %. Pri precenitvi količine padavin za 50 % se napaka v odtoku že skoraj podvoji. Zaradi tega so modeli za napovedi rek Save in Soče zasnovani v več različicah glede na različne vhodne podatke (Pogačnik in sod., 2012), na osnovi katerih bomo lahko odločali o zanesljivosti napovedi.

Potrebno je poudariti, da je za izdelavo zanesljivih hidroloških napovedi pomembna razpoložljivost in kakovost meteoroloških in hidroloških podatkov, pravočasen prenos podatkov in zanesljivost modelov za napovedovanje. Pri tem gre za celosten proces, saj nam še tako zapleten hidrološki model brez ustreznih podatkov ne more dati zanesljive hidrološke napovedi. Nadgradnja meteorološke in hidrološke merilne mreže v okviru projekta BOBER bo bistveno pripomogla k izboljšavi hidroloških napovedi in izdaji pravočasnih opozoril.

Zaključek

Na Agenciji RS za okolje se pri vsakodnevnem spremljanju in pripravi napovedi stanja voda vse bolj uveljavljajo hidrološki in hidrodinamični modeli. Na osnovi sistemov za napovedovanje, ki jih vzpostavljamo, bo mogoče vodne ujme z veliko zanesljivostjo napovedati že nekaj dni pred nastopom pojava. S tem se bo podaljšal tudi čas, ki ga bodo imele pristojne službe na voljo za preventivno ukrepanje neposredno pred pojavom. Mogoče bo načrtovati vrsto akcij od zaščite objektov, predpraznenja akumulacij, kontrole stanja objektov in naprav ipd.

Razvoj meteoroloških modelov z boljšo prostorsko ločljivostjo in razvoj zelo kratkoročnih napovedi (ang. now-casting) bosta pripomogla k boljši napovedi padavin. Le z boljšimi padavinskimi podatki bodo produkti modelov padavine–odtok zanesljivejši, kar še zlasti velja za majhna porečja, ki so že vgrajena v hidrološki sistem za napovedovanje hudourniških poplav.

Viri

ARSO, 2010: Predstavitev projekta »Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji«, Predstavitvena publikacija projekta BOBER, Agencija RS za okolje.

Bergström, S., 1995: *The HBV model. V: Computer Models of Watershed Hydrology* (ur. V. P. Singh), Colorado, USA, Water Resources Publications, 443-476.

Bruen, M., 1999: *Some General Comments on Flood Forecasting. Proc. of Euroconference on Global Change and Catastrophic Risk Management: Flood Risks in Europe.* IIASA, Laxenburg, Austria, 37 str., <http://www.iiasa.ac.at/Research/RMP/june99/presentations.html> (12.11.2011).

De Roo, A., Thielen, J., 2004: *The European Flood Alert System, 2nd EFAS workshop, Book of abstracts, Ispra, Italy, Joint Research Centre.* De Roo, A., Wesseling, C.G.

Feldman, A.D., 1995. *HEC-1 Flood Hydrograph Package. V: Computer Models of Watershed Hydrology* (ur. V. P. Singh), Colorado, USA, Water Resources Publications, 119-150.

Kobold, M., 2007: *Vpliv napake ocene padavin na napako napovedi odtoka pri napovedovanju poplav, Doktorska disertacija, UL FGG, Ljubljana.*

Kobold, M., Sušelj, K., Štravs., L., Brilly, M., 2003: *Razvoj evropskega poplavnega prognostičnega sistema, Mišičev vodarski dan 2003, Zbornik referatov, Maribor, VGB, 39-47.*

Kobold, M., Sušnik, M., Uhan, J., 2001: *Hidrološki model povodja Koritnice, Mišičev vodarski dan 2001, Zbornik referatov, Maribor, VGB, 29-36.*

Lalič, B., 1994: *Visokovodni valovi v odvisnosti od padavin, vegetacije in predhodne namočenosti za reko Savinjo, Razprave, Ljubljana, Društvo meteorologov Slovenije, 61-74.*

Pogačnik, N., Petan, S., Sušnik, M., Polajnar, J., Jørgensen, G., 2012: *Sistem hidrološko – hidravličnega modeliranja za napovedovanje hidroloških razmer na Savi, Soči in Muri, Slovenski vodar 25, Društvo vodarjev Slovenije, Ljubljana.*

Primožič, M., 2007: *Umerjanje HBV modela za porečje reke Save v Sloveniji, Dipl. nal., UL FGG, Ljubljana.*

Ruch, C., Pogačnik, N., Polajnar, J., Sušnik, M., Jørgensen, G., Hornich, R., Schatzl, R., 2006: *Mednarodni sistem za napovedovanje pretokov reke Mure, Mišičev vodarski dan, Zbornik referatov, Maribor, VGB, 26-33.*

Singh, V.P., 1995: *Computer Models of Watershed Hydrology* Colorado, USA, Water Resources Publications.

Sušnik, M. and Polajnar, J., 1998: *Simple hydrological forecasting models: operational experience, Proceedings of XIXth Conference of the Danube Countries, Osijek, Croatia, Hrvatske vode, 31-36.*

WMS (Watershed Modeling System) 5.0, 1997: *Reference manual and tutorials, Brigham Young University, Engineering Computer Graphics Laboratory, Utah.*

Sistem za hidrološko napovedovanje Agencije Republike Slovenije za okolje

Sašo Petan, Andrej Golob, Marjan Moderc

Uvod

Sistem za hidrološko napovedovanje (SHN) Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) je orodje, ki omogoča podrobnejši vpogled v trenutno stanje hidroloških spremenljivk v slovenskih porečjih in njihovo napoved za nekaj dni v naprej. SHN je bil zasnovan predvsem kot orodje, ki hidrološki službi na ARSO omogoča podporo pri pravočasnem in podrobnejšem spremljanju stanja voda v slovenskih vodotokih, predvsem pa pri napovedovanju poplavnih dogodkov na rekah. Rezultati SHN so na voljo tudi hidrološkim službam v sosednjih državah, vsakodnevno pa jih uporabljajo tudi ostale strokovne službe s področja vodnega gospodarstva in varstva pred naravnimi nesrečami ter proizvajalci električne energije v Sloveniji.

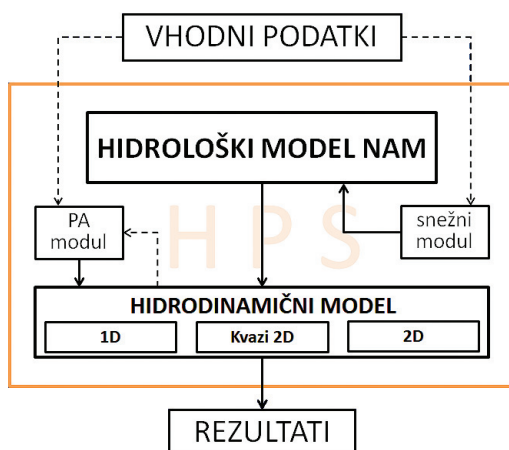
Zametki SHN segajo v leto 2006, ko sta hidrološki službi avstrijske Štajerske in Slovenije v svoje delo vpeljali sistem za napovedovanje hidroloških razmer na reki Muri (Ruch in sod. 2006). Kmalu je bil takšen sistem prepoznan kot zelo koristno orodje pri opravljanju vsakodnevnih nalog hidroloških služb in še posebej pri opozarjanju ob poplavnih dogodkih. Zato se je ARSO odločila, da bo sistem postopoma razširila na celotno ozemlje Slovenije. V okviru projekta Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji, imenovanem BOBER, smo med letoma 2010 in 2015 izvedli širitev in nadgradnjo sistema za hidrološko napovedovanje, sprva na porečji Save do meje s Hrvaško in Soče do

izliva v Jadransko morje (Petan in sod., 2012), pozneje pa tudi na preostala porečja v Sloveniji. V drugi fazi projekta smo hidrološki in hidrodinamični model prilagodili predvidenemu stanju mreže samodejnih hidroloških merilnih postaj po zaključku projekta BOBER. Naloga je obsegala tudi vzpostavitev podrobnejšega dvodimenzijskega hidrodinamičnega modela za poplavni območji jugozahodnega dela Ljubljane in Spodnje Savinjske doline na poskusni ravni (Pogačnik in sod., 2012). Glavni motiv za podrobnejše hidrodinamično modeliranje poplavnih območij je bila potreba po boljšem vpogledu v prostorsko dinamiko poplavnih dogodkov na poplavno najbolj ogroženih območjih.

V nadaljevanju prispevka je podrobneje opisana zgradba in delovanje SHN, njegovih rezultatov in omejitev, skupinskega procesa nastajanja sistema ter načrtov za prihodnji razvoj.

Zgradba sistema

Celoten sistem je zgrajen okoli računskega jedra sistema, ki ga tvorita dve osnovni modelski komponenti programskega paketa DHI MIKE11¹: hidrološki model NAM² in eno-dimenzijski (1D) hidrodinamični model (slika 1). V poznejši fazi smo sistemu dodali še kvazi dvo-dimenzijski (kvazi 2D) in polni dvo-dimenzijski (2D) hidrodinamični model, zasnovan s komponento MIKE FLOOD, za podrobnejše simulacije na dveh izbranih poplavnih območjih. Hidrološki model NAM je dopolnjen s snežnim modulom, ki skrbi za simulacijo akumulacije in taljenja snega. Pri delovanju je sistemu dodan še modul asimilacije podatkov (PA), ki se veže na hidrodinamični model, in je namenjen korekciji simuliranih pretokov in vodostajev z izmerjenimi vrednostmi ob upoštevanju eksponentne funkcije približevanja k napovedanim vrednostim. Delovanje sistema dopolnjujejo številne druge aplikacije, ki skrbijo za pripravo vhodnih podatkov v sistem in za diseminacijo izračunanih rezultatov. Končni rezultati SHN so na



Slika 1. Konceptualna shema sistema za hidrološko napovedovanje.

1 DHI je podjetje, ki je razvilo programsko opremo MIKE, ki obvladuje računanje površinskega odtoka, povzročene s padavinami, in eno-dimenzijski tok vode po rečnem koritu MIKE11, v katerega se steka površinski odtok, ter dvo-dimenzijski tok vode na poplavnih območjih - MIKE FLOOD.

2 Nedbor Afstromnings Model (NAM) je deterministični konceptijski model, ki iz padavin, ki so v neki časovni enoti padle nad nekim porečjem, izračuna površinski odtok s takega porečja.

voljo v mreži računskih točk hidrodinamičnega modela, med katerimi smo kot točke za prikaz izračunov in napovedi izbrali lokacije vodomernih postaj in nekatere druge, za hidrološko napoved pomembne točke rečne mreže.

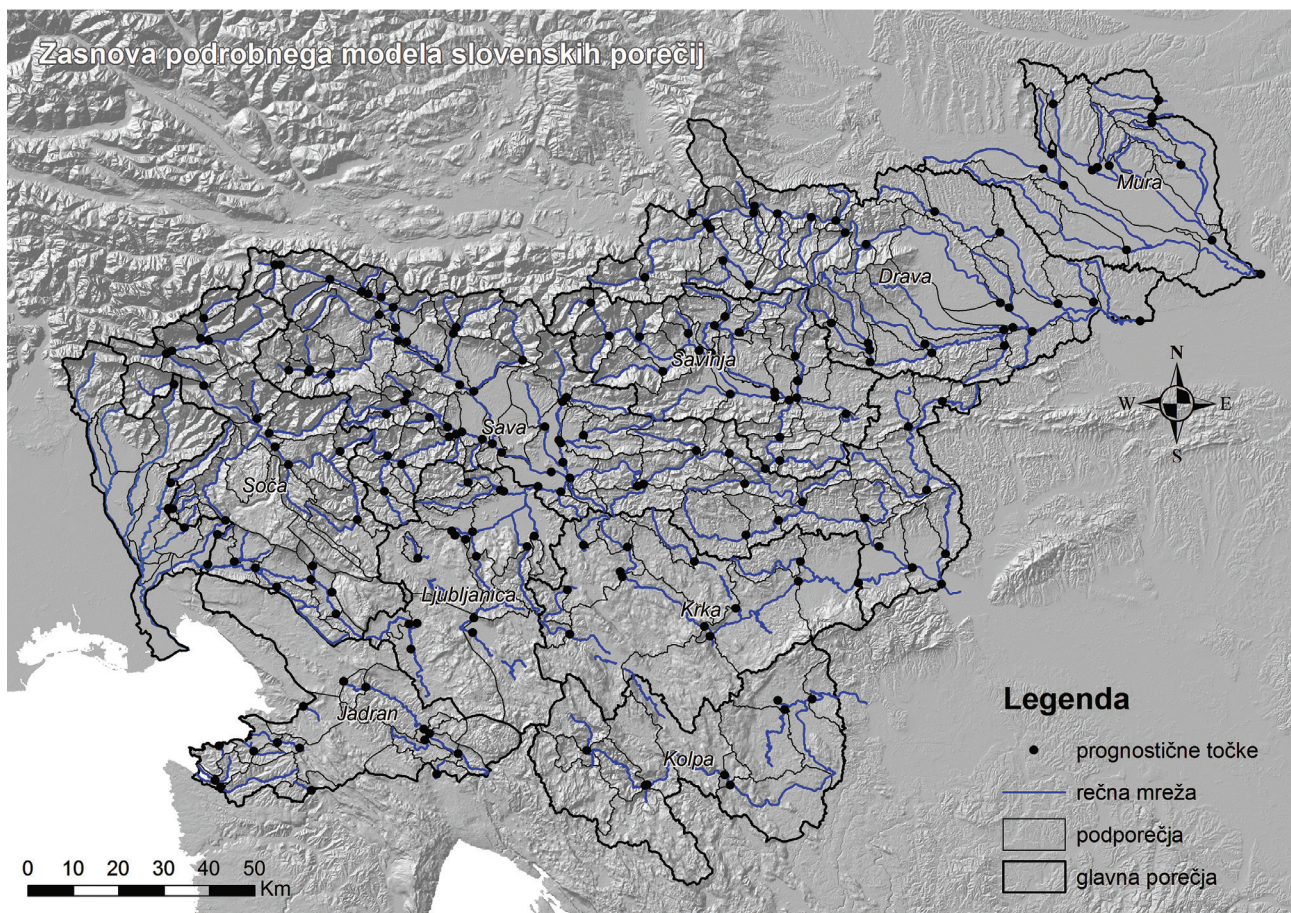
Hidrološki model

Hidrološki model NAM je determinističen, konceptualen in združen (ang. lumped) model odtoka padavin (Nielsen in Hansen 1973), ki simulira hidrološki krog na zemeljskem površju. Osnovna računski enota modela je podporečje, ki predstavlja prispevno območje posamezne reke do izbrane vodomerne postaje, ali pa prispevno območje za posamezen odsek reke med dvema vodomernima postajama. Podporečje je v modelu opredeljeno z velikostjo, njegova topografija pa je opisana s površinami 100-metrskih višinskih con. Na ravni višinski con v modelu deluje snežni modul, ki simulira akumulacijo padavin v snežni odeji in sproščanje snežnice v površinski odtok. Hidrološki model porečja Save do meje s Hrvaško je zasnovan s 40 podporečji, katerih srednja velikost je okoli 270 km²; model porečja Soče do izliva v Jadransko morje pa je zasnovan z 31 podporečji in srednjo velikostjo podporečij okoli 110 km². Razlika v srednji velikosti podpo-

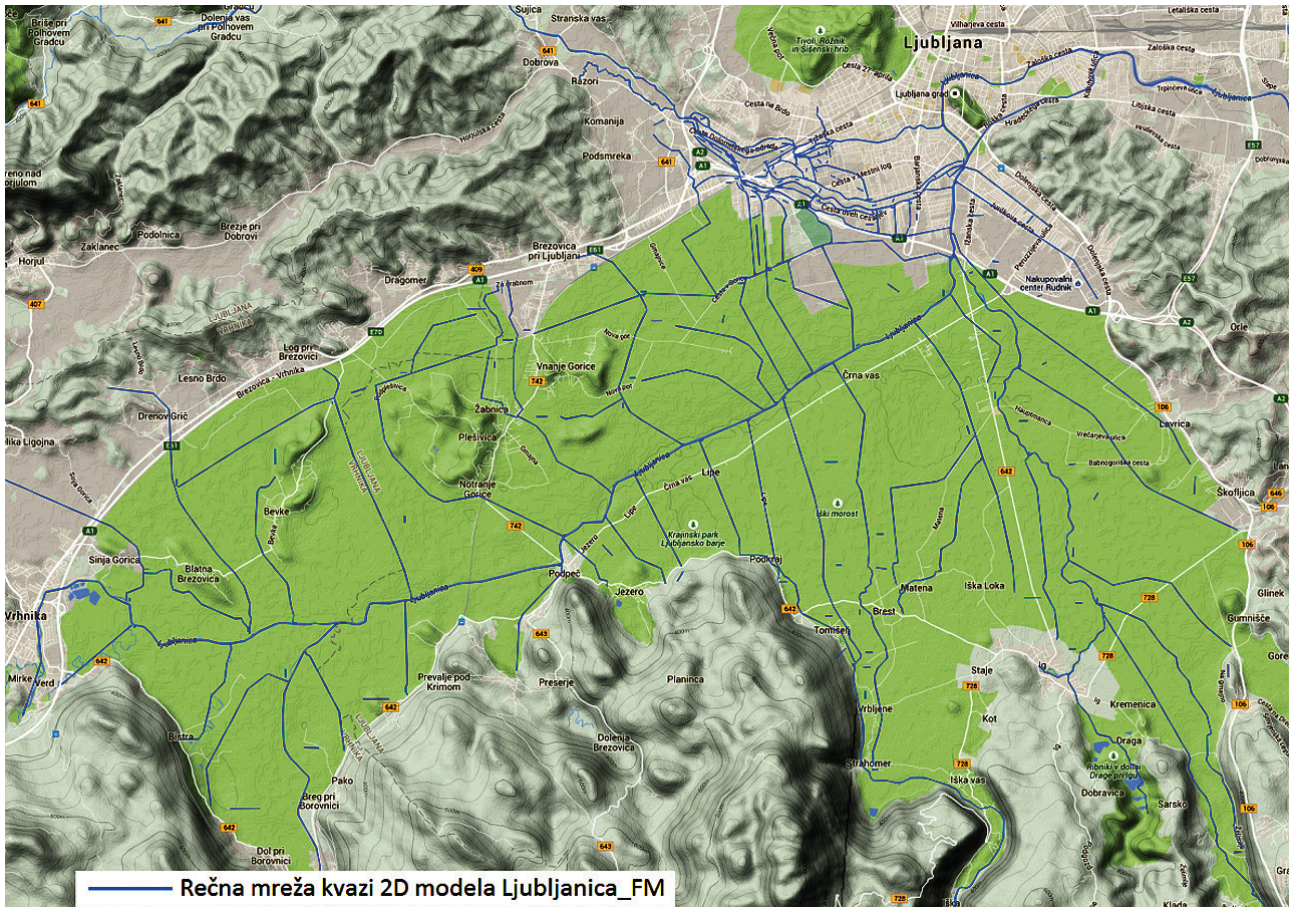
rečij na Savi in Soči izhaja iz dejstva, da so v porečju Save prisotna obsežna kraška območja, na katerih je zelo težko določiti razvodnice (slika 2). Podroben model vseh slovenskih porečij brez prispevnih območij Drave in Mure v Avstriji pa je zasnovan z 227 podporečji in srednjo velikostjo podporečij okoli 98 km². S takšno zasnovo hidrološkega modela sistem pridobi semi-distribuiran značaj.

Za vsako podporečje oziroma računsko enoto smo opravili umerjanje parametrov fizikalnih in pol-izkustvenih enačb, ki so v modelu uporabljene za spremljanje akumulirane vode v snegu, na površini tal, v koreninski coni in vodonosniku. Pri umerjanju in vrednotenju parametrov posameznih podporečij smo uporabili časovne nize podatkov o padavinah, temperaturi zraka in pretokov rek iz mreže meteoroloških in hidroloških merilnih postaj za obdobje med letoma 1999 in 2010, v pomoč pa so bili tudi časovni nizi, ki smo jih pridobili iz merilnih mrež sosednjih držav. Časovne nize potencialne evapotranspiracije smo za vsako porečje izvedli iz klimatoloških mesečnih vrednosti.

Za hidrološki model povodja Soče smo parametre umerili zgolj na slovenskih podporečjih, saj so bili za italijanske vodomerne postaje na voljo le izmerjeni vodostaji rek. Korektnih časovnih nizov podatkov o



Slika 2. Delitev vseh slovenskih porečij na podporečja glede na izbrane točke za prikaz izračunov sistema za hidrološko napovedovanje. (vir: ARSO)



Slika 3. Vejičasta shematizacija mreže vodnega toka na poplavnem območju jugozahodnega dela Ljubljane in Ljubljanskega barja s kvazi dvo-dimenzijskim hidrodinamičnim modelom. (vir: ARSO)

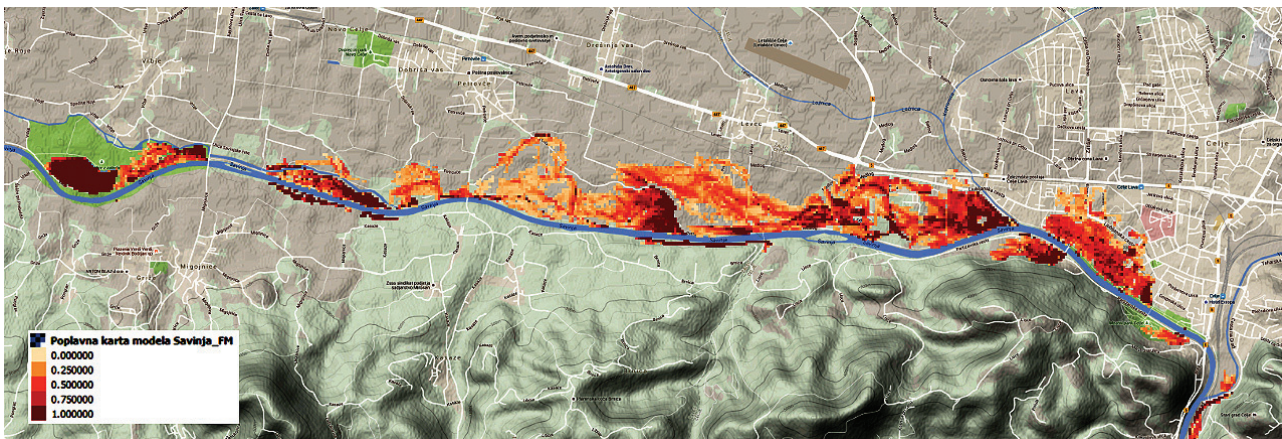
pretokih rek tam zaradi prevelike prodonosnosti rek in posledično nestabilnosti rečnega dna ni možno zagotavljati. Zato smo parametre na italijanskih porečjih določili po primerjavi in iskanju podobnosti s slovenskimi porečji, delno vrednotenje pa smo opravili z izmerjenimi vodostaji rek. Osnovna ideja modeliranja celotnega povodja reke Soče izhaja iz potrebe po časovnih nizih podatkov o ocenjenem in napovedanem pretoku reke Soče na izlivu v Jadransko morje kot vhodni podatek oceanografskega modela severnega Jadrana, ki je ravno tako nastal v sklopu projekta BOBER.

Hidrodinamični model

Hidrološki model izračuna površinski odtok za vsako podporečje. Potovanje in seštevanje izračunanega površinskega odtoka iz podporečij vzdolž rečnih strug opravi hidrodinamični model (Mike by DHI 2014). V ta namen je bil sprva izdelan eno-dimenzijski hidrodinamični model, pozneje pa je bil za prikaz gladine vode na poplavnem območju jugozahodnega dela Ljubljane in Ljubljanskega barja pripravljen podroben kvazi dvo-dimenzijski hidrodinamični model, za poplavno območje Spodnje Savinjske doline pa polni dvo-dimenzijski hidrodinamični model.

Eno-dimenzijski hidrodinamični model je bil zgrajen iz poenostavljenega modela rečne mreže in razpoložljivih prečnih profilov vodotokov ter podatkov o večjih hidro-tehničnih objektih na vodotokih (pregrade in akumulacije hidroelektrarn, jezovi in talni pragovi). Pri zasnovi kvazi dvo-dimenzijskega in polnega dvo-dimenzijskega hidrodinamičnega modela pa smo uporabili tudi razpoložljive podatke lidarskih, geodetskih in batimetričnih snemanj.

Hidrodinamični model porečja Save ima enostavno zasnovu s 23 vodotoki. Vsebuje 6 večjih pragov in 9 kontrolnih objektov. Model porečja Soče temelji na 17 vodotokih, 10 pragovih in 4 kontrolnih objektih. Podroben model vseh slovenskih porečij je bil zasnovan na 171 vodotokih, ki vključujejo tudi ocenjene glavne podzemne povezave v kraškem podzemlju. Zaradi robustnosti delovanja tako obsežnega modela smo se namenoma izognili vključevanju pregrad, jezov in talnih pragov v hidrodinamični model. Model smo namreč uskladili s potrebami in procesi hidrološke službe, kjer so napovedi pretokov bolj pomembne kot napovedi vodostajev. Zgornje in vzdolžne robne pogoje v rečni mreži hidrodinamičnega modela predstavljajo izračunani površinski odtoki s podporečij. Spodnji robni pogoji pa so gladine, izračunane po pretočnih krivuljah.



Slika 4. Testni rezultati dvo-dimenzijskega hidrodinamičnega modela na poplavnem območju Spodnje Savinjske doline. Na poplavni karti je z barvno lestvico označena globina vode v metrih. (vir: ARSO)

Kvazi dvo-dimenzijski hidrodinamični model poplavnega območja jugozahodnega dela Ljubljane in Ljubljanskega barja (slika 3) je v osnovi še vedno eno-dimenzijski model, ki smo mu dodali večje število računskih vodnih kanalov za simulacijo smeri in globine tokov na poplavnem območju. Tako je zmožen simulirati kompleksnejše poplavne vzorce in se približati natančnosti polnih dvo-dimenzijskih modelov. Jedro modela sestavlja preko 85 naravnih ali navideznih vodotokov, njihovo medsebojno uravnavanje pa zagotavlja 230 bočnih prelivov. Model vsebuje tudi več kot 40 pomembnejših hidrotehničnih objektov: mostov, prepustov, prečnih prelivov in zapornic. Omogoča tudi simulacijo drenaža vode iz več kot 30 poplavnih depresij. Podobno kot pri eno-dimenzijskem modelu, zgornji robni pogoj kvazi dvo-dimenzijskega modela določajo izračunani površinski odtoki iz hidrološkega modela, spodnji robni pogoj pa so gladine, izračunane po obratovalnem algoritmu sistema zapornic na Mestni Ljubljani in Gruberjevem kanalu.

Prednost kvazi dvo-dimenzijskega modelskega pristopa pred polnim dvo-dimenzijskim pristopom je velika računaska hitrost ob doseganju rezultatov z zelo dobro natančnostjo, njegova bistvena pomanjkljivost pa je predhodno natančno poznavanje zakonitosti vodnih tokov na poplavnem območju in obilica ročnega dela (Pogačnik in sod., 2013). Zato je bil model poplavnega območja reke Savinje s pritoki na širšem celjskem območju zastavljen kot poln dvo-dimenzijski model. Osnovno vodilo pri izdelavi dvo-dimenzijskega modela je bilo zagotavljanje poznejše operativnosti – modelski rezultati z zadovoljivo natančnostjo morajo biti na voljo v relativno kratkem času. V modelu so rečne struge opredeljene enodimenzijsko s prečnimi profili približno na vsakih 50 m, poplavna območja s skupno površino okoli 70 km² pa dvodimenzijsko z lidarskim digitalnim modelom reliefa in velikostjo računске celice 20x20 m (slika 4). Tako zasnovan model pri štiridnevni napovedi zagotavlja računске čase okoli 40 minut na strojni zmogljivosti razvojnega okolja ARSO.

Delovanje in rezultati sistema

SHN je nameščen na računalniškem omrežju ARSO, njegovo delovanje je popolnoma samodejno. Najpomembnejši vhodni podatki sistema so opazovane in napovedane meteorološke spremenljivke: padavine, temperatura zraka pri tleh in kratkovalovno sončno sevanje. Sistem praviloma vsako uro zbere najnovije meteorološke in hidrološke podatke iz mreže samodejnih merilnih postaj, aktualne napovedi različnih meteoroloških modelov in opravi simulacijo pretokov in vodostajev rek na različnih modelskih postavitvah za obdobje analize (praviloma za preteklih 72 ur) in napovedi (do 144 ur v prihodnost). Rezultate nato primerjamo z opazovanimi vodostaji in izračunanimi pretoki rek in po potrebi opravimo popravke s pomočjo modula podatkovne asimilacije. V sklepnih fazi sistem pripravi izhodne produkte za spletni prikaz, zapis v podatkovno zbirko in pošiljanje rezultatov končnim uporabnikom.

Na začetku delovanja SHN se je kot velika pomanjkljivost kazala relativno redka mreža samodejnih padavinskih postaj. Vloženi naporji za vzpostavitev in ohranjanje izmenjav meteoroloških in hidroloških podatkov s sosednjimi državami (Italija, Avstrija, Hrvaška) prav za namene hidrološkega modeliranja so se obrestovali. Danes se stanje stalno izboljšuje, saj v sklopu projekta BOBER poteka tudi izgradnja številnih samodejnih meteoroloških postaj, ki se bo predvidoma končala v letu 2016. Tako avgusta 2015 sistem vključuje okoli 80 samodejnih padavinskih postaj v Sloveniji in dodatnih 65 v sosednjih državah. Število slovenskih samodejnih postaj, vključenih v SHN bo do konca leta 2016 naraslo na okoli 140.

SHN uporablja napovedi regionalnih in globalnih meteoroloških modelov z različno gostoto računске mreže in časovnim trajanjem napovedi, ki se praviloma

obnavljajo od 2 do 4 krat na dan. To so: ECMWF¹ (9 km, 240 ur), ALADIN/SI² (9 km, 72 ur), NMM³ (5 km, 72 ur), ALADIN_ECDA⁴ in ALADIN_AR⁵ (4 km, 72 ur) in skupinska napoved (angl. "ensemble forecast") LAEF⁶ (11 km, 72 ur). V SHN so vključene tudi analize in napovedi nowcasting sistema INCA-CE⁷ (1 km, 12 ur). Sistem tako vključuje celo vrsto različnih postavitev hidroloških modelov za vse tri domene oz. območja modeliranja (porečje Save – krajše označeno kot Sava, povodje Soče – krajše označeno kot Soča, in vsa slovenska porečja – krajše označena kot FF), ki kot vhodne podatke uporabljajo opazovanja merilne mreže in napovedi različnih meteoroloških modelov ob enakih parametrih umerjanja (preglednica 1). Modelske postavitve so znotraj SHN označene s kratkim imenom domene modeliranja in vrstnim številom od 1 do 5, razen za modelski postavitvi, ki vključujeta skupinsko napoved LAEF (SavaEns in SočaEns).

značilnimi vrednostmi (sušna in velika vodnatost) in s tremi vrednostmi iz hidrološkega opozorilnega sistema (rumena, oranžna in rdeča stopnja opozorila). Na diagramih so ob simuliranih prikazane tudi izmerjene vrednosti pretokov in vodostajev rek na samodejnih hidroloških postajah. Na voljo so tudi drugi diagrami, ki prikazujejo časovni potek gladine v prečnem prerezu, po podporečjih pa so prikazane izmerjene in napovedane padavine in temperatura zraka pri tleh, izračunani deleži vode v tleh in vodni ekvivalent snežne odeje. V podporo spremljanju poplavnih dogodkov so po podporečjih pripravljene tudi opozorilni diagrami za izjemni specifični odtok in največje količine padavin v določenih časovnih razmakih.

Spletna stran je dostopna vsem uporabnikom ARSO, saj so rezultati sistema uporabni tudi pri optimiziranju delovnih procesov ostalih strokovnih služb (npr.

Preglednica 1. Pregled postavitev hidroloških modelov znotraj SHN glede na domeno hidrološkega modela in uporabljene napovedi meteoroloških modelov.

domena modeliranja		Sava in Soča						FF		
postavitev modela		1	2	3	4	5	Ens	1	2	3
vhodni podatki iz merilne mreže oz. iz meteoroloških modelov	opazovanja	●		●	●	●	●	●	●	●
	ALADIN/SI	●	●							●
	ALADIN_ECDA				●			●		
	ALADIN_AR					●			●	
	NMM			●						
	ECMWF	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	LAEF						●			
	INCA-CE		●							

Rezultati SHN so prikazani na spletni strani, ki za vsako postavitev modela omogoča hiter in enostaven pregled hidroloških razmer in napovedi v porečjih in izbranih točkah (slika 5). Diagrami časovnih nizov pretokov in vodostajev rek so opremljeni tudi z izbranimi

upravljanje z vodami, hidrometrija in spremljanje kakovosti voda). Rezultati sistema niso dostopni splošni javnosti, saj je za njihovo pravilno razumevanje nujna kritična in strokovna presoja ob dobrem poznavanju zgradbe in delovanja SHN. V omejenem obsegu je dostop do rezultatov sistema omogočen zainteresiranim zunanjim uporabnikom v Sloveniji (civilna zaščita, raziskovalci, proizvajalci električne energije) in hidrološkim službam v sosednjih državah, ki smo jih predhodno seznanili z zgradbo in osnovnim delovanjem sistema.

Postavitev kvazi dvo-dimenzijskega hidrodinamičnega modela (LJ_FM) poganjamo vsake tri ure, potem ko je na voljo aktualna napoved pretokov modelov FF (Preglednica 1). V manj kot treh minutah se izvede simulacija poplavnih razmer za prihodnje tri dni na 160 km² velikem območju. Rezultati modela se prikazujejo v obliki serije 25 poplavnih kart s triurnim časovnim korakom znotraj aplikacije VodePro – GIS prikazovalnik hidrološke službe. Kvazi dvo-dimenzijski hidrodinamični model upošteva zadrževanje vode na poplavnih območjih in zato opravi izrazito boljše simulacijo dolvodnega poplavnega vala (slika 6).

1 Numerični model Evropskega centra za srednjeročne vremenske napovedi (ECMWF – European Centre for Medium-Range Weather Forecasts).

2 Slovenska različica modela ALADIN (Aire Limitée, Adaptation Dynamique, Development International) – mednarodni numerični model za omejeno območje, ki ga razvija konzorcij držav pod vodstvom francoske državne meteorološke službe.

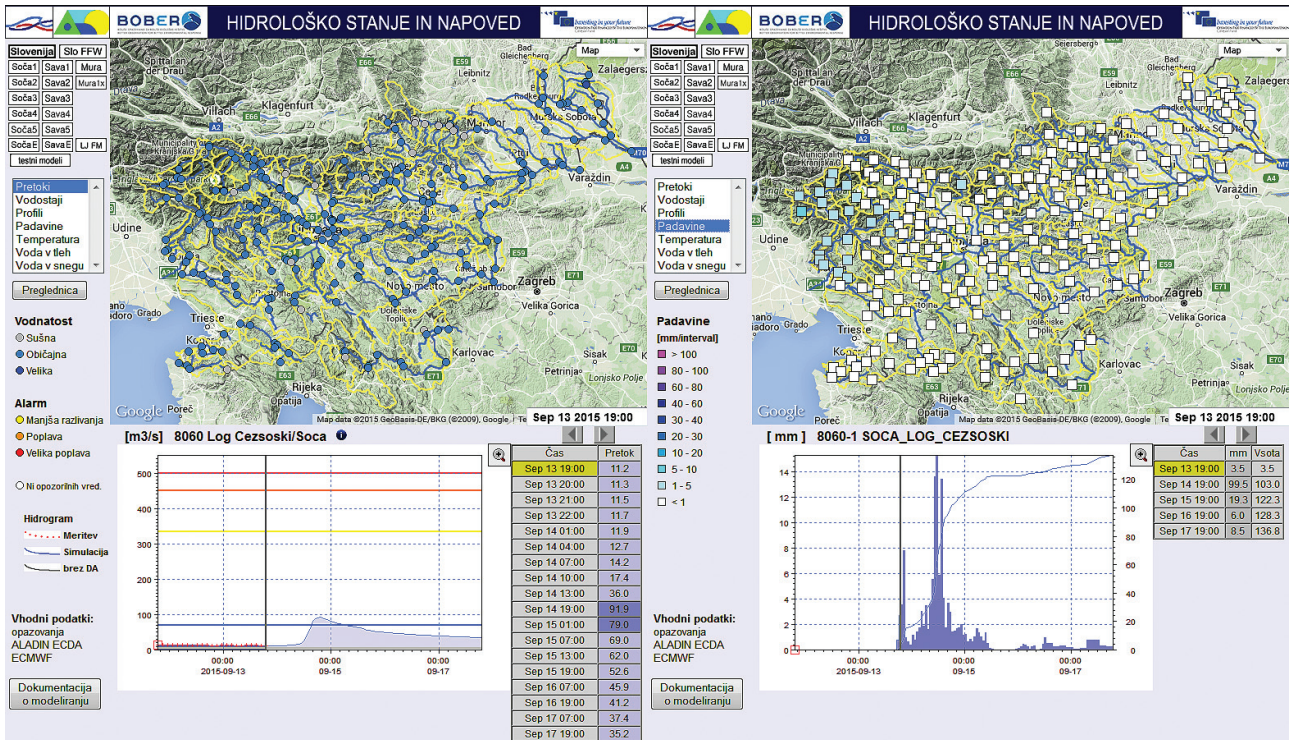
3 Slovenska različica modela NMM (Non-hydrostatic Mesoscale Model), katerega razvoj usmerja ameriška državna meteorološka služba.

4 Slovenska različica modela ALADIN z lokalno asimilacijo podatkov in robnimi pogoji iz globalnega modela ECMWF.

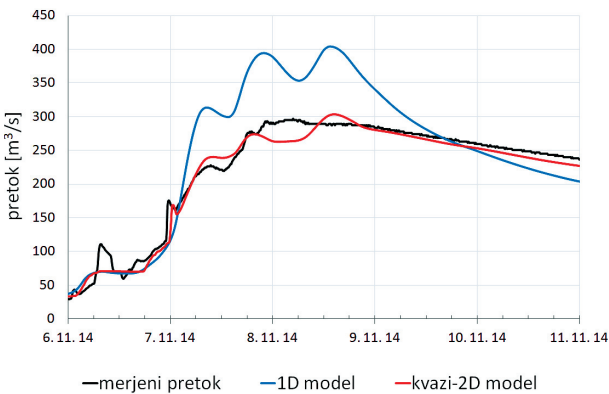
5 Slovenska različica modela ALADIN z lokalno asimilacijo podatkov in robnimi pogoji iz globalnega modela ARPEGE (Action de Recherche Petite Échelle Grande Échelle).

6 Skupinska napoved, ki jo sestavlja 17 simulacij numeričnega modela ALADIN (LAEF – Limited Area Ensemble Forecasting). Izračuna jo avstrijska meteorološka služba.

7 Sistem za zelo kratkoročno napovedovanje vremena v srednji Evropi (INCA-CE – Integrated NowCASTing system for the Central European area).



Slika 5: Pregledovalnik rezultatov SHN. Primer prikazuje rezultate postavitev vseh slovenskih porečij (FF): levo – simulacija pretoka reke v izbrani točki, desno – izmerjene in napovedane padavine v podporečju. (vir: ARSO)



Slika 6. Primerjava merjenega pretoka (črna) na vodomerni postaji Ljubljana Moste ob poplavnem dogodku novembra 2014 s simuliranim pretokom: eno-dimenzijskega hidrodinamičnega modela (modra) in kvazi dvo-dimenzijskega hidrodinamičnega modela (rdeča). (vir: ARSO)

Ob koncu leta 2014 je bila pripravljena testna postavitve dvo-dimenzijskega hidrodinamičnega modela (Savinja_FM), ki ga zaradi procesne zahtevnosti poženemo le ob prekoračitvi opozorilnih vrednosti napovedanih pretokov na gorvodnih merilnih mestih, kar se od začetka testnega delovanja še ni zgodilo. Prikaz rezultatov modela bo pripravljen na enak način kot pri postavitvi modela LJ_FM.

V času uporabe rezultatov SHN pri vsakodnevnih dejavnostih hidrološke službe na ARSO se je nabralo veliko izkušenj. V začetni fazi je sistem ob izrednih dogodkih pogosto ponujal negotove in nezaupanja vredne rezultate. Te negotovosti so izhajale iz že omejene redke mreže samodejnih padavinskih postaj, delovanja PA modula za korekcijo simuliranih pretokov in vodostajev rek z merjenimi vrednostmi, enostavnega snežnega modula, parametrov umerjanja ali iz negotovosti meteoroloških napovedi. Zato je bilo vse od začetka delovanja SHN vložena veliko napora za izboljšanje rezultatov in napovedi. Parametri hidrološkega modela in ostalih modulov so bili večkrat podrobno ovrednoteni in po potrebi popravljeni. Izdelan je bil tudi krmilnik SHN, ki omogoča simulacije scenarijev hidroloških dogodkov, ki jih merilne naprave niso zaznale ali pa jih meteorološki modeli niso predvideli: po posvetovanju med dežurnim hidrogologom in meteorologom se lahko zelo hitro izvede nova simulacija z ročno popravljenimi vrednostmi izmerjenih ali napovedanih količin padavin. Rezultati sistema za hidrološko napovedovanje se zapisujejo v podatkovno zbirko simulacij, ki omogoča arhiviranje rezultatov, dostop ostalim aplikacijam do rezultatov sistema in tudi vrednotenje napovedanih pretokov in vodostajev rek. Tako so bili rezultati in možnosti sistema v več letih razvoja izboljšani do te mere, da jih hidrološka služba prepoznava kot zelo uporabne pri napovedovanju in spremljanju poplavnih dogodkov.

Sklep

Sistem za hidrološko napovedovanje na Agenciji Republike Slovenije za okolje deluje od leta 2012. Omogoča podroben pogled v trenutno hidrološko stanje rek in tudi napoved pretokov in vodostajev rek v izbranih točkah za prikaz napovedi do 6 dni v naprej. Napovedi sistema se praviloma obnavljajo vsako uro, potem ko se zberejo najnovejši meteorološki in hidrološki podatki iz mreže samodejnih merilnih postaj. Najpomembnejši vhodni podatki sistema so napovedi numeričnih meteoroloških modelov za padavine in temperaturo zraka pri tleh. SHN vsebuje več postavitev modela v slovenskih porečjih, ki se med seboj razlikujejo predvsem glede na izvor napovedanih meteoroloških spremenljivk. Tako SHN avgusta 2015 uporablja napovedi sedmih različnih meteoroloških modelov.

SHN je rezultat plodnega sodelovanja domačih in tujih strokovnjakov s področja hidrologije in meteorologije. Sodelovanje hidrološke in meteorološke službe na ARSO je bilo skozi delo na projektu BOBER nasploh in še posebej pri vzpostavitvi SHN postavljeno na precej višjo raven, okrepilo pa se je tudi sodelovanje s sorodnimi hidrološkimi službami v širši regiji. S pravo meteoroloških podatkov in napovedi, namensko prilagojenih potrebam SHN, ki so ključni za hidrološke napovedi nasploh, so meteorološka služba in ostale podporne službe na ARSO veliko pripomogle k nastanku SHN. Z izmenjavo izkušenj in znanja, ki so ga sodelujoči pridobili pri strokovnem delu in vzpostavitvi sistema, pa neprekinjeno spodbujajo krepitev hidrološke službe, podpirajo njene procese in produkte.

Za potrebe hidrološkega modeliranja smo s sorodnimi službami v regiji (Italija, Hrvaška, avstrijski Koroška in Štajerska, hidroelektrarne v Sloveniji) vzpostavili izmenjavo meteoroloških in hidroloških podatkov ter rezultatov sistema za hidrološko napovedovanje. Izdelali smo tudi protokole za obojestransko obveščanje ob izrednih hidroloških dogodkih. Iz potrebe po izmenjavi informacij in širjenju znanja o hidrološkem in hidrodinamičnem modeliranju pa se nakazuje ustanovitev strokovne skupine okoli mednarodnega sistema za napovedovanje poplav na reki Muri.

SHN je nepogrešljivo orodje pri vsakdanji pripravi hidroloških napovedi stanja površinskih voda. Iz preteklih rezultatov SHN in izkušenj sklepamo, da so hidrološke napovedi SHN relativno zanesljive za obdobje do 24 ur od izdaje napovedi. Časovni interval zanesljivosti napovedanih pretokov raste z velikostjo porečja, za katero je izdelana napoved. Kritični dejavnik za zanesljivo napoved pretokov rek je v prvi fazi korektna prostorska analiza izmerjenih in z radarji zaznanih padavin, v drugi fazi pa ustrezna prostorska napoved meteoroloških spremenljivk s pomočjo

numeričnih meteoroloških modelov. Od tu izhaja tudi največja priložnost za prihodnjo izboljšavo SHN sistema. Na hidrološko pobudo že potekajo aktivnosti za bistveno izboljšavo meteorološke analize in kratkoročne napovedi padavin v okviru sistema INCA-CE. Druga velika nadgradnja SHN v prihodnje bo izdelava hidrološkega modela za porečje reke Drave od izvira do meje s Hrvaško. Na tem področju je bilo že opravljeno poizvedovanje po dostopnosti izmerjenih hidroloških in meteoroloških ter prostorskih podatkov, ki so nujni za izdelavo takšnega modela.

Veliko naporov smo vložili v izdelavo in postavitev podrobnejših in podatkovno zahtevnejših dvo-dimenzijskih hidrodinamičnih modelov za poplavni območji jugozahodnega dela Ljubljane in Spodnje Savinjske doline. Njihova dodana vrednost pri delovanju SHN je podroben vpogled v dinamiko vodnega toka na poplavnih območjih in tudi upoštevanje preoblikovanja poplavnega vala zaradi razlivanja in zadrževanja vode na poplavnih območjih. Takšni modeli so uporabni tudi za analize preteklih poplavnih dogodkov, izdelavo kataloga poplavnih scenarijev in analiz občutljivosti vplivnih parametrov za boljše spoznavanje dinamike vodnega toka na poplavnih območjih. Kot velik izziv pri podrobnih dvo-dimenzijskih hidrodinamičnih modelih pa se kaže zagotavljanje ažurnosti topografskih podlag in geodetskih podatkov zlasti na odsekih, ki so deležni gradbenih proti-poplavnih ukrepov.

Viri

Mike by DHI 2014: Mike 11, A modelling system for rivers and channels, User guide.

Nielsen, S.A., Hansen, E. 1973: Numerical simulation of the rainfall-runoff process on a daily basis. *Nordic Hydrology* 4. 171 – 190

Petan, S., Pogačnik, N., Sušnik, M., Polajnar, J., Jørgensen, G. 2012: Razvoj sistema za napovedovanje hidroloških razmer na porečjih Save in Soče. *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2011. Zbornik predavanj. Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko, Ljubljana.* 103 – 110

Pogačnik, N., Petan, S., Sušnik, M., Polajnar, J. 2012: Razvoj hidrološkega prognozičnega sistema v Sloveniji in dostopnost vodarskih prostorskih podatkov. *Geodetski vestnik* 56, št. 4. 769 – 785

Pogačnik, N., Moderc, M., Udovč, M. 2013: Vpeljava operativnega kvazi 2D hidravličnega

modela v hidrološki prognozični sistem. 24. Mišičev vodarski dan 2013, zbornik prispevkov. Maribor, 4. December 2013. 311 – 318

Ruch, C., Jørgensen, G., Polajnar, J., Sušnik, M., Hornich, R., Schatzl, R., Pogačnik, N. 2006: Trans-boundary forecasting system on Mur river. 23rd Conference of the Danubian countries on the hydrological forecasting and hydrological basis of water management. 28. – 31. Avgust 2006, Beograd.

Razvoj sistema za opozarjanje pred hudourniškimi poplavami v jugovzhodni Evropi

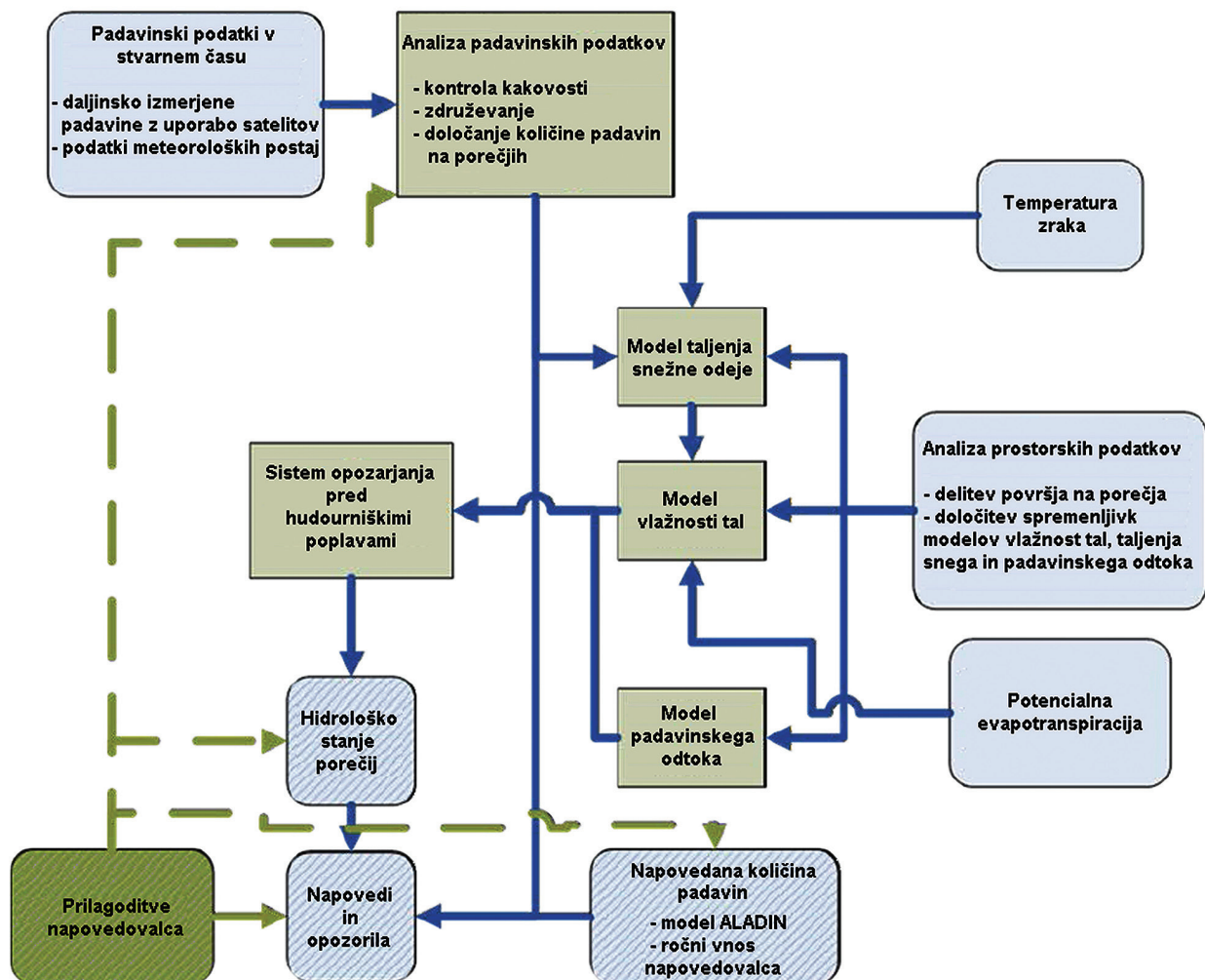
Andrej Golob, Sašo Petan

V svetovnem merilu sodijo hudourniške poplave med naravne nesreče z največ smrtnimi žrtvami, katerih število vsako leto presega 5000. Ob tem imajo seveda tudi ogromne socialne, gospodarske in okoljske posledice. Kljub temu v veliki večini sveta ni vzpostavljenih služb in postopkov za ozaveščanje in opozarjanje, ki zahtevajo budno spremljanje in hitro ukrepanje - kar bi učinkovito zmanjšalo posledice hudourniških poplav (WMO 2007).

Zavedanje o posledicah hudourniških poplav na ljudi in njihovo premoženje je Svetovno meteorološko organizacijo (ang. World Meteorological Organization - WMO) spodbudilo, da pod njenim okriljem in v

sodelovanju z Ameriško državno meteorološko službo (ang. United States National Weather Service - NWS), Hidrološkim raziskovalnim centrom (ang. Hydrological Research Center - HRC) in Ameriško agencijo za mednarodni razvoj (ang. United States Agency for International Development - USAID), razvijejo sistem za opozarjanje pred hudourniškimi poplavami.

Hudourniške poplave se po svojih značilnostih precej razlikujejo od poplav večjih rek. Zaradi padavin večje jakosti, na primer ob intenzivnih nevihtah ali zelo izrazitih prehodih hladnih front, se pojavljajo zelo hitro in običajno na manjših območjih. Za njihovo zaznavanje in napovedovanje je potreben povsem drugačen



Slika 1. Zasnova sistema za opozarjanje pred hudourniškimi poplavami.

pristop, kakor je običajno spremljanje odtokov in vodostajev na večjih vodotokih. Pri napovedovanju takih poplav je ključnega pomena vlažnost tal, saj je ob pojavu močnega deževja le-ta odločilna za pojav presežnega površinskega toka, ki povzroči poplavo. Padavinski dogodki, ki povzročajo hudourniške poplave, trajajo od nekaj deset minut do nekaj ur. Količina presežnega površinskega toka, ki povzroči večjo ali manjšo poplavo je odvisna tudi od tipa tal in geomorfoloških ter hidroloških značilnosti porečij. Zaradi negotovosti napovedovanja območja in jakosti poplave ter zgoraj naštetih dejavnikov je bistveno združevanje meteorološkega in hidrološkega znanja. Sprotno napovedovanje vremena (ang. nowcasting), spremljanje hidroloških spremenljivk na porečju, pretokov rek na razpoložljivih postajah in po možnosti tudi dodatne informacije neposredno z ogroženih območij, lahko skupaj pripomorejo k učinkovitemu obveščanju in opozarjanju.

Zasnova sistema je regionalna. Znotraj regije vsaka država v sodelovanju z regionalnim centrom sodeluje pri razvoju in operativnem delovanju sistema. Trenutno je po svetu v razvoju ali že razvitih devet takšnih regionalnih sistemov, v katerih sodeluje 52 držav. Slovenija je vključena v sistem, ki poleg naše države pokriva še Hrvaško, Bosno in Hercegovino, Srbijo, Črno goro, Makedonijo, Albanijo, Romunijo in Moldavijo. Dolgoročni cilj WMO je nadaljnja širitev in vzpostavitev sistema v čim večjem obsegu na najbolj ogroženih območjih sveta.

Sistem za opozarjanje pred hudourniški poplavami omogoča operativnim hidrološkim službam in službam civilne zaščite pridobivanje informacij o nevarnosti razvoja hudourniških poplav v stvarnem času. Produkti za podporo pri izdajanju opozoril temeljijo na daljinsko izmerjenih padavinah z uporabo satelitov, merjenih padavinah na postajah in izračunih hidroloških modelov. Modeli ocenijo količine padavin, ki bi v časovnih obdobjih ene, treh ali šestih ur na iztoku s posameznega manjšega podporečja povzročile prelitje roba struge oziroma začetek poplavljanja. Zaradi narave pojava, ki se zgodi hitro in na manjšem območju, sistem omogoča napovedovalcem ročne posege v sistem. Ti temeljijo na izkušnjah, boljšemu poznavanju lokalnih razmer in tudi dodatnih meritvah na meteoroloških in hidroloških postajah.

Kot pri drugih hidroloških sistemih za napovedovanje, je ovrednotenje in tolmačenje rezultatov ključnega pomena. Potrebne izkušnje za oceno stopnje nezanesljivosti napovedi ter dobrih in šibkih točk sistema pridobijo napovedovalci s pogosto uporabo sistema, zato je v času vzpostavitve sistema v posamezni regiji oziroma državi projektni partner (Hidrološki raziskovalni center s sedežem v San Diegu, ZDA) zadolžen za izobraževanje napovedovalcev. Način izobraževanja je večstopenjski in obsega predstavitev sistema na mednarodnih srečanjih, predavanja na daljavo preko

video vsebin na svetovnem spletu, preizkuse znanja in štiritedenske delavnice, ki sva se je udeležila avtorja prispevka.

Delavnica, ki smo se je udeležili hidrološki in meteorološki napovedovalci iz osmih držav znotraj skupnega operativnega sistema, je bila razdeljena na dva dela. Prva polovica je bila namenjena podrobnemu izobraževanju o zasnovi sistema, uporabljenih podatkih in modelih ter izhodnih produktih oziroma rezultatih. V drugem delu je bila naloga udeležencev vsake posamezne države, da z uporabo predhodno pripravljenih podatkov in prostorskih podlag ovrednotimo prvotne vhodne podatke in parametre v sistemu, ki so jih uporabili izvajalci projekta, ter v sodelovanju z njimi izvedemo potrebne dopolnitve in izboljšave. V tem delu je bil največji poudarek na analizi satelitsko določenih količin padavin v računskih točkah, ki sovpadajo z lokacijami izbranih meteoroloških postaj. Rezultat analize so izračunani korekcijski faktorji satelitsko določenih padavin za decile kumulativne porazdelitvene funkcije in posamezne podnebne regije. Ves čas trajanja delavnice smo analizirali tudi pretekle izredne dogodke in sprotne rezultate sistema, ki je trenutno v testni operativni fazi. Začetek polne operativnosti sistema je predviden v letu 2016.

Viri

Hydrometeorology Department, Turkish Meteorological Service, 2015: Black Sea and Middle East flash flood guidance system user guide. Medmrežje: http://www.wmo.int/pages/prog/hwrf/flood/ffgs/documents/BSMEFFG_UserGuide-opt.pdf (15. 9. 2015).

Medmrežje: http://www.wmo.int/pages/prog/hwrf/flood/ffgs/index_en.php (15. 9. 2015)



Slika 2. Odpravljanje posledic hudourniške poplave v Iški vasi dne 7. 11. 2014. Sistem je namenjen zgodnjemu odkrivanju in opozarjanju pred takimi dogodki. (vir: ARSO)

Spremljanje kmetijske suše

Andreja Sušnik, Ana Žust, Gregor Gregorič

Problematika kmetijske suše

Suše so med najpomembnejšimi dejavniki tveganja kmetijske pridelave na prostem. Prizadenejo lahko tudi večja območja in zaradi izgube pridelka povzročajo veliko gospodarsko škodo. Poleg kratkoročnih vplivov imajo lahko daljše in obsežnejše suše dolgotrajne posledice kot je nastanek ali širjenje puščav in degradacija tal, kar posledično povzroči lakoto in revščino na določenih ranljivih območjih sveta. Glede na trajanje pomanjkanja padavin ločimo med različnimi vrstami suš. Nekajtedensko pomanjkanje padavin povzroči meteorološko sušo. Dalj časa trajajoča meteorološka suša, ki jo spremlja še močno izhlapevanje povzroči zmanjšanje zaloge vode v površinskem sloju tal in pojav kmetijske suše. To povzroči nezadostno preskrbljenost rastlin z vodo, rastline so izpostavljene sušnemu stresu, kar neugodno vpliva na njihovo rast in zmanjša pridelek. V primeru več mesecev trajajoče suše pa se začno opazno nižati tudi nivoji vodnih rezervoarjev, tako površinskih kot tudi podzemnih in nastopi hidrološka suša. V Sloveniji je kmetijska suša pogost pojav, prav tako tudi krajša obdobja hidrološke suše. V članku se bomo podrobneje ukvarjali le s spremljanjem kmetijske suše.

Čeprav je Slovenija dežela z ugodno letno padavinsko sliko in bogatimi vodnimi viri, podatki kažejo, da je zaradi neugodne časovne razporeditve padavin med letom kmetijska suša vse pogostejši dejavnik tveganja kmetijske pridelave tudi v Sloveniji. Pomanjkanje

padavinske vode pogosto nastopi pozno spomladi in v zgodnjem poletju, to je na vrhuncu vegetacijskega obdobja kmetijskih rastlin. Posledice suše se največkrat odražajo v nenamakanem kmetijstvu, v zadnjih letih pa tudi v zmanjšanju razpoložljivih količinah površinskih in podzemnih voda. Hidrološka suša je vladala leta 2012 na Primorskem, ko vse od jeseni 2011 ni bilo zadovoljivih padavin. Tudi v letih, kot je bilo 2013, dobra spomladanska namočenost ni preprečila kratkotrajne in intenzivne poletne kmetijske suše. Sušne razmere pa lahko vplivajo tudi na ostale veje gospodarstva, kot so oskrba s pitno vodo, proizvodnja električne energije, turizem, ribištvo in druge.

V slovenskem prostoru suša postaja v novejšem času vse pogostejša, obsežnejša in intenzivnejša. Vzrok pogostejšemu pojavu kmetijskih suš je v spreminjanju podnebnih dejavnikov, predvsem spremembe razporeditve padavin, višje temperature zraka oziroma vročine v poletnem času, s čimer je povezano večje izhlapevanje iz tal in rastlin. Poleg meteoroloških razmer na jakost kmetijske suše vpliva tudi vrsta tal, tip kmetijske pridelave, dostopnost vodnih virov in tehnologije. Poškodovanost kmetijskih rastlin zaradi suše dodatno poslabšuje še marsikje neprimerno gojenje »vodno požrešnih«
rastlin, ki jim že ob krajšem obdobju suše na tleh s slabo sposobnostjo zadrževanja vode in na območjih s skromno količino padavin zmanjka vode v njihovih najbolj ključnih razvojnih fazah. Tak primer je zagotovo koruza, ki ima največje potrebe po vodi v obdobju od cvetenja do mlečne zrelosti (slika 1). Za



Slika 1. Pet tednov trajajoča izjemna kmetijska suša je poleti 2013 v Pomurju prizadela koruzo še pred mlečno zrelostjo. Koruzna polja so imela v drugi polovici avgusta že povsem izsušeno podobo. Turnišče v severovzhodni Sloveniji, 27. avgust 2013 (Foto: A. Sušnik)

pridelek 10 ton zrnja na hektar koruza porabi vsaj 700 litrov vode na kvadratni meter.

Poletni primanjkljaj vode je v zadnjih petdesetih letih kar 17-krat povzročil težave s kmetijsko sušo lokalnih, regionalnih ali izrazitih državnih razsežnosti. Suša doseže razsežnosti naravne nesreče, ko ocenjena neposredna škoda preseže 0,3 promila načrtovanih prihodkov državnega proračuna, kar predstavlja mejo za pomoč v skladu z Zakonom o odpravi posledic naravnih nesreč. Pojavnost suše pa je tako časovno kot tudi regijsko od leta do leta raznolika. V zadnjih 15 letih so njene posledice kar 7-krat dosegle razsežnosti naravne nesreče. Gospodarska škoda je ogromna, leta 2003 128,4 mio EUR, leta 2006 49,9 mio EUR, 2007 16,4 mio EUR, leta 2012 57 mio EUR in leta 2013 100 mio EUR. Država prek svojih mehanizmov vse težje izplačuje pomoč, ki se je s 37 mio leta 2003 spustila na 5 mio EUR leta 2013. Sredstva za odpravo posledic suše kot naravne nesreče se v zadnjih letih zmanjšujejo.

Problematika suše bo postala še izrazitejša, kar se tudi v Sloveniji soočamo s posledicami spreminjanja podnebja. Projekcije za prihodnja desetletja kažejo na zvišanje temperature zraka in močnejše izhlapevanje, kar bo vplivalo tudi na oskrbo kmetijskih površin z vodo in pojav kmetijske suše.

Velika spremenljivost pojava suše kaže, da bo ozemlje Slovenije v prihodnosti postalo še bolj ranljivo za njene posledice, kar zahteva bolj proaktiven način upravljanja s kmetijskimi zemljišči v prihodnje. Ena izmed prednostnih dejavnosti za ublažitev posledic suše je vzpostavitev učinkovitega spremljanja suše in informacijskega sistema za zgodnje napovedovanje suše ter zgodnjega obveščanja splošne in strokovne javnosti.

Po letu 2003, ko je Slovenija doživela izjemno sušo, je spremljanje kmetijske suše napredovalo, predvsem zaradi boljšega povezovanja meteoroloških, hidroloških in kmetijskih strokovnih služb in večjega ozaveščanja splošne javnosti. K tem naporom so v veliki meri prispevale tudi strokovne agrometeorološke in hidrološke aktivnosti na Agenciji RS za okolje (ARSO), ki so bile usmerjene v razvoj novih orodij za sprotno spremljanje kmetijske suše.

Gradniki spremljanja kmetijske suše v Sloveniji

Na Oddelku za agrometeorologijo ARSO vzpostavljamo sistem spremljanja kmetijske suše, ki poteka v okviru Slovenskega agrometeorološkega informacijskega sistema (SAGMIS).

Osnovni gradnik je merilna mreža ARSO in spremlja-joča orodja – model IRRFIB, uporabniški vmesnik za spremljanje suše. Merilna mreža mora zadovoljivo



Slika 2. Osnovni gradnik Slovenskega agrometeorološkega informacijskega sistema je meteorološka merilna mreža opremljena tudi z meritvami vode v tleh in podatki o vodnozadrževalnih lastnostih tal. Meritve so nujno potrebne za preverjanje vodnobilančnih modelskih rezultatov. (Foto.: A. Sušnik)

pokrivati kmetijski prostor, kar za Slovenijo z razgibanim površjem predstavlja še poseben izziv. Meteorološka merilna mreža z dovolj velikim številom postaj zagotavlja kakovostne in celovite agrometeorološke podatke, ki so pomembni členi analitike suše. Nekateri podatki so dostopni v arhivu Agencije RS za okolje (fenologija, vsebnost vode v tleh), posebne podatke pa pridobivamo tudi iz drugih virov (vodnozadrževalne lastnosti tal) (slika 2).

Med podatki so potencialna evapotranspiracija, meteorološka vodna bilanca, sušni indeksi (standardiziran padavinski indeks – SPI, dekadni¹ indeks sušnega stresa – DISS) in izračunane vrednosti vodnobilančnih modelov (slika 3), ki vključujejo sovplivanje rastlina-tla-podnebje (model IRRFIB). Zelo pomemben podatek pri spremljanju suše je potencialna evapotranspiracija, ki podaja vrednost izhlapevanja z referenčne rastline (trave) in tal in je odvisna od temperature zraka, relativne vlage v zraku, hitrosti vetra in sončnega sevanja. Dnevno jo izračunavamo po Penmanovi-Monteithovi metodi. Opisi suše temeljijo tudi na zgodovinskih razmerah, kjer je nabor odzivov na izredne vremenske razmere že znan. Za potrditev modeliranih sušnih dogodkov v preteklosti je pomembna dostopnost dolgoletnih nizov podatkov o vodi v tleh in dokumentirani kronološki zapisi o sušah in njihovem vplivu na rastline. Na ARSO so ti arhivirani v dekadnih in mesečnih agrometeoroloških biltenih. Poleg meteoroloških podatkov so za spremljanje razvoja kmetijske suše pomembni tudi podatki o fenološkem razvoju rastlin, saj je nanj vezana potreba rastline po vodi. ARSO vodi mrežo fenoloških postaj z nekaj več kot polstoletno tradicijo. Dobra stran tako

¹ V agrometeorologiji uporabljamo pojem dekada za desetdnevno obdobje

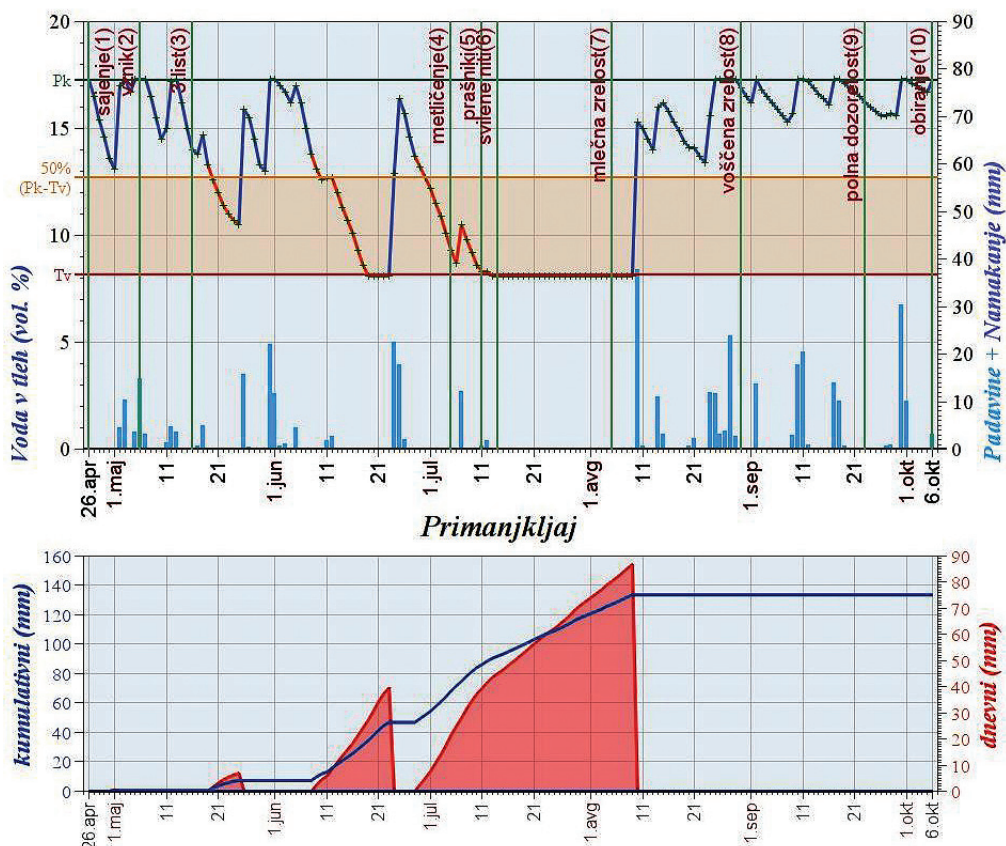
zbranih podatkov so dolgoletni nizi podatkov, ki imajo danes vsesplošno priznano vrednost pri proučevanju vpliva podnebnih sprememb na fenološki razvoj rastlin. Uporaba dolgoletnih fenoloških podatkov se je dobro izkazala tudi v primeru, ko smo izbranim kmetijskim rastlinam namenili vlogo fenoloških standardov, ki so omogočili primerljivost izračunov vodne bilance kmetijskih rastlin za daljša pretekla obdobja. Leta 2014 so ti podatki postali pomemben gradnik zapletenih kazalcev suše kot sta dekadni indeks sušnega stresa – DISS in kumulativni sušni indeks ($DISS_k$). Za sprotno modeliranje vodne bilance so nujni dejanski podatki o fenološkem razvoju rastlin, ki pa za širša pridelovalna območja niso vedno dostopni.

Za izračun vodne bilance so poleg agrometeoroloških podatkov v stvarnem času in fenoloških podatkov pomembni tudi natančni podatki o vodnozadrževalnih lastnostih tal (efektivna poljska kapaciteta tal) in podatki o površju visoke ločljivosti. Slovenija zaenkrat še nima kakovostnih fizikalnih podatkov o prostoru in tleh, ki bi z vidika prostorske natančnosti in vsebine ustrezali potrebam napredne prostorske (GIS) obdelave.

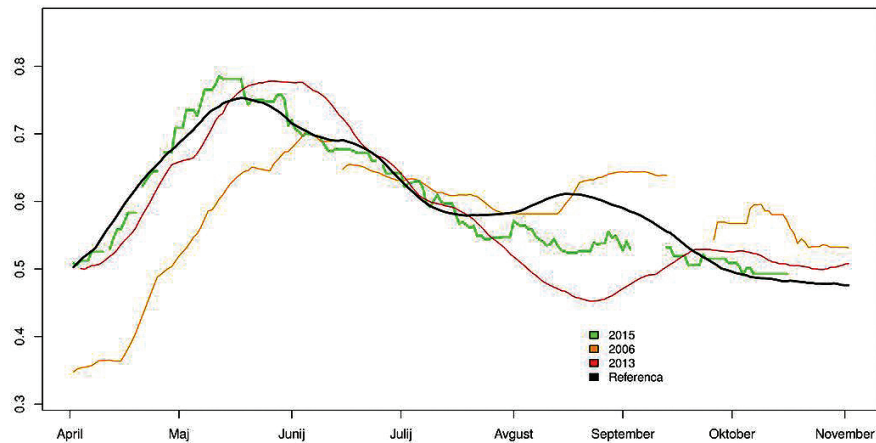
Za preverjanje modelskih rezultatov so potrebne tudi meritve vsebnosti vode v tleh s TDR (Time Domain Reflectometry) metodo, ki jih prav tako izvajamo na izbranih lokacijah v merilni mreži ARSO. TDR metoda

je ena najbolj razširjenih metod posrednega merjenja vsebnosti vode v tleh, ki temelji na permitivnosti – dielektrični konstanti tal. Princip meritve TDR temelji na oddajanju elektromagnetnega pulza v tla in na spremljanju hitrosti oz. časa, v katerem elektromagnetni val potuje skozi tla. S povečanjem vsebnosti vode se hitrost širjenja signala zmanjša in čas trajanja potovanja signala poveča.

Za spremljanje suše danes veliko obetajo tudi satelitske meritve. Z njimi spremljamo odziv vegetacije na stresne razmere, ki jih lahko povzročijo različni dejavniki, med njimi tudi suša. Meritve potekajo v več frekvenčnih območjih, s pomočjo katerih spremljamo stanje vegetacije v obliki t.i. vegetacijskih indeksov. Med te sodijo "osnovni" indeks NDVI, FVC – del površine, pokrit z aktivno vegetacijo, LAI – delež zelene listne površine na enoto površine tal in FAPAR – delež absorbiranega sevanja v akcijskem spektru fotosinteze. Na ARSO za analizo kmetijske suše na lokalni ravni od leta 2012 za določene točke uporabljamo vegetacijske indekse, ki jih računa Evropska organizacija za uporabo meteoroloških satelitov Meteosat/LSA-SAF (EUMETSAT). S pomočjo indeksa FVC lahko sledimo spremembam vegetacije v različnih časovnih skalah (slika 4). Z razvojem satelitskih tehnik, novih satelitov, lažje cenovne dostopnosti podatkov in boljše prostorske ločljivosti se bo v prihodnosti izboljšalo tudi spremljanje suše v praksi.



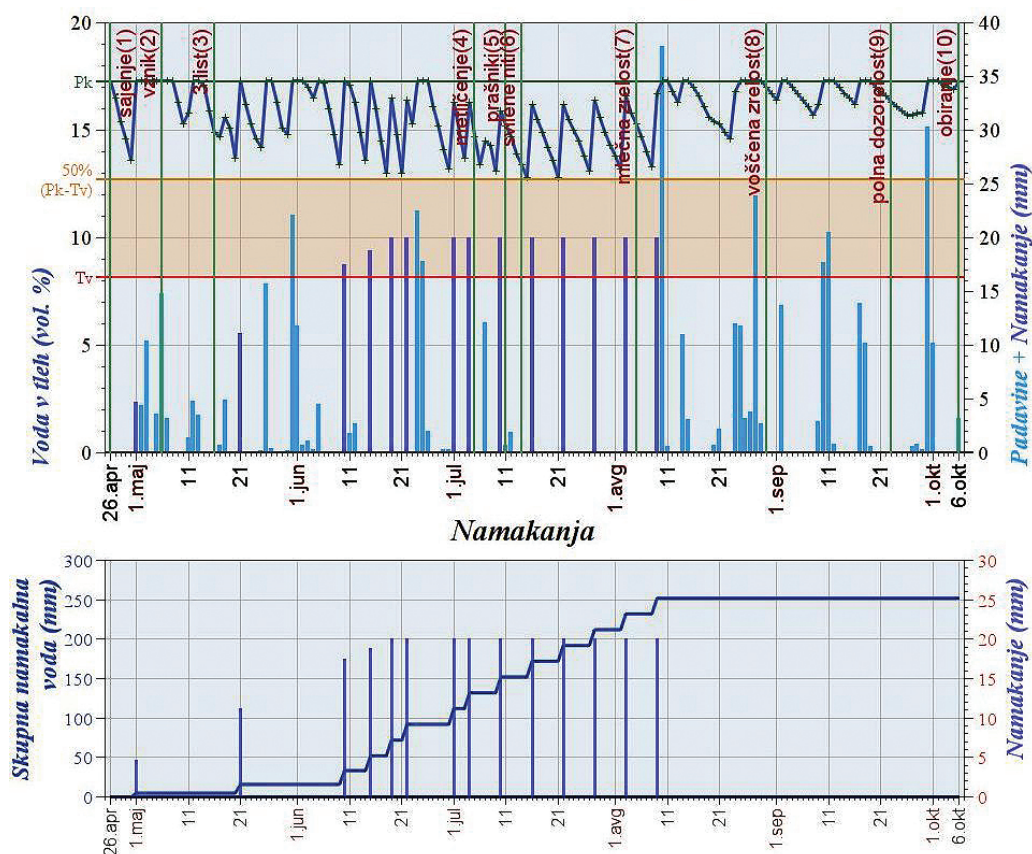
Slika 3. Orodja za spremljanje sušnega stresa pri nenamakanih kmetijskih rastlinah omogočajo takojšen vpogled v stanje. Vodna bilanca koruze v Murski Soboti v vegetacijski sezoni 2013 kaže na tri časovne intervale sušnega stresa, najmočnejši je bil v obdobju visokega poletja.



Slika 4. Vegetacijski indeks FVC Eumetsat LSA SAF nakazuje razvoj kmetijske suše v Murski Soboti v sušnih letih 2006, 2013 in 2015 v primerjavi s povprečjem.

Pomemben gradnik spremljanja suše je tudi agrometeorološki namakalno-napovedovalni model IRRFIB. Model je plod domačega znanja in smo ga razvili na ARSO. Osnovni namen modela je spremljanje vodne bilance kmetijskih rastlin, analiza preskrbljenosti rastline z vodo in ugotavljanje sušnih stresnih obdobj pri rastlinah. V zadnjem času pa je precej aktivnosti poleg spremljanja nenamakanih rastlin in razvoja suše na nenamakanih kmetijskih zemljiščih usmerjenih tudi v uporabo modela za napoved namakanja.

Cilj uporabe modela je zmanjšanje števila namakanj in količine vode, potrebne za namakanje, ob morebitnih napovedanih padavinah. Prvi poskusi spremljanja vodne bilance z napovedjo namakanja izbranih zelenjadnic in poljščin na Ptujsko-Dravskem polju so potekali v sodelovanju s kmetijsko svetovalno službo Kmetijsko-gozdarskega zavoda Maribor (KGZS – Zavod Maribor) v letih 2009 in 2010 v okviru projekta Alp Water Scarce. Vzpodbudni rezultati so bili dovolj tehten razlog, da spremljanje vodne bilance na tem območju danes postaja že utečena praksa. V letu



Slika 5. Model IRRFIB omogoča tako spremljanje suše kot tudi napoved namakanja na kmetijskih rastlinah. Vodna bilanca koruze v letu 2013 v Murski Soboti z napovedjo namakanja (20 mm obroki).

2015 smo spremljanje vodne bilance z napovedmi namakanja razširili še na nekaj izbranih sadnih vrst v Sadjarskem centru v Biljah pri Novi Gorici in za hmelj na Inštitutu za hmeljarstvo in pivovarstvo v Žalcu. Modelsko spremljanje vodne bilance v okviru projekta BOBER nadgrajujemo v zahtevnejši sistem, kar pomeni, da bo v prihodnosti mogoče spremljati vodno bilanco in napovedi namakanja za različne kulture in vodnozadrževalne sposobnosti tal za celotno Slovenijo (slika 5).

Kazalci suše v Sloveniji

Pojavu suše sledimo s kazalci, s katerimi ocenjujemo jakost, trajanje in prostorsko razprostranjenost suše. Globalno dogovorjenega kazalca kmetijske suše, ki bi odražal zahtevne medsebojne povezave med različnimi komponentami hidrološkega kroga, še ni na voljo, a priporočilo zanj je mednarodna strokovna javnost s podporo Svetovne meteorološke organizacije že izoblikovala. Zaenkrat je mednarodno dogovorjen le kazalec meteorološke suše, t.j. standardiziran padavinski indeks. V sistemu opozarjanja na sušo v Sloveniji so kazalci suše oblikovani glede na jakost njenega pojava od prvih znakov meteorološke suše do razglasa kmetijske suše.

Zgodnje opozarjanje na sušo se začne, ko je padavin v izbranem časovnem obdobju (običajno od 1. aprila dalje) manj kot v dolgoletnem povprečju, kar označuje meteorološko sušo. Za zgodnje opozarjanje na meteorološko sušo uporabljamo dva kazalca: delež skupnih padavin v tekočem vegetacijskem časovnem obdobju glede na dolgoletno povprečje in standardiziran padavinski indeks za trimesečno obdobje. Oba sta razmeroma enostavna in lahko dostopna, vendar tudi manj natančna, možna napaka ocene jakosti suše pa je večja.

Kadar se sušne razmere stopnjujejo, v analizo razmer

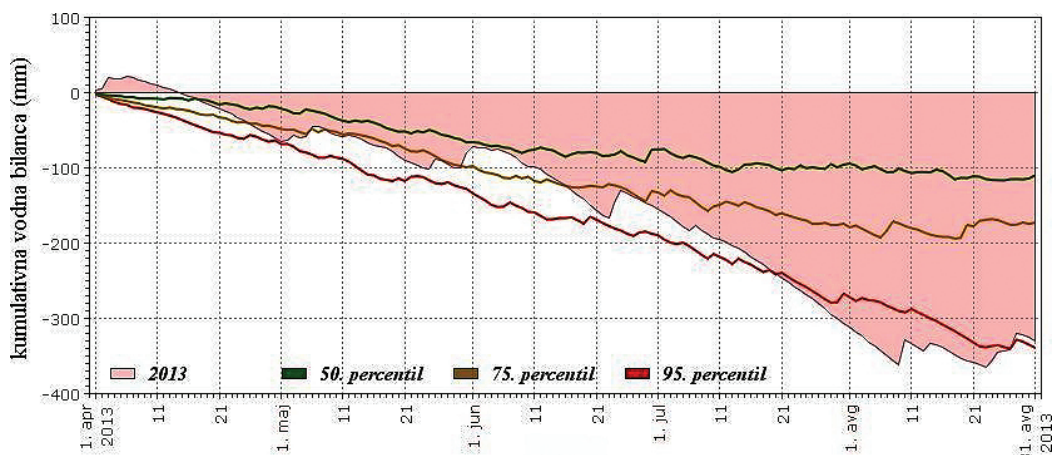
vključimo zahtevnejše kazalce, ki omogočajo večjo natančnost pri razlagi suše na kmetijskih površinah. Med temi so meteorološka vodna bilanca, ki poleg padavin vključuje tudi evapotranspiracijo referenčne rastline. Z njo razvoj sušnega dogodka in mogoče vplive na stanje rastlin podrobneje opišemo.

Opozorilo na prve znake kmetijske suše izdamo, ko je obdobjna meteorološka vodna bilanca (v sušnih obdobjih izražena z vodnim primanjkljajem) v izbranem vegetacijskem obdobju (od 1. aprila dalje) pod statistično določeno mejo. To ponazarjamo z različnimi razredi jakosti kmetijske suše: 50. percentil vodnega primanjkljaja označuje povprečne sušne razmere, zelo sušne razmere označuje 75. percentil, izjemno sušne razmere pa 95. percentil v dolgoletnem obdobju. Ko vladajo izjemne sušne razmere, ko se na kmetijskih rastlinah že kažejo prvi znaki sušnega stresa, so potrebni ukrepi za zmanjšanje vpliva suše.

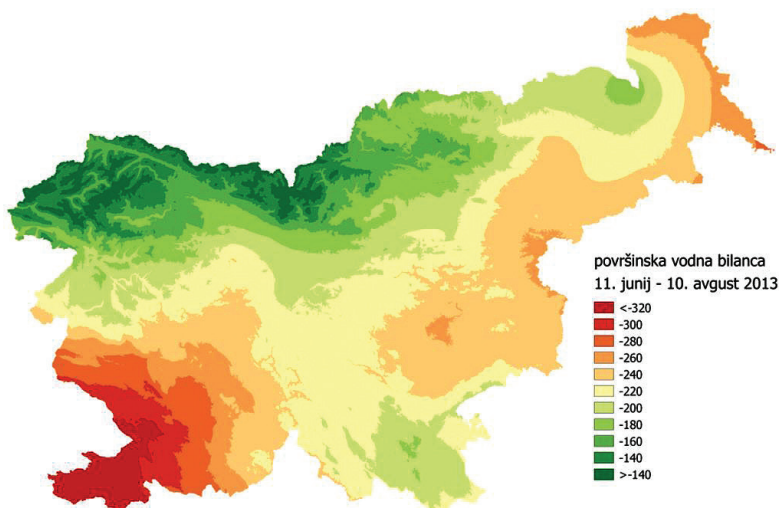
Kmetijska suša nastopi, ko pomanjkanje vode v tleh že močno vpliva na rastline in te že kažejo znake sušnega stresa. V analizo kazalcev suše vstopijo podatki o vodno zadrževalnih lastnostih tal in razvojnih fazah rastlin. Na osnovi določenih statističnih pragov je sušni stres za posamezno rastlino izražen v dekadnem indeksu sušnega stresa ($DISS_k$) in kumulativnem indeksu sušnega stresa ($DISS_k$) v izbranem obdobju kmetijske pridelave.

Kazalci kmetijske suše na primeru poletne suše v letu 2013

Glede na pogostejše suše je spremljanje morebitnih sušnih razmer in opozarjanje nanje s pomočjo kazalcev suše na ARSO že postala utečena praksa. Iz izkušenj po vsaki novi suši se sistem krepi in dobiva bolj uporabno obliko. Primer uporabe kazalcev bomo opisali na primeru leta 2013, ko je obsežna kmetijska suša prizadela velik del Slovenije.



Slika 6. V Murski Soboti je primanjkljaj vodne bilance v obdobju od 21. julija do konca avgusta 2013 v primerjavi z dolgoletnimi podatki (1961–2014) dosegel vrednosti, ki označujejo stanje ekstremne suše.



Slika 7. Meteorološka vodna bilanca za obdobje od 11. junija do 10. avgusta 2013.

Leta 2013 se je pomanjkanje padavin na obalnem območju začelo v prvem desetdnevem obdobju julija, v severovzhodni Sloveniji pa v sredini junija.

Prva opozorila ARSO na pojav meteorološke suše so za splošno in strokovno javnost izšla že v začetku julija. Pomanjkanje padavin in SPI pod -1 sta prva znaka, da lahko že razgllašamo meteorološko sušo. Pozitivne oziroma negativne vrednosti SPI indeksa še ne pomenijo moče oziroma sušnosti, pač pa le pozitivno oziroma negativno odstopanje padavin od dolgoletnega povprečja in v primeru velikih odstopanj nakazujejo izredno stanje. SPI v juliju je pokazal suho stanje po vsej državi, zmerno suhe razmere so bile na zahodu države in so se stopnjevale do izjemne suhosti proti vzhodu. Izjemno suho je bilo v osrednji Sloveniji, na Dolenjskem, v večjem delu Štajerske in v Prekmurju. Trimesečni SPI za obdobje maj–julij je kazal manj sušno sliko, kljub temu da je bilo že drugo junijsko desetdnevno obdobje suho, saj je bil maj zelo moker. Tako je bila cela zahodna polovica države še v mejah običajnih vrednosti, vzhod pa je bil že zmerno suh.

Ob koncu julija, ponekod pa v začetku avgusta, je kumulativna vegetacijska vodna bilanca v večjem delu države preseгла stanje zmerne suše, v vzhodni in severovzhodni Sloveniji pa so se ocene približale izjemni suši (slika 6). ARSO je razglasil prve znake kmetijske suše. Vegetacijski vodni primanjkljaj je na Obali presegel 400 mm, v severovzhodni Sloveniji je bil skoraj 350 mm, drugod na ogroženih območjih v vzhodni Sloveniji in na Goriškem pa se je približal 300 mm. Razmere so se stopnjevale do splošnega razglasila kmetijske suše. Razglášena je bila naravna nesreča.

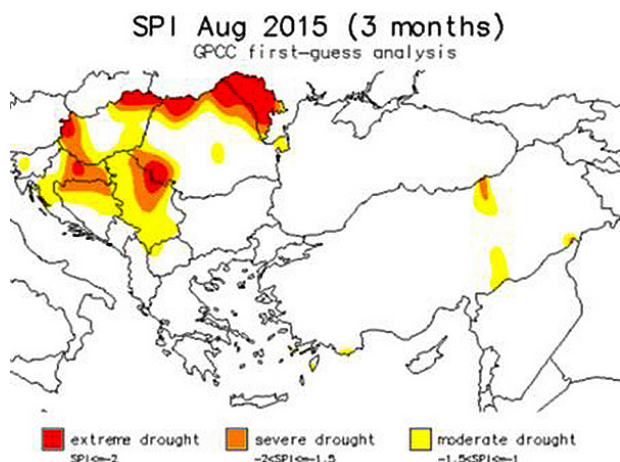
Prostorski prikaz vodne bilance je pokazal, da je bilo leta 2013 prizadetih več kot 185 000 ha kmetijskih površin. Izbrano časovno obdobje (11. junij – 10. avgust) najbolje odraža kritično obdobje pri nastanku škode na kmetijskih rastlinah zaradi kmetijske suše (slika 7).

Uporabniška vrednost produktov za spremljanje kmetijske suše

Ne glede na to, da kazalci suše v sebi skrivajo določeno mero negotovosti zaradi kakovosti podatkov in predvsem zaradi pomanjkljive prostorske pokritosti slovenskega prostora z meritvami, so postali pomembno orodje za spremljanje kmetijske suše. Ne le, da z njimi o pojavu suše sproti obveščamo splošno in strokovno javnost, so tudi v interesu snovalcev strategije za upravljanje s sušo. Pri tem imajo pomembno vlogo Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter kmetijske svetovalne službe.

Med mnogimi nalogami Uprave Republike Slovenije za zaščito in reševanje (URSZR), ki je organ v sestavi Ministrstva za obrambo in opravlja upravne ter strokovne naloge varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami, je od leta 2003 tudi ocenjevanje škode po naravnih in drugih nesrečah na kmetijskih pridelkih ter ocenjevanje škode na stvareh. V Republiki Sloveniji imamo od leta 2004 za ocenjevanje škode podrobno razčlenjene postopke na vseh treh ravneh organiziranosti – države, regij in občin. Na osnovi kazalcev suše izdelujemo tudi prostorske razlage kmetijske suše, določamo začetek in konec suše ter najbolj ogrožena območja. Skupaj s kmetijsko stroko, kmetijskim in okoljskim ministrstvom ter predstavniki Uprave za zaščito in reševanje, ki postopke v državi vodijo, se na državni ravni pripravi ocena stopnje poškodovanosti rastlin zaradi suše.

Pomemben korak od teoretične k dejanski rabi kazalcev je naredila ena izmed Slovenskih zavarovalnic, ki je SPI indeks prevzela v metodologijo za zavarovanje spomladanskih in poletnih poljščin. Na kazalcih suše temelji tudi ocena kmetijske suše za strokovno podlago ob razglasu naravne nesreče. Kazalci suše imajo velik pomen tudi pri proučevanju podnebnih značilnosti suše, ugotavljanju tveganja za sušo, za rajonizacijo na sušo ranljivih območij, prilagajanje na podnebne



Slika 8. Poletna suša na območju jugovzhodne Evrope, kakor jo vidi Center za upravljanje suše v jugovzhodni Evropi (DMCSEE).

spremembe in izdelavo državnih akcijskih načrtov. Stanje vodne bilance kmetijskih tal v Sloveniji na ARSO objavljamo v Dekadnih biltenih stanja vodne bilance kmetijskih tal za vegetacijsko obdobje in mesečnih biltenih za zimsko obdobje. Ko kazalci suše pokažejo na sušne razmere v vegetacijskem obdobju, javnost podrobneje obveščamo na tedenski ravni v poročilih o vremenskih razmerah in stanju vodnih zalog v Sloveniji, ki jih objavljamo na spletnih straneh ARSO. Bilteni nastajajo v sodelovanju hidrološke in meteorološke službe ARSO. V biltenih so podrobneje razčlenjene vremenske razmere, stanje vodne bilance površinskega sloja tal, vodotokov in zalog podzemnih voda ter izgledi vremena za teden dni vnaprej.

Spremljanje suše v jugovzhodni Evropi

V preteklih desetletjih so suše povzročile znatno gospodarsko škodo in imele pomemben vpliv na blagostanje prebivalstva tudi v jugovzhodni Evropi. Leta 2006 je bil ustanovljen Center za upravljanje s sušo v jugovzhodni Evropi (DMCSEE), ki ima sedež na ARSO. Države članice so bile sprva Albanija, Bolgarija, Bosna in Hercegovina, Grčija, Hrvaška, Madžarska, Makedonija, Moldavija, Romunija, Slovenija, Turčija; pozneje sta se pridružili še Srbija in Črna gora. Vloga DMCSEE je izrazito operativna, s ciljem izboljšati kakovost podatkov in imeti stalen pregled nad trenutnimi sušnimi razmerami, napovedovati suše in pripraviti podlage za pripravo strategije za zmanjševanje posledic suš na območju jugovzhodne Evrope.

Ena od pomembnih nalog DMCSEE je bila vzpostaviti kazalce suše in način zgodnjega opozarjanja. Sistem spremljanje suše je nadgrajen z dinamično spletno stranjo DMCSEE, ki v kartografski obliki ponuja ocene meteorološke suše prek izračunov sušnih kazalcev (SPI in padavinskih percentilov).

DMCSEE koordinira razvoj, uporabo orodij in politik za upravljanje suše, da bi izboljšali pripravljenost in zmanjšali negativne vplive suše. Poskuša pridobivati manjkajoče regionalne podatke o stanju in vplivu suše ter z uporabo skupne metodologije pri analizi suše in vrednotenju njenih vplivov pridobiva regionalno primerljive rezultate, ki omogočajo boljši pregled nad stanjem, predvsem za sektorje, ki so odvisni od vodne razpoložljivosti (na primer kmetijstvo, energetika in turizem).

Eden od produktov DMCSEE je mesečni bilten. Pomemben sestavni del biltena so poročila o sušnih razmerah na posameznih območjih. V bilten je vključena tudi napoved vodne bilance. Bilten je dosegljiv na spletni strani DMCSEE: <http://www.dmcsee.org/>. V mesečnem biltenu razvoj suše ponazarjamo s standardiziranim padavinskim indeksom (slika 8).

Poleg mesečnega biltena so na spletni strani objavljene še številni drugi članki, novice in analize razmer. DMCSEE izvaja številna izobraževanja, vodi projekte in pridobiva sredstva za osnovno delovanje, kar je tudi izpolnjevanje dane zaveze ob ustanovitvi leta 2006.

Za konec

Slovenija, ki sicer velja za vodnato deželo, se vsakoletno zaradi časovno in prostorsko neugodno razporejenih padavin spopada s sušnimi obdobji. Vedno bolj pogosto se s sušo v vegetacijski sezoni soočajo tudi v regijah, kjer v preteklosti z njo niso imeli težav. Kjer so suše pogostejše, so se kmetje deloma že prilagodili s tehnologijami (izbor na sušo odpornejših vrst in sort rastlin, namakanje, kolobarjenje ipd). S pravočasnim in natančnim spremljanjem suše in zgodnjim opozarjanjem na sušo lahko zmanjšamo nastalo škodo in posredujemo informacije v pomoč pridelovalcem pri načrtovanju prihodnje kmetijske pridelave. Vsekakor je preventivna prilagoditev na sušo bolj smiseln korak kot odpravljanje posledic suše.

Viri

Center za upravljanje suše v jugovzhodni Evropi: <http://www.dmcsee.org/>

Sušnik A., Valher A. 2014. Od mokre pomladi do sušnega poletja 2013. Ujma št. 28, 2014: 75 – 84

Sušnik A. 2014. Zasnove kazalcev spremljanja suše na kmetijskih površinah. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 256 str.

Od prvega poskusa sledenja toka podzemne vode do prvega modela napajanja vodonosnikov v Sloveniji

Jože Uhan

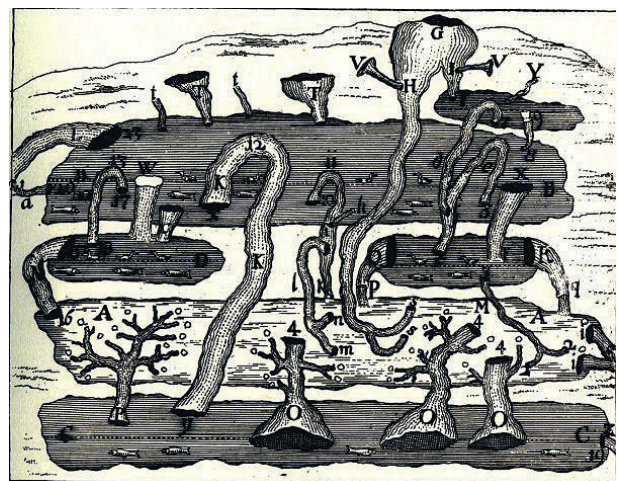
Uvod

Razumeti pretakanje in obnavljanje podzemne vode je bila pravadna želja že antičnih mislecev, ki pa so pri svojih opazovanjih in razmišljanjih močno podcenili pomen padavinske vode za njeno količinsko obnavljanje in dolgo zmotno vztrajali na teoriji o »podzemni kondenzaciji«. Mehanizme izviranja podzemne vode so kasneje začeli podrobneje spoznavati zaradi potreb po načrtovanju zanesljivejše oskrbe prebivalstva rimskega imperija z vodo preko mogočnih akvaduktov. Pred več kot dva tisoč leti je Marcus Vitruvius Pollio v svoji osmi knjigi znamenite zbirke *De Architectura* prvič opisal koncept kroženja vode in razložil napajanje izvirov podzemne vode. Tako razumevanje toka in izviranja podzemne vode je zadostovalo vse do srednjega veka, ko sta se meritvam in študiju hidroloških procesov med drugimi posvetila tudi Leonardo da Vinci (1442–1519) in Bernard Palissy (1509–1589) ter utemeljila teorijo o »infiltraciji padavin«. Za zaključek obdobja filozofskega opazovanja in sklepanja o splošno veljavnih zvezah med pojavi pa so pomembni rezultati obsežnih meritev padavin in pretokov v okolici Pariza, s katerimi sta Pierre Perrault (1608–1680) in Edme Mariotte (1620–1684) znanstveno-raziskovalno potrdila teorijo vodnega kroga.

Prvi poskus sledenja in razumevanja toka podzemne vode na slovenskih tleh

V času velikih naravoslovnih spoznanj so podzemne vode začeli bolj poglobljeno preučevati tudi na območju Slovenije. Temelj takratnega vedenja o podzemnih vodah so predstavljale raziskave predvsem dveh izjemnih kraških pojavov: ponora Reke v Škocjanske jame in presihanja jezerske vode pri Cerknici. Po zapisih velikega naravoslovca Uliссеja Aldrovandija (1522–1605) lahko prvi opisan poskus sledenja podzemskih voda na svetu pripišemo F. Imperatiju, ki je leta 1599 "z obteženimi kosi lesa in drugimi predmeti dokazal" enotnost toka reke Reke, ki ponika v Škocjanske jame in izvira kot Timava pri Štivanu na obrobju Tržaškega zaliva (Cuscito, 1990).

V sedemnajstem stoletju je do za takrat imenitnih spoznanj prišel tudi polihistor Janez Vajkard Valvasor (1641–1693), ki ga mnogi štejejo za prvega slovenskega krasoslovca in speleologa. V svoji *Slavi vojvodine Kranjske* je opisal sedemdeset kraških jam in njegova objava načrta Podpeške jame na Dobrepolju velja za drugi najstarejši načrt podzemne jame na svetu. Posebej se je v četrtem poglavju svoje knjige *Slava Vojvodine Kranjske* (Valvasor, 1689) posvetil raziskavi mehanizmov pretakanja vode presihajočega Cerkniškega jezera in jih pojasnil s »podzemnimi jezери, cevmi in sifoni ali nategami« in s tem postavil začetni mejnik raziskavam podzemnih voda na Slovenskem. Njegov bakrorez »ustroja in narave« presihajočega Cerkniškega jezera iz *Slave Vojvodine Kranjske* pa je domnevno tudi najstarejši konceptualni model pojasnjevanja tokov površinskih in podzemnih voda (slika 1). Podroben opis nadzemnega in podzemnega pretakanja presihajočega Cerkniškega jezera, ki je danes del Notranjskega regijskega parka, je Valvasorju prinesel velik mednarodni ugled. Njegov konceptualni model je s »fizičnim modelom znanstveno preveril« znameniti angleški naravoslovec Edmund Halley (1656–1742) in leta 1687 je bil Janez Vajkard Valvasor izvoljen za člana angleške Kraljeve družbe.



Slika 1. Bakrorez »ustroja in narave« presihajočega Cerkniškega jezera iz *Slave Vojvodine Kranjske* (Valvasor, 1689)

Oskar Smreker – začetnik znanosti o podzemni vodi

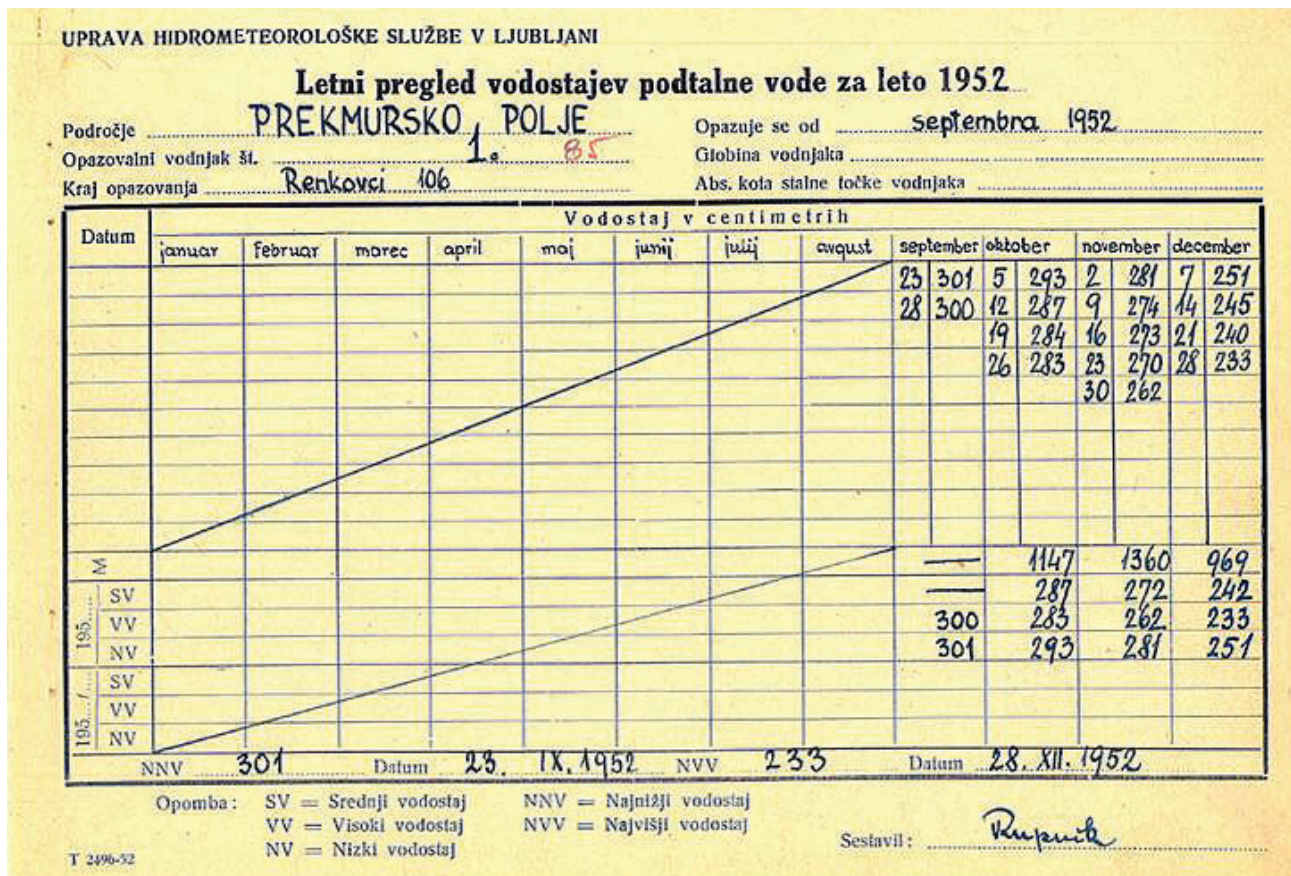
Začetki hidrogeologije oziroma znanstvenega raziskovanja podzemnih voda na Slovenskem naj bi bili v času razmaha raziskovanja kraških jam povezani s sistematičnimi objavami o kraški geomorfologiji in hidrotehniki, pri katerih sta se najbolj izkazala dva češka inženirja Jan Hrasky in Vilijem Putick (Brenčič, 2009), vendar pa njune raziskave in regulacijska dela v povirjih Ljubljane in Krke v obdobju 1887–1890 še zdaleč niso dosegle Valvasorju primerljivega mednarodnega ugleda. Pomembne podatke o podzemni vodi je v tistem času zbiral in obdelal mednarodno ugledni slovenski kemik in agronom Ernest Kramer (1854–1907), predvsem v povezavi s problematiko osuševanja Ljubljanskega barja in izgradnje ljubljanskega vodnega prekopa – Gruberjevega kanala (Kramer, 1905a; Andjelov in sod., 2007) ter z »laboratorijem kmetijsko-kemijskega preskuševališča za Kranjsko v Ljubljani« in delom »Preiskovanje vodâ za pitje in domačo vporabo na Kranjskem« postal začetnik preiskav kakovosti voda na Slovenskem (Kramer, 1905b).

Na prehodu iz devetnajstega v dvajseto stoletje se je v mednarodnem prostoru zelo uveljavil Oskar Smreker (1854–1935), ki se je ob načrtovanju in gradnji vodovodov po velikih evropskih mestih ukvarjal tudi s študijem podzemne vode in leta 1914 je na Tehniški

visoki šoli (Eidgenössische Technische Hochschule – ETH) v Zürichu doktoriral z disertacijo *Podzemna voda, njene oblike pojavljanja, zakonitosti gibanja in določanje količine (Das Grundwasser, seine Erscheinungsformen, Bewegungsgesetze und Mengenbestimmung)*. Literatura na nemškem govornem področju Smrekerja uvršča med začetnike znanosti o podzemni vodi, po njem pa se imenuje tudi enačba s področja nelinearne teorije toka vode skozi porozni medij, ki podaja zvezo med gradientom in pretokom podzemne vode (Brenčič, 2008). V Sloveniji ga poznamo predvsem po projektiranju ljubljanskega vodovoda leta 1887 in po sodelovanju z uglednim slovaškim geologom in paleontologom Dionizom Stur (1827–1893), takratnim ravnateljem državnega geološkega zavoda na Dunaju. Za potrebe ljubljanskega vodovoda je Dioniz Stur v sklopu strokovnega mnenja *K oskrbi z vodo – vprašanje deželne stolnega mesta Ljubljana (Zur Wasserversorgungs – Frage d. Landeshauptstadt Laibach)* izvedel prve sistematične meritve (Stur, 1887).

Začetek sistematičnih raziskav in meritev gladine podzemne vode v Sloveniji

Sistematično strokovno in znanstveno hidrogeološko delo se je v Sloveniji začelo šele po drugi svetovni vojni, ko so leta 1946 ustanovili Geološki zavod za



Slika 2. »Letni pregled vodostajev podtalne vode« za leto 1952 v Renkovcih na Prekmurskem polju (arhiv ARSO)

Slovenijo, leto kasneje pa še Upravo za hidrometeorološko službo pri Vladi Socialistične Republike Slovenije, katere naslednik je danes Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), in Zavod za raziskovanje krasa, ki ga je nasledil današnji Inštitut za raziskovanje krasa Znanstveno raziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Pomembni mejniki razvoja slovenske hidrogeologije so povezani s prof. dr. Dušanom Kuščerjem (1920–2012) in z začetkom poučevanja hidrogeologije na Univerzi v Ljubljani (Brenčič in sod., 2012) ter z začetkom izdajanja znanstvene publikacije *Geologija* (Geološki zavod Ljubljana, 1953) in krasoslovnega zbornika *Acta Carsologica* (Hadži in sod. ur., 1955).

V tem obdobju je v povezavi z raziskavami podzemnih voda na ustanovi, ki se danes imenuje Geološki zavod Slovenije, potrebno izpostaviti delo geologa Antona Nosana (1922–2012), začetnika in utemeljitelja sodobnih raziskav virov pitnih, mineralnih in termalnih vod v Sloveniji (Kralj, 2012) in geologa Franca Drobne (1931–2011), vodjo intenzivnega razvoja slovenske hidrogeologije v letih od 1967 do 1997 (Brenčič in sod., 2011). Najpomembnejši mejniki v razvoju hidrogeologije Slovenije pa so v povezavi s sintezami vseh rezultatov hidrogeološkega raziskovanja v obliki hidrogeološke karte Slovenije: od hidrogeološke členitve, ki so jo predstavili na 8. jugoslovanskem geološkem kongresu (Drobne in sod., 1976), do hidrogeološke karte Slovenije, izdelane po metodologiji mednarodnega združenja za hidrogeologe (International Association of Hydrogeologists – IAH) v merilu 1:250.000 (Prestor in sod., 2004), ki je še danes strokovno izhodišče načrtovanju upravljanja podzemnih vodnih virov. Inštitut za raziskovanje krasa se je pri raziskovanju podzemnih voda že kmalu po ustanovitvi usmeril tudi v raziskovanje njenega toka s sledilnimi poskusi ter leta 1951 v ponikalnici Lokva v Predjami izvedel prvo sledenje z umetnimi sledili (Savnik, 1955). Dolgoletno raziskovalno delo na področju sledenja toku podzemnih voda je bilo najbolj intenzivno v obdobju 1972–1976 in ga označuje organizacija 3. mednarodnega simpozija o sledenju podzemne vode – 3. SUWT (Gospodarič in Habič ur., 1976). Tedaj je mednarodna skupina raziskovalcev z uporabo vseh znanih sledil podrobno raziskala sistem podzemnega toka kraške Ljubljani. Rezultate sledilnih poskusov na Inštitutu za raziskovanje krasa v Postojni že od leta 2002 združujejo v kataster podzemnih vodnih zvez (Petrič, 2009).

Z najboljšežnejšimi zbirkami hidroloških podatkov o podzemnih in tudi površinskih vodah se danes ponaša ARSO, organ v sestavi ministrstva, pristojnega za okolje. ARSO hrani hidrološke podatke, ki so jih na večjih slovenskih rekah zbirali že od leta 1850 (Trontelj 2000). Začetek sistematičnih merjenj gladin podzemne vode na državni mreži stalnih merilnih mest predstavlja raziskave za razširitev Ljubljanskega



Slika 3. Merilno mesto Spodnje Konjišče na Apaškem polju leta 1957 (arhiv ARSO)

vodovoda po jesenski suši leta 1947, ko so višji predeli mesta ostali brez pitne vode. Hidrolog Vladimir Rupnik, inženir takratnega Odseka za hidrološke raziskave Krasa, podtalne vode in studence Uprave hidrometeorološke službe pri vladi LRS v Ljubljani, je v zaključku poročila z naslovom »*Hidrološke raziskave podtalnice Ljubljanskega polja in okolice*« (Rupnik, 1948) napovedal uvedbo »*opazovalne službe podtalnice, kot je to v naprednih državah, saj so za vsako moderno hidrološko raziskavo potrebni sistematični večletni opazovalni podatki*«. Leta 1952 so začeli prve redne meritve na Prekmurskem polju (slika 2), v naslednjih letih pa so meritve gladin podzemne vode opravljali že na vseh večjih ravninskih vodonosnikih po Sloveniji (slika 3). Od leta 1952, kar je letnica začetka državnega sistematičnega spremljanja gladin podzemnih voda, je mreža 16 vodnjakov na Prekmurskem polju danes prerasla v državno mrežo spremljanja podzemnih voda Slovenije s preko 180 merilnimi postajami. Večina postaj ima elektronski podatkovni zapis in samodejni prenos podatkov na sedež ARSO v Ljubljani (slika 4).

Od enačbe vodnjaka do modela vodonosnika

Mejnik kvantitativne hidrogeologije je bil v svetovnem merilu postavljen sredi devetnajstega stoletja v francoskem Dijonu, kjer je inženir Henry Darcy opisal zakonitost toka podzemne vode v porozni sredini (Darcy, 1856) in s tem postavil izhodišče za izražanje hidrogeoloških problemov z matematičnimi modeli. Darcy-jev sodelavec in njegov naslednik Jules Dupuit (1804–1866) pa z rešitvijo enačbe radialnega toka k vodnjaku v ustaljenih razmerah odprtega in zaprtega vodonosnika (Dupuit, 1863) velja za avtorja sodobne analize vodonosnika. Začetek moderne dobe hidrologije podzemnih voda se najpogosteje povezuje z letnico objave Theis-ove enačbe. Hidrolog ameriškega geološkega zavoda Charles V. Theis (1900–1987) je leta 1935 na osnovi analogije s tokom toplote



Slika 4. Merilno mesto Voglje na Kranjskem polju leta 2015 (foto: Vlado Savič)

podal odmevno rešitev za tok podzemne vode proti črpalnemu vodnjaku (Theis, 1935). V štiridesetih in petdesetih letih prejšnjega stoletja so pri raziskavah podzemnih voda najpogosteje uporabljali Jacob-ovo in Hantush-ovo rešitev enačbe toka podzemne vode (Hantush in Jacob, 1955). Prvi poskusi modelskega analiziranja celotnega vodonosnega sistema pa so znani iz petdesetih let prejšnjega stoletja, najprej z analognimi tehnikami, fizičnimi in elektro-analognimi modeli ter grafičnimi metodami. V sedemdesetih letih je razvoj računalniške tehnologije omogočil numerično reševanje parcialnih diferencialnih enačb toka podzemne vode. V drugi polovici sedemdesetih let prejšnjega stoletja je bil izdelan tudi prvi matematični model toka podzemne vode v Sloveniji. Na posvetovanju hidrotehnikov ob 40-letnici Vodogradbenega laboratorija je Mitja Brilly predstavil »Sodobne metode za modeliranje podtalnice« in leta 1978 v okviru Laboratorija za mehaniko tekočin Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani pripravil poročilo o »programu za računalnik in podatkih za matematični model podtalnice Ljubljanskega polja« (Brilly, 1978a; 1978b). V prvi polovici osemdesetih let so se zaradi vse bolj množične uporabe zelo raznolikih računalniških programov na ameriškem geološkem zavodu (*United State Geological Survey – USGS*) odločili za poenoten razvoj modularnega tridimenzionalnega modela toka podzemne vode z metodo končnih razlik (McDonald in Harbaugh, 1984), ki je v devetdesetih letih prejšnjega stoletja pod skrajšanim imenom MODFLOW (*USGS Modular Three-Dimensional Ground-Water Flow Model*) postal najbolj uporabljen model toka podzemne vode po vsem svetu.

Z modeliranjem v podporo načrtovanju in upravljanju podzemnih voda v Sloveniji

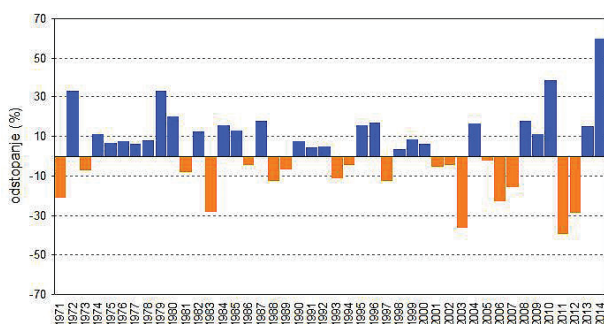
Evropska okvirna direktiva o vodah (WFD, 2000) je na prehodu tisočletja prinesla novo paradigmo upravljanja voda in kot izhodišče načrtovanja ukrepov v državah članicah uvedla zahtevo po celovitem ocenjevanju stanja voda. Koncept celovitosti te direktive je presegal raven dotedanje organiziranosti na področju voda v Sloveniji in leta 2003 je Ministrstvo za okolje in prostor tudi pod vplivom tega spoznanja ustanovilo Agencijo RS za okolje (ARSO). Vrzel med spremljanjem stanja voda in upravljanjem s podzemnimi vodami, ki so jo pripravljavci direktive zaznali in opredelili kot oceno stanja voda, je v organizacijskem smislu Agencije RS za okolje leta 2007 zapolnila ustanovitev sektorja za hidrogeološke analize s primarno usmeritvijo v vzpostavitev procesa ocenjevanja količinskega stanja podzemnih voda za potrebe načrtovanja in upravljanja. Pomemben dogodek v razvoju na tem področju je bil ljubljanski mednarodni seminar o modeliranju podzemne vode in okvirni direktivi o vodah, ki ga je v okviru programa Urada za izmenjavo informacij o tehnični pomoči pri evropski komisiji (*Technical Assistance and Information Exchange Office – TAIEX*) soorganizirala ARSO leta 2008 (Mikulič in Andjelov ur., 2008). Omenjeni mednarodni seminar je ponudil celovit pregled modelskih pristopov v različnih evropskih državah in močno pospešil prva razmišljanja in načrtovanja razvoja modeliranja podzemne vode na ARSO. Prepoznana je bila prioritarna potreba po regionalnem modelu vodne bilance z možnostjo delitve skupnega odtoka na direktni in podzemni odtok. Model bilance naj bi nudil

tudi osnovo za kasnejše ocenjevanje ranljivosti na nitratno onesnaženje (Uhan in sod., 2010) in regionalno modeliranje nitratnega onesnaževanja na območju celotne države (Andjelov in sod., 2014a, Andjelov in sod., 2015) ter modeliranje toka podzemne vode za podporo upravljanju podzemnih vodnih virov na aluvialnih vodonosnikih (Mikulič in Savič, 2012; Souvent in sod., 2014).

Modeliranje regionalne vodne bilance in ocena količinskega obnavljanja podzemnih voda v Sloveniji

Računsko shemo vhodnih in izhodnih količin vode v poenostavljenem modelu vodnega kroga je sredi prejšnjega stoletja zasnoval ameriški geograf in klimatolog Charles W. Thornthwaite (1899–1963) in postal pionir izračunavanja vodne bilance. Thornthwaite-ovo življensko delo je bila razvrstitev podnebnih tipov (Thornthwaite, 1948) predvsem na podlagi razmerja med padavinami, izhlapevanjem in odtokom, računsko pa je poskušal oceniti tudi količino napajanja vodonosnikov (Thornthwaite, 1955). Nacionalni bilanci vode v Sloveniji za obdobje 1961–1990 (Kolbezen in Pristov, 1998) in za obdobje 1971–2000 (Frantar ur., 2008) sta sledili poenostavljeni enačbi s tremi bilančnimi členi brez izračuna infiltracije padavinske vode v vodonosnik. Po zahtevah okvirne direktive o vodah pa je prav poznavanje napajanja vodonosnikov potrebno izhodišče za ocenjevanje količinskega stanja podzemnih voda. Ljubljanski mednarodni seminar o modeliranju podzemne vode in okvirni direktivi o vodah (Mikulič in Andjelov ur., 2008) je leta 2008 omogočil vzpostavitev mednarodnega razvojnega sodelovanja ARSO z inštitutom za agrosfero nemškega raziskovalnega središča FZ JÜLICH na področju ocenjevanja stanja podzemnih voda (Uhan, 2011).

V Nemčiji so v zadnjih nekaj desetletjih začeli intenzivno razvijati regionalne izkustvene modele, ki so se pozneje uspešno uveljavili tudi pri regionalnem upra-

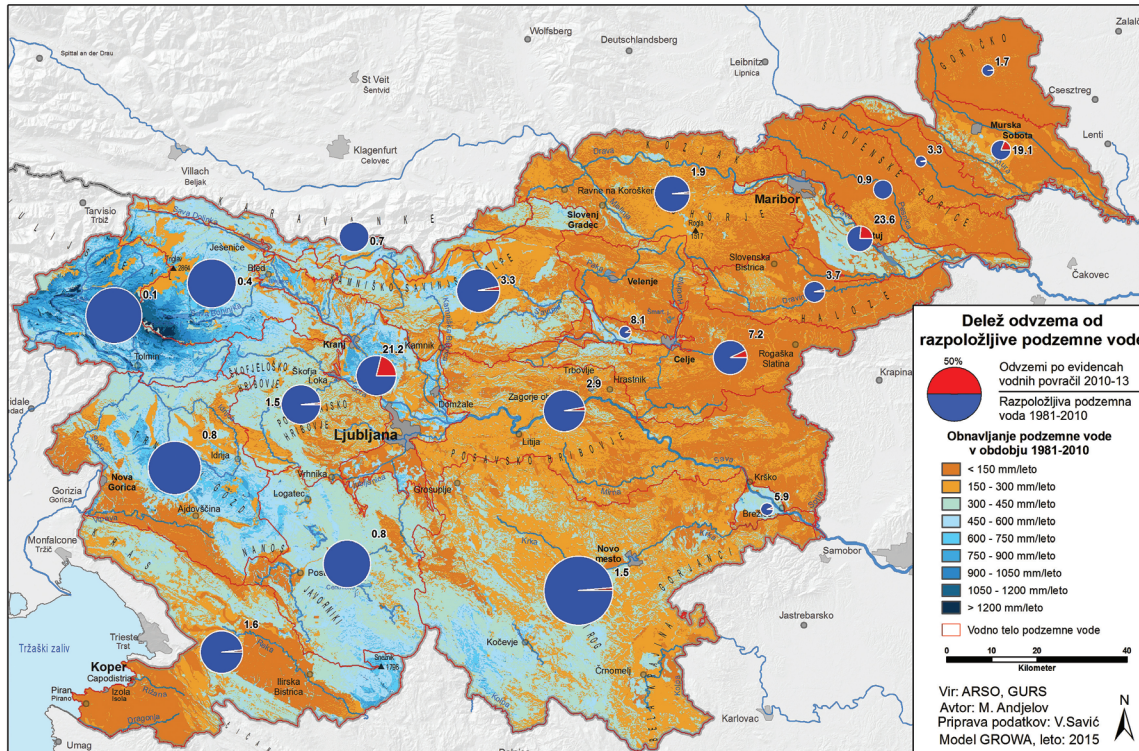


Slika 5. Časovni potek (1971–2013) odstopanja količinskega obnavljanja podzemne vode v plitvih vodonosnikih Slovenije (v %) od povprečja obdobja 1981–2010 (Vir: Kazalci okolja Slovenije, ARSO)

vljanju z vodami (Kunkel in Wendland, 2002). Raziskovalna skupina pod vodstvom Franka Wendlanda je že nekaj let pred evropsko okvirno direktivo o vodah razvila empirični regionalni model vodne bilance GROWA98 (GROßräumiges Wasserhaushaltsmodell), ki konceptualno kombinira prostorsko porazdeljene meteorološke podatke s prostorsko porazdeljenimi hidrološkimi in drugimi fizično-geografskimi parametri za izračun elementov vodne bilance v prostoru (Kunkel in Wendland, 1998). Obnovljive količine podzemne vode se na podlagi podatkov o višini padavin in referenčni evapotranspiraciji modelira ob upoštevanju podnebnih pogojev, geološke zgradbe, lastnosti tal, rabe prostora, naklona površja, hidrografije in globine do podzemne vode. Model temelji na izračunu skupnega odtoka preko ocene dejanske evapotranspiracije (Renger in Wessolek, 1996) ter na shemi indeksov baznega odtoka (*Base Flow Index* – BFI) za delitev podzemnega od direktnega odtoka (Institute of Hydrology, 1980). Zanesljivost modelskega izračuna se ovrednoti na hidrogramih pretokov iz državne mreže hidroloških merilnih postaj Agencije RS za okolje.

V okviru prve faze razvojnega sodelovanja med ARSO in FZ JÜLICH (2008–2009) je bil modelski sistem prilagojen slovenskim naravnim pogojem in prvi rezultati modela GROWA-SI so bili predstavljeni že na 20. Mišičevem vodarskem dnevu 2009 v Mariboru (Andjelov, 2009) ter bili vključeni v oceno količinskega stanja podzemnih voda v prvem načrtu upravljanja voda za obdobje 2009–2015 (Bizjak ur., 2009a; 2009b) in v poročilu o stanju okolja v Sloveniji 2009 (Uhan ur., 2010). Modelski sistem za Slovenijo je bil predstavljen na XXVI. konferenci podonavskih držav o hidrološkem napovedovanju in hidroloških osnovah za upravljanje z vodami v Deggendorfu (Andjelov in sod., 2014b), podrobneje pa je opisan v mednarodni strokovni reviji *Environmental Earth Sciences* (Tetzlaff in sod., 2015) in v posebni monografiji *Groundwater recharge in Slovenia* (Andjelov in sod., v pripravi).

Z modelom GROWA-SI je bilo s homogeniziranimi vhodnimi meteorološkimi podatki (Vertačnik in sod., 2013) v pravilni mreži (Dolinar, 2014) prvič hidrološko celovito ocenjeno napajanje podzemne vode za celotno območje Slovenije. S poenotenim pristopom so bile izdelane letne vodne bilance od leta 1970 naprej. Rezultati tega obsežnega dela so objavljeni v sistemu Kazalci okolja v Sloveniji (slika 5) (Uhan in Andjelov, 2012) in letnih poročilih ARSO sektorja za hidrogeološke analize za leta od 2010 naprej (Uhan ur., 2015a). Za načrt upravljanja voda 2015–2021 so bile izračunane razpoložljive količine podzemne vode (Mikulič in sod., 2015) in ocenjeno količinsko stanje podzemnih voda (slika 6) (Andjelov in sod. 2013; Uhan ur., 2015b).



Slika 6. Količinsko obnavljanje podzemne vode in razmerje med razpoložljivo količino (1981–2010) in črpanimi količinami podzemne vode (2010–2013) (Vir: NUV 1915–2021)

Sklep

Opisi hidrogeološke bilance podzemnih voda Slovenije so vse od predstavitve hidrogeoloških značilnosti slovenskega ozemlja na 8. jugoslovanskem geološkem kongresu (Drobne in sod., 1979) do izida monografije Geologija Slovenije Geološkega zavoda Slovenije s poglavjem o podzemni vodi (Brenčič, 2009) temeljili na metodologiji iz zakona o načinu ugotavljanja, evidentiranja in zbiranja podatkov o rezervah rudnin in talnih voda ter o bilanci teh rezerv (Uradni list SFRJ, 1977), ki ni izhajala iz koncepta vodnega kroga in celovitosti vodne bilance, ampak je temeljila na principih določanja prostornine in stopnje raziskanosti rudnih teles. Raziskovalci podzemnih voda v Sloveniji so kljub nekaterim metodološkim pomislekom skoraj štiri desetletja sledili rezultatom »*klasifikacije in kategorizacije rezerv talnih voda*« po principih ocenjevanja rudnih teles (Uradni list SFRJ, 1979) in za »*razpoložljive zaloge podzemne vode*« povzemali vrednosti okoli 50 m³/s (Prestor, 2001; Brenčič, 2009).

Agencija RS za okolje je v sodelovanju z nemškim raziskovalnim središčem FZ JÜLICH vzpostavila pogoje razvoja področja hidrološkega ocenjevanja količin podzemnih voda Slovenije. Regionalno modeliranje celovite vodne bilance Slovenije na Agenciji RS za okolje je ob upoštevanju podnebnih danosti in rabe prostora, umerjene tudi na podatke državnega monitoringa površinskega odtoka, uveljavilo nov pristop in ponudilo nov pogled na obdobje obnovljive količine podzemne vode na celotnem območju Slovenije (Tetzlaff in sod.,

2015, Andjelov in sod., v pripravi), ki je skladen z zahtevami okvirne direktive o vodah (WFD, 2000). To predstavlja novo državno izhodišče za oceno razpoložljivih količin (Mikulič in sod., 2015), na katerih temelji ocena količinskega stanja podzemnih voda (Uhan ur., 2015b) in načrtovanje upravljanja podzemnih vodnih virov s poudarkom na upravljanju obsušah (Andjelov in sod., v pripravi). Obnovljive količine podzemne vode na območju Slovenije so prostorsko in časovno zelo spremenljive, povprečje za obdobje 1981–2010 so z regionalnim modelom vodne bilance GROWA–SI s prostorsko ločljivostjo 100 x 100 metrov ocenjene na 289 mm oz. 185,5 m³/s. Ob upoštevanju potreb po ohranjanju dobrega ekološkega stanja površinskih voda in odvisnih kopenskih ekosistemov pa so povprečne razpoložljive količine podzemnih voda za obdobje 1981–2010 ocenjene na 215 mm oz. 138,3 m³/s. Glede na sedaj že podeljene vodne pravice in glede na ostale omejitve, tudi tehnične in ekonomske, pa je le del omenjenih razpoložljivih količin podzemne vode dosegljiv in ga je mogoče izkoristiti.

Zahvala

Za pomoč pri pripravi pregleda nekaterih najpomembnejših razvojnih mejnikov na področju raziskovanja podzemnih voda na območju Slovenije se zahvaljujem kolegicam in kolegom iz Geološkega zavoda Slovenije in Inštituta za raziskovanje krasa v Postojni ter sodelavcem na Sektorju za hidrogeološke analize ARSO.

Viri

- Andjelov, M., Gale, U., Krajnc, M., Kukar, N., Mikulič, Z., Trišič, N., 2007: Hidrološke razmere na Ljubljanskem barju in Ljubljanici. *Glasnik Slovenske maticice*, l. XXIX/XXXI, št. 1–3. str. 10–111.
- Andjelov, M. 2009: Modeliranje napajanja vodonosnikov za oceno količinskega stanja podzemnih voda v Sloveniji v letu 2006. 20. Mišičev vodarski dan 2009, Maribor, str. 126–130.
- Andjelov, M., Mikulič, Z., Uhan, J., Dolinar, M. 2013: Vodna bilanca z modelom GROWA-SI za količinsko ocenjevanje vodnih virov Slovenije. 24. Mišičev vodarski dan 2013, Maribor, str. 127–133.
- Andjelov, M., Kunkel, R., Uhan, J., Wendland, F. 2014a: Determination of nitrate reduction levels necessary to reach groundwater quality targets in Slovenia. *Journal of Environmental Sciences*, str. 1806–1817.
- Andjelov, M., Wendland, F., Mikulič, Z., Tetzlaff, B., Uhan, J., Dolinar, M. 2014b: Regional water balance modelling by GROWA in Slovenia. *Danube Conference 2014, Bridging the sciences – crossing borders, XXVI Conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management*, Deggendorf, str. 161–164.
- Andjelov, M., Kunkel, R., Sušin, J., Uhan, J., Wendland, F. 2015: Modelling and management of nitrate inputs into groundwater and surface water in Slovenia. *International Interdisciplinary Conference on Land Use and Water Quality Agricultural Production and the Environment*, Vienna, str. 27.
- Andjelov, M., Mikulič, Z., Tetzlaff, B., Uhan, J., Wendland, F. (v pripravi): Groundwater recharge in Slovenia. *Forschungszentrum Jülich*.
- Bizjak, A. (ur.) 2009a: Načrt upravljanja voda na vodnem območju Donave. Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, 179 str.
- Bizjak, A. (ur.) 2009b: Načrt upravljanja voda na vodnem območju Jadranskega morja. Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, 162 str.
- Brenčič, M. 2008: Zgodovina hidrogeologije. *Kratek oris življenja in dela Oskarja Smrekerja (1854–1935)*. *Geologija* 51/2, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana, str. 141–146.
- Brenčič, M. 2009: Podzemne vode. V: Pleničar, M., Ogorelec, B., Novak, M. (ur.): *Geologija Slovenije*. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana, str. 543–552.
- Brenčič, M., Mali, N., Prestor, J. 2011: V spomin Francetu Drobnetu. *Geologija* 54/2, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana, str. 158–160.
- Brenčič, M., Placer, L., Veselič, M. 2012: V spomin prof. dr. Dušanu Kuščerju. *Geologija* 55/2, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana, str. 284–285.
- Brilly, M. 1978a: Sodobne metode za modeliranje podtalnice. V: III. posvetovanje hidrotehnikov Slovenije, 3. in 4. marca 1977, ob 40-letnici Vodoogradbenega laboratorija. Ljubljana, str. 161–180.
- Brilly, M. 1978b: Priprava programa za računalnik in podatkov za matematični model podtalnice Ljubljanskega polja. Ljubljana, FAGG, Laboratorij za mehaniko tekočin.
- Cuscito, G. 1990: Reka – Timav. *Podobe, zgodovina in ekologija kraške reke*. Založba Mladinske knjige, Ljubljana, 335 str.
- Darcy, H. 1856: *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*. Paris, Dalmont.
- Dolinar, M. 2014: Production of climate maps: operational issues and challenges. *Proceedings of DailyMeteo.org/2014 Conference*, Belgrade, str. 69–72.
- Drobne, F., Veselič, M., Žlebnik, L. 1976: Hidrogeološke značilnosti slovenskega ozemlja. V: 8. Jugoslovanski geološki kongres, knjiga 4, Ljubljana, str. 59–70.
- Dupuit, J. 1863: *Estudes Théoriques et Pratiques sur le mouvement des Eaux dans les canaux découverts et à travers les terrains perméables*. Paris, Dunod.
- Frantar, P. (ur.) 2008: *Vodna bilanca Slovenije 1971–2000*. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 119 str.
- Geološki zavod Ljubljana 1953: *Geologija*, 1, 303 str.
- Gospodarič, R., Habič, P. (ur.) 1976: *Underground water tracing. Investigations in Slovenia 1972–1975*. Institute Karst Research, Ljubljana, 312 str.
- Hadži, J., Bohunc, V., Savnik, R. (ur.) 1955: *Acta carsologica*, 1, 183 str.
- Hantush, M.S., Jacob, C.E. 1955: Non-steady flow in an infinite leaky aquifer. *Transactions of the American Geophysical Union*, 36, str. 95–100.
- Institute of Hydrology 1980: *Low Flow Studies Report*. Institute of Hydrology, Wallingford, Research Report 1.
- Kramer, E. 1905a: *Das Laibacher Moor, das grösste und interessanteste Moor Österreichs in naturwissenschaftlicher, kulturtechnischer und landwirtschaftlicher Beziehung*. Ljubljana, 205 str.
- Kramer, E. 1905b: *Preiskovanje vodâ za pitje in domačo vporabo na Kranjskem : iz laboratorija kmetijsko-kemijskega preskušališča za Kranjsko v Ljubljani*. Ljubljana, 152 str.
- Kolbezen, M., Pristov, J. 1998: *Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije*. Hidrometeorološki zavod RS, Ljubljana, 98 str.
- Kralj, P. 2012: V spomin Antonu Nosanu. *Geologija* 55/1, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana, str. 154.
- Kunkel, R., Wendland, F. 1998: *Der Landschaftswasserhaushalt im Flußeinzugsgebiet der Elbe – Verfahren, Datengrundlagen und Bilanzgrößen*. *Schr. d. FZJ, Reihe Umwelt* 12, Jülich, 107 str.
- Kunkel, R., Wendland, F. 2002: The GROWA98 model for water balance analysis in large river basins – the river Elbe case study. *Journal of Hydrology* 259, str. 152–162.

- McDonald, M.G., Harbaugh, A.W. 1984: A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. U.S. Geological Survey Open-File Report 83-875, 528 str.
- Mikulič, Z., Andjelov, M. (ur.) 2008: Groundwater modelling – International Symposium on Groundwater Flow and Transport Modelling, Proceedings of Invited Lectures. Agencija RS za okolje, Ljubljana, 95 str.
- Mikulič, Z., Savič, V. 2012: Konceptualni modeli aluvialnih vodonosnikov v mreži državne hidrološke službe. Slovenski vodar 25, Ljubljana, str. 89–96.
- Mikulič, Z., Uhan, J., Janža, M., Andjelov, M. 2015: Assessment of renewable and available groundwater resources for water management planning. 42nd IAH Congress, T6 Groundwater Governance and Management, Rome, str. 65.
- Petrič, M. 2009: Pregled sledenja voda z umetnimi sledili na kraških območjih v Sloveniji. Geologija 52/1, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana, str. 127–136.
- Prestor, J. 2001: Dosegljivost, izkoristljivost in izkoriščenost podzemnih vodonosnikov. Neobjavljeno poročilo, arhiv Geološkega zavoda Slovenije, Ljubljana, 44 str.
- Prestor, J., Komac, M., Janža, M., Meglič, P., Bavec, M., Poljak, M. 2004: Hidrogeološka karta Slovenije M 1:250.000. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana
- Renger, M., Wessolek, G. 1996: Berechnung der Verdunstungsjahresnummern einzelner Jahre. DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft 238, Bonn, 47 str.
- Rupnik, V. 1948: Hidrološke raziskave podtalnice Ljubljanskega polja in okolice. Interno poročilo, Uprava hidrometeorološke službe pri vladi LRS, Ljubljana
- Savnik, R. 1955: Barvanje Lokve pod Jamskim gradom. Acta carsologica 1, SAZU Inštitut za raziskovanje krasa SAZU, Ljubljana, str. 172–175.
- Souvent, P., Vižintin, G., Celarc, S., Čenčur Curk, B. 2014: Ekspertni sistem za podporo odločanju na aluvialnih telesih podzemnih voda Slovenije. Geologija 57/2, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana str. 245–252
- Stur, D. 1887: Wasserversorgungs – Frage der Landeshauptstadt Laibach (Tag der Messung und Höhe des Grundwassers). Geologische Reichsanstalt in Wien, 16 str.
- Tetzlaff, B., Andjelov, M., Kuhr, P., Uhan, J., Wendland, F. 2015: Model-based assessment of groundwater recharge in Slovenia. Environmental earth sciences, vol. 74, no. 7, str. 6177–6192.
- Theis, C.V. 1935: The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. Am. Geophys. Union Trans., vol. 16, str. 519–524.
- Thornthwaite, C.V. 1948: An Approach toward a Rational Classification of Climate. Geographical Review, vol. 38, no. 1., str. 55–94.
- Thornthwaite, C.V. 1955: The water balance. Climatology, 8, str. 1–104.
- Trontelj, M. 2000: 150 let meteorologije na Slovenskem. Ob 150-letnici meteorološke postaje v Ljubljani. Hidrometeorološki zavod RS, Ljubljana, 52 str.
- Uhan, J., Vižintin, G., Pezdič, J. 2011: Groundwater nitrate vulnerability assessment in alluvial aquifer using process-based models and weights-of-evidence method: Lower Savinja valley case study (Slovenia). Environmental earth sciences, vol. 64, no. 1, str. 97–105
- Uhan, J. (ur.) 2010: Vode. V: Poročilo o stanju okolja v Sloveniji 2009, Agencija RS za okolje. Medmrežje: <http://www.arso.gov.si> (21. 9. 2015).
- Uhan, J. 2011: Obnavljanje podzemne vode v Sloveniji večje kot marsikje v Nemčiji. Pogovor z dr. Frankom Wendlandom, hidrogeologom z Raziskovalnega centra Jülich v Nemčiji. Delo Znanost, 6. 10. 2011.
- Uhan, J., Andjelov, M. 2012: Količinsko obnavljanje podzemne vode. Kazalci okolja v Sloveniji. Agencija RS za okolje. Medmrežje: <http://kazalci.arso.gov.si/> (21. 9. 2015)
- Uhan, J. (ur.) 2015a: Količinsko stanje podzemnih voda v Sloveniji. Poročilo o monitoringu v letu 2013. Agencija RS za okolje, Ljubljana, 97 str.
- Uhan, J. (ur.) 2015b: Količinsko stanje podzemnih voda v Sloveniji. Osnove za NUV 2015–2021. Agencija RS za okolje, Ljubljana, 67 str.
- Uradni list SFRJ 1977: Zakon o enotnem načinu ugotavljanja, evidentiranja in zbiranja podatkov o rezervah rudnin in talnih voda ter o bilanci teh rezerv. Uradni list SFRJ, št. 53/77, 24/86 in 17/90.
- Uradni list SFRJ 1979: Pravilnik o klasifikaciji in kategorizaciji rezerv talnih voda in o njihovi evidenci. Uradni list SFRJ, št. 34/79, str. 1093–1097.
- Valvasor, J.V. 1689: Slava vojvodine Kranjske. Mladinska knjiga, Ljubljana, ponatis izbranih poglavij 1984, 339 str.
- Vertačnik, G., Dolinar, M., Bertalanič, R., Klančar, M., Dvoršek, D., Nadbath M. 2013: Podnebna spremenljivost Slovenije: Glavne značilnosti gibanja temperature zraka v obdobju 1961–2011. Agencija RS za okolje, Ljubljana.
- WFD 2000: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. CELEX-EUR Official Journal L 327, 22 December 2000, str. 1–72.

BOBER



Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji

Jožef Roškar

Uvod

Nihče ne dvomi, da je vreme del našega vsakdanjega življenja in najpomembnejši dejavnik okolja, v katerem živimo. Je tudi sestavni del Zemljinega podnebne sistema. Medtem ko je večinoma dobrohotno, posebej na področjih, kjer živi največ ljudi, je včasih lahko zelo neusmiljeno kadar se pojavijo cikloni, rušilni viharji, nevihte s hudimi nalivi, snežni viharji in spremljajoče posledice, kot so poplave, zemeljski ali snežni plazovi, požari v naravnem okolju ter suše. Noben košček Zemljinega površja ni izvzet, saj je ozračje enovit sistem, ki obdaja naš planet. Z upoštevanjem podnebnih in vremenskih danosti lahko z ustreznim prilagajanjem naših dejavnosti mnogokrat zelo omilimo negativne vplive in izboljšamo naše okolje ter izboljšamo rezultate večine gospodarskih dejavnosti. Še bolj pomembno pa je, da lahko z večanjem vedenja o vremenu in podnebnju zmanjšujemo tveganja in škode, ki jim je v primeru nevarnih in izjemnih vremenskih pojavov izpostavljeno naše celotno okolje.

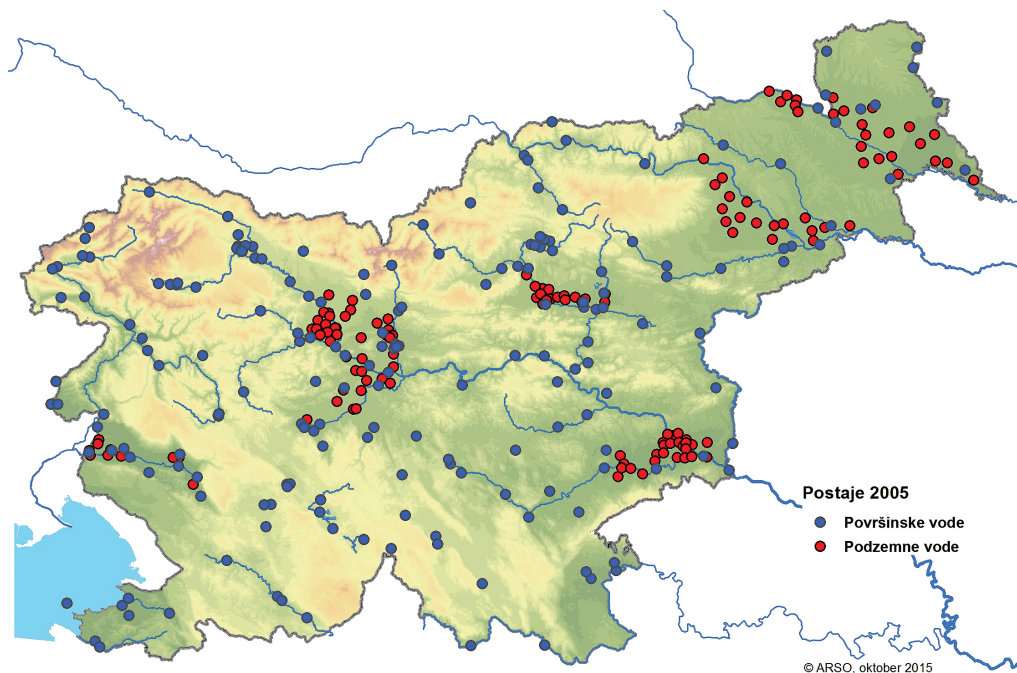
Najnovejše statistike Združenih narodov kažejo, da je devet od desetih naravnih nesreč povezanih z vremenom in posredno z vodo. V razvitih deželah povprečna letna gospodarska škoda, ki jo povzročajo naravne nesreče, presega 2 % bruto družbenega proizvoda (BDP), v nerazvitih pa tudi 12 % in več BDP. Med posameznimi vrstami nesreč je po deležu škode slika naslednja: poplave 37 %, viharji 28 %, suše 9 %, potresi 8 %, zemeljski in snežni plazovi 6 %, ekstremne temperature 5 %, gozdni požari 5 %, ognjeniški izbruhi 2 % itd. Strokovnjaki svarijo, da se pogostnost pojavljanja določenih vrst izjemnega vremena zaradi podnebnih sprememb povečuje. Tudi v Sloveniji smo bili v zadnjih letih priče izjemnim vremenskim dogodkom z dokaj veliko gospodarsko škodo. Spomnimo se suše leta 2003 in dejstva, da so bile štiri najhujše suše zadnjih petdesetih let v zadnjem desetletju. Tudi nevihte s hudimi nalivi nam ne prizanašajo. Spomnimo se neurja 20. avgusta 2005 v Posavju in poplav v Železnikih leta 2007, da o poplavah v Sloveniji in na

Balkanskem polotoku leta 2014 ne govorimo. Pa še bi lahko naštevali.

Voda je ključni vremenski dejavnik. Brez vode vreme na sploh ne bi bilo. V resnici je vse naše življenjsko okolje neposredno odvisno od vode; če jo je ravno dovolj, se dobro počutimo mi in celotna narava. Če jo je preveč, imamo težave s poplavami, če premalo, pa s sušo. Kakor je bilo že rečeno, je voda najpomembnejši krojač vremena; z ozračjem se ukvarja meteorologija ali vremenoslovje, ki s spremljanjem in analiziranjem posameznih fizikalnih spremenljivk v ozračju posreduje uporabnikom potrebne informacije o vremenu, vključujoč analize in napovedi padavin. Ko pade voda na tla, se z njo ukvarja hidrologija, ki zopet s pomočjo meritev analizira in napoveduje stanje površinskih in podzemnih vodotokov. Spremenljivkam, ki jih merimo v ozračju in na vodotokih, je potrebno dodati še spremenljivke, povezane z onesnaževanjem zraka in vod, ki ga povzroča človek s svojo dejavnostjo. Zaradi vse večje potrebe po bolj natančnih podatkih, analizah in napovedih spremenljivk iz vodnega kroga, kakor običajno rečemo procesu kroženja vode v naravi (izhlapevanje s tal, zgoščevanje v oblake, padavine, in zopet izhlapevanje) smo se na Agenciji RS za okolje, ki v Sloveniji združuje praktično vse dejavnosti, povezane z državno meteorološko službo, državno hidrološko službo in spremljanjem kakovosti zraka in vode, odločili za projekt, ki bo povečal sposobnost proučevanja in spremljanja dejavnikov v vodnem krogu. Osnovni namen projekta je bil torej povečanje sposobnosti proučevanja in spremljanja dejavnikov v vodnem krogu.

Ime projekta

Projekt z dolgim uradnim imenom »Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji« smo poimenovali v delovni naziv BOBER, kar je kratica, ki v slovenskem jeziku predstavlja »Boljše opazovanje za boljše ekološke rešitve«, v angleškem pa »Better Observation for Better Environmental Response«.



Slika 1. Mreža merilnih postaj na površinskih in podzemnih vodah v Sloveniji leta 2005 (vir: ARSO, 2015)

Potrebe po izboljšanju

S posodobitvijo, izbiro najugodnejših lokacij in povečanjem števila merilnih postaj za spremljanje stanja površinskih (reke, jezera, morje) in podzemnih voda bomo zadovoljili ciljem Okvirne vodne direktive¹ in predvsem izboljšali stanje na področju spremljanja stanja voda. Ustrezna mreža merilnih mest je osnovni pogoj za zanesljivo ugotavljanje količinskega in kakovostnega stanja površinskih in podzemnih voda. Ti podatki so osnova za načrtovanje posegov v prostor in za morebitno izvedbo preventivnih in sanacijskih ukrepov na ogroženih ali že poškodovanih območjih. Hkrati so tudi osnova za upravljanje z vodami.

Površinske vode

Sistem za spremljanje stanja površinskih voda sestavljajo merilne postaje, ki merijo spremenljivke, potrebne za ugotavljanje vodnih količin in pretočnih režimov s poudarkom na sprotnem ocenjevanju stanja površinskih voda in ocenjevanju dolgoročnih sprememb v vodnem krogu. Meritve na površinskih vodah smo leta 2005, ko smo pripravljali projekt, izvajali na 196 merilnih mestih (slika 1). Opremljenost merilnih mest je bila različna; uporabljali smo različne tipe limnigrafov

in zapisovalnikov podatkov. Na 49 mestih so honorarni opazovalci enkrat ali večkrat dnevno zabeležili višino vodostajev, na ostalih so večinoma mehanski limnigrafi zvezno beležili višine vodne gladine. Samodejni prenos podatkov v center na sedežu ARSO je potekal s samo 28 vodomernih postaj. Sprotni podatki s samodejnih merilnih postaj so nepogrešljivi za redno spremljanje hidrološkega stanja in za pripravo hidroloških napovedi ter opozoril.

Podzemne vode

Sistem za spremljanje stanja podzemnih voda (vodonosniki z medzrnsko in vodonosniki s kraško-razpoklinsko poroznostjo) sestavljajo merilne postaje za ugotavljanje podzemnih zalog in kakovosti vode. Pred začetkom projekta v sredini preteklega desetletja, ko smo začeli s pripravami na projekt, je mreža za spremljanje količinskega stanja podzemnih voda pokrivala le 18 od 30 vodonosnih sistemov (slika 1). Kar 60 % podzemnih vodonosnikov, iz katerih dobivamo pitno vodo, ni bilo pokrito z meritvami. Izviri so lokacijsko ozko omejena območja naravnega iztoka podzemne vode iz vodonosnika. Ker se na izviru odražajo vse značilnosti zaledja vodonosnika v odvisnosti od njegovih hidrogeoloških in hidravličnih lastnosti, lahko na tem mestu časovno beležimo in analiziramo vse fizikalne in kemične lastnosti iztoka podzemne vode. V Sloveniji je zabeleženih več kot 10.000 izvirov, izmed katerih se najbolj izdatni izviri nahajajo na območju kraško-razpoklinskih vodonosnikov.

1 23. oktobra 2000 je Evropski parlament sprejel direktivo 2000/60/EC z angleškim nazivom Water Framework Directive, kar mi prevajamo kot Okvirna vodna direktiva. Osnovni doprinos direktive je, da zapoveduje evropskim državam upravljanje z vodo po celotnih porečjih in ne po upravnih enotah, kot je bilo v navadi v večini držav.

Meteorološke postaje

Mrežo meteoroloških postaj so v preteklosti glede na namen meritev pretežno sestavljale glavne, podnebne in padavinske postaje. Na vseh postajah so pred samodejnim načinom meritev delo opravljali opazovalci. Na glavnih postajah, katerih podatki so predvsem zadovoljevali potrebe za pripravo analize in napovedi vremena, pa tudi proučevanja podnebja, so meritve izvajali poklicni opazovalci vsako uro, a običajno le del dneva. Na podnebnih postajah so honorarni opazovalci merili trikrat na dan, na padavinskih, ki so imele najmanjši nabor meritev, pa samo zjutraj. V obdobju zadnjih dveh desetletij je državna meteorološka služba, ki je skrbela za delovanje mreže merilnih postaj, vedno težje dobila ljudi, ki so bili pripravljene za zelo skromno plačilo izvajati meritve na podnebnih in padavinskih postajah. Zaradi tega se je število opazovalnih postaj zmanjševalo.

V primeru meteorološke mreže glavnih, podnebnih in padavinskih postaj ter drugih postaj smo ugotovili, da bi bilo potrebno obnoviti 30 % tedaj obstoječih samodejnih merilnih postaj (slika 2). Zaradi vse težje zamenjave opazovalcev na klasičnih podnebnih in padavinskih postajah bi bilo potrebno znaten del takih postaj opremiti s samodejnimi merilnimi napravami. Razširitev in posodobitev meteorološke merilne mreže bi nadomestila že amortizirane samodejne meteorološke postaje ter omogočila sprotno samodejno zajemanje podatkov tudi na novih merilnih mestih. Na ta način bi se izboljšalo sprotno poročanje o temperaturi, količini padavin, debelini snežne odeje in jakosti vetra. Več podatkov bi omogočalo boljše

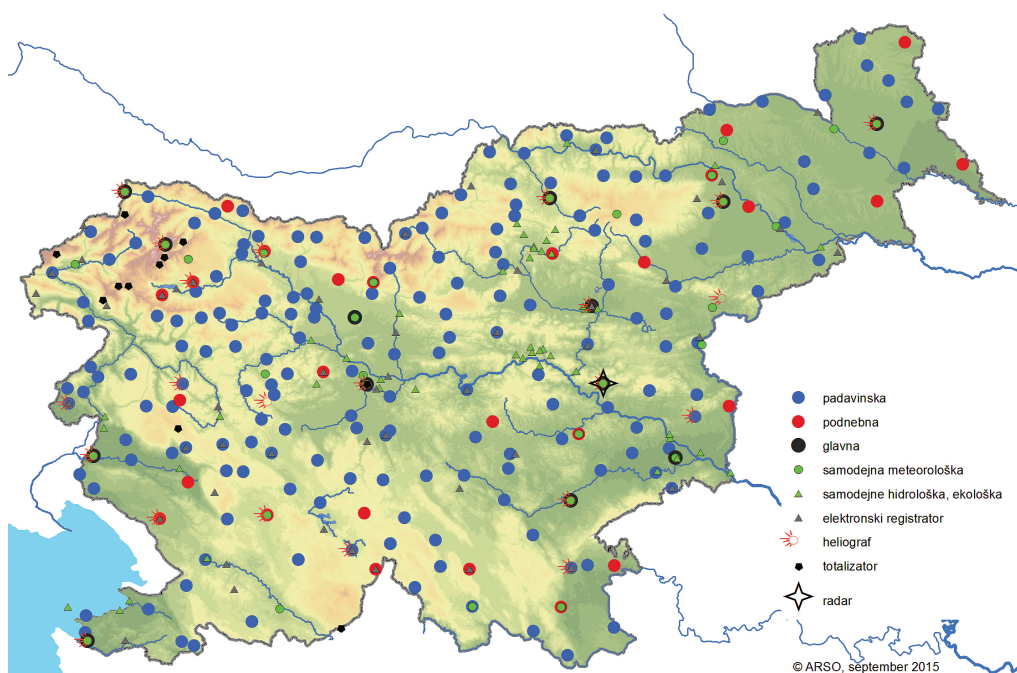
analize prostorske spremenljivosti posameznih količin na ustrezni časovni ravni ter pripravo bolj zanesljivih hidroloških in vremenskih napovedi ter opozoril.

Radarska mreža

Za potrebe spremljanja oblačnih sistemov, predvsem nevihtnih oblakov, je delovala samo ena radarska postaja na Lisci, ki je dobro pokrivala vzhodni del Slovenije in slabo zahodnega. Radarska mreža z dodatnim novim radarjem in integrirano sliko za celo Slovenijo bi prispevala k boljšemu spremljanju oblačnih sistemov nad Slovenijo in bolj zanesljivemu opozarjanju pred nevarnimi nevihtnimi pojavi ali morebitnimi poplavami zaradi izjemnih padavin. Hkrati bi lahko pri pripravi začetnih polj za poganjanje modelov za vremensko napoved uporabili tri-dimezionalno vektorsko polje vetra, ki ga lahko izračunamo s pomočjo podatkov dveh radarjev. V primeru izpada enega ali drugega radarja bi se medsebojno nadomeščala.

Modelska orodja in računalniška infrastruktura

Količina podatkov, ki bi jo pridobili z načrtovano posodobljeno in razširjeno merilno mrežo, bi se v primerjavi s količino podatkov pred posodobitvijo nekajkrat povečala. Obvladovanje povečanega obsega podatkov in sodobnega podatkovnega toka od merilnih postaj do sedeža ARSO zahteva posodobljen informacijski sistem. Razdrobljenost infrastrukture bi odpravili z združevanjem funkcionalnosti v logične sklope, najprej na ravni strojne, potem pa še na ravni programske



Slika 2. Mreža merilnih postaj, ki so merile vremenske spremenljivke leta 2005 (vir: ARSO, 2015)

opreme. Razdrobljenost računalniške opreme bi rešili z virtualizacijo strežnikov in njihovim združevanjem na strojni opremi, ki bi zaradi varnosti morala biti podvojena. Ob tem bi izvedli še virtualizacijo diskovnega prostora, namenjenega podatkovnim zbirkam in zagotovili stalno razpoložljivost rezervne kopije podatkov, ki jih potrebujemo za sprotno spremljanje stanja vremena in voda.

V okviru projekta smo načrtovali tudi razvoj modelskih orodij za spremljanje suše in stanja podzemnih voda. Za potrebe dejavnosti na morju smo načrtovali razvoj sklopljenega morskega in atmosferskega modela, ki bi omogočal spremljanje stanja morja in napovedovanje na morju. Za spremljanje stanja površinskih voda, napovedovanje in opozarjanje bi razvili hidrološki model za slovenske vodotoke.

Za poganjanje zgoraj omenjenih modelov smo predvideli ustrezen, visoko zmogljiv računalnik. Na ta način bi učinkoviteje pravočasno opozarjali na nevarne vremenske pojave. Poleg operativnih nalog je bilo potrebno zagotoviti tudi zmogljivosti za izvajanje raziskovalnih in razvojnih nalog s ciljem izboljševanja rezultatov modelov za napovedovanje vremena in voda.

Cilji projekta

Narava vodnega kroga že sama narekuje naslednja osnovna smotra, ki smo ju želeli doseči s predlaganim projektom:

Povečanje znanja o razpoložljivi vodi in njeni kakovosti

V zasledovanje tega smotra, ki ga imajo pred seboj vse državne meteorološke in hidrološke službe, smo vključili vse naloge in dejavnosti, ki so potrebne, da lahko izdelamo količinsko prostorsko analizo padavin in z njimi povezanih spremenljivk, vključujoč spremenljivke o kakovosti, z dovolj veliko prostorsko ločljivostjo in v vseh mogočih časovnih skalah od nekaj minutnih intervalov do nekaj deset let. S tako dobljenimi analizami poiščemo povezanost s pretoki na površinskih in podzemnih vodotokih, oziroma izdelamo vodno bilanco, katere rezultat je podrobno vedenje o razpoložljivi vodi in njeni kakovosti s kar se da dobro prostorsko ločljivostjo.

Za doseganje smotra potrebujemo dovolj merilnih postaj, ki merijo posamezne spremenljivke v zraku in na vodotokih. Take merilne postaje so meteorološke postaje, ki razen padavin merijo še druge spremenljivke, potrebne za analizo in napoved vremena ter voda, padavinske postaje, ki merijo padavine, hidrološke merilne postaje na površinskih vodotokih, ki merijo pretoke in druge spremenljivke, vključujoč kakovost

vode ter hidrološke merilne postaje na podzemnih vodah, ki merijo stanje podtalnice in njeno kakovost. Vse našete merilne postaje merijo točkovno in te podatke je potrebno kasneje analizirati v prostoru. Ker gostota takih postaj, predvsem padavinskih, v zelo razgibanem reliefu, kot je slovenski, nikoli ni dovolj velika, si pomagamo še z meteorološkim radarjem, ki med drugim daje tudi prostorsko sliko količinske porazdelitve padavin. Za pripravo ustreznih prostorskih in časovnih analiz podatkov, pridobljenih z mreže merilnih postaj in vključitev teh v numerične meteorološke in hidrološke modele za pripravo analiz in napovedi, potrebujemo ustrezno računsko moč.

Uporaba informacij o vremenu in vodah

Zakaj potrebujemo več vedenja o vremenu, podnebjju in razpoložljivosti vode? Že pravilo dobrega gospodarjenja narekuje kar se da podrobno upoštevanje naravnih danosti pri načrtovanju kakršnekoli dejavnosti. Na žalost lahko ugotovimo, da v preteklosti tega pravila pogosto nismo spoštovali. Kot primer naj navedemo ravne strehe, ki niso primerne na območjih z veliko količino padavin in veliko temperaturno spremenljivostjo. Pri nas jih je kar nekaj in z vsemi so težave. Izboljšani podatki so potrebni na primer za boljše načrtovanje izolacije pred toplotnimi izgubami, za načrtovanje naklona in nosilnosti streh, za kanalizacijo – odvod meteorne vode itd.

Predvsem potrebujemo boljšo oceno vodne bilance, ki je osnova za dobro gospodarjenje z vodo. Obdobje in letne vodne bilance so rezultat proučevanja časovne in prostorske razporeditve količin vode, predvsem površinske vode, ki je najbolj dinamična oblika vodnih zalog. Z vodno bilanco spremljamo spreminjanje elementov hidrološkega kroga v izbranem časovnem terminu (leto, obdobje). Vodna bilanca je preko usklajevanja bilančnih členov (padavine, evapotranspiracija, dotok, odtok, spreminjanje zalog podzemne vode) tudi ena od višjih oblik kontrole podatkov hidroloških in meteoroloških meritev.

Meteorološke in hidrološke informacije ter napovedi niso pomembne le za gradbeništvo in gospodarjenje z vodami, po navedbah Svetovne meteorološke organizacije imajo velik vpliv na številna področja:

- kmetijstvo (prilagajanje agrotehničnih ukrepov vremenu, namakalni sistemi, zmanjšanje vremensko pogojenih bolezni in škodljivcev, spremljanje suše);
- energetika (upravljanje s kapacitetami in viri);
- gospodarstvo (upravljanje z vodnimi viri);
- prilagajanje ukrepov za zaščito zdravja prebivalstva vremenu in podnebjju;
- letalski in kopenski promet in transport;
- turizem in rekreacija;
- civilna varnost.

Kadar govorimo o dejavnostih in ukrepih za zmanjšanje ali celo preprečitev posledic naravnih nesreč, ki jih povzročata izjemno vreme, imamo v mislih predvsem dejavnosti, navedene v prvem smotru, saj lahko na osnovi tam omenjenih podatkov in analiz izdelamo podrobne karte ranljivosti za posamezne vremenske ujme. Predvsem je pomembno tako prostorsko načrtovanje, ki najbolj zmanjša tveganje za vremensko povzročeno škodo. Z dobrimi rezultati, dobljenimi pod prvim smotrom, lahko na primer podrobno določimo območja z večjim ali manjšim poplavnim tveganjem. Podobno lahko določimo področja z večjim tveganjem na primer za sušo, zemeljske plazove itd. Prepoznana območja tveganja lahko s pridom uporabimo za smotno gradnjo objektov – na takšnih območjih je ob morebitni gradnji potrebno izvesti zaščitne ukrepe glede na ugotovljeno stopnjo ranljivosti oziroma tveganja. Na ta način že temeljito zmanjšamo posledice vremenskih ujm, vključujoč poplave in suše.

Naslednji pomemben dejavnik pri zmanjševanju škode je pripravljenost širše skupnosti. Ljudje morajo biti seznanjeni z naravo in lastnostmi posameznih potencialnih vremensko pogojenih nesreč, saj se le tako lahko ustrezno organizirajo. To bomo dosegli z objavljanjem analiz in ugotovljenih lokalno pogojenih posebnosti. Najpomembnejše je vsekakor zanesljivo informiranje. Za opozarjanje pred prihajajočo ujmo mora biti odgovoren en sam pooblaščen center. Običajno je to državna meteorološka služba, kadar gre za vreme in državna hidrološka služba, kadar gre za vode. V Sloveniji je v obeh primerih odgovoren ARSO, ki je izvajalec državne meteorološke in hidrološke službe.

Priprava projekta

Na ARSO smo se na projekt začeli pripravljati že pred vstopom Slovenije v EU. Obris in obseg projekta je postal bolj jasen v začetku leta 2007, to je prvega leta finančnega obdobja EU 2007–2014. Ker smo želeli izvajanje projekta že v tem finančnem obdobju, smo že v začetku leta 2007 vladi predložili predlog projekta. Vlada Republike Slovenije je avgusta 2007 projekt potrdila. Potem smo nadaljevali s pripravami projektne naloge. Pripravili smo študijo izvedljivosti, ki je bila osnova za prijavo projekta za sofinanciranje iz evropskih sredstev. V študiji izvedljivosti z naslovom »Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja« smo navedli naslednje osnovne cilje:

- nadgradnjo mreže merilnih postaj za podzemne in površinske vode ter mreže meteoroloških postaj;
- izgradnjo prizidka za laboratorije in zagotovitev prostorov za Službo za morską meteorologijo in oceanografijo;
- razvoj in postavitve modelov za: podzemne vode, spremljanje suše, površinske vode in simuliranje tokov v Jadranskem morju in vzajemnega vplivanja morja na ozračje ter obratno;
- nakup opreme za merilne postaje, računski center in nadgradnjo meteorološke radarske mreže v Sloveniji; in
- obveščanje javnosti o projektnih dejavnostih.

Sklep o sofinanciranju je Evropska komisija izdala 25. maja 2010. Predviden zaključek projekta je bil konec leta 2015. Predvideni stroški so bili ocenjeni na 34 milijonov EUR. Denarna sredstva za financiranje projekta so bila zagotovljena v Proračunu Republike Slovenije, na proračunskih postavkah ARSO, in sicer:

- PP št. 9537 - SSSV – Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v RS – 07-13 – udeležba Evropske unije 85 %, in
- PP št. 9431 - SSSV – Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v RS – 07-13 – slovenska udeležba 15 %.

Projekt je torej delno financirala Evropska unija, in sicer iz Kohezijskega sklada. Izvajali smo ga v okviru Operativnega programa razvoja okoljske in prometne infrastrukture za obdobje 2007–2013, razvojne prioritete »Varstvo okolja–področje voda«; prednostna usmeritev »Zmanjševanje škodljivega delovanja voda«.

Z odobritvijo sredstev za financiranje projekta sta se meteorološka in hidrološka služba v Sloveniji znašli pred najbolj obširno modernizacijo v vsej svoji zgodovini. Po končanem projektu se bo znatno povečala sposobnost državne meteorološke in hidrološke službe za spremljanje vremenskih pojavov ter stanja voda ter bolj učinkovito opozarjanje pred izjemnimi vremenskimi pojavi, ki imajo lahko škodljive posledice.

Rezultati projekta

Samodejni merilni sistem

Samodejni merilni sistem (SMS) je s stališča informatike del širšega informacijskega sistema ARSO. V okviru projekta BOBER se je število lokacij s samodejnimi merilnimi postajami povečalo na preko 350, saj je bilo v okviru projekta postavljenih 281 novih samodejnih postaj. Nove merilne postaje predstavljajo največji doprinos projekta k boljši analizi vremena in voda, bolj zanesljivim vremenskim napovedim ter napovedim stanja voda. Vse to omogoča bolj učinkovito opozarjanje pred nevarnimi vremenskimi pojavi in vodnimi ujmani. SMS je sestavljen iz sledečih komponent:

- merjenje in obdelava podatkov,
- prenos in shranjevanje podatkov,
- zagotavljanje kakovosti podatkov,
- upravljanje merilnih postaj.

Vse zgoraj naštetje komponente SMS so razvili strokovnjaki na ARSO. Tako je samodejna merilna postaja in celoten SMS plod lastnega razvoja. Slika 3 predstavlja pogled na tako postajo.



Slika 3. Pogled na notranjost samodejne merilne postaje pred namestitvijo na terenu. (vir: ARSO)

Merjenje in obdelava podatkov

Osrednji del vsake merilne postaje je industrijski računalnik z operacijskim sistemom Linux. Merilniki za merjenje posamezne spremenljivke so povezani s posebnim ožičenjem. Pri tem je zelo pomembna pravilna izvedba strukturiranega ožičenja med merilnikom in računalnikom, da ne pride do vplivov iz okolice. Na računalniku je nameščen programski modul za komunikacijo z merilniki in pretvorbo signala, ki ga proizvede merilnik, v obliko, primerno za prenos v informacijski sistem ARSO. Na meteoroloških postajah in postajah za podzemne vode je praviloma za vsako merjeno spremenljivko po en merilnik, na hidroloških postajah

pa sta nameščena dva merilnika za vodostaj, odbojni in klasični, s čimer je zagotovljeno nemoteno izvajanje meritev kljub morebitni okvari enega od merilnikov. Posebej je potrebno omeniti, da na vseh merilnih postajah, hidroloških, meteoroloških in postajah za merjenje podzemnih voda uporabljamo isti tehnični koncept merilne postaje. Slika 4 predstavlja del opreme v laboratoriju, kjer vsako postajo preiskusijo pred montažo na terenu.

Prenos in shranjevanje podatkov

Merilne postaje so povezane v omrežje samodejnih merilnih postaj, ki je del omrežja za prenos podatkov v ARSO. Prenos podatkov z merilnega mesta poteka s pomočjo protokola ftp na zbirni strežnik v računskem centru ARSO, kjer se shranjujejo in arhivirajo surovi podatki celotnega omrežja. V računskem centru ARSO poteka nadaljnje polnjenje podatkovnih zbirk za hidrologijo in meteorologijo.

Fizične povezave v omrežju za prenos podatkov potekajo preko omrežja državne uprave in Telekomovega VPN IP/MPLS omrežja (ADSL priključek), kjer so lokacije vključene v zasebno omrežje z vstopno točko APN: arso.si. Komunikacije z merilnimi postajami niso podvojene, razen na postajah, kjer so podatki zelo pomembni za spremljanje stanja in ki imajo poleg ADSL kot osnovni priključek še Telekomov GPRS/UMTS vmesnik za rezervo.

Zagotavljanje kakovosti podatkov

K zagotavljanju kakovosti podatkov sodi predvsem:

- redno umerjena in preverjena oprema,
- vzdrževana merilna mesta,
- izvajanje kontrol izmerjenih podatkov.

Ves mehanizem upravljanja umerjanj merilne opreme in vzdrževanja merilnih mest je zajet v posebnem podpornem sistemu ISMM¹, kjer se zapisujejo vsi dogodki na merilnih mestih. Zelo je pomembno sledenje stanja opreme in vzdrževalnih posegov, zato je vsaka instalacija ali zamenjava opreme zaradi okvar zapisana v sistem ISMM. Večino umerjanj merilnih naprav opravi akreditirani umerjevalni laboratorij na ARSO, ki je bil v okviru projekta BOBER tudi posodobljen (glej poglavje o umerjevalnem laboratoriju).

Kontrola podatkov se začne že na sami postaji, kjer se izvedejo kontrole na ravni posameznega vzorca, ki ga senzor izmeri. Rezultat kontrole se zabeleži v statusu meritve, ki se zapiše v datoteko poleg samih meritev s postaje. Nadaljnje kontrole se izvedejo v osrednjem računskem centru na ARSO v več stopnjah. Takoj ob ali po vpisu novo prispelih podatkov v bazo se izvedejo

1 Informacijski sistem merilnih mrež



Slika 4. Del infrastrukture v laboratoriju za sestavljanje, popravljanje in preizkušanje samodejnih merilnih postaj. (vir: ARSO)

osnovne logične kontrole kot so kontrola časa prihoda podatkov, kontrola mejnih vrednosti spremenljivk, skozi med podatki v zaporednih časovnih intervalih in podobno. Pri teh kontrolah dobi posamezen podatkovni zapis kontrolni status, ki služi kot osnova za opozorilo na grafičnem prikazu podatkov. Ta prikaz je realiziran v sklopu aplikacije, ki kontrolorju podatkov omogoča grafični prikaz podatkov s samodejnih merilnih postaj, popravljanje podatkov in zagotavlja sledljivost sprememb in nastavljanje parametrov za kontrolo podatkov (mejne vrednosti sprememb merilnih spremenljivk, alarmne vrednosti).

Logični kontroli sledi zahtevnejša kontrola na osnovi primerjav med različnimi postajami, kjer upoštevajo tudi podatke, dobljene s kontrolnimi odčitki opazovalcev. Tako kontrolirane podatke zapišejo v uporabniško bazo podatkov.

Upravljanje merilnih postaj

Merilne postaje nadzorujemo in upravljamo s pomočjo:

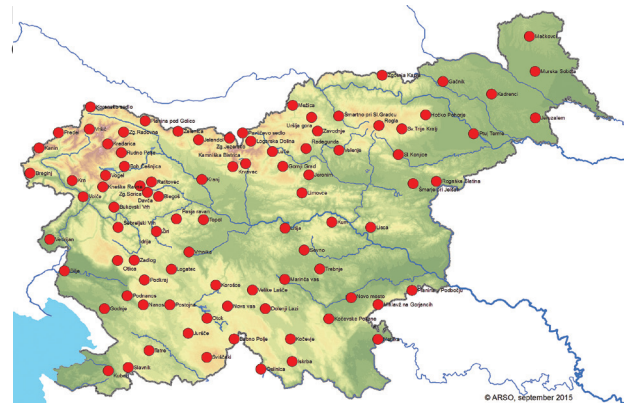
- nadzornega sistema, ki samodejno preverja delovanje merilnih postaj in opozarja na napake in nedelovanje. Po posredovanem obvestilu o nedelovanju se v posebno podatkovno zbirko vpiše obratovalni dogodek, na osnovi katerega ukrepajo vzdrževalci merilne postaje.

- sistema ISMM in sistema obratovalnih dogodkov ODA². V sistemu ODA se vodijo in spremljajo vsi obratovalni dogodki, vključno s samodejno ugotovljenimi neskladji med podatki v podatkovni zbirki ISMM in podatki o senzorjih, ki jih vzdrževalci merilne postaje vpisujejo na lokaciji postaje. V podatkovni zbirki ISMM se vodi osnovna konfiguracija merilnih postaj: podatki o proizvajalcu, tipu naprave, spremenljivke, ki jih naprava meri in časovne intervale umerjanja za vsako merjeno spremenljivko. Sistem vzdrževalni službi in umerjevalnemu laboratoriju samodejno pošilja obvestila o pretečenih časovnih intervalih umerjanja posameznih merilnih naprav in omogoča spremljanje stanja merilnih naprav.
- shrambe namestitvenih paketov, od koder se zadnji programski paketi za delovanje posameznega merilnega senzorja preko mreže za prenos podatkov namestijo na računalnik na merilnem mestu. Tak pristop zagotavlja enotnost posameznih tipov merilnih postaj.

Nadgradnja merilne mreže

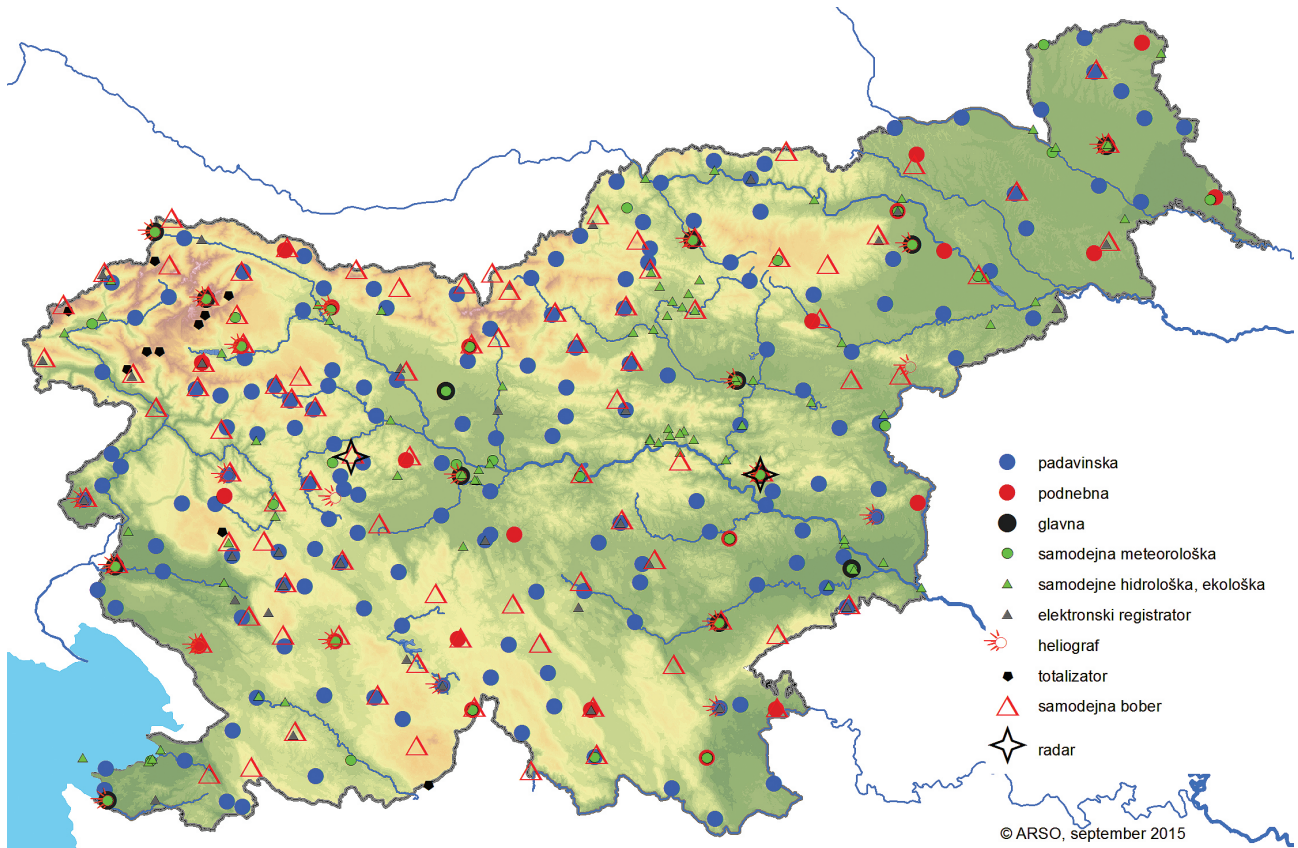
Posodobitev in nadgradnja meteorološke merilne mreže

V okviru projekta smo zgradili 90 samodejnih postaj, med njimi 39 na starih lokacijah ter 51 na novih. Slika 5 prikazuje lokacije vseh meteoroloških postaj ob koncu leta 2015. Že na prvi pogled vidimo, da postaje niso enakomerno porazdeljene po celi državi. Pri načrtovanju merilne mreže smo upoštevali hribovitost – tako lahko opazimo večje število novih postaj na alpsko-dinarski pregradi in v zaledju Kamniških Alp. Na teh območjih se zaradi orografskega vpliva prožijo procesi z izrazitimi padavinami in zato za pravočasno spremljanje in opozarjanje s teh območij potrebujemo podatke iz bolj goste mreže merilnih postaj. Stara mreža je imela zelo slabo pokrita višje ležeča območja,



Slika 5. Lokacije nadgrajenih in na novo zgrajenih meteoroloških postaj v okviru projekta BOBER. (vir: ARSO)

² Sistem za vodenje obratovalnih dogodkov na mreži merilnih postaj



Slika 6. Celotna mreža meteoroloških merilnih postaj konec leta 2015. (vir: ARSO, 2015).

Razvoj informacijskih tehnologij v zadnjem času je omogočil široko uporabo samodejnih postaj in v projektu BOBER so samodejne postaje zamenjale ročne meritve na nekaterih podnebnih in padavinskih postajah. Slika 6 prikazuje celotno meteorološko merilno mrežo v Sloveniji konec leta 2015. Postaje, zgrajene v okviru projekta BOBER, smo označili z rdečimi trikotniki. Kjer rdeči trikotnik prekriva na primer modro piko, pomeni, da je samodejna postaja, zgrajena v okviru projekta, nadomestila dosedanje padavinsko.

Na novih postajah, postavljenih tudi na lokacijah do-

sedanjih padavinskih ali podnebnih postaj, večinoma vidimo postavitev merilnih naprav, prikazano na sliki 7. Vse meteorološke merilne postaje v okviru projekta so priključene na javno električno omrežje. Bistvena tehnična sprememba v primerjavi s starim opazovalnim sistemom je povezava posameznih merilnikov z optičnim kablom s samodejno postajo, ki je postavljena v opazovalnem prostoru, kar močno zmanjša izpostavljenost naprav električnim razelektritvam v ozračju in tako poveča zanesljivost delovanja tudi v izjemnih razmerah (ob nevihtah).



Slika 7. Značilna postavitev merilnih naprav na Bobrovi meteorološki postaji – v Zadlogu, kjer poleg padavin merimo še temperaturo zraka na 2 m, vlažnost zraka na 2 m ter globalno in difuzno sončno obsevanje. (vir: ARSO)

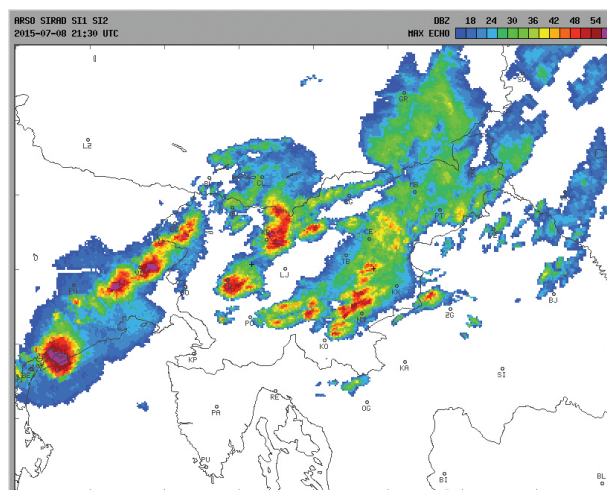


Slika 8. Zamenjava antene na obstoječem radarju na Lisci v okviru posodobitve radarske mreže. (vir: ARSO).

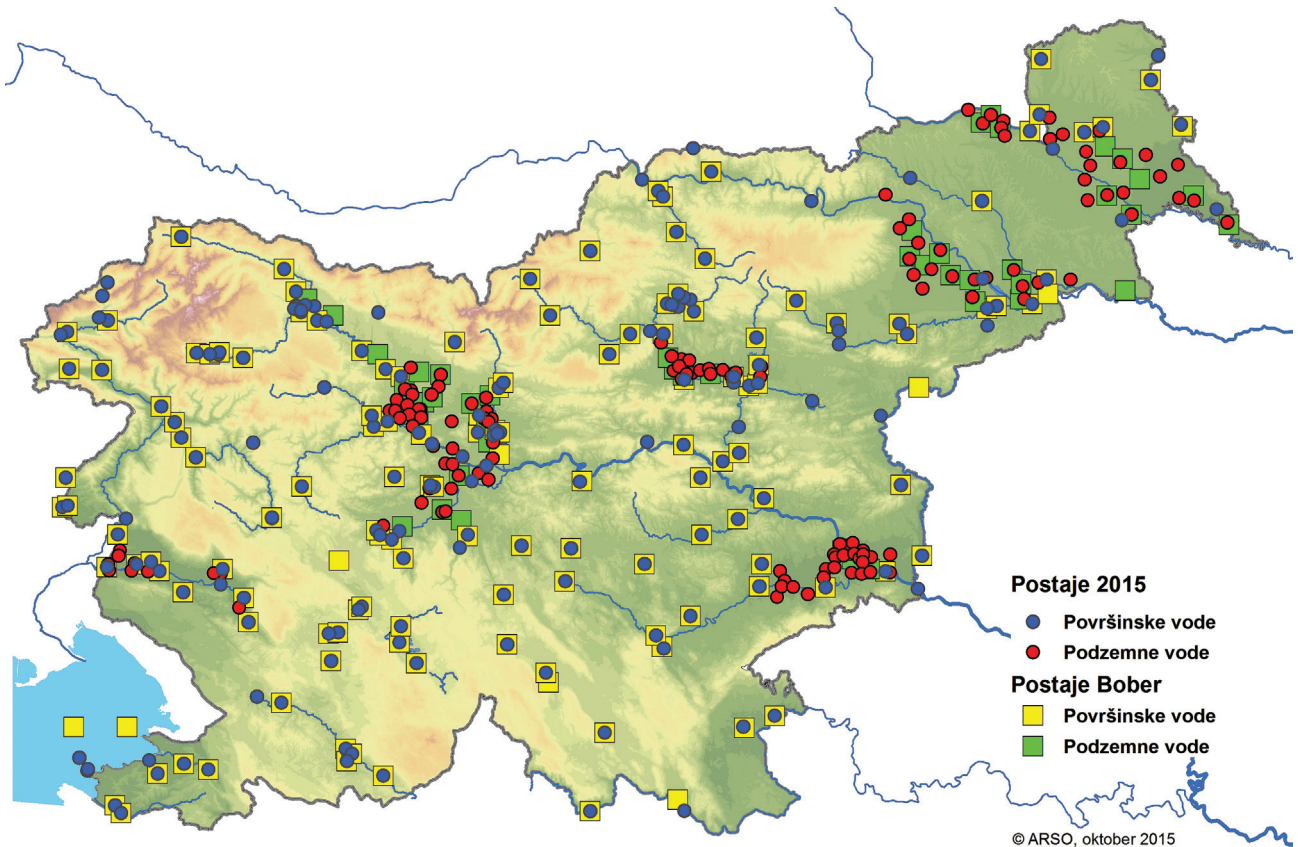
Posodobitev in nadgradnja radarske mreže

Radarsko omrežje v Sloveniji je do izvedbe projekta BOBER sestavljalo radar na Lisci in center za obdelavo radarskih podatkov na sedežu ARSO v Ljubljani. V centru za obdelavo radarskih podatkov smo sprejemali tudi podatke radarja iz Fossalona v Italiji, avstrijskega radarja na Zirbitzkoglu v Avstriji in hrvaškega radarja na Bilogori. Iz vseh teh virov smo lahko sestavili integrirano radarsko sliko, vendar kakovost take slike zaradi časovno neusklajenega delovanja radarjev in njihovih različnih merilnih lastnosti ni bila dovolj dobra. Zaradi tega smo posodobili obstoječi radar na Lisci (slika 8) in na Pasji ravni, tromeji

občin Dobrova - Polhov Gradec, Gorenja vas - Poljane in Škofja Loka, postavili drugi radar (slika 9), ki po tehničnih lastnostih tvori par z radarjem na Lisci. Oba radarja sestavljata usklajen, sočasno delujoč par z enakimi merilnimi lastnostmi, kar zagotavlja neprekinjene in primerljive meritve. Rezultat je integrirana radarska slika, ki pokriva celotno Slovenijo in bližnjo okolico. Razen integrirane slike padavin je pomembna pridobitev novega sistema tridimenzionalno merjenje vetra, kar bo dragocen vhodni podatek v modele za napovedovanje vremena. Slovensko radarsko omrežje je vključeno v evropsko omrežje, sestavljeno iz več kot 150 vremenskih radarjev, ki jih upravljajo državne meteorološke službe.



Slika 9. Levo: radarski stolp z dvema zabojnikoma na Pasji ravni. Desno: Radarska slika, sestavljena iz meritev obeh radarjev, ki predstavlja največje odboje dne 8. julija 2015 ob 21:30 (vir: ARSO)



Slika 10. Lokacije celotne hidrološke merilne mreže po končanju projekta BOBER konec leta 2015. (Vir: ARSO)

Posodobitev in nadgradnja hidrološke merilne mreže na površinskih in podzemnih vodah

Gradnja novih in posodobitev že obstoječih hidroloških merilnih mest na površinskih in podzemnih vodah pomenita kakovostnejše pridobivanje podatkov o vodnih količinah, zalogah, stanjih, pretočnih režimih voda in temperaturi vode. Pridobljeni podatki so podlaga za spremljanje vodnega stanja in napovedovanje hidrološkega stanja vodotokov ter opozarjanje ob izrednih hidroloških razmerah. V okviru projekta smo obnovili 133 obstoječih merilnih postaj na površinskih vodah in zgradili 12 novih, skupno torej 145 samodejnih

merilnih postaj. Po končanem projektu BOBER je tako 179 samodejnih merilnih mest na površinskih vodah. Slika 10 prikazuje celotno merilno mrežo na površinskih in podzemnih vodah po končanem projektu. V podporo spremljanju dogodkov na morju smo postavili dve novi boji. Na podzemnih vodah smo obnovili 14 postaj in zgradili 32 novih, tako da je skupno 46 samodejnih postaj.

Na merilnih mestih za površinske vode smo utrdili brežine, klasične late za odčitavanje višine vodostajev pa so zamenjale stopnice. Slika 11 prikazuje postajo na Temenici, kjer lahko vidimo srce postaje - samodejno postajo s senzorji, ki jo z električno energijo oskrbuje foto-električna plošča.



Slika 11. Hidrološka merilna postaja na Temenici. (vir: ARSO)



Slika 12. Samodejna postaja za merjenje spremenljivk podzemnih voda v Radovljici. (vir: ARSO)

Merilne postaje na podzemnih vodah razen višine podtalnice merijo tudi spremenljivke kakovosti. Vsaka merilna postaja ima vsaj eno vrtino, dovolj globoko, da seže do podtalnice. V vrtino je vstavljena cev, v kateri so senzorji za odvzem podatkov. Senzorji so z ožičenjem povezani z merilno postajo nad tlemi, ki jo z električno energijo praviloma oskrbuje foto-električna plošča. Na sliki 12 je predstavljena taka postaja.

Izgradnja prizidka za laboratorije in zagotovitev prostorov za Službo za morsko meteorologijo in oceanografijo

Razen zagotavljanja podatkov o količini padavin in pretokih vode v slovenskih rekah je potrebno zagotoviti tudi podatke o kakovosti padavin, površinskih in podzemnih voda. Prostori kemijskega laboratorija, kjer smo v preteklosti izvajali meritve kakovosti, so bili prostorsko pretesni in tehnično neustrezni, saj je bilo v pisarniških prostorih težko zagotoviti dobro okolje za tehnološko zahtevne naprave. Neustrezni so bili tudi prostori, namenjeni umerjanju merilnih naprav, tako za potrebe meteorološke, kakor tudi hidrološke merilne mreže. Zaradi tega smo v okviru projekta BOBER zgradili nov prizidek (slika 13), kjer je novi laboratorij za kemične analize zraka in voda, biološki laboratorij ter laboratorij za umerjanje merilnih naprav.

Umerjevalni laboratorij

Osnovni namen dejavnosti umerjevalnega laboratorija je zagotavljanje kakovosti izmerjenih podatkov, ki jih uporabljamo pri obveščanju javnosti, modelih za napovedovanje vremena in stanja voda, podnebnih in ekoloških analizah, prometu, kmetijstvu itd. Prvi steber zagotavljanja kakovosti merilnih podatkov je redno umerjanje merilnih instrumentov v meteorološki, hidrološki in ekološki merilni mreži ARSO ter na slovenskih mednarodnih letališčih.

Umerjevalni laboratorij je akreditiran v skladu s standardom ISO/IEC 17025 za področje umerjanj temperaturnih merilnih instrumentov, merilnih instrumentov zračnega tlaka, relativne vlažnosti zraka ter spremenljivk kakovosti zraka: ozona, žveplovega dioksida, dušikovega oksida in ogljikovega monoksida. Področja, ki jih je umerjevalni laboratorij v preteklosti pokrival samo delno, so meritve jakosti padavin, merilni instrumenti kratkovalovnega sončnega sevanja in hidrostatičnega tlaka. Svetovna meteorološka organizacija je leta 2005 umerjevalni laboratorij prepoznala in imenovala za regionalni instrumentacijski center, ki je pristojen za območje jugovzhodne Evrope. Vloga regionalnih centrov je zagotavljanje sledljivosti referenčnih instrumentov meteoroloških služb v regiji, organizacija primerjalnih meritev, organizacija seminarjev in delavnic s področja meroslovja v meteorologiji ter pomoč Svetovni meteorološki organizaciji pri standardizaciji na omenjenem področju.



Slika 13. Laboratorijski prizidek in opazovalni prostor za Bežigradom v Ljubljani. (vir: ARSO)



Slika 14. Naprave za umerjanje instrumentov za merjenje temperature. (vir: ARSO)

Dosedanji prostori umerjevalnega laboratorija so bili dotrajani, neustrezni in niso dopuščali nikakršne širitve dejavnosti. Zato je selitev v nove prostore laboratorijskega prizidka ključnega pomena pri nadaljnjem delu in razvoju umerjevalnega laboratorija. V sklopu projekta BOBER smo posodobili merilno infrastrukturo na področju umerjanja merilnih instrumentov fizikalnih spremenljivk in sicer temperature (slika 14), relativne vlažnosti zraka (slika 15), zračnega tlaka, jakosti padavin in kratkovalovnega sončnega sevanja. Poleg novih laboratorijskih referenčnih merilnih instrumentov in ključne merilne infrastrukture smo pridobili tudi vso spremljajočo merilno opremo, ki je nujno potrebna za izboljšanje merilnih in umerjevalnih zmogljivosti laboratorija ter povečanje učinkovitosti umerjevalnega laboratorija.

Meroslovne zmogljivosti umerjevalnih laboratorijev se izražajo kot umerjevalne in merilne zmogljivosti (ang. Calibration and measurement capabilities) in so priložna akreditacijski listini (preglednica 1).

Nova vrhunska merilna infrastruktura in posledično ustrezno izboljšane meroslovne zmogljivosti Umerjevalnega laboratorija nas uvrščajo v sam vrh med meteorološkimi službami v svetu in tudi ob bok nacionalnim meroslovnim ustanovam.

Kemijsko-analitski in biološki laboratorij

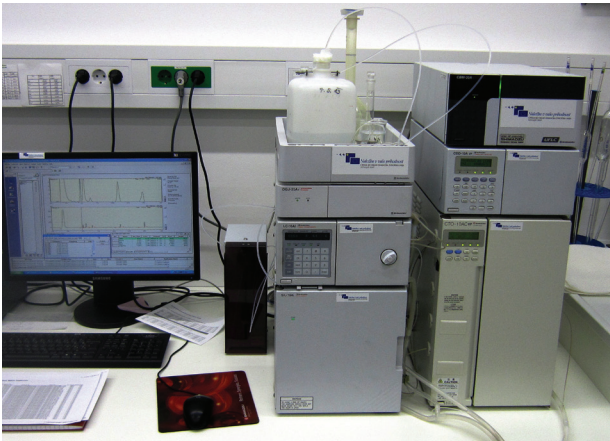
Glede na vedno večje zahteve po spremljanju kakovosti zraka in voda kemijski in biološki laboratorij v starih prostorih nista mogla izvrševati zahtevanih analiz. Laboratorija v novih prostorih sta bogatejša za vrsto visoko-tehnoloških in naprednih laboratorijskih instrumentov, ki ustrezajo najnovejšim analitskim standardom. Z njimi smo omogočili bolj kakovostno opravljanje meritev in analize kemičnih in bioloških spremenljivk vode in zraka. Na sliki 16 je prikazan ionski kromatograf, ki ga uporabljamo za določevanje glavnih ionov



Slika 15. Komora za umerjanje instrumentov za merjenje zračne vlage. (vir: ARSO)

Preglednica 1. Meroslovne zmogljivosti prenovljenega umerjevalnega laboratorija.

spremenljivka	merilno območje	umerjevalna in merilna zmogljivost (k=2)
temperatura		
trojna točka vode	0,01 °C	0,6 mK
tališče galija	29,7646 °C	0,9 mK
uporovni termometri	-50 °C ÷ 50 °C	12 mK
tekočinski termometri	20 °C ÷ 50 °C	20 mK
termografi	-20 °C ÷ 50 °C	0,65 °C
rel. vlažnost zraka pri temperaturi 20 °C	10 % ÷ 95 %	0,9 %
zračni tlak	600 hPa ÷ 1200 hPa	$1,3 \cdot 10^{-5} \cdot p + 6 \text{ Pa}$
spremenljivke kakovosti zraka		
vsebnost CO	0 - 15 ppmv	0,07 ppm + $0,016 \cdot c_{CO}$
vsebnost SO ₂	0 - 500 ppbv	0,8 ppb + $0,021 \cdot c_{SO2}$
vsebnost NO	0 - 500 ppbv	0,9 ppb + $0,031 \cdot c_{NO}$
vsebnost NO ₂	0 - 500 ppbv	1,5 ppb + $0,02 \cdot c_{NO2}$
vsebnost O ₃	0 - 500 ppbv	2,6 ppb + $0,024 \cdot c_{O3}$



Slika 16. Ionski kromatograf IC Shimadzu. (vir: ARSO)

v padavinah, delcih PM in vodah in gotovo spada med pomembnejše pridobitve novega laboratorija.

Ločeno izvajamo analize natrijevih, kalijevih, magnezijevih, kalcijevih in amonijevih kationov. S podobnim aparatom (Dionex DX 120) izvajamo analize anionov kloridov, sulfatov in nitratov. V trdih delcih PM, ki nastajajo pri kurjenju fosilnih goriv, izvajamo z napravo Dionex ICS-3000 analizo sladkorjev in analizo nitratov v vzorcih morja (slika 17).



Slika 17. Plinski kromatograf z masno selektivnim detektorjem uporabljamo za določitev PAH (polcikličnih aromatskih ogljikovodikov) v padavinah in delcih PM. (vir: ARSO)

Služba za morsko meteorologijo in oceanografijo

Slovenija je pomorska država in ARSO si je že dolgo prizadeval, da bi vzpostavil službo za morsko meteorologijo in oceanografijo, kjer bi izdajali informacije o vremenu na morju in stanju morja. Posebno pomembna so pravočasna opozorila o neurjih nad morjem, saj v severnem Jadranu posebej v toplem delu leta pluje veliko število majhnih plovil, ki so zelo občutljiva za viharo vreme.

V projektu BOBER smo zagotovili infrastrukturo in tehnične osnove za tako službo. Kakor lahko vidimo na sliki 9 desno, integrirana radarska slika obeh radarjev pokriva celotni severni del Jadranskega morja in omogoča spremljanje razvoja morebitnih nevarnih nevihtnih oblakov. V naslednjem poglavju bomo videli, da smo razvili in postavili model za simuliranje tokov ter vzajemno vplivanje morja in ozračja v Jadranskem morju. To orodje nam omogoča sprotno spremljanje in napovedovanje stanja vremena in morja. Za lažjo komunikacijo z uporabniki teh informacij na morju, smo v okviru projekta zagotovili tudi potrebne prostore ob morju v Izoli (slika 18). Na ta način smo zagotovili tehnično in prostorsko osnovo za razvoj te službe.

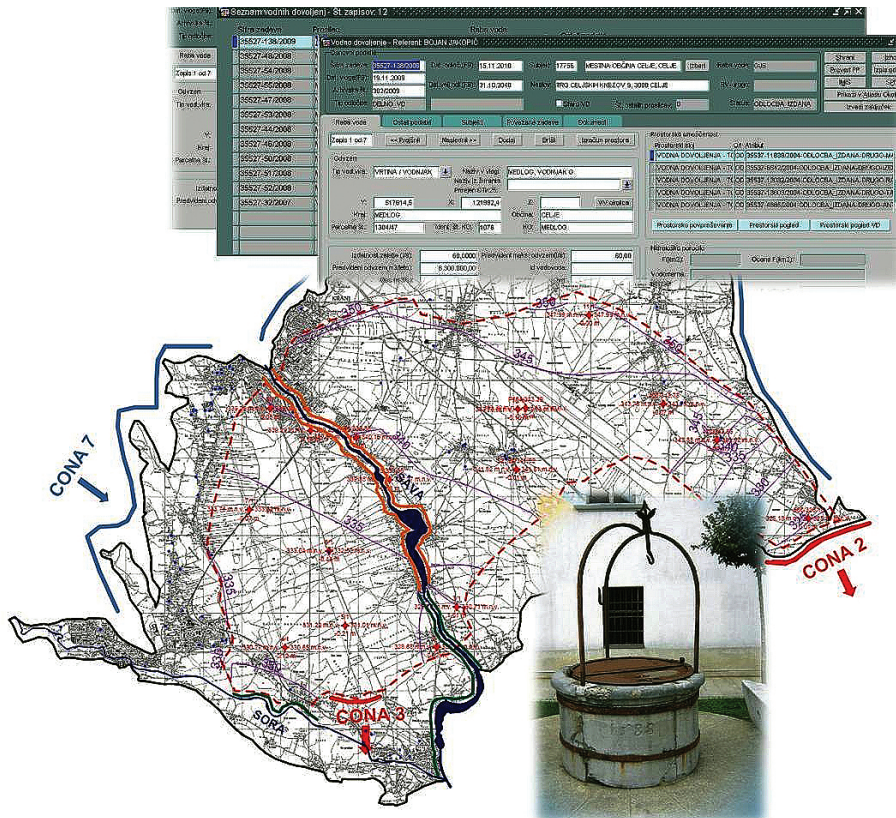


Slika 18. Vhod v prostore Službe za morsko meteorologijo in oceanografijo v Izoli. (vir: ARSO)

Razvoj in postavitve modelov za podzemne vode, spremljanje suše, površinskih voda in simuliranje tokov v Jadranskem morju in vzajemnega vplivanja morja in ozračja

Model za podporo odločanju na aluvialnih telesih podzemnih voda Slovenije

Model ali numerični sistem za podporo odločanju pri upravljanju podzemnih voda na aluvialnih vodonosnih povezujeh model toka podzemne vode z zbirko vodnih dovoljenj in koncesij, kar omogoča ocenjevanje razpoložljivih količin podzemne vode v postopku izdaje vodnih dovoljenj in zagotavlja trajnostno rabo podzemne vode. Na ta način smo dobili orodje, s katerim lahko spremljamo in preverjamo podeljevanje vodnih pravic. V postopku pridobitve informacije o količini razpoložljive vode na določenem kraju sistem uporablja podatke iz zbirke vodnih dovoljenj in koncesij (vodna knjiga) ter zagotavlja mehanizem za nadzor gladine podzemne vode v konkretnem kraju.

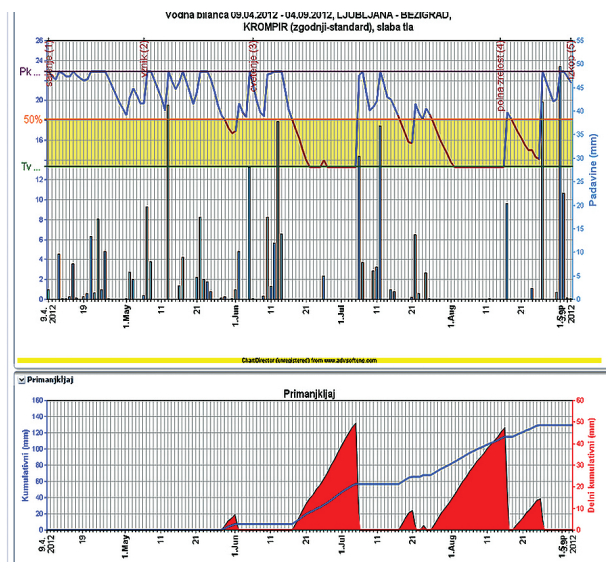


Slika 19. Uporabniški vmesnik sistema za odločanje na podzemnih vodah. (vir: ARSO)

Sistem za spremljanje kmetijske suše

V času, ko so podnebne spremembe pri nas vedno bolj izrazite, pričakujemo vedno pogostejši zgornji in spodnji ekstrem količine padavin. Srečujemo se z vedno bolj izrazitimi in dolgotrajnimi sušami. Suša poleg kmetijstva prizadene praktično vsa področja, predvsem pa vse dejavnosti, ki so povezane z vodo. Suša se pojavi po dolgotrajnem pomanjkanju padavin, torej za razvoj potrebuje relativno dolgo časovno obdobje. Prav zaradi tega smo v okviru projekta BOBER razvili

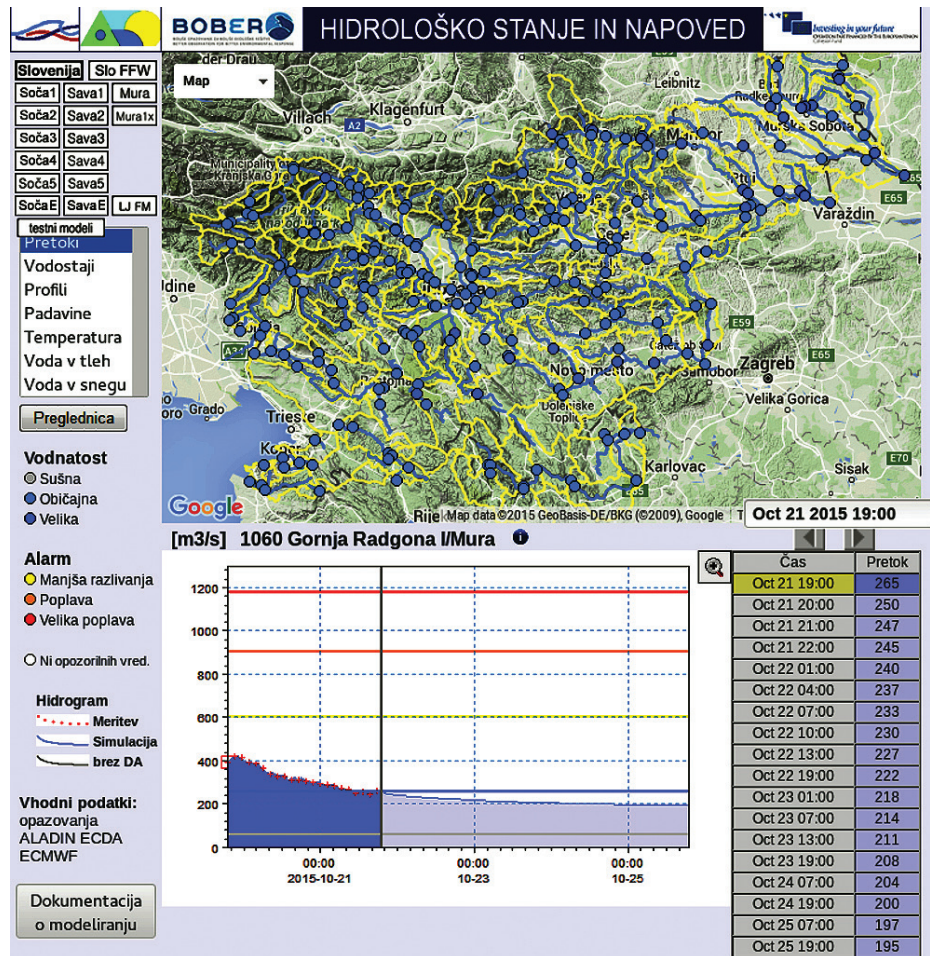
orodje za boljše spremljanje razvoja suše. Osnovni deli orodja so štirje moduli in sicer modul za sproten izračun vodne bilance, za upravljanje podatkov, analizo podatkov in rokovanje celotnega sistema. Najbolj pomemben dosežek je, da sistem poleg podatkov, izmerjenih v okviru ARSO, uporablja tudi druge podatkovne vire. V vegetacijski sezoni s pomočjo sistema izdelujemo desetdnevni (dekadni) bilten stanja vodne bilance kmetijskih tal v Sloveniji, ki ga objavljamo na spletnih straneh Agencije in pošiljamo tudi številnim uporabnikom. Na sliki 19 vidimo uporabniški vmesnik, na sliki 20 pa primer produkta, narejenega s tem orodjem.



Slika 20. Primer primanjkljaja vodne bilance za krompir za Bežigradom v Ljubljani dne 4. avgusta 2012 (vir: ARSO)

Sistem za sprotno simulacijo površinskega toka vode in pretokov v rečnih strugah

Z vzpostavitvijo sistema za hidrološko analizo in napovedovanje je služba za hidrološko napovedovanje dobila osnovno orodje za spremljanje in napovedovanje stanja slovenskih rek. Sistem obsega hidrološki model, ki izračuna površinski odtok zaradi padavin in hidrodinamični model, ki računa tok vode po koritih rek. S sistemom simuliramo tok v večini slovenskih porečij: Save, Soče, Drave in Mure. Modelske točke, v katerih računamo pretoke in vodostaje rek, so usklajene z merilno mrežo postaj na površinskih vodah. Pri tem uporabljamo tako postaje, ki so delovale pred projektom BOBER, kakor tudi te, ki smo jih zgradili s projektom. Vhodni podatki v sistem so poleg podatkov o izmerjenih vodostajih in pretokih tudi izmerjeni in napovedani podatki padavin in temperature zraka.



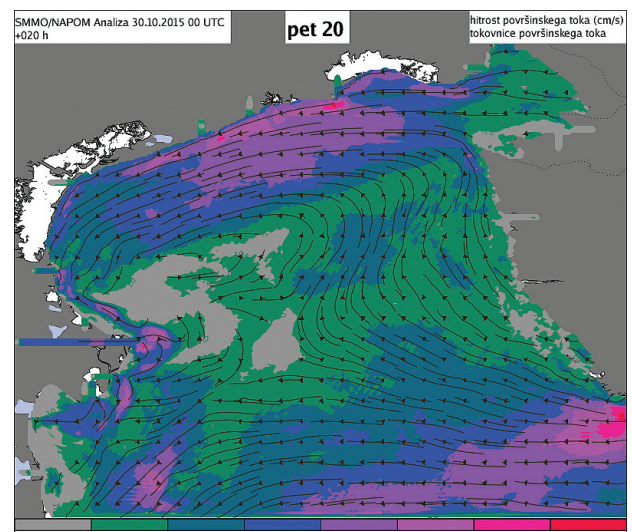
Slika 21. Uporabniški vmesnik sistema za hidrološko napovedovanje, ki ga pri pripravi hidroloških napovedi in opozoril uporabljajo kot osnovno orodje. (vir: ARSO)

Zanesljivost napovedi meteoroloških spremenljivk je ključnega pomena za zanesljivost hidrološke napovedi. Modele v sistemu poganjamo vsako uro, rezultati pa omogočajo pripravo hidrološke napovedi stanja slovenskih rek do šest dni vneprej. Slika 21 zgoraj predstavlja uporabniški vmesnik in rezultat ene poizvedbe.

Sistem za napovedovanje stanja morja

Napovedovanje stanja morja predstavlja nov mejnik pri zagotavljanju varnosti na morju in ob obali. V okviru projekta BOBER smo razvili sklopljen model, ki ga sestavljata oceanski in atmosferski model. Model pokriva celotno Jadransko morje in je osnovno orodje Službe za morsko meteorologijo in oceanografijo. Vsebinsko je model opisan v tej številki Vetrnice v rubriki Razprave. Sistem simulira valovanje morja, gibanje morskih tokov, astronomsko plimovanje morja in širjenje oljnih madežev. Uporabljamo ga kot osnovno orodje za analizo in pripravo napovedi višine gladine morja, gibanja morskih tokov, višine in smeri valovanja morja, temperature in slanosti morske vode. Poleg meteoroloških analiz in napovedi sistem uporablja tudi rezultate hidroloških analiz in napovedi.

Analize in napovedi stanja morja bodo dostopne širši javnosti, simulacije širjenja oljnih madežev pa so namenjene pristojnim službam za zaščito in reševanje.



Slika 22. Simulacija površinskega toka v severnem Jadranu dne 30. 10. 2015 ob 00 UTC za 20 UTC (vir: ARSO)

Računalniška infrastruktura

V okviru projekta BOBER se je zaradi nadgradnje merilne mreže hidroloških, podzemnih in meteoroloških postaj za več kot en velikostni red povečala količina podatkov, ki z merilne mreže samodejno prihaja v center za obdelavo podatkov na ARSO. Pred začetkom projekta je bilo samodejnih postaj veliko manj. Večina takih postaj je podatke izmerila in samodejno poslala v center ARSO vsake pol ure, torej smo z ene postaje dobili 48 polurnih podatkov dnevno. Nadgrajene in nove postaje v okviru projekta BOBER večinoma merijo več spremenljivk, čas vzorčenja se je s 30 minut zmanjšal na 10 minut. Poleg tega se je celokupno število samodejnih merilnih postaj skoraj potrojilo. Za obvladovanje toka podatkov smo posodobili računalniške zmogljivosti računskega centra na ARSO (slika 23).



Slika 23. Računalniška infrastruktura za obvladovanje toka podatkov in njihovo shranjevanje z sistemom za neprekinjeno napajanje. (vir: ARSO)



Razen računalnikov za obvladovanje in hrambo podatkov smo nabavili visoko-zmogljiv računalnik za poganjanje modelov za analizo in napoved vremena in voda (slika 24). Zanesljivost izračunov modelov, ki jih uporabljamo za pripravo vremenskih napovedi, je skoraj sorazmerna s količino vhodnih podatkov, z gostoto računske mreže posameznega modela in popolnejšimi opisi vremenskih procesov v modelih. Vse tri našteje stvari pa so močno povezane z računsko močjo računalnikov. Ker so rezultati izračunov modelov za pripravo napovedi in spremljanje vremenskega dogajanja potrebni v čim krajšem času, so za poganjanje takih modelov potrebni zelo zmogljivi računalniki. Zato smo v okviru projekta BOBER namestili enega najspodobnejših računalnikov v Sloveniji.



Slika 24. Visoko-zmogljiv računalnik za poganjanje računsko zahtevnih modelov, razvitih v okviru projekta BOBER. (vir: ARSO)

Vir

ARSO, Sirc P., 2008: Študija izvedljivosti za projekt »Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji.

10. Evropska konferenca aplikacij na področju podnebnih znanosti in 14. Letno srečanje Evropske meteorološke zveze

Tanja Cegnar



10. Evropska konferenca aplikacij na področju podnebnih znanosti je bila leta 2014 v Pragi. (foto: T. Cegnar)

V dneh od 6. do 10. oktobra 2014 se je v kongresnem centru hotela Clarion v Pragi odvijala 10. Evropska konferenca aplikacij na področju podnebnih znanosti in 14. Letno srečanje Evropske meteorološke zveze. Konferenca je potekala vzporedno v petih sekcijah, spremljali so jo tudi tako imenovani vzporedni dogodki.

Konferenca se je udeležilo 613 udeležencev iz 45 držav. Od tega je bilo največ Nemcev, in sicer 111, sledili so Čehi s 64 udeleženci. Iz Španije, Italije, VB in Francije se je konferenca udeležilo med 30 in 40 udeležencev. Celo iz ZDA je bilo na konferenci 13 udeležencev, prav toliko tudi iz Rusije. Iz Slovenije sva bila na konferenci prisotna z Gregorjem Vertačnikom. Omeniti moram še, da se je fotografija slovenskega meteorologa Marka Korošca uvrstila v izbor desetih najboljših fotografij na natečaju Evropske meteorološke zveze (EMS), izbrane fotografije so bile razstavljene v osrednjem prostoru konferenčnega centra.

Tokratna konferenca je bila v pretežnem delu namenjena podnebnju, kar je odražala vodilna tema

konferenca »Razvijati podnebne storitve v partnerstvu«. Velik poudarek smo že pri snovanju konference namenili Globalnemu okviru za podnebne spremembe. Vendar je konferenca poleg številnih podnebnju namenjenih sekcij tradicionalno vključevala tudi številne sekcije s področja numerične napovedi vremena, atmosferskega sistema in njegovih interakcij, komuniciranja in izobraževanja ter kariernega razvoja.

Na konferenci vsako leto podelimo tudi več nagrad s področja komuniciranja, v letu 2014 smo nagradili dva večja komunikacijsko-izobraževalna projekta, najboljši novinarski prispevek s področja meteorologije, izbrali smo tudi primere dobre prakse na področju televizijskih napovedi vremena. Ogledate si jih lahko na spletni strani EMS ali na zgoščenki s prispevki o posredovanju informacij.

V nadaljevanju izpostavljam dejavnosti, v katerih sem bila neposredno udeležena ali kot organizatorka ali kot izvajalka oz. povezovalka. Sekcijo za komuniciranje negotovosti in sekcijo za prilagajanje na podnebne spremembe sem soorganizirala skupaj s strokovnjaki

UK Met Office oziroma Evropsko agencijo za okolje. Kot že vrsto let sem organizirala, povezovala in predavala na medijski sekciji. Pri izvedbi delavnice o komuniciranju za državne meteorološke in hidrološke službe sem sodelovala kot predstavnica EMS, poleg tega sem organizirala in izpeljala vadbene delavnice za nastopanje v medijih za 20 udeležencev. Na sestanku programsko znanstvenega sveta konference EMS/ECAM 2015 smo se dogovorili, da tudi v letu 2015 na konferenci EMS/ECAM v Sofiji izpeljemo večino sekcij o izobraževanju in komuniciranju, ki jih usklajujem že vrsto let. V okviru Fundacije Harry Otten za spodbujanje inovativnih idej na področju meteorologije smo objavili prijavnice za nov cikel nagrad v znesku 25.000 € za prvo nagrado in 2500 € za predloge, ki se bodo uvrstili v ožji izbor.

Vez med meteorologi in uporabniki

Na kratko povzemam ključne ugotovitve s področja komuniciranja in posredovanja informacij uporabnikom, saj sem bila v ta del konference najbolj vpeta. Tudi najboljša informacija ni koristna, če ne doseže uporabnika in je ta ne razume ali ne more uporabiti. Večna dilema v strokovnih meteoroloških krogih je ali se mora uporabnik naučiti dovolj meteorologije, da bo razumel in lahko uporabil, kar mu meteorologi ponujamo, ali pa se moramo meteorologi potruditi, da informacijo oblikujemo na razumljiv in neposredno uporaben način. Predavatelji in predstavniki velikih mednarodnih institucij vse bolj izpostavljajo potrebo po uporabniku prilagojenih informacijah in storitvah, za kar je potrebno poznati potrebe in način delovanja tistega, ki so mu informacije namenjene.

Meteorologi še nikoli doslej nismo imeli na razpolago toliko orodij in pripomočkov za predstavitev rezultatov in nikoli doslej ni bilo na voljo toliko različnih medijev za posredovanje informacij. Kljub temu ankete, ki so jih izvedli med prebivalci po različnih državah, še vedno na prvo mesto postavljajo tradicionalne medije, kot sta televizija in radio, slednji je na prvem mestu



Daniela Jakob je izpostavila potrebe uporabnikov po razvoju podnebnih storitev. (foto: T. Cegnar)



Dominique Marbouty je povezoval strateška predavanja. (foto: T. Cegnar)

predvsem v jutranjih urah. Najbolj uporaben medij za širjenje informacij je internet. Kljub vse pogostejši uporabi družbenih omrežij, večina ljudi še vedno najbolj zaupa tradicionalnim medijem. Razvitih je že veliko vremenskih aplikacij za pametne telefone in z njimi možnosti za osebno izbiranje in prilagajanje informacij, ki jih potrebujemo. Vloga in pomen širjenja informacij prek SMS sporočil, ki so bila še pred desetletjem najbolj obetavna oblika širjenja informacij in obvestil prek mobilnih telefonov, postaja vse bolj omejena na širjenje nujnih opozoril.

Večina informacij in storitev se v sodobnem svetu pretaka prek interneta. Uporabniki se ne srečujemo več s pomanjkanjem informacij, ampak z njihovo preobilico, ki nas postavlja pred dilemo, komu zaupati in čigave storitve uporabiti. Na prvi pogled je pogosto težko oceniti kredibilnost ponudnika, včasih se le-ta predstavlja celo na zavajajoč način. Gotovo se je tudi vam že zgodilo, da ste na internetu iskali vremensko napoved za več dni vnaprej in naleteli na napovedi, ki so se za isti dan in isti kraj med seboj opazno razlikovale. Ste se vprašali, komu verjeti ali pa ste si mislili, da je vse skupaj predvsem ugibanje brez znanstvene podlage? Žal tudi vremenske napovedi, predvsem desetdnevne ali dvotedenske vse bolj postajajo tržno blago, s katerim se da bolj ali manj spretno manipulirati, na primer z obeti lepega vremena privabljanje turistov. V splošnem velja, da so najbolj zaupanja vredne napovedi državnih meteoroloških služb.

Zastavili smo si tudi vprašanje, kakšno korist družbi prinašajo državne meteorološke službe. Svetovna meteorološka organizacija ocenjuje, da se sredstva vložena v delovanje meteoroloških služb 5- do 10-kratno povrnejo v obliki različnih koristi, ki jih ima družba od kakovostnih in pravočasnih meteoroloških informacij. Prepoznavanje koristi, ki jih lahko ima družba in država od dobro delujočih meteoroloških služb, ni samoumevno. Zaupanje in uporabnike se pridobiva počasi. Zavedati se je potrebno, da se lahko dolgo grajeno zaupanje kaj hitro poruši, za ponovno pridobitev pa je potrebnega veliko truda in časa. Meteorološke službe bi morale jasno izpostaviti, kaj vse lahko ponudijo



Jean-Pascal van Ypersele je predaval o izzivu podnebnih sprememb. (foto: T. Cegnar)

družbi in to tudi prevesti v denarne prihranke, ki jih s tem prinašajo družbi. To je naloga, ki bi se je morale lotiti vse meteorološke službe.

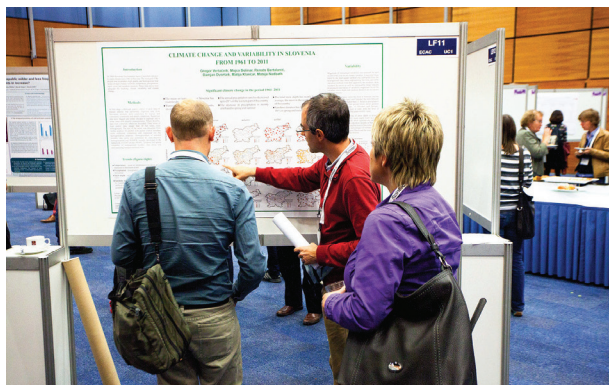
Sodobna družba postaja vse bolj ranljiva za različne vremenske in podnebne odklone od običajnih razmer, škoda, ki jo povzročijo vremenski in podnebni dogodki, v zadnjih desetletjih strmo narašča. Z razvojem tehnologije in merilnih ter računalniških zmogljivosti naraščajo tudi vložena sredstva. Vendar prav vložki v razvoj meteoroloških storitev omogočajo, da lahko danes ponujamo boljše kratko in srednjeročne napovedi, kot smo jih v preteklosti. Veliko naporov in razvojnih projektov je namenjenih izboljšanju pravočasnih opozoril na nevarne vremenske dogodke. Pogosto pa pozabljamo na vlogo podnebnih informacij, ki so ključne za načrtovanje in izgradnjo infrastrukture, ki lahko kljubuje podnebni spremenljivosti in bo vzdržala tudi v prihodnjih desetletjih, ko se bo podnebje še naprej spreminjalo, zelo verjetno v smer pogostejših in močnejših nevarnih vremenskih in podnebnih dogodkov.

Več informacij s področja komuniciranja je zbranih na zgoščenki, ki smo jo ob pomoči ARSO izdali jeseni 2014.

Posebej izpostavljam delavnici, ki sta potekali v času konference v konferenčnem centru, a sta uradno



Med posterji je vedno priložnost za navezavo in utrjevanje stikov med kolegi. (foto: T. Cegnar)



Gregor Vertačnik pojasnjuje spremembe slovenskega posebnja. (foto: T. Cegnar)

označeni kot spremljajoča dogodka konference. Spremljajoči dogodki konference so običajno namenjeni dodatnemu izobraževanju.

Nasveti za učinkovito nastopanje v medijih - vadbeno delavnico

To je bila druga delavnica usposabljanja, ki sem jo organizirala pod okriljem EMS. Prva je potekala v Berlinu septembra 2011 in glede na pozitiven odziv udeležencev smo se odločili, da izpeljemo drugo delavnico usposabljanja v Pragi. Tokrat sem moči združila z dvema izkušenima strokovnjakoma s področja komunikacije in več trenerji komunikacije. Ewen McCallum je predaval o komunikaciji na splošno, vključno z uporabnimi nasveti in anekdotami. Udeleženci so cenili predvsem nasvete, kako oblikovati ključna sporočila v pripravi na intervjuje in okrogle mize.

Nick Grahame se je osredotočil na posredovanje informacij o negotovosti. Zelo obsežna predstavitev je bila podkrepljena s poskusom, ki je ponazoril, kako lahko tudi nadzorovane začetne razmere vodijo do dokaj različnih rezultatov.

Po uvodnih predavanjih smo nadaljevali z interaktivno vadbo v štirih skupinah, udeleženci delavnice naj bi se



Nekaj predavateljev na temo komunikacije in mediji. (foto: T. Cegnar)

izmenjali v vseh štirih skupinah, saj je bila vsaka med njimi namenjena posebnemu vidiku komunikacije. Michael Williams in Claire Nullis sta delila izkušnje Svetovne meteorološke organizacije pri komuniciranju z javnostjo. SMO strokovnjak za komunikacijo Mario Sánchez se je osredotočil na uporabo medijev za komuniciranje z uporabniki in javnostjo v državnih meteoroloških in hidroloških službah. Ewen McCallum in Nick Grahame sta izvajala individualne razgovore, ki so temeljili na izbranih scenarijih. V intervjujih smo simulirali stresne razmere, ko novinarji zahtevajo informacije v primeru nevarnih vremenskih dogodkov s potencialno veliko škodo. Frank Cavallaro je udeležencem svetoval, kako učinkovito posredovati vremensko napoved na televiziji. Govorili smo tudi o govoricah telesa, oblačenju, uspešnosti pred kamero na splošno in kako ravnati v kočljivih situacijah. Ob koncu smo udeležencem predstavili analizo intervjujev in konstruktivne povratne informacije vseh trenerjev. Delavnico smo sklenili z oceno udeležencev, da je bila delavnica zelo koristna izkušnja, vendar bi si želeli, da bi trajala dlje, kar bi omogočilo več individualne vaje.

Tretja evropska delavnica o komuniciranju za državne meteorološke in hidrološke službe

Delavnica je potekala 6. in 7. oktobra 2014. Organizirali smo jo Svetovna meteorološka organizacija, EMS, ECMWF in EUMETSAT. Udeleženci smo bili strokovnjaki s področja komunikacije iz evropskih meteoroloških služb in več mednarodnih organizacij. Osredotočili

smo se na družbena omrežja, državne projekte posredovanja meteoroloških informacij in vprašanje, kako posredovati javnosti, odločevalcem in politikom dobrobiti, ki jih ima družba od meteoroloških služb.

O Evropski meteorološki zvezi

Članice Evropske meteorološke zveze (EMS) so državna meteorološka društva, individualnih članov ni. Zato izraz »society« v slovenščino prevajamo kot zveza. EMS zagotavlja forum za razširjanje informacij in omogoča razprave o temah in vprašanjih povezanih z meteorologijo, hidrologijo, oceanografijo, z opazovanjem Zemlje in podnebne sistema. Celotno članstvo članic EMS predstavlja več kot 10.000 posameznikov, ki zajema strokovnjake in zainteresirane laike. EMS vizija je povezovati vse meteorološke skupnosti v Evropi vključno z mednarodnimi organizacijami, državnimi meteorološkimi in hidrološkimi službami, meteorološkimi ponudniki storitev in proizvajalci merilnih instrumentov.

Glavni cilj EMS je spodbujati in podpirati znanstveno izmenjavo v evropskem kontekstu. Poseben poudarek je na krepitvi vloge meteorologije v evropski družbi. Glavna dejavnost EMS je organizacija in izvedba letnega srečanja, ki združuje znanstveno konferenco osredotočeno na aplikacije s platformo za razpravo o tem, kako predstaviti učinke storitev gospodarstvu, odločevalcem, politikom in družbi kot celoti.

Več informacij o Evropski meteorološki zvezi najdete na spletni strani www.emetsoc.org.

Praga, pogled na Hradčane in katedralo Svetega Vida z druge strani Vltave. (foto: T. Cegnar)



Nagrajenka Evropske meteorološke zveze

Evropska meteorološka zveza je letos prvič podelila priznanje za izjemen prispevek zvezi. Za njeno dolgoletno predano strokovno delo na področju medijev v Evropski meteorološki zvezi je prestižno priznanje za izjemen prispevek prejela mag. Tanja Cegnar, članica našega društva.



Mag. Tanji Cegnar je priznanje za izjemne dosežke podelil predsednik EMS dr. Horst Bottger na redni letni konferenci EMS, ki je bila letos v Sofiji (Foto: arhiv EMS).

Mag. Tanja Cegnar aktivno deluje v Evropski meteorološki zvezi že vse od njene ustanovitve. Od začetka leta 2000 pa vse do leta 2008 je vodila Odbor za medije. Od tedaj naprej kot predsednica Medijske ekipe koordinira njene aktivnosti in vzpodbuja vzpostavitev novih projektov na medijskem področju.

Tanja Cegnar je prejela priznanje za njeno vztrajno aktivnost na področju medijev in komunikacije pri EMS,

njen prispevek k rasti in razvoju tega področja, njeno predano promocijo mednarodnega mreženja medijskih napovedovalcev vremena, za razvoj in vodenje programa sekcij za komunikacijo in medije na rednih letnih konferencah EMS ter postavitve programa in izvedbo delavnic za komunikacijo in javne predstavitve, namenjene znanstvenikom.

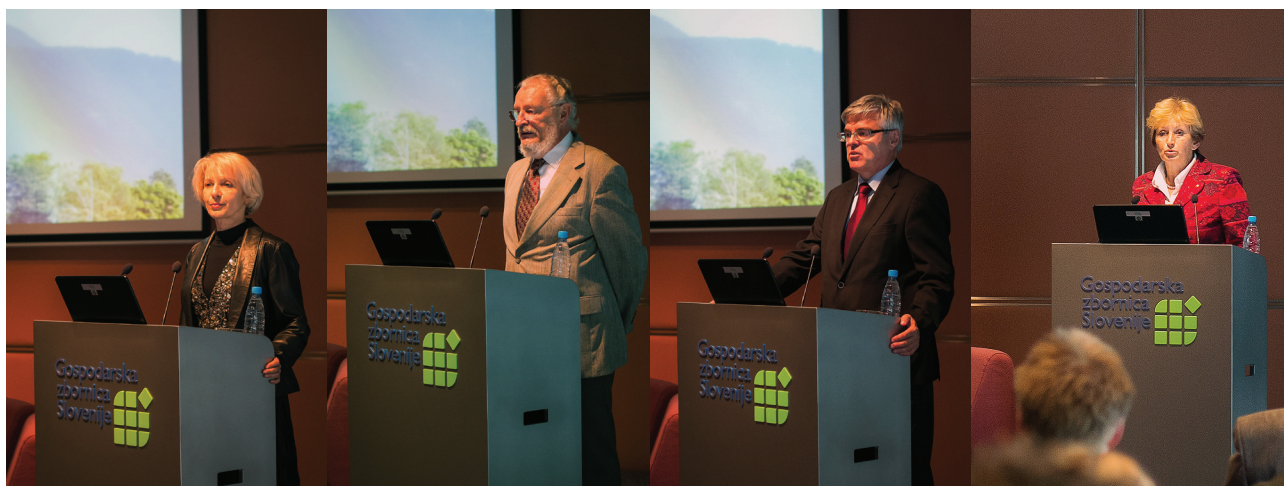
Mag. Tanji Cegnar iskreno čestitamo!

Obeležitev 60. obletnice ustanovitve SMD

Matija Klančar, foto: Metka Komatar

Leto 2014 je bilo za Slovensko meteorološko društvo prav posebno, saj smo obeležili 60. obletnico ustanovitve. Ob tej priložnosti smo v sodelovanju z Gospodarsko zbornico Slovenije 15. oktobra 2014 ob 15. uri v prostorih GZS pripravili nekaj zanimivih predavanj in okroglo mizo. Srečanja se je udeležilo okoli 90 ljudi, večina pa je predstavljala člane našega društva.

Dogodek, ki ga je odlično povezovala mag. Tanja Cegnar, se je začel z uvodnimi nagovori. Nekaj mejnikov ob 60-letnem delovanju Slovenskega meteorološkega društva je predstavil predsednik društva, gospod Jožef Roškar. Sledila sta nagovora ministric za okolje in prostor, gospe Irene Majcen in predsednika Gospodarske zbornice Slovenije, mag. Sama Hribarja Miliča.



mag. Tanja Cegnar

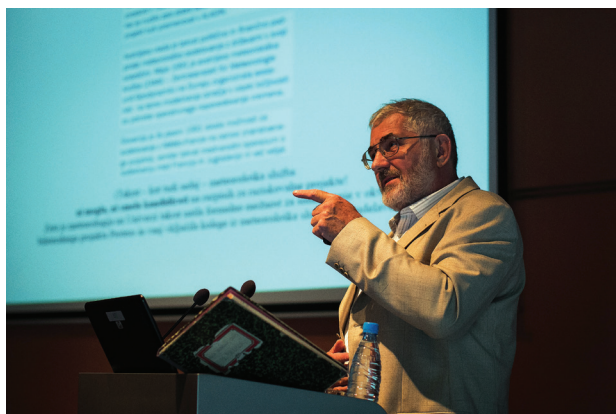
Jožef Roškar

mag. Samo Hribar Milič

ministrica Irena Majcen

Kratko predstavitev pomena študija meteorologije v Sloveniji je pripravil prof. dr. Jože Rakovec. Sledila so tri zanimiva predavanja strokovnjakov različnih strok (industrija, kmetijstvo, energetika), ki so na svojih primerih pokazali, kako koristne so lahko kakovostne

meteorološke informacije. Prvo sta pripravila dr. Tanja Ljubič Mlakar in Klemen Stanič iz Salonita Anhovo. Govorila sta o uporabi meteoroloških podatkov pri spremljanju kakovosti zunanega zraka za primer cementarne. Sledilo je predavanje s področja energetike, kjer



prof. dr. Jože Rakovec



dr. Tanja Ljubič Mlakar



Goran Milev



mag. Peter Zdravec

je Goran Milev z Elektroinštituta Milan Vidmar predstavil sistem SCALAR. Za konec prvega dela je sledilo predavanje mag. Petra Zdravca iz podjetja Evrosad. Predstavil je optimiranje varstva rastlin in namakanja na podlagi vremenskih podatkov in napovedi.

Po predavanjih je sledilo nekaj simbolike, kjer je predsednik društva gospod Jožef Roškar upihnil svečo na torti in zaželel društvu uspešnega delovanja tudi v naslednjih nekaj desetletjih. Sledilo je nekaj časa za druženje ob pripravljeni zakuski in kozarčku žlahtne kapljice.

Srečanje smo nadaljevali z okroglo mizo, na kateri so sodelovali strokovnjaki s področja hidrologije (dr. Mira Kobold), agrometeorologije (dr. Andreja Sušnik), okolja (mag. Tanja Bolte) in letalskega prometa (mag. Marko Hrastovec). Na vprašanja publike je odgovarjal

tudi predsednik Slovenskega meteorološkega društva, gospod Jožef Roškar.



Utrinek iz 60. obletnice ustanovitve SMD



Okrogla miza (od leve proti desni): dr. Mira Kobold, dr. Andreja Sušnik, mag. Marko Hrastovec, mag Tanja Bolte in Jožef Roškar

Prednovoletno srečanje članov SMD

Matija Klančar

Kot je v navadi, se člani društva ob koncu leta družimo na prednovoletnem srečanju. V letu 2014 smo ga izvedli 18. decembra v veliki sejni sobi, v 4. nadstropju Agencije Republike Slovenije za okolje.

Po uvodnem nagovoru predsednika društva gospoda Jožefa Roškarja je sledilo potopisno predavanje po

Svalbardu, ki ga je predstavil gospod Iztok Sinjur in nas popeljal na skrajni sever naše poloble.

Predavanju je sledila debata ob prigrizkih in kozarčku dobre kapljice. Kot se spodobi, smo si ob koncu srečanja segli v roko in si zaželeli vsega lepega v prihajajočem letu.



Uvodni pozdrav predsednika društva (foto: Zorko Vičar)



Kot je v navadi, se prednovoletnega srečanja udeleži veliko naših članov (foto: Matija Klančar)



Tema letošnjega prednovoletnega potopisnega predavanja (foto: Zorko Vičar)



Da si lahko privoščimo prigrizke in dobro kapljico, je potrebno pobrati nekaj članarin (Foto: Zorko Vičar)

Letni občni zbor SMD 2015

Matija Klančar

Dne 19. marca 2015 ob 16. uri se je v prostorih Agencije Republike Slovenije za okolje pričel redni občni zbor Slovenskega meteorološkega društva, ki ga je ob odsotnosti predsednika Jožefa Roškarja vodila podpredsednica Mojca Dolinar. Občnega zbora se je udeležilo 28 članov.

Po soglasni potrditvi dnevnega reda, smo potrdili delovno predsedstvo, ki so ga sestavljali Gregor Verčnik, delovni predsednik, Matija Klančar, zapisnikar ter Aleška Bernot Pernarčič in Klemen Bergant kot overovatelja zapisnika.

Sledilo je poročilo predsednika SMD, ki ga je na občnem zboru predstavila njegova namestnica Mojca Dolinar. V obdobju od občnega zbora v letu 2014 se je Upravni odbor SMD sestal štirikrat, obveščanje in reševanje manjših težav je potekalo po elektronski pošti. Za obeležitev 60. obletnice ustanovitve društva je UO imenoval pripravljalni odbor, ki ga je vodila gospa Tanja Cegnar. V letu 2014 smo izdali sedmo številko glasila Vetrnica, ki je bila posvečena varstvu zraka. Pripravljen je bil tudi prispevek ob 60. obletnici SMD ter 60. jubileju visokogorske postaje Kredarica. Številko 7/14 smo natisnili v 1000 izvodih. Na spletni strani smo nadaljevali z običajnim delom, pripravo kratkih pregledov podnebnih razmer, objavo Vetrnice, dogodkov in predavanj. Le-to je bilo v letu 2014 samo eno z naslovom Gospodarjenje z vodami reke Nil, ki ga je vodil gospod Jožef Roškar. Dne 15. oktobra smo organizirali srečanje ob obeležitvi 60. letnice ustanovitve društva skupaj z okroglo mizo.

Nadzorni odbor je ugotovil, da je knjigovodski material s prilogami pravilno voden in potrdil finančno poslovanje v letu 2014, ki ga je naknadno predstavil blagajnik Andrej Velkavrh. V letu 2014 je bilo na strani odhodkov 5565 EUR, na strani prihodkov pa 4582 EUR. Prav tako je bilo predlaganih nekaj sprememb v Upravnem odboru društva. Na mestu tajnika društva je Boštjana Murija zamenjal Matija Klančar, kot članico Upravnega odbora pa je Rahelo Žabkar zamenjala Zalika Črepinšek.

V letu 2014 smo natančneje pregledali stanje plačila članarin. Po ugotovitvah smo zaradi neplačila iz društva izbrisali pet članov. V društvo smo sprejeli tri nove člane in sicer Lino Boljko, Petra Smerkola in Damjana Vukmiroviča. Slovensko meteorološko društvo trenutno šteje 117 članov.

Na koncu je bil predstavljen tudi okviren načrt dela za leto 2015. Večji del aktivnosti društva bo namenjen pripravi osme številke Vetrnice. Tema številke bo hidrometeorologija, torej obravnavanje odnosa med padavinami in odtoki ter povezanosti meteorologov in hidrologov. Prav tako bomo nadaljevali z objavljanjem zanimivih vsebin in aktualnih novic na spletni strani. Po opozorilu gospoda Andreja Žoharja, ki sodeluje pri izdelavi slovenske Wikipedie, bomo na področju, ki ga pokriva društvo, poskrbeli za izboljšavo opisov gesel. Za leto 2015 je trenutno najavljeno predavanje prof. dr. Antona Žabkarja z naslovom Vpliv meteorološkega faktorja na bojna delovanja.



Utrinek z občnega zbora (foto: Miha Demšar)

Analiza sušnega stresa pri koruzi v letu 2015

Monika Vidmar

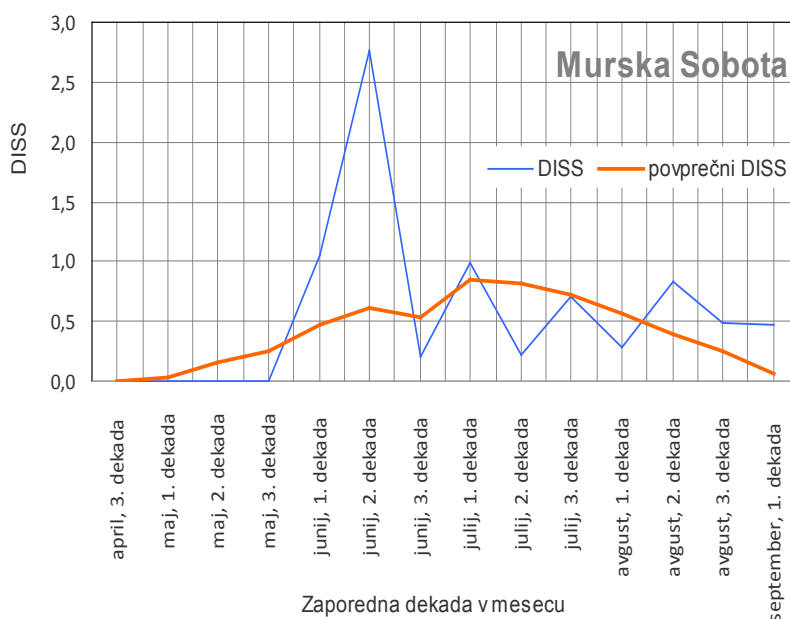
V sklopu obvezne prakse pri študiju meteorologije sem na Oddelku za agrometeorologijo Agencije RS za okolje pripravila analizo sušnega stresa pri koruzi v vegetacijski sezoni 2015 s pomočjo kompleksnega sušnega indeksa.

Dekadni indeks sušnega stresa (DISS) predstavlja jakost sušnega stresa določene kmetijske rastline, ki raste na izbranem tipu tal, v eni dekadi. Sušni stres nastopi, ko dnevna vodna bilanca rastline pade pod prag sušnega stresa, slednji pa je določen z deležem rastlini lahko dostopne vode. DISS lahko zavzame vrednosti med 0 in 3, kjer večja števila predstavljajo bolj sušno stanje. Kumulativni indeks sušnega stresa ($DISS_k$) uporabljamo za oceno trajanja in jakosti suše kmetijskih rastlin v izbranem obdobju in je seštevek dekadnih indeksov sušnega stresa.

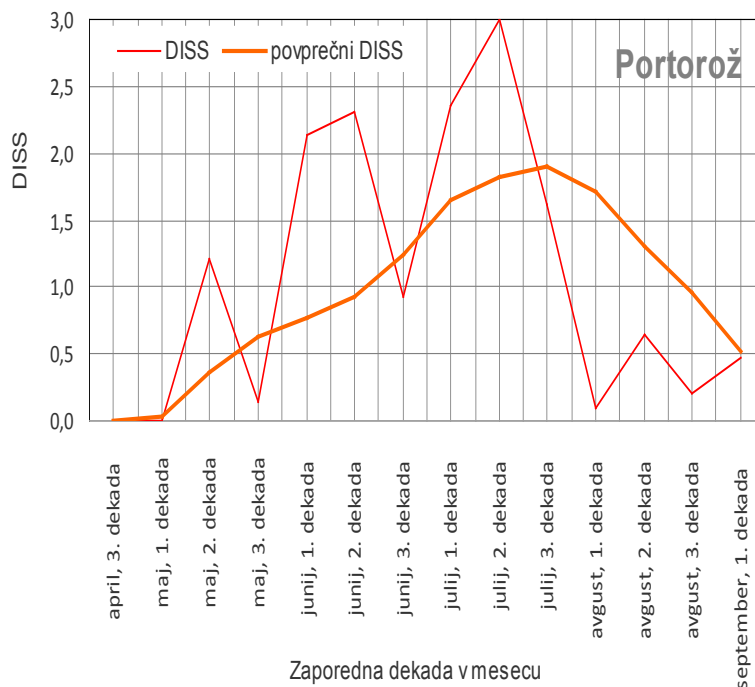
Ker je poleti 2015 Slovenijo pestila huda vročina in tudi obdobja pomanjkanja padavin, smo ugotavljali stopnjo sušnega stresa pri najbolj razširjeni poljščini v Sloveniji – koruzi. Delo je potekalo v dveh delih: analiza sušnega stresa koruze v letu 2015 in primerjava s klimatološkimi podatki. Narejena je bila analiza sušnega stresa koruze na tleh z različnimi vodnozadrževalnimi sposobnostmi na postaji Murska Sobota in Portorož. V prispevku so za ilustracijo predstavljeni le

izračuni za tla s srednjimi vodnozadrževalnimi sposobnostmi. Za primerjavo oskrbe rastlin z vodo oziroma sušnega stanja v letošnjem vegetacijskem obdobju s preteklimi leti smo pregledali časovne nize podatkov. Izračunali smo kumulativni sušni indeks za vegetacijsko obdobje od začetka maja do konca septembra v obdobju od leta 1961 do 2015.

V prispevku podajamo ugotovitve analize za leto 2015 za postajo Murska Sobota v primerjavi s podatki za Portorož. Tam je bil v obdobju od začetka maja do začetka septembra kumulativni indeks $DISS_k$ v letu 2015 najvišji (15,1) glede na takrat dostopne podatke glavnih meteoroloških postaj. V tako dolgem obdobju je najvišja možna vrednost $DISS_k$ 42. Ugotovili smo, da koruza v Murski Soboti do začetka junija 2015 ni bila v sušnem stresu (slika 1). Nato je bila skoraj ves mesec junij koruza v primanjkljaju, vodna bilanca je celo padla na točko venenja. Od začetka julija do konca prve dekade septembra so sledila še tri obdobja, ko je vodna bilanca padla pod mejo sušnega stresa. Eno izmed teh obdobj je trajalo več kot mesec dni, a točka venenja ni bila več dosežena. DISS je bil v začetku vegetacijskega obdobja nič, nato pa je v juniju močno narasel in v drugi dekadi dosegel visoko nadpovprečno vrednost (2,8), kar pomeni, da je takrat nastopilo obdobje izrazite suše. DISS se je od zadnje dekade



Slika 1. Potek indeksa DISS v letu 2015 in potek povprečnega indeksa DISS (1961–2014) v obdobju od 3. dekade aprila do 1. dekade septembra za koruzo v Murski Soboti na tleh s srednjo vodnozadrževalno sposobnostjo.



Slika 2. Potek indeksa DISS v letu 2015 in potek povprečnega indeksa DISS (1961–2014) v obdobju od 3. deкаде aprila do 1. deкаде septembra za koruzo v Portorožu na tleh s srednjo vodnozadrževalno sposobnostjo.

junija pa vse do prve deкаде septembra nahajal blizu povprečnih vrednosti, okrog 0,5.

Drugačno pa je bilo stanje na Obali, kjer je tudi klimatologija suše drugačna kot v severovzhodnem delu države. Sušne razmere so tam skoraj vsako poletje. Na postaji Portorož se je vodna bilanca v času od konca aprila do konca prve deкаде septembra večino časa nahajala pod mejo sušnega stresa. Od druge majske deкаде do začetka avgusta je bil DISS večinoma visoko nad povprečjem, v petih dekadah je bilo povprečje preseženo za od 0,7 do 1,4 (slika 2).

S klimatološko analizo DISS lahko razberemo, da je

velika večina let po letu 2000 na lestvici kumulativnega $DISS_k$ od leta 1961 dalje uvrščenih zelo visoko. V Murski Soboti je izmed 25 let z najvišjim kumulativnim $DISS_k$ za koruzo na tleh s srednjo vodnozadrževalno sposobnostjo kar 10 takšnih, ki so nastopila po letu 1999. V Portorožu je takih let 11. Po $DISS_k$ je v Portorožu najbolj suho leto 2003, v celotni vegetacijski sezoni koruze (od 3. deкаде aprila do 1. deкаде oktobra) je bil $DISS_k$ 30,7, leto z najvišjo vrednostjo $DISS_k$ v Murski Soboti pa je bilo 1992 z 20,4.

Iz tega lahko sklepamo, da so težave s sušo pri gojenju koruze pogoste. Na Obali so se na takšne razmere prilagodili tako, da je koruza na poljih redka kultura.

Pogostost toče v Sloveniji v odvisnosti od dnevne najvišje temperature zraka

Črt Jarh

Uvod

Toča je v našem delu sveta ena izmed najpogostejših in najškodljivejših naravnih nesreč, zato ne preseneča, da so bile v želji po boljšem razumevanju podnebnih razmer, v katerih se toča najpogosteje pojavlja, objavljene že številne študije. Te študije so večinoma statistične analize preteklih opazovanj toče z namenom prepoznavanj regij in letnih časov, kjer je toča bolj pogost pojav (Kajfež-Bogataj in Rakovec, 1989; Suwala in Bendroz, 2013). Veliko pozornosti je bilo v zadnjih letih namenjeno tudi spremljanju trenda pogostosti (Dolinar, 2005) in intenzitete pojava toče (Eccel in sod., 2010). Tovrstne študije so seveda nujne za določitev bolj ogroženih območij in pomagajo pri zmanjševanju škode, ne povedo pa nujno dovolj o tem, v kakšnih vremenskih situacijah do same toče pride oziroma kateri vremenski dejavniki imajo najmočnejši vpliv na pojav toče.

Natančna klimatološka študija, s katero bi točno določili razmere v katerih prihaja do toče, je sicer zaradi zapletenosti pojava, regionalne spremenljivosti in zelo omejenega števila opazovanj nemogoča, zato se bomo v pričujoči študiji posvetili samo vplivu enega od dejavnikov na pojav toče, to je dnevne najvišje (maksimalne) temperature zraka. Temu dejavniku še posebno laična javnost pripisuje poglavitno vlogo - v bolj vročih dneh naj bi bila verjetnost za pojav nevihte s točo večja. Cilj tega članka je za različne kraje po Sloveniji ugotoviti, kakšna je bila dnevna najvišja temperatura v dneh s točo in kakšna je statistična verjetnost, da bo pri določeni najvišji temperaturi zraka padala toča. Ta študija seveda ne bo ponudila večje prognostične uporabnosti, saj je sama temperatura zraka le eden izmed mnogih dejavnikov pri pojavu toče, bo pa ponudila vsaj okviren odgovor na vprašanje, če je statistična zveza med vročino in pojavom toče res tako močna, kot je ljudsko mišljenje.

Metode dela

Vsi podatki, uporabljeni v raziskavi, izvirajo iz arhiva meritev Agencije RS za okolje (ARSO). V jedru raziskave smo uporabili podatke z osmih glavnih oziroma sinoptičnih postaj za obdobje 1961-2014 z izjemo postaje Bilje pri Novi Gorici, kjer so pričeli z meritvami

Preglednica 1. Skupno število dni s točo na merilnem mestu v obdobju 1961-2014

Merilno mesto	Število dni s točo
Ljubljana	106
Maribor	54
Murska Sobota	51
Šmartnopri Slovenj Gradcu	92
Novo Mesto	108
Bilje pri Novi Gorici	55
Rateče	19
Kredarica	26

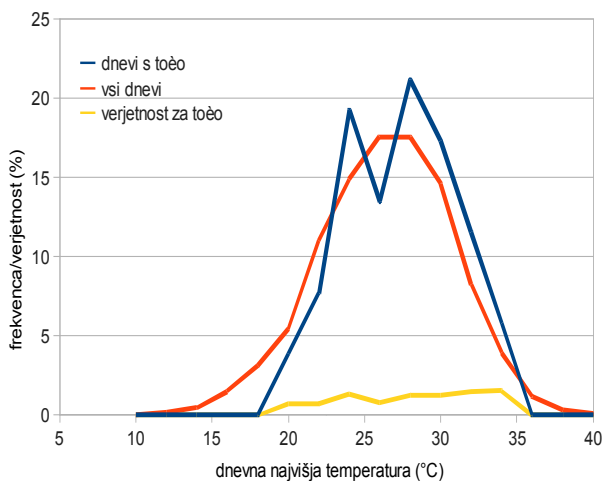
aprila 1962. Za vsako izmed teh postaj je bila izračunana letna in poletna (mesece junij, julij in avgust) razporeditev dnevne najvišje temperature in pojava toče v odvisnosti od te temperature. Na koncu je bila na podlagi teh porazdelitev izračunana še verjetnost toče pri določeni najvišji temperaturi zraka. Zaradi precej majhnega števila opazovanih dni s točo (preglednica 1) smo v izogib pretirano razpršenim rezultatom pri razporeditvi izbrali razrede širine dve stopinji Celzija.

Drugi del raziskave je bil namenjen še podobni analizi pomursko-podravske, primorske, dolenske in ljubljanske regije. Tu smo poleg podatkov s sinoptičnih postaj uporabili tudi podatke vseh podnebnih postaj v regiji (ki pa niso nujno delovale skozi celotno obravnavano obdobje), ki imajo podobno podnebje (izključene so bile gorske in obmorske postaje). V tej regionalni analizi smo izbrali samo podatke za poletne mesece. Zaradi različne gostote merilne mreže število merilnih mest ni bilo enako za vse regije. V primorsko regijo so bili tako vključeni podatki s 17 postaj na Krasu, v Vipavski dolini in na Goriškem, za pomursko-podravsko regijo je bilo izbranih 24 postaj iz Podravja in Prekmurja, za Dolenjsko 9 postaj s Krško-brežiškega polja, Novomeške kotline in Bele krajine, v ljubljansko pa 11 postaj iz Ljubljanske kotline.

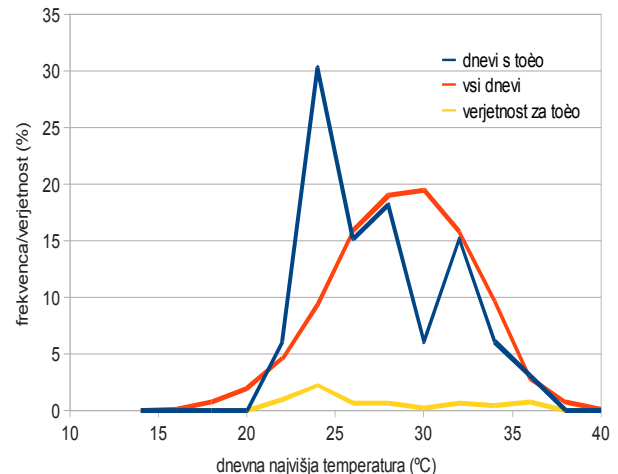
Ob koncu raziskave smo preverili še odvisnost pojava toče od dnevne najnižje temperature zraka in odvisnost pojava toče od najvišje temperature zraka za mesece z najpogosteje zabeleženim pojavom toče (maj, junij, avgust).

Rezultati

Kot je bilo pričakovati, je iz celoletnih podatkov za vseh osem merilnih mest razvidno, da se toča pogosteje pojavlja ob dnevih z višjo maksimalno temperaturo, prav tako pa je tudi verjetnost za pojav toče takrat višja. Najlepše je to razvidno na merilnih mestih, kjer so tudi sicer zabeležili absolutno največje število dni s točo, se pravi v Ljubljani, Šmartnem pri Slovenj Gradcu in Novem Mestu (slika 1). Najmanj izrazit je maksimum verjetnosti v Biljah, kar pa ne preseneča, saj sta maksimuma porazdelitvenih funkcij najvišje temperature za vse dni in dni s točo pri tej temperaturi veliko bolje poravnana kot pri ostalih merilnih mestih. Celoletni podatki so prav tako pokazali, da na vseh merilnih mestih (z izjemo Kredarice) toča večinoma pada v dneh, ko najvišja temperatura doseže vrednosti med 22 °C in 30 °C stopinj. Sama verjetnost za pojav toče pa je večinoma največja v dneh z najvišjo temperaturo nad 30 °C (slika 1). Izjema je le Murska Sobota, ki ima izrazit maksimum pri -10 °C, za kar pa je bil dovolj že en zelo sumljiv podatek.



Slika 1. Pogostost dnevne najvišje temperature zraka (rdeča), dnevne najvišje temperature v dneh s točo (modra) in verjetnosti za pojav toče pri izbrani dnevni najvišji temperaturi (rumena) za celoletne podatke na postaji Novo mesto



Slika 2. Graf porazdelitve dnevne najvišje temperature (rdeča), dnevne najvišje temperature v dneh s točo (modra) in verjetnosti za pojav toče pri izbrani dnevni najvišji temperaturi (rumena) v poletnih mesecih v Biljah pri Novi Gorici.

Bolj zanimivi so rezultati analize treh poletnih mesecev. Tu se razporeditvi najvišje temperature za vse dni in dni s točo praktično pokrivata (Ljubljana, Kredarica, Novo Mesto in Rateče) oziroma je graf najvišje temperature za dni s točo le rahlo zamaknjen proti višjim temperaturam (Maribor, Šmartno pri Slovenj Gradcu in Murska Sobota). Zaradi tega je verjetnostna porazdelitev za prvo skupino praktično enakomerna na celotnem pasu med 18 °C in 35 °C (med 2 °C in 15 °C v primeru Kredarice), medtem ko ima druga skupina večinoma neizrazit vrh nekje med 28 °C in 30 °C (med 24 °C in 30 °C za Šmartno pri Slovenj Gradcu). Ta pas je tudi absolutno gledano najbolj primeren za nastanek toče, saj ima večina nižinskih merilnih mest v tem pasu največji dni s točo (preglednica 2). Izjema sta zopet Bilje, kjer je slika praktično obrnjena. Tu se toča povsem očitno pogosteje pojavlja pri nižjih temperaturah, pri čemer sta tako pogostost dni s točo, kot tudi verjetnost za točo pri določeni najvišji temperaturi najvišja v razredu med 22 °C in 24 °C (slika 2).

Tudi v pasu najvišje temperature, kjer je toča najpogostejša, je verjetnost za točo majhna, le v Ljubljani in

Preglednica 2. Porazdelitev poletnih dni s točo (delež pojavov toče v %) po razredih dnevne najvišje temperature zraka (°C)

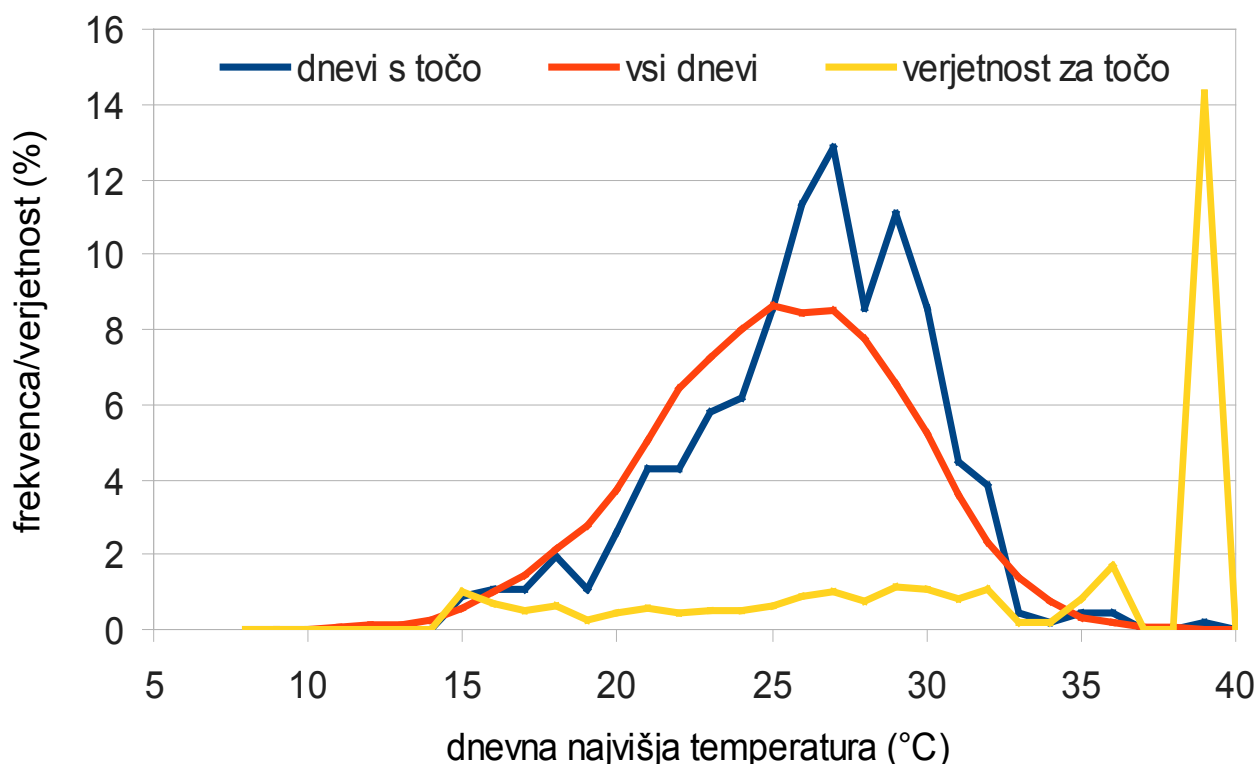
	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	24-26	26-28	28-30	30-32	32-34	34-36
Ljubljana	0	2	10	8	11	18	10	27	8	6	0
Maribor	2	2	0	6	17	15	23	23	10	0	2
Murska Sobota	0	0	0	3	11	26	14	31	11	3	0
Slovenj Gradec	0	5	7	5	9	25	29	13	4	2	0
Novo Mesto	0		4	8	19	13	21	17	12	6	0
Bilje pri Novi Gorici	0	0	0	6	30	15	18	6	15	6	3
Rateče	0	7	14	14	21	36	0	7	0	0	0

Biljah presega 2 %. V ostalih krajih je maksimum verjetnosti toče večinoma okoli 1,5 %. Izjemi sta Kredarica in Rateče, kjer je zaradi izredno majhnega števila opažanj toče ta verjetnost še precej nižja in nikjer ne presega 1 %. Opozoriti je potrebno tudi na primer Maribora, kjer je maksimum verjetnosti v razredu 34–36 °C, a podobno kot v prej omenjenem primeru Murske Sobote temelji na zgolj enem samem dnevu s točo v tem razredu. Posebno omembo si zasluži naša edina gorska postaja, kjer se zaradi nižjih temperatur toča pojavlja v dneh z najvišjo temperaturo med 0 in 18 °C, čeprav se tudi tu krivulja razporeditev najvišje temperature v dneh s točo praktično ne razlikuje od razporeditev dnevne najvišje temperature vseh poletnih dni, zaradi česar je tudi verjetnost toče v tem pasu zelo enakomerna.

Slika regijske analize, ki je prestavljala drugi del naše študije je v večini zgolj potrdila rezultate posamičnih postaj s teh regij. V dolenski regiji je verjetnost za pojav toče na celotnem pasu med 20 °C in 34 °C praktično enakomerna (približno 0,75 %), krivulji obeh porazdelitev pa se skoraj popolnoma prekrivata. V podravske-pomurski regiji je krivulja dni s točo nekoliko zamaknjena proti višjim temperaturam, podobno kot pri Mariboru in Murski Soboti. Podobno velja za krivuljo verjetnosti, ki ima tudi na regionalni sliki neizrazit maksimum pri temperaturah med 28–30 °C, vrednost pa nikjer ne preseže 1 % (slika 3). En sam izreden dogodek, ko je bila toča zabeležena v dnevu z najvišjo temperaturo 38,5 °C je razlog za dodaten maksimum, ki pa statistično ni pomemben.

Tudi v ljubljanski regiji je verjetnost dokaj enakomerno porazdeljena v pasu med 18 °C in 34 °C z vrednostmi med 1 % in 1,5 % pri čemer je maksimum zaradi manjšega neujemanja krivulj najvišje temperature dni s točo in vseh dni zamaknjen k nižjim temperaturam, v razredu med 18 °C in 20 °C. Največkrat je sicer toča, tako kot v primeru Ljubljane, padala v dneh z najvišjo temperaturo med 28 °C in 30 °C. Primorska regija je najbolj zanimiva in rezultati za celotno regijo so potrdili opažanja s postaje Bilje. Verjetnost za nastanek toče je namreč na območju med 17 °C in 25 °C izrazito večja (okoli 1 %) kot pri višjih temperaturah (manj od 0,5 %), pa tudi absolutno gledano je toča največkrat padala v dneh kjer je bila maksimalna temperatura med 23 °C in 25 °C, zaradi česar je krivulja najvišje temperature dni s točo zamaknjena precej proti levi od krivulje porazdelitve najvišje temperature vseh dni in izrazito podobna rezultatom za samo postajo Bilje.

Izvedeni sta bili še dve kontrolni študiji: odvisnost pojava toče od najnižje dnevne temperature na primeru Ljubljane in vključitev maja k analizi treh poletnih mesecev. Rezultati osnovne študije za vse postaje so si sorodni v tem, da ima verjetnost precej izrazitejši vrh pri višjih temperaturah, torej da je za te primere pojav toče dejansko bolj povezan z višjimi temperaturami. Pri najnižjih temperaturah pa je bila verjetnost skoraj popolnoma enakomerna na vsem območju meritev in tudi za poletne mesece ni kazala kakšne izrazite povezanosti. Vključitev majskih podatkov v analizo ne spremeni zaključkov študije.



Slika 3. Graf porazdelitve dnevne najvišje temperature (rdeča), dnevne najvišje temperature v dneh s točo (modra) in verjetnosti za pojav toče pri izbrani dnevni najvišji temperaturi (rumena) za poletne mesece v pomursko-podravski regiji

Razprava

V večini primerov rezultati niso presenetili in so v grobem pokazali, da dnevna najvišja temperatura ni poglavitno gonilo za nastanek neviht s točo. Na letni ravni je povezava med obema spremenljivkama sicer razvidna, nikakor pa ni reprezentativna če upoštevamo, da je toča skoraj brez izjem pojav toplejše polovice leta. Dosti bolj povedna je analiza rezultatov za poletne mesece, ko pade v Sloveniji večina toče. Tu je sicer potrebno upoštevati, da je mesec maj v povprečju res tretji mesec po pogostosti toče, a mnogo hladnejši in s tem slabo primerljiv s poletnimi meseci. S poletnih grafov za večino izmed osmih krajev je razvidno, da verjetnost za pojav toče ni močno odvisna od dnevne najvišje temperature, saj je verjetnost bolj ali manj enaka za vse vrednosti v pasu med 20 °C in 34 °C. Za kraje v vzhodni Sloveniji je sicer verjetnost v povprečju rahlo večja pri višjih temperaturah, v jugozahodni pa pri nižjih. Na Goriškem so torej nevihte s točo pogostejše v manj vročih dneh, iz česar sklepamo, da na Goriškem vročinske nevihte niso glavne prinašalke toče. Drug dokaj zanimiv rezultat je, da je v večjem delu Slovenije toča daleč največkrat padala v dneh, ko je najvišja temperatura dosegla vrednost med 26°C in 30°C, tudi na merilnih mestih, kjer so sicer povprečne najvišje temperature nižje.

Eden izmed upravičenih pomislekov glede verodostojnosti te študije bi bil, da je število izmerkov izrazito premajhno za kakršnekoli trdne zaključke. Kljub dolgemu referenčnemu obdobju je za večino postaj na voljo le peščica opazovanj toče, kar vodi v manjšo ali večjo negotovost pri analizi rezultatov. Med obravnavanimi postajami po pogostosti toče na primer izstopajo Rateče, kjer je bila v celotnem obdobju toča zabeležena le 19-krat. Iz tako majhnega vzorca je težko dobiti reprezentativne in zanesljive rezultate. Poleg tega so zaradi pomanjkljive definicije in možnih težav opazovalca pri razlikovanju toče od sodre tudi ta načeloma veljavna opazovanja precej subjektivna in niso povsem

primerljiva niti za različna obdobja merjenj na eni postaji, kaj šele za celo Slovenijo.

Analiza toče po regijah, na množici postaj s sorodnimi podnebnimi razmerami, je bila tako nujna, čeprav so manj pomembne podnebne postaje zaradi nerednega delovanja k skupnemu številu vzorcev prispevale manj kot bi pričakovali. Prav tako je zaradi močne regijske in celo lokalne spremenljivosti pojava toče nekoliko vprašljiva upravičenost take razširjene analize in posledično uporabnost rezultatov. V naših primerih so sicer regijske slike lepo odražale stanje na posamičnih postajah iz teh regij, a so bili sami rezultati še manj izraziti. Še posebej pri računanju verjetnosti je bilo očitno, da so vrednosti za regijske primere izrazito manjše kot rezultati pripadajočih lokalnih postaj, kar morda pomeni, da so meritve na običajnih podnebnih postajah manj točne in statistika opazovanj toče manj zanesljiva kot na glavnih postajah.

Sklepna misel

V pričujoči študiji smo sicer za določene primere uspeli ugotoviti odvisnost pojava toče od dnevne najvišje temperature, vendar pa povezanost ni dovolj močna, da bi o dnevni najvišji temperaturi lahko govorili kot o poglavitnem dejavniku za nastanek toče. Poleg tega rezultati v nasprotju z ljudskim prepričanjem niso pokazali pomembne povezave med dnevi s točo in dnevi z izredno visokimi temperaturami.

Same ugotovitve raziskave niso posebno presenetljive, saj je jasno, da en sam meteorološki dejavnik ne more v tolikšni meri vplivati na zapleten pojav, pri katerem sodelujejo številni dejavniki. Je pa naš primer nakazal omejitve tovrstnih analiz na območju Slovenije, saj je za potrebe bolj poglobljenih raziskav in prepoznavanje bolj zapletenih podatkovnih vzorcev zaenkrat preprosto na voljo premalo podatkov, da bi bili rezultati statistično zelo zanesljivi.



Toča v Grosupljem. (Foto: I. Sinjur)

Zasnove kazalcev spremljanja suše na kmetijskih površinah

Andreja Sušnik

Uvod

Kmetijska suša je zapleten pojav in v svetu ni enotnega kazalca za njeno spremljanje ter ugotavljanje njene jakosti. Obstaja precejšnje število enostavnih kazalcev, vendar je njihova uporabnost za določanje kmetijske suše na posamezni kmetijski rastlini omejena. V delu smo analizirali enostavne kazalce kmetijske suše (odklon padavin od dolgoletnega povprečja, standardiziran indeks padavin – SPI, meteorološka vodna bilanca). Pri ugotavljanju »plazečega« pojava, kot je kmetijska suša, je zelo zahtevno določanje začetka, časa trajanja in jakosti pojava. V analizah kmetijske suše je še posebno zahtevno objektivno določiti obdobje suše, če želimo pri analizah vključiti razvojni krog vseh kmetijskih rastlin, ki so pod vplivom suše. Zato smo razvili kompleksen kazalec kmetijske suše – dekadni indeks sušnega stresa (DISS), ki omogoča integracijo lastnosti tal, rastline in podnebja neke lokacije.

Ob ugotavljanju dejanskega sušnega stresa pri kmetijskih rastlinah enostavni kazalci, ki vključujejo le meteorološke podatke, ne pa podatkov o razvojnem stanju rastlin in vodnozadrževalnih lastnosti tal, ne pokažejo prave slike. Dosedanje analize so pokazale, da splošni enostavni kazalci kmetijske suše detektirajo sušno leto, manj pa stopnjo poškodovanosti kmetijskih rastlin. Velikokrat je sušno obdobje in coniranje kmetijske suše določeno arbitrarno glede na meteorološko sušo, šele na osnovi subjektivne ocene strokovnih komisij na terenu pa se določa stopnja poškodovanosti kmetijskih rastlin. Za zdaj kazalec kmetijske suše, ki bi vključeval vse potrebne informacije za oceno stanja kmetijske rastline ob suši ne obstaja. Zato so ocene velikokrat subjektivne in nujna je kvantitativna ocena stopnje suše kmetijskih rastlin ter njena prostorska primerljivost.

Dekadni indeks sušnega stresa

Nov kazalec z imenom dekadni indeks sušnega stresa (DISS) združuje informacije rastlina-tla-podnebje. Za razvoj kompleksnejšega kazalca DISS smo nadgradili vodnobilančni model IRRFIB (verzija 03.1), modul za nenamakane rastline, in ga integrirali v bazo vseh potrebnih vhodnih podatkov.

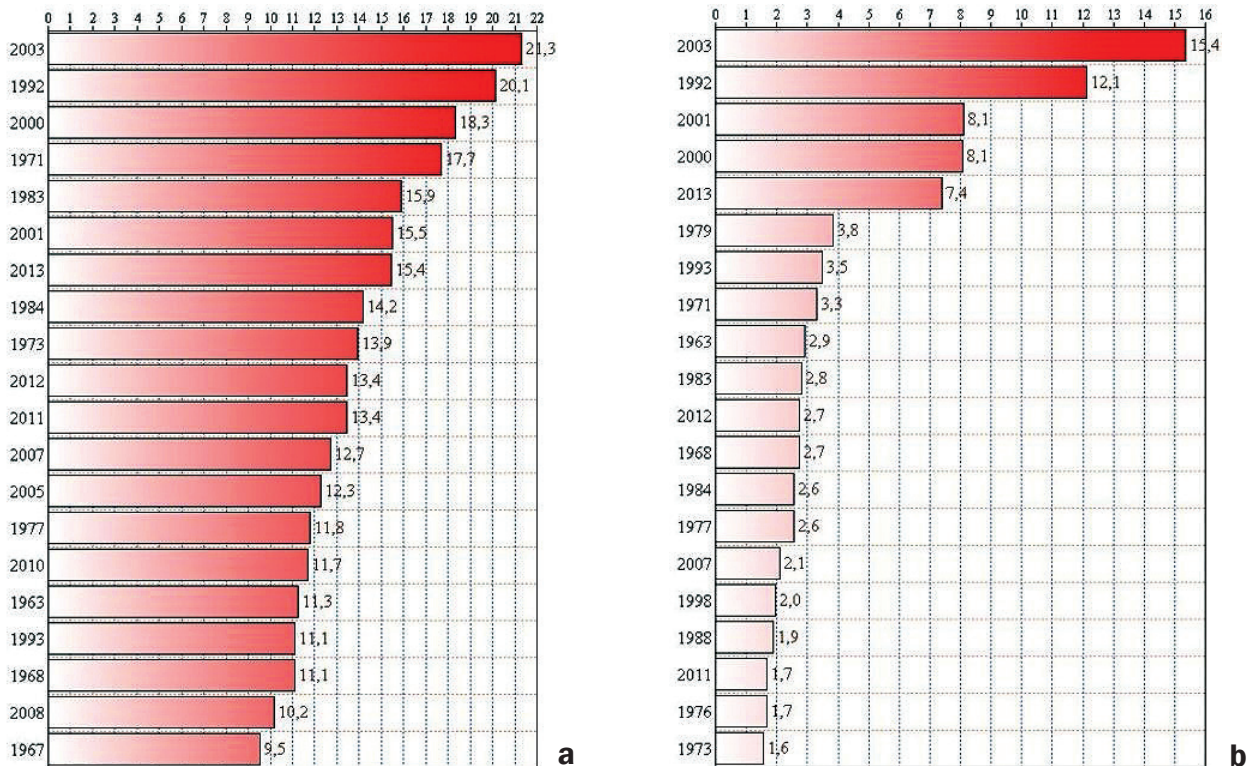
Prednost tega kazalca je, da predstavlja jakost sušnega stresa za izbrane kmetijske rastline na izbranem tipu tal v izbrani časovni enoti – desetih dni (dekadi). Sušni stres je definiran kot stanje, ko dnevna vodna bilanca rastline pade pod prag sušnega stresa, ki je določen z deležem rastlini lahko dostopne vode. DISS lahko zavzame vrednosti med 0 in 3, kjer nižje vrednosti pomenijo bolj mokro in višje vrednosti bolj sušno stanje. Maksimalna vrednost DISSk je povezana z dolžino vegetacijske sezone kmetijske rastline. Na mesec je maksimalna vrednost DISSk enaka 9. Če sezona traja od aprila do septembra in je vseskozi DISS enak 3, je vrednost DISSk enaka 54.

Dekadni kazalec DISS smo zasnovali kot orodje za sprotno spremljanje in klimatološko vrednotenje sušnega stresa. Tak pristop je v Sloveniji novost in bo v pomoč pri odločanju v procesih določanja razvoja in stopnje kmetijske suše.

Za obdobje 1961–2013 smo na desetih lokacijah v Sloveniji (Rateče, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Ljubljana, Maribor, Novo mesto, Celje, Črnomelj, Murska Sobota, Bilje in Portorož) raziskovali lastnosti enostavnih in kompleksnega kazalca kmetijske suše in njihove spremembe v času in prostoru. Ugotavljali smo časovne trende kazalcev na vseh obravnavanih lokacijah. Analizo DISS na desetih lokacijah smo izvedli na treh različnih rastlinah (ozimni pšenici, koruzi in travi), katere imajo različna vegetacijska obdobja ter na treh različnih tipih tal (slaba, srednje dobra in dobra zaadrževalna sposobnost tal za vodo) v obdobju 1961–2013. Pšenico smo izbrali, ker z njo lahko sledimo pomladansko oziroma zgodnjepoletno sušo, koruzo kot kazalec poznopoletne suše in travo kot kazalec suše v vegetacijskem obdobju. Za vsako lokacijo smo najprej izvedli analizo DISS posamezne rastline na različnih talnih tipih v obdobju 1961–2013. Kumulativni letni DISSk predstavlja vrednost, ki opiše poškodovanost posamezne rastline v njenem vegetacijskem obdobju.

Spremljanje kmetijske suše s kazalcem DISS

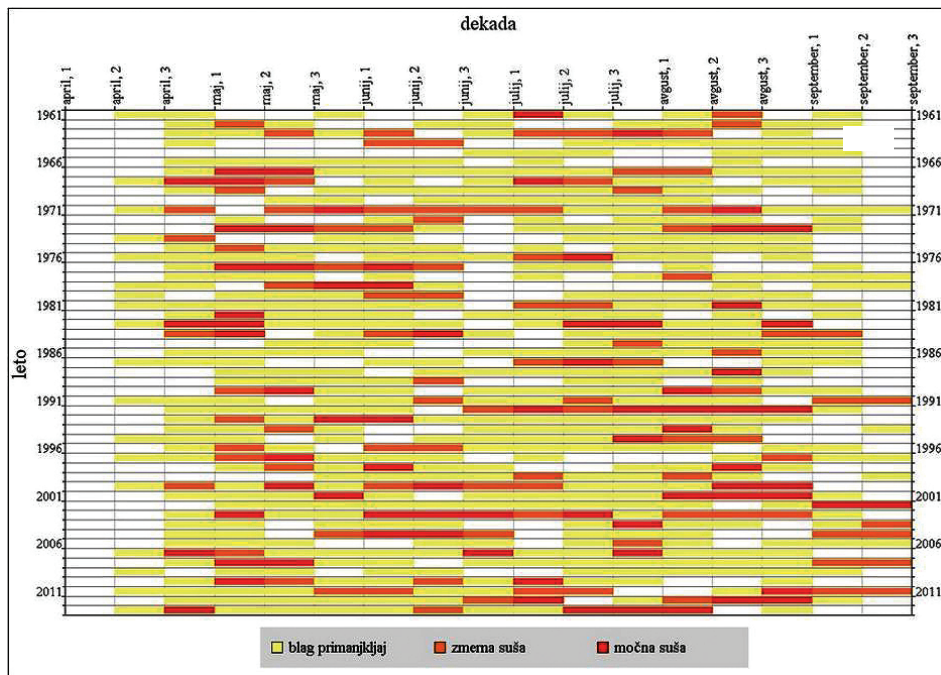
V tem prispevku se osredotočamo le na novo razviti kazalec DISS. Zasnova okvira za spremljanje kmetijske



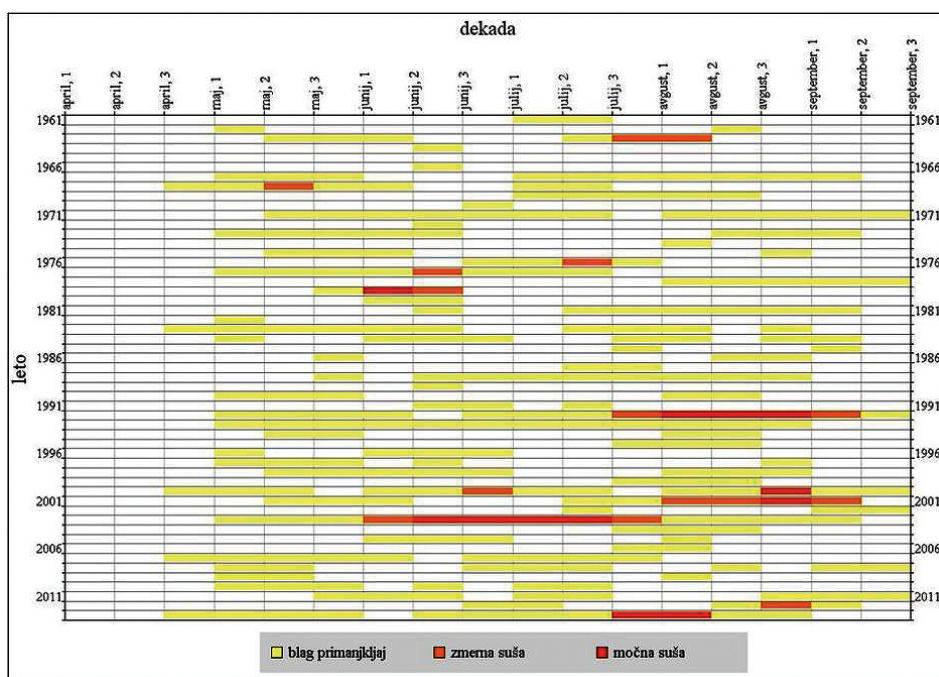
Slika 1. Slika 1. Dvajset let z največjim DISSk za travo na tleh s slabo (a) in dobro (b) vodnozadrževalno sposobnostjo od 1. dekade aprila do 2. dekade septembra v obdobju 1961–2013 v Murski Soboti v padajočem vrstnem redu.

suše s kazalcem DISS je predstavljena v šestih delih:

1. Spremljanje kmetijske suše. V prvem delu smo izdelali zasnovo za sprotno spremljanje kmetijske suše z DISS v tekoči vegetacijski sezoni. Ta del je predvsem pomemben pri ugotavljanju razvoja suše in določanju praga suše, ki vodi do razglasitve suše kot naravne nesreče. DISS v tekoči vegetacijski sezoni izbrane kmetijske rastline primerjamo z dolgoletnim povprečjem v vsaki dekadi. V raziskavi smo vzpostavili koncept za slednje in zasnovo kazalcev kmetijske suše v Sloveniji. Vzpostavili smo metodologijo za zgodnje opozarjanje na kmetijsko sušo (faza 1), za izdajo opozoril na prve znake kmetijske suše (faza 2) in alarmiranje različnih stopenj kmetijske suše na različnih kmetijskih rastlinah (faza 3) (preglednica 1).
2. Klimatološka analiza DISSk. Za napovedovanje razvoja suše v tekoči vegetacijski sezoni ali tudi v krajšem obdobju znotraj sezone je treba izvesti klimatološko analizo obdobja suše (1961–2013). Na sliki 1 je prikazanih dvajset let z največjim DISSk za travo na tleh s slabo in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo za Mursko Soboto v obdobju 1961–2013. Tako lahko bolje načrtujemo možne scenarije razvoja suše glede na analogna leta v preteklosti. Za ugotavljanje sprememb smo izvedli primerjavo DISSk v dveh obdobjih 1961–1986 ter 1987–2012 za vse rastline in tla.
3. Sušni intervali in tipizacija suše. Naredili smo še podrobnejšo analizo DISS, in sicer porazdelitve jakosti in trajanja sušnih stresnih intervalov. Tipizacijo suše smo izvedli na primeru trave. Na sliki 2 je primer tipizacije suše za Mursko Soboto na dveh tipih tal z različnimi vodnozadrževalnimi sposobnostmi. Za ugotavljanje sprememb smo izvedli primerjavo DISS v dveh petindvajsetletnih obdobjih 1961–1986 ter 1987–2012. Za podrobnejši klimatološki pregled suše smo si ogledali tudi jakost suše v vegetacijski sezoni po posameznih letih. Pri tem smo uporabili naslednjo tipizacijo suše: blag primanjkljaj, ko je $DISS \leq 1$; zmerna suša, ko je $1 < DISS \leq 2$; močna suša, ko je $2 < DISS \leq 3$. Če je DISS enak 0 je dekada brez suše.
4. Jakost kmetijske suše. V tem delu študije smo ugotavljali vpliv tal in rastlin na DISSk. Uporabili smo percentilno analizo za določanje jakosti suše s pragi (75., 90., 98. percentil). Izdelali smo tudi verjetnost pojava kmetijske suše na različnih tleh in rastlinah po lokacijah.
5. Vrednotenje sušnega kazalca DISS smo opravili s podatki o poškodovanosti rastlin zaradi suše, pridelkih in meritvami vode v tleh. Proučili smo tudi, kako se obravnavani kazalci suše spreminjajo v času in prostoru. Rezultate smo ovrednotili z arhivskimi podatki o sušnih dogodkih v Sloveniji, ki smo jih pridobili iz zbirke podatkov AJDA Uprave za zaščito in reševanje (URSZR) za leto 2006 in arhiva zapisov o suši ARSO.



a



b

Slika 2. Tipizacija jakosti suše z DISS pri travi na tleh s slabo (a) in dobro (b) vodnozadrževalno sposobnostjo od 1. dekade aprila do 2. dekade septembra v obdobju 1961–2013 v Murski Soboti. Obdobja blagega primanjkljaja, zmerne in močne suše v dekadi so obarvana rumeno, oranžno in rdeče.

6. Prostorski prikaz DISS. Zasnovali smo okvir za prostorski prikaz DISS na kmetijskih zemljiščih. Ugotavljali smo pogostnost pojava suš v izbranih katastrskih občinah v obdobju 2000–2013. Le tako je bila možna interpretacija kazalca DISS na rabo zemljišča, v našem primeru koruze. Koruza je poljščina, ki jo je v zadnjih desetih letih suša pogosto prizadela. Zato je bilo primerneje uporabiti drugačen, preprostejši pristop za prostorski pregled DISSk. Ker smo želeli realni prostorski prikaz kazalca, katerega vrednost je povezana z

rabo zemljišča, je bila za osnovne prostorske enote uporabljena zbirka prostorskih podatkov GERK. Vsaki posamezni prostorski enoti smo priredili najbližjo meteorološko postajo, na kateri so izmerjeni parametri omogočili izračun vrednosti kazalca. Razdalja do merilne postaje se je izračunala iz geometrične središčne točke kmetijskega zemljišča. Vsakemu kmetijskemu zemljišču smo priredili tudi potrebne lastnosti tal – efektivno poljsko kapaciteto na podlagi pedološke karte.

Ugotovitve

Ugotovili smo, da je v novejšem obdobju (1987–2013) vedno več vegetacijskih obdobj izbranih rastlin, ko pade glede na dolgoletno povprečje 1971–2000 manj kot 70 % padavin kot v enako dolgem predhodnem obdobju (1961–1986). Nadaljnje analize so pokazale, da se količina padavin v obdobju 1961–2013 statistično značilno zmanjšuje na šestih od desetih obravnavanih lokacij v vegetacijskem obdobju trave. Pri spremembah padavin v vegetacijskem obdobju koruze, razen v Portorožu, ni statistično značilnih trendov, pri vegetacijski sezoni ozimne pšenice pa sta trenda zmanjševanja padavin značilna v Portorožu in Ratečah.

Tudi analiza SPI je potrdila nekatere spremembe, in sicer, da se v zadnjih letih, predvsem po letu 2000, pogosteje pojavljajo sušnejša spomladanska obdobja, ko je stanje glede na trimesečni SPI3 < -1. Tudi študija za štirimesečni SPI4 kaže, da v obdobju maj–avgust v zadnjih letih, predvsem po letu 2000, pogosteje beležimo sušnejša obdobja predvsem v Biljah in Portorožu. Tam je v obdobju 1993–2013 kar 7 oziroma 6 sušnih sezon za koruzo, določenih glede na SPI4 < -1. Manjše spremembe v smeri sušnejših sezon so tudi v Novem mestu in Črnomlju (4 več kot v obdobju 1972–1992), dve več pa v Murski Soboti in Mariboru. Kazalec meteorološka vodna bilanca omogoča večjo natančnost pri interpretaciji suše na kmetijskih površinah, kot ga omogoča le pregled padavinskih kazalcev. Razvoj sušnega dogodka in potencialne vplive na vegetacijo lahko v fazi 2 opišemo z meteorološko vodno bilanco. Ta poleg padavin vključuje evapotranspiracijo za referenčno rastlino. Na ta način je mogoče določiti delež potencialno izhlapele vode iz referenčne rastline v obravnavanem obdobju. Meje sušnosti smo določili na osnovi percentilne analize. Ko kumulativna vodna bilanca v vegetacijski sezoni preseže 75. percentil, je definirano območje sušnosti. Takrat nastopi faza 2 v tristopenjskem konceptu sledenja kmetijske suše. Kadar se negativna vodna bilanca še stopnjuje in preseže 95. percentil, je stanje zelo sušno, z 98. percentilom pa ekstremno sušno.

Pri klimatološki študiji spremenljivosti kmetijske suše v poletnem času smo uporabili prag vodne bilance -150 mm in razvrstili suše v obdobju 1963–2013 na lokalne, regionalne in nacionalne. Ugotovili smo, da se je po letu 2000 pojavilo kar 6 kmetijskih suš nacionalne razsežnosti. Analiza meteorološke vodne bilance v vegetacijskem obdobju trave kaže na večji primanjkljaj na večjem številu obravnavanih lokacij, pri čemer je v novejšem obdobju 1987–2013 največji porast primanjkljaja vode pri travi v Biljah (169,7 mm), kjer je bila pred letom 1987 vodna bilanca pozitivna. Za vegetacijsko sezono trave so trendi naraščajočega primanjkljaja vode v izbranem obdobju, razen v Črno-

mlju, statistično značilni na vseh lokacijah. Pri vegetacijski sezoni koruze so ti trendi statistično značilni v Ljubljani, Celju, Murski Soboti, Biljah in Portorožu. Pri ozimni pšenici trend ni statistično značilen le v Črnomlju.

Študija trendov kumulativnega indeksa sušnega stresa (DISSk) za vse kombinacije je pokazala, da se v novejšem obdobju 1987–2012 v večini primerov DISSk povečuje. Ugotovili smo, da je DISSk v obdobju 1987–2012 glede na obdobje 1961–1986 pri vseh obravnavanih rastlinah povprečno večji na vseh treh talnih tipih. Največje je povečanje DISSk na tleh z dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi. Pri travi je večji za več kot 132 %, pri koruzi za 116 % in pri ozimni pšenici za 35 %. Najmanjše je povprečno povečanje DISSk na tleh s slabimi vodnozadrževalnimi lastnostmi. Tla močno vplivajo na pojav obdobj z DISS > 1. Zelo jasen pa je tudi vpliv lokacije. Vsa navedena dejstva kažejo na večje tveganje suše na obravnavanih lokacijah.

Preverjanje kazalcev kaže, da se najbolje odzove DISSk, ki se najbolj ujema tudi z arhivom suš. Za tri večje kmetijske suše v Sloveniji smo izvedli tudi preverjanje rezultatov z arhivskimi zapisi o sušah. Le pri ekstremnih, dalj časa trajajočih in prostorsko razprostranjenih sušah se dokaj dobro odzivajo vsi kazalci. Tak primer je leto 2003. Pri regionalnih sušah (tip suš leta 2006 in 2012), ki pa so pogost pojav v Sloveniji, pa je najboljše stanje opisal DISSk, enostavni kazalci pa suše ne zaznajo.

Pri zasnovi opozarjanja na kmetijsko sušo v Sloveniji smo upoštevali logiko tristopenjskega koncepta (preglednica 1):

- zgodnje opozarjanje na kmetijsko sušo (faza 1) se prične, ko je padavin (od 1. aprila dalje) manj kot v dolgoletnem povprečju. Obstaja velika verjetnost za potencialen vpliv suše na kmetijske površine;
- opozorilo na prve znake kmetijske suše (faza 2) se izda, ko je kumulativna meteorološka vodna bilanca v izbranem obdobju (od 1. aprila dalje) podpovprečna. Na kmetijskih rastlinah se lahko pričakuje kmetijska suša. Potrebni so tehnološki ukrepi za zmanjšanje posledic;
- kmetijska suša nastopi (faza 3), ko suša že vpliva na rastline. Kmetijske rastline v tekoči kmetijski pridelavi kažejo znake sušnega stresa. Na osnovi definiranih statističnih pragov je sušni stres za posamezno rastlino izražen v DISS in DISSk, v izbranem obdobju kmetijske pridelave.

Z vključevanjem večjega števila vhodnih podatkov postane informacija bolj kakovostna. Še vedno ostajajo

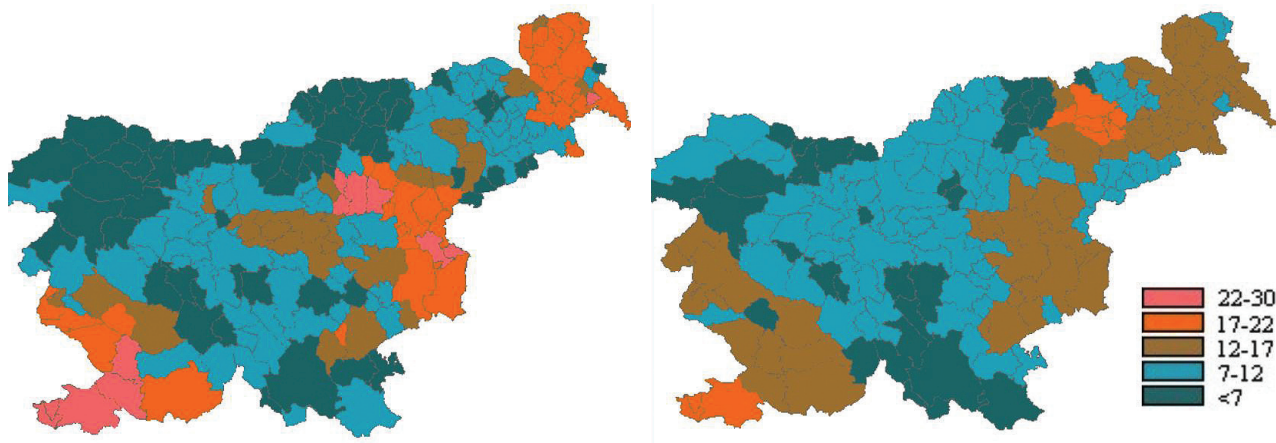
Preglednica 1. Tristopenjski koncept spremljanja kmetijske suše.

faza	aktivnost	opis	kazalci
faza 1	zgodnje opozarjanje na sušo	primanjkljaj padavin (meteorološka suša)	SPI3 < -1, delež kumulativnih padavin v vegetacijski sezoni (% dolgoletnega povprečja)
faza 2	opozorilo na prve znake kmetijske suše	meteorološka vodna bilanca (referenčna rastlina)	meteorološka bilanca pod statistično določeno mejo (percentilna analiza): - 75. percentil – sušno - 90. percentil – zelo sušno - 98. percentil – ekstremno sušno
faza 3	kmetijska suša	sušni stres kmetijskih rastlin (vodna bilanca specifične kmetijske rastline)	DISSk za izbrano kmetijsko rastlino - 75. percentil – sušno - 90. percentil – zelo sušno - 98. percentil – ekstremno sušno

največje ovire pomanjkanje podatkov o aktualnem razvoju rastlin, majhnost obdelovalnih površin ter reliefna in pedološka raznolikost Slovenije in na koncu prostorska ocena poškodovanosti.

V prihodnosti bo treba opraviti še nadaljnje raziskave, ki bodo razjasnile mnoge negotovosti kazalcev. Vsekakor je zasnova kazalcev kmetijske suše v doktorski disertaciji dobra osnova, ki bi lahko pripomogla k boljšemu sledenju kmetijske suše in blažitvi tovrstnih posledic podnebnih sprememb in je tudi praktično izvedljiva. Zasnova okvira kazalcev za slednje kmetijske suše ima potencialno uporabno vrednost, saj zmanjšuje subjektivnost določanja poškodovanosti rastlin zaradi suše. Tako smo povprečen DISSk in s tem posredno poškodovanost koruze zaradi suše z v dveh sušnih letih 2003 in 2013 za kmetijsko rabo – njiva prikazali na GERK natančno (slika 3). Potencialni uporabniki so: kmetijske svetovalne službe, zavarovalnice, komisije za odpravo posledic škode v kmetijstvu,

ministrstva, agencije in drugi. Uporabna vrednost kazalcev bo še večja, če bodo dostopni kakovostni podatki za krmiljenje modela (agronomski, pedološki, podatki o rabi zemljišč, škode ipd.) in poenotene evidence različnih inštitucij. Tu obstaja še veliko možnosti za razvoj. Trenutno je pomanjkljivost sistema za ugotavljanje poškodovanosti po suši neažurnost podatkov, premajhna natančnost in slaba dostopnost podatkov. Ob izboljšanju evidenc in integraciji podatkov je možno tudi zmanjšati stroške za postopke določanja suše. Novo vzpostavljeni okvir za spremljanje kmetijske suše lahko pomaga pri oceni stanja in vpliva suše na kmetijstvo, pri pripravi smernic in ukrepov za prilagajanje in zmanjševanje posledic suše, pri pripravi programa za odpravo posledic po suši in tudi pri strategijah za upravljanje suše ter študijah vpliva podnebnih sprememb na kmetijsko pridelavo. Na ta način bi lahko dosegli boljšo preventivo, zmanjšali tveganje in spodbujali primere dobrega gospodarjenja v kmetijstvu.



Slika 3. Povprečen DISSk za koruzo za leti 2003 (levo) in leto 2013, preračunan na GERK-e s kmetijsko rabo – njiva.

Viri

Ceglar A., Kajfež Bogataj L. 2008. Obravnava meteorološke suše z različnimi indikatorji. *Acta agriculturae Slovenica*, 91, 2: 407–425

Cloppet E. 2011. Agricultural drought indices in France and Europe: strenghts, weknesses, and limitations. V: *Agricultural drought indices. Proceedings of the WMO/UN ISDR expert group meeting on agricultural drought indices, 2-4 June 2010, Murcia, Spain*. Sivakumar, M.V.K., Motha R.P., Wilhite D.A., Wood D.A. (ur.). Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization: 83–94.

Hayes M., Svoboda M., Wall N., Widhalm M. 2011. The Lincoln declaration on drought indices. *Universal meteorological drought index recommended. American Meteorological Society*: 485-488.

Kajfež Bogataj L., Cviki B., Ceglar A. 2011. Projekt EuroGEOSS – spremljanje suš: The EuroGEOSS Project – Drought Monitoring. *Ujma*, 25: 190–195.

Potop V., Možný M., Soukup J. 2012. Drought evolution at

various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 156: 121–133.

Sepulcre-Canto G., Horion S., Singleton A., Carrao H., Vogt J. 2012. Development of a combined drought indicator to detect agricultural drought in Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12: 3519–3531.

Sivakumar M.V.K., 2011. Agricultural drought – WMO perspectives. *Agricultural drought indices. Proceedings of the WMO/UN ISDR expert group meeting on agricultural drought indices, 2-4 June 2010, Murcia, Spain*. Sivakumar M.V.K., Motha R.P., Wilhite D.A., (ur.) Geneva, Switzerland, World Meteorological Organisation: 172-197.

Special report on the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. 2012. Cambridge, Cambridge University Press, IPCC (International Panel on Climate Change): 582 str.

Sušnik A. 2006. Vodni primanjkljaj v Sloveniji in možni vplivi podnebnih sprememb. *Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo*: 147 str.



Enosmerna in dvosmerna sklopitev atmosferskega in morskega modela na področju severnega Jadrana za primer burje februarja 2012

Peter Smerkol, Matjaž Ličer, Anja Fettich, Jure Cedilnik, Benedikt Strajnar
peter.smerkol@gmail.com

Povzetek

Naredili smo primerjavo odziva morskega in atmosferskega modela na primeru izjemne burje februarja 2012 pri enosmerni in dvosmerni sklopitvi. Ta dogodek smo izbrali zato, ker je pri takšnih ekstremnih razmerah pričakovan medsebojni vpliv morja in ozračja največji. Uporabili smo modela ALADIN (atmosferski model) in POM (morski model). Oba modela operativno tečeta na Agenciji Republike Slovenije za okolje. Sklopljena sta tako, da si izmenjujejo izračunane podatke toplotnih tokov, hitrosti vetra, količine padavin, zračnega tlaka na morski gladini in temperature gladine morja. Dvosmerno sklopitev smo naredili s pomočjo orodja OASIS, kjer se količine izmenjujejo v vsakem računskem časovnem koraku, pri enosmerni sklopitvi pa se toplotni tokovi izmenjujejo samo vsako uro računskega časa. Primerjali smo toplotne tokove, temperaturo morja in zraka ter jakost padavin izračunanih po prvi in drugi različici sklopitve. Modelske izračune temperature zraka in morja ter jakosti padavin smo preverili tudi z meritvami iz oceanografskih boj in meteoroloških postaj. Rezultati modeliranja z dvosmerno sklopitvijo se veliko bolje ujemajo z meritvami, medtem ko je morje v enosmerni sklopljenem modelu sistematično prehladno. Najpomembnejši razlog za dvosmerno sklopitvanje je izboljšani izračun temperature gladine morja v atmosferskem modelu in zaradi tega so bolj realistični tudi toplotni tokovi med modeloma.

Ključne besede: sklopitev morskega in atmosferskega modela, obdobje burje februarja 2012, primerjava enosmerno in dvosmerno sklopljenih modelov

Abstract

The paper presents a performance comparison of one- and two-way coupled atmosphere-ocean modeling systems on the extreme Bora event in February 2012. This event was chosen because at such extreme circumstances the expected air-sea interactions are most intense. Models used in the comparison were the atmospheric model ALADIN and the ocean model POM, which are both in the operational use at the Slovenian Environmental Agency. The models were coupled through heat fluxes, wind speed, precipitation, mean sea level pressure and sea surface temperature. The two-way coupled system was implemented with the OASIS coupling toolkit, where all quantities were exchanged at each timestep. At one-way coupled system only heat fluxes at each hour of model integration time were exchanged. The comparison of modeled heat fluxes, sea and air temperature and rainfall rate of the two couplings was made. Air and sea temperature and rainfall rate were compared with measurements on oceanographic buoys and meteorological stations. The two-way coupled model results are closer to measurements, while the sea temperature in one-way coupling is systematically too cold. The main reason for two-way coupling is the improved sea surface temperature in the atmospheric model and consequently the heat fluxes between models are corrected and more realistic.

Keywords: : atmosphere-ocean model coupling, Bora wind episode in February 2012, comparison of one- and two-way coupled models

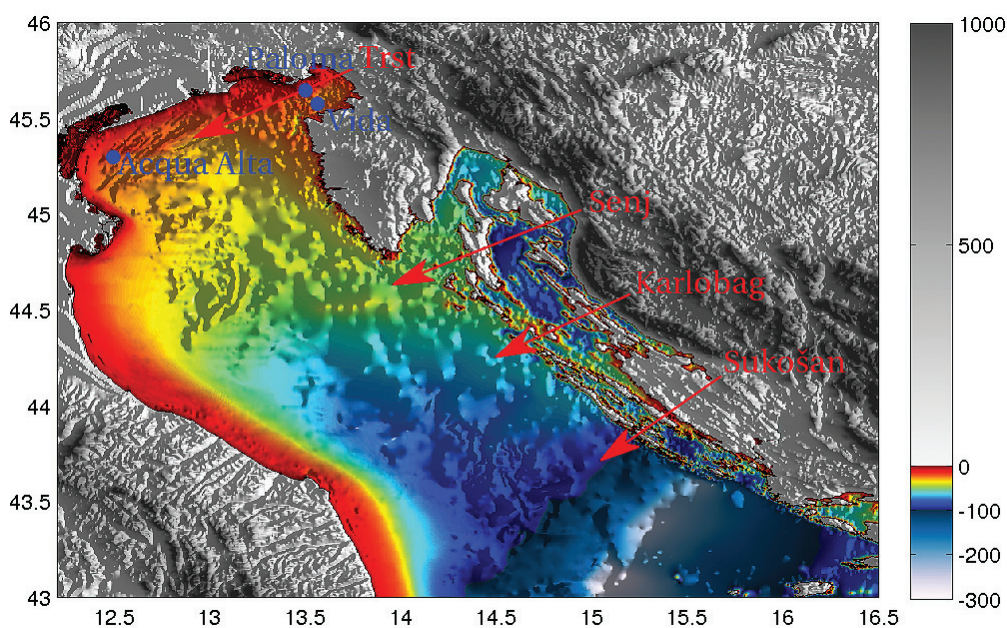
Uvod

Morje in ozračje vplivata drug na drugega preko skupne ploskve - morske gladine, kar morata pri računanju napovedi upoštevati tako morski kot atmosferski model. Običajno se ta vpliv upošteva v vsakem modelu posebej, tako da izračunane veličine v enem modelu drugemu prenesemo preko robnih pogojev. Ta način za primere, ko je medsebojni vpliv velik, ni nujno dovolj natančen, saj se robni pogoji običajno prenašajo z veliko večjim časovnim korakom kot je računski korak modela, ali pa se prenesejo samo ob začetku napovedi, nato pa ostanejo konstantni celoten čas računanja. Prav tako ni nujno, da so robni pogoji rezultat izračuna drugega modela, temveč so velikokrat uporabljene analize, ki upoštevajo satelitske meritve ali pa rezultate globalnih modelov z veliko manjšo ločljivostjo. Pričakovati je, da je ob takih primerih bolje uporabljati t.i. dvosmerno sklopljena modela, kar pomeni, da se potrebna izračunana informacija med modeloma prenese v vsakem računskem koraku, tako da lahko oba modela to informacijo dinamično upoštevata v vsakem koraku. To dejstvo smo preverili na območju severnega Jadranskega morja, tako da smo primerjali rezultate enosmerno in dvosmerno sklopljenih modelov.

Področje severnega Jadrana je zaradi svojih značilnosti na medsebojne vplive ozračja in morja še posebej občutljivo, saj je morje tu plitvo in se zato hitreje odziva na razmere v ozračju, od katerih ima še posebej velik vpliv burja. Burja je veter, ki piha pretežno pozimi in je posledica močnega katabatičnega toka celinskega polarnega zraka, ki teče po pobočjih

Dinarske orografske pregrade preko Jadranskega morja (Kuzmič in sod. 2007). Tok burje preko morske gladine se pri vrzelih v Dinarskem gorstvu (Trst, Senj, Karlobag, Sukošan) večinoma pojavlja v obliki močnih vetrovnih strženov (slika 1). V obdobjih burje je medsebojni vpliv morja in ozračja močno povečan, saj burja v plitvem severnem Jadranskem morju premeša celotni vodni stolpec in tako še dodatno ohladi vodo, ki posledično ohlaja okoliški zrak. Zato je tako obdobje zelo primerno za preučevanje razlik med enosmerno in dvosmerno sklopljenimi modeli. Tako je bila za različna obdobja burje izvedena že vrsta meritev ter raziskav, tako z enosmerno (Zore-Armanda in Gačič 1987; Paklar in sod. 2001; Kuzmič in sod. 2007) kot z dvosmerno sklopljenimi (Pullen in sod. 2003; Pullen in sod. 2005; Dorman in sod. 2006; Pullen in sod. 2007) modeli.

Še posebej zanimiv je primer obdobja burje februarja leta 2012, saj je bila tako po moči kot po dolžini trajanja izjemna. Izjemno močna burja s povprečno hitrostjo vetra nad 10 m/s je vztrajala več kot dva tedna (od 29. januarja do 15. februarja) ter shladila morje v Tržaškem zalivu pod 4 °C (Raicich in sod. 2013) (sliki 2 in 3). Zato je bil ta dogodek najprimernejši za preučevanje vpliva dvosmerne sklopitve, saj je bilo pričakovati, da bo pri tako izjemnih vremenskih razmerah dvosmerna sklopitve veliko natančneje opisala stanje ozračja in morja kot enosmerna. Dogodek je bil že obravnavan z dvosmerno sklopitvijo ozračje-morjevalovi v sklopu raziskovanja nastajanja in razširjanja goste vode ob burji v Tržaškem zalivu (Benetazzo in sod. 2014), v tem delu pa se osredotočamo na razliko v napovedih enosmerne in dvosmerne sklopitve s



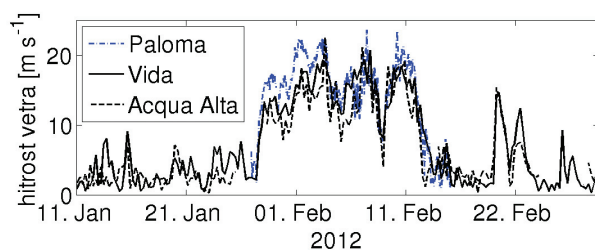
Slika 1. Topografija Jadranskega morja. Modre pike označujejo lokacije merilnih boj, rdeče puščice pa smer vetrovnih strženov burje.

Figure 1. The Adriatic Sea topography. Blue dots mark the positions of oceanographic buoys and red arrows depict the Bora wind jet directions.



Slika 2. Zaledeneli pomol v Trstu med burjo februarja 2012. (Slika iz portala <http://www.wunderground.com>, uporabnik: rago)

Figure 2. Frozen pier in Trieste during bora in February 2012. (Picture from <http://www.wunderground.com>, user: rago)



Slika 3. Meritve hitrosti vetra v januarju in februarju 2012 na merilnih mestih VIDA, PALOMA in ACQUA ALTA.

Figure 3. Wind speed measurements in January and February 2012 at VIDA, PALOMA and ACQUA ALTA measuring locations.

primerjavami spremenljivk, ki se neposredno izmenjujejo med modeloma.

Fizikalni opis sklopitve

Energija se med zrakom in morjem prenaša preko morske gladine, kar pomeni, da sta modela, ki opisujeta ozračje in morje, odvisna drug od drugega. Prenos energije opišemo z izmenjavo toplotnih tokov, ki jih ločimo na več vrst glede na vzrok nastanka. Za izračun tokov uporabljamo shemo ISBA¹ (Noilhan in Mahfouf 1996):

Sevalni tok. Je vsota tokov sončnega sevanja R_G , popravljenega za albedo morja α_t in infrardečega sevanja ozračja R_A , zmanjšane za infrardeče sevanje morja. Izračunamo ga po enačbi:

$$R_n = R_G(1 - \alpha_t) + \varepsilon_t(R_A - \sigma_{SB}T_s^4) \quad 1$$

kjer je ε_t povprečna emisivnost ozračja, σ_{SB} Stefan-Boltzmannova konstanta, T_s pa temperatura gladine morja.

Zaznavni toplotni tok. Nastane zaradi razlike temperature med morjem in ozračjem. Izračunamo ga po enačbi:

$$H = \rho_a c_p C_H V_a (T_s - T_a) \quad 2$$

kjer je c_p specifična toplota zraka, ρ_a je gostota zraka, V_a velikost hitrosti vetra in T_a temperatura na spodnjem modelskem nivoju atmosferskega modela, T_s je temperatura morske gladine in C_H koeficient, odvisen od toplotne stabilnosti ozračja, ki ga izračunamo po modificirani Louis-ovi turbulenčni shemi (Mascart in sod. 1995).

Latentni toplotni tok. Nastane zaradi izhlapevanja in kondenzacije vode na morski gladini, ko se zaradi faznega prehoda porablja ali sprošča energija. Formula za izračun je:

$$E = \rho_a L C_H V_a (q_{sat}(T_s) - q_a) \quad 3$$

kjer so ρ_a gostota zraka, V_a velikost hitrosti vetra in q_a specifična vlažnost zraka na spodnjem modelskem nivoju atmosferskega modela, $q_{sat}(T_s)$ je nasičena specifična vlažnost pri temperaturi gladine morja, L je specifična izparilna toplota vode in C_H koeficient upora (glej enačbo za zaznavni tok).

Atmosferski model posreduje morskeemu razen toplotnih tokov še hitrost vetra, ki jo morski model uporabi pri izračunu sile vetrovnega striženja, količino padavin, ki v morju vpliva na slanost in zračni tlak na morski gladini, od katerega je odvisna višina gladine morja. Morski model pa atmosferskemu posreduje temperaturo morske gladine.

Enosmerna sklopitev

ALADIN

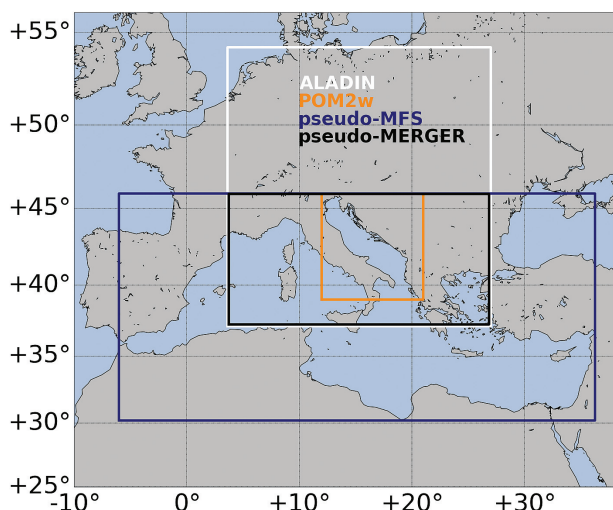
ALADIN² je spektralni numerični model za napovedovanje vremena, razvit v Météo France (Fischer in sod. 2005). Model poganjamo na mreži iz 432x432 horizontalnih celic s prostorsko ločljivostjo 4,4 km in 87 vertikalnih nivojev. Domena modela obsega večji del srednje Evrope s celotnim Jadranskim morjem (slika 4). Dolžina enkratne napovedi znaša 24 ur, pri čemer so začetni pogoji dobljeni iz modela IFS³, ki ga uporabljajo v Evropskem centru za srednjeročne napovedi vremena (ECMWF⁴), ter iz atmosferske analize, ki upošteva modelsko stanje pred začetkom napovedi in vse razpoložljive meritve v tem času. Časovni korak računanja modela je 180 sekund. Toplotni tokovi se

² Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational

³ Integrated Forecast System

⁴ European Centre for Medium-Range Weather Forecast

¹ Interaction Soil Biosphere Atmosphere



Slika 4. Domene vseh OASIS objektov uporabljenih pri sklopitvi atmosfere in morskega modela.

Figure 4. Domains of all OASIS objects used in the atmosphere-ocean coupling scheme.

v ALADIN-u izračunajo po zgoraj opisani shemi ISBA, vendar spreminjanje temperature gladine morja ni modelirano, zato se ta vzame iz analize OSTIA⁵ (Donlon in sod. 2012) in je konstantna celoten čas računanja napovedi. Model ALADIN v tem načinu ni sklopljen z modelom POM⁶, saj od njega ne prejme nobene informacije.

POM

POM je oceanski cirkulacijski model z Mellor-Yamada vertikalno turbulenčno shemo (Blumberg in Mellor 1987). Ima 271x209 celic, s horizontalno ločljivostjo 3.6 km in 25 vertikalnih nivojev. Domena obsega celotno Jadransko morje (slika 4). Pri napovedi upoštevamo tudi pretok rek, kjer za večino rek uporabljamo klimatološke vrednosti, za reko Pad vzamemo izmerjeno dnevno povprečje, pri Soči pa uporabljamo pretoke iz modela HFS⁷ (Nielsen in Hansen 1973). En zagon modela simulira 24 ur, pri čemer začetne pogoje ob prvem zagonu dobimo iz dnevne napovedi modela MyOcean MFS⁸ (Tonani in sod. 2009), nato pa za vsak nadaljnji zagon uporabimo stanje ob koncu predhodnega zagona. Vrednosti toplotnih tokov in ostalih izmenjanih količin na gladini preberemo iz modela ALADIN enkrat na uro računanja. Model POM je tako enosmerno sklopljen z modelom ALADIN, vendar pa je časovni korak sklopitve (1 ura) dvajsetkrat večji kot časovni korak računanja (180 sekund).

⁵ Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice analysis

⁶ Princeton Ocean Model

⁷ Hydrological Forecasting System

⁸ Mediterranean Forecasting System

Dvosmerna sklopitev

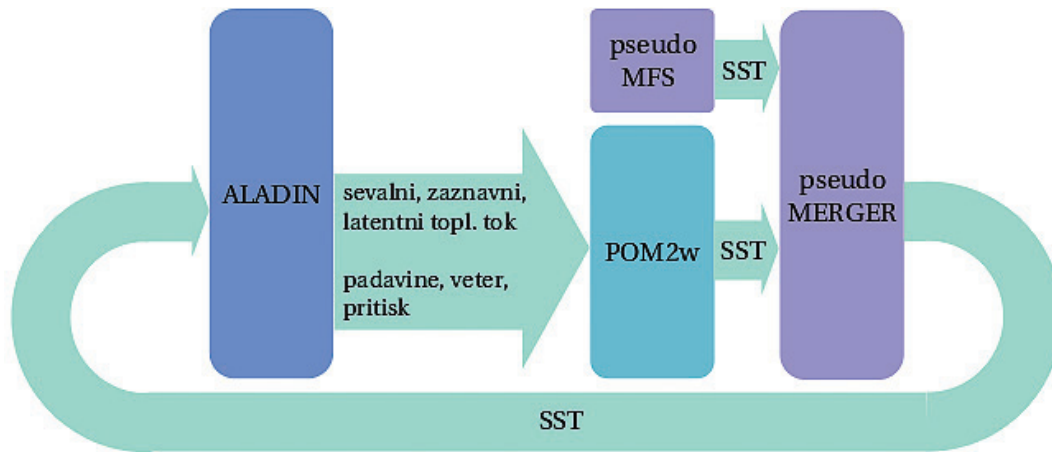
Pri dvosmerni sklopitvi modela povežemo tako, da si v vsakem računskem časovnem koraku (180 sekund) izmenjata pomembne količine. Iz POM-a se izračunana temperatura gladine morja prenese v ALADIN, ta s to vrednostjo izračuna toplotne tokove, nato pa jih ponovno uporabi POM. Poleg tega POM uporabi še hitrost vetra, količino padavin in zračni tlak na morski gladini iz ALADIN-a. S tem se v ALADIN pripelje dinamična informacija iz morskega modela, ta pa povratno preko toplotnih tokov vpliva nazaj na POM. Treba je poudariti, da model ALADIN na začetku vsake napovedi za začetno stanje uporabi analizo ozračja, v kateri uporabi temperaturo morske gladine iz analize OSTIA in ne temperature morske gladine iz prejšnjega stanja modela POM. Zato izgubi večji del informacije o svoji zgodovini. Ta se ohrani le preko povratnega vpliva modela POM, ki svojo zgodovino ohrani, saj za začetno stanje ob začetku vsakega zagona uporabi končno stanje iz svojega predhodnega zagona.

Dvosmerno sklopitev smo izvedli s pomočjo programskega orodja OASIS3-MCT⁹ (Valcke 2013). V njem povežemo štiri samostojne objekte, ki za OASIS predstavljajo neodvisne modele, čeprav to drži le za POM in ALADIN, ostala dva objekta pa sta pomožna. Domena modela ALADIN namreč obsega tudi del Sredozemskega morja, ki ga v domeni modela POM ni (slika 4). Zato na tem področju za temperaturo morske gladine vzamemo napoved povprečne dnevne temperature morske gladine iz modela MFS, ki jo spravimo v objekt pseudo-MFS. Četrty objekt (pseudo-MERGER) pa ploskovni polji temperature iz modela POM in objekta pseudo-MFS združi v eno polje, ki ga potem uporabi model ALADIN. Za zmanjšanje velikih gradientov, ki se pojavijo v polju temperature morske gladine na meji med modeloma POM in pseudo-MFS, uporabimo bilinearno interpolacijo v vseh celicah, ki so oddaljene od meje domene modela POM za manj kot 5 celic. Interpolacije pri prenosu polj med različnimi mrežami OASIS objektov se izvedejo samodejno z orodjem OASIS. Shema sklopitve v enem modelskem časovnem koraku je prikazana na sliki 5.

Rezultati

Za poskus smo z zgoraj opisanimi enosmerno in dvosmerno sklopitvijo modelov POM in ALADIN izračunali rezultate za obdobje od 6.11.2011 do 1.6.2012. Začetek simulacije je bil izbran precej pred začetkom obdobja burje zato, da se je vpliv robnih pogojev do tega obdobja lahko razširil po celotni domeni, da se začetni pogoji, ki so vzeti iz drugačnih modelov (MFS, ECMWF), uskladijo z obnašanjem naših modelov, ter da se možne začetne neskladnosti, ki lahko nastanejo

⁹ Model Coupling Toolkit



Slika 5. Sklopitvena shema v orodju OASIS za en računski korak. Pravokotniki označujejo objekte, ki za OASIS predstavljajo neodvisne modele. Modelski čas raste od leve proti desni.

Figure 5. Two-way atmosphere-ocean coupling scheme for one coupling timestep. Rounded rectangles denote distinct OASIS objects, effectively treated by OASIS as independent models. Time instant of any specific coupling exchanges within one coupling timestep grows from left (earliest) to right (latest).

na primer zaradi vseh uporabljenih interpolacij, izniha-
jo. Pri obeh sklopitvah smo naredili zadostno število
24-urnih napovedi, da smo pokrili celotno zgoraj
omenjeno obdobje, nato pa preverili napovedi obeh
modelov okoli obdobja najmočnejše burje, januarja in
februarja 2012.

Najprej smo naredili primerjavo izmenjanih toplotnih
tokov med enosmerno in dvosmerno sklopitvijo, saj
spremembe v toplotnih tokovih neposredno vplivajo
na sklopitev in tako prinesejo največ k razliki (t.i. 1.
red sprememb), v primerjavi z učinkom, ki ga ima npr.
povečana frekvenca izmenjave, ter spremembe ostalih
količin, kot so veter, padavine, tokovi, slanost, ipd. (t.i.
2. red).

Na sliki 6 je prikazana ploskovna gostota celotnega to-
plotnega toka, izračunanega v dvosmerno sklopljenem
modelu ALADIN v obdobju pred in med burjo. Med
burjo so jasno vidni vetrovni strženi burje, saj se v njih
predvsem tokova zaznavne in latentne toplote močno
povečata. Negativen predznak pomeni, da tok teče iz
morja v ozračje, torej se morje tam hladi. Če primerja-
mo razlike v celotnem toplotnem toku, izračunanem v
dvosmerno in enosmerno sklopljenem modelu ALADIN
(slika 6), vidimo, da so razlike prisotne že v obdobju,
ko burje ni, močno pa se povečajo med burjo. Še po-
sebej velike negativne razlike so v vetrovnih strženih,
kjer je interakcija med morjem in ozračjem najmočnej-
ša, kar pomeni, da je v enosmerno sklopljenem mode-
lu celoten toplotni tok iz morja večji in se zato na teh
področjih morje bolj ohlaja. Na sliki 6 je prikazana tudi
časovna vrsta celotnega toplotnega toka za dvosmer-
no in enosmerno sklopitev ter njuna razlika na lokaciji
merilne boje Paloma za obdobje od začetka januarja
do konca februarja 2012. Boja Paloma se nahaja v
tržaškem vetrovnem strženu in iz vrednosti toplotnega
toka na njeni lokaciji so lepo razvidne vse prej našteje
značilnosti. Med najmočnejšo burjo razlike celotnih

toplotnih tokov med dvosmerno in enosmerno sklopi-
tvijo lahko dosežejo tudi do 150 W/m^2 .

Razlike med toplotnimi tokovi v dvosmerni in enosmer-
ni sklopitvi so precejšnje, vendar meritev toplotnih to-
kov ni, zato moramo ujemanje izračunanih rezultatov
z dejanskim stanjem ozračja in morja preveriti preko
količin, za katere obstajajo meritve v tem obdobju.

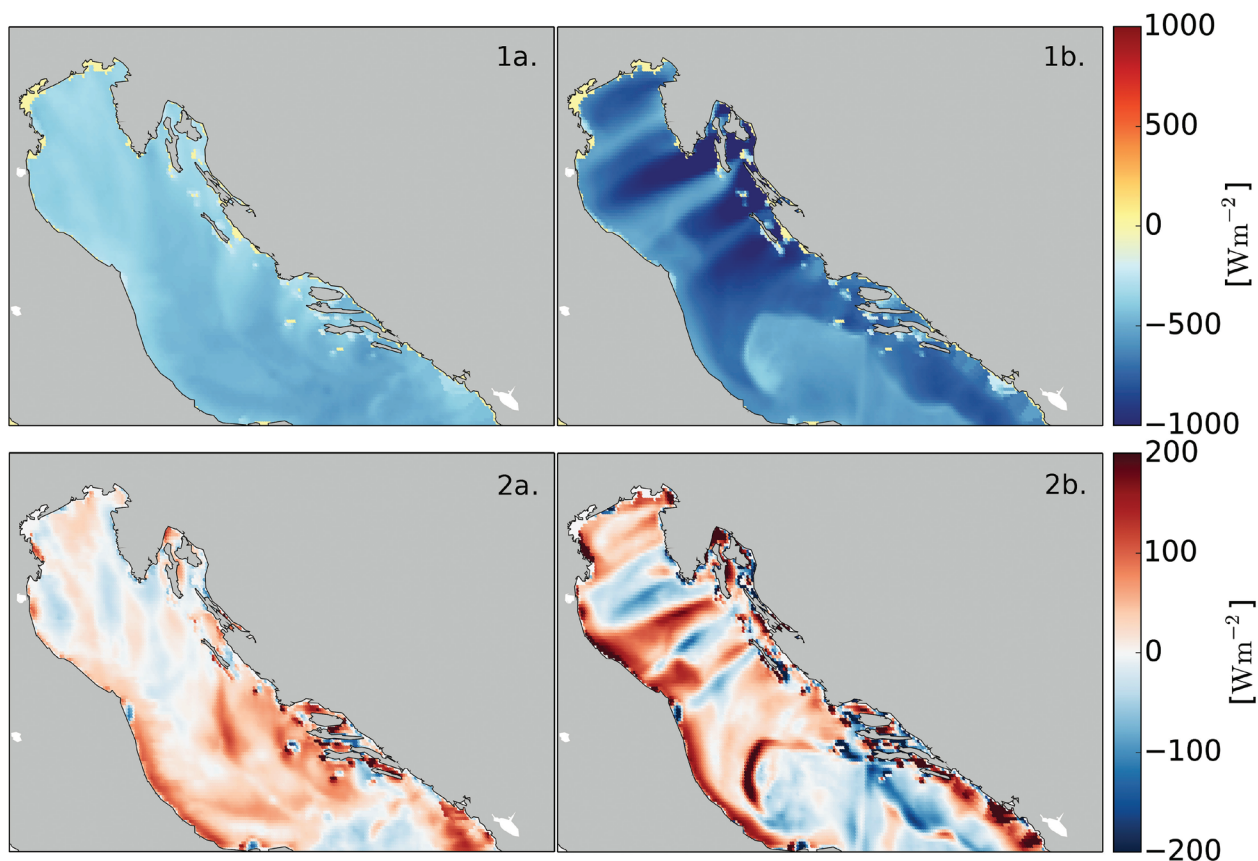
Ujemanje rezultatov morskega modela z meritvami
najlažje preverimo s pomočjo temperature morja, saj
je ta zelo odvisna od toplotnih tokov na površini. Na
področju severnega Jadrana smo vzeli meritve iz treh
merilnih mest: merilne boje VIDA, ki jo upravlja Morska
Biološka Postaja (NIB¹⁰) in merilne boje PALOMA, ter
merilne ploščadi ACQUA ALTA, ki ju upravlja CNR-IS-
MAR¹¹. VIDA meri temperaturo morja na globini 2 m,
PALOMA na globinah 3 m in 15 m, ACQUA ALTA pa
na globini 2 m. Rezultate smo preverili za obdobje
februarja 2012. Slika 7 prikazuje časovne vrste tem-
perature morja na izbranih lokacijah za enosmerno in
dvosmerno sklopitev ter meritve. Dodana je še tem-
peratura gladine morja iz analize OSTIA. Izračunana
temperatura morja se z meritvami veliko bolje ujema
pri dvosmerni sklopitvi. Kvantitativno to potrdimo z iz-
računom statističnih kazalcev, prikazanih v preglednici
1, ki so izračunani po enačbah:

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i^{\text{model}} - x_i^{\text{obs}}) \quad 4$$

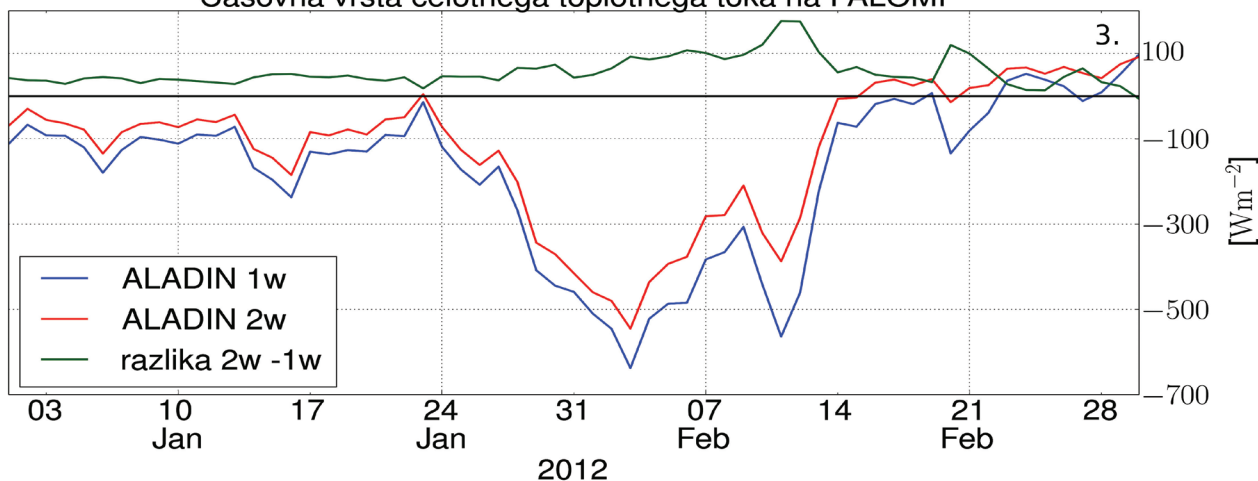
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i^{\text{model}} - x_i^{\text{obs}})^2} \quad 5$$

10 Nacionalni biološki institut

11 Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di scienze MARine



Časovna vrsta celotnega toplotnega toka na PALOMI

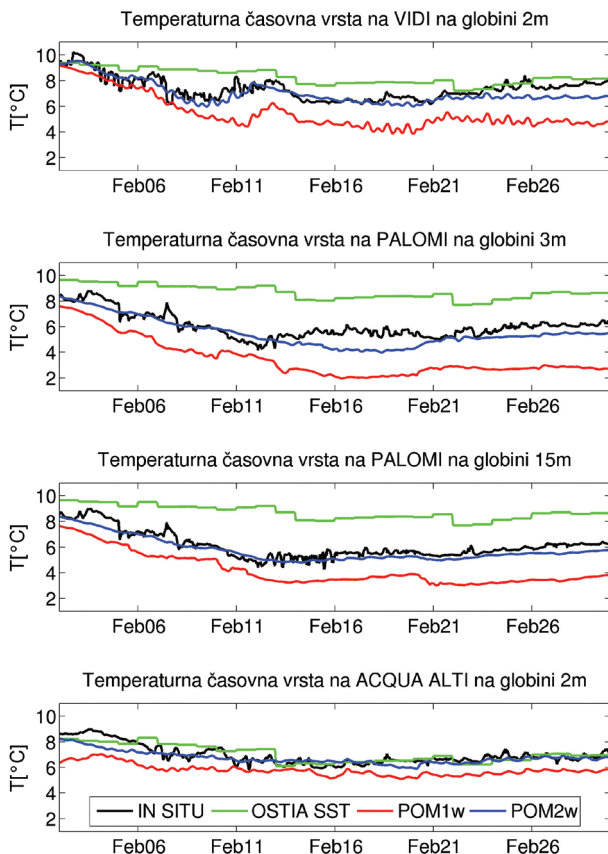


Slika 6.

1. Celoten toplotni tok iz modela ALADIN v dvosmerni sklopitvi ob 23:00. 1a. Obdobje brez burje (20.1.2012). 1b. Obdobje burje (10.2.2012). Negativen predznak pomeni, da toplotni tok teče v smeri iz morja v atmosfero.
2. Razlika celotnih toplotnih tokov iz modela ALADIN med dvosmerno in enosmerno sklopitvijo ob 23:00. 2a. Obdobje brez burje (20.1.2012). 2b. Obdobje burje (10.2.2012).
3. Časovna vrsta vrednosti celotnega toplotnega toka iz modela ALADIN na lokaciji merilne boje Paloma v obdobju januar in februar 2012. Rdeča barva označuje vrednost iz dvosmerno sklopljenega modela, modra iz enosmerno sklopljenega in zelena označuje njuno razliko.

Figure 6.

1. Total heat flux from the two-way coupled ALADIN model at 23:00. 1a. Period without bora wind (20.1.2012). 1b. Period with bora wind (10.2.2012). Negative sign denotes flow of total heat flux from the sea to the atmosphere.
2. Total heat fluxes difference between two-way and one-way coupled ALADIN model at 23:00. 2a. Period without bora wind (20.1.2012). 2b. Period with bora wind (10.2.2012).
3. Timeseries of total heat flux values from the ALADIN model on the location of Paloma oceanographic buoy for January and February 2012. Red color denotes values from two-way, blue from one-way coupled model and green denotes their difference.



Slika 7. Časovne vrste temperature morja na bojah VIDA in PALOMA in merilni ploščadi ACQUA ALTA. S črno barvo so označene meritve, z zeleno temperatura iz analize OSTIA, z rdečo barvo rezultati enosmerne sklopljenega modela in z modro rezultati dvosmerne sklopljenega modela.

Figure 7. Temperature timeseries on VIDA and PALOMA buoys and ACQUA ALTA platform. Black color denotes in situ data, green is the OSTIA analysis, red color denotes one-way coupled model results and blue color two-way coupling results.

BIAS je mera za sistematsko odstopanje rezultatov od meritev, RMSE oziroma koren srednjega kvadrata odstopanj pa predstavlja celotno napako (sistematsko in ne-sistematsko).

Pri vseh preverjenih primerih sta BIAS in RMSE dvosmerne sklopljenih modelov precej manjša, kar pomeni, da so rezultati pri dvosmerni sklopitvi izrazito boljши. Enosmerne sklopljen POM je sistematično prehladen, kar podpre naše predhodne rezultate primerjave toplotnih tokov.

Ugotovimo lahko tudi razlog za takšno obnašanje enosmerne sklopljenega POM-a: kot smo že omenili, pri enosmerni sklopitvi model ALADIN za računanje toplotnih tokov za temperaturo površine morja uporablja analizo OSTIA, ki je na sliki 7 prikazana z zeleno barvo. Kot je razvidno iz te slike, je temperatura iz te analize sistematično previsoka, kar povzroči, da je toplotni tok iz morja v ozračje prevelik, in posledično

Preglednica 1. BIAS in RMSE temperature morja enosmerne in dvosmerne sklopljenih modelov na bojah VIDA (na 2 m globine) in PALOMA (na globinah 3 m in 15 m) in merilni ploščadi ACQUA ALTA (na globini 2 m).

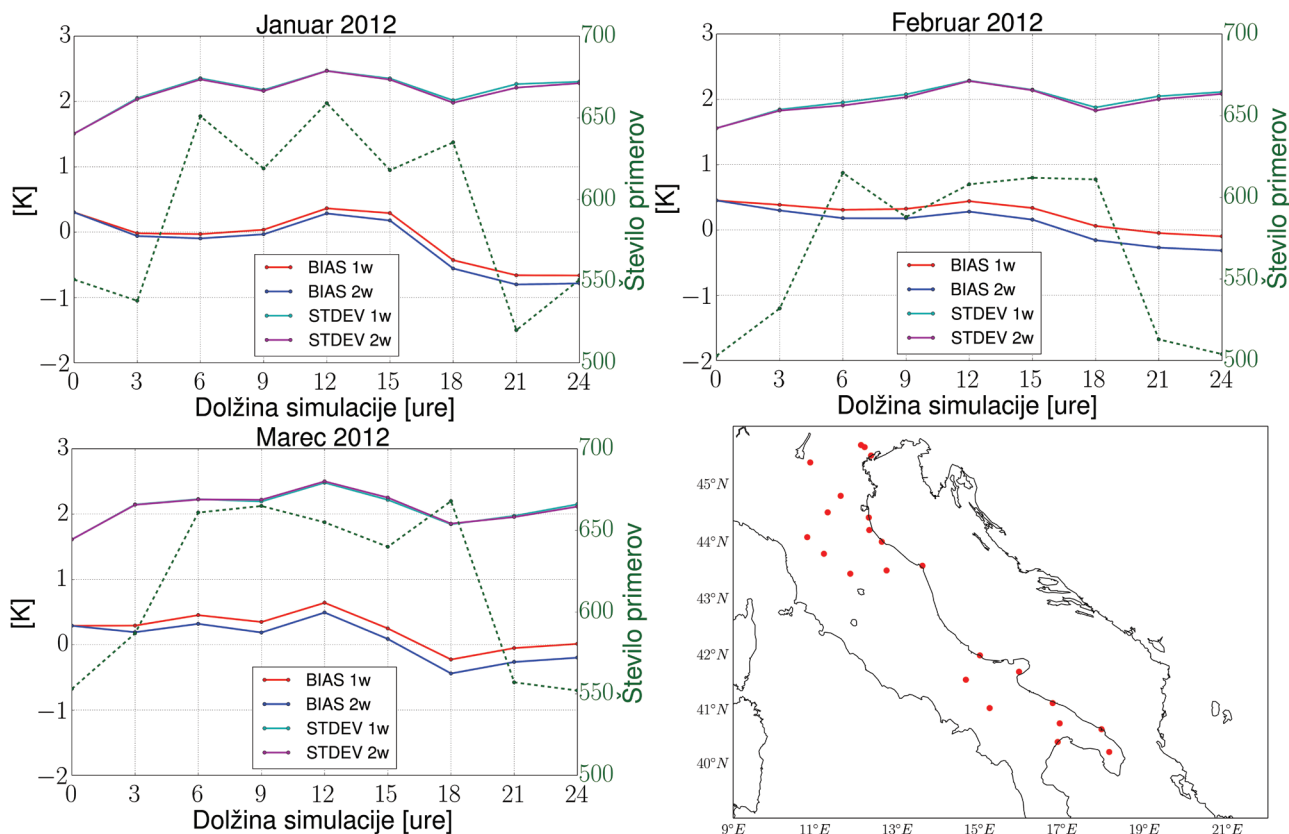
Table 1. BIAS and RMSE for temperature for one- and two-way coupled models on buoys VIDA (2 m depth) and PALOMA (3 m and 15 m depth) and platform ACQUA ALTA (2 m depth).

Lokacija	Količina	BIAS (K)	RMSE (K)
VIDA 2 m	$T_{2w} - T$	-0,334	0,594
VIDA 2 m	$T_{1w} - T$	-1,880	2,061
PALOMA 3 m	$T_{2w} - T$	-0,533	0,789
PALOMA 3 m	$T_{1w} - T$	-2,531	2,686
PALOMA 15 m	$T_{2w} - T$	-0,351	0,482
PALOMA 15 m	$T_{1w} - T$	-1,899	1,985
ACQUA ALTA 2 m	$T_{2w} - T$	-0,218	0,461
ACQUA ALTA 2 m	$T_{1w} - T$	-1,161	1,241

se temperatura morja niža. V primerjavi z meritvami na bojah VIDA in PALOMA temperatura v enosmerne sklopljenem modelu POM kaže tudi stalen trend upadanja. Trditev, da napako povzroči previsoka temperatura površine morja iz analize OSTIA pa podkrepi še dejstvo, da se na lokaciji ACQUA ALTE temperatura iz analize OSTIA bolje ujema z meritvami, zato tukaj trenda upadanja temperature ni, čeprav je temperatura konstantno pre nizka.

Glede na to, da pri dvosmerni sklopitvi pri atmosferskem modelu spremenimo temperaturo morske gladine, pri rezultatih atmosferskega modela pričakujemo predvsem spremembo temperature zraka. Iz slike 8 je razvidno, da je rezultat dvosmerne sklopitve morskega in atmosferskega modela predvsem sistematično nižja temperatura zraka. Prikazani rezultati so povprečje za postaje na vzhodu apeninskega polotoka, ker je tam vpliv burje najizrazitejši. Predvsem je izrazito opazen trend razlike obeh povprečnih napak, ki pada s časom napovedi. To je posledica dejstva, da atmosferski model za začetno stanje uporablja vnaprej pripravljene analize, v katerih je temperatura morja previsoka. Zaradi tega je temperatura zraka, izračunana z atmosferskim modelom na postajah, na katere izrazito vpliva morje, na začetku simulacije previsoka, nato pa se postopno niža z rastočim časom simulacije. Opazna je razlika pred in po dogodku z izrazito burjo februarja 2012: simulacija temperature je z dvosmerne sklopljenima modeloma v primerjavi z enosmernim februarja in marca sistematično izrazito nižja v primerjavi z januarjem. Dvosmerne sklopljena modela tudi uspeva ohranjati informacijo o hladnem morju, saj je sistematična napaka med obema (slika 8, levo spodaj) velika tudi marca, potem ko burje že nekaj časa ni bilo več.

Krivulja standardnega odklona odmikov je v vseh treh mesecih na sliki 8 praktično enaka, malenkostna



Slika 8. Povprečno odstopanje (bias) in standardni odklon (stdev) simulirane temperature zraka na 2 m glede na meritve v odvisnosti od dolžine simulacije na postajah v vzhodni Italiji (desno spodaj) za mesece januar (levo zgoraj), februar (desno zgoraj) in marec (levo spodaj) leta 2012. Spodnji polni krivulji na vseh treh slikah predstavljata povprečno odstopanje (rdeča za enosmerno in modra za dvosmerno sklopitev), zgornji polni pa standardni odklon odstopanja (svetlo modra za enosmerno in vijolična za dvosmerno sklopitev). Z zeleno je označeno število primerov, uporabljenih pri izračunu statistik.

Figure 8. Bias and standard deviation for modeled air temperature at 2 m at different forecast times for selected measuring stations in eastern Italy (bottom right) for January (top left), February (top right) and March (bottom left) 2012. Lower full curves show bias (red for one-way and blue for two-way coupling), upper full curves show standard deviation (light blue for one-way and violet for two-way coupling). Green curve denotes the number of cases used in the calculation of statistics.

razlika je le februarja. To je posledica dejstva, da zlasti pozimi ne pričakujemo povečane spremenljivosti modela na račun spremenjene temperature in dinamike morja. Tako lahko opazimo samo »statične« spremembe, kot je temperatura zraka na 2 m, pri vseh ostalih statističnih rezultatih so razlike precej majhne. Zelo verjetno bi se v poletnem času spremenljivost zaradi dodatne dinamike poznala bistveno bolj, predvsem pri poroženju konvektivnih padavin. Pričakovano je učinek pri statističnih rezultatih nekaterih ostalih količin zelo majhen, le malenkost se sistematičen premik pozna tudi pri vlagi, vendar teh rezultatov tukaj ne prikazujemo.

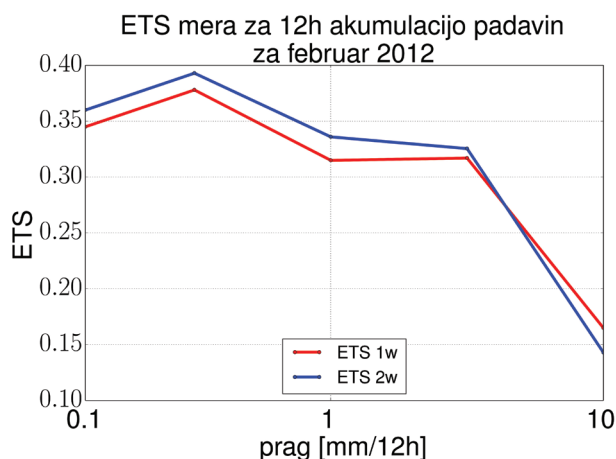
Primerjavo lahko naredimo tudi na drugih spremenljivkah ozračja. Tako smo primerjali kakovost rezultatov za simulirane 12 urne padavine, ki so prikazane na sliki 9. Prikazana je t.i. ETS¹², mera za različne pragove padavin v kontingenčnih tabelah. Najprej izračunamo število dogodkov nad različnimi pragovi za meritve in za vsakega od modelskih izračunov (kontingenčne

tabele), nato pa za vsako od teh porazdelitev še ETS statistiko. Sama ETS je nekakšna pravična mera, ki pove kako dobra je napoved v primerjavi z naključno napovedjo. Pri ETS enako 0 je napoved enako dobra (slaba) kot naključna, če pa je ETS nad (pod) 0, lahko rečemo, da je napoved uspešna (neuspešna). Kot vidimo, je ETS mera pri dvosmerno sklopljenem ALADIN-u za jakost padavin višja pri skoraj vseh pragovih. Tako lahko zaključimo, da je pri dvosmerni sklopitvi tudi napoved padavin bolj kakovostna.

Zaključek

Primerjali smo rezultate enosmerno in dvosmerno sklopljenega atmosferskega in morskega modela. Zanimalo nas je obnašanje obeh sklopitev in primerjava njihovih rezultatov z meritvami.

Pri enosmerni sklopitvi atmosferski model ne dobi nobene informacije iz morskega modela, saj za robni pogoj na morski gladini uporablja analizo OSTIA, ki ostane konstantna celoten čas napovedi. Posledično



Slika 9. ETS mera za kakovost modelskih izračunov za 12 urno akumulacijo padavin v odvisnosti od različno izbranih pragov količine padavin za mesec februar 2012 za iste postaje kot na sliki 8. Z rdečo je prikazan enosmerno, z zeleno pa dvosmerno sklopljen model.

Figure 9. ETS model results quality measure for 12 hour accumulation of precipitation for different thresholds of rainfall rate for February 2012 at locations shown in figure 8. Red color denotes one-way and green color denotes two-way coupled model.

morski model, ki robne pogoje dobi enkrat na uro integracije preko toplotnih tokov iz atmosferskega modela, tudi nima prave informacije o dejanskem stanju. Problem rešimo z dvosmerno sklopitvijo, kjer si vsak računski korak atmosferski in morski model izmenjata toplotne tokove, hitrost vetra, količino padavin, zračni tlak na morski gladini in temperaturo morske gladine.

Rezultati primerjave kažejo, da je enosmerno sklopljen morski model sistematično prehladen, kar je posledica previsoke temperature gladine morja v analizi OSTIA. Ta povzroči povečan toplotni (predvsem zaznavni) tok iz morja v ozračje, kar ima za posledico ohlajanje morja in prehladen zrak v ozračju.

Rezultati dvosmerno sklopljenih modelov (temperatura morja in zraka ter jakost padavin) se veliko bolje ujemajo z meritvami, kar kaže na to, da je izmenjava prave dinamične informacije o trenutnem stanju ozračja in morja v času računanja pomembna.

Viri

Fischer, C., Montmerle, T., Berre, L., Auger, L., and Ștefănescu, S. E.: An overview of the variational assimilation in the ALADIN/France numerical weather-prediction system, *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, 131, 2005.

Blumberg, A. F. and Mellor, G. L.: A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, in: *Three-Dimensional Coastal ocean Models*, edited by Heaps, N., American Geophysical Union, 1987.

Nielsen, S. and Hansen, E.: Numerical simulation of the rainfall-runoff process on a daily basis, *Nordic Hydrology*, 4, 1973.

Tonani, M., Pinardi, N., Fratianni, C., Pistoia, J., Dobričić, S., Pensieri, S., de Alfonso, M., and Nittis, K.: Mediterranean forecasting system: forecast and analysis assessment through skill scores, *Ocean Science*, 5, 730 2009.

Noilhan J., Mahfouf, J.-F.: The ISBA land surface parameterization scheme, *Global and Planetary Change*, vol. 13, 1-4, 145-169, 1996.

Mascart P., Noilhan J., Giordani H.: A modified parameterization of flux-profile relationship in the surface layer using different roughness length values for heat and momentum. *Boundary-Layer Meteorol* 72:331-34 1995.

Donlon, C. J., Martin, M., Stark, J. D., Roberts-Jones, J., Fiedler, E., and Wimmer, W.: *The Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice analysis (OSTIA)*, Remote Sensing of the Environment, 2012.

Valcke, S.: *The OASIS3 coupler: a European climate modelling community software*, Geoscientific Model Development, 6, 2013.

Kuzmić, M., Janeković, I., Book, J. W., Martin, P. J., and Doyle, J. D.: Modeling the northern Adriatic double gyre response to intense bora wind: a revisit, *Journal of Geophysical Research*, 111, 2007.

Raichich, F., Malačić, C., Celio, M., Giaiotti, D., Cantoni, C., Colucci, R. R., Čermelj, B., and Pucillo, A.: Extreme air-sea interactions in the Gulf of Trieste (North Adriatic) during the strong Bora event in winter 2012, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118, 2013.

Zore-Armanda, M. and Gačić, M.: Effects of Bora on circulation in the northern Adriatic, *Annales Geophysicae*, 5, 1987.

Paklar, G. B., Isakov, V., Koračin, D., Kourafalou, V., and Orlić, M.: A case study of bora-driven flow and density changes on the Adriatic Shelf (January 1987), *Continental Shelf Research*, 21, 2001.

Pullen, J., Doyle, J., Hodur, R., Ogston, A., Book, J., Perkins, H., and Signell, R.: Coupled ocean-atmosphere nested modeling of the Adriatic Sea during winter and spring 2001, *Journal of Geophysical Research*, 108, 2003.

Pullen, J., Doyle, J., and Signell, R.: Two-way air-sea coupling: a study of the Adriatic, *Monthly Weather Review*, 134, 2005.

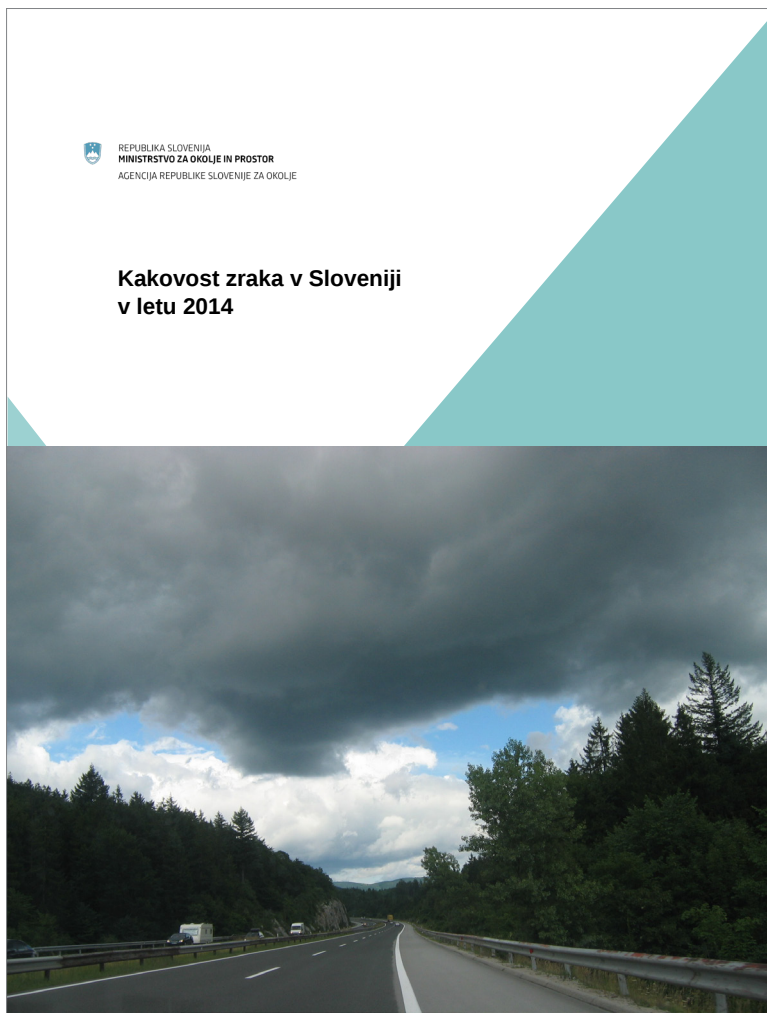
Pullen, J., Doyle, J., Haack, T., Dorman, C., Signell, R., and Lee, C. M.: Bora event variability and the role of air-sea feedback, *Journal of Geophysical Research*, 112, 2007.

Dorman, C. E., Carniel, S., Cavaleri, L., Sclavo, M., Chiggiato, J., Doyle, J., Haack, T., Pullen, J., Grbec, B., Vilibić, I., Janeković, I., Lee, C., Malačić, V., Orlić, M., Paschini, E., Russo, A., and Signell, R. P.: February 2003 marine atmospheric conditions and the bora over the northern Adriatic, *Journal of Geophysical Research*, 111, 2006.

Benetazzo, A., Bergamasco, A., Bonaldo, D., Falciera, F. M., Sclavo, M., Langone, L., and Carniel, S.: Response of the Adriatic Sea to an intense cold air outbreak: Dense water dynamics and wave-induced transport, *Progress in Oceanography*, 128, 2014.

Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2014

Boštjan Paradiž



Kakovost zraka je eden izmed osrednjih vidikov stanja okolja. Onesnažen zrak vpliva na zdravje in počutje ljudi bolj kot drugi okoljski vplivi in velja za najpomembnejši zdravstveni problem povezan z onesnaževanjem okolja. Slovenija se uvršča med države EU s slabšo kakovostjo zraka. Zaskrbljujoče so predvsem visoke ravni delcev v zraku, ki so posledica visokih lokalnih izpustov zaradi uporabe lesa v zastarelih kurilnih napravah in neugodnih pogojev za razredčevanje onesnaženosti. Visoke so tudi ravni ozona, ki pa so v večji meri posledica prekomejnega transporta onesnaženosti.

Na ARSO že več kot štiri desetletja upravljamo državno mrežo za spremljanje kakovosti zraka in padavin ter vodimo državne evidence izpustov onesnaževal zraka. Velik poudarek namenjamo obveščanju javnosti. Pripravljamo napovedi kakovosti zraka in izdajamo opozorila v primeru čezmerne onesnaženosti. Rezultati meritev so objavljeni na svetovnem spletu, prve analize stanja kakovosti zraka pa so prikazane v biltenu Naše okolje, ki ga ARSO izdaja mesečno. Letno pripravimo celovito poročilo o kakovosti zraka, v katerega so vključeni tudi podatki drugih institucij, ki spremljajo kakovost zraka v Sloveniji.

Poročilo o kakovosti zraka za leto 2014 je dostopno na spletnem naslovu: http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/porocilo_2014.pdf



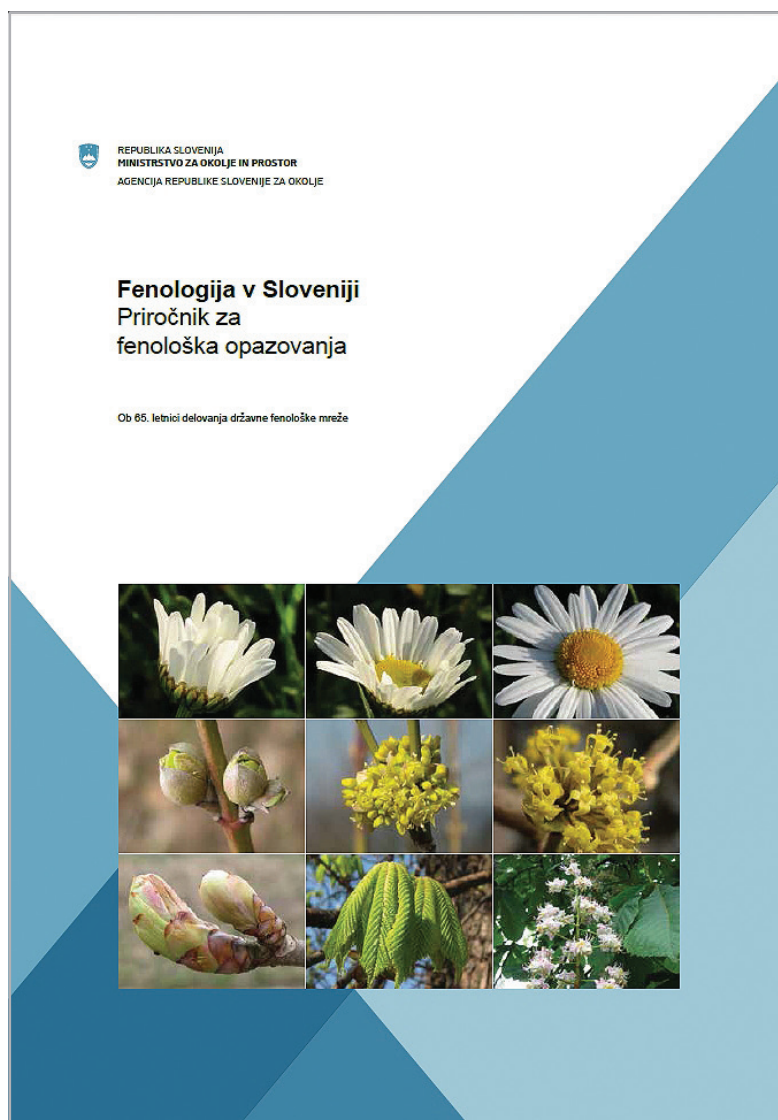
Siva čaplja na jezu Kolpe. (Foto: I. Sinjur)

Fenologija v Sloveniji

Ana Žust

V letu 2015 je slovenska državna fenološka mreža praznovala 65 letnico svojega delovanja. Za to priložnost smo na Agenciji RS za okolje pripravili knjigo Fenologija v Sloveniji. V knjigi je predstavljen zgodovinski pregled fenologije ter dejavnosti in dosežki slovenske fenološke mreže od leta 1951 do danes. Dodana so tudi obnovljena navodila za fenološka opazovanja.

»Moderna doba fenologije« se je pričela sredi dvajsetega stoletja, ko so bile ustanovljene številne evropske nacionalne fenološke opazovalne mreže. Tesna povezanost vremena in podnebja z rastjo in razvojem rastlin je bila razlog, da so opazovalne mreže večinoma nastale v okviru nacionalnih meteoroloških služb. Fenološka mreža v Sloveniji je bila ustanovljena leta 1951 pri tedanjem Hidrometeorološkem zavodu. Po letu 2001 so fenološka opazovanja del rednih dejavnosti Oddelka za agrometeorologijo na Agenciji RS za okolje. Program fenoloških opazovanj v Sloveniji obsega opazovanje izbranih rastlin iz skupine negojenih zelnatih rastlin, gozdnega drevja in grmičja, metuljnic, detelj in trav, poljščin, ter sadnega drevja in vinske trte. Pojav fenološke faze zapišemo z dnevom njenega nastopa, tako kot je to določeno v navodilih za opazovanja. Fenološki podatki so shranjeni v Arhivu fenoloških podatkov na Agenciji RS za okolje.



Kje vse uporabljamo fenološke podatke?

Fenološke podatke uporabljamo v kmetijstvu in gozdarstvu za načrtovanje tehnoloških ukrepov, zaznavanje požarne ogroženosti naravnega okolja, preverjanje stanja rastlinske odeje z daljinskim zaznavanjem, spremljanje cvetenja alergenih rastlin, turizem in izobraževanje.

V novejšem času so fenološki podatki izjemno pomembni tudi za proučevanje vpliva podnebnih sprememb na rastlinski svet. Rezultati številnih

mednarodnih in domačih študij fenoloških podatkov so pokazali, da je spomladanski fenološki razvoj danes, na pragu 21. stoletja zgodnejši, kot je bil še v začetku petdesetih let prejšnjega stoletja in, da je ta sprememba posledica globalnega segrevanja ozračja. Ugotovljen je bil zgodnejši pojav spomladanskih fenoloških faz pri številnih drevesnih vrstah, sadnem drevju in tudi pri poljščinah. Projekcije kažejo, da se bo trend segrevanja in zgodnejšega pojavljanja spomladanskih fenoloških faz nadaljeval tudi v prihodnosti.



World Meteorological Organization
Weather - Climate - Water



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR
AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE



Slovensko
meteorološko
društvo
Od 1954



**Kmetijsko gozdarska
zbornica Slovenije**

Agrometeorološki seminar

Agrometeorologi pomagamo pri pridelavi zelenjave

V sklopu letošnjih Lombergarjevih dnevov, ki del strokovnih vsebin tradicionalno namenjajo zelenjadarskemu posvetu, bo 3. decembra 2015 potekal Agrometeorološki seminar pod naslovom »Agrometeorologi pomagamo pri pridelavi zelenjave«. Dogodek bo potekal v gradu Hompoš, kjer je sedež Fakultete za kmetijstvo in biosistemske vede, Univerze v Mariboru. Pri organizaciji bodo sodelovali Agencija RS za okolje, Slovensko meteorološko društvo in Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije – Zavod Maribor. Program seminarja bo zajemal predavanja, vodene diskusije in demonstracijske primere. Namen seminarja

bo približati agrometeorološke vsebine in izdelke uporabnikom v kmetijstvu in nuditi podporo za lažje odločanje pri pridelavi zelenjadnic. Seminar bo pomembno prispeval tudi k izboljšanju agrometeorološkega informacijskega servisa za uporabnike na Agenciji RS za okolje. Pokroviteljica je Svetovna meteorološka organizacija (WMO), ki bo izvedbo seminarja v celoti finančno podprla.

Seminarja se bodo udeležili številni pridelovalci zelenjave ter predstavniki kmetijskih svetovalnih in izobraževalnih ustanov iz javnega in privatnega sektorja.



Agrometeorološki seminar bo potekal na gradu Hompoš, kjer je sedež Fakultete za kmetijstvo in biosistemske vede, Univerze v Mariboru

POMEMBNEJŠI DOGODKI

MAREC

14.–18. MAREC 2016, BERLIN, NEMČIJA

DACH-Meteorologentagung

<http://www.dach2016.de/>

14.–18. MAREC 2016, MILANO, ITALIJA

10th International Conference on Air Quality - Science and Application

<http://www.airqualityconference.org/>

JUNIJ

27. JUNIJ–1. JULIJ 2016, BURLINGTON, ZDA

17th Conference on Mountain Meteorology

<https://www2.ametsoc.org/ams/index.cfm/meetings-events/ams-meetings/17th-conference-on-mountain-meteorology/>

20.–24. JULIJ 2015, TOULOUSE, FRANCIJA

9th International Conference on Urban Climate

<http://www.meteo.fr/icuc9/>

SEPTEMBER

5.–9. SEPTEMBER 2016, READING, VELIKA BRITANIJA

ECMWF 2016 Annual Seminar

http://www.ecmwf.int/newsevents/meetings/annual_seminar/2016/

12.–16. SEPTEMBER 2016, TRST, ITALIJA

16th EMS Annual Meeting & 11th European Conference on Applied Climatology (ECAC)

<http://www.emetsoc.org/ems-ecac-2016/>

26.–30. SEPTEMBER 2016, DARMSTADT, NEMČIJA

2016 EUMETSAT Meteorological Satellite Conferences

http://www.eumetsat.int/website/home/News/ConferencesandEvents/DAT_2833302.html

OKTOBER

10.–14. OKTOBER 2016, ANTALYA, TURČIJA

9th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD2016)

<http://erad2016.org/>

SPONZORJI, KI SO OMOGOČILI IZID VETRNIC:



GVD d.o.o.
Goričane 8/d
1215 Medvode
Slovenia - Europe Union
tel/fax. +386 1 361 24 35
RADAR PRODUCT

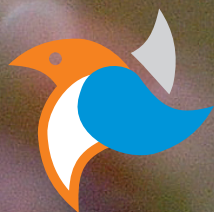
SOLOS

REALIZACIJA GRAFIČNIH IDEJ

Solos d.o.o.



Klaro d.o.o.



Slovensko
meteorološko
društvo

Od 1954