

# RAZVOJ HIDROLOŠKIH PROGNOŠTIČNIH SISTEMOV V SLOVENIJI

## Development of hydrological forecasting systems in Slovenia

Nejc Pogačnik\*, Sašo Petan\*\*, Mojca Sušnik\*\*\*, Janez Polajnar\*\*\*\*, Gregers Jørgensen\*\*\*\*\*  
UDK 556.5.06(497.4)

### Povzetek Abstract

Agencija RS za okolje je s pomočjo sredstev EU začela izvajati projekt Nadgradnje sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji. Poimenovala ga je BOBER, kar je kratica za Boljše opazovanje za boljše ekološke rešitve. Temeljni cilj projekta je zagotoviti zanesljive, kakovostne in prostorsko reprezentativne meteorološke in hidrološke meritve, ki bodo omogočile celovito spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji ter bolj natančno napovedovanje hidroloških izrednih pojavov. V sklopu projekta BOBER je bil razvit sistem za spremljanje trenutnega hidrološkega stanja in napovedovanje razmer za šest dni vnaprej. Združuje hidrološka in meteorološka opazovanja ter napovedi meteoroloških modelov. Sistem Hidrologom je kakovosten pripomoček za pregled trenutnega hidrološkega stanja, pripravo hidrološke napovedi in pravočasno izdajo opozorila pred poplavami. Zaradi učinkovitega posredovanja opozorila širši javnosti hidrološki prognošični sistem dopolnjuje sistem Hidroalarm. Hidrološki prognošični sistem združuje različne naloge, ki jih lahko povežemo v štiri sklope: upravljanje s podatki, vzpostavitev računskih modulov, postavitve kontrolnega in upravljaljskega mehanizma in predstavitev rezultatov v spletnem prostorskem prikazu.

The Slovenian Environment Agency, with the help of the EU funds, launched the project for upgrading the system of monitoring and analysing the aquatic environment in the Republic of Slovenia. The project was named BOBER (Beaver) which, in the Slovenian language, is an acronym for Better Monitoring for Better Environmental Solutions. The fundamental objective of the project is to provide reliable, high quality and spatially representative meteorological and hydrological measurements that will allow comprehensive monitoring and analyses of the aquatic environment in Slovenia as well as more accurate forecasting of extreme hydrological events. Within the BOBER project, a system was developed for monitoring current hydrological conditions and forecasting conditions for six days in advance. The system combines hydrological and meteorological observations and meteorological model forecasts. It serves hydrologists as a quality tool for monitoring current hydrological conditions, preparing daily hydrological forecasts and issuing flood warnings in due time. The hydrological forecasting system is complemented by the Hydroalarm system, the purpose of which is timely and effective warning of the general public. The system combines various tasks which can be linked together into four groups: data management, creation of computational modules, establishment of a control and management mechanism, and presentation of results in an online spatial view.

\* Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, ARSO,  
Vojkova cesta 1b, Ljubljana, nejc.pogacnik@gov.si

\*\* dr., Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, ARSO,  
Vojkova cesta 1b, Ljubljana, saso.petan@gov.si

\*\*\* Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, ARSO,  
Vojkova cesta 1b, Ljubljana, mojca.susnik@gov.si

\*\*\*\* Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, ARSO,  
Vojkova cesta 1b, Ljubljana, janez.polajnar@gov.si

\*\*\*\*\* Agern Allé 5, DK-2970 Hørsholm, Denmark

## Uvod

Projekt BOBER ali Boljše opazovanje za boljše ekološke rešitve ima za enega od ciljev izboljšanje opazovanja in modeliranja posameznih procesov znotraj hidrološkega kroga. Oddelku za hidrološko prognozo je projekt omogočil sestavo manjše projektne razvojne skupine, ki je znotraj projekta izoblikovala rešitve, produkte in orodja, ki so potrebni za izvajanje vsakodnevnih nalog

hidrološke službe za napovedovanje. V dosedanjem obdobju smo hidrološki prognostični sistem nadgradili in ga razširili na porečje reke Save, ki obsega 53 odstotkov površine Slovenije, in drugega za povodje reke Soče, ki v Sloveniji predstavlja 11 odstotkov državnega ozemlja. Tako je Oddelek za hidrološko prognozo ob koncu prvega dela z novima in obstoječim prognostičnim sistemom na reki Muri pridobil infrastrukturo za numerično napovedovanje hidroloških razmer za 70 odstotkov površja Slovenije.

Projekt Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji ali BOBER je del Operativnega programa razvoja okoljske in prometne infrastrukture v obdobju 2007–2013, razvojne prednostne naloge Varstvo okolja – področje voda in prednostne usmeritve Zmanjševanje škodljivega delovanja voda. Projekt delno financira Evropska unija (85 odstotkov), in sicer iz Kohezijskega sklada.

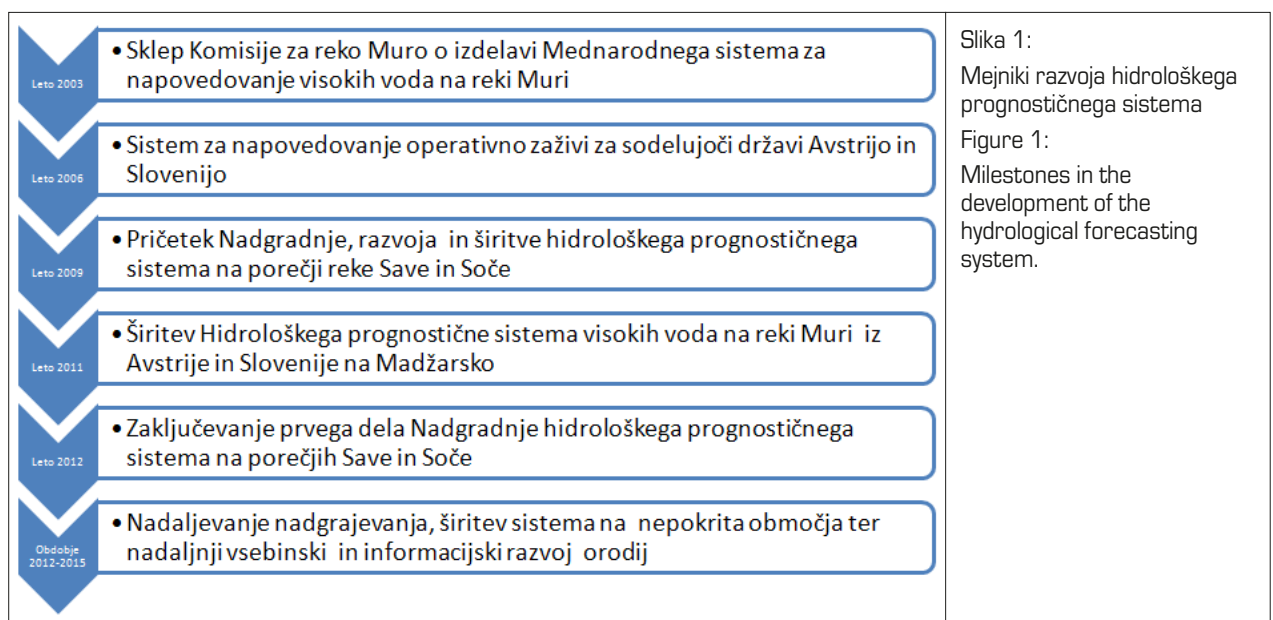
## Pomen razvoja hidroloških prognostičnih sistemov

Poplave povzročajo v svetu veliko škode, kar smo v Sloveniji zadnjič močneje občutili septembra 2010. Ob tem je naloga služb, ki delujejo v okviru prognostičnih opozorilno-odzivnih sistemov (POOS) še toliko bolj pomembna. Pri razvoju operativnih hidroloških prognostičnih sistemov zato sledimo cilju priprave kakovostnih hidroloških napovedi in jasnih opozoril za preprečevanje škode zaradi škodljivega delovanja voda. Pravočasna in točna opozorila po podatkih tujih in domačih raziskovalcev kažejo na pozitivne socialne učinke in velike prihranke (Parker, 2003, Pogačnik, 2009). Z vloženim prizadevanjem vseh služb v POOS se povečujeta zavedanje o nevarnosti in škodnem potencialu poplav ter hkrati učinkovitost storitev v sistemu zaščite in reševanja.

## Pregled razvoja sedanjega hidrološkega prognostičnega sistema v Sloveniji

Pobuda za postavitve mednarodnega hidrološkega prognostičnega sistema se je oblikovala leta 2003 v pogovorih in poznejšem sklepu Vodnogospodarske komisije za reko Muro. Ko se je Slovenija leta 2004 pridružila Evropski uniji, so bili izpolnjeni pogoji za kandidaturu programa EU INTERREG IIIB, Alpine Space s projektom Mednarodni sistem za napovedovanje visokih voda na reki Muri. Pri projektu sta sodelovali Slovenija in Avstrija, ki je v skupnem projektu prevzela večji del izvedbenega in operativnega bremena. Leta 2006 je bil sistem za napovedovanje hidroloških razmer na reki Muri izdelan. To je bil prvi računalniško podprt hidrološki prognostični sistem, ki sta ga hidrološki službi Slovenije in avstrijske Štajerske vpeljali v svoje operativno delo. Ker se je takšno operativno orodje izkazalo kot zelo koristno in nepogrešljivo pri opravljanju vsakodnevnih nalog prognostičnih služb, so se kmalu pojavile tudi potrebe po širitvi prognostičnega sistema na druga porečja ter po njegovi nadgradnji, s čimer bi se še dodatno povečala operativna učinkovitost hidrološke prognostične službe v Sloveniji. Pri gradnji in poznejši uporabi je prišlo do pridobivanja znanja in prepoznavanja možnosti, ki jih gradnja takšnega sistema omogoča.

Že leta 2006 je Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) začela pripravljati projekt Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja ali BOBER (Boljše opazovanje za boljše ekološke rešitve), s katerim je kandidirala na razpisu Evropskega kohezijskega sklada – Operativni program razvoja okoljske in prometne infrastrukture za obdobje 2007–2013 in pozneje tudi pridobila sredstva za njegovo izvedbo. V okviru projekta BOBER je bila pripravljena naloga širitve in nadgradnje prognostičnega sistema na porečjih Save



in Soče. S pomočjo finančnih sredstev EU se je oblikovalo novo razvojno obdobje za hidrološko prognozo od 2010–2015. Leta 2011 je bil vključen v mednarodni hidrološki prognostični sistem še madžarski del porečja reke Mure v sklopu projekta Varovanje in upravljanje naravnih vodnih virov skozi revitalizacijo, prostorski razvoj in osveščanje javnosti, ki ga financira Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj (ESRR), Operativni program Slovenija – Madžarska 2007–2013. Za celovito mednarodno prognostično obravnavo porečja reke Mure bi morala pristopiti le še Republika Hrvaška s svojim delom porečja. Projekt nadgradnje sistema in širitev hidrološkega prognostičnega sistema v Sloveniji na porečjih reke Save in Soče se je začel konec leta 2009 in končal v začetku leta 2012. V letih do 2015 so načrtovani nadaljnji razvoj sistema, razširitev na nepokrita območja ter prenova informacijskih in pregledovalnih orodij.

## Zasnova hidrološkega prognostičnega sistema

Poglavitne usmeritve pri sestavi hidrološkega prognostičnega sistema so bile: enotnost, uporabniška enostavnost, preglednost, prilagojenost uporabniku in enotno računsko jedro. Odločili smo se za ohranitev modelskega jedra sistema in prenovo ter nadgradnjo preostalih sklopov hidrološkega prognostičnega sistema na Savi in Soči (slika 2). Modelsko jedro programskega paketa MIKE, skupne DHI (Danish Hydraulic Institute – Danski hidravlični inštitut), je sestavljeno iz treh komponent: hidrološki model s snežnim modulom, hidravlični oziroma hidrodinamični enodimenzionalni model ter modul za korekcijo napovedanih pretokov in vodostajev. Hidrološki prognostični sistem smo zgradili na podlagi že obstoječih hidroloških, meteoroloških in prostorsko-informacijskih baz podatkov, ki jih imamo na ARSO. Nadgrajevanje sistema na reki Savi in Soči se je tako usmerilo k pridobivanju podatkovnih virov oziroma pregledu njihovega stanja, pripravi potrebnih vhodnih podatkov in parametrov za potrebe modeliranja, zasnovi kontrolnega orodja sistema in pregledovalnika modelskih rezultatov, navezave na sistem opozarjanja ter njihovega shranjevanja za potrebe poznejših analiz.

Na porečju Save (10.800 km<sup>2</sup>) smo izbrali 40 vodomernih postaj za prognostične profile znotraj sistema, na povodju Soče (3400 km<sup>2</sup> (slovenski in italijanski del)) 31 in 52 na porečju Mure (11.400 km<sup>2</sup> (avstrijski in slovenski

del)). Območja porečij smo razdelili na prispevna območja izbranih prognostičnih profilov. Tako so bila določena izhodišča za hidrološke modele na porečjih, ki smo jih oblikovali v osnovni komponenti paketa MIKE11 – NAM (NAM – v danščini se model imenuje Nedbør Afstrømnings Model – Model padavin in odtoka). Gre za determinističen in konceptualen hidrološki model, ki s semiempiričnimi matematičnimi izrazi poenostavljeno opisuje komponente hidrološkega kroga pri tleh. NAM določa površinski odtok iz prispevnih območij prognostičnih profilov, ki so znotraj modela obravnavana kot posamezne računске enote. Z vključitvijo enostavnega snežnega modula pa model upošteva tudi topografijo prispevnih območij, tako da jih razdeli na posamezne višinske cone. Za izgradnjo enodimenzionalnega hidrodinamičnega modela, ki je namenjen kinematični propagaciji valov površinskega odtoka vzdolž poenostavljene hidrografske mreže, smo zbrali razpoložljive prečne profile vodotokov in informacije o večjih hidrotehničnih objektih na vodotokih (pregrade in akumulacije hidroelektrarn, jezovi in talni pragovi). Pri operativnem delovanju je sistemu dodan še modul za korekcijo napovedanih pretokov in vodostajev. Ta modul znotraj hidrodinamičnega modela popravi modelirane pretoke in vodostaje z izmerjenimi vrednostmi ob upoštevanju eksponentne funkcije približevanja k napovedanim vrednostim.

## Kalibracija modelov na porečjih Mure in Save ter Soče

Reka Mura je bila razdeljena na 52 hidrometričnih modelskih enot (40 v Avstriji in 12 v Sloveniji). Umerjanje hidrološkega modela je potekalo na 18 hidrometričnih območjih za zbrane podatke v obdobju od 1. 9. 1998 do 31. 12. 2002. Na preostala modelna območja so bili parametri le preneseni. Za obdobje umerjanja so bili uporabljeni podatki iz vseh razpoložljivih hidroloških in meteoroloških postaj (30 vodomernih postaj, 80 padavinskih in temperaturnih postaj). Poleti 2005 je prišlo do visokovodne situacije, ki je omogočila dodatno umerjanje izbranih parametrov z uporabo podatkov le iz avtomatskih postaj (18 vodomernih postaj in 45 padavinskih in temperaturnih postaj). Pri dodatnem umerjanju je bilo iz Slovenije zaradi redke mreže avtomatskih podatkov na razpolago zelo malo podatkov. Manjše posodobitve operativnih postavitvev v Sloveniji in Avstriji so bile izvedene

Vzpostavitev sistema in kalibracija modelskih ali računskih modulov v sistemu	razvoja kontrolnega orodja	vklučitev širokega nabora meteoroloških modelov	navezava sistema na sistem za opozarjanje širše javnosti pred poplavno nevarnostjo Hidroalarm	izdelava spletne strani, ki je namenjena prikazu modelskih rezultatov hidrološkega sistema za napovedovanje
---	----------------------------	---	---	---

Slika 2:  
Bistveni sklopi širitve in nadgradnje hidrološkega prognostičnega sistema na porečjih Save in Soče  
Figure 2:  
Essential elements of the expansion and upgrade of the hydrological forecasting system in the Sava and Soča river basins.

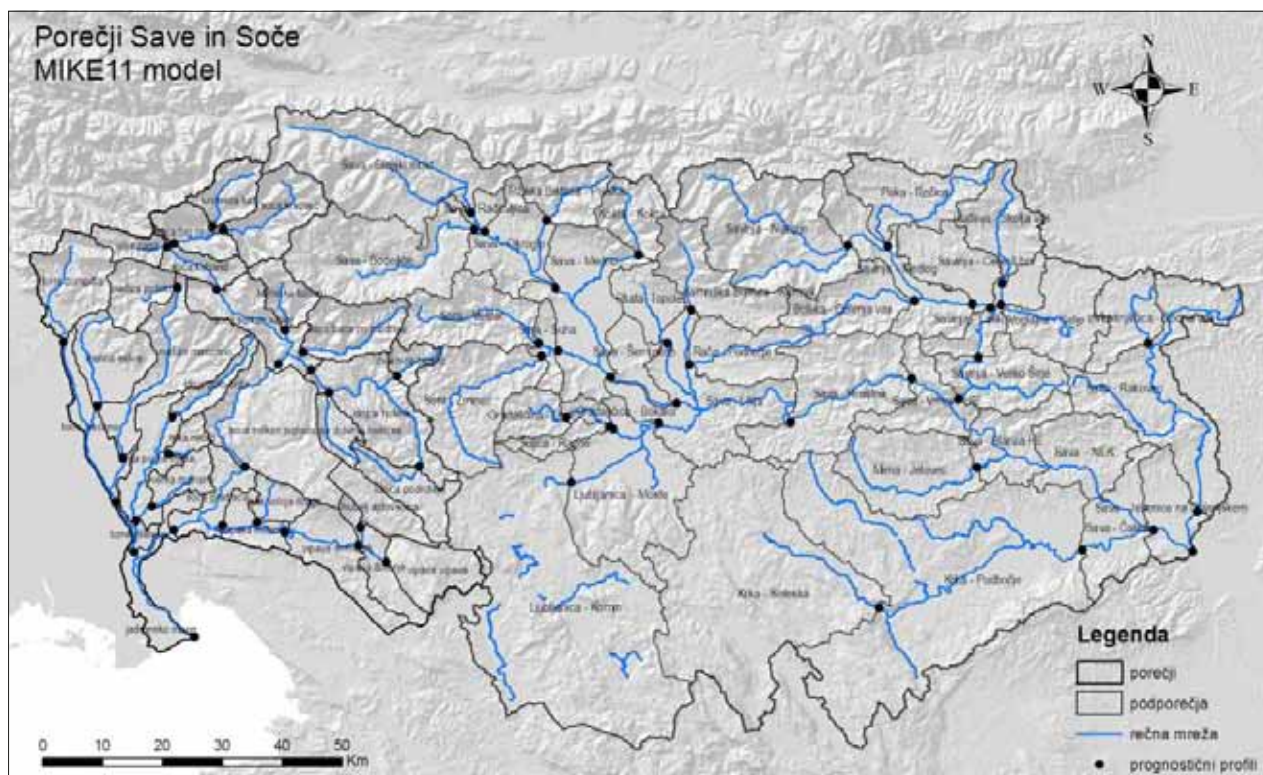
leta 2011, ko se je obstoječemu sistemu pridružila še Madžarska. Madžarski del prognostičnega sistema visokih voda obsega dva pritoka Mure (Veliko Krko in kanal Principális). Za postavitev hidrološkega modela sta bili opravljeni razmejitev in kalibracija na 14 vodozbirnih območjih.

Dejanska rečna mreža je bila za potrebe hidravličnega modela zelo poenostavljena. Hidravlična zasnova je bila zasnovana na reki Muri in njenih glavnih pritokih (Mürz, Kainach, Lafniz, Sulm, Ščavnica in Ledava). Celotna dolžina shematične zasnove rečne mreže je dolga približno 900 kilometrov, v katero je bilo vključenih 1000 prečnih prereзов iz Avstrije in le peščica iz Slovenije. Dodatno je bilo v sistem vključeno še teoretično delovanje devetih hidroelektrarn. Nadgradnja hidravličnega modela je bila izvedena pri širitvi na madžarski del porečja. Ker reka Mura s svojimi pretoki preide v ravninski svet Panonske nižine, je bil večji poudarek na hidravličnem modeliranju. Pri tem je bilo treba veliko bolj natančno upoštevati gladine vod, ki so v tem delu porečja že močno odvisne od gorvodnih hidravličnih razmer, vpliva zadrževalnikov voda Velike Krke in Kobiljskega potoka ter od preostalih vodnogospodarskih objektov. Na Madžarskem je bil zaradi ravninske topografije cilj prognostičnega modeliranja določanje čim bolj natančnih gladin, saj so sprožilec za opozarjanje pred razlivanjem vode in poplavami.

Porečji Save in Soče sta bili razdeljeni na 43 oziroma 31 računskih enot hidrološkega modela (slika 3). Za opre-

deljena modelska območja so bili nato pripravljene vsi potrebni podatki za kalibracijo: 10-letni nizi (1998–2007) urnih podatkov o temperaturah in padavinah iz meteorološke mreže merilnih postaj, pretokih in vodostajih na vodomernih postajah hidrološke merilne mreže in potencialne evapotranspiracije na računskih enotah (dnevni podatki). Hidrološki model je bil pripravljen za kalibracijo po izračunu uteži za določitev srednje vrednosti padavin in temperature na posamezno računsko enoto, določiti površin 100-metrskih višinskih pasov znotraj računskih enot in izbiri temperaturnih in padavinskih gradientov po višini. Glavna merila pri kalibraciji hidrološkega modela so bili: ujemanje vodne bilance, visokovodnih konic, padajočih delov hidrogramov in baznega odtoka znotraj 10-letnega obdobja kalibracije. Kalibracija parametrov hidrološkega modela je bila opravljena predvsem ročno z občasnimi zagoni modula za avtokalibracijo. Pri tem smo ponekod naleteli na težave predvsem zaradi slabše raziskanih in določenih razvodnic na kraških območjih. Končni rezultat kalibracije je bil zelo odvisen od kakovosti podatkov o padavinah in pretokih.

Kalibriran hidrološki model je bil nato povezan s hidravličnim modelom. Zaradi preredke mreže znanih prečnih prereзов na vodotokih je bila kalibracija hidrodinamičnega modela opravljena predvsem v izbranih prognostičnih profilih tako, da so bili dodani bistveni elementi, ki opredeljujejo hidrodinamične razmere na obravnavanih odsekih. Tako smo pri različnih vodnih stanjih dosegli odstopanje simuliranega vodostaja od izmerjenega



Slika 3: Delitev porečij Save in Soče na podporečja glede na izbrane prognostične profile hidrološkega prognostičnega sistema

Figure 3: Division of the Sava and Soča river basins into sub-basins with regard to the selected prognostic profiles of the hydrological forecasting system.

znotraj intervala  $\pm 20$  centimetrov. V modelu so vstavljeni tudi glavni hidrotehnični objekti s pravili obratovanja regulacijskih naprav.

## Preverjanje zanesljivosti sistema

Med operativnim delovanjem sistema je bila zasnovana tudi baza simulacij hidrološkega prognostičnega sistema, ki bo namenjena preveritvi napovedanih pretokov v posameznih prognostičnih profilih. Izvedbo preveritve načrtujemo, ko se bo v bazi zapisal statistično dovolj velik vzorec visokovodnih valov. Bistvena pomanjkljivost, ki jo opažamo ob sedanjem obratovanju sistema, je preredka porazdelitev avtomatskih padavinskih postaj za tako razgibano sliko prostorske porazdelitve padavin v Sloveniji. Tako nam zdaj zbrani podatki ne omogočajo izvedbo najboljših mogočih simulacij hidrološkega modela. Pričakujemo, da se bo to stanje precej izboljšalo v prihodnjih letih s postavitvijo novih avtomatskih merilnih postaj in vremenskega radarja v okviru projekta BOBER.

## Operativne postavitve

Hidrološki prognostični sistem smo oblikovali v več postavitvah, ki se razlikujejo glede na kombinacijo napovedi meteoroloških modelov in izmerjenih vrednosti iz avtomatskih merilnih mest. Modeli se zaganjajo na podlagi izmerjenih in napovedanih temperatur in padavin za obdobje do največ 144 ur vnaprej. Tako znotraj sistema izračunavamo pet različnih postavitvev na Savi in Soči in le enega za področje reke Mure (slika 4). Posebnosti postavitvev se predvsem navezujejo na model Sava 2/Soča 2, kjer s sistemom za zelo kratkoročno napoved »nowcasting« INCA – Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis poskušamo napovedovati hidrološke razmere zelo kratkoročno. Postavitvev modela Sava 4/Soča 4 je namenjena testiranju in analizi vpliva hidrotehničnih objektov na stabilnost sistema. Peta različica je namenjena opredeljevanju zanesljivosti napovedi na podlagi vhodnih podatkov 17 članov skupinske napovedi modela ALADIN (Aire Limitee Adaptation dynamique Developpement InterNational; omejeno območje, di-

namična adaptacija, mednarodno sodelovanje [ime konzorcija in meteorološkega numeričnega modela]. Prek opredelitve območja mogočih rešitev lahko z večjo zanesljivostjo napovedujemo predviden razvoj hidrološkega stanja, s čimer se povečuje tudi zanesljivost izdanih opozoril. Vsi vhodni podatki za delovanje sistema se zagotavljajo v službah Agencije Republike Slovenije za okolje, kar je za stabilnost in kakovost delovanja sistema pomembna prednost.

Na reki Muri se izračuni izvajajo na mednarodnem strežniku v Gradcu za vse partnerske države: Avstrijo, Slovenijo in Madžarsko. Pri izračunih se upoštevajo zbrani in posredovani podatki iz nacionalnih monitoring mrež ter napovedi meteoroloških modelov Aladin/AT (AT in SI – modelsko območje Avstrije oz. Slovenije) in Aladin/SI. Na uradu štajerske deželne vlade – področje hidrografije – in za potrebe Madžarske so vzpostavljene tudi druge različice, ki tako kot v Sloveniji upoštevajo napovedi modela INCA in ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – Evropski center za srednjeročne vremenske napovedi). Napovedi meteoroloških modelov ALADIN in INCA za potrebe Avstrije in Madžarske zagotavlja Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) iz Dunaja.

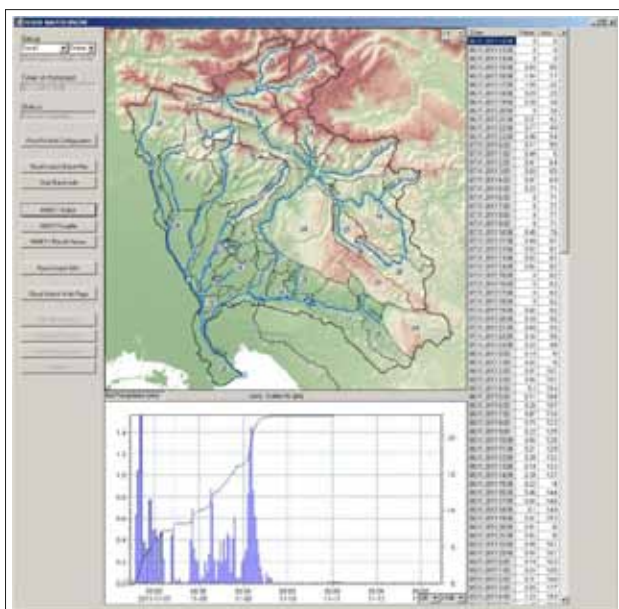
## Upravljanje s sistemom in predstavitev rezultatov

Za upravljanje s sistemom in podrobnejše analiziranje in napovedovanje hidrologi uporabljamo posebej razvito aplikacijo Flood Watch online (slika 5) za operacijski sistem Windows, s katerim sta omogočena hiter vpogled in upravljanje s sistemom ter posameznimi elementi. Prek pogovornega okna omogoča: pregled meteorološkega in hidrološkega stanja ter napovedi, dostop do računskega jedra MIKE11, pregled različnih scenarijev, dostop do nastavitvev hidrološkega sistema in datotek, ki določa vrsto in zaporedje operacij v računskem postopku, in dostop do izvorne kode gradnikov sistema, razen licenčnega standardnega programskega paketa MIKE – DHI. Ključna funkcija aplikacije se nanaša na možnosti spreminjanja vhodnih podatkov, s katerimi lahko izračunamo odziv porečja glede na subjektivno oceno.

postavitev hidrološkega modela	meritve avtomatskih merilnih postaj zadnjih 120 ur	napovedi meteorološkega modela			
		INCA-CE za prihodnjih 12 ur	NMM za prihodnjih 72 ur	ALADIN/SI za prihodnjih 72 ur	ECMWF za prihodnjih 144 ur
SAVA1/SOČA1	●			●	●
SAVA2/SOČA2	○	●		●	
SAVA3/SOČA3	●		●		
SAVA4/SOČA4*	●			●	
SAVAE/SOČAE	●			⊕	
MURA	●			●**	

\* eksperimentalna postavitve      \*\* napovedi meteorološkega modela je kombinacija ALADIN/AUT in ALADIN/SI  
 ○ analiza vremenskih razmer na podlagi modela INCA-CE      ⊕ Uporaba skupinskih napovedi modela ALADIN (17 članov)

Slika 4:  
Postavitve hidrološkega prognostičnega sistema  
Figure 4:  
Layouts of the hydrological forecasting system.



Slika 5: Orodje Flood Watch Online  
Figure 5: The "Flood Watch Online" tool.

V neaktivnem načinu orodja Flood Watch Online lahko pregledujemo tudi pretekle simulacije in po potrebi izračunamo alternativne scenarije, ko si želimo razširiti vpogled na razvoj obravnavane hidrološke situacije. Dodatne prednosti aplikacije so hiter dostop do nastavitve sistema, kot so lokacije postaj, opredelitev časovnih korakov, opozorilnih vrednosti itn.

Širše dostopen pregledovalnik hidrološkega stanja in napovedi (slika 7) je izdelan v spletni tehnologiji in omogoča vsem zainteresiranim uporabnikom znotraj Agencije RS za okolje pregledovanje rezultatov simulacij. Spletna aplikacija je sestavljena iz podatkovnih komponent, ki so razdeljene na tri področja. Glava je namenjena opredelitvi partnerjev pri izvajanju projekta in finančnemu okviru. Levi pas je namenjen izbiri postavitve sistema, legendi in dostopu do dokumentacije, pri čemer je širši desni pas namenjen predstavitvi glavnih podatkovnih komponent. Prikaz podatkov izbiramo v prognostičnih točkah in prispevnih območjih z uporabo zemljevida. V prognostičnih točkah (vodomerne postaje ARSO in sosednjih držav, hidrotehnični objekti, npr. jezovi hidroelektrarn) so prikazani časovni nizi napovedanih pretokov in vodostajev. Za prispevna območja prognostičnih točk so prikazani časovni nizi izmerjenih in napovedanih padavin ter temperatur zraka, izračunanih deležev vode v tleh in vodnega ekvivalenta snežne odeje. Na spletni strani so poleg modelskih rezultatov v vsakem prognostičnem profilu na voljo tudi dokument, ki vsebuje izbor metapodatkov o pripadajoči vodomerni postaji (slika 8) iz katastra vodomernih postaj, informacije o trenutno delujočih merilnih instrumentih, aktualni pretočni krivulji in prečnem prerezu ter izbor hidroloških značilnosti, kot so povratne dobe malih in velikih pretokov, obdobje letne statistike pretokov in temperatur ter kratek opis razmer ob treh najvišjih zabeleženih vodah.

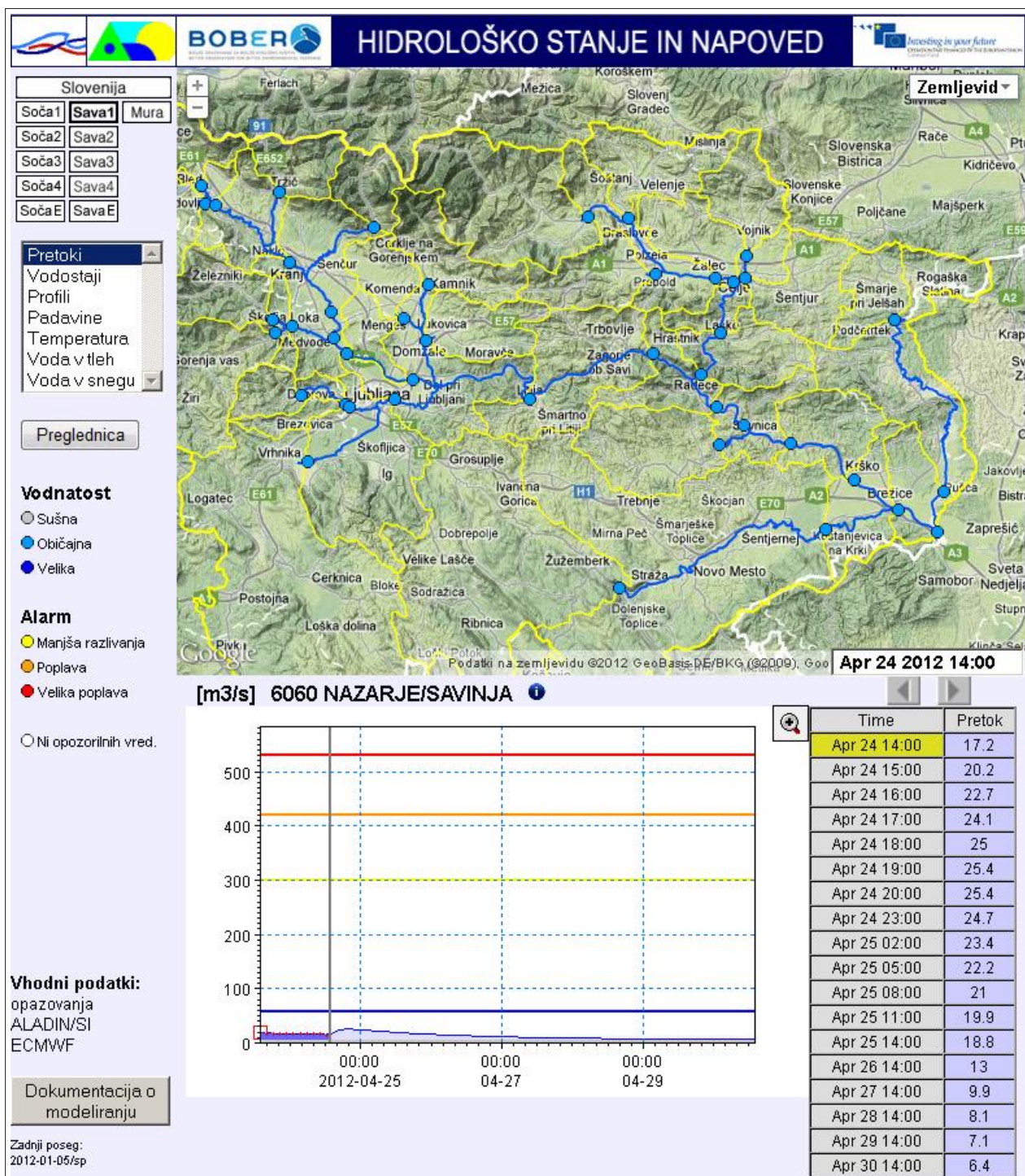


Poleg spletne aplikacije smo dodatno oblikovali okrnjeno različico za prikazovanje rezultatov prek tako imenovanih pametnih telefonov. Prikaz je omejen na eno samo operativno postavitev Sava in Soča 1 (slika 6).

Slika 6:  
Prikaz izračunov prek pametnega telefona  
Figure 6:  
Presentation of calculations on a smart phone.

## Povezava hidrološkega prognostičnega sistema in opozorilnega sistema **HIDROALARM**

Sistemi za hidrološko napovedovanje morajo za doseganje svojega namena imeti opredeljene opozorilne meje. Njihovo določanje je mogoče le z dobrim poznavanjem razmer na terenu in v sodelovanju z Upravo za zaščito in reševanje. URSZR mora in lahko zagotavlja ključne informacije, s katerimi sooblikujemo meje oziroma sprožilce za učinkovit odziv sistema za zaščito in reševanje. V sedanjem sistemu za hidrološko napovedovanje smo dodali na vseh prognostičnih profilih opozorilne meje (slika 7). Opredelitev meja zahteva dobro poznavanje odtočnih razmer, hidroloških statistik in povratnih dob, analizo preteklih poplavnih situacij, pregled opisov posledic ter pregled že obstoječih poplavnih kart oziroma hidravličnih študij. Zbrane informacije in izkušnje uslužbencev ARSO in URSZR so podlaga za določitev mej ali sprožilcev za aktiviranje sil zaščite in reševanja. Le pravilno izbrane meje omogočajo pravočasen učinkovit odziv prognostičnega opozorilnoodzivnega sistema. Opozorilne meje opredeljujejo tudi stopnjo poplavne nevarnosti s pomočjo karte Hidroalarm. Hidroalarm je sistem, ki omogoča učinkovito opozarjanje širše javnosti pred poplavno nevarnostjo. Območje Slovenije je v sistemu Hidroalarm razdeljeno na 26 opozorilnih območij. Glede na poplavno nevarnost se območja obarvajo z barvami: rumeno, oranžno in rdečo. Te so mednarodno usklajene in pomenijo stopnjo nevarnosti zaradi pričakovanih posledic naravnih ujm. V rdeče obarvanih območjih je pričakovana najvišja stopnja nevarnosti. S pomočjo izbranih mejnih vrednosti in določenih barv smo opremili tudi vse grafične prikaze rezultatov modelov (sliki 7 in 8).



Slika 7: Spletni prikaz hidrološkega stanja in napovedi operativnih postavitev za uporabnike znotraj Agencije RS za okolje  
 Figure 7: Online presentation of the hydrological situation and forecasts of operational layouts for users within the Slovenian Environment Agency.

## Prednosti razvitega sistema

Sistem je prilagojen uporabnikom. Je sodobno orodje za pripravo objektiviziranih napovedi ob kritični presoji strokovnjaka. Napovedi v omejenem obsegu pripomorejo pri organizaciji dela terenskih služb ARSO. Hidrološki sistem se navezuje na sistem opozarjanja Hidroalarm. Vzpostavljen sistem je odprt in omogoča nadgrajevanje ter posodobitve, kar je pomembno za nadaljnji razvoj hidrološke prognostične službe v Sloveniji.

## Omejitve hidrološkega prognostičnega sistema

Prognostični modeli so zasnovani za napovedovanje poplavnih dogodkov. Pri manjših in zmernih hidroloških dogodkih lahko prihaja do razmeroma precejšnjih odstopanj med napovedanim in pozneje izmerjenim hidrološkim stanjem na posameznih prognostičnih lokacijah. Tako so lahko hidrološke napovedi modelov včasih nelogične, in sicer kot posledica delovanja modula za korekcijo napa-





vedanih pretokov z merjenimi pretoki. Zato sta pri pripravi napovedi vedno potrebni ustrezna interpretacija in kritična presoja hidrologa prognostika, ki temeljita na poznavanju in spremljanju vremenskih razmer, kontrole vhodnih podatkov in operativnega delovanja hidrološkega in hidravličnega modela. Z operativnim delovanjem modelov se bodo sčasoma nabirale izkušnje, analiza modelskih rezultatov pa bo temelj za korekcijo kalibracije hidrološkega in hidrodinamičnega modela.

Hidrološki model NAM trenutno uporablja precej preprost snežni modul, ki daje nezanesljive rezultate predvsem na območjih z razgibanim reliefom. V našem primeru so modelski rezultati o vodnem ekvivalentu snežne odeje precenjeni in taljenje snega poteka prepočasi. Zaradi razmeroma velikih modeliranih območij in precej redke mreže prečnih prerezov rek lahko pride do nestabilnosti in nepričakovanih nihanj pri hidrodinamičnem računu modelov, predvsem pri nizkih vodnih stanjih.

## Prihodnji načrti

Prihodnji cilji se povezujejo s postavitvijo operativnega povezovalnega orodja, ki bo omogočalo učinkovito spremljanje in napovedovanje hidroloških dogodkov ter pravočasno in natančnejše opozarjanje pred njihovimi morebitnimi posledicami, kot so poplave, suše ipd. Predvsem želimo dvigniti informacijsko operativno učinkovitost hidrološke prognostične službe v Sloveniji in hkrati omogočiti podporo drugim strokovnim službam na ARSO pri opravljanju vsakodnevnih nalog. V prihodnjih letih do zaključka projekta BOBER načrtujemo:

- nadgradnjo modelov sedanjega hidrološkega prognostičnega sistema iz prve faze projekta,
- oblikovanje hidrološkega prognostičnega sistema za napovedovanje hudourniških poplav,
- kartiranje poplav na testnem območju s pomočjo 2D in kvazi-2D hidrodinamičnim modelom,
- oblikovanje krovne spletne aplikacije za pregledovanje, spremljanje, analiziranje in napovedovanje stanja v vodnem krogu.

## Sklepne misli

Dejavnost hidrološkega napovedovanja postaja v zadnjih letih vedno bolj prepoznavna v medijskem prostoru. Zahteve po natančnih napovedih so postale vsakodnevni

izziv, postavitvev hidrološkega prognostičnega sistema pa zagotavlja tehnične pogoje za izpolnjevanje pričakovanj in zahtev strokovne ter laične javnosti. Prehod od uporabe preprostih modelov in subjektivnih ocen je bil hiter, kar je zahtevalo veliko prilagodljivost. Z novo pridobljenim znanjem in upoštevanjem znanih omejitev ter nezanesljivosti količinske napovedi pretokov rek smo tako oblikovali napredno in kakovostno podlago za zgodnje in natančno opozarjanje. Sčasoma bomo dobili dovolj dodatnih izkušenj, ki bodo omogočale pripravo izboljšav hidrološkega prognostičnega sistema. Že v okviru projekta BOBER pričakujemo, da se bodo do leta 2015 zgoštile mreže avtomatskih meteoroloških in tudi hidroloških merilnih mest. Tako bomo hidrološki model sistema poganjali s prostorsko bolj porazdeljenimi padavinami in korigirali napovedane pretoke v več prognostičnih profilih. To pomeni, da bo sistem omogočal še točnejše napovedi in tudi delovanje sistema bo stabilnejše. Načrtujemo tudi analize modelskih rezultatov pri izjemnih hidroloških razmerah, kar bo omogočilo izboljšanje kalibracije hidrološkega in hidrodinamičnega modela. Predvsem bomo pri nadaljevanju razvoja sistema sledili cilju višje stopnje avtomatizacije procesov pri upravljanju in opozarjanju pred visokimi vodami ter njihovim škodljivim delovanjem.

## Zahvala

Vsem sodelavcem Agencije Republike Slovenije za okolje, ki so strokovno, vsebinsko in vodstveno sodelovali pri izvedbi sistema za hidrološko napovedovanje, se snovalci sistema iskreno zahvaljujemo, saj je doseganje dobrih rešitev mogoče le s sodelovanjem in medsebojno podporo.

## Viri in literatura

1. De Marchi, B., Scolobig, A., Delli Zotto, G., Del Zotto, M., 2007. Risk construction and social vulnerability in Italian Alpine Region, Floodsite Report No. T11-2006-08. ISG: Gorizia, Italy.
2. Parker, J. D., 2003. Designing flood forecasting, warning and response systems from societal perspective. International conference on Alpine Meteorology and Meso-Alpine Programme, May 19-21, Brig, Switzerland, (<http://www.map.meteo.swiss.ch/>).
3. Pogačnik, N., 2009. Nadgradnja opozorilnega sistema za zaščito pred škodljivim delovanjem voda, 20. Mišičev vodarski dan 2007, Maribor, str. 59–67.