

RAZVOJ HIDROLOŠKEGA PROGNOŠČNEGA SISTEMA V SLOVENIJI IN DOSTOPNOST VODARSKIH PROSTORSKIH PODATKOV

FLOOD FORECASTING SYSTEM DEVELOPMENT AND AVAILABILITY OF WATER RELATED SPATIAL DATA

Nejc Pogačnik, Sašo Petan, Mojca Sušnik, Janez Polajnar

UDK: 556:627:51(204)

Klasifikacija prispevka po COBISS-u: 1.09

IZVLEČEK

Agencija RS za okolje je s sredstvi 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 je zagotoviti meteorološke in hidrološke meritve, ki bodo omogočile celovito spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji. V okviru projekta je bil razvit sistem, s katerim se na podlagi hidrološkega in meteorološkega opazovanja ter napovedi meteoroloških modelov spremlja hidrološko stanje in napovedujejo razmere za šest dni vnaprej. Hidrologi sistem uporabljajo kot kakovosten pripomoček za pregled hidrološkega stanja, pripravo hidrološke napovedi in pravočasno opozarjanje pred poplavami. Za učinkovito opozarjanje širše javnosti hidrološki prognostični sistem dopolnjuje sistem Hidroalarm. Hidrološki prognostični sistem združuje raznolike naloge, ki jih lahko povežemo v štiri sklope: upravljanje podatkov, vzpostavitev računskih modulov, postavitve kontrolnega in upravljalnega mehanizma ter predstavitev rezultatov v spletnem prostorskem prikazu. Pri izdelavi sedanjega sistema smo imeli malo dostopnih geoinformacijskih virov, namenjenih modeliranju v vodarski stroki, in pogosto smo naleteli na neenotne tipe geodetskih podatkov, ki smo jih potrebovali. V prispevku sta opisana vzpostavljanje sedanjega sistema in njegov nadaljnji razvoj, opredeljene so tudi potrebe po enotnem javnem zbiranju prostorskih vodarskih podatkov za dolgoročni razvoj vodarske stroke.

ABSTRACT

The Slovenian Environmental Agency (SEA) has started a project entitled "Upgrading the system for monitoring and analysing the state of the water environment", which is partly financed through the European Cohesion Fund. The project was named "BOBER" (Better Observation for Better Environmental Response). The wider purpose of the project is to increase the capacity of the SEA to monitor, examine and forecast water cycle factors. The Flood Forecasting System (FFS) has been developed in the framework of the BOBER project. The system provides an overview over forecasts of river discharges and water levels for six days ahead. The FFS is becoming a basic operational tool for the preparation and issuing of daily hydrological forecasts and flood warnings by the Flood Forecasting Department of the SEA. To issue effective flood warnings to the general public, the Hydroalarm system has been implemented. The setup of the FFS is strongly connected to sufficient and available spatial data sources. The FFS combines different tasks; data management, model calibration, decision and management support systems, which are combined through a graphical user interface. During the project, few data sources appropriate for modelling purposes were found. Quite frequently the gathered data were available in different usable formats and needed transformation to usable forms. The discussion in the article focuses on the required data sources needed to develop flood forecasting systems and future spatial and other data requirements for the upgrading and further development of water management sector.

KLJUČNE BESEDE

hidrološki prognostični in opozorilni sistem, napovedovanje poplav, topografski podatki, prostorski podatki

KEY WORDS

flood forecasting and warning system, flood forecasting, topographic data, spatial data

1 UVOD

Voda je najpomembnejša snov, ki jo človek potrebuje za življenje. Vsi si želimo čiste vode in zdravega vodnega okolja, zato je spremljanje stanja vodnega okolja in vodnega kroga ključno za zaznavanje sprememb v tem procesu. Vse pogostejša nihanja in ekstremi kažejo na potrebo po učinkovitem načrtovanju in upravljanju razpoložljivih vodnih virov. V ta namen je za skupno dobro treba zagotavljati učinkovito neprekinjeno spremljanje vodnega kroga in zbiranje prostorskih podatkov, ki oblikujejo razpršenost in dinamiko gibanja vode v prostoru. S hidrološkim prognostičnim sistemom smo za potrebe napovedovanja visokovodnih razmer opisali in ovrednotili vodni krog v našem življenjskem prostoru na porečjih reke Soče, Save in Mure. Od leta 2006 je vzpostavljeno modelsko okolje, s katerim lahko tehnično veliko bolj objektivno napovedujemo hidrološke razmere za 70 % površja Republike Slovenije.

Merilna mreža in njena nadgradnja se izvajata v okviru projekta BOBER. Projekt nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji (skrajšano poimenovanje 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.

2 ZAKAJ HIDROLOŠKI PROGNOŠTIČNI IN OPOZORILNI SISTEMI

V obdobju 1975–2001 je bilo na svetu 1816 večjih poplav, ki so zahtevale 175.000 življenj in so vplivale na življenje 2,2 milijarde ljudi (Jonkman, 2005). Poplave so vzrok za 15 % žrtev, povezanih z naravnimi katastrofami (WMO, 2011). Od vseh poplav se jih več kot 40 % zgodi v Aziji, vendar je delež smrtnih žrtev zaradi poplav tam več kot 90-odstoten. Tudi v Evropi je izpostavljenost poplavam velika, saj na primer na Madžarskem 25 % prebivalstva živi na poplavnih območjih reke Donave in njenih pritokov, več kot polovica Nizozemcev živi na območju, ki je nižje od povprečne gladine morja, v Veliki Britaniji živi 12 % prebivalstva na poplavnih območjih rek in morja, v Sloveniji je potencialnih hudourniških in dolinskih poplavnih območij 3000 km² ali skoraj 15 % države, pri čemer je dolinskih poplav le od 3 do 4 %. V zadnjih dveh desetletjih je tako tudi v Evropi veliko smrtnih žrtev, povezanih s vsemi oblikami poplav.

Velika izpostavljenost poplavam povečuje škodo in močno vpliva na lokalno gospodarstvo. Tako lahko pogledamo le nekatere bolj poznane primere škod in izgub zavarovalnic zaradi večjih poplavnih dogodkov. V Veliki Britaniji so poletne poplave leta 2007 povzročile 4 milijarde funtov škode in dodatnih 3 milijarde izgub oziroma izplačanih škod v zavarovalniški panogi. Največje zadnje poplave na Tajskem (od julija 2011 do januarja 2012) so peta najdražja naravna katastrofa v svetovnem merilu (Robinson (FT), 2012), pri kateri so izgube zavarovalniške panoge ocenjene na od 15 do 20 milijard ameriških dolarjev, skupna ocenjena ekonomska škoda pa znaša kar 46 milijard ameriških dolarjev.

Tudi v Sloveniji lahko v zadnjih letih izpostavimo dva izrazito izstopajoča poplavna dogodka. Leta 2007 je v Železnikih hudourniška poplava zahtevala tri življenja, zemeljski plaz je zahteval dve življenji na porečju Savinje, pri reševanju v Cerkljah je izgubil življenje gasilec. Skupna

škoda naravne nesreče je bila ocenjena na vsaj 200 milijonov evrov. V letu 2010 se je poplavna ujma razbesnela v septembru. Skupna ocenjena škoda je preseгла 250 milijonov evrov, deroče in narasle vode pa so zahtevale še pet življenj. Poplavnih dogodkov ni mogoče primerjati, saj sta se oblikovala dva tipa poplav, hudourniški in dolinski. V letu 2010 so bile poplave veliko obsežnejše, vendar so bile tudi napovedi o tem dogodku pravočasne in zanesljive, tako da so se službe za zaščito in reševanje ter prebivalci lahko ustrezno pripravili. Škoda je bila tako veliko manjša kot pri nenatančno napovedanih lokalnih hudourniških dogodkih v letu 2007, ko je bila na omejenem območju skoraj enaka kot med velikimi poplavami v letu 2010.

Poplave so ponavljajoč se dogodek, ki ga ne moremo preprečevati le z lokalnimi posegi, temveč sta potrebna celovita obravnava in vodenje oziroma upravljanje poplavnih dogodkov na porečjih glede na razpoložljive vire in prostorske omejitve. Zaradi vedno pogostejših in izrazitejših vremenskih dogodkov, pa naj bo to zaradi antropogenega vpliva na globalno segrevanje ali drugih sprememb v okolju, so poplavni dogodki postali obsežnejši, bolj izraziti in ekstremni ter bolj pogosti. S tem se večkrat odpirajo vprašanja o odgovornosti, ustreznosti izvedenih omilitvenih ukrepov, povzročeni ekonomski škodi in ne nazadnje dejavnosti za preprečevanje smrtnih žrtev zaradi poplav. Vse obravnavane zahteve povečujejo potrebo po vzpostavitvi in izboljšanju hidroloških prognostičnih sistemov ter sistemov za upravljanje tveganj, ki jih je mogoče še nadgraditi z izboljšanjem odziva, če upoštevamo koncept prognostično-opozorilno-odzivnega sistema. Učinkovitost kriznega upravljanja povečujejo predvsem hitre in kakovostne informacije, ki pa jih je mogoče zagotoviti le z združevanjem v prostorskem informacijskem sistemu. Le takšne informacije omogočajo učinkovito načrtovanje in vodenje poplavnih dogodkov ter drugih kriznih situacij.

3 NAMEN HIDROLOŠKEGA PROGNOŠTIČNEGA IN OPOZORILNEGA SISTEMA

Hidrološki prognostični in opozorilni sistem (HPOS) je namenjen pripravi čimprejšnjih opozoril o morebitnem nastanku poplav za pristojne državne organe in javnost. Priprava opozoril zahteva meteorološka in hidrološka znanja, ki so podlaga za izdajanje kritično ovrednotenih in jasnih opozoril s čim daljšim opozorilnim časom. Opozorilni čas opredeljujemo kot čas od izdaje opozorila do nastanka izrazitega ali tveganega hidrološkega dogodka oziroma poplav. Poleg opozoril z razvojem sistema in seznanjanjem uporabnikov z rezultati hidrološkega prognostičnega sistema se pojavljajo dodatni predlogi in zahteve. Z vzpostavitvijo ogrodja sistema, katerega pglavitne usmeritve so bile enotnost, uporabniška enostavnost, preglednost, prilagojenost uporabniku in ohranitev enotnega računskega jedra, se odpirajo nove možnosti. Ključna vprašanja so vezana na podajanje informacij in podatkov v prostoru, kar lahko opišemo kot natančnejšo opredelitev razsežnosti s časovnim razvojem poplavnega dogodka. Bolj enostavna vprašanja pa so vezana na pripravljene ali načrtovane strokovne podlage ter dobro organizacijsko ureditev operativnih in strokovnih služb. Vsak element prispeva h kakovosti in učinkovitosti sistema.

4 ELEMENTI HIDROLOŠKEGA PROGNOŠTIČNEGA IN OPOZORILNEGA SISTEMA

Sistem je razdeljen na prognostični in opozorilni del. Tako lahko pri obravnavanju vodnega kroga oziroma geofizikalnega procesa gibanja vode in napovedovanju njenega stanja v prostoru govorimo o hidrološkem prognostičnem sistemu (HPS). Takoj ko s to informacijo seznanjamo

javnost oziroma uporabnike, preidemo na koncept hidrološkega prognostičnega in opozorilnega sistema (HPOS). Glavni elementi hidrološkega prognostičnega in opozorilnega sistema so:

- pridobivanje izmerjenih podatkov iz samodejne merilne mreže hidroloških in meteoroloških postaj v realnem času;
- izmerjeni hidrološki in meteorološki podatki, vključeni v dvostransko in mednarodno izmenjavo;
- rezultati izračunov meteoroloških modelov;
- hidrološko-hidravlično računsko jedro;
- informacijska, komunikacijska in desiminacijska orodja ter
- orodje za oblikovanje in posredovanje opozoril ali Hidroalarm.

Vse navedene vsebine se povezujejo v prostorskem informacijskem sistemu. Vse te naloge pokrivajo službe v okviru Agencije Republike Slovenije za okolje, pri čemer mora biti za dejanske učinke v lokalnem okolju hidrološki prognostični in opozorilni sistem vezan na odziv in ukrepanje. Hidrološki prognostični in opozorilni sistem je le del širše organizacijske strukture javnih služb za zaščito pred škodljivim delovanjem voda in drugih naravnih nesreč. Pri zaščiti pred škodljivim delovanjem voda bi bilo treba upoštevati koncept prognostično-opozorilno-odzivnega sistema (v nadaljevanju POOS) (Parker, 2003, Pogačnik, 2009), s katerim bi lahko prešli na neposredno krizno upravljanje poplavnih dogodkov. V sedanji ureditvi za vse naloge v okviru takšne zasnove delovanja skrbita Agencija Republike Slovenije za okolje na ministrstvu za kmetijstvo in okolje ter Uprava za zaščito in reševanje na ministrstvu za obrambo. Delovanje in neprestano nadgrajevanje sistema kot celote – napovedovanja, upravljanja in ukrepanja – nam dolgoročno omogoča družbene prednosti in neposredne ekonomske koristi:

- izogibanje poškodbam, stresu, boleznim zaradi učinkov ujme in smrtnim žrtvam;
- zmanjševanje škode v zasebnem in javnem sektorju;
- zmanjševanje škode v industriji in kmetijstvu;
- zmanjševanje vpliva na sekundarni in terciarni sektor gospodarstva;
- povečano občinsko, regionalno in državno varnost;
- odsotnost političnega dolga za pomoč prizadetim zaradi predhodno jasno postavljenih omejitev in izdanih opozoril;
- boljše meddržavno sodelovanje.

5 POVEZOVALNA VLOGA GEOGRAFSKEGA INFORMACIJSKEGA SISTEMA

Uporaba prostorskih podatkov in geografskih informacijskih sistemov ali grafičnih uporabniških vmesnikov omogoča najrazličnejše vizualizacijske možnosti. Z grafičnim vmesnikom lahko prikažemo veliko več informacij kot le z besedilnim sporočilom ali osnovnimi kartografskimi aplikacijami. Zaporedno relacijsko povezljive podatke lahko prikažemo v več slojih ali medsebojnih presekih. V grafičnem uporabniškem vmesniku lahko na primer povežemo pomembno javno infrastrukturo in nevarnost nastanka poplave ali pa imamo možnost za

- 90 novih ali nadgrajenih ter avtomatiziranih merilnih mest za spremljanje meteoroloških veličin (predvsem padavin), vključno z novimi srednje- in visokogorskimi merilnimi mesti (tudi za potrebe lavinske varnosti in ocene akumulirane vode v snegu);
- nov meteorološki radar na Pasji ravni v zahodni Sloveniji (izboljšana pokritost, možnost določitve hitrosti vetra).



Slika 1: Sedanja mreža padavinskih samodejnih merilnih mest v Sloveniji

Na sliki 1 lahko vidimo kar nekaj praznih območij, na katerih ne poznamo količine padavin in nam pri operativnem delovanju HPS močno manjkajo. Naj omenimo le nekatera takšna območja, na primer na porečju Soče: Banjšice, Komna, pogorje Kolovrata in Matajurja, Trnovskega gozda; na porečju Save: Bloke, Suha krajina, Kočevski rog, Kamniško-Savinjske Alpe. Podobne razmere so na sedanji hidrološki mreži, saj na območju krasi in Koroškem ni razpoložljivih podatkov v realnem času. Z razširitvijo avtomatske ali samodejne merilne mreže v okviru projekta BOBER se bo pokritost Slovenije izboljšala in bo omogočala velik kakovostni preskok pri nadaljnji uporabi podatkov v sistemih. Lažje bo določiti količino in porazdelitev padavin, dostopni bodo vsaj nekateri referenčni podatki o snežni odeji, s pogostejšim in širšim zajemom podatkov se bo izboljšal celosten pregled nad stanjem površinskih voda v Sloveniji.



Slika 2: Predvidena mreža hidroloških in padavinskih ter podzemnih postaj za monitoring

8 UPORABA METEOROLOŠKIH MODELOV

Napoved intenzitete padavin, njihovo trajanje in porazdelitev so osnovne informacije iz meteoroloških modelov, ki oblikujejo delovanje HPOS. Za operativno delovanje sistema moramo imeti vzpostavljeno neposredno povezavo z meteorološko službo in dostop do rezultatov meteoroloških modelov v realnem času, saj se tako podaljšuje opozorilni čas. Pri modeliranju na porečjih Save in Soče uporabljamo različne meteorološke modele, ki zagotavljajo najboljše rezultate za različna časovna in prostorska območja napovedi. Meteorološki modeli so tako globalni, regionalni ali pa lokalni in s tem se spreminja njihova natančnost, časovni korak in dolžina napovedi, kar vpliva na njihovo uporabo pri HPOS. V Sloveniji za hidrološko modeliranje uporabljamo več modelov: globalni model ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts - Evropski center za srednjeročne vremenske napovedi), lokalni srednjeročni model ALADIN/SI (Aire Limitee Adaptation dynamique Developpement InterNational; omejeno območje, dinamična adaptacija, mednarodno sodelovanje (ime konzorcija in meteorološkega numeričnega modela) v dveh različicah, ALADIN - LAEF (17-članska skupinska modelskih napovedi), NMM (Nonhydrostatic Meso-Scale Modelling) in model za kratkoročno napovedovanje z integracijo podatkov INCA-CE (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis). Različen nabor vhodnih podatkov pozneje tudi opredeljuje postavitev različnih operativnih izračunov HPS (slika 3), ki se uporabljajo pri vsakodnevem napovedovanju in analizi hidrološkega stanja.

postavitev hidrološkega modela	meritve automatskih 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 (raster računskih točk 9,5km)	ALADIN/SI - DA za prihodnjih 54 ur (raster računskih točk 4,5 km)	ALADIN - LAEF za prihodnjih 48 ur (17 članska skupinska napoved)	ECMWF za prihodnjih 144 ur
SAVA1/SOČA1	●			●			●
SAVA2/SOČA2	○	●		●			
SAVA3/SOČA3	●		●				
SAVA4/SOČA4 [Ⓢ]	●			●			●
SAVA5/SOČA5*	●				●		●
SAVA6/SOČA6						●	
MURA	●			●**			

* eksperimentalna postavitve ** napovedi meteorološkega modela je kontinuirna ALADINAUT in ALADINSI
 ○ vremenske razmere glede na analizo model INCA-CE Ⓢ postavitve za testiranje novih elementov sistema

Slika 3: Operativne postavitve hidroloških prognostičnih sistemov

9 PODATKI O PROSTORU TER NJIHOV VPLIV NA HIDROLOŠKO MODELIRANJE IN NAPOVEDOVANJE

Pri razvijanju hidrološkega modela je za modeliranje poplavnih dogodkov treba zbrati osnovne značilnosti podporečja in pridobiti znanje o delovanju zaledja, dinamiki odtoka in odziva sistema v različnih letnih časih. Prav tako je treba zbirati podatke o poplavnih dogodkih, razsežnostih in analizi dogodkov, ki privedejo do ekstrema. Osnovni prostorski podatki o podporečju so oblika, velikost in topografska struktura. Ko nad to pripeljemo padavine, odtok opredelijo še podatki o uporabi tal, geologiji, pedologiji, vegetaciji oziroma rastju. Vsi ti podatki so kot izhodišče pri hidrološkem modeliranju zelo pomembni, vendar je treba dodatno zbrati informacije o delovanju zaledja, vezane na kartografske podatke. Koliko vode lahko zadrži podporečje v svojem vodonosniku, kakšne so infiltracijske sposobnosti tal glede na vegetacijo in geološko sestavo, kdaj je drenažna sposobnost ponornih con na krasu presežena, kje so večji izviri ali ponorne cone, kako večje površine nepropustnih oziroma urbanih tal vplivajo na možnost nastanka lokalnega preplavitve pri tako imenovanih urbanih poplavih itd.

Poplave pravzaprav povzročijo prekomerne padavine. Količina padavin pa vendarle ne vpliva v vseh obdobjih leta enako, zato je pomembna vpetost v sezonsko klimatologijo. Pogostejši tipi padavin, ki lahko privedejo do poplav (WMO, 2011), so:

- kratkotrajne in intenzivne (pogosto na zelo omejenem območju) padavine;
- dolgotrajne in razširjene padavine;
- snežne padavine, povezane s taljenjem snega (snežnica);
- dolgotrajne sezonske padavine (monsun).

V Sloveniji oblikujejo hidrograme odtoka prvi tri tipi padavin, saj monsunskih ali drugih sezonskih padavin ne poznamo. Kljub temu moramo močno upoštevati sezonsko klimatologijo, ki oblikuje širše robne pogoje pri obravnavanju odziva porečja glede na pričakovane padavine. Poznavanje porazdelitve padavin z njihovo korekcijo (Dolinar et al., 2006), poznavanje odtočnih količnikov na hidrometričnih zaledjih, porazdelitev in izračun evapotranspiracije in končna vodna bilanca

(Frantar, 2008) v prostoru podajajo osnovne hidrološke značilnosti zaledja in zagotavljajo izhodiščna znanja za umerjanje modela na obravnavanih področjih.

Razumevanje razvoja visokovodnih dogodkov in poznavanje zgodovine poplav sta pomemben sestavni del hidrološkega modeliranja. Inteligentno raziskovanje nam omogoča ovrednotenje uporabljenih zgodovinskih meteoroloških in hidroloških podatkov ter razumevanje razvoja poplavnega dogodka in njegove potencialne škode. Pri tem nam lahko veliko pomagajo poplavljeni zajemi podatkov in analize, izvedeni za posamezne poplavne dogodke. V Sloveniji je potekala takšna analiza v okviru projekta HYDRATE po hudourniških poplavah v Železnikih leta 2007 (Marchi, 2009). V popolavni analizi so takrat zajeli veliko gradiva: od grobih meritev profilov s koto najvišje vode, ocene hitrosti toka, fotografij posledic in višin poplavnih indikatorjev, intervjujev z ljudmi, kar je omogočalo dobro oceno razvoja hudourniške poplave. Vsekakor bi morali takšni popisi dogodkov postati zavezujoči in bi jih izvajali vsakokrat po poplavah. Zelo lep primer kronološko zbranih opisnih hidroloških podatkov lahko najdemo v Veliki Britaniji (Black, 2004; <http://www.trp.dundee.ac.uk/cbhe/welcome.htm>). Takšne podatkovne baze in analize pozneje omogočajo pravilno razumevanje načina odtoka vode iz porečij ter so kakovostna podlaga za hidrološko modeliranje in predvsem opozarjanje. Podatke pa je mogoče koristno uporabiti tudi na drugih strokovnih področjih, kot je prostorsko načrtovanje, ali pri umeščanju državne oziroma lokalne infrastrukture.

10 VPLIV IN DOSTOP DO PROSTORSKIH PODATKOV ZA MODELIRANJE HIDRAVLIKE PRI RAZVOJU HIDROLOŠKEGA PROGNOSTIČNEGA SISTEMA

Ko poznamo hidrološke značilnosti zaledja, se lahko osredotočimo na modeliranje odtoka vode vzdolž rečnih strug. Tako se prične zahtevno zbiranje podatkov, s katerimi je mogoče ponazoriti hidrodinamične značilnosti rečnega toka v obravnavani rečni mreži porečja. Za razvoj hidrodinamičnega modela je treba najprej ovrednotiti kakovost in uporabno vrednost zbranih podatkov. V splošnem bi lahko pripravo prostorskih podatkov za potrebe hidravličnega modela strnili v naslednje korake:

- priprava uporabne rečne mreže;
- pridobitev (izmera) in priprava ustrezno pogostih prečnih profilov;
- umestitev vodnogospodarske infrastrukture (pragovi, mostovi, hidroenergetski objekti);
- priprava digitalnega modela reliefa, ki ponazarja poplavne površine in del rečne batimetrije;
- določitev območij hrapavosti;
- dostopnost preteklih hidrološko-hidravličnih študij.

V nadaljevanju razvoja HPS bo poudarek na integraciji 2D-hidravličnega modeliranja, kar bo zahtevalo razširitev nabora prostorskih podatkov. Modeliranje v dveh dimenzijah je izjemen izziv v HPS. Predvsem bo pomembno kakovostno obvladovanje in upravljanje podatkov o zemljskem površju, zajetih s tehnologijo LiDAR (Light Detection And Ranging) ali SAR (Synthetic Aperture Radar). Pridobljeno količino podatkov je treba obvladovati in uporabiti za pripravo prilagojene digitalne mreže terena (DTM). Za modeliranje je treba DTM prilagoditi in pripraviti za poljuben zajem ter uporabo za potrebe hidravličnega modeliranja.

Kar zadeva hidravlično modeliranje in poplavno kartiranje oziroma upravljanje voda, v Sloveniji ni ustreznega evidentiranja, zajema in upravljanja podatkovnih baz prostorskih podatkov. Težave s podatki se pojavijo že z neustrezno rečno mrežo, ki bi jo bilo treba nadgraditi. Tako so že pripravljene tehnična izhodišča in metodologija za prenovo podatkov o vodah v DTK5 in zajem podatkov o dejanski rabi – vodno zemljišče, ki ga je pripravil Geodetski inštitut. Metodologija je podroben opis tehničnih dejavnosti pri zajemu podatkov, vendar je še veliko nerešenih vprašanj v povezavi s strokovnimi vodnogospodarskimi vsebinami, na katere opozarjajo tudi drugi avtorji (Banovec, 2006). Kljub temu je to javna kartografska podlaga, ki jo lahko uporabimo.

Javnih zbirk podatkov o prečnih profilih na vodotokih ni. Zato smo bili pri izdelavi omejeni na pomoč lastnikov podatkov, predvsem s področja hidroenergetike. Za hidrološko, hidravlično modeliranje, hidrološke in hidravlične analize, hidromorfologijo, preverjanje zanesljivosti hidrološko-hidravličnih študij, analiz infiltracije vode v aluvialne vodonosnike in še bi lahko naštevali je zelo pomembno, da se prične načrtovan zajem in urejeno shranjevanje podatkov o prečnih profilih vsaj na večjih vodotokih.

Pri večjih objektih s področja javne infrastrukture naletimo na težave, povezane s pomanjkljivostmi, ki izvirajo iz nedorečene in konceptualno vsebinsko nepopolne rečne mreže. Obstajajo popisi in evidenca javne vodne infrastrukture (EVI – evidenca vodne infrastrukture) (Banovec, 2006), vendar zbirke ne vsebujejo podatkov, potrebnih za hidravlično modeliranje. Takšna zbirka podatkov bi pripomogla k modeliranju, načrtovanju, projektiranju in upravljanju vodotokov.

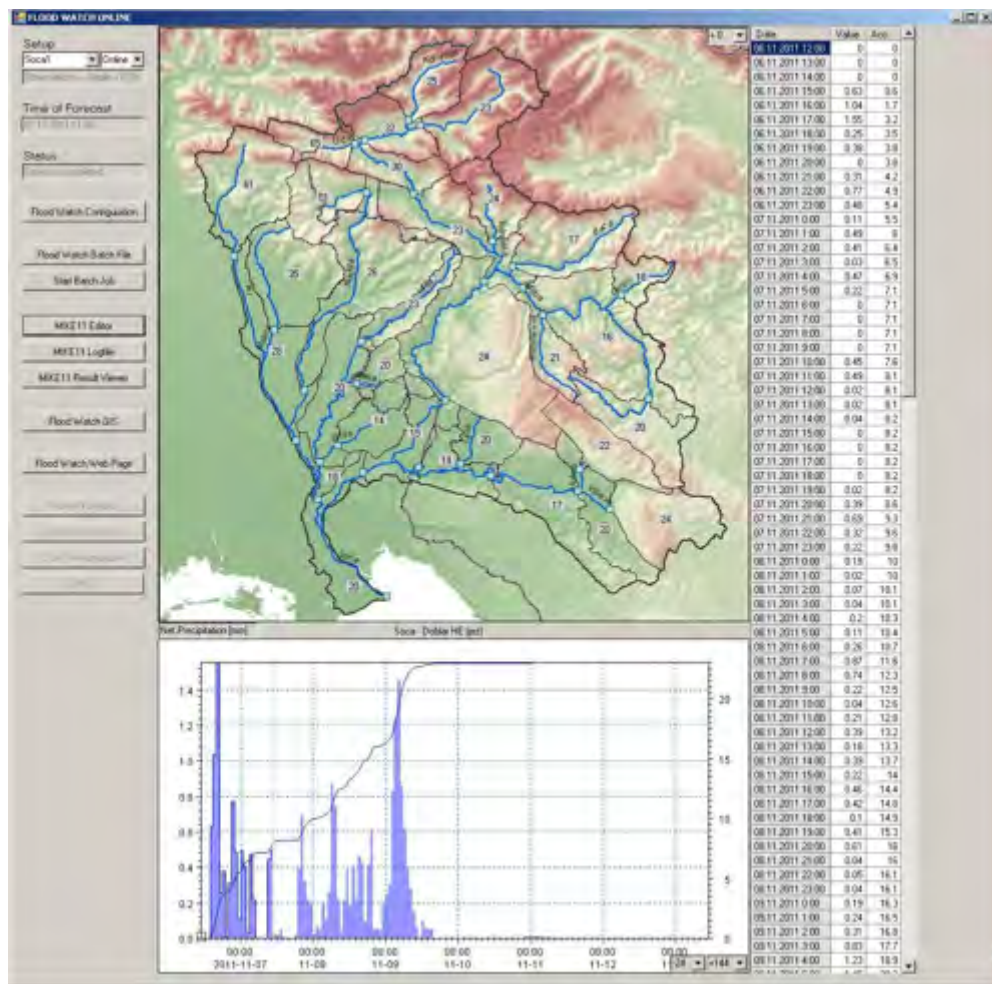
Hidravlično modeliranje zagotavlja osnovno informacijo za upravljane poplav. Del informacij je v izvedenih hidrološko-hidravličnih študijah, ki so zaradi neustreznih navodil le delno uporabne za prenos v operativne sisteme. Hidravlične analize lahko uporabimo za analizo razvoja poplave, oceno nevarnosti, načrtovanje ublažitvenih ukrepov, izračunamo čas umikanja poplavnih vod ali pa načrtujemo dostop, način reševanja in ukrepanja že med umikanjem poplav.

Z vidika hidrološkega prognostičnega in opozorilnega sistema pa so pomembne predvsem povezljivost, vsebinska urejenost in dostopnost zbranih prostorskih podatkov (hidrološko-hidravlične študije, DOF, stavbe, infrastruktura (ceste, železnice), bolnišnice, gasilske postaje ...). S povezovanjem vsebin lahko gradimo kakovostne produkte, kot so hidrološki prognostični in opozorilni sistem ali koncept prognostično-opozorilno-odzivnega sistema, ki na podlagi boljših podatkovnih slojev zagotavlja kakovostne informacije za upravljanje, opozarjanje in ukrepanje.

11 HIDROLOŠKI PROGNOŠTIČNI IN OPOZORILNI SISTEM

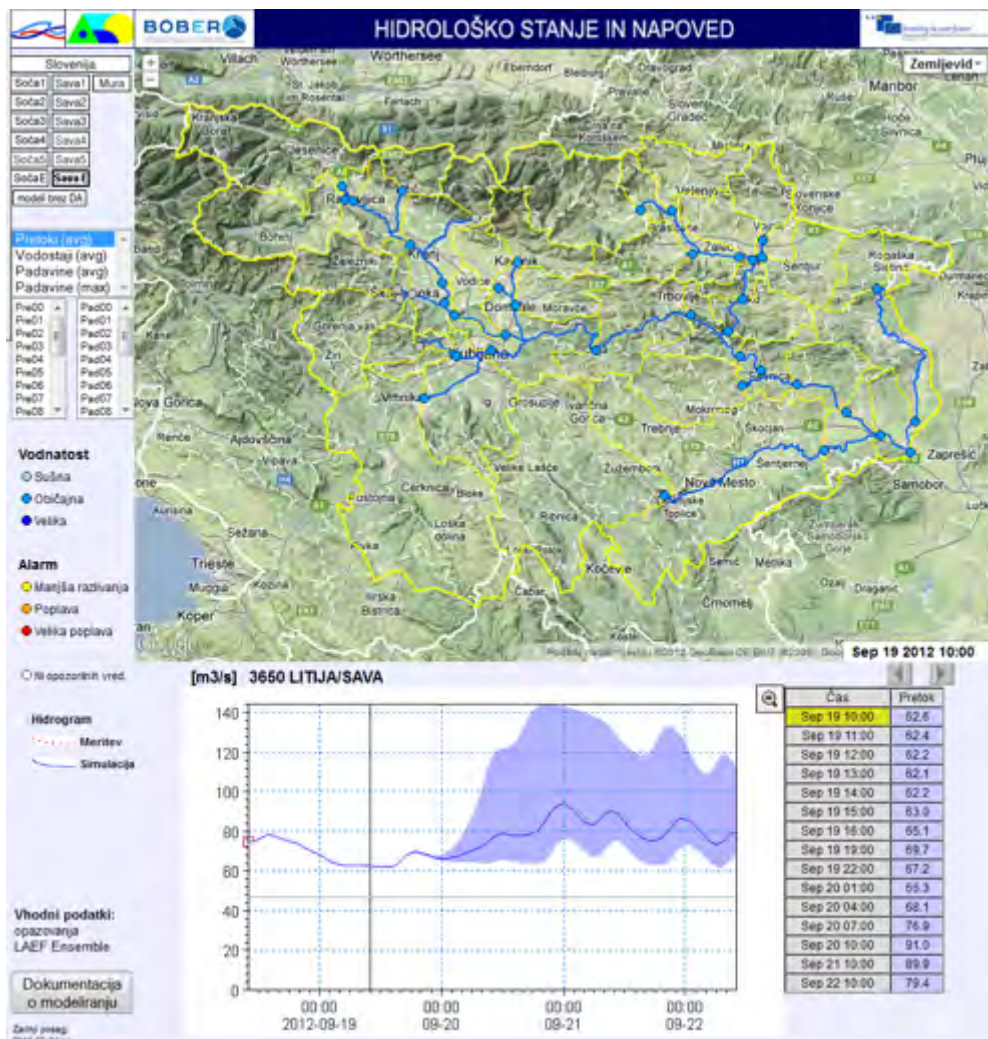
Poglavitne usmeritve pri vzpostavitvi hidrološkega prognostičnega sistema so bile: enotnost, uporabniška enostavnost, preglednost, prilagojenost uporabniku in enotno računsko jedro. Odločili smo se za ohranitev modelskega jedra sistema, ki je bil uporabljen za postavitve HPS na reki Muri (Ruch, 2006), in nadgradnjo infrastrukture HPS za potrebe modeliranja na Savi in Soči. Modelsko jedro programskega paketa MIKE, ki ga razvija danski hidravlični inštitut DHI, je sestavljeno iz treh komponent: hidrološkega modela s snežnim modulom, hidravličnega oziroma hidrodinamičnega enodimenzionalnega modela ter modula za korekcijo napovedanih pretokov in vodostajev. Hidrološki prognostični sistem smo zgradili na podlagi že opisanih hidroloških,

meteoroloških in prostorsko-informacijskih baz podatkov, ki so na voljo na agenciji ARSO. Za modeliranje sta bila uporabljena modela NAM (dansko Nedb r Afstr mnings Model – model padavin in odtoka) in Mike 11 – enodimenzionalen hidravlični model. Operativne postavitve so bile oblikovane na različnih kombinacijah vhodnih meteoroloških podatkov, pri čemer potekajo izračuni od 120 ur v preteklost do 144 ur v prihodnost (Pogačnik, 2011; Petan, 2012).



Slika 4: Orodje Flood Watch Online

Za upravljanje sistema ter podrobnejše analiziranje in napovedovanje hidrologi uporabljamo aplikacijo Flood Watch Online (slika 4) za operacijski sistem Windows, ki omogoča hiter vpogled in upravljanje sistema ter posameznih elementov. Pogovorno okno tako ponuja naslednje možnosti: 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, ter dostop do izvorne kode gradnikov sistema, razen licenčnega standardnega programskega paketa MIKE – DHI. Ključna funkcija



Slika 5: Spletni prikaz hidrološkega stanja in napovedi z uporabo skupinske napovedi LAEF – ALADIN v operativni postavitvi za uporabnike znotraj Agencije RS za okolje

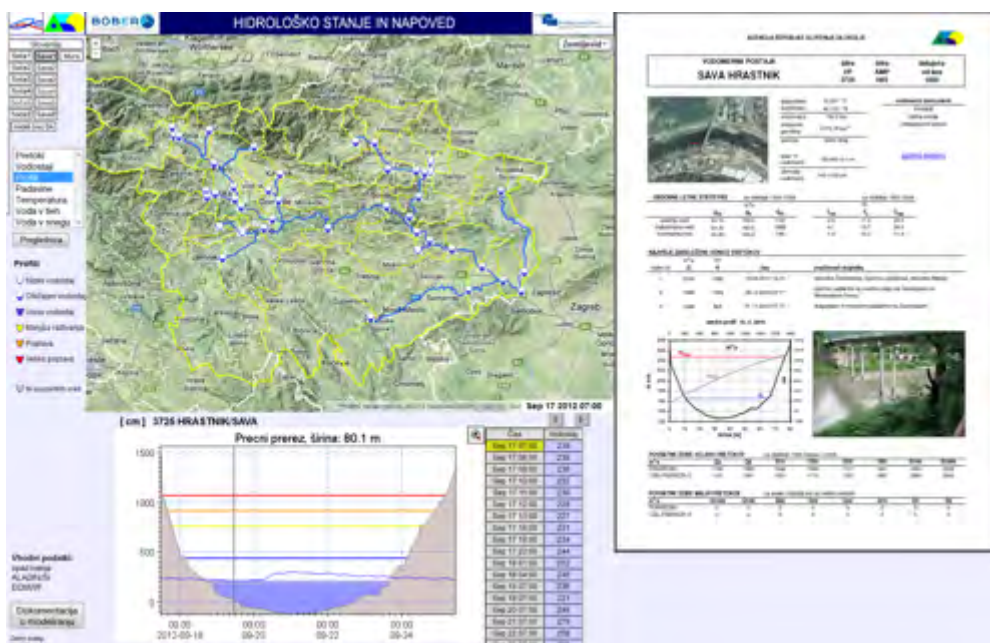
aplikacije se nanaša na možnosti spreminjanja vhodnih podatkov, s katerimi lahko izračunamo odziv porečja glede na subjektivno oceno.

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

Širše dostopen pregledovalnik hidrološkega stanja in napovedi (slika 5) je izdelan v spletni tehnologiji in vsem zainteresiranim uporabnikom znotraj Agencije RS za okolje omogoča 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 postaje sosednjih držav, hidrotehnični objekti, na primer 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 je poleg modelskih rezultatov v vsakem prognostičnem profilu na voljo tudi dokument, ki vsebuje izbor metapodatkov o pripadajoči vodomerni postaji (slika 6) iz katastra vodomernih postaj, informacije o 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 oblikovali okrnjeno različico za zunanje uporabnike in prikazovanje rezultatov prek tako imenovanih pametnih telefonov. Prikaz je omejen na eno samo operativno postavitev Sava 1 in Soča 1 (slika 7).



Slika 6: Spletni prikaz z metapodatki o izbrani vodomerni postaji

HPOS morajo za doseganje svojega namena imeti opredeljene opozorilne meje. Za določitev opozorilne meje ni jasnih navodil ali smernic, povezana pa je z upoštevanjem različnih dejavnikov:

- velikosti porečja ali podporečja v povezavi s tipom padavin in s tem povezanih pričakovanih poplavnih dogodkov;

- hidrološke statistike in povratne dobe;
- znane kronologije poplavnih dogodkov oziroma visokovodnih razmer;
- pričakovanih posledic poplavnega dogodka (na podlagi zgodovinske kronologije škodnih dogodkov).



Slika 7: Prikaz izračunov prek pametnega telefona

Predvsem je njihovo določanje mogoče le z dobrim poznavanjem razmer na terenu ter v sodelovanju in s pogovori z različnimi deležniki. V Sloveniji je za odziv zadolžena uprava URSZR, zato smo opozorilne vrednosti uskladili z njimi, pri tem smo uporabili njihove podatke o preteklih intervencijah in zabeleženih posledicah, s katerimi so bile oblikovane meje oziroma sprožilci za odziv sistema za zaščito in reševanje. V sedanji sistem za hidrološko napovedovanje smo dodali na vseh prognostičnih profilih opozorilne meje, ki so vidne na vseh grafičnih prikazih za vse prognostične lokacije. Opozorilne meje opredeljujejo tudi stopnjo poplavne nevarnosti, ki jo za splošno javnost predstavljamo s karto Hidroalarm.

12 NAČRTI ZA RAZVOJ HIDROLOŠKEGA PROGNOŠTIČNEGA IN OPOZORILNEGA SISTEMA

Predvsem želimo dvigniti informacijsko operativno učinkovitost hidrološke prognostične službe v Sloveniji in hkrati omogočiti podporo drugim strokovnim službam na agenciji ARSO pri opravljanju vsakodnevnih nalog. V prihodnjih letih do konca projekta BOBER načrtujemo:

- nadgradnjo modelov sedanjega hidrološkega prognostičnega sistema iz prve faze projekta;
- usmeritev in pripravo HPS za napovedovanje hudourniških poplav;
- kartiranje poplav na testnem območju z 2D- in kvazi 2D-hidravličnim modelom;

- oblikovanje grafičnega vmesnika za pregledovanje, spremljanje, analiziranje in napovedovanje stanja vode v vodnem krogu.

Pri načrtovanju je pomembno sodelovanje s končnimi uporabniki in prepoznanje njihovih potreb. Opozorila in rezultati hidrološkega prognostičnega in opozorilnega sistema (HPOS) so informacije, ki neposredno vplivajo na ukrepanje in izvajanje ukrepov. Ključna naloga HPOS je zagotoviti opozorilni čas, ki bo omogočal civilni zaščiti, gasilcem in posameznikom pripravo na morebitno škodljivo delovanje voda. Z vidika hidrološke prognostične službe je zelo pomembno, da ima dober pregled nad vlogo, pristojnostmi in obveznostmi civilne zaščite, državnih uradov, uprav, javnih služb in koncesionarjev v času poplav. In prav to je področje, na katerem je treba nadgraditi medsebojno ali medsektorsko delovanje ter slediti konceptu POOS, ki ga mora razvijati nadrejena institucija oziroma ministrstvo.

13 SKLEP

Potrebe po podatkih kot delu javnih evidenc, namenjenih modeliranju, so velike. Nekatera izhodišča v povezavi z geodetsko in vodarsko stroko ter njihovimi nalogami so bila že podana in opredeljena na posvetu Posledice nezanesljivega višinskega sistema za upravljanje z vodami, ki ga je ministrstvo za okolje in prostor oziroma ministrstvo za kmetijstvo in okolje pripravilo v letu 2011 (Globevnik, 2011). Osnovana izhodišča so pomemben prispevek, ki zahteva čimprejšnjo uresničitev, saj so vsi preostali prostorski podatki, predvsem z vidika načrtovanja in modeliranja, povezani z odpravo opredeljenih pomanjkljivosti. Kar zadeva hidrološki prognostični in opozorilni sistem, so bile predstavljene osnovne potrebe po podatkih, kjer se predvsem na področju zajema zemeljskega površja kaže pomanjkanje usklajenih vsebinskih smernic za postopen zajem nujno potrebnih prostorskih podatkov. Med pomembnejše geodetsko-vodarske naloge lahko štejemo nadgradnjo in vsebinsko dopolnitev rečne mreže, vzpostavitev sistema za postopen zajem prečnih profilov, dokončanje DTM na podlagi tehnologije LiDAR in vzpostavitev učinkovitega izvažanja podatkov v uporabnih oblikah za nadaljnjo obdelavo ter nadaljnji zajem vodnogospodarskih objektov z uporabnimi opisi za potrebe upravljanja, načrtovanja, projektiranja in modeliranja.

Za nadaljnji razvoj hidrološkega prognostičnega sistema bi potrebovali:

- opredelitev infiltracijskih sposobnosti tal glede na rabo tal, geološko, pedološko karto in izvedene kontrolne meritve;
- razvoj in razširitev opisa rečne mreže v Sloveniji (smer toka, poimenovanje, stacionaža);
- **vpeljavo postopnega systemskega zajema (terenska izmera, projekti ...) prečnih profilov v povezavi z rečno mrežo;**
- **oblikovanje podrobnega digitalnega modela reliefa (predvsem na poplavnih območjih) na podlagi daljinskega zaznavanja;**
- razširitev evidence vodne infrastrukture za potrebe inženirskega prostorskega načrtovanja in modeliranja (prednostno na večjih vodotokih);
- **prenos poplavnih linij hidrološko-hidravličnih študij v enotno karto, na kateri bi bili z vidika HPOS opredeljeni škodni potencial in območja nevarnosti ob morebitnih visokih vodah;**

- prenos osnovnih vhodnih podatkov in modelskih postavitev hidrološko-hidravličnih študij za poenostavitev in vključitev v HPOS;
- pridobitev kart pomembnejše oziroma kritične javne infrastrukture, pri kateri je potrebno najhitrejšo ukrepanje (bolnišnice, zdravstveni domovi, šole, ceste, železnice, telekomunikacije, zadrževalniki, večji hidroenergetski objekti ...);
- oblikovanje vadersko-geodetskega poplavnega zajema podatkov;
- zgodovinska kronološka obdelava hidroloških, hidravličnih in hidromorfoloških zakonitosti površinskega vodnega toka ter plavin na porečjih oziroma rekah.

Pri tem je ključnega pomena zagotovitev enotnega višinskega sistema, ki bo omogočal združevanje vsebin brez večjih in zahtevnejših transformacij.

Predstavljeni hidrološki prognostični sistem je orodje, ki je zasnovano za napovedovanje poplavnih dogodkov. Pri pripravi napovedi se vedno zahtevata ustrezna interpretacija in kritična presoja hidrologa prognostika, ki temeljita na poznavanju in spremljanju vremenskih razmer, kontrole vhodnih podatkov ter operativnega delovanja hidrološkega in hidravličnega modela. Hidrološki prognostični in opozorilni sistem je napredno in kakovostno orodje, ki nam ob pridobljenem znanju in poznavanju omejitev daje podlago za zgodnje in natančno opozarjanje. Ker je sistem zasnovan modularno, omogoča nadaljnji razvoj in povezovanje z različnimi vsebinami.

S predvideno razširitvijo mreže za monitoring bomo pridobili dodatne podatke za hidrološki prognostični sistem. To pomeni, da bo sistem omogočal točnejše napovedi in stabilnejše delovanje. Če bo mogoče pridobiti dodatne prostorske podatke, bo sčasoma mogoče sistem uporabiti tudi za analizo in napoved razvoja poplave, oceno nevarnosti, predhodno načrtovanje ublažitvenih ukrepov ali določitev ogroženih območij v realnem času.

Literatura in viri

- Banovec, P., Roškar, B., Cerk, M. (2006). GIS za vodenje evidence vodne infrastrukture v upravljanju koncesionarja. *Mišičev vaderski dan. Maribor*.
- Black, A. R., Law, F. M. (2004). Development and utilization of a national web-based chronology of hydrological events. *Hydrological Sciences Journal*, 49, 237–246.
- Dolar, M., Ovsenik-Jeglič, T., Bertalančič, R. (2006). Izračun korigiranih padavin v obdobju 1971–2000 za namen analize vodne bilance. *Agencija RS za okolje. Ljubljana*.
- Globevnik, L., Radovan, D., Nučič, U., Stopar, B., Koler, B. (2011). Posledice nezanesljivega višinskega sistema za upravljanje z vodami, *Ministrstvo za okolje in prostor* (www.geodetski-vestnik.com/55/1/gv55-1_150-152.pdf, dostop 11. 2. 2011).
- Jonkman, S. N. (2005). Global Perspectives on Loss of Human Life Caused by Floods, *Nat. Hazards*, 34, 151–175.
- Marchi, L., Borga, M., Preciso, E., Sangati, M., Gaume, E., Bain, V., Delrieu, G., Boninifait, L., Pogačnik, N. (2009). Comprehensive post-event survey of a flash flood in Western Slovenia: observation strategy and lessons learned. *Hydrol. process.*, December, 23(26), 2761–3770, ilustr., doi: 10.1002/hyp.7542.
- 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.meteoswiss.ch/>).
- Petan, S., Pogačnik, N., Sušnik, M., Polajnar, J., Jorgensen, 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* (<http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/>).

Pogačnik, N., Gosar, L., Ruch, C. (2008). Hidrološki prognostični sistem: uporaba prostorskih podatkov. V: PERKO, D. (ur.), *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008, GIS v Sloveniji*, 9, Ljubljana, 129–141.

Pogačnik, N., Steinman, F., Gosar, L., Banovec, P. (2009). Vzpostavitev izmenjave podatkov in predlog medsebojnega obveščanja med Slovenijo in Italijo v projektu SIMIS = The creation of a data exchange and proposal for bilateral communication between Slovenia and Italy as part of the SIMIS project. *Ujma*, 23, Ljubljana, 233–244.

Pogačnik, N. (2009). Nadgradnja opozorilnega sistema za zaščito pred škodljivim delovanjem voda, 20. Mišičev vodarski dan 2007, Maribor, 59–67.

Pogačnik, N., Petan S., Sušnik, M., Jorgensen, G., Polajnar, J., Ruch, C. (2011). Development of a flood forecasting system on the Sava river in Slovenia, XXVth Conference of the Danubian Countries, 16-17 June 2011. Budimpešta, Madžarska.

Robinson, G. (2012). Floods unsettle Thai insurance industry. *Financial times (FT)* (<http://www.ft.com/cms/s/0/0e9b9dec-62b3-11e1-9245-00144feabdc0.html#axzz26APaivUM>, dostop 5. 3. 2012).

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

World Meteorological Organization (WMO) (2011). *Manual on Flood Forecasting and Warning*, WMO-No. 1072. 2011 edition.

Prispelo v objavo: 20. september 2012

Sprejeto: 14. november 2012

Nejc Pogačnik, univ. dipl. inž. vki.

Agenciji RS za okolje, Urad za hidrologijo in stanje okolja, Oddelek za hidrološko prognozo
Vojkova 1b, 1000 Ljubljana,
e-pošta: nejc.pogacnik@gov.si

dr. Sašo Petan, univ. dipl. inž. grad.

Agenciji RS za okolje, Urad za hidrologijo in stanje okolja, Oddelek za hidrološko prognozo
Vojkova 1b, 1000 Ljubljana,
e-pošta: saso.petan@gov.si

Mojca Sušnik, univ. dipl. inž. grad.

Agenciji RS za okolje, Urad za hidrologijo in stanje okolja, Oddelek za hidrološko prognozo
Vojkova 1b, 1000 Ljubljana,
e-pošta: mojca.susnik@gov.si

Janez Polajnar, univ. dipl. geog.

Agenciji RS za okolje, Urad za hidrologijo in stanje okolja, Oddelek za hidrološko prognozo
Vojkova 1b, 1000 Ljubljana,
e-pošta: janez.polajnar@gov.si