

OPERATIVNI HIDRODINAMIČNI MODEL LJUBLJANSKEGA BARJA

OPERATIONAL FLOOD FORECASTING MODEL OF LJUBLJANA MARSHES

UDK 556.166:556.06(497.4Lj.barje)

Marjan Moderc

Ministrstvo za okolje in prostor, ARSO, Vojkova 1b, Ljubljana, marjan.moderc@gov.si

Nejc Pogačnik

Ministrstvo za okolje in prostor, ARSO, Vojkova 1b, Ljubljana, nejc.pogacnik@gov.si

Matjaž Udovč

IZVO-R projektiranje in inženiring d.o.o., Pot za Brdom 102, Ljubljana, matjaz.udovc@izvor.si

Sašo Petan

dr., Ministrstvo za okolje in prostor, ARSO, Vojkova 1b, Ljubljana, saso.petan@gov.si

Povzetek

V prispevku predstavljamo operativni kvazi 2D hidrodinamični model Ljubljanskega barja, ki je bil razvit na Agenciji RS za okolje v okviru projekta BOBER kot orodje za spremljanje in napoved poplav na Ljubljanskem barju in v jugozahodnem delu Ljubljane. Model omogoča simulacijo razvoja morebitnih poplav v realnem času za tri dni vnaprej in dopolnjuje zdajšnji hidrološki prognostični sistem ARSO z vizualizacijo poplavnih napovedi in popravkom poplavnih hidrogramov. V prispevku sta predstavljena dosedanja razvoj modela in pregled njegove uporabe leta 2014, predstavljena pa je tudi vizija razvoja orodij za napovedovanje poplav na Agenciji RS za okolje.

Abstract

The article describes an operational quasi 2D flood forecasting tool of the Ljubljana Marshes which has been developed within the BOBER project at the Slovenian Environment Agency. The model gives an added value to the existing hydrological forecasting system as it enables a dynamic real-time simulation of the potential floods with a 3-day lead time. The building process, the applicability fields and the future development vision of the real-time flood forecasting models is presented as well as the overview of its performance in its first operating year, 2014.

Uvod

Slovenija je z gostoto mreže vodotokov 1,4 km/km² površine med najbolj vodnatimi evropskimi državami, površina lega in nižinska akumulacija prebivalstva pa določata tudi njeno precejšnjo poplavno ogroženost. Poplavno ogroženih je slabih osem odstotkov slovenskega ozemlja (IZVRS, 2011), na pomembnejših poplavnih območjih pa živi več kot šest odstotkov prebivalstva (IZVRS, 2012). V zadnjih osmih letih so poplave neposredno povzročile več kot milijardo evrov škode in osem smrtnih žrtev (sklepi Vlade Republike Slovenije 2007, 2010, 2014).

Sposobnost napovedovanja čim bolj natančnega obsega, dinamike in časa nastopa poplav je v velikem interesu tako prebivalstva na ogroženih območjih kot tudi sodelujočih v organiziranih sistemih aktivnega varstva pred škodljivim delovanjem visokih vod (civilna zaščita, gasilci, komunalne službe, pogosto tudi vojska). Želje odločevalcev v sistemih varstva pred poplavami po dodatni

strokovni podpori v izrednih razmerah zato spodbuja razvoj novih metod in orodij za natančnejši vpogled v razvoj poplavljanja. Podrobne in zanesljive napovedi dinamike razlivanja ob poplavnih dogodkih namreč omogočajo optimizacijo operativnega protipoplavnega delovanja, kot so na primer pravočasno obveščanje deležnikov in ogroženih, učinkovita mobilizacija in razporejanje operativnih enot na terenu.

Hidrološki prognostični sistem

V želji po zagotavljanju pravočasnih in zanesljivih opozoril pred izrednimi hidrološkimi dogodki na Agenciji RS za okolje že od leta 2007 poteka projekt *Nadgradnje sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji*, bolj znan pod imenom BOBER (Sluga in sod., 2012). V sklopu tega projekta je bil razvit hidrološki prognostični sistem (v nadaljevanju HPS), ki je že nekaj let nepogrešljivo orodje državni hidrološki prognostični službi pri spremljanju in napovedi količinskega stanja

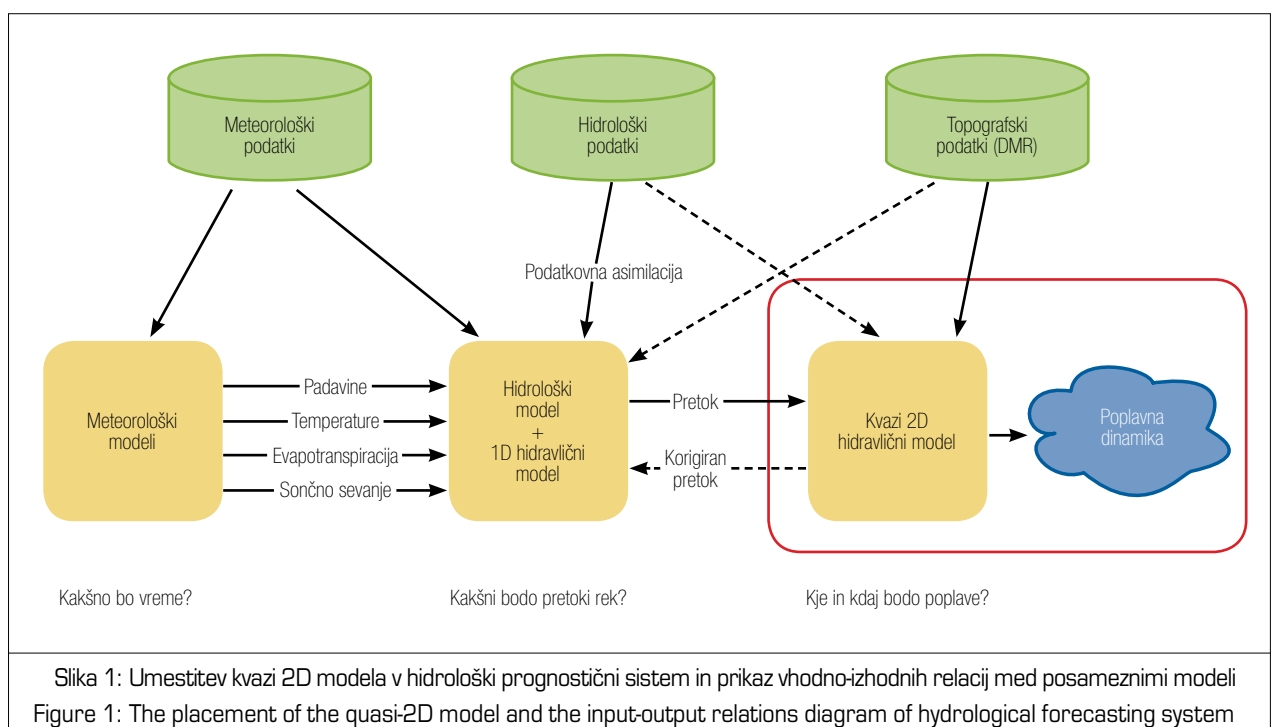
slovenskih rek (Petan in sod. 2012). Kljub precej dobri simulaciji pretokov pa HPS zaradi svojega poenostavljene enodimenzionalnega hidrodinamičnega modela ne omogoča zanesljivih napovedi gladinskega stanja rek na poplavnih območjih. Napovedi poplav zato temeljijo na empirično določenih opozorilnih vrednostih pretokov bližnjih vodomernih postaj, s čimer je kakovost napovedi nastopa in obsega poplav še vedno odvisna od izkušenj hidrologov prognostikov in poznavanja lokalnih poplavnih razmer ogroženega območja. Z veljavnim sistemom tako lahko le delno zadoščamo potrebam služb, vključenih v sistem aktivnega varstva pred poplavami. Te namreč pri opravljanju svojega dela potrebujejo pravočasne, vedno bolj zanesljive in podrobne napovedi obsega, lokacije in časovnega razvoja poplavnih dogodkov.

Operativni kvazi 2D model Ljubljance

Pomanjkljivo poznavanje hidrološke službe o prostorski dinamiki napovedanih hidroloških stanj je bilo glavni motiv za nadgradnjo trenutnega sistema z natančnejšim hidrodinamičnim modelom, ki bi lahko ovrednotil tudi vpliv razlitij na spremembo napovedanega hidrograma, predvsem pa omogočal simulacijo in vizualizacijo poplavne dinamike ob poplavah (Pogačnik, 2013). Za prvo modelirano območje smo izbrali zaključeno hidrografska območje Ljubljanskega barja z jugozahodnim delom Ljubljane, ki predvsem zaradi velike poplavne nevarnosti Ljubljance in Malega grabna ter njunega toka skozi močno urbanizirane površine spada v eno izmed najbolj poplavno ogroženih območij Slovenije. To potrjuje tudi dejstvo, da so ga od leta 2010 prizadele kar štiri obsežne poplave (IZVRS, 2011).

Pri iskanju koncepta modela, ki bi zadostil čim višji natančnosti ob še vedno sprejemljivem času modelskega izračuna, smo se v testnem projektu glede na dane tehnične omejitve odločili za izdelavo hidrodinamičnega modela v kvazi 2D tehnologiji v programskem okolju *Mike*, ki ga je razvil Danski hidravlični inštitut (Danish Hydraulic Institute). Bistvena značilnost kvazi 2D hidravličnih modelov je uporaba tako imenovane metode večjastega toka. Z njo lahko dejanske tokovne razmere opišemo z uvedbo večjega števila dodatnih »navideznih« računskih vodnih tokov in ob primerni interakciji med njimi zadovoljivo simuliramo tudi gibanje tiste poplavne vode, katere smer in hitrost po poplavnem območju se razlikuje od vode v osi vodotoka. Tako lahko s precej hitrejšo enodimenzionalno numerično shemo (zanemarjanje prečnega in globinskega gibanja vode) natančneje modeliramo tudi zahtevnejše poplave in se tako približamo natančnosti modelnih izračunov, ki bi jih dobili z uporabo pravih dvodimenzionalnih modelov (Weme, 2005).

Iz razpoložljivih topografskih podatkov, tj. iz lidarskega, geodetskega in batimetričnega snemanja, smo izdelali digitalni model reliefa z velikostjo numerične celice 2m*2m, iz katerega smo povzeli 1330 prečnih profilov za opis naravnih strug in navideznih vodnih tokov. Poplavno območje tako opisuje več kot 50 naravnih ali navideznih vodotokov, za simulacijo potencialnih poplavnih tokov pa skrbi še dodatnih 35 »navideznih« vodotokov. Ustrezno interakcijo med vodotoki opisujejo enačbe za 230 navideznih bočnih prelivov, v modelu pa je upoštevan tudi hidrodinamični vpliv več kot 40 pomembnejših hidrotehničnih objektov (mostovi, prepusti, prečni preliv, zapornice). Simulirano je drenažiranje več kot 30 nepretočnih poplavnih ozezeritev oziroma lokalnih depresij.



Zgornji robni pogoj kvazi 2D hidrodinamičnega modela predstavljajo rezultati operativnega hidrološkega prognostičnega sistema v obliki 2D simuliranih hidrogramov, ki se napaja s podatki padavin, sončnega sevanja, evapotranspiracije in temperature zraka, iz meteorološke opazovalne mreže in meteoroloških numeričnih modelov. Spodnji robni pogoj modela je obratovni algoritem sistema zapornic na Mestni Ljubljani in Gruberjevem kanalu (Humar, 2011).

Večji del modela je bil umerjen na poplavni dogodek iz septembra 2010, saj smo za področje Ljubljanskega barja imeli na voljo hidrološke meritve in satelitske posnetke o obsegu poplavnega dogodka. Hidrodinamični model JZ dela Ljubljane, ki ga je 18. septembra 2010 prizadela hudourniška poplava Malega grabna, je bil umerjen na rezultate hidrološko hidravlične študije, ki jo je v okviru projekta Zagotavljanje poplavne varnosti jugozahodnega dela Ljubljane izvedlo podjetje IZVO-R d. o. o. [Zagotavljanje poplavne varnosti ..., 2010].

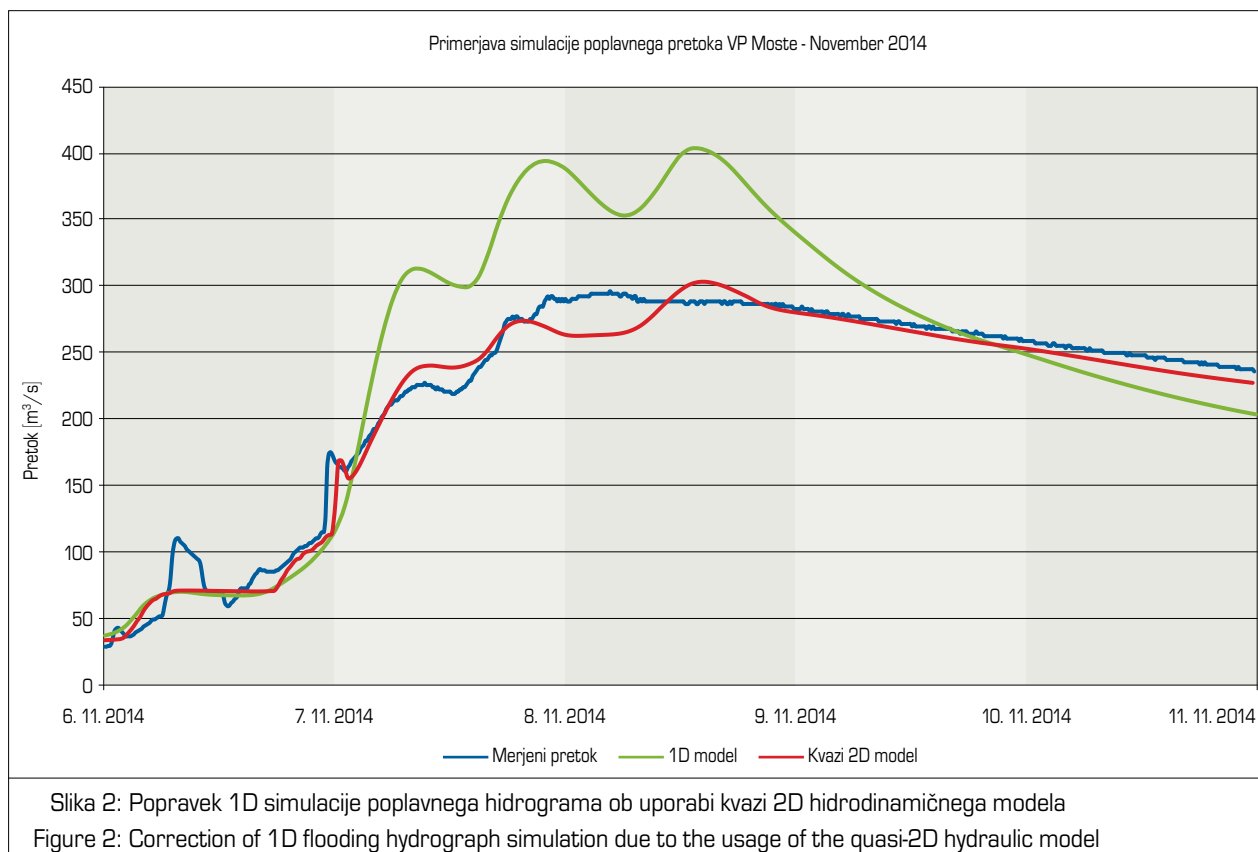
Model je operativen, kar pomeni, da se vsake tri ure samodejno opravijo izračuni z najnovejšimi vhodnimi podatki. Uporaba poenostavljene, a precej hitrejši kvazi 2D računske sheme omogoča, da model za več kot 160 km² veliko območje v manj kot treh minutah izvede simulacijo tridnevne napovedi poplavnega stanja glede na zadnje meteorološke in hidrološke napovedi. Rezultati modela se prikazujejo v obliki serije poplavnih kart znotraj spletne GIS-aplikacije hidrološke prognostične službe, imenovane VodePro.

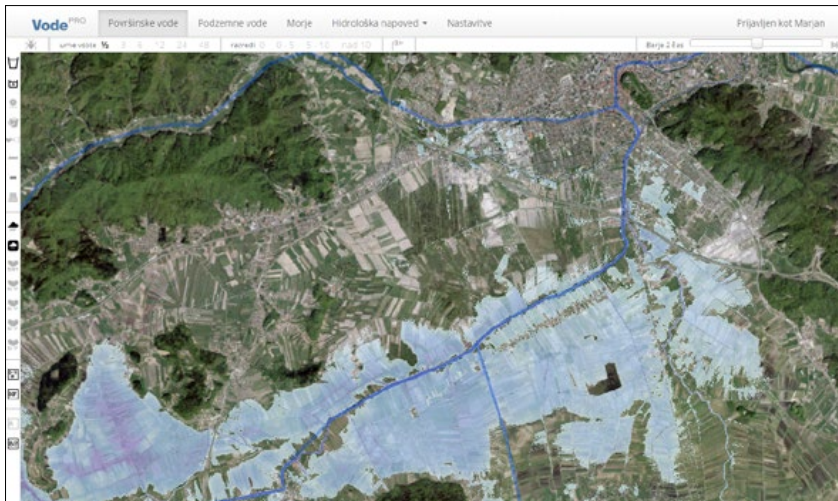
Poleg realnočasovnega izračuna in vizualizacije napovedi o obsegu morebitnih poplav je velika dodana vrednost izdelanega kvazi 2D hidrodinamičnega modela tudi korekcija z 1D modelom simuliranih hidrogramov, saj kvazi 2D model ob poplavah bolje upošteva lokalno zadrževanje vode zaradi razlivanja. Model je uporaben tudi za analize preteklih dogodkov, izdelavo izračunov za vnaprej opredeljene »kaj če?« scenerije in občutljivostnih analiz o pomembnosti različnih vplivnih parametrov.

Prvo leto delovanja kvazi 2D modela

Hidrodinamični model je začel operativno delovati v začetku leta 2014. Prvo leto delovanja so bile na modeliranem območju kar tri večje poplave (februar, oktober in november), kar je ponudilo veliko priložnosti za preverjanje točnosti in ponovno umerjanje modela. Model je vsaj z nekajurno prednostjo predvidel pojav vseh treh poplav, ob pravilnih meteoroloških in hidroloških napovedih pa je spodbudno stopnjo ujemanja z dejanskim stanjem dosegel tudi simuliran razvoj poplavljanja oziroma potek poplavne linije.

Leta 2014 smo bili na modeliranem območju priča tako kraškimi poplavam (februar in november 2014) kot tudi hudourniškim poplavam rek (Gradaščica, 22. 10. 2014, in Iška, 7.–8. 11. 2014). V praksi se je kvazi 2D model pri napovedi kraških poplav pokazal za natančnejšega v



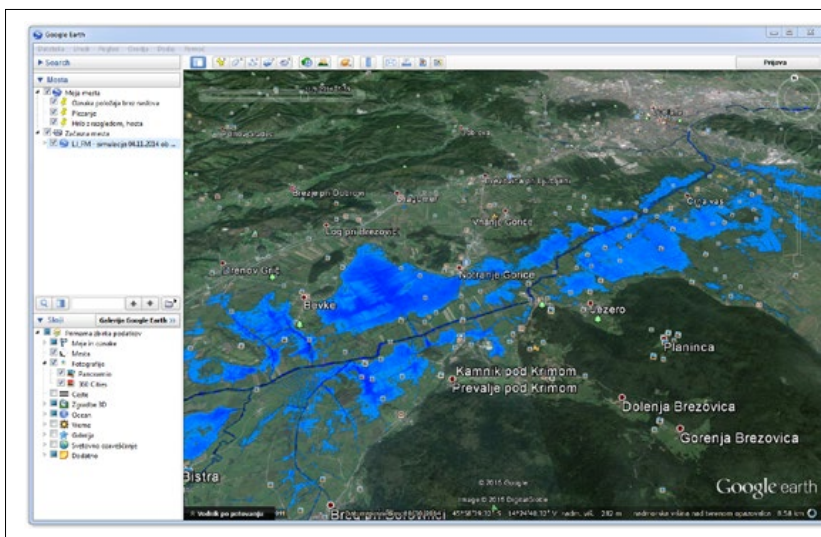


Slika 3:

Prikaz rezultatov hidrodinamičnega modela v interni spletni hidrološki aplikaciji VodePro

Figure 3:

Display of the model results in the intranet web application VodePro



Slika 4:

Prikaz predvidene poplavne dinamike na Barju novembra 2014 v obliki samodejnega predvajanja serije poplavnih kart v programu Google Earth

Figure 4:

Animation of the forecasted flooding dynamics on Ljubljana Marshes in November 2014 by automated display of the sequence of flood maps within Google Earth software

primerjavi z napovedjo obsega poplav hudourniških vod, katerih natančna napoved je zahtevna za meteorološke in hidrološke modele.

Zasnova modela in omejena natančnost vhodnih podatkov onemogočata napoved izrazito lokalnih poplav, kot so poplave zalednih vod in manjših hudournikov, poplave zaradi dviga podtalnice, nezadostne odvodnje naselij in zaradi porušitev oziroma zamašitev objektov. Pokazale pa so se tudi nekatere pomanjkljivosti uporabe kvazi 2D tehnologije, ki za zadovoljivo poplavno modeliranje urbanih območij zahteva veliko ročnega dela in predvsem dobro predhodno poznavanje poplavnih zakonitosti območja. Omenjeni problem je očiten predvsem na območjih hitrih hudourniških poplav, ki povzročajo zahtevnejše oziroma težko predvidljive poplavne vzorce (na primer Iški vršaj ali jugozahodni del Ljubljane).

Prvo leto delovanja se je pokazala potencialna nevarnost, da uporabnik pri pregledu modelskih rezultatov napačno interpretira razmeroma visoko ločljivost izrisanih poplavnih linij in na podlagi teh nekritično predpostavi visoko zanesljivost modelne napovedi. Za varno interpretacijo poplavnih napovedi se je namreč vedno

treba zavedati pomembnega metapodatka operativnih poplavnih kart, in sicer njihove verižne obremenjenosti z nezanesljivostjo rezultatov meteoroloških in hidroloških modelov, ki se posredno ali neposredno uporabljajo kot vhodni podatek za kvazi 2D hidrodinamični model. Kljub številnim možnostim za izboljšave hidrodinamičnega modela bo tako v trenutnem sistemu zgornja meja natančnosti operativnih napovedi poplav vedno omejena s kakovostjo meteoroloških in hidroloških napovedi, kar je treba upoštevati pri nadaljnji uporabi produktov operativnih hidrodinamičnih poplavnih modelov.

Sklepne misli

Izdelava operativnega hidrodinamičnega orodja je odgovor na zaznane potrebe javnosti in odraz želje hidrologov prognostikov po čim boljšem vpogledu v trenutno in predvideno hidrološko dogajanje v Sloveniji. Izboljšani hidrodinamični model dodaja trenutnemu hidrološkemu prognostičnemu sistemu pomembno prostorsko dimenzijo. Ta omogoča natančnejše napovedi pretokov in vizualizacijo predvidenega razvoja poplav, hkrati pa odpira vrata tudi številnim drugim možnostim uporabe in nadgradnje sistema.

Ob upoštevanju dejstva, da je zanesljivost poplavnih napovedi odvisna od zanesljivosti meteoroloških in hidroloških napovedi, se je model izkazal za precej natančnega in večinoma potrdil optimistična pričakovanja. Sestaviti nam je uspelo model, ki s celovitim pristopom in uporabo trenutno razpoložljivih podatkov in tehnologij orje ledino na področju realnočasovnih hidrodinamičnih prognostičnih sistemov v Sloveniji. Razvoj kvazi 2D modela in hkratne pilotne raziskave operativnega hidrodinamičnega modela odseka reke Savinje v 2D tehnologiji tako predstavljata enega izmed mogočih korakov v nadaljnjem razvoju orodij, s katerimi bi hidrološka prognostična služba lahko dvigala kakovost operativnih napovedi poplavnih dogodkov v Sloveniji. Še natančnejše, a še vedno dovolj hitre, izračune hidrodinamike pa bo omogočila le uporaba programov oziroma numeričnih tehnik, ki bodo lahko izkoriščale procesno moč večjedrnih (super) računalnikov, kar na številnih področjih računalniškega simuliranja naravnih procesov (npr. meteorologija in oceanografija) že dolgo velja za nepogrešljiv oziroma samoumeven pristop.

Hkrati z razvojem hidrološkega prognostičnega sistema odkrivamo tudi nove priložnosti za posodobitev celotne strukture opozarjanja in aktivnega varstva pred poplavami. Trenutni prognostični sistemi in protokoli opozarjanja v sedanjih obliki ustvarjajo velik neizkoriščen potencial uporabe podatkov in sodobnih tehnologij. Že samo izdelava modelov operativnega hidrološko-hidrodinamičnega prognostičnega sistema zato v tehničnem smislu kliče po sistematičnem zajemu razpoložljivega znanja o

poplavah ter predvsem o večji enotnosti, preglednosti in dostopnosti javnih podatkov.

Pri tem ne smemo pozabiti, da so tudi najboljši hidravlični modeli še vedno samo orodje, ki samo po sebi še ne bo preprečilo poplav. Za trajnostni razvoj učinkovitega sistema za opozarjanje in ukrepanje pred škodljivim vplivom poplav bo namreč potrebna serija novih organizacijskih in tehničnih posodobitev, s katerimi bosta omogočena vzajemna komunikacija med hidrološko prognostično službo in odjemalci hidroloških napovedi ter vzpostavitev jasnih opozorilnih in akcijskih protokolov o ukrepanju ob prihajajočem izrednem hidrološkem stanju. Le tako bomo lahko tudi na področju preventivnega varstva pred poplavami bolje izkoriščali številne možnosti, ki nam jih ponuja hitro razvijajoča se informacijska tehnologija, in s tem svoje poslanstvo opravljali skladno s potrebami in izzivi današnjega časa.

Zahvala

Projekt *Nadgradnja sistema za spremljanje in analizo stanja vodnega okolja v Sloveniji* 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. Kohezijski sklad EU je prispeval 85 odstotkov, proračun RS pa 15 odstotkov vrednosti projekta.

Viri in literatura

1. Humar, N., 2011. Pravilnik za obratovanje in vzdrževanje zapornic na Mestni Ljubljani (Ambrožev trg) in Gruberjevem kanalu (Roška cesta). Ljubljana. Ministrstvo za okolje in prostor, ARSO, Urad za upravljanje z vodami, Vzdrževalec in izdelovalec pravilnika: Hidrotehnik, vodnogospodarsko podjetje, d. d., 20.
2. Izdelava kart poplavne nevarnosti za območje DPN za zagotavljanje poplavne varnosti JZ dela Ljubljane, študija, A71-FR/09, 2010, naročnik Ministrstvo za okolje in prostor, Dunajska 48, Ljubljana.
3. IZVRS, 2011. Finančne posledice določitve območij pomembnega vpliva poplav. Poročilo – I. faza. December 2011.
4. IZVRS, 2012. Razvrstitev poplavno ogroženih območij in določitev območij pomembnega vpliva poplav v Sloveniji. Poročilo o delu naloge.
5. Petan, S., Pogačnik, N., Sušnik, M., Polajnar, J., Joergensen, G., 2012. Razvoj sistema za napovedovanje hidroloških razmer na porečjih Save in Soče. V: SZGG 2012, zbornik referatov, Ljubljana, UL FGG, 103–110.
6. Pogačnik, N., Petan, S., Sušnik, M., Polajnar, J., Joergensen, G., 2012. Razvoj hidroloških prognostičnih sistemov v Sloveniji. V: Ujma 2012, Ljubljana, Ministrstvo za obrambo, Uprava RS za zaščito in reševanje, 144–152.
7. Pogačnik, N., Moderc, M., Udovč, M., Joergensen, G., 2013. Vpeljava operativnega kvazi-2D hidrodinamičnega modela v hidrološki prognostični sistem. V: 24. Mišičev vodarski dan 2013, Maribor, zbornik referatov, 311–318.
8. Sklepi Vlade Republike Slovenije: 84400-3/2007/6; 84400-3/2007/10; 84400-1/2010/3; 84400-8/2010/3.
9. Sluga, G., Kočevar, H., 2013. Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji - projekt Bober. V: 24. Mišičev vodarski dan 2013, Maribor, zbornik referatov, 188–192.
10. Weme, A. de, 2005. Quasi-2D modelling of the River Elbe; A comparison of different inundation models for flood risk assessment within a decision support system, Department: Water Engineering and Management, Faculty of Engineering Technology, University of Twente.