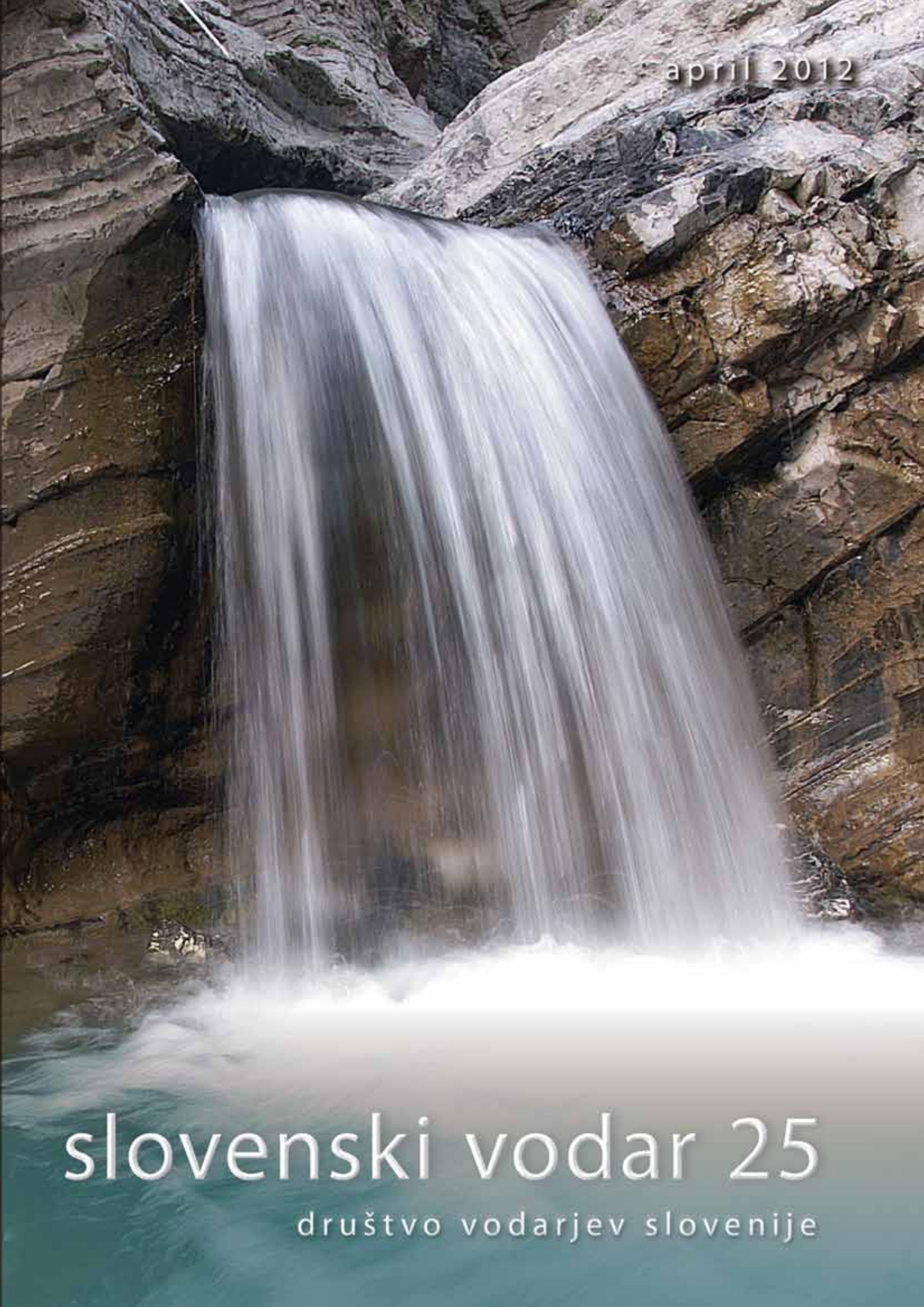


A photograph of a waterfall cascading over a rocky cliff. The water is captured with a long exposure, creating a smooth, silky texture. The surrounding rock is dark and layered. The overall scene is serene and natural.

april 2012

slovenski vodar 25

društvo vodarjev slovenije



Slovenski vodar 25

Društvo vodarjev Slovenije
(Slovenian Association of Water Managers)

Naslov: Hajdrihova 28C, 1000 Ljubljana
Tel. 031 653 653
info@drustvo-vodarjev.si
www.drustvo-vodarjev.si

Urednika: dr. Lidija Globevnik, Tone Prešeren
Lektoriranje: Henrik Ciglič
Oblikovanje: Danijel Sušnik
Avtorica fotografije na naslovnici: Petra Repnik Mah
Fotografije: Petra Repnik Mah, Saša Prešeren in Tone Prešeren
Tisk: Birografika Bori
Naklada: 500
CIP – Kataloški zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana
ISSN 1318-6051

Mnenja, predstavljena v člankih, so stališča avtorjev

april 2012



april 2012

slovenski vodar 25

društvo vodarjev slovenije

VSEBINA

Uvodnik

Dr. Lidija Globevnik, Predsednica DVS

6

VODA V MEDNARODNIH ODNOSIH

Nauki mednarodne razsežnosti vode

mag. Zlatko Mikulič, Hidrološki svetovalec Slovenije pri Svetovni meteorološki organizaciji, Agencija Republike Slovenije za okolje

7

ŠKODE ZARADI POPLAV V SLOVENIJI V OBDOBJU 2007-2010

dr. Lidija Globevnik, Inštitut za vode Republike Slovenije

13

RAZMIŠLJANE OB 10-LETNICI ZAKONA O VODAH

Gabrijela Grčar, univ.dipl.ing.

22

HIDRAVLIČNO MODELIRANJE PRETOČNIH KRIVULJ VODOMERNIH POSTAJ

viš.pred.dr. Leon Gosar, univ.dipl.inž.gradb., Inštitut za vode Republike Slovenije in Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem, Miha Šupek, univ.dipl.inž.gradb., Agencija Republike Slovenije za okolje, Tina Mazi, univ.dipl.inž.gradb., Inštitut za vode Republike Slovenije

26

ULTRAZVOČNI MERILNIKI ZA DOSEGANJE KAKOVOSTNIH PODATKOV O PRETOKIH SLOVENSKE REK

Mag. Roman Trček in Denis Kosec, Agencija Republike Slovenije za okolje

36

POPLAVNA OBMOČJA DRAVINJE MED SLAPAMI IN SLOVENSKE KONJICAMI

Tomaž Hojnik, univ.dipl.inž.grad. in Uroš Lesjak, univ.dipl.inž.grad., DHD d.o.o.

41

HIDRAVLIČNI MODEL REKE SAVINJE

Krištof Kučič, Hidrosvet d.o.o.

50

UPORABA LIDAR-POSNETKA PRI HIDRAVLIČNEM MODELIRANJU VODOTOKOV V NASIPIH

Tijana Mičić, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž. in Timotej Mišič, MSc GIS, Vodnogospodarski biro Maribor d.o.o.

55

PREGLED SPREMLJANJA STANJA ONESNAŽENOSTI MORSKEGA OKOLJA S TRDNIMI ODPADKI V SLOVENIJI

Andreja Palatinus, univ.dipl.ekologinja in dr. Monika Peterlin, univ.dipl.inž.gradb., Inštitut za vode Republike Slovenije

61

UPORABA MODELSKIH ORODIJ PRI HIDROLOŠKIH ANALIZAH IN NAPOVEDIH DRŽAVNE HIDROLOŠKE SLUŽBE

Dr. Mira Kobold, univ.dipl.fiz., Agencija Republike Slovenije za okolje

68

SISTEM HIDROLOŠKO - HIDRAVLIČNEGA MODELIRANJA ZA NAPOVEDOVANJE HIDROLOŠKIH RAZMER NA SAVI, SOČI IN MURI

Nejc Pogačnik, univ. dipl. inž. VKI, dr. Sašo Petan, univ. dipl. inž. grad., Mojca Sušnik, univ. dipl. inž. grad. in Janez Polajnar, univ. dipl. geog., Agencija Republike Slovenije za okolje, Gregers Jorgensen, višji hidrolog, DHI, Horsholm

76

NUMERIČNO MODELIRANJE STANJA MORJA V JADRANU Dr. Matjaž Ličer in Martin Vodopivec, Morska biološka postaja, Maja Jeromel in Jure Jerman Agencija Republike Slovenije za okolje	85
KONCEPTUALNI MODELI ALUVIALNIH VODONOSNIKOV V MREŽI DRŽAVNE HIDROLOŠKE SLUŽBE mag. Zlatko Mikulič in Vlado Savič, Agencija Republike Slovenije za okolje	89
VLOGA HIDROGEOLOŠKIH KONCEPTUALNIH MODELOV PRI RAZISKAVAH KRASA S POSKUSI SLEDENJA PODZEMNIH VODA Urška Pavlič, Agencija Republike Slovenije za okolje	97
RAZVOJ IN UPORABA REGIONALNEGA VODNOBILANČNEGA MODELA GROWA ZA MODELIRANJE NAPAJANJA VODONOSNIKOV SLOVENIJE dr. Mišo Andjelov, Agencija Republike Slovenije za okolje	99
RAZVOJ EKSPERTNO NUMERIČNEGA SISTEMA NA AGENCIJI RS ZA OKOLJE ZA PODPORO ODLOČANJU NA ALUVIALNIH TELESIH PODZEMNIH VODA SLOVENIJE dr. Petra Souvent, Agencija RS za okolje Sašo Celarc udi. rač., BRON d.o.o. dr. Goran Vižintin in dr. Barbara Čenčur-Curk, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta	103
MODELIRANJE RANLJIVOSTI PODZEMNE VODE IN DOLOČANJE NITRATNO RANLJIVIH OBMOČIJ V SLOVENIJI dr. Jože Uhan, Agencija Republike Slovenije za okolje	107
40. ZIMSKO ŠPORTNO SREČANJE SLOVENSКИH VODARJEV AREH, 12.03.2011; ORGANIZATOR: VODNOGOSPODARSKI BIRO MARIBOR D.O.O.	111
Ekskurzija Srbija - HE DJERDAP 05.-09.10.2011	117
41. ZIMSKO ŠPORTNO SREČANJE SLOVENSКИH VODARJEV KRANJSKA GORA, 03.03.2012; ORGANIZATOR: EHO PROJEKT D.O.O.	130
ZIMSKE ŠPORTNE IGRE VODARJEV – KAKO SMO ZAČELI, KAKO NADALJEVATI Matija Kavčič	137
DELOVANJE NEVLADNIH ORGANIZACIJA NA PODROČJU VODA - POČASTITEV DNEVA VODA 2012 Dr. Lidija Globevnik, Društvo vodarjev Slovenije	138
41. GEODETSKI DAN – DOLENJSKE TOPLICE, 19. IN 20. OKTOBER 2012	141

UVODNIK

Drage vodarke in vodarji!

Za letošnjo številko Slovenskega vodarja smo od vas prejeli veliko strokovnih člankov. Veseli smo takega odziva, saj kaže na našo dobro strokovno usposobljenost. Trenutno vsi doživljamo dejstvo, da je problematika vodarstva predvsem problematika prostorskega razvoja. Smo v obdobju priprave občinskih prostorskih načrtov, v izdelavi so številni državni prostorski načrti. Za vse je treba dobro analizirati pojav poplav ter predvideti ustrezne omilitvene ukrepe za zmanjševanje ogroženosti zaradi njih. Verjetno se vsi strinjamo, da moramo poplavne vode nekam »ujeti« oziroma zadržati in z njimi ne še bolj obremenjevati območij, ki so dolvodno.

Čeprav številko začnemo s člankom o pomenu vode v mednarodnih odnosih, se takoj v drugem srečamo z analizo škod, ki so jo povzročile poplave med leti 2007-2010. In da bi bile te škode v prihodnosti manjše, smo se v Sloveniji lotili izdelovanja kart poplavne nevarnosti. Služile naj bi predvsem dobremu umeščanju objektov in dejavnosti v prostor, če že ne prostorskemu načrtovanju. Zato tokrat predstavljamo strokovne vidike hidravličnega modeliranja. V članku, ki opisuje hidravlično modeliranje pretočnih krivulj, je prikazano, kako različni hidravlični modeli podajo različen odnos med pretokom in višino vode. Ugotovljeno je, da enostavnih in hitrih odgovorov glede pretočne krivulje ne smemo delati, zanje pa je treba vedno opredeliti tudi modelne napake. Verifikacijo je dobro dobiti seveda z merjenji na terenu, kar pa je za visoke vode zelo zahtevno in enako kot matematični model vključuje napake. Članek o ultrazvočnih merilnikih pretokov odstira te dileme. Odstopanja ali tudi napake se nam lahko zgodijo tudi pri nekritičnem združevanju podatkov o terenu, ki jih dobimo iz različnih tehnik zaznavanja. Primer prikazuje članek o hidravličnem modeliranju Pesniške doline, kjer se je uporabilo podatke o terenu, ki jih dobimo z lidarsko in terestično tehniko zaznavanja. Matematični modeli so vključeni tudi v sisteme napovedovanja, ki jih razvijajo na ARSO.

Ker je poleg Vodne direktive enako pomembna tudi Morska direktiva (trudi se za dosego dobrega okoljskega stanja morij) in ker se za njeno implementacijo izvajajo intenzivne raziskave in analize, smo v to številko vključili članka o onesnaževanju morja s trdimi odpadki in hidravličnem modeliranju slovenskega morja. Pozabili nismo tudi podzemnih voda. V člankih so predstavljeni koncepti modeliranja aluvialnih in kraških vodonosnikov v Sloveniji, izračuni vodne bilance v njih in njihova ranljivost na nitratre. Predstavljen je tudi projekt Bober.

In kot vedno, objavljamo utrinke iz zimskih vodarskih iger ter letnega društvenega izleta. Tega smo imeli v Srbijo. In to leto? Upam, da v Črno goro! Za konec pa Svetovni Dan Voda. Glavna ugotovitev je, da si želimo stabilnega zakonodajnega in upravljaljskega sistema. Znanja imamo dovolj, problem je, da se nam okviri dela tako hitro spreminjajo, da se zatika. Upamo na boljše.

Dr. Lidija Globevnik, Predsednica DVS

VODA V MEDNARODNIH ODNOSIH

NAUKI MEDNARODNE RAZSEŽNOSTI VODE

mag. Zlatko Mikulič, Hidrološki svetovalec Slovenije pri Svetovni meteorološki organizaciji,
Agencija Republike Slovenije za okolje

Voda v globalno soodvisnem svetu

Od človeka odvisna voda in vodni sistemi niso več ne lokalna kategorija, celo ne več zgolj nacionalna kategorija v današnjem globaliziranem svetu, temveč postajajo mednarodna in svetovna kategorija. Ob vodi in zaradi vode so se razvile prve velike civilizacije Mezopotamije in Egipta. Skozi zgodovino je voda pridobivala vse širši pomen, od nekdanje lokalne rabe za kmetijstvo do današnje globalne rabe svetovnih multinacionalnih družb. Pestra ponudba uvoženih ustekleničenih vod na policah naših trgovin danes ni nič nenavadnega. Velike multinacionalke proizvajajo in tržijo svoje blago po vsem svetu. Vodo v hrani, kot univerzalno topilo, ali kot hladilo uporabljeno v tehnološkem procesu proizvodnje najdemo prav v vsakem izdelku.

Morda je najbolj nazoren primer multinacionalke Coca Cola, ki se pohvali s prek 3500 različnih znamk pijač, izdelanih s pomočjo vode, prodajanih v prek 200 državah. Kot globalno naravnana gospodarska družba ne pozna meja v tržnih prijemih za doseganje čim večjega profita. Tako med drugim po vsem svetu kupuje in lastnini vodne vire. Na strokovni ekskurziji vodarjev po Bosni pred nekaj leti so nam gostitelji ponosno kazali vzorno vzdrževane avstro-ogrske zajeme površinske vode za sarajevski vodovod. Pozneje, ko smo se v bližini Sarajeva peljali mimo nove vrtalne garniture za črpanje pitne vode, so nam pojasnili, da je v lasti omenjene multinacionalke. Torej v tem primeru voda, ki je bila nekoč skupno dobro državljanov, ni več naša, temveč od tujca, ki jo »oplemeniti« v pijače in potem z dobičkom trži nam ali drugod po svetu. V zgodbi multinacionalk, ki po svetu trgujejo z vodo, je za Slovenijo, kot malo državo, izjemno pomembno dejstvo, da danes v svetu globalnega kapitalizma ohranjanje vodnih virov kot javnega dobra postaja eden ključnih elementov varovanja državne suverenosti.

K razumevanju globalnega pomena vode pri političnih elitah sveta je morda največ pripomogla karta svetovnih virov podzemne vode, izdelana pod pokroviteljstvom organizacije UNESCO. Izdanih je bilo več posebnih različic za različna svetovna srečanja, karta prikazana na sliki 1 je posebna izdaja za zasedanje Svetovnega foruma o vodah leta 2006. Ob glavnem naslovu »Svetovni viri podzemnih voda« je še bolj pomenljiv podnaslov - Čezmejni sistemi vodonosnikov, saj karta nedvoumno in zelo nazorno kaže, da se vodonosni sistemi razprostirajo čez mnogo državnih meja. Naslednji korak k vzpostavitvi globalnega statusa vode je bila resolucija Generalne skupščine OZN leta 2008, s katero je sprejela Zakon o čezmejnih vodonosnikih (Združeni narodi, 2009), ki naj bi bil celo predloga za bodoči zakon o čezmejnih nahajališčih nafte in plina. Čeprav akt OZN ne zavezuje držav članic svetovne organizacije k formalnemu sprejetju zakona v nacionalno zakonodajo, jih izrecno spodbuja k dvostranskemu in regionalnemu sodelovanju pri upravljanju čezmejnih vodonosnikov po principih, vsebovanih v zakonu. Tega sodelovanja je že veliko po vsem svetu, kot kažejo številni vijolični krogci na predloženi karti UNESCO, s katerimi so označeni sedanji in načrtovani projekti modeliranja čezmejnih vodonosnikov.

Antropogeni vodni krog

V prazgodovini, času nomadskih lovsko nabiralnih družb, je človek zanemarljivo malo posegal v vodni krog. Vodo je potreboval za vzdrževanje osnovnih življenjskih funkcij, torej nič več kot druge vrste na Zemlji. Ko je postal poljedelec v času prvih velikih civilizacij, je začel graditi namakalne sisteme in vodo načrtno uporabljati za pridelavo hrane. Povečal je svoj lokalni odvzem vode iz vodnega kroga, vendar je praviloma tudi pridelek porabil lokalno.

Vsak pridelek oziroma kakršen koli izdelek »nosi« v sebi navidezno vodo, ki je bila na kakršen koli način porabljena v procesu kmetijske pridelave ali industrijske izdelave. V današnji globalni trgovini se s kmetijskimi pridelki in z industrijskimi izdelki prenaša med celinami na stotine milijard kubičnih metrov navidezne vode letno. Voda se porabi na eni celini, sadovi na drugi. Pri kmetijskih izdelkih sta Evropa ter centralna in južna Azija največji neto uvoznici navidezne vode, obe Ameriki pa največji neto izvoznici (slika 2). Zanimivo, severna Afrika in Avstralija, razmeroma suhi regiji sveta, sta neto izvoznici navidezne vode.

Problem podnebnih sprememb je močno zasidran v zavesti politične in vseh drugih javnosti, medtem ko naravoznanstveni in sociološki problem kroženja vode v naravi, kot ena glavnih posledic, ostaja nekako v ozadju.



Zunanji del risbe: naravno neovirano kroženje vode na Zemlji; osrednji del risbe: simbolno človekovo motenje naravnega kroženja vode.

Slika 3: Vodni krog se spreminja iz naravnega v antropogenega (vir: [http://www.nwl.co.uk/WATER_CYCLE_ILLUSTRATION_\(WEB\).JPG](http://www.nwl.co.uk/WATER_CYCLE_ILLUSTRATION_(WEB).JPG)).

Atmosfera in procesi v njej so eden ključnih delov vodnega kroga. Če se spreminja stanje atmosfere, se posledično spreminja tudi vodni krog. Človek se je postavil v središče sveta, a tudi vodnega kroga, kot to nehoti lepo ponazarja slika 3. Vodo ne samo da uporablja, zadržuje, premešča, onesnažuje, temveč s spreminjanjem podnebja posega tudi v njeno kroženje v naravi.

Nekatere raziskave vpliva zadrževanja rečnih tokov v vodnih zadrževalnikih poudarjajo velik vpliv na vodni krog posameznih celin (Vorosmarty in Sahagian, 2000), ostaja pa še odprto vprašanje sprememb vodnega kroga na globalni ravni.

Znanstveniki na področju voda bodo kmalu morali postaviti v ospredje raziskav tudi problem dveh T-jev in njun vpliv na globalni vodni krog: problem prvega T-ja - porasta temperature ozračja, in drugega T-ja - svetovne trgovine in premeščanja navidezne vode med celinami. Vprašanje je, ali sta ta dva dejavnika doslej toliko spremenila naravno kroženje vode na našem planetu, da danes že imamo antropogeni vodni krog.

Voda deli in združuje

Omejevanje in označevanje svojega prostora je v naravi človeka. Pri mejah držav velikokrat prav pridejo naravni mejniki, med njimi tudi tisti, povezani z vodo: reke, jezera in gorske razvodnice med vodovji. V nekaterih primerih so vode resnične naravne ovire, kot je meja na Donavi med Bolgarijo in Romunijo, v drugih so bolj simbolnega pomena, kot je večstoletna meja na Sotli med Slovenijo in Hrvaško. Visokogorske razvodnice določajo dolge meje med velikimi državami, v primeru Andov med Argentino in Čilom v dolžini več tisoč kilometrov.

Vode kot razmejitveni dejavnik so pomemben element suverenosti držav, še bolj pomemben so združevalni dejavnik pri nastanku, razvoju ter ohranjanju etničnih skupin in držav.

Rečna plovba je bila skozi vso zgodovino pomembno prometno sredstvo povezovanja. V Franciji in Angliji je bil razvejeni sistem notranjih plovnih poti rek in umetno zgrajenih prekopov pomemben dejavnik industrijske revolucije in vzpostavljanja močne države. Tudi na Slovenskem so bile reke stoletja povezovalna nit prebivalcev Kranjske s pristanišči na Vrhniki in v Ljubljani ter s plovno potjo naprej po Savi. Rečno pristanišče v Krškem so opustili šele v poznih šestdesetih letih devetnajstega stoletja, ko je bila odprta železniška proga od Zidanegega mostu do Siska.

V Evropi je razvita več stoletna tradicija rečne plovbe po Renu in Donavi, in sicer tako močno, da na Madžarskem resor vodnega gospodarstva deluje na Ministrstvu za promet. Ko je bil pred desetimi leti sklenjen Savski sporazum, sta se ponovna vzpostavitev in izboljšanje rečne plovbe po Savi izkazala kot najmočnejši povezovalni dejavnik med partnericami sporazuma.

Danes v Evropi države na področju voda združujeta skrb za izboljšanje stanja okolja in usklajeno upravljanje skupnih vodnih virov. V okviru sporazuma za zaščito porečja Donave se že skoraj poldrugo desetletje razvija sodelovanje med državami podpisnicami za trajnostno in pravično rabo voda in vodnih virov. Sodelujejo vse

države v porečju, tako članice kot nečlanice EU. Znotraj EU je okvirna vodna direktiva načrtala principe sodelovanja pri upravljanju čezmejnih vodnih teles. Med Slovenijo in Avstrijo je bilo že uradno določeno skupno vodno telo podzemnih voda v Karavankah. Dolgoročno je predvideno usklajeno skupno upravljanje z vodnimi viri na obeh straneh meje. V obeh primerih sodelovanja je bilo za doseganje principa pravične delitve virov in zaščite okolja izdelanih več različnih modelov voda.

Predmet sporov in sodelovanja

Voda je v mednarodni politiki večkrat predmet konkurence in hudih mednarodnih sporov, vendar še bolj tudi predmet zglednega sodelovanja med državami.

Zakaj problemi voda tako pogosto preraščajo nacionalne okvire in tako pogosto postanejo pomemben dejavnik v mednarodnih odnosih? V teoriji politike voda so pomembne njene štiri edinstvene lastnosti: prvič, voda nima nadomestka; drugič, voda v svojem toku prehaja politične meje; tretjič, količina je omejena s podnebjem in sezono leta; in četrtič, voda je globalno neenakomerno razporejena. V redko poseljenih območjih na severu je okoli 80 % vseh zalog na Zemlji, na 40 % kopnega z vodo najbolj revnih območij pa sta le 2 % vseh vodnih zalog. Obenem se odvzemi vode povečujejo: v zadnjih devetih desetletjih prejšnjega stoletja se je poraba povečala šestkratno.

V tekmi za vodo nekatere države nadzor nad vodnimi viri obravnavajo kot prvovrstni predmet nacionalne varnosti. Izrael je v šestdnevni vojni leta 1967 potisnil Sirijo z brega Galilejskega jezera na Golansko planoto in si tako zagotovil popolni nadzor nad jezerom, ki je eden glavnih virov pitne vode za velik del države. Pakistan grozi Indiji celo z jedrskim orožjem zaradi graditve jezer hidroelektrarn na zgornjem toku reke Ind. Na splošno vlada prepričanje o potencialni ogroženosti miru in resnih vojaških spopadih v južni Aziji zaradi rivalstva Indije, Pakistana in Kitajske pri izkoriščanju velikih rek v regiji (The Economist, 2011).

Za preseganje nasprotij je bil leta 1966 ob upoštevanju celostnosti porečij vpeljan v mednarodno pravo pojem mednarodnih porečij. Porečje pridobi status mednarodnega, takoj ko reka prečka mejo države in nadaljuje tok v eno ali več sosednjih držav.

V mednarodnih porečjih so, po naravnih danostih, države v povirju in zgornjem toku v prednosti pred dolvodnimi. Nekatere države to s pridom izkoriščajo in se sploh ne ozirajo na potrebe dolvodnih sosed, zagovarjajoč popolno suverenost nad vodami na svojem ozemlju. Turčija svoj položaj na Evfratu celo izkorišča za politični pritisk na dolvodne države. Kitajska se na Mekongu ne ozira veliko na posledice svojih dejanj na stanje reke pri dolvodnih sosedah.

Včasih si dolvodne države s pritiski na gorvodne sosed pridobijo prevladujoč položaj v porečju. Izrael svojim gorvodnim sosedam odkrito grozi z vojaško intervencijo, če bi posegale v svoje vodotoke, ki odtekajo v to državo. Včasih položaj gorvodne povirne države ne zagotavlja sam po sebi nobene prednosti, včasih celo niti enakopravnega položaja v regionalni politiki.

Zastavlja se vprašanje, kakšna je sploh suverenost držav nad vodami in kakšno naj bi bilo mednarodno sodelovanje na tem področju. Pri povirnih državah, kot je pretežno Slovenija, se zastavlja vprašanje suverenosti nad svojimi viri, oziroma ali na podlagi zadovoljevanj potreb dolvodnih držav lahko pričakujejo večje politično upoštevanje s strani sosed ter druge finančne in gospodarske koristi.

Skozi čas so se uveljavila različna načela glede suverenosti držav v mednarodnih bazenih oziroma med seboj izključujoči pristopi: prvi, absolutne suverenosti nad vodnimi viri; drugi, celostnosti rečnega toka; tretji kondominija obrežnih držav in; četrti, pravične rabe voda.

Po prvem pristopu naj bi država brez kakršnih koli zadržkov suvereno uporabljala vodne vire na svojem ozemlju, brez ozira na potrebe sosednjih dolvodnih držav. Kot predstavljeno v že omenjenih primerih, imajo potrebe gorvodne države absolutno prednost pred dolvodnimi sosedami.

Drugi pristop je diametralno nasproten, saj naj bi dolvodne države bile upravičene do neokrnjenih količin in kakovosti vode. Pri tem se države sklicujejo na pridobljene pravice rabe vode. Tak je primer Egipta, ki se sklicuje na sporazum iz leta 1929 v času britanske kolonialne oblasti v Afriki, in poznejši sporazum s Sudanom iz leta 1959, po katerih ima Egipt pravico do praktično vseh količin vode v sušnih obdobjih in pravico veta do kakršnihkoli posegov v rečni tok gorvodnih držav. Etiopija zagotavlja okoli 85 % pretoka Nila, vendar naj po

teh sporazumih bi ne imela nobene pravice do rabe vode. Gorvodne države v porečju že nekaj časa poskušajo doseči pravičnejšo razdelitev vodnega vira reke, vendar zaradi egiptovskega nasprotovanja do danes še ni bil sprejet skupni sporazum, ki bi zavezoval vse države ob Nilu. Podobno kot Izrael tudi Egipt včasih grozi sosedom z vojaškim posegom za ohranjanje svoje prednosti.

Pristop kondominija je nekakšen blažilec med diametralno nasprotnimi interesi gorvodnih in dolvodnih držav. Porečje se v tem primeru upravlja skupno in vodni viri se delijo kot skupno dobro. Po tem principu je za vsaki poseg posamezne države v mednarodnem porečju potrebno predhodno soglasje vseh sopolgodbenic.

Danes je najbolj uveljavljen zadnji pristop, princip pravične rabe, po katerem države v porečju uporabljajo vodo na pravičen in razumen način in se zavezujejo k medsebojnemu sodelovanju. Za doseganje ciljev mednarodnih sporazumov po tem principu je ključnega pomena znanstveno utemeljeno dobro poznavanje naravnih danosti porečja, pri čemer so modeli voda temeljni gradnik.

Mednarodno sodelovanje na področju voda premočno prevladuje nad spori. Ko se vname hud spor zaradi vode, je to praviloma bilateralna zadeva. Vode so najpogostejše predmet multilateralnega regionalnega sodelovanja v porečjih. Oblike multilateralnega sodelovanja po svetu se bolj nanašajo na skupno upravljanje voda in zaščito kakovosti voda kot pa na bilateralna vprašanja vodne infrastrukture in delitve vodnih virov. Velikokrat je dobro sodelovanje pri vodah predhodnica splošnega izboljšanja siceršnjih političnih odnosov med državami. Praviloma tudi države, ki imajo slabe splošne odnose, še vedno lahko dobro sodelujejo na področju rabe skupnih vodnih virov (Yoffe *et al.*, 2003).

Slovenija v mednarodnem sistemu pogodb

Slovenija je vključena v veliko mednarodnih sporazumov in organizacij, ki se ukvarjajo z vodami. Namen kratkega prikaza, ki nikakor ne more biti popoln, je ponazoritev vpetosti naše države v mednarodne aktivnosti na tem področju. Zaradi boljše preglednosti je prikaz razdeljen na svetovno raven, evropsko raven, regionalno raven in raven dvostranskih meddržavnih odnosov.

Na svetovni ravni je Slovenija članica Svetovne meteorološke organizacije WMO, v okviru katere je aktivna pri uresničevanju programa, imenovanega Operative Hydrological Program (OHP). Nosilec aktivnosti je državna hidrološka služba, ki po priporočilih WMO zagotavlja celoten svetovno harmoniziran proces od meritev, obdelave hidroloških podatkov do analiz in hidroloških študij. Po programu International Hydrological Program (IHP) organizacije UNESCO se pri nas uresničujejo znanstveno raziskovalni projekti na področju hidrologije. Od pomembnejših se v Sloveniji opravljajo še aktivnosti, povezane z vodo v sklopu Svetovne organizacije za prehrano FAO in Svetovne zdravstvene organizacije WHO.

V evropskem prostoru je naša država podpisnica Konvencije o zaščiti in rabi čezmejnih vodotokov in jezer Ekonomske komisije Združenih narodov za Evropo UN ECE. Na podlagi te konvencije se vzpostavlja sodelovanje vseh evropskih držav, vključno z vsemi državami nekdanje Sovjetske zveze, pri raziskovanju in upravljanju čezmejnih voda. Kot članica EU smo v nacionalno zakonodajo prenesli vse zakonske akte skupnosti, ki smo jih obvezni tudi uresničevati, skupno s preostalimi 26 članicami. V sklopu uresničevanja Okvirne vodne direktive EU smo dolžni s sosednjimi državami članicami vzpostaviti skupna čezmejna vodna telesa.

Na regionalni ravni smo na področju voda aktivni pri več sporazumih in konvencijah, kot so: Mednarodna konvencija o zaščiti reke Donave ICPDR; Okvirni sporazum o Savskem bazenu, ki vzpostavlja sodelovanje na področju rabe in zaščite voda, ter rečne plovbe; Konvencija o zaščiti morskega okolja in obalnih območij – Barcelona Convention, ki vzpostavlja sodelovanje priobalnih držav Sredozemlja; ter Alpska konvencija, kjer je organizirana stalna strokovna skupina Platforma za vode.

Meddržavne odnose urejajo dvostranski sporazumi o vodah z vsemi štirimi sosedami.

Z Avstrijo sta bila že leta 1954 podpisana Sporazum o upravljanju reke Drave in Sporazum o upravljanju reke Mure. Ob osamosvojitvi je Slovenija postala naslednica obeh sporazumov. Imenovani sta bili stalni mešani meddržavni komisiji, ki rešujeta bilateralna vodnogospodarska vprašanja. Naša država je tudi naslednica Sporazuma o dejavnosti stalne komisije za vode, ki je bil z Italijo podpisan šele leta 1978, po ureditvi odnosov med Jugoslavijo in Italijo z Osimskimi sporazumi. Z Madžarsko je bil sklenjen leta 1994 novi Sporazum o reševanju vodnogospodarskih zadev, v sklopu katerega deluje stalna mešana meddržavna komisija. S sosednjo novo nastalo državo Hrvaško so bili odnosi na področju voda urejeni zadnji, ko je bila leta 1996 sklenjena Pogodba o reševanju vodnogospodarskih zadev in je bila ustanovljena stalna mešana meddržavna komisija za vode.

Vodo si je treba razumno in pravično deliti

Po študiji, opravljeni na Univerzi Keele, smo država, bogata z vodo (Lawrence *et al.*, 2003). Ker smo pretežno povirna dežela, moramo skrbeti za pravično delitev vodnih virov z dolvodnimi državami. Od naše politične spretnosti, kako jo bomo delili s sosedi, bo odvisno, ali bomo kaj pridobili v splošnih meddržavnih odnosih in jih izboljšali v svojo korist.

Mednarodne izkušnje Slovenije so dobro vodilo tudi za naše notranje potrebe. Tako kot voda ne pozna meja med državami, še manj pozna meje med občinami. Na svetu je okoli 200 držav, ki pri vodah večinoma dobro sodelujejo. V Sloveniji je okoli 200 občin, kjer bo treba preseči medobčinske ovire in vzpostaviti medsebojno sodelovanje pri skupnem upravljanju vodnih sistemov po enakih principih pravične in razumne rabe kot v meddržavnih odnosih.

Študija Univerze Keele je jasno razgalila največjo hibo slovenskega vodnega gospodarstva, to je premajhno rabo vode za kmetijsko pridelavo. Pri državnem programu namakanja moramo vodarji nujno prevzeti aktivno partnersko vlogo v sodelovanju s kmetijskim sektorjem za izdelavo take strategije, ki bo uveljavljala principe pravične in razumne rabe vodnih virov, prioriteto razdelitev različnih virov vode za različne namene ter zagotavljanje varčnih tehnologij namakanja.

Pri pravični in razumni rabi voda je ključnega pomena strokovno poznavanje vseh naravnih danosti vodnih sistemov. Izdelava modelov je eno najpomembnejših sredstev za vzpostavitev učinkovitih strokovno utemeljenih sistemov upravljanja z vodami. Modeli voda in vodonosnih sistemov ponujajo skupno nepristransko platformo, ki vsem udeležencem v procesu odločanja zagotavlja objektivno in enakopravno obravnavo.

Viri

Lawrence P., Meigh J. and C. Sullivan (2003). The Water Poverty Index: an International Comparison. Keele University, Keele.

The Economist, No. 47, November 19th-25th 2011, str. 24-26, London.

Vorosmarty, C.J., and D. Sahagian (2000). Anthropogenic Disturbance of the Terrestrial Water Cycle, *BioScience*, Vol. 50, No. 9, str. 753-765, Reston.

United Nations, General Assembly, A/RES/63/124, Distr.: General 15 January 2009, New York.

Yoffe, S., Wolf, A.T., and M. Giordano (2003). Conflict and Cooperation over International Freshwater Resources: Indicators of Basins at Risk. *Journal of the American Water Resources Association*, Paper No. 02036, str. 1109-1126, Malden.

ŠKODE ZARADI POPLAV V SLOVENIJI V OBDOBJU 2007-2010

dr. Lidija Globevnik, Inštitut za vode Republike Slovenije

1 Uvod

V septembru 2011 je bila izdelana predhodna ocena poplavne ogroženosti IzVRS (2011a), v kateri so bila določena in po pomembnosti v državnem merilu razvrščena območja potencialne poplavne ogroženosti. Predhodna ocena takšne ogroženosti je namenjena določitvi območij pomembnega vpliva poplav, za katera je predvidena priprava kart poplavne nevarnosti in ogroženosti in določitev ciljev za zmanjševanje ogroženosti.

Izbira in končna odločitev glede pomembnosti območij vpliva poplav je odvisna ne le od velikosti ogroženosti pred poplavami, temveč tudi od časovno, finančno in tehnično možnih načinov zmanjševanja ogroženosti pred poplavami reševanja, to je ukrepanja. Območja, ki so del istega vodnega telesa ali ki ležijo dolvodno od drugih potencialnih pomembnih območij, moramo obravnavati povezano in poznati njihov škodni potencial. Škodni potencial je ocena možne škode, ki lahko nastane ob nekem dogodku. Kakšna škoda zares nastane ob poplavih, pa je odvisna tudi od drugih dejavnikov, predvsem preventivnega obnašanja, preden do dogodka pride. Na poplavnem območju so lahko grajene ali spravljene vredne stvari, ki pa jih je mogoče uspešno varovati pred škodo. Premičnine lahko tudi pred dogodkom umaknemo.

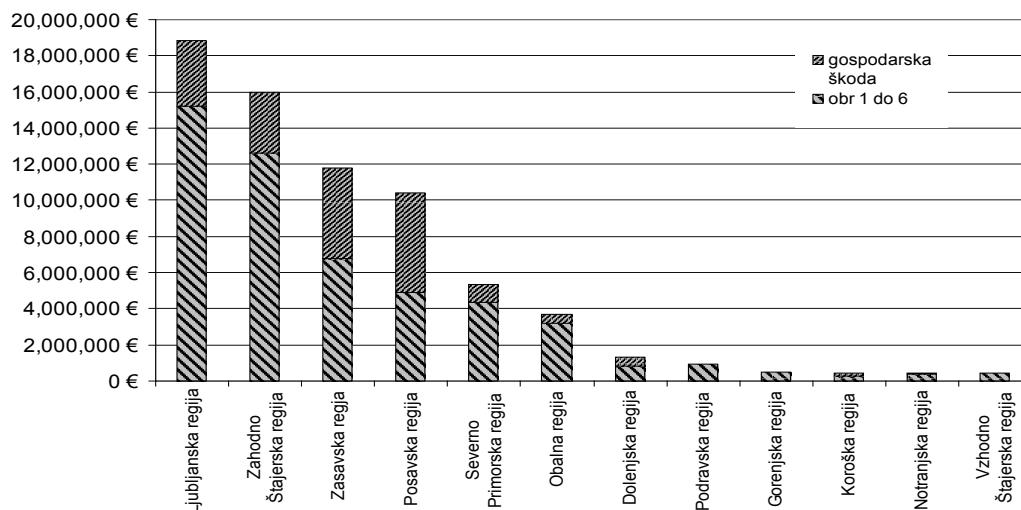
Informacije o dejanskih škodah zaradi poplav v zadnjih letih so se zbirale prek sistema AJDA (Ministrstvo za obrambo). Pred odločitvami glede pomembnosti območij vpliva poplav je zato dobro poznati tudi dejanske škode. Velike škode lahko namreč nastanejo tudi na območjih, ki po sedanjih kriterijih (gostota prebivalstva več ko 500 ljudi na km², strnjena velikost območja večja od 0,5 km², pomembni in ranljivi gospodarski in kulturni objekti) ne bi sodili med pomembna območja vpliva poplav.

V članku so opisane vrednosti škod v Sloveniji zaradi poplav v letih 2007-2010.

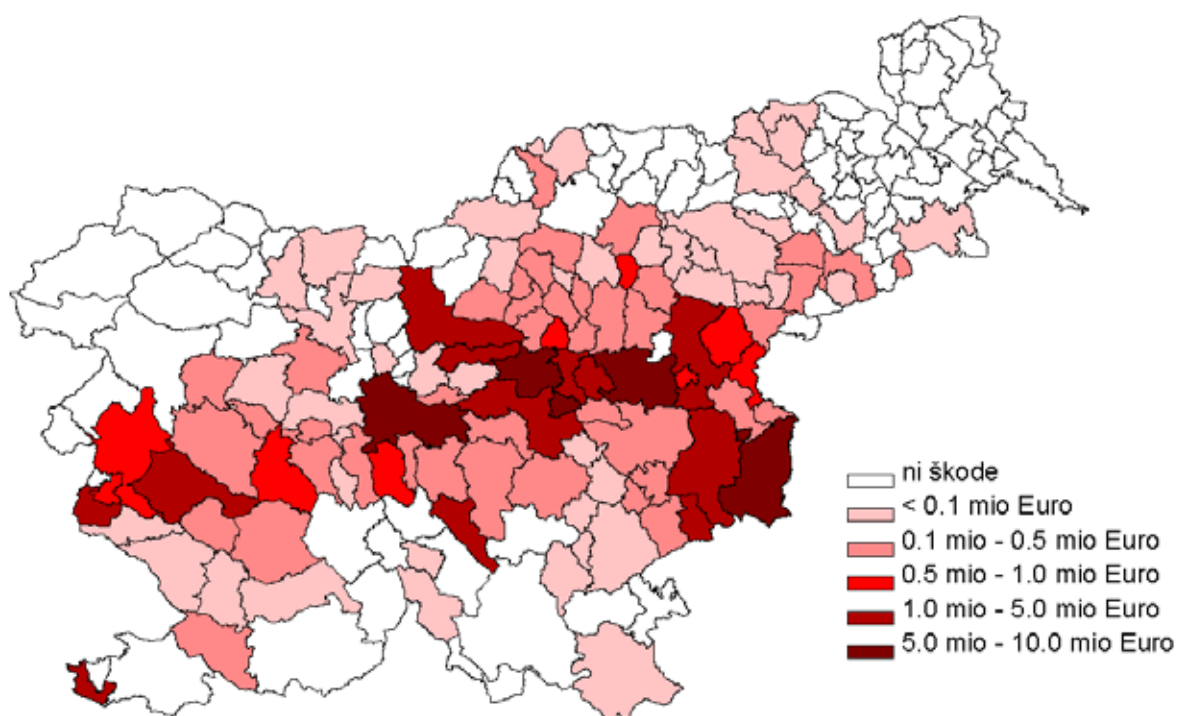
2 Poročila o škodah v sistem AJDA

Škode, o katerih so po poplavih leta 2010 občine poročale občine Upravi za zaščito (obrazci 1-6 in obrazec za gospodarske škode; škoda na vodni infrastrukturi ni vključena!) so presegle 70 mio € (natančno: 70.118.015 €). Graf 1 prikazuje razporeditev škode po regijah. Škoda je bila prijavljena v 117 občinah. Ljubljanska regija je imela 15,2 mio € škod na stanovanjskih objektih, na poslovnih objektih, občinski infrastrukturi in na področju kmetijstva in gozdarstva (obrazci 1-6), gospodarska škoda je bila 3,7 mio €. Druga po vrsti je bila zahodna Štajerska regija, ki je imela za skoraj 16 mio € škode. Gospodarske škode je imela za 3,36 mio €. Za več kot 10 mio € škode so imele tudi Zasavska in Posavska regija.

Od 117 občin, ki so prijavile škodo, je 16 takih, kjer je bila škoda večja od 1 mio €. Skupna škoda v teh občinah je 32,4 mio €, kar je več kot 2/3 vse nastale škode.



Graf 1: Škode ob nesreči »poplave 2010« po regijah, poročane v sistem AJDA Ministrstva za obrambo, Uprava za zaščito in reševanje (Vir: MO UZR, 2011).



Slika 1: Velikostni razredi škod ob nesreči 2010 po občinah (škoda, poročana v sistem AJDA, škoda na vodni infrastrukturi ni zajeta).

3 Škode na vodni infrastrukturi v obdobju 2007-2010

Škode na vodni infrastrukturi, ki so jo v letih 2007-2010 popisali na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO), so prikazane glede na občine v preglednici 1. Za vsako občino je podano tudi število prebivalcev (leto 2011).

V obdobju 2007-2010 je bilo pet poplavnih dogodkov. Škoda na vodni infrastrukturi je nastala v 159 občinah. Na grafu 2 so prikazane skupne škode na vodnogospodarski infrastrukturi za občine, kjer je bila le ta večja od 5 mio €. Slika 2 prikazuje škodo na vodni infrastrukturi v letih 2007-2010 po izbranih velikostnih razredih za vse občine.

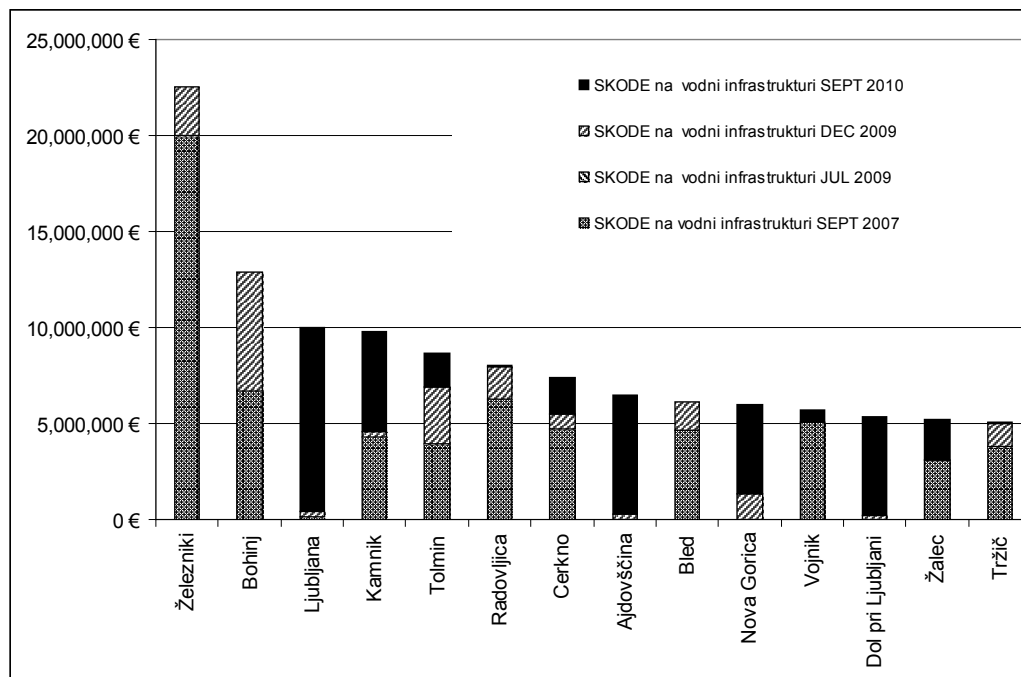
Preglednica 1: Škoda na vodni infrastrukturi (»VI«) po občinah, ki so nastale ob poplavnih dogodkih v obdobju 2007-2010 (vir: ARSO, 2011).

OB_ID	Ime občine	Število prebivalcev	SKODE na VI sept 2010	SKODE na VI avg 2010	SKODE na VI dec 2009	SKODE na VI jul 2009	SKODE na VI 2007	Skupaj skode na VI 2007-2010	škoda na VI 2007-2010 na prebiv
			[€]						
146	Železniki	6781			2,526,960.00		19,987,110.00	22,514,070.00	3,320.20
4	Bohinj	5223			6,200,580.00		6,702,085.00	12,902,665.00	2,470.40
61	Ljubljana	279898	9,596,730.10		254,331.00		149,245.00	10,000,306.10	35.7
43	Kamnik	29027	5,204,789.60	0	288,732.00	0	4,287,586.60	9,781,108.20	337
128	Tolmin	11626	1,718,185.00		2,991,582.00		3,919,308.00	8,629,075.00	742.2
102	Radovljica	18932	130,650.00		1,649,544.00	6,000.00	6,274,229.00	8,060,423.00	425.8
14	Cerkno	4784	1,877,985.00		809,899.20		4,705,979.90	7,393,864.10	1,545.50
1	Ajdovščina	18938	6,171,685.00		281,674.80			6,453,359.80	340.8
3	Bled	8141			1,473,420.00		4,623,450.00	6,096,870.00	748.9
84	Nova Gorica	31992	4,670,065.00		1,304,492.10			5,974,557.10	186.8
139	Vojnik	8467	612,503.40				5,077,265.40	5,689,768.80	672
22	Dol pri Ljubljani	5516	5,190,100.00	0	195,360.00	0	0	5,385,460.00	976.3
190	Žalec	21503	2,124,664.40				3,094,246.90	5,218,911.20	242.7
131	Tržič	15196	93,350.00		1,162,200.00		3,815,084.00	5,070,634.00	333.7
9	Brežice	24354	3,762,865.00		1,027,560.00			4,790,425.00	196.7
57	Laško	13526	2,803,504.00				1,903,552.30	4,707,056.30	348
21	Dobrova - Polhov Gradec	7402	4,565,590.00		103,929.00			4,669,519.00	630.8
75	Miren - Kostanjevica	4848	3,597,389.00		647,824.30	403,800.00		4,649,013.30	959
11	Celje	48556	2,261,007.60				2,360,924.10	4,621,931.70	95.2
122	Škofja Loka	22778	133,800.00		1,533,012.00		2,773,290.00	4,440,102.00	194.9
142	Zagorje ob Savi	17013	3,758,744.00		36,336.00			3,795,080.00	223.1
36	Idrija	11968	1,555,358.00		1,810,353.60			3,365,711.60	281.2
62	Ljubno	2669	1,190,767.90				2,091,155.10	3,281,923.00	1,229.60
53	Kranjska Gora	5316			592,800.00		2,667,600.00	3,260,400.00	613.3
60	Litija	14923	3,253,920.00					3,253,920.00	218
136	Vipava	5520	2,424,675.00		815,439.20			3,240,114.20	587
126	Šoštanj	8744	243,926.00	2,468,351.50			450,318.50	3,162,596.00	361.7
151	Braslovče	5352	1,725,159.30				1,400,996.90	3,126,156.20	584.1
81	Muta	3512	1,264,720.40				1,632,577.30	2,897,297.70	825
54	Krško	25761	2,616,524.00		39,000.00			2,655,524.00	103.1
189	Vransko	2603	1,106,594.10				1,399,115.40	2,505,709.60	962.6
196	Cirkulane	2294	1,107,158.90	1,327,697.90				2,434,856.80	1,061.40
23	Domžale	34195	2,220,000.00		38,520.00		89,151.00	2,347,671.00	68.7
83	Nazarje	2601	493,409.00				1,761,791.00	2,255,200.00	867.1
201	Renče - Vogrsko	4285	1,797,750.00		419,332.30			2,217,082.30	517.4
163	Jezersko	660			2,075,580.00			2,075,580.00	3,144.80
68	Lukovica	5454	1,854,550.00				220,647.50	2,075,197.50	380.5
46	Kobarid	4172	335,000.00		1,595,875.20			1,930,875.20	462.8
25	Dravograd	9046	537,798.90			1,349,688.60		1,887,487.50	208.7
32	Grosuplje	19333	287,500.00			1,587,568.20		1,875,068.20	97
71	Medvode	15650	1,760,500.00					1,760,500.00	112.5
110	Sevnica	17560	1,746,020.00					1,746,020.00	99.4
120	Šentjur	18889	1,742,774.60					1,742,774.60	92.3
55	Kungota	4791	1,734,499.40					1,734,499.40	362
52	Kranj	55271			1,466,478.00		243,932.00	1,710,410.00	30.9
209	Rečica ob Savinji	2295	469,562.00				1,102,996.20	1,572,558.20	685.2

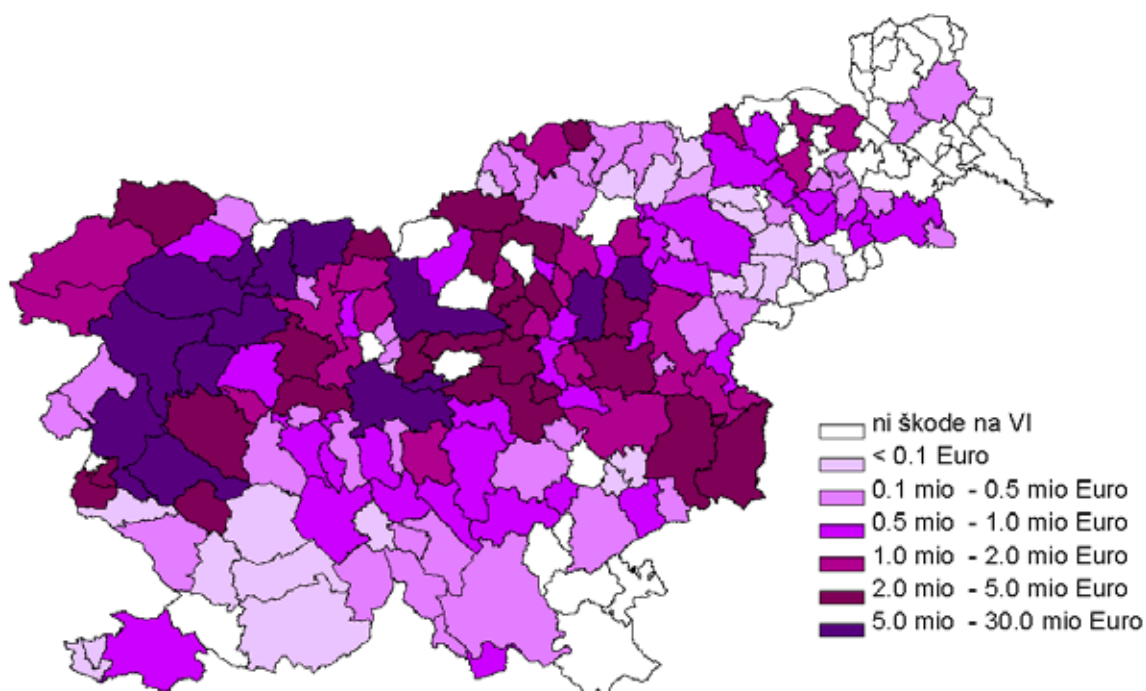
12	Cerklje na Gorenjskem	7122	1,088,350.00		13,596.00		461,825.00	1,563,771.00	219.6
147	Žiri	4895	301,350.00		1,260,870.00			1,562,220.00	319.1
173	Polzela	5971	286,513.20				1,267,319.10	1,553,832.30	260.2
29	Gornja Radgona	8632	634,123.80				915,533.50	1,549,657.30	179.5
	Bovec	3213	1,047,730.00		325,378.90		100,500.00	1,473,608.90	458.6
58	Lenart	8175	1,408,639.00				1,021.50	1,409,660.50	172.4
149	Bistrica ob Sotli	1431	1,397,437.40					1,397,437.40	976.5
34	Hrastnik	9959	992,200.00		282,888.00		27,495.00	1,302,583.00	130.8
95	Preddvor	3545			1,269,450.00			1,269,450.00	358.1
51	Kozje	3239	1,000,836.90	245,322.00				1,246,158.90	384.7
184	Tabor	1601	931,468.40				191,402.90	1,122,871.30	701.4
137	Vitanje	2287	299,755.50				771,248.10	1,071,003.60	468.3
133	Velenje	32834	206,512.90				855,072.80	1,061,585.70	32.3
181	Sveta Trojica v Slov. Goricah	2102	1,004,799.90					1,004,799.90	478
18	Destričnik	2647	972,566.30					972,566.30	367.4
140	Vrhnika	16412	950,000.00					950,000.00	57.9
170	Mirna Peč	2815	431,775.00				501,110.40	932,885.50	331.4
129	Trbovlje	17134	917,500.00					917,500.00	53.5
37	Ig	6847	884,500.00		25,830.00			910,330.00	133
28	Gorišnica	4032	908,940.50					908,940.50	225.4
174	Prebold	5041	327,487.10				561,523.80	889,010.90	176.4
125	Šmartno ob Paki	3167	350,974.40				525,899.90	876,874.20	276.9
13	Cerknica	11310	409,100.00			456,454.50		865,554.50	76.5
50	Koper/Capodistria	52811	828,809.80					828,809.80	15.7
119	Šentjernej	6863	635,675.00		161,880.00			797,555.00	116.2
134	Velike Lašče	4190	729,650.00					729,650.00	174.1
5	Borovnica	3995	712,710.00					712,710.00	178.4
70	Maribor	111170	615,564.30		46,566.20			708,696.60	6.4
26	Duplek	6704			691,200.00			691,200.00	103.1
89	Pesnica	7544	683,496.20				884.3	684,380.50	90.7
114	Slovenske Konjice	14468	117,996.60				561,286.90	679,283.50	47
207	Gorje	2911			668,460.00			668,460.00	229.6
194	Šmartno pri Litiji	5472	665,900.00					665,900.00	121.7
193	Žužemberk	4559	663,600.00					663,600.00	145.6
67	Luče	1541	656,677.70					656,677.70	426.1
24	Dornava	2953	441,301.40			214,431.50	452.3	656,185.20	222.2
117	Šenčur	8433			651,300.00			651,300.00	77.2
20	Dobrepolje	3927	177,300.00			472,580.80		649,880.80	165.5
27	Gorenja vas - Poljane	7279	231,750.00		405,600.00			637,350.00	87.6
92	Podčetrtek	3325	628,286.30					628,286.30	189
144	Zreče	6467	150,461.40				469,695.60	620,157.00	95.9
208	Logatec	13291	612,000.00		6,135.00			618,135.00	46.5
87	Ormož	12603	448,117.80			101,520.00	53,405.60	603,043.40	47.8
39	Ivančna Gorica	15624	580,750.00					580,750.00	37.2
113	Slovenska Bistrica	25043	16,293.40				528,239.40	544,532.90	21.7
165	Kostel	651	527,000.00					527,000.00	809.5
96	Ptuj	23693	446,952.20		28,575.80		44,677.40	520,205.40	22
127	Štore	4261	516,382.20					516,382.20	121.2
99	Radeče	4471	513,861.00					513,861.00	114.9
155	Dobrna	2187	280,695.90				226,461.70	507,157.60	231.9
179	Sodražica	2164	466,800.00					466,800.00	215.7
93	Podvelka	2543	443,035.70					443,035.70	174.2
88	Osilnica	399	433,925.00					433,925.00	1,087.50
205	Sveti Tomaž	2113	413,236.40				13,634.90	426,871.30	202

115	Starše	4178			419,332.30			419,332.30	100.4
164	Komenda	5607	346,000.00				27,079.00	373,079.00	66.5
101	Radlje ob Dravi	6295	372,147.10					372,147.10	59.1
197	Kostanjevica na Krki	2411	200,875.00		162,000.00			362,875.00	150.5
7	Brda	5747			346,579.20			346,579.20	60.3
42	Juršinci	2358	313,434.90				21,493.10	334,928.10	142
41	Jesenice	21566			328,458.00			328,458.00	15.2
78	Moravske Toplice	5970	310,471.00					310,471.00	52
48	Kočevje	16499	309,250.00					309,250.00	18.7
104	Ribnica	9363	308,850.00					308,850.00	33
72	Mengeš	7402	293,600.00					293,600.00	39.7
130	Trebnje	14624	289,500.00					289,500.00	19.8
162	Horjul	2873	284,400.00					284,400.00	99
8	Brezovica	11246	275,400.00					275,400.00	24.5
211	Šentrupert	2827	272,256.00					272,256.00	96.3
202	Središče ob Dravi	2133	265,719.40					265,719.40	124.6
112	Slovenj Gradec	16893	258,843.70					258,843.70	15.3
141	Vuzenica	2711	176,560.20				71,750.70	248,310.80	91.6
106	Rogaška Slatina	11031	225,119.20					225,119.20	20.4
153	Cerkvenjak	2005	212,955.20					212,955.20	106.2
44	Kanal	5710			210,434.40			210,434.40	36.9
82	Naklo	5284	208,000.00		1,950.00			209,950.00	39.7
154	Dobje	973	202,644.60					202,644.60	208.3
108	Ruše	7284	197,360.30					197,360.30	27.1
171	Oplotnica	3969					197,323.00	197,323.00	49.7
185	Trnovska vas	1341	189,021.00				491.3	189,512.30	141.3
111	Sežana	12959	157,980.80					157,980.80	12.2
80	Murska Sobota	19313	147,000.00					147,000.00	7.6
103	Ravne na Koroškem	11586	143,600.70					143,600.70	12.4
123	Škofljica	9280	142,000.00					142,000.00	15.3
124	Šmarje pri Jelšah	10214	140,626.80					140,626.80	13.8
64	Log - Dragomer	3628	140,400.00					140,400.00	38.7
175	Prevalje	6829	115,717.40				14,853.70	130,571.20	19.1
66	Loški Potok	1969	121,500.00					121,500.00	61.7
85	Novo mesto	36245	110,000.00					110,000.00	3
182	Sveti Andraž v Slov. goricah	1195	105,098.40				393	105,491.40	88.3
65	Loška dolina	3908	101,100.00					101,100.00	25.9
186	Trzin	3841	83,650.00					83,650.00	21.8
74	Mežica	3660	83,408.50					83,408.50	22.8
135	Videm	5605	5,425.30				68,903.10	74,328.40	13.3
121	Škocjan	3205	67,436.00					67,436.00	21
167	Lovrenc na Pohorju	3121	65,481.80					65,481.80	21
98	Rače - Fram	6908					55,642.50	55,642.50	8.1
160	Hoče - Slivnica	10900					55,029.00	55,029.00	5
150	Bloke	1580	54,400.00					54,400.00	34.4
49	Komen	3547	53,227.30					53,227.30	15
200	Poljčane	4554					53,080.00	53,080.00	11.7
45	Kidričevo	6662					46,542.10	46,542.10	7
90	Piran/Pirano	17687	44,965.60					44,965.60	2.5
206	Šmarješke Toplice	3164	38,825.00					38,825.00	12.3
38	Ilirska Bistrica	13939	31,711.20					31,711.20	2.3
177	Ribnica na Pohorju	1219	29,056.50					29,056.50	23.8
19	Divača	3889	23,693.40					23,693.40	6.1
178	Selnica ob Dravi	4537					22,342.30	22,342.30	4.9

198	Makole	2076					21,349.40	21,349.40	10.3
40	Izola/Isola	15906	11,202.70					11,202.70	0.7
69	Majšperk	4057					10,325.10	10,325.10	2.5
91	Pivka	5958	10,003.10					10,003.10	1.7
94	Postojna	15724	5,306.80					5,306.80	0.3
skupaj: 159 občin		1852596	127.68 mio	4.04 mio	38.65 mio	44.59 mio	91.48 mio	266.48 mio	144 €/preb
skupaj: 210 občin		2052496							130 €/preb



Graf 2: Največje skupne škode na vodni infrastrukturi po občinah, kjer je bilo škode na vodni infrastrukturi za več kot 5 mio €.



Slika 2: Škoda na vodni infrastrukturi (€) zaradi poplavnih dogodkov v letih 2007-2010 po izbranih velikostnih razredih za nivo občin.

Skupne škode na vodni infrastrukturi so bile 266,5 mio €, kar pomeni 130€/prebivalca Slovenije. V letu 2007 so škode dosegle 127,7 mio €, leta 2009 43,2 mio €, leta 2010 pa 136,1 mio €.

3 Stroški vzdrževanja vodne infrastrukture

Za vzdrževanje 16.000 km dolge mreže stalnih vodotokov in skoraj 10.000 objektov ter naprav vodne infrastrukture je bilo iz državnega proračuna v letu 2011 namenjenih dobrih 12 mio € sredstev. V letu 2012 je za ta namen v tem trenutku zagotovljenih okoli 10 mio €. V prihodnje bo sredstev verjetno bistveno manj. Po oceni ARSO je vrednost objektov vodne infrastrukture 725 mio €, tako da bi bil potreben znesek ob upoštevanju letne amortizacije za letno vzdrževanje okoli 17,5 mio € (Ministrstvo za okolje in prostor, 2010). Na voljo je torej manj kot polovica potrebnih sredstev.

Na ARSO je bil v letu 2011 pripravljen program potrebnega investicijskega vzdrževanja objektov vodne infrastrukture in ureditev priobalnih zemljišč za obdobje 2010 - 2014 (ARSO, 2011b). V program niso vključene potrebne investicije na Selški Sori v Železnikih in na porečju reke Savinje (OE Celje). Vseh občin (izvzete so občine porečja Savinje), kjer so bile evidentirane potrebne investicije, je 83. Predvidenih posegov je 204. Ocenjena vrednost potrebnega investicijskega vzdrževanja objektov vodne infrastrukture in ureditve priobalnih zemljišč za obdobje 2010-2014 je 49,2 mio €. Povprečno bi za vsako od 83 občin potrebovali 0,55 mio €. V preglednici 2 je dan spisek občin in opis potrebnih del, kjer je vrednost projektov investicijskega vzdrževanja večja od 0,5 mio €.

V naštetih investicijah niso zajete investicije za dolgoročno zmanjševanje poplavne ogroženosti, saj te šele načrtujejo. Za ureditev porečja Savinje, ki v programu ARSO za 2010-2014 ni zajet, bi po do sedaj pripravljeni investicijski dokumentaciji potrebovali 102 mio € (SI Consult, 2010a; 2011), za ureditev razmer v Železnikih pa do 20,1 mio € (IZVO, 2009; Revalorizacija stroškov po indeksu rasti cen, Statistični urad).

Preglednica 2: Spisek 30 občin, kjer je vrednost projektov investicijskega vzdrževanja vodne infrastrukture za obdobje 2010-2014 večja od 0,5 mio € (vir: ARSO, 2011).

ARSO OE	Šifra občine	Ime občine in opis posega	Ocena gradbenih del	Ocena vrednosti projektov in- vesticijskega vzdr- ževanja vodne infrastrukture *
			[€]	[€]
MB	103	RAVNE NA KOROŠKEM (Meža: izboljšanje visokovodnih razmer v Ravnah - sanacija zavarovanja in zidov)	7.973.900	8.651.664
KP	90	PIRAN (Strunjanska rečica in Strunjanske soline)	2.700.000	2.929.500
MB	175	PREVALJE (Meža: izboljšanje visokovodnih razmer v Prevaljah in Leškem potoku (sanacija zavarovanja in zidov) ter ureditev Farnega potoka skozi Prevalje. Postavitev ustalitevno zaplavnega objekta na Šentanelski reki.)	1.973.500	2.141.260
KR	53	KRANJSKA GORA (Sanacija pragov in pregrad (Suhelj); kinete in prečni objekti levega pritoka Trebiže; sistem objektov na Pišnici pod Rusko kape-lico; ustalitevno zaplavne pregrade na pritoku Dovškega potoka)	1.860.000	2.018.100
KP	38	ILIRSKA BISTRICA (Reka Reka od Kosez do izliva Mole, odsek Topolc-No-vakov jez; izliv potoka Brejšček in Sušaški potok v Novokračinah; Reka od Bridovca do Premškega mostu)	1.750.000	1.898.750
LJ	61	LJUBLJANA (Sanacija praga in brežin na Savi pod AC-mostom, Gameljšči-ce skozi Gameljne, Ljublanice pri Vevčah, v Mostah od sotočja do Fužin, sanacija Gruberjevega prekopa od zapornice do sotočja, Ljublanice skozi Ljubljano, zapornice na Ambroževem trgu na Ljubljani in vzpostavitev monitoringa; Sanacija Rakovniškega potoka)	1.630.000	1.768.550

NM	17	ČRNOMELJ (Popravilo jezua na Kolpi v Žuničih, Srednje Zilje, v Radencih, v Kotu, v Vukovcih)	1.380.000	1.497.300
NG	6	BOVEC (Sanacija pregrad v Matevževem in Martinovem grabnu v Trenti, hudournika Potočič v Kalu Koritnica, Lepenica na povirju v Koncu in ureditev sotočja Soče z Učjo)	1.302.700	1.413.430
NG	46	KOBARID (Sanacija pregrad na hudournikih Šjak, Prekopi, pritoku Bele pri Žagi, Rbišnik, Crkovnik, Stanoviščnik, pri vasi Kreda in na Šjaku)	1.134.700	1.231.150
MB	58	LENART (AK Pristava-Pesnica, AK Radehova - obnova talnega izpusta in sanacija posedkov nasipov Pesnica)	1.122.000	1.217.361
LJ	43	KAMNIK (Sanacija Kamniške Bistrice od mostu v Godiču do Ribjeka, pragov vzdolž Smodnišnice in pragov od Volčjega potoka do Kamnika)	970.000	1.052.450
NM	9	BREŽICE (Popravilo visokovodnega nasipa in vzdolžnega zavarovanja Save v Brežicah in prečnih zgradb v Podgračenem ter zavarovanja brežine Krke v Račji vasi)	877.200	951.762
MB	16	ČRNA NA KOROŠKEM (Meža - sanacija pregrad v Dolini smrti in nizkih ustalitvenih pragov)	870.000	943.950
NG	136	VIPAVA (Sanacije objektov na Vipavi, poškodbe na Močilniku Lože, Podnanos; sanacija brežin Bele v Vipavi in Sanaborju; brežine Pasji rep)	821.394	891.212
NG	84	NOVA GORICA (Sanacija obrežnih zavarovanj Branice v Spodnji Branici, dolvodno od mostu na Dornberškem polju, nad vtokom v Vipavo in Širokega potoka in nad mostom za Komen; sanacija desnih pritokov Branice)	777.516	843.605
LJ	23	DOMŽALE (Sanacija pragov na Kamniški Bistrici na odseku Homec - Vir, nad čistilno napravo Domžale in Ureditv Hudskega potoka gorvodno od Radomelj)	750.000	813.750
LJ	21	DOBROVA-POLHOV GRADEC (Sanacija pregrad na Mačkovem grabnu in zavarovanj na Gradaščici)	735.000	797.475
KR	131	TRŽIČ (Ureditv Tržiške Bistrice v Retnjah (jezovi) in nad sotočjem z Mošenikom)	735.000	797.475
MB	70	MARIBOR (Blažovnica (Drava): Ureditv površnega dela in postavitv ustalitvenih pragov)	680.000	737.800
NM	119	ŠENTJERNEJ (Krka v Drami, Gorenji Gomili; Pendirjevka - obnova prodnih pregrad in skozi Cerov Log; Kobila na izlivu v Krko do Šentjerneja)	636.450	690.548
KR	207	GORJE (Ureditv hudournika Buden Krnico, jez v Vintgarju in v Krnici na Radovni)	560.000	607.600
MS	152	CANKOVA (AK LEDAVSKO JEZERO; Obnova bet. površin in servis na hidromehanski opremi na AK Ledavsko jezero)	550.000	596.750
LJ	34	HRASTNIK (Sanacija Bobna od muzeja do izliva v Savo, ureditev Bevsčice s hudourniškim pritokom)	540.000	585.900
NG	201	RENČE-VOGRSKO (Sanacija brežin reke Vipave v Renčah pod jezom, pri vtoku Lijaka in potoka Bazaršček v Bazari)	523.000	567.455
MB	76	MISLINJA (Sanacija obstoječe ureditve na Mislinji skozi Mislinjo)	500.000	542.500
MB	160	HOČE-SLIVNICA (Rekonstrukcija obrežnih zidov na Hočkem potoku in hidromehanska oprema na objektu Hotinjšček)	500.000	542.500
KP	94	POSTOJNA (Unica dolvodno od Planinske jame)	500.000	542.500
MB	112	SLOVENJ GRADEC (Ureditv Suhadolnice od sotočja do mostu v Kotle, ureditev izliva Selčnica)	492.700	534.592

MB	55	KUNGOTA (AC-ureditev Dobrenjskega potoka in sanacija obrežnih zidov na Pesnici)	480.000	520.800
NG	36	IDRIJA (Sanacija Idrijce v Idriji pri Bači, Kanomljice v Gorenji Kanomlji in Ljubevščice)	465.000	504.525

* dodano 8,5% za projektno dokumentacijo, vodenje in nadzor

ZAKLJUČEK

Skupna vrednost predvidenih vzdrževalnih del na vodni infrastrukturi in priobalnih zemljiščih v Slovenji po programu ARSO in z ureditvijo poplavnih razmer v Železnikih je 69,3 mio €. To je četrtnina škode, nastale na vodni infrastrukturi v obdobju 2007-2010. Če se bodo poplavni dogodki ponavljali z enako dinamiko kot v preteklih letih, lahko za vsak dogodek pričakujemo enako velike škode, kot so sedaj predvideni stroški v investicijsko vzdrževanje vodne infrastrukture in ureditev priobalnih zemljišč. Verjetno bi bilo smiselno, da se predvideno investicijsko vzdrževanje realizira do leta 2015, saj bi s temi deli preprečevali nadaljnje večanje škod na vodni infrastrukturi in priobalnih zemljiščih in večanje sedanjih nevarnosti poplav.

Viri:

ARSO, 2011. (Agencija Republike Slovenije za okolje. Urad za upravljanje z vodami). Podatkovna baza in arhivi Urada. Oktober 2011.

IZVO, 2009. (Inženiring za vode). Ureditev Selške Sore za zagotavljanje poplavne varnosti širšega območja Železnikov. Strokovne podlage za pripravo DPN. Zadrževalnik 5. IDZ. Inženiring za vode, d.o.o. Št. projekta 853-FR/08. Naročnik: RS MOP. Ljubljana, november 2009.

IzVRS, 2011 a. (Inštitut za vode Republike Slovenije). Predhodna ocena poplavne ogroženosti (2010-2011). Verzija 1. 9. September 2011.

SL Consult, 2010a. DIIP Porečje Savinje. Zagotovitev poplavne varnosti na porečju Savinje. Dokument identifikacije investicijskega projekta. Naročnik: Ministrstvo za okolje in prostor. SL Consult d.o.o. April 2010.

SL Consult, 2011. Zagotovitev poplavne varnosti na porečju Savinje - Zgornja in Spodnja Savinja. Študija izvedljivosti. Naročnik: MOP. Januar 2011.

RAZMIŠLJANE OB 10-LETNICI ZAKONA O VODAH

Gabrijela Grčar, univ.dipl.ing.

POVZETEK:

Zakon o vodah, ki je pravni okvir za uresničevanje sodobnega »upravljanja voda« je bil sprejet v letu 2002, torej je po desetih letih napočil čas za presojo njegove učinkovitosti in razmer za njegovo uresničevanje. V članku je podano osebno razmišljanje o zakonu samem in o razmerah, v katerih je njegovo izvajanje prvih deset let potekalo. Namen članka ni le kritičen pogled na izvajanje, ampak predvsem izziv in spodbuda za več poglobljenih razprav o zakonu samem in posameznih delih zakona in jih tako približati politikom kot tudi »uporabnikom«.

ABSTRACT

The Water Act, which is a legal framework for the implementation of contemporary water management, was adopted a decade ago, in August 2002. It is time, therefore, to review its effectiveness and whether the conditions for its implementation are in line with the objectives of the law. In the article, a personal view is given about the act itself and the implementation process. The aim of the article is not only to be critical of the implementation process but, above all, to initiate more detailed discussions on various aspects of the act, and to call the politicians as well as »users« to be more deeply involved in the implementation process.

ALI IMA SLOVENIJA POLITIKO NA PODROČJU UPRAVLJANJA VODA?

Za odgovor na vprašanje, ali Slovenija ima politiko upravljanja voda, si moramo najprej odgovoriti na vprašanje, kaj pravzaprav razumemo pod »politiko« in v čigavi pristojnosti je.

Če »politiko« razumemo ozko, kot tisto, kar je zapisano v strateških in pravnih dokumentih, sprejetih na različnih ravneh države (vlada, parlament, ministristvo), potem lahko rečemo, da Slovenija politiko ima. Glavna načela in vsebinski okvir za uresničevanje politike upravljanja voda oziroma nalog, ki jih ta določa, so zapisana v zakonu o vodah, sprejetem leta 2002, in številnih predpisih na njegovi podlagi. Prioritete so zapisane v Resoluciji Parlamenta R Slovenije o Nacionalnem programu varstva okolja, morale pa bi biti zapisane še podrobneje tudi v programu ukrepov, kot odgovor na ugotovljeno stanje in zastavljene cilje prvega načrta upravljanja vodnih ob-

močij Slovenije (žal je to daleč preobsežen in v veliki meri neizvedljiv spisek želja, ki nikakor ni odgovor na ugotovljene »pomembne zadeve« upravljanja voda).

Poleg tega je vodna politika zapisana tudi v mednarodnih pogodbah, od katerih jih ima nekaj novejših predvsem »političen« pomen, druge pa oblikujejo ustaljen okvir za meddržavno sodelovanje pri izvajanju upravljanja voda na porečjih in povodjih ter morju, ki so v pristojnosti različnih suverenih držav. Torej, lahko bi rekli, da v Sloveniji vodno politiko na papirju imamo, in to celo takšno, ki bi v povezavi z zakonom o varstvu okolja lahko bila zgled sodobne nacionalne zakonodaje na ravni držav Evropske skupnosti.

Če pa o politiki upravljanja voda razmišljamo širše in razumemo politiko tudi kot sklop različnih aktivnosti vsakokratnih vladajočih državnih in lokalnih struktur, ki naj bi z upoštevanjem zapisane politike določale prioritete in zagotavljale pogoje in s tem ustrezno dinamiko za uresničevanje nalog upravljanja voda (torej spoštovale pravni red), pa lahko rečemo, da imamo že vrsto let politiko, ki je podcenjujoča in destruktivna, tako do ciljev, ki so zapisani v veljavnih dokumentih, kot do tistega dela stroke, ki si prizadeva zapisane cilje uveljaviti.

Ne moremo torej mimo ugotovitve, da je bilo kljub sprejetemu zakonu s strani dosedanjih resornih ministrov njegovo izvajanje najprej »minimalizirano« z neustreznimi organizacijsko in kadrovske politiko, v korist varstva narave in okolja, nato je sledila »politika uslug energetiki« pa »politika uslug lokalnim skupnostim in posameznikom«, v zadnjem mandatu pa se je iz različnih razlogov začelo dojemati upravljanje voda spet kot »vodnogospodarstvo« iz časov pred sprejetjem zakona o vodah, torej kot porabo sredstev, namenjenih graditvi vodne infrastrukture za zagotavljanje poplavne varnosti in nič več.

Vsekakor je za tako politiko, predvsem pa za zadnji korak »nazaj« razlogov več in so si med seboj tudi nasprotujoči, noben od njih pa ni temeljil na poznavanju in razumevanju obširne in strokovno zahtevne problematike upravljanja voda, temveč na takih ali »onakih« osebnih interesih ali osebni predstavi o tem, kaj vodarstvo sploh je.

Torej bi o slovenski politiki upravljanja voda lahko rekli, da jo imamo, celo takšno, ki ustreza sodobnemu času, a je ne uresničujemo, ker se očitno težko »prime« tako političnih struktur kot izobraževalnega

sistema, precejšnjega dela izvajalcev zapisane politike in tudi nevladne scene.

V celotni nacionalni sliki uresničevanja politike upravljanja voda pa je svetlo stran (za nekatere pa težavo) iskati v dejstvu, da je vodna politika v pristojnosti Evropske skupnosti, ki jo skupaj z državami članicami razvija na podlagi najnovejših spoznanj, izkušenj in stanja ter najboljšega razpoložljivega strokovnega znanja tako na področju ekologije, kemije, hidrologije, kot tudi ekonomije in družbenih ved, v zadnjem času pa tudi zadnjih spoznanj o spremembah podnebja. Na ravni Evropske komisije je politika do voda ena najpomembnejših na področju okolja (mimogrede, vodi jo slovenski komisar, ki verjetno zardeva ob vlogi Slovenije v tem procesu), kar je kljub finančni krizi Evrope zaznati tudi v proračunu ES, saj je za naslednje finančno obdobje namenila za naravne vire največji del proračunskih sredstev.

Desetletnica uveljavitve zakona bi zaradi opisane stanja morala biti izziv za kritični pregled in analizo njegovega uresničevanja, predvsem pa za razmislek, kako naprej. Pri tem je rezultate izvajanja zakona ocenjevati predvsem z vidika doseganja ciljev kot tudi z vidika pogojev za njegovo učinkovito uresničevanje.

Kritičen pregled zakona bi lahko začeli z ugotovitvijo, da je zakon o vodah prinesel v slovenski prostor veliko sprememb, pomenil je velik preskok iz ozkega okvira vodnega gospodarstva, ki je obravnavalo predvsem urejanje voda z namenom zagotavljanja varstva pred poplavami, v široko zgodbo »upravljanja voda«. Zakon je torej postavil tradicionalno »vodarstvo« v povsem novo luč in postavil politiko, upravitelje voda in vodarsko stroko pred povsem nove izzive - kako v javno korist upravljati naravne vodne vire, vodni prostor in njegove vrednote na celostni in trajnostni način.

Poleg celostnosti obravnave problematike vseh voda – torej kakovosti, rabe in urejanja je zakon določil tudi cilje, inštrumente za doseganje ciljev ter za posamezne vsebinske sklope tudi ciljne parametre. V ta namen je postavil evropsko primerljiv, ciklični sistem načrtovanja upravljanja voda za doseganje ciljne kakovosti voda, ciljne okoljske kakovosti morja ter ustreznega preventivnega zmanjševanja poplavne ogroženosti, kakor tudi drugih oblik škodljivega delovanja voda. Določil je pripravo cikličnih načrtov upravljanja voda, morskih strategij in načrtov zmanjševanja poplavne ogroženosti, z namenom določiti izvedljive in ekonomsko učinkovite ukrepe za rešitev ugotovljenih problemov. Poleg navedenih inštrumentov je zakon določil tudi posebne inštrumente za varstvo naravnih virov, namenjenih pitni vodi, ter inštrumente za varstvo območij naravnih voda namenjenih kopanju.

Prvič je zakon določil vodo in vodni prostor kot naravno javno dobrino ter določil osnovne instrumente za odločanje o njihovi rabi ter določil tudi izhodišča za določitev njihove vrednosti. Na tej podlagi so se pričele podeljevati plačljive vodne pravice in prvič je vodarstvo dobilo lastni vir finančnih sredstev - Sklad za vode po načelu »varstvo in raba naravnega vira se plača«. Žal temu ni sledil tudi razvoj ustreznih ekonomskih instrumentov.

Prvič je zakon v svoj okvir vključil tudi skrb za kakovost voda in se tako posledično spoprijel z viri onesnaženja in njihovimi povzročitelji, ki so bili do sprejetja zakona v domeni »varstvenikov okolja«. Zaradi večje učinkovitosti varstva regionalnih vodnih virov je zakon prenesel pristojnost odločanja o varstvenih režimih pitne vode na državno raven, ravno tako nadzor nad kakovostjo naravnih območij kopalnih voda.

Varstveni režimi voda so tako postali obvezna sestavina prostorskega načrtovanja, njihovo spoštovanje in uresničevanje pa v veliki meri v pristojnosti lokalnih skupnosti in posameznih gospodarskih sektorjev (kmetijstvo, promet, energetika).

Novi zakon je prinesel tudi velike spremembe v do tedaj tradicionalnem poglavju »urejanja« voda. Določil je izhodišča za »urejanje voda«, ki niso namenjena »zagotavljanju« poplavne varnosti, temveč preventivnemu »zmanjševanju« poplavne ogroženosti oziroma širše zmanjševanju ogroženosti vseh vrst škodljivega delovanja voda, poleg tega pa tudi ukrepom za podporo ekološki kakovosti voda in vodnega prostora (izboljšanje hidromorfološkega stanja, ohranjanje in zadrževanje vodnih količin). Pri tem je kot pomemben dosežek zakona treba omeniti določitev metodoloških izhodišč za vrednotenje poplavne nevarnosti v prostoru kot podlag za ustrezno rabo prostora in izhodišč za vrednotenje poplavne ogroženosti kot izhodišča za odločanje o ekonomski upravičenosti načrtovane vodne infrastrukture. S tem se je pričel proces prostorskega vrednotenja »nevarnosti« poplav in plazov kot obvezne vsebine prostorskih načrtov, moral pa bi postati tudi obvezna vsebina prostorskih zbirk podatkov o vodah v vodnem katastru.

Zaradi zagotavljanja uresničevanja zakona je ta dokaj temeljito določil tudi prekrške in kazni zanje in določil celo dve ravni nadzora - preventivno (vodo-varstveni nadzorniki) in prekrškovno (inšpektorji). Žal lahko ugotovimo le, da po desetih letih nobena raven nadzora ne deluje.

Tudi to pomeni razpoloženje dosedanjih odgovornih političnih struktur do uresničevanja zakona.

Če se lotimo še analize rezultatov izvajanja zakona, moramo najprej ugotoviti, da so naloge razdeljene

med osnovno ministrstvo, pristojno za vodenje politike, vključno s pripravo strateških in načrtovalskih dokumentov in nadaljnji razvoj pravnega sistema, Agencijo za okolje ter z zakonom ustanovljenim Inštitutom za vode.

Naloge ožjega ministrstva je v zadnjem desetletnem obdobju narekovala v veliki meri dinamika nastajanja nove zakonodaje na ravni ES, ki je zahtevala prenos v nacionalno zakonodajo kot tudi zakon njenega izvajanja. Aktivnosti so daleč presegale kadrovske zasedbe, a so bile kljub temu le malokrat »tema« obravnave v kabinetu ministra, ne v dobrem ne v slabem.

Posebno poglavje delovanja ministrstva je veljala podpora uresničevanja programa Sklada za vode, kjer je bilo glede na kadrovske pokritosti jasno, da poraba sredstev za graditev vodne infrastrukture glede na cilje zakona ni bila ravno prioriteta. Prioritetna podpora graditvi vodne infrastrukture v sklopu energetskih objektov na Spodnji Savi se je zato raje prenesla na kadrovske močnejše javno podjetje Infra.

Skrajno racionalno je bilo v okviru ministrstva kadrovske zasnovane tudi odločanje o vodnih pravicah. Pri tem se je absolutna prioriteta dajala velikim porabnikom, saj je bil njihov donos v Sklad za vode pomemben, podelitev vodnih pravic pa pogosto tudi predvsem »politično« dejanje. Pri tem je prihajalo do neusklajenega delovanja med ministrstvom in ARSO, kjer se je agencija dušila v birokratskih postopkih za porabnike, ki za finančni priliv Sklada za vode niso pomembni in bi bila že njihova evidenca dovolj. Ampak, to je le eden izmed primerov neusklajenega delovanja obeh nosilnih institucij.

Novi zakon je Agenciji za okolje iz procesa »upravljanja voda« naložil naloge, ki so glede na organizacijo agencije razpršene v posamezne, dokaj samostojno delujoče organizacijske enote: urad za vode - vodenje evidenc vodne knjige in vodnega katastra, vodenje upravnih postopkov (vodnih soglasij in vodnih pravic), zagotavljanje opravljanja javne službe urejanja voda; urad za okolje vodenje okoljevarstvenih dovoljenj, vezanih na vode; urad za monitoring voda – uresničevanje monitoringa voda; urad za meteorologijo in za hidrologijo za spremljanje in vrednotenje meteoroloških in hidroloških podatkov. Vsebinski okvir nalog upravljanja voda se je torej znotraj ARSO tako razširil, da bi vsekakor zahteval razmislek o organizacijskih spremembah ali pa vsaj povezanem delovanju. To se žal ni zgodilo in tudi to je eden izmed razlogov, da se sistem upravljanja voda postavlja veliko težje, kot bi se, če bi navedene službe delovale usklajeno in na enotnih podatkovnih informacijah.

Ker je bilo ob pripravi zakona jasno, da bo uresničevanje zakona zahtevalo velik obseg priprave novih strokovnih podlag za načrtovanje, ki so presegale zasnovani vsebinski okvir Agencije za okolje, je bil z zakonom ustanovljen tudi Inštitut za vode, kot javni zavod, financiran s sredstvi Sklada za vode. Način ustanovitve inštituta je bil za vsebino in obseg naloge, ki so ga čakale, žal premalo ambiciozen, lahko bi tudi rekli neustrezen. Še do danes zato primanjkuje ustreznih in konsolidiranih strokovnih skupin, kar je njegova kritična točka, poleg razumevanja osnovne vloge inštituta v sistemu upravljanja voda, tako s strani MOP kot inštituta samega. Poseben problem inštituta je tudi določanje programskih prioritet, kar poleg vsega zmanjšuje učinkovitost izvajanja programa dela in možnost konsolidacije ustreznih strokovnih skupin. Vsekakor je bilo obdobje od ustanovitve inštituta do danes težavno, dalo je pomembne rezultate, ki pa bi lahko bili boljši, če bi bilo vodenje celotnega sistema upravljanja voda hierarhično jasneje določeno, prilagajanje inštituta (kadrovske in strokovne) novi vlogi pa hitrejše in ustrežnejše.

Posebno poglavje v analizi uresničevanja zakona v obdobju zadnjih deset let je popoln razpad mreže javnih služb urejanja voda, ki bi v povezavi z območnimi izpostavami agencije in njihovimi »inženirji poročij« lahko bilo izhodišče ne samo »urejanja voda«, temveč postopoma tudi »upravljanja voda«. Službe, ki bi predstavljale neposreden stik s problematiko voda na »kraju samem«, so, namesto da bi dobile novo sodobno organizacijsko in vsebinsko strukturo obvezne gospodarske javne službe, torej postale marginalni izvajalci letnih programov, inženirji poročij pa lokalni birokrati. Tako smo izgubili pomembne akterje za zagotavljanje ažurnih informacij in preventivnega delovanja tam, tako in takrat, ko je to potrebno in najbolj učinkovito.

Če z analizo nadaljujemo še pri nosilcih oblasti, lahko ugotovimo le, da so ti svoj maksimum razumevanja področja dosegli s sprejetjem zakona, od tod naprej pa so jih vode le še »motile«, kot kipeči lonec mleka. Razvoj področja na ravni Evropske skupnosti je bil zanje prehiter, preveč obsežen, predvsem pa se je v preveliki meri prelival prek okoljskih in naravovarstvenih vsebin, ki so na nacionalni ravni veljale za nekaj več kot pa »graditeljsko« vodnogospodarstvo. Politika preprosto ni dojela velike spremembe, ki sta jo prinesla novi zakon in kasnejša Skupna vodna politika Evropske skupnosti, zato je bilo nelagodje politike do »kipečih«, vedno novih vsebin veliko. Čeprav je zakon jasno opredelil glavne vsebinske stebre upravljanja voda, načrtovalske, upravne in izvajalske naloge ter njihovo povezanost za zagotavljanje doseganja ciljev zakona, pa organizacijske in kadrovske postavitev temu niso primerno sledile. Organiziranost še danes ne ustreza ne po hierarhični verti-

kali, saj je stik z ministrom prešibak, ne po horizontali. Taka, kot je, ne zagotavlja usklajevanja prioritet med ožjim ministrstvom, ARSO-m ter Inštitutom za vode, povezljivosti podatkov in programov dela, pri tem pa trpita tako učinkovitost kot kakovost.

Posledica neustreznega odnosa politike do voda pa se kaže tudi v tem, da danes po desetih letih sprejetja zakona na nosilnem ministrstvu, torej glavnem nosilcu politike, ne obstaja več niti minimalna kritična masa strokovnjakov, ki bi poznali, razumeli, kaj šele verjeli v zapisano politiko. To nikakor ni dobra popotnica za nadaljnji razvoj področja, v razmerah združevanja ministrstva za okolje z ministrstvom za kmetijstvo pa še posebej ne.

Če temu dodamo, da so pri tem precejšnjo vlogo odigrali tudi vodarski akademski krogi (so tudi izjeme!), saj so s svojo nepripravljenostjo za vključevanje v sodobne procese upravljanja voda, ki prinašajo širino in multidisciplinarnost, ne le škodovali razvoju sodobnih znanj upravljanja voda, marveč zamudili tudi priložnost lastnega razvoja in argumentiranega vpliva na politiko. Strokovni krogi na katedri za vodarstvo so zakon in novo dimenzijo upravljanja voda sprejeli le kot „nujno zlo“, nikakor ne kot nov razvojni potencial. Le tako je lahko razumeti, da v desetih letih od sprejetja zakona nobena izmed novih vsebin »upravljanja voda« ni našla prostora v učnih načrtih katedre za hidrotehniko in komunalno inženirstvo.

ZAKLJUČEK

Kljub naštetim pomanjkljivostim in težki prehojeni poti od uveljavitve pred desetimi leti sistem »upravljanja voda« danes temelji na solidnih pravnih in strokovnih podlagah, vendar na nekoliko šibkih izvedbenih dokumentih. Kažejo se že pozitivni kazalci pri izboljševanju stanja voda, napredek pri vzpostavljanju režimov varstva voda, pri preventivnem zmanjševanju škodljivega delovanja voda, tudi pri urejanju pravic za rabo vode se je začel pozitiven proces. S postavljanjem strokovnih osnov za ugotavljanje »pomembnih« problemov upravljanja voda ter načrtovanjem stroškovno učinkovitih ukrepov za doseganje ciljev zakona so šli narejeni koraki v pravo smer. Proces pa bo treba nadaljevati na strokoven, a izvedljiv način in biti pri tem pazljiv, da se posamezne aktivnosti ne začnejo razvijati same sebi v namen, brez prave dodane vrednosti za sam proces upravljanja voda.

Strokovni in upravni rezultati bi bili lahko še boljši, če bi bili pristojni politiki pripravljeni področju nameniti vlogo, ki si jo zasluži, izboljšati organiziranost in skrb za strokovnost kadrov, predvsem pa se do področja vesti odgovorno in se z njim seznaniti, preden ga začnejo »voditi«. Upravljanje voda je, ne glede na pripravljenost političnih struktur, precej večja zgodba, kot se zdi na prvi pogled.

Kakšni bodo nadaljnji rezultati uresničevanja zapisane vodne politike, bomo videli. Žal v Sloveniji ni izoblikovanih resnih civilnih struktur, ki bi na naslednjo lahkotnost političnega odločanja lahko vplivale argumentirano, in tudi to je eden izmed rezultatov uresničevanja sicer dobro zapisane politike.

HIDRAVLIČNO MODELIRANJE PRETOČNIH KRIVULJ VODOMERNIH POSTAJ

viš.pred.dr. Leon Gosar, univ.dipl.inž.gradb., Inštitut za vode Republike Slovenije in Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem,
Miha Šupek, univ.dipl.inž.gradb., Agencija Republike Slovenije za okolje,
Tina Mazi, univ.dipl.inž.gradb., Inštitut za vode Republike Slovenije

POVZETEK

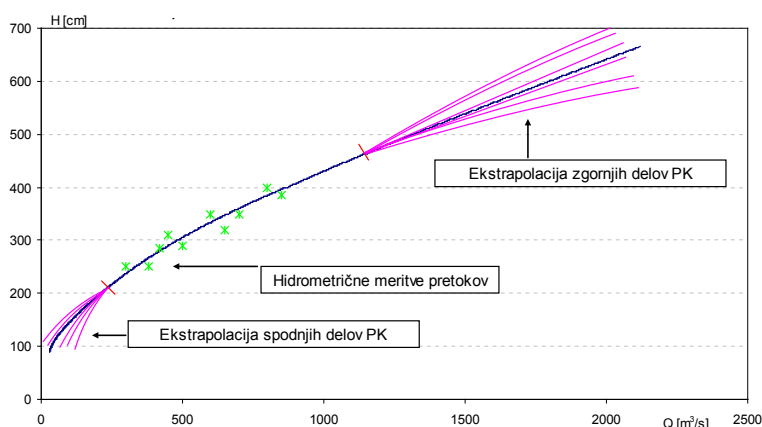
Pretočne krivulje vodomernih postaj predstavljajo osnovne podatke, ki jih načrtovalci uporabljamo za analizo pretočnih razmer v vodotokih in njihovih vplivnih območjih. Le-te so rezultat periodičnih meritev v območju nizkih in srednjih pretokov, v območju višjih pretokov pa so pretočne krivulje ekstrapolirane. Hidravlično modeliranje pretočnih krivulj vodomernih postaj lahko izboljša zanesljivost pretočnih krivulj, saj umerimo hidravlični model na merjenih podatkih gladin v območju srednjih in višjih pretokov širšega območja vodomerne postaje, nato pa izdelamo pretočno krivuljo za širši nabor pretočnih razmer, ki jih meritve niso zajele. Prispevek prikazuje metodo ekstrapolacije s hidravličnim modelom in preverbo pretočne krivulje vodomerne postaje Litija I in Radeče.

ABSTRACT

Discharge gauge rating curves present basic data for designers to analyse flow in streams and impact areas. Rating curves are gained by periodical flow measurements in the range of low and medium discharges, while in the range of high discharges they are extrapolated. Hydraulic modelling of discharge gauge rating curves can improve their certainty since hydraulic model is calibrated for a wide range of medium and high discharges and finally designs a rating curve in the field of values for which measurement data do not exist. This paper presents extrapolation methodology and verification of rating curves for Litija I and Radeče discharge gauges on the Sava River.

1. UVOD

V okviru monitoringa površinskih voda Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) meri pretake za celotno mrežo vodomernih postaj na površinskih vodotokih. V enem letu na vsaki vodomerni postaji opravijo približno šest meritev, ki so osnova za konstrukcijo pretočnih krivulj. Za vsako posamezno vodomerno postajo so izdelane pretočne krivulje, ki prikazujejo zvezo med gladino vode v vodotoku in pretokom ter omogočajo transformacijo zabeleženih višin vode v pretoke. Večina hidrometričnih meritev je opravljena v spodnjem in srednjem območju pretočnih krivulj, se pravi za nizke in srednje pretoke. Za določitev zgornjega dela pretočnih krivulj pa je navadno na voljo zelo malo kvalitetnih hidrometričnih meritev. Vzrokov za pomanjkanje takšnih podatkov je lahko več, najpogostejše pa je v tem, da je pojav visoke vode težje »ujeti«, saj na nekaterih vodotokih visokovodni val zelo hitro upade, razmere, ki prevladujejo ob nastopu visokih voda, pa so za merilce lahko tudi smrtno nevarne, zato meritev ekstremnih pretočnih dogodkov dostikrat sploh ni možno opraviti. Zato je v osrednjem delu pretočnih krivulj navadno na voljo zadostno število meritev, za ekstremne vrednosti (ekstremno visoki oziroma ekstremno nizki pretoki) pa je zaradi pomanjkanja podatkov treba opraviti ekstrapolacijo (slika 1).



Slika 1: Shematski prikaz ekstrapolacije pretočne krivulje.

Za določitev zgornjega dela pretočnih krivulj se lahko uporabljajo ekstrapolacijski izračuni, kjer se najpogosteje uporablja metoda ekstrapoliranja srednje hitrosti. Srednje hitrosti se preračunajo na podlagi merjenih površinskih hitrosti iz razmerij, ki se dobijo že pri nižjih višinah vode. Površinske hitrosti se namreč merijo tudi pri nižjih višinah, zato obstajajo določene relacije s srednjimi hitrostmi. Na podlagi izmerjenega prečnega profila (odnos višina – površina je znan) lahko izračunamo z upoštevanjem ekstrapolirane srednje hitrosti relacijo višina – pretok tudi za višje višine vode. Prednost omenjenega načina ekstrapolacije je, da poznavanje (določanje) hrapavosti vodomernega profila n_g ni potrebno, vendar pa tega načina ekstrapolacije ni možno uporabiti v primeru, kadar se ob visokih vodah vzpostavi tok tudi po inundacijah.

Drug način ekstrapolacije pretočnih krivulj je z uporabo matematičnega modela za simulacijo visokih pretokov. To je edina metoda, kjer tudi za mirni tok upoštevamo merodajne pretočne razmere dolvodno od vodomerne postaje. Ta metoda tudi zajame ob visokih vodah vpliv toka po inundacijah. Zahteve te metode so dovolj natančne geodetske izmere, meritve pretokov ter meritve poteka gladin na širšem odseku vodomerne postaje. Osnovni predpogoj za uspešno modeliranje hidravličnih razmer je dobro umerjen hidravlični model s pomočjo rekonstrukcije prejšnjih dogodkov. V hidravličnem modeliranju poplavnih razmer to pomeni, da je v času pojava poplav treba zabeležiti višinske kote visokih vod ter izmeriti pretoke. Večja ko sta število in časovna razporejenost izmerjenih dogodkov, natančneje lahko simuliramo pretekli dogodek in posledično bolje umerimo hidravlični model. Ko imamo podatke o izmerjenih gladinah in pretokih, jih modeliramo v hidravličnem modelu. Ker imamo v tem primeru znan podatek o pretoku, model umerimo s pomočjo spreminjanja koeficienta hrapavosti ter ga spreminjamo tako dolgo, dokler se izmerjene in izračunane gladine ne ujemajo.

V nadaljevanju je prikazana uporaba hidravličnega modeliranja za vodomerni postaji Litija I in Radeče. Za vodomerno postajo Litija I je bila pretočna krivulja ekstrapolirana na podlagi hidravličnega modela, umerjenega s podatki ADMP-merilnika pretokov (poglavje 2) in nato preverjena korigirana pretočna krivulja z umerjenim hidravličnim modelom visokovodnih razmer, ki so nastale 2.11.1990 (poglavje 4). Hidravlični model vodomerne postaje Radeče (poglavje 3) je bil izdelan za preučitev visokovodnih razmer 2.11.1990, saj nista bila znana pretok in višina gladine, z izvedbo fizičnega modela Save na območju Krškega (l. 2008) pa so bili določeni maksimalni pretoki Save visokih vod 2.11.1990, ki so bistveno presežali doslej upoštevane vrednosti pretoka Save za ta dogodek.

2. KONTROLA PRETOČNE KRIVULJE S POMOČJO HIDRAVLIČNEGA MODELA ZA VODOMERNO POSTAJO LITIJA I

Metoda ekstrapolacije pretočne krivulje je predstavljena na primeru vodomerne postaje Litija I na reki Savi, kjer so bile opravljene hidrometrične meritve z ADCP-merilno opremo, ki omogoča izvedbo meritev pri višjih pretočnih razmerah, kar s klasičnim hidrometričnim krilom ni možno. Hidrometrične meritve so nakazovale možnost, da pretočna krivulja pri višjih vodah daje podcenjene vrednosti pretokov.

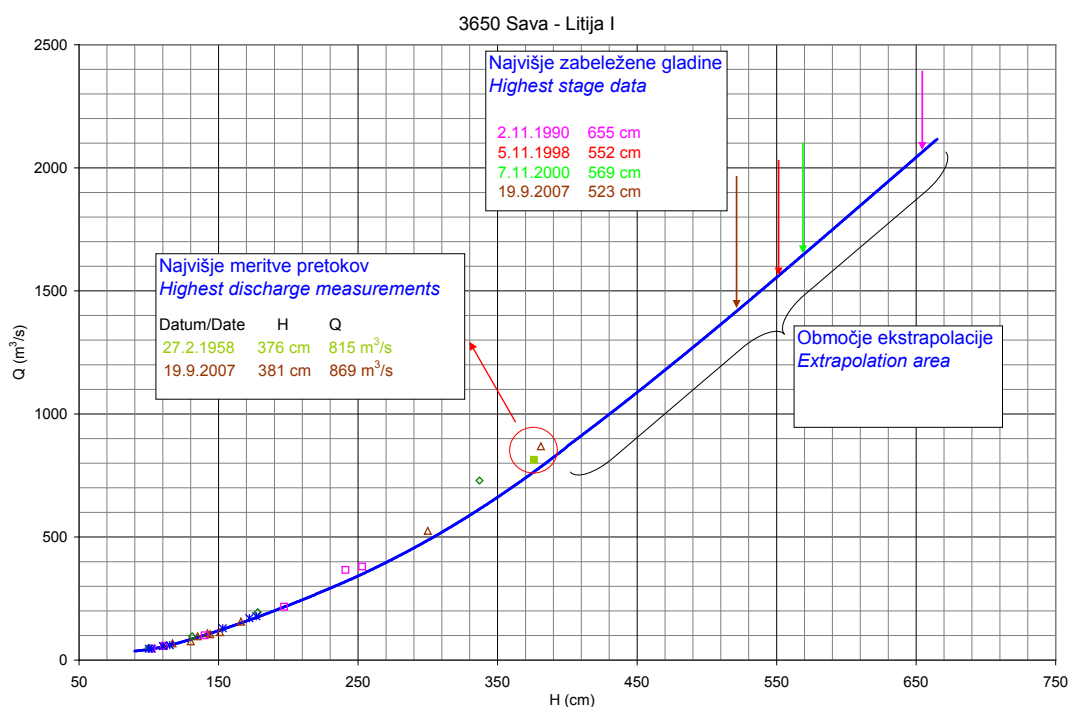
2.1 Podatki

Za izdelavo hidravličnega modela na območju vodomerne postaje Litija I je bil izbran rečni odsek dolvodno od vodomerne postaje v dolžini 5 km z devetimi izmerjenimi prečnimi profili. Zaradi predhodno predpostavljene režima mirnega toka je bilo treba v simulaciji definirati spodnji robni pogoj, ki ga ponazarja podatek o znani višinski koti gladine Save v dolvodnem profilu odseka, zato je bil tam dodatno nameščen podatkovni zapisovalnik za beleženje višine vode. Na sliki 2 je prikazana v letu 2006 veljavna pretočna krivulja PK46 skupaj s točkami hidrometričnih meritev.

V obravnavanem obdobju (leta 2006 in 2007) je bil zabeležen le en visokovodni dogodek 19. 9. 2007 na vodomerni postaji Litija I z maksimalno višino vode 523 cm. Za celotno preostalo obdobje leta 2006 in 2007 je bilo ugotovljeno, da vse druge višine vode ustrezajo srednjim oziroma nizkim višinam vode brez izrazitega povišanja. Ob pojavu visoke vode v septembru 2007 so bile označene tudi sledi maksimalne gladine v vseh izbranih prečnih profilih, s čimer so bili dobljeni izredno pomembni podatki za umerjanje modela.

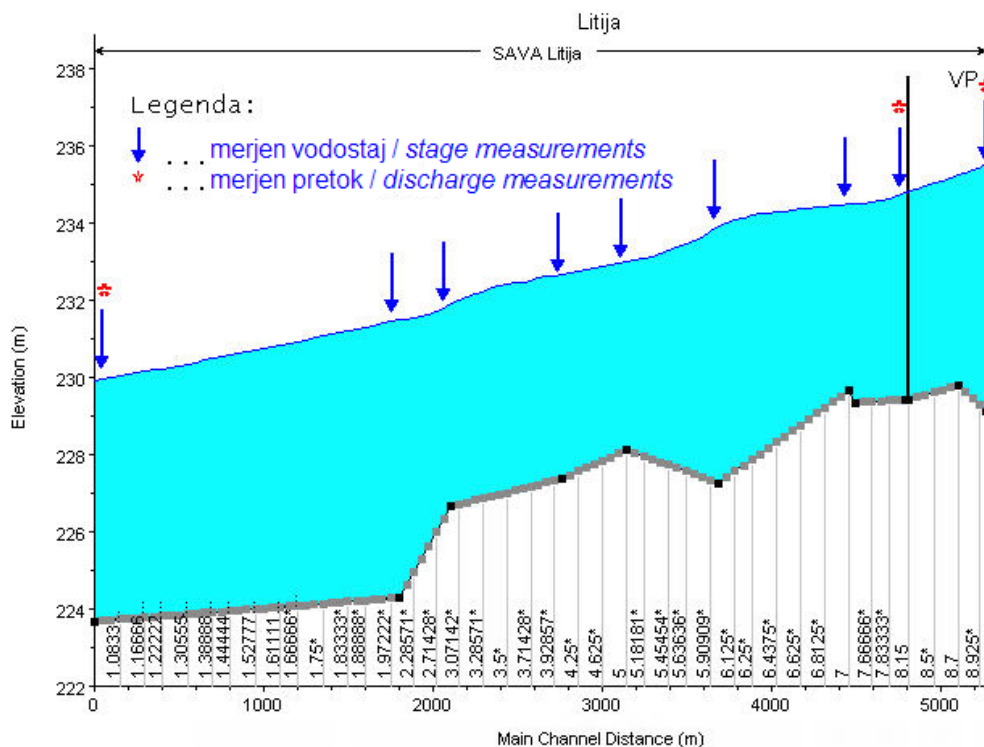
2.2 Hidravlična presoja

S hidravličnim modelom HEC-RAS je preverjen zgornji del pretočne krivulje za vodomerno postajo Litija I, ki predstavlja večje pretočne količine. Umerjanje modela je bilo opravljeno s postopnim spreminjanjem koeficientov hrapavosti v posameznih prečnih profilih. Na obravnavanem odseku so se namreč v letih 2006 in 2007 opravljale hidrometrične meritve pretokov, podatki o koeficientih hrapavosti pa so bili izbrani tako, da so se preračunane gladine ujemale z izmerjenimi na terenu.



Slika 2: Primer pretočne krivulje št. 46 za vodomerno postajo Litija I.

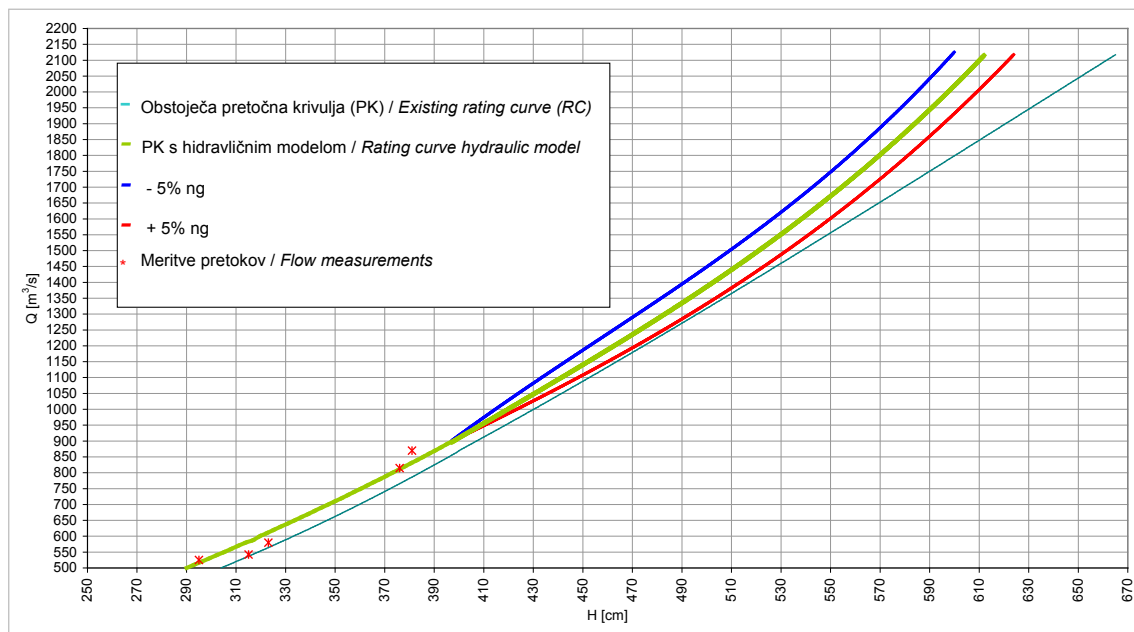
Najvišji pretok reke Save 1.400 m³/s je bil določen pri višini 523 cm 19. septembra 2007. Za višje gladine nimamo podatka o pretoku vode v dolvodnem profilu, zato je za te pretoke treba upoštevati nov spodnji robni pogoj, ki je podan s povprečnim padcem energijske črte. Padec je določen s pomočjo rezultatov hidravličnega izračuna za pretoke do 1.400 m³/s (slika 3), kjer je kot povprečni padec energijske črte na obravnavanem odseku dobljena vrednost 0.8 ‰. S to vrednostjo, če predpostavimo paralelen dvig gladine, so nato simulirani drugi višji pretoki. Na sliki 4 so vse pretočne krivulje izrisane le od pretoka 500 m³/s naprej, saj so krivulje v spodnjem delu do tega pretoka enotne in dostikrat preverjene z zadostnim številom meritev.



Slika 3: Vz dolžni prerez obravnavanega območja pri pretoku $Q = 1.400 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pretočna krivulja, dobljena s pomočjo hidravličnega modela (slika 4), kaže na večjo pretočnost kot obstoječa (statistično) ekstrapolirana pretočna krivulja ARSO, saj imamo enak pretok skozi prerez pri nižjem stanju vode in obratno, pri enakem stanju vode imamo večji pretok skozi obravnavani prečni prerez. Iz slike 4 je tudi razvidno, da se v območju okrog višine vode 300 cm krivulji med sabo razlikujeta za približno 10 %, medtem ko se od višine vode 550 cm naprej modelska pretočna krivulja še bolj odmakne od obstoječe ekstrapolirane pretočne krivulje. Tako imamo pri višini 550 cm razliko med pretoki približno 8 %, medtem ko znaša razlika med pretokoma pri višini 610 cm že 12 %.

Zaradi dejstva, da je umerjanje modela opravljeno z izbiranjem koeficienta hrapavosti ter možnih napak zaradi netočnosti geodetskih podatkov, je bila napravljena tudi analiza občutljivosti koeficienta hrapavosti (slika 4) s 5% povečanjem in zmanjšanjem osnovnih umerjenih vrednosti koeficientov.



Slika 4: Primerjava obstoječe pretočne krivulje s krivuljo, dobljeno s pomočjo hidravličnega modela. Prikazana sta tudi primera s 5% povečanjem in zmanjšanjem koeficienta hrapavosti n_G .

2.3 Ugotovitve

Iz rezultatov simulacij za vodomerno postajo Litija I je razvidno, da pretočna krivulja za maksimalne pretoke tudi pri 5-odstotnem povečanju koeficienta hrapavosti ne doseže obstoječe pretočne krivulje. Pretočna krivulja zato dejansko prikazuje manjšo pretočnost pri enaki višini vode. V primeru višine 550 cm daje pretočna krivulja ARSO vrednost pretoka $1.556 \text{ m}^3/\text{s}$, medtem ko dajejo pretočne krivulje hidravličnega modela vrednosti med $1.600 \text{ m}^3/\text{s}$ (5% povečanje n_G) in $1.750 \text{ m}^3/\text{s}$ (5% zmanjšanje n_G), kar pomeni razliko v pretočnih krivuljah med 3 % in 12 %. Z višanjem gladine se te razlike še povečujejo, saj imajo pretočne krivulje med seboj drugačen potek ukrivljenosti. Zaradi boljšega upoštevanja oblike prečnega prereza je namreč pri krivulji, dobljeni s hidravličnim modelom, opazna rahla ukrivljenost krivulje v zgornjem delu, medtem ko je potek obstoječe pretočne krivulje skoraj linearen (slika 4). Pri maksimalnem upoštevanem pretoku $2.100 \text{ m}^3/\text{s}$ je po pretočni krivulji ARSO dosežena višina vode 663 cm, s pretočnimi krivuljami hidravličnega modela pa le 624 cm oziroma 599 cm, kar v povprečju znaša približno 50 cm razlike v gladini pri istem pretoku.

Na podlagi dobljenih rezultatov hidravličnega modela je za vodomerno postajo Litija I na Savi leta 2008 napravljena korekcija zgornjega dela pretočne krivulje.

3. HIDRAVLIČNI IZRAČUN VISOKIH VOD NA OBMOČJU VODOMERNE POSTAJE RADEČE

Agencija Republike Slovenije za okolje je v preverjanjih hidroloških količin za v.p. Radeče ugotovila, da je prišlo pri beleženju konice visokovodnega vala leta 2.11.1990 do določenih težav, kajti zabeležena maksimalna gladina naj ne bi ustrezala dejanskemu stanju. Zato se je pokazala potreba po podrobnejši hidravlični analizi visoke vode reke Save na območju vodomerne postaje Radeče.

Z izvedenim fizičnim modelom reke Save na območju Krškega (I. 2008) je bil ugotovljen maksimalni pretok visokovodnega dogodka 2.11.1990 $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$, kar se bistveno razlikuje od podatka takratnega Hidrometeorološkega zavoda, objavljenega v Hidrološkem poročilu za leto 1990 za najbližjo gorvodno vodomerno postajo, tj. vodomerno postajo Radeče ($2.991 \text{ m}^3/\text{s}$). Upoštevajoč možen dotok med vodomerno postajo Radeče in Krškim, ki se za leto 1990 ocenjuje na ca. $90 \text{ m}^3/\text{s}$, naj bi bil potem realni pretok v območju vodomerne postaje Radeče ca. $3.900 \text{ m}^3/\text{s}$, kar je skoraj $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ več od tedaj veljavnega uradnega podatka.

To še dodatno potrjuje potrebo po ponovnem kritičnem vrednotenju pretočnih količin reke Save v profilu vodomerne postaje Radeče v času visokih vod 2.11.1990, saj vse verjetnostne analize visokih vod na reki Savi med izlivom Savinje in Krke temeljijo predvsem na podatkih omenjene vodomerne postaje.

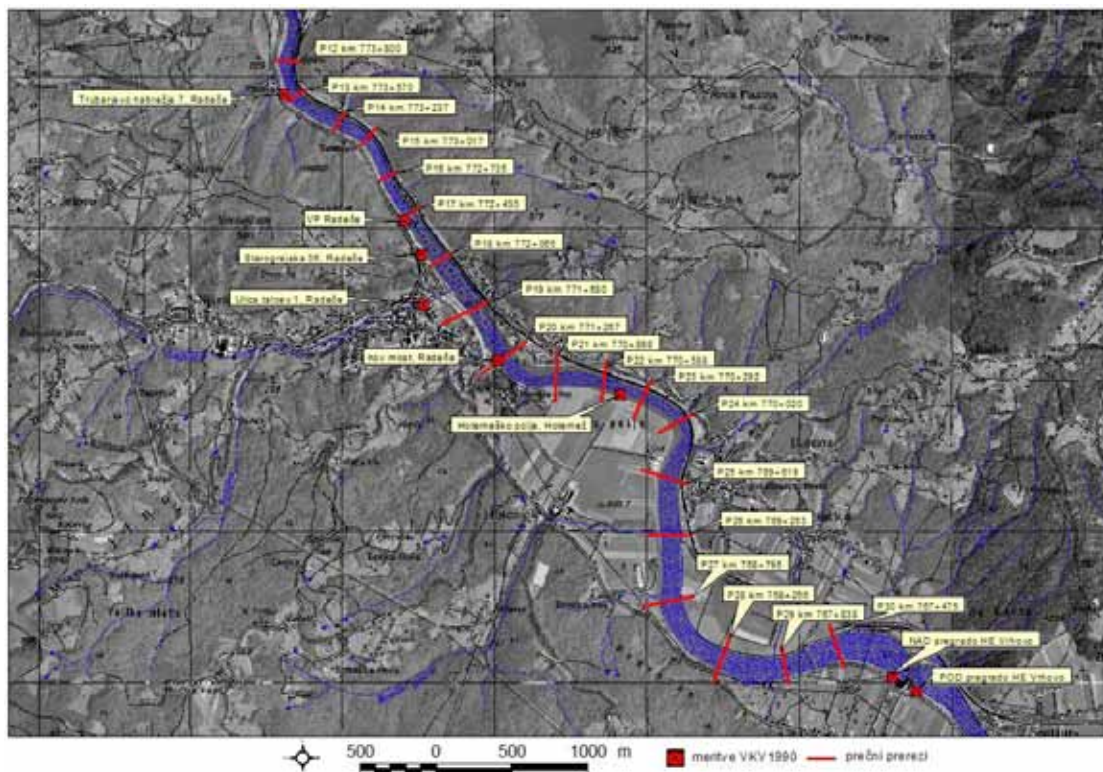
S hidravličnim modelom v območju vodomerne postaje Radeče je bilo treba poiskati verjeten pretok visokovodnih razmer 2.11.1990 glede na merjene sledi maksimalne gladine vode dolvodno in gorvodno od vodomerne postaje Radeče, pri čemer je bil podatek o višini gladine na vodomerni postaji Radeče zanemarljiv zaradi nezanesljivosti meritve.

3.1 Podatki

Geometrijski podatki

Za hidravlični izračun visokih voda so uporabljeni razpoložljivi prečni prerezi reke Save iz leta 1981. Visokovodni dogodek 2.11.1990 se je zgodil tri leta pred obratovanjem HE Vrhovo, v vmesnem času pa niso bile opravljene geodetske meritve obravnavanega odseka reke Save. Geodetske meritve, izvajane po začetku obratovanja HE Vrhovo, niso merodajne za hidravlično presojo visokovodnega dogodka 2.11.1990, saj vpliv zajeze HE Vrhovo sega gorvodno od lokacije vodomerne postaje Radeče, kar je povzročilo nalaganje sedimentov na območju obravnavanega odseka. Kljub temu da so uporabljeni prečni prerezi posneti 9 let pred visokovodnim dogodkom, predstavljajo edine uporabne geometrijske podatke za hidravlično presojo, vendar je treba rezultate obravnavati z nedoločeno mero napake zaradi sprememb v geometriji.

Obseg hidravličnega modela je od prečnega prereza P12 do prečnega prereza P30 oziroma od Trubarjevega nabrežja gorvodno od Radeč do ca. 100 m gorvodno od pregrade HE Vrhovo. Dolžina celotnega odseka je 6.325 m. Opazovani del odseka vodotoka je več kot 3.000 m gorvodno od spodnjega prečnega prereza, kar je ugodno za hidravlični račun, saj morebitna napaka določitve spodnjega robnega pogoja minimalno vpliva na gladinsko stanje opazovanega odseka. Situacija prečnih prerezov je prikazana na sliki 5.



Slika 5 Situacija prečnih prerezov vodomerne postaje Radeče

Hidrološki podatki

Na podlagi pridobljenih hidroloških podatkov (ARSO) so s hidravličnim modelom preverjene naslednje pretočne količine za visokovodni dogodek 2.11.1990 na vodomerni postaji Radeče:

- 2.991 m³/s – pretok po prvotni pretočni krivulji;
- 3.520 m³/s – korigirani pretok iz leta 2008;
- 3.620 m³/s – preizkus ujemanja pretočne krivulje in hidravličnega modela ob 100 m³/s večjem korigiranem pretoku;
- 3.720 m³/s – preizkus ujemanja pretočne krivulje in hidravličnega modela ob 100 m³/s večjem korigiranem pretoku;
- 3.550 m³/s – preizkus ujemanja pretočne krivulje in hidravličnega modela kot končni rezultat ujemanja pretočne krivulje in hidravličnega modela;
- 3.850 m³/s – verjeten pretok na vodomerni postaji Radeče, če je pretok v Krškem okoli 4.000 m³/s.

Robni pogoji

V hidravlični presoji so bili uporabljene zabeležene maksimalne višine vode visokovodnega dogodka 2.11.1990. Nekatere zabeležene višine so bile izločene, saj so bile v vplivnem območju pritokov, npr. Sopote, ali pa višine vode ni bilo mogoče umeriti oz. bi vrednosti hidravlične hrapavosti za doseganje takšnega stanja gladine pomenile izrazit odklon od vrednosti, ki jih navaja literatura. Iz pridobljenih podatkov je bilo razvidno, da višina vode na vodomerni postaji Radeče ni znana oz. je bila višina 193,35 m.n.m., ki se je uporabljala, izračunana na podlagi presečišča dveh linearnih premic gladin dolvodno in gorvodno od vodomerne postaje Radeče.

3.2 Hidravlična presoja

Hidravlična presoja vodomerne postaje Radeče pomeni reševanje problema nedoločenega sistema neznank, saj je potrebna presoja treh količin (gladine, pretoka in energijske izgube, izražene s koeficientom hrapavosti n_g), kar pomeni, da ni bilo mogoče eksplicitno slediti zadani nalogi oz. iskanim pretočnim količinam. Kljub temu je bilo možno presoditi nekatere pretočne količine in z njimi določiti hidravlične parametre in verjetne višine vode na vodomerni postaji Radeče s širšim naborom hidravličnih modelov.

V vseh hidravličnih modelih je uporabljen stalni neenakomerni tok, le v enem hidravličnem modelu (H7) tudi nestalni neenakomerni tok, ker izkušnje kažejo, da se pri uporabi simulacije nestalnega toka pretočne količine ob enaki višini vode povečajo. Uporabljena je oblika zabeleženega hidrograma t-Q visokovodnega dogodka med 1.11. in 5.11.1990, pretoki pa so iteracijsko povečani do ujemanja z merjenimi točkami.

Z izbranimi prečnimi prerezi je bil izdelan enodimenzionalni hidravlični model s programom HEC-RAS. Za hidravlično presojo visokovodnega dogodka 2.11.1990 je bilo izdelanih 27 različnih hidravličnih modelov, v prispevku pa prikazujemo le 10 karakterističnih hidravličnih modelov. Hidravlična presoja visokih voda 2.11.1990 na odseku reke Save za vodomerno postajo Radeče obsega naslednje hidravlične modele s karakterističnimi podatki:

- **H1....Presoja pretoka $Q_{1990}=2.991 \text{ m}^3/\text{s}$** , umerjanje koeficientov hrapavosti n_g vseh merodajnih zabeleženih višin vode za doseganje (prvotne) višine na prerezu **VP Radeče 192,92 m.n.m.** (P17).
- **H2....Presoja pretoka $Q_{1990}=2.991 \text{ m}^3/\text{s}$** , umerjanje koeficientov hrapavosti n_g vseh merodajnih zabeleženih višin vode za doseganje (popravljen – ocena ARSO) višine na prerezu **VP Radeče 193,35 m.n.m.** (P17).
- **H3....Presoja pretoka $Q_{1990}=2.991 \text{ m}^3/\text{s}$** , umerjanje koeficientov hrapavosti n_g vseh merodajnih zabeleženih višin vode v prečnih prerezi, vendar **brez VP Radeče**.
- **H4....Presoja pretoka $Q_{1990}=3.850 \text{ m}^3/\text{s}$** , umerjanje koeficientov hrapavosti n_g vseh merodajnih zabeleženih višin vode v prečnih prerezi, vendar **brez VP Radeče**.
- **H5....Presoja pretoka Q_{1990}** z uporabo srednjih vrednosti (iz literature) koeficientov hrapavosti n_g na vseh merodajnih zabeleženih višinah vode v prečnih prerezi, vendar **brez VP Radeče**.
- **H6....Presoja pretoka $Q_{1990}=3.520 \text{ m}^3/\text{s}$** , umerjanje koeficientov hrapavosti n_g vseh merodajnih zabeleženih višin vode v prečnih prerezi, vendar **brez VP Radeče**.
- **H7....Presoja pretoka Q_{1990} s simulacijo nestalnega neenakomerne toka** prirejene pretočne krivulje visokovodnega dogodka 2.11.1990, uporabljeni koeficienti hrapavosti n_g iz hidravličnega modela H6.
- **H8....Presoja pretoka $Q_{1990}=3.620 \text{ m}^3/\text{s}$** , umerjanje koeficientov hrapavosti n_g vseh merodajnih zabeleženih višin vode v prečnih prerezi, vendar **brez VP Radeče**. Hidravlična analiza pretočne krivulja PK25 v prečnem prerezu VP Radeče (P17).
- **H9....Presoja pretoka $Q_{1990}=3.720 \text{ m}^3/\text{s}$** , umerjanje koeficientov hrapavosti n_g vseh merodajnih zabeleženih višin vode v prečnih prerezi, vendar **brez VP Radeče**. Hidravlična analiza pretočne krivulja PK26 v prečnem prerezu VP Radeče (P17).

- **H10....Presoja pretoka $Q_{1990}=3.550 \text{ m}^3/\text{s}$** , umerjanje koeficientov hrapavosti n_g vseh merodajnih zabeleženih višin vode v prečnih prerezih, vendar **brez VP Radeče**. Hidravlična analiza pretočne krivulja PK28 v prečnem prerezu VP Radeče (P17).

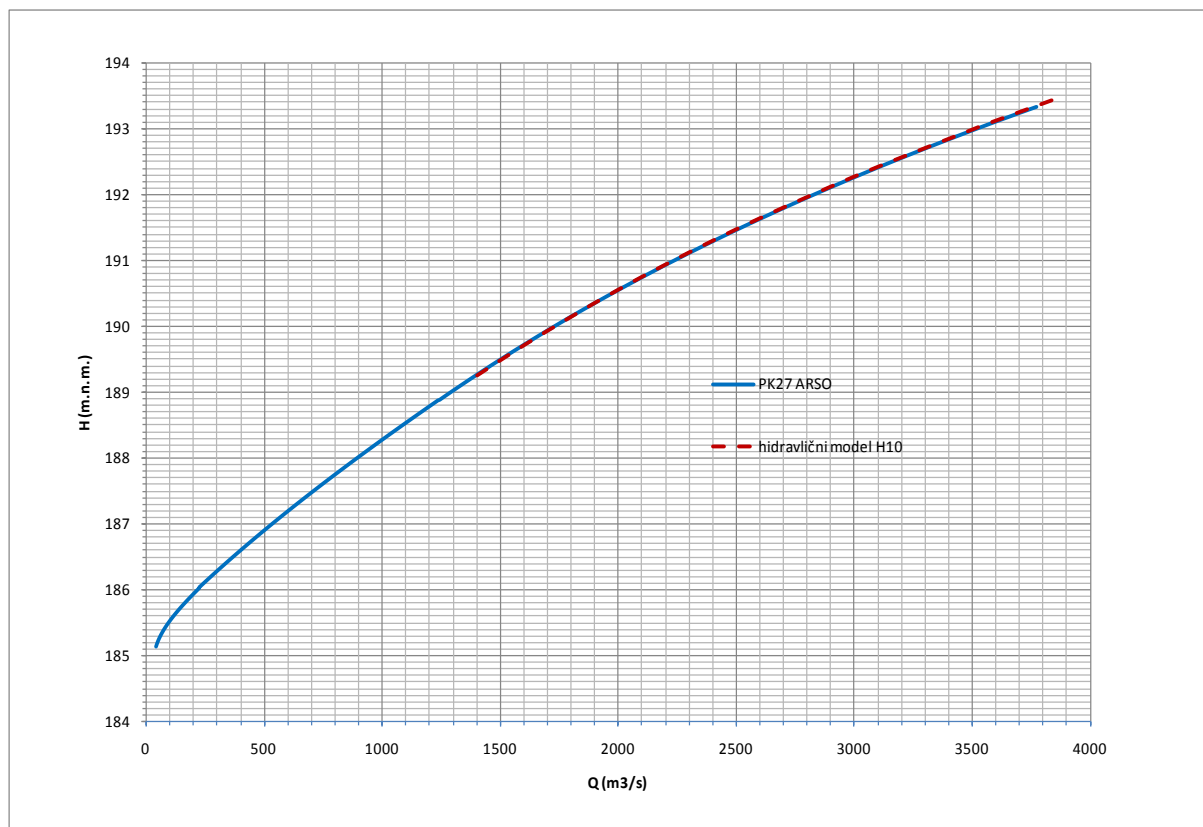
V naravi se hrapavost struge v splošnem spreminja tako vzdolž odseka kot tudi prečno po posameznem prečnem prerezu. Natančne vrednosti koeficientov n_g pa so neznane. V obravnavanih modelih je bilo predpostavljeno, da so koeficienti n_g različni za strugo in različni za brežine od srednjega letnega pretoka z morebitno pripadajočo poplavno površino. Pri umerjanju matematičnega modela je bilo s prilagajanjem vrednosti koeficientov hrapavosti n_g doseženo, da je izračunana gladina v obravnavnem prečnem prerezu pri danih robnih pogojih enaka izmerjeni vrednosti na pripadajočem merskem mestu na terenu. Tako je izračunani vzdolžni prerez gladin podoben dejanskemu, čeprav na odsekih med merskimi mesti dejanska gladina lahko izkazuje nekoliko drugačno dinamiko od izračunane.

3.3 Ugotovitve

Predhodno je bilo že poudarjeno, da je bil osnovni namen ugotoviti, kaj pomenita v profilu vodomerne postaje Radeče pretok $2.991 \text{ m}^3/\text{s}$ (uradni podatek iz hidrološkega poročila za leto 1990) in pretok $3.850 \text{ m}^3/\text{s}$ (prenos pretoka $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$ iz fizičnega hidravličnega modela za Krško v Radeče).

Rezultate širokega nabora hidravličnih modelov lahko strnemo v naslednje ugotovitve:

1. Hidravlični modeli H1, H2 in H3 lahko negirajo pravilnost pretočne krivulje, ki izkazuje pretok $2.991 \text{ m}^3/\text{s}$ na vodomerni postaji Radeče ob nastopu visokovodnega vala 2.11.1990, in nakazujejo, da je bil pretok višji.
2. Hidravlični model H4 izkazuje ob upoštevanju možnega razpona koeficientov hrapavosti možnost pretoka $3.850 \text{ m}^3/\text{s}$ pri višini vode $192,95 \text{ m n.m.}$, kar pa je nižja višina, kot nastane pri nižjih pretokih. Vzrok je povečana depresija gladine ob povečevanju pretoka zaradi negativnega naklona gladine na mestu vodomerne postaje Radeče.
3. Upoštevajoč zaključke hidravličnih modelov H1, H2, H3 in H4 je verjetno, da je bil dejanski maksimalni pretok visokovodnega vala s konico 2.11.1990 nekje vmes med prej omenjenima pretokoma.
4. Hidravlični model H5 s sintetičnim pristopom, pri katerem je bila upoštevana srednja vrednost koeficientov hrapavosti (po literaturi), daje z ujemanjem merskih točk Save na območju Radeč znotraj 10 cm pretok cca. $3.600 \text{ m}^3/\text{s}$.
5. Ob upoštevanju korigiranega pretoka ARSO za vodomerno postajo Radeče iz $2.991 \text{ m}^3/\text{s}$ na $3.520 \text{ m}^3/\text{s}$ (na osnovi opravljene hidrološke analize in upoštevanjem novelirane pretočne krivulje za vodomerno postajo Litija) ter nove pretočne krivulje PK23 za vodomerno postajo Radeče je hidravlični model H6 potrdil verjetno pravilnost pretočne krivulje in dobro ujemanje do pretoka $2.500 \text{ m}^3/\text{s}$, v območju višjih pretokov pa je pretočna krivulja PK23 (ARSO) nekoliko podcenjena. Ob 5% spreminjanju koeficienta hrapavosti je sprememba pretoka ob enaki višini vode cca. $\pm 250 \text{ m}^3/\text{s}$, kar jasno kaže na občutljivost hidravličnega modela.
6. Hidravlični model H7 podaja možno razliko med stalnim in nestalnim tokom za okoli $100 \text{ m}^3/\text{s}$.
7. Analiza pretočnih krivulj PK25 in PK26 z višjimi pretoki ($3.620 \text{ m}^3/\text{s}$ in $3.720 \text{ m}^3/\text{s}$) ni pokazala ujemanja hidravličnih modelov H8 in H9 z izbranimi pretočnimi krivuljami (PK25 in PK26), zato je bilo predlagano, da se napravi presoja ujemanja pretočnih krivulj hidravličnega modela H10, umerjenega na pretok $3.550 \text{ m}^3/\text{s}$, in korigirane pretočne krivulje PK23 z maksimalnim pretokom $3.550 \text{ m}^3/\text{s}$ (PK28) (glej sliko 6). Hidravlični model izkazuje ustrezno ujemanje s pretočno krivuljo PK28 v območju pretokov od $1.400 \text{ m}^3/\text{s}$ do $1.800 \text{ m}^3/\text{s}$. Na podlagi dobrega ujemanja pretočne krivulje PK28 in hidravličnega modela H10 v območju pretokov od $1.400 \text{ m}^3/\text{s}$ do $1.800 \text{ m}^3/\text{s}$ je bilo predlagano, da se PK28 upošteva do pretoka $1.800 \text{ m}^3/\text{s}$, saj izhaja iz množice historičnih podatkov, nad pretokom $1.800 \text{ m}^3/\text{s}$ pa se upošteva pretočna krivulja hidravličnega modela H10. Rezultat celotne hidravlične analize je pretočna krivulja PK27 (glej sliko 6).
8. V hidravličnem modelu H10 so bile modelirane razmere za stalni tok za pretok $3.550 \text{ m}^3/\text{s}$. Ob upoštevanju hidravličnega modela H7, kjer je modeliran le malo manjši pretok, je razlika med stalnim in nestalnim tokom cca. $100 \text{ m}^3/\text{s}$, zato je smiselno razmisliti o dodatni korekciji pretoka visokovodnega dogodka 2.11.1990 za še dodanih $100 \text{ m}^3/\text{s}$, tj. na $3.650 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 6: Primerjava Q-H pretočnih krivulj za VP Radeče: pretočna krivulja PK27 (ARSO-IzVRS) in pretočna krivulja hidravličnega modela H10, umerjenega na $Q_{1990}=3.550 \text{ m}^3/\text{s}$.

4. HIDRAVLIČNI IZRAČUN VISOKIH VOD NA OBMOČJU VODOMERNE POSTAJE LITJIA I

Za dodatno verifikacijo in povečanje meje zaupanja v modelirani pretok visokovodnega dogodka 2.11.1990 vodomerne postaje Radeče (Poglavje 3) je bila napravljena še dodatna hidravlična analiza visokovodnega dogodka za vodomerno postajo Litija I, saj je bila korigirana pretočna krivulja na vodomerni postaji Radeče spremenjena zaradi korekcije pretočne krivulje vodomerne postaje Litija I.

4.1 Podatki

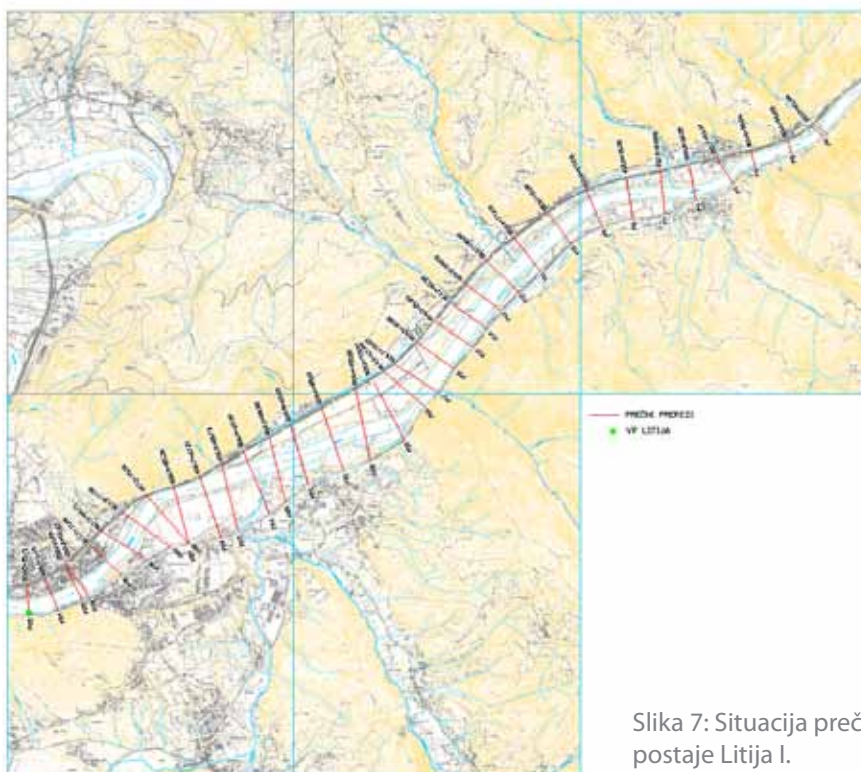
Geometrijski podatki

Za hidravlični izračun visokih voda so uporabljeni prečni prerezi reke Save, merjeni leta 1991. Obseg hidravličnega modela je od prečnega prereza P2 do prečnega prereza P35. Dolžina celotnega odseka je 7.594 m. Opazovani del vodotoka (meritev gladin visokovodnega dogodka 2.11.1990) je več kot 3.000 m gorvodno od spodnjega prečnega prereza (robnega pogoja), kar je ugodno za hidravlični račun, saj morebitna napaka določitve spodnjega robnega pogoja minimalno vpliva na izračunano gladinsko stanje opazovanega odseka. Situacija prečnih prerezov je prikazana na sliki 7.

V hidravlični model je umeščena mostna konstrukcija čez reko Savo v Litiji. Geometrijski podatki mostu v Litiji so bili privzeti iz geodetskih meritev iz leta 1991. Prečni prerezi so interpolirani na maksimalno razdaljo 50 m. Ker so osnovni prečni prerezi povprečno medsebojno oddaljeni za 200-250 m, poteka interpolacija koeficientov hrapavosti n_g med mostom, kjer je mnogo nižja hrapavost, in naravnimi prečnimi prerezi linearno, zato tako ni mogoče zajeti hidravličnih posebnosti manjše hrapavosti. To je razlog, da so bili dodani enaki prečni prerezi, kot so prečni prerezi mostov 10 m gorvodno in dolvodno od mostov, vendar s koeficienti hrapavosti n_g , ki veljajo za naravne odseke rečnega odseka.

Hidrološki podatki

Na podlagi pridobljenih hidroloških podatkov (ARSO) so bile s hidravličnim modelom preverjene naslednje pretočne količine za visokovodni dogodek 2.11.1990 na vodomerni postaji Litija I: korigirana pretočna krivulja Litija_PK47 ($Q_{vk, 2.11.1990}=2.400 \text{ m}^3/\text{s}$, maksimalna višina vode $H_{vk, 2.11.1990}=655 \text{ cm}$)



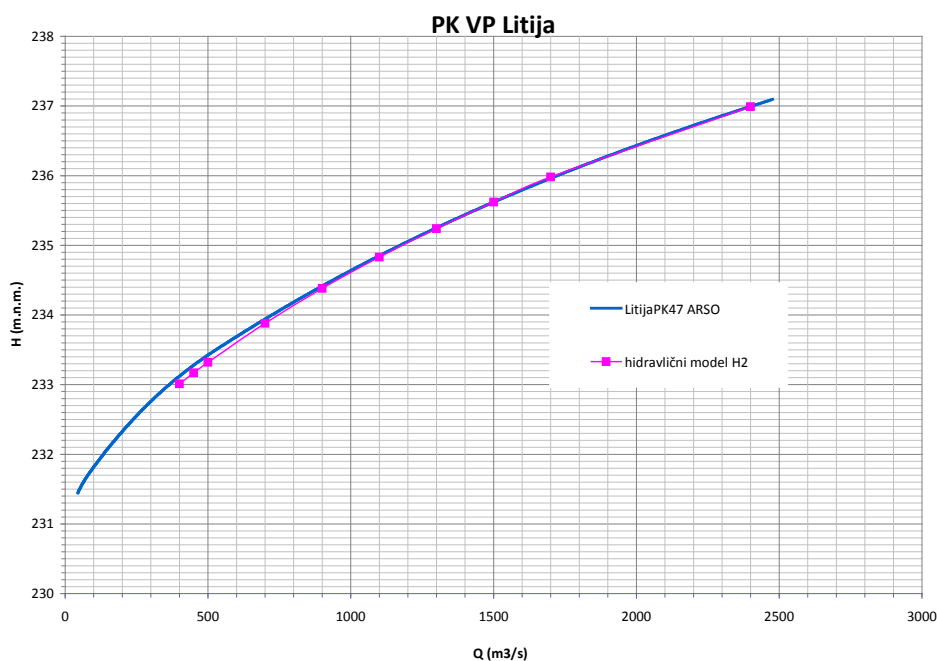
Slika 7: Situacija prečnih prerezov vodomerne postaje Litija I.

Robni pogoji

V času visokovodnega dogodka 2.11.1990 je bila merjena gladina na levem in desnem bregu, razlike med meritvami pa lahko v istem prečnem prerezu znašajo tudi 25 cm. Zato so bile uporabljene le tiste vrednosti merjenih gladin, ki so bližje osi struge reke Save, saj smo menili, da imajo te merjene gladine manjše odklone. Upoštevana je bila maksimalna zabeležena višina vode 2.11.1990 na vodomerni postaji Litija I 236,99 m.n.m.

4.2 Hidravlična presoja

Namen hidravlične presoje na odseku reke Save za vodomerno postajo Litija I je analiza visokih voda 2.11.1990, vendar z že korigirano pretočno krivuljo (glej poglavje 2). Zaradi znanega podatka o gladini 2.11.1990 in že korigirane pretočne krivulje Litija_PK47 je bil v hidravličnem modelu preverjan le pretok $2.400 \text{ m}^3/\text{s}$. Pretočna krivulja je bila preverjana od pretoka $400 \text{ m}^3/\text{s}$, saj je bil namen preverjanja med pretočnima krivuljama v območju pretokov, ki so ustrezno podprti s historičnimi podatki.



Slika 8: Primerjava Q-H pretočnih krivulj za VP Litija I: pretočna krivulja PK47 (ARSO) in pretočna krivulja hidravličnega modela H2, umerjenega na $Q_{1990} = 2.400 \text{ m}^3/\text{s}$.

Z izbranimi prečnimi prerezi je bil izdelan enodimenzionalni hidravlični model s programom HEC-RAS. Za hidravlično presojo visokovodnega dogodka 2.11.1990 je bilo preverjenih več različnih hidravličnih modelov, v prispevku pa prikazujemo zaključni hidravlični model, s katerim so bile simulirane pretočne razmere visokovodnega dogodka:

H2....Presoja pretoka $Q_{1990}=2.400 \text{ m}^3/\text{s}$, umerjanje koeficientov hrapavosti n_g za doseganje višine vode na prerezu VP Litija I 236,99 m.n.m.

Posamezne izbrane merjene gladine visokovodnega dogodka so bile s hidravličnim modelom umerjene na cm natančno. Primerjava pretočne krivulje PK47 in hidravličnega modela H2 (slika 8) izkazuje verjetno pravilnost pretočne krivulje PK47 od 1.000 m³/s navzgor. Pod 1.000 m³/s pa pretočna krivulja hidravličnega modela ne izkazuje dobrega ujemanja, kar pa ni bilo pričakovano, saj je hidravlični model umerjen na pretok visokovodnega dogodka 2.11.1990.

Ugotovitve

Kot je bilo že poudarjeno, je bil osnovni namen na podlagi novega hidravličnega izračuna preveriti pretočno krivuljo Save (Litija_PK47) v prerezu vodomerne postaje Litija I s podatki visokovodnega dogodka 2.11.1990. Pretočna krivulja Litija_PK47 je korigirana pretočna krivulja (glej poglavje 2), na podlagi katere je bila napravljena korekcija tudi za vodomerno postajo Radeče. Hidravlični model vodomerne postaje Litija I glede na uporabljene hidravlične predpostavke in hidravlični model izkazuje verjetno pravilnost korigirane pretočne krivulje PK47_Litija, saj je ujemanje pretočnih krivulj nad pretokom 1.000 m³/s ustrezno, ujemanje med pretoki 400 m³/s in 1.000 m³/s pa zmerno.

ZAKLJUČEK

S pretočno krivuljo predstavimo odnos med višino vode in pretokom za izbrani prečni prerez vodotoka. Za nižje višine vode oz. pretoke je navadno z opravljenimi meritvami dovolj podatkov, da je zaupanje v pretočno krivuljo ustrezno. Za večje višine vode oz. pretoke pa teh meritev navadno ni dovolj, zato se za izdelavo tega dela pretočne krivulje uporabljajo različne ekstrapolacijske metode, ki z izbrano metodo nakažejo verjetni odnos med višino vode in pretokom. Odnos višine in pretoka ekstrapolacije pretočne krivulje je povezan z določitvijo povratnih dob pretokov, ki so nadalje povezani z načrtovanjem vodnih zgradb, ureditev in naprav v vplivnem območju vodotoka in analizo poplavne nevarnosti. Ustrezno določena pretočna krivulja za posamezno vodomerno postajo predstavlja osnovo za vse nadaljnje posege v vodotoku in vplivnem območju vodotoka.

Prikazane preveritve pretočnih krivulj na Savi za vodomerni postaji Litija I in Radeče s hidravličnim modelom so se izkazale za uporabno metodo verifikacije odnosa gladina-pretok v primeru višjih pretokov. V nekaterih primerih vodomernih postaj bo treba uporabiti tudi druge matematične hidravlične modele, npr. kjer je na območju vodomerne postaje izrazit dvo-razsežni ali tri-razsežni tok, tudi temu primerne matematične modele, ali v primeru, kjer so hidravlične razmere takšne, da je zaupanje v matematični model majhno, tudi fizične hidravlične modele. Dodatno pa se s hidravličnim modelom lahko preveri ustreznost lokacije vodomerne postaje, kar je dobrodošla informacija že pri načrtovanju umestitve vodomerne postaje v vodotok.

LITERATURA

- French, R.H. (1986) Open-channel hydraulics, New York, McGraw-Hill.
- Steinman, F. (1999), Hidravlika, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Ljubljana.
- Šupek, M. (2008), Ekstrapolacija pretočne krivulje vodomerne postaje s hidravličnim modelom HEC-RAS, diplomsko delo, mentor: prof.dr. Franci Steinman, somentor: mag. Leon Gosar, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.
- Gosar, L. (2009), Hidravlični izračun visokih vod na območju vodomerne postaje Radeče, Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana.
- Gosar, L., Mazi, T. (2010), Hidravlični izračun visokih vod na območju vodomerne postaje Litija, Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana.

ULTRAZVOČNI MERILNIKI ZA DOSEGANJE KAKOVOSTNIH PODATKOV O PRETOKIH SLOVENSКИH REK

Mag. Roman Trček in Denis Kosec, Agencija Republike Slovenije za okolje

POVZETEK

Za doseganje kakovostnih podatkov o pretokih slovenskih rek Agencija Republike Slovenije za okolje uporablja najnovejše ultrazvočne merilnike pretoka. Za kvalitetne meritve pretoka je poleg ključnih faktorjev izbire lokacije, priprave na meritev, načina prečenja in nastavitve merilnika pomemben tudi umerjen merilni instrument. V praksi se je pokazalo, da je umerjanje ADMP-merilnikov najlažje izvesti s skupnimi interkomparacijami meritev pretoka. Ena izmed skupnih interkomparacij meritev pretoka je potekala na reki Savi v Sisku na Hrvaškem. Organizator srečanja je bil Hrvaški DHMZ, ki je na skupna merjenja povabili domače in tuje goste iz sorodnih institucij. Na meritvah so sodelovali predstavniki Hrvaške, Slovenije, Srbije, Madžarske in Avstrije. Primerjava rezultatov meritev pretoka ekipe ARSO z drugimi ekipami je pokazala minimalen odklon med merilniki, tako da smo lahko z rezultati zelo zadovoljni.

ABSTRACT

The Slovenian Environment Agency determines and monitors river discharge regimes, and notes changes on the basis of water level and hydrometric measurements. To achieve quality discharge data, the latest ultrasonic flow meters are used. To ensure the discharge quality, there are several key factors, such as site selection, preparation for the measurement, the method of crossing and parameter settings. A significant factor is also a calibrated measuring instrument. This is easiest to achieve with inter-comparative ADCP discharge measurements. Such inter-comparative ADCP discharge measurement took place in Sisak on the Sava River during September 2008. The measurements were carried out by eleven measuring teams from Austria, Slovenia, Serbia, Hungary and Croatia. In order to evaluate the quality of the inter-comparative measurements, beside the most important measured value, i.e. the discharge, some other measuring parameters such as geometrical parameters of the river bed etc. were analyzed. The measurements were carried out successfully with fourteen ADCP units. The results of the discharge were in accordance with each other and highly compatible.

1. Uvod

Agencija Republike Slovenije za okolje v okviru zakonskih določil opravlja hidrološki monitoring za površinske vodotoke, jezera in morje. Prek opazovanj in meritev ugotavlja in analizira količinsko stanje voda, hidrološke značilnosti vodnih območij in vodnih teles, vodno bilanco, temperaturo vode in vsebnost suspendiranega materiala. Poleg tega so podatki hidrološkega monitoringa površinskih voda podlaga za sprotno spremljanje, napovedovanje in obveščanje o hidroloških razmerah ter opozarjanje pred ekstremnimi hidrološkimi pojavi.

V odvisnosti od spremenjenih karakteristik prečnega in vzdolžnega prereza na vplivnem območju merskega profila se lahko pri določeni višini vode skozi prečni prerez pretakajo različno velike količine vode. V ta namen se za izračun pretoka opravljajo terenske meritve hitrosti vode in geometrije prečnega prereza – t.i. metoda hitrost-površina (ISO 748:1997). Glede na tip vodomernega prereza in glede na hidrološko stanje se uporablja metoda merjenja točkovne hitrosti vode z ultrazvočnim krilom v posameznih točkah prečnega prereza, hkrati z meritvijo geometrije prereza. V primeru globljih in širših prečnih profilov se uporablja akustična Dopplerjeva metoda (merilnik TRDI ADCP) s sprotno integracijo hitrostnega polja in površine prečnega prereza – (ISO/TS 24154:2005).

Sektor za hidrometrijo pod pokroviteljstvom Urada za hidrologijo in stanje okolja letno opravi prek tisoč meritev pretoka. Ob izrednih hidroloških situacijah se pretoki merijo tudi na lokacijah, ki niso zajete v mreži merilnih mest, npr. ob visokih vodah za določanje poplavnih linij, oceno škode po poplavih ali za pridobitev podatkov, ki so večjega pomena za obrambo pred poplavi in vodno gospodarstvo.

2. Merilniki pretoka

Vrsto let se je na ARSO za potrebe opravljanja monitoringa pretokov uporabljala le metoda merjenja s hidrometričnim krilom. Zaradi togega prilagajanja ekstremnim razmeram (meritvam visokih voda) ter dolgotrajnim meritvam večjih pretokov na sploh je bilo treba poiskati alternativne metode. Problemi

so se pokazali tudi z vzdrževanjem merilne opreme ter zagotavljanjem rezervnih delov spremljajočih inštrumentov (števna naprava), ki počasi izginjajo s tržišča. Tako se je leta 2003 vpeljala metoda merjenja pretokov z ultrazvočnim merilnikom ADMP, ki je postal del redne merilne opreme. Kvalitetne meritve pretokov na večjih rekah in ob visokih vodah so bile s tem zagotovljene. Treba pa je bilo poiskati alternativo rešitev merjenja hitrosti v manjših in plitvejših rečnih strugah. Metodo merjenja pretokov z ultrazvočnim krilom (FlowTracker) je ARSO začel uvajati sredi leta 2005.



Slika: Prvi akustični Dopplerjev merilnik pretoka (ADMP).



Slika: Ultrazvočni merilnik pretoka (FlowTracker).

3. Merjenje pretoka z ultrazvočnimi merilniki (FlowTracker, OTT ADC)

Na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO) za merjenje hitrosti v manjših in plitvejših rečnih strugah uporabljamo SonTek-ov točkovni merilnik hitrosti FlowTracker (FT). Leta 2010 smo s posodobitvijo opreme pridobili tudi OTT-ov točkovni merilnik hitrosti Acoustic Digital Current Meter (ADC), ki deluje po enakem principu kot FT.



Slika: Levo SonTek-ov FlowTracker in desno OTT-ov ADC.

Princip merjenja in metoda izračuna sta pri obeh merilnikih enaka. Napravi se razlikujeta zgolj po videzu in uporabniškem vmesniku. Hitrost se določa na podlagi Dopplerjevega pojava, ki nastane zaradi odboja oddanega zvočnega impulza od delcev v vodi. FT-impulz odda prečno na tok, ADC pa v nasprotno smer toka, kar je treba upoštevati v primeru razgibanega rečnega dna. Podatki se prek kabla prenašajo v ročno enoto, ki je pritrjena na drog. Oba aparata sočasno z merjenjem opravljata izračun pretoka. Prednost ADC-ja je tlačni senzor za globino, ki pomeni poenostavitev postopka merjenja. Merilnik prek tlačnega senzorja zazna globino meritvene vertikalne in preračuna globino meritvene točke, kar olajša delo merilcu in pripomore k večji natančnosti meritve.

4. Merjenje pretoka z akustičnimi Dopplerjevimi merilniki pretoka (ADMP)

Na Agenciji RS za okolje (ARSO) imamo od leta 2003 za meritev pretoka rek na voljo tudi akustični Dopplerjev merilnik pretoka (v nadaljevanju ADMP) RioGrande ZedHed 1200 kHz. ADMP je bil razvit v podjetju RD Instruments iz Kalifornije, ZDA. Omogoča meritve pretokov v strugah do najmanjše globine 0,4 m. Zaradi specifičnega (širokopasovnega) postopka merjenja lahko z istim merilnikom merimo tudi do globine 15 metrov in hitrosti do 10 m/s. Za merjenje hitrosti delcev v vodi izkorišča princip Dopplerjevega pojava. Sočasno meri instrument tudi oddaljenost od dna (globina) in posledično prečni prerez korita. Podatek o pretoku dobimo takoj po končanem prečkanju struge, brez dodatnega ovrednotenja. To nam omogoča posebna programska oprema, imenovana WinRiver.



Slika: Meritev pretoka z ADMP, najnovejši daljinsko vodeni ADMP (Q boat), meritev v programu WinRiver.

ADMP delujejo na podlagi Dopplerjevega pojava, torej merijo spremembo med oddano in sprejeto frekvenco. Hitrost vode se določi na podlagi hitrosti v vodi raztopljenih delcev, globina pa se meri kot čas potovanja signala od merilnika do dna struge in nazaj. Meritve opravljamo z gibanjem čolnička z ADMP prek struge, zato je pomembno, da je v vsakem trenutku poznan položaj merilnika. Ta se določi glede na položaj pred začetkom gibanja, lastno hitrost in smer gibanja ter čas med posameznima vertikalnima meritvama. Za natančnost meritve je pomembno, da je gibanje merilnika enakomerno in čim počasnejše. Predvsem je pomembno, da meritev opravlja za to usposobljena oseba, s čimer se izognemo predvsem subjektivnim (človeškim) napakam. Na objektivno natančnost meritve pa dodatno vpliva več dejavnikov. Najpomembnejši so: izbira lokacije, priprave na meritev, način prečenja in nastavitve merilnika. Ker je pretok rezultat več (vsaj štirih) prečkanj struge, je končni rezultat srednja vrednost meritev. Ocena odklona nam pokaže kvaliteto opravljenih meritev.

Zelo pomemben faktor natančnosti izmerjenega pretoka je tudi umerjen instrument. V praksi se je pokazalo, da je umerjanje merilnikov najlažje izvesti s skupnimi interkomparacijami meritev pretoka.

5. Interkomparacija meritev pretoka

V Sisku na Hrvaškem je od 09. do 10. septembra 2008 potekala 2. internacionalna interkomparacija ADCP-meritev pretoka. Srečanje je bilo namenjeno primerjavi meritev z ADMP različnih izvajalcev tovrstnih meritev. Organizator srečanja je bil Hrvaški DHMZ, ki je na skupna merjenja povabil domače in tuje goste iz sorodnih institucij. Na meritvah so sodelovali predstavniki Hrvaške, Slovenije, Srbije, Madžarske in Avstrije. Srečanje je namenjeno primerjavi meritev z ADMP različnih izvajalcev tovrstnih meritev.



Slika: Pester izbor akustičnih Dopplerjevih merilnikov pretoka.

Prvi dan obiska v Sisku je bil namenjen neformalnemu druženju z ekipami sorodnih institucij, ki so sodelovale na srečanju, in izmenjavi izkušenj s področja merjenja pretoka z ADCP-merilniki.

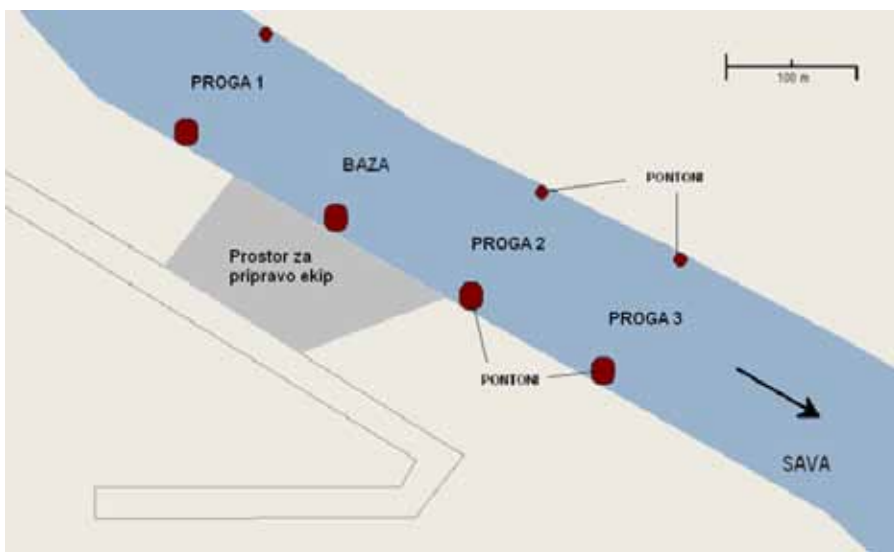
Drugi dan pa so se ekipe odpravile na obrežje reke Save. Skupne meritve pretokov so potekale v treh določenih merskih profilih. Organizator je na podlagi prijav sestavil časovno razporeditev merilnih ekip oz. merilnikov. Ekipa ARSO je za meritve uporabila enega izmed merilnih čolnov gostitelja, medtem ko je večina ekip na srečanje prišla s svojim merilnim čolnom.



Slika: Priprava ekipe ARSO na meritev, uporabljena ADMP-merilnika (Surf, Trimaran).

Ekipa ARSO je na meritvah sodelovala z dvema ADMP-merilnikoma (ser. št. 2952 - Surf, ser. št. 6107 - Trimaran). Meritve so se z obema ADMP-merilnikoma opravljale na merskem profilu št. 1. (Proga 1)

Skupne meritve pretokov so potekale v treh določenih merskih profilih.



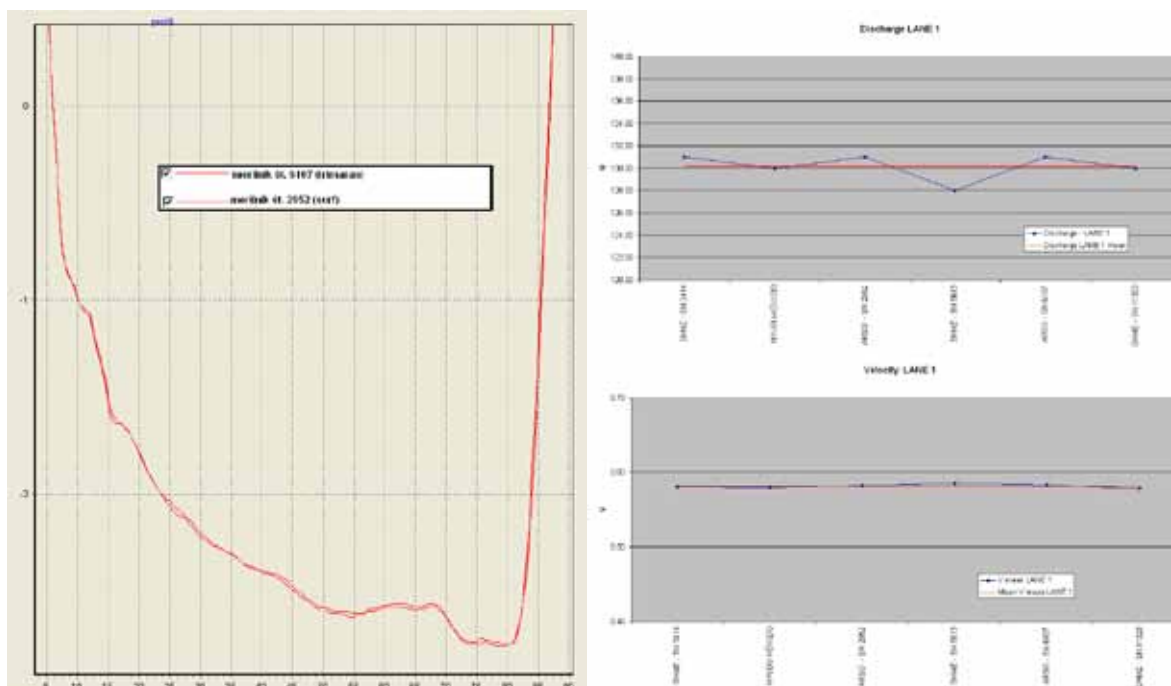
Slika: Merski profili

Meritve pretoka so potekale v skladu s standardi ISO/TS 24154; 2005 - Hydrometry – Measuring river velocity and discharge with acoustic Doppler profilers, ki določajo, da se najprej napravi zanka oziroma t.i. »loop test«, nato pa še štirje prehodi prek vodotoka.

Na koncu srečanja so bili predstavljeni preliminarni (neuradni) rezultati. Rezultati izmerjenega pretoka so se gibali od 126 m³/s do 134 m³/s.



Slika: Predstavitev preliminarne rezultate



Slika: Primerjava prečnega prereza, pretoka in povprečne hitrosti.

Ekipa Agencije RS za Okolje je z ADMP-merilnikom ser. št. 2952 (Surf) izmerila pretok 130,640 m³/s, z ADMP-merilnikom ser. št. 6107 (Trimaran) pa 130,672 m³/s.

6. ZAKLJUČEK

Primerjava rezultatov meritev pretoka ekipe ARSO z drugimi ekipami je pokazala, da smo lahko z rezultati zelo zadovoljni. Merilnika (ser. št. 6107, ser. št. 2952) sta usklajena, saj je bila razlika pretoka na istem merskem profilu minimalna. Prav tako se obe meritvi pretoka, v primerjavi z drugimi ekipami, nista bistveno razlikovali od povprečnega izmerjenega pretoka reke Save vseh ekip. Merilna ekipa ARSO se je seznanila s tujimi metodami ter izkušnjami pri opravljanju meritev pretoka in tako dobila zelo koristne informacije za uspešno opravljanje meritev doma.

VIRI

Trček, R., Cankar, B., Meritve visokovodnih pretokov slovenskih rek z ultrazvočnimi merilniki, Ljubljana, 2005, UDK 556.16(497.4)

Terek, B., Nimac, N.: Interkomparacijsko merjenje protoka akustičnim Doppler (ADCP) protokomjerima, Zagreb, 2008, interno gradivo

POPLAVNA OBMOČJA DRAVINJE MED SLAPAMI IN SLOVENSKIMI KONJICAMI

Tomaž Hojnik, univ.dipl.inž.grad. in Uroš Lesjak, univ.dipl.inž.grad., DHD d.o.o.

V članku je opisano matematično modeliranje ca. 40 km odseka reke Dravinje med Slapami in Slovenskimi Konjicami, ki je bilo opravljeno l. 2010 v sklopu dveh različnih študij. Morfologija Dravinje je na tako dolgem odseku zelo raznolika, obstajajo toge kakor tudi sonaravne regulacije, delno urejeni ter popolnoma naravni in celo meandrirajoči odseki, kar ima za posledico tudi različne vrednosti Manningovega koeficienta n_g . Podatki o zabeleženih visokovodnih gladinah so bili zelo pomanjkljivi. Razen podatkov z dveh vodomernih postaj na odseku (VP Loče in VP Makole) so bili na voljo le podatki po sledih in spominu zabeleženih gladin po poplavi l. 1998 v 10 točkah na spodnjih 7 km odseka. Identificirani so bili štirje tipi struge, za katere so bile izračunane pripadajoče vrednosti n_g po metodi Cowana oz. Shena, ki upošteva tabelirane vrednosti osnovnega n_g ter vplive neprizmatičnosti, ovir, zarasti, meandriranja itd. Kljub relativno visokim uporabljenim vrednostim n_g (v primerjavi z nekaterimi podobnimi, umerjenimi modeli) je bilo ujemanje za dogodek l. 1998 zelo slabo, izračunane gladine so bile večinoma bistveno prenizke (ca. 1 m in več). Zaradi tega smo ocenili, da izdelane karte razredov poplavne nevarnosti lahko do potrditve rezultatov rabijo le kot opozorilne karte. Nato je sredi septembra l. 2010 prišlo do močnejšega deževja, ki je na obravnavanem odseku povzročilo pretoke Dravinje s povratno dobo ca. 10 let. Na odseku med Slovenskimi Konjicami in Studenicami (ca. 20 km, dalje dolvodno cesta ni bila prevozna) je bil 18.9.2010 opravljen terenski ogled s fotodokumentiranjem poplavnega dogodka, kasneje pa še nivelman maksimalnega dosega visokih vod na celotnem 40 km odseku v 27 točkah. Predhodno izdelane karte so bile nato verificirane s poplavnim dogodkom

UVOD

V letu 2010 je bila napravljena študija *Izdelava kart poplavne nevarnosti ter kart razredov poplavne nevarnosti na širšem območju ob Dravinji za zagotavljanje poplavne varnosti urbaniziranih območij od Studenic do Slovenskih Konjic*, kjer je bil obravnavan 17,1 km dolg odsek Dravinje, ter elaborat *Karte poplavne nevarnosti ter karte razredov poplavne nevarnosti* v okviru projekta IDP Vodnogospodarska ureditev Dravinje na odseku Stogovci-Koritno, kjer je bil za obstoječe stanje obravnavan 22,5 km dolg odsek med Slapami in Poljčanami. Da bi bila obravnava v hidrološkem in hidravličnem smislu celostna, je bil celoten odsek med Slapami in Slovenskimi Konjicami obravnavan

skupaj, za lažjo manipulacijo z velikim številom podatkov in rezultatov ter manjšega števila potrebnih obravnav različnih časov padavin, pa je bil model pri cesti v Poljčanah (zaradi dobro definiranih robnih pogojev, cesta zapira celotno dolino, iztok je praktično le skozi most) razdeljen na dva dela. Večji del obravnavanega območja prve študije leži v občini Slovenske Konjice, preostali dolvodni del pa v občini Poljčane. Območje druge študije leži v občinah Poljčane, Majšperk in Makole. Območje hidravlične obravnave in izdelave kart razredov nevarnosti je bila reka Dravinja. Pritoki niso bili obravnavani, razen v hidrološkem smislu. Za potrebe naloge je bila izdelana hidrološka študija. Izračunani so bili verjetni visokovodni valovi s povratnimi dobami 10, 100 in 500 let za Dravinjo, pritoke ter vmesna območja na celotnem 42 km dolgem odseku. Obravnavanih je bilo 16 večjih pritokov, in sicer Koprivnica, Polenščica, Bezinščica, Oplotnica, Žičnica, Klokočovnik, desni pritok pri Zbelovem, Ličenca, Bela, Brežnica, Konjščak, Jelovski potok, Ložnica, Potok iz Lešja, Skralska in Jesenica. Za pritoke so bile določene konične vrednosti ter t.i. komplementarni pretoki oz. hidrogrami.

OPIS STANJA

V svojem zgornjem toku (izvir pri Rogli na Pohorju) je Dravinja izrazito hudournna, nato pa po ca. tretjini dolžine toka (na širšem območju Loč) preide v popolnoma ravninsko reko. Sestava dna je na območju Slovenskih Konjic še relativno groba (vzdolžni padec znaša ca. 0,86 %), obstajajo večji kosi drobirja (ca. 15 cm), tako da se pri nizkih pretokih ustvarjajo lokalne brzice. Premer zrn je večinoma reda velikosti nekaj cm. Do Draže vasi je dno praktično enako, nato pa v dolvodni smeri sestava postaja vse bolj drobna, vendar še zmeraj v območju velikosti okoli 1 cm. Prodišča so majhna, nizka in redka. Najbolj dolvodno prodišče je opazno pri železniškem mostu (Zbelovo). Zaradi bočne erozije meljasto peščenih brežin in dotoka finih frakcij iz neprodonosnih pritokov ter zmanjševanja vzdolžnega padca na ca. 0,1 % se začnejo dolvodno postopoma kazati tudi finejše usedline (melji in peski), ki lokalno povsem prevladujejo, vendar sestava dna na celotnem odseku ostane bolj ali manj drobno gramozna. Dolvodno od Poljčan so opazne lokacije meljasto peščenih odkladnin ob robovih ali sredi struge ter ostanki vertikalno porušeni meljasto peščenih brežin na odsekih brez obrežne zarasti.

Urejenost oz. stanje struge Dravinje na obravnavanem odseku je raznovrstno. Na gorvodnem delu gre za samorenaturirano regulacijo. Krajši odseki so tudi klasično regulirani, nekaj pa je tudi popolnoma naravne struge, kjer so vidni tudi procesi bočne erozije in meandriranja. Na območju gorvodno od Luške vasi so na ca. 1 km dolgem odseku meandri še »živi«, potekajo naravni strugotvorni procesi in bočni premiki ter prelaganje meandrov. Tudi dolvodno od Studenic gre večinoma za popolnoma naravno strugo, kjer so opazni procesi bočne erozije in meandriranja, deloma pa za renaturirano starejšo regulacijo.



Fotografija T1: Dravinja v Slovenskih Konjicah (foto U.Lesjak).



Fotografija T2: Dravinja v Draži vasi (foto U.Lesjak).



Fotografija T3: Dravinja od Draže vasi proti Podobu (foto U.Lesjak)



Fotografija T4: Dravinja VP Loče (foto U.Lesjak).



Fotografija T5: Železniški most pri Zbelovem (foto U.Lesjak).



Fotografija T6: Dravinja na območju Podpeči (foto U.Lesjak).



Fotografija T7: Dravinja na območju Lušečke vasi (foto U.Lesjak).



Fotografija T10: Dravinja pri jezu v Majšperku (foto U.Lesjak).



Fotografija T8: Dravinja na območju Poljčan (foto U.Lesjak).



Fotografija T11: Dravinja na območju Stanečke vasi (foto U.Lesjak).



Fotografija T9: Dravinja VP Makole (foto U.Lesjak).

Ob povečanih pretokih praviloma prihaja do poškodb brežin (tako zavarovanih kot nezavarovanih), ki pa so lokalnega značaja. Majhna odpornost brežin na erozijsko delovanje vode je posledica peščenomeljaste sestave. Do porušitev brežin prihaja tudi po upadu visokih vod, drsine so praktično vertikalne. Opažamo, da so erozijsko najbolj odporne porasle brežine, še posebej na reguliranih odsekih, kjer je bil oblikovan ustrezen blažji naklon brežin (ca. 1:2). Vertikalno porušene brežine se težko zaraščajo, zato je na takšnih lokacijah erozija progresivna oz. prihaja do premikov struge.

Dravinja se je v preteklosti, na odseku dolvodno od Slap, sistematično urejala z namenom zagotavljanja poplavne varnosti pred 5-letno visoko vodo. V letu 1998 je bila opravljena sonaravna ureditev Dravinje od Slap do Stogovcev. Z rekonstrukcijo jezu v Slapah in enostransko širitvijo struge je izboljšana poplavna varnost pri pretokih do ca. Q₂. Na širšem območju Makol je bila struga (po trasnem poteku in prečnem profilu sodeč) v preteklosti regulirana v dolžini ca. 2 km. Struga je regulirana tudi gorvodno od sotočja z Oplotnico, skozi Slovenske Konjice na pretoke Q₁₀₀

in več. V glavnem se na celotnem odseku opravljajo tudi lokalne sanacije erozijskih poškodb s kamnitnimi zložbami ali kaštami.

Širine dna struge so večinoma med 6 in 15 m, globine med 2 in 3,5 m. Nakloni brežin so od 1:1 do 1:2,5, na erodiranih delih pa so brežine vertikalne.

Na posameznih odsekih začne Dravinja prestopati bregove že pri pretokih reda velikosti Q₂, na območju Luščke vasi celo prej. Dno doline je večinoma neposeljeno, kmetijska raba pa je prilagojena naravnim danostim. Problemi se pojavljajo v nekaterih naseljih, kjer se je pozidava razširila v poplavno območje, ali pa gre za spremembo namembnosti mlinov ipd., ter tam, kjer je (najverjetneje) prišlo do poslabšanja razmer iz drugih vzrokov (regulacije in urbanizacija gorvodno, zaledne vode, zmanjšanje pretočnosti dolvodno-mostovi ipd.). Najbolj poplavno ogroženi sta naselji Loče in predvsem Zbelovo, poleg tega pa še Sp. Laže, Mlače in Draža vas. Poplavno ogroženi so tudi deli pozidave v Stogovcih in Vabči vasi, Majšperku in Studenicah. Poplavljen so ohišnice v Stanečki vasi in zaselku Varoš, vendar je stanovanjski del objektov nad gladino Q₁₀₀. Slovenske Konjice so zaradi regulacije Dravinje varne pred visokimi vodami Dravinje pri Q₁₀₀, v veliki meri tudi pri Q₅₀₀. Inundacijska območja so praktično povsem v kmetijski rabi (njive, travniki), gozda ni.

Poseben problem so cestne povezave, ki potekajo prečno čez dolino in so večinoma na terenu ali pa zelo nizko, zato so pogosto poplavljenе. To povzroča prebivalcem veliko težav, saj so potrebni daljši obvozi, nekatere lokacije pa so ob poplavih popolnoma odrezane. Pogosto so poplavljeni krajši odseki nekaterih cest v Ločah, lokalna cesta v Podobu, daljši odsek ceste Loče-Poljčane v Zbelovem in odsek pred

Luščko vasjo, obe cesti v Podpeč, cesta Stogovci-Varoš, cesta Majšperk-Stogovci, cesta Majšperk-Breg, cestne povezave s Koritnim in z Varošjo, ceste na območju Makol ter cesta v Studenicah.

Za orientacijo podajamo v preglednici 1 vrednosti dejanskih visokih vod Dravinje v izbranih prerezih (rezultat hidrološkega modela). Merodajni časi trajanja padavin so 24 in 36 ur.

MATEMATIČNI MODEL

Hidravlični izračuni za obravnavani odsek Dravinje so bili napravljeni z modelom nestalnega neenakomernega toka Infoworks RS, razvitega na MWH Soft Limited (Wallingford Software), ki omogoča 1D, 2D in kombinirano 1D-2D (račun poteka simultano) matematično modeliranje. Osnova 2D matematičnega modela sta St. Venantovi enačbi gibalne količine in kontinuitete masnega toka v dvodimenzijski obliki. Infoworks RS rešuje 2D enačbe po metodi končnih volumnov s Preissmannovo implicitno shemo. Model uporablja trikotno nestrukturirano računsko mrežo.

Obravnavani primer je bil modeliran kot kombinacija 1D toka v strugi ter 2D toka po poplavnih območjih. Obstoječe stanje je bilo modelirano na osnovi geodetskega posnetka prečnih profilov Dravinje, izdelanega leta 2010 v kombinaciji s starejšim (ca. 2002), ter posnetka LIDAR iz l. 2009. Objekte v poplavnem območju (hiše ipd.) ter rob struge smo vnesli v model na osnovi obdelave DOF1 iz l. 2009.

Na odseku med Poljčanami in Slovenskimi Konjicami je bilo tako modeliranega 17,1 km Dravinje. Površina 2D modela znaša ca. 27 km², število računskih celic pa 246080 (povprečna površina celice je 110 m²). Na odseku med Slapami in Poljčanami je bilo modeliranega 22,5 km rečnega odseka. Površina 2D modela znaša ca. 15 km², število računskih celic pa 227015 (povprečna površina celice je 65 m²). Skupno je bilo za strugo uporabljenih 660 prečnih profilov (vključno z interpoliranimi). Ker 2D model uporablja nestrukturirano trikotno mrežo, je zgoščevanje mreže enostavno in učinkovito. Na vseh morebitnih ovirah toka je bila mreža zgoščena tako, da je velikost manjša od širine ovire (dolžina stranice trikotnika ca. 1 m).

Ponekod je širina poplavnega območja omejena s cestnim ali železniškim nasipom, pod katerim pa so lahko tudi premostitveni objekti. V modelu so bili upoštevani le mostovi (večje prelivanje v retencije), številni manjši prepusti pa ne, saj niso bili posneti, pa tudi njihov vpliv je bistveno manjši. Prav tako niso bile modelirane zaledne vode. Ker pritoki in zaledne vode niso bili hidravlično modelirani, je meja

PREREZ VODOTOKA	F	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀
	(km ²)	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Dravinja pod Polenščico	64,7	121	87	45
Dravinja pod Oplotnico	169,5	228	156	73
Dravinja v.p. Loče	174,8	221	149	74
Dravinja pod Klokočovnikom	198,8	239	165	84
Dravinja pod Ličenco	238,2	266	184	95
Dravinja pod Konjščakom	275,8	284	198	101
Dravinja do Ložnice (ca. VP Makole)	305,2	286	199	105
Dravinja pod Ložnico	410,9	393	286	151
Dravinja do Jesenice	451,5	409	297	157
Dravinja pod Jesenico	469,8	418	303	161

Preglednica 1: »Dejanske« visoke vode Dravinje s povratno dobo 500, 100 in 10 let (IZVO d.o.o., 2010).

veljavnosti (in tudi nemodeliranje prepustov na pritokih) prilagojena temu dejstvu.

Zgornji robni pogoj matematičnega modela ponazarjajo hidrogrami Q10, Q100 in Q500 za različna trajanja padavin, spodnji robni pogoj pa normalna gladina. Večje pritoke (vodotoki s strugami, za katere so bili izrednoteni komplementarni valovi) smo modelirali kot točkovne dotoke, vmesna območja pa kot razporejeni (lateralni) dotok.

Zaradi skopih podatkov za umerjanje in raznolikosti struge na obravnavanem odseku smo identificirali štiri tipe struge, ki smo jim izračunali pripadajoče vrednosti ng po metodi Cowana oz. Shena (ki upošteva osnovni ng ter vplive neprizmatičnosti, ovir, zarasti, meandriranja itd.). Oba avtorja podajata enak izraz za izračun sestavljene vrednosti ng . Manjše, vendar ne bistvene razlike so le pri podanih mejah oz. vrednostih ng za nekatere vplive. Manningov koeficient ng ocenimo kot:

$ng = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m$, kjer je:

- n_0 osnovna vrednost ng za ravno, prizmatično in gladko strugo
- n_1 faktor, ki upošteva nepravilnosti na površini brežin (splanirane brežine, erodirane brežine ipd.)
- n_2 faktor, ki upošteva vpliv neprizmatičnosti struge
- n_3 faktor, ki upošteva vpliv ovir v strugi
- n_4 faktor, ki upošteva vpliv zarasti in pogojev toka
- m faktor, ki upošteva vpliv meandriranja (stopnja meandriranja je definirana z razmerjem dolžine struge in dolžine doline)

Za regulirane, neporasle odseke smo tako določili vrednost $ng = 0,035 \text{ sm}^{-1/3}$, za regulirane, porasle odseke $ng = 0,045 \text{ sm}^{-1/3}$, za neregulirane, redko porasle oz. erodirane odseke $ng = 0,052 \text{ sm}^{-1/3}$ in za neregulirane, porasle odseke $ng = 0,069 \text{ sm}^{-1/3}$. Na odseku med Slapami in Poljčanami smo uporabili le zadnji dve vrednosti ng , t.j. 0,052 in 0,069 $\text{sm}^{-1/3}$.

Omenimo naj, da podobna ocena za potok Rogatnico (neregulirana, pravokotna struga z lesno zarastjo na brežinah, zmeandrirana) da vrednost $ng = 0,08 \text{ sm}^{-1/3}$, umerjen ng za VP Podlehnik (več meritev pri različnih pretokih, tudi pri polni strugi) pa prav tako znaša 0,08 $\text{sm}^{-1/3}$. Glede na to, da znaša širina struge Rogatnice le ca. 50 % (ali manj) širine struge Dravinje, za Dravinjo verjetno ni pričakovati večjih vrednosti ng .

Vsekakor je metoda zelo odvisna tudi od subjektivne ocene, vendar pa podaja red velikosti vplivov in razpon vrednosti ter seveda okvirno vrednost ng .

Uporabna je tudi pri vrednotenju vplivov posega (regulacija, posek zarasti ipd.) na ng oz. gladinska stanja.

Za območja inundacij s strnjeno lesno zarastjo (ki pa jih je na območju zelo malo) smo uporabili vrednost $ng = 0,1 \text{ sm}^{-1/3}$, za površine asfaltnih cest 0,016 $\text{sm}^{-1/3}$, za preostala območja inundacij pa $ng = 0,06 \text{ sm}^{-1/3}$.

Edini podatki o meritvah so na vodomernih postajah. Na VP Loče so na volje meritve gladin ter iz pretočne krivulje izrednoteni pretoki. Na VP Makole sta na voljo tudi dve neposredni meritvi pretokov z Dopplerjevim merilcem hitrosti.

Ujemanje na VP Loče pri pretokih nad 70 m^3/s je dobro (-19, +29 cm). Pri nižjih pretokih je ujemanje slabše (do +109 cm), odkloni z manjšanjem pretoka naraščajo. Menimo, da je vzrok za to dejstvo, da VP Loče leži le slabih 200 m gorvodno od pritokov Žičnica in Klokočovnik. Porečje obeh pritokov sestavlja skoraj 15 % porečja Dravinje do VP Loče, kar ni zanemarljivo. Pri nižjih pretokih Dravinje je vpliv dotokov znaten, zato je VP pod delno zajezbo. Ali do zajezbe pride ali ne, je odvisno tudi od sočasnosti pretokov, zato je vrednotenje pretočne krivulje problematično.

Ujemanje izračunanih gladin z neposrednimi meritvami (pri 62 in 105 m^3/s) na VP Makole je zelo dobro (+/- 12 cm). Odlično je tudi ujemanje izračuna z vrednostjo, ovrednoteno iz pretočne krivulje pri pretoku 93 m^3/s (-3 cm), pri pretoku 116 m^3/s pa je ujemanje slabo (-71 cm). Ker znaša prevodnost struge na območju VP Makole ca. 90 m^3/s , ocenjujemo, da pretočna krivulja pri večjih pretokih, ko se začne tok po inundaciji, močno podceni pretoke. Ocenjujemo, da 1 cm povišanje gladine pri dobro razvitem toku v inundaciji na območju VP Makole pomeni ca. 2-2,5 m^3/s pretoka. Če ocenimo maksimalni pretok 5.11.1998 na osnovi zabeležene gladine na VP Makole in rezultatov matematičnega modela, dobimo vrednost 280 m^3/s (kar ponazarja pretok s 500-letno povratno dobo). Iz pretočne krivulje ovrednoten pretok znaša 118 m^3/s (ca. Q25).



Fotografija T11: VP Makole med visoko vodo 19.9.2007 (foto T. Mišič).

Na odseku med Slapami in Poljčanami, kjer je bilo na voljo nekaj po sledih in spominu zabeleženih kot visokih vod l. 1998, je opazno slabo ujemanje izračunanih gladin z zabeleženimi kotami (upoštevajoč pretoke s pretočnimi krivulj). Tudi po povečanju vrednosti ng za 15 % ($ng=0,079$ za zaraščene meandre) so razlike znatne, tudi do 1 m. Menimo, da so bili pretoki l. 1998 znatno višji, kot pa so bili ovrednoteni iz pretočnih krivulj na VP (na kar kaže tudi neposredna meritev 19.9.2007). Poleg tega so bile zabeležene gladine pretežno na mostovih, od katerih so bili nekateri potem že očiščeni, rekonstruirani ipd., v vmesnem času so potekala tudi lokalna vzdrževalna dela na strugi. Model vendarle pokaže ustrezno pogostost poplav na najbolj pogosto poplavljenih območjih.

Zaradi redkih in večinoma manj zanesljivih točkovnih podatkov na zelo raznolikem rečnem odseku modela nismo mogli jemati kot zadovoljivo umerjenega. Na srečo so sredi septembra 2010 nastopile visoke vode Dravinje. Med poplavnim dogodkom je bil 18.9.2010 v dopoldanskih urah opravljen terenski ogled med Slovenskimi Konjicami in Studenicami (v Studenicah zaradi pregloboke preplavitve ceste ni bil možen prehod čez most oz. dalje dolvodno). V Slovenskih Konjicah je gladina že upadla za ca. 0,4 m glede na maksimum, dolvodno od Loč pa so bile v tem času poplave ravno v območju najvišjih gladin. Naslednji teden so bile znižane maksimalne kote poplav po sledih na odseku med Slapami in Slovenskimi Konjicami na 33 lokacijah (v povprečju ca. 1 točka na 1,2 km). Zaradi napredovanja naloge te meritve niso bile uporabljene za umerjanje, temveč za verifikacijo modela.

Pri umerjanju in verifikaciji je očitno najbolj problematična določitev ustreznih pretokov. Na Dravinji so sicer 4 vodomerne postaje (VP Zreče, VP Loče, VP Makole in VP Videm), vendar je le VP Loče avtomatska, preostale tri so opremljene z limnigrafom na papirnat trak. Na VP Zreče, v času potrebe po podatkih, trak še ni bil zamenjan, na VP Videm pa je bila konica slabo zabeležena, saj se je trak strgal. Na VP Makole je bil odčitana višina vode 343 (243,65 m n.m.). Glede na podatke iz obdobja 1972 - 2009 je bilo le 7 konic višjih. Po krivulji, ki je veljala v letu 2008, ustreza višini vode 343 cm pretok 107 m³/s. Doslej največji pretok (117 m³/s) je bil določen 5. 11. 1998. Avtomatska merilna postaja v Ločah na Dravinji je 18. 9. zabeležila višino 436 cm (270,82 m n.m.) - kar ustreza, po krivulji za leto 2008, pretoku 58,4 m³/s. Vidimo, da je bila povratna doba pretokov na VP Loče nekaj manjša od Q10, na VP Makole pa Q10 oz. večja, če upoštevamo rezultate direktnih meritev l. 2007 (pri višini vode 320 cm je bil izmerjen pretok 105 m³/s).

Določitev oz. meritev pretokov dodatno zapleta dejstvo, da ima Dravinja veliko število pritokov in da lahko nastopajo tudi lokalni padavinski ekstremi. Zelo koristna bi bila vodomerna postaja tudi na Ložnici ali pa na Dravinji dolvodno od Ložnice, saj površina porečja Ložnice obsega ca. 35 % površine porečja Dravinje na VP Makole, ki leži gorvodno od sotočja. Ker ni na voljo ustrežnejših podatkov, smo za verifikacijo izbrali dogodek pri pretokih Q10 in enakomernih padavinah na celotnem porečju.

Ujemanje zabeleženih gladin z izračunanimi za dogodek septembra 2010 je dobro. Na odseku Poljčane - Slovenske Konjice so izračunane gladine v splošnem nekoliko višje od zabeleženih (razen v nekaj točkah, kjer so bile sledi dvoumne), kar je posledica nekoliko večjih pretokov, uporabljenih za izračun. Na odseku Slape - Poljčane so izračunane gladine v povprečju nižje za ca. 11 cm (največ za 39 cm), z največjimi odkloni prav na območju sotočja z Ložnico. Ujemanje je še boljše, če predpostavimo, da lahko gre pri zabeleženih sledih dejansko tudi za maksimalni doseg zaradi valovanja. Za natančnejše umerjanje modela bi bila potrebna simultana direktna meritev pretokov (doppler ali hidrometrično krilo) med visokovodnim dogodkom v več prerezih vzdolž Dravinje. Ocenjujemo, da je model, v okviru razpoložljivih podatkov, ustrezno umerjen. Vsekakor pa je model koristen za oceno vplivov posegov na vodni režim. Po drugi strani izračuni kažejo, da je vpliv ng pri večjih pretokih, ko je poplavljen že večina doline, relativno majhen. Pri 15-odstotnem povečanju ng znaša sprememba gladin pri Q100 ca. 10 cm, kar kaže na relativno ozko območje razpona gladin pri ekstremnih visokih vodah.

Določen vpliv na izračunane gladine ima tudi izbira računskega časovnega koraka. Primerjave kažejo, da se gibljejo vrednosti izračunanih gladin pri Q100, za različne časovne korake, znotraj območja 5 cm, sam potek gladin pa je v vseh primerih skoraj enak. Zato smo za izračune uporabili spremenljiv časovni korak z minimalno vrednostjo 1 s in maksimalno 20 s, ki omogoča razmeroma hitre izračune. Računski čas na procesorju Intel i7 3.2 GHz je za hidrogram Q100 (modelirano 55 h realnega časa) znašal ca. 15 h.

REZULTATI

Gorvodni del obravnavanega odseka v dolžini ca. 1100 m (Slovenske Konjice) je zunaj območja poplavne nevarnosti pri Q100. Na območju v dolžini ca. 2 km gorvodno od AC je globina vode pri Q100 večinoma manjša od 0,5 m, ob nasipu AC ter v manjših lokalnih depresijah (predvsem na desnem bregu) pa tudi večja od 0,5, lokalno tudi od 1,5 m. Poplavljanje se začne pri pretokih nad Q10. Ogrožene so kmetijske površine in lokalna cesta. Podobno stanje je tudi dolvodno od AC na odseku dolžine ca. 1 km, le da

je globina vode pri Q100 izključno manjša od 0,5 m, ogrožene so kmetijske površine. Na kratkem odseku AC bi pri pretokih Q500 prišlo do prelivanja.

Na območju Draže vasi je poplavna globina vode pri Q100 manjša od 0,5 m, pri Q10 poplav Dravinje ni. Pri Q100 so ogroženi praktično vsi objekti (ca. 25) na nižje ležečem delu ter državna in lokalne ceste.

Na odseku med sotočjem z Oplotnico in Ločami je globina vode pri Q100 večinoma med 0,5 in 1,5 m, v manjši meri tudi manj od 0,5 m. Lokalno je na območju depresij in na lokacijah, kjer je moten odtok (gorvodno od cest, objektov ipd.) globina tudi večja od 1,5 m. Območje je poplavljenost tudi pri Q10, obseg poplav ni bistveno manjši kot pri Q100. Poplavljanje se začne že pri pretokih okoli Q2. Ogrožene so kmetijske površine, ca. 3 objekti ter državne in lokalna cesta.

Med Ločami in Mlačami je stanje podobno. Zaradi ožje doline globine vode med 0,5 in 1 m še bolj prevladujejo, manjše globine so samo ob robovih poplavnega območja. V manjši meri so tudi globine nad 1,5 m. Območje je v večji meri poplavljenost tudi pri Q10. Poplavljanje se začne že pri pretokih okoli Q2. Ogrožene so kmetijske površine, ca. 25 objektov ter državna in lokalne ceste.

Med Mlačami in železniško progo dolvodno od Zbelovega so v veliki meri globine pri Q100 večje od 1,5 m, preostanek je skoraj izključno v območju med 0,5 in 1,5 m. Globine, večje od 1,5 m, nastopajo na območju ob meandrirajočem delu struge ter gorvodno od železniškega mostu, ki povzroča znatno zaježbo pri pretokih nad Q10 (ca. 1 m pri Q100, vpliv je ca. 1 km gorvodno). Na območju Zbelovega je vpliv zaježbe mostu pri Q100 ca. 0,5 m. Območje med levim bregom in državno cesto je pri Q10 poplavljenost praktično v celoti, poplavljanje se začne že pri pretokih okoli Q2. Ogrožene so kmetijske površine, ca. 40 objektov ter državna in lokalne ceste. V Zbelovem imajo pomemben vpliv tudi zaledne vode. Pri Q10 poplave Dravinje na levem bregu v naselju ne dosežejo glavne ceste, vendar sta bila ob dogodku septembra 2010 cesta in območje pozidave severno od ceste poplavljenost zaradi zalednih vod.

Med železniško progo in Poljčanami je skoraj na celotnem območju globina vode med 0,5 in 1,5 m, na dolvodnem delu zaradi vpliva prečnega cestnega nasipa pa tudi več kot 1,5 m. Med površino poplavnega območja pri Q10 in Q100 skorajda ni razlike. Poplavljanje se začne že pri pretokih okoli Q2. Ogrožene so kmetijske površine, ca. 15 objektov ter državna in lokalne ceste. Tok po inundaciji je zelo izrazit.

Odsek med Poljčanami in Slapami je glede poplavne nevarnosti manj raznolik. Na celotnem odseku znašajo izračunane globine poplave pri Q100 med 0,5 in

1 m, le na posameznih lokacijah so globine pri Q100 tudi nekoliko večje od 1,5 m. Takšna območja so gorvodno od Stogovcev, pri Majšperku, zelo izrazito in strnjeno med Bregom in Koritnim, lokalno med Koritnim in Strugom ter na krajšem odseku gorvodno od Studenic.

Ogrožene so kmetijske površine, ca. 32 objektov ter državna in lokalne ceste. Poplavljanje se na območju Stogovcev, Makol in Studenic začne že pri pretokih okoli 30–40 m³/s. Velikost pretoka Q2 na VP Makole znaša 63 m³/s, torej lahko ocenimo, da so nekatera območja ob Dravinji poplavljenost večkrat letno, kar je skladno z navedbami s terena. Zanimivo je, da je tudi na odseku gorvodno od Poljčan pričetek poplavljanja pri pretokih okoli 35 m³/s (Q2 na VP Loče znaša 42 m³/s).

V preglednici 2 je podano število objektov v poplavnem območju za posamezne povratne dobe. Pri tem gre tudi za gospodarske in druge objekte. Poudariti je treba, da ni nujno, da so vsi objekti tudi dejansko ogroženi, saj niso upoštevane kote odprtih objektov ipd., gre le za objekte, ki ležijo v oz. tik na robu poplavnega območja Dravinje. Pri nižjih povratnih dobah lokalno prihaja tudi do poplav zaradi zalednih vod (npr. Zbelovo), zato je število skupno ogroženih objektov pri nižjih povratnih dobah večje od podanega v preglednici 2.

odsek Slov. Konjice - Poljčane	Q10	Q100	Q500
število objektov v poplavnem območju	7	109	171
odsek Poljčane - Slape	Q10	Q100	Q500
število objektov v poplavnem območju	8	32	47

Preglednica 2: Število objektov v poplavnem območju Dravinje pri posameznih povratnih dobah.

Opazno je, da je poselitev, z izjemo posameznih objektov, ustrezno prilagojena poplavnim razmeram Dravinje do Q10, nato pa je stanje slabše. Večina ogroženih objektov pri Q100 leži v strnjenih naseljih (Draža vas, Loče, Mlače, Zbelovo in Spodnje Laže, Studenice, Varoš, Stanečka vas in Majšperk, Vabča vas in Stogovci).

V preglednici 3 so podane površine poplavnega območja pri posamezni povratni dobi. Vidimo, da so razlike med posameznimi povratnimi dobami majhne, kar je posledica poplavljenosti večjega dela doline že pri Q10. Izjema je območje Slovenskih Konjic, kjer je izvedena regulacija na višje povratne dobe.

odsek Slov. Konjice - Poljčane	Q10	Q100	Q500
površina poplavnega območja	240 ha	420 ha	510 ha
odsek Poljčane-Slape	Q10	Q100	Q500
površina poplavnega območja	450 ha	540 ha	580 ha

Preglednica 3: Površina poplavnega območja pri posameznih povratnih dobah.

Element poplavne nevarnosti so tudi hitrosti vodnega toka. Ugotavljamo, da so hitrosti v inundacijah pri Q100 splošno manjše od 1 m/s, vendar je tok po inundaciji jasno izražen. Do povečanih hitrosti prihaja le lokalno. Takšna območja lahko razdelimo v dve skupini:

- posamezna manjša in zelo lokalna območja povečanih hitrosti zaradi lokalno povečanih gradientov terena v inundaciji (posamezne računske celice);
- območja povečanih hitrosti ob robovih struge na mestu koncentriranega prelivanja, na odsekih med bližnjimi meandri ("sekanje meandra") ter na območju cest (manjši ng, prelivanje).

Območja iz druge alineje so sicer razmeroma majhna vendar strnjena (ne gre za posamezne računske celice kot v primeru prve alineje). Zanimivo, vendar vsekakor fizikalno ustrezno je dobro prekrivanje območij izrazite bočne erozije, lokacij začetnega poplavljanja in območij povečanih hitrosti zunaj struge. Poudariti je treba dejstvo, da je tok oz. hitrost v inundaciji izrazit, kar je bilo opaženo tudi na terenu ob poplavnem dogodku septembra 2010. Izračunane hitrosti pri Q100 se gibljejo večinoma okoli 0,5 m/s, z večjimi strnjenimi območji hitrosti okoli 0,75 m/s.

VISOKOVODNI DOGODEK 18.9.2010

V kratkem času po izdelavi modela in izračunov je 18.9.2010 prišlo na obravnavanem odseku do visokovodnega dogodka s povratno dobo ca. 10 let. Ker so bili podatki za umerjanje modela zelo pomanjkljivi, se je ponudila odlična priložnost za verifikacijo modela na osnovi opazovanja poplavnega dogodka v naravi ter geodetske meritve dosega visokih vod. Med poplavnim dogodkom je bil v soboto 18.9.2010 med 11. in 15. uro opravljen terenski ogled med Slovenskimi Konjicami in Studenicami (ca. 20 km odsek). V Studenicah zaradi pregloboke preplavitve ceste ni bil možen prehod čez most oz. dalje dolvodno. V Slovenskih Konjicah je gladina že upadla za ca. 0,4 m glede na maksimum, dolvodno od Loč pa so bile v tem času poplave ravno v območju najvišjih

gladin. Naslednji teden so bile znivelirane maksimalne kote poplav po sledih na odseku med Slapami in Slovenskimi Konjicami na 33 lokacijah (v povprečju ca. 1 točka na 1,2 km).

Podajamo izbor 76 fotografij, za katere menimo, da dobro opisujejo obseg poplavnega dogodka, nekatere pojave in probleme prebivalcev ob Dravinji, hkrati pa bodo lahko koristne za morebitne bodoče analize. Poleg komentarjev pod fotografijami podajamo še nekaj splošnih zanimivejših ugotovitev:

- Zaradi majhne pretočnosti struge po inundacijah pri visokih vodah večinoma teče znaten del pretoka. Skoraj celotna širina poplavnega območja (doline) je v gibanju.
- Pri nizkih prelivnih višinah je bila zaznana praktično pravokotna smer prelivanja iz struge.
- Poleg poplav glavnega vodotoka in pritokov so lahko znaten del poplav tudi poplave zalednih vod, kot se je izkazalo v Zbelovem.
- Posegi prebivalcev, gasilcev in drugih med poplavnim dogodkom, kot so različni preboji, nasisi ipd., lahko pri določenih pretokih bistveno vplivajo na lokalno razporeditev poplav in morebitno kasnejšo interpretacijo dogodka, zato bi jih bilo treba beležiti (zapisnik ipd.).

ZAKLJUČKI

Za približno 40 km dolgi odsek Dravinje med Slapami in Slovenskimi Konjicami je bil izdelan nestacionarni matematični model. Izdelane so bile karte razredov poplavne nevarnosti za ca. 1000 ha poplavnih površin. Pri izdelavi se je pokazala prednost celostnih obravnav daljših odsekov vodotokov, saj je tako mogoče ustrezneje upoštevati robne pogoje, obravnavati nestacionarne pojave ter vplive na vodni režim. Pritoki so bili upoštevani samo v hidrološkem smislu. Model bi bilo mogoče izboljšati s hidravlično obravnavo izlivnih odsekov pritokov, prepustov pod vzporednimi cestami in drugih detajlov, kar pa pomeni znatne dodatne stroške in čas, predvsem z vidika zajema (geodetskih) podatkov na terenu. Poseben problem so poplave zalednih vod, zato bo v prihodnosti treba preveriti možnost uporabe distribuiranih modelov padavine/odtok na večjih območjih.

Poleg ustreznih vhodnih podatkov (geodezija, hidrologija ipd.), ustreznega modela, znanja in izkušenj so zelo pomembni tudi podatki o preteklih visokovodnih dogodkih. Če ni mogoče pridobiti kot visokih vod, je lahko v veliko pomoč tudi opis pojava, dosega in toka visokih vod, ki se lahko pridobijo od prebivalcev na terenu. Izkušnje kažejo, da je uporaba metode Cowana oz. Shena za oceno Manningovega koeficienta n_g ustrezna, seveda pa je vedno treba stremeti k pridobitvi podatkov za umerjanje ali verifikacijo.

Zbiranje in analizo podatkov o visokovodnih dogodkih opravlja MOP-ARSO, vendar je to omejeno le na posamezne vodomerne postaje. V zadnjih letih je bil dosežen velik napredek z uvedbo Dopplerjevih merilcev pretoka ter z zagnanostjo (mlajših) uslužbencev MOP-ARSO, ki ob visokovodnih dogodkih merijo pretoke. Žal je to delovanje še zmeraj precej omejeno.

Veliko podatkov zberejo tudi zainteresirani uporabniki (fakultete, gospodarske družbe in posamezniki, ki se ukvarjajo s hidrološko hidravličnimi analizami). Izvajalci obvezne državne javne službe urejanja voda praviloma le popisujejo in dokumentirajo t.i. škodo na vodni infrastrukturi, meritve gladin visokih vod so bolj izjema kot pravilo.

Menimo, da bi morali članki in druge objave, ki se nanašajo na matematično modeliranje, obvezno vsebovati navedbo uporabljenih oz. umerjenih vrednosti ng, saj je to na dolgi rok koristno za celotno stroko. Še posebej nerazumljivo je opuščanje tega podatka s strani npr. fakultete.

Koristna bi bila vzpostavitev javno dostopne spletne strani, na katero bi izdelovalci študij in raziskovalne ustanove ter fakultete lahko posredovali umerjene vrednosti ng za različne vodotoke, skupaj z opisi modela in vodotoka ter ustreznimi fotografijami. Takšna spletna stran bi lahko nastala npr. pod pokroviteljstvom Društva vodarjev Slovenije, saj bi stroki zelo koristila. Poleg tega bi se na spletni strani lahko zbiralo tudi gradivo (fotografsko in drugo) o zabeleženih visokovodnih dogodkih. Podjetje DHD d.o.o. je pripravljeno zagotoviti finančna sredstva za delovanje spletne strani.

VIRI:

- Vodnogospodarska ureditev Dravinje na odseku Stogovci - Koritno, IDP, proj. št. 3214/10, 10/2 Karte poplavne nevarnosti ter razredov poplavne nevarnosti, št. 42, december 2010, dopolnitve december 2011, JV VGB Maribor d.o.o. in DHD d.o.o.
- Izdelava kart poplavne nevarnosti ter kart razredov poplavne nevarnosti na širšem območju ob Dravinji za zagotavljanje poplavne varnosti urbaniziranih območij od Studenic do Slovenskih Konjic, št. 3216/10-43, avgust 2010, dopolnitve junij 2011, JV VGB Maribor d.o.o. in DHD d.o.o.
- Izboljšanje poplavne varnosti območij ob Dravinji na odseku Stogovci-Koritno, Idejne rešitve, št. 2379/01, oktober 2011, VGB Maribor d.o.o.



HIDRAVLIČNI MODEL REKE SAVINJE

Krištof Kučič, Hidrosvet d.o.o.

POVZETEK

Priprava poplavnih kart je pomemben element obvladovanja škodnega potenciala poplav. Evropska direktiva 2007/60/EC, ki zadeva ocenjevanje in obvladovanje poplav, od članic zahteva pripravo kart poplavne nevarnosti in kart poplavne ogroženosti. Osnova za pripravo teh kart so ustrezni hidravlični modeli vodotokov, ki temeljijo na kakovostnih in ažurnih geodetskih podatkih ter so pripravljeni in umerjeni na ustrezen način. Primer takega modela je model reke Savinje od Tremerij do Zidanega Mosta.

ABSTRACT

Flood mapping is a crucial element of flood risk management. Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks will require Member States to prepare flood hazard and flood risk maps. The basis for preparing these maps are appropriate hydraulic models of rivers that are based on good and updated geodetic data, and are suitably prepared and validated. An example of such a model is the Savinja River model covering the section from Tremerje to Zidani Most.

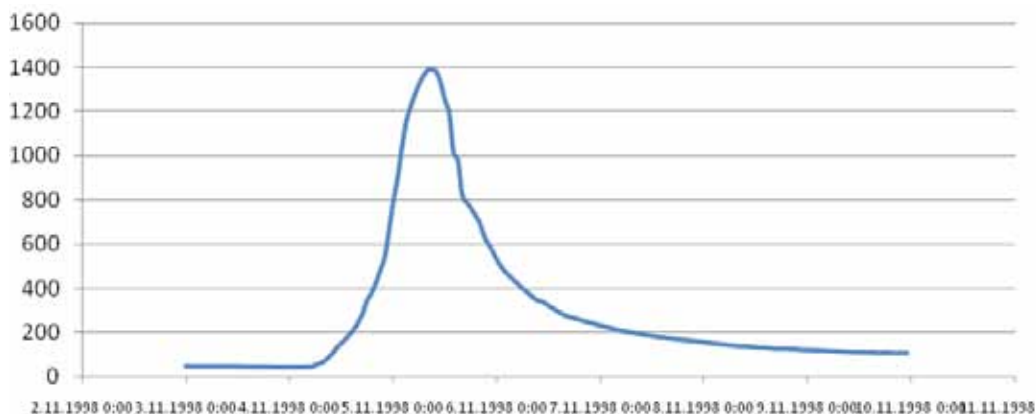
Hidravlično modeliranje opisuje tok oziroma transport tekočin, najpogosteje pa gre za opis vodnega toka. Poznavanje vedenja vode v prostoru nam omogoča načrtovanje in reševanje težav, ki jih imamo lahko zaradi kroženja vode od mesta, kjer padejo kot padavine, do mesta, kjer izhlapijo. Začetek vsakega hidravličnega modela je poznavanje oziroma ocena količine vode, ki v modelu nastopa. Najpogosteje si pri tem pomagamo s hidrološkimi izhodišči ali z merjenimi podatki iz preteklih dogodkov.

1. Značilni pretoki Savinje

Na podlagi meritev pretokov z vodomernih postaj (Medlog, Celje II – brv, Laško, Veliko Širje) in uporabo statističnih metod ter ujemanja merjenih podatkov z izbrano porazdelitvijo se določijo pretoki za različne povratne dobe. Predvideni pretoki so ključen vhodni podatek hidravličnega modela. V preglednici 1 so prikazani nekateri pretoki Savinje za različne povratne dobe.

SAVINJA	Q_{100} [m ³ /s]	Q_{10} [m ³ /s]	Q_{500} [m ³ /s]
pod Rečico	1.412	950	1.736
pod Lahomnico	1.422	959	1.749
pod Ično	1.432	962	1.761
pod Gračnico	1.470	980	1.805
do izliva v Savo	1.472	985	1810

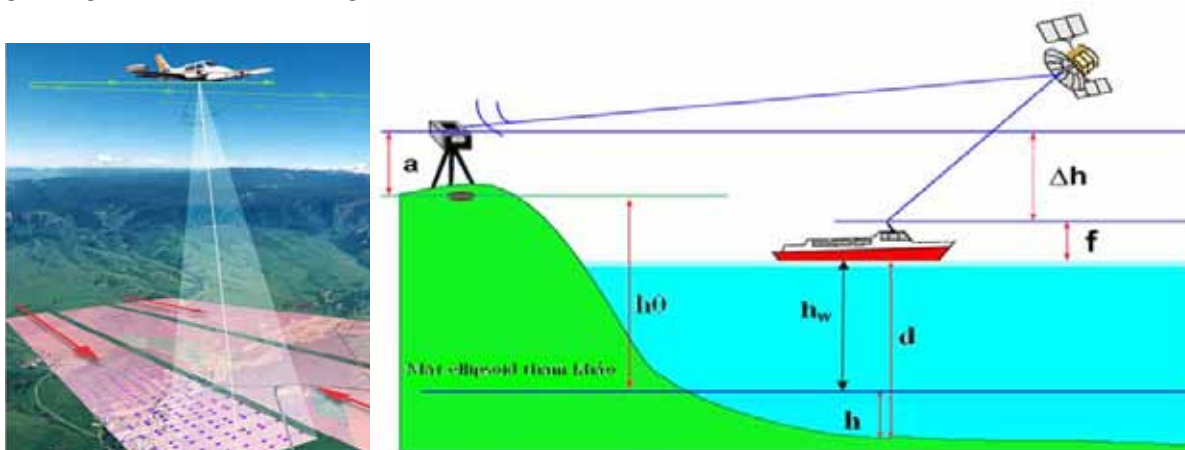
Za 2D model pa je običajno vhodni podatek hidrogram pretokov. V našem primeru smo uporabili kar pretočno krivuljo [Q/t], zabeleženo leta 1998 na vodomerni postaji Laško.



Grafikon: Pretoki na vodomerni postaji Laško od 3.11. do 10.11.1998.

2. Geodetski podatki

Dober hidravlični model mora temeljiti na kvalitetnih podatkih, ki morajo biti ažurni in posneti z ustrezno gostoto točk, kar omogoča identifikacijo možnih elementov, ki vplivajo na dejanski tok vode v prostoru. Osnova za pripravo tako enodimenzijskih (1D) kot dvodimenzijskih (2D oziroma mešanih 1D v strugi in 2D na inundacijah) modelov je lahko topografska površina, ki jo sestavimo iz geodetskih podatkov. Danes si lahko v razmeroma kratkem času in s solidno natančnostjo zagotovimo veliko gostoto posnetih točk z zračnim laserskim snemanjem (LIDAR), vendar je tak način pridobivanja podatkov še vedno neustrezen za dna rečnih strug, ker se laserski žarki lomijo na vodni gladini in dobljene višine ne izkažejo dejanskega dna reke. Za pripravo modela Savinje od Tremerij do izliva v Savo smo se odločili, da točke pod vodo posnamemo s pomočjo sonarja in integriranega GPSa ter elektronskega tahimetra.

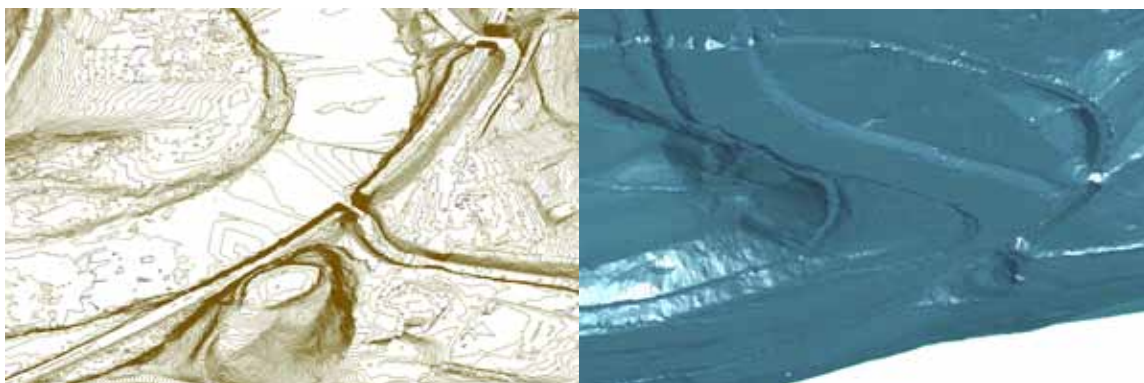


Na slikah: Lidar in sonarsko snemanje terena

Iz zbranih podatkov smo prečne profile za vnos v programe za hidravlično modeliranje sestavili iz posnetih podatkov struge (sonarsko oziroma klasično posneto dno) in LIDAR-posnetkov zunaj struge. Tako sestavljeni podatki nam dajo dejanski 3D model reliefa s pravilnimi globinami v strugi. Podatke lahko uporabimo tako za 1D kot za 1D/2D hidravlični model.



Na sliki: Dejanski prečni profil vodotoka sestavimo iz sonarskih podatkov za rečno dno in LIDAR- podatkov za brežine.



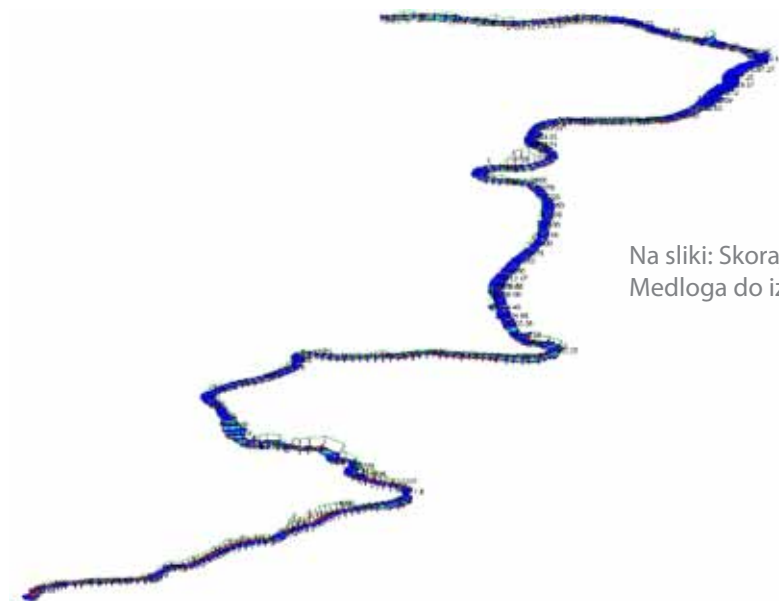
Na sliki: Izdelani 3D model terena na podlagi vseh geodetskih podatkov (Civil3D, prikaz za območje ovinka pri Marija Gradcu).

3. Sestavljanje hidravličnega modela

Za 1D modeliranje smo uporabili Hec-Ras 4.1.0, za 1D/2D model pa program Flo-2D.

Program HEC-RAS 4.1.0 je z grafičnim uporabniškim vmesnikom opremljen program HEC-2, ki je eden najstarejših in v praksi najbolj preizkušenih in razširjenih enodimenzijskih modelov za račun gladin stalnega enakomernega toka. Razvijalec je Ameriška vojska oziroma Hydrologic Engineering Center US Army Corps of Engineers iz Kalifornije. Program FLO-2D je kombinacija 1D toka v strugi in 2D toka v inundaciji, razvijalec pa je Flo-2D Software, ZDA. Princip tega modeliranja temelji na računu izmenjave volumnov med posameznimi računskimi celicami v in zunaj struge vodotoka.

Za prenos prečnih profilov v Hec-Ras smo uporabili možnost izvoza podatkov Autodeskovega Civil3D 2012, kjer je treba označiti os vodotoka, linije brežin in širino ter gostoto prečnih profilov. Po uvozu geometrijskih podatkov nam manjkajo samo še mostovi in model je pripravljen za umerjanje.



Na sliki: Skoraj 29 kilometrov dolgi model Savinje od Medloga do izliva v Savo (Hec-Ras).

Tudi osnovne batimetrične podatke za 2D modeliranje lahko pripravimo s programom CIVIL3D. Po potrebi lahko iz izdelane topografske površine izločimo bližnje točke s skoraj isto višino, da zmanjšamo velikost vhodnih datotek oziroma pripravimo samo manjše območje, kjer predvidevamo poplavljanje. Za območje 2D modeliranja smo izbrali samo najbolj poplavno ogroženo območje skozi središče Laškega - od Jagoč na severu do Marija Gradca na jugu.

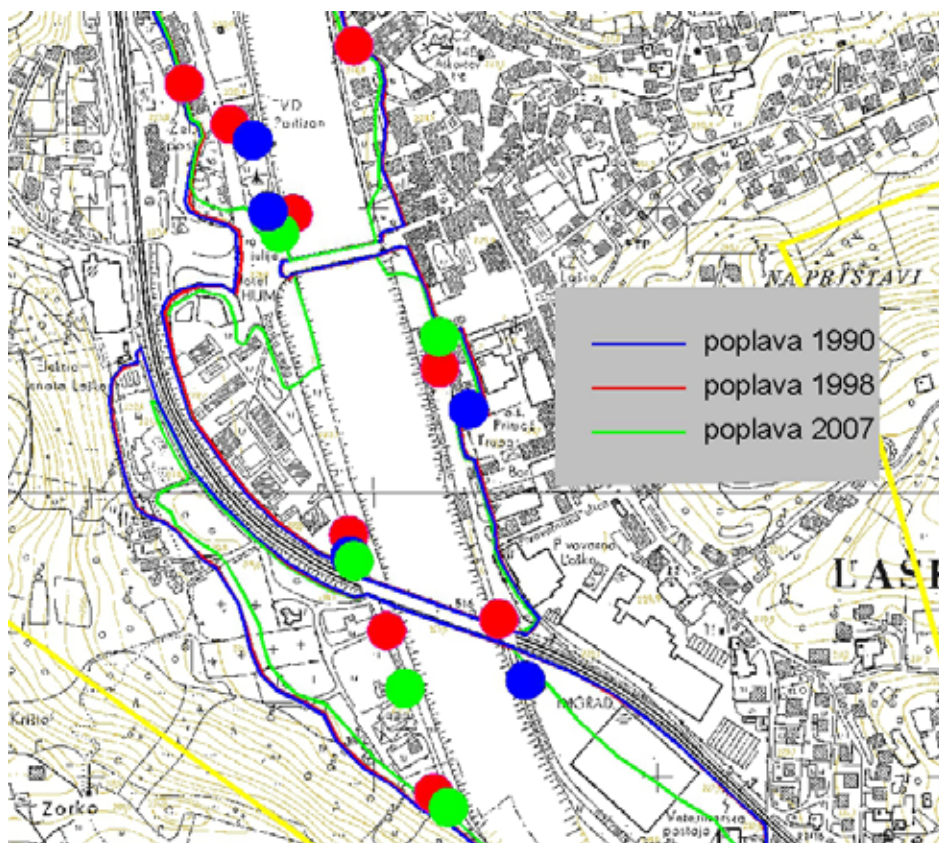
Ob sestavljanju 2D modela lahko dodamo številne značilnosti terena, ki pomagajo k boljšemu opisu razmer v naravi. V model smo dodali zmanjšanja prostornin zaradi objektov v računskih celicah, potencialen tok vzdolž glavne ceste na desnem bregu, prepuste pod železniško progo in oviro toku, ki jo tvori železniška proga.



Na sliki: Dodani elementi za natančnejši opis razmer v naravi (Flo-2D).

4. Umerjanje hidravličnega modela

Zelo pomemben del vsakega hidravličnega modela je ustrezno umerjanje modela, da bo čim bolj natančno izkazoval in napovedoval dogodke, ki se lahko zgodijo v naravi. Ob umerjanju hidravličnega modela so v veliko pomoč merjeni podatki ob izjemnih dogodkih v preteklosti. Za Savinjo do Medloga so poleg podatkov s štirih vodomernih postaj na voljo tudi obširni podatki o zabeleženem dosegu poplavne vode za poplave 1990, 1998 in 2007. Za najboljši prikaz trenutnih razmer so najbolj primerni najnovejši podatki, saj se rečna korita s časom spreminjajo: na nekaterih delih je treba poskrbeti za rečne ureditve, ki lahko bistveno spremenijo režim toka na določenem območju in podobno.



Na sliki: Poplavne linije in točkovna mesta izmerjenih gladin za poplave v središču Laškega.

stacionaža	Q100 model [cm]	Q2007 model [cm]
VP Vel. Širje	2	10
5.175	6	
6.075	8	
6.150	10	
12.500	1	
13.570	1	-10
13.700	6	
13.800	-3	
13.950	5	
14.000	11	0
14.150	10	1
15.150	-26	4
15.850	0	2
16.800	1	
20.100	-25	
20.700	14	
21.470	-4	

Preglednica: Razlike med izmerjeno in modelirano gladino poplavne vode na nekaj mestih vzdolž Savinje za poplave leta 1998 in 2007.

5. Rezultati

Ko na podlagi izračunov umerjenega hidravličnega modela dobimo predvidene najvišje gladine ob poplavnih dogodkih, je treba gladine predstaviti na preglednih kartah, najpogosteje na kartah poplavne nevarnosti. Povezava rezultatov Hec-Rasa z Autodeskovim Civil 3D programom je razširitveni paket River Analysis 2012, ki omogoča izris izbranih poplavnih linij (Q_{500} , Q_{100} , Q_{10} , globina 50cm, globina 150cm) glede na 3D model terena. Rezultati 2D modeliranja pa so že povezani s koordinatami točk iz vhodnih podatkov, tako da je mogoče poplavne konture prenesti na situacijski prikaz v izbranem merilu.



Na slikah: Izris poplavnega območja na 3D terenu (Civil 3D in River Analysis, gladine prenesene iz Hek-Rasa, reliefna podloga Google Earth)



Na sliki: Prikaz največje globine poplavne vode za Laško na območju zdravilišča (Flo-2D).

6. Zaključek

Na podlagi vseh prej opisanih postopkov (pridobitev podatkov o pretočnih količinah, priprava podatkov iz geodetskih podatkov, hidravlično modeliranje in na koncu prenos podatkov o gladinah na 3D model terena) lahko pripravimo karte poplavne nevarnosti za sedanje stanje. Poplavne karte so osnova za nadaljnje ukrepe na področju varovanja ljudi in premoženja pred škodnim delovanjem voda in tudi osnovna podlaga načrtovalcem, ki umeščajo prostorske enote v prostor.



Na sliki: Karta razredov poplavne nevarnosti za območje Laškega pri Marijagraškem ovinku.

UPORABA LIDAR-POSNETKA PRI HIDRAVLIČNEM MODELIRANJU VODOTOKOV V NASIPIH

Tijana Mičić, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž. in Timotej Mišič, MSc GIS,
Vodnogospodarski biro Maribor d.o.o.

POVZETEK

S sprejetjem Pravilnika o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti (Ur.l. RS, št. 60/2007) in Uredbe o pogojih in omejitvah za izvajanje dejavnosti in posegov v prostor na območjih, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja (Ur. l. RS 89/2008) ter hkratnim razvojem in dostopnostjo programske opreme, postajajo 2D hidravlični modeli stalnica na področju računanja rečne in obrečne hidravlike ter izdelave poplavnih kart. Za izdelavo kakovostnih modelov potrebujemo dobre vhodne podatke, katerih osnovo sestavljajo topološki podatki o geometriji struge in inundacijskem območju. Za slednje se pogosto uporabljajo LIDAR-posnetki, le ti pa se vedno pogosteje uporabljajo tudi pri generiranju prečnih profilov struge, kjer se uporablja LIDAR-posnetek do vodne gladine, batimetrija dna pa se posname terestrično ali s sonarjem. Pri naravnih vodotokih je takšna metoda zadovoljiva, drugače pa je pri reguliranih vodotokih z visokovodnimi nasipi. Ker je natančnost LIDAR-posnetka odvisna tudi od vrste in gostote poraščenosti terena, se lahko izmerjene absolutne višinske kote na kroni nasipa razlikujejo za več kot 20 cm od dejanske višine. Veliko vodnogospodarskih ukrepov je bilo sprejetih pred več kot desetimi leti, v tem času pa smo bili priča tako spremembi klimatskih kot tudi odtočnih razmer na račun vse večje izrabe prostora za širitev naselij in poslovno-industrijskih con. Posledično se je hidrologija vodotokov lahko spremenila tudi do te mere, da dejanska varnostna višina nasipov ne ustreza več projektirani. V tem primeru je natančna višinska kota nasipa pomemben podatek pri matematičnem modeliranju poplav visokih vod vodotokov, saj so lahko na račun precenjene višine nasipa rezultati modela zavajajoči in ne odsevajo realne poplavne nevarnosti določenega območja.

ABSTRACT

With the adoption of the Rules on methodology to define flood risk areas and erosion areas connected to floods and classification of plots into risk classes (Official Gazette RS, number 60/2007) and the Regulation on the conditions and limitations for the implementation of activities and interventions into space in areas at risk for flooding and associated erosion of inland water and sea water (Official Gazette RS, number 89/2008), as well as with the simultaneous development and accessibility of software, the 2D hydraulic models are becoming a regular feature in the area of computing river and riverside hydraulics and in the composition of flood maps. In order to make quality models, we need good input data based on topological data of riverbed geometry and floodplains. For the latter, LIDAR survey data are often used. LIDAR data are increasingly used at generating river cross sections, where LIDAR data are used to the water level, while riverbed bathymetry is taken by conventional terrestrial survey or by multi-beam sonar. With natural watercourses, this method is satisfactory, but quite a different matter as far as regulated watercourses with flood protection dikes are concerned. Because the accuracy of LIDAR data depends also on vegetation density, the measured elevation of dike crest can vary for over 20 cm from the actual height. Many water management measures were carried out more than 10 years ago, and during this time we encountered climate change and run-off conditions at the cost of increased space use for housing estates and business-industrial zones. Consequently, the hydrology of watercourses has changed to the point where the actual dikes' safety height does not correspond to the planned height. In this case, the accurate elevation angle of dikes is important data for mathematical modelling of high watercourses floods, because the results of a model can be misleading due to overestimated height of dikes and do not present the realistic flood danger of a certain area.

1. UVOD

Z razvojem programske opreme in uporabniku prijaznih matematičnih modelov smo v zadnjih letih na področju hidravličnega modeliranja vodotokov priča izdelavi številnih kakovostnih 2D modelov. S sprejetjem Pravilnika (Ur. l. RS, 60/2007) in Uredbe (Ur.l. RS, 89/2008), ki narekujeta izdelavo poplavnih kart za visokovodne dogodke, se je pokazala potreba po kakovostnih geodetskih podlagah, ki jih ponuja LIDAR-način zajemanja topologije. Na temo izdelave kart poplavne nevarnosti in o kakovosti LIDAR-posnetkov je bilo v zadnjih letih

napisanih že veliko strokovnih člankov, zato se v podrobnosti izdelave slednjih ne bomo podrobneje spuščali. Za izdelavo kakovostnih 2D modelov potrebujemo tudi kvalitetne vhodne podatke in osnova za le-te je kvalitetna topografija, ki je sestavljena iz terestrično posnetih prečnih profilov ali iz sodobnejšega sonarskega snemanja batimetrije dna vodotoka ter iz posnetka inundacijskega območja. Za slednjo se predvsem pri ravninskih vodotokih najpogosteje uporablja LIDAR- tehnologija. S sestavo obeh geodetskih posnetkov lahko izdelamo digitalni model terena (DMR), ki rabi kot podlaga za izdelavo hidravličnega modela. Prav tako je znano, da lahko LIDAR-posnetki pri gosti vegetaciji izkazujejo tudi nekaj deset centimetrov višje absolutne kote terena od dejanskih. Pri naravnih vodotokih takšen odklon ne igra bistvenega vloge, medtem ko za vodotoke v nasipih to ne velja. Kadar terestrični posnetek prečnih profilov ne zajema tudi krone nasipa, bodisi zaradi oddaljenosti nasipa od brežine struge ali zaradi dodatnega snemanja samega dna vodotoka pod vodno gladino (kjer žarki LIDAR-posnetka ne prodrejo), lahko rezultati matematičnega modela poplav dajo popolnoma drugačno sliko poplavne nevarnosti, kot je dejanska. Slednje se lahko zgodi tudi, kadar uporabimo metodo zgoščevanja prečnih profilov z generiranjem profilov iz LIDAR-posnetka, kar se je pokazalo tudi na primeru izdelave 2D hidravličnega modela Pesnica na območju občine Gorišnica.

2. OPIS OBRAVNAVNEGA OBMOČJA

Dolina Pesnice je vrezana v gričevje Slovenskih goric in poteka vzporedno s smerjo toka Drave in Mure – v smeri SZ-JV. SZ del povodja se naslanja na Kozjak, navzdol pa omejujeta povodje hrbtišči Slovenskih goric. Povirni del povodja Pesnice omejuje državna meja z Avstrijo, ki poteka po grebenu Kozjaka do nadmorske višine prek 600 m, medtem ko je desnobrežno gričevje, ki spada že k Slovenskim goricam nekoliko nižje in sega do nadmorske višine okoli 500 m. Nadmorska višina grebena, ki ponazarja vododelnico, se zmanjšuje proti spodnjemu delu povodja do ca. 300 m n.m. Z izjemo zgornjega dela nad Zg. Kungoto ima povodje Pesnice popolnoma ravninski značaj in meri 580 km². Pesnica izvira v Avstriji med Lučanami in Jurijem na koti 430 m n.m., izliva pa se v Dravo pred Ormožem na koti 194 m n.m.

Reka Pesnica priteče na Ptujsko polje s severa in se polagoma usmeri proti jugovzhodu. V občino Gorišnica vstopi na severozahodnem robu pri letališču Moškanjci. Dolvodno od letališča teče pod železniško progo Ptuj-Ormož, nato severno od Gorišnice, občino pa zapusti na njeni vzhodni meji severno od Formina (slika 1).



Slika 1: Območje obravnave.

Pesnica je na celotnem obravnavanem odseku regulirana v polvkopanem sistemu z obojestranskimi nasipi nad koto terena ob vodotoku. Sekundarna odvodnja je rešena z mrežo melioracijskih jarkov. Regulirana je s profilom trapezne oblike, širina dna struge je 12 m, naklon brežin nasipov pa 1:2,5.



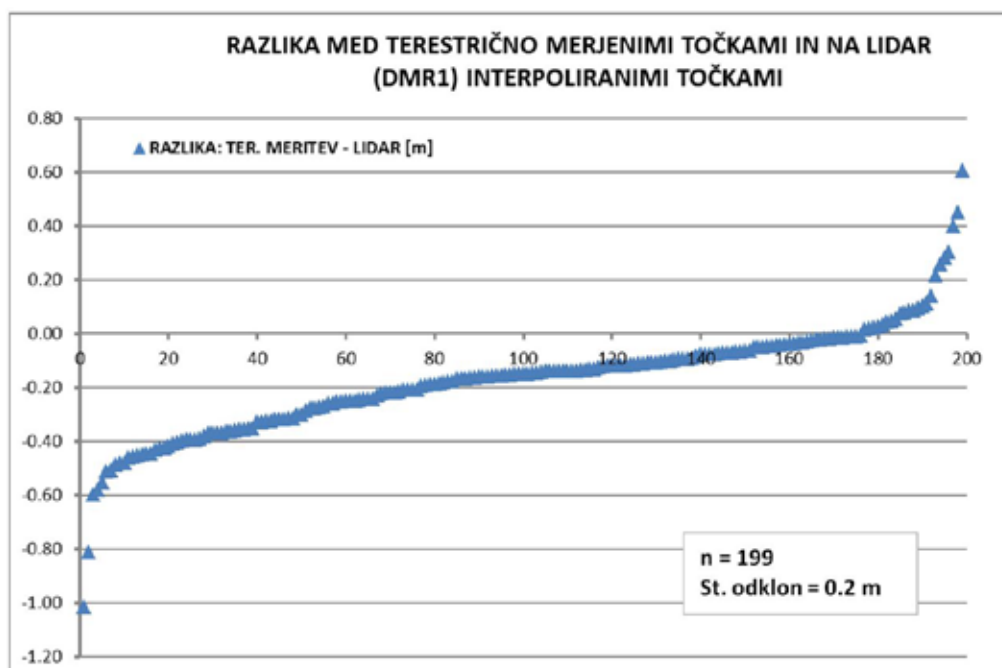
Slika 2: Regulirani profil Pesnice visokovodnimi nasipi.

3. ANALIZA TOPOLOŠKIH PODATKOV

Za izdelavo predmetne študije je bil v letu 2011 izdelan LIDAR-posnetek širšega območja, opravljeno pa je bilo tudi terestrično snemanje prečnih profilov Pesnice. Natančnost LIDAR-posnetka kaže določene odklone pod gosto vegetacijo, kjer se signal ne prebijejo do realnih tal oz. so odboji zelo redki. Prečni profili Pesnice so bili terestrično izmerjeni na povprečni oddaljenosti 90 m in so zajemali posnetek korita struge in krone nasipa. Zaradi velike razdalje med posnetimi profili smo profile zgostili z generiranjem profilov iz LIDAR-posnetka, dno profila pa smo dobili z interpolacijo dna med sosednjimi terestrično posnetimi prečnimi profili.

3.1 Primerjava terestrično posnetih prečnih profilov in profilov, generiranih iz LIDAR-posnetka

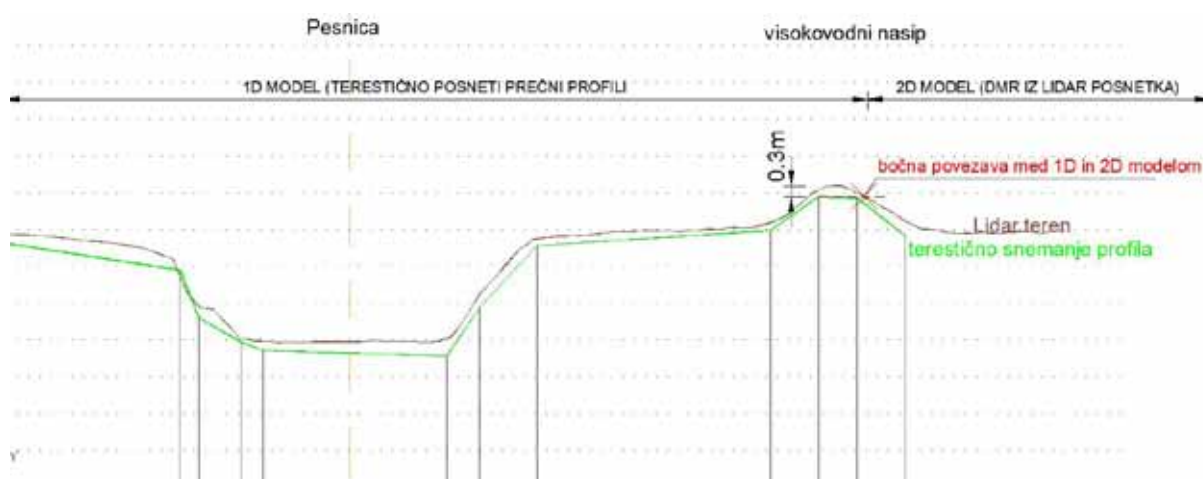
Pri podrobnejši analizi obeh geodetskih posnetkov smo se osredotočili predvsem na primerjavo merjenih kot terena na kroni nasipa, po kateri poteka povezava med 1D in 2D modelom. Analiza je pokazala, da LIDAR-posnetek izkazuje višjo izmerjeno absolutno koto krone nasipa kot terestrično snemanje. Razlogi za ta odklon najverjetneje ležijo v vrsti in gostoti vegetacije na nasipu v času LIDAR-snemanja. V času ogleda terena po že opravljenem LIDAR-snemanju je bila krona nasipa poraščena z visoko, a tu in tam poleglo travo. Zaradi goste vegetacije je prvi odboj LIDAR-žarkov na površju poleglo trave in ne na koti dejanskega terena krone nasipa, kar ima za posledico višje izmerjene absolutne kote. Podrobnejša analiza je pokazala standardni odklon med LIDAR-točkami, interpoliranimi na DMR-1, in terestrično izmero +20 cm (slika 3). Do napake bi lahko prišlo tudi pri terestrični izmeri terena, a ker primerjava merjenih kot na asfaltni cesti kaže ujemanje na $\pm 5\text{cm}$, smo to možnost izključili.



Slika 3: Primerjava terestrično merjenih točk in točk iz posnetka LIDAR (DMR1) na nasipu.

Na podlagi zgornjih ugotovitev bi bila z generiranjem vmesnih prečnih profilov iz LIDAR- posnetka na odseku med merjenimi prečnimi profili v modelu uporabljena navidezna ali zavajajoča (varnostna) višina nasipa. Podobno se lahko zgodi, če za povezavo med 1D in 2D modelom ne izberemo najbolj zunanje točke nasipa oziroma če se le-ta zaradi rasterizacije modelne mreže ali koordinatnega neujemanja lokacijsko ne ujema z dejanskim zunanjim robom nasipa. Temu se lahko izognemo z bolj gosto posnetimi prečnimi profili, gostejšo 2D mrežo ali z natančnim pregledom DMR-ja vzdolž bočne povezave med 1D in 2D modelom.

Vodotoki so bili v preteklosti regulirani z namenom, da se zagotovi poplavna varnost poseljenih območij, zato so ta območja še posebej ranljiva. Nasipi so bili zgrajeni z min. 0,5m varnostne višine nad gladino Q100, ki bi v teoriji morala zadostovati, da se odklon v izmerjeni geodetski višini nasipa ne bi poznal pri izračunu poplav visokih vod Q100. Vendar je pri tem treba upoštevati, da je večina vodnogospodarskih ureditev stara več deset let, v tem času pa je lahko prišlo do posedka nasipa in še posebej spremembe v osnovni hidrologiji vodotoka. Dejstvo je, da se na račun večje izkoriščenosti prostora pospešujejo odtoki padavinskih vod in zvišujejo konice visokovodnih valov, kar pomembno vpliva na gladine znotraj reguliranih vodotokov.



Slika 4: Primerjava terestrično posnetega prečnega profila in visokovodnega nasipa ter generiranega prečnega profila iz LIDAR-posnetka.

4. HIDRAVLIČNI MODEL

Hidravlični račun gladin visokih vod je bil izdelan z uporabo modela nestalnega toka MIKE 11, MIKE 21 in MIKE FLOOD, ki ga je razvil DHI. Program omogoča simultano izvedbo enodimenzijskega računa toka v sami strugi vodotoka (orodje MIKE11) kot dvodimenzijskega računa po poplavnih ravninah (orodje MIKE21), ki ju povezuje v modulu MIKEFLOOD.

Območje 1D modela zavzema Pesnico z njenimi inundacijskimi območji na odseku nekoliko gorvodno od meje občine Gorišnica (km 14+978) do km 8+200 dolvodno (razbremenilnik Pesnice). Nestacionarni matematični model smo izdelali na podlagi poplavnih valov visokih vod Pesnice. Zaradi konfiguracije terena in polvkopanega sistema struge Pesnice je nestacionaren pristop skoraj nujen. Poplavne vode Pesnice namreč zaradi nasipov po prelitju le-teh niso več v kontaktu z matico toka in se »prosto« razlivajo po ravninah in pri tem iščejo stare okopnele struge, jarke ter polnijo kotanje. Zaradi velikih inundacijskih površin bi se stacionarne razmere v inundacijah vzpostavile ob nerealno dolgih trajanjih konice visoke vode in s tem velikih (in nerealnih) volumnih teh vod.

Pri izdelavi 2D modela smo uporabili računsko mrežo z gostoto celic 6x6 m, ki je bila narejena na podlagi rasterizacije originalnega LIDAR-posnetka. Vsi relevantni terenski robovi, ki vplivajo na pretočnost voda po inundacijah (nasipi, ceste, jarki, železnica ipd.), so bili integrirani v računsko mrežo na podlagi 3D polilinijskih, s čimer se močno zmanjša verjetnost popačenja realnih višin linijskih reliefnih oblik zaradi bolj grobe računske mreže. Za koeficiente hrapavosti v inundaciji smo z uporabo sloja »raba tal« (MKGP, april 2010) identificirali tri tipe podlage: gozd, poselitev in njive oz. travnike (slika 5).



Slika 5: Določitev Manningovih koeficientov za inundacije.

5. REZULTATI

V predmetnem članku so povzete ugotovitve, do katerih smo prišli posredno pri izdelavi 2D matematičnega modela za namen priprave kart poplavne nevarnosti in razredov poplavne nevarnosti na območju Pesnice znotraj meja občine Gorišnica. Ker hidravlična analiza za obe varianti topoloških podlag in vpliv le-teh na rezultate modela ni bila del projektne naloge, smo za potrebe tega članka izdelali dodatni delni izračun z upoštevanjem maksimalne kote nasipa po LIDAR-posnetku. Zaradi velikega obravnavanega območja prikazujemo rezultat obeh izračunov za pretok Pesnice Q100 na izseku manjšega območja.

Slika 6–levo prikazuje rezultate izračuna z upoštevanjem maksimalne kote nasipa iz terestrično posnetih prečnih profilov. Na predmetnem odseku visoke vode Pesnice prelivajo levobrežni nasip oz. se razlivajo posredno prek desnega pritoka Severnega obrobne jarka (SOJ). Poplavljen je odsek območja južno od naselja Strejaci (HMO Strejaci), kjer poplave Pesnice segajo od izliva SOJ-a po njegovi strugi gorvodno in prelivajo nasipe SOJ-a. Poplave obsegajo predvsem njivske in gozdne površine med levobrežnim nasipom Pesnice in vznožjem Tibolskih gor, na JV delu pa sta poplavljeni tudi dva objekta. Prelivna višina prek levobrežnega nasipa Pesnice je majhna (~10cm).

Za primerjavo smo izvedli še izračun z upoštevanimi maksimalnimi kotami nasipa z na LIDAR (DMR-1) interpoliranimi točkami ($\Delta h_{\text{nasipa}} > 0,2\text{m}$). Rezultati so prikazani na sliki 6-desno. Zaradi majhne prelivne višine (pri Q100) igra višina nasipa pomembno vlogo pri izračunu poplav. Kot je prikazano na sliki 6-desno, je na račun višje kote nasipa območje za nasipom poplavno varno. Poplava dolvodno je posledica prelivanja nasipa SOJ zaradi zajeznega učinka Pesnice. Čeprav so v danem primeru na obravnavnem območju poplavljeni le njivske in travniške površine, pa analiza obeh modelov kaže, da lahko iz LIDAR-ja (oz. DMR-1) preценjene interpolirane višine krone nasipa (kadar je ta poraščena z gosto vegetacijo) pomembno vplivajo na rezultate modela in ne odsevajo realne poplavne (ne)varnosti obravnavnega območja.



Slika 6: Primerjava izračunov matematičnega modela z upoštevanjem maksimalne kote nasipa iz terestričnega posnetka prečnih profilov (slika levo) in LIDAR-posnetka (slika desno).

6. ZAKLJUČEK

Glede na to, da LIDAR na podlagah z gosto vegetacijo izkazuje v povprečju višje kote terena od dejanskih, je njegova uporaba za generiranje prečnih profilov vodotokov v nasipih omejena. Tudi v primeru, če je nasip odmaknjen od struge in je v hidravličnem modelu upoštevan pri računu 2D toka poplavnih vod, je treba mrežo DMR-ja modificirati s 3D linijo vzdolž krone nasipa (3D breakline), ki je bila posneta s terestrično izmero. Podrobnejša analiza je namreč pokazala, da pri nizkih prelivnih višinah nasipa lahko nekaj deset centimetrov precenjena kota višine krone nasipa pomembno vpliva na izračun poplav. Rezultati modela so v tem primeru zavajajoči in ne odsevajo realne poplavne nevarnosti določenega območja.

PREGLED SPREMLJANJA STANJA ONESNAŽENOSTI MORSKEGA OKOLJA S TRDNIMI ODPADKI V SLOVENIJI

Andreja Palatinus, univ.dipl.ekologinja in dr. Monika Peterlin, univ.dipl.inž.gradb.,Inštitut za vode Republike Slovenije

POVZETEK

Količine, tipe in izvor odpadkov v morskem okolju v Sloveniji raziskujemo od leta 2007 dalje. Rezultati raziskav nakazujejo na pojavljanje odpadkov tako na obali, na vodni površini in v želodcih morskih želv *Caretta caretta*. Problematika onesnaženja morja z odpadki se obravnava tudi v okviru uresničevanja Okvirne direktive o morskem strategiji (2008/56/ES; v nadaljevanju Direktiva). Do leta 2014 mora biti vzpostavljen redni monitoring odpadkov v morskem okolju, do leta 2015 pa Načrt upravljanja morskega okolja, ki bo urejal tudi problematiko onesnaženja s trdnimi odpadki. Problem morskih odpadkov pa za zdaj ostaja v javnosti premalo poznan.

ABSTRACT

Quantities, types and sources of marine litter have been investigated in Slovenia since 2007. Marine litter was found on beaches, sea surface and in the gastrointestinal tract of marine turtles *Caretta caretta*. Marine Strategy Framework Directive (2008/56/EC) includes marine litter pollution. By 2014, Member States shall set up ongoing monitoring programme for marine litter in their marine environment, while by 2015 each Member State shall develop a marine strategy for its marine waters which regulates marine litter pollution as well. Marine litter pollution remains relatively unknown in the public today.

1. UVOD

Odpadki v morskem okolju so vsi trdni odpadki antropogenega izvora, ki so na kakršenkoli način dosegli morsko okolje (Coe in Rogers, 1997). Večina odpadkov v morju je iz zelo popularnih in dolgoobstočnih plastičnih materialov, ki v morju razpadajo na manjše kose.

Največkrat so prav plastični odpadki grožnja za morske ptice, sesalce, želve in druge morske organizme, ki se v odpadke zapletajo oziroma jih po pomoti ali namenoma zamenjajo s svojo običajno hrano. Odpadki vplivajo tako na morsko dno kot vodni stolpec in obalni ekosistem. Ekonomsko škodo povzročajo več sektorjem dejavnosti. Med njimi turizmu, marikulturi in morskemu ribištvu, pomorskemu prometu. Občine in države imajo stroške s čiščenjem obal, odpadki pa ogrožajo tudi človeško zdravje (OSPAR Quality Status Control 2010).

Še posebej skrb zbujajoč je potencialni prenos mikroplastike (koščki plastike v velikosti manj od 5 mm pa vse do nano velikosti) po prehranjevalni verigi prek filtratorskih organizmov (npr. školjk). Teuten s sod. (2007) je dokazal, da majhni koščki polistirena v okolju nase vežejo in v okolje sproščajo hormonske motilce, mutagene in/ali karcinogene snovi, sposobne kopičenja v prehranjevalni verigi. Do zastrupitve organizmov lahko pride tudi zaradi sproščanja aditivov iz plastike, ki jih plastiki dodajajo v proizvodnem procesu za doseganje boljših lastnosti. Bisfenol A, ki ga dodajajo v proizvodnji embalaže za hrano in pijačo, dokazano vpliva na razvoj boleznih srca, sladkorne bolezni in motenj v hormonskem ravnovesju pri ljudeh, ki so dolgotrajno izpostavljeni tej kemikaliji (Cole, 2011).

V Sloveniji onesnaženost morskega okolja s trdnimi odpadki spremljamo od leta 2007 dalje.

Leta 2008 sprejeta Direktiva je opredelila odpadke v morju kot enega izmed enajstih deskriptorjev dobrega okoljskega stanja, dodatno pa je Evropska komisija v Sklepu o merilih in metodoloških standardih na področju dobrega okoljskega stanja morskih voda (2010/477/EU) določila kriterije in kazalnike za ocenjevanje stanja morja glede na količino in lastnosti odpadkov:

Kriterij I: Značilnosti odpadkov v morskem in obalnem okolju

- Trendi glede količine odpadkov, naplavljenih na kopno in/ali odloženih na obalo, vključno z analizo njihove sestave, prostorsko razporeditvijo in izvorom, če je to mogoče.

- Trendi glede količine odpadkov v vodnem stolpu (tudi plavajočih na gladini) in odloženih na morsko dno, vključno z analizo njihove sestave, prostorsko razporeditvijo in izvorom, če je to mogoče.
- Trendi glede količine, razporeditve in po možnosti sestave mikrodelcev (zlasti mikroplastike).

Kriterij II: Vplivi odpadkov na morske organizme

- Trendi glede količine in sestave odpadkov, ki jih zaužijejo morske živali (npr. analiza vsebine želodca).

Po sprejemu Direktive je Inštitut za vode Republike Slovenije (v nadaljevanju: IzVRS) začel opravljati aktivnosti za razvoj kazalnikov s poudarkom na kazalniku odpadkov na obalah ter mikroplastike v morju. V pričujočem delu predstavljamo aktivnosti, ki potekajo v skladu s pripravo poročila za Direktivo. Več pa si bralci lahko preberejo v poročilih za javnost na spletni strani Ministrstva za kmetijstvo in okolje in v strokovnih člankih, objavljenih o tej temi (http://www.mop.gov.si/si/delovna_podrocja/voda/okvirna_direktiva_o_morski_strategiji/, dosegljivo 6.3.2012).

2. ODPADKI, NAPLAVLJENI NA KOPNO IN/ALI ODLOŽENI NA OBALO

Za zdaj se redno opravlja vzorčenje odpadkov na obalah, ki je najpogostejši način merjenja onesnaženosti morskega okolja s trdnimi odpadki. V Sloveniji redno mesečno opravljamo štetje, tehtanje ter kategorizacijo posameznih odpadkov, nabranih na določenih predelih slovenske obale. Hkrati se opravlja vzorčenje odpadkov na devetih 150 m dolgih transektih obale (slika 1) ter čiščenje obale s kvantifikacijo pobranih odpadkov na 18 odsekih v skupni dolžini 15.744 metrov slovenske obale (slika 2).



Slika 1: Zemljevid slovenske obale z vršnimi raziskovanimi lokacijami monitoringa odpadkov na obali (obkrožene) (Vir: Palatinus, 2008).

Št. odseka	Odsek	ZAČETEK ODSEKA		KONEC ODSEKA		DOLŽINA ODSEKA V m
1	Lazaret - kopališče Debeli rtič	GKX	GKY	GKX	GKY	1435
2	Kopališče Debeli rtič - Debeli rtič punta	50836	400762	50865	400077	940
3	Debeli rtič punta - Mladinsko okrevišče Debeli rtič	50713	399899	50365	399194	400
4	Mladinsko okrevišče Debeli rtič - Valdoitra	50365	399194	50116	399484	400
5	Valdoitra - skalomet	49986	399659	49317	400866	1540
6	Valdoitra - sv. Katarina	49243	400881	49179	400915	74
7	Koper - žusterna (skalomet)	48561	401721	48370	402199	556
8	Koper - žusterna (skalomet)	45075	400383	45469	399779	756
9	Žusterna - Rtič Rex	45535	399531	45715	398193	1503
10	Rtič Rex - Zaliv Viližan (AG Jadranka)	45715	398193	44984	396819	1627
11	Izola - Strunjan I (Rtič Kane - Bele skale)	44064	394178	44384	392964	1320
12	Izola - Strunjan II (Bele skale - Rtič Ronek)	44384	392964	44882	392041	1132
13	Izola - Strunjan III (Mesečev zaliv - Rtič Strunjan)	44882	392041	44591	391166	1048
14	Izola - Strunjan IV (Rtič Strunjan - kopališče Strunjan)	44591	391166	43996	391082	646
15	Strunjan (Kopališče Strunjan - Strunjanske soline)	43722	391227	43587	391305	180
16	Strunjan - Fiesa I (Salinera - kopališče Pacug)	43372	390862	43341	390291	602
17	Strunjan - Fiesa II (kopališče Pacug - Fiesa)	43371	390186	43385	389727	467
18	Fiesa - Piran	43323	389468	43823	388599	1015
19	Rtič Seča	40837	390218	40514	389949	492

Slika 2: Odseki slovenske obale za čiščenje po metodi SVOM (Peroša, 2009).

Rezultati analize odpadkov na obali kažejo na prevlado odpadkov iz plastičnih materialov (slika 3), med katerimi so najštevilčnejši odpadki cigaretni ogorki (slika 4), najpogostejši pa koščki stekla in keramike. Pojavijo se v 70 % vseh vzorcev. Drugi najpogostejši odpadki so koščki stiropora, pojavljajoči se v 66 % vzorcev.

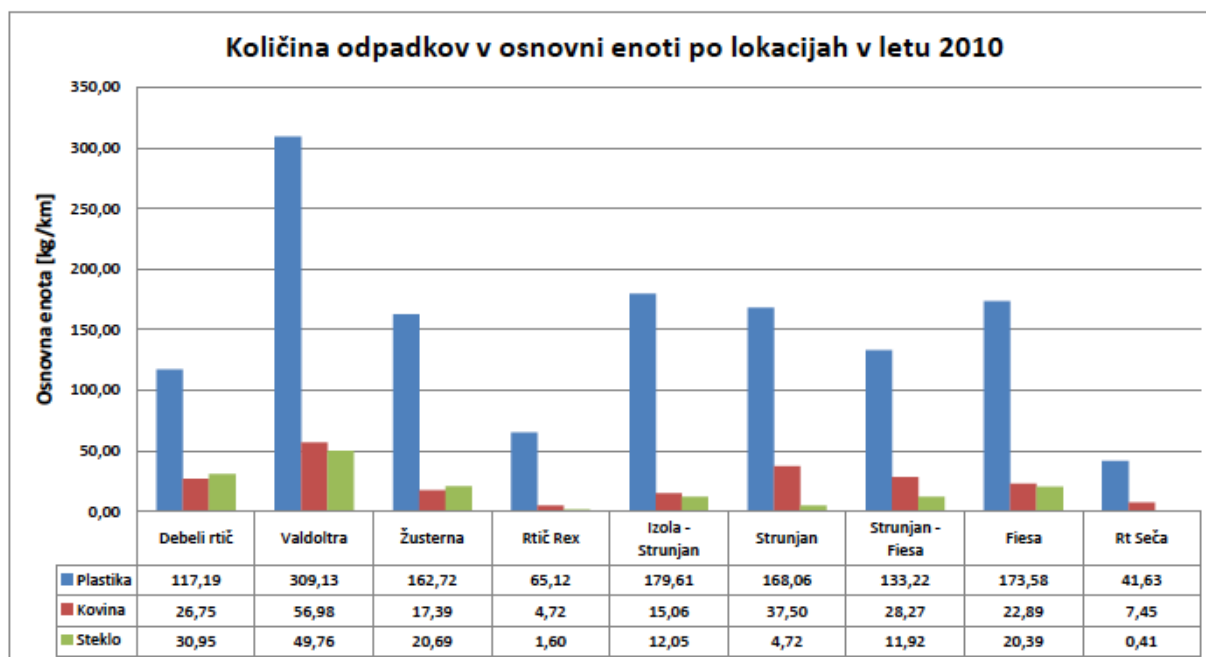


Slika 3: Prikaz sestave odpadkov po številu odpadkov v kategorijah materialov.

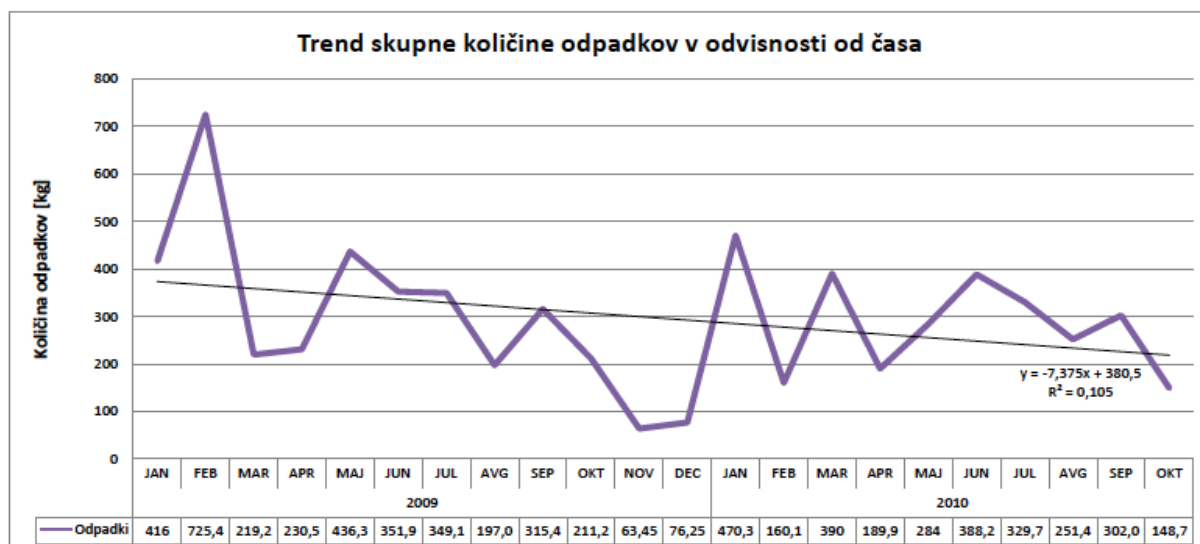


Slika 4: Številčni prikaz 20 najštevilčnejših odpadkov zbranih do sedaj.

Najbolj onesnažen predel slovenske obale je po podatkih o količinah zbranih odpadkov okolica Valdoltra (slika 5). Skupna količina tako plastičnih kot vseh zbranih odpadkov v letih 2009-2010 upada, kar prikazuje slika 6. Zbiranje podatkov poteka tudi v letu 2012.



Slika 5: Količina odpadkov v osnovni enoti po lokacijah v letu 2010 (vir podatkov: ARSO SVOM 2010, analiza: Andreja Palatinus).



Slika 6: Trend skupne količine odpadkov v odvisnosti od časa, slovenska obala (vir podatkov: ARSO SVOM 2010, analiza: Andreja Palatinus).

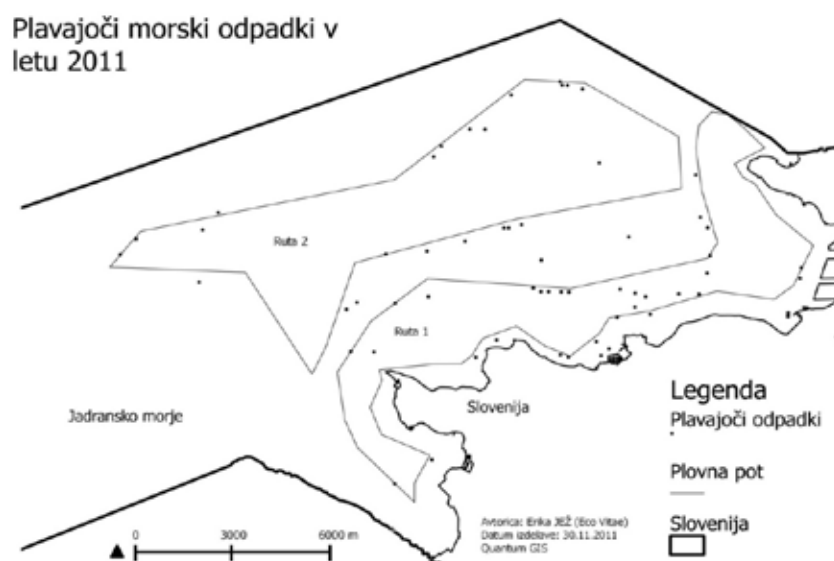
Podatki o količinah, sestavi in izvoru odpadkov na obali se spremljajo tudi v okviru prostovoljnih akcij, kot je vsakoletno čiščenje slovenske obale v sklopu dogodka Mednarodno čiščenje obal (or. International Coastal Cleanup). Udeleženci prostovoljne čistilne akcije zberejo podatke, te pa organizator (ekološko društvo Eco Vitae) pošlje na sedež vodilne organizacije dogodka, Ocean Conservancy v ZDA, ki podatke objavi v zbirnem letnem poročilu o stanju po vsem svetu.

V okviru del lokalnih komunalnih služb potekajo čiščenja obale v sklopu javnih del, čiščenje obale pa poteka tudi v okviru projekta Očistimo Slovenijo.

3. ODPADKI V VODNEM STOLPCU IN NA MORSKEM DNU

V Sloveniji je bil v letu 2011 opravljen prvi popis plavajočih odpadkov na območju slovenskega morja. Na osnovi dobrih praks iz tujine je bila razvita metodologija za popis količine in tipa plavajočih morskih odpadkov. S pomočjo opazovanja s plovila je bil opravljen popis odpadkov, plavajočih na morski gladini. Vsak opaženi odpadki je bil določen z geografskimi koordinatami (φ , λ), dobljenimi z GPS-napravo za položaj čolna.

Rezultati monitoringa plavajočih odpadkov so potrdili, da na območju slovenskega morja plavajoči morski odpadki so. Med petimi terenskimi popisi je bilo zabeleženih 63 plavajočih morskih odpadkov. Slika 7 prikazuje prostorsko razporeditev opaženih plavajočih odpadkov.



Slika 7: Pregledna karta plavajočih morskih odpadkov v letu 2011 (vir: Palatinus, 2012).

Med plavajočimi morskimi odpadki prevladujejo odpadki, izdelani iz plastičnih materialov, nekaj odpadkov pa je bilo iz kovine, lesa ali stekla. Dejstvo, da je kar 90 % odpadkov iz plastičnih mas nakazuje, da je med plavajočimi morskimi odpadki največ plastičnih odpadkov oz. da so plastični odpadki eni izmed redkih odpadkov, ki imajo manjšo gostoto od vode in zato plavajo na njej.

Pri natančnejši analizi opaženih plavajočih morskih odpadkih smo ugotovili, da prevladujejo plastenke (24 %), plastične vrečke (17 %), koščki stiropora ter gajbice iz stiropora (11 %).

4. MIKROPLASTIKA V MORSKEM OKOLJU

Na območju slovenskega morja, prav tako na območju Jadranskega morja, doslej še ni bila opravljena raziskava glede količin, razporeditve in sestave mikroplastike v morskem in obalnem okolju. Raziskava v sklopu priprav poročila za Direktivo je bila tako prva te vrste v Jadranskem morju.

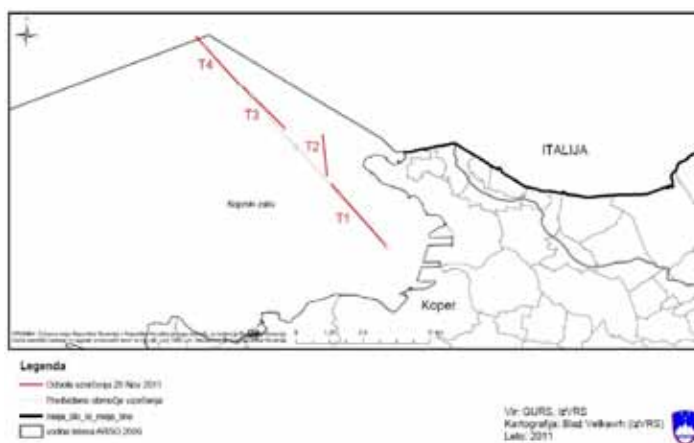
Na prvi Mednarodni raziskovalni delavnici o pojavljanju, učinkih in usodi mikroplastike v morskem okolju, ki je bila septembra 2008 na Washingtonski Univerzi Tacoma, Washington, ZDA, so se udeleženci delavnice dogovorili o definiciji mikroplastike, ki zajema delce, manjše od 5 mm. (Arthur, 2009). V osnovi je mikroplastika podobna drugim odpadkom v morju, le da je na manjši velikostni ravni (Piha, 2011).

V morsko okolje mikroplastika lahko pride iz primarnih ali sekundarnih virov. Primarni viri so vir delcev plastike, ki so že manjši od 5 mm ob vstopu v morsko okolje. To so lahko industrijski peleti za proizvodnjo drugih izdelkov iz plastike ali granule, ki se uporabljajo za abrazivna sredstva, ali plastični delčki v čistilnih sredstvih (kozmetika). Sekundarni vir pa so vsi odpadki v morskem okolju, ki pod vplivom zunanjih dejavnikov razpadajo na manjše kose, dokler ne dosežejo velikosti, manjše od 5 mm, kar jih uvrsti v razred mikroplastike. Tu se razpad seveda ne ustavi, ampak se nadaljuje do mikroravnini, ki jih za zdaj še ne raziskujemo. Velikost mikrodeltcev plastike po poročanju Barnesa in sod. (2009) sega od 1.6 μ m pa vse do 5 mm. Znanstveniki poročajo o tem, da so najbolj številčni plastični odpadki v morskem okolju ravno mikrodeltci plastike (Doyle, 2011).

Na podlagi pregleda strokovne literature in pogovorov je bila izbrana metoda vzorčenja mikroplastike z epineustonsko mrežo, ki jo vlečejo na morski gladini s pomočjo plovila. Ta metoda je izvedljiva in omogoča primerjavo rezultatov z drugimi analizami po svetu. Za analizo je bilo treba izdelati mrežo. Izvedba analize je razdeljena na terenski del in laboratorijski del. Slika 8 prikazuje vleko mreže, slika 9 pa opravljene poti monitoringa. Dobljene vzorce so v laboratoriju nadalje obdelali za pregled pojavljanja mikroplastike ter kvantifikacije rezultatov. Monitoring poteka tudi v letu 2012.



Slika 8: Prikaz vleke epineustonske mreže za vzorčenje mikroplastike v morju (foto: Palatinus, A.).



Slika 9: Prikaz vzorčevalnih odsekov mikroplastike v Koprskem zalivu (vir: IzVRS 2012).

Kvantificiranih rezultatov o številu koščkov mikroplastike in tipu plastik za zdaj še nimamo. Poročamo lahko o tem, da se mikroplastika pojavlja v vseh vzorcih (1 testni + 4 pravi vzorci). Mikroplastika se pojavlja v obliki koščkov, sferul in tanjših nitk (monofilamentov) vseh barv in oblik.

Daljše časovno obdobje pred vzorčenjem (28 dni) je bilo obdobje daljšega sušnega obdobja. Mesec november je bil po poročanju ARSO ekstremno suh in nadpovprečno toplec mesec. Na večini merilnih postaj novembra meseca še nikoli ni bilo tako malo padavin. Pričakujemo, da bomo v letu 2012 vzorčenja opravili tudi po močnejšem deževju ter tako lahko primerjali količine mikroplastike. Zaradi večjih količin rečnih vnosov v morje in spiranja s površin pričakujemo povišane koncentracije mikroplastike po deževnem obdobju.

Slika 10 prikazuje poskusni vzorec z dne 28.11.2011. Na sliki je mikroplastika vidna že s prostim očesom, in to v večjih koncentracijah, kot je bilo pričakovati. Pod lupo in mikroskopom se število opaženih kosov mikroplastike seveda še poveča.



Slika 10: Vzorec poskusnega vzorčenja mikroplastike v Koprskem zalivu in obkroženi s prostim očesom hitro opaženi manjši koščki plastičnih odpadkov (Foto: Palatinus, A. 2011).

5. ODPADKI, KI JIH ZAUŽIJEJO MORSKE ŽIVALI

Količino odpadkov v prebavilih živali nekatere države v Evropi že nekaj časa uporabljajo kot kazalec količine odpadkov v morskem okolju (npr. Nizozemska). V luči teh raziskav tudi Direktiva in Sklep Komisije nalagata državam članicam, naj poročajo tudi o tej vrsti onesnaženja okolja.

Edina raziskava o pojavljanju morskih odpadkov v organizmih morskih živali na območju slovenskega morja je bila narejena v obdobju od junija 2001 do novembra 2004, ko so bile opravljene preiskave vsebnosti odpadkov v želodcih naplavljenih mrtvih morskih želv, vrste *Caretta caretta*. Na območju severnega Jadrana (Hrvaška in Slovenija) so pregledali 54 primerkov živali (41 v slovenskem morju), od katerih jih je 19 (35 %) v prebavilih imelo morske odpadke. Večina odpadkov je bila mehka plastika, drugo so bili še vrvi, stiropor in monofilamentna vrv, ki so jih našli v 68 %, 42 %, 16 % in 5 % pregledanih želv v tem zaporedju (Lazar, 2011).

Raziskava je dokazala, da morske želve, ki se gibljejo v slovenskem morju, lahko pogoltnejo



Slika 11: Odpadki, najdeni v prebavilih morskih želv *Caretta caretta* (v raziskavi Lazar in sod. 2011).

morske odpadke. Morski odpadki najverjetneje niso bili vzrok pogina želv v tej raziskavi, razen v enem primeru. Iz želodca in tankega črevesja ene želve so raziskovalci izolirali 15 kosov odpadkov med 1.4 in 16.0 cm v dolžini, ki so zavzemali dobršen del vsebine želodca. Raziskovalci niso našli nikakršnih dokazov o poškodbi ali drugih očitnih patoloških znakov bolezni, ki bi bila kriva za pogin te želve.

6. ZAKLJUČEK

Preliminarni rezultati raziskav v slovenskem morju so pokazali, da obstajajo odpadki v našem morju. Rezultati indeksa čistoče obale iz leta 2007 nakazujejo celo na izredno onesnaženo obalo. Večina odpadkov prihaja s kopnega in je iz plastičnih materialov. Skrb vzbujajoče pa je tudi dejstvo, da smo v morju našli delce mikroplastike, vplivi katere na človeka in morske organizme pa še niso raziskani.

Direktiva je zapolnila vrzel v zakonodaji o varstvu okolja, saj uvaja nadzor nad problematiko odpadkov v morskem okolju. Zakonsko področje odpadkov v morju je z izjemo Direktive neurejeno. Obstajajo le mednarodne konvencije in nezavezujoče usmeritve posameznih držav na regionalnem nivoju, ki pa nimajo dovolj učinkovitih posledic. Prav tako je na začetku razvoja tehnologija čiščenja odpadnih voda za tovrstno onesnaženje. Oza-veščanje javnosti prek aktivnosti nevladnih organizacij, inštitutov, izobraževalnih ustanov, državnih institucij in drugih bo treba v prihodnje povečati, hkrati pa obstoječe ohraniti.

Več kot dovolj razlogov za akcijo.

LITERATURA

- Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C. in Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 1985-1998
- Coe, J.M. in Rogers, D.B. (1997). *Marine debris: Sources, Impacts and Solutions*. New York, Springer: 432 str.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. in Galloway, T.S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin* 62, 2588-2597
- Palatinus, A. (2008). Onesnaženost priobalnega zemljišča morja s trdnimi odpadki. Diplomsko delo. Univerza v Novi Gorici, 51 str.
- Palatinus, A., Jež, E., Ljubec, B. (2012) Predlog spremljanja stanja in začetna presoja morskih voda glede na lastnosti in količine morskih odpadkov na obali v skladu z Direktivo o morski strategiji (Direktiva 2008/56/ES) – 2. faza. 68 str.
- Peroša, J. in sod. (2009). Program izvajanja del. Spremljanje pojava trdih odpadkov na vodnih in priobalnih zemljiščih morja v obdobju 2009-2010. VGP Drava Ptuj. Naročnik: Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje.
- Teuten, E.L., Saquing, J.M., Knappe, D.R.U., Barlaz, M.A., Jonsson, S., Bjarn, A., Rowland, S.J., Thompson, R.C., Galloway, T.S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Viet, P.H., Tana, T.S., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M.P., Akkhavong, K., Ogata, Y., Hirai, H., Iwasa, S., Mizuwaka, K., Hagino, Y., Imamura, A., Saha, M. in Takada, H. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transaction of the Royal Society B: Biological Sciences* 364: 2027-2045
- Lazar, B. in Gračan, R. (2011). Ingestion of marine debris by loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, in the Adriatic Sea. *Marine Pollution Bulletin* 62, 43–47
- Doyle, M.J., Watson, W., Bowlin, N.M. in Sheavly, S.B., (2011). Plastic particles in coastal pelagic ecosystems of the Northeast Pacific ocean, *Marine Environmental Research*, (71), 41-52
- Piha, H.E. in sod. (2011). *Marine Litter: Technical Recommendations for the Implementation of MSFD Requirements*. JRC Scientific and Technical Reports (EUR collection).
- Arthur, C., Baker, J. in Bamford, H. (uredniki). (2009). *Proceedings of the international research workshop on the occurrence, effects, and fate of microplastic marine debris*. Sept 9-11 2008. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30.

UPORABA MODELSKIH ORODIJ PRI HIDROLOŠKIH ANALIZAH IN NAPOVEDIH DRŽAVNE HIDROLOŠKE SLUŽBE

Dr. Mira Kobold, univ.dipl.fiz., Agencija Republike Slovenije za okolje

POVZETEK

Napovedovanje poplav in zagotavljanje pravočasnih opozoril je osnova za dovolj zgodnje ukrepanje pred nastopom pojava. Meteorološki modeli so danes osnova za napovedovanje vremena in s tem tudi padavin. Poplave in druge vodne ujme lahko tako napovemo tudi za več dni vnaprej. Pri tem si pomagamo s hidrološkimi modeli, s katerimi simuliramo odtok s porečij, in metodami za propagacijo valov vzdolž vodotoka. V prispevku je prikazan razvoj uvajanja hidroloških modelov in prognostičnih sistemov v delo državne hidrološke službe. Poleg tega je prikazana občutljivost hidroloških modelov za padavine kot osnovni vhodni podatek.

ABSTRACT

Flood forecasting and providing timely warnings is a sufficient basis for early intervention before the onset of the flood. Meteorological models are used in the process of weather forecasting and hence for rainfall forecast. Based on meteorological forecast, floods and other water disasters can be predicted for several days in advance. Hydrological models are used as tools to simulate the runoff from river basins, while methods based on flow hydraulics are used for wave propagation along the river. The paper presents the evolution of hydrological models and prognostic systems introduction in the work of national hydrological service. Furthermore, the sensitivity of hydrological models to rainfall, as the basic input data, is shown.

1. UVOD

Osnovne naloge državne hidrološke službe so vezane na opravljanje operativnega hidrološkega monitoringa, ki obsega meritve in ocenjevanje količinskega stanja voda, ugotavljanje hidroloških značilnosti vodnih območij in vodnih teles, vodne bilance ter spremljanje, analiziranje in napovedovanje hidroloških sprememb na vseh elementih hidrološkega kroga. Da bi bili podatki o stanju voda v Sloveniji zanesljivi, kakovostni in prostorsko reprezentativni, je na Agenciji RS za okolje (ARSO) v teku projekt Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji, poimenovan s kratico BOBER – Boljše Opazovanje za Boljše Ekološke Rešitve (ARSO, 2010), ki na področju hidrologije zajema posodobitev merilnih mest, tudi vzpostavitev nekaj novih merilnih mest, nakup nove merilne opreme in vzpostavitev sistemov za napovedovanje hidrološkega stanja Save in Soče.

Ravno spremljanje, napovedovanje in obveščanje pred izrednimi pojavi je bilo vseskozi gonilo razvoja na področju modernizacije merilnih mest, samodejnega prenosa podatkov in uporabe matematičnih modelov za simulacijo napovedi. Prve samodejne meteorološke in hidrološke postaje so v Sloveniji začele delovati sredi osemdesetih let prejšnjega stoletja (Roškar, 2008). Z razvojem računalnikov sta bila pospešena razvoj in raba matematičnih modelov. Na področju meteorologije se je modeliranje ozračja hitro razvijalo in meteorološki modeli so danes osnova za napovedovanje vremena in posameznih vremenskih spremenljivk. Podobno kot na področju meteorologije so se na področju hidrologije začeli razvijati hidrološki modeli (modeli padavine – odtok), ki so omogočali simulacijo odtoka s porečij, za potovanje (propagacijo) valov pa hidrodinamični modeli. Na osnovi modelov smo danes sposobni napovedati poplave in povodnji za več dni vnaprej, odvisno od vrste modela in časovnega dosega simulacije.

2. HIDROLOŠKI MODELI ZA RAČUNANJE ODTOKA

V literaturi zasledimo veliko število modelov za simulacijo površinskega odtoka, od preprostih empiričnih metod, ki temeljijo le na odnosu med padavinami in odtokom, do kompleksnih modelov, ki ponazarjajo fizikalne procese kroženja vode v naravi (Singh, 1995). Slednji zahtevajo veliko vhodnih podatkov, v njih pa navadno nastopa tudi veliko število parametrov, ki jih je treba določiti v postopku umerjanja. V praksi se je pokazalo, da izbira modela ni najbolj pomembna za uspešno izdelavo napovedi, ampak je 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 resolucija modela ena ura ali manj in je pomanjkanje podatkov glavna ovira pri modeliranju in kasnejši uporabi modelov.

Ni predpisanega modela, ki bi bil vsestransko in širše uporabljen. Modeli so večinoma zasnovani glede na cilj modeliranja, razpoložljivost podatkov, merilo obravnavanega pojava ter poznavanje sistema in matematičnih orodij. Razvoj hidroloških modelov so vedno določale potrebe in zahteve vodnega gospodarstva. Veliko modelov je bilo razvitih za določena porečja, zato jih je navadno težko prenesti iz enega okolja v drugo. Prav tako je treba vsak model, ki ga želimo uporabiti za simulacijo odtoka na določenem porečju, predhodno umeriti in verificirati. Od vrste modela je odvisno število vhodnih in izhodnih spremenljivk ter število parametrov, ki jih moramo umeriti. V osnovi ločimo:

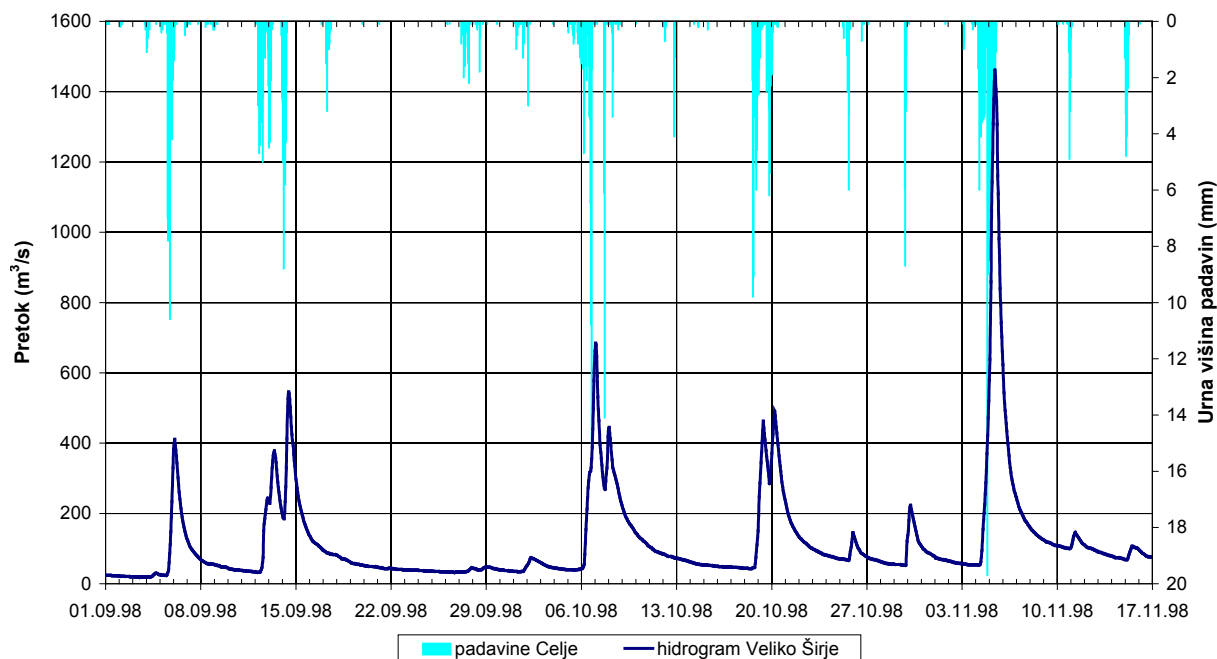
- empirične modele, ki temeljijo na eksperimentih in opazovanjih; pri teh modelih gre navadno za regresijske odnose med padavinami in odtokom ob upoštevanju določenih spremenljivk, kot je predhodna namočenost zemljine;
- konceptualne modele, ki poenostavljeno obravnavajo fizikalne procese in vključujejo tiste elemente hidrološkega kroga, za katere predpostavljamo, da so pomembni za pričakovano rabo modelov; zaradi poenostavitve moramo vpeljati empirične koeficiente, ki jih je v postopku umerjanja modela treba določiti;
- fizikalno osnovane modele, ki v celoti fizikalni proces v porečju matematično opišejo s parcialnimi diferencialnimi enačbami;
- modele črnih škatel, pri katerih je odnos med vhodnimi in izhodnimi spremenljivkami zgolj matematičen, brez fizikalnih osnov; sem spadajo metode strojnega učenja in nevronske mreže, se pa ta vrsta modelov v hidrologiji vse bolj uveljavlja.

V okviru različnih projektov je bilo po svetu narejenih več primerjav različnih modelov, ki omogočajo simulacijo odtoka (Kobold, 2007). Rezultati tovrstnih analiz kažejo, da lahko s preprostejšimi modeli prav tako zadovoljivo simuliramo odtok s porečja kot z zahtevnejšimi modeli. Večina modelov za računanje odtoka ima zaradi poenostavitve opisa naravnih procesov vgrajenih veliko število parametrov, kar jim omogoča fleksibilnost pri umerjanju in kadarkoli je mogoče najti zadovoljivo ujemanje simuliranega odtoka z izmerjenim. Vsekakor pa obstajajo razlike v uporabnosti modelov. Zahtevnejši modeli običajno omogočajo izračune in prikaz tudi drugih hidroloških spremenljivk na porečju, kot so ploskovne padavine, evapotranspiracija, zaloge vode v tleh idr., ne samo pretoka. Tehnološki razvoj in razvoj meteoroloških modelov spodbujata razvoj te vrste modelov, saj si lahko na podlagi vseh razpoložljivih spremenljivk ustvarimo celostno sliko dogajanja v porečju.

3. PREGLED UVAJANJA HIDROLOŠKIH MODELOV V DELO ARSO

Slovenska državna hidrološka služba si je za potrebe napovedovanja poplav in zagotavljanja pravočasnih opozoril vseskozi prizadevala za razvoj in modernizacijo merilnih mest, spremljala pa je tudi razvoj na področju hidrološkega modeliranja po svetu. Svetovna meteorološka organizacija je proti koncu 1970-ih in v začetku 1980-ih osnovala večnamenski hidrološki sistem HOMS (Hydrological Operational Multipurpose System), kjer so bile zbrane informacije o razpoložljivih hidroloških instrumentih, merilnih metodah, tehnikah procesiranja podatkov in modelih. Sistem je bil namenjen prenosu tehnološkega razvoja v operativne hidrološke službe in je, posodobljen, v uporabi še danes. Prenos modelov pa v tistih letih ni bil preprost, saj so bili prvi računalniški sistemi okorni, datoteke vhodnih podatkov je bilo treba 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 zaživela. Prvi modeli so bili v svojem začetku v glavnem namenjeni simulaciji srednjih dnevnih pretokov, saj razpoložljivost podatkov ni bila zadostna za modeliranje v finejših časovnih skalah.

Težava pri napovedovanju vodnih količin v Sloveniji je hudourniški značaj vodotokov. Količine vode se lahko hitro povečajo in tudi hitro odtečejo. Za Slovenijo je značilna velika variabilnost padavin. Razgibanost terena, dinamični orografski vplivi pri intenzivnih frontalnih padavinah in raznovrstnost geološke strukture povzročajo izredno pestre hidrološke pojave, ki jih še s tako gosto merilno mrežo ne moremo zajeti. Hudourniške poplave je veliko težje napovedovati kot poplave velikih rečnih sistemov. Količine vode se, z izjemo kraških rek ter tranzitnih rek Mure in Drave, hitro povečajo in tudi hitro odtečejo (slika 1). Glavnina padavin, ki v padavinskih dogodkih povzroči visokovodni val, pade v nekaj urah. Konica vala traja zelo kratek čas, navadno samo nekaj minut. Pri napovedovanju poplav je zato pomembno razumeti mehanizme, zaradi katerih prihaja do poplav, in poznati različne tipe padavin, ki lahko povzročijo poplave.



Slika 1: Hudourniški značaj reke Savinje.

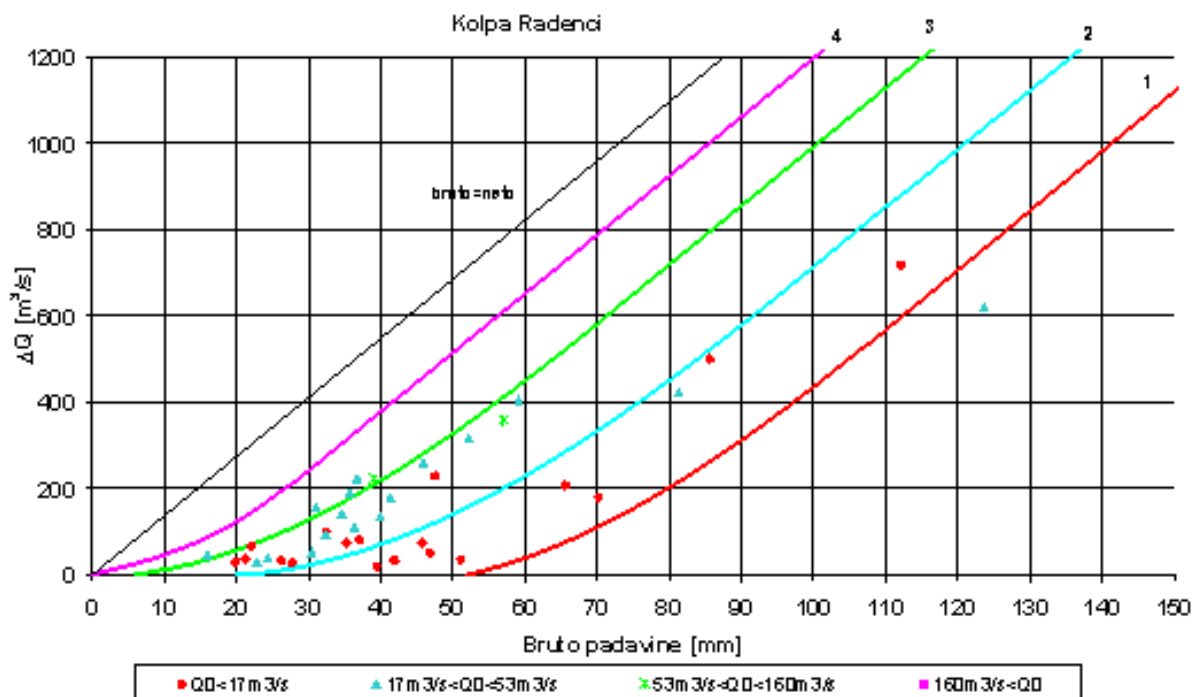
Pri napovedovanju poplav so najpomembnejše spremenljivke:

- pretok konice poplavnega vala oziroma nivo vode,
- čas nastopa konice in
- volumen poplavnega vala.

Napoved mora biti točna in pravočasna, da lahko prepreči izgubo življenj, poškodbe ljudi in poškodbo lastnine. Točnost napovedi se nanaša na natančnost napovedi velikosti poplavnega vala oz. višin vode in časa nastopa konice vala. Bolj ko je točna napoved, bolj se lahko pripravimo na poplavo in ublažimo njene posledice. Poleg točnosti je pomembna tudi zanesljivost napovedi. Sistem mora zanesljivo napovedati poplavo v primeru, ko do nje pride, in je ne napovedati, če do nje ne pride. Točnost in zanesljivost napovedi vplivata na odločanje v izrednih okoliščinah. Daljši ko je predopozorilni čas, več je možnosti za nadziranje poplave oziroma ublažitev škode. Če so napovedi glede poplavljanja točne in če je na voljo dovolj časa, je možna tudi evakuacija celo večjega števila ljudi. Na Nizozemskem so leta 1993, ko je poplavljala reka Maas, z opozorilom do tri dni vnaprej evakuirali okrog 100.000 ljudi z ogroženih območij (Brien, 1999). Za majhna porečja tako dolg predopozorilni čas najbrž ni mogoč. Ljudje lahko v teh primerih le preselijo svoje dragocenosti v višja nadstropja in se po možnosti zaščitijo z nasipi ali jezovi. V navzkrižje prihajata želja po daljših predopozorilnih časih ter po večji točnosti in zanesljivosti napovedi. V splošnem velja, da daljši ko je čas opozarjanja na poplave, manjša sta točnost in zanesljivost napovedi velikosti poplavnega vala, tako krajevno kot časovno.

3.1 Uvajanje empiričnih modelov

Za potrebe napovedi in izdaje opozoril so se v hidrološki službi med prvimi operativno začeli uporabljati klasični regresijski modeli (Lalič, 1994; Sušnik in Polajnar, 1998). Razvoj teh modelov sega v devetdeseta leta prejšnjega stoletja, modeli pa temeljijo na odnosu med padavinami, običajno 24-urnimi padavinami, in maksimalnim odtokom (konico) vala, pri čemer je upoštevana še predhodna namočenost zemljišča oz. začetni pretok (slika 2). S temi modeli je pokrita večina večjih rek v Sloveniji (Savinja, Ljubljana, Krka, Kolpa, Vipava). Z njimi je mogoče napovedovati pretok konice visokovodnega vala, ne pa tudi časa nastopa in trajanja konice. Za časovno določitev potovanja vala so bile poleg teh modelov izdelane analize potovanja visokovodnih valov vzdolž glavnih vodotokov med lokacijami vodomernih postaj.

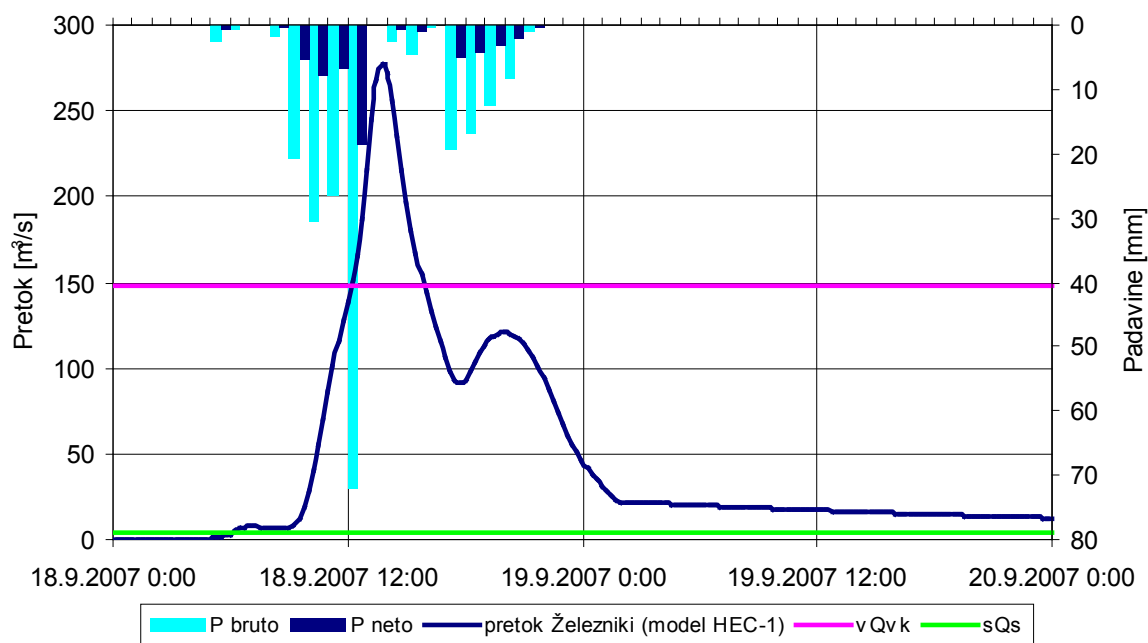


Slika 2. Regresijski model za Kolpo v Radencih

Leta 1998 smo se v hidrološki prognozični službi odločili za uvajanje konceptualnih modelov padavine – odtok. Raziskava tržišča je takrat pripeljala do programskega orodja WMS (Watershed Modeling System), ki je kompleksen sistem, namenjen hidrološkim analizam in modeliranju (WMS, 1997). Razvit je bil na Univerzi Brigham (Brigham Young University) pri Engineering Computer Graphics Laboratory v sodelovanju z ameriško vojsko (U.S. Army Corps of Engineers). Prikladnost orodja je združitev funkcij geografskih informacijskih sistemov za modeliranje porečij s standardnimi hidrološkimi modeli. Iz digitalnega modela reliefa je možno zgraditi model porečja z rečno mrežo in delitvijo na podporečja ter izračunati geometrijske attribute, ki so potrebni v hidroloških modelih. WMS podpira več hidroloških modelov, od preprostih, kot je racionalna metoda, do bolj kompleksnih, kot sta HEC-1 in TR-20, podpira pa tudi model NFF za oceno povratnih dob na osnovi regresijskih enačb.

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 pojave padavin, nevihte s trajanjem od 5 minut do 10 dni, v nasprotju s programi, ki lahko zvezno modelirajo dolge (večletne) nize padavin in odtokov. Z njim ni mogoče simulirati odtoka v daljših časovnih obdobjih z daljšimi presledki brez padavin, ker ne računa obnove in zaloge vlage v tleh. Model HEC-1 transformira padavine v časovni potek odtoka oziroma hidrogram na osnovi matematičnih relacij, ki predstavljajo hidrološke in hidravlične procese v odnosu med padavinami in odtokom. Z modelom HEC-1 je mogoče modelirati tudi izredno kompleksna porečja, kar velja za večino slovenskih porečij. Porečje razdelimo na manjša, homogena podporečja z enakimi hidravličnimi in hidrološkimi karakteristikami. Na število in velikost podporečij vpliva spremenljivost hidrometeoroloških procesov in 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 treba delež padavinskih izgub, to je padavin, ki ne prispevajo k površinskemu odtoku.

S programskim paketom WMS in modelom HEC-1 smo modelirali več porečij: Gradaščico, Savinjo, Savo do so-točja s Savinjo in Sočo. Težava, ki se je pokazala pri operativni uporabi modela HEC-1, je določitev padavinskih izgub za vsak posamezen val, saj se izgube padavin razlikujejo od dogodka do dogodka. To je bil tudi razlog, da so se vzpostavljeni modeli uporabljali za analitične namene, manj pa za prognozične. Z orodjem WMS in modelom HEC-1 smo učinkovito napravili več modelskih izračunov. Izmed teh velja omeniti vsaj dva: 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). V katastrofalni poplavi Selške Sore v Železnikih 18. septembra 2007 je prišlo do okvare hidrološke merilne postaje in poplavni val ni bil zabeležen. Z modelom HEC-1 smo uspešno napravili simulacijo odtoka poplavnega vala v Železnikih (slika 3). Vhodni podatki v predhodno umerjeni model so bile padavine s padavinskih postaj na porečju Sore in okolice.

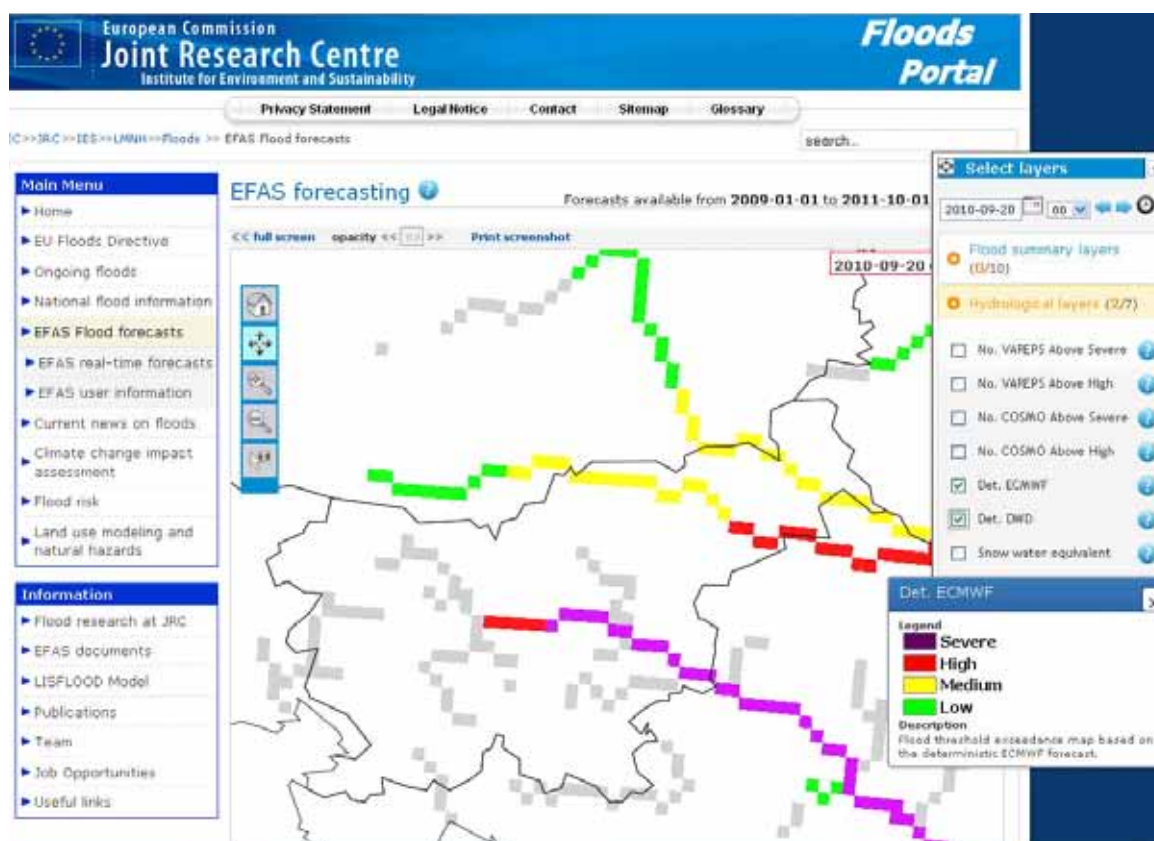


Slika 3: Z modelom HEC-1 izračunani hidrogram Selške Sore v Železnikih in obdobjni srednji (sQs) in največji (vQv k) pretok ter ploskovne padavine do Železnikov.

Sodelovanje v mednarodnem projektu Evropski poplavni prognostični sistem v letih 2002 in 2003 (Kobold in sod., 2003) smo med drugim izkoristili tudi za testiranje švedskega modela HBV (Bergström, 1995). Razvit je bil na Švedskem meteorološkem in hidrološkem institutu, v oddelku za vodno bilanco urada za hidrologijo (**H**ydrologiska **B**yrans **V**attenbalansavdelning), po katerem ima tudi ime. Osnovna verzija modela je bila razvita v začetku sedemdesetih let prejšnjega stoletja. Spada med semi-distribuirane konceptualne modele padavine – odtok. Omogoča delitev porečja na manjše enote, podporečja. Vsako podporečje lahko nadalje 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 kontinuirano računanje odtoka, kar je pomembno za operativno hidrološko prognostično službo ARSO, kjer si prizadevamo izdajati količinske napovedi odtokov, ne samo v primeru visokovodnih situacij, marveč tudi v primeru upadanja pretokov in nizkovodnih stanj. Prve operativne napovedi so bile izdelane za porečja na severu Švedske leta 1975. Zadnja verzija modela je HBV-96, integrirana v hidrološki sistem IHMS (Integrated Hydrological Modelling System). Različne verzije modela HBV se uporabljajo v več kot štiridesetih državah po svetu, v različnih klimatskih razmerah in za različne velikosti porečij, od 1 km² do več 100.000 km². Model se uporablja 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. Ponavadi teče na podatkih dnevnih padavin in temperature zraka in mesečnih ocenah potencialne evapotranspiracije, možno pa je uporabiti krajši časovni korak.

Uporabe in izkušenj 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 dnevnih podatkih. Model HBV smo umerili na porečju Savinje in je poleg izvedbe simulacij največjih poplav na porečju Savinje rabil 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 največjih možnih pretokov iz različnih padavinskih scenarijev na porečju Save (Primožič, 2007).

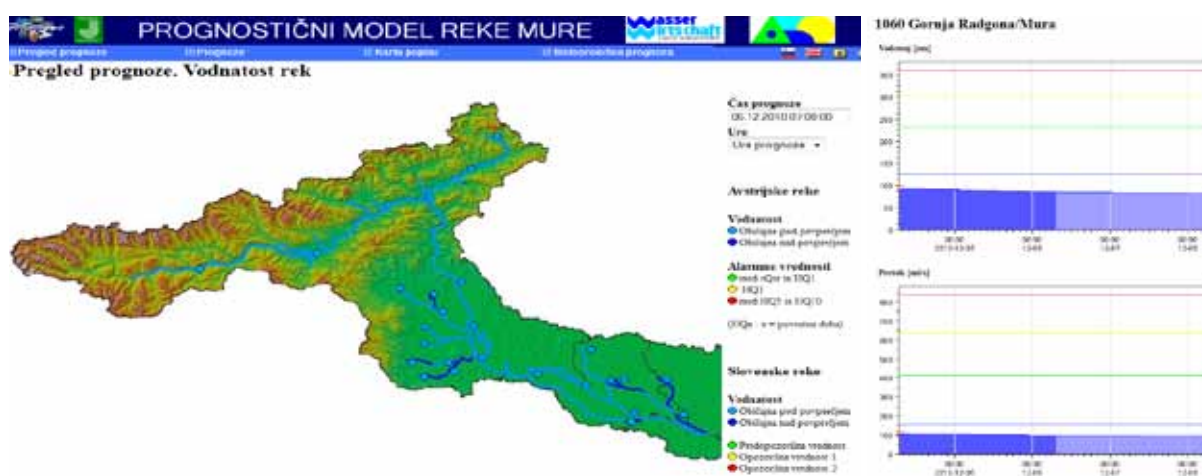
V projektu EFFS je bil tudi zametek postavitve evropskega poplavnega alarmnega sistema EFAS (European Flood Alert System), ki je bil razvit na JRC (Joint Research Centre) v Ispri (De Roo in Thielen, 2004). Osnova sistema je na fizikalnih zakonih osnovani model LISFLOOD s prostorsko razporejenimi parametri (De Roo in sod., 2000). Sistem EFAS je namenjen zgodnjemu opozarjanju pred visokimi vodami večjih rek in te produkte v Sloveniji uporabljamo v hidrološki prognostični službi ARSO za reke Savo, Dravo in Muro (slika 4). Sistem daje informacijo o potencialni poplavni ogroženosti že nekaj dni pred dogodkom in rabi kot predopozorilo, ne daje pa aktualnih vrednosti pretokov oz. višine vode.



Slika 4: Prikaz poplavne ogroženosti v sistemu EFAS.

3.3 Razvoj prognostičnih sistemov

Prvi hidrološki prognostični sistem, ki je močno pripomogel k operativnemu delu hidrološke prognostične službe ARSO, je bil leta 2006 izdelan čezmejni sistem za napovedovanje pretokov na reki Muri v okviru evropskega programa INTERREG IIB CADSES. Pri projektu sta sodelovali hidrološki službi Slovenije in avstrijske Štajerske (Ruch in sod., 2006). Uporabljen je bil programski paket MIKE 11 danskega podjetja DHI, ki vključuje hidrološki model NAM. NAM je konceptualni model, primeren za kontinuirano računanje odtoka, pri čemer so potrebni vhodni podatki v model padavine, 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 konceptualni hidrološki prognostični sistem, ki sta ga hidrološki službi Slovenije in avstrijske Štajerske vpeljali v svoje operativno delo (slika 5).



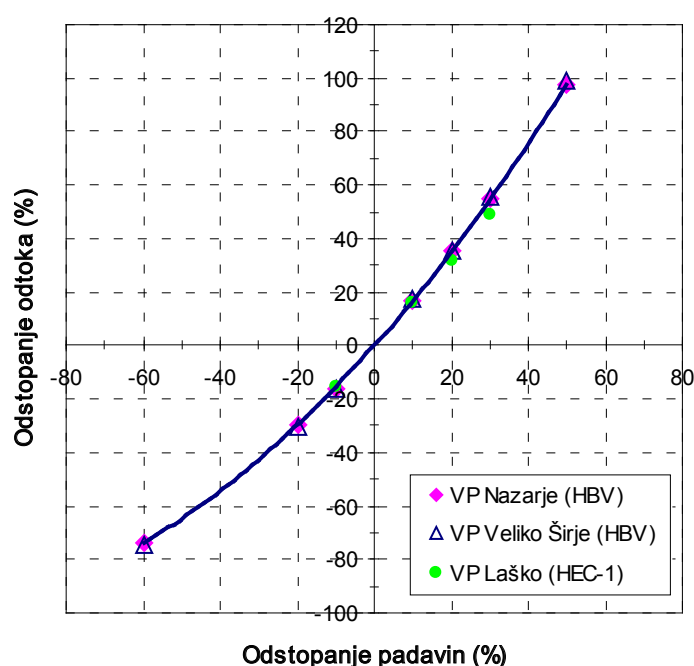
Slika 5: Prikaz rezultatov mednarodnega prognostičnega sistema za Muro.

Agencija RS za okolje je leta 2009 s pomočjo kohezijskih sredstev Evropske unije začela uresničevati projekt Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji, s kratico BOBER, ki 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 pričakovanih rezultatov projekta je vzpostavitev sistema za napovedovanje hidrološkega stanja rek Save in Soče, ki je v zaključni fazi. Modelsko orodje prognozičnega sistema je MIKE. 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. Hidrologom prognoztikom bo sistem za porečji Save in Soče ter že obstoječi sistem reke Mure rabil kot osnovni pripomoček za pregled trenutnih hidroloških stanj, pripravo hidrološke napovedi in pravočasno izdajo opozorila pred poplavami. Sistem je podrobneje opisan v prispevku avtorjev Pogačnik in sod. v tej številki revije.

4. 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 napake v oceni odtoka. Hidrološki procesi potekajo v prostoru in določevanje ploskovnih padavin iz točkovnih podatkov dežemernih postaj je eden osnovnih problemov v hidrologiji. Še vedno se najpogosteje za izračun ploskovnih padavin uporablja metoda Thiessnovih poligonov. Za umerjanje in verifikacijo modela je običajno na voljo več podatkov kot kasneje za sprotno operativno izvajanje, kjer pridejo v poštev samo podatki iz samodejnih postaj. Podatki v umerjen operativni hidrološki model so izmerjene točkovne količine padavin in temperature zraka iz samodejnih meteoroloških postaj ter napovedi količine padavin in temperature zraka iz meteoroloških modelov. Čeprav so ploskovne meritve padavin z metodami daljinskega merjenja (radarji in sateliti) danes že običajne, lahko z njimi zelo natančno spremljamo razvoj padavinskih dogodkov, ni pa z njimi prišlo do bistvenega izboljšanja določitve količinske ocene padavin na tleh.

Analiza občutljivosti hidroloških modelov odtoka na padavine kot osnovni vhodni podatek je pokazala, da so modeli odtoka zelo občutljivi za vhodne podatke o količini padavin. Če so količine padavin obremenjene z določeno napako, napaka v simuliranem odtoku ni v razmerju 1:1, ampak je večja. Pokazalo se je, da je odvisnost med napako v količini padavin in napako izračunanega odtoka polinomska (Kobold, 2007). Odvisnost tudi ni odvisna od velikosti porečja ter vrste modela (slika 6). Za operativno prognozično rabo hidroloških modelov to pomeni, da je odklon simuliranega pretoka od merjenega lahko precej velik. Na primer, če so prognozirane količine padavin precenjene za 20 %, je odklon izračunanih pretokov okrog 36 %. Pri precenitvi količine padavin za 50 % se napaka v odtoku že skoraj podvoji. Zaradi tega so prognozični modeli rek Save in Soče zasnovani v več različicah glede na različne vhodne podatke (Pogačnik in sod., 2012), na osnovi katerih se bo lahko odločalo o zanesljivosti napovedi.



Slika 6: Odstopanje odtoka glede na odstopanje padavin.

Pomembno je posebej poudariti, da so za izdelavo zanesljivih hidroloških napovedi pomembni razpoložljivost in kvaliteta meteoroloških in hidroloških podatkov, pravočasen prenos podatkov v realnem času in učinkovitost prognostičnih modelov. Pri tem gre za integralni proces, saj nam še tako kompleksen hidrološki model brez ustreznih podatkov ne more dati zanesljive hidrološke napovedi.

5. ZAKLJUČEK

Na Agenciji RS za okolje se v operativni praksi vse bolj uveljavljajo hidrološki in hidrodinamični modeli. Na osnovi prognostičnih sistemov, ki jih vzpostavljamo na ARSO, bo mogoče vodne ujme za večje vodotoke napovedati že nekaj dni pred nastopom pojava. S tem se bo podaljšal čas, ki ga bodo imele pristojne službe na voljo za preventivno ukrepanje neposredno pred pojavom. Mogoče bo planirati vrsto akcij od zaščite objektov, predpraznjenja akumulacij, kontrole stanja objektov in naprav ipd. Razvoj meteoroloških modelov z boljšo prostorsko ločljivostjo in razvoj zelo kratkoročnih (now-casting) napovedi bosta pripomogla k boljši napovedi padavin. Le s točnimi ocenami padavin bodo produkti modelov padavine – odtok zanesljivi, kar še zlasti velja za majhna porečja.

Za hudourniške poplave je značilna relativna nenapovedljivost dogodka, povezana z nepričakovanostjo in s tem težavnostjo izdaje točnih opozoril. S trenutno operativnimi modeli in vzpostavljenimi sistemi hudourniških poplav na majhnih porečjih ne moremo uspešno napovedovati, zato se v sklopu projekta BOBER v okviru druge faze nadgradnje prognostičnega sistema za Savo in Sočo predvideva vzpostavitev sistema za napovedovanje hudourniških poplav. Treba bo preveriti v svetu uporabljene metode in poiskati koncept in rešitve, ki jih bomo lahko vključili v obstoječe ogrodje prognostičnega sistema.

LITERATURA

- ARSO (2010), Predstavitev projekta »Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji«, Predstavljena 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, str. 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., Van Deursen, W.P.A. (2000), Physically-based river basin modelling within a GIS: The LISFLOOD model. Hydrological Processes 14, str. 1981-1992;
- Feldman, A.D. (1995), HEC-1 Flood Hydrograph Package. V: Computer Models of Watershed Hydrology (ur. V. P. Singh), Colorado, USA, Water Resources Publications, str. 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, str. 39-47;
- Kobold, M., Sušnik, M., Uhan, J. (2001), Hidrološki model povodja Koritnice, Mišičev vodarski dan 2001, Zbornik referatov, Maribor, VGB, str. 29-36;
- Lalič, B. (1994), Visokovodni valovi v odvisnosti od padavin, vegetacije in predhodne namočenosti za reko Savinjo, Razprave, Ljubljana, Društvo meteorologov Slovenije, str. 61-74;
- Pogačnik, N., Petan, S., Sušnik, M., Polajnar, J., Jorgensen, G. (2012), Sistem hidrološko – hidravličnega modeliranja za napovedovanje hidroloških razmer na Savi, Soči in Muri, Ta številka Slovenskega vodarja, Ljubljana;
- Primožič, M. (2007), Umerjanje HBV modela za porečje reke Save v Sloveniji, Dipl. nal., UL FGG, Ljubljana;
- Rožkar, J. (2008), 60 let slovenske državne meteorološke službe, Posebna številka biltena Agencije RS za okolje, Ljubljana;
- Ruch, C., Pogačnik, N., Polajnar, J., Sušnik, M., Jorgensen, G., Hornich, R., Schatzl, R. (2006), Mednarodni sistem za napovedovanje pretokov reke Mure, Mišičev vodarski dan, Zbornik referatov, Maribor, VGB, str. 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, str. 31-36;
- WMS (Watershed Modeling System) 5.0 (1997), Reference manual and tutorials, Brigham Young University, Engineering Computer Graphics Laboratory, Utah.

SISTEM HIDROLOŠKO - HIDRAVLIČNEGA MODELIRANJA ZA NAPOVEDOVANJE HIDROLOŠKIH RAZMER NA SAVI, SOČI IN MURI

Nejc Pogačnik, univ. dipl. inž. VKI, dr. Sašo Petan, univ. dipl. inž. grad., Mojca Sušnik, univ. dipl. inž. grad. in Janez Polajnar, univ. dipl. geog., Agencija Republike Slovenije za okolje, Gregers Jorgensen, višji hidrolog, DHI, Horsholm

POVZETEK

V okviru projekta Bober - Boljše opazovanje za boljše okoljske rešitve - ki je sofinanciran iz kohezijskih sredstev Evropske unije, smo pripravili projektno nalogo Nadgradnje prognostičnega sistema na rekah Sava in Soča. Projektno nalogo smo osnovali leta 2009, projekt pa zaključili v februarju 2012. Pri oblikovanju in izvedbi naloge so nam pomagale izkušnje iz razvoja mednarodnega operativnega sistema na reki Muri. Ob sodelovanju s hidrološko službo avstrijske Štajerske smo prišli do pomembnih ugotovitev in izhodišč za nadaljevanje in razširitev vzpostavljenega koncepta še na nacionalna porečja. Pri tem smo izoblikovali nove vsebinske rešitve in izboljšali predstavitev rezultatov, ki bodo pripomogli pri hidrološkem napovedovanju.

Sistem temelji na povezanem hidrološkem in hidravličnem modelu v okviru programskega paketa Mike Zero skupine DHI. Za napovedovanje so pomembni trije računski gradniki: hidrološki model NAM s snežnim modulom, hidravlični model MIKE11 (1D) in modul za korekcijo napovedanih pretokov in vodnih stanj. Z ohranjanjem enakega računskega jedra smo lahko posvetili več časa implementaciji in prilagoditvi sistema notranji informacijski in vsebinski strukturi Agencije RS za okolje.

UVOD

Na Slovenskem poplave ogrožajo več kot 300.000 hektarjev površin. Največji del poplavnega sveta (237.000 ha) je v ozkih dolinah vzdolž hudourniških grap (URSZR, 2008). Poplave se medsebojno razlikujejo in lahko glede na tip vodotoka (gorski, ravninski), relief, jakost padavin ter trajanje povzročajo različne oblike nevarnosti. Posledično so tudi škode zelo različne. Najbolj silovite, najhitrejšje in hkrati tudi napovedovalno najzahtevnejše so hudourniške poplave, ki nastajajo v goratih in hribovitih povirnih delih Slovenije. V srednjem in spodnjem toku večjih rek zaradi preseganja pretočnih zmogljivosti rečnih strug in razlik v hitrosti dotekanja visokih voda v sotočjih nastajajo dolinske poplave, in sicer na razmeroma gosto poseljenih površinah. Neprimerna urbanizacija se zato kaže v nekajkrat večjem škodnim potencialu.

Na podlagi poznavanja odzivnosti vodnega telesa lahko predvidevamo obdobje in vrsto poplavne ogroženosti. Veliko težje zagotavljamo napovedi za zagotovitev ustreznega hitrega odziva za zaščito pred škodljivim delovanjem voda. To nam omogoča kakovosten sistem samodejnega spremljanja meteoroloških in hidroloških parametrov, ki ga nadgradimo z uporabo matematičnih napovedovalnih modelov. S sodelovanjem meteorološke in hidrološke službe za napovedovanje lahko opozorimo na najverjetnejše nevarne vremenske in poplavne razmere. Dosedanji razvoj Hidrološkega sistema za napovedovanje pretokov rek je bil usmerjen v zagotavljanje numeričnih napovedi za dolinske poplave v srednjem in spodnjem toku rek, kjer so pričakovani prihranki zaradi delovanja sistema višji.

UMESTITEV SISTEMA ZA NAPOVEDOVANJE V ŠIRŠI OKVIR NAPOVEDOVALNO-OPOZORILNO-ODZIVNEGA SISTEMA

Delovanje na področju varstva pred škodljivim delovanjem voda ali varstva pred vodami je zaobjeto v različnih zakonskih podlagah, strokovno vodarske usmeritve pa so zapisane v Načrtih upravljanja voda 2009-2015 za celotna povodja ali porečja. Vsebinsko lahko zagotavljanje varstva pred škodljivim delovanjem voda delimo na dva dela. Prvi se nanaša na gradbene (aktivne) tehnične ukrepe (graditev protipoplavnih objektov), drugi pa na negradbene (pasivne) protipoplavne ukrepe. Med negradbene protipoplavne ukrepe sodijo ustrezno načrtovanje rabe prostora, določanje poplavne ogroženosti in razvoj opozorilnih sistemov, ki se medsebojno sistemsko povezujejo. Pri opozarjanju smo lahko učinkoviti le, če so opozorila meteorološke in hidrološke službe za napovedovanje izdana pravočasno. Le na osnovi opozoril je možno izpeljati začasne ukrepe in s tem omejiti ali preprečiti posledice predvidenega poplavnega dogodka.

Oblikovanje napovedovalno-opozorilno-odzivnega sistema pred škodljivim delovanjem voda (Pogačnik, 2009) je zahteven proces, saj zahteva veliko predanost vseh strokovnih služb, ki sistem oblikujejo in vzdržujejo. Sestavni elementi sistema (slika 1) se pogosto razvijajo zelo neenakomerno in samostojno, zato je sistem učinkovit le toliko, kolikor je močan najšibkejši člen.



Slika 1: Napovedovalno opozorilno odzivni sistem (povzeto po Parker, 2003).

Vlaganje v razvoj povečuje zanesljivost napovedi, kar bo sčasoma tudi izboljšalo rezultate ukrepov in zaščite pred škodljivim delovanjem voda. Ker opisani koncept ne deluje brez vseh elementov, je pri tem treba paziti tudi na sočasen razvoj in prilagajanje. Posledice opuščenega razvoja formulacije ustreznih opozoril, časovno omejenih protokolov obveščanja in pravilnega odziva na izdana poplavna opozorila lahko izniči večino prednosti izgrajenih tehničnih zmogljivosti pri hidrološkem napovedovanju (monitoring in modeliranje). Obstaja namreč močna korelacija med vloženimi sredstvi za posamezne elemente sistema in preprečevanjem nastanka škode ob poplavah. Kakovostnejši ko so gradniki sistema, večja je učinkovitost in s tem prihranki zaradi nenastale poplavne škode.

ČASOVNI PREGLED RAZVOJA REŠITEV ZA HIDROLOŠKO NAPOVEDOVANJE V SLOVENIJI

V Sloveniji imamo šest hidroloških območij za napovedovanje (Mure, Drave, Save, Soče, Kolpe ter reke Jadranskega morja). Prva tehnična rešitev se je pričela oblikovati na porečju reke Mure, ki se razteza prek ozemlja štirih držav (Avstrije, Slovenije, Hrvaške in Madžarske). V okviru komisije za reko Muro je bil septembra 2003 sprejet sklep o izdelavi sistema za napovedovanje visokih pretokov reke Mure. Po vstopu Slovenije v Evropsko unijo leta 2004 so bili izpolnjeni formalni pogoji za prijavo skupnega projekta med Avstrijo in Slovenijo z možnostjo financiranja v okviru evropskega programa INTERREG IIIB CADSES – projekt „Flussraumagenda Alpenraum“. Operativno je sistem za napovedovanje pretokov rek na reki Muri za sodelujoči državi začel leta 2006 (Ruch, 2006). V letu 2011 se je nadgrajenemu in izboljšanemu sistemu na reki Muri pridružila še Madžarska. Širitev sistema je bila opravljena kot sklop širšega projekta Varovanje in upravljanje naravnih in vodnih virov skozi revitalizacijo, prostorski razvoj in osveščanje javnosti, v okviru Operativnega programa Slovenija – Madžarska 2007- 2013, ki je 85-odstotno sofinanciran s strani Evropskega sklada za regionalni razvoj.

To je bil prvi samodejni računalniško podprt sistem za hidrološko napovedovanje, ki je bil vključen v operativno delo Oddelka za hidrološko prognozo. Pri osnovni rešitvi se je hitro pokazala potreba po širjenju prognoističnega sistema na druga porečja in vključevanju novih zamisli v operativno učinkovitejšo ter informacijsko naprednejšo rešitev. Agencija Republike Slovenije za okolje je leta 2006 začela tudi s kandidaturo in prijavo projekta za evropska kohezijska sredstva - Operativni program razvoja okoljske in prometne infrastrukture za obdobje 2007-2013. Vključitev sistemov za hidrološko napovedovanje na Savi in Soči v skupni projekt Agencije RS za okolje; Boljše opazovanje za boljše ekološke rešitve (ali krajše BOBER) je izoblikovalo izhodišče za nadaljnji večletni razvoj službe za hidrološko napovedovanje.

Projekt BOBER je v enem izmed svojih ciljev namenjen izboljšanju opazovanja in modeliranja posameznih procesov znotraj hidrološkega kroga. Projekt je del Operativnega programa razvoja okoljske in prometne infrastrukture v obdobju 2007–2013, razvojne prioritete naloge Varstvo okolja – področje voda in prednostne usmeritve Zmanjševanje škodljivega delovanja voda. Projekt delno financira Evropska unija (85-odstotno), in sicer iz Kohezijskega sklada.

Oddelku za hidrološko prognozo je projekt omogočil sestavo manjše razvojne skupine, ki je znotraj projekta izoblikovala sodobne rešitve, produkte in orodja, ki so potrebni za opravljanje vsakodnevnih nalog državne hidrološke službe za napovedovanje. Izdelali smo sistem za hidrološko napovedovanje, ki ga je mogoče prenesti in uporabiti na različnih porečjih. Operativno sta vzpostavljena sistema za porečje reke Save, ki obsega 53 % površine Slovenije, in Soče, ki pokriva 11 % državnega ozemlja. V februarju 2012 se zaključi prvi del razvoja orodij za hidrološko napovedovanje, pri čemer sedanji vzpostavljeni sistemi zagotavljajo numerične napovedi hidroloških razmer za 70 % površja Slovenije.

Nadaljnje delo graditve hidroloških sistemov za napovedovanje v drugem delu projekta BOBER bo usmerjeno v zagotavljanje stabilnega delovanja obstoječih sistemov ter širjenje le teh na preostala tri še ne zajeta hidrološka območja. Poglavitni del nalog bo usmerjen v nadaljnji vsebinski (hudourniške poplave in dvo-dimenzijsko hidravlično modeliranje) in informacijski razvoj (spletna orodja za prikaz podatkov, opozoril in napovedi).

POMEN PODATKOVNIH VIROV PRI OPERATIVNIH HIDROLOŠKIH SISTEMIH ZA NAPOVEDOVANJE

Pri pripravi sistemov za hidrološko napovedovanje je treba delovanje sistemov podpreti s podatki iz nacionalnih ali regionalnih mrež za monitoring ter mednarodno izmenjavo. Soča, Mura, Drava, Kolpa ter reke Jadranskega morja so porečja, za katera je bilo in bo ob pripravi sistema za hidrološko napovedovanje treba zbrati tudi podatke sosednjih držav. Le porečje reke Save lahko v celoti obravnavamo s podatki, pridobljenimi iz nacionalne hidrološke in meteorološke mreže za monitoring Agencije Republike Slovenije za okolje.

V okviru finančne pobude *Interreg IIIA* (Italija-Slovenija) je bil leta 2002 predlagan projekt, imenovan Povezani sistem monitoringa reke Soče ali SIMIS, katerega poglavitni del se je nanašal na vzpostavitev izmenjave podatkov med Civilno zaščito Dežele Furlanije - Julijske krajine (DPRC) in Agencijo Republike Slovenije za Okolje (ARSO) (Pogačnik, 2009). Vzpostavljena povezava je pripravila dobro osnovo za pripravo sistema za hidrološko napovedovanje na reki Soči v letih 2009 - 2012. Sočasno je bila v času razvoja meddržavnega sistema za napovedovanje na reki Muri vzpostavljena izmenjava podatkov med deželo Avstrijsko Štajersko in Agencijo Republike Slovenije za okolje, ki je zaživela leta 2006. Ob načrtovani širitvi sistema za hidrološko napovedovanje še na napovedno nepokrita porečja bodo potrebna nadaljnja prizadevanja za samodejno izmenjavo podatkov v realnem času. Za celostno obravnavo meddržavnih porečij bo treba vzpostaviti še sodelovanje z avstrijsko Koroško ter hrvaškim Državnim hidrometeorološkim zavodom (DHMZ) ter Hrvatskimi vodami. S tem bi pridobili podatke, ki bi omogočali kalibracijo hidrološkega in hidravličnega modela ter operativno postavitev sistema za hidrološko napovedovanje še na Dravi, Kolpi in rekah Jadranskega povodja.

Ob dosedanjem povezovanju s sosednjimi službami smo spoznali pomembno prednost delovanja meteorološke in hidrološke službe v okviru ene institucije. Prednosti delovanja obeh služb v Sloveniji se kažejo predvsem v odzivnosti in organizacijski ter tehnološki povezanosti.

Hidrološko napovedovanje mora pri svojem delu poleg razumevanja in obvladovanja naravnih procesov upoštevati tudi obstoječe večje objekte vodne infrastrukture ter hidro-energetske objekte. Vsi večji objekti na rečni mreži sooblikujejo odtočni režim, ki ga v sistemih za napovedovanje poskušamo učinkovito zaobjeti. Največji vpliv imajo hidroenergetski objekti na večjih rekah, Savi, Soči in Dravi, s katerimi že vzpostavljamo izmenjavo podatkov. Pridobljeni podatki nam omogočajo dodaten nadzor pri delovanju sistema in celosten pregled nad hidrološkimi razmerami v državi.

Osnovno gonilo in izhodišče za oblikovanje sistemov za napovedovanje je kvalitetna, gosta in vzdrževana meteorološka in hidrološka mreža za monitoring. Po podatkih, zbranih leta 2007, je v Sloveniji trenutno 250 meteoroloških merilnih mest, kjer se merijo dnevne ali 5-minutne padavine (ena postaja na 81 km²). Od tega je 50 postaj dosegljivih v realnem času (ena postaja na 405 km²). Do zaključka projekta BOBER v letu 2012 bo osnovanih okrog 120 mest z namenom zagotavljanja podatkov o padavinah in temperaturi v realnem času. Državni hidrološki monitoring je v letu 2007 na vodotokih štel 185 merilnih mest in 2 merilni mesti na morju. Na 41 mestih poteka le enkrat oz. večkrat dnevno opazovanje vodnega stanja, na drugih je zagotovljeno zvezno beleženje višine vodne gladine, 34 postaj je omogočalo prenos podatkov v realnem času. Trenutno se je prenos podatkov od začetka projekta BOBER povečal na 55 vodomernih postaj, ki omogočajo prenos podatkov v realnem času. Do zaključka projekta BOBER bo modernizacija hidrološke monitoring-mreže zajela predvidoma večino merilnih mest.

Hidrološko napovedovanje pa vendarle ne bi bilo mogoče brez meteoroloških modelov za napovedovanje vremena. Pridobljeni podatki iz različnih najnovejših meteoroloških modelov, kot so računska modela Agencije RS za okolje ALADIN/SI in INCA-CE, računski model Evropskega centra za srednjeročno napoved vremena (ECMWF) in ameriški model NMM ter skupinske modelske napovedi modela ALADIN/LAEF, omogočajo izračun numeričnih hidroloških napovedi.

Delovanje sistema za hidrološko napovedovanje je zato močno odvisno od (nabora in kvalitete) vhodnih podatkov, s katerimi "hranimo" hidrološke in hidravlične modele znotraj sistemov za napovedovanje. Z vidika hidrološkega napovedovanja je pomembno, da so podatki dosegljivi v realnem času ter da lahko za kalibracijo modelov zagotovimo dolgoletne nize podatkov. Posodobljena monitoring-mreža, mednarodna in domače izmenjave podatkov ter nenehen razvoj meteoroloških modelov neposredno vplivajo na nadaljnji razvoj in zanesljivost vzpostavljenega sistema za hidrološko napovedovanje.

ZASNOVA SISTEMA

Izhodišče sistema za hidrološko napovedovanje je zagotovitev enostavnega, hitrega in enotnega pregleda hidrološkega stanja ter napovedi v izbranih vodomernih profilih na porečjih Save, Soče ter Mure. S pregledom drugih sistemskih rešitev za hidrološko napovedovanje smo pridobili ideje, ki so pripomogle k razvoju prilagojene rešitve za potrebe dnevnega operativnega delovanja nacionalne hidrološke službe za napovedovanje.

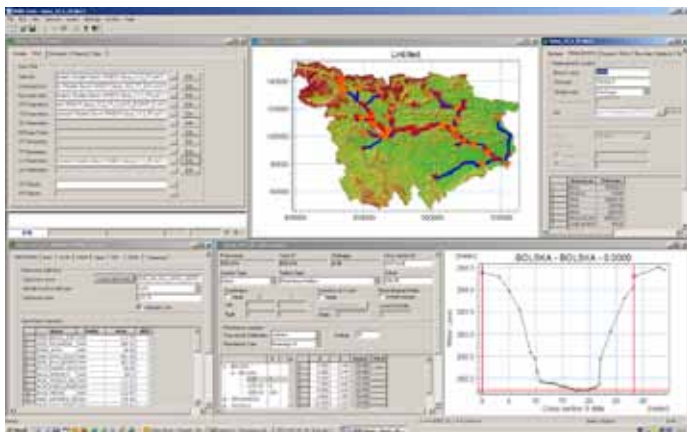
Nadgradnja in prenos že obstoječe rešitve na reki Muri, ki temelji na programski opremi Mike skupine DHI kot računskemu jedru sistema, omogoča enoten hidrološki in hidravlični modelski pristop. Odločitev o ohranitvi računskega jedra je izvedbo projekta usmerila na druga področja – k pregledu podatkovnih virov ter njihovega stanja, načrtovanju obdelave in priprave podatkov za uporabo znotraj modelov, zasnovi prikaza modelskih rezultatov v spletni tehnologiji in njihovega shranjevanja za potrebe poznejših analiz.

Operativne postavitve modelov temeljijo na operacijskem sistemu Windows, vendar osnovana struktura prosto dostopnih izvornih kod gradnikov sistema omogoča vključevanje in povezovanje v odprto in fleksibilno informacijsko okolje, prek katerega se lahko računsko jedro obogati z dodatnimi numeričnimi modeli za hidrološko ali hidrodinamično modeliranje. Operativna uporabnost sistemov je zagotovljena na osnovi grafičnih vmesnikov, ki omogočajo:

- pregled merjenih meteoroloških in hidroloških količin ter modelskih vhodnih podatkov,
- vpogled in upravljanje delovanja sistema oz. posameznih numeričnih modelov,
- pregled časovnega poteka modelskih rezultatov v izbranih napovedovalnih profilih: napovedanih preto-
kov, vodnih stanj in drugih spremenljivk modelskih stanj,
- spreminjanje in dodajanje geografsko-informacijskih podlag in
- spletno prikazovanje modelskih rezultatov.

Zahtevana operativnost je pomenila tudi obvezo po povezovanju drugih vsebinskih, informacijskih in programskih rešitev, ki jih uporabljajo strokovne službe Agencije Republike Slovenije za okolje. Sistem za hidrološko napovedovanje je v največji meri vezan na obstoječe hidrološke, meteorološke in prostorske informacijske baze, ki so vzpostavljene v sistemu za upravljanje z bazami podatkov (SUBP) ORACLE.

Na podlagi vseh podatkovnih virov je z vzpostavljenim sistemom za hidrološko napovedovanje možno iz-



Slika 2: Računsko jedro MIKE ZERO (skupina DHI).

računati pretoke in višine vode na izbranih prečnih profilih praviloma za 72 ur vnaprej oz. do največ 210 ur vnaprej, vendar s precej manjšo zanesljivostjo. Računsko jedro (slika 2), v katerem bodo združene posamezne modelske komponente, so oblikovane v naslednjem zaporedju:

- hidrološki model s snežnim modulom,
- hidrodinamični model in
- modul za korekcijo napovedanih pretokov in vodnih stanj.

HIDROLOŠKI IN HIDRAVLIČNI MODEL

Na porečju Mure v Avstriji in Sloveniji (11400 km²), Save (10843 km²) oz. Soče (slovenski in italijanski del 3426 km²) smo izbrali 52, 40 oz. 31 vodomernih postaj za napovedovalne profile znotraj sistemov. Po izbiri napovedovalnih mest smo določili prispevna območja znotraj njihovih porečij, s tem pa tudi osnovna prostorska izhodišča za hidrološke modele Mure, Save in Soče v hidrološkem modelu MIKE11 – NAM. Gre za determinističen in konceptualen hidrološki model, ki s semi-empiričnimi 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 računske enote. Z vključitvijo enostavnega snežnega modula pa model upošteva tudi topografijo prispevnih območij, tako da jih razdeli na posamezne višinske cone.

Za izgradnjo enodimenzijskega 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 vodnih stanj. Ta modul znotraj hidrodinamičnega modela popravi modelirane pretoke in višine vode z izmerjenimi vrednostmi ob upoštevanju eksponentne funkcije približevanja k napovedanim vrednostim.

KALIBRACIJA HIDROLOŠKEGA IN HIDRODINAMIČNEGA MODELA NA SAVI IN SOČI

Po opravljeni delitvi porečij Save in Soče na podporečja oz. računske enote hidrološkega modela so bili pripravljeni vsi potrebni podatki za kalibracijo: 10-letni nizi (1998-2007) urnih podatkov o temperaturah in padavinah iz meteorološke mreže merilnih postaj, pretokih in vodnih stanjih 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, določitvi površin 100-metrskih višinskih pasov znotraj računskih enot in izbiri temperaturnih in padavinskih gradientov po višini. Glavni kriteriji pri kalibraciji hidrološkega modela so bili naslednji: 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.

Kalibrirani hidrološki model je bil nato povezan s hidrodinamičnim 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 odklon simuliranega stanja vode od izmerjenega znotraj intervala ± 20 cm. V model so bili vstavljeni tudi glavni hidrotehnični objekti s pravili obratovanja regulacijskih naprav.

OPERATIVNE POSTAVITVE

Hidrološki model znotraj operativnega hidrološkega prognostičnega sistema se poganja z izmerjenimi količinami padavin in temperaturami na avtomatskih meteoroloških postajah, ki so vključene v mreže hidroloških in meteoroloških opazovanj tako naše kot tudi sosednjih držav, ter napovedanimi količinami padavin in temperaturami z različnimi meteorološkimi modeli. Tako znotraj sistema delujejo štiri različne postavitve hidroloških modelov za Savo in Sočo ter ena za reko Muro, kar je so razvidno iz preglednice 1. Druga postavitev je namenjena uporabi meteorološkega modela INCA-CE za analizo in zelo kratkoročno napovedovanje. Četrta postavitev hidrološkega modela je eksperimentalne narave in je namenjena testiranju določenih rešitev zaradi slabšega poznavanja npr. dejanske porazdelitve merjenih padavin v prostoru ali pravil obratovanja hidrotehničnih objektov, ki so vključeni v hidrodinamičnem modelu. Po zadnji nadgradnji sistema na reki Muri je hidrološki model postavljen iz podatkov, pridobljenih iz Slovenije, Avstrije in Madžarske ter meteoroloških modelov ALADIN/SI in ALADIN/AUT.

Sistem za hidrološko napovedovanje se avtomatično zažene vsako uro in izdela napovedi pretokov in vodnih stanj, ki se jih korigira glede na izmerjeno hidrološko stanje na avtomatskih vodomernih postajah v zadnji uri.

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*	●			●	
MURA	●			● **	
* eksperimentalna postavitve		** napovedi meteorološkega modela je kombinacija ALADIN/AUT in ALADIN/SI			
○ analiza vremenskih razmer na podlagi modela INCA-CE					

Preglednica 1: Različne postavitve hidroloških modelov znotraj sistema za napovedovanje hidroloških razmer na porečjih Save, Soče ter Mure.

Ob začetku simulacije hidrološkega in hidrodinamičnega modela sistem razbere robne pogoje oz. njihovo začetno stanje iz predhodne simulacije.

PRIKAZ REZULTATOV

Rezultati hidroloških sistemov za napovedovanje bodo poleg objektiviziranih napovedi hidrološkega stanja slovenskih rek omogočali tudi načrtovanje dela drugih strokovnih služb ARSO (kakovost voda, hidrometrija). Da je sistem kar najbolj uporaben za širši krog uporabnikov ARSO, smo posvetili veliko časa načrtovanju internih spletnih vsebin. Spletni prikaz modelskih rezultatov (slika 3) je zasnovan na prostorskem prikazu računskih enot (podporečij) in lokacij prognostičnih profilov na obstoječih geografskih informacijskih podlagah, ki jih omogočajo različni spletni servisi in ponudniki.

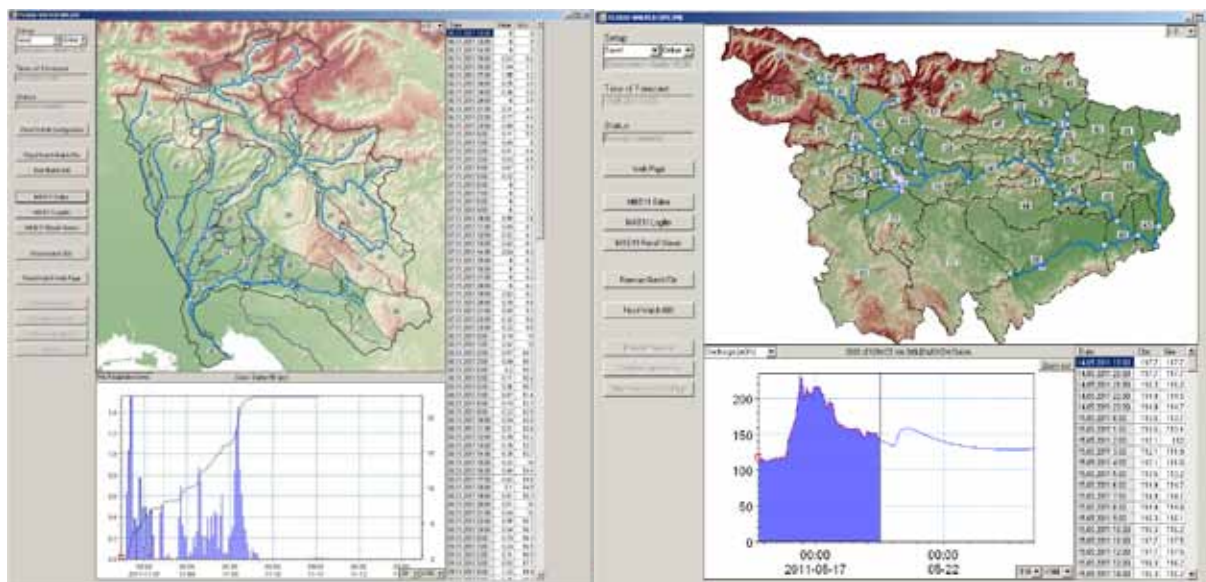
Na spletni strani so prikazani rezultati sistema za hidrološko napovedovanje v izbranih točkah za napovedovanje (vodomerne postaje ARSO in sorodnih služb sosednjih držav ter hidrotehnični objekti, npr. jezovi hidroelektrarn). Prikazani so časovni nizi izmerjenih in napovedanih pretokov ter vodnih stanj rek, padavin in temperatur zraka ter izračunani deleži vode v tleh ter vodnega ekvivalenta v snežni odeji.



Slika 3: Spletni prikaz hidrološkega stanja in napovedi operativnih delujočih hidroloških prognostičnih sistemov za interne uporabnike.

Modelirane višine vode so preračunane glede na korigirane pretoke in se nekoliko razlikujejo od merjenih vodnih stanj. Časovni nizi dejanskih pretokov in merjenih višin vode so v točkah napovedovanja vidni na diagramih kot rdeče pike. Na diagramih časovnega poteka pretokov in vodnih stanj so prikazane tudi opozorilne vrednosti, ki so usklajene s sistemom za opozarjanje pred visokimi vodami Hidroalarm.

Poleg modelskih rezultatov smo za vse izbrana merilna mesta, vključena v sistem za hidrološko napovedovanje, dodali osnovne informacije o vodomernih postajah in dogodkih na točkah napovedovanja: lokacija, izbor metapodatkov, delujoči merilni instrumenti, prečni profil, trenutna pretočna krivulja in 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. Med razvijanjem sistema je nastalo več dokumentov in poročil ter opisov različic postavitve hidroloških modelov glede na vhodne podatke. Zbrane dokumente smo objavili v časovnem zaporedju kot dodatek operativnemu spletnemu prikazu rezultatov modeliranja.



Slika 4: Orodje »floodwatch online«.

Za operativno delo pri napovedovanju uporabljamo posebej razvito orodje »floodwatch online« (slika 4), s katerim je omogočen hiter vpogled in upravljanje s sistemom ter posameznimi elementi. Gre za enostavno pogovorno okno, ki omogoča pregled meteorološkega in hidrološkega stanja ter napovedi, dostop do računskega jedra MIKE11, pregled različnih scenarijev, dostop do nastavitvev hidrološkega sistema in datotek, ki določajo vrsto in zaporedje operacij v računskem postopku in vpogled v izvorno kodo gradnikov sistema, razen licenčnega standardnega programskega paketa MIKE – DHI. Ključna funkcija orodja izhaja v možnosti spreminjanja količine padavin, prek katerih lahko izračunamo odziv porečja glede na subjektivno oceno predvidenih razmer.

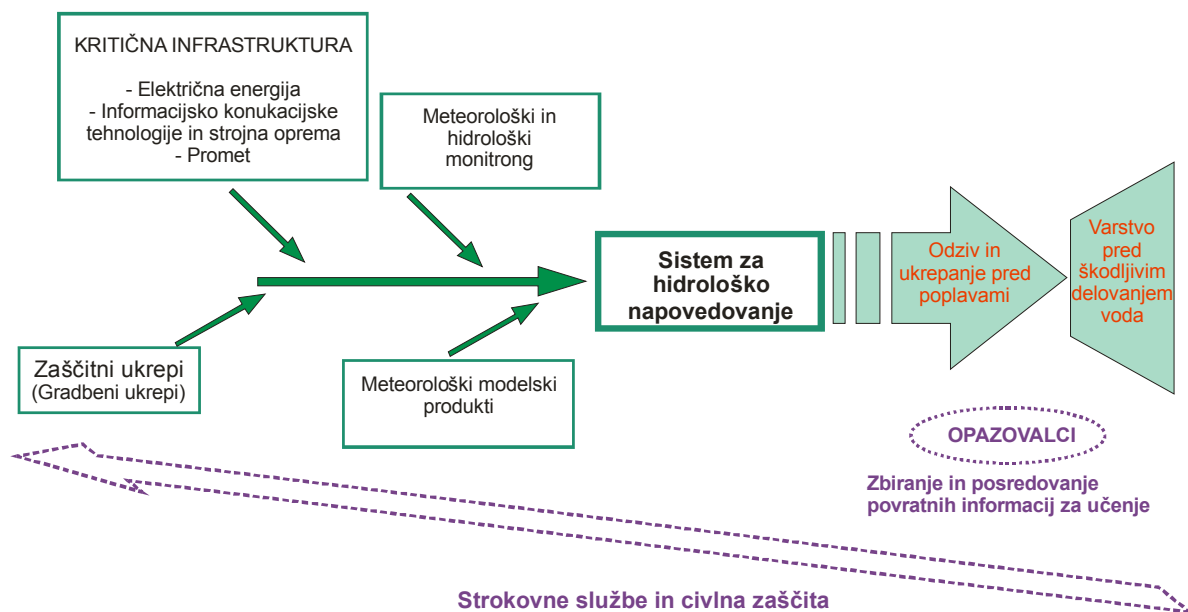
RANLJIVOST IN TRENUTNE OMEJITVE SISTEMOV ZA HIDROLOŠKO NAPOVEDOVANJE

Če dosežemo stabilne pogoje za tehnično delovanje sistema za hidrološko napovedovanje, je treba opredeliti tudi dodatna tveganja in odvisnosti sistema od podporne infrastrukture. Podporni sistemi in infrastruktura, kot so telekomunikacije, električno omrežje, računalniška ali strojna oprema, lahko pomembno vplivajo na operativno delovanje hidrološkega sistema za napovedovanje. Razumevanje soodvisnosti med pod-sektorji slovenske kritične infrastrukture (Prezelj, 2008), kamor sodijo komunikacijsko informacijski sistemi ter preskrba z električno energijo, opredeljuje odvisnost in tveganje za delovanje sistema za hidrološko napovedovanje. V primeru daljšega izpada podatkov iz monitoring-mreže zaradi poškodb na merilni opremi, komunikacijah, prekinitve električne oskrbe, uničenja merilnega mesta pravzaprav ostanemo brez osnovnih izhodišč za delovanje. Ob tem je treba še toliko bolj razumeti in ohranjati klasične oblike spremljanja, opazovanja in komunikacije. Stalno spremljanje z opazovalci zato ne smemo obravnavati kot nepomembno, saj le s spremljanjem dogodkov prek računalniškega sistema za hidrološko napovedovanje ni možno zagotoviti in posredovati tudi vsebinsko najustreznejše informacije.

konukacijske = komunikacijske

monitrong = monitoring

Gradbeni ukrepi = gradbeni ukrepi



Slika 5: Odvisnost hidrološkega sistema za napovedovanje od podpornih sistemov.

Izoblikovani sistem je v obstoječem sestoji namenjen predvsem napovedovanju poplavnih dogodkov. Pri-kazani samodejni izračuni modelov so zato včasih težje razumljivi ali nelogični, kar je pogosto posledica de-lovanja modula za korekcijo napovedanih pretokov z merjenimi pretoki. Z operativnim delovanjem modelov se bodo sčasoma nabrale izkušnje, analiza modelskih rezultatov pa bo osnova za korekcijo kalibracije tako hidrološkega kot tudi hidrodinamičnega modela.

Hidrološki model NAM trenutno uporablja razmeroma preprost snežni modul, ki daje manj zanesljive rezulta-te predvsem na območjih z razgibanim reliefom. V našem primeru so modelski rezultati o vodnem ekvivalentu snežne odeje precenjeni in taljenje snega poteka prepočasi. Zaradi relativno velikih modeliranih območij in dokaj redke mreže prečnih prereзов rek lahko pride do nestabilnosti in nepričakovanih nihanj pri hidrodina-mičnem računu modelov, predvsem pri nizkih vodnih stanjih.

POMEN SISTEMA

Rezultati simulacij rečnega odtoka omogočajo objektivizirano podlago hidrologu za odločanje in izdajanje pravočasnih in natančnih opozoril pred poplavami. Sistem za hidrološko napovedovanje je kot preventivni člen v napovedovalno opozorilno odzivnem sistemu pomemben gradnik, zaradi katerega je mogoče pripraviti kvaliteten odziv na pričakovane razmere.

V neposredni povezavi s sistemom Hidroalarm bo dosežena še višja stopnja sporočilnosti opozoril pred viso-kimi vodami. Opozorilni sistem Hidroalarm deli Slovenijo na 26 območij, ki na podlagi rezultatov hidrološke-ga prognostičnega sistema samodejno obarva porečja glede na poplavno nevarnost z opozorilnimi barvami: rumeno, oranžno in rdečo. Te so mednarodno usklajene in pomenijo stopnjo nevarnosti zaradi pričakovanih poplav in njihovih posledic.

Stanje vodnatosti rek in padavinske razmere vedno spremlja dežurni hidrolog. Na podlagi vseh podatkov pri-pravi opozorilo, ki vsebuje tudi karto poplavne nevarnosti z barvno lestvico sistema Hidroalarm. Pred javno objavo opozorila dežurni hidrolog še enkrat preveri ustreznost stopnje poplavne nevarnosti in ga nato z be-sedilom objavi na spletni strani Agencije RS za okolje www.arso.gov.si. Hkrati ga posreduje Upravi za zaščito in reševanje RS ter drugim pristojnim institucijam, na podlagi katerega se izoblikuje odziv na pričakovano poplavno nevarnost.

ZAKLJUČEK

Sistem za hidrološko stanje in napoved rek Save, Soče in Mure je sodobno orodje, ki je izrednega pomena za hidrološko službo za napovedovanje kot tudi druge strokovne službe na Agenciji RS za okolje pri opravljanju vsakodnevnih nalog. Z njegovim razvojem je omogočen enoten, enostaven in hiter pregled hidroloških raz-mer in napovedi pretokov in vodnih stanj na izbranih vodomernih mestih na porečjih Save, Soče in Mure.

Hidrološke napovedi so v preteklih letih temeljile predvsem na subjektivnih ocenah hidrologov ob pomoči enostavnih regresijskih modelov ter lokalnih hidroloških modelov. Z razvojem sodobnih numeričnih sistemov za hidrološko napovedovanje so hidrološke napovedi postale tehnično objektivnejše. Z upoštevanjem znanih omejitev in nezanesljivosti količinske napovedi pretokov rek oblikujejo napredno in kvalitetno podlago hidrologom za zgodnje in natančno opozarjanje pred poplavljanjem.

Glavne omejitve hidrološkega prognostičnega sistema izhajajo predvsem iz pomanjkljivosti vhodnih podatkov ali relativno preprostih modulov, ki so vključeni znotraj sistema. Zaradi relativno redke mreže prečnih prereзов, ki je vključena v hidrodinamičnem modelu sistema, lahko prihaja do nestabilnosti in nepričakovanih nihanj simuliranih pretokov in vodnih stanj, predvsem pri visokih in izredno nizkih hidroloških stanjih. Trenutna mreža avtomatskih merilnih postaj padavin je preredka za korekten zajem precej razgibane prostorske porazdelitve padavin v Sloveniji. Tako so simulacije hidrološkega modela sistema za zdaj temu primerno negotove. Snežni modul, ki je trenutno vključen v hidrološkem modelu sistema, uporablja razmeroma preprosto računsko metodo, ki daje manj zanesljive rezultate predvsem na območjih z razgibanim reliefom. V našem primeru se modelski rezultati o vodnem ekvivalentu snežne odeje delno razlikujejo od dejanskega poteka akumulacije in taljenja snega.

Hidrološka prognostična služba upošteva vse zgoraj omenjene omejitve pri operativnem delovanju sistema. Tako se bodo sčasoma nabrale izkušnje, ki bodo omogočale pripravo izboljšav hidrološkega sistema za napovedovanje kot celote. Že v začetku leta 2012 bomo hidrološkemu prognostičnemu sistemu dodali še hidrološke napovedi na osnovi skupinskih numeričnih napovedi razvoja vremena z meteorološkim modelom ALADIN/LAEF in napravili povezavo s sistemom Hidroalarm ter tako dosegli višjo stopnjo avtomatizacije procesov pri opozarjanju pred visokimi vodami.

Z vzpostavitvijo sistema so se oblikovale tudi nadaljnje znanstveno raziskovalne možnosti obravnav različnih razvojnih problemov pri uporabi skupinskih numeričnih modelov za napovedovanje vremena, vgrajevanja drugih oz. konkurenčnih računskih jeder hidroloških ali hidravličnih modelov ali različnih pristopov analize zanesljivosti sistema za hidrološko napovedovanje.

ZAHVALA

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

LITERATURA

- Arhiv Agencije RS za okolje.
- 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/>)
- POGAČNIK, N., GOSAR, L., RUCH, C., 2008, Hidrološki prognostični sistem : uporaba prostorskih podatkov. V: PERKO, Drago (ur.), ZORN, Matija (ur.), Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007-2008, (GIS v Sloveniji, 9). Ljubljana: Založba ZRC, str. 129-141, ilustr.
- POGAČNIK, N., 2009, Nadgradnja opozorilnega sistema za zaščito pred škodljivim delovanjem voda. V: 20. Mišičev vodarski dan 2009, Maribor, 26. november. Zbornik referatov, (Mišičev vodarski dan). Maribor: Vodnogospodarski biro, str. 59-67, ilustr.
- 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 (Ljublj.), št. 23, str. 233-244, barvne ilustr.
- PREZELJ, I., KOPAČ, E., S, U, GROŠELJ, K., SOTLAR, A., KUSTEC LIPICER, S., ŽIBERNA, A., KOLAK, A., 2008. Definicija in zaščita kritične infrastrukture Republike Slovenije: raziskovalni projekt: končno raziskovalno poročilo. Fakulteta za družbene vede, Obramboslovni raziskovalni center, Ljubljana, 526 str.
- RUCH, C., POGAČNIK, N., POLAJNAR, J., SUŠNIK, M., JORGENSEN, G., HORNICH, R., SCHATZL, R., 2006, Trans-boundary forecasting system on Mur river. V: BRUK, Stevan (ur.). Conference Proceedings. Belgrade: Republic Hydrometeorological Service: Institute for the Development of Water Resources »Jaroslav Cerni«: National Committee of Serbia for the International Hydrological Programme of UNESCO, str. 1-13, ilustr.
- Uprava RS za zaščito in reševanje, Poplava. <http://www.sos112.si/slo/page.php?src=og12.htm> (25.2.2008)

NUMERIČNO MODELIRANJE STANJA MORJA V JADRANU

Dr. Matjaž Ličer in Martin Vodopivec, Morska biološka postaja,
Maja Jeromel in Jure Jerman Agencija Republike Slovenije za okolje

POVZETEK

V besedilu predstavljamo osnovno motivacijo za sklopljeno modeliranje morja in atmosfere ter nekatere numerične modele, ki so trenutno v te namene v rabi na Agenciji RS za okolje (ARSO).

ABSTRACT

The paper presents the basic motivation for coupled ocean-atmosphere modelling and some of the numerical models that are being used for these purposes at the Environment Agency of the Republic of Slovenia (EARS).

1. UVOD

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

Modeliranje morja v Jadranu je zato smiselno iz mnogih razlogov. Na poznavanje stanja morja se v prvi vrsti zanašajo obalni prebivalci, za katere je obveščenost o tem, da bo morje močno vzvalovano oz. da bo poplavelo nižje dele obale, pogosto pomembno, saj ima lahko nepripravljenost na razmere tako varnostne kot finančne posledice.

Drugi vidik modeliranja morja je ekološki. Slovensko morje je plitvo in relativno zaprto, posledično pa precej občutljivo za vremenske spremembe in morebitna onesnaženja. Z naraščajočim ladijskim prometom se veča tudi možnost neljubih dogodkov, kot so ladijske nesreče in izlivi polutantov. Hkrati je zaradi plitvosti z določenimi meteorološkimi razmerami (južni veter, nizek tlak) povezano izrazito naraščanje in upadanje gladine morja. Z ustreznimi modeli, s katerimi lahko pravočasno predvidimo dogajanje na morju, lahko zmanjšamo oz. omilimo posledice ekstremnih hidroloških in meteoroloških situacij ter izrednih ekoloških dogodkov tako za ljudi kot okolje.

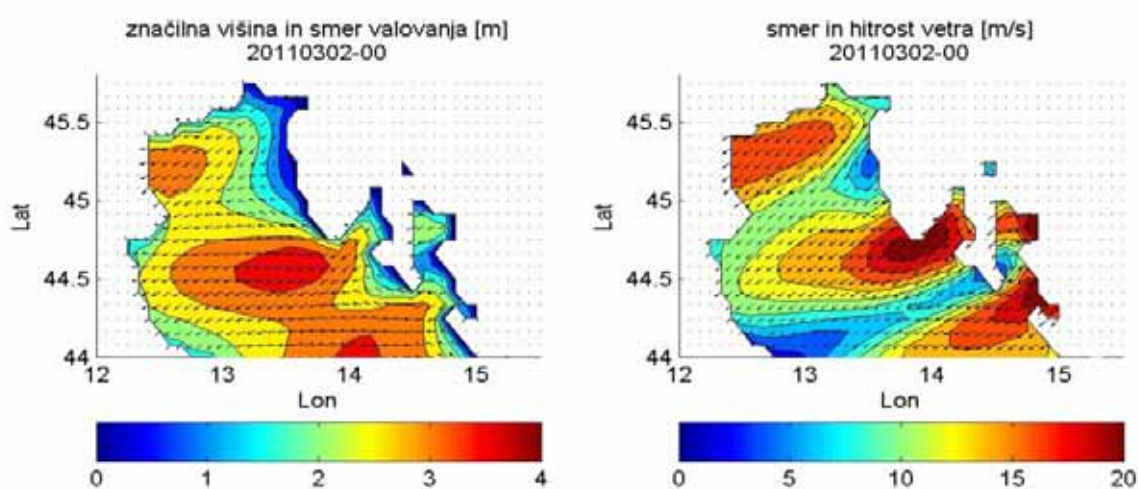
Na stanje morja so poleg tega vezane različne turistične in gospodarske dejavnosti, še zlasti Luka Koper (ta se na napoved plime in oseke zanaša pri določanju vplutij in izplutij največjih tankerjev). In nenazadnje: ko je februarja 2010 pred Luko Koper nasedla kitajska tovorna ladja, so pri načrtovanju reševalne akcije morali upoštevati prognozo plime in čakati na najbližjo visoko vodo. Za napovedovanje stanja morja in izdajo opozoril ob pričakovanih ekstremnih situacijah sta trenutno zadolžena oddelka za hidrološke in meteorološke prognoze Agencije RS za okolje (v nadaljevanju: ARSO). Za opozarjanje na izjemne dogodke ter pri vsakdanjem delu so operativna modelska orodja bistvenega pomena.

Poleg naštetega si konsistentne prognoze *vremena* brez poznavanja fizikalnih razmer *v morju* in na morski površini ne moremo predstavljati. Računska domena atmosferskega modela Aladin/Sl, ki ga ARSO uporablja za napovedovanje vremena, sega od srednje Evrope globoko nad Sredozemsko morje. Če ne poznamo osnovnih parametrov morske površine (temperatura, višina gladine, tokovanje, valovanje ipd.), smo pač prisiljeni, da si spodnje robne pogoje nad morsko površino za model Aladin/Sl izmišljujemo oz. jih vezemo na klimatološke vrednosti. Če prognozo temperature morske površine izboljšamo za eno stopinjo, se zaradi izboljšanih vrednosti konvektivnih in toplotnih fluksov kvaliteta napovedi količine padavin *nad celino* poveča za okoli deset odstotkov. Dobro poznavanje površinske temperature Jadranskega morja je zato *pomembno tudi pri ocenjevanju tveganj za poplave in hudourniške dogodke po celotni Sloveniji* (še zlasti v zahodni).

2. NUMERIČNI MODELI NA ARSO

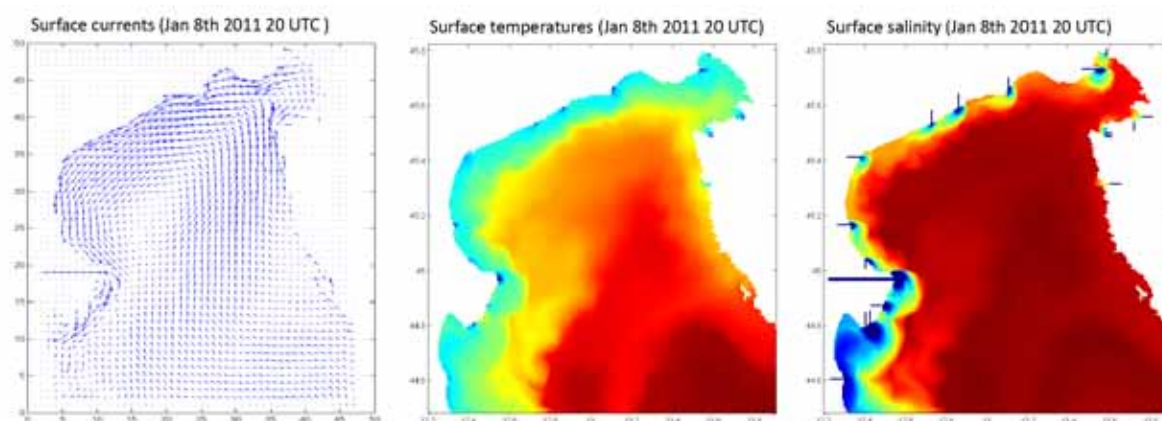
Agencija RS za okolje pri vzpostavitvi modelske verige za napovedovanje stanja morja sodeluje z Morsko biološko postajo v Piranu (odslej MBP, del Nacionalnega inštituta za biologijo) ter s Katedro za mehaniko tekočin Fakultete za gradbeništvo in geodezijo UL (odslej FGG UL). Namen sodelovanja je vzpostavitev dvosmerno sklopljene modelske verige, ki vključuje valovni model SWAN, oceanski model POM, model razlitja polutantov NAFTA ter atmosferski model Aladin/SI. Na kratko si oglejmo numerične modele za prognozo stanja morja (SWAN, POM, NAFTA).

Model SWAN. SWAN je 2D valovni model, ki omogoča izračun značilne višine in smeri (valovnega vektorja) valov v modelski domeni. Vhodni podatki modela sta tokovanje na površini in vetrovno polje, ki ga zagotavlja atmosferski model Aladin/SI. Rezultate valovnega modela potrebujemo za ustrezno obravnavo turbulentne mejne plasti tako v atmosferi kot v morju. Model, postavljen na ARSO, omogoča napovedovanje značilne smeri ter značilne višine valovanja na računski domeni severnega Jadrana, pa tudi na področju celotnega Jadranskega morja. Sklopitev modela z Aladin/SI ter z oceanskim modelom POM bo omogočila boljše napovedi vetra pri tleh ter boljši opis fluksov toplote in gibalne količine v mejni plasti. Produkta modela SWAN predstavljamo na sliki 1.



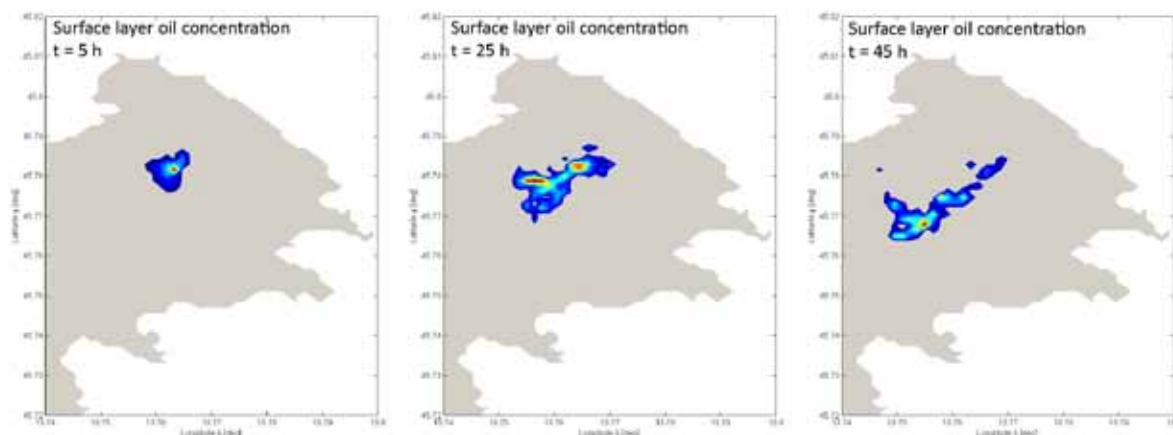
Slika 1: Produkta valovnega modela SWAN, ki omogoča prognozo značilne smeri in višine valovanja v severnem Jadranu. Sliki prikazujeta značilno višino in smer valovanja (levo) ter smer in hitrost vetra (desno).

Model POM/NAPOM. Model POM (Princeton Ocean Model) je 3D oceanski model za izračun tokovanja, plimovanja ter advekcije in disperzije temperature in slanosti. Trenutno je na ARSO v operativni rabi oceanski model NAPOM, razvit v sodelovanju z MBP, katerega računska domena je področje severnega Jadrana, izhodni modelski produkti pa so 3D hitrostno, temperaturno, slanostno in gostotno polje, ter 2D elevacija morske gladine na računski domeni. Nekaj rezultatov modela NAPOM je predstavljenih na sliki 2.



Slika 2: Nekateri produkti modela NAPOM. Površinsko hitrostno polje (levo), površinske temperature morja (center) ter površinsko slanostno polje (desno).

Model Nafta. Na FGG UL, ARSO in MBP je bil za namene simulacije razlitja nafte in podobnih goriv razvit model NAFTA, ki na podlagi hidrodinamike modela NAPOM prek metode sledenja delcev (ang. *particle tracking*) omogoča izračun disperzije in advekcije naftnega madeža ter nekaterih biogeokemijskih sprememb razlitega ogljikovodika. Model Nafta se zaganja občasno, v primeru izlitja ogljikovodikov oz. ko obstaja nevarnost izlitja (npr. nasedla ali goreča ladja), vendar mora ob zagonu samodejno pobirati predpripravljene začetne razmere (hidrodinamiko iz modela NAPOM ter vetrovno polje iz modela Aladin/SI). Slika 3 prikazuje rezultate simulacije razlitja nafte v Tržaškem zalivu ob zmernem JZ vetru.



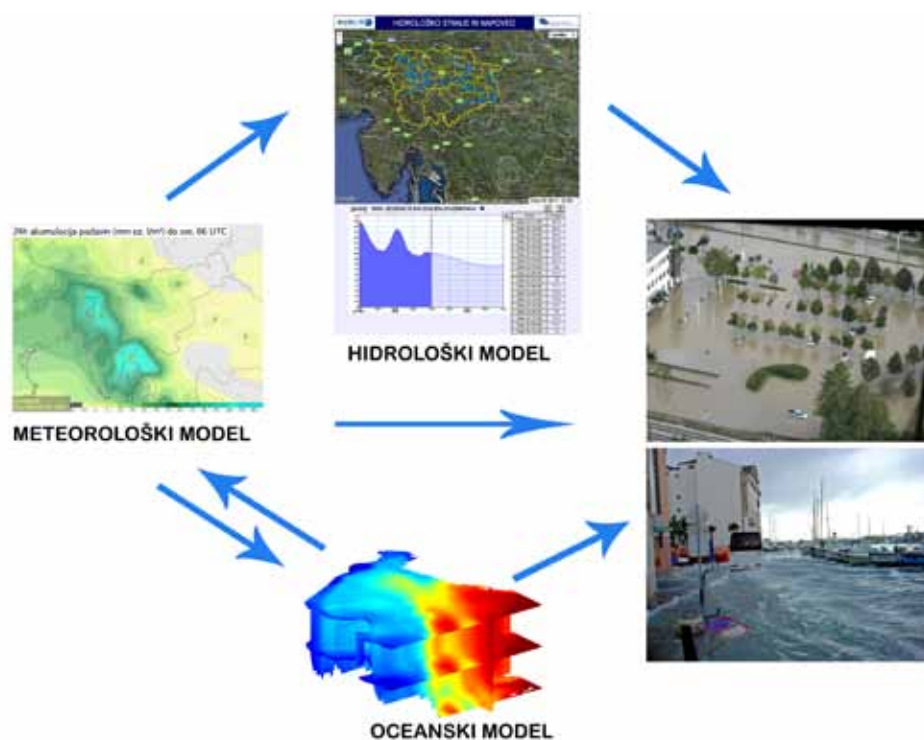
Slika 3: Rezultati simulacije razlitja nafte z modelom NAFTA. Slike prikazujejo koncentracijo nafte v površinskem sloju 5 h, 25 h ter 45 h po razlitju.

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

Sklopljena atmosfersko-oceanografska modelska veriga pomeni, da se bodo podatki o stanju površja morja v oceanografskem in valovnem modelu in najnižjega sloja v atmosferskem modelu izmenjevali med samo integracijo modelov. Izmenjava informacij večinoma poteka samo enosmerno, to je v smeri atmosfera – ocean, mi pa želimo izboljšati opis stanja morja tudi v atmosferskem modelu in klimatološke vrednosti nadomestiti z izhodom oceanografskega in valovnega modela. Od natančnejšega opisa stanja morja v atmosferskem modelu si obetamo izboljšano napoved atmosferskih parametrov, kot so veter, vlaga in posledično tudi padavine, prav te pa so pomemben vhod v hidrološke modele za napovedovanje pretokov rek. Z medsebojnim sklapljanjem modelov bomo torej zagotovili natančnejši opis pojavov v izmenjevalni plasti med oceanom in atmosfero ter izboljšano napoved vseh relevantnih parametrov.

3. ZAKLJUČEK

Končni namen omenjene modelske verige je zagotavljanje boljše podpore vsem uporabnikom, ki potrebujejo informacije o stanju morja ter vodotokov po Sloveniji (gl. sliko 4).



Slika 4: Dvosmerno sklopljena oceansko-meteorološko-hidrološka modelska veriga vodi do natančnejših izračunov stanja morja in atmosfere ter do boljše prognoze hidroloških parametrov nad celinsko Slovenijo

Eden izmed dolgoročnih ciljev ARSO je vzpostavitev Službe za morsko meteorologijo in oceanografijo, ki bo zagotavljala relevantne informacije in napovedi stanja morja in atmosfere nad morjem. Vzpostavitev take službe pa ni mogoča brez ustreznih modelskih orodij za analizo in napovedovanje stanja morja in ozračja. Ker ARSO pokriva tako področje oceanografije kot meteorologije, na področju numeričnega modeliranja atmosfere pa ima dolgo tradicijo in ustrezno infrastrukturo, se kot logična možnost ponuja izdelava sklopljene atmosferske-oceanografske modelske verige modelov. Izmenjava informacij večinoma poteka samo enosmerno, to je v smeri atmosfera – ocean, mi pa želimo izboljšati opis stanja morja tudi v atmosferskem modelu in klimatološke vrednosti nadomestiti z izhodom oceanografskega in valovnega modela. Od natančnejšega opisa stanja morja v atmosferskem modelu si obetamo izboljšano napoved atmosferskih parametrov, kot so veter, vlaga in posledično tudi padavine, prav te pa so pomemben vhod v hidrološke modele za napovedovanje pretokov rek. Z medsebojnim sklapljanjem modelov bomo torej zagotovili natančnejši opis pojavov v izmenjevalni plasti med oceanom in atmosfero ter izboljšano napoved vseh relevantnih parametrov.

LITERATURA

- ŽAGAR, Dušan, LIČER, Matjaž, MALAČIČ, Vlado. Modeliranje razlitja nafte v morskem okolju = Oil spill modelling in marine environment. V: EBERLINC, Matjaž (ur.), ŠIROK, Brane (ur.). Kuhljevi dnevi, 22. september 2011, Mengeš. *Zbornik del.* Ljubljana: SDM - Slovensko društvo za mehaniko, 2011, str. 283-290
- JERMAN, Jure, JEROMEL, Maja, LIČER, Matjaž, ŽAGAR, Dušan. Application of an artificial neural network model for analysis of the extreme tide events in the Gulf of Trieste in early December 2008 : Case Study. *Geophys. res. abstr. (Online)*, 2009
- LIČER, Matjaž, ŽAGAR, Dušan, ČETINA, Matjaž, RAMŠAK, Vanja. *Simulacija razlitja ogljikovodikov v Tržaškem zalivu ob tipičnih vetrovnih situacijah z modelom PCFLOW3D - Nafta2 : poročilo.* Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem, 2009
- BOGUNOVIČ, Branko, MALAČIČ, Vlado. Circulation in the Gulf of Trieste: Measurements and model results. *Nuovo cimento Soc. ital. fis., C Geophys. space phys.*, 2008, issue 3, vol. 31, str. 301-326.
- JEROMEL, Maja, MALAČIČ, Vlado, RAKOVEC, Jože. Weibull distribution of bora and sirocco winds in the northern Adriatic sea. *Geofizika (Zagreb)*, 2009, vol. 26, no. 1, str. 85-100
- MALAČIČ, Vlado, PETELIN, Boris. Climate circulation in the Gulf of Trieste (northern Adriatic). *J. geophys. res.*, 2009, vol. 114, c07002, str. 1-15
- MARKOŠEK, Janez, High resolution NWP model in operational use in Slovenia, <http://www.euroforecaster.org/latenews/slovenia.pdf> (11.1.2012)

KONCEPTUALNI MODELI ALUVIALNIH VODONOSNIKOV V MREŽI DRŽAVNE HIDROLOŠKE SLUŽBE

mag. Zlatko Mikulič in Vlado Savič, Agencija Republike Slovenije za okolje

POVZETEK

Konceptualni modeli so učinkovito orodje za hidrogeološke študije aluvialnih vodonosnikov, projektiranje vodnih objektov in načrtovanje upravljanja z vodami. V prispevku so prikazani osnovni elementi modelov ter njihov razvoj in raba v državni hidrološki službi. Predstavljeni primeri so lahko navdih potencialnim uporabnikom za nadaljnji razvoj tovrstnih orodij.

ALUVIALNI VODONOSNIKI V DRŽAVNI HIDROLOŠKI MREŽI

Državna hidrološka služba je začela raziskovati podzemne vode na nacionalno pomembnih aluvialnih vodonosnikih ob koncu štiridesetih let prejšnjega stoletja. Do danes je v sistem monitoringa vključenih enaindvajset ravninskih območij, ki so od uveljavitve okvirne vodne direktive EU grupirane v smiselne strokovno upravljalvske enote vodnih teles podzemne vode.

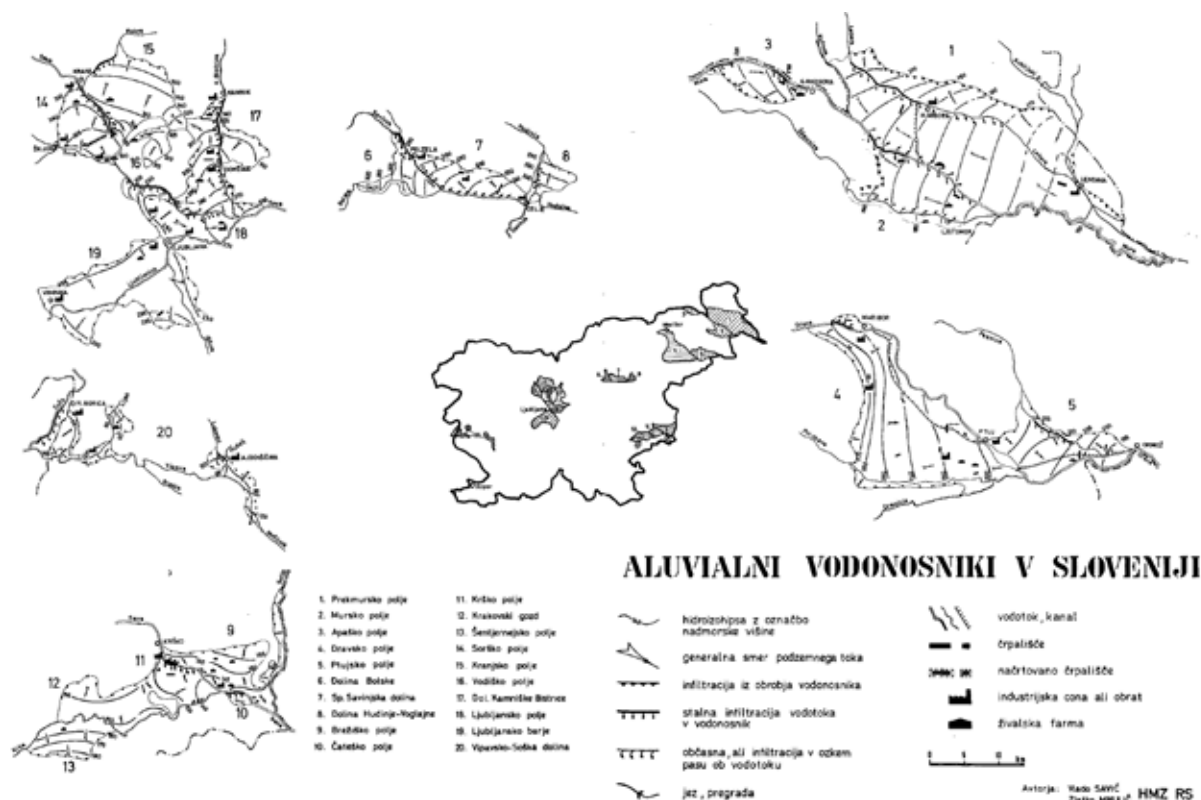
Obširne aluvialne vodonosnike bomo našli ob večjih slovenskih rekah: ob Savi s pritoki v Ljubljanski kotlini; ob Savi s pritoki v Krški kotlini; ob Savinji s pritoki v Celjski kotlini; ob Muri s pritoki v Murski kotlini; ob Dravi s pritoki na Dravsko-Ptujskem polju; ter v zgornji Vipavski dolini in v spodnjem toku Soče.

Opisani vodonosniki so mlade geološke tvorbe, nastale v mladih kvartarnih dobah pleistocenu in holocenu. Njihov razvoj je neovirano potekal vse do devetnajstega stoletja, ko je z regulacijami rek in pozneje graditvijo velikih pregrad človek usodno posegel tudi v ta naravni proces. O naravnih procesih v nam znanem zgodovinskem obdobju pričajo na primer ostanki rimskega rečnega pristanišča v Neviodunumu pri Krškem, nekaj kilometrov stran od današnje Save, v novejšem času pa karte v jozefinskem katastru, kjer imajo rečni tokovi na ravninskih območjih številne rokave in meandre v pasovih, širokih do nekaj kilometrov.

Večina aluvialnih vodonosnikov na slovenskem ozemlju je v rečnih naplavinah, le vodonosniki Ljubljanske kotline so ledeniško rečnega nastanka zaradi nanosa gradiva iz bližnjega ledenika v Julijskih Alpah. Proces erozije in odlaganja materiala so bili povezani z ledenimi in medledenimi dobami, kakor tudi s tektonskimi premiki dviganja in pogrezanja zemeljskega površja. Prevladujoči material v večini vodonosnikov so peščeno prodni nanosi.

Geološka sestava vodonosnikov ob Savi je karbonatna, saj izvirajo iz Julijskih in Kamniških Alp, ki so pretežno zgrajene iz apnenih in dolomitnih hribin. V globljem delu, starejšem pleistocenskem zasipu Ljubljanske kotline, je nastal zanimiv sekundarni proces cementacije karbonatnega proda v konglomerat, ki je potem ponekod močno zakrasel. Reki Drava in Mura pritekata iz avstrijskih Alp, kjer je veliko magmatskih in metamorfnih kamnin, zato v njunih vodonosnikih te kamnine prevladujejo nad karbonatnimi.

Aluvialni vodonosniki so razmeroma enostavni hidrogeološki sistemi odprtega tipa s prosto gladino podzemne vode, le ponekod so lahko delno zaprti, izjemoma so v zelo omejenem obsegu celo mešani aluvialno kraški. V aluvialnih vodonosnikih so največja slovenska črpališča pitne vode, iz katerih se med drugimi oskrbujejo mesta Ljubljana, Maribor, Celje in Krško. Prav zaradi tako strateškega pomena so bili ti vodonosniki v državni mreži monitoringa od druge svetovne vojne vse do danes deležni sistematičnih raziskav. V začetku devetdesetih je bil za vse večje aluvialne vodonosnike izdelan prvi konceptualni model (slika 1).



Slika 1: Konceptualni model aluvialnih vodonosnikov Slovenije v sistemu monitoringa podzemnih voda Hidrometeorološkega zavoda RS (Mikulič, 1992; avtorja karte: V. Savič in Z. Mikulič).

KRATKA ZGODOVINA MODELOV

Za prvo predhodnico konceptualnih modelov aluvija na slovenskem ozemlju lahko štejemo »Hidrogrfski zemljevid ljubljanske okolice« iz leta 1887, izdelan za potrebe načrtovanja vodarne Kleče. Na njem je gladina podzemne vode na Ljubljanskem polju prikazana s hidroizohipsami. Potek hidroizohips kaže jasno smer toka od Save proti Klečam, torej del podzemne vode izvira iz reke.

Med obema svetovnima vojnama beležimo odmiranje državne hidrološke službe, ko ni nobenega napredka hidrogeološke znanosti na tem področju. Šele z ustanovitvijo državne hidrološke službe leta 1947 se začne nagli razvoj raziskav aluvialnih vodonosnikov. Že ob koncu štiridesetih in v začetku petdesetih let prejšnjega stoletja so v plitvih vodonosnikih severovzhodne Slovenije organizirali merilno mrežo za podzemne vode. Merilna mesta so bili tedaj obstoječi kmečki vodnjaki, o katerih ni bilo nobenih hidrogeoloških podatkov. Prvotno je bila vzpostavljena zelo široka mreža. Tako so bili po nekaj letih stalnih meritev pridobljeni dragoceni podatki o globini vode, smereh podzemnega toka in hidravličnih povezavah med podzemnimi in površinskimi vodami. Tedaj so bile za ta območja izrisane tudi prve karte hidroizohips.

V šestdesetih in sedemdesetih letih prejšnjega stoletja je bila državna mreža razširjena na vse druge vodonosnike, ki jih opazujemo še danes. Predvsem za potrebe razvoja velikih črpalnic so bile tedaj izdelane obsežne študije podzemne vode. Osrednji del vseh teh študij so bile karte hidroizohips z vrisanimi smermi podzemnega toka.

Z razvojem računalniških zmogljivostih so se v osemdesetih letih pokazale prve želje po matematičnih modelih vodonosnikov, vendar se je obenem izkazalo, da v državni hidrološki službi ni na voljo ne celovitih konceptualnih modelov ne zadostnih podatkov o geometriji vodonosnikov in tudi ne zadostnih hidrogeoloških podatkov.

V začetku devetdesetih let se je začela vzpostavljati mreža za monitoring kemijskega stanja podzemnih voda. Za ta namen je bil izdelan prvi konceptualni model vseh aluvialnih vodonosnikov v državni mreži (Mikulič, 1992). Za potrebe predvidenih matematičnih modelov so bile tedaj izdelane prve hidrološko-hidrogeološke študije Dravskega in Ptujkega polja ter pozneje še Apaškega polja.

Podatke konceptualnih modelov in hidrološko-hidrogeoloških študij so ob koncu prejšnjega stoletja uporabili za načrtovanje prvih namensko zgrajenih merilnih postaj za monitoring količinskega in kemijskega stanja podzemnih voda. S strokovnim načrtovanjem in graditvijo postaj se je po letu 2000 nadaljevalo po programu vodnega sklada in od leta 2009 po programu Boljše Opazovanje za Boljše Ekološke Rešitve (BOBER), ki je pretežno financiran s sredstvi EU. Predvsem program BOBER pomeni veliko prelomnico v razvoju, saj razen merilne mreže razvija numerične modele toka podzemne vode na večjih aluvialnih vodonosnikih (Vogrinčič *et al.*, 2010). Doslej izdelani konceptualni modeli so ena pomembnih iztočnic za vzpostavitev numeričnih modelov v programu BOBER, kot tudi modelskih orodij pri vzporednem programu razvoja modeliranja za oceno ogroženosti vodonosnikov zaradi onesnaženja z nitrati (Uhan, 2011).

ELEMENTI KONCEPTUALNIH MODELOV

Konceptualni model omogoča razumevanje aluvialnega vodonosnega sistema kot celote, kakor tudi procesov v njem. Tak model je temeljno izhodišče za vse nadaljnje poglobljene analize in nadgradnjo vedenja o vodonosniku z drugimi vrstami modelov.

Elementi sistema vodonosnika	Opis – vloga – procesi
Geometrija (določa volumen vodonosnika ter položaj in obliko robnih pogojev)	Aluvialno površje
	Korita vodotokov, umetnih kanalov
	Vznožje obrobne hribovja
	Neprepustna podlaga vodonosnika
Robni pogoji (določajo dogajanja v vodonosniku)	Aluvialno površje – infiltracija in evapotranspiracija padavin – vir napajanja podzemne vode – vzdrževanje gladine podzemne vode
	Reke, potoki, studenčnice, drenažni jarki – površinske vode in podzemne vode v hidravlični zvezi – procesi infiltracije in dreniranja – vzdrževanje gladine podzemne vode in usmerjanje podzemnega toka
	Vznožje obrobne hribovja – infiltracija v podzemno vodo s padavinskega območja obrobne hribovja – vir napajanja – vzdrževanje visokega potenciala gladine podzemne vode na obrobju polja – usmerjanje podzemnega toka
	Neprepustna podlaga – hidrogeološka bariera – usmerjanje toka podzemne vode
	Črpališča, izviri – odvajanje vode iz sistema – lokalno vzdrževanje gladine podzemne vode in usmerjanje podzemnega toka
Hidrogeološke danosti (določajo dogajanja v vodonosniku)	Prostorska razporeditev plasti aluvialnega zasipa – nehomogenosti in anizotropije glede vodoprepustnosti – usmerjanje toka podzemne vode – preferenčni podzemni tokovi
	Globina do podzemne vode – določa zaščitno vlogo nezasičene cone – določa odzivnost vodonosnika na vire napajanja
	Koeficient hidravlične prevodnosti – hitrost toka podzemne vode – vpliv na režim gladin podzemne vode
	Hidravlični strmec – hitrost toka podzemne vode – hitrost praznjenja vodonosnika

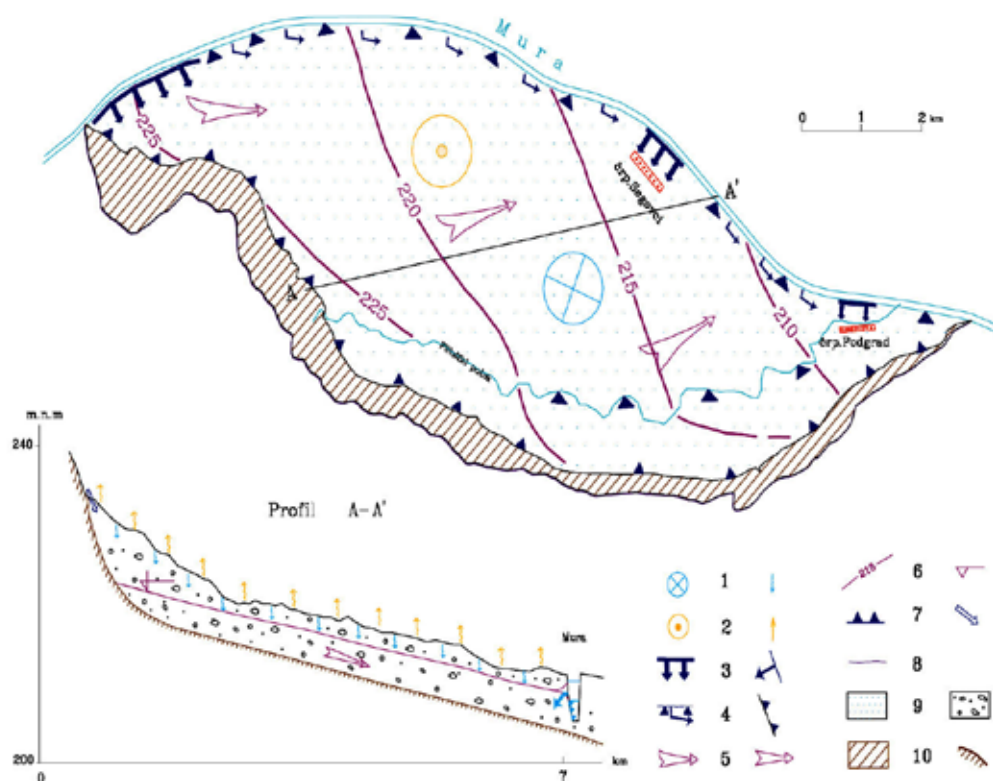
Tabela 1: Elementi konceptualnega modela aluvialnega vodonosnika.

Elemente konceptualnega modela aluvialnega vodonosnika lahko zaradi boljše preglednosti in sistematičnega pristopa razvrstimo v tri osnovne skupine: geometrije, robnih pogojev in hidrogeoloških danosti (tabela 1).

Geometrijo vodonosnika moramo poznati zaradi določitve oblike in volumna prostora, v katerem se zbira podzemna voda, ter položaja in poteka robnih pogojev sistema. Določajo jo aluvialno površje, korita vodotokov in umetnih kanalov, na zgornji ploskvi, potek črte vznožja hribovja na robovih in neprepustna podlaga na spodnji ploskvi vodonosnika.

Robni pogoji določajo, kje in kako voda vstopa v sistem oziroma izstopa iz njega. Večina robnih pogojev je enodimenzionalnih ali dvodimenzionalnih, le izjemoma so točkovni.

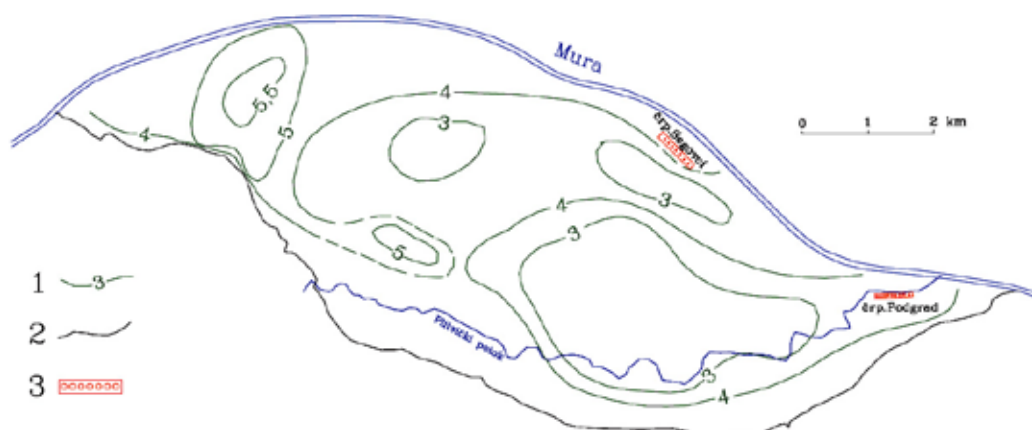
Aluvialno površje vodonosnika je ploskev, kjer padavinska voda pronica v podzemlje, obenem je ploskev, kjer voda z evapotranspiracijo iz podzemlja izhaja v ozračje. Na robovih vodonosnika iz obrobne hribovja voda zateka v vodonosnik površinsko in s pripovršinskim tokom. Reke in potoki so cone, kjer voda lahko infiltrira v podzemno vodo, ali pa jo drenira. Ravno tako podzemno vodo drenirajo drenažni jarki in studenčnice. Neprepustna podlaga je ploskev hidrogeološke bariere, na kateri je onemogočeno pronicanje vode naprej v večjo globino. Posebna vrsta robnih pogojev so izviri in črpališča, saj tam podzemna voda izstopa iz sistema točkovno.



Legenda (levi simboli so za karto, desni profil): 1 - infiltracija padavin s površja vodonosnika; 2 - evapotranspiracija s površja vodonosnika; 3 - infiltracija iz reke; 4 - pretežno dreniranje v reko, občasna infiltracija iz reke v ozko obrežno cono; 5 - smer toka podzemne vode; 6 - gladina podzemne vode; 7 - infiltracija iz obrobja vodonosnika; 8 - površinska razvodnica; 9 - vodonosnik; 10 - hribovito obrobje / neprepustna podlaga.

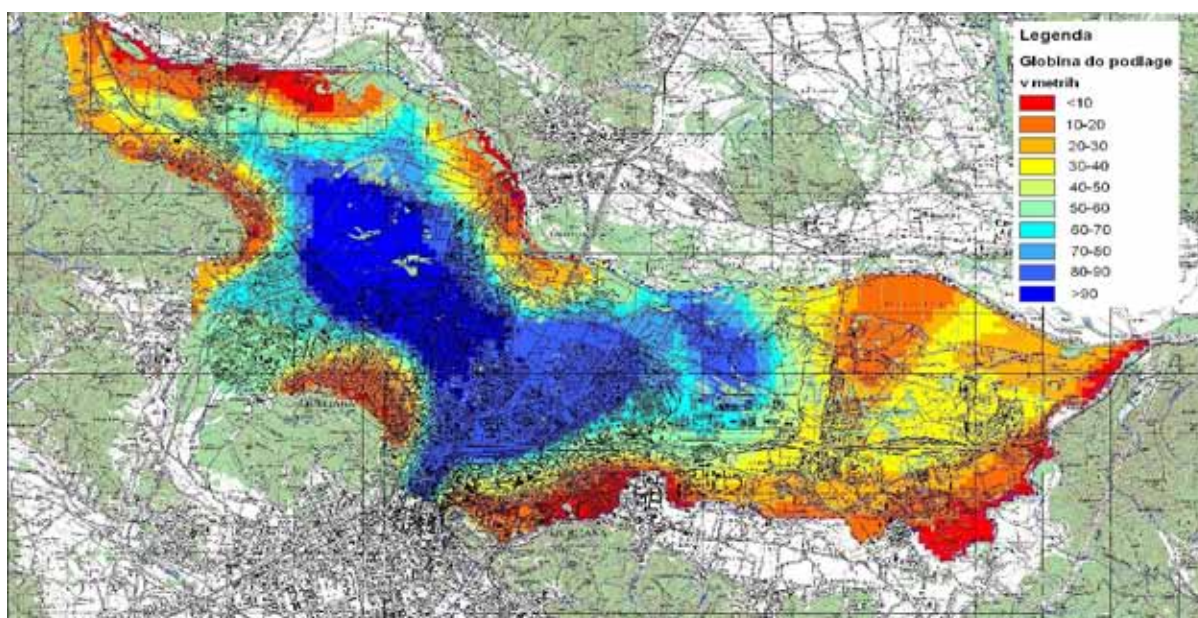
Slika 2: Konceptualni model aluvialnega vodonosnika (prirejeno po Mikulič, 2004).

Za dogajanja in procese v aluvialnem vodonosniku so ključnega pomena hidrogeološke danosti. Prostorska razporeditev plasti aluvialnega zasipa z različno propustnostjo določa, kje se formira stalni horizont podzemne vode in kako se pretaka. Pomembna hidrogeološka danost je globina do podzemne vode, saj določa debelino delno nasičene cone, kjer potekajo pomembni kemijski procesi ob pronicanju vode s površja v vodonosnik. Koeficient hidravlične prevodnosti k v različnih delih aluvialnega zasipa kontrolira režim podzemne vode in hitrost podzemnega toka. Hitrost toka podzemne vode in s tem hitrost praznjenja vodonosnika je odvisna še od hidravličnega strmca.



Legenda: 1 - izolinija globine do podzemne vode (m); 2 - meja vodonosnika; 3 - črpališče.

Slika 3: Karta globine do podzemne vode (prirejeno po Mikulič *et al.*, 2004).



Slika 4: Karta globine do podlage vodonosnika (Savič, 2009).

Najbolj enostaven približek tridimenzionalnega prikaza konceptualnega modela aluvialnega vodonosnika v tiskani obliki je prikaz na karti in karakterističnem profilu (slika 2). Predstavljeni model Apaškega polja (Mikulič *et al.*, 2000) nazorno kaže smer toka podzemne vode, odseke reke Mure, kjer površinska voda napaja podzemno vodo, odseke, kjer se podzemna voda pretežno drenira v reko, in pas, kjer voda iz obrobja Slovenskih goric zateka v vodonosnik.

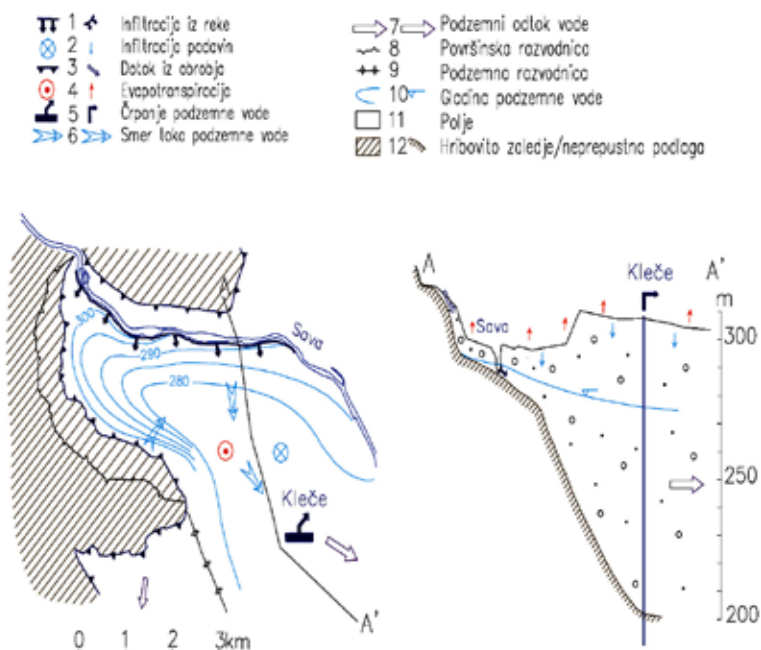
Kot dopolnilna informacija sta konceptualnemu modelu navadno priloženi karti globine do podzemne vode in globine do neprepustne podlage vodonosnika. Kot podlaga za matematično modeliranje, če je na voljo dovolj podatkov, se včasih doda še karta izolinij koeficienta hidravlične prevodnosti k .

Primer karte globine do podzemne vode oziroma debeline delno nasičene cone je predstavljen za Apaško polje (slika 3). Mala debelina cone, v povprečju 3 do 4 m, nam pojasnjuje, zakaj imajo na Apaškem polju tako pogosto težave s pitno vodo zaradi onesnaženja podzemne vode.

Karta globine do neprepustne podlage oziroma debeline vodonosnika je primer za Ljubljansko polje (slika 4). Med vsemi slovenskimi aluvialnimi vodonosniki so tu največje globine do podlage, v najglobljem delu celo čez sto metrov. Pod Ljubljano ležijo največje zaloge podzemne vode med vsemi aluviji v državi.

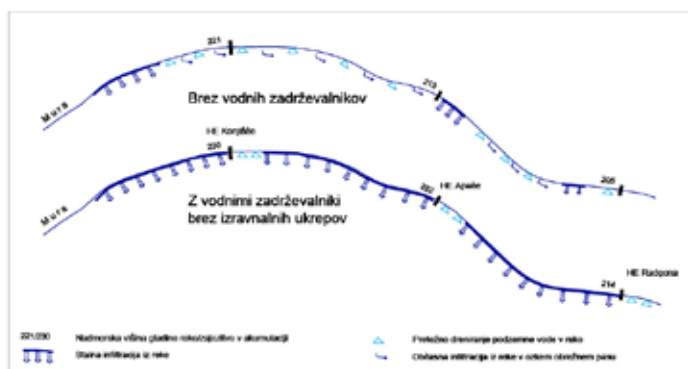
PRIMERI UPORABE MODELOV

Konceptualni model je iztočnica vsake resnejše študije aluvialnega vodonosnika. Med mnogimi možnimi rabami je predstavljenih nekaj primerov iz prakse državne hidrološke službe.

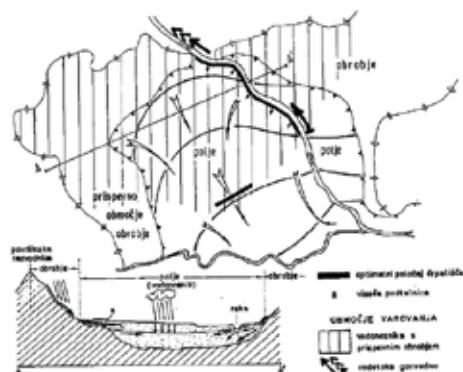


Slika 5: Konceptualni model za vodarno Kleče v vodonosniku Ljubljanskega polja (prirejeno po Mikulič, 1997).

Za potrebe analize stoletnega niza opazovanj gladine podzemne vode v ljubljanski vodarni Kleče je bil izdelan konceptualni model dela Ljubljanskega polja, ki je prispevno območje črpališča (Mikulič, 1997). Razmeroma dolg odsek infiltracije reke Save v vodonosnik, razmeroma majhna površina aluvialnega površja, s katerega pronicajo padavine, in zelo majhno prispevno območje hribovitega zaledja na obrobju vodonosnika so močno indikativni za postavitve hipoteze o količinskem deležu teh treh virov napajanja podzemne vode (slika 5). Hipotetično naj bi bilo podzemne vode največ iz Save, manj iz padavin na polju in zanemarljivo malo iz obrobne hribovja, kar tudi potrjujejo poglobljene študije vodonosnika.



Slika 6: Sprememba robnega pogoja aluvialnega vodonosnika v primeru graditve verige vodnih zadrževalnikov na Muri (prirejeno po Mikulič, 2004).



Slika 7: Določitev optimalnega položaja črpališča in koncepta zaščite podzemne vode (Mikulič, 1992).

Drugi primer se nanaša na študijo vpliva graditve verige hidroelektrarn na mejni Muri, na podzemno vodo Apaškega polja (Mikulič *et al.*, 2004). Sedaj reka napaja podzemno vodo le v skrajnem gorvodnem delu vodonosnika, na preostalem odseku podzemno vodo pretežno drenira (slika 6). S postavitvijo vodnih zadrževalnikov bi se odločilno spremenil robni pogoj reke iz dreniranja v napajanje podzemne vode na praktično celotnem potezu Mure. Brez izravnalnih ukrepov bi se gladina podzemne vode ob visokih vodnih stanjih dvignila vse do površja. V primeru graditve hidroelektrarn bi bilo treba izpeljati izravnalne tehnične ukrepe, s katerimi bi se režim podzemne vode vzdrževal v sedanjem stanju, ali pa bi se celo vrnil na še bolj naravno raven, iz časa pred škodljivimi hidromelioracijami po drugi svetovni vojni (Mikulič, 2004).

Kot že omenjeno, je bil prvi konceptualni model vseh aluvialnih vodonosnikov v državni mreži narejen za potrebe izdelave koncepta varovanja kakovosti podzemnih voda kot glavnega vira pitne vode. Izdelan je bil splošni koncept varovanja, ki sloni na poenostavljenem primeru vodonosnika Sorškega polja (slika 7). Na osnovi konceptualnega modela lahko določimo optimalno lego možnega bodočega črpališča, kakor tudi območje varovanja podzemne vode.

Predstavljeni koncept varovanja je veliko širši od sedanje prakse vodovarstvenih pasov. Sedanji pasovi slonijo na potovalnem času podzemne vode do črpališča, kar je učinkovito pri preprečevanju bakteriološkega onesnaženja, vendar ne zadostuje za zaščito pred kemijskim onesnaženjem. To potrjujejo primera črpališča Jarški prod, kjer je do onesnaženja od izpusta fenolov iz medvoškega Colorja prišlo z infiltracijo Save v vodonosnik, ter dolgoletna izključitev skrajnega zahodnega vodnjaka v Klečah zaradi onesnaženja s šestvalentnim kromom iz neodkritega vira onesnaženja, najbrž galvane na obrobju vodonosnika v Šiški.

V primeru Sorškega polja bi morali novo črpališče varovati z vodovarstvenimi pasovi na sledečih območjih:

- prispevno območje aluvialnega površja vodonosnika;
- reko Savo gorvodno;
- prispevno območje zahodnega gričevnatega obrobja od površinske razvodnice do roba polja, saj tam voda infiltrira v horizont plitve viseče podzemne vode, ki se preliva v glavni zvezni horizont podzemne vode;
- prispevno območje Kranjskega polja, saj ima Sava viseče korito in del podzemne vode teče pod dnom reke na Sorško polje.

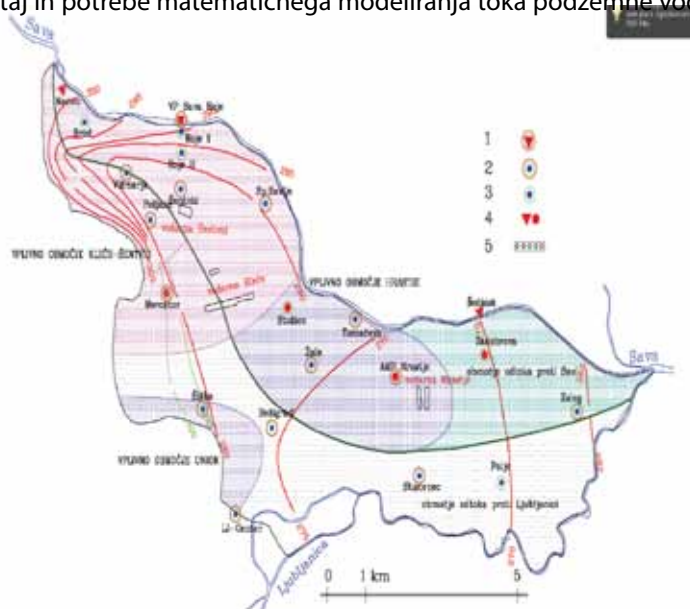
Opisani primeri kažejo, da je konceptualni model zelo močno orodje v rokah hidrogeologa za razumevanje dogajanja in procesov v aluvialnem vodonosniku ter koristen pripomoček v reševanju praktičnih problemov.

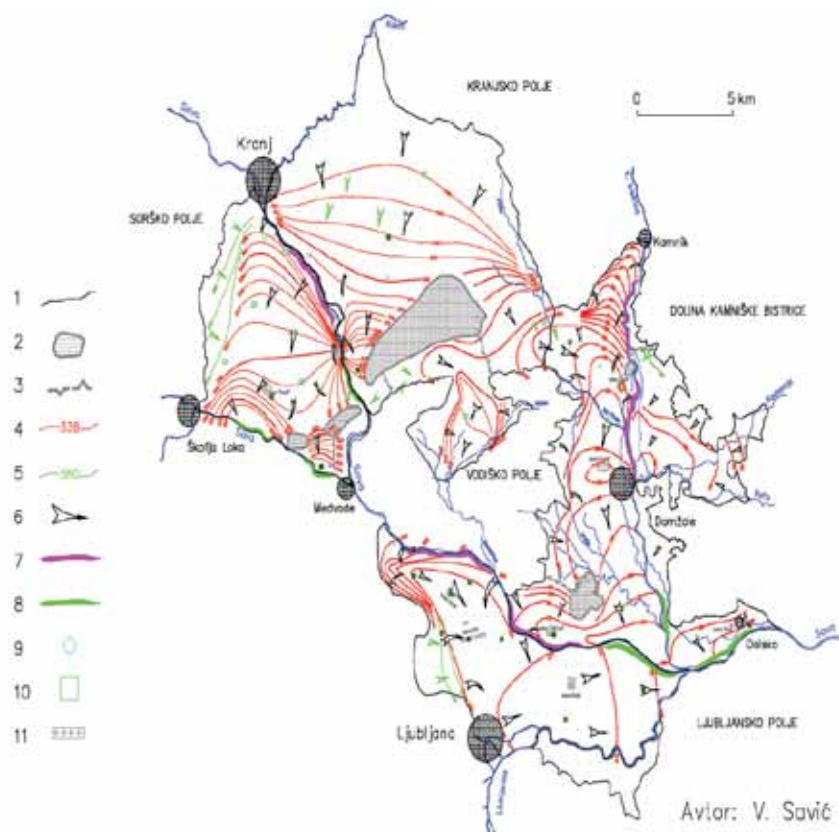
SEDANJE STANJE IN BODOČI RAZVOJ

Konceptualni model je potrebno izhodišče za optimizacijo merilne mreže podzemnih voda (Savić, 2009). To je še posebno pomembno na območjih črpališč pitne vode, kot v primeru vodonosnika Ljubljanskega polja (slika 8). V sedanjih aktivnostih hidrološke službe na Agenciji RS za okolje izdelujemo konceptualne modele za potrebe načrtovanja novih merilnih postaj in potrebe matematičnega modeliranja toka podzemne vode v aluviju (slika 9).

Legenda: 1 – nova vodomerna postaja za meritve višine vode v reki; 2 – novi večnivojski piezometer; 3 – novi navadni piezometer; 4 – obstoječi merilni objekt; 5 – vodarna.

Slika 8: Določitev optimalne mreže merilnih mest monitoringa podzemnih voda glede na lego črpališč pitne vode (Savić, 2009).





Legenda: 1 – meja vodonosnika; 2 – hidrogeološka bariera; 3 – podzemna razvodnica; 4 – gladina podzemne vode v glavnem horizontu; 5 – gladina viseče podtalnice; 6 – smer toka podzemne vode; 7 – cona napajanja iz reke; 8 – cona dreniranja v reko; 9 – postaja obstoječe merilne mreže; 10 – odvzemno mesto vzorcev podzemne vode; 11 – črpalnice.

Slika 9: Konceptualni model skupine aluvialnih vodonosnikov kot osnova za projekte optimizacije merilne mreže podzemnih voda in za matematične modele.

Konceptualne modele aluvialnih vodonosnikov, kot načrtovalsko orodje, premalo uporabljamo. S tehtno izdelanim konceptualnim modelom je možno rešiti marsikateri strokovni problem, ali postaviti hipotezo za nadaljnjo poglobljeno analizo. Tovrstni model je tudi izhodišče za večino drugih modelov podzemne vode. Bodoča uporaba konceptualnih modelov aluvialnih vodonosnikov za strokovne študije podzemne vode, operativno ukrepanje ob ekoloških nesrečah, projektiranje vodnih objektov kot tudi za potrebe upravljanja z vodami je predvsem odvisna od potreb in inovativnosti potencialnih uporabnikov.

VIRI

- Arhiva podatkov Hidrometeorološkega zavoda Republike Slovenije in Agencije Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.
- Mikulič, Z. (1992). Hidrološki vidiki varovanja kakovosti podtalnic na Slovenskem. Ujma – revija za vprašanja varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami, 133-139, Ljubljana.
- Mikulič, Z. (1997). Falling groundwater levels of Ljubljana aquifer. Groundwater in the Urban Environment, Volume 1: Problems, Processes and Management, 345-348, Balkema, Rotterdam.
- Mikulič, Z., Savič, V., Gajser, P., Trišič, N., in J. Miklavčič (2000). Hidrološko – hidrogeološka študija Apaškega polja. Interno poročilo, Arhiv Hidrometeorološkega zavoda Republike Slovenije, Ljubljana.
- Mikulič, Z. (2004). Vloga sprememb vodotokov v količinskem stanju podzemnih voda.
- Posvetovanje Vodni zadrževalniki – razvojna nuja ali nedopustni posegi v naravo, Zbornik referatov, 97-108, Ljubljana.
- Mikulič, Z., Savič, V., Kosec, C. in U. Gale (2004). Režim podzemnih voda ob mejni Muri. Mišičev vodarski dan, Zbornik referatov, 187-195, Maribor.
- Savič, V. (2009). Analiza podatkov opazovanj in optimizacija opazovalne mreže glede na različne potrebe izkoriščanja voda. Diplomsko naloga, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.
- Uhan, J. (2011). Ranljivost podzemne vode na nitratno onesnaženje v aluvialnih vodonosnikih Slovenije. Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.
- Vogrinčič, V., Kočevar H., Gregorčič B. in J. Roškar, uredniki (2010). Predstavitev projekta »Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji«, MOP - Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.

VLOGA HIDROGEOLOŠKIH KONCEPTUALNIH MODELOV PRI RAZISKAVAH KRASA S POSKUSI SLEDENJA PODZEMNIH VODA

Urška Pavlič, Agencija Republike Slovenije za okolje

UVOD

Sledilni poskusi so ena najpomembnejših raziskovalnih metod v sklopu kompleksnih hidrogeoloških raziskav krasa. Z njimi praviloma preverjamo in potrjujemo pravilnost postavljenega konceptualnega modela in pridobivamo številne koristne hidrogeološke podatke, včasih pa se odpirajo povsem novi strokovni problemi. Kljub razmeroma dobri raziskanosti slovenskega krasa, kjer so bili prvi sledilni poskusi opravljeni že pred letom 1960, je ostalo še vedno odprtih mnogo vprašanj o smereh in hitrostih toka podzemne vode. V tem izredno kompleksnem sistemu, ki zajema približno polovico slovenskega ozemlja, je potrebnih še veliko raziskav, ki bodo gotovo prinesle še marsikatero strokovno nejasnost. Eno izmed njih opisujemo v nadaljevanju članka.

Kraško ozemlje je zaradi narave nastajanja izredno heterogeno, zato je ta hidrogeološki sistem težko obvladljiv tako glede ocenjevanja smeri in hitrosti toka kot tudi glede ocenjevanja količinskega stanja podzemnih voda. S tem zadnjim problemom se sedaj na sektorju za hidrogeološke analize Agencije Republike Slovenije za okolje ukvarjamo še posebej intenzivno.

Princip izvedbe sledilnega poskusa temelji na ugotavljanju v vodonosnik injiciranega sledila na predpostavljjenih iztokih vode iz obravnavanega kraškega sistema. Metod za izvedbo sledilnega poskusa je več, njihova uporaba pa je odvisna predvsem od namena raziskav in od lastnosti raziskovanega ozemlja. Metode raziskav se ločijo predvsem glede na vrste sledila, ki jih delimo na umetna in naravna oziroma na kemična, biološka in fizikalna. Pri raziskovanju podzemnih voda se na krasu pogosto uporabljajo umetna barvila, ker jih lahko zaznamo tudi v zelo nizkih koncentracijah, obenem so dobro topna v vodi (slika 1).

KONCEPTUALNI MODEL PRI NAČRTOVANJU IN IZVEDBI SLEDILNEGA POSKUSA

Načrtovanje sledilnega poskusa mora slediti predhodno določenim konceptualnim modelom raziskovanega ozemlja, ki predstavlja poenostavljeno sliko razumevanja hidrološke in hidrogeološke zgradbe ozemlja. Konceptualni model tako ponazarja sliko strokovnega znanja in razumevanja raziskovalca, ki temelji tako na preteklih študijah širšega in ožjega raziskovanega prostora kot tudi na izkušnjah raziskovalca. Konceptualni model mora biti prilagojen ciljem raziskav in mora zajemati:

- strukturno-geološko podlago obravnavanega ozemlja in razmejitve vodonosnika,
- hidrogeološke lastnosti vodonosnika (prepustnost in poroznost vodonosnika, predpostavka o zadrževalnih časih podzemne vode v vodonosniku),
- informacijo o dinamiki toka podzemne vode (preferenčni tokovi oziroma način iztekanja podzemne vode v zasičeni in nezasičeni coni vodonosnika),
- podatke o hidrološki bilanci obravnavanega ozemlja z vsemi njenimi ključnimi elementi (količina in vrsta padavin, količina evapotranspiracije, količina in lokacije površinskih in podzemnih odtokov vode), vrsto odtoka padavinske vode, podatke o conah bifurkacije.

Sledilni poskus mora zasledovati in preverjati hipoteze, ki jih postavlja konceptualni model. Ob tem pa je konceptualni model za raziskovalca izhodišče za načrtovanje in izvedbo poskusa, kjer so pomembni količina in vrsta uporabljenega sledila, način vnosa sledila v vodonosnik ter izbor lokacij, načina in pogostosti vzorčenja sledila. Konceptualni model pri izvedbi sledilnega poskusa je prav tako osnova za odločitev o času injiciranja sledila, ki je odvisen od hidrološkega stanja, vremenskih razmer v času raziskav ter ocene trajanja potovanja sledila do vzorčevalnih mest. Kljub pomembnosti in nujnosti izdelave ustreznega konceptualnega modela ta vedno ne zagotavlja zadostnega razumevanja za predvidevanje vseh naravnih procesov na hidrogeološko zapletenih kraških območjih. Včasih je možen nepričakovan rezultat, ki je izziv tako s stališča interpretacije kot iskanja novih rešitev, vse do postavitve novih konceptov in hipotez.

NEPOJASNJENI PRIMER SLEDILNEGA POSKUSA V KARAVANKAH NA OBMOČJU KEPE

Nepričakovan strokovni izziv je sledilni poskus v čezmejnem vodnem telesu Karavanke, s katerim naj bi v letih 2010-2012 potrdili dosednji hidrogeološki koncept vodonosnega območja Kepa. Raziskovalno dokazani mehanizmi toka podzemne vode naj bi omogočili oceno količinskega stanja podzemne vode in kasnejše modeliranje podzemnega toka vode prek državne meje.

Injiciranje je bilo zaradi neustreznih vremenskih razmer iz jeseni 2010 prestavljeno na pomlad leta 2011. Kljub razmeroma dobro poznani geološki in hidrogeološki zgradbi ozemlja, ki je bila predmet številnih raziskav v času graditve cestnega predora Karavanke in raziskovalnega sodelovanja v meddržavni karavanški komisiji med Slovenijo in Avstrijo (Brenčič & Poltnig, 2008), zanesljivi oceni hidrološke bilance ozemlja, hidrogeološkemu kartiranju pred injiciranjem sledila ter skrbnega načrtovanja sledilnega poskusa, sledilo proti pričakovanjem strokovnjakov do konca leta 2011 še ni bilo izmerjeno na nobeni izmed vzorčnih lokacij. Razlogov je lahko več, najverjetnejši pa so daljši zadrževalni časi podzemne vode in slabša infiltracijska sposobnost glede na vsa dosedanja predvidevanja. Seveda pa so vzroki lahko tudi v vremenskih razmerah s podpovprečno količino pomladnih in jesenskih padavin v času po vnosu sledila v vodonosnik (Kogovšek *et al.*, 2011) ali pa v še nepojasnenih podzemnih tokovih podzemne vode ob nizkem hidrološkem stanju.

ZAKLJUČEK

Konceptualni model mora biti temelj za vsako matematično modeliranje toka podzemne vode. Predvsem v kraških vodonosnikih je nujna empirična potrditev teh konceptov s sledilnimi poskusi, kajti vsa znanstveno-raziskovalna dognanja, zajeta v tej poenostavljeni shemi razumevanja raziskovanega ozemlja, niso vedno zadostno zagotovilo za predvidevanje in napovedovanje naravnih pojavov. To nam na eni strani potrjuje nujnost opravljanja sledilnih poskusov na kraškem ozemlju tudi v prihodnje, odpira pa tudi vedno nova vprašanja o teh nedvomno najbolj zapletenih hidrogeoloških sistemih pri nas.



SLIKA 1: Injiciranje sledila uranin v Presušnik 10. marca 2011 (foto: N. Trišič).

LITERATURA

- Brenčič, M. & Poltnig W., 2008: Podzemne vode Karavank, skrito bogastvo, Geološki zavod Slovenije & Joanneum Research Forschungsgesellschaft m.b. H, Graz
- Kogovšek, J., Petrič, M. & Mulec, J., 2011.: Sledilni poskus na vodnem telesu podzemnih voda Karavanke (Presušnik – Karavanški predor); Poročilo o izvedbi del, ZRC – Sazu, Postojna

RAZVOJ IN UPORABA REGIONALNEGA VODNOBILANČNEGA MODELA GROWA ZA MODELIRANJE NAPAJANJA VODONOSNIKOV SLOVENIJE

dr. Mišo Andjelov, Agencija Republike Slovenije za okolje

POVZETEK

Učinkovito upravljanje z vodami in načrtovanje ukrepov zahteva prostorsko podrobnejše in primerljive ocene obnovljivih količin podzemnih voda, ki so v Sloveniji prevladujoči vir oskrbe prebivalstva s pitno vodo. Velika hidrogeološka raznolikost Slovenije in prostorske omejitve merilne mreže hidrološkega monitoringa otežujejo ocenjevanje količinskega stanja podzemnih voda zgolj z analizo njihovih gladin in baznih pretokov površinskih voda. V sodelovanju z raziskovalnim centrom Jülich v Nemčiji smo uporabili vodnobilančni modelski sistem GROWA in ocenili napajanje vodonosnikov v prostorsko gostejši mreži na območju celotne Slovenije. Prvič so bili modelski rezultati skupaj s predpisanimi metodami vodnobilančnega preizkusa uporabljeni za oceno količinskega stanja podzemnih voda za leto 2006 v okviru priprave načrtov upravljanja o količinskem stanju podzemnih voda in za oceno napajanja vodnih teles Slovenije v letu 2010.

UVOD

Vodna direktiva (DIRECTIVE 2000/60/EC) uvaja zahtevo po celostnem upravljanju z vodnimi viri. Za operativnost programa ukrepov v načrtih upravljanja voda je najprej potrebno poznavanje stanja podzemnih voda. Zagotoviti je treba ugodno razmerje med izkoriščanjem in obnavljanjem podzemne vode v vodnih telesih ter sprejeti potrebne ukrepe za doseganje in ohranjanje dobrega stanja podzemnih voda. Dobro stanje podzemne vode je doseženo, ko so izpolnjene zahteve glede kakovosti in količine iz vodne direktive. Krovna zakonska podlaga za izpolnjevanje teh zahtev sta Zakon o varstvu okolja (Ur.l. RS, 41/04) in Zakon o vodah (Ur.l. RS, 67/02). V okviru omenjenih zakonskih določil se spremljajo pojavi in procesi v hidrosferi. Uredba o stanju podzemnih voda (Ur.l. RS, št. 25/2009) pa eksplicitno navaja kriterije za spremljanje količinskega stanja podzemnih voda in določa pogoje za dobro količinsko stanje. Določen je tudi način ugotavljanja dobrega količinskega stanja z uporabo različnih metodologij glede na tip vodonosnika.

Zaradi hidrogeološke heterogenosti slovenskega ozemlja je pri uresničevanju vodne direktive priporočljiv pristop regionalne konceptualizacije. Zato smo v sodelovanju z raziskovalnim centrom Jülich v Nemčiji v okviru projekta »Application of GROWA model for calculation groundwater recharge rates for Slovenia and implementation of GROWA at ARSO« vzpostavili vodnobilančni model GROWA (Kunkel in Wendland, 2002) za regionalno oceno napajanja podzemne vode v Sloveniji.

RAZVOJ MODELA GROWA ZA POTREBE OCENE NAPAJANJA VODONOSNIKOV SLOVENIJE

Napajanje vodonosnika je proces pronicanja vode s površja do gladine podzemne vode in pomeni obnavljanje podzemne vode v vodonosniku. Podatkovno zahtevne numerične modele, ki najpogosteje temeljijo na Richardsovi enačbi toka v nezasičenem poroznem mediju, so v zadnjih nekaj desetletjih začeli vse pogosteje nadomeščati regionalni empirični modeli (Dörhöfer in Josopait, 1980; Renger in Wessolek, 1996; Kunkel in Wendland, 1998), ki so se uspešno uveljavili tudi pri regionalnem upravljanju z vodami. Eden izmed takih empiričnih vodnobilančnih modelov, ki konceptualno kombinira distribuirane meteorološke podatke z distribuiranimi parametri prostora, je na nemškem inštitutu FZU v Jülichu razviti model GROWA – »GROßräumiges Wasserhaushaltsmodell« (Kunkel in Wendland, 2002). GROWA je skupek modulov za določitev realne evapotranspiracije, celokupnega odtoka, neposrednega odtoka in napajanja vodonosnika. Model GROWA ob upoštevanju klimatskih razmer, geološke zgradbe, vrste tal, rabe prostora, naklona površja in globine do podzemne vode temelji na Renger in Wessolekovi (1996) metodi izračuna celokupnega odtoka prek ocene realne evapotranspiracije (ETreal):

$$ET_{real} = fh \cdot [al \cdot P_{su} + bl \cdot P_{wi} + cl \cdot \log(W_{pfl}) + dl \cdot ET_{pot} + el \cdot S + gl]$$

kjer je:

fh - korekcijski faktor reliefa,

P_{su} - količina padavin v hidrološkem poletnem šestmesečnem obdobju (mm/leto),

P_{wi} - količina padavin v hidrološkem zimskem šestmesečnem obdobju (mm/leto),

W_{pfl} - rastlinam dostopna voda v tleh (mm),

ET_{pot} - povprečna letna potencialna evapotranspiracija (mm/leto),

S - stopnja prekritja oz. urbanizacije površin,

$al, \dots, gl$ - koeficienti rabe tal.

Dolgo obdobjno letno povprečje celotnega odtoka izračunamo kot razliko med srednjo letno količino padavin in realno evapotranspiracijo. Prostorsko razporejene vrednosti celotnega odtoka v mreži 100 x 100 metrov uporabimo kot izhodiščne za izračun neposrednega površinskega in podzemnega odtoka, ki ju ločimo z uporabo indeksa baznega odtoka (BFI). Z vrednostmi BFI ugotavljamo razmerje med podzemnim odtokom in celotnim odtokom. V primeru, da so vrednosti BFI visoke, je prevladujoč podzemni odtok. V nasprotnem primeru prevladuje komponenta direktnega površinskega odtoka.

Vhodni podatki za vodno bilančni model GROWA o podnebjju, hidrologiji, tleh, hidrogeologiji, topografiji in rabi zemljišč so bili pridobljeni v različnih slovenskih ustanovah.

V začetni fazi projekta je bilo veliko truda vloženega pri pridobivanju podatkov, ki so v lasti različnih državnih institucij. Večina teh podatkov je na voljo za celotno območje države, vendar pa smo morali nekatere podatke dodelati, da so ustrezali modelu. Ker je GROWA model na podlagi GIS-tehnologije, je bilo vhodne podatkovne sloje treba pretvoriti v digitalno obliko, primerno za njihovo uporabo v modelski simulaciji. V okviru projekta je bila izdelana obsežna tematsko skladna in geografsko enotna baza prostorskih podatkov.

Z modelom GROWA-SI je bilo napajanje podzemne vode ocenjeno za celotno območje Slovenije. Zanesljivost izračuna vrednosti napajanja podzemne vode za obdobje 1971-2000 je bila validirana na podlagi podatkov o pretokih s 76 hidroloških merilnih postaj (Frantar, 2008). Dokazano je bilo dobro ujemanje merjenih in modeliranih vrednosti celotnega in baznega odtoka. Povprečni odklon med izmerjenimi vrednostmi baznega odtoka in vrednostmi, pridobljenimi z modelom, je bil 21-odstoten.

IZRAČUN NAPAJANJA VODNIH TELES PODZEMNIH VODA

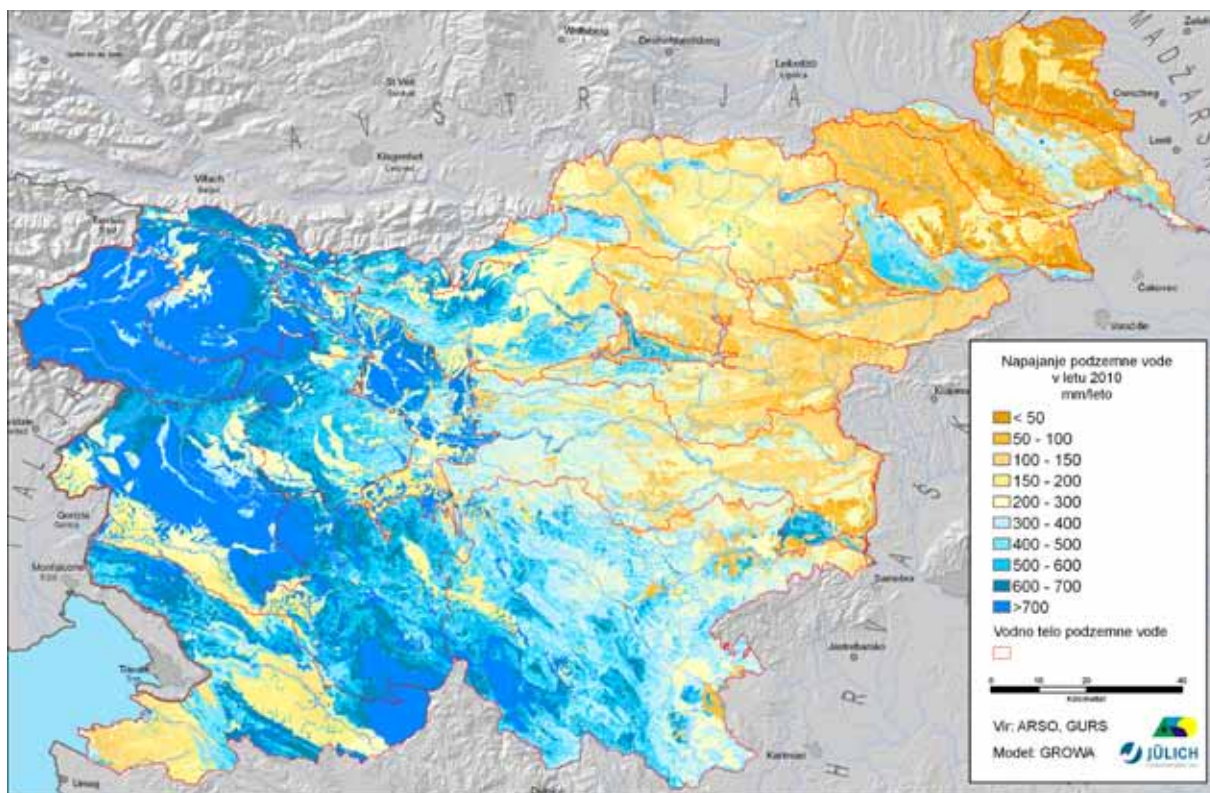
Model smo prvič uporabili za leto 2006 v okviru priprave načrtov upravljanja o količinskem stanju podzemnih voda (Andjelov, 2009) in za izračun napajanja vodnih teles Slovenije za leto 2010 (Andjelov idr., 2011). Ugotovili smo zelo raznoliko prostorsko razporeditev vrednosti napajanja po državi.

Aluvialni vodonosniki se napajajo predvsem s padavinami in z infiltriranjem vode rek in potokov. V aluvialnih ravnicah osrednje Slovenije doseže letna količina napajanja vodonosnikov do 400 mm. Letne količine napajanja pod 200 mm pa se pojavljajo v severozahodni Sloveniji in v jugozahodni Sloveniji na območju Obale (slika 1).

Velike količine napajanja vodonosnikov na območju Alp in Dinaridov so primarno odsev velikih količin padavin in lastnosti kamnin na tem območju. V zahodnih Alpah in zahodnih delih Dinaridov hitrosti napajanja presegajo 700 mm/leto, medtem ko količine napajanja vodonosnikov v vzhodnih delih Slovenije redko presegajo 200 mm/leto.

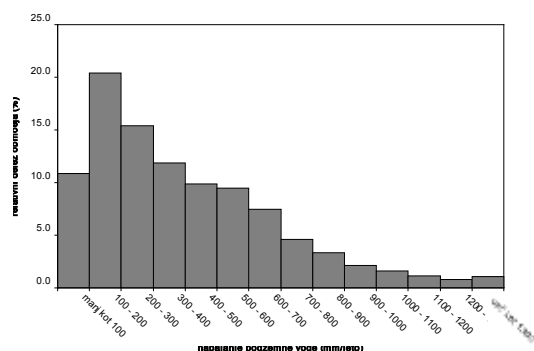
V območjih z razpoklinsko poroznostjo je količina napajanja vodonosnikov odvisna predvsem od hidrogeoloških lastnosti kamnin nezasičene cone vodonosnika. Napajanje vodonosnikov na območju magmatskih kamnin na Pohorju je večinoma v območju pod 150 mm/leto.

Kraške karbonatne kamnine v zahodni in južni Sloveniji, od Julijskih Alp do Dinarskega krasi, omogočajo napajanje vodonosnikov z več kot 500 mm/leto. Na območjih nekonsolidiranih kamnih, kjer se v večjem obsegu pojavljajo terciarne lapornate in glinaste plasti (na primer v severovzhodnem delu Slovenija), prevladuje napajanje med 50 in 150 mm/leto.

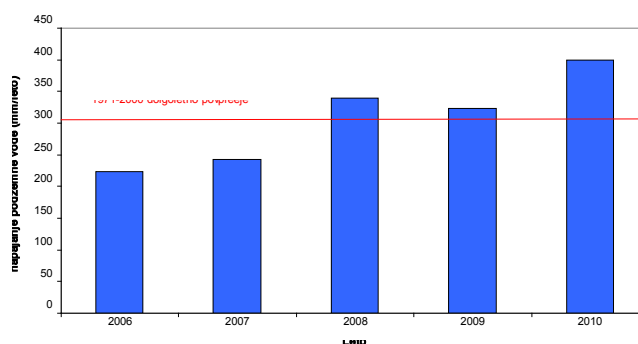


Slika 1: Napajanje vodnih teles podzemnih voda v letu 2010.

Porazdelitev pogostosti pojavljanja posameznih vrednosti napajanja podzemne vode (slika 2) nakazuje maksimum v razredu napajanja 100-200 mm/leto, v katerem je približno 20 % modeliranega prostora. Vrednosti napajanja podzemne vode nad 800 mm/leto so zastopane le v manjši meri (skupaj pod 10 % območja) in se pojavljajo predvsem v hribovitih kraških območjih in območjih brez vegetacijskega pokrova. Skupna letna količina napajanja za celotno območje Slovenije je bila v letu 2010 modelsko ocenjena na 400 mm, kar je izrazito nad povprečjem obdobja 1971-2000 (304 mm) in več od povprečja po posameznih letih od 2006 do 2010 (slika 3). Na območju jugovzhodne Slovenije je bilo v letu 2010 kar za polovico več napajanja kot v obdobju 1971-2000, najmanjše povečanje napajanja (5 %) pa je bilo v primerjavi z obdobjem 1971-2000 zabeleženo v zahodnih Slovenskih goricah.



Slika 2: Frekvenčna porazdelitev izračunanih vrednosti obnovljivih količin podzemne vode na območju Slovenije v letu 2010.



Slika 3: Spreminjanje napajanja podzemne vode na območju Slovenije v letih od 2006 do 2010.

BODOČI RAZVOJ MODELA GROWA IN PREDVIDENE MOŽNE RABE

Razvoj orodij, potrebnih za izpeljavo izračunov vodne bilance prek modela GROWA, je bil uspešen, saj je temeljil na izmenjavi slovensko-nemškega znanja in izkušenj. GROWA-SI je učinkovita prilagoditev nemškega modela GROWA za celotno območje Slovenije. Napajanje vodonosnikov v letu 2010 z vodnobilančnim preizkusom v okviru ocene količinskega stanja podzemnih voda za načrt upravljanja z vodami je bilo prvič ocenjeno tudi z vodnobilančnim empiričnim modelom, ki je pokazal velike koristi predvsem v primeru pomanjkljive mreže monitoringa in velike hidrogeološke pestrosti ocenjevalnega območja.

Prostorsko razporejena povprečja elementov dolgoročne vodne bilance dajejo zelo pomembne informacije, ki jih lahko uporabimo za trajnostno upravljanje vodnih virov in v nadaljevanju tudi za simulacije učinkov različnih scenarijev onesnaženja. Rezultate projekta GROWA-SI je mogoče prepoznati tudi kot prvi korak k izdelavi modela širjenja hranilnih snovi. V povezavi z bilanco dušika in še z drugimi modeli, ki simulirajo procese dušikovega kroga, bomo lahko ocenili onesnaženje podzemne in tudi površinske vode s hranilnimi snovmi, podprli načrtovanje ukrepov in simulirali učinke ukrepov za zmanjšanje onesnaževanja s hranili. Tovrstna uporaba modela GROWA je že bila uspešno uporabljena v več povodjih v različnih nemških zveznih deželah (Gömann idr., 2004; Kunkel idr., 2006; Kreins idr., 2009; Wendland idr., 2009). Standardizacija metodologij po vsej Evropi zagotavlja primerljivost rezultatov analiz.

Rezultati vodno bilančnega modela GROWA omogočajo tudi podrobnejšo vodno bilančno karakterizacijo vodnih teles pri ocenjevanju količinskega stanja tistih delov vodnih teles, za katere sta značilni velika hidrogeološka pestrost in velika prostorska spremenljivost razpoložljivih količin podzemne vode. Nenazadnje model omogoča tudi ocenjevanje vplivov pričakovanih dolgoročnih podnebnih sprememb na vodni krog, ki lahko povzročijo preskrbovalne težave prebivalstva z vodo.

VIRI

- Andjelov, M. (2009): Modeliranje napajanja vodonosnikov za oceno količinskega stanja podzemnih voda v Sloveniji v letu 2006. Mišičev vodarski dan 2009, 126-130.
- Andjelov M., Mikulič Z., Pavlič U., Savič V., Souvent P., Trišič N., Uhan J. (2011): Poročilo o monitoringu v letu 2010, v Uhan J. (ur.), Količinsko stanje podzemnih voda v Sloveniji, Agencija RS za okolje. ISSN 2232-5239. Dostopno na <http://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/publikacije%20in%20poro%c4%8dila/Koli%c4%8dinsko%20stanje%20podzemnih%20voda%20v%20Sloveniji%20Poro%c4%8dilo%20o%20monitoringu%202010.pdf> [23.1.2012].
- Dörhöfer, G., Josopait, V. (1980): Eine Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate. Geol. Jb. C 27: 45-65. Frantar, P. (ur.), (2008): Vodna bilanca Slovenije 1971-2000. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.
- Gömann, H., Kreins, P., Kunkel, R. and Wendland, F. (2004): Model based impact analysis of policy options aiming at reducing diffuse pollution by agriculture: a case study for the river Ems and a sub-catchment of the Rhine. Environmental Modelling & Software 20(2), 261-271.
- Kreins P., Goemann H., Hirt U., Richmann A., Tetzlaff B., Wendland F. (2009): Costs of achieving objectives of the water framework directive by reducing diffuse nitrogen leaching in agriculture in the Weser river basin. 8th International Conference of the European Society for Ecological Economics. 29th June - 2nd July, Ljubljana.
- Kunkel R., Wendland F. (1998): Der Landschaftswasserhaushalt im Flusseinzugsgebiet der Elbe - Verfahren, Datengrundlagen und Bilanzgrößen. - Schr. d. FZJ, Reihe Umwelt 12, 107 p. ; Jülich.
- 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: 152-162.
- Kunkel R., Bogen H., Tetzlaff F., Wendland F. (2006): Digitale Grundwasserneubildungskarte von Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Hamburg und Bremen - Erstellung und Auswertungsbeispiele Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 50, 5, 212 - 220.
- Renger, M. & Wessolek, G. (1996): Berechnung der Verdunstungsjahresnummern einzelner Jahre.- DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft 238, 47 p. ; Bonn.
- Wendland F., Kunkel R., Gömann H., Kreins P. (2009): Regional modelling of nitrate flux into groundwater and surface water in the Ems Basin and the Rhine basin, Germany in Mikulič, Z. (ur.), Andjelov, M. (ur.). Groundwater modelling : proceedings of invited lectures of Symposium on Groundwater Flow and Transport Modelling, Ljubljana, Slovenia, 28-31 January 2008. Ljubljana: MOP - Agencija RS za okolje, 2009. II, 95 str., Ljubljana. ISBN 987-961-6024-50-1. Dostopno na: <http://www.arso.gov.si/en/water/reports%20and%20publications/Groundwater%20Modelling.pdf> [23.1.2012].

RAZVOJ EKSPERTNO NUMERIČNEGA SISTEMA NA AGENCIJI RS ZA OKOLJE ZA PODPORO ODLOČANJU NA ALUVIALNIH TELESIH PODZEMNIH VODA SLOVENIJE

dr. Petra Souvent, Agencija Republike Slovenije za okolje

Sašo Celarc udi. rač., BRON d.o.o.

dr. Goran Vižintin in dr. Barbara Čenčur-Curk, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta

POVZETEK

V prispevku predstavljamo »Ekspertno numerični sistem za podporo odločanju na aluvialnih telesih podzemnih voda Slovenije«, ki je del projekta: »Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji« (BOBER - **B**oljša **O**pazovanja za **B**oljše **E**kološke **R**ešitve). Projekt BOBER bo omogočil izboljšano spremljanje in poznavanje stanja vodnega okolja v Sloveniji in posledično bolj kakovostne hidrološke in meteorološke napovedi in predvidevanja, kar bo dolgoročno omogočilo boljše varstvo in ohranjanje vodnih virov.

UVOD

Upravljanje z viri podzemnih vod ter spremljanje in ocenjevanje stanja podzemnih vod zahteva dobro razumevanje vodonosnih sistemov in procesov za optimalno rabo virov, ob zadostitvi ekoloških potreb mokrišč, izvirov in rek in ohranjanju kakovosti površinskih in podzemnih voda. Ekspertno numerični sistemi in modeli podzemnih vod podpirajo integracijo, validacijo in kvantifikacijo hidrogeoloških informacij, ki so potrebne za razvoj strategij trajnostne rabe strateških virov podzemnih vod.

Na eni strani upravljanje z viri podzemnih vod zahteva pri postopku pridobitve vodne pravice zaradi različnih naravnih in gospodarskih dejavnikov (npr. podnebnih sprememb, kompetitivne rabe vode) čedalje natančnejše informacije o razpoložljivi količini podzemne vode na danem vodnem telesu. Upravljanje z viri podzemnih vod podpira informacijski sistem Vodna knjiga, ki je javna evidenca vodnogospodarskih upravnih aktov. Vodno knjigo tako sestavljata evidenca o podeljenih vodnih pravicah in evidenca o izdanih vodnih soglasjih z zbirko listin. Za posebno rabo vode, tudi podzemne, je treba pridobiti vodne pravice, ki se podeljujejo z upravno odločbo-vodnim dovoljenjem ali z aktom o podelitvi koncesije. Za posege v prostor, ki bi lahko trajno ali začasno vplivali na vodni režim ali stanje voda, pa je treba pridobiti vodno soglasje.

Po drugi strani pa implementacija evropskih direktiv priporoča uporabo hidrogeoloških modelov, ki lahko odgovorijo na vprašanja o reprezentativnosti merilne mreže državnega monitoringa in o zanesljivosti ocenjevanja kemijskega in količinskega stanja podzemnih vod ter o potrebnosti in upravičenosti ukrepov za ohranjanje oziroma izboljševanje stanja podzemnih vod.

V Sloveniji je določenih pet aluvialnih vodnih teles podzemne vode, ki jih sestavlja 30 vodonosnih sistemov. Njihove značilnosti so predvsem visoki indeksi ranljivosti, relativno majhna globina do podzemne vode, izrazite interakcije s površinskimi vodami in hiter tok podzemne vode v zasičeni coni vodonosnikov. Stanje podzemnih vod ravno v teh vodonosnih sistemih izkazuje največjo problematiko tako pri kakovosti kot tudi pri količinah. Ker pa so ti vodonosni sistemi dragoceni vodni viri za preskrbo velikega števila prebivalcev Slovenije, vključno s prebivalci velikih mest (Ljubljana, Maribor, Celje, itd.), in pomemben naravni vir za gospodarstvo, je izdelava ekspertno numeričnih sistemov za podporo odločanju nujna.

S projektom smo na agenciji začeli aprila 2011, do sedaj so končani hidrogeološki konceptualni modeli za postavitev numeričnih modelov toka podzemne vode na izbranih poljih ter izdelane detajlne specifikacije vzpostavitve sistema za podporo odločanju.

NAMEN IN CILJ EKSPERTNO NUMERIČNEGA SISTEMA

Namen projekta je povezava Vodne knjige, natančnejše gre za povezavo aplikacije Vodna dovoljenja in aplikacije Koncesije, s samostojnim ekspertno numeričnim sistemom, ki bo za pripovršinske vodonosnike vodnih teles podzemnih voda s pretežno medzrnsko poroznostjo izboljšal oceno o razpoložljivi količini podzemne vode

na teh vodnih telesih in s tem zagotavljal dodatno informacijo o količini podzemne vode pri postopku izdaje vodnih dovoljenj in koncesij.

S podatki državne mreže hidrološkega monitoringa podzemnih voda ter z modelskimi produkti ekspertno numeričnega sistema bo mogoče v danem času in prostoru oceniti razpoložljivo količino podzemne vode.

Ekspertno numerični sistem za podporo odločanju na aluvialnih vodonosnikih bo tako povezal model toka podzemne vode z bazo vodnih dovoljenj in koncesij in bo upravljavcu pomagal pri oceni vodnih zalog na danem vodnem telesu oziroma zagotavljal dodatno informacijo o razpoložljivi količini vode za potrebe izdaje vodnih dovoljenj in koncesij. Samostojni modeli toka podzemne vode se bodo uporabljali tudi kot pomoč pri oceni količinskega stanja podzemnih voda oziroma spremljanju razpoložljivosti vodnih virov v določenem časovnem obdobju. Izdelanih bo šest regionalnih modelov toka podzemne vode na danih vodnih telesih podzemnih voda: na VTPodV Savska kotlina in Ljubljansko barje, na VTPodV Savinjska kotlina, na VTPodV Krška kotlina, na VTPodV Dravska kotlina in na VTPodV Murska kotlina.

Glavni cilj projekta je zagotoviti kontrolne mehanizme, s katerimi bomo lahko preverili, ali je na določeni lokaciji mogoče podeliti pravico za odvzem določene količine vode. Ti mehanizmi morajo omogočiti, da se obstoječi aplikaciji Vodna dovoljenja in Koncesije za vode na čimbolj enostaven način povežejo na te mehanizme in pridobijo informacijo o razpoložljivi količini vode na določeni lokaciji. Prav tako morajo mehanizmi omogočiti rezervacijo določene količine tisti trenutek še razpoložljive količine podzemne vode.

Drugi pod-cilji projekta so:

- nadzorovan prenos podatkov o obstoječih podeljenih vodnih pravicah (podeljenih količinah) iz baze Vodna dovoljenja in Koncesije v modelski sistem MODFLOW;
- nadzorovan prenos podatkov iz modelskega sistema MODFLOW v bazo Vodna dovoljenja in Koncesije in uporaba teh podatkov v kontrolnih mehanizmi, ki so opisani v glavnem cilju;
- izvedba izvoza podatkov in poročanje o razpoložljivih količinah vode za potrebe drugih zainteresiranih uporabnikov.

Rezultat ekspertno numeričnega sistema, to je sistema za podporo odločanju z vključenimi regionalnimi modeli toka podzemne vode, bosta torej podatka o količini podzemne vode, ki je na voljo na danem območju, in o vplivnem radiju črpanja. Ekspertno numerični sistem mora podeljevalcu vodne pravice glede na ocenjeno količino razpoložljive podzemne vode olajšati odločitev, ali lahko na določenem območju podeli vodno pravico.

TEHNIČNA IZVEDBA EKSPERTNO NUMERIČNEGA SISTEMA

Ekspertno numerični sistem za podporo odločanju na aluvialnih telesih podzemnih voda Slovenije je vsebinsko razdeljen na dva sklopa. Prvi sklop predvideva postavitev šestih regionalnih modelov toka podzemne vode na danih vodnih telesih podzemnih voda za: Mursko/Prekmursko polje, Dravsko/Ptujsko polje, Spodnje Savinjsko dolino, Krško polje, Kranjsko/Sorško polje in Ljubljansko polje. Modeli toka podzemne vode v aluvialnih plitvih vodonosnih sistemih bodo izhajali iz hidrogeoloških konceptualnih modelov, na katerih se bodo oblikovale numerične mreže in določili parametri in robni pogoji. Pomembna faza postavitve modela bo postopek kalibracije, ki preverja pravilnost konceptualizacije hidrogeoloških razmer. Modeliranje toka podzemne vode bo potekalo v stacionarnih razmerah. Drugi sklop bo vzpostavitev sistema za podporo odločanju na področju upravljanja podzemnih voda v aluvialnih vodonosnih sistemih Slovenije. To bo informacijski sistem, ki bo deloval kot vmesnik med aplikacijama Vodna dovoljenja in Koncesije na eni strani ter programskim orodjem za modeliranje podzemnih vod na drugi strani (slika 1) in bo pomagal upravljavcem sprejeti optimalne odločitve za negotove parametre v zvezi s količino podzemne vode. Vmesnik bo vključeval naslednje module/procese (slika 2 in tabela 1): prenos podatkov vodnih pravic v MODFLOW, prenos podatkov o razpoložljivih količinah vode iz MODFLOW, mehanizem za kontrolo razpoložljivih količin vode, mehanizem za rezervacijo razpoložljivih količin vode, izvoz podatkov in poročila ter administracijski modul.

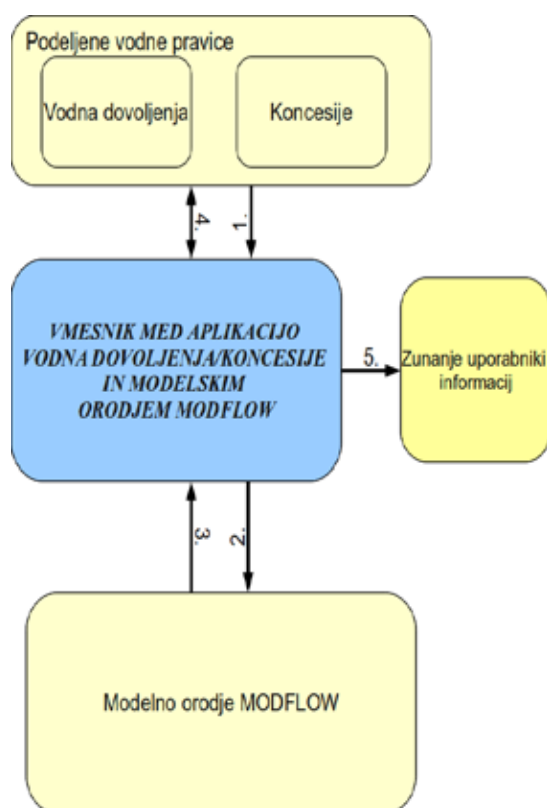
Uporaba sistema za podporo odločanja je nujna v primeru negotovega vrednotenja zaradi pomanjkanja informacij in kompleksnosti sistema, konflikta med cilji in interesi (število kriterijev), možnosti raznovrstne rešitve, interdisciplinarne in kompleksne situacije problema, potrebe po hitrih odločitvah za kompleksne probleme podeljevanja vodnih pravic. Ocena stanja naravnega okolja bo skupaj z elementi prostorskega načrtovanja uporabljena kot vodilo bodočim procesom načrtovanja in upravljanja s prostorom ter vodnimi viri.

ZAKLJUČEK

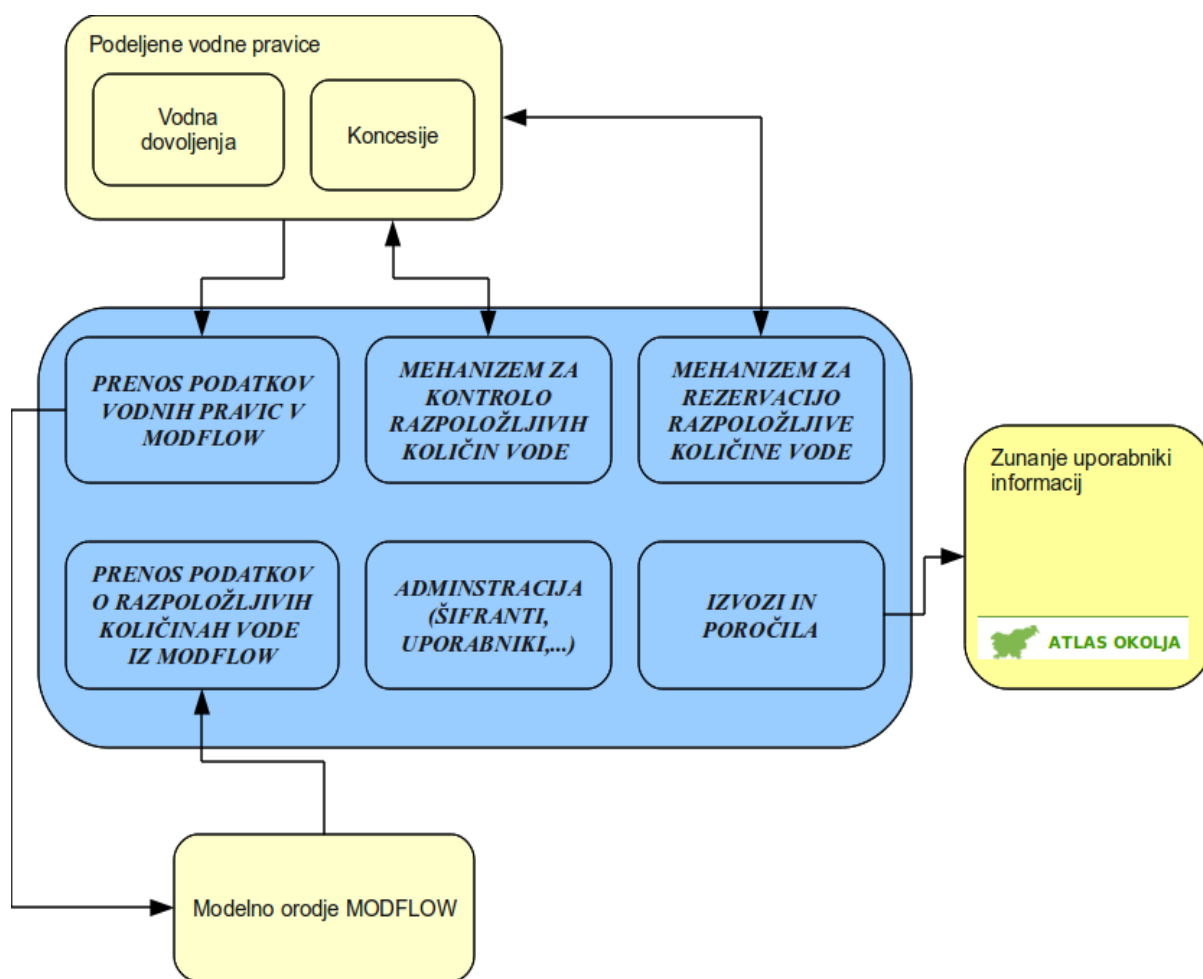
Ekspertno numerični sistem za podporo odločanju na aluvialnih telesih podzemnih voda Slovenije bo celosten sistem, ki bo s pomočjo regionalnih modelov toka podzemne vode in sistema za podporo odločanju na področju upravljanja podzemnih voda podeljevalcu vodne pravice, glede na ocenjeno količino razpoložljive podzemne vode, zagotavljal dodatno strokovno podporo pri odločitvah na področju vodnih pravic. Pričakovani najbolj izpostavljeni rezultati projekta so tudi:

- modelska ocena razpoložljivih količin podzemne vode,
- modelska ocena vplivnih radijev črpanja,
- prostorski prikaz hidroizohips in smeri toka,
- modelsko okolje za simuliranje učinkov novih odvzemov.

Ekspertno numerični sistem za podporo odločanju na aluvialnih telesih podzemnih voda Slovenije bo v operativni rabi na Agenciji za okolje predvidoma od aprila 2014.



Slika 1: Osnovna struktura vsebinskih komponent ekspertno numeričnega sistema. Osrednji del je vmesnik, podrobneje prikazan na sliki 2 in opisan v tabeli 1. Puščica 1. pomeni dostop do podatkov (količin odvzete vode), ki jih vmesnik opravi z namenom prenosa v MODFLOW, kar je prikazano s puščico 2. Puščica 3. ponazarja prenos podatkov o razpoložljivi količini vode in vplivnih radijih, ki se izračunajo v MODFLOW in se prenesejo v vmesnik. Puščica 4. pa ponazarja podatke, ki so prek kontrolnih mehanizmov na voljo aplikacijama Vodna dovoljenja in Koncesije za ugotavljanje, ali je na določeni lokaciji na voljo dovolj vode in za rezervacijo določene količine vode. Puščica 5. predstavlja podatke, ki so prek izvozov in poročil na voljo drugim uporabnikom (npr.: obstoječi spletni prikazovalnik prostorskih podatkov, ki se uporablja na ARSO).



Slika 2: Predvideni moduli Vmesnika med aplikacijo vodna dovoljenja/koncesije in modelskim orodjem MODFLOW.

Naziv modula	Opis
Prenos podatkov vodnih pravic v MODFLOW	Modul, ki omogoča večkrat in kontroliran prenos podatkov iz aplikacij Vodna dovoljenja in Koncesije za vode v modelno orodje MODFLOW.
Prenos podatkov o razpoložljivih količinah vode iz MODFLOW	Modul, ki omogoča večkrat in kontroliran prenos podatkov iz modelnega orodja MODFLOW v Vmesnik.
Mehanizem za kontrolo razpoložljivih količin vode	Modul, ki omogoča kontrolo razpoložljivih količin vode na določenem območju v določenem obdobju. Izdelan je tako, da ga lahko preprosto uporabita aplikaciji Vodna dovoljenja in Koncesije.
Mehanizem za rezervacijo razpoložljive količine vode	Modul, ki omogoča rezervacijo določene količine vode ob tem, ko se začne obravnavati novo vložena vloga za vodno dovoljenje ali koncesijo. Rezervacija je potrebna zaradi zavarovanja vrstnega reda pri kontroli razpoložljivih količin vode. Izdelan je tako, da ga lahko preprosto uporabita aplikaciji Vodna dovoljenja in Koncesije.
Izvozi in poročila	Modul za izvoz podatkov in izpis poročil.
Administracija (šifranti, uporabniki...)	Modula za urejanje šifrantov, urejanje uporabnikov in njihovih pravic in pregled drugih kontrolnih podatkov sistema (dnevnik dostopov, pregled napak ...)

Tabela 1: Opis modulov Vmesnika med aplikacijo vodna dovoljenja/koncesije in orodjem za modeliranje MODFLOW.

MODELIRANJE RANLJIVOSTI PODZEMNE VODE IN DOLOČANJE NITRATNO RANLJIVIH OBMOČIJ V SLOVENIJI

dr. Jože Uhan, Agencija Republike Slovenije za okolje

POVZETEK

Članek opisuje problematiko ocenjevanja ranljivosti podzemnih voda in pomen določanja nitratno ranljivih območij za doseganje dobrega stanja podzemnih voda v Sloveniji. Namesto pogosto uporabljenih večparametrijskih shem ocenjevanja ranljivosti podzemne vode prikazujemo primer uporabe podatkovno vodenega modela teže evidenc (Weights of Evidence - WofE), ki združuje informacijo o terensko merjenem onesnaženju podzemne vode z relevantnimi izhodi procesno zasnovanih hidrogeoloških modelov v karto napovedi verjetnosti pojava. Na tej podlagi bo možno operativni program za varstvo voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijske proizvodnje, ki se je doslej uresničeval na celotnem ozemlju Slovenije, strokovno bolj utemeljeno in bolj učinkovito usmeriti v nitratno ranljiva območja znotraj posameznih teles nitratno onesnaženih podzemnih voda.

1. UVOD

Nitrat se naravno pojavlja v tleh in v vodi in je produkt razgradnje organskih snovi rastlinskega in živalskega izvora ter odlaganja iz ozračja. Drugi viri nitratov so najpogostejše povezani s človekovimi dejavnostmi in predstavljajo točkovne ali razpršene obremenitve iz kmetijstva, industrije in poselitve. Zvišane vsebnosti dušika v površinskih vodah pospešujejo eutrofikacijo, pri podzemni pitni vodi pa lahko povzročajo zdravstvene težave ljudi in živali.



SLIKA 1: Plitva obrečna evtrična tla in prodno-peščena nezasičena cona (Latkova vas, Spodnja Savinjska dolina).



SLIKA 2: Meritve vsebnosti nitrata v podzemni vodi za potrjevanje veljavnosti rezultatov modela WofE (Žalec, Spodnja Savinjska dolina).

Nitratno onesnaženje antropogenega izvora je med največjimi pritiski na podzemne vodne vire celo v planetarnem merilu, v Evropi pa je nitrat v podzemnih vodah najpogostejši kritični parameter slabega kemijskega stanja. Zaradi prevelike vsebnosti nitratov je bilo leta 2010 po podatkih Agencije RS za okolje prek deset odstotkov vseh obnovljivih količin podzemne vode v treh vodnih območjih Slovenije v slabem kemijskem stanju. Leta 2010 je bilo po podatkih ministrstva za zdravje RS na petih oskrbovalnih območjih prek pitne vode javnega vodooskrbnega sistema izpostavljenih previsokim vsebnostim nitrata še vedno nekaj tisoč prebivalcev Slovenije.

Zaradi obsega nitratnega onesnaženja podzemne vode in naraščajočega trenda vsebnosti nitrata v podzemnih vodah so se že pred dvajsetimi leti takratne države evropske skupnosti poenotile in pripravile direktivo o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov (91/676/EEC). Direktiva je že takrat predvidevala določitev območij, s katerih se vode stekajo v onesnažena vodna telesa. Ta območja so v direktivi imenovana kot nitratno ranljiva območja (*ang. Nitrate Vulnerable Zone*), na katerih naj bi učinkovito in racionalno uresničevali programe ukrepov za izboljšanje stanja voda.

Slovenija se je kmalu po letu 2006, ko je bila nitratna direktiva prenesena v slovenski pravni red, odločila za izdelavo in uporabo operativnega programa varstva voda pred onesnaževanjem z nitrati na svojem celotnem ozemlju. S tem je bila izvzeta iz obveznosti določitve posameznih nitratno ranljivih območij. Rezultati državnega monitoringa podzemnih voda in državne bilance dušika ter analize učinkovitosti dosedanjih ukrepov terja-jo čimprejšnjo presojo o smiselnosti vztrajanja na opredelitvi celotne Slovenije kot nitratno ranljivem območju.

2. METODOLOGIJA OCENJEVANJA RANLJIVOSTI PODZEMNIH VODA

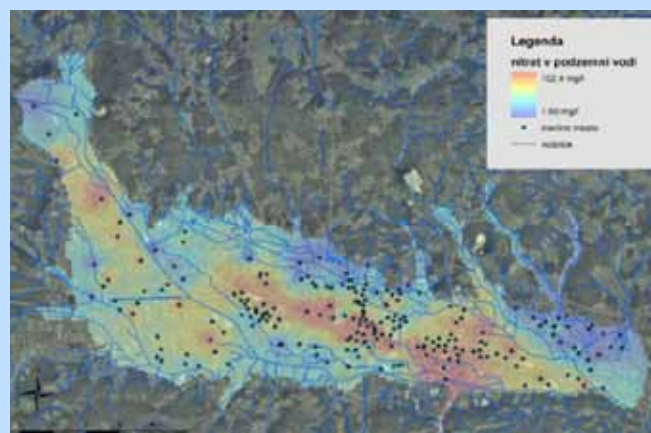
Izvirni koncept ranljivosti podzemne vode je z izrazom »*vulnerabilite des nappes d'eau souterraine a la pollution*« leta 1968 zasnoval francoski hidrogeolog Jean Margat. Njegov koncept ranljivosti podzemne vode je bil osnovan na enostavni predpostavki, da lahko zemljine in kamnine pomenijo določeno stopnjo naravne zaščite podzemne vode pred onesnaženjem s površja. Razumevanje in definiranje ranljivosti podzemne vode za onesnaženje je v štiridesetletnem obdobju razvoja sledilo različnim potrebam oz. možnostim uporabe rezultatov tega raziskovanja ter hkrati sledilo metodološkemu razvoju ocenjevalnih postopkov, ki so z začetkom GIS-tehnologije v osemdesetih letih prejšnjega stoletja doživeli velik razmah. Razvoj metodologije ocenjevanja ranljivosti podzemne vode je sledil namenu ocene, velikosti območja oz. merilu ter razpoložljivosti, vrsti in kakovosti podatkov. Najpogosteje se za ocenjevanje ranljivosti podzemne vode, predvsem manj raziskanih območij, uporabljajo enostavne prekrivne kartografske in večparametrskke ocenjevalne metode. Metode večparametrskega ocenjevanja (*Point Count System Method - PCSM*) poleg parametrov, ki ponazarjajo posamezne lastnosti sistema, vključujejo tudi multiplikatorje oz. uteži posameznih parametrov. Rezultati najpogosteje podajajo terensko nepreverljivo relativno mero ranljivosti enega območja nasproti drugemu. Zaradi težav z validiranjem rezultatov pa se vse pogosteje uporabljajo podatkovno vodeni statistični verjetnostni modeli, ki izhajajo iz poznavanja prostorske porazdelitve onesnaženja in zagotavljajo karakterizacijo onesnaževalnega potenciala raziskovalnega območja. Modeli so »samovalidacijski«, ker temeljijo na prostorskih zakonitostih učne množice, ranljivost pa je podana kot verjetnost pojava.

3. MODELIRANJE RANLJIVOSTI PODZEMNE VODE Z METODO TEŽE EVIDENC (WofE)

Modeliranje ranljivosti podzemne vode je v splošnem področje modeliranja verjetnosti pojavov oz. področje prostorskih klasifikacijskih modelov. Najpogosteje uporabljene metode za oblikovanje takih modelov so poleg metode nevronske mreže in mehke logike tudi metoda strojnega učenja z Bayesovimi klasifikatorji oz. metoda teže evidenc (*Weights of Evidence WofE*). Metoda teže evidenc je bila sprva uporabljena pri medicinski diagnostiki. Zaradi učinkovitosti in enostavne interpretacije rezultatov pa je bila ta metoda kasneje prenesena na področje kartiranja območij potencialnih mineralnih nahajališč, kartiranja območij tveganja nestabilnosti pobočij in vrednotenja ekološkega tveganja. Metoda je bila že večkrat uspešno uporabljena tudi pri ocenjevanju ranljivosti podzemne vode, vendar pa še ni znana njena uporaba v povezavi z izhodi modelov, ki opisujejo ključne procese širjenja onesnaženja v vodonosnike.

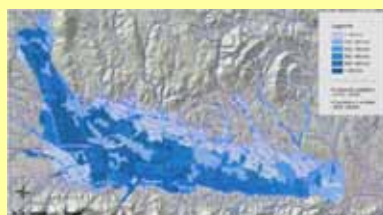
Metodo teže evidenc WofE smo ob uporabi modelskih izhodnih kart študijsko preizkusili na območju kmetijsko zelo obremenjenega in urbaniziranega območja Spodnje Savinjske doline, kjer v osrednjem delu prevladujejo plitva tla in prodno-peščena nezasičena cona (slika 1). Z analizo porazdelitve verjetnosti pojava nitrata na podlagi rezultatov terenskih meritev (slika 2) vsebnosti nitrata v podzemni vodi na 173 merilnih mestih je bila v hidrološkem letu 2009 kot mejna vsebnost med naravnim ozadjem in antropogenim (človekovim) vplivom na nitrat v podzemni vodi določena točka prevoja z vrednostjo 20 mg/l. Na podlagi razmerja med številom

MERITVE VSEBNOSTI NITRATA V PODZEMNI VODI
Primer učne množice modela WofE
(Uhan in sod., 2009)



UPORABA REZULTATOV PROCESNO ZASNOVANIH MODELOV

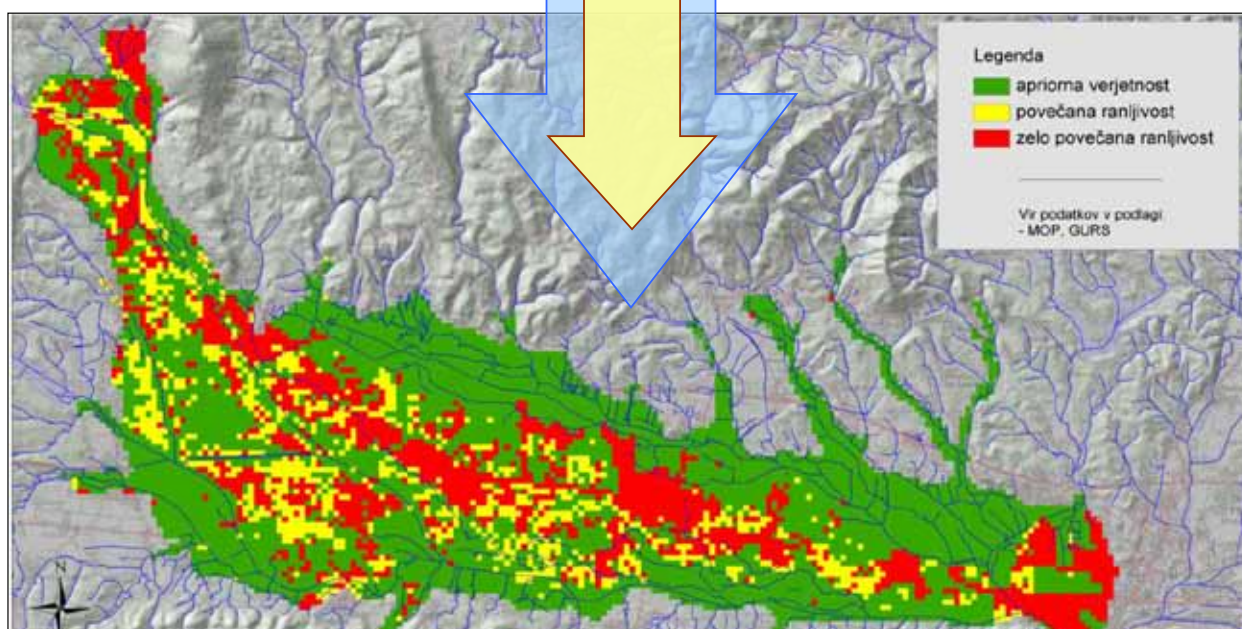
NAPAJANJE VODONOSNIKA
Primer uporabe modela GROWA
(Andjelov, 2009)



IZPIRANJE NITRATA IZ KORENINSKE CONE
Primer uporabe modela DNDC
(Uhan, 2011)



HITROST TOKA PODZEMNE VODE
Primer uporabe modela FEFLOW
(Vižintin, 2009)



RELATIVNA RANLJIVOST PODZEMNE VODE NA NITRATNO ONESNAŽENJE
Primer rezultata modela WofE (Uhan, 2011)

SLIKA 3: Shema ocenjevanja verjetnosti nitratnega onesnaženja in relativne ranljivosti podzemne vode za nitrarno onesnaženje z modeliranjem teže evidenc WofE (primer Spodnja Savinjska dolina). Metoda omogoča določanje območij povečane ranljivosti znotraj vodonosnikov (rumeno in rdeče).

prostorskih celic z izmerjeno vsebnostjo nitrata v podzemni vodi >20 mg/l in številom vseh prostorskih celic študijskega območja v rastru 100×100 metrov (7887) je bila določena apriorna verjetnost onesnaženja. Ocena posteriorne verjetnosti, ki tvori jedro analize teže evidenc in jo lahko uporabimo za ocenjevanje ranljivosti, pa zahteva pripravo relevantnih evidenc oz. prostorskih podatkovnih slojev, ki so v povezavi z vsebnostjo nitrata v podzemni vodi (slika 3). Za oceno posteriorne verjetnosti zvišane vsebnosti nitrata v podzemni vodi Spodnje Savinjske doline so bile izbrane in generalizirane karte napajanja vodonosnika z vodnobilančnim modelom GROWA (Andjelov, 2009), izpiranja nitrata z biogeokemičnim modelom DNDC (Uhan, 2011) in hitrosti toka podzemne vode s hidrogeološkim modelom FEFLOW (Vižintin, 2009).

Verjetnost povišane vsebnosti nitrata v podzemni vodi (>20 mg/l) nakazujejo modelske posteriorne vrednosti, ki so višje od ocene apriorne oz. začetne verjetnosti. Posteriorna verjetnost je bila na podlagi razpoložljivega podatkovnega nabora terenskih meritev vsebnosti nitrata v podzemni vodi in na podlagi takrat razpoložljivih modelskih rezultatov v študijskem primeru ocenjena na obsežnem osrednjem območju Spodnje Savinjske doline. Vrednosti posteriorne verjetnosti povišanega onesnaženja je možno na podlagi nezveznosti frekvenčne porazdelitve v prostoru rangirati v razrede relativne ranljivosti podzemnih voda (slika 3). Stopnja zaupanja evidenčnih podatkovnih slojev in stopnja zaupanja modela se oceni s Studentovim t-preskusom.

4. ZAKLJUČEK

Poznavanje nitrarno ranljivih območij je neobhodna strokovna podlaga pri prostorskem načrtovanju in predvsem pri načrtovanju ukrepov za zmanjšanje nitratnega onesnaževanja, ki jih terja nitratna direktiva (91/676/EEC). Na podlagi rezultatov večdesetletnega državnega monitoringa kakovosti podzemnih voda je v Sloveniji treba uradno razglasiti že prepoznana »**nitrarno ranljiva telesa podzemnih voda**«. To so vsa tista aluvialna vodna telesa z medzrnsko poroznostjo in podzemno vodo plitvo pod površjem, kjer že vrsto let z državnim monitoringom ugotavljamo slabo kemijsko stanje podzemne vode tudi zaradi previsoke vsebnosti nitratov. Znotraj teh nitrarno ranljivih teles podzemnih voda bo na podlagi modelskih kart toka podzemnih voda (rezultat ARSO projekta BOBER 2010-2014) in toka nitratov (rezultat mednarodnega sodelovanja ARSO-JÜLICH 2012-2013) mogoče z modelsko shemo teže evidenc (WofE) definirati tudi posamezna »**nitrarno ranljiva območja znotraj teles podzemnih voda**«, kamor naj bi bili prioriteto usmerjeni delovni programi ukrepov za zmanjšanje onesnaževanja podzemne vode z nitrati, podprti z raziskovanjem virov in procesov izpiranja nitrata v vodonosnik.

LITERATURA

- 91/676/EEC, Direktiva Sveta ES 91/676/EEC z dne 12. decembra 1991 o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov, <http://eur-lex.europa.eu>;
- Andjelov, M. (2009), Modeliranje napajanja vodonosnikov za oceno količinskega stanja podzemnih voda v Sloveniji v letu 2006. V 20. Mišičev vodarski dan – zbornik referatov, Maribor, str. 126-130;
- Uhan, J., Pezdič, J., Savič, V., Andjelov, M., Turšič, J. (2009), Hidrogeološki faktorji prostorske in časovne porazdelitve nitrata v podzemni vodi Spodnje Savinjske doline. V Zbornik 19. posvetovanje slovenskih geologov. Uredil Horvar A., Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, str. 177-182;
- Uhan, J. (2011), Ranljivost podzemne vode na nitrarno onesnaženje v aluvialnih vodonosnikih Slovenije. Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, doktorska disertacija, Ljubljana, 163 str.;
- Vižintin, G. (2009), Nestacionarni 3D model toka podzemne vode Spodnje Savinjskem polju – Faza IDP. Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geotehnologijo in rudarstvo, Ljubljana, 43 str.

40. ZIMSKO ŠPORTNO SREČANJE SLOVENSKIH VODARJEV

AREH, 12.03.2011; ORGANIZATOR: VODNOGOSPODARSKI BIRO MARIBOR D.O.O.

EKIPNI ZMAGOVALCI:

1. mesto:

Inštitut za vode Republike Slovenije

2. mesto:

Drava Vodnogospodarsko podjetje Ptuj d.d

3. mesto:

Podjetje za urejanje hudournikov d.d.

ZMAGOVALKE POSAMEZNO - ŽENSKE

	+ 50	40-49	30-39	- 30
veleslalom	LAP BERNARDA	KOVAČIČ ALENKA	KOSTANJŠEK MARTINA	KOGOJ MOJCA
teki	ČERNE MOJCA	ŽAJA SABINA	SMILJIČ LJILJANA	JERIČEK LAKOTA ŠPELA
bordanje	DREMELJ NUŠA			

ZMAGOVALCI POSAMEZNO - MOŠKI

	+ 60	50-59	40-49	30-39	- 30
veleslalom	ČATER JERNEJ	MLAČNIK JURIJ	FERME ROK	ROZMAN BOŠTJAN	KOŠAK MATIC
teki	PREŠEREN TONE	ČERNIVEC JANKO	JAZBEC MARJAN	GALIČ RAJKO	HORVAT MITJA
bordanje	BOGATAJ JURE				

Čestitke organizatorju VGB Maribor za odlično organizacijo iger in poštenosti pri izračunu rezultatov.

ORGANIZATOR 2012 – 41. SREČANJE

EHO PROJEKT D.O.O. Ljubljana



Borderska in veleslalomski proga.



Predsednik organiz. Odbora in predsednica DVS.



dolgoletni povezovalac Danilo Šeško v prijetni družbi.



ogled tekme s cilja.



Trije veterani (Danilo Beden, Roman Ščurk, Matija Marinček).



pogostitev na cilju.



Priprava na tekaško tekmo.



oprema najboljša.



vročica, strah pred ciljno strmino.



srečnež na startu.



utrinki s prihoda na cilj....



tudi za najboljše je bilo težko.



gostija pred zabavnim programom.



muzikanta sta skrbela za vzdušje.



Zabava s pležuhi.



škrat Bolfenk.

RAZGLASITVE REZULTATOV



Šefov nagovor.



borderke.



borderji.



VSL, dame nad 50 let, zmagovalka manjka.



VSL, dame 40-49 let.



VSL, dame 30-39 let, drugouvrščena manjka.



VSL, dame pod 30 let.



VSL, moški nad 60 let.



VSL, moški 50-59 let, manjkata prva dva.



VSL, moški 40-49 let, manjka drugi.



VSL, moški 30-39 let.



VSL, moški do 30 let.



TEK, ženske nad 50 let.



TEK, ženske 40-49 let.



TEK, ženske 30-39 let.



TEK, ženske do 30 let.



TEK, moški nad 60 let.



TEK, moški 50-59 let.



TEK, moški 40-49 let.



TEK, moški 30-39 let.



TEK, moški pod 39 let.



ekipna razvrstiitev.



zmagovalna ekipa IzVRS.



predaja organizatorske krogle.....kuhinja odlična.



Zgodovina.



in na koncu zabava.



EKSKURZIJA SRBIJA - HE DJERDAP

05.-09.10.2011

Skupaj z agencijo Slavija turizem smo izoblikovali program letošnje strokovne ekskurzije v tujino in sicer je bil naš glavni cilj HE Djerdap v Srbiji, med potjo pa smo si ogledali še območje okoli Bele Crkve v Banatu in na povratku Beograd.

Ogled v Beli Crkvi smo pričeli v Mestnem muzeju, nadaljevali v rimokatoliški cerkvi sv. Ane (po kateri ima mesto ime), in pa v ruski cerkvi evangelista Jovana Bogoslova. V okolici mesta je več jezer, nastalih po izkopu gramoza, največja so Glavno (tega smo si ogledali), Vračevgajsko, Šljunkarsko, Novo in Šaransko jezero. Obisk v mestu smo zaključili z zelo okusnim kosilom v domači gostilni »Villa Jezero«.

Več o Beli crkvi:

- http://sh.wikipedia.org/wiki/Bela_Crkva_%28Vojvodina%29
- <http://www.kudazavikend.com/8-Na%20izlet/362-Bela%20Crkva/>
- http://www.belacrkva.org/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=13&Itemid=28

Po kosilu smo pot nadaljevali proti Donavi, ki smo jo skupaj z avtobusom prečkali na brodu v Stari Palanki. Po pristanku smo pot nadaljevali proti Kladovu, kjer nas je v hotelu Djerdap čakala večerja. Vmes smo se ustavili pri trdnjavi Golubac in v Lepenskem viru, kjer so pred polnjenjem Djerdapskega bazena rešili ostanke naselbine iz okoli 6000 do 5000 let pred našim štetjem. Z izkopavanjem se pričeli leta 1965, leta 1967 so našli sedem večjih naselij ribičev, lovcev in zbiralcev hrane, vse najdeno pa je mogoče videti v velikem muzeju. Več o najdbah lahko najdete na:

- <http://www.yurope.com/people/nena/Vir/kultura.html>
- http://sh.wikipedia.org/wiki/Lepenski_Vir

Presenečenje nas je doletelo v hotelu Djerdap. Nekateri smo sicer že vnaprej vedeli, da je v času našega prihoda v hotelu v organizaciji Saveza inženjera i tehničara Srbije seminar Vodovod i kanalizacija '11 in to njihova zaključna svečana večerja. Nas so priključili kar k njim in doživeli smo krasen večer.

Naslednji dan smo imeli na sporedu ogled HE Djerdap I. Najprej smo se za eno uro popeljali z ladjo po Donavi pod pregrado, zatem pa smo se z avtobusom odpeljali na samo pregrado. Pregrado smo si ogledali pod strokovnim vodstvom (sicer turistične vodičke, a vseeno smo spoznali glavne značilnosti). Seveda smo si ogledali samo zgornjo pregrado, imenovano Djerdap I. Sistem Djerdap je pričel delovati leta 1972, ko je začela obratovati Djerdap I. Danes je to velik in geografsko razpršen kompleks, ki letno proizvaja več kot 7000 GWH električne energije. Stabilnost proizvodnje, učinkovito eksploatacijo in vzdrževanje sistema Djerdap zagotavlja 1800 zaposlenih. Ca 50 km nižje po Donavi je še HE Djerdap II, možen bo ogled tudi z ladjo, trajala pa bo vožnja menda okoli 8 ur. To pa morda enkrat v prihodnosti.

Na spletu sem našel video z ogleda HE Djerdap I (ena manjša skupina, po malo bogatejšem programu):

- <http://www.youtube.com/watch?v=KnadVGz9VRI&feature=related>

Med vožnjo z ladjo pod pregrado smo od lokalne vodičke izvedeli precej zgodovine, med drugim tudi o Trajanovem mostu, katerega ostanke so našli malo pod našim hotelom:

Več o mostu si oglejte na (od ca. 50 sek naprej):

- http://www.dailymotion.com/video/xjua24_trajanov-most-kladovo_travel

Zanimiv je tudi posnetek podvodnih arheoloških raziskav ostankov Trajanovega mosta na:

- <http://www.youtube.com/watch?v=2Fj9oCdfodk&feature=related>
- <http://www.youtube.com/watch?v=h751PuNrrK8&feature=related>

Še nekaj o Trajanu s spleta:

Izvira iz Španije, njegov oče je bil plebejec, ki je z vplivom in bogastvom prilezel do senatorja, kar je odprlo pot njegovi vojaški karieri. Postal je poveljnik legij in to tako uspešen in priljubljen, da ga je Nerva, cesar, ki je na

kratko nasledil Domicijana, posinovil in mu zapustil prestol. Na čelo rimskega cesarstva se povzpne leta 98 n. š., po Nervini smrti. Pripravlja ekspedicijo proti Dačanom, saj gradi vojno pot od Beograda, po obronkih hribov na desni obali Donave, vse do okolice današnjega Kladova, kjer premosti reko čez lesen most na kamnitih stebrih.

Po ogledu pregrade smo se spet do sitega najedli v našem hotelu, po kosilu pa smo se odpravili proti Beogradu. Med potjo na izhodu Malega Kazana Đerdapske skalnate soteske, lokalno znanem kot Hajduški mlini na vodi, se na nasprotnih straneh reke gledata dva spomenika, malce postrani.

Po spletu:



Trajanova tabla.



Decebal.

Na desni, srbski strani, je Trajanova tabla. Komaj gleda vode. V zadnjih dva tisoč letih se je zlizala. Zdi se, da se je zmanjšala, široka je 3,2 metra, visoka pa komaj 1,8 metra. Z leve, romunske strani počez strelja kamnit obraz Decebala, obe njegovi očesi sta večji od cele Trajanove table.

Decebal je neki romunski kralj, ki je pomendral Trajana kot žvečilko. Izklesan je bil med leti 1994 in 2004. Naredil ga je znani novodobni romunski poslovnež srbskega porekla, ki je iz Ceausescove sekuritete brisnil čez Donavo v Jugoslavijo na plinski jeklenki prav s tega mesta. Potem je v Italiji obogatel, se vrnil domov in je zdaj medijski magnat.

V Beogradu smo šli, zaradi pozne ure prihoda, kam drugam kot spet najprej jest (v restavraciji Park na Zemunu), potem pa še malo zaplesat in spat, saj nas je zjutraj čakal še ogled Beograda in Gradbene fakultete.

V soboto zjutraj smo se z avtobusom takoj zjutraj odpravili na Gradbeno fakulteto, kjer nas je že čakal prof. Jovan Despotović, nam predaval o Odtoku meteorne vode v mestih, razkazal fakulteto in laboratorij.

Po ogledu fakultete smo se odpravili do ladje, s katere smo si ogledali novi beograjski most čez Savo na Adi Ciganliji, ki je bil zasnovan v podjetju Ponting v Mariboru. Zaradi gradbenih del, ki so potekala na čas našega ogleda, žal nismo smeli na gradbišče in smo si most pač ogledali z ladje. Izgleda veličastno, uradna otvoritev je bila za novo leto 2012.

Več o tem veličastnem mostu si preberete na:

- <http://www.moski.si/moski-hobiji/dizajn/v-beogradu-raste-najvecji-viseci-most-v-evropi/>
- <http://www.jutarnji.hr/most-u-beogradu--kosta-120-milijuna-eura--ima-samo-jedan-pilon--a-vec-ga-je-dosao-snimiti-i-discovery-channel/929548/>
- <http://www.24sata.rs/vesti/beograd/vest/novi-most-preko-ade-postao-omiljeno-gradsko-setaliste/10544.phtml>

Po pristanku ladje smo imeli še nekaj časa za ogled Beograda, potem pa na avtobus, in ne boste verjeli, že v Rumi smo spet jedli in to ne malo in zelo dobro. Potem pa smo se odpravili proti Ljubljani, kamor smo prispeli zgodaj zjutraj, Mariborčani pa malo kasneje.

FOTOGRAFIJE:

1.in 2. dan: LJUBLJANA-KLADOVO, 05.-06.10.

Pot skozi Beograd.



Prihod v Belo Crkvo.





Muzej v Beli Crkvi Muzej v Beli Crkvi.



Katoliška cerkev v Beli Crkvi.



Pevski nastop dveh domačink, desna gospa v rdečem je Slovenka, ki že zelo dolgo živi v Beli Crkvi.



Največje od jezer, ki so nastala s črpanjem gramoza.



Slastno kosilo v prijetni gostilnici Villa Jezero.



Prečkanje Donave z brodom pri Beli Crkvi.



Lepenski vir - arheološke najdbe naselja ob izgradnji HE Djerdap.

ЛЕПЕНСКИ - ВИР



Hotel Djerdap v Kladovu.



Svečana večerja v hotelu Djerdap v Kladuši.



3. dan: Ogled HE Djerdap, 07.10.2011



Pri spomeniku ob hotelu.



vstop na ladjo – enourni ogled po Donavi.



Z avtobusom iz Kladova proti Beogradu.



gasilska.



Trdnjava GOLUBAC.





Večerja v restavraciji Reka v Zemunu.



4. dan: BEOGRAD, 08.10.2011



Ogled Fakultete za gradbeništvo v Beogradu - na spodnji fotki levo spredaj prof. Jovan Despotović z našo predsednico Lidijo.





prof. Jovan Despotović.



Vožnja po Beogradu.



proti ladji in na ogled novega mostu v Beogradu.



Kalemegdan.

Kalemegdan.



Novi most čez Savo na Adi Ciganliji v Beogradu - most je res nekaj posebnega.



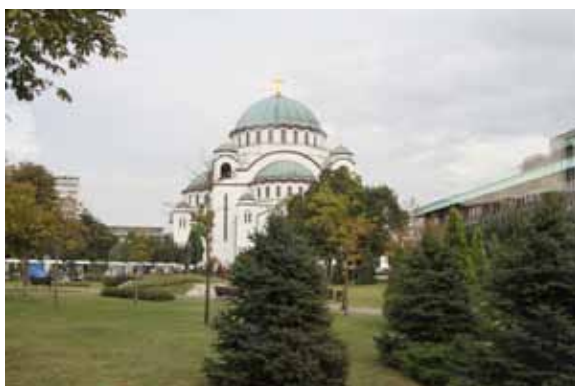
Konec vožnje z ladjo po Beogradu.



Pred Hišo cvetja.



Štafete mladosti v Hiši cvetja.



Cerkev Svetega Save.



Za slovo od Beograda še nekaj domačega.



Pot proti soncu in domov.



vmes pa še pozno kosilo v Rumi.

41. ZIMSKO ŠPORTNO SREČANJE SLOVENSКИH VODARJEV

KRANJSKA GORA, 03.03.2012; ORGANIZATOR: EHO PROJEKT D.O.O.

EKIPNI ZMAGOVALCI:

1. mesto:

Inštitut za vode Republike Slovenije

2. mesto:

Drava Vodnogospodarsko podjetje Ptuj d.d

3. mesto:

Hidrotehnika d.d.

ZMAGOVALKE POSAMEZNO - ŽENSKE

	+ 50	40-49	30-39	- 30
veleslalom	LAP BERNARDA	KOVAČIČ ALENKA	BRATUŠA MOJCA	MAROLT NUŠA
teki	ČERNE MOJCA	FAZARINC NINA	BOŽIČ META	JERIČEK LAKOTA ŠPELA
bordanje	BRGOČ POLONA			

ZMAGOVALCI POSAMEZNO - MOŠKI

	+ 60	50-59	40-49	30-39	- 30
veleslalom	BURJA DARKO	MLAČNIK JURIJ	FERME ROK	KOŠAK MATIC	ČAD LUKA
teki	PREŠEREN TONE	MLAČNIK JURE	JERŠIČ TADEJ	DEBELJAK PAVEL	HORVAT MITJA
bordanje	BOGATAJ JURE				

Čestitke organizatorju EHO projekt d.o.o. za odlično organizacijo iger.

ORGANIZATOR 2013 – 42. SREČANJE

IZVO-R D.O.O. Ljubljana



Borderska in veleslalomski proga od spodaj.



in od zgoraj.



Tile rumenčki pa niso naši.



Darja in Helena z MOP-a za ekipo DVS.



Polona z IEI prvič.



Alenka je serijska zmagovalka.



Malica.



ekipna pripadnost.



Tekaški poligon je bil podoben jezeru.





kič, najvišji vrh levo pod soncem je Mangart.



Polona tretjič – nastopila je vseh treh disciplinah.



Nina bo organizirala srečanje naslednje leto.



Matija teče klasiko.



samo da gre hitro.



tekaška ekipa organizatorja.



težko je hitro teči mimo.



Navijači so imeli izredno ugodne razmere.



Nagrada za najbolj borbenega tekača.



Franci in Matija se spoznata na teke.



Pripravljeno za podelitve.

BORDANJE



Urška in Polona.



Matej, Jure.

VELESLALOM



VSL- Mojca, ..., Helena, Cvetka, Tanja.



VSL- Judita, Darja, ..., Alenka, Nina.



VSL- Maja, Mojca, Meta, Helena, Sonja.



VSL- Mojca, ..., Polona, Sara, Nataša.



VSL- Matija, Darko, Jože, Roman.



VSL- Franko, Jure, ..., ..., Andrej.



VSL- Ivan, Rok, Tomaž, Iztok.



VSL- Boštjan, Matic, Damjan, ..., ...



VSL- Martin, Luka, Janko, Domen.

TEKI



Helena, Mojca, Veronika, Tanja.



Mateja, Nina, Marija, Jana.



Rok, Tadej.



TEK- ..., Meta, Ljiljana, Zdenka, Maja.



TEK- Bernarda, Petra, Špela, Polona.



TEK- Franci, Tone, Jože, Mitja, Matija.



TEK- Darjo, Jure, Franc, Ilija, Branko.



TEK- Martin, Pavel, ..., ..., Matic.



TEK- Timotej, Mitja, Jure, KRISTJAN, Janko.



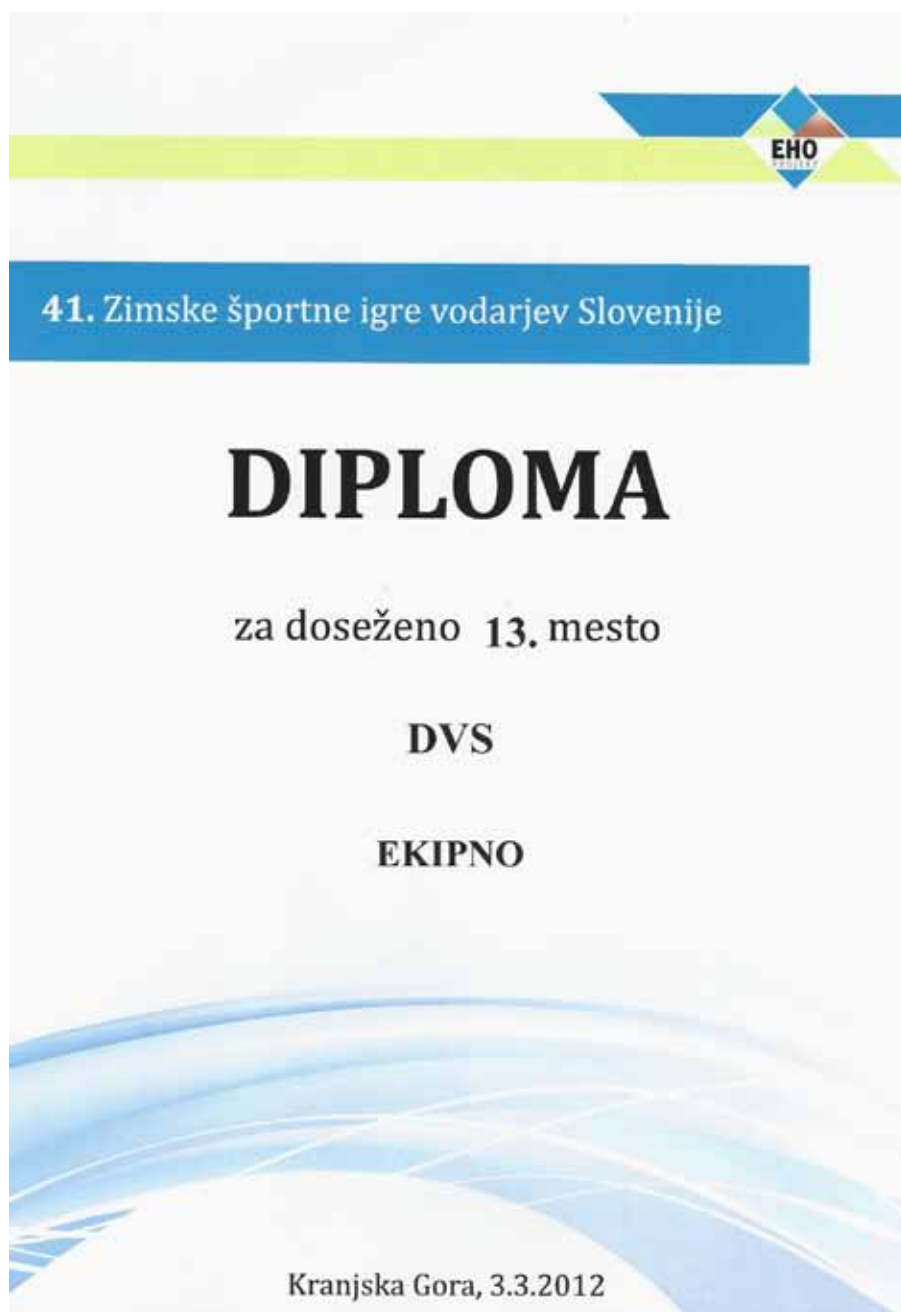
POSEBNA PRIZNANJA - Roman, Veronika, Polona, Marko, Tone in Franci.



Ekipni vrstni red.



IZVO-R je naslednji organizator, Nina je prevzela organizatorsko obeležje.



ZIMSKE ŠPORTNE IGRE VODARJEV – KAKO SMO ZAČELI, KAKO NADALJEVATI

Matija Kavčič

POPRAVEK ČLANKA IZ SV 23-24

V članku je bilo na strani 127 v prvem stavku predzadnjega odstavka zapisano:
Predlagam, da ZŠIV v bodoče ustanovijo strokovno društvo, ki bo povezovalo vodarje Slovenije.

Avtor članka je želel napisati:
Predlagam, da ZŠIV v bodoče izpelje strokovno društvo, ki bo povezovalo vodarje Slovenije.

DELOVANJE NEVLADNIH ORGANIZACIJA NA PODROČJU VODA - POČASTITEV DNEVA VODA 2012

Dr. Lidija Globevnik, Društvo vodarjev Slovenije

Na svetovni dan voda, 22.3.2012 je v Ljubljani potekal 1. slovenski kongres o vodah. Organizator je bil Slovenski odbor za mednarodno desetletje voda za življenje 2005-2015. V so-organizaciji so bila slovenska društva, ki delujejo na področju voda: Slovenski odbor za hidrološke raziskave (IHP), Društvo vodarjev Slovenije (DVS), Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko (SZGG, Nacionalna sekcija za hidrologijo), Slovensko društvo za hidravlične raziskave (SDHR), Slovenski komite za velike pregrade (SLOCOLD), Slovensko društvo za zaščito voda (SDZV), Slovensko društvo za namakanje in odvodnjo (SDNO – ICID/SIID), Društvo slovenski komite mednarodnega združenja hidrogeologov-IAH (SKIAH IAH), Slovensko kemijsko društvo, Društvo biologov Slovenije (DBS), Ribiška zveza Slovenije (RZS), Zveza prevoznikov po celinskih vodah Slovenije. Na vabljenih predavanjih je vsako od društev predstavilo problematiko s katero se ukvarja in izreklo stališča glede upravljanja voda v Sloveniji: .

Naslovi predavanj in predavatelji so bili:

- Ukrepi zemljiške politike za izboljšanje samooskrbe s hrano (Darko Simončič, Marjeta Jerič)
- Izraba vodnih sil (Andrej Kryžanowski)
- Upravljanje z nevidnim - prispevek k razpravi o upravljanju s podzemnimi vodami (Miran Veselič, Jože Uhan)
- Kakovost voda in tehnološki razvoj (Janez Vrtovšek, Andreja Drolc, Magda Cotman, Albin Pintar)
- Vzdrževanje vodne infrastrukture in vodotokov pomen, realnost in perspektive (Lidija Globevnik)
- Kras in voda (Janja Kogovšek)
- Varnost pregrad in zadrževalnikov (Andrej Širca, Mojca Ravnikar Turk, Pavel Žvanut, Nina Humar)
- Poplavna ogroženost (Mitja Brilly)
- Načrtovanje, priprava in izvedba projektov vodne infrastrukture financiranih s sredstvi Kohezijskega sklada (Metka Gorišek)
- Razvoj ribištva (Marko Koračin)
- Ekoturizem in raba reke Soče za rekreacijske namene (Aleš Golja)
- Spremembe vodnega režima zaradi podnebnih sprememb in drugih antropogenih vplivov (Mira Kobold, Mojca Dolinar, Peter Frantar).

Predavanja bodo objavljena v zborniku. V drugem delu kongresa so se odvila še druga krajša predavanja. Zaključki kongresa so:



‘Voda za življenje’

1. Podnebni vzorci se dokazljivo spreminjajo. Spomladi padavine upadajo, jeseni rastejo. Temperature v zadnjih 30 letih naraščajo. Pretoki v rekah se razen v jesenskem času znižujejo. Visokovodni valovi so v jesenskih mesecih pogostejši. Potrebujemo operativni program prilagajanja podnebnim spremembam.
2. Država nima organa, ki bi ugotovitve monitoringa varnosti vodnih pregrad in pregrad odpadnih lužin pred porušitvijo spremljal in na njihovi osnovi ukrepal. Potrebujemo upravni arhiv in kriterije za nadzor in izvedbo ukrepov.
3. Prehitro spreminjanje administrativnih postopkov in stalne reorganizacije upravnih služb ima za posledico slabo realizacijo v preteklosti sprejetih in še vedno veljavnih operativnih programov (prometna in vodna infrastruktura, zbiranje in čiščenje odpadne vode) in slabo črpanje sredstev iz EU finančnih programov. Potrebujemo iboljšo pripravo projektov s strani stroke ter izboljšano in bolj usklajeno podporo različnih upravnih služb pri njihovi pripravi in izvajanju. Pri tem morajo tako prvi kot drugi delovati proaktivno.
4. Obstoječi slovenski zakonski in podzakonski akti ter iz njih izhajajoči operativni programi s področja varstva okolja in upravljanja voda implementirajo EU zakonodajo hitreje in bolj rigorozno, kot to zahteva in pričakuje EU. Strokovne norme smo dali v podzakonske akte, kar onemogoča strokovni pristop k posameznim, specifičnim problemom (različna lokalna reliefna, geološka, hidrološka, ekosistemska in soci ekonomska okolja). Predlagamo, da se v predpisih zajete tovrstne norme izdajo kot specifični tehnični standardi, kar je običajno tudi v drugih državah EU.
5. Ogroženost in onesnaženost vodnih virov se povečuje, kar kaže, da ni ustrezne kontrole nad potencialnimi onesnaževalci. Tehnologija priprave pitne vode ni vedno ustrezna in ne sledi tehnološkemu napredku. Problem so predvsem majhni vodo-oskrbni sistemi, kjer gospodarska moč lokalnih skupnosti ne omogoča uvajanja moderne tehnologije in ustreznega nadzora.
6. V primerjavi z drugimi EU državami sta namakanje kmetijskih površin in poraba vode za kmetijstvo zanemarljiva. Če želimo izboljšati samopreskrbo s hrano bomo morali obseg namakanih površin povečati, hkrati pa z dobrimi kmetijskimi praksami preprečiti, da bi intenziviranje proizvodnje povečalo obremenjenost podzemnih voda in površinskih voda. Pri tem nove kmetijske operacije ne bi smele povečati erozije zemljišč in hitrosti formiranja poplavnih valov.

Pripravljena je bila tudi naslednja deklaracija:

DEKLARACIJA

Na kongresu »VODA ZA ŽIVLJENJE«

Ob dnevu voda 22. marca 2012 podajamo vodarska društva Slovenije naslednje ugotovitve, zaključke in predloge:

Osnova trajnostnega razvoja je varovanje voda in njihova vzdržna raba. Zato so Združeni narodi razglasili obdobje 2005-2015 za mednarodno desetletje »Voda za življenje«. Doseganje trajnosti vodnih virov za človeka in naravo je tudi zahteva Direktive o politiki do voda in eden od ciljev mednarodnega desetletja izobraževanja za trajni razvoj 2005 – 2014 ter ne nazadnje tudi zahteva slovenskega Zakona o vodah.

Doseganje visoko zastavljenih ciljev zahteva varovanje voda, razvoj in uporabo sodobnih in okolju prijaznih tehnologij rabe vode. Poleg sredstev in dobre volje je potrebno vložiti še veliko dolgoročno zasnovanega raziskovalnega dela, strokovnega usposabljanja in razvoja upravne strukture vodarstva. Razvoj posameznih dejavnosti rabe vode danes v Sloveniji je naslednji: Primorska je pri oskrbi z vodo še odvisna od sosednje Republike Hrvaške, izgradnja hidroelektrarn na Savi je v razmahu, ribištvo dobiva tržne oblike, urejanje vodnega režima za potrebe izboljšanja samooskrbe s hrano je za Slovenijo strateškega pomena (Dodatek: potrebni akcijski programi). Turizem, rekreacija in priložnostne dejavnosti na in ob vodi v različnih oblikah pa pridobivajo na veljavi. Biotska pestrost voda je na svetovnem vrhu. Hkrati pa dejstvo, da je Slovenija v svetovnem merilu z vodo nadpovprečno bogata, ne rešuje slabega in neustreznega vzdrževanja vodne infrastrukture, ne vse večje mikrobiološke in kemijske ogroženosti kraških vodnih virov, kot tudi ne pomanjkanja in slabega ekološkega in kemijskega stanja voda v njenih, predvsem vzhodnih, z vodo manj bogatih predelih. V teh območjih predstavlja pomanjkanje vode jasno razvidno razvojno omejitev. Veliko je potrebno še narediti za izboljšanje ekološkega stanja.

V tem trenutku bi radi izpostavili nezadostno sposobnost Slovenije pri izkoriščanju razpoložljivih finančnih virov iz kohezijskih in drugih finančnih instrumentov EU za potrebe reševanja problemov, ki jih imamo na vodah.

Vodne ujme spremlja sorazmerno velika škoda in skorja vsakič tudi človeške žrtve. Težave vidimo predvsem v nezadostnem celostnem in dolgoročnem obravnavanju problemov upravljanja z vodnim javnim dobrim ter neusklajene zakonodaje s področja voda.

Da bi dosegli zastavljene zahtevne cilje, morajo strokovnjaki, ki se ukvarjajo z vodami, s pomočjo raziskav oblikovati nove metode in uveljaviti nove prakse pri upravljanju voda (ki pa jih mora državna uprava znati, politika pa hoteti udejaniti). Celostno upravljanje z vodami zahteva multidisciplinarni pristop in sodelovanje vrste strok, ki se ukvarjajo z vodami. Da bodo predlagane strokovne rešitve in razvojni projekti tudi uresničljivi, je treba organizirati in omogočiti polja dialoga in soočanja med sektorskimi politikami, javnostjo, deležniki, politiki in strokovnimi institucijami. Za ta namen je treba krepiti zavest, znanje in informiranost vseh državljanov. Prav bi bilo, da bi državljani Slovenije poznali vrednost vodnih ekosistemov, pomen vodo-zadrževalnih sposobnosti pokrajine in se zavedali posledic preteklih posegov v vode.

V družbi je nujno opredeliti celosten in dolgoročen pristop upravljanja z vodami z novimi strokovnimi, organizacijskimi, finančnimi in političnimi rešitvami in jasno postavljenimi odgovornostmi. Potrebujemo dolgoročno državno strategijo varstva voda, ki bo ob podpori sonaravnega gospodarskega razvoja usmerjena v zagotavljanje zanesljive oskrbe prebivalstva z neoporečno pitno vodo, njene strateške rezerve za primer izjemnih suš in hudih nesreč z regionalnimi učinki, zadovoljivo majhno ogroženost pred poplavami in plazovi, varno delovanje vodnih objektov in ohranjanje vodnih ekosistemov. Nevladne organizacije, ki delamo na vodah se obvezujemo, da bomo vzpodbujale proaktivno držo vseh interesiranih v procesih usklajevanja politik rabe in varstva voda, delile znanja o vodah in se trudile zagotavljati ekosistemske usluge in dobrine vodnih sistemov tudi v prihodnje.



DOLENJSKO GEODETSKO DRUŠTVO

41. GEODETSKI DAN – DOLENJSKE TOPLICE, 19. IN 20. OKTOBER 2012

**STOKOVNA TEMA: GEODEZIJA PRI UPRAVLJANJU Z VODAMI
PRVO OBVESTILO IN VABILO ZA PRIJAVO PRISPEVKOV**

Spoštovani!

Tradicionalna geodetska strokovna prireditev Geodetski dan bo tudi v letu 2012 posvečena aktualni temi - vodnim zemljiščem, upravljanju z vodami ter s pozitivnim in negativnim delovanjem voda. Na strokovnem srečanju želimo izpostaviti vlogo geodetov, geodetskih podatkov in postopkov pri upravljanju z vodami. Pretežna večina geodetov – katastralcev se pri svojem delu občasno sooča s problematiko evidentiranja objektov na vodotokih in upravljanja z vodami, ko na primer urejajo mejo proti vodotoku ali izdelujejo geodetski načrt, ki zajema tudi vodotok. Velikokrat geodeti tudi ugotovijo neusklajenost evidenc o vodotokih z dejanskim stanjem na terenu. Predvsem pa prostorske podatke, povezane z vodami, potrebujejo in uporabljajo strokovnjaki, ki se ukvarjajo s področjem vodarstva in prostorski načrtovalci. Zanimajo nas njihova mnenja in predlogi, kako bi v prihodnosti medsebojno sodelovanje čim bolj uskladjali in izboljšali. Ni dovolj, da geodeti delamo strokovno korektno, temveč moramo skupaj z vodarji in drugimi strokovnjaki prepoznati prave naloge, jim določiti prioritete in pri njihovem izvajanju sodelovati. Poleg tega geodetska stroka s sodobnimi tehnologijami daljinskega zaznavanja, kot so aerosnemanje, lasersko skeniranje (lidar) in satelitski snemalni sistemi razpolaga z orodji in metodami za hitro in učinkovito zajemanje podatkov o vodah v različnih, tudi izjemnih situacijah. Ne nazadnje pa je za določitev položaja podatkov v prostoru pomemben geodetski prostorski referenčni sistem, v zvezi z vodami še posebej njegova višinska sestavina. V Sloveniji na nacionalni ravni tečejo pomembne priprave za vzpostavitev nove višinske sestavine državnega geodetskega referenčnega sistema, tako da bomo predstavili aktualno stanje tudi na tem področju.

Ker želimo udeležencem strokovnega posveta pripraviti kakovosten in pester program, vabimo k prijavi prispevka geodete, vodarje in druge okoljske ter prostorske strokovnjake, ki lahko na tematiko dogodka iz svojega raziskovalnega ali strokovnega dela predstavijo zanimive projekte in njihove rezultate, svoja razmišljanja in predloge. Oblikovali smo naslednje štiri vsebinske sklope.

A. Geodetski katastri, evidence in registri pri upravljanju z vodami:

vloga geodetskih nepremičninskih evidenc in storitev pri upravljanju z vodami; geodetske storitve pri soočanju s problematiko vodotokov; geodetski načrti in poplavna varnost; izboljšava položajne natančnosti zemljiškokatastrskega prikaza za vodotoke; postopki urejanja podatkov dejanskega stanja terena; evidentiranje vodotokov v povezavi z gospodarsko in javno infrastrukturo; evidentiranje stavb, ki stojijo nad vodotokom; odmera dolžinskih vodnih objektov in plačevanje odškodnin.

B. Prostorski podatki o vodah in njihova uporaba:

povezanost vodarskih in geodetskih podatkovnih baz; vodni kataster in vodna knjiga; kakovost nepremičninskih evidenc pri podeljevanju služnosti na vodnih zemljiščih in urejanju evidenc o vodah; predstavitev evidenc, povezanih z vodo in dostopnost do podatkov; uporabnost in kakovost vodarskih podatkov; prostorsko načrtovanje na vodnih zemljiščih in uporaba vodarskih podatkov pri regionalnem prostorskem načrtovanju, določanju rabe prostora ter podrobnem načrtovanju umeščanja posegov v prostor; geoinformacijski sistemi za spremljanje vodnih pojavov; monitoring, hidrološke meritve, snemanje in kartiranje voda; ukrepi načrta upravljanja voda in vloga geodezije; načrtovanje hidrotehničnih sanacij in drugih ukrepov; sodelovanje ge-

odetov in vodarjev ob škodljivem delovanju voda (poplave, vodna erozija, snežni in zemeljski plazovi, suša); implementacija direktive INSPIRE in metodologija za zajem dejanske rabe vodnih zemljišč; terminološki in semantični problemi poimenovanja vodnih zemljišč.

C. Sodobne geodetske tehnologije za zajem prostorskih podatkov o vodah:

novosti v razvoju tehnologij daljinskega zaznavanja (aerofotogrametrija, lidar, satelitski sistemi) in njihov potencial za kartiranje voda; interventna snemanja poplav; terestrične in druge nekonvencionalne metode zajemanja; spletne in mobilne aplikacije v vodarstvu.

D. Vzpostavitev novega višinskega koordinatnega sistema:

aktualno stanje državnega višinskega koordinatnega sistema; kakovost višinskih podatkov; povezava horizontalnega in vertikalnega koordinatnega sistema; višinomerstvo z GNSS in vloga omrežja SIGNAL; vloga višinskega sistema pri gospodarjenju z vodami, vzpostavljanje višinske sestavine geodetskega prostorskega referenčnega sistema.

Če želite sodelovati s prispevkom, vas prosimo, da upoštevate naslednje pomembne datume:

- do **4. maja 2012** prijava prispevka s povzetkom (navedite avtorja, soavtorje, inštitucijo, kontaktne podatke; naslov prispevka in povzetek; povzetek naj bo dolg najmanj 250 in največ 500 besed). Navedite vsebinski sklop, za katerega prispevek prijavljate in vašo željo glede oblike prispevka: (a) ustni referat in članek v Geodetskem vestniku; (b) samo članek v Geodetskem vestniku; (c) samo ustni referat. Za vse tri oblike prispevkov je obvezna prijava povzetka.
- do **30. maja 2012** vas bo programski odbor obvestil o odločitvi;
- do **20. septembra 2012** oddaja pisnega članka v skladu za navodili za Geodetski vestnik (<http://www.geodetski-vestnik.com>);
- članki, ki bodo sprejeti po opravljeni recenziji, in povzetki ustnih referatov bodo objavljeni v 4. številki Geodetskega vestnika v letu 2012.

Prijavo prispevka s povzetkom pošljite na naslov:

Mojca Kosmatin Fras, mojca.kosmatin-fras@fgg.uni-lj.si

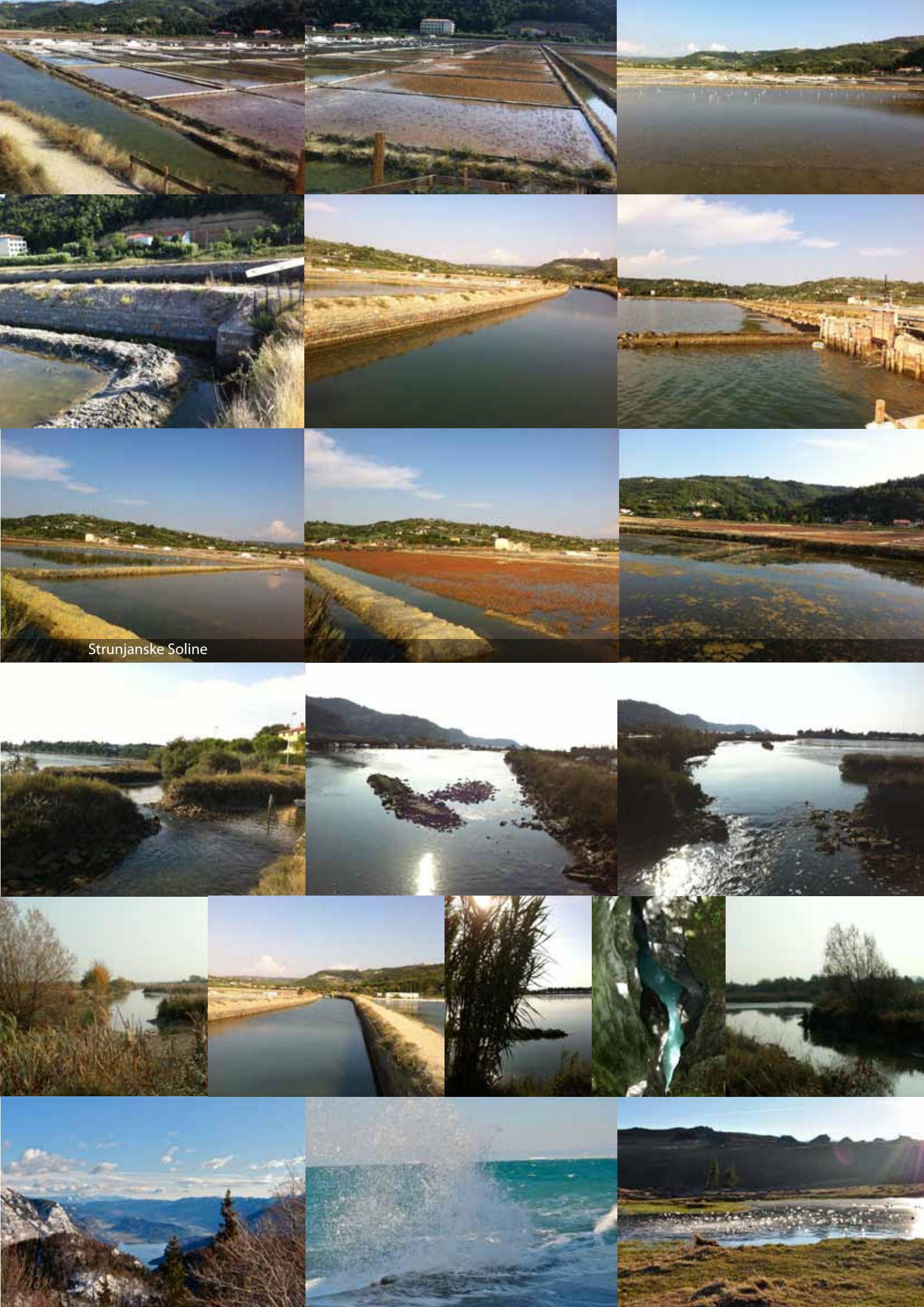
Najkasneje v nekaj dneh boste prejeli potrditev, da smo povzetek prejeli. Če potrditve ne dobite, vas prosimo, da preverite po telefonu (051/252 038), saj e-pošta ni vedno zanesljiv način komunikacije.

Vljudno vabljeni k sodelovanju in udeležbi.

V imenu programskega odbora:

predsednica programskega odbora
dr. Mojca Kosmatin Fras

predsednik Zveze geodetov Slovenije
mag. Jurij Režek



Strunjanske Soline

