1.

Varnost objektov na vodah in varnost ljudi pred nevarnim delovanjem voda

KARTIRANJE RAZREDOV ANTROPOGENE POPLAVNE NEVARNOSTI

mag. Gašper Rak, prof.dr. Franci Steinman

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Za učinkovitejše obvladovanje tveganj, povezanih s poplavami, je bila v letu 2007 v EU sprejeta poplavna direktiva za določanje poplavno ogroženih območij, na katerih je, glede na stopnjo poplavne nevarnosti, omejena raba prostora. Razredi poplavne nevarnosti so določeni na podlagi več faktorjev in praviloma z upoštevanjem visokovodnih dogodkov v vodotokih z različnimi povratnimi dobami. Treba pa je upoštevati tudi antropogeno povzročene scenarije, ki lahko nastopijo ob izrednih dogodkih kot so porušitev visokovodnih nasipov, nepravilno ali omejeno delovanje hidromehanske opreme na hidrotehničnih objektih ipd. Pod antropogene vplive lahko vključujemo tudi načrtovanje oz. nadzor rabe prostora na vplivnem območju vodnogospodarske infrastrukture, ki zajema daljše odseke vodotokov in lahko tam spremenjene razmere pomembno spremenijo odtočni režim in poplavno nevarnost v obvodnem prostoru v celotni dobi delovanja objektov. V članku bo prikazan primer upoštevanja izrednih dogodkov, povzročenih s strani človeka, pri kartiranju razredov poplavne nevarnosti.

Ključne besede:

Visokovodni dogodki, poplavna nevarnost, antropogeni vplivi, kartiranje, raba prostora

1. Uvod

Za zmanjšanje oziroma učinkovitejše obvladovanje poplavne ogroženosti in drugih tveganj, povezanih z vodami, z ustreznim prostorskim načrtovanjem, ki je predvsem s preventivnimi ukrepi usmerjeno v zmanjšanje ranljivosti, sta Evropski parlament in Svet evropske unije konec oktobra leta 2007 sprejela evropsko ti. Poplavno direktivo. Ta je od članic EU zahtevala, da se do konca leta 2013 pripravijo karte razredov poplavne nevarnosti (KRPN) in karte poplavne ogroženosti, do konec leta 2015 pa tudi načrte za obvladovanje poplavne ogroženosti, s poudarkom na preprečevanju in varstvu ter pripravljenosti za ukrepanje, vključno z napovedovanjem poplav in sistemi zgodnjega obveščanja. Za izpolnitev ciljev sta bila v Sloveniji sprejeta Pravilnik 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 (MOP, 2007) in Uredba 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 (Vlada RS, 2008). Z vsebino teh predpisov je država natančneje uredila ravnanje ob nevarnostih, povezanih z vodami, in želela učinkoviteje conirati prostor ob vodotokih, za katerega se stopnjuje omejevanje rabe.

Danes je sicer moderno govoriti o podnebnih spremembah, vendar pa je treba poudariti, da se ogroženost povečuje predvsem na račun antropogenih posegov v prostor, pri katerih se premalo upošteva njihova ranljivost. Razlogi so številni: intenzivna raba prostora in s tem povečevanje ekonomske vrednosti objektov in infrastrukture znotraj ogroženih območij, zmanjševanje prostora za razlivanje vode ob ekstremnih dogodkih, zagotavljanje zgolj

minimalnih varnostnih ukrepov in neprimerno vzdrževanje le-teh itd. (Loat 2003). Z večanjem ogroženosti pa se povečuje tudi tveganje. Ko se pojavi dogodek, ki prinaša tveganje, ga je treba obravnavati deljeno, kot prevzeto tveganje, ki je bilo npr. s projektom urejeno in nato vzdrževano, in na preostalo tveganje. Katastrofalni dogodki v preteklosti so pokazali, da je negativne posledice možno le delno ublažiti z gradbenimi ukrepi in da imajo protipoplavni ukrepi v Sloveniji, kot tudi drugje po Evropi, omejen doseg, medtem ko se ranljivost in s tem ogroženost drugih objektov in rab v prostoru povečuje.

Protipoplavni ukrepi in drugi posegi v vodni in obvodni prostor so dimenzionirani na ti. »projektni pretok«, do katerega so posegi v prostor varovani pred visokimi vodami (npr. Q_{100}+varnostno nadvišanje) oz. se doseže tudi zmanjšanje poplavne nevarnosti. To posledično »privabi« intenzivnejšo rabo prostora, s tem pa narašča škodni potencial ob nastopu poplav. Pri tem pa se navadno ne upošteva, kaj se zgodi v primeru izrednih dogodkov, npr. pri porušitvi protipoplavnega nasipa, pri nepravilnem, omejenem delovanju ali celo nedelovanju hidromehanske opreme na hidrotehničnih objektih. Kot negativne antropogene vplive na obvladovanja poplavne nevarnosti lahko štejemo tudi neučinkovito varovanje dogovorjenega stanja oz. nenadzorovano spreminjanje rabe prostora na poplavnih površinah. Spremenjena raba prostora namreč privede do spremenjenih odtočnih razmer glede na razmere kot so bile upoštevane pri načrtovanju posegov v prostor. Nazoren primer škodljivega delovanja voda, do katerega privede stihijsko spremenjena raba prostora v obvodnem prostoru, je poškodba odvodnega kanala HE Formin – ker visoke vode po čezmerno zaraščeni strugi Drave niso mogle odtekati, je voda našla drugo, rušilno pot.

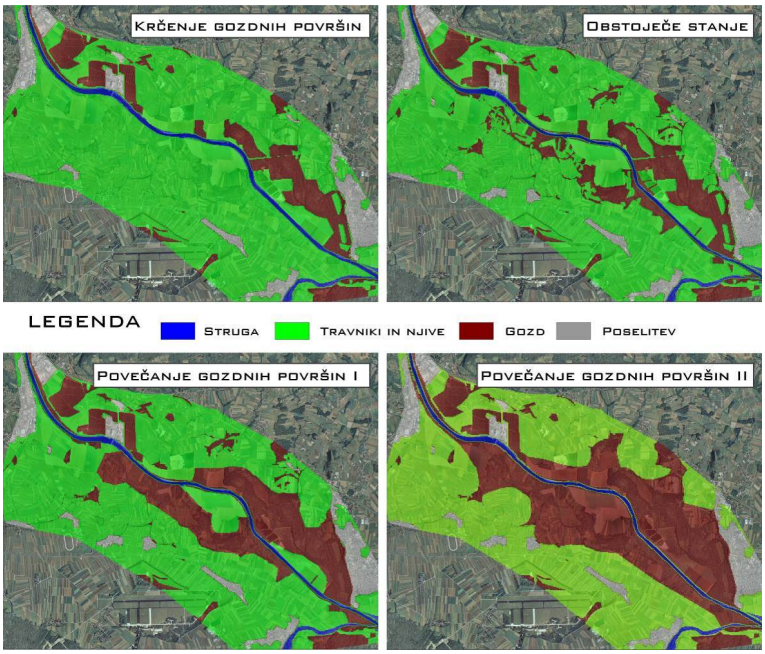
V prispevku sta prikazana dva primera antropogenega vpliva na spremenjeno poplavno nevarnost. V prvem primeru je prikazan vpliv nenadzorovane rabe prostora v času življenske dobe infrastrukturnega objekta na odtočne razmere in posledično spreminjajočo se poplavno nevarnost na vplivnem območju. V drugem primeru pa je prikazano, kaj se zgodi v primeru hipne ali postopne porušitve protipoplavnega nasipa ob izrednih ali ekstremnih dogodkih.

2. Stihijsko spremenjena raba prostora v obvodnem prostoru

Obvodni prostor in poplavne površine, predvsem na ravninskih območjih, predstavljajo velik razvojni potencial, hkrati pa obsežnejša poplavna območja s svojo zadrževalno sposobnostjo pomembno vplivajo na odtočni režim in poplavno varnost dolvodnih območij pri visokih vodah (v nadaljevanju VV). Zaradi navzkrižnih interesov pri prostorskem načrtovanju, umeščanju objektov v prostor oziroma določanju daljnoročne namembnosti rabe in varovanja značilnosti prostora oziroma okolja, je premišljena strategija razvoja prostora in posegov v vode nujno potrebna. Bistvena naloga pri tem je, kako z ustrezno rabo prostora ohranjati (s projekti zagotovljene) odtočne razmere na samem obravnavanem območju in s tem ne poslabšati razmer tudi na območjih dolvodno. »Zamrznitev« stanja na vplivnem območju pa je težavna, saj je dogajanje v prostoru vedno dinamično in je treba preverjati njihove morebitne negativne vplive. S predpisi [Vlada RS, 2008] so, v skladu s Poplavno direktivo, omejeni posegi na območju poplavne nevarnosti, kljub temu pa se lahko pojavijo različne spremembe v prostoru.

Na območju obsežnih retenzijskih površin Krško-Brežiškega polja je v zaključni fazi umeščanje v prostor HE Brežice, tj. vodna infrastruktura, ki zajema daljši odsek vodotoka in pomembno spreminja odtočni režim in poplavno nevarnost v vplivnem območju. Z izbranimi indikatorji, kot so potovalni čas konice poplavnih valov skozi obravnavan odsek, znižanje konice poplavnega vala v izhodnem prerezu, obseg površin poplavljenih območij, hitrosti in globine vode v retenziji itd., je mogoče nazorno pokazati hidravlični odziv na procese sprememb v prostoru. V nadaljevanju si oglejmo vpliv spreminjanja zaraščenosti obvodnega prostora, zaradi »nenamernih« antropogenih vplivov – npr. ko bi se zaradi opuščanja kmetijske dejavnosti prostor zaraščal ipd.

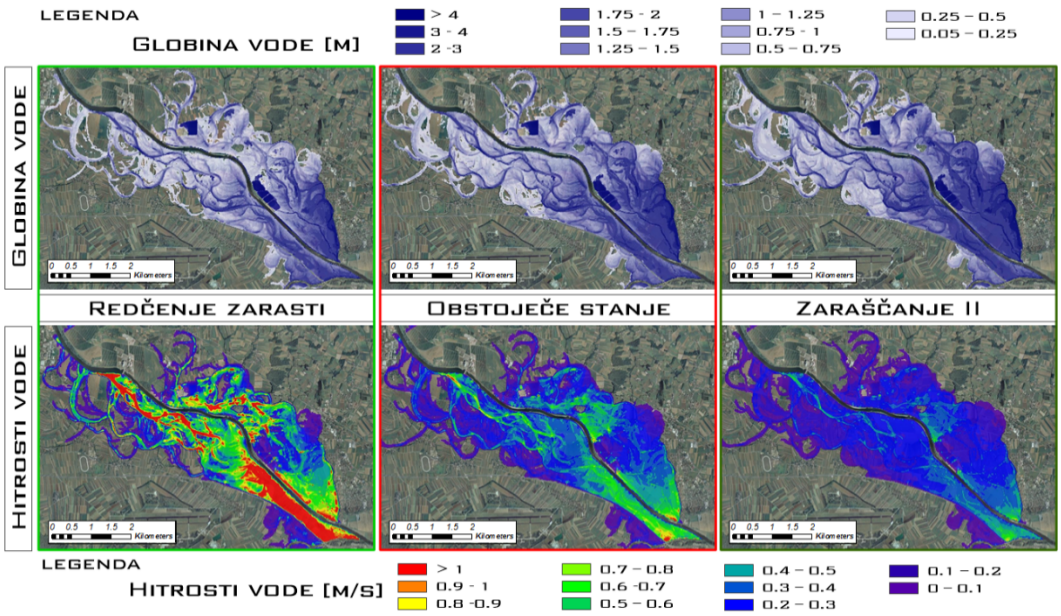
Na spodnji sliki so prikazani štirje različni scenariji zaraščanja oz. ogoljevanja površin, ko bi se na območju dosega stoletne visoke vode spreminjalo razmerje med gozdnimi in kmetijskimi površinami. Porazdelitev takšne rabe je v veliki meri vezana na parcelne meje, zato smo pri postopnem spreminjanju rabe upoštevali tudi povezanost s sosednjimi parcelami.



Slika 1: Različna razmerja površin posamezne rabe prostora, ki so bili upoštevani v izračunih.

Pri izdelavi KRPN se za dogodke s 100-letno povratno dobo poleg dosega vode upošteva tudi porazdelitev globine in hitrosti v poplavljenem prostoru. Podatek o globini in hitrosti vode je ključen za določanje stopnje intenzitete dogodka, saj gibalna količina (oz. sila) vode neposredno ogroža neodporne (ranljive) ljudi in objekte. Posamezni objekt je na primer odporen na obremenitve do določene globine preplavitve in neke hitrosti vode, pri višjih vodostajih oziroma hitrostih pa so že lahko bodisi ogrožena človeška življenja ali stabilnost objekta. S spreminjanjem deleža površin posamezne rabe prostora se pokaže hidravlični odziv poplavljenega prostora, v obliki spreminjanja obsega poplav in prostorske razporeditve poplavljenih območij ter s tem vsebin v KRPN [Šantl in Rak, 2010], določenih po kriterijih iz predpisa [MOP, 2007]. Ker je raba prostora s predpisom [Vlada RS, 2008] le delno omejevana, saj ureja le posege v prostor v skladu z enotno klasifikacijo vrst objektov (CC-SI) in 5 vrst dejavnosti, ki se morebiti v njih izvajajo. Vendar pa je za uporabnike prostora pomemben tudi podatek o spreminjanju poplavne nevarnosti glede na VSE spremembe rabe (npr. zarasčanje) prostora na celotnem vplivnem območju.

Pri prikazanih 4 scenarijih se pozitiven vpliv povečanja z gozdom poraščenih površin retenzije kaže pri določanju stopnje nevarnosti po 2. kriteriju (sila vodnega toka), saj se s povečanjem hrapavosti izrazito hitro zmanjša delež površin s hitrostmi vode nad 1 m/s, kjer veljajo strožje omejitve po uredbi. Treba pa je upoštevati, da je na ravninskih odsekih vodotokov, kjer se pojavlja poplavljanje, navadno prevladujoč 1. kriterij (globine vode). S povečanjem kmetijskih površin oz. površin z manjšo hrapavostjo se povečujejo hitrosti vodnega toka, obseg poplavljenosti znotraj območja pa se zmanjšuje. Prav tako se zvišuje konica, potovalni čas VV vala preko območja se skrajšuje in tudi ostali analizirani parametri se obnašajo nasprotno kot pri povečanju gozdnih površin. Tako absolutne kot tudi relativne spremembe vrednosti parametrov se zmanjšujejo z višanjem konic poplavnih valov in dolžino trajanja poplavnega vala, ko je presežena pretočna sposobnost osnovne struge vodotoka [Rak, 2013]. Spremembe prostorske prerazporeditve pri poljih globin in hitrosti pri različnih spremembah prostora so razvidne iz slike 3.



Slika 2: Primerjava prostorske razporeditve globin in hitrosti pri različni rabi prostora.

S spremenjeno rabo prostora se poleg na odtočne razmere znotraj območja vpliva tudi na višino konice in potovalni čas vala ter posledično na poplavno varnost dolvodnih območij. Z redčenjem gozdnih in povečanjem kmetijskih površin se sicer vpliva na povečanje odliva v retenzijo. Vendar pa so pri majhni hrapavosti retenzije hitrosti vode po vzporednih tokovih v retenziji velike, tj. reda velikosti hitrosti v strugi, zaradi česar ne prihaja do znatnega zadrževanja vodne mase, sovpadanje valov po strugi in retenziji pa je za znižanje konice poplavnega vala neugodno. Z večanjem zaraščenosti retenzije je tok vode po retenziji vse počasnejši, zaradi česar se voda iz retenzije v strugo vrača v kasnejši fazi hidrograma in manj prispeva h konici v izhodnem prerezu. Podaljšanje potovalnega časa konice preko obravnavanih vrst retenzije za dolvodna območja podaljšuje razpoložljivi čas za pripravo protipoplavnih ukrepov in omilitev negativnih posledic visokovodnih dogodkov, znižanje konice pa vpliva tudi na zmanjšanje intenzitete visokovodnega dogodka [Rak in sod., 2016]. Povečana zaraščenost retenzije zmanjšuje torej tudi hitrosti vodnega toka in s tem povezano nevarnost erozije. Odzivi različnih parametrov, ki kažejo tako spreminjanje poplavne varnosti znotraj območja, kakor tudi na območjih dolvodno, so prikazani v tabeli 1.

Tabela 1: Spreminjanje analiziranih parametrov v procesu povečevanja oz. zmanjševanja deleža kmetijskih površin glede na obstoječe stanje (ozek VV val Q_{100} s konico 3750 m^3/s).

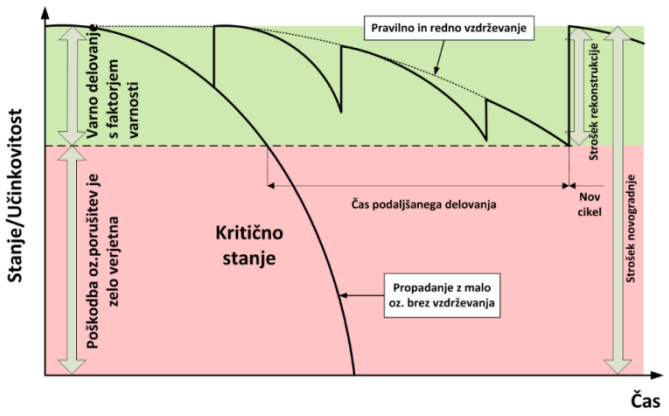
	VV val Q_{100}=3750m³/s					
	100 % kmetijske površine	*Redčenje zarasti in gozdnih površin I*	*Stanje upoštevano pri načrtovanju*	*Povečanje gozdnih površin I*	*Povečanje gozdnih površin II*	*100 % poraslost z gozdom*
Znižanje konice VV vala	*- 13.7 %*	*- 2.9 %*	***128 m³/s***	*+ 11.3 %*	*+ 36.1 %*	*+ 63.0 %*
Potovalni čas	*- 7.1 %*	*- 3.6 %*	***280 min***	*+ 3.6 %*	*+ 10.7 %*	*+ 10.7 %*
Površina poplavljenih območij	*- 6.8 %*	*- 5.7 %*	***19.1 km²***	*+ 1.6 %*	*+ 2.2 %*	*+ 4.5 %*
Površine z globino vode < 0.5 m	*+ 11.2 %*	*+ 2.5 %*	***4.5 km²***	*- 5.0 %*	*- 18.1 %*	*- 18.9 %*
Površine z globino vode 0.5 - 1.5 m	*- 7.7 %*	*- 7.5 %*	***7.8 km²***	*+ 1.9 %*	*- 3.3 %*	*- 3.9 %*
Površine z globino vode > 1.5 m	*- 17.9 %*	*- 9.1 %*	***6.8 km²***	*+ 5.7 %*	*+ 22.1 %*	*+ 29.7 %*

Površine s hitrostjo vode > 1 m/s	*+ 127.0 %*	*+ 118.9 %*	***0.6 km²***	*- 11.3 %*	*- 70.3 %*	*- 99.3 %*
Povprečna globina vode	*- 12.8 %*	*- 6.7 %*	***1.5 m***	*+ 4.0 %*	*+ 14.0 %*	*+ 19.6 %*
Povprečna hitrost vode	*+ 16.9 %*	*+ 9.6 %*	***0.4 m/s***	*- 8.8 %*	*- 27.3 %*	*- 38.5 %*

Prikazani vplivi se pojavljajo že pri spreminjanju zaraščenosti prostora, zato se namenski posegi v prostor obravnavajo posebej. Odločitev, ali dati prednost dolvodnim območjem ali v čim večji meri upoštevati uporabnike retenzije ali iskati kompromis, je zahtevna naloga »skrbnikov prostora«. Če so pri umeščanju posegov v prostor še jasne naloge in pristojnosti, pa je vprašanje, kdo bo dolgoročno skrbel za ohranjanje zadrževalne sposobnosti prostora. »Zamrznitev stanja«, tj. rabe oz. zaraščenosti, kot je bila upoštevana pri umeščanju v prostor (oz. pri izdaji Gradbenega dovoljenja), najbrž ni možna, saj življenje teče dalje. Po fazi umeščanja objekta v prostor torej ostane še zelo zahtevna naloga – z načrtovanjem oz. nadzorom rabe prostora na retenzijskih območjih je treba v celotni dobi delovanja objektov (npr. nasipov ob Savi) zagotavljati ustrezno zadrževalno sposobnost retenzijskega prostora. Šele to daje zagotovilo, da se razmere ob visokih vodah ne poslabšujejo niti uporabnikom na retenzijskem območju niti dolvodnim uporabnikom prostora.

3. Poplave zaradi porušitve protipoplavnih ukrepov (PPU)

Ko so PPU izvedeni, uporabniki prostora pričakujejo, da sta njihovo vzdrževanje in način obratovanja takšna, da zagotavljata delovanje v skladu s projekti oziroma dovoljenji v celotni življenjski dobi. Kot kaže spodnja slika, pa se učinkovitost s časom zmanjšuje zaradi staranja PPU in drugih procesov (konsolidacija zemljin ipd.). Brez vzdrževanja PPU hitro izgubljajo učinek varnostnega nadvišanja (glej DIN 31054, 2003) in s tem preidejo v območje, kjer je verjetnost poškodb in porušitve velika.

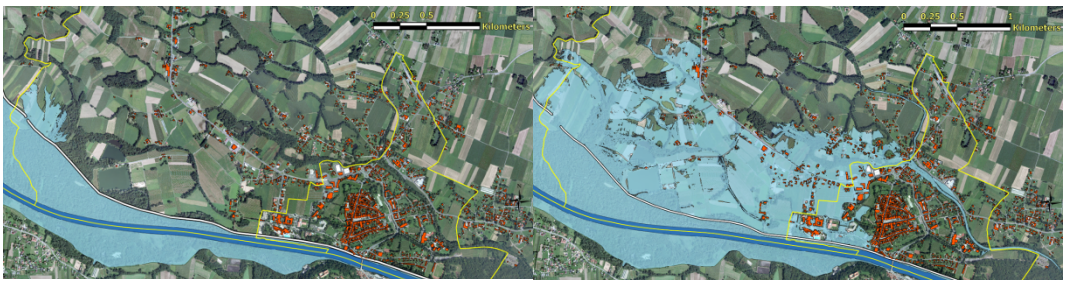


Slika 3: Spreminjanje učinkovitosti PPU glede na njihovo stanje oz. obseg vzdrževanja. (Romang, 2007).

Prikazano je tudi, da redno vzdrževanje ohranja funkcije PPU v daljšem časovnem obdobju, seveda pa procesov staranja ne more ustaviti in je kasneje potrebna rekonstrukcija oz. novogradnja po pravilih vsakokratnega stanja tehnike, primerov dobre prakse idr. Dobro gospodarjenje terja tudi dobro odločanje – ali v krajših časovnih obdobjih obnavljati poškodovane/porušene PPU ali pa z rednim vzdrževanjem čim dlje ohranjati njihove funkcije.

Pri protipoplavnih nasipih lahko ugotovimo, da se po izgradnji objekti posedajo, odvisno od vgrajene zemljine in heterogene nosilnosti terena, zato je treba občasno nadvišati nasipe na projektirano višino in preveriti/izboljšati njihovo stabilnost (nevarnost drsin?), da se funkcija takšnih protipoplavnih ukrepov ohranja. V obdobju med dvema posegoma se že lahko pojavijo kritični odseki, kjer so posedki lokalno večji, zato tam grozi pričetek prelivanja nasipov. Pri načrtovanju PPU se največkrat upoštevajo le običajne razmere (zajete s projektnimi pretoki), čeprav bi bilo treba analizirati še izredne dogodke (zamašitev

premostitev, vpliv dotekajočih hudournikov oz. zdrs plazov v strugo) ter izjemne (ekstremne) dogodke. Med izredne dogodke lahko štejemo tudi preboj ali porušitev dela PPU, ki bi sicer, ustrezno zgrajeni in vzdrževani, morali projektne obremenitve prestati brez problemov. Na šibki točki PPU lahko pride do ti. »hipne porušitve«, npr. dela varovalnega zidu ali do »postopne rušitve«, ko se pri prelivanju protipoplavnega nasipa, zaradi globinske in bočne erozije s časom povečuje dimenzija preboja. Tako na poplavljeno območje doteka vse večja količina vode in postopoma prodira na območja, ki so po KRPN obravnavana kot poplavno varna, pri tem pa prihaja do poplavljanja poseljenih območij, infrastrukture itd. Do prelivanja PPU pa lahko prihaja tudi v primeru izjemnih dogodkov, torej pri pojavu visokih pretokov, ki presegajo projektni pretok. PPU pomembnejših območij so dimenzionirani na pretok Q_{100} z varnostnim nadvišanjem. V primeru nastopa pretokov, kjer vodostaji presegajo niveleto izvedenih ureditev govorimo o nastopu »višje sile«. Analiza takih scenarijev je lahko namenjena tako pripravi smernic, omejitev, pogojev in prepovedi pri načrtovanju prostora, kakor tudi pri načrtovanju usklajenega delovanje služb za zaščito in reševanje v času takšnih dogodkov. Za pripravo scenarijev poplavljanja pa je treba pri porušitvi ali poškodbi nasipa analizirati še kritični kraj porušitve, časovni potek odnašanja zemljine in s tem večanja odprtine skozi katero vdira voda, končno širino porušenega odseka nasipa in pričetek rušenja nasipa (glede na potek poplavnega vala). Karti poplavne nevarnosti zaradi porušitve protipoplavnih nasipov na sliki 4 prikazujejo širjenje poplavnega vala za izbrano časovno dinamiko večanja odprtine v nasipu - prikazani sta stanji poplavljenosti po prvi uri in po 10. uri od pričetka preboja nasipa.



Slika 4: Širjenje odprtine v nasipu s časom in napredovanje iztekajoče vode po prvi uri od preboja nasipa (levo) in stanje po desetih urah (desno).

4. Zaključki

V prispevku prikazana primera kažeta le nekaj možnih vplivov antropogenih dejavnosti, ki pomembno vplivajo na poplavno nevarnost, jih je pa mogoče predhodno predvideti, njihov vpliv pa analizirati s hidravličnimi analizami odtočnih razmer v vodotokih in na obvodnem prostoru. Z njimi bi bilo mogoče izboljšati tako Načrte zaščite in reševanja kakor tudi pripravo konkretnih rešitev oziroma smernic, ki jih bo mogoče upoštevati pri prostorskem razvoju na območjih in iskanju primernih rešitev za dosego ciljev, ki bodo določeni v strategiji prostorskega razvoja poplavnih območij. S pripravo takšnih strokovnih podlag je mogoče uveljavljati zadržke pri posegih v prostor, ki bi oteževali ali pa celo onemogočali ukrepe zaščite in reševanja, pa tudi preprečevati prevzemanje prekomernega tveganja. Prav tako je pri načrtovanju rabe prostora treba upoštevati znanje in izkušnje, ki kažejo, da se po izgradnji objektov lahko pomembno spreminja raba prostora, kar vpliva na doseganje ciljev izvedenih protipoplavnih ukrepov. Zmanjšana poplavna nevarnost namreč »privabi« intenzivnejšo rabo prostora, s tem pa narašča škodni potencial ob nastopu poplav. Od izgradnje objektov do spremembe/razgradnje teh ureditev je treba zato spremljati, po potrebi pa tudi omejevati neprimerne rabe prostora na vplivnem območju v celotni življenjski dobi delovanja objektov, da ne bi voda pokazala svoje moči. Načrt učinkovitega in celovitega trajnostnega razvoja

prostora pa mora nedvomno vsebovati tudi sistematično obvladovanje poplavne nevarnosti ogroženih območij, upoštevaje tako časovno kot prostorsko dinamiko.

5. Viri

Loat, R. 2003. Risk management in Switzerland. Biel.

Ministrstvo za okolje in prostor, Pravilnik 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. list RS št. 60/2007, 2007

Rak, G. 2013. Hidravlična analiza vpliva rabe prostora na poplavnih območjih na potovanje poplavnih valov, magistrsko delo, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Rak, G., Kozelj, D., Steinman, F. 2016. The impact of floodplain land use on flood wave propagation. Natural hazards 83; 1: 425-443.

Rak, G., Steinman, F. 2014. Kaj se zgodi ko ppu odpovedo – Poplavni scenariji v Gornji Radgoni. 25. Mišičev vodarski dan: 83-90.

Rak, G., Slokar, M., Steinman, F. 2014. Slovensko – avstrijsko sodelovanje pri poplavah zaradi porušitve protipoplavnih ukrepov na območju Gornje Radgone in Bad Radkersburga. Ujma: 245-254.

Rak, G., Müller, M., Kompare, K., Steinman, F. 2014. Vpliv zaraščenosti poplavnih površin na potovanje poplavnih valov. Gradbeni vestnik, 2-12.

Steinman F., Mueller M., Kozelj D., Rak G., Analiza poplavljanja mejne Mure/Abflussuntersuchung der Grenzmur. UL FGG, VGI. May 2012, EU project DRA-MUR-CI SI-AT 2007-2013.

Šantl S., Rak, G. 2010. Analiza poplavne nevarnosti in odtočnega režima – uporaba različnih tipov hidravličnih modelov, Gradbeni vestnik, Ljubljana, 147–156.

Vlada RS. 2008. Uredba 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.list RS št. 89/2008.

ČEZMEJNI PROJEKT FRISCO1

Bojan Jakopič, univ.dipl.inž.vod. in kom.inž., Špela Petelin, univ. dipl. inž. grad., Tomaž Grilj, univ. dipl. ing. geod.

Ministrstvo za okolje in prostor, Dunajska cesta 48, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Projekt FRISCO1 (Čezmejno usklajeno SI-HR zmanjševanje poplavne ogroženosti, ne-gradbeni ukrepi) je skupni slovensko hrvaški projekt Programa INTERREG V-A (2014 – 2020). V sklopu projekta sodeluje pet slovenskih in trije hrvaški partnerji. Namen prve faze projekta je zmanjševanje poplavne ogroženosti na šestih porečjih čezmejnih rek (del porečja Mure in Drave in na porečjih Sotle, Kolpe, Bregane in Dragonje) z izvedbo ne-gradbenih ukrepov. Omenjeni ukrepi obsegajo zbiranje obstoječih podatkov (študije, rečni profili, ipd.) in zajemanje novih (rečni profili, itd.), izboljšanje modelov za napovedovanje povečane stopnje vremenskih ogroženosti, hidrološko hidravlično modeliranje in kartiranje poplavne nevarnosti in ogroženosti, postavitev novih alarmnih siren na ogroženih območjih ter ozaveščanje javnosti o poplavni ogroženosti. V sklopu ozaveščanja javnosti o poplavni ogroženosti, bo na slovenski in hrvaški strani obravnavanih rek organiziranih štiriindvajset delavnic. Med aktivnosti projekta sodita tudi priprava celovite študije na ravni porečij in priprava dokumentacije za izvedbo gradbenih ukrepov za zmanjševanje poplavne ogroženosti. Namen celovitih študij je identifikacija razlivih površin izven poselitev, možnosti njihove ohranitve ali ponovne povezave z reko ter identifikacija optimalnih gradbenih ukrepov za dolgoročno zmanjševanje poplavne ogroženosti. V ospredju je vzpostavljanje zelene infrastrukture.

V sklopu projekta FRISCO1 je predvidena tudi priprava vse potrebne dokumentacije za začetek izvajanja druge faze projekta, tj. FRISCO2. Ta predvideva izvedbo gradbenih ukrepov. Priprave za drugo fazo projekta so že v teku, prvi pilotni projekt pa se bodo začeli izvajati v sredini leta 2017.

Ključne besede:

Poplave, ogroženost, nevarnost, napovedovanje poplav, poplavne karte, alarmiranje, ozaveščanje

1. Uvod

Reševanje problematike poplavne ogroženosti zahteva celostni pristop kar v okvirih reševanja problematike poplavne ogroženosti v prvi fazi pomeni, da je potrebno ukrepe, ki vplivajo na spreminjanje poplavne nevarnosti obravnavati na ustreznem vodozbirnem območju vodotoka. Vodozbirna območja vodotokov na obmejnih območjih večinoma niso skladna z antropogenimi delitvami državnih meja, zato se aktivnosti na le teh po navadi izvajajo v dveh ali več državah. V tovrstnih primerih je treba pri izvajanju gradbenih protipoplavnih ukrepov paziti, da se z nepremišljenim rešitvami v eni državi ne poslabšuje stanje v sosednjih državah. Program INTERREG V-A je primeren za iskanje tovrstnih skupnih rešitev, zato sta Hrvatske vode in Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije pripravila skupni projekt »Čezmejno usklajeno SI-HR zmanjševanje poplavne ogroženosti«« s kratkim imenom

»FRISCO«. Projekt je tematsko razdeljen na dva dela, na ne-gradbeni del poimenovan FRISCO1 in gradbeni del poimenovan FRISCO2. .

Ne-gradbeni ukrepi so kartiranje poplavne nevarnosti in ogroženosti, izboljšanje modelov za napovedovanje izrednih hidroloških dogodkov in postavitev novih opozorilnih sistemov ali njihovo izboljšanje. Vendar pa projekt FRISCO1 ni bil zasnovan le kot projekt v sklopu katerega se bo izvedlo ne-gradbene ukrepe. Je hkrati tudi strokovna podlaga in orodje za odločanje glede optimalnih gradbenih protipoplavnih ukrepov, za katere se bo pripravila vsa tehnična in upravna dokumentacija. Gradbeni ukrepi se bodo izvajali v drugem delu projekta (FRISCO2).

V sklopu projekta FRISCO1 so predvidene aktivnosti za zmanjšanje poplavne ogroženosti na šestih porečjih, Mura, Drava, Sotla, Bregana, Kolpa in Dragonja. Gradbeni protipoplavni ukrepi so predvideni na štirih, Mura, Drava, Sotla in Kolpa. V kolikšni meri bodo ne-gradbeni ukrepi vplivali na zmanjšanje poplavne ogroženosti je sicer težko kvantificirati, a so ključnega pomena predvsem v času pred poplavami.

1. Splošno o projektu

Projekt FRISCO1 se izvaja v okviru Programa sodelovanja INTERREG V-A Slovenija – Hrvaška in sodi v prednostno os »Celostno obvladovanje poplavne ogroženosti v čezmejnih porečjih«. Primarni cilj projekta je zmanjšanje poplavne ogroženosti na ciljnih čezmejnih porečjih z izvedbo tako ne-gradbenih kot gradbenih protipoplavnih ukrepov. V projektu sodeluje skupno osem partnerjev, trije iz Hrvaške ter pet iz Slovenije. Vodilni partner so Hrvatske vode (HR), ostali partnerji so RS Ministrstvo za okolje in prostor (SI), Agencija RS za okolje (SI), Direkcija RS za vode (SI), Uprava RS za zaščito in reševanje (SI), Inštitut za hidravlične raziskave (SI), Državni hidrometeorološki zavod (HR) in Državna uprava za zaštitu i spašavanje (HR). Vzdolž slovensko-hrvaške meje predstavljajo poplave nevarnost s čezmejnimi učinki in zahtevajo celostno ukrepanje. V okviru programov teritorialnega sodelovanja se je ponudila priložnost za skupno reševanje poplavne problematike. Projekt FRISCO1 zaznamuje celovitost v prostorskem smislu (zajeta so porečja vzdolž slovensko-hrvaške meje) in v smislu nabora ukrepov (zajeti so vsi glavni ne-gradbeni ukrepi s področij pripravljenosti, preprečevanja in odziva na poplave). Celotna vrednost projekta je 4,07 milijonov EUR, 3,46 milijonov EUR pa znaša prispevek Evropskega sklada za regionalni razvoj (85 % sofinanciranje). Za izvedbo druge faze projekta, je za gradbene ukrepe v drugi fazi predvidenih še cca. 8 milijonov EUR.

Sam projekt je razdeljen na deset delovnih paketov:

- Vodenje projekta (WP M)
- Aktivnosti vezane na porečje Kolpe (WP 1)
- Aktivnosti vezane na porečje Sotle (WP 2)
- Aktivnosti vezane na del porečja Drave (WP 3)
- Aktivnosti vezane na del porečja Mure (WP 4)
- Aktivnosti vezane na povodje Dragonje (WP 5)
- Aktivnosti vezane na porečje Bregane (WP 6)
- Postavitev alarmnih siren za signaliziranje v primerih naravnih nesreč (WP 7)

- Ozaveščanje javnosti o poplavni ogroženosti (WP 8)
- Komunikacija z deležniki in promocija projekta (WP C)

Aktivnosti v dveh standardnih paketih WP M in WP C so namenjene vodenju projekta, komunikacijskim aktivnostim in promociji projekta. Čeprav tovrstni projekti (čezmejni projekti v sklopu programa Interreg) omogočajo usklajeno reševanje problemov v čezmejnih porečjih, se zaradi institucionalnih razlik pojavljajo dodatni izzivi, ki jih je treba premagati. Njihovo premagovanje je tako hkrati dober temelj za izboljšanje sodelovanja tako danes kot tudi v prihodnosti.

2. Aktivnosti na šestih ciljnih porečjih

Na šestih porečjih, Mure, Drave, Sotle, Bregane, Kolpe in Dragonje so predvidene naslednje aktivnosti:.

- Pridobivanje podatkov in vzpostavitev podatkovne baze
- Celovite študije porečji
- Hidrološko-hidravlično modeliranje
- Modeli za napovedovanje poplav
- Kartiranje poplavne nevarnosti
- Kartiranje poplavne ogroženosti

Dokumentacija za izbrane gradbene protipoplavne ukrepe se bo izdelala le na štirih od šestih porečjih, Mura, Drava, Kolpa in Sotla.

2.1 Podatki in podatkovna baza FRISCO1

V enotno podatkovno bazo bodo zbrani najprej vsi obstoječi topografski, hidrološki, meteorološki in pedološki podatki, podatki o vodni infrastrukturi, prebivalstvu, gospodarstvu, okolju in naravi. To bodo vsi javno dostopni podatki iz že izvedenih gradiv ali meritev. V nadaljevanju se bodo z novimi podatki dopolnile vrzeli oziroma osvežili obstoječi.

Načini zapisa podatkov (formati, struktura) in vsebine podatkovnih baz se med slovenskimi in hrvaškimi institucijami, ki se ukvarjajo s upravljanjem z vodami, razlikujejo. Zato je predvidena tudi združitev vseh podatkov v enotnem podatkovnem modelu. Skupna baza podatkov bo podporno orodje za dobro upravljanje z vodami na obravnavanih porečjih, hkrati pa bodo podatki uporabljeni tudi za izdelovanje hidrološko hidravličnih modelov, prognostičnih modelov za napovedovanje poplav in izdelovanje celovitih študij zmanjševanja poplavne ogroženosti.

Vsi zbrani podatki bodo javno dostopni na spletni strani projekta FRISCO1 (frisco-project.eu) kot digitalni hidrogeografski atlas. ledili bomo konceptu kot sta ga v RS Ministrstvo za okolje in prostor in Agencija RS za okolje že uporabila pri brezplačni distribuciji LIDAR podatkov, ki jih lahko sleherni uporabnik pridobi brezplačno preko svetovnega spleta (LIDAR je dostopen preko Atlasa okolja ali Atlasa voda).

2.2 Celovite študije porečij

Cilj celovitih študij je identifikacija razlivih površin izven poselitev, analiza možnosti njihovega ohranjanja oziroma vzpostavitve povezav z rekami ter identifikacija optimalnih gradbenih protipoplavnih ukrepov za dolgoročno zmanjševanje poplavne ogroženosti. Študija je razdeljena na dve fazi. V prvi se bodo preverile možnosti izvedbe »ukrepov brez obžalovanja« („no-regret measures“). Takšen pristop nam omogoča vključitev gradbenih ukrepov, ki so bili v preteklosti že predlagani kot primeren ukrep, vendar zaradi različnih razlogov niso bili realizirani. Ti ukrepi se bodo hidrološko in hidravlično preverili z uporabo obstoječih modelov. . V drugi fazi bodo predlagane nove gradbene rešitve. Skladno s programskimi

usmeritvami evropske politike zmanjševanja poplavne ogroženosti je treba najprej preveriti možnosti ohranitve obstoječih razlivnih površin in vzpostavitve nekdanjih razlivih površin izven poselitev ter preveriti možnosti izvedbe ukrepov, ki sodijo med ukrepe »zelene infrastrukture«. Tudi te ukrepe se bo hidrološko in hidravlično preverilo.

Izdelale se bodo tudi ocene stroškov in koristi predlaganih ukrepov ter za izbrane ukrepe tudi študija izvedljivosti. Končen produkt bo čezmejno usklajena študija zmanjševanja poplavne ogroženosti na podlagi katere bodo za drugo fazo projekta (FRISCO2) izbrani ter tudi izvedeni optimalni gradbeni protipoplavni ukrepi za dolgoročno zmanjševanje poplavne ogroženosti na štirih izbranih čezmejnih porečjih, Mura, Drava, Sotla in Kolpa.

2.3 Izboljšanje hidrološko hidravličnih modelov z namenom izboljšanja evidenc o poplavni nevarnosti in ogroženosti

Na vseh obravnavanih porečjih se bo izdelalo karte poplavne nevarnosti in ogroženosti. Karte poplavne nevarnosti podajo informacijo o nevarnostnem potencialu glede na izbrane povratne dobe pretokov, medtem ko karte poplavne ogroženosti podajo informacijo o ranljivih elementih v prostoru glede na nevarnostni potencial. Slovenija in Hrvaška uporabljata za izdelavo kart drugačne pristop, zato je cilj projekta tudi razvoj enotne metodologije na tem področju.

Kartiranje poplavne nevarnosti se izvaja na podlagi rezultatov hidrološko hidravličnega modeliranja. Slovenija se je primarno usmerila v kartiranje območij pomembnega vpliva poplav, ki so bila določena kot zaključene prostorske enote na katerih se glede na nevarnostni potencial pričakuje največje škode. Hrvaška je območja pomembnega vpliva poplav agregirala na prostorsko enoto občinskih meja. Glede na omenjeni razliki državi razpolagata z različno stopnjo natančnosti modelov in/ali poplavnimi kartami. Poplavne karte so za RS dostopne na portalu eVode preko pregledovalnika Atlas voda, hrvaške poplavne karte so dostopne na povezavi http://korp.voda.hr/.

2.4 Izboljšanje modelov za napovedovanje poplav

Modeli za napovedovanje poplavnih dogodkov so eden izmed ključnih ne-gradbenih ukrepov s področja obvladovanja poplavne ogroženosti. Slovenija že več let razpolaga s tovrstnim modelom, medtem ko je Hrvaška pričela razvijati tak model šele pred kratkim. Ne glede na stopnjo razvitosti modelov je treba le te stalno izpopolnjevati in nadgrajevati, da je možno boljše in natančno napovedovanje poplavnih dogodkov.

V sklopu projekta je predvidena nadgradnja obstoječih modelov za napovedovanje poplav in izdelava novih kjer je to potrebno. Obstoječe modele se bo nadgradilo tudi z novimi podatki terenskih meritev, s čimer se bo izboljšala njihova natančnost. Na podlagi večletnih izkušenj pri uporabi obstoječih modelov, se je izkazalo, da se morajo dodatno modelirati nekateri deli porečij, ki so relevantni za napovedovanje poplavnih dogodkov.

2.5 Priprava dokumentacije za gradbene ukrepe

Glavni namen projekta FRISCO1 je priprava na projekt FRISCO2, ki predvideva izvedbo gradbenih protipoplavnih ukrepov. Tako se bo v okviru prvega projekta izdelala tudi vsa tehnična in upravna dokumentacija za izvedbo izbranih gradbenih protipoplavnih ukrepov na delu porečja Mure in Drave ter na porečjih Sotle in Kolpe. Skladno s časovnim planom projekta FRISCO je v sredini leta 2017 predvidena priprava in oddaja vloge za prvi pilotni projekt. Za vse ukrepe je predvidenih približno 8 milijonov EUR, izbrani pa bodo na podlagi izsledkov in predlogov celovitih študij porečij.

2.6 Postavitev novih alarmnih siren

Med naravno nesrečo je alarmiranje ogroženih ljudi zelo pomembno, tako z vidika reševanja življenj kot z vidika reševanja premoženja. Tako je v sklopu projekta predvidena postavitev

novih alarmnih siren ali zamenjava zastarelih. Projektni partnerji so že analizirali obstoječe stanje in pripravili predloge za nadgradnjo sistema ozaveščanja v primeru naravnih nesreč. Optimalne lokacije za postavitev novih siren so bile določene na podlagi analiz obstoječega stanja in z upoštevanjem ključnih parametrov, kot so število ogroženih prebivalcev in trenutna pokritost z alarmnimi sirenami. Postavitev novih alarmnih siren se bo predvidoma pričela v letu 2017.

2.7 Ozaveščanje javnosti o poplavni ogroženosti

Namen ozaveščanja javnosti o poplavni ogroženosti je v ljudeh vzpodbuditi glede poplav kritično presojo, spoznavo svojih in tujih dejanj ter mnenj, začutiti odgovornost za neželjene posledice in vzpodbuditi spoznanje kaj pomeni poplavna ogroženost. V projektu se bo z različnimi metodami ljudem predstavilo zaželjeno obnašanje pred poplavo (npr. sledenje prognostičnim napovedim), med poplavo (npr. nespametno ravnaje, ki lahko povzroči smrtne žrtve) in po poplavi (npr. popis in sanacija škode). Izdelali se bodo fizični modeli za simulacijo poplav, erozije, učinkov zadrževalnikov in poselitve na poplavnih površinah.

V sklopu projekta je predvidenih 24 ozaveščevalnih delavnic, ki naj bi pritegnile čim več ljudi. V sklopu delavnic se bodo na slovenski strani tudi postavljale tablice, ki označujejo najvišjo zabeleženo gladino visokih voda na objektih ali kjer je to mogoče. Na hrvaški strani bodo izdelali igrice vezane na tematiko poplav.

Izdelali bomo tudi informacijske brošure, posnel se bo kratek film o poplavah. Vsa gradiva bodo dostopna na spletni strani projekta (www.frisco-project.eu).

3. Zaključek

Projekt FRISCO je zasnovan kot kombinacija ne-gradbenih (FRISCO1) in gradbenih ukrepov (FRISCO2). FRISCO1 se izvaja od aprila 2016, medtem ko je prijava prvega gradbenega pilotnega projekta predvidena v sredini leta 2017.

Končni rezultati projekta FRISCO1 so karte in digitalna baza podatkov o poplavni nevarnosti in ogroženosti in celovite študije zmanjševanja poplavne ogroženosti šestih čezmejih porečji. Institucije, pristojne za upravljanje z vodami bodo te rezultate uporabile za odločitve o ukrepih, prebivalci na teh porečjih pa bodo imeli boljšo informacijo o poplavni nevarnosti in ogroženosti. Hkrati bodo lahko vse javno objavljene podatke uporabili tudi sami.

Izboljšana napoved pojavljanja poplav bo omogočila natančnejšo izdajo opozoril v primerih izrednih vremenskih dogodkov. In s tem ustrezno samozaščito pred poplavami ter zmanjšano materialno škodo. Natančnejša napoved poplav bo omogočila tudi lažje odločanje pristojnih služb za zaščito in reševanje v primeru naravnih nesreč.

S pripravo vse potrebne strokovne, tehnične in upravne dokumentacije v sklopu projekta FRISCO1 za izbrane protipoplavne objekte se bo v nadaljevanju projekta (FRISCO2) izvedlo tudi gradbene protipoplavne ukrepe.

4. Viri

[1] Spletna stran projekta FRISCO1 (www.frisco-project.eu)

STROKOVNE PODLAGE ZA OBRAVNAVO HIDRAVLIČNIH POSLEDIC PORUŠITEV PREGRAD

prof. dr. Rudi Rajar, prof. dr. Matjaž Četina, Andrej Umek

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Čeprav je možnost porušitve pregrad izredno majhna, je za primer takšnega ekstremnega dogodka nujno predvideti zaščito prebivalstva in objektov dolvodno od pregrade. V večini držav obstajajo pravilniki - navodila, ki zakonsko določajo, da je lastnik ali upravljavec pregrade dolžan pripraviti študijo, v kateri je predvsem opisano področje, ki bi bilo v primeru porušitve poplavljeno. Poleg tega tovrstne študije podajajo še druge informacije o porušitvenem valu, kot npr. čas prihoda vala do določene lokacije, lokalne hitrosti toka ipd.

Do leta 1997 smo v Sloveniji uporabljali še navodila iz bivše Jugoslavije, potem pa smo izdali nova navodila za Slovenijo, ki pa nikoli niso bila zakonsko potrjena. V okviru projekta VODPREG2 smo v l. 2016 stara Navodila ("Navodilo za izdelavo ocen ogroženosti zaradi porušitev pregrad") renovirali in jih pripravili kot strokovno podlago za sprejem ustreznih zakonskih aktov pri ministrstvih, odgovornih za področje pregradnega inženirstva. V prispevku bomo kratko predstavili glavne točke Navodil. Rezultati teh Navodil bodo služili Upravi RS za zaščito in reševanje kot osnova za pripravo načrta zaščite in reševanja.

Poleg tega bomo opisali kratko aproksimativno metodo, s katero je možno (tudi na terenu) hitro določiti velikostni razred parametrov porušitvenih valov.

Ključne besede:

valovi po porušitvi pregrad; strokovne podlage; metode izračuna valov po porušitvi pregrad.

1. Nevarnost porušitve pregrad

Čeprav se pregrade gradijo po strogih varnostnih predpisih, določena nevarnost porušitve vedno obstaja, zato je nujno predvideti načrt zaščite in reševanja na področju, ki bi bilo ob primeru porušitve poplavljeno. V preteklosti se je zgodilo že več sto porušitev večjih pregrad, nekaj od teh je imelo katastrofalne posledice.

V osnovi poznamo dve vrsti takih dogodkov: porušitev umetno zgrajenih pregrad in porušitev naravnih pregrad, ki nastanejo zaradi zasutja reke z zemeljskim plazom, ki ga potem voda prelije in erodira.

Tipičen primer porušitve umetne pregrade se je zgodil l. 1959 v južni Franciji: ločna pregrada Malpasset se je porušila skoraj trenutno in v celoti, očitno zaradi napake v temeljenju na levem bregu (Slika 1). Porušitveni val je zahteval okrog 500 smrtnih žrtev v kraju Frejus, ca. 10 km dolvodno od pregrade. Ne tako redko pa se zgodi, da pri nasutih pregradah naravni dotok preseže prelivno sposobnost evakuacijskih organov (čeprav so ti dimenzionirani na desettisočletne pretoke) in voda začne prelivati pregrado, kar nato skoraj vedno rezultira v eroziji pregrade in njeni porušitvi.

Zgodi se pa tudi, navadno ob močnem deževju, da zemeljski plaz zdrsi v reko, ustvari naravno pregrado in zapre pretok. Gladina za pregrado narašča in ko začne voda neutrjeni material

plazu prelivati, ga vedno erodira in se potem razlije po dolini dolvodno. Takih primerov je razmeroma veliko v mladem gorovju, kot so npr. Andi, v manjšem merilu pa se je to zgodilo tudi na potku Lučnica na Štajerskem leta 1990. Dogodek je kratko opisan v poglavju 3.

Slika 1. Porušena pregrada Malpasset v južni Franciji, deset let po porušitvi.

2. Zakonodaja

2.1 Navodila

V vseh razvitih državah imajo pravilnike/navodila, ki obvezujejo lastnike ali uporabnike pregrad, da pripravijo izračun in opis prametrov vala, ki bi nastal ob eventuelni porušitvi, t.im. »porušitveni val« (ICOLD, 2012). Do l. 1996 smo v Sloveniji uprabljali navodila, ki so veljala v Jugoslaviji (Uputstvo, 1975). Ker pa so bila ta navodila v določenih točkah zelo neracionalna, smo leta 1996 sestavili nova navodila (Navodilo, 1996), ki pa niso bila nikoli uradno potrjena. Zato smo v okviru projekta Vodpreg 2, financiranem s strani Ministrstva za obrambo RS, v l. 2016 ta Navodila dopolnili in ažurirali in so pripravljena za uradno potrditev (Lenart in dr., 2016).

Navodila določajo, na kakšen način je treba pripraviti topografske in hidravlične podatke za izračune, določajo predvideni način porušitve za posamezne tipe pregrad, katere računske metode je dovoljeno uporabljati in podajajo detajlni opis, kaj vse mora vsebovati poročilo.

2.2 Način porušitve

Po naših izkušnjah je od vseh podatkov najvažnejše vprašanje načina porušitve pregrade, saj je to navadno težko jasno definirati, pri tem pa različni možni načini porušitve vplivajo na rezultate v bistveno večji meri kot točnost ostalih podatkov in računskih metod. Pri sestavljanju navodil smo pregledali navodila ca. 10 držav in naš predlog je sledeč:

Za ločne pregrade se prepostavlja trenutna in popolna porušitev, to upoštevajo vse države, saj so se taki primeri že zgodili.

Za težnostne betonske pregrade se upošteva delna trenutna porušitev. Obseg porušenega dela določi izdelovalec izračunov skupaj z lastnikom ali upravljavcem pregrade glede na velikost pregrade, topografijo terena in glede na kategorijo pregrade.

Za razčlenjene betonske pregrade se upošteva delna trenutna porušitev nekaterih delov.

Za nasute pregrade (zemeljske, skalometne) se upošteva bodisi postopna porušitev zaradi erozije pri prelivanju, bodisi se predpostavi začetna manjša odprtina na pregradi, dalje pa postopno rušenje zaradi erozije pri prelivanju.

Navodila tudi zahtevajo imenovanje strokovne komisije, ki bo v primeru zelo kompleksnih primerov in velike nevarnosti za prebivalstvo določila način porušitve in tudi nekatere druge parametre.

2.3 Metode izračuna

Pred letom 1980 je bilo za pregrade, kjer bi porušitev povzročila tudi človeške žrtve, obvezno zgraditi fizični (hidravlični) model in na njem določiti parametre porušitvenega vala. Danes so numerični (matematični) modeli že tako zanesljivi, da Navodila dovoljujejo uporabo teh modelov, saj je njihova uporaba veliko bolj ekonomična in hitrejša od fizičnih modelov. Če bi se porušitveni val širil po razmeroma ozki dolini, se lahko uporabi 1-dimenzijski (1D) model, kadar pa bi se val razlival po širokem področju, je nujna uporaba 2-dimenzijskega (2D) modela.

Fizikalni pojav je zelo kompleksen, zato smo v letu 1970 v takratnem Vodogradbenem laboratoriju zgradili fizični model, na katerem smo simulirali popolno in trenutno porušitev ločne pregrade Grančarevo v BiH v merilu 1:400 (slika 2). Istočasno z meritvami na fizičnem modelu smo izdelali 1D numerični model, ki je bil umerjen in kalibriran na osnovi pojava in meritev (Rajar, 1972; Rajar, 1978).

Slika 2. Fizični model akumulacijske jezera za pregrado Grančarevo v BiH in področja do mesta Trebinje za meritve porušitvenega vala.

V letih 1988-1990 smo nato izdelali 2D model, ki lahko bolj točno simulira pojav na razgibanem terenu. V okviru projekta VODPREG 2 smo kot vzorčni primer detajlno izračunali in prikazali hidravlične posledice porušitve pregrade Loče. Računsko področje globinsko povprečnega numeričnega modela je bilo razdeljeno na 305.500 končnih volumnov (celic) (Lenart in dr., 2016).

2.4 Poročilo

V poročilu o hidravličnih posledicah porušitve pregrade mora biti opisano naslednje:

1) Podlage: detajlni geometrijski, strukturni in obratovalni podatki o pregradi, predpostavljeni način porušitve z ustrezno utemeljitvijo, geodetski načrti, na podlagi katerih so bili izdelani izračuni in hidravlični podatki, ki so bili uporabljeni v izračunih.
2) Opis uporabljenih metod: podati je treba kratek opis uporabljene metode in navesti uporabljene vire; podana mora biti ocena točnosti metode in rezultatov.
3) Prikaz rezultatov: rezultati morajo biti v poročilu detajlno prikazani v grafični in tekstovni obliki. Pri obsegu poplavljenega področja morajo biti navedena naselja, deli naselij, važnejši objekti in infrastruktura, ki bi bili poplavljeni. Za te lokacije morajo biti navedene globina, hitrosti in čas poplavljanja po porušitvi ter navedeno trajanje poplavljenosti. Prikazano mora biti tudi, katera kota vode v akumulaciji je še "varna kota", torej ne pomeni bistvene nevarnosti za prebivalce v dolvodnih krajih.
4) Treba je opisati, na kakšen način in v kakšnem času bi se akumulacija v primeru potrebe znižanja gladine izpraznila do varne kote. Pri tem je treba tudi prikazti, kakšen maksimalni pretok je še dopusten, da pri tem niso bistveno ogroženi dolvodni kraji.

3. Aproksimativna metoda za izračun porušitvenega vala

Kot je navedeno v poglavju 2, Navodila zahtevajo izračune parametrov porušitvenega vala po kompleksnih numeričnih metodah, ki rešujejo osnovne enačbe mehanike tekočin po numeričnih metodah v eni ali dveh dimenzijah.

Takšni izračuni zahtevajo veliko časa (najmanj nekaj tednov), da se pripravijo vsi vhodni podatki (npr. točna topografija akumulacijskega prostora in dolvodnega področja, ocena načina možne porušitve, ocena koeficientov hrapavosti itd.), razen tega pa kompleksne računalniške simulacije zahtevajo uporabo zelo zmogljivih računalnikov in računalniški čas, ki je lahko, kljub zmogljivim računalnikom, tudi več dni za en primer izračuna.

Ena od nalog projekta VODPREG 2 je bila zato izdelati poenostavljen računski program za hitro oceno možnih posledic porušitve pregrad. Izdelan je bil računalniški program *PREGPORUS*, ki omogoča zelo hitro preliminarno oceno parametrov porušitve pregrade tudi na terenu s pomočjo prenosnega računalnika ali celo pametnega telefona.

Zavedati se moramo, da je dejanski fizikalni pojav razlivanja vode po porušitvi pregrade po (često dokaj razgibanem) terenu zelo kompleksen, zato so bile pri izdelavi dovolj enostavnih metod potrebne številne poenostavitve in je točnost te metodike reda ca. +/- 50%, torej lahko določimo le red velikosti parametrov porušitvenega vala. Glavni rezultat je po vseh metodah maksimalni pretok, ki bi nastal v odseku dolvodno od pregrade v primeru porušitve (Lenart in dr., 2016).

Pri uporabi te poenostavljene metodike se je treba najprej odločiti, katero od treh spodaj opisanih metod je za določen primer porušitve treba izbrati.

Metoda Rajar

Ta metoda je uporabna v primerih popolne ali večinske porušitve pregrad, kar pomeni, da se poruši več kot ca. 50% pregradnega profila. Torej bi metoda prišla v poštev, kadar bi grozila popolna ali večinska porušitev ločne ali težnostne pregrade (možnost diverzije, miniranja).

Za najbolj karakteristične oblike akumulacijskih bazenov in dolvodnih predelov so bile vnaprej izdelane serije izračunov porušitev (Rajar, 1973). Preko zakonov podobnosti so bili rezultati preračunani in zbrani v nomogramu, v letu 2016 pa so bili nomogrami še digitalizirani (Umek, 2016), tako da je uporaba zelo enostavna in hitra.

Rezultate metode smo primerjali (Preglednica 1) z rezultati numerične metode na primeru delne trenutne porušitve pregrade Vogršček (Umek, 2016). Predpostavljena je bila trapezna porušitvena odprtina: širina odprtine 20 m na koti 72,5 m in širina 70 m na koti 100 m. V preglednici 2 so primerjani rezultati izračuna po obeh metodah.

Preglednica 1: Primerjava izračunanih maksimalnih pretokov Q_m (na mestu pregrade) in vrednosti pretoka Q_x (na razdalji X1=847 m od pregrade) za primer porušitve pregrade Vogršček

	Numerična metoda	Metoda Rajar	Razlika
Qm [m3/s]	17555,5	14533	-17,22%
Qx [m3/s]	10458,7	7267	-30,52%

Metoda preliva

Ta metoda (Lenart in dr., 2016) se uporablja, kadar je odprtina porušitve razmeroma majhna v primerjavi s celotnim profilom doline na mestu pregrade (pod 25 % pregradnega profila). Predpostavlja se, da je porušena odprtina preliv trapezne oblike. Ker je pretok preko tega preliva razmeroma majhen v primerjavo z velikostjo pregrade in volumna akumulacije, bo pretok preko preliva po začetnem zelo hitrem naraščanju ostal dalj časa konstanten.

Rezultate metode smo primerjali (Preglednica 2) z rezultati numerične metode na primeru delne porušitve z malo odprtino pregrad Loče in Vanganel. Predpostavljene so bile trapezne odprtine porušitvenih odprtin h = 8,2 m, b_{sp} = 3 m, b_{zg} = 27,6 m (Loče) in h = 5 m, b_{sp} = 5 m, b_{zg} = 15 m (Vanganel).

Preglednica 2: Primerjava izračunanih maksimalnih pretokov v profilu pregrade za primer porušitve pregrad Loče in Vanganel

	Numerična metoda	Metoda preliva	Razlika
Loče, Qm [m3/s]	800	675	-16%
Vanganel,Qm[m3/s]	164	210	+28%

Statistična Metoda Molinaro

Ta metoda je zasnovana na statistični obdelavi podatkov primerov porušitev nasutih pregrad, ki so se že zgodile v preteklosti (Molinaro, 1990). Gre za primere, kjer so visoke vode začele prelivati naravno ali umetno nasuto pregrado, ki se zaradi prelivanja in erozije dalje postopno ruši. Pretok je na začetku razmeroma majhen, ker pa dolvodna stran nasute pregrade načeloma ni utrjena proti eroziji, jo začne prelivajoča voda erodirati in povečuje odprtino. Pretok se najprej veča z večanjem erodirane odprtine, po določenem času, ko se največji del volumna akumulacije že izlije preko odprtine, pa pretok doseže maksimalno vrednost in začne upadati. Velikost maksimalnega pretoka je odvisna od volumna akumulacije in od višine pregrade, kar je zajeto v statističnih enačbah. Rezultat metode je maksimalni pretok, ki bi nastal po nekem določenem času po začetku prelivanja. Ker pa je material v umetno zgrajenih pregradah drugače utrjen kot v naravnih zasutjih reke z zemeljskimi plazovi, se uporablja dve različni enačbi

Slika 3. Plaz na Lučnici je v sedmih urah predrla voda

Slika 4. Večji del jezera se je do jutra že izpraznil

Rezultate metode smo primerjali (Preglednica 3) z rezultati numeričnih izračunov na realnem primeru analize porušitve naravne pregrade na Lučnici. Tam je zaradi obilnega deževja 1. novembra 1990 v potok zdrsnil plaz, ki je povzročil zajezbo potoka (slika 3) in nastanek akumulacije (slika 4). Po približno 7 urah je voda prelila plaz in povzročila vodni val, ki je poplavil vas Luče. Na osnovi naknadnih meritev robov poplavljenega področja, analize volumna akumulacije in volumna ter sestave plazu in analize dogodka smo lahko ponazorili simulacijo porušitvenega vala (Rajar in Zakrajšek, 1993; 1993a). V izračunu je bila upoštevana višina pregrade 15 m in volumen nastalega jezera 730.000 m^3.

Preglednica 3: Primerjava izračunanih maksimalnih pretokov Q_m za primer prelivanja naravne pregrade na Lučnici

	Numerična metoda	Metoda Molinaro	Razlika
Qm [m3/s]	170 do 290 (dve ocenjeni velikosti zrn materiala)	182	+7 % do -59 %

4. Zaključki

Opisana so pripravljena Navodila za določitev parametrov porušitvenega vala, na podalgi katerih bo lastnik ali upravljavec pregrade obvezan pripraviti detajlno poročilo o obsegu poplave in drugih rezultatih. Na osnovi tega poročila bo Uprava RS za zaščito in reševanje izdelala načrt zaščite in reševanja za primer eventualne porušitve pregrade.

Prikazana je tudi aproksimativna metoda za hitro in enostavno določitev parametrov porušitvenega vala. Na nekaj primerih primerjave rezultatov aproksimativne metode z rezultati numeričnih metod je bilo dokazano, da je metoda uporabna, čeprav zaradi nujnih poenostavitev kompleksnega fizikalnega pojava metoda lahko poda samo red velikosti pretoka dolvodno od pregrade.

5. Viri

ICOLD (International Committee on large Dams), 2012. Report of European Club, Working group on Safety of Existing Dams: Report. Lizbona, Portugalska.

MOLINARO, P., 1990. Statistical methods for the estimate of the peak discharge following the breach of an earth dam. Internal Report ENEL CRIS, Milano, Italija.

NAVODILO, 1996. Navodilo za izdelavo ocen ogroženosti zaradi porušitev pregrad, Osnutek 10. 7. 1996. Ljubljana (izdaja minister za obrambo).

RAJAR, R., 1973. Modelé mathématique et abaques sans dimensions pour la détermination de l' écoulement qui suit la rupture d' un barrage. (Matematični model in brezdimenzijski nomogrami za določitev toka po porušitvi pregrad). XI Congress Int. Commission on Large Dams, Madrid, Q.40, R.34: str. 503-521.

RAJAR, R., ZAKRAJŠEK, M., 1993. Modelling a real case of a landslide-created dam collapse (Modeliranje resničnega primera porušitve naravne pregrade), 25. kongres Medn. društva za hidravlične raziskave (XXV IAHR Congress), Tokio, Japonska, B-4-1, str. 109-116.

RAJAR, R., ZAKRAJŠEK, M., 1993a. Modeliranje poplavnega vala pri prelivanju plazu na Lučnici, UJMA, Ljubljana, št. 7, str. 77-80.

RAJAR, R. 1972. Recherche theorique et experimentale sur la propagation des ondes de rupture de barrage dans une vallee naturelle (Teoretične in eksperimentalne raziskave valov, ki nastanejo pri porušitvi pregrad). Doktorska disertacija, Toulouse, Francija.

RAJAR, R. 1978. Mathematical Simulation of Dam Break Flow (Matematično simuliranje valov po porušitvi pregrade). Proceedings of the American Society of Civil Engineers, J. Hydraulic Division, HY 7.

LENART, S., BRENČIČ, M., ČETINA, M., KUHAR, M., PAPEŽ, J., RAJAR, R., ŠIRCA, A., RAVNIKAR TURK, M., 2016. Zemeljske in betonske vodne pregrade strateškega pomena v RS – VODPREG 2, Končno poročilo, Ljubljana.

UPUTSTVO, 1975. Uputstvo o izradi dokumentacije za oddređivanje posledica usled iznenadnog rušenja ili prelivanja visokih brana. Savezni Komitet za poljoprivredu, Beograd.

UMEK, A., 2016. Uporaba poenostavljenih metod za račun valov vsled porušitev pregrad. Diplomska naloga, UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

PROJEKTNI PRETOKI IN PODNEBNA SPREMENLJIVOST

doc. dr. Mojca Šraj

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Številne raziskave kažejo, da se pogostost in intenziteta ekstremnih hidroloških dogodkov spreminja in se bo verjetno tudi v bližnji prihodnosti. Posledično bi to morali upoštevati tudi v praksi pri določanju projektnih pretokov. V prispevku so predstavljene nove metode določanja projektnih pretokov z upoštevanjem nestacionarnosti podnebja. Pri teh modelih v parametre izbrane teoretične porazdelitve vgradimo trende različnih klimatoloških ali drugih spremenljivk. V prispevku so prikazani rezultati različnih alternativnih metod in primerjava s klasično verjetnostno analizo. Rezultati na primeru obravnavane vodomerne postaje kažejo, da lahko klasična verjetnostna analiza močno podceni projektne pretoke izbrane povratne dobe. Analiza je pokazala, da lahko v določenih primerih pretok s 100-letno povratno dobo z upoštevanjem stacionarnih pogojev postane pretok z 20-letno povratno dobo v primeru nestacionarnih pogojev. Z drugimi besedami, če želimo v omenjenem primeru danes zagotoviti nivo varovanja pred visoko vodo s 100-letno povratno dobo pod nestacionarnimi pogoji, moramo ob upoštevanju stacionarnih pogojev izbrati projektni pretok z 200- ali celo 500-letno povratno dobo.

Ključne besede:

Poplave, projektni pretok, povratna doba, podnebna spemenljivost, nestacionarnost

1. Uvod

Globalna temperatura zraka v zadnjih desetletjih opazno narašča (Easterling et al., 1997; Jones et al., 1999; Pachauri et al. 2014). Posledice se kažejo v spremembi pogostosti in jakosti pojava hidroloških in meteoroloških ekstremov po celem svetu (Groisman et al., 2005; Blöschl in Montanari 2010; Bezak et al., 2015; Šraj et al., 2016a). Se pa te spremembe razlikujejo od regije do regije. Znanstveniki so ugotovili, da so npr. spremembe temperature v evropskih Alpah dvakrat večje od povprečnih globalnih sprememb (Blöschl in Montanari (2010). Podobne pa so tudi ugotovitve za padavine in pretoke. V nekaterih regijah so zaznali naraščajoče, v drugih regijah padajoče trende. Tako so npr. Pachauri et al. (2014) v svoji raziskavi ugotovili, da povprečna letna količina padavin v severni Evropi narašča, medtem ko v južni Evropi pada. Trenda padavin pa ne moremo vedno neposredno povezati s pripadajočim trendom pretokov, saj so ti odvisni tudi od drugih spremenljivk, kot je npr. predhodna namočenost zemljine, razporeditev padavin znotraj padavinskega dogodka (Šraj et al., 2016b) ali npr. urbanizacija (Prosdocimi et al., 2015). Raziskovalci so za nekatere celine (npr. severna in južna Amerika, Azija) ugotovili naraščajoče trende visokih vod, za nekatere druge (npr. Afrika, posamezni deli Evrope) pa padajoče (npr. Labat et al., 2004; Hall et al., 2014). Za Evropo torej ni bil ugotovljen enoznačni trend. Pregled rezultatov različnih raziskav je pokazal padajoči trend visokih voda v zahodnem delu Sredozemlja ter v Severni in Vzhodni Evropi, v preostalih delih pa naraščajočega (Hall et al., 2014). Analiza povprečnih pretokov pa je pokazala padajoči trend v južnem in vzhodnem delu Evrope in v splošnem naraščajočega v preostalih delih Evrope

(Stahl et al., 2010). Tudi za visoke vode v vodotokih Slovenije ni bil zaznan enoznačni naraščajoči ali padajoči trend (Šraj et al., 2016a). Nekatere vodomerne postaje so izkazale naraščajoč trend, nekatere padajočega in druge nobenega statistično značilnega trenda.

Spremembe v pretokih pa imajo seveda vpliv tudi na rezultate verjetnostnih analiz, s katerimi v praksi določamo projektne pretoke. Pri teh analizah je ena od glavnih predpostavk stacionarnost pojava, ki pa je zaradi že omenjenih sprememb visokih vod zelo vprašljiva. Zato se v zadnjih letih razvijajo nove alternativne metode določanja projektnih pretokov z upoštevanjem nestacionarnosti podnebja (Vogel et al., 2011; Salas in Obeysekera, 2014; Šraj et al., 2016b) in antropogenih vplivnih dejavnikov (npr. urbanizacije, sečnje gozdov) Prosdocimi et al., 2015).

Analize za Slovenijo so pokazale, da se število ekstremnih poplavnih dogodkov v zadnjih dveh desetletjih v Sloveniji povečuje (Kobold et al., 2012), zato je natančnost obstoječih metod določanja projektnih pretokov tudi pri nas vprašljiva, saj se je posledično spremenilo tudi poplavno tveganje. Tako v zadnjem obdobju že praktično vsako leto govorimo o 100-letnih poplavah. Dokončnih rešitev, na kakšen način upoštevati omenjene spremembe v hidrološki praksi, tudi v drugih državah še ni, zato je to zagotovo področje, v katerega bo treba v bližnji prihodnosti vložiti več naporov.

V prispevku so predstavljene nekatere alternativne metode določanja projektnih pretokov z upoštevanjem nestacionarnosti podnebja. Pri teh modelih v parametre izbrane teoretične porazdelitve vgradimo trende različnih klimatoloških spremenljivk. Prikazani so rezultati različnih alternativnih metod in primerjava s klasično verjetnostno analizo na primeru vodomerne postaje Kobarid na reki Soči, ki izkazuje statistično značilen naraščajoč trend največjih letnih pretokov.

2. Podatki in metode

V prispevku so uporabljeni podatki o letnih visokovodnih konicah vodomerne postaje Kobarid na reki Soči (ARSO, 2015), ki je ena od postaj, ki je že v preteklih raziskavah izkazala statistično značilen naraščajoč trend visokih vod (Menih, 2014; Šraj et al., 2016a). Za Sočo pri Kobaridu je značilen alpski snežno-dežni režim, kjer glavni pretočni višek zaradi taljenja snega nastopi pozno pomladi in drugi v jeseni kot posledica obilnih padavin. Prispevna površina porečja znaša 437 km^2. V analizah je bilo obravnavano obdobje 65-ih let (1949-2013). Padavine so bile privzete s padavinske postaje Soča za isto obravnavano obdobje. Povprečna letna količina padavin te postaje za obravnavano obdobje znaša 2452 mm.

Pri ugotavljanju nestacionarnosti je prvi korak analiza trendov. Eden najpogosteje uporabljenih testov za zaznavanje časovnega trenda je Mann-Kendallov (MK) neparametrični test. Rezultat MK testne statistike (*tau*) opisuje moč trenda in njegovo naraščanje ali padanje. V raziskavi smo statistično značilnost določali z mejo zaupanja 0.05. Statistično značilnost linearnega trenda med visokovodnimi konicami in padavinami pa smo ugotavljali s pomočjo t-testa. Tudi pri tem testu je bila izbrana meja zaupanja 0.05.

Za verjetnostne analize je bila uporabljena generalizirana porazdelitev ekstremnih vrednosti (GEV), ki je najpogosteje uporabljena porazdelitev za analize nestacionarnosti velikih pretokov, saj je fleksibilna v smislu vgraditve trendov v parametre porazdelitve. Porazdelitvena funkcija GEV modela je definirana kot (Guilleland and Katz, 2011):

$$F(x;\mu,\propto,\kappa) = exp\left\{-\left[1-\kappa\frac{(x-\mu)}{\alpha}\right]^{\frac{1}{\kappa}}\right\},\ \kappa \neq 0, \quad (1)$$

Kjer so $\mu, \propto, \kappa$ parametri porazdelitve. Ocene parametrov porazdelitev so bile narejene po metodi največjega verjetja (MLE) (Šraj et al., 2013; Salas in Obeysekera, 2014).

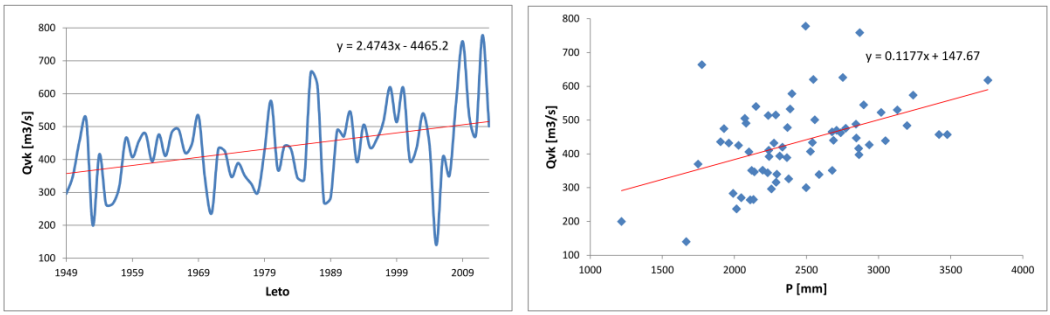
V prispevku smo primerjali rezultate verjetnostnih analiz (ocenjene pretoke izbrane povratne dobe) klasičnega stacionarnega modela (S) in treh različnih nestacionarnih modelov z

upoštevanjem nestacionarnosti v enem ali dveh parametrih porazdelitve. Pri prvem nestacionarnem modelu (NS1) smo vgradili časovni trend spreminjanja pretokov v lokacijski parameter μ, pri drugem nestacionarnem modelu (NS2) smo vgradili časovni trend hkrati v lokacijski parameter μ in parameter $\propto$, ki opisuje razpršenost podatkov, pri tretjem nestacionarnem modelu (NS3) pa smo predpostavili, da je lokacijski parameter odvisen od količine padavin in ne od časa.

Za izbiro najboljšega modela je bil v raziskavi uporabljen kriterij AIC (Akaike Information Criterion), ki se pogosto uporablja v primerih, ko parametre porazdelitev določamo z metodo največjega verjetja (MLE) (Salas in Obeysekera, 2014; Bezak et al., 2016). Manjša vrednost AIC pomeni boljše obnašanje modela.

3. Rezultati in razprava

Rezultati MK testa so pokazali statistično značilen naraščajoč trend največjih letnih visokovodnih konic Qvk Soče v Kobaridu v obdobju 1949-2013 (tau = 0.26, p <<0.01) (slika 1). Prav tako je analiza s pomočjo t-testa pokazala močno statistično značilno odvisnost visokovodnih konic od padavin (p<<0.01), kar smo pričakovali, saj so visokovodne konice, sploh v zadnjem obdobju, največkrat posledica obilnejših padavin (slika 1).



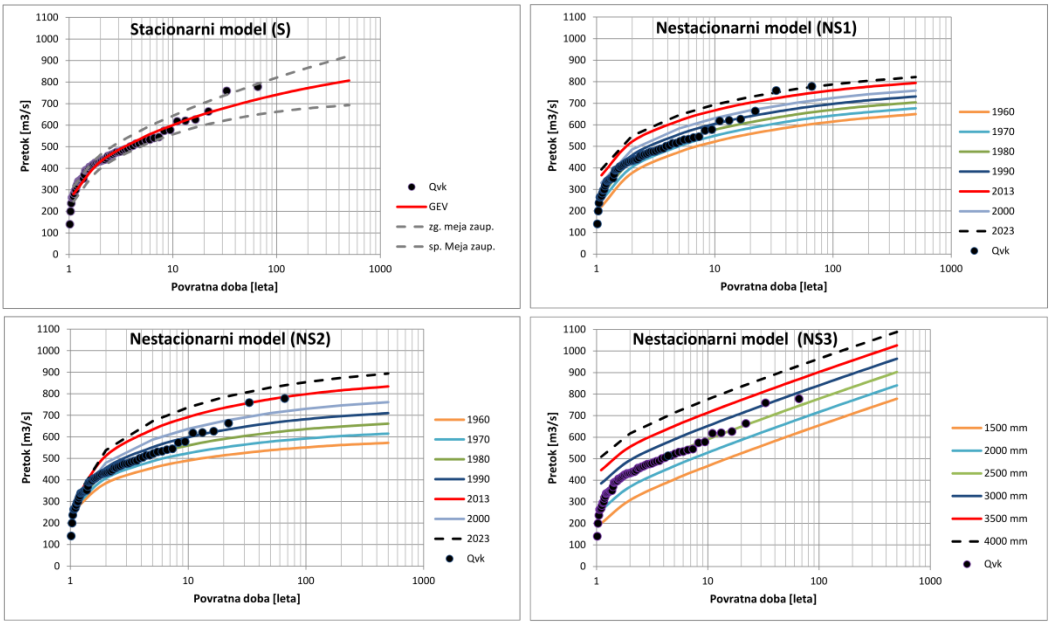
Slika 1 Časovni trend največjih letnih konic za vodomerno postajo Kobarid na reki Soči (levo) in odvisnost največjih letnih konic od padavin (desno)

Je pa nadaljnja podrobnejša analiza pokazala, da tri največje visokovodne konice pripadajo bolj ali manj povprečnim letnim padavinam (slika 1). V letu 2012, ko se je zgodila največja visokovodna konica (778 m^3/s), je letna količina padavin znašala 2493 mm, kar je praktično enako povprečnim letnim padavinam. Omenjena visokovodna konica je bila posledica velike količine padavin v začetku novembra, ki so padle na predhodno zelo namočena tla, saj je en teden pred tem močan dež povzročil poplave s 50-letno povratno dobo (ARSO, 2012). V istem letu pa je bila pred tem huda suša, ki se je začela že konec leta 2011, kar je posledično vplivalo na to, da je bila v celotnem letu 2012 količina padavin zelo povprečna. Drugi največji dogodek (759 m^3/s) se je zgodil v letu 2009 in je sicer povezan z nadpovprečnimi, a ne ekstremnimi letnimi padavinami. Dogodek je posledica 5-dnevnih padavin z zmerno intenziteto konec decembra in hkrati nenadne otoplitve, ki je stalila obstoječo snežno odejo (15 cm) (ARSO, 2009).

V nadaljevanju smo naredili verjetnostne analize z uporabo generalizirane porazdelitve ekstremnih vrednosti (GEV). Postavljeni so bili štirje modeli, en klasičen z upoštevanjem stacionarnih pogojev (S) in trije z upoštevanjem nestacionarnih pogojev (NS1, NS2, NS3). Vsi nestacionarni modeli so izkazali boljše rezultate od stacionarnega modela. Rezultati testa AIC so pokazali, da je vsak korak upoštevanja nestacionarnosti podal boljše ujemanje modela z meritvami. Vključitev časovnega trenda v lokacijski parameter μ (NS1) je znatno izboljšalo rezultate modela. Nadaljnje izboljšanje pa se je pokazalo tudi po vključitvi časovnega trenda

hkrati v lokacijski parameter μ in parameter $\propto$, ki opisuje razpršenost podatkov (NS2). Izboljšanje rezultatov z upoštevanjem nestacionarnosti so ugotovili tudi drugi avtorji raziskav (npr. Delgado et al., 2010; Gül et al., 2014), ne pa nujno tudi izboljšanja samega nestacionarnega modela z upoštevanjem časovnega trenda v obeh parametrih. V zadnjem modelu, pri katerem smo predpostavili, da je lokacijski parameter odvisen od količine padavin (NS3), so rezultati testa izkazali najboljše ujemanje (najmanjši AIC).

Naslednji korak analize je bil izračun pretokov z izbranimi povratnimi dobami. Rezultati so pokazali, da klasični stacionarni model podcenjuje največje izmerjene konice zadnjih let (slika 2). Podobno velja tudi za nestacionarni model (NS1), kjer je visokovodna konica iz leta 2012 enaka napovedi 100-letne vode za leto 2023. Iz rezultatov nestacionarnih modelov (NS1, NS2) (slika 2) lahko opazimo, da povratna doba izbranega pretoka pada, če se premikamo iz preteklosti v prihodnost. Pretok s 100-letno povratno dobo v stacionarnih pogojih (S) ustreza pretoku s približno 50-letno povratno dobo v primeru nestacionarnega modela NS1 in pretoku s 25-letno povratno dobo v primeru nestacionranega modela NS2 (slika 2, preglednica 1). Verjetnost pojava dogodka torej naraste z 1 % na 2 oz. 4 %. Z drugimi besedami, če bi želeli v Kobaridu danes zagotoviti nivo varovanja pred visoko vodo s 100-letno povratno dobo pod nestacionarnimi pogoji, bi morali ob upoštevanju stacionarnih pogojev izbrati projektni pretok s skoraj 200-letno povratno dobo (NS1) ali celo s 500-letno povratno dobo (NS2). V primeru upoštevanja nestacionarnega modela NS3 in največjih padavin obravnavanega obdobja (3758 mm), postane dogodek iz leta 2012 s 67-letno povratno dobo in povprečnimi padavinami, dogodek s približno 12-letno povratno dobo (slika 2). Isti dogodek ima v stacionarnih pogojih povratno dobo več kot 200 let.



Slika 2 Rezultati verjetnostnih analiz za stacionarni model in tri nestacionarne modele vodomerne postaje Kobarid na reki Soči

Preglednica 1. Ocenjene vrednosti pretokov [m3/s] z določeno povratno dobo T za vodomerno postajo Kobarid na Soči.

Model	T=10	T=20	T=50	T=100
S	600	652	705	741
NS1	667	703	739	760
NS2	692	734	775	798

4. Zaključki

Analize študije kažejo, da se rezultati ocenjenih pretokov z izbranimi povratnimi dobami z upoštevanjem nestacionarnih pogojev zelo razlikujejo od rezultatov stacionarnih modelov. Za obravnavani primer stacionarni model podcenjuje ocenjene pretoke nestacionarnih modelov v zadnjih letih, podcenjuje pa tudi največje izmerjene visokovodne konice v zadnjih letih. Pri določanju projektnih pretokov, ki jih določamo danes za celotno življenjsko obdobje objekta v prihodnosti, moramo biti seveda zelo previdni. Trenutna podnebna spremenljivost kaže na to, da upoštevanje stacionarnih pogojev ni primerno. Tudi pri upoštevanju nestacionarnih pogojev s časovnimi trendi je potrebna previdnost, saj ni nujno, da bodo spremembe v prihodnosti enake, kot so bile v preteklosti, kar še posebej velja za napovedi za več kot 10 let naprej (več kot 10-letne povratne dobe). Ravno tu pa bi bila lahko prednost nestacionarnih modelov, odvisnih od padavin. Je pa res, da uporaba takih modelov zahteva najprej dobre scenarije napovedi sprememb padavin v prihodnosti.

5. Viri

ARSO. 2009. Hidrološko poročilo o povodnji v dneh od 23. Do 27. Decembra 2009. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Ljubljana.

ARSO. 2012. Hidrološko porocilo o poplavah v dneh med 4. in 6. novembrom 2012. Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija RS za okolje, Ljubljana.

ARSO. 2015. Arhiv hidroloških podatkov – dnevni podatki [online]. Dostopno na: http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php [dostop 4. september 2015].

Bezak, N., Horvat, A., Šraj, M. 2015. Analysis of flood events in Slovenian streams. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 63, 134–144.

Bezak, N., Brilly, M., Šraj, M. 2016. Flood frequency analyses, statistical trends and seasonality analyses of discharge data: a case study of the Litija station on the Sava River. Journal of Flood Risk Management, 9, 154-168.

Blöschl, G., Montanari, A. 2010. Climate change impacts—throwing the dice? Hydrological Processes, 24, 374–381.

Delgado, J.M., Apel, H., and Merz, B., 2010. Flood trends and variability in the Mekong river. Hydrology and Earth System Sciences, 14(3), 407–418.

Easterling, D. R., Horton, B., Jones, P. D., Peterson, T. C., Karl, T. R., Parker, D. E., … Folland, C. K. 1997. Maximum and minimum temperature trends for the globe. Science 277(5324), 364-367.

Gilleland, E., Katz, R.W. 2011. New software to analyze how extremes change over time. Eos, 92(2), 13–14.

Groisman, P.Y., Knight, R.W., Easterling, D.R., Karl T.R., Hegerl, G.C., Razuvaev, V.N., 2005. Trends in intense precipitation in the climate record. Jornal of Climatology, 18, 1326–1350.

Gül, G., Aşıkoğlu, Ö., Gül, A., Gülçem Yaşoğlu, F., Benzeden, E., 2014. Nonstationarity in Flood Time Series. Journal of Hydrologic Engineering, 19(7), 1349–1360.

Hall, J. et al., 2014. Understanding flood regime changes in Europe: a state-of-the-art assessment. Hydrology and Earth System Sciences, 18(7), 2735–2772.

Jones, P.D., New, M., Parker, D.E., Martin, S., Rigor, I.G., 1999. Surface air temperature and its changes over the past 150 years. Reviews of Geophysics, 37(2), 173–199.

Kobold, M., Dolinar, M., Frantar, P. 2012. Spremembe vodnega režima zaradi podnebnih sprememb in drugih antropogenih vplivov. I. Kongres o vodah Slovenije 2012, 22. 3. 2012, Ljubljana, 7-22.

Labat, D., Godderis, Y., Probst, J.L., Guyot, J.L., 2004. Evidence for global runoff increase related to climate warming. Advances in Water Resources, 27(6), 631–642.

Menih, M. 2014. Analiza vpliva izbranega obdobja meritev na rezultate verjetnostnih analiz visokovodnih konic. Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani.

Pachauri, R.K., Allen, M.R., Barros, V.R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... & van Vuuren, D. 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland.

Prosdocimi, I., Kjeldsen, T.R., Miller, J.D., 2015. Detection and attribution of urbanization effect on flood extremes using nonstationary flood-frequency models. Water Resources Research, 51, 4244–4262.

Salas, J.D., Obeysekera, J., 2014. Revisiting the Concepts of Return Period and Risk for Nonstationary Hydrologic Extreme Events. Journal of Hydrologic Engineering, 19, 554–568.

Šraj, M., Bezak, N., Brilly, M., 2013. Primerjava med klasičnimi univariatnimi verjetnostnimi analizami in bivariatnimi z uporabo funkcije kopula. Acta hydrotechnica 26(44), 37-48.

Šraj, M., Menih, M., Bezak, N. 2016a. Climate variability impact assessment on the flood risk in Slovenia. Physical Geography, 37(1), 73-87.

Šraj, M., Viglione, A., Parajka, J., Blöschl, G. 2016b. The influence of non-stationarity in extreme hydrological events on flood frequency estimation. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 64(4), 426-437.

Vogel, R.M., Yaindl, C., Walter, M., 2011. Nonstationarity: Flood magnification and recurrence reduction factors in the United States, Journal of American Water Resources Association, 47, 464–474.

OBSEG IN POMEN REDNEGA UREJANJA VODA

mag. Jože Papež

Hidrotehnik, Slovenčeva 97, 1000 Ljubljana

POVZETEK

V prispevku je s pomočjo opisa obsežnosti izvajanja obvezne državne gospodarske službe urejanja voda na območju srednje Save in Soče ter s konkretnimi primeri utemeljen pomen neprekinjenega, pravočasnega in ustreznega vzdrževanja vodnih in priobalnih zemljišč ter vodne infrastrukture. Za Slovenijo, z vodo bogato in obenem poplavno in erozijsko zelo ogroženo deželo, je preventivno in redno vzdrževanje dogovorjenih lastnosti vodnega režima ena izmed stabilnih javnih storitev in podlaga za razvoj. Ker pa za ta namen niso zagotovljena zadostna proračunska sredstva, je ta javna storitev nezadovoljiva. To odsevajo pisma in pozivi lokalnih skupnosti ob večjih ujmah. Tudi v strokovnih krogih se je pojavil dvom, ali je v družbi sploh dovolj znano, kaj vse vključuje t.i. "redno vzdrževanje vodotokov, vodnih objektov ter vodnih in priobalnih zemljišč" in kakšne negativne posledice lahko ima neustrezno, nezadostno in neredno oz. nepravočasno izvajanje teh del.

Vzdrževanje vodnih in obvodnih zemljišč ter obratovanje in vzdrževanje objektov vodne infrastrukture se v Sloveniji izvaja v okviru koncesijske dejavnosti urejanja voda. Izvajanje gradbenih in "ne-gradbenih" protipoplavnih ukrepov je predpogoj za uspešno obvladovanje poplavnih škod in preprečevanje nepotrebnega povečevanja poplavne ogroženosti ljudi, gospodarstva, okolja in kulturne dediščine. Govorimo o sistemskem vlaganju v preventivo, s katerim kot družba dokazujemo odgovornost do sedanjih in prihodnjih generacij.

Vladni akcijski načrt za zmanjševanje poplavne ogroženosti iz leta 2014 je nakazal politiko odločenosti Vlade, da bomo na sistemski ravni presegli nerazumno logiko dragega saniranja poplavnih škod in z bistveno cenejšim rednim vzdrževanjem vodotokov in hkratnim sistematičnim vlaganjem v zmanjševanje poplavne ogroženosti intenzivirali preventivne aktivnosti. Predpostavka o pravočasnem in zadostnem izvajanju vzdrževalnih del je namreč pogoj za ustrezno delovanje obstoječe vodne infrastrukture. Še več, pomeni tudi izhodiščno stanje za načrtovane investicije in za izvajanje načrtov zaščite in reševanja pred poplavami. Žal je redno vzdrževanje vodne infrastrukture in vodnih zemljišč še vedno nezadostno in ne preprečuje nastajanja večjih poplavnih škod v takšni meri, kot bi lahko/moralo.

Ključne besede:

vodni režim, škodljivo delovanje voda, hudourniki, poplave, erozija, poplavne škode, urejanje voda, redno vzdrževanje.

1. Obseg obvezne gospodarske javne službe urejanja voda

Z opravljanjem javnih služb urejanja voda se v Republiki Sloveniji kot javna storitev zagotavlja ohranjanje in uravnavanje vodnih količin, spremljanje stanja in varstvo pred škodljivim delovanjem voda. V to storitev je vključena tudi izvedba izrednih ukrepov v času povečane stopnje ogroženosti ter vzdrževanje vodne infrastrukture vodnih ter priobalnih zemljišč po vremenski ujmi. Sem sodi tudi vodovarstveni nadzor in skrb za dobro hidromorfološko stanje vodnega režima.

Namen urejanja voda, ki se izvaja kot koncesijska dejavnost, je:

- trajno in nemoteno zagotavljanje obratovanja, vzdrževanja in spremljanja stanja vodne infrastrukture, s katero se ohranjanja in uravnava vodne količine in varuje pred škodljivim delovanjem voda;
- izvedba izrednih ukrepov v času povečane stopnje ogroženosti zaradi škodljivega delovanja voda;
- izvedba izrednih ukrepov zaradi škodljivega delovanja voda;
- vzdrževanje vodnih in priobalnih zemljišč sladkih voda (vodna in priobalna zemljišča morja so izključena);
- zagotavjanje vodovarstvenega nadzora.

Poleg navedenih del koncesionarji opravljajo tudi druge strokovne naloge, katerih velik del obsega izdelavo projektne in tehnične dokumentacije. Hidrotehnik z enotama v Ljubljani in v Novi Gorici izvaja gospodarsko javno službo na področju urejanja voda na območjih

- porečja srednje Save, ki obsega 3.966 km2 oz.19,70 % ozemlja Republike Slovenije in zajema naslednje hidrosisteme (HS): HS Sava, HS Ljubljanica, HS Kamniška Bistrica, HS Krka in HS Kolpa;
- porečja Soče, ki obsega 2.323 km2 oziroma 11,54 % ozemlja Republike Slovenije in ga sestavljajo porečje Soče z vodotoki v Goriških Brdih, porečje Idrijce in Bače ter porečje Vipave.

Dela se v okviru koncesijske pogodbe izvajajo z letnimi programi, ki se zaradi spreminjanja vodnega režima lahko med letom dopolnjujejo v okviru razpoložljivih sredstev.

1.1 Obratovanje, vzdrževanje in spremljanje stanja vodne infrastrukture, namenjene ohranjanju in uravnavanju vodnih količin ter varstvu pred škodljivim delovanjem voda

Obseg rednih nalog v okviru koncesijske pogodbe urejanja voda je naslednji: zadrževanje in uravnavanje odtoka in dotoka voda in pri tem uravnavanje zapornic, prelivov, zasunov, vtočnih in iztočnih objektov ter naprav; prevajanje vodnih količin po transportnih cevovodih, rovih, kanalih in podobno; ravnanje z napravami in sistemi za umetno bogatenje ali napajanje vodnih teles; redna popravila manjših poškodb kamnitih, lesenih in betonskih delov objektov, zemeljskih pregrad, visokovodnih nasipov ter vseh vrst jezov in pragov; redno pleskanje, mazanje kovinskih delov objektov; odstranjevanje škodljive zarasti na zemeljskih nasipih in utrjenih brežinah; strojno in ročno utrjevanje utrjenih brežin; popravila in zamenjava opreme in naprav (npr. zapornic, dvižnih mehanizmov jezovnih naprav, zasunov, cevovodov in podobno); manjša gradbena dela v zvezi s popravilom objekta (popravila poškodb, gradbena dela v povezavi z investicijskim vzdrževanjem pripadajočih naprav in podobno); redno kontrolno opazovanje in evidentiranje stanja vodne infrastrukture, izvajanje kontrolnih testov in meritev naprav ter opreme v skladu s tehničnimi standardi; beleženje izrednih hidroloških stanj na objektih vodne infrastrukture ali drugih objektih v neposredni bližini, beleženje pomembnih sprememb, poškodb in drugih znakov vpliva hidroloških ali morfoloških stanj vodnega režima na vodno infrastrukturo.

1.2 Izvedba izrednih ukrepov v času povečane stopnje ogroženosti zaradi škodljivega delovanja voda

Obseg izrednih nalog urejanja voda v času povečane stopnje ogrožensoti je naslednji: izvajanje vzdrževalnih del v javno korist na vodnih, priobalnih in drugih zemljiščih ter vodni

infrastrukturi, s katerimi se prepreči povečanje posledic škodljivega delovanja voda (gre za izvedbo gradbenih, inštalacijskih in obrtniških del, s katerimi se lahko spremeni velikost, strukturo, videz in s tem zmogljivost objekta, da se zagotovi oz. ohrani njegovo osnovno namembnost); dežurna služba za spremljanje meteoroloških in hidroloških napovedi in vodostajev rek; povečan nadzor nad vodno infrastrukturo, kopičenjem plavja in plavin, zdrsi brežin, delovanjem vodnih objektov, poškodbami vodnih in drugih objektov; izvajanje začasnih ukrepov za preprečevanje škodljivega delovanja voda, kot so utrjevanje obstoječih in začasnih novih nasipov, preusmerjanje voda na območja z manjšim škodnim potencialom, odstranjevanje plavin, zasipov, zajed, odpiranje varnostnih prelivov in zasunov ter izvajanje začasnih ukrepov za zagotavljanje največje možne pretočnosti, predvsem odstranjevanje plavja ob prelivih jezov, mostnih odprtinah, prepustih ter na priobalnih zemljiščih.

1.3 Izvedba izrednih ukrepov po naravni nesreči zaradi škodljivega delovanja voda

Izredne naloge po nastanku škod vključujejo: izvajanje ukrepov na vodnih, priobalnih in drugih zemljiščih ter vodni infrastrukturi, s katerimi se prepreči povečanje posledic škodljivega delovanja voda, npr. utrjevanje obstoječih in začasnih novih nasipov, nasutij ali prebojev, odstranjevanje plavin, naplavin, plavja ali zasipov, preprečitev širjenja zajed, odpiranje varnostnih prelivov in zasunov, omogočanje pretočnosti struge tekočih voda, preusmerjanje vode na območja z manjšim škodnim potencialom; zagotavljanje celodnevne dežurne službe za spremljanje meteoroloških in hidroloških napovedi in vodostajev rek; povečan nadzor nad stanjem vodne infrastrukture, kopičenjem plavja in plavin, zdrsi brežin, delovanjem vodnih objektov, poškodbami vodnih in drugih objektov; povečan nadzor na vodovarstvenih območjih; spremljanje nenadnega onesnaženja voda.

1.4 Vzdrževanje vodnih in priobalnih zemljišč, razen nalog obvezne državne gospodarske javne službe vzdrževanja vodnih in priobalnih zemljišč morja

Redno vzdrževanje vodnih in priobalnih zemljišč celinskih voda se izvaja glede na ugotovitve rednega spremljanja stanja terenske rečno-nadzorne vodovarstvene službe, pobud lokalnih skupnosti in priobrežnih lastnikov zemljišč, strokovnih presoj projektantskega oddelka koncesionarja ter na podlagi usmeritev Direkcije RS za vode. Vzdrževanje zajema: strojno in ročno utrjevanje bregov in dna vodotokov; uravnavanje prekomerno odloženih naplavin; košnjo in odstranjevanje prekomerne zarasti, ki zmanjšuje potrebno pretočno sposobnost v strugi in ki bi lahko povzročila večje zdrse brežin ali nestabilnost strug na odsekih z večjo poselitvijo in infrastrukturnimi objekti; skrb za evidentiranje nedovoljenih virov onesnaženj; odstranjevanje plavja, odpadkov ter drugih opuščenih in odvrženih predmetov in snovi iz površinskih voda; največje možno varstvo naravnih vrednot ter ohranitev ugodnega stanja ogroženih in zavarovanih rastlinskih in živalskih vrst ter habitatnih tipov, ki se prednostno ohranjajo v ugodnem stanju, ter varovanih in zavarovanih območij po predpisih o ohranjanju narave.

2. Pomen rednega vzdrževanja z vidika preprečevanja povečevanja poplavne ogroženosti in "nepotrebnih" poplavnih škod na primerih

2.1 Zapornice na Ljubljanici

Osnovni namen delovanja zapornic na Ljubljanici, zgrajeni na Ambroževem trgu v Ljubljani in na Gruberjevem prekopu, je zagotavljanje stalne vodne gladine Ljubljanice nad zapornicama in s tem stabilne in dovolj visoke kote površinske in podzemne vode na celem Barju. Vplivno

območje zapornic sega do Vrhnike pri Česnu (ca. 25 km gorvodno) ter zajema celo Barje. Zanimivo je, da ima vodna gladina Ljubljanice med Vrhniko in zapornicama v Ljubljani samo 1 m padca.

Obe zapornici sta objekta v lasti Republike Slovenije, z njima pa upravlja Ministrstvo za okolje in prostor oziroma njegov organ v sestavi Direkcija RS za vode (DRSV). Slednja je njihov formalni upravljavec, ki je nalogo "obratovanja, vzdrževanja in spremljanja stanja" kot koncendent zaupala koncesionarju na podlagi Koncesijske pogodbe o opravljanju gospodarske javne službe na področju urejanja voda na območju srednje Save. DRSV za ta namen zagotavlja potrebna finančna sredstva. Nadmorska višina stalne vodne gladine nad zapornicami v času pretokov, manjših od 120 m^3/s, je 285,60 m. Vzdrževanje te kote je pomembno zaradi dovolj visoke in več ali manj stalne gladine podzemne vode na Ljubljanskem barju. S tem se zagotavlja stabilnost brežin in obrežnih zidov Ljubljanice in Gruberjevega kanala nad zapornicami, ohranja vodne in z vodo povezane ekosisteme ter varuje grajene objekte na Barju. Ti so namreč večinoma temeljeni na lesenih pilotih, ki morajo biti stalno omočeni.

Koncesionar mora imeti za obratovanje zapornic organizirano stalno dežurno službo, ki najmanj dvakrat dnevno popiše kote gladin na vodomernih postajah, vizualno pregleda objekte, spremlja vodostaje (in pretoke) na avtomatskih postajah državnega monitoringa ter regulira vodostaj z manipuliranjem zaporničnih objektov.

Slika 5 (levo) in 2 (desno): Zapornice na Gruberjevem prekopu (levo). Ležijo približno 400 m dolvodno od Karlovškega mostu; zgrajene so bile leta 1912. Z zapornicami se še vedno upravlja ročno. Oba zaporničnа objekta na Ljubljanici sta potrebna celostne obnove oziroma zamenjave.

V primeru nedelovanja oz. neustreznega delovanja zapornic na Ljubljanici in Grubarjevem kanalu lahko ob visokih vodah pričakujemo veliko večje poplave, kot so prikazane na Atlasu voda oz. Atlasu okolja.

2.2 Zaplavne pregrade v hudourniških zaledjih

Ustalitveno-zaplavni in zaplavni objekti (prodni zadrževalniki) so hudourniški objekti, katerih glavni namen je zadrževanje hudourniških plavin in umirjanje hudourniške erozije. V hudourniških območjih so zato nepogrešljivi, saj zmanjšujejo ogroženost dolvodnih odsekov pred poplavami in erozijo. Pogoj za učinkovito in dolgoročno funkcioniranje zaplavnih objektov je redno praznenje zaplavnih prostorov. Neočiščen zaplavni prostor za pregrado namreč "deluje" samo še kot ustalitveni objekt, saj voda zemljsko in prodno lesni drobirski material odnaša dalje.

Na območju srednje Save, porečij Kamniške Bistrice, Ljubljanice ter delno Krke in Kolpe je 156 prodnih zadrževalnikov. Vsako leto je izdelan program njihovega vzdrževanja, osnovan na terenskih ogledih.

Reprezentativni primer zaplavne pregrade je Štrancarjeva pregrada na hudourniku Bistričica na Klemenčevem, ki ima 800 m^3 zaplavnega prostora. Pregrada zaustavlja erozijski drobir v obliki dolomitnih preperin, ki jih intenzivni erozijski procesi v zaledju sproščajo in premeščajo po jarkih in strugah dolvodno. Na ta način se preprečuje zasipavanje pretočnih profilov in preplavljanje visokih voda iz struge. Na spodnjih fotografijah so vidne posledice zapolnjenega

zaplavnega prostora, ko pregrada deluje zgolj v "ustalitvene" namene. Naplavine se tako odlagajo dovlodno na odsekih struge z manjšim padcem, na mestih razširitev ali zožitev s krivinami, na odsekih pod mostovi in prepustih.

Slika 3: Odložene naplavine na Bistričici pod mostom: pretočni profil v bližini stanovanjskih hiš je zamašen

Slika 4: Zadržane naplavine v zaplavnem prostoru Štrancarjeve pregrade na Bistričici

Da hudourniške pregrade dosežejo svoj osnovni namen, morajo biti redno vzdrževane (nanešen material odstranjen), saj v nasprotnem primeru ob visokih vodah pride do obsežnih in rušilnih preplavljanj (hudourniški izbruhi, drobirski tokovi). Poplavni dogodki so manj predvidljivi, kar otežuje interveniranje v času izrednih razmer. Načrti zaščite in reševanja so namreč pripravljeni ob predpostavki, da se pregrade redno vzdržujejo.

2.3 Vzdrževanje pretočnosti pretočnih profilov z nego obrežne zarasti in odstranjevanjem podrtega drevja

Prekomerna zaraščenost brežin, mnogokrat že tako preozkih strug vodotokov, zmanjšuje pretočnost strug (pretočnost pomeni tisti pretok vode, ko se voda še ne razliva preko brežin). Z vidika poplav to v večini primerov pomeni povečevanje poplavne ogroženosti! Ta učinek je še zlasti pomemben na odsekih vodotokov na naseljenih območjih. Prekomerna zarast zmanjšuje pretočnost na dva načina: vegetacija in na njej nabrane plavajoče snovi zmanjšujejo površino aktivnega pretočnega prereza (ožajo strugo) in obenem predstavljajo oviro v toku (večajo upor oziroma hrapavost brežin). Tako se v primerih močno zaraščenega vodotoka gladina vode ob istem pretoku poveča tudi za več deset centimetrov glede na gladino v neporaščenem vodotoku.

Slika 5: Na območjih strnjenih poselitev poskušamo z različnimi ukrepi, npr. odstranjevanjem ovir, ki dvigajo gladino, visoke vode obdržati v strugi.

Slika 6: Mali graben po selektivnem poseku obrežne zarasti

V primeru nerednega vzdrževanja pretočnosti strug prihaja do pogostejših in obsežnejših preplavljanj brežin ter posledično do poplavljanja in veliko večjih poplavnih škod.

2.4 Vzdrževanje požiralnikov na kraških poljih in ostalih območjih

V okviru preprečevanja povečevanja poplavne ogroženosti prebivalcev v naselij na kraških poljih in ob lokalnih požiralnikih se izvaja nadzor, čiščenje in vzdrževanje požiralnikov. Podjetje Hidrotehnik na podlagi poslovnika za obratovanje in vzdrževanje požiralnikov opravlja najmanj enkrat letno redni letni terenski ogled vseh požiralnikov, pripravlja tehnično dokumentacijo za njihovo vzdrževanje ter redno vodi evidence del. Po upadu nivojev visokih voda opravi rečni nadzornik detajlnejši terenski ogled. Če se pojavijo poškodbe ali če je naplavljenega veliko materiala, se v soglasju z Direkcijo RS za vode opravi vzdrževalna in sanacijska dela. Neočiščeni požiralniki praviloma povečujejo poplavno ogroženost in obseg poplavnih škod ob visokih vodah.

3. Zaključki

Negotovo, nezadostno, kot tudi nekontinuirano financiranje javne službe urejanja voda otežuje delo tako Direkcije Republike Slovenije za vode kot koncesionarjev. Predvsem nekontinuirano financiranje tekom leta zelo otežuje ustrezno operativno planiranje. Posebno zahtevna okoliščina pri programiranju del so tudi pogoji Zavoda RS za varstvo narave, ki večinoma dovoljujejo dela na vodotokih le v omejenih in kratkih časovnih terminih. Če resnično hočemo, da bi bila ob nastopu visokih voda poplavna škoda manjša ali da ponekje do nje sploh ne bi prišlo, potem moramo v letu 2015 soglasno sprejet "Akcijski načrt" tudi izvesti. Tako bi morali v Sloveniji že ob sprejemu državnega proračuna načrtovati na letni ravni približno 25 mio EUR rednih vzdrževalnih del. Žal se je v začetku leta 2016 načrtovalo dela le za 1,5 mio EUR sredstev, v letu 2017 pa 3,2 mio EUR.

4. Viri

[1] Arhiv Hidrotehnika

[2] Zbornik družbe Hidrotehnik ob 70-letnici delovanja, 2016

VLOGA STROKOVNIH ZDRUŽENJ PRI IZBOLJŠEVANJU VARNOSTI PREGRAD

mag. Mojca Ravnikar Turk[1], dr. Andrej Širca[2], dr. Branko Zadnik[3]

[1]ZAG Ljubljana, Dimičeva ulica 12, 1000 Ljubljana, [2]SLOCOLD, Hajdrihova ulica 4, 1000 Ljubljana, [3]IZS, matična sekcija gradbenih inženirjev, Jarška cesta 10b, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Vodne zadrževalnike in spremljajoče pregrade gradimo za dolgo življenjsko dobo. Od zasnove in izvedbe prvih pregrad v prostoru današnje Slovenije se je do danes bistveno spremenilo projektiranje, posodobila se je gradnja, uporabljajo se novi materiali in tehnologije, vodenje strojne opreme pregrad se lahko izvaja na daljavo.

V obdobju zadnjih sto let se je večkrat spremenila organiziranost upravljanja s pregradami in vodotoki, kar je posledično pomenilo prekinitev kontinuitete spremljanja stanja pregrad in pri nekaterih objektih tudi izgubo arhivskih podatkov. Tako se z menjavo generacij snovalcev, graditeljev in skrbnikov teh objektov izgublja tudi informacije, ki temeljijo na njihovih znanjih in poznavanju razmer in specifičnih lokalnih pogojev.

Urejanje vodotokov mora biti izvajano na trajnostni način tako, da bo varnost ljudi zagotovljena v vseh možnih situacijah.

V prispevku so opisane aktivnosti strokovnih združenj; Slovenskega Geotehniškega društva (SloGeD), Slovenskega nacionalnega komiteja za velike pregrade (SLOCOLD) in Inženirske zbornice Slovenije (IZS) pri izboljševanju varnosti pregrad.

Ključne besede:

varnost pregrad, vodna infrastruktura, vloga strokovnih organizacij

1. Uvod

Kljub dejstvu, da absolutne varnosti pred nesrečami ni, bi morali vsi prebivalci po svojih močeh prispevati k preprečevanju nesreč, ki bi lahko nastale zaradi človeških posegov v prostor. Industrializacija je povzročila veliko potrebo po energiji, predvsem po električni energiji. Pridobivanje le-te je bilo povezano najprej z gradnjo hidroenergetskih pregrad, kasneje s termoelektrarnami, jedrskimi elektrarnami, v zadnjem stoletju pa tudi z gradnjo sončnih in vetrnih elektrarn. Največje tveganje za okolje prinašajo jedrske elektrarne, saj je njihovo gorivo smrtno nevarno. Zelo majhna tveganja predstavljajo vetrne elektrarne, medtem ko so tveganja, ki jih predstavljajo hidroelektrarne, odvisna predvsem od volumna zadrževane vode. Termoelektrarne so problematične z vidika škodljivih izpustov, nepravilno delovanje sončnih celic lahko predstavlja povečano nevarnost požara, prav tako je treba preučiti njihov vpliv na okolje z upoštevanjem celotnega življenjskega cikla.

Zaradi prednosti, ki jih imajo hidroelektrarne pred ostalimi viri električne energije, so in bodo tudi v prihodnosti z vidika trajnostnega razvoja za Slovenijo najustreznejši vir večjih količin električne energije. Življenjska doba vodih pregrad pa je dolga, zato bi se morali zagotavljanju varnosti pregrad zakonodajni organi v Sloveniji bolj posvečati.

2. Varnost pregrad

Uporaba okolju prijazne energije, ki je pridobljena iz obnovljivih virov, je pomembna z vidika trajnostnega razvoja. Manjše in srednje velike hidroelektrarne ter vetrne elektrarne predstavljajo v današnjem času največji potencial pri pridobivanju okolju prijazne energije, zato lahko pričakujemo v razvitem svetu povečano gradnjo teh objektov.

Pregrade ne služijo le za zadrževanje relativno čistih tekočih voda temveč tudi deponijam industrijskih odpadkov za zadrževanje okolju nevarnih snovi. Glede na odločbo MOP ARSO [6] je bilo v Sloveniji leta 2016 105 obratov večjega in manjšega tveganja za okolje, ki morajo zaradi tega imeti posebno okoljevarstveno dovoljenje. Ekološki nesreči kot je bila leta 2000 pri romunskem zlatem rudniku Baia Mare, ko je voda onesnažena s cianidom prebila nizko pregrado in odtekla v vodotok, in nesreča leta 2010 v madžarskem mestu Ajka, ko je jedko rdeče blato steklo iz deponijskega bazena ob tovarni aluminija, nas opozarjajo na možnost katastrof za pitno vodo v Sloveniji. Ti nesreči je povzročil človek z zanemarjanjem skrbi za vzdrževanje pregrad in s podcenjevanjem tveganja, ki ga te povzročajo.

Vodne zadrževalnike in spremljajoče pregrade gradimo za dolgo življenjsko dobo. Od zasnove in izvedbe prvih pregrad na območju današnje Slovenije se je do danes bistveno spremenilo projektiranje, posodobila se je gradnja, uporabljajo se novi materiali in tehnologije, vodenje strojne opreme pregrad se lahko izvaja na daljavo. Vgrajena merilna oprema in prenos podatkov omogočata stalen nadzor vplivov okolice na pregradne objekte od nivojev talne in površinske vode do obnašanja terena, v katerega je postavljen sam objekt in tudi zadrževalnik za njim. Vse našteto zagotavlja gradnjo varnejših pregrad in boljši nadzor nad obnašanjem inženirskih objektov in ter nad stanjem vodotokov.

V obdobju zadnjih sto let se je večkrat spremenila organiziranost upravljanja s pregradami in vodotoki, kar je posledično pomenilo prekinitev kontinuitete spremljanja stanja pregrad in pri nekaterih objektih tudi izgubo arhivskih podatkov. Tako se z menjavo generacij snovalcev, graditeljev in skrbnikov teh objektov izgublja tudi informacije, ki temeljijo na njihovih znanjih in poznavanju razmer in specifičnih lokalnih pogojev.

Urejanje vodotokov mora biti izvajano na trajnostni način tako, da bo varnost ljudi zagotovljena v vseh možnih situacijah.

2.1 Temeljenje in gradnja zemeljskih pregrad - SloGeD

Slovensko geotehniško društvo (SloGeD) je bilo ustanovljeno leta 1992 v Ljubljani. Združuje posameznike, ki so aktivni na področju mehanike tal, mehanike kamnin, inženirske geologije in geotehničnih konstrukcij. SloGeD ima več kot 130 individualnih članov, večinoma gradbenih inženirjev, geologov in geotehnologov. Osnovni cilj društva je napredek stroke in izobraževanje članov na področju geotehnike. Društvo zato organizira posvetovanja, delavnice, informira članstvo o strokovnih dogodkih doma in v tujini ter izdaja znanstvene in strokovne publikacije. Člani so kot eksperti na svojih področjih vključeni v projekte doma in v tujini. Posamezni člani so v preteklosti sodelovali pri pripravi nacionalnih tehničnih specifikacij in standardov, izkušeni člani so tudi v prihodnje pripravljeni sodelovati pri pripravi zakonodaje s področja graditve. Društvo je včlanjeno v mednarodno društva za mehaniko tal in geotehniko (ISSMGE), mehaniko kamnin (ISRM) ter inženirsko geologijo (IAEG). Vodstvo SloGeD, ki ga volijo člani vsake štiri leta, je organiziralo že sedem posvetovanj slovenskih geotehnikov, poleg tega od leta 2000 vsako leto organizira strokovno srečanje imenovano Šukljetovi dnevi. Strokovne publikacije izdane ob teh priložnostih so v elektronski obliki dostopne širši javnosti na spletni strani www.sloged.si.

Člani SloGeD ugotavljamo, da so se, zaradi zanemarjanja pomena geotehniške stroke v slovenskem pravnem redu in zaradi dosedanjih značilnosti javnega naročanja, pokazale posamezne napake pri graditvah. Jasno so se pokazale potrebe po uskladitvi veljavnih zakonov, pravilnikov, uredb in standardov na področju geotehničnega projektiranja. Žal tudi aktualni

predlog Gradbenega zakona [4] ne upošteva velike zahtevnosti pogojev tal v Sloveniji in zanemarja pomen varnega temeljenja in stabilnosti objektov, na kar smo v okviru javne obravnave novembra 2016 opozorili pripravljavca predloga.

Slovenski predpis Evrokod 7 [5] zahteva raziskave tal, katerih ugotovitve se podajajo v 'Poročilu o preiskavah tal' in izdelavo 'Poročila o geotehničnem projektu'. Dokumenta sodita med sestavne dele projektne dokumentacije, saj sta bistvena za kontrolo stabilnosti novega ali rekonstruiranega objekta. Uporaba Evrokoda 7 je obvezna že od januarja 2008. Če novi Gradbeni zakon [4] ne bo usklajen z veljavni standardom na področju geotehničnega projektiranja, bo geotehnično projektiranje lahko še naprej podvrženo nestrokovnemu pristopu.

Predlog Gradbenega zakona obravnava objekte glede na zahtevnost objekta, medtem ko Evrokod 7 [5] obravnava tri kategorije objektov glede na zahtevnost pogojev tal in glede na zahtevnost objekta. V geotehnično kategorijo 3 tako sodijo zelo veliki objekti (na primer pregrade) ter tudi konstrukcije, ki vključujejo izjemno zahtevne pogoje tal (na primer globoki izkopi pod nivojem talne vode).

Zakonodajni organi bi se morali zavedati pomena varne gradnje, ki se začne pri temeljenju, in tudi velikega pomena vzdrževanja zahtevnih objektov kot so vodne in jalovinske pregrade.

2.2 Vloga, izkušnje, ugotovitve in predlogi SLOCOLD

V Sloveniji je 40 velikih pregrad (visokih več kot 15 m, ali med 5 in 15 m ter s prostornino zadrževalnika najmanj 3 hm^3), od tega 12 vodnogospodarskih, ostale so predvsem v energetski rabi, dve industrijski (Za Travnikom in Bukovžlak) in tri zgodovinske (klavže v okolici Idrije). SLOCOLD je slovensko združenje strokovnjakov, ki se ukvarjajo z velikimi pregradami. Je član Mednarodne komisije za velike pregrade (ICOLD) in v tem svetovnem organu od leta 1993 predstavlja Slovenijo. V Sloveniji predvsem skrbi za ohranjanje in dvigovanje nivoja znanja v pregradnem inženirstvu ter za seznanjanje tudi širše javnosti s problematiko velikih pregrad in pregrad nasploh. V nadaljevanju je podanih nekaj sistemskih in nekaj fragmentarnih ugotovitev o stanju pregrad v Sloveniji, ki so se izoblikovale v obdobju 8 let, v času mandata sedanjega vodstva SLOCOLD (2009-2016).

1) Študija stanja pregrad »Zemeljske in betonske vodne pregrade strateškega pomena v RS« (2012) ter njeno nadaljevanje VODPREG2 (2016), ki ju je naročila URSZR, sta pokazali, da imajo vodnogospodarske pregrade precej pomanjkljivosti z vidika upravljanja in vzdrževanja. Nekatere obstoječe pregrade zato lahko predstavljajo potencialno grožnjo ob izrednih padavinskih dogodkih oz. poplavah. Kljub jasnim opozorilom študij se v 5 letih še niso izvedle praktično nobene aktivnosti za sanacijo stanja.
2) V letu 2016 se je v okviru VODPREG2 na podlagi 10 do 30 let starih arhivskih izračunov izdelala podatkovna baza s pregledom hidravličnih posledic porušitev največjih vodnogospodarskih pregrad. Pripravljen je bil noveliran predlog 'Navodila za izdelavo ocene hidravličnih posledic porušitve pregrad', na podlagi katerega bi se izračuni za vse objekte posodobili, vendar se zaradi razdrobljene pristojnosti MOP (področji vodarstva in vodnih pregrad ter graditve) do sedaj ni bilo mogoče zediniti, v okviru katerega zakona bi se Navodila lahko izvajala. Prva verzija tega dokumenta je bila kot Navodilo za izdelavo ocen ogroženosti zaradi porušitev pregrad pripravljena že v letu 1996 pod krovnim Zakonom o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami, ob soglasju ministrstev za okolje in prostor ter za gospodarske dejavnosti. Žal do sprejema usklajenega dokumenta ni prišlo, so se pa ta Navodila vse do danes in se še, v praksi uporabljala za vse novejše preračune porušitev pregrad.
3) V letu 2011 je bilo 32 občinam, v katerih se nahajajo velike pregrade, poslano gradivo v zvezi s problematiko teh objektov in povabilo, da se vključijo v aktivnosti SLOCOLD. Odzvale so se le 4 občine in sicer vse negativno. Rezultat kaže na stanje zavedanja o pregradah kot kritični infrastrukturi, ki v javnosti nima ustreznega mesta.

4) Za specifično področje pregrad imamo v Sloveniji le dva veljavna predpisa. Prvi je star, vendar zgoščeno zapisan Pravilnik o tehničnem opazovanju visokih jezov (Ur. l. SFRJ št. 7/1966). Drugi je Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade (Ur. l. RS št. 92/1999, 44/2003 in 58/16). Oba pravilnika sta se doslej zadovoljivo dosledno izvajala na energetskih pregradah, na vodarskih pa precej slabše. Tehnično opazovanje se več kot 10 let večinoma izvaja le simbolično, seizmološko opazovanje pa razen na pregradi Vogršček kljub zakonski obvezi sploh ni vzpostavljeno. Na energetskih pregradah po drugi strani obstaja nevarnost, da se bo zaradi ohlapnosti kontrole navedenih dveh predpisov ob morebitnem slabšanju finančne kondicije elektrogospodarstva, prodaji njenih delov ali zgolj upokojitvi ključnih kadrov, ki za področje skrbijo, stanje poslabšalo.
5) V predhodnih točkah opisano stanje je posledica zanemarjanja širšega področja vodarstva, še dodatno pa nerazumevanja dejstva, da so velike pregrade posebni objekti, ki zahtevajo državni organ, ki bo vodil enotno evidenco velikih pregrad, nadziral njihovo stanje, postavljal prioritetne naloge in po potrebi lahko tudi ukrepal. SLOCOLD je ministrstvom in vladi že leta 2010 dal pobudo za določitev pristojnega državnega organa in ustanovitev ustrezne strokovne komisije, vendar kljub prvim izrazom razumevanja do tega ni prišlo. V sodelovanju z IZS so bile kot pomoč pri snovanju takšnega organa tudi pripravljene in publicirane Smernice za zagotavljanje varnosti pregradnih objektov (2012); http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-AL9KNONO
6) Evropske države imajo zakonodajo urejeno na različne načine, vendar imajo vse uraden register velikih pregrad. Slovenija ga nima, neuradno ga vzdržuje le nevladna organizacija SLOCOLD. Posebne zakone ali predpise o pregradah imajo Finska (1984), Italija (1933), Norveška (2010), Portugalska (1990), Španija (1967), Združeno kraljestvo (1975 Anglija in Wales, Škotska in Severna Irska kasneje); v oklepajih so navedene letnice prvih predpisov o varnosti pregrad [3]. Po drugi strani Avstrija, Francija in Švedska shajajo brez posebnega zakona, vendar imajo varnost pregrad jasno definirano v različnih zakonih: Avstrija v zveznem Zakonu o vodah, Francija v Zakonu o vodah in Zakonu o okolju, Švedska pa v Zakonu o okolju in Zakonu o civilni zaščiti. Najbolj popoln pregled evropske zakonodaje za področje velikih pregrad vsekakor nudi literatura [3].

SLOCOLD bo na podlagi navedenih izhodišč in izvedenih sklepov, ki so še v pripravi in usklajevanju, na kongresu ponovno predlagal, da se pri Ministrstvu za okolje in prostor določi pristojni organ za varnost velikih pregrad in da se ob njem ustanovi tudi Strokovna komisija za varnost velikih pregrad. Pristojni organ (npr. Inšpektorat za okolje in prostor, Gradbena, geodetska in stanovanjska inšpekcija) bo vodil kataster velikih pregrad, zbiral poročila o opazovanju velikih pregrad, vodil administrativna dela za strokovno komisijo ter izdajal odločbe po predlogih strokovne komisije. Strokovna komisija za varnost velikih pregrad bo pregledovala poročila o opazovanju, revidirala ocene varnosti in predloge iz poročil opazovalcev, določala potrebne ukrepe in posege ter v razširjeni zasedbi tudi presojala račune porušitev pregrad v skladu z Navodili za izdelavo ocene hidravličnih posledic porušitve pregrad.

2.3 Prispevek MSG IZS za doseganje večje varnosti pregrad

Inženirska zbornica Slovenije je samostojna poklicna organizacija, ki v matičnih sekcijah združuje inženirje različnih strok, od gradbene, elektro, strojne, geodetske do različnih tehnoloških strok in rudarstva. Deluje v skladu s predpisi o graditvi objektov in predpisi o geodetski dejavnosti ter skrbi za strokovni razvoj inženirskih strok in svojih članov [1]. Med ostalimi aktivnostmi skrbi za vseživljensko izobraževanje članov in spodbuja njihovo strokovno, kulturno, družbeno in tudi družabno dejavnost. Za širšo družbo so zelo pomembne aktivnosti, ki jih izvaja v različnih oblikah sodelovanja z zakonodajnimi in upravnimi organi, to je s pristojnimi ministrstvi, pri pripravi zakonov in tudi podzakonskih aktov. Žal ugotavljamo, da tovrstno sodelovanje ni najuspešneje saj naša mnenja in predlogi niso upoštevani v obsegu, kot ga pričakujemo in kot bi bilo glede na naravo tematike tudi potrebno.

Priprava zakonodaje s področja graditeljstva zahteva podporo in upoštevanje predlogov zelo širokega kroga strokovnjakov, kar pa žal v Sloveniji ni primer. Inženirstvo je pri teh postopkih, prevečkrat prezrto. Ugotavljamo, da je tudi aktualna situacija pri pripravi nove zakonodaje na področju graditeljstva na nivoju državnih služb, ki pripravljajo predloge zakonov, ne daje rezultatov s katerimi bi bila stroka zadovoljna.

Matična sekcija gradbenih inženirjev pri Inženirski zbornici Slovenije posveča veliko pozornost kvalitetnemu delu svojih članov in skuša s svojimi aktivnostmi tudi konkretno prispevati k dvigu kvalitete dela članov in posledično varnosti gradbenih objektov. V sklopu teh aktivnosti vzpodbuja in podpira delovanje strokovnih društev (Zvezo društev gradbenih inženirjev in tehnikov - ZDGITS, Slovenski komite za velike pregrade - SLOCOLD, Slovensko društvo za vode Drava - SDV, Slovensko geotehnično društvo, Društvo za ceste SV Slovenije, aktivnosti študentov UM FG), izhajanje Gradbenega vestnika, poleg tega pa tudi preko Akademije IZS omogoča svojim članom spremljanje razvoja stroke in tako vseživljensko izobraževanje. Posebno področje delovanja so aktivnosti kot je priprava različnih priročnikov, navodil in smernic za specifična področja dela v gradbeništvu. Tako je konkretno za področje pregradnega inženirstva MSG IZS izdala Smernice za zagotavljanje varnosti pregradnih objektov [2].

Vodilna ideja pri izdelavi tega dokumenta je bila, da se pripravi strokovna izhodišča, ki bodo služila zakonodajnemu organu kot osnova za izdelavo tehnične regulative, ki bo urejala in predpisovala aktivnosti in postopke za varno obravnavanje pregradnih objektov. Podobne dokumente, prilagojene svojim razmeram, imajo praktično vse razvite države. Slovensko pregradno inženirstvo se že desetletja trudi, da bi to zelo pomembno področje zakonsko kvalitetno uredili tudi pri nas, vendar se do danes na strani zakonodajalca ni še nič spremenilo. Problematika načrtovanja, gradnje, obratovanja in varnosti pri pregradah je sicer indirektno in zelo nejasno vključena v obstoječo zakonodajo in tehnično regulativo, ki obravnava gradbene objekte v splošnem. Zaradi tega so deli regulative, ki se konkretno nanašajo na področje pregradnega inženirstva in ga tudi urejajo, razpršeni po različnih zakonih, nepregledni in v določenih segmentih tudi nepopolni.

V obdobju, ko pričakovana regulativa še ni izdelana, lahko Smernice [2] uporablja kot delovni pripomoček vsak, ki je, oziroma bo, vključen v organizacijsko-tehnično-gradbene procese, povezane s pregradnim inženirstvom. To zajema celotno področje obravnavanja pregrad in pridruženih objektov, od raziskovalnih del, projektiranja, izgradnje in obratovanja. Temeljni principi smernic se nanašajo na vse tipe ter velikosti pregrad in sami po sebi še niso pravilniki ali standardi za praktično uporabo pri obravnavi pregrad, so pa osnova za izdelavo tehnične regulative. Sprejemati jih je potrebno kot napotke, ki jih je potrebno privzemati pri konkretni aplikaciji z določenim premislekom za vsak posamezni objekt tako, da bodo sprejete odločitve logične in ustrezne tipu, velikosti, kompleksnosti in hazardu pregrade.

Ob upoštevanju domače in tuje prakse in literature so postavljena osnovna napotila za izdelavo regulatornih aktov. Predlagana je organizacija subjektov na področju pregradnega inženirstva na način, ki bo zagotavljal optimalno doseganje varnosti pregrad v meri in obsegu, za katerega smatramo, da je v današnji organizaciji slovenske družbe mogoč in izvedljiv. V ločenih poglavjih so obdelana zakonska izhodišča in situacija v svetu in pri nas, opredeljeni so namen in cilji, ki jih s pričujočim aktom skušamo doseči, predlagana je organizacija državnih služb in nato obdelan celoten postopek tehničnih aktivnosti od raziskovalnih del na lokaciji objekta, projektiranja, gradnje, spremljanja obratovanja pregrade do aktivnosti ob izrednih razmerah, ki bi lahko varnostno ogrozile objekt.

Strateški cilj tega dokumenta je prepoznati postopke, ki bodo podpirali varnostni pristop pri pregradah vseh vrst in tipov, pri čemer pa se je potrebno zavedati, da je doseganje primerne stopnje varnosti pregrade kontinuiran in dinamičen proces, v sklopu katerega se moramo zavedati, da so vsa navodila, pravila ali praktične izkušnje podvržene spremembam, ki jih je potrebno periodično preverjati in usklajevati z napredkom v znanosti in stroki. Ta dimenzija

je sestavni del sporočila Smernice [2], ki upošteva dejstvo, da se morajo vsi tehnični postopki neprestano izpopolnjevati.

3. Zaključki

Kljub dejstvu, da absolutne varnosti pred nesrečami ni, bi morali vsi prebivalci po svojih močeh prispevati k preprečevanju nesreč, ki bi lahko nastale zaradi človeških posegov v prostor. Zaradi prednosti, ki jih imajo hidroelektrarne pred ostalimi viri električne energije, so in bodo tudi v prihodnosti z vidika trajnostnega razvoja za Slovenijo najustreznejši vir večjih količin električne energije. Življenjska doba vodih pregrad pa je dolga, zato bi se morali zagotavljanju varnosti pregrad zakonodajni organi v Sloveniji bolj posvečati.

Predlagamo, da pri Ministrstvu za okolje in prostor določi organ, ki bo pristojen za varnost pregrad, in da se ob njem ustanovi tudi Strokovna komisija za varnost velikih pregrad. Predlagamo tudi, da SLOCOLD sodeluje pri imenovanju in delu komisije. Delo komisije se lahko pretežno financira preko obvezne revizije poročil o opazovanju velikih pregrad in tako ne obremenjuje v celoti proračuna.

Neurejeno stanje v slovenski zakonodaji na področju graditve dejansko povzroča zanemarjanje geotehničnih vidikov gradnje, zanemarjanje vzdrževanja in opazovanja obnašanja vodnih in jalovinskih pregrad pa lahko vodi do velikih gospodarskih škod in tveganih situacij, ki lahko tudi povzročijo človeške žrtve.

4. Viri

[1] Statut inženirske zbornice Slovenije, Ljubljana, 2014

[2] Zadnik, B. Smernice za zagotavljanje varnosti pregradnih objektov, IZS MSG 01/2012, Ljubljana 2012

[3] Dam Legislation. Working Group (WG) on Legislation. European ICOLD Club, 2016. Tudi: http://cnpgb.apambiente.pt/IcoldClub/index.htm (dostop 23.1.2017).

[4] Gradbeni zakon (GZ) – predlog za obravnavo, v javni obravnavi do 4. 11. 2016 s prilogami (priloga 1 Razvrščanje objektov, Vzdrževanje objekta)

[5] SIST EN 1997-1:2005, Evrokod 7: Geotehnično projektiranje – Del 1: Splošna pravila

[6] Seznam izdanih odločb za obrate manjšega in večjega tveganja za okolje, MOP ARSO, http://okolje.arso.gov.si/ippc/uploads/dokumenti/Seveso2016/SEVESO%20odlocbe%2029marec2016.pdf [dostop 3. januar 2017].

HUDOURNIŠKE POPLAVE V SLOVENIJI KOT ODRAZ HIDROGEOGRAFSKE SESTAVE VODOZBIRNIH ZALEDIJ

dr. Tajan Trobec

Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo in Komisija za hidrogeografijo pri Zvezi geografov Slovenije

POVZETEK

Namen prispevka je ovrednotenje vpliva hidrogeografske sestave vodozbirnih zaledij na pojavljanje in potencialno intenzivnost hudourniških poplav v Sloveniji. Pri tem smo izhajali iz spleta različnih hidrogeografskih dejavnikov odtoka (pokrovnost, prst, matična podlaga in relief), upoštevali pa smo tudi dovzetnost za erozijske procese. Izdelali smo hidrogeografski model odločitvene sheme za ocenjevanje dovzetnosti za pojavljanje hudourniških poplav ter karto dovzetnosti za pojavljanje hudourniških poplav, ki temeljita na potencialu za odtok padavinske vode z vodozbirnih zaledij ob ekstremnih padavinah. Dobljeni rezultati kažejo, da je glede na upoštevane dejavnike več kot polovica območij v Sloveniji dovzetna za pojavljanje hudourniških poplav, kar pomeni, da se s teh območij padavinska voda razmeroma hitro steka v hudourniške vodotoke, ob katerih se lahko pojavljajo hudourniške poplave. Predstavljene so tudi možnosti uporabe dobljenih rezultatov za izboljšanje hidrološke napovedi ob ekstremnih padavinah.

Ključne besede:

naravne nesreče, fizična geografija, hidrogeografija, hudourniške poplave, hidrogeografski dejavniki odtoka, hidrogeografska sestava vodozbirnih zaledij, potencial za odtok, dovzetnost za pojavljanje hudourniških poplav, Slovenija

1. Uvod

V Sloveniji se kot odraz velike pokrajinske in s tem tudi hidrološke pestrosti pojavljajo različni tipi poplav (Natek, 2005). Zaradi pogostih obilnih in intenzivnih padavin ter prevlade strmih, povirnih vodozbirnih zaledij se ob večini vodotokov pojavljajo hudourniške poplave (Brilly, Mikoš, Šraj, 1999). Zanje je značilno, da se zaradi hitrega odtoka vode proti strugam in po toku navzdol pojavijo nenadno, skoraj neposredno po padavinah in trajajo razmeroma kratek čas (Georgakakos, 1986).

Številne raziskave in izkušnje iz preteklih poplav na območju Slovenije kažejo, da na pojavljanje in intenzivnost hudourniških poplav poleg obilnih in intenzivnih padavin, vpliva tudi hidrogeografska sestava vodozbirnih zaledij. Slednja se nanaša na splet hidrogeografskih dejavnikov odtoka, kot so pokrovnost, prst, matična podlaga in relief (Musy, Higy, 2011). Neprepustne kamnine, strm relief, slabo prepustne in plitve prsti ter gole ali pozidane površine vplivajo na večji potencial za odtok ob ekstremnih padavinah. Ker je odtok vode hitrejši, je na takih območjih večja tudi dovzetnost za pojavljanje hudourniških poplav. Prepustne kamnine, blagi nakloni, dobro prepustne in globoke prsti ter gozdne površine po drugi strani vplivajo na manjši potencial za odtok. Zaradi počasnejšega odtoka vode je na takih območjih ob ekstremnih padavinah tudi dovzetnost za pojavljanje hudourniških poplav manjša. Poznavanje hidrogeografske sestave vodozbirnih zaledij v tem kontekstu predstavlja eno izmed osnov za

preventivno delovanje, ozaveščanje prebivalcev o poplavni nevarnosti ter večjo prožnost lokalnih skupnosti ob poplavah, kar so nenazadnje tudi osrednji cilji evropske poplavne direktive (Direktiva 2007/60/ES …, 2017).

Pričujoči prispevek predstavlja poskus ovrednotenja vpliva hidrogeografske sestave vodozbirnih zaledij na pojavljanje in potencialno intenzivnost hudourniških poplav v Sloveniji. Izdelali smo hidrogeografski model odločitvene sheme za ocenjevanje dovzetnosti za pojavljanje hudourniških poplav. Rezultati modela omogočajo ocenjevanje potencialne intenzivnosti hudourniških poplav in spremljevalnih procesov na posameznih območjih ter v posameznih porečjih v Sloveniji. Predstavljene so tudi možnosti uporabe dobljenih rezultatov za izboljšanje hidrološke napovedi ob ekstremnih padavinah.

2. Metodologija

Pri vrednotenju vpliva hidrogeografske sestave na pojavljanje in intenzivnost hudourniških poplav smo izhajali iz spleta različnih hidrogeografskih dejavnikov odtoka (pokrovnost, prst, matična podlaga in relief), upoštevali pa smo tudi dovzetnost za erozijske procese. Padavin v modelu nismo upoštevali, ker nas je zanimala zgolj dovzetnost za pojavljanje hudourniških poplav same pokrajine brez padavin. Pri pokrovnosti smo izhajali iz podatkovnega sloja Corine Land Cover (Pokrovnost tal …, 2012), pri prsti iz Pedološke karte Slovenije (Pedološka karta …, 2012), pri matični podlagi iz hidrogogeološke karte (Hidrogeološka …, 2014), pri reliefu iz digitalnega modela nadmorskih višin ločjivosti 100 × 100 m (Digitalni model višin …, 2013), pri eroziji pa iz opozorilne karte erozije (Erozijska območja …, 2014).

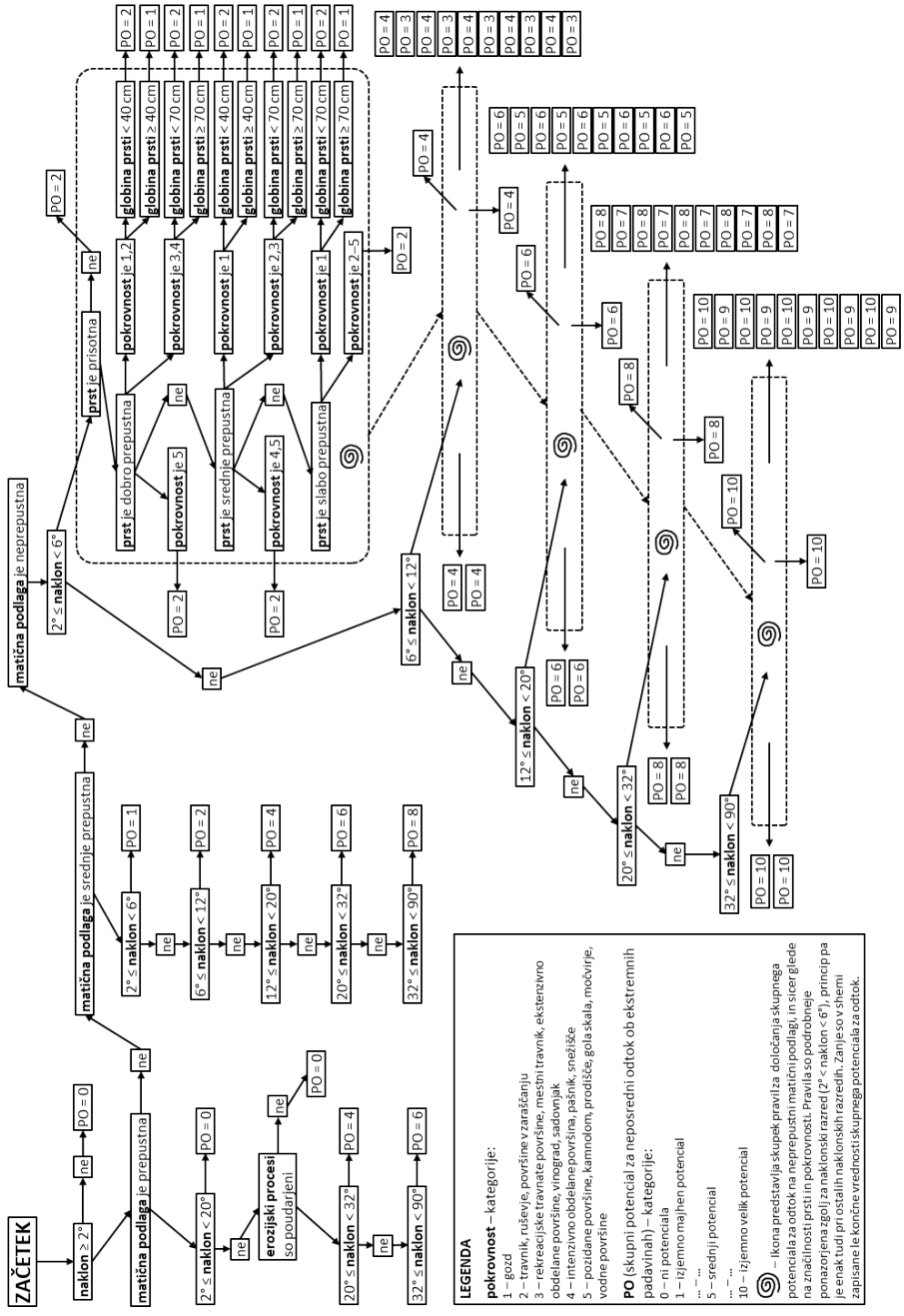
Posamezne vplivne dejavnike smo na podlagi izsledkov iz literature (na primer: Eshleman, 2004; Lilly, Dunn, Baggaley, 2012; Prestor, 2004; Natek, 1983) razvrstili v nekaj razredov glede na potencial za odtok ob ekstremnih padavinah. Različne tipe pokrovnosti smo razvrstili v 5 razredov. V razred z največjim potencialom za odtok smo uvrstili pozidane in vodne površine, ter golo skalnato površje in prodišča, v razred z najmanjšim potencialom za odtok pa gozdne površine. Pri prsti smo upoštevali tri razrede prepustnosti (dobra prepustnost, srednja prepustnost, slaba prepustnost) in tri razrede globine (do 40 cm, do 70 cm ter 70 in več cm), posebej pa smo obravnavali tudi območja brez prsti. Pri matični podlagi smo glede na hidrogeološke značilnosti upoštevali tri razrede prepustnosti (prepustna, srednje prepustna, neprepustna matična podlaga). Pri reliefu smo upoštevali 6 naklonskih razredov. V razred z najmanjšim potencialom za odtok smo uvrstili območja z naklonom med 0° in 1,9°, v razred z največjim potencialom za odtok pa območja z naklonom nad 32°. Erozijo smo z vidika dovzetnosti posameznih območij za erozijske procese razvrstili na območja s poudarjenimi erozijskimi procesi (vsa območja, kjer se na opozorilni karti erozije pojavlja erozija) ter na območja brez poudarjenih erozijskih procesov.

V nadaljevanju smo glede na značilnosti vseh vplivnih dejavnikov hkrati določili skupni potencial za odtok za Slovenijo na ravni 100 metrskih celic. Vrednosti za skupni potencial za odtok smo določali na lestvici od 0 do 10, kjer vrednost 0 pomeni da ni potenciala za odtok, vrednost 1 pomeni izredno majhen potencial za odtok, vrednost 10 pa izredno velik potencial za odtok. Srednji potencial za odtok okvirno ustreza vrednosti 5. Večji kot je na nekem območju potencial za odtok, večja je tudi dovzetnost za pojavljanje hudourniških poplav ob vodotokih, ki to območje odmakajo. Način določanja potenciala za odtok je ponazorjen na izdelanem hidrogeografskem modelu odločitvene sheme za ocenjevanje dovzetnosti za pojavljanje hudourniških poplav (Slika 1). Pri izdelavi modela smo se oprli na izsledke nekaterih avtorjev podobnih modelov (na primer: Scherrer, Naef, 2003; Uhlenbrook, 2003; Uhlenbrook, Roser, Tilch, 2004; Schmocker-Fackel, Naef, Scherrer, 2007; Tetzlaff in sod., 2007).

Glede na to, da imajo ravnine neznaten potencial za odtok, smo v prvem koraku zajeli vsa območja, kjer je naklon manjši od 2°, in jim neodvisno od ostalih hidrogeografskih dejavnikov

odtoka pripisali vrednost potenciala za odtok 0. Preostala območja, kjer je naklon večji ali enak 2°, smo delili glede na prepustnost matične podlage. Za vsako izmed treh stopenj prepustnosti matične podlage (prepustna, srednje prepustna in neprepustna) smo za določanje potenciala za odtok postavili različna pravila.

Slika 6 Hidrogeografski model odločitvene sheme za ocenjevanje dovzetnosti za pojavljanje hudourniških poplav v Sloveniji.



Območjem s prepustno matično podlago (večinoma karbonatne kamnine in sipki fluvialni nanosi) do naklona 20° smo določili ničen potencial za odtok, saj na teh območjih zaradi izjemne prepustnosti podlage (>36 mm/h oziroma >864 mm/dan (Prestor, 2004)) glavnina padavinske vode ob ekstremnih padavinah prenikne. Večjo vrednost potenciala za odtok smo na neprepustni matični podlagi določili le na območjih z naklonom nad 20° s poudarjenimi erozijskimi procesi. Z upoštevanjem erozije smo med seboj ločili območja alpskega in

predalpskega krasa, za katera so značilni poudarjeni erozijski procesi, od dinarskega krasa, kjer so slednji prisotni le izjemoma. Tudi v praksi se v Slovenij hudourniške poplave na območju dinarskega krasa praviloma ne pojavljajo, medtem ko so na območju strmega alpskega in predalpskega krasa marsikje povsem običajne (Trobec, 2016).

Na srednje prepustni matični podlagi (večinoma dolomit) smo pri določanju potenciala za odtok upoštevali le naklon, saj sta pokrovnost in prst v primerjavi z matično podlago manj pomembna. Srednje prepustne kamnine, za katere je značilna okvirna prepustnost med 3,6 in 36 mm/h oziroma 86,4 in 864 mm/dan (Prestor, 2004), so namreč v povprečju zmožne zadržati še večjo količino ekstremnih padavin, kot se jih lahko zadrži v prsti ali kot jih lahko prestreže vegetacija. Relativno večjo pomembnost naklona pa utemeljujemo z dejstvom, da se hudourniške poplave na območjih s srednje prepustno matično podlago v praksi v Sloveniji pojavljajo le, kadar izjemno velika količina padavin pade na strma pobočja, s katerih se padavinska voda hitro steka proti vodotokom (Trobec, 2015).

Na neprepustni matični podlagi je ob ekstremnih padavinah delež v podlago prenikle padavinske vode zanemarljiv (<3,6 mm/h oziroma <86,4 mm/dan) (Prestor, 2004). Na teh območjih prevladuje neposredni (površinski ali podpovršinski) odtok padavinske vode proti vodotokom, zaradi česar je tudi potencial za odtok v splošnem večji kot pri območjih s prepustno ali srednje prepustno matično podlago. Zaradi zanemarljivega prenikanja vode v podlago na odtok v večji meri vplivajo tudi preostali hidrogeografski dejavniki odtoka. Posledično je na območjih z neprepustno matično podlago model najbolj kompleksen. Glavni hidrogeografski dejavnik odtoka je tudi na neprepustni matični podlagi naklon. Znotraj posameznega naklonskega razreda pa na potencial za odtok vplivajo tudi prepustnost in globina prsti v kombinaciji s pokrovnostjo.

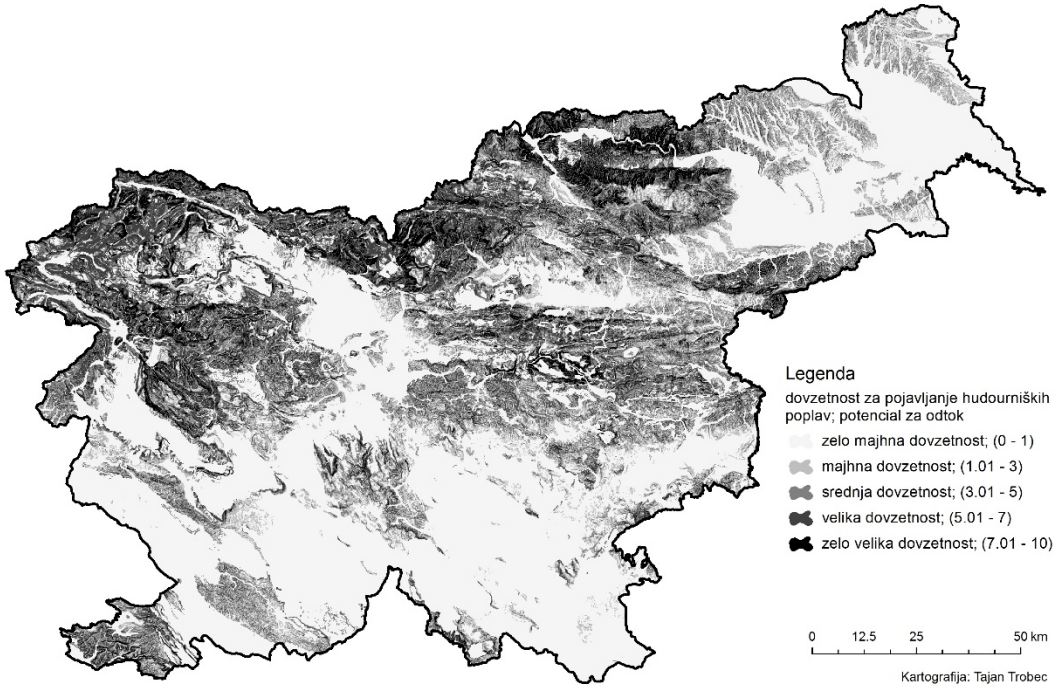
3. Dovzetnost za pojavljanje hudourniških poplav v Sloveniji

S hidrogeografskim modelom odločitvene sheme za ocenjevanje dovzetnosti za pojavljanje hudourniških poplav smo izdelali karto, ki prikazuje oceno dovzetnosti posameznih območij v Sloveniji za pojavljanje hudourniških poplav (Slika 2). Višje vrednosti na karti predstavljajo večji potencial za odtok in s tem večjo dovzetnost za pojavljanje hudourniških poplav, nižje pa manjšo dovzetnost za pojavljanje hudourniških poplav. Za vodotoke, ki odmakajo območja z veliko dovzetnostjo za pojavljanje hudourniških poplav, lahko pričakujemo, da imajo izrazito hudourniški značaj in buren hidrološki odziv, ki se ob ekstremnih padavinah odraža tudi v pojavljanju uničujočih hudourniških poplav. Porečja vodotokov, ki odmakajo območja z manjšo dovzetnostjo za pojavljanje hudourniških poplav, pa imajo zmernejši hidrološki odziv, zaradi česar so ob takih vodotokih ob ekstremnih padavinah hudourniške poplave dosti manj nevarne in razdiralne, lahko pa se tudi sploh ne pojavljajo.

V splošnem so najvišje vrednosti potenciala za odtok na območjih strmih gorovij in hribovij v alpskem in predalpskem svetu, še zlasti na neprepustni matični podlagi. Gorovjem in hribovjem sledijo gričevja, najprej strmejša (na primer Koprska brda in Haloze) in nato položnejša (na primer Slovenske gorice in Goričko). Najnižje vrednosti se pojavljajo na večjih sklenjenih ravninah v dnu kotlin in širših dolin. Zaradi prepustnih kamnin ter majhnih naklonov prevladujejo nizke vrednosti tudi na dinarskem krasu ter na alpskih kraških planotah in podih.

Glede na rezultate modela lahko sklepamo, da je v Sloveniji ob ekstremnih padavinah okoli 10.800 km², oziroma več kot polovica ozemlja (53, 3 %), dovzetnega za pojavljanje hudourniških poplav. Slednje ne pomeni, da na vseh teh območjih ob poplavah tudi dejansko prihaja do razlivanja vode, obilnega zasipavanja z rečnim gradivom, nastanka drobirskih in blatnih tokov ipd. Pomeni pa, da se s teh območij, v odvisnosti od njihovega potenciala za odtok, ob ekstremnih padavinah padavinska voda v večjih ali manjših količinah ter z večjo ali manjšo hitrostjo steka v hudourniške vodotoke, ob katerih se posledično lahko pojavljajo bolj

ali manj razdiralne hudourniške poplave. Omenjena območja tako predstavljajo tip površja, na katerem lahko pričakujemo pojavljanje hudourniških poplav.

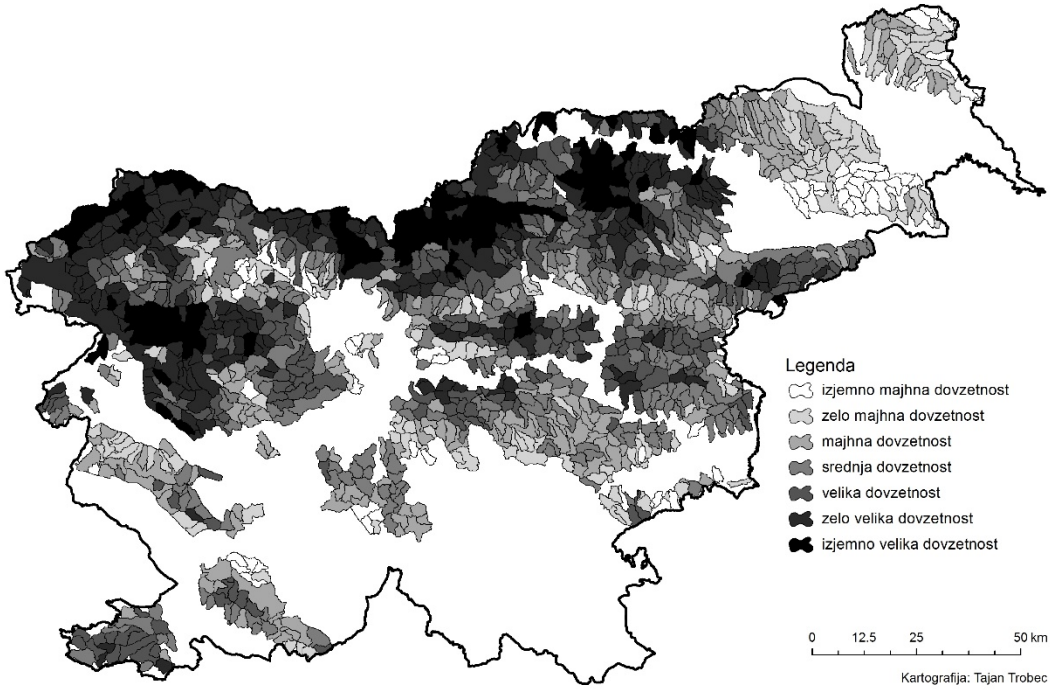


Slika 2 Ocena dovzetnosti za pojavljanje hudourniških poplav v Sloveniji.

Med območja, dovzetna za pojavljanje hudourniških poplav, se uvrščajo predvsem območja, s katerih se ob ekstremnih padavinah voda steka neposredno (površinsko ali podpovršinsko) proti hudourniškim vodotokom. Slednje je značilno predvsem za območja na neprepustni ter deloma na srednje prepustni matični podlagi. Za pojavljanje hudourniških poplav so dovzetna tudi nekatera območja na prepustni matični podlagi, s katerih padavinska voda ob ekstremnih padavinah proti hudourniškim vodotokom (ali proti izvirom s katerimi se ti napajajo) odteka podzemno, a je pri tem zaradi specifičnih odtočnih razmer vpliv kraškega zadržka občutno zmanjšan. Slednje je značilno predvsem za strmejša območja alpskega krasa.

Vrednosti s karte dovzetnosti za pojavljanje hudourniških poplav, smo v nadaljevanju povprečili na porečja različnih velikostnih redov. Porečja smo glede na dobljene vrednosti z Jenksovo optimizacijsko metodo naravnih meja (Jenks, 1967) razvrstili v sedem razredov. Dobljena karta predstavlja dovzetnost posameznih porečij različnih velikostnih redov za pojavljanje hudourniških poplav glede na v modelu upoštevane dejavnike (Slika 3) Porečja, ki se uvrščajo v višje razrede, imajo burnejši hidrološki odziv in so tako v splošnem bolj dovzetna za pojavljanje hudourniških poplav od porečij, ki se uvrščajo v nižje razrede.

Če bi nad poljubnimi po velikosti primerljivimi porečji hipotetično padla enaka količina ekstremnih padavin, bi se v splošnem gledano vodotoki porečij, ki se uvrščajo v višje razrede, na padavine odzvali burneje od vodotokov porečij, ki se uvrščajo v nižje razrede. V porečjih višjih razredov bi se namreč v odtok preusmeril večji delež padavin kot v porečjih nižjih razredov. V vodotokih porečij višjih razredov bi se posledično v krajšem času znašla večja količina vode, ki bi tudi po strugi navzdol napredovala hitreje. Ob doseženi pretočni konici visokovodnega vala bi bili v vodotokih porečij višjih razredov posledično v povprečju večji tudi odtoki z enote površine, voda pa bi imela večjo sposobnost za erozijo in večjo transportno moč.



Slika 3 Ocena dovzetnosti za pojavljanje hudourniških poplav v Sloveniji za porečja različnih velikostni redov.

Dovzetnost za pojavljanje hudourniških poplav se ne nanaša na pogostnost njihovega pojavljanja, zaradi česar večja dovzetnost še ne pomeni, da se hudourniške poplave v porečjih višjih razredov pojavljajo pogosteje (nastanek hudourniških poplav je namreč odvisen od padavin, ki pa jih izdelani model ne upošteva). Pomeni pa, da so v porečjih, ki so zaradi specifične hidrogeografske sestave bolj dovzetna za pojavljanje hudourniških poplav, slednje lahko potencialno bolj intenzivne, nevarne in razdiralne kot v porečjih, ki so manj dovzetna za pojavljanje hudourniških poplav. V porečjih z majhno dovzetnostjo za pojavljanje hudourniških poplav (na primer na Goričkem, v Slovenskih goricah itd.) se, ne glede na količino ekstremnih padavin, izjemno intenzivne in razdiralne hudourniške poplave pravzaprav skoraj ne morejo pojaviti, ker so zaradi specifične hidrogeografske sestave porečij hitrosti odtekanja vode, erozija in akumulacija omejene. Povsem drugače je v porečjih z večjo dovzetnostjo za pojavljanje hudourniških poplav (na primer na Pohorju, v Zgornji Savinjski dolini ali na južnih pobočjih Spodnjih Bohinjskih gora), kjer ob ekstremnih padavinah hidrogeografska sestava porečij dopušča bistveno večje odtoke, ki se potencialno lahko odrazijo v zelo uničujočih hudourniških poplavah in spremljajočih procesih.

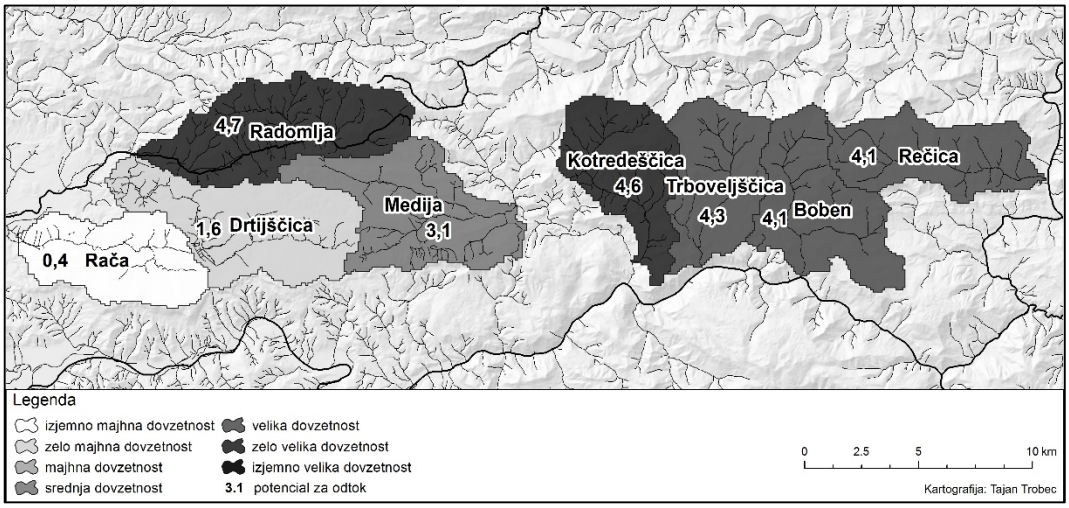
4. Uporabna vrednost dobljenih rezultatov

Karta dovzetnosti za pojavljanje hudourniških poplav po porečjih različnih velikostnih redov (Slika 3) je potencialno uporabna tudi z operativnega vidika. Na zaključenih območjih s podobno intenzivnostjo in količino ekstremih padavinskih dogodkov namreč med porečji enakega velikostnega reda posredno omogoča okvirno primerjavo z vidika relativne količine padavin, ki je v posameznem porečju potrebna za nastanek hudourniških poplav.

Na priloženem izseku karte dovzetnosti za pojavljanje hudourniških poplav so predstavljeni vodotoki s porečji velikostnega reda 25–49,9 km² v zahodnem delu Posavskega hribovja (Slika 4). Glede na obstoječe podatke (Največja 12-urna …, 2012) je za celotno območje, na katerem se nahajajo izbrana porečja, značilna podobna količina 12-urnih 100-letnih padavin, ki okvirno znaša med 110 in 125 mm. Za vsako izmed porečij je moč razbrati razred in konkretno vrednost za dovzetnost za pojavljanje hudourniških poplav. Zaradi burnejšega hidrološkega

odziva porečij z večjo dovzetnostjo za pojavljanje hudourniških poplav je moč sklepati, da je pri njih za nastanek hudourniških poplav v splošnem potrebna manjša količina padavin kot v porečjih z manjšo dovzetnostjo za pojavljanje hudourniških poplav. Če bi torej hipotetično celotno območje zajele enake ekstremne padavine, bi bili zaradi hidrogeografske sestave njunih porečij, ki ju odlikuje največji skupni potencial za odtok, najbolj na udaru Radomlja in Kotredeščica. Ti dve porečji sta namreč razmeroma strmi in imata razmeroma majhen delež prepustne matične podlage, kar pospešuje odtok. Sledili bi vodotoki Trboveljščica, Boben in Rečica ter nato Medija, ki ima v povirnem delu porečja že bistveno večji delež prepustne matične podlage, kar odtok nekoliko umirja. Najmanj na udaru bi bili Drtijščica in Rača, za kateri so poleg velikega deleža prepustne matične podlage značilni tudi že nekoliko manjši nakloni, kar le še dodatno umirja odtok. Glede na dovzetnost za pojavljanje hudourniških poplav posameznih porečij lahko sklepamo, da je prag za količino padavin, ki je potrebna za pojavitev hudourniških poplav, v tem primeru najmanjši na porečjih Radomlje in Kotredeščice, največji pa na porečjih Rače in Drtijščice.

Slika 4 Dovzetnost za pojavljanje hudourniških poplav izbranih porečij velikostnega reda 25–49,9 km^2 v zahodnem delu Posavskega hribovja.



S kombinacijo uporabe modelnih napovedi padavin, kot je na primer ALADIN, ter karte dovzetnosti za pojavljanje hudourniških poplav po porečjih različnih velikostnih redov, bi bilo v času ekstremnih pretokov in poplav možno izboljšati tudi samo hidrološko napoved za posamezna porečja. Karta dovzetnosti za pojavljanje hudourniških poplav po porečjih različnih velikostnih redov bi poleg tega lahko predstavljala podlago za določanje padavinskega praga za nastanek hudourniških poplav pri posameznih porečjih (Ntelekos, Georgakakos, Krajewski, 2006).

Omejitev pri primerjavi med posameznimi porečji predstavlja dejstvo, da je primerjava z vidika relativne količine padavin, ki je v posameznem porečju potrebna za nastanek hudourniških poplav, možna le na območjih s podobno intenzivnostjo in količino ekstremih padavinskih dogodkov. Slednja namreč zagotavlja, da so struge vodotokov v hidravličnem in hidromorfološkem smislu podobno prilagojene na odvodnjo visokih voda ob ekstremnih padavinah. Le v tem primeru lahko tudi sklepamo, da se hudourniške poplave v različnih, primerljivo velikih porečjih, prično pojavljati ob podobnih odtokih z enote površine. Tako na primer že v osnovi ne moremo primerjati porečij Julijskih Alp s porečji Goričkega ali Slovenskih goric, saj sta intenzivnost in količina ekstremnih padavin v Julijcih lahko tudi do nekaj velikostnih redov večji od intenzivnosti in količine padavin v vzhodni Sloveniji, kar se odraža tudi v različni prilagoditvi odvodnje. Iz prakse je nenazadnje znano, da na primer 12-urne padavine reda velikosti okoli 100 mm v vzhodnem delu države povzročijo hudourniške

poplave s praktično maksimalnimi možnimi pretoki, medtem ko enaka količina padavin v Julijcih v marsikaterem porečju niti še ne predstavlja praga za nastop hudourniških poplav.

5. Zaključki

Ovrednotenje vpliva hidrogeografske sestave vodozbirnih zaledij na pojavljanje in intenzivnost hudourniških poplav v Sloveniji je pokazalo, da je glede na značilnosti vplivnih hidrogeografskih dejavnikov odtoka (pokrovnost, prst, matična podlaga in relief) več kot polovica območij v Sloveniji dovzetna za pojavljanje hudourniških poplav. Pri teh območjih gre za tip površja s katerega padavinska voda razmeroma hitro odteka v hudourniške vodotoke, ob katerih se posledično lahko pojavljajo tudi hudourniške poplave.

Za pojavljanje hudourniških poplav so najbolj dovzetna strma gorovja in hribovja v alpskem in predalpskem svetu z neprepustno matično podlago. Najmanj dovzetna za pojavljanje hudourniških poplav pa so območja večjih sklenjenih ravnin v dnu kotlin in širših rečnih dolin, območja dinarskih planot, kraška polja in podolja ter alpske kraške planote in podi. V porečjih, ki so zaradi specifične hidrogeografske sestave bolj dovzetna za pojavljanje hudourniških poplav, so slednje lahko potencialno bolj intenzivne, nevarne in razdiralne kot v porečjih, ki so manj dovzetna za pojavljanje hudourniških poplav. Tako se denimo na Goričkem ali v Slovenskih goricah ne glede na količino ekstremnih padavin izjemno intenzivne in razdiralne hudourniške poplave pravzaprav skoraj ne morejo pojaviti, ker so tam hitrosti odtekanja vode, erozija in akumulacija omejene. Na Pohorju, v Zgornji Savinjski dolini ali na južnih pobočjih Spodnjih Bohinjskih gora, kjer hidrogeografska sestava porečij ob ekstremnih padavinah dopušča bistveno večje odtoke, pa se ti potencialno lahko odrazijo v zelo uničujočih hudourniških poplavah in spremljajočih procesih.

Izdelana karta dovzetnosti za pojavljanje hudourniških poplav po porečjih različnih velikostnih redov omogoča tudi okvirno primerjavo z vidika relativne količine padavin, ki je v posameznem porečju potrebna za nastanek hudourniških poplav. Na podlagi izdelane karte je ob kombinaciji z modelnimi napovedmi padavin (na primer ALADIN) tako moč izboljšati hidrološko napoved za posamezna porečja v času ekstremnih pretokov in poplav. Slednje bi se lahko izkazalo za uporabno pri preventivnem delovanju, napovedovanju poplav ter opozarjanju nanje.

6. Viri

[1] BRILLY, M., MIKOŠ, M., ŠRAJ, M., 1999. Vodne ujme – varstvo pred poplavami, erozijo in plazovi. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

[2] Digitalni model višin z ločljivostjo 100 × 100 m [online]. GURS. Available from: http://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih-podatkov/topografski-in-kartografski-podatki/digitalni-model-visin/digitalni-model-visin-z-locljivostjo-dmv-125-dmv-25-dmv-100/ [dostop 27. november 2013].

[3] Direktiva 2007/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2007 o oceni in obvladovanju poplavne ogroženosti [online]. Bruselj. Available from: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:288:0027:0034:SL:PDF [dostop 10. januar 2017].

[4] Erozijska območja - opozorilna karta erozije. Spletna objektna storitev (WFS) za izdajanje okoljskih prostorskih podatkov [online]. ARSO. Available from: http://gis.arso.gov.si/wfs_web/faces/WFSLayersList.jspx [dostop 22. september 2014].

[5] ESHLEMAN, K.N., 2004. Hydrological Consequences of Land Use Change: A Review of the State-of-Science. *V:* Defries, R.S., Asner, G.P., Houghton, R.A., ur. *Ecosystems and Land Use Change.* Washington, DC: American Geophysical Union, 13-29.

[6] GEORGAKAKOS, K.P., 1986. On the design of natural, real-time warning systems with capability for site-specific, flash flood forecasts. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 67 (10), 1233-1239.

[7] Hidrogeološka karta prepustnosti matične podlage. Geološki zavod Slovenije. 2014.

[8] JENKS, G.F., 1967. The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, 186-190.

[9] LILLY, A., DUNN, S.M., BAGGALEY, N.J., 2012. Hydrological Classifications of Soils and their Use in Hydrological Modeling. *V:* Lin, H., ur. *Hydropedology: Synergistic Integration of Soil Science and Hydrology.* Amsterdam, Boston: Academic Press, Elsevier, 537-557.

[10] MUSY, A., HIGY, C., 2011. Hydrology – a science of nature. Enfield: Science Publishers.

[11] Največja 12-urna višina padavin s povratno dobo 100 let (1961–2000). ARSO. 2012.

[12] NATEK, K., 1983. Metoda izdelave in uporabnost splošne geomorfološke karte. Magistrsko delo. Ljubljana: Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani, Oddelek za geografijo.

[13] NATEK, K., 2005. Poplavna območja v Sloveniji. *Geografski obzornik,* 52 (1), 13-18.

[14] NTELEKOS, A. A., GEORGAKAKOS, K. P., KRAJEWSKI, W. F., 2006. On the Uncertainties of Flash Flood Guidance: Toward Probabilistic Forecasting of Flash Floods. *Journal of Hydrometeorology,* 7 (5), 896- 915.

[15] Pedološka karta Slovenije [online]. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Sektor za sonaravno kmetijstvo. Available from: http://rkg.gov.si/GERK/documents/PedoloskaKarta.zip [dostop 22. junija 2012].

[16] Pokrovnost tal v Sloveniji po CORINE 2006. Spletna objektna storitev (WFS) za izdajanje okoljskih prostorskih podatkov [online]. ARSO. Available from: http://gis.arso.gov.si/wfs_web/faces/WFSLayersList.jspx [dostop 22. junija 2012].

[17] PRESTOR, J., 2004. Nacionalna baza hidrogeoloških podatkov za opredelitev teles podzemne vode Republike Slovenije (Sklepno poročilo 3.faze). Hidrogeološke Podlage za začetno opredelitev teles podzemne vode Republike Slovenije. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije.

[18] SCHERRER, S., NAEF, F., 2003. A decision scheme to indicate dominant hydrological flow processes on temperate grassland. *Hydrological Processes*, 17, 391-401.

[19] SCHMOCKER-FACKEL, P., NAEF, F., SCHERRER, S., 2007. Identifying runoff processes on the plot and catchment scale. *Hydrology and Earth Syststem Sciences*, 11 (2), 891-906.

[20] TETZLAFF, D., SOULSBY, C., WALDRON, S., MALCOLM, A., BACON, P.J., DUNN, S.M., LILLY, A., YOUNGSON, A.F., 2007. Conceptualization of runoff processes using a geographical information system and tracers in a nested mesoscale catchment. *Hydrological Processes*, 21, 1289-1307.

[21] TROBEC, T., 2015. Hidrogeografska analiza pojavljanja hudourniških poplav v Slovenij. Doktorsko delo. Ljubljana: Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani, Oddelek za geografijo.

[22] TROBEC, T., 2016. Prostorsko-časovna razporeditev hudourniških poplav v Sloveniji (Spatio-temporal distribution of flash floods in Slovenia). *Dela*, 46 (v tisku).

[23] UHLENBROOK, S., 2003. An empirical approach for delineating spatial units with the same dominating runoff generation processes. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, 297-303.

[24] UHLENBROOK, S., ROSER, S., TILCH, N., 2004. Hydrological process representation at the meso-scale: the potential of a distributed, conceptual catchment model. *Journal of Hydrology*, 291, 278-296.

SISTEM PODAJNIH PREGRAD ZA ZAŠČITO PRED DROBIRSKIM TOKOM

Tomaž Balut, univ. dipl. inž. grad.[1], Davor Rozman, univ. dipl. inž. grad.[2], dr. Corinna Wendeler, univ. dipl. inž. grad.[3]

[1]Corus inženirji d.o.o., 5270 Ajdovščina, [2]Rejda d.o.o., 1230 Domžale, [3]Geobrugg AG Protection Systems, Romanshorn, 8590 Romanshorn, Švica

POVZETEK

Zaradi intenzivnih padavin v oktobru 2014 in neugodne geološke sestave območja, se je v vasi Grahovo ob Bači zgodila posebna oblika masnega gibanja - drobirski tok. Pojav je povzročil uničujoče posledice na infrastrukturi in gmotno škodo na objektih. Zaradi problematične geološke sestave tal in težav z dostopom je izgradnja klasičnih ukrepov za zadrževaje in umirjanje drobirskega toka v takih situacijah otežena. Predlagana rešitev vključuje izgradnjo jeklenega sistema podajne pregrade, ki je v primerjavi s klasičnimi težnostnimi konstrukcijami lažja, enostavnejša za vgradnjo ter bolj ekonomična. Zaradi pomanjkanja izkušenj pri graditvi podajnih pregrad v Sloveniji smo pri načrtovanju uporabili izsledke testiranja v hudournikih Illgraben, Merdenson ter laboratorijskih preskusov s strani švicarskega federalnega inštituta za raziskovanje gozdov, snega in krajine (WSL). Izsledki testiranja na dejanskih pojavih drobirskega toka so bili uporabljeni za pripravo smernic za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje v celotnem življenjskem ciklu sistema podajnih pregrad.

Ključne besede:

hudournik, drobirski tok, sistem podajnih pregrad, testno polje, sidranje, dinamična obremenitev, disipacija energije, WSL

1. Obravnavano območje

Vas Grahovo ob Bači se nahaja na deluvialni terasi vzdolž hribovitega pobočja na desnem bregu reke Bače. Naselje se nahaja na nadmorski višini 200 do 400 m n.v. in leži ob regionalni cesti Hudajužna-Podbrdo (slika 1). Ker je ozka dolina omejena s precej strmimi pobočji, imajo glavni površinski odvodniki izrazito hudourniški značaj. Zato se v naselju ob visokih vodah pojavljajo težave s površinskim odtokom. Struge v zaledju so neurejene in podvržene spodjedanju ter bočni eroziji, tako da se visoka voda nekontrolirano steka po pobočju proti reki Bači.

Nekontroliran odvod vode povzroča težave tudi s površinsko erozijo, težave, povezane z zamakanjem pobočja ter težave z neustreznimi pretočnimi profili zacevljenih odsekov in prepustov pod regionalno cesto, še posebej v primeru pojava drobirskih tokov.

Obravnavani odsek se nahaja nad naseljem, kjer struga prehaja iz strmejšega povirnega dela proti položnejšemu delu doline. V tem območju prihaja do intenzivne erozije, saj so brežine večinoma iz nevezanega materiala ter kot take precej podvržene bočni eroziji. Pojav bočne erozije vodi v še večje deformacije pretočnega profila in pojave zdrsov ter usadov v strugo hudournika.

Slika7: Obravnavano območje hudournika.

2. Geološka sestava pobočja

Ob močnejših padavinah z večjo intenziteto prihaja do velikega sproščanja materiala. Geološko sestavo obravnavanega območja predstavljajo zelo pretrti plastoviti sivi dolomiti in apnenci (zgornji trias), nižje po pobočju pa se pojavlja pobočni grušč iz karbonatnih kamnin (slika 2) ter deluvialni sloj iz pobočnega grušča in preperinskega materiala (kvartar). V obdobjih intenzivnih padavin začne saturirani material drseti v strugo, kjer se prične pojav drobirskega toka.

Slika 2: Geološka sestava in struga hudournika.

3. Neurje v oktobru 2014

Problematično območje je zelo vodnato ter podvrženo lokalnim, izredno intenzivnim kratkotrajnim padavinam, kar vodi v hiter hudourniški odtok. Največ padavin je padlo na območju med Grahovim in Koritnico, lokalno prek 400 mm v manj kot 8 urah. Na zasebni merilni postaji v Grahovem je bilo v noči 21.10.2014 od 20:00 do 04:00 zabeleženih 400-420 mm padavin.

Padavine so bile najbolj intenzivne od 1 h do 4 h, kar pomeni, da je ta dan v treh urah padlo približno 260 mm dežja. Za padavinsko postajo Knežke Ravne je po podatkih ARSO 24-urna vsota padavin na dan 22.10.2014 znašala 149,9 mm. Kasnejša analiza padavinskega dogodka je pokazala, da so imele omenjene padavine za okoliške padavinske postaje povratno dobo približno 5 let, na ožjem območju Grahovo-Koritnica pa so bile padavine lokalno precej intenzivnejše in so imele povratno dobo približno 10 let.

Po zbranih informacijah lokalnih prebivalcev smo ugotovili, da so se večji pojavi drobirskih tokov zgodili leta 1993, 2004, 2007 in 2014, zato smo za daljše obdobje zbrali podatke za padavinsko postajo Knežke Ravne. Izkazalo se je, da imajo večji pojavi drobirskega toka povratno dobo približno 5-10 let in se pojavijo, ko lokalno na povodju pade več kot 200 mm

dežja v obdobju 2 do 4 ur. Po terenskih ogledih, analizah in zbranih informacijah ob izvedbi interventnih del je bilo ocenjeno, da se je na obravnavanem območju oktobra 2014 odložilo približno 800-1000 m^3 materiala, od tega približno 400-500 m^3 iz povirnega območja, ostalo se je sprostilo vzdolž potovanja vala v strugi na ocenjeni dolžini 300 m (slika 3).

Slika 3: Odloženi material in posledice po neurju jeseni 2014.

4. Razvoj sistemov podajnih pregrad za zaščito pred drobirskim tokom v svetu in Sloveniji

Podajne pregrade za zaščito pred drobirskim tokom so se razvile iz podajno lovilnih ograj za zaščito pred padajočim kamenjem, ki so bile naključno izpostavljene drobirskemu toku. Empirične izkušnje pri uporabi podajno lovilnih ograj v Evropi, Aziji in Severni Ameriki so pokazale, da so sistemi, ki so dimenzionirani na večje udarne energije sposobni zadržati udarni val ter volumen drobirskega toka. Za proučevanje vpliva drobirskega toka na podajne pregrade se je od leta 2000 izvedlo več poskusov, tako v naravi, kot v laboratoriju. V Sloveniji se je prva podajna pregrada zgradila po uničujočem dogodku leta 2007, ki je poškodoval partizansko bolnico Franja.

4.1 Testno polje Illgraben

Illgraben je eden najbolj aktivnih hudournikov v Švici, povprečno se pričakuje vsaj en dogodek drobirskega toka na leto. Hudournik in intenzivne vsakoletne pojave v njem je že od leta 2000 spremljal švicarski federalni inštitut za raziskovanje gozdov, snega in krajine (WSL). Iz tega razloga se je na tej lokaciji postavilo prvo testno polje za raziskovanje vpliva podajnih pregrad na drobirski tok. Dodatna prednost lokacije je enostavna možnost dostopa ter razpoložljivost vse potrebne infrastrukture za priklop merilnih naprav.

Slika 4: Testno polje v naravni velikosti na hudourniku Illgraben, Švica. Prazna (levo) ter zapolnjena podajna pregrada (desno). 18.05.2006 se je ob močnih nalivih iz zaledja sprostilo preko 15.000 m^3 materiala. 1.000 m^3 se je zadržalo za podajno pregrado, medtem ko se je preostanek brez poškodb prelil.

4.2 Poskusno polje Merdenson

Nadaljnje raziskave so potekale na hudourniku Merdenson (slika 5). Proučeval se je vpliv vgradnje serije več (treh) podajnih pregrad na dinamiko drobirskega toka. Pri vgradnji podajnih pregrad v nizu je zelo pomembna razdalja med pregradnimi profili. Naklon dna za zapolnjeno pregrado mora zagotavljati formiranje mirnega toka ter pojav stabilnega vodnega skoka tik pod pregrado, saj se le tako lahko zagotovi zadostna disipacija energije. Zaradi daljšega časovnega obdobja poskusov se je ocenila tudi erozijska odpornost konstrukcije zapolnjenih podajnih pregrad.

Slika 5: Niz pregrad na hudourniku Merdenson, Švica. Prazne (levo) ter polne pregrade (desno).

4.3 Laboratorijski poskus WSL

Izvedla se je serija sedmih laboratorijskih poskusov za proučevanje vpliva velikosti odprtin mreže glede na granulacijo premeščenega materiala. Poskus se je izvajal v laboratorijskem kanalu v naklonu s kvadratnim prerezom dimenzije 30x30 cm (slika 6). Za izvajanje poskusov se je uporabil material iz dejanskih hudournikov, vendar se je zaradi geometrijske omejitve kanala uporabila le frakcija manjša od 30 mm.

Slika 6 Kanal za analiziranje drobirskega toka. Laboratorij švicarskega federalnega inštituta za raziskovanje gozdov, snega in krajine (WSL).

4.4 Podajna pregrada VX160 Bolnica Franja

Neurje in hudourniški izbruh v letu 2007 je popolnoma uničil 14 izmed 16 objektov partizanske bolnišnice Franja ter skoraj vso originalno opremo. Za zaščito obnovljenih in restavriranih objektov se je nad območjem bolnice zgradila podajna pregrada tipa VX160 proizvajalca Geobrugg (slika 7). Sistem podajne pregrade je nadomestil prvotno načrtovano betonsko ločno pregrado višine 10 m, katere zaradi visokih zahtev kvalitete betona ni bilo možno zgraditi v drugače nedostopni soteski Pasice. Za transport in gradnjo podajne pregrade ter betonske pete se je poleg manjše gozdarske žičnice v večji meri uporabila ročna tehnika.

Slika 7: Prva podajna pregrada v Sloveniji: partizanska bolnica Franja.

4.5 Rezultati opazovanj

Pri načrtovanju sistema je potrebno upoštevati dinamične pritiske več zaporednih poplavnih valov, statične in hidrostatske pritiske na sistem ter upoštevati možnost prelivanja povsem zaplavljenega objekta. Izsledki večletnih raziskav kažejo da:

- Podajne pregrade lahko ob ustrezni zasnovi brez poškodb zadržijo ali zmanjšajo volumen drobirskega toka.
- Na obliko podajne pregrade pod obremenitvijo je možno vplivati s statično analizo konstrukcije (potek jeklenic, lokacija sidrišč). Ustrezna oblika zapolnjene pregrade ugodno vpliva na hidravliko (disipacija energije v podslapju) ter korozijsko odpornost (zmanjšanje abrazije).
- Za statično in dinamično analizo podajnih objektov je bil razvit simulacijski program FARO, ki deluje po metodi končnih elementov (Volkwein, 2005). Program je uspešno umerjen na podlagi rezultatov opazovanj.

- Prelivanje materiala preko podajne pregrade lahko postane projektna opcija v primeru, ko z eno pregrado ne moremo zadržati celotnega volumna drobirskega toka. V tem primeru vgradimo več pregrad v nizu, ki lahko tudi po zapolnitvi ohranjajo funkcijo klasičnih hudourniških pregrad.
- Večji kamniti bloki, ki potujejo s tokom nimajo bistvenega vpliva na pregrado. Trki so bili z merilnimi instrumenti zaznani, vendar niso presegali 5% največje skupne obremenitve podajne pregrade.
- Optimalne rezultate zadrževanja se doseže ob odprtini mreže in višini bazne odprtine, ki je približno enaka velikosti frakcije d_{90}.

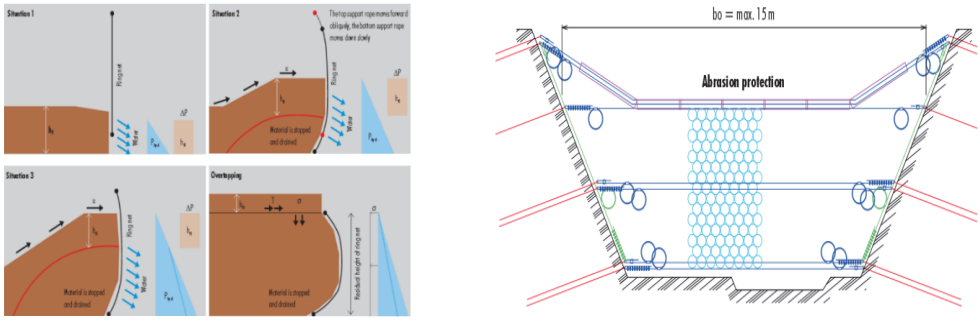
5. Načrtovanje podajne pregrade v Grahovem ob Bači

Predvidena rešitev v pregradnem profilu mora zagotavljati učinkovito disipacijo energije ter zadrževalni volumen. Zaželena je dostopnost z možnostjo praznjenja. Pregradni profil mora zagotavljati možnost ustreznega sidranja ter upoštevati geološke pogoje, v nasprotnem je sidranje sistema zahtevnejše in dražje. Kot ukrep za zadrževanje drobirskih tokov je bil izbran sistem podajne pregrade Geobrugg VX-140, skupne višine 5 m, širine 4,5 m na dnu ter 12,5 m na vrhu pregrade. Predviden zadrževalni volumen polne pregrade je cca. 250-300 m^3. Spodnja bazna odprtina v višini 0,5 m zagotavlja normalen odtok vode.

Ker so sposobnosti sistema preizkušene, dokazane in analizirane z opravljenimi poskusi 1:1, je bil za izračun obremenitve in potrebne nosilnosti podajno lovilne pregrade uporabljen s strani proizvajalca razvit računalniški program za dimenzioniranje sistema. V programu se je preverilo mejno stanje nosilnosti v primeru obremenitve pregrade z valom v velikosti 300, 400 in 500 m^3.

Konstrukcija je dimenzionirana na dinamične obremenitve več zaporednih drobirskih tokov gostote 2000 kg/m^3 in volumni do približno 500 m^3. Pretok drobirskega toka je ocenjen na podlagi enačbe Rickenmanna (Rickenmann, 1999), hitrost pa je izračunana na podlagi empirične enačbe Manning-Strickler. Za gruščnati tok s pretokom 17 m^3/s in hitrostjo vala 5 m/s, znaša izračunana dinamična obremenitev sistema $D_{k,d}$=101 kN/m^2, v primeru statične obremenitve znaša obtežba $S_{k,d}$=56 kN/m^2.

Zaradi nezanesljivosti vhodnih podatkov o konkretnih drobirskih tokovih in težko napovedljivih naravnih pojavih v prihodnosti, je glede na ogroženost območja smiselno upoštevati tudi določene varnostne faktorje za računske nosilnosti sistema (v tem primeru minimalno 1,50).



Slika 8: Prikaz obremenitve sistema (I. faza – dinamična obremenitev, II. faza – statična obtežba), shematski prikaz izbrane sidrane podajno lovilne pregrade (Geobrugg VX-140 brez vmesnih stebrov).

Ker je za izvedbo sidranja in montaže sistema potrebno upoštevati navodila izbranega proizvajalca glede vgrajevanja, ojačitvenih in sidrnih vrvi, zavor in sidrišč, je potrebno zagotoviti tudi ustrezno nosilnost geotehničnih sider za sidranje in napenjanje nosilnih jeklenih vrvi. Za izračun potrebne nosilnosti sidra (za izbran sistem F_s = 350 kN/sidro) je potrebno upoštevati podatke o obremenitvi sistema, ki so pridobljeni na podlagi testov v naravi ter računalniških in laboratorijskih simulacij, saj v nasprotnem ni možno zagotoviti predvidene nosilnosti sistema kot celote.

Za sidranje nosilnih vzdolžnih in stranskih vrvi je na posameznem boku pregrade predvideno sidranje sistema z devetimi sidri. Zaradi velikih dinamičnih obremenitev so tudi zahtevane nosilnosti posameznih sider precej visoke, saj v hudourniških strugah dostikrat ni mogoče zagotoviti ustrezne vpetosti sider v kvalitetno podlago. Omenjeno je lahko težava v neugodnih geoloških pogojih (pobočni grušč, ipd.), saj zagotavljanje tako velikih nosilnosti povsod ni mogoče, problematična je lahko tudi globalna stabilnost celotnega boka pregrade. V skladu z ugotovljenimi geološkimi pogoji je potrebno sidra ustrezno načrtovati in prilagoditi.

6. Zaključki

Podajne pregrade so objekti za zmanjševanje vplivov drobirskega toka. Če so pregrade ustrezno načrtovane, so sposobne zadržati tudi preostale vplive, kot na primer lesne naplavine, zrnske tokove ali snežne plazove. Prednost uporabe podajnih sistemov je predvsem ekonomičnost, saj jih je mogoče v relativno hitrem času postaviti tudi v najzahtevnejših in nedostopnih terenih.

Premer jeklenih obročev mora biti prilagojen granulometrični sestavi premeščenih sedimentov in se morajo čim bolj približati vrednosti d_{90}, kar nakazujejo laboratorijski testi. Smernice so uporabne tudi v primeru pojava zrnskega toka. Testiranja na hudournikih Illgraben in Merdenson izkazujejo, da so podajne pregrade ustrezen ukrep za zadrževanje drobirskih tokov manjših volumnov. V primeru gradnje niza podajnih pregrad se zadržani volumen ustrezno poveča, prav tako se z učinkom umirjanja toka zmanjša erozijski vpliv na brežine.

Empirični podatki o trajnosti takih objektov so znani predvsem za sisteme podajno lovilnih ograj za zaščito pred padajočim kamenjem, ki načeloma niso izpostavljeni učinkom tekočinske dinamike drobirskega toka. Z večletnimi raziskavami in testiranji podajnih pregrad so sistemi prišli na tak nivo, da lahko zagotovijo predvidljivo obnašanje ter s tem dolgoročno trajnost. Kljub temu je potrebno za zagotovitev trajnosti poskrbeti za ustrezno načrtovanje, ki obsega določevanje vrste in magnitude vplivov, izbiro varnostnih faktorjev, izbiro sistema, izbiro lokacije, kvalitetno statično in dinamično analizo sistema ter kvalitetno vgradnjo. Zaradi odročnih lokacij umestitve morajo biti zagotovljeni ustrezni in kvalitetni redni pregledi ter vzdrževanje podajnih pregrad.

Podajna pregrada v Grahovem ob Bači je načrtovana v skladu z zadnjim stanjem gradbene tehnike in upošteva priznane izsledke znanosti in tehnike na področju varovanja pred drobirskim tokom. Vsi, ki so bili vključeni v projekt, vključno s projektantom, proizvajalcem sistema ter občinskimi organi, so tesno in konstruktivno sodelovali z namenom, da se izboljša varnost ogroženega dela naselja.

7. Viri

[1] BALUT, T., 2015. Podajno lovilna pregrada za drobirski tok. *Velike pregrade,* 2-3, 6-9.

[2] RICKENMANN, D., 1999. Empirical Relationships for Debris Flows. *Natural Hazards*,

19, 47-77.

[3] ROTH, A., DENK, M., ZÜND, T., 2006. Technischer Bericht und Bemessung, Milibach Meiringen, Murgangrückhalt Louwenenbach, Flexible Murgangrückhaltesysteme. Fatzer AG, Romanshorn.

[4] VOLKWEIN, A., 2005. Numerical Simulation of flexible rockfall protection systems. P*roc. Computing in Civil Engineering*. Cancun: ASCE.

[5] WENDELER, C. 2006. Techn. report laboratory experiments debris flow retention Gummen. WSL, Birmensdorf.

[6] WENDELER, C., VOLKWEIN, A., ROTH, A., HERZOG, B., HÄHLEN, N., WEGNER, M. 2008. Hazard prevention using flexible multi-level debris flow barriers. WSL, Birmensdorf.

[7] WENDELER, C., VOLKWEIN, A. 2015. Laboratory tests for the optimization of mesh size for flexible debris-flow barriers. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 15*, 2597–2604.

[8] WENDELER, C., 2016. Debris Flow Protection Systems for Mountain Torrents. WSL, Birmensdorf.

[9] ZIMMERMANN, M., 2005. Geschiebeverhältnisse im Milibach, Thun.

NARAVNE IN UMETNE PREGRADE TER HIDRO-GEOMORFNI PROCESI

Blaž Komac, Matija Zorn

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Geografski inštitut Antona Melika, Gosposka ulica 13, p. p. 306, 1001 Ljubljana

POVZETEK

V članku predstavljamo hidro-geomorfne procese, ki so povezani z naravnimi in umetnimi pregradami. Ob zajezitvah, ki nastajajo za pregradami, prihaja zaradi različnih vzrokov, kot je nihanje vodne gladine, do proženja zemeljskih plazov in skalnih podorov. Takšni pojavi lahko povzročijo prelitje ali podrtje pregrad. Predstavljamo tovrstne povečini spregledane pojave v Sloveniji ter nekaj večjih pojavov po svetu.

Ključne besede:

geografija, umetne pregrade, plazovne pregrade, porušitev jezov, poplave, prožnost

1. Uvod

Pobočni procesi posebej na potresno dejavnih območjih povzročajo zajezitve. Pobočni procesi pa so povezani tudi z umetnimi pregradami, saj lahko nastanejo med njihovo gradnjo ali ob polnjenju jezov (Komac, Natek in Zorn 2008; Komac in Zorn 2016). V prispevku obravnavamo vpliv naravnih zajezitev na pobočne procese in obratno, vpliv pobočnih procesov na zajezitve oziroma z njimi povezane poplave. V tem smislu obravnavamo tudi umetne zajezitve.

2. Naravne pregrade

2.1 Porušitve naravnih pregrad po svetu

Na potresno ogroženih območjih so zemeljski plazovi in skalni podori pogosto tako veliki, da prekrijejo dolinsko dno, ga zatrpajo in ustvarijo tudi več sto metrov visoke pregrade. Za njimi po navadi že v nekaj dneh nastanejo jezera. Pregrade pomenijo dvojno nevarnost: jezero zalije naselja nad njimi, ogrožena so tudi naselja pod njimi. Na Novi Zelandiji so evidentirali 232, v Švici 31, na Kitajskem pa kar 1239 naravnih pregrad. Na tak način je na primer nastalo Davoško jezero (Korup 2002; Bonnard 2011).

Več kot polovica (55 %) naravnih pregrad se podre že po enem tednu, večina (89 %) pa v času enega leta. V prvem mesecu po nastanku se poruši 65 % pregrad, petina ostane stabilnih leto dni, desetina pa več kot deset let. Največ pregrad se podre zaradi prelitja. Voda v plazovini ustvari strugo ter jo nato zaradi velikega strmca hitro erozijsko poglobi in razširi. Večji prerez omogoči še večji pretok, dokler pozitivna povratna zveza ne privede do podrtja jezu in hipnega razlitja preostale vode. Poplavni val je po navadi zelo velik in uničujoč. Nekateri jezovi se podrejo zaradi pronicanja vode skozi porozne sedimente plazov, drugi pa zaradi nastanka sekundarnih plazov na pregradi ali na pobočjih nad jezerom. Do podrtja ne pride, če gradivo sestavljajo veliki kamninski bloki in je gradivo dovolj porozno, da je mogoče pronicanje vode ali če je površina jezera tako velika, da izhlapevanje uravna pritok vode. Prelitje lahko prepreči

človek z odstranjevanjem gradiva ali kopanjem kanalov (Schuster 1986; Costa in Schuster 1998; 1991; Evans in ostali 2011; Tacconi Stefanelli, Catani in Casagli 2015).

Ob podrtju jezu na reki Bairaman v Papui Novi Gvineji je nastal 80 m debel drobirski tok, ki je še 39 km pod jezom meril 8 m. Pregrada podora 'La Josefina' na reki Paute v Ekvadorju se je porušila po 26 letih, reka je poplavljala v dolžini 100 km. Drobirski tok je nastal tudi po preboju pregrade pri gori Cayley v Kanadi. V severni Italiji je podor leta 1404 zajezil dolino Passer. Nastalo je 50 m globoko in 1 km dolgo jezero (Wildsee), ki je obstajalo skoraj 400 let. V tem času je večkrat prišlo do porušitve delov pregrade. Leta 1409 je zaradi poplave kot posledice delnega podrtja v 25 km dolvodno ležečem Meranu umrlo 400 ljudi. Leta 1786 je zaradi zrušenja pregrade, ki je po potresu z magnitudo 7,7 nastala na reki Dadu v Sečuanu na Kitajskem, umrlo 100.000 ljudi. Ob potresu februarja 1783 v Kalabriji je nastalo 215 zajezitvenih jezer. Februarja 1911 je potres z magnitudo 7,6 v Pamirju v Tadžikistanu sprožil kamniti zdrs velikosti 2 km^3. Nastal je 600 m visok jez, ki je največji znani naravni ali umetni jez na svetu. Njegova gladina narašča za 18,5 cm na leto. V dolini Mayunmarca v Peruju se je aprila 1974 sprožil zemeljski plaz velikosti 1,2 km^3 in ustvaril zajezitveno jezero. Decembra 1960 je ob enem najmočnejših zgodovinskih potresov doslej z magnitudo 9,5 na obali južnega Čila zemeljski plaz s 40 milijoni m^3 gradiva zajezil reko Río San Pedro. Ob potresu leta 2008 v provinci Sečuan na Kitajskem so plazovi zajezili najmanj 34 rek. Na zemeljskem plazu, ki je ustvaril jezero Tangjiashan na reki Jianjiang, so skopali kanal, po katerem je voda začela odtekati iz jezera, s čimer so zmanjšali možnost porušitve pregrade. Pod jezom živi 1,3 milijona ljudi (Komac in Zorn 2016).

2.2 Porušitve naravnih pregrad v Sloveniji

V Sloveniji so bili številni takšni pojavi ob koncu pleistocena. V Srpeniškem jezeru, ki je nastalo za podorom Kuntri, in je segalo v Bovško kotlino, se je odložilo več kot 200 m jezerske krede. Zdrs s Trnovskega gozda pri Selu je verjetno zajezil, gotovo pa preusmeril tok Vipave (Komac in Zorn 2016). Ob Idrijskem potresu 26. marca 1511 je skalni podor s Kobalovega hriba zajezil Idrijco, jezero naj bi zalilo rudnik živega srebra. Takrat so potresni podori zaprli promet čez pomembno gorsko cesto čez Predel, saj naj bi se "dva sosednja hriba zrušila en proti drugemu in zaprla cesto v Nemčijo." (Cecić 2011, 28). Približno deset milijonov m3 gradiva izpod Planskega vrha je za nekaj časa zajezilo Savo na območju Jesenic. V jezeru, ki je segalo do Hrušice, se je odložilo 10 m jezerske krede. Podoben učinek sta imela podora v Radovni in dolini Tolminke, katerega gradivo je doseglo območje Tolmina (Komac in Zorn 2016). Po hudem deževju leta 1811 je plaz s Plesišča pri Fali zasul Radoljno. Naravni jez je voda po kratkem času predrla, tako da je »... pol ure naprej oddaljeno lovrenško fužino tako rekoč posnela in ni bilo več videti, kje je stala. Veliko kladivo, ki tehta nekaj stotov, so valovi odnesli. Po daljšem času so ga našli v Dravi pol ure pod Mariborom, voda ga je valila skoraj 4 milje daleč« (Trontelj 1997, 109). Ob poplavah 4. in 5. julija 1954 je zemeljski plaz zajezil Hudinjo na Dobrnici. Ko ga je voda prebila, »... se je začela razlivati s silovito močjo in po glavni cesti do Vojnika drla od 1,5 do 2 m na visoko. Vojnik je bil zalit v 20 minutah. Vodni val je odnesel gasilski dom s temelji vred, šest gospodarskih poslopij, povsem pa je uničil številne kmetije. Železni most prek Hudinje je voda zaradi pritiska naplavljenih hlodov in drugega materiala premaknila za 400 m ... Svet med Višnjo vasjo in Vojnikom je bil nasut 80 cm na debelo s prodnimi in peščenimi naplavinami, ali pa je ostal popolnoma brez prsti ... Od Vojnika proti Celju so vode prihrumele kot nad 1 m visok in 200 m širok vodni val. Po izlivu Hudinje v Voglajno je nastalo jezero, ki je zajemalo svet med Štorami na vzhodu, Arjo vasjo na zahodu in Škofjo vasjo na severu. V Celju so bile ulice pod 150 do 200 cm globoko vodo ... v mestu je voda porušila sedem mostov« (Jesenovec 1995, 32–33). Plazovno jezero je nastalo tudi v Podvolovjeku leta 1990, ko je Tratičnikov plaz 20 m na debelo in 200 m na široko zaprl pot Lučnici. V nekaj urah je nastalo 10 do 15 m globoko jezero, ki je segalo kilometer in pol po dolini navzgor. Po predrtju pregrade je dvometrski poplavni val razdejal del Luč. Leta 2004 je skalni podor v Pologu zajezil Tolminko, nastalo je manjše jezero (Komac, Natek in Zorn 2008; Komac in Zorn 2009).

3. Umetne pregrade

Po podatkih Svetovne komisije za jezove (Dams … 2000) je bilo na svetu do začetka 20. stoletja zgrajenih nekaj sto večjih pregrad. Njihovo število je do sredine 20. stoletja naraslo na 5000, do konca stoletja pa je preseglo 45.000. Na svetu je 1000 jezov, ki so višji od 15 m in zadržujejo vsaj 500 milijonov m^3 vode. Samo na Kitajskem je več kot 85.000 »večjih« jezov, »manjših« pa več milijonov. V Indiji je več kot 4000, v Rusiji pa 2000 »večjih« jezov (Fuggle in Smith 2000; Malik in ostali 2000; Rangachari in ostali 2000).

3.1 Porušitve umetnih pregrad po svetu

Pri vsaki umetni zajezitvi je mogoča porušitev pregrade. Na zahodu Združenih držav Amerike se je v obdobju 1990–2008 letno porušilo prek 30 jezov, skupaj 566. Pogosto so v nevarnosti naselja, saj pri porušenju nastane hiter in visok poplavni val. Razlita voda povzroča zaradi velike energije tudi veliko škode in erozijo. Nekatera območja zato postanejo neprimerna za kmetijsko dejavnost ali bivanje. Ta pojav so zato izkoriščali v vojaške namene (Komac in Zorn 2016).

Številne porušitve so posledica ekstremnih vremenskih razmer. Januarja 1959 se je po obilnem deževju porušil 34 metrov visok betonski jez v Vega de Tera v Španiji. Osem milijonov m3 vode je po 20 minutah uničilo 5 km oddaljeno naselje Rivaldelago, v katerem je umrlo 144 ljudi. V Argentini se je januarja 1970 ob neurju podrl 15 metrov visok kamnito-betonski jez na reki Mendoza. Dvometrski poplavni val je uničil domove 500 ljudi, umrlo je 40 ljudi. Avgusta 1975 je ob tajfunu v kitajski provinci Henan v treh dneh padlo 1605 mm padavin, zaradi česar se je porušil jez Banqiao na reki Ruhe. Poplavljenih je bil milijon hektarov zemljišč, več kot 100 km železniške proge Peking-Guangzhou, umrlo je več kot 20.000 ljudi. Leta 1993 je ob porušitvi betonskega jezu Gouhou v isti provinci umrlo 1200 ljudi. Ob tropskem ciklonu Alberto leta 1994 se je v ameriški zvezni državi Georgija porušilo 200 manjših jezov. 6. novembra 1977 se je ob obilnih padavinah podrl jez Kelly Barnes v isti ameriški zvezni državi. V poplavi z najvišjim pretokom približno 7300 m^3/s je umrlo 39 ljudi. Septembra 1985 se je na reki Öre na Švedskem podrl 16 m visok zemeljski jez. V 45 minutah so odtekli trije milijoni m^3 vode. Vodni tok s pretokom velikostnega reda 1000 m^3/s je v dolžini dva kilometra izdolbel novo strugo (Komac in Zorn 2016).

Leta 1925 se je ob potresu porušil 200 metrov dolg in 7,5 m visok jez iz zemlje Sheffield severno od naselja Santa Barbara v Združenih državah Amerike. Ob potresu je prišlo do utekočinjenja materiala, ki je gradil jez (Komac in Zorn 2016).

Za številne porušitve ne poznamo povoda, temveč gre za preplet različnih vzrokov. Decembra 1976 se je porušil 66 metrov visok jez na reki Revan. 22 milijonov m^3 vode je uničilo mesto Fréjus v Franciji, umrlo je 421 ljudi. Leta 2002 se je podrl jez Zeyzoun v severni Siriji. Odteklo je približno 71 milijonov m^3 vode, ki je poplavila 8000 km^2 zemljišč 350 km severno od Damaska. Umrlo je 20 ljudi. Marca 2004 se je podrl 15 m visok zemeljski jez na reki Bay Creek v ameriški zvezni državi Misisipi. Petmetrski poplavni val je porušil več kot sto stavb. Decembra 2005 se je na podnožju Profit Mountain v Združenih državah Amerike porušil 30 dolini je odteklo 2000 m^3 vode; umrlo je več ljudi. Na reki Snake v ameriški zvezni državi Idaho se je junija 1976 ob prvem polnjenju zaradi napake pri načrtovanju podrl 93 metrov visok jez iz zemlje in odteklo je 300 milijonov m^3 vode. Bilo je »le« enajst žrtev, ker so prebivalce spodaj ležečih naselij pravočasno posvarili pred nevarnostjo (Komac in Zorn 2016). Februarja 2017 je po močnem deževju prišlo do prelivanja in močne erozije na jezu Oroville v Kaliforniji, evakuirali so skoraj 190.000 ljudi (Petkovšek 2017).

3.2 Porušitve umetnih pregrad v Sloveniji

V Sloveniji je 47 pomembnejših pregrad. Tri so v Primorju, v Posočju štiri, v Posavju sedem, v Pomurju osem, v Podravju enajst in v Posavinju trinajst. Med njimi je le ena z majhno do srednjo nevarnostjo za porušitev, 40 % je srednje nevarnih, 46 % srednje do visoko nevarnih,

desetina pa je visoko nevarnih. Najbolj nevarne so pregrade v Posočju (ocena 4,5 na lestvici od 1 do 5, kjer 5 pomeni najvišjo nevarnost), sledi Posavje (3,9), Primorje (3,7) ter enako ocenjene regije Posavinje, Pomurje in Podravje (3,5) (preračunano po Kryžanowski in ostali 2012).

Glede na zgornje navedbe bi morala biti sanacija nujna na skoraj vseh pregradah (Petkovšek 2017), kar pomeni, da ob neustreznem ukrepanju porušitve niso izključene.

Iz zgodovine poznamo porušitve umetnih jezov, ki pa so bile manjšega obsega. Na Pšati so ob regulacijah pri Mengšu zgradili jez. Ko se je 10. aprila 1968 porušil, je voda zalila 15 ha obdelovalnih zemljišč pri Jabljah, v Trzinu in Depali vasi. Ob poplavah Drave jeseni 1998 je v Dupleku popustil jez gramoznice, Drava je vdrla v naselje in v kratkem času poplavila približno 350 hiš (Komac in Zorn 2016). Poplavni val, sicer posredno povezan z obilnimi padavinami, lahko povzročijo tudi upravljavci hidroelektrarn. V začetku novembra 2012 je pretok Drave zaradi načrtno povečanega dotoka iz avstrijskih zajezitev dosegel najvišje izmerjene vrednosti. Posledična poplava je povzročila precejšno gmotno škodo (105 milijonov evrov), ki bi bila pri le naravnem pretoku za tretjino do polovico manjša (Ocena škode … 2013).

4. Nestabilnosti pobočij zaradi nihanja vodne gladine

Pojavi nestabilnosti zaradi nihanja gladine nastajajo ob morskih obalah, za naravnimi in umetnimi pregradami ter na obalah rek in kanalov. Spremembe vodne gladine vplivajo na raven podtalnice in s tem na stabilnost bregov. Poveča se porni tlak, zmanjša se strižna trdnost in pojavijo se nestabilnosti.

Verjetno najbolj znana tovrstna katastrofa Evropi je bil vajontski zdrs v Italiji. 9. oktobra 1963 je 1,8 km dolg in 1,6 km širok kamniti zdrs zgrmel v zajezitveno jezero s 115 milijoni m^3 vode. Prek pregrade se je proti dolini Piave izlilo 25–30 milijonov m^3 vode, 70-metrski poplavni val je v naseljih Longarone, Pirago, Villanova, Rivalta in Faé vzel več kot 2000 življenj, betonski jez pa je ostal skoraj nepoškodovan (Semenza 2001; Barla in Paronuzzi 2013; Genevois in Tecca 2013). Ob gradnji Panamskega prekopa v Panami so zaradi nevarnosti plazenja nenačrtovano premaknili 40 milijonov m^3 gradiva, kar je toliko kot za 15 Keopsovih piramid. Prekop so napolnili z vodo leta 1913, a ga zaradi pogostega plazenja še leto dni niso odprli za promet. Plovba je bila zaradi plazov močno otežena v letih 1931 in 1974, leta 1986 pa so ga zaradi tovrstne nevarnosti skoraj zaprli za promet. Na Japonskem se je za umetnimi pregradami med letoma 1956 in 1997 sprožilo 20 zemeljskih plazov. Med gradnjo jezu Grand Coulee v ameriški zvezni državi Washington se je v nevezanih ledeniško-rečnih sedimentih med letoma 1941 in 1953 na obali Rooseveltovega jezera na reki Columbia sprožilo približno 500 zemeljskih plazov – povprečno več kot 40 letno. Do podobnega pojava je prišlo tudi na Češkem v jezeru Nechranice. Pregrado so zgradili leta 1968, leto kasneje pa se je med nižanjem gladine jezera z 270 m na 252 m sprožilo več zemeljskih plazov. Do nestabilnosti je prišlo med polnjenjem jezer Orava na istoimenski reki na Slovaškem in Włocławek na reki Visli na Poljskem. Podobne primere poznamo iz Romunije, na primer zemeljski plaz, ki se je sprožil v akumulacijsko jezero Siriu. Ob izjemni oseki v 40. letih prejšnjega stoletja je v pokrajini Zeeland na Nizozemskem morska gladina upadla za 2,8 do 4,6 m bolj kot običajno, zaradi česar so na obali nastali številni peščeni tokovi. Na jezeru Tablachaca v vzhodnem Peruju se je v 70. letih prejšnjega stoletja začel premikati fosilni kamniti zdrs in ogrozil 80 m visok jez. V Španiji sta se sprožila fosilna plazova v zajezitvi Cortes na reki Júcar (Schuster 1979; Komac in Zorn 2016).

5. Zaključki

V članku smo predstavili nekaj primerov zajezitev zaradi naravnih pregrad ter posledice porušitev naravnih in umetnih pregrad, kot tudi pobočne procese, ki nastajajo za pregradami,

predvsem zaradi spremijanja ravni podtalnice v pobočjih zaradi nihanja gladine jezer. Naravnih zajezitev zaradi velikosti pogosto ne moremo preprečiti, lahko pa s hitrim ukrepanjem preprečimo večje posledice ob njihovih porušitvah. Pri umetnih pregradah je za preprečitev porušitev nujno njihovo stalno vzdrževanje.

6. Viri

[1] BARLA, G., PARONUZZI, P., 2013. The 1963 Vajont landslide: 50th anniversary. Rock Mechanics and Rock Engineering, 46 (6), 1267–1270.

[2] BONNARD, C., 2011. Technical and human aspects of historic rockslide-dammed lakes and landslide dam breaches. V: S.G. Evans, R.L. Hermanns, A. Strom, G. Scarascia-Mugnozza, ur. Natural and Artificial Rockslide Dams. Berlin: Springer, 101–122.

[3] CECIĆ, I., 2011. Idrijski potres 1511 – kaj pravzaprav vemo o njem? Geografski obzornik, 58 (1), 24–29.

[4] COSTA, J.E., SCHUSTER, R.L., 1988. The formation and failure of natural dams. Geological Society of America Bulletin, 100 (7), 1054-1068.

[5] COSTA, J.E., SCHUSTER, R.L., 1991. Documented Historical Landslide Dams from Around the World. U. S. Geological Survey Open-File Report, 91-239. Vancouver: U. S. Geological Survey.

[6] DAMS and Development: A New Framework. The report of the World Commission on Dams (2000). Medmrežje: http://www.unep.org/dams/WCD/report/WCD_DAMS%20report.pdf [dostop 11. oktober 2016]

[7] EVANS, S.G., HERMANNS, R.L., STROM, A., SCARASCIA-MUGNOZZA, G., ur. 2011. Natural and Artificial Rockslide Dams. Berlin: Springer.

[8] FUGGLE, R., SMITH, W.T., 2000. Large Dams in Water and Energy Resource Development in the People's Republic of China. Cape Town: World Commission on Dams.

[9] GENEVOIS, R., TECCA, P.R., 2013. The Vajont landslide: state-of-the-art. Italian Journal of Engineering Geology and Environment - Book Series 6: International Conference on Vajont – 1963–2013 - Thoughts and Analyses After 50 Years Since the Catastrophic Landslide. Padua, 15–39.

[10] JESENOVEC, S., ur. 1995. Pogubna razigranost – 110 let organiziranega hudourničarstva na Slovenskem 1884–1994. Ljubljana: PUH.

[11] KOMAC, B., NATEK, K., ZORN, M., 2008. Geografski vidiki poplav v Sloveniji. Geografija Slovenije, 20. Ljubljana: Založba ZRC.

[12] KOMAC, B., ZORN, M., 2009. Pokrajinski učinki skalnega podora v Pologu. Geografski vestnik, 81 (1), 37–50.

[13] KOMAC, B., ZORN, M., 2016. Naravne in umetne pregrade ter z njimi povezani hidro-geomorfni procesi. Geografski vestnik, 88 (2), 69–90.

[14] KORUP, O., 2002. Recent research on landslide dams–a literature review with special attention to New Zealand. Progress in Physical Geography, 26 (2), 206–235.

[15] KRYŽANOWSKI, A., ŠIRCA, A., HUMAR, N., RAVNIKAR TURK, M., ŽVANUT, P., ČETINA, M., RAJAR, R., DETELA, I., POLIČ, M., 2012. Zemeljske in betonske vodne pregrade strateškega pomena v RS - VODPREG. Raziskovalno poročilo. Ljubljana: Zavod za gradbeništvo Slovenije.

[16] MALIK, L.K., KORONKEVICH, N.I., ZAITSEVA, I.S., BARABANOVA, E.A., 2000. Development of Dams in the Russian Federation and NIS Countries. Cape Town: World Commission on Dams.

[17] OCENA škode zaradi poplave Drave 5. in 6. 11. 2012: Končno poročilo, 18. 9. 2013. Ljubljana: Inštitut za vode Republike Slovenije. Medmrežje: http://www.izvrs.si/project/ocena-skode-zaradi-poplave-drave-5-in-6-11-2012-koncno-porocilo-18-9-2013/ [dostop 11. oktober 2016]

[18] PETKOVŠEK, J. 2017. Država podcenjuje možnost zrušenja zemeljskih pregrad. Delo, 17. 2. 2017.

[19] RANGACHARI, R., SENGUPTA, N., IYER, R.R., BANERJI, P., SINGH, S., 2000. Large Dams: India's Experience. Cape Town: World Commission on Dams.

[20] SCHUSTER, R.L., 1979. Reservoir-induced landslides. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 20 (1), 9–15.

[21] SCHUSTER, R.L., ur. 1986. Landslide Dams: Processes, Risk and Mitigation. New York: American Society of Civil Engineers.

[22] SEMENZA, E., 2001. La storia del Vaiont; raccontata dal geologo, che ha scoperto la frana. San Bartolomeo in Bosco: Tecomproject.

[23] TACCONI STEFANELLI, C., CATANI, F., CASAGLI, N., 2015. Geomorphological investigations on landslide dams. Geoenvironmental Disasters, 2 (21), 1–15.

[24] TRONTELJ, M., 1997. Kronika izrednih vremenskih dogodkov XX. stoletja. Ljubljana: Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije.

MODELIRANJE TRANSPORTA PLAVIN NA MURI MED GORNJO RADGONO IN VERŽEJEM

Tijana Mićić, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž., mag. Smiljan Juvan, univ. dipl. inž. gradb.

Vodnogospodarski biro Maribor d.o.o.

POVZETEK

Študija transporta plavin na Muri je bila izdelana v okviru načrtovanja hidroelektrarne Hrastje-Mota (v nadaljevanju HE). Poznavanje hidravličnih parametrov toka in sedimentov pri različnih robnih pogojih je ključnega pomena za načrtovanje in umeščanje načrtovane He v prostor. Za simulacijo vpliva je bil uporabljen 1D hidravlični model HEC-RAS (verzija 5.0, marec 2016), ki poleg hidravličnega modula vsebuje tudi modul za simulacijo transporta plavin. V nalogi smo modelirali 19,5 km dolg odsek Mure od mostu v Gornji Radgoni do Veržeja. Osnovo za račun transporta plavin je predstavljal umerjeni hidravlični model. Model transporta plavin je bil umerjen na podlagi meritev prečnih profilov Mure v letih 1980/84 in 2009/10. Umerjanje modela transporta plavin se je izkazalo za zahtevno nalogo, v okviru katere so bile testirane različne transportne enačbe. Za transport rinjenih plavin je bila izbrana enačba Meyer-Peter Muller-ja, v kateri je bilo potrebno umerjati več kalibracijskih parametrov enačbe.

Ključne besede:

transport rinjenih plavin, 1D matematično modeliranje, transportne enačbe, enačba Meyer-Peter Muller, umerjanje modela

1. Uvod

Modeliranje transporta plavin sodi med manj raziskana področja matematičnega modeliranja. Napovedovanje transporta je zapleten in kompleksen proces, saj je gibanje plavin izrazito tridimenzionalno. Kljub temu, pa lahko z enodimenzionalnimi (1D) modeli zelo dobro ponazorimo tendence transporta sedimentov, saj se glavnina gibanja sedimentov odvija v vzdolžni smeri.

V okviru načrtovanja HE Hrastje-Mota na Muri je bilo potrebno poseg obravnavati tudi z vidika zagotavljanja kontinuitete premeščanja rinjenih in lebdečih (suspendiranih) plavin dolvodno od pregrade. Uporaba 1D modela se je glede na skope razpoložljive podatke in njihovo kakovost o geometriji struge, analizah proda, dnevnih/urnih pretokih ter neobstoječih podatkih o prodonosnosti in zrnavostni sestavi dotekajočih plavin, izkazala kot upravičena izbira orodja za modeliranje transporta plavin na Muri. Prav tako so ureditve oblikovanja akumulacije HE Hrastje-Mota (nasipi) načrtovane zelo blizu osnovne struge, kar dodatno upraviči izbor modela. Ena od osnovnih nalog modeliranja je tudi umerjanje matematičnega modela. Slednje se je izkazalo za razmeroma zahtevno nalogo tako pri umerjanju hidravličnega kot tudi transportnega modela.

2. Območje obravnave

Mura v Slovenijo priteče kot mejna reka med Slovenijo in Avstrijo (mejna Mura). Od Gornje Radgone do Razkrižja teče samo po slovenskem ozemlju (notranja Mura), nato pa postane ponovno mejna reka med Slovenijo in Hrvaško. Projektno območje izgradnje HE Hrastje Mota obsega odsek notranje Mure od mostu v Petanjcih do AC mostu čez Muro v Vučji vasi. Za izdelavo modela transporta plavin je bilo projektno območje nekoliko razširjeno, saj postavitev robnih pogojev na rob projektnega območja ni priporočljivo zaradi nezanesljivega obnašanja modela na robovih. Za izdelavo matematičnega modela transporta plavin je bil model na gorvodnem odseku podaljšan do mostu v Gornji Radgoni, dolvodno pa do Veržeja.

3. Vhodni podatki za modeliranje transporta plavin

Za račun transporta rinjenih in suspendiranih plavin je bil uporabljen 1D matematični model HEC-RAS (verzija 5.0, marec 2016), za katerega je značilno, da se geometrija vodotoka vključno z inundacijskim prostorom opiše s prečnimi profili. Račun temelji na reševanju kontinuitetne enačbe za določitev količine (volumna) erodiranega in odloženega materiala, pri tem pa upošteva algoritme za razvrščanje sedimentov in odpornost krovne plasti (armoring).

Osnova modela transporta sedimentov je hidravlični model, kjer se nestalni tok (hidrogram) ponazori s serijo stalnih pretokov različnega trajanja. Za vsak pretok model v vseh prečnih profilih izračuna gladino, energijo, hitrost, globino in druge parametre. Na podlagi teh parametrov, trajanja posameznega pretoka ter izbrane enačbe za transport sedimentov model izračuna potencialno transportno sposobnost in volumen transportiranega ali odloženega materiala (sedimenta) znotraj posameznega odseka ter osveži geometrijo prečnega profila, ki nato predstavlja vhodni podatek v naslednjem računskem koraku ter tako ponavlja proces za celotno serijo stalnih pretokov iz hidrograma. Čeprav nova verzija programa HEC-RAS 5.0 (marec 2016), ki je bila uporabljena za izdelavo študije, omogoča tudi nestacionarni izračun transporta sedimentov, je slednja izšla šele v zaključni fazi izdelave te študije, testna verzija HEC-RAS 5.0-beta (avgust 2015) pa je vsebovala še vedno preveč napak (ni deloval pregledovalnik rezultatov), da bi lahko to funkcijo testirali tudi v tem projektu.

Osnovo za izdelavo kvalitetnega modela transporta plavin predstavljajo vhodni podatki. Čeprav na Muri obstajajo razmeroma dobre in predvsem dolgotrajne meritve pretokov, temperature ter količine suspendiranih delcev, pa še vedno obstajajo številne vrzeli v podatkih, predvsem na področju meritev rinjenih plavin (količine in zrnavosti) ter geodetskih meritev prečnih profilov notranje Mure.

Geometrija

Osnovo za umerjanje modela predstavljajo merjeni prečni profili na obravnavanem odseku. Slednji se na mejni Muri merijo periodično na 3 leta, medtem ko so bili profili na celotnem odseku notranje Mure merjeni le leta 1980/84 in 2009/10.

Hidrološki podatki

Od hidroloških podatkov smo imeli za kalibracijsko obdobje (1980-2010) na razpolago skoraj celotni niz dnevnih pretokov, medtem ko so se urni pretoki pričeli beležit šele po letu 1993. Za model transporta sedimentov so bili zato uporabljeni dnevni pretoki. Takšen pristop tudi nosi določeno negotovost pri izračunu transporta rinjenih plavin. Predvsem ob nastopu poplavnih dogodkov lahko urne vrednosti pretokov močno variirajo od dnevne vrednosti.

Temperatura

Za obravnavan odsek Mure se na v.p. Gornja Radgona podatki o temperaturi merijo skoraj neprekinjeno od aprila 1980. Do krajše prekinitve je prišlo le v letu 1984 in 1986. Temperatura vode je povezana z viskoznostjo, zato lahko že sprememba temperature vode za nekaj stopinj znatno vpliva na transportno kapaciteto. Hladna voda ima večjo viskoznost od tople, kar se kaže v povečani transportni sposobnosti vodotoka. Prav tako viskoznost vpliva na hitrost usedanja suspendiranih delcev, in sicer se hitrost usedanja zmanjšuje s padanjem temperature.

Zrnavost

V skladu s projektno nalogo so bili na 5 različnih lokacijah vzdolž obravnavanega odseka odvzeti tudi vzorci proda, za katere so bile izdelane sejalne krivulje. Rezultati sejalnih analiz so pokazali, da se d50 (premer zrna plavin, od katerega je manjših 50 % zrn) na obravnavanem odseku Mure giblje od 19,5-41,7 mm, in sicer pada v smeri dolvodno po strugi. V povprečju je d50=27,5 mm (veliki prodniki). Srednja (artimetična) vrednost zrna (dm) pa znaša na obravnavanem odseku od 25-53 mm.

Dotok rinjenih/suspendiranih plavin na zgornjem robnem pogoju

Podlaga za določitev količine dotoka rinjenih plavin na zgornjem robnem pogoju modela je bila študija »Analiza stanja struge mejnega odseka reke Mure« [1]. Na podlagi primerjave prečnih profilov mejne Mure je bilo v tej študiji ugotovljeno, da se v odsek notranje Mure na letni ravni transportira v povprečju ca. 22.800 m^3 rinjenih plavin, kar je bil vhodni podatek tudi v modelu transporta plavin.

Na podlagi dnevnih meritev suspendiranih snovi na v.p. Gornja Radgona smo lahko za obdobje 1980-2005 izračunali letne količine transporta suspendiranih snovi. Po letu 2005 je v nizu meritev preveč prekinitev za konkretnejše analize. Izračunana povprečna letna količina transporta suspendiranih plavin v obdobju 1980-2005 je ca 400.000 ton oz. 270.000 m^3. Od povprečja najbolj izstopata leti 2003 in 1989. Leta 2003 je bilo tudi hidrološko najbolj sušno leto, saj so v povprečju pretoki na v.p. Radgona bili kar za 35 % nižji od dolgoletnega povprečja.

4. Umerjanje modela (rinjene plavine)

Umerjanje modela je potekalo v dveh korakih. Prvi korak je predstavljal umerjanje hidravličnega modela, kjer smo uporabili modul s fiksnim dnom za izračun gladin, drugi korak pa je predstavljal umerjanje modela transporta sedimentov, za katerega smo uporabili modul z gibljivim dnom.

Za namen modeliranja prodonosnosti je pomembno predvsem dogajanje znotraj struge, kjer je proces premikanja proda največji, zato je pri umerjanju 1D modela pomembna pravilna delitev pretoka med strugo in inundacijo. Inundacije lahko prevzamejo del pretoka, ki se razlije iz matice struge, takrat se v inundaciji vzpostavi vzporedni tok, ki ga lahko prav tako opišemo z 1D modelom, vendar pa je potrebno hkrati upoštevati, da se pri zelo širokih inundacijah z oddaljenostjo od struge hitrost vode zmanjšuje oz. voda celo stoji. Inundacija na tem delu ima vlogo zadrževalnega volumna, vendar pa aktivno ne prispeva k pretočnosti profila. Na podlagi tega je lahko umerjanje 1D hidravličnih modelov vodotokov z zelo širokimi poplavnimi ravnicami zelo zahtevna naloga.

Transport plavin se v modelu računa po transportnih enačbah, ki so razvite za določene meje zrnavosti in za različne tipe vodotokov. Izbor prave enačbe je tako ena od pomembnejših nalog modeliranja. Na žalost obstoječe enačbe ne pokrivajo celotnega spektra zrnavosti (od melja do velikih prodnikov), zato je pri modeliranju potrebno sprejeti določene predpostavke in izhodišča. Mura je v obstoječem stanju prodonosen vodotok, kjer suspendirane plavine bolj

ali manj ostajajo v lebdečem stanju in se transportirajo dolvodno, tiste, ki pa se usedejo pa nimajo pomembnejšega vpliva pri formiranju dna. Iz tega razloga smo, za izračun kalibracijskega modela in modela prognoze obstoječega stanja, suspendirane delce zanemarili ter za račun rinjenih plavin uporabili enačbo Meyer Peter Muller (MPM). Za stanje prognoze z umestitvijo HE pa imajo lahko suspendirane plavine pomembnejšo vlogo, zato smo za račun transporta v načrtovanem stanju uporabili kombinacijo enačbe skupnega transporta Ackers-White ter enačbe Krone in Parthenaides. Po slednji se računa transport frakcij gline in melja.

V osnovi smo model transporta umerjali na podlagi spremembe prostornine sedimenta iz merjenih profilov leta 1980/84 in 2009/10 (kalibracijsko obdobje - 31 let). Rezultate smo analizirali kot vsotno krivuljo spremembe prostornine vzdolž obravnavanega odseka. Slednja metoda velja kot najboljši način za analizo rezultatov, saj izloči šume lokalnih motenj v dnu in prikaže vzdolžni trend kalibracije. Na tak način ne primerjamo samo skupnega volumna ampak tudi obliko krivulje.

S spreminjanjem posameznega kalibracijskih parametrov smo izdelali analizo občutljivosti enačbe na spreminjanje le-teh v izbranih mejah. Enačbo MPM lahko zapišemo v splošni obliki kot

$$\phi_b = a(\tau^* - \tau^*_{kr})^b,$$

kjer je ϕ_b - Einsteinov parameter premeščanja. V enačbi so kalibracijski parametri: a - koeficient, ki je v povezavi s karakteristikami sedimentov v dnu, b – potenca enačbe in τ^*_{kr} - kritična strižna napetost za pričetek prodnega premika.

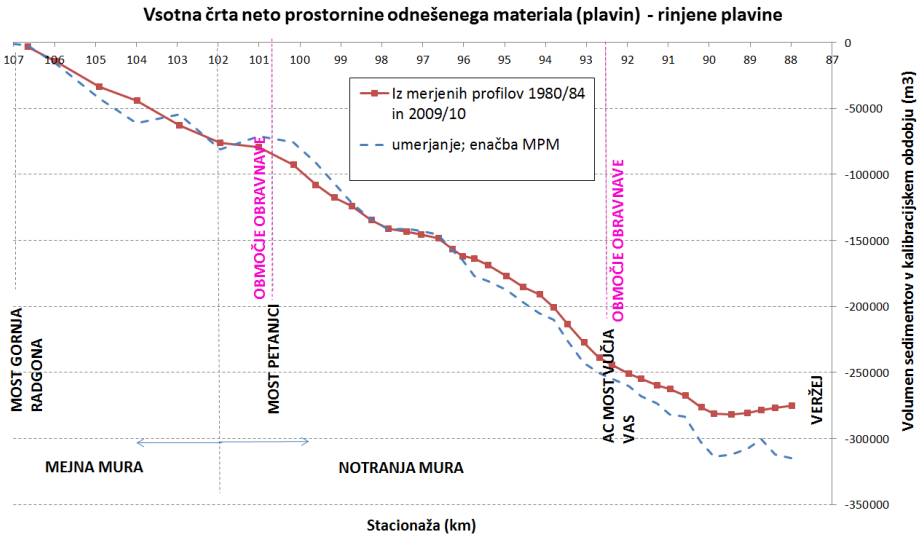
Kritična strižna napetost τ^*_{kr} (Shieldsov parameter) smo spreminjali v mejah od 0,01-0,1 (0,047=privzeta vrednost v enačbi MPM). Občutljivost enačbe na koeficient a smo preizkusili s spreminjanjem tega koeficienta v razponu od 4-12 (8=privzeta vrednost v enačbi MPM). Potenco enačbe smo spreminjali v vrednostih od 0.5-2 (1,5=privzeta vrednost v enačbi MPM). Pri izdelavi analize občutljivosti posameznega parametra smo ostale parametre enačbe pustili nespremenjene oz. so bile uporabljene privzete vrednosti.

Analiza občutljivosti enačbe MPM na spremembe koeficienta kritične strižne napetosti oz. Shieldsovega parametra kaže veliko občutljivost enačbe na ta parameter. To je tudi pričakovano, saj z njim opišemo začetni premik zrna. Manjša kot je vrednost τ^*_{kr} prej se začne transport posameznega zrna. Pri tem lahko v program HEC-RAS vnesemo le enotni Shieldsov parameter na celotnem odseku, čeprav se srednje zrno vzdolž odseka zmanjšuje. Posledično se na dolvodnem odseku začne prodni premik hitreje kot na gorvodnem odseku, kjer zrnavostna krivulja bolj groba. Sprememba τ^*_{kr} vpliva enakomerno na vsotno krivuljo na celotnem odseku. Pri tem velja opozoriti, da je večje poglabljanje na skrajnem gorvodnem odseku omejeno s podatkom maksimalne poglobitve. Analiza občutljivosti torej kaže, da lahko s spremembo Shieldsovega parametra τ^*_{kr} ≈0,047-0,05 bistveno vplivamo na izračun transporta sedimentov ter se z rezultati modela zelo dobro približamo merjenim vrednostim.

V literaturi lahko zasledimo, da je že veliko avtorjev modificiralo koeficient a v enačbi MPM, med drugim Fernandez-Luque in van Beek (1976) $\phi_b = 5.7(\tau^* - \tau^*_{kr})^{1.5}$ ter Wong in Parker (2003) $\phi_b = 4.93(\tau^* - \tau^*_{kr})^{1.6}$, pri čemer sta obe korekciji enačbe izhajali iz ugotovitve, da enačba MPM preceni transport za faktor 2 [2]. Modifikacije so se delale tudi v obratno smer, takrat ko enačba izkazuje premajhen transport v primerjavi z meritvami, npr. modifikacija enačbe po Wilsonu (1966) $\phi_b = 12(\tau^* - \tau^*_{kr})^{1.5}$.

Analiza občutljivosti koeficienta a kaže na to, da slednji vpliva na rezultate predvsem na dolvodni polovici obravnavanega odseka. Zmanjševanje koeficienta vpliva na manjšo

transportno sposobnost in obratno. Rezultati kažejo, da najboljše rezultate za obravnavani odsek Mure dobimo z uporabo koeficienta a≈6.



Slika 8 Primerjava vsotne črte prinesenega/odnesenega materiala (plavin) iz merjenih profilov 1980/84-2009/10 in vsotne črte končne kalibracije modela

Na podlagi analize občutljivosti ter več poizkusov umerjanja modela, smo v končni kalibraciji modela uporabili podobno izpeljavo enačbe, kot sta jo uporabila Wong in Parker, in sicer $\phi_b = 4.92(\tau^* - 0{,}047)^{1.6}$, s to razliko, da sta Wong in Parker v slednji izločila oblikovni upor oz. je člen razmerja med dejanskim koeficientom odpora toku vode in Stricklerjevim koeficientom trenja zanemarjen (ks/kr=1).

Rezultati umerjanja kažejo zelo dobro ujemanje meritev ter modelnih izračunov. Osnovne ugotovitve so, da se Mura na odseku od Gornje Radgone do Babičovega mlina poglablja, dolvodno do Veržeja pa rezultati kažejo stabilen (uravnotežen) odsek. Iz analize prečnih profilov lahko ugotovimo, da je Mura na odseku med Gornjo Radgono in Veržejem v obdobju 31 let (od 1980-2010) iz dna erodirala ca 275.000 m^3 materiala oz. 9.000 m^3/leto. Če k temu prištejemo še dotok iz mejne Mure (ca 23.000 m^3), ugotovimo, da se je v odsek dolvodno od Veržeja transportiralo v povprečju ca 32.000 m^3 rinjenih plavin na leto. Suspendirane plavine v kalibracijskem modelu rinjenih plavin niso bile upoštevane

5. Zaključki

V nalogi je bil za račun transporta plavin Mure uporabljen 1D model HEC-RAS 5.0 (marec, 2016), katerega rezultati prikazujejo trende odlaganja in erozije sedimentov, njihovo vzdolžno gibanje tako po količini kot tudi po zrnavosti.

Model kaže razmeroma dobro ujemanje rezultatov z merjenimi vrednostmi, vendar glede na velike negotovosti predvsem v vhodnih podatkih dotoka sedimentov ter korekciji enačbe, je nujna verifikacija modela. Slednje, zaradi pomanjkanja podatkov o novi geomteriji struge na notranji Muri nismo mogli izdelati, zato ostaja verifikacija modela ena od pomembnih nalog za prihodnje.

Nadaljnje aktivnosti za izboljšanje kvalitete in zanesljivosti rezultatov modela morajo biti usmerjene predvsem v pridobivanje dodatnih in za kvaliteten model nujnih vhodnih podatkov. V ta namen je potrebno izboljšati in vzpostaviti program dodatnih hidroloških meritev (meritve z ADCP merilniki oz. akustični tokomeri), meritve gladin ob visokih vodah za boljše

umerjanje hidravličnega modela, izvajati pogostejše batimetrične izmere notranje Mure, vzorčevanje in analizo zrnavostne sestave rinjenih in suspendiranih plavin.

6. Viri

[1] GORIŠEK, M. et al., 2016. Analiza stanja mejnega odseka reke Mure, Inštitut za vode Republike Slovenije (IzVRS)

[2] HUANG, H.Q., 2010. Reformulation of the bed load equation of Meyer-Peter and Müller in light of the linearity theory for alluvial channel flow, Water Resour. Res., 46, W09533, Doi:10.1029/2009WR008974

[3] FLYNN, R.H., 2011. Analysis of the transport of sediment by the Suncook River in Epsom, Pembroke, and Allenstown, New Hampshire, after the May 2006 flood: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2011–5088, 73 p. Available from:

http://pubs.usgs.gov/sir/2011/5088 [dostop 4. november 2002]

[4] BRUNNER, G.W. et al., 2016. HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC)

[5] MIĆIĆ, T. et al., 2016. Transport plavin na Muri, Vodnogospodarski biro Maribor, d.o.o.

ANALIZA ZAMULJEVANJA AKUMULACIJE PERNICA Z VIDIKA NJENEGA NAMENA

Miha Kračun, dipl. inž. ok. grad. (UN)

Institut za ekološki inženiring d.o.o., Ljubljanska ulica 9, 2000 Maribor

POVZETEK

Akumulacija (AK) Pernica je mokri zadrževalnik za zadrževanje visokih vod v sklopu hidromelioracijskega sistema reke Pesnica. AK Pernica je sestavljena iz dveh pretočnih akumulacij, ločenih z zemeljskim nasipom, po katerem poteka lokalna cesta. Za spodnjo akumulacijo Pernica I je značilen naplavni vršaj, ki ga z odlaganjem sedimenta tvori reka Pesnica.

Ob izgradnji avtoceste Maribor – Lenart je bila izvedena rekonstrukcija spodnje akumulacije Pernica I. Pri tem se je volumen celotne akumulacije zmanjšal na 2,2 hm3, prav tako pa je bilo izvedeno črpanje sedimenta in rekonstrukcija zapornično pregradnega objekta.

AK Pernica je čelna akumulacija na reki Pesnici, zato deluje kot usedalnik za plavine iz celotnega zgornjega dele porečja. Primarna raba na zadrževalniku je poplavna varnost, akumulacija pa se prav tako uporablja za potrebe intenzivnega ribogojstva, ki ima zlasti v poletnih mesecih zaradi zamuljevanja in nizkih pretokov reke Pesnice velike probleme z evtrofikacijo.

V prvem sklopu prispevka smo iz meritev batimetrije akumulacije po rekonstrukciji v letu 2009 in ponovnih meritev batimetrije v letu 2013 določili spremembo volumna in količino sedimenta na AK Pernica I. Prav tako smo iz podatkov batimetrije in razporeditve sedimenta znotraj akumulacije s pomočjo analitičnih metod klasificirali akumulacijo glede na vpliv sedimenta. Pri tem je bistveno izhodišče ohranjanje primarne rabe – zagotavljanje poplavne varnosti.

Ključne besede:

Akumulacija Pernica, zamuljevanje, namenska raba

1. Uvod

Večnamenske akumulacije panonske regije so bile zgrajene v 60- in 70- letih prejšnjega stoletja. Eden večjih zgrajenih hidromelioracijskih sistemov v Sloveniji je HMS Pesnica v porečju reke Pesnice, ki pa ni bil popolnoma dokončan. Cilj izvedbe HMS Pesnica je bil zadrževanje visokih vod z 50-letno povratno dobo. Na reki Pesnici in njenih pritokih je bilo poleg regulacij, nasipov in melioracijskih jarkov zgrajenih sedem akumulacij. Med njimi je na reki Pesnica akumulacija Pernica. Prvotni namen akumulacije je ureditev vodnega režima kmetijskih površin, projektirana raba pa poplavna varnost, rekreacija in turizem [1].

Akumulacija je čelna akumulacija v porečju reke Pesnica. Posledično se akumulacijski prostor intenzivno zapolnjuje s sedimentom iz zgornjega dela porečja. Ob rekonstrukciji je bilo izvedenih več ukrepov za zmanjševanje zapolnjevanja akumulacije z muljem.

V prispevku predstavljamo analizo izmer dna (batimetrije) v letu 2009 po izvedeni rekonstrukciji in ponovnih meritev batimetrije v letu 2013.

2. Splošni opis in problematika AK Pernica

Akumulacija Pernica se nahaja severovzhodno od mesta Maribor ob avtocestnem odseku Maribor - Lenart. Ojezeritev se imenuje Perniško jezero, ki je z zemeljsko pregrado ločeno na zgornjo in spodnjo akumulacijo. Zgornja akumulacija je (AK) Pernica II, v katero se izlivata Vukovski in Jareninski potok ter spodnja akumulacija (AK) Pernica I v katero priteka iztok iz AK Pernica II in reka Pesnica. Reka Pesnica izvira med Lučami in Jurijem v Avstriji in se po 66 km struge in z 556 km2 prispevne površine pred Ormožem izliva v reko Dravo [2]. Prispevno področje reke Pesnice pred AK Pernica obsega 110 km2, srednji letni pretoki na gorvodno ležeči vodomerni postaji Ranca znašajo 1,07 m3/s [3].

Akumulacija je bila izvedena kot večnamenski mokri zadrževalnik. Primarna raba je bila zadrževanje visokih voda reke Pesnice. Ob izgradnji avtocestnega odseka je le-ta posegel v območje akumulacijskega bazena spodnje akumulacije. Prav tako je bilo potrebno nadomestiti retenzijske povšine, ki so se izgubile zaradi izgradnje avtoceste v Pesniški dolini. Ob rekonstrukciji je bil izveden nov nasip in pregradni objekt z hidromehansko opremo, ki je zamenjal obstoječo dotrajano betonsko pregrado s fiksnim prelivom ter tako povečal retenzijski učinek zadrževanja poplavnih vod. Na obstoječi akumulaciji se je za pregradnim objektom deponiral mulj, ki je poslabševal izvajanje ostalih namenskih rab na akumulaciji [3].

Ob rekonstrukciji so bili izvedeni ukrepi upravljanja s sedimentom, ki so med drugim vključevali odstranjevanje sedimenta, nižjo stalno gladino, manipulacijo z zapornicami, ki omogoča večji pretok sedimenta in redne meritve dna akumulacije [4].

Akumulacija je po klasifikaciji skladni z Vodno direktivo [5] klasificirana kot močno preoblikovano vodno telo (v nadaljevanju MPVT), prav tako v sklopu državnega monitoringa kvalitete voda ne dosega dobrega ekološkega stanja oziroma potenciala [6].

Slika 9: Naplavni vršajna AK Pernica I v obdobju 2001-2016 (Vir: Atlas Okolja, Google Earth)

V poletnih mesecih, ko ima reka Pesnica zelo nizke pretoke, prihaja do evtrofičnih stanj v akumulaciji in intenzivnega »cvetenja« fitoplanktona; predvsem cianobakterij (lat. Aphanizomenon flos aquae). Avgusta leta 2010 in 2013 je tako zaradi pomankanja kisika prišlo do pogina več kot dvajset ton rib [7].

Vzrok slabega ekološkega potenciala je predvsem v spiranju hranil s kmetijskih površin v prispevnem območju akumulacije in slabi samočistilni sposobnosti akumulacije, ki je posledica velike kalnosti vode. Akumulacija se prav tako intenzivno zamulja, kar je vidno iz prostorsko-

časovne analize prikazane z zaporedjem aerofoto posnetkov naplavnega vršaja na vtoku reke Pesnice v akumulacijo med letoma 2001 in 2016.

3. Izdelava digitalnega modela višin

Topografske podatke smo pridobili iz več virov, saj smo za potrebe izdelave digitalnega modela višin (DMV) potrebovali prostorske podatke celotnega območja razlivanja v AK Pernica I. Meritve dna so bile izvedene v letih 2006, 2009 in 2013 z uporabo ultrazvočnih globinomerov ([8], [9]). Meritve brežin in suhega dela naplavin po rekonstrukciji so bile izvedene z klasično geodetsko izmero. Prav tako smo pridobili podatke prečnih profilov reke Pesnice gorvodno od akumulacije. Podatek pri meritvah batimetrije dna iz leta 2013 smo dopolnili z LIDAR podatkovnim slojem iz leta 2011 [10].

Pridobivanje vseh potrebnih podatkov za določitev volumna akumulacije je bilo kompleksno, saj so ti podatki razpršeni med različne deležnike pri procesu rekonstrukcije, gradnje avtocestnega odseka in upravljalcev vodnogospodarske infrastrukture na tem območju.

Za združitev in urejanje vseh virov prostorskih podatkov smo uporabili GIS programska orodja. Končni izdelek je DMV območja akumulacije za leto 2009 in 2013 v rastrskem formatu celic velikosti 2x2 m. Z uporabo GIS orodij smo tako opravili različne prostorske analize, del teh predstavljamo v tem prispevku.

4. Analiza spreminjanja volumna akumulacije Pernica I

Prvotni akumulaciji sta skupaj zadrževali 3,84 hm^3 vode [11]. Podatkov batimetrije za zgornjo AK Pernica II nismo pridobili. Volumen pri maksimalni gladini (250,00 m.n.v.) se je zmanjšal iz 1,44 hm^3 v letu 1982 [11] na 1,42 hm^3 v letu 2010 [12]. Na podlagi ortofoto posnetkov je prav tako razvidno, da se volumen akumulacije zmanjšuje. Na območju vtoka Vukovskega in Jareninskega potoka se je razvilo mokrišče z raznolikim živalskim svetom in velikim številom habitatnih tipov, zato je območje tudi zaščiteno kot zoološki naravni spomenik [13].

Ob rekonstrukciji spodnje akumulacije Pernica I med letoma 2006 in 2009 se je volumen pri ekstremni zajezbe zajezbi (250 m.n.v.) zmanjšal za 171.000 m^3, kar je zmanjšanje volumna za ca 7,2 %. Potrebno je poudariti, da se je volumen, namenjen za zadrževanje visokih voda, med rekonstrukcijo povečal iz obstoječih 1,05 hm^3 na 1,46 hm^3.

Leta 2013 je bilo zaradi intenzivnega zamuljevanja (sedimentacije) in skladno z obratovalnim pravilnikom [4] izvedena meritev batimetrije [9]. Iz rezultatov analize DMV za leto 2013 je razvidno, da se je skupni volumen akumulacije povečal na 1,636 hm^3 (249,00 m.n.v.), kar je povečanje volumna za dodatnih 73.350 m^3 oziroma 4,5%.

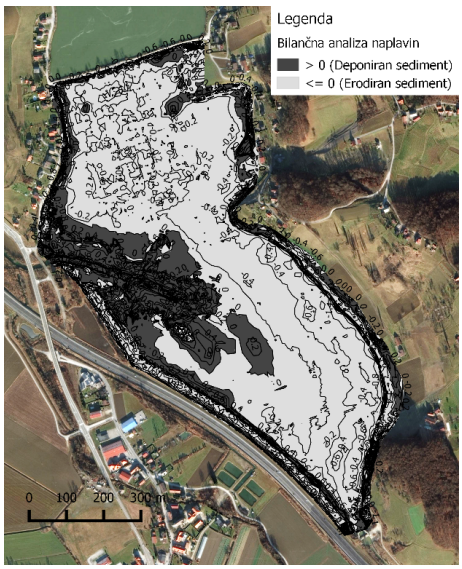
Preglednica 1: Spreminjanje volumna AK Pernica I v obdobju med 1980 in 2013 (Vir: [11], [3], [9]).

Nadmorska višina gladine [m.n.v.]	Leto/Volumen [m^3]			
	1980	2006	2009	2013
250,00	2.300.000	2.359.000	2.187.550	2.226.980
249,00	1.540.000	2.300.000	1.562.550	1.635.800
246,40	Ni podatka	785.000	106.650	191.910

Povprečna globina akumulacije leta 2013 tako znaša 0,48 m pri stalni gladini (246,40 m.n.v.), 2,66 m pri maksimalni gladini (249,00 m.n.v.) in pa 3,56 m pri ekstremni zajezbi (250,00 m.n.v.).

Iz izdelanih digitalnih modelov višin dna akumulacije iz leta 2009 in 2013 smo izdelali bilančno analizo sedimenta (*angl. cut-fill analysis*), ki jo prikazuje karta območij erodiranja in deponiranja sedimenta. Karto smo izdelali s pomočjo GIS programskih orodij, kjer smo izdelali rastrski

sloj razlike digitalnih modelov višin med letoma 2013 in 2009. Karta razlike volumnov nam s pozitivnimi vrednostmi nakaže območja deponiranja sedimenta, z negativnimi vrednostmi pa območja erodiranja le-tega.



Slika 10: Karta razporeditve območij erozije in deponiranja sedimenta v akumulaciji med leti 2009 in 2013

Območja erozije so na osrednjem delu med zgornjo akumulacijo in vtočnim vršajem, ob vzhodnem delu akumulacije do pregradnega objekta. Erozija se je pojavila na območju, kjer se zaradi spremembe pregradno-zapornega objekta, oblike akumulacije in odlaganja sedimenta na območju odtočnega vršaja spremenila razporeditev hitrostno-pretočnega polja v akumulaciji. K izpiranju sedimenta iz dna prav tako pripomorejo vsakoletna praznjenje akumulacije za potrebe izlova rib, vendar v zelo omejenm obsegu zaradi počasne hitrosti praznjenja. Predpisana omejitev hitrosti zniževanja gladine vode v akumulaciji je 30 cm/dan [12].

Deponiranje sedimenta se je pojavilo na območju vtočnega vršaja, kjer reka dovaja sediment v tri krake, ki razporejajo sediment po akumulacijskem območju. Jugozahodni del akumulacije je tako zapolnjen z poloji, kjer bujno uspeva vegetacija, ki dodatno pospešuje deponiranje sedimenta.

Iz bilančne analize rastrskega sloja razlike DMV med leti 2013 in 2009 lahko določimo skupni volumen erodiranih in deponiranih območij. Skupno zmanjšanje volumna sedimenta znaša 73.440 m^3, pri tem je erodiran del znašal 129.180 m^3 ter deponiran del 55.740 m^3.

Povečanje volumna akumulacije je posledica uspešnih ukrepov upravljanja s sedimentom v akumulaciji. Predvsem ukrep spremembe zaporno-pregradnega objekta je bistveno podaljšal življenjsko dobo akumulacije. Zamuljevanje akumulacije in količina mulja (sedimenta), ki sta se odložila v akumulaciji in večanje naplavnega vršaja kaže, da izvedeni ukrepi niso zadostni za preprečevanje odlaganja sedimenta. Potrebno je poudariti, da se proces erozije odloženih muljev, ki so bili posledica prejšnjega pregradnega objekta, najverjetneje zaključuje. Volumen deponiranega sedimenta in sukcesije v obdobju 4 let kažeta na trend odlaganja ca 14.000 m^3 sedimenta na leto, ki je odvisen predvsem od večjih hidroloških dogodkov.

Volumen, namenjen za zadrževanje visokih voda, tj. nad koto stalne ojezeritve (246,40 m.n.v.) in maksimalno gladino (249,00 m.n.v.), zaradi procesa zamuljevanja ni bistveno ogrožen, saj se je v tem obdobju zmanjšal iz 1,456 hm^3 na 1,444 hm^3 oziroma 0.81%.

5. Zaključek

Akumulacija je primer enega novejših in sodobnejših hidrotehničnih objektov v Sloveniji. V sklopu rekonstrukcije so bili izvedeni ukrepi, ki omogočajo zelo dobro upravljanje z akumulacijskim volumnom. Vendar pa se v obdobju od leta 2009 formalno stanje akumulacije ni spremenilo; lastniška struktura ni urejena, urejeno ni upravljanje, prav tako niso urejena razmerja pri namenskih rabah akumulacije.

Redno spremljanje sprememb batimetrije je bistveno za načrtovanje in upravljanje z akumulacijo v prihodnje. Tovrstne meritve in analize služijo kot osnova pri spremljanju hidromorfoloških procesov premeščanja in deponiranja sedimenta v akumulaciji. Na podlagi teh meritev lahko izdelamo hidromorfološke modele s pomočjo katerih lahko simuliramo ukrepe upravljanja s sedimentom.

Vhodni podatki so žal pomanjkljivi in neurejeni. Za spremljanje uspešnosti npr. ekoremediacijskih ukrepov, to je skupek ukrepov s katerim bi zmanjšali vnos sedimenta v povodnje oziroma za modeliranje sedimentacije bi bilo potrebno dolgoletno spremljanje premeščanja suspendiranih snovi na gorvodni postaji Ranca. Na podlagi teh meritev bi lahko določili količino premeščenega sedimenta v prispevnem območju. Prav tako pa je v primeru večjih gradbenih - predvsem zemeljskih del, potrebno sprejeti ukrepe za zmanjšanje spiranja oziroma erodiranja zemljine v vodotoke.

Izvedeni ukrepi za zmanjševanje učinka sedimentacije so se izkazali kot delno učinkoviti. Že v obratovalnem pravilniku je projektant predvidel redne meritve batimetrije akumulacije. Končni učinek izvedene rekonstrukcije bo viden šele v prihodnjih letih, ko bo po dokončanju dolvodne akumulacije Pristava in ureditve avtomatskega delovanja zapornic vzpostavljeno predvideno manevriranje zapornic in zadrževanja poplavnih konic.

Po Načrtu upravljanja voda NUV II [14] AK Pernica spada v skupino vodnih teles, katerim se je zaradi naravnih razmer podaljšal rok za izboljšanje dobrega ekološkega potenciala do konca leta 2027. Pri izvedbi tehničnih ukrepov za vzdrževanje in izboljšanje ekološkega potenciala moramo predvsem izhajati iz cilja zagotavljanja primarnih in sekundarnih rab na tovrstnih objektih, saj le-te opravičujejo stroške izvajanja ukrepov.

6. Viri

[1] IZVRS, 2014. Poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije za leto 2014. Programski sklop I Skupina EU politika do voda - I/1 Izvajanje Vodne direktive: DDU19 Ureditev primarne in sekundarnih rab vode v večnamenskih akumulacijah. Ljubljana: MOP. Direkcija za vode Republike Slovenije.

[2] Burja, D. & Anzeljc, D., 1999. Hidrološka študija Pesnice - novelacija. Ljubljana: Vodnogospodarski inštitut d.o.o.

[3] Juvan, S., 2007. Rekonstrukcija AK Pernica kot nadomestni ukrep za zmanjšanje poplavne ogroženosti po izgradnji AC v Pesniški dolini. Ljubljana: Zbornik 7. Dneva inženirjev. Inženirska zbornica Slovenije.

[4] Juvan, S., 2009a. Pravilnik o obratovanju in vzdrževanju objektov akumulacije Pernica, št. 3188/09. Maribor: Vodnogospodarski biro Maribor d.o.o.

[5] Direktiva, 2000/60/EC. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Bruselj: Official journal of the European Communities, 327

[6] ARSO, 2016. Ocena ekološkega stanja jezer za obdobje 2009-2015.

[7] Spletni portal Siol, 2013. Vzrok za pogin rib v Perniškem jezeru visoke temperature - Novica. (Pridobljeno dne: 13.7.2016).

[8] Slatinšek, I., 2016. Meritve akumualcije Percnica I po rekonstrukciji. Osebna komunikacija po elektronski pošti.

[9] Harpha Sea d.o.o., 2013. Izmera akumulacije Pernica I. Koper.

[10] GEOIN, 2011. Lasersko skeniranje in aerofotografiranje 2011 - Blok B25. Atlas voda. ARSO. MOP. (Pridobljeno dne 12. 7. 2016).

[11] VGI, 1980. Hidrološka študija Pesnice (do profila Hrastovec), št. C-1006. Ljubljana: VGI - Vodnogospodarski inštitut

[12] Meljo, J. & sod., 2013. Poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije za leto 2013. Naloga: I/1/1/5_1: DDU19 Ureditev primarne in sekundarnih rab vode na večnamenskih akumulacijah. Vmesno poročilo., Ljubljana: Inštitut za vode RS.

[13] Atlas okolja, 2017. Spletni pregledovalnik, ARSO. Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije. (Pridobljeno: 15.1.2017).

[14] MOP, 2016. Načrt upravljanja voda na vodnem območju Donave za obdobje 2016-2021- NUV II za vodno območje Donave. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor.

SUHI ZADRŽEVALNIKI IN NADOMESTILA ZA ŠKODO ZARADI UNIČENJA ALI ZMANJŠANJA PRIDELKA NA KMETIJSKIH ZEMLJIŠČIH

doc. dr. Matjaž Glavan, prof. dr. Marina Pintar

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Katedra za agrometeorologijo, urejanje kmetijskega prostora, ekonomiko in razvoj podeželja, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana

POVZETEK

V letu 2014 in 2015 so lastniki kmetijskih zemljišč na območju razlivne površine poplavnih voda suhega zadrževalnika v Bolehnečicih zaradi škodnega poplavnega dogodka utrpeli velike izgube pridelka. Pri odgovornih so iskali možnost nadomestila za škodo, ki jim ga omogoča zakon o vodah (ZV), vendar ministrstvo nadomestil ne more izplačati, ker ni pripravljenih metodoloških izhodišč. Leta 2012 je bila v parlamentu potrjena sprememba ZV, ki nalaga ministrstvu izplačila nadomestil za škodo zaradi uničenja ali zmanjšanja pridelka na kmetijskih zemljiščih ob škodnem poplavnem dogodku na območju suhih zadrževalnikov. Zakon o umeščanju prostorskih ureditev državnega pomena v prostor (ZUPUDPP) predvideva nadomestila za škodo, a določa pripravo metodologije za ocenjevanje nadomestil. Tako predlog uredbe, kot končno poročilo o razvoju metod ocenjevanja vrednosti nadomestil, sta izpustila oblikovanje nadomestil za škodo zaradi uničenja ali zmanjšanja pridelka na kmetijskih oziroma gozdnih zemljiščih ob škodnem poplavnem dogodku na območju suhih zadrževalnikov. Zato je to področje zakonodaje tudi po petih letih še vedno neurejeno. V prispevku so prikazane metodološke osnove za izračun izplačil nadomestil za škodo zaradi uničenja oziroma zmanjšanja pridelka na kmetijskih zemljiščih ob škodnem poplavnem dogodku. Izračun je pokazal, da bi bile izgube pridelovalcev na območju zadrževalnika Bolehnečicev v najslabšem primeru, med 108.000 in 111.000 EUR, če upoštevamo le škodo na pridelku, oziroma med 244.000 in 256.000 EUR, če v izračunu upoštevamo še dokup pridelka na trgu, zaradi potreb v pridelavi in predelavi na kmetijah.

Ključne besede:

kmetijska zemljišča, suhi zadrževalnik, poplava, škoda, nadomestilo

1. Uvod

V letu 2014 in 2015 so lastniki kmetijskih zemljišč na območju razlivane površine suhega zadrževalnika poplavnih voda v Bolehnečicih utrpeli velike izgube pridelka. Pri odgovornih so iskali možnost nadomestila za škodo, ki jim ga omogoča zakon o vodah (ZV), a so bili neprijetno presenečeni. Nadomestil ministrstvo ne more izplačati, ker ni pripravljenih metodoloških izhodišč. Leta 2012 je bila v parlamentu potrjena sprememba Zakona o vodah (ZV) (Ur. l. RS, št. 57/12). V 90. členu je bilo na novo opredeljeno razmerje med upravljalcem suhih zadrževalnikov in lastniki kmetijskih in gozdnih zemljišč. Zakon pravi: »Pri obratovanju suhega zadrževalnika pripada lastnikom oziroma drugim posestnikom zemljišč, ki so namenjena zadrževanju voda v suhem zadrževalniku, nadomestilo za škodo zaradi uničenja ali zmanjšanja pridelka na kmetijskih oziroma gozdnih zemljiščih ob škodnem poplavnem dogodku, ki jo izplača ministrstvo (za okolje).

Za ocenjevanje nadomestil za škodo po tem odstavku se smiselno uporabljajo predpisi, ki urejajo umeščanje prostorskih ureditev državnega pomena v prostor.«

Zakon o umeščanju prostorskih ureditev državnega pomena v prostor (ZUPUDPP) (Ur. l. RS, št. 80/10; 57/12) v 56. členu res predvideva nadomestila za škodo zaradi uničenja ali zmanjšanja pridelka na kmetijskih oz. gozdnih zemljiščih. Zakon v zadnjem odstavku 55. člena določa pripravo metodologije za ocenjevanje nadomestil za škodo, ki jo predpiše vlada z uredbo.

Vlada je v letu 2012 po opozorilu Računskega sodišča RS o neurejenosti področja pristopila k pripravi osnutka uredbe kot začasne ureditve področja. Predlog uredbe iz novembra 2012 v tretjem odstavku 6. člena sicer govori o nadomestilu za škodo zaradi uničenja ali zmanjšanja obstoječega pridelka na kmetijskih zemljiščih zaradi umestitve objekta državnega pomena v prostor, a le v smislu upoštevanja stroškov, potrebnih za povrnitev stanja zemljišča v stanje pred umestitvijo objekta državnega pomena v prostor. Ključni deležniki (Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, sodni cenilci gradbene, kmetijske in gozdarske stroke, GURS, KGZS, ZGS, Slovenski inštitut za revizijo) so sklenili, da se GURS zagotovijo sredstva za pripravo sistemske rešitve nadomestil za škodo zaradi uničenja ali zmanjšanja pridelka zaradi škodnih dogodkov poplav na kmetijskih zemljiščih na območju suhih zadrževalnikov do konca leta 2014. Geodetska uprava RS je tako v juniju 2013 izvedla javno naročilo za pripravo poročila Razvoj metod ocenjevanja vrednosti nadomestil za izvedbo načrta, ki je bilo zaključeno v januarju 2015. Iz končnega poročila, je razvidno, da so izvajalci sledili tehnični dokumentaciji, a podobno kot predlog uredbe niso obravnavali kmetijskih zemljišč na območju suhih zadrževalnikov poplavnih voda, ki jih občasno zasede poplavna voda [1]. Sicer je v veljavi tudi Uredba o metodologiji za ocenjevanje škode Ministrstva za obrambo (Uradni list RS, št. 67/03, 79/04, 33/05, 81/06 in 68/08), ki pokriva kmetijstvo, a le za škode, ki so posledica naravnega delovanja in je v obravnavanem primeru ni možno uporabiti.

V prispevku bomo prikazali metodološke osnove za izbrane načine izplačil nadomestil za škodo zaradi uničenja ali zmanjšanja pridelka na kmetijskih zemljiščih ob škodnem poplavnem dogodku.

2. Materiali in metode

2.1 Zadrževalnik Bolehnečici

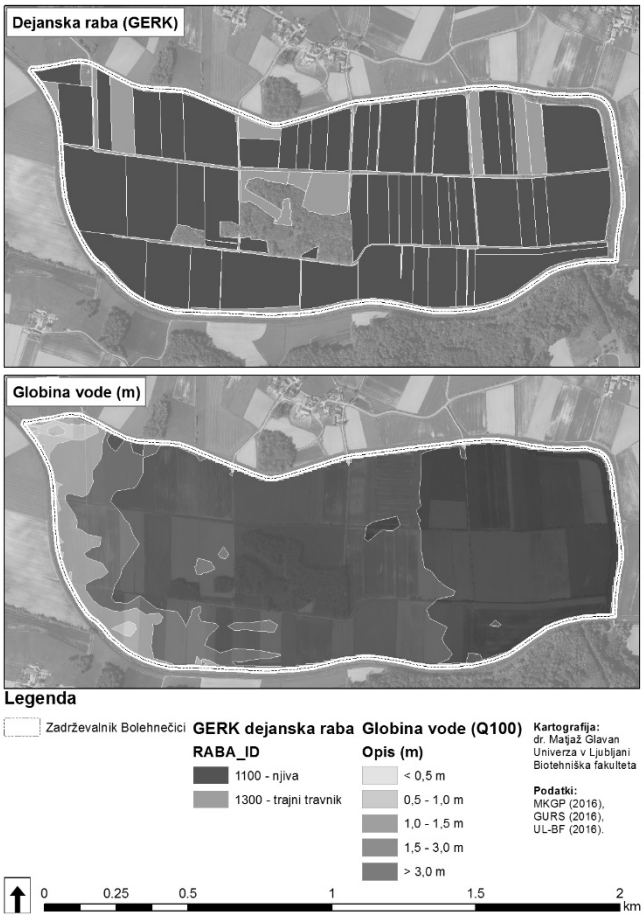
Suhi zadrževalnik Bolehnečici je bil zgrajen leta 1985. Ob visoki vodi Ščavnice lahko zadrži 4 milijone m^3 vode z maksimalno gladino na koti 190,80 m, kar je 3,8 m nad dnom ob pregradi (več kot Q_{100}). Poplavljena površina znaša 137 ha (Slika 1). Pri 100 letnih vodah (Q_{100}) je volumen zadržane vode 3,03 milijona m^3. Krona nasipa ob zadrževalniku je na koti 191,30 m, nasip je dolg preko 4000 m, krona nasipa je širine 3 m, naklona brežin pa sta 1:3 na vodni strani in 1: 2,5 na zračni strani. Vsi ukrepi zaradi visoke vode na reki Ščavnici se izvajajo sinhronizirano z 2,5 km dolovodno ležečim mokrim zadrževalnikom Gajševci. Pripiranje zapornic se prične ob nastopu vode večje od Q_{10} letne vode (76 m^3/s). Zadrževalnik se polni in prazni preko bočnega preliva od spodaj navzgor, kar povzroči manjšo mehansko škodo na rastlinah in tleh kot pri polnjenju od zgoraj navzdol [2].

Po podatkih prostorskih podatkovnih baz dejanske rabe kmetijskih zemljišč GERK je na območju 105 ha njiv in 11 ha trajnih travnikov. Preostalih 21 ha predstavljajo gozdovi, odvodni jarki, poti in nasipi [3] (Slika 1).

Tla na celotnem območju se po FAO klasifikacij uvrščajo med evtrični glejsol (Eutric Gleysol). Za ta tip tal je značilno, da so se oblikovala zaradi zastajanja podtalne vode v profilu tal, zato se na tem tipu tal naravno oblikujejo mokrotni travniki. Za njivsko rabo postanejo primerna z napravo osuševalnih sistemov, kot je to v primeru Bolehnečicev. Tekstura tal je meljato glinasto ilovnata s 50 % melja, 35 % gline in 15 % peska [4].

2.2 Izračun nadomestila za škodni dogodek

Odškodnina po poplavnem dogodku je definirana kot nadomestilo (običajno kot finančno), ki ga oškodovanec prejme za poravnavo škode, ki nastane kot posledica neposrednih ali posrednih učinkov poplave. Površina in globina poplav je odvisna od povratne dobe poplave in hidroloških razmer dolvodno. Poplavna voda ima vpliv na lastnosti kmetijskih površin, kmetijsko pridelavo in kmetijska gospodarstva. Ker gre za umeten poseg v hidrološki režim na območju, ki poslabšuje obstoječe stanje, so lastniki zemljišč oz. obdelovalci zemljišč upravičeni do odškodnine oz. nadomestila. Nadomestilo mora zagotoviti lastnik zadrževalnega objekta.



Slika 11: Celotno območje suhega zadrževalnika Bolehnečici (Q100) s prikazom dejanske rabe in globine vode ob poplavnem dogodku Q100

V prispevku je prikazan izračun nadomestil za škodo za zemljišča na območju občasne zasedbe (razlivna površina). V izračun na območjih občasne zasedbe (poplave) so vključeni naslednji parametri: (A) vplivno območje 100 letnih vod (površina in globina poplav) (Slika 1), (B) raba kmetijskih zemljišč (njive, travniki), (C) najpogostejše kmetijske kulture – kolobar (koruza, ječmen, pšenica, buče, trajno travinje), (D) ekonomska kalkulacija za kmetijske kulture (njiva, trajno travinje) (Preglednica 1). Kot osnovo za izračun nadomestil smo vzeli katalog kalkulacij (2011/12) [5], tehnološka navodila za kmetovalce na poplavljenih območjih [6] in podatke lastnikov zemljišč. V izračun smo vključili plačilo za plačilne pravice za površino in proizvodno vezane podpore za strna žita. Kmetijsko okoljsko podnebnih plačil (KOPOP) nismo vključili v izračun. V izračunu je upoštevan najneugodnejši možni izid škodnega poplavnega dogodka. To bi pomenilo volumen vode na koti Q100 in tri dni zadrževanja vode, ko se pri rastlinah že kaže močan negativni vpliv ovirane izmenjave plinov oz. dihanja rastlin.

Glede na globino vodo smo v izračunu prilagodili tudi višino nadomestila. Na območjih z globino vode do 0,5 metra so 100 % poškodovane buče in travinje (pridelek na tleh), na območjih z globino vode do 1 meter so 100 % poškodovani buče, travinje in strna žita (klasje) in na območjih z globino vode večjo od 1 metra so 100 % poškodovani oziroma neprimerni za prehrano ljudi in živali vsi pridelki (zelena masa in koruzni storži). Pri globinah vode do 1 metra smo upoštevali tudi 20 % vpliv na vse ostale pridelke. Zaradi zasičenja tal z vodo rastline doživijo pomanjkanje kisika, kar se izrazi v slabši rasti in v manjši kakovosti ter pridelku.

Preglednica 1: Kalkulacija spremenljivih stroškov in pokritja za petletni njivski kolobar na območju zadrževalnika Bolehnečici, uporabljena za izračunu nadomestil

PETLETNI KOLOBAR koruza za silažo/ječmen/koruza za silažo/pšenica/buče	**Kalkulacija**		
	brez škode	**100 % škoda**	**100 % škoda in dokup pridelka**
Vrednost pridelka (€/ha) (VP)	1.313	0	0
Neposredno plačilo (€/ha) (NP)	209	209	209
Prihodek pri ceni (€/ha) (PR)	1.522	209	209
Spremenljivi stroški (€/ha) (SS)	1.274	1.274	1.274
Strošek dokupa pridelka (€/ha) (SDK)			1.313
Pokritje pri ceni (€/ha) (PO)	248	-1.065	-2.378

V prispevku obravnavamo naslednje izbrane načine izplačila nadomestil po škodnem dogodku [7]: (a) izplačilo za en škodni dogodek ob izgubi enega odkosa trave brez baliranja, (b) izplačila za en škodni dogodek ob izguba treh odkosov trave brez baliranja, (c) izplačilo za en škodni dogodek ob izgubi enega odkosa trave brez baliranja in dokupom pridelka na trgu, (d) izplačilo za en škodni dogodek ob izgubi treh odkosov trave brez baliranja in dokupom pridelka na trgu.

Nadomestilo za škodo se izračuna po enačbi (1), kjer je PO – pokritje pri dani ceni pridelka (EUR/ha), PR – prihodek pri dani ceni pridelka (EUR/ha), SS – spremenljivi stroški pridelave (EUR/ha) in SDK – strošek dokupa pridelka zaradi izgube, ki je spremenljiv in običajno odvisen od razmer na trgu (EUR/ha).

$$PO = (PR - SS) + SDK \quad (1)$$

3. Rezultati

Izračun nadomestil za najneugodnejši izid poplavnega škodnega dogodka, pri katerem je zapolnjen celotni volumen zadrževalnika (Q100), je pokazal, da bi bile škode in vrednost nadomestil velike. Skupna ocena vrednosti izgube pridelovalcev na območju, če upoštevamo le škodo na pridelku, se giblje med 108.000 (A) in 111.000 EUR (B) (Preglednica 2). Če v izračunu upoštevamo še dokup pridelka na trgu zaradi potreb v pridelavi in predelavi na kmetijah, se izgube na območju gibljejo med 244.000 (C) in 256.000 EUR (D). Pri tem velja opozoriti, da dogodka tega obsega na območju od začetka obratovanja zadrževalnika do danes še ni bilo. Največji obseg poplavljenosti je do sedaj zajemal dobri 2/3 območja (poplava v septembru 2014). Poplavni dogodki običajno uničijo le en odkos travinja, saj si trava hitro opomore, če zemljišče ni podvrženo vodni eroziji. Če skupna pokritja prilagodimo tem dejstvom, bi se vrednost izgube gibala okoli 65.000 EUR (A), oziroma z dokupom pridelka okoli 146.000 EUR (C). Vrednost izgube se lahko še zmanjša, če se poplavni dogodek zgodi po spravilu pridelkov, pred setvijo poljščin ali izven rastne sezone. Poplavnih dogodkov, ki bi se zgodili konec junija ali v začetku julija (pred žetvijo strnih žit in v obdobju intenzivne rasti ostalih kultur), in bi povzročili največjo škodo, do sedaj še ni bilo. Dogodki v septembru so bolj verjetni in imajo za posledico izpad pridelka koruze in buč. Če odštejemo okoli 20 %

celotnega pokritja, kolikor v izračunu predstavljajo ozimna žita, bi se vrednost izgube gibala okoli 52.000 EUR (A), oziroma z dokupom pridelka okoli 117.000 EUR (C). V kolikor se poplavni dogodek zgodi izven rastne sezone, so škodljivi učinki na rastline minimalni in s tem tudi izgube.

V tem obdobju so na površinah prisotna le strna žita, ki so v zimskem času bolj odporna na izredna dogodke, a pomanjkanje kisika jih vseeno prizadene. Vpliv zasičenih razmer v tleh lahko povzroči odmiranje rastlin in v spomladanskem času slabše razraščanje ter posledično manjši hektarski donos.

Preglednica 2: Pokritja v pridelavi za kmetijska zemljišča (KZ) za škodni dogodek za zadrževalnik Bolehnečici, kjer je upoštevan najneugodnejši možni izid škodnega poplavnega dogodka (gladina vode na koti Q100, tri dni zadrževanja vode, dolgoročne posledice)

Dejanska raba Globina vode	Površina (ha)	Pokritja v pridelavi brez škod (EUR)		Pokritja v pridelavi (EUR) za škodni dogodek Q100*			
		1 odkos	3 odkosi	A	B	C	D
Trajni travnik (1300)							
< 0,5 m	0,31	78	233	-45	-136	-168	-505
> 3,0 m	3,73	933	2.794	-545	-1.630	-2.018	-6.054
0,5 - 1,0 m	0,37	91	274	-53	-160	-198	-594
1,0 - 1,5 m	1,50	376	1.125	-219	-657	-813	-2.438
1,5 - 3,0 m	5,34	1.334	3.997	-779	-2.332	-2.887	-8.660
Skupaj 1300	11,25	2.811	8.423	-1.642	-4.914	-6.084	-18.251
Njiva (1100)							
< 0,5 m	1,16	8.588	8.588	-36.879	-36.879	-82.345	-82.345
> 3,0 m	34,63	2.002	2.002	-4941	-4.941	-10.972	-10.972
0,5 - 1,0 m	8,07	2.816	2.816	-12.092	-12.092	-26.999	-26.999
1,0 - 1,5 m	11,35	12.284	12.284	-52.750	-52.750	-117.784	-117.784
1,5 - 3,0 m	49,53	53	53	53	53	53	53
Skupaj (1100)	104,74	25.742	25.742	-106.609	-106.609	-238.047	-238.047
Skupaj KZ	115,99	28.554	34.165	-108.251	-111.523	-244.131	-256.299

* Pokritja v pridelavi za škodni dogodek lahko razumemo tudi kot izgubo ali vrednost nadomestil za škodo na pridelku oziroma v kmetijski pridelavi. Načini izplačil nadomestil: A - izplačilo za en škodni dogodek ob izgubi enega odkosa trave brez baliranja), B - izplačila za en škodni dogodek ob izguba treh odkosov trave brez baliranja, C - izplačilo za en škodni dogodek ob izgubi enega odkosa trave brez baliranja in dokupom pridelka na trgu, D - izplačilo za en škodni dogodek ob izgubi treh odkosov trave brez baliranja in dokupom pridelka na trgu; KZ – kmetijska zemljišča

Zatečeno stanje je posledica nezainteresiranosti ministrstev, pristojnih za okolje in prostor, ki tega problema, kljub nekaterim poskusom, v petih letih še niso uspela rešiti. Zadevo je možno rešiti hitro in učinkoviti s pripravo metodologije za ocenjevanje nadomestil za škodo, ki jo predpiše vlada z uredbo.

Pri pripravi uredbe bi se lahko zgledovali tudi po Uredbi o metodologiji za ocenjevanje škode Ministrstva za obrambo, (Uradni list RS, št. 67/03, 79/04, 33/05, 81/06 in 68/08), ki pokriva kmetijstvo. Vendar bi veljajo pojem škode razširiti tudi na tiste oblike, ki so posledice človekovega vpliva (suhi zadrževalniki). Pomembno je opozoriti, da mora biti škoda na kmetijskih zemljiščih in kmetijskih kulturah ocenjena za vsak poplavni dogodek, ki preplavi kmetijske površine znotraj zadrževalnega prostora suhega zadrževalnika. V primeru, da je ugotovljena ekonomska škoda, je treba odškodnino izplačati za vse površine, na katerih je ugotovljena. In sicer neodvisno od dejstva, ali bo Vlada RS za to naravno nesrečo (poplavni dogodek), v kateri je bila narejena ocena škode, odločila, da se uporabljajo sredstva za odpravo posledic škode v kmetijstvu, in sprejela predpisan program odprave posledic škode, kot ga predvideva Zakon o odpravi posledic naravnih nesreč ali ne. Razlog je v dejstvu, da gre z vidika površine države za relativno majhno površino, ki predstavlja le manjši del kmetijskih površin,

za obdelovalce kmetijskih zemljišč znotraj zadrževalnikov pa so te površine velikega pomena, saj zagotavljajo njihov obstoj.

4. Sklepi

Lastniki oziroma obdelovalci zemljišč na območju zadrževalnika Bolehnečici so, kljub velikim škodam v letu 2014 in 2015, ostali brez izplačanih nadomestil zaradi škod, saj jim jih ministrovo ne more izplačati, ker ni pripravljenih metodoloških izhodišč za oceno nadomestil. Sistem izplačila odškodnin bi sicer moral biti med investitorjem in lastniki/najemniki/zakupniki dogovorjen že pred začetkom obratovanja SZ, a zaradi takratnih političnih razmer (1985) to ni bilo narejeno.

V tem prispevku smo predstavili preprosto metodo ocene potrebnih finančnih sredstev za izplačilo nadomestil za škodo zaradi uničenja ali zmanjšanja pridelka na kmetijskih zemljiščih ob škodnem poplavnem dogodku. S tem smo želeli opozoriti na ekonomsko škodo, ki jo utrpijo kmetijska gospodarstva vsakič, ko poplavna voda uniči pridelek na kmetijskih zemljiščih.

5. Viri

[1] SWEDESURVEY (2015). Razvoj metod ocenjevanja vrednosti nadomestil ob umeščanju prostorskih ureditev javnega pomena v prostor - Končno poročilo [online]. Gävle, Sweden, SWEDESURVEY. Availabe from: http://vrs-3.vlada.si/MANDAT14/VLADNAGRADIVA.NSF/71d4985ffda5de89c12572c3003716c4/e3a2062571d1624ac1257ee0003c5536/$FILE/Koncno_porocilo_naloge_4-6.pdf [dostop 15. december 2016]

[2] NOVAK, J., 2007. Zadrževalniki visokih voda na povodju Mure. Zbornik referatov - Mišičev vodarski dan 2007. Vodnogospodarski biro Maribor, Maribor, pp. 128-136.

[3] MKGP, 2016. Dejanska raba – GERK [online]. Ljubljana, Slovenija, Ministrstvo RS za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Availabe from: http://rkg.gov.si/GERK/ [dostop 20. december 2016]

[4] MKGP, 2016. Grafični in pisni podatki pedološke karte in pedoloških profilov [online]. Ljubljana, Slovenija. Ministrstvo RS za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Availabe from: http://rkg.gov.si/GERK/ [dostop 20. december 2016]

[5] JERIČ, D., CAF, A., DEMŠAR-BENEDEČIČ, A., LESKOVAR, S., OBLAK, O., SORŠAK, A., SOTLAR, M., TRPIN-ŠVIKART, D., VELIKONJA, V., VRTIN, D. AND ZAJC, M., 2011. Katalog kalkulacij za načrtovanje gospodarjenja na kmetijah v Sloveniji. Ljubljana, Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije.

[6] KGZS, 2010. Tehnološka navodila KGZ Slovenije za kmetovalce na poplavljenih območjih [online]. Mestna občina Ljubljana, Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije, Ljubljana. Availabe from: www.ljubljana.si/file/862595/tehnoloska-navodila.pdf [dostop 20. september 2012]

[7] GLAVAN, M., UDOVČ, A. AND PINTAR, M., 2016. Economic evaluation of the compensation payments for agriculture in the area of a flood water dry detention reservoir. Geodetski Vestnik, 60 (4): 717-733.

MOŽNOST KONTAMINACIJE PITNE VODE IN VARNOSTNI UKREPI

asist. dr. Daniel Kozelj, doc. dr. Darko Drev

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Pri vodooskrbnih sistemih lahko pride do kontaminacije pitne vode zaradi naravnih in antropogenih vzrokov. Med najpogostejšimi tipi kontaminacije tako lahko prepoznamo mikrobiološko in fizikalno – kemijsko kontaminacijo. Naravna kontaminacija je navadno posledica onesnaženosti vodnega vira, npr. izvira ali podzemne vode, zaradi hidrogeoloških značilnosti vodnega telesa, iz katerega se napaja vodovodno omrežje, ali pa zaradi neustrezne rabe kmetijskih površin. Antropogeno onesnaženje pa je največkrat posledica različnih oblik onesnaževanja okolja, ki so v večinoma posledica malomarnega odnosa do okolja ter ekoloških nesreč. Namernega onesnaženje vodnih teles in s tem kontaminacije pitne vode do sedaj še ni bilo zaznati. Kljub temu takšne možnosti ni mogoče izključiti in moramo biti na njo pripravljeni, saj je Slovenija kot članica Evropske Unije, NATO pakta ter članica protiteroristične koalicije. Ogroženost vodovodnih sistemov, kot možne tarče teroristov ali kakršnihkoli drugih napadalcev, je zelo velika in jo je treba jemati izjemno resno. Zagotavljanje ustreznih količin zdravstveno neoporečne pitne vode je ena izmed najpomembnejših nalog za zagotavljanje sanitarne varnosti države. Zato je zelo pomembno, da obstajajo ustrezni varnosti ukrepi, ki zmanjšajo tveganje za kontaminacije pitne vode. Ti ukrepi zajamejo: ustrezno varovanje vodnih teles in zajetij, ustrezno tehnologijo priprave pitne vode ter varen transport pitne vode do porabnikov.

Ključne besede:

vodovodni sistem, onesnaženje, varnostni ukrepi

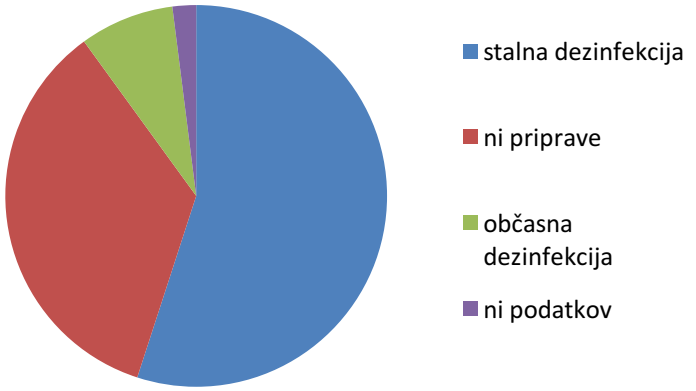
1. Uvod

V Sloveniji se s pitno vodo iz javnih vodovodov oskrbuje približno 91% prebivalstva [1]. Ostalo prebivalstvo se oskrbuje s pitno vodo iz lastnih vodnih zajetij [2]. Razmejitev med javnim vodovodom in zasebnim vodovodom za lastno oskrbo s pitno vodo je podana v Uredbi o oskrbi s pitno vodo [3]. Vodovodi, ki oskrbujejo več kot 50 prebivalcev in z gostoto poselitve večjo od pet prebivalcev s stalnim prebivališčem na hektar, so javni vodovodi, ostalo pa zasebni vodovodi z lastnimi vodnimi viri. Za javne vodovode je predpisan ustrezen notranji in zunanji nadzor kakovosti pitne vode [4]. Lastna vodna zajetja nimajo predpisanega nadzora kakovosti pitne vode.

Srednji in veliki javni vodovodi imajo običajno urejeno pripravo pitne vode, veliko malih javnih vodovodov pa priprave pitne vode ne izvajajo. Približno 1/3 od celotnega števila javnih vodovodov nima nobene priprave pitne vode [1]. V teh primerih gre enostavno za zajem vode iz vodnih zajetij in njeno distribucijo prebivalcem. Zelo podobno situacija je pri zasebnih vodovodih. Le pri 60% vodovodov se izvaja stalna dezinfekcija pitne vode [1]. Ker leži večina vodnih zajetij na kraških zemljiščih [5], se v času povečanih padavin pogosto pojavi onesnaženje pitne vode v vodnih zajetjih. Razlog gre iskati v kraških vodonosnikih, ki nimajo

ostre meje med površinskimi in podzemnimi vodami in nizki samočistilni sposobnosti razpoklinskih vodonosnikov [2].

Veliki vodovodi uporabljajo različne tehnološke postopke priprave pitne vode, ki omogočajo odstranitev kratkotrajnega onesnaženja pitne vode v vodnih zajetjih in s tem lahko zagotavljajo stalno kakovost pitne vode za oskrbovane prebivalce. Veliki vodovodi so zato manj občutljivi na kratkotrajna onesnaženja, ki lahko nastopijo ob povečanih padavinah, neustrezni rabi kmetijskih površin, onesnaženju iz prometa, itd. Pitno vodo je zato v velikih vodovodih relativno težko kontaminirati. Različni sistemi kontrole in priprave pitne vode to nevarnost zmanjšajo na relativno nizko raven. Pri malih vodovodih, ki nimajo nobene priprave pitne vode in zelo slab interni nadzor kakovosti pitne vode, pa je kontaminacija razmeroma enostavna in ogroženost precej na višji ravni [1].



Slika 12 Pregled izvajanja dezinfekcije pitne vode na javnih vodovodih v Sloveniji v letu 2015 [1] (7)

Vsak javni vodovod mora imeti izdelan HACCP elaborat (angl. Hazard Analysis Critical Control Point) in zunanji neodvisni monitoring na mestih uporabe [3]. Interni monitoring kakovosti pitne vode je pogosto slab, saj ne temelji na zelo kvalitetnem HACCP elaboratu. HACCP elaborat namreč lahko po trenutno veljavnih predpisih izdela vsak, ki misli, da je za to usposobljen. Posledično so mnogi HACCP elaborati slabi. Pred dobrim letom je bila sprejeta sprememba evropske direktive o pitni vodi [6]. Ta direktiva zahteva izdelavo ocene tveganja oskrbe s pitno vodo in vodovodov, kar bi moralo dvigniti raven varne vodooskrbe. V tej oceni tveganja bi morala bili upoštevana tudi različna tveganja za kontaminacijo pitne vode. Izredne razmere so lahko posledica naravnih vplivov (npr. poplava, žled, potres, požar, itd.), ekoloških nesreč, terorističnih aktivnosti ali vojaških dejavnikov.

2. Možnost (namerne) kontaminacije

Do kontaminacije lahko pride že, če nekdo na prispevnem območju vodnega vira odloži nevarne odpadke ali spušča gnojevko v okolje. Navedimo primer, kjer smo pred nekaj leti sodelovali kot sodni izvedenci v kazenski zadevi na sodišču proti kmetu, ki je spuščal gnojnico v podzemne vode le nekaj sto metrov nad vodnim zajetjem. Voda v vodnem zajetju je bila zato močno mikrobiološko in kemično kontaminirana. V obravnavanem primeru je šlo za onesnaženje malega javnega vodovoda. Takšnih primerov je verjetno bistveno več pri vodnih zajetjih, ki ne spadajo med javne vodovode. Možno je tudi, da si kmet že sam onesnažuje vodo v svojem vodnjaku na dvorišču, če nima ustrezno poskrbljeno za gnoj in gnojnico, ki nastaja v hlevu.

Pri slabo varovanih vodnih zajetjih obstaja tudi velika možnost za namerno kontaminacijo pitne vode, npr. zaradi sporov med sosedi, ali pa v novejšem času celo zaradi terorističnega

napada. Namerna kontaminacija vodnega zajetja ali vodovodnega omrežja je relativno enostavno izvedljiva pri vseh - malih, srednjih in velikih vodovodih.

Za biološko kontaminacijo je dovolj, če nekdo vrže manjšo poginulo žival v vodno zajetje ali pa gre za naravni pogin divjadi. Ob namerni kontaminaciji bi lahko povzročitelj uporabil tudi nevarne seve bakterij ali kakšne druge zelo nevarne kontaminante. Od kemijskih strupov so zelo enostavno dosegljivi strupi za izvajanje deratizacije, insekticidi, pesticidi, itd.

Kljub navedenemu pa je bila doslej zaznana kontaminacija navadno posledica naravnih vzrokov, ali pa malomarnega odnosa ljudi v območjih prispevnih površin vodnih virov. O tem, da bi lahko bila izvedena načrtno, se bolj malo razmišlja. Odkar je postala Slovenija članica NATO pakta in EU unije, so lahko takšna vodna zajetja tudi tarče terorističnih napadov. Izvedba takšnega terorističnega napada ne bi predstavljala za terorista velikega tveganja, da se ga lahko ulovi. Na dovodu pitne vode v stanovanjsko stavbo, ali v poslovni objekt, je navadno zahtevano, da je vgrajen na javno dostopni površini merilnik količine dobavljene pitne vode. Vendar je praviloma izveden priključek brez nepovratnega ventila, ki bi preprečil tok vode iz objekta in s tem morebitno onesnaženje vodovodnega sistema iz objekta, ki je priključen na javno vodovodno omrežje.

Slika 13 Števec za merjenje količine dobavljene vode iz javnega vodovodnega omrežja

V javnem vodovodnem omrežju je običajno tlak pri priključku na stanovanjski objekt med 3 in 6 barov. Če pri vodomeru ni montiran tudi nepovratni ventil, je možno iz objekta kontaminirati javni vodovodni sistem. Z dokaj preprosto napravo, ki vzpostavi na točki namernega vnosa tlak, ki je nekoliko višji od tlaka v javnem vodovodnem sistemu, se zagotovi dotok v omrežje, s katerim se lahko brez težav vnašajo v javni vodovod kemijska ali biološka onesnaževala.

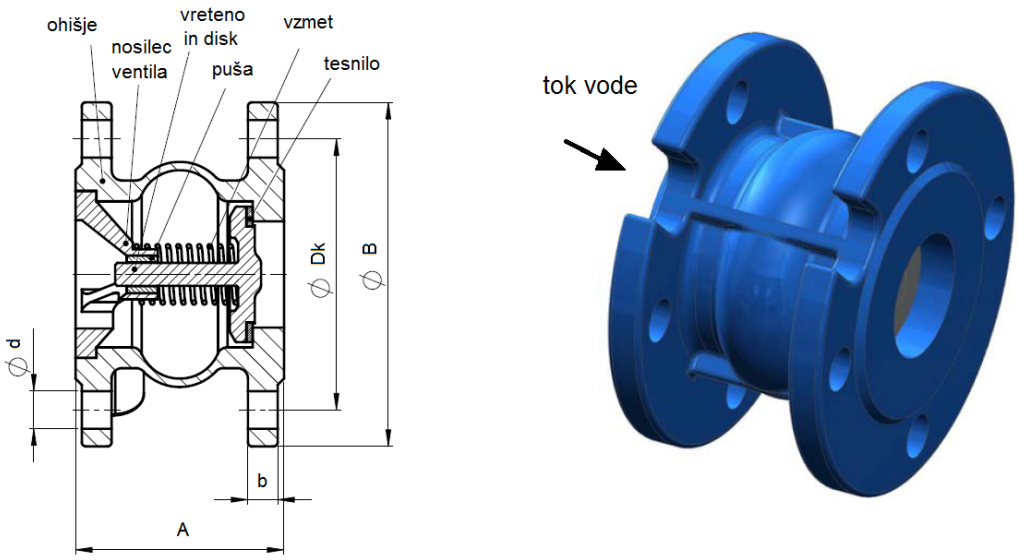
3. Ukrepi za preprečitev kontaminacije

Obstoječi predpisi na področja oskrbe s pitno vodo prebivalstva lahko v veliki meri preprečijo možnost kontaminacije pitne vode, če jih ustrezno uporabljamo [7]. Pri tem ima najpomembnejšo vlogo Pravilnik o pitni vodi [3] (8). Vendar pravilnik daje glavne pristojnosti le zdravstveni stroki in Ministrstvu za zdravje (MZ). To je sicer dobro, vendar pa ni zadostno. Ustrezno bi morale biti zajete tudi vsebine inženirskih in varnostnih strok. Če bi lahko izdelovali HACCP elaborate le ustrezni pooblaščeni inženirji, bi se nivo varne vodooskrbe prebivalstva bistveno povečal. Pri tem bi morale biti vzpostavljene približno enake zahteve kot pri izdelavi »požarnih elaboratov«, kjer za požarno zahtevne objekte lahko »požarne elaborate« izdelujejo le ustrezni pooblaščeni inženirji, za ostale objekte pa tudi drugi pooblaščeni inženirji. Vsi javni vodovodi so sanitarno zahtevni objekti in se mora za njih zahtevati izdelavo kakovostnih HACCP elaboratov s strani pooblaščenih (strokovno ustreznih) oseb.

Z uveljavitvijo zahtev iz dopolnitev Direktive 98/83/ES o kakovosti vode, namenjene za prehrano ljudi [8], k Direktivi 2015/1787 [6], po izdelavi ocene tveganja v naš pravni red, bi se

morala zgoraj opisana pomanjkljivost v celoti odpraviti. Vendar pa osnutek nove "Uredbe o pitni vodi" ne kaže sprememb na bolje, temveč prinaša celo poslabšanje obstoječega stanja. Pri izdelavi te uredbe namreč niso sodelovale ustrezne inženirske in varnostne stroke, čeprav je ustrezna vodooskrba prebivalstva strateškega državnega pomena, ki ima zelo pomembne elemente državne varnosti.

Osnovni ukrep za preprečevanje namerne kontaminacije bi naj bil, da se pri vsakem odjemalcu pitne vode iz javnega vodovodnega sistema (stanovanjski stavbi, javnem zavodu, gospodarski družbi, itd.) na dotoku vgradi nepovratni ventil, ki bi preprečil možno onesnaževanje vodovodnega sistema s strani uporabnika. Na sliki 3 je primer takšnega nepovratnega ventila.



Slika 14 Prikaz delovanja nepovratnega ventila

Takšen ali podoben nepovratni ventil bi moral biti montiran tudi na vseh zunanjih hidrantih, ki so montirani na vodovodnem omrežju, saj morajo biti zaradi zagotavljanja požarne varnosti prosto dostopni – s tem pa tudi izpostavljeni nepooblaščeni (zlo)uporabi. S tem bi preprečili možnost kontaminacije vodovodnega sistema od zunaj.

Direktiva 2015/1787 [6] zahteva izdelavo ocene tveganja za kakovost pitne vode. Takšna ocena bi po našem mnenju morala upoštevati tudi možnost zlonamerne mikrobiološke in kemijske kontaminacije pitne vode ter potrebne ukrepe. To mora biti na ustrezen način upoštevano tudi v HACCP elaboratih, katerih izdelava ostane zahtevana tudi po sprejetju te dopolnitve direktive.

Novi 70.a člen Ustave RS [9], ki govori o pravici do zdrave pitne vode, avtomatsko zahteva tudi učinkovitejše varovanje vodnih zajetij in kakovosti vode na mestih uporabe. Ustava RS zagotavlja pravico do zdravstveno neoporečne pitne vode vsem prebivalcem in ne le tistim, ki se oskrbujejo iz javnih vodovodov. Številna mala vodna zajetja, ki niso zajeta v javno vodovodno omrežje, oskrbujejo s pitno vodo približno 200.000 ljudi [1]. Torej bo treba tudi za teh 10% prebivalstva prav tako zagotoviti ustavno pravico.

Predlagamo, da Ministrstvo za obrambo poišče v arhivu stare načrte za upravljanje vodovodnih sistemov v primeru izrednih razmer in jih ažurira glede na nove podatke o tej javni gospodarski infrastrukturi in dopolni v skladu z zahtevami Direktive 2015/1787 [6]. Ustrezno varovanje vodovodnih sistemov pred kontaminacijo se ne zahteva le zaradi zahtev dopolnjene direktive o oskrbi prebivalstva s pitno vodo, ampak tudi zaradi zahtev 70a. člena Ustave RS [9].

4. Zaključki

Prebivalstvu in gospodarskim družbam je možno zagotoviti ustrezne količine zdravstveno neoporečne pitne vode le z ustreznim varovanjem vodnih zajetij in vodovodnih sistemov pred (namerno) kontaminacijo. Varovanje mora zajemati preprečevanje naravnega in antropogenega onesnaževanja. Naravno onesnaževanje se preprečuje z različnimi sistemskimi ukrepi (kodeks dobre kmetijske prakse, vodovarstveni pasovi, itd.), antropogeno onesnaževanje pa z različnimi ukrepi (predpisi, primeri dobre prakse, idr.), ki zmanjšujejo in omejujejo emisije snovi v okolje [7]. Pri tem obstaja vrsto pomanjkljivosti, predvsem pri odvajanju in čiščenju odpadnih voda. Večina slovenskega ozemlja je kraškega. Na teh zemljiščih ni ostre meje med površinskimi in podzemnimi vodami. Slabo očiščena odpadna voda lahko hitro povzroči prekomerno kontaminacijo podzemne vode.

Učinkovito varovanje vodnih zajetij in vodovodnih sistemov pred namerno kontaminacijo je možno zagotoviti z ustreznimi inženirskimi in varnostnimi ukrepi. Postavitev nepovratnih ventilov na vse priključke je eden izmed najpomembnejših inženirskih ukrepov. Če bi izdelovali HACCP elaborate ustrezni pooblaščeni inženirji, bi se v teh dokumentih v veliki meri odpravile pomanjkljivosti, ki vplivajo na kakovost pitne vode. Pri tem bi morali upoštevati tudi varnostne vidike, ki so se v času samostojne Slovenije povsem zanemarili. To je potrebno tudi zaradi Direktive 2015/1787 [6], ki zahteva izdelavo ocene tveganja. Ta direktiva ne zahteva eksplicitno upoštevanje varnostnega tveganje pred možnostjo namerne antropogene kontaminacije, vendar pa je logično, da na to ne smemo pozabiti. Slovenija je članica NATO in EU, ki sta v vojni z mednarodnim terorizmom. Zato so postali naši vodovodi potencialne tarče za teroristične napade.

5. Viri

[1] RS, Monitoring pitne vode 2015, Letno poročilo o kakovosti pitne vode 2015, Ministrstvo za zdravje.

[2] RS, Operativni program oskrbe s pitno vodo za obdobje 2015 – 2020, Ministrstvo za okolje in prostor, 2015.

[3] RS, Uredba o oskrbi s pitno vodo (Uradni list RS, št. 88/12).

[4] RS, Pravilnik o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09 in 74/15)

[5] Agencija Republike Slovenija za okolje (2017). *Atlas okolja* [online]. Ljubljana, Slovenija. Dostopno na: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso [11. Januar 2017]

[6] EU, Direktiva (EU) 2015/1785 o spremembi prilog II in III k Direktivi Sveta 98/83/ES o kakovosti vode, namenjene za prehrano ljudi, Uradni list Evropske unije, L 260/6, 2015.

[7] RS, Uredba o načrtih upravljanja voda na vodnih območjih Donave in Jadranskega morja, Uradni list RS, št. 67/2016.

[8] EU, Direktiva 98/83/ES o kakovosti vode, namenjene za prehrano ljudi, Uradni list Evropske unije, L330/32, 1998.

[9] RS, Ustavni zakon o dopolnitvi III. Poglavja Ustave Republike Slovenije (UZ70a), Uradni list RS, št. 75, 2016.

VREDNOTENJE VPLIVA ODLAGALIŠČ NA STANJE PODZEMNE VODE

Luka Serianz[1], Sonja Cerar[1], Katja Koren[1], Joerg Prestor[1], Nina Mali[1], Branka Mladenović[2]

[1]Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, [2]Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Odlagališča odpadkov predstavljajo nujni del našega načina življenja. V splošnem veljajo za manjšo lokalno nevšečnost, vendar pa lahko predstavljajo velik okoljski problem, predvsem s stališča onesnaževanja podzemne vode. Danes imamo v Sloveniji 18 aktivnih odlagališč (od tega je 11 odlagališč za komunalne odpadke, 3 odlagališča za nenevarne odpadke, 3 odlagališča za inertne odpadke in 1 odlagališče za nevarne odpadke), 23 v zapiranju in 39 zaprtih odlagališč. Na 67 odlagališčih se za ugotavljanje in vrednotenje vpliva na stanje podzemne vode izvaja obratovalni monitoring stanja podzemne vode. Na 12 odlagališčih je bil monitoring opuščen, saj se je že dokazalo, da se onesnaženje ne širi s podzemno vodo. Obratovalni monitoring se izvaja v ciljni hidrogeološki coni, ki predstavlja litostratigrafsko enoto, v kateri lahko zaradi izcejanja onesnaževal z območja vira onesnaženja nastane onesnaženje podzemne vode. Letni monitoring vključuje meritve kemijskih in hidrogeoloških parametrov, na podlagi katerih se vrednoti vpliv odlagališča na stanje podzemne vode. Zaradi izredne razgibanosti terena in pestrosti hidrogeoloških razmer na območju Slovenije, je ocenjevanje splošnega stanja odlagališč izredno zahtevno. Zato je potrebno obravnavati vsako odlagališče individualno. Ključni dejavniki za ocenjevanje stanja odlagališča so neposredno povezani z njegovim tehnično-izvedbenim stanjem in naravnimi značilnostmi v danem okolju. Slednje so pomembne predvsem z vidika prenosa onesnaženja v širše vplivno območje, kjer je vpliv odlagališča zaradi morebitne prisotnosti ogroženih ekosistemov ali pa celo zajetij za pitno vodo, lahko še toliko bolj problematičen. Prispevek obravnava pregled aktualnih razmer na slovenskih odlagališčih, s poudarkom na predstavitvi konceptualnega modela primera odlagališča, ki je ključen za ocenjevanje stanja odlagališča.

1. Uvod

Odlagališča odpadkov predstavljajo enega najbolj pomembnih potencialnih lokalnih virov onesnaževanja okolja. Ob prodoru onesnaženja v tok podzemne ali v površinske vode, lahko pride tudi do onesnaženja širšega okolja. Onesnaženje se v podzemni vodi lahko razgrajuje desetletja ali celo stoletja. V obdobju, ko poteka razgradnja odpadkov, mora biti zagotovljeno pravilno delovanje vseh sistemov odlagališča, ob tem pa se mora spremljati in izvajati obratovalni monitoring stanja podzemne vode (v nadaljevanju obratovalni monitoring). Obratovalni monitoring se izvaja v ciljni hidrogeološki coni, ki predstavlja litostratigrafsko enoto v kateri lahko, zaradi izcejanja onesnaževal z območja odlagališča, pride do onesnaženja podzemne vode. Obratovalni monitoring zajema meritve hidrogeoloških in kemijskih parametrov, s katerimi vrednotimo vpliv odlagališča na stanje podzemne vode. Za obratovanje odlagališča je potrebno pridobiti okoljevarstveno dovoljenje (v nadaljevanju OVD). V OVD se določi tudi obseg in vsebina obratovalnega monitoringa ter druge oblike nadzora morebitnega onesnaženja. Ključni dokument, ki določa obseg monitoringa v OVD, je Program monitoringa. V primeru ugotovljenih preseženih opozorilnih sprememb, se mora za takšno odlagališče izdelati Program ukrepov, izhodišča za pripravo strokovnih podlag teh dveh

dokumentov pa so Zakon o vodah, Zakon o varstvu okolja, Uredba odlagališčih odpadkov – v nadaljevanju: Uredba, Pravilnik o obratovalnem monitoringu onesnaževanja podzemne vode – v nadaljevanju: Pravilnik o obratovalnem monitoringu, Pravilnik o obratovalnem monitoringu stanja površinskih voda in Uredba o vrsti dejavnosti in naprav, ki lahko povzročajo onesnaževanje okolja večjega obsega.

Na podlagi poročil o obratovalnem monitoringu iz leta 2015 smo izvedli analizo trenutnega stanja odlagališč v Sloveniji, s katero podajamo oceno možnega vpliva na vodonosnik, na katerem se nahajajo, posledično pa vpliv na zajetja s pitno vodo in ekosisteme.

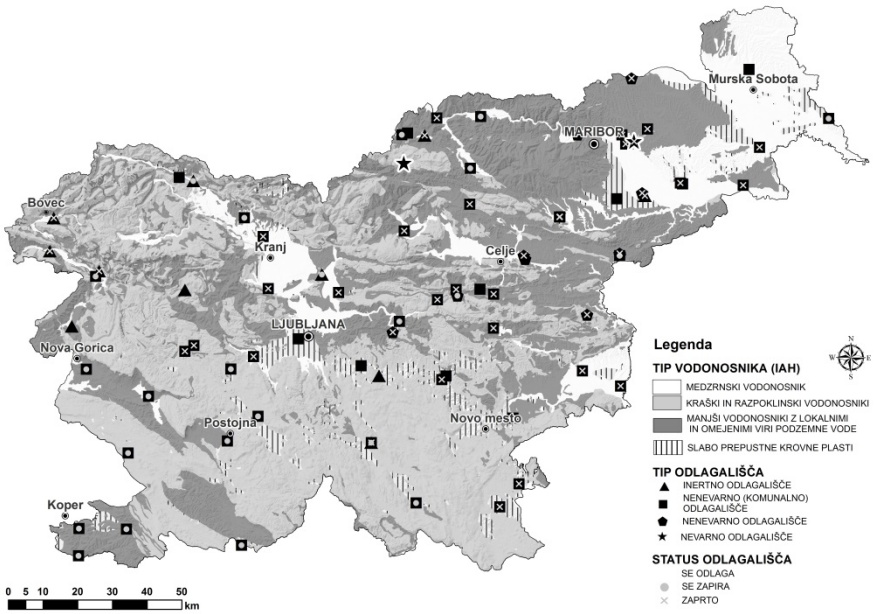
2. Klasifikacija odlagališč

Odlagališča glede na naravo odloženih odpadkov, delimo na odlagališča za (1) nevarne odpadke, kjer se odlagajo industrijski odpadki, (2) nenevarne odpadke, kjer se odlagajo komunalni, industrijski in mešani odpadki ter (3) inertne odpadke. Nevarni odpadki vsebujejo večje koncentracije okolju nevarnih snovi. Nastajajo tako v industrijski, obrtni in kmetijski proizvodnji kot tudi gospodinjstvih. Nenevarni odpadki vsebujejo okolju nenevarne snovi, večinoma pa gre za komunalne odpadke, ki nastajajo pri gospodinjski dejavnosti. Inertni odpadki se fizikalno, kemično ali biološko bistveno ne spreminjajo, ne razpadejo, ne zgorijo ali kako drugače kemično ali fizikalno ne reagirajo in se biološko ne razgradijo (Uredba). Danes imamo v Sloveniji 18 aktivnih odlagališč, 23 v zapiranju in 39 zaprtih odlagališč. Na 67 odlagališčih se za ugotavljanje in vrednotenje vpliva na stanje podzemne vode izvaja obratovalni monitoring. Na 12 odlagališčih je bil obratovalni monitoring opuščen, saj je bilo dokazano, da se onesnaženje ne širi s podzemno vodo.

3. Rezultati in razprava

3.1 Hidrogeološke razmere kot vplivni dejavnik

Zaradi izredne razgibanosti terena in pestrosti hidrogeoloških razmer, je ocenjevanje splošnega stanja odlagališč zelo zahtevno, zato je potrebna individualna ocena odlagališča. V Sloveniji prevladujeta dva tipa vodonosnikov: vodonosniki z medzrnsko poroznostjo, v pretežno ravninskih delih in vodonosniki s kraško in razpoklinsko poroznostjo (Slika 1). Dobro poznavanje lokalnih hidrogeoloških razmer je ključno za učinkovit obratovalni monitoring na odlagališču. Za izvajanje obratovalnega monitoringa se mora izdelati ustrezno monitoring mrežo, s katero se lahko sledi morebitnemu širjenju onesnaženja. Mreža vključuje dolvodna in gorvodna merilna mesta. Globina in število vrtin se določi na podlagi karakteristik vodonosnika, torej njegove debeline in vodoprepustnosti, ter drugih geoloških in hidrogeoloških značilnosti območja. Za oceno hitrosti in obsega širjenja onesnaženja z območja odlagališča v podzemno vodo, moramo poznati smer in hitrost toka podzemne vode ter geometrijo hidrogeološke enote, lokacijo in tip hidravličnih mej, sezonske padavinske dogodke ter druge antropogene vplive (vpliv črpanja). Na širjenje in obseg oblaka onesnaženja izrazito vpliva tudi naravno zadrževanje, ki je povezano z naravnimi procesi čiščenja ali zadrževanja onesnaženja v tleh in podzemni vodi. Naravno sposobnost zadrževanja predstavljajo različni fizikalni, kemijski in biološki procesi ter lahko brez človeškega posega zmanjšajo maso, toksičnost, mobilnost, prostornino ali koncentracije onesnaženja v tleh ali podzemni vodi (CAREY, 2000).

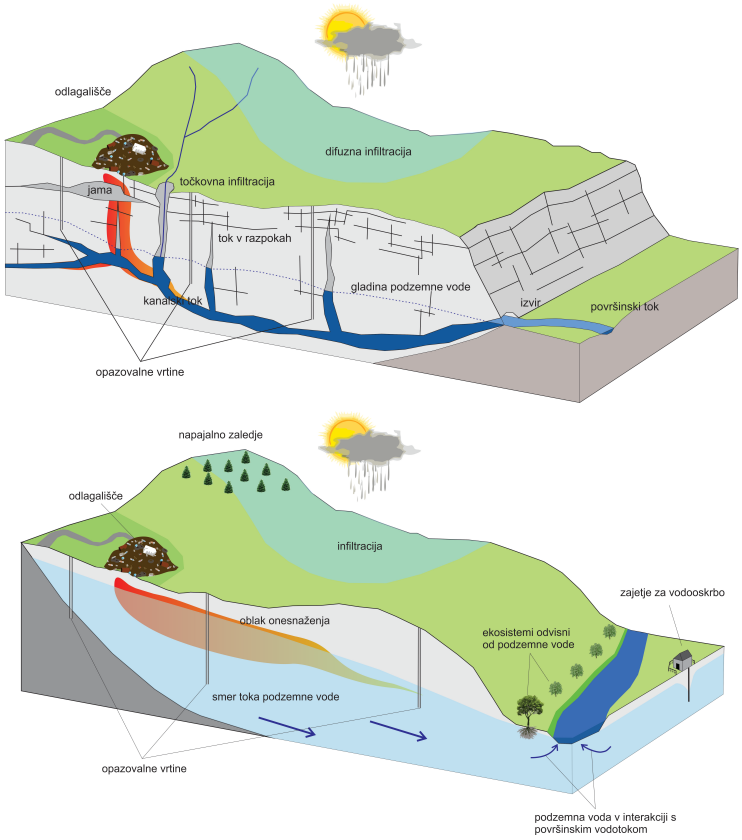


Slika 15- Lokacije odlagališč v Sloveniji – prirejeno po IAH (vir: ARSO, 2016)

V Sloveniji je 79 evidentiranih odlagališč, od tega jih največ, kar 28, leži na manjših vodonosnikih z lokalnimi in omejenimi viri podzemne vode (7 aktivnih), na medzrnskih vodonosnikih se jih nahaja 26 (3 aktivna), na kraško-razpoklinskih vodonosnikih 23 (5 aktivnih) in na slabo prepustnih krovnih plasteh, dve odlagališči, obe aktivni (Slika 1).

3.2 Primer konceptualnega modela odlagališča

Vodonosniki s kraško/razpoklinsko poroznostjo (Slika 2, zgoraj) so zelo ranljivi, saj teče voda po kanalih in razpokah zelo hitro, v nekaterih pa se lahko zadržuje dlje. Tako lahko onesnaženje že v nekaj urah, do nekaj dneh, doseže izvir, lahko pa zelo dolgo zastaja in se kopiči v podzemlju. Različni vodostaji pomembno vplivajo na smer in potovalni čas vode ter na možnost razredčenja in uskladiščenja onesnaževal v podzemlju. Ob točkovnih izlitjih, v sušnih razmerah, izlite tekočine zelo hitro prodirajo po razpoložljivih dobro prepustnih prevodnikih. V slabo prepustnem delu nezasičene cone kot tudi ob razpršenem in manj intenzivnem vnosu snovi, pa se začasno uskladiščijo. Kadar je nezasičena cona zaradi predhodnih padavin dobro namočena, so razlike v hitrostih pretakanja veliko manjše. Nevarnost odlagališča na krasu lahko opredelimo s hidrogeološkimi značilnostmi danega območja. Te so (1) razpokanost kamninske podlage, (2) vodoprepustnost in (3) določljivost tokov podzemne vode. Na območju, kjer imamo opravka z močno razpokano kamninsko podlago, dobro vodoprepustnostjo in nedoločljivimi tokovi podzemne vode, je nevarnost, da se onesnaženje z odlagališča širi v širše okolje, velika, zato lahko govorimo o nekontroliranem vnosu onesnaženja, kjer poti glavnine toka podzemne vode niso znane. Določitev ciljne hidrogeološke cone odlagališča na območju kraško razpoklinskega vodonosnika je izredno zahtevna. Vrtine pogosto niso reprezentativne za zaznavanje morebitnega oblaka onesnaženja, saj ni nujno, da zajamejo glavne drenažne poti toka podzemne vode.

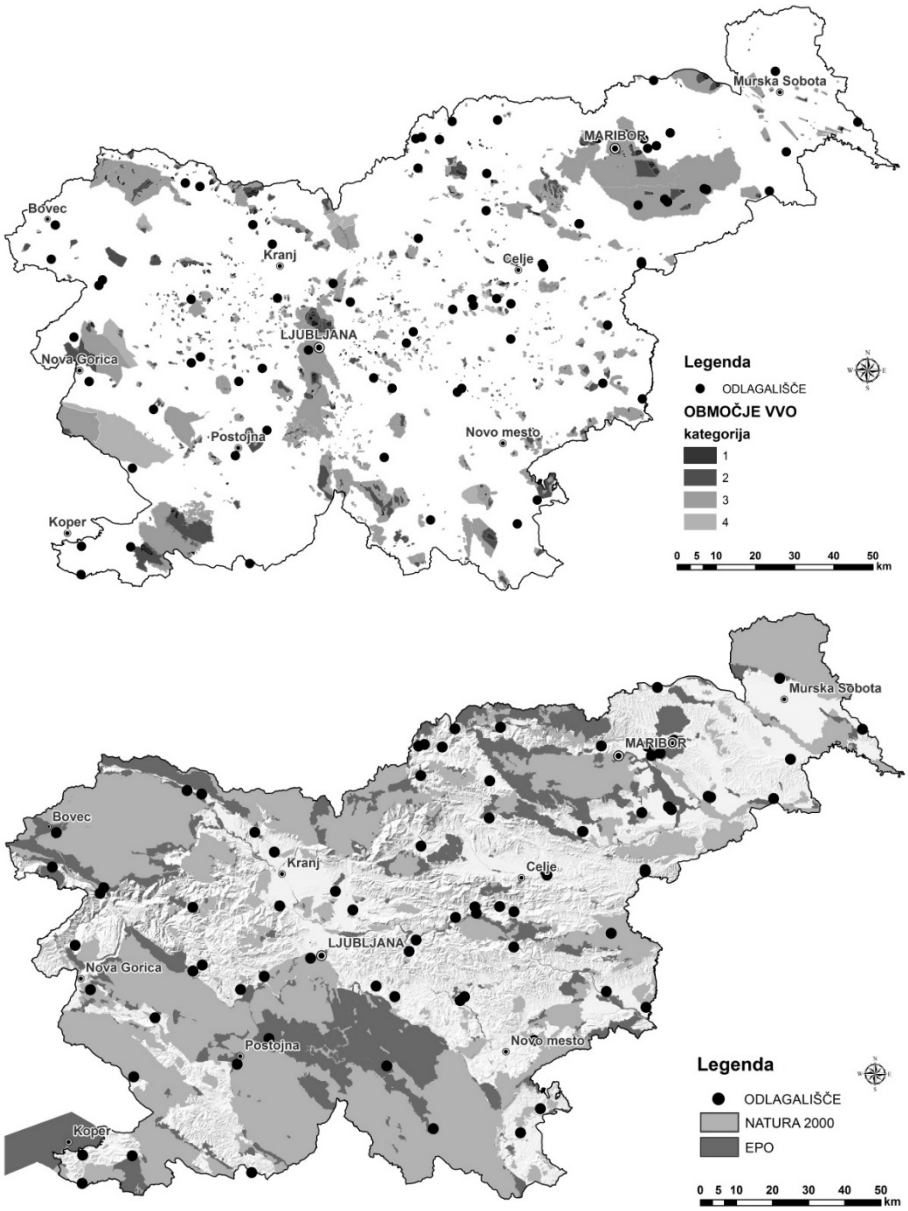


Slika 16- Konceptualni model primera odlagališča na kraško-razpoklinskem (zgoraj - prirejeno po Goldscheider& Drew, 2007) in medzrnskem vodonosniku (spodaj).

Veliko slovenskih odlagališč leži na medzrnskih, večinoma kvartarnih vodonosnikih (Slika 2, spodaj). Za prepoznavanje in oceno hidravličnih značilnosti toka podzemne vode so ti vodonosniki razmeroma enostavni. Ob ustrezni izvedbi merilne mreže in ob znanih mejnih pogojih na takšnih območjih, lahko s pomočjo analitičnih metod sledimo obseg oblaka tudi dolvodno od odlagališča, izven merilne mreže. Največjo nevarnost za širjenje onesnaženja na takšnih območjih predstavljajo površinski vodotoki, ki lahko drenirajo razmeroma velike količine podzemne vode. V medzrnskih vodonosnikih pogosto prihaja do interakcije podzemne in površinske vode, posledično pa tudi do neposrednega vpliva onesnaženja na lokalne ekosisteme, ali pa celo zajetja, ki se uporabljajo za oskrbo s pitno vodo.

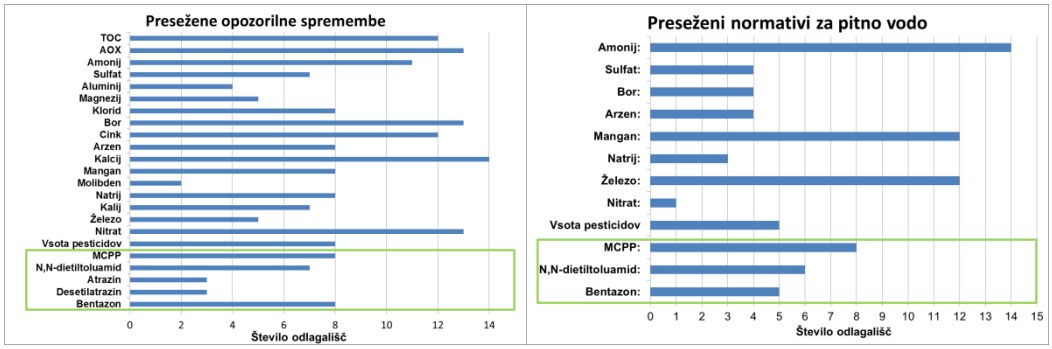
3.3 Vrednotenje vpliva

Ključni namen izvajanja monitoringa podzemne vode na območju odlagališč odpadkov, je vrednotenje vpliva odlagališča na podzemno vodo. Za vrednotenje dejanskega vpliva odlagališča poleg kvantitativne ocene vpliva, zelo pomemben dejavnik predstavljajo lokacije prejemnikov onesnaženja. Slednji predstavljajo občutljiva območja, kjer lahko odlagališče zaradi širjenja oblaka onesnaženja s podzemno ali površinsko vodo izrazito vpliva na njihovo stanje. Takšna območja so območja občutljivih ekosistemov in vodovarstvenih pasov. Neposredno na vodovarstvenih območjih (občinski in državni nivo) leži 9 odlagališč, od tega so 4 aktivna (Slika 3, zgoraj). Zelo pomembno lahko odlagališča vplivajo tudi na ekosisteme. V Sloveniji je 18 odlagališč, ki neposredno ležijo na območju NATURE 2000 oz. ekološko pomembnem območju (EPO), od tega so 3 aktivna (Slika 3, spodaj).



Slika 17- Odlagališča na vodovarstvenih območjih (zgoraj) in območjih ekosistemov (spodaj) (vir: ARSO, 2016)

Metodologijo vrednotenja vpliva odlagališča opredeljuje Pravilnik o obratovalnem monitoringu, ki določa izračun opozorilnih sprememb, izračun pa temelji na razliki med koncentracijo onesnaževala na gorvodnem in dolvodnem merilnem mestu. Za oceno kakovosti pitne vode se v Sloveniji uporablja Pravilnik o pitni vodi, ki določa parametre in njihove mejne vrednosti, ki so pomembni za zdravstveno varstvo ljudi. Na podlagi pregleda letnih poročil o monitoringu podzemne vode za leto 2015 smo pripravili osnovno analizo rezultatov monitoringa, v katero je bilo vključenih 21 odlagališč. Na Sliki 4 so prikazani kemijski parametri, ki v letu 2015 najpogosteje presegajo opozorilno spremembo (levo) in normativ za pitno vodo (desno).



Slika 18- Prikaz kemijskih parametrov, ki so v letu 2015 najpogosteje presegali opozorilno spremembo (levo) in normativ za pitno vodo (desno).

Razvidno je, da so parametri, ki najpogosteje (vsaj na osmih odlagališčih) presegajo opozorilno spremembo naslednji: TOC, AOX, amonij, klorid, bor, cink, arzen, mangan, kalcij, natrij, nitrat, vsota pesticidov, MCPP in bentazon. Parametri, ki najpogosteje presegajo normativ za pitno vodo pa: amonij, mangan, železo in MCPP. Pri analizi rezultatov je potrebno upoštevati, da so lahko normativi in opozorilne spremembe presežene tudi zaradi zunanjega vpliva in ne nujno vpliva odlagališča. Parametri, ki presegajo opozorilno spremembo in hkrati normativ za pitno vodo so amonij, mangan in nekateri pesticidi. Pri tem pa je potrebno upoštevati, da so mejne vrednosti koncentracij za pitno vodo nekaterih parametrov bistveno višje, kot se lahko pojavljajo v naravnem ozadju (npr. bor) in da lahko posamezen parameter, ki presega normativ za pitno vodo, kaže vpliv zunanjih dejavnikov – kmetijske in urbane površine.

4. Zaključki

V sklopu prostorske analize obstoječih podatkov ugotavljamo, da dobra tretjina odlagališč predstavlja relativno manjšo nevarnost vpliva onesnaženja na podzemno vodo, saj se nahaja na manjših vodonosnikih z lokalnimi in omejenimi viri podzemne vode. Po drugi strani pa se slaba tretjina odlagališč nahaja na območjih kraško-razpoklinskih vodonosnikov, ki predstavljajo večjo nevarnost za prenos onesnaženja v širše okolje in večje težave pri izvajanju monitoringa in nadzora nad širjenjem onesnaženja.

Na podlagi preseženih opozorilnih sprememb in normativov za pitno vodo ugotavljamo še, da obstoječa metodologija vrednotenja vpliva odlagališča na stanje podzemne vode na podlagi opozorilnih vrednosti ni enoznačna, temveč je potrebno pri interpretaciji rezultatov upoštevati tudi geogene in zunanje vplive. Za relevantno oceno vpliva odlagališča na podzemno vodo pa je še posebej pomembno analizirati tudi možne posledice, ki bi lahko nastale zaradi vplivov odlagališča na poslabšanje stanja odvisnih ekosistemov in zajetij za oskrbo s pitno vodo.

5. Viri

[1] [1] GOLDSCHEIDER, N. & DREW, D., 2007. Methods in Karst Hydrogeology. Taylor & Francis, London.
[2] [2] ARSO, 2016. ARSO Metapodatkovni Portal [online]. Dostop:http://gis.arso.gov.si/geoportal/catalog/main/home.page [dostop:9.1.2017)
[3] [3] CAREY, M. A., J. R. FINNAMORE, MORREY, M. J. & MARSLAND, P. A., 2000. Guidance on the Assessment and Monitoring of Natural Attentuation of Contaminants in Groundwater. R AND D PUBLICATION-ENVIRONMENT AGENCY.

PRAKTIČNI PRISTOPI ZA IZVEDBO IZRAČUNOV OCEN OKOLJEVARSTVENEGA TVEGANJA ZA ZAPRTA ODLAGALIŠČA KOMUNALNIH ODPADKOV

mag. Igor Madon[1], Rok Rojko[1], doc.dr. Darko Drev[2], prof.dr. Jakob Likar[3]

[1]Komunalno stanovanjska družba, Goriška 23B, 5270 Ajdovščina, [2]Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana, [3]Naravoslovno tehniška fakulteta, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Slovenske odlagališčne Uredbe so bile praviloma vedno napisane na kožo moderno grajenih odlagališč suhega tipa, kar velja npr. tudi za t.i. 'referenčno' odlagališče iz posebne priloge Uredbe, ki se nanaša na priporočen način izračuna višine potrebnih sredstev finančnega jamstva za zapiranje odlagališč komunalnih odpadkov. V Uredbah so sicer vedno obstajali tudi takšni ali drugačni členi, ki so vsaj posredno omogočali implementacijo alternativnih pristopov v zvezi z obratovanjem, izgradnjo in zapiranjem sanitarnih odlagališč, kot npr. uporabo metod za pospešitev stabilizacije odlagališčnega telesa. Prav suha odlagališča se s trajnostnega vidika kažejo kot najbolj problematična, saj koncept varovanja okolja skoraj izključno sloni le na zagotovitvi enkapsulacije odlagališčnega telesa in na jamčenju dolgoročne učinkovitosti vgrajenih tesnilnih sistemov. Glede na to, da je oceno tveganja možno pridobiti tudi z uporabo dokaj objektivnih kvantitativnih metod, se na ta način tudi razlike v okoljevarstveni učinkovitosti med različnimi tipi sanitarnih odlagališč lahko dovolj jasno izrazijo. Prikazali bomo rezultate modeliranja z uporabo programa @Risk, pri čemer bomo suponirali, da manjše zaprto odlagališče takšnega ali drugačnega tipa leži na relativno prepustnem ravninskem terenu neposredno nad manjšim vodonosnikom lokalnega pomena.

Ključne besede:
zapiranje odlagališč, stabilizacija odlagališč, ocena tveganja, onesnaženje vodonosnika

1. Konceptualni pristop k izvedbi primerjalnih izračunov ocen tveganja

Medsebojno primerjavo različnih tipov zaprtih sanitarnih odlagališč z vidika njihove dolgoročne okoljevarstvene učinkovitosti je na dovolj reprezentativen, kvantitativen način možno izpeljati tako, da se za izvedbo izračunov upošteva -

- za vse tipe odlagališč enako, karseda enostavno, okoljevarstveno neugodno lego v hidrogeološkem prostoru (na ta način se razlike v karakteristikah posameznih tipov odlagališč odrazijo izraziteje in prepričljiveje),
- za vse tipe odlagališč enake vstopne podatke (kapaciteta, sestava vgrajenih odpadkov, tlorisna površina v stiku s podtaljem),
- eno samo, za odlagališča neobdelanih MKO najbolj referenčno vodno onesnažilo.

Vrednost parametra 'koncentracija amonijevega dušika' praviloma dobro odraža splošno kakovostno stanje primarne (neprečiščene) izcedne vode iz sanitarnih odlagališč odpadkov kot tudi doseženo stopnjo stabilizacije odlagališčnega telesa (npr. Kjeldsen idr.., 2002, Ritzkowsky

in Stegmann, 2007)). Zato se je v konkretnem primeru prav ta parameter uporabilo za izvedbo primerjalnih izračunov ocen tveganja.

Suponirano zaprto odlagališče naj bo kapacitete reda velikosti okoli 600.000 m^3, tlorisne površine A = 5 ha. Leži naj na relativno dobro prepustnem terenu nekaj metrov nad vodonosnikom lokalnega pomena. Izvedba karakterističnih talnih drenažno-tesnilnih sistemov naj bo sledeča:

- za moderno odlagališče suhega ali mokrega tipa: plast za dreniranje in zbiranje izcedne vode + sintetična geomembrana + (1÷2) m debeli sloj iz neprepustne gline s ksat ≈ 5·10-10 m/s (Pivato, 2011)
- za visokoprepustno trajnostno deponijo (Madon, 2016): samo bariera iz 1.5 m debelega sloja neprepustne gline s ksat ≈ 5·10-10 m/s
- za nekontrolirano ('divjo') disperzno deponijo: brez tesnjenja

Tveganje kvantitativno definirajmo kot verjetnost, da pride do nezaželenega pojava onesnaženja podzemne vode zaradi vplivov iz odlagališča. Ker se suponira, da sta hidrogeologija ogroženega vodonosnika in njegov škodni potencial v konkretnem primeru dovolj dobro poznana, je najbolje, da se razsežnost negativnega okoljevarstvenega učinka odlagališča na vodonosnik pod njim kvantitativno izrazi kar z mejnimi emisijskimi vrednostmi referenčnega parametra:

- v trenutku, ko amonijev dušik iz odlagališča doseže vodno telo in to z fluksom vsaj 0.2 kg/leto, se to situacijo opredeli kot onesnaženje vodonosnika manjšega obsega OMO
- če bi masni dotok amonijevega dušika v vodonosnik kadarkoli presegel vrednost 20 kg/leto, se takšno situacijo definira kot onesnaženje večjega obsega OVO
- če bi kumulativni vnos amonijevega dušika v vodonosnik presegel 0.5 tone, bo šlo za dolgoročno nepovratno onesnaženje vodonosnika ODO

Ocene tveganja za OMO, OVO in ODO se je v konkretnem primeru pridobilo tako, da se je s pomočjo programa @Risk izračunalo verjetnosti P_{OMO}, P_{OVO} in P_{ODO} za prekoračitev zgoraj definiranih mejnih vrednosti.

Koncentracija vodnih onesnažil v primarni izcedni vodi z leti postopoma upada zaradi stabilizacijskih procesov, ki se odvijajo v notranjosti telesa odlagališča; istočasno se s časom povečuje tudi verjetnost, da bo dno odlagališča pričelo puščati, vodne izgube pa sukcesivno zlagoma naraščati (Pivato, 2011). Ne glede na tip odlagališča se ubežne emisije onesnažil v vsakem trenutku lahko definira kot produkt aktualne vrednosti koncentracije referenčnega onesnažila v saturirani coni na dnu telesa odlagališča »C« ter intenzitete puščanja izcedne vode v podtalje »Q«. Vrednosti teh dveh parametrov se na dolgi rok spreminjajo, vendar je dinamika odločilno odvisna prav od tega, za kateri tip odlagališča gre. Velike razlike v karakteristikah obstajajo tudi med odlagališči znotraj iste kategorije. Kredibilne izračune ocen tveganja je zato možno izvesti samo tako, da se vse te heterogenosti na nek smiselen način upošteva.

Koncentracija referenčnega onesnažila v izcedni vodi na dnu telesa odlagališča v času po zaprtju odlagališča postopno upada, kar je najbolj oportuno izraziti s kinetiko prvega reda $C \approx C_0 \cdot e^{-kt}$ (Pivato, 2011), pri čemer se koeficiente »k« izrazi z razpolovnimi časi: $k = \ln 2 / T_{1/2}$. Vrednosti razpolovnih časov $T_{1/2}$ [leta] so nizke za tiste tipe sanitarnih odlagališč, kjer se po zaprtju intrinzično izvajajo ukrepi stabilizacije in/ali v katerih odpadki ob vgrajevanju niso bili skompaktirani in/ali kot posledica nekontroliranega disperznega onesnaževanja okolja.

V odvisnosti od tipa odlagališča se razlikujejo tudi vrednosti začetnih koncentracij »C_0« (t.j. koncentracije amonijevega dušika, ki so značilne za čas takoj po zaprtju (=tehnični izvedbi dokončne prekrivke) odlagališča. Za skompaktirana, moderna anaerobna odlagališča so te vrednosti znatno višje kot npr. za visokoprepustna, semiaerobna odlagališča. V tabeli 1 so podane karakteristične vrednosti inicialnih koncentracij in razpolovnih časov upadanja

koncentracije, ki se jih je uporabilo za izračun. Podatki so podani s srednjimi vrednostmi »μ« in standardnimi odkloni »σ« (suponira se normalna verjetnostna razporeditev možnih vrednosti).

Tabela 1: Razporeditev vrednosti začetnih koncentracij in razpolovnih dob za ref. onesnažilo

Tip odlagališča	$T_{0.5}$ [leta]		C_0 [mg/L]	
	μ	σ	μ	σ
nekontrolirano disperzno	3	1	200	50
visokoprepustno trajnostno	3	1	450	30
moderno: suhi tip	40	7	1200	150
moderno: mokri tip	7	2	1200	150

Ker so okoljevarstveni koncepti izgradnje in obratovanja različnih tipov odlagališč različni, tudi pristopi k izračunu izgub izcedne vode »Q« v podtalje ne morejo biti enaki. V konkretnem primeru se je uporabilo sledeče pristope:

- za nekontrolirano (netesnjeno) disperzno deponijo: izračunavalo se je masni delež padavin, ki se letno infiltrira v telo odlagališča in kot izcedna voda ponikne v podtalje
- za visokoprepustno trajnostno deponijo: izračunavalo se je pretok skozi omočeno glineno bariero pod odlagališčem (po Darcy-ju); sukcesivni hiter odtok skozi nesaturirano cono navpično navzdol do vodonosnika ni pomemben
- za moderno grajene tipe odlagališč: ker detajli mehanizma odpovedi talnega kompozitnega tesnilnega sistema načeloma niso poznani, se je upoštevalo statistično dejstvo, da a) se bo onesnažilo z določeno verjetnostjo po dočenem času znašlo v vodonosniku (verjetnostna razporeditev prevzeta po Pivato, 2011 – gre za podatke dolgoletnega okoljevarstvenega monitoringa izvajanega v okolici primerljivih severno-italijanskih odlagališč komunalnih odpadkov ležečih v primerljivem hidrogeološkem okolju), b) bo izcedna voda pričela puščati z izgubami kakršne so po svetu že bile izmerjene (takšne meritve so se lahko izvedle le na odlagališčih opremljenih z dvojnim sistemom talnega tesnjenja - Geoservices inc., 1987), c) se bo puščanje predvidoma nadaljevalo s postopnim povečevanjem vodnih izgub (Pivato, 2011), ki pa bodo naraščale le do določene maksimalne vrednosti, kakršno je še realno možno pričakovati.

Tabela 2: Razporeditev vredn. vhodnih parametrov za izr. izgub izcedne vode v podtalje

Tip odlagališča	normalna razporeditev vrednosti	
	srednja vrednost	standardni odklon
Nekontrolirana disperzna deponija (malo kompaktirani odpadki)	**μ**	**σ**
Letna količina padavin Qpadavine [mm]	1500	250
Delež padavin, ki se infiltrira v deponijo + ponikne v podtalje dpod [%]	3	1
Izgube izcedne vode v podtalje Q [m3/leto]	$Q = Q_{padavine} \cdot A \cdot d_{pod}$	
Visokoprepustna trajnostna deponija (malo kompaktirani odpadki)	**μ**	**σ**
Koeficient hidravlične prepustnosti ksat [m/s]	log-normalna razporeditev	
	$5 \cdot 10^{-10}$	$7.2 \cdot 10^{-10}$
Hidravlični gradient i [/]	1	/
Debelina glinene plasti pod odlagališčem d [m]	1.5	/
Čas, potreben za preboj onesnažila skozi glineno plast t_{preboj} [leta]	$t_{preboj} = d/(k_{sat} \cdot i)$	
Izgube izcedne vode v podtalje Q [m^3/leto]	$Q = k_{sat} \cdot A \cdot i$	

Moderno odlagališče - suhi tip (močno kompaktirani odpadkil)		**μ**	**σ**
Čas odpovedi kompozitnega tesnilnega sistema t_{ots} [leta]		25	12.5
Začetne izgube v podtalje takoj po odpovedi tesnilnega sistema Q_0 [m^3/leto]		8	2.5
Koef. 1.reda večanja začetnih izgub po odpovedi tesnilnega sistema K [$leto^{-1}$]		0.023	0.023
Izgube izcedne vode v podtalje Q_t [m^3/leto]	$Q_t = Q_0 \cdot \exp[K(t-t_{ots})]$, če je $Q_0 \cdot \exp[K(t-t_{ots})] \leq 200$ [m^3/leto] in $t \geq t_{ots}$ $Q_t = 0$, če je $t < t_{ots}$; $Q_t = 200$ [m^3/leto], če je $Q_0 \cdot \exp[K(t-t_{ots})] > 200$ [m^3/leto]		
Moderno odlagališče - mokri tip (močno kompaktirani odpadki)		**μ**	**σ**
Čas odpovedi kompozitnega tesnilnega sistema t_{ots} [leta]		25	12.5
Začetne izgube v podtalje takoj po odpovedi tesnilnega sistema		16	5
Koef. 1.reda večanja začetnih izgub po odpovedi tesnilnega sistema K [$leto^{-1}$]		0.023	0.023
Izgube izcedne vode v podtalje Q_t [m^3/leto]	$Q_t = Q_0 \cdot \exp[K(t - t_{ots})]$, če je $Q_0 \cdot \exp[K(t - t_{ots})] \leq 400$ [m^3/leto] in $t \geq t_{ots}$ $Q_t = 0$, če je $t < t_{ots}$; $Q_t = 400$ [m^3/leto], če je $Q_0 \cdot \exp[K(t - t_{ots})] > 400$ [m^3/leto]		

2. Uporabljeni matematični model

Ker so vhodni podatki za posamezne parametre večinoma nezanesljivi, podani z verjetnostnimi razporeditvami, ne pa z diskretnimi vrednostmi, mora veljati isto tudi za izhodne rezultate – podani morajo biti s prikazi možnih izidov skupaj z verjetnostmi za realizacijo teh izidov, za vsaki tip odlagališča posebej. Programsko orodje @Risk je namenjeno prav izdelavi analiz in ocen tveganja. Deluje v okolju programa Excell, kot njegova nadgradnja. Omogoča izvedbo velikega števila simulacij v zelo kratkem času ter uporablja Monte Carlo metodo kot algoritem za naključno izbiranje vrednosti neodvisnih sprejemljivk. Vsaka simulacija podrazumeva izvedbo niza vmesnih kalkulacij z izračuni posameznih vrednosti za vsa leta po zaprtju odlagališča »t«, dokler tveganje za onesnaženje suponiranega vodonosnika obstaja. Gre za sledeče odvisne spremenljljivke:

- koncentracija »Ct« onesnažila v primarni izcedni vodi
- količina v vodonosnik prejetih izcednih vod »Qt«
- količina v vodonosnik prejetega referenčnega onesnažila »LTOt«
- nabor Excellovih celic iz časovnega niza »LTOt«, ko velja LTOt < 0.2 kg/leto
- nabor Excellovih celic iz časovnega niza »LTOt«, ko velja LTOt < 20 kg/leto
- kumulativna količina v vodonosnik prejetega ref. onesnažila »KUMLTOt«
- nabor Excellovih celic iz časovnega niza »KUMLTOt«, ko velja KUMLTOt > 0.5 t

Izhodni rezultati (ocene tveganja za onesnaženje vodonosnika določenega obsega) so bili definirani kot potrebni čas, ki mora po zaprtju odlagališča preteči, da pri določeni verjetnosti

- LTO_t prekorači vredn. 0.2 kg/leto (prične se onesnaževanje malega obsega »OMO«)
- LTO_t prekorači vredn. 20 kg/leto (prične se onesnaževanje velikega obsega »OVO«)
- LTO_t ponovno pade pod vrednost 20 kg/leto (onesnaževanje »OVO« preneha)
- LTO_t ponovno pade pod vrednost 0.2 kg/leto (onesnaževanje »OMO« preneha)
- $KUMLTO_t$ prekorači vrednost 0.5 t (pride do dolgoročnega onesnaženja »ODO«)

Za izdelavo formul se je uporabilo Excellove matematične in logične funkcije. Rezultati nekaterih izračunov so podani v tabelah 3÷7.

Tabela 3: Ocene tveganja za možnost onesnaženja vodonosnika ležečega tik pod odlagališčem in povprečni čas po zaprtju odlagališča, ki mora za to preteči

	nekontrolirano disperzno		visokoprepustno trajnostno		moderno: suhi tip		moderno: mokri tip	
P_{OMO}	100%	0 let	7.6%	27 let	99.9%	25 let	100%	25 let
P_{OVO}	100%	0 let	2.0%	32 let	39.6%	99 let	2.2%	1 leto
P_{ODO}	83.6%	2 leti	1.0%	13 let	76.6%	82 let	5.5%	38 let
Ocena tveganja = Izračunana verjetnost [%], da do onesnaženja pride, upoštevajoč celotno potencialno dobo onesnaževanja								

Tabela 4: Čas, ki mora po zaprtju odlagališča preteči, da s 95% gotovostjo lahko trdimo, da kasneje izcedne vode iz odlagališča ne morejo več ogrožati vodonosnika pod njim

Tip odlagališča	nekontrolirano disperzno	visokoprepustno trajnostno	moderno: suhi tip	moderno: mokri tip
Čas [leta]	50	32	572	150
Kriterij: Izračunana intenzivnost onesnaževanja je kvečjemu manjša od vrednosti »OMO«				

Tabela 5: Maksimalna možna kumulativna količina v vodonosnik prejetega referenčnega onesnažila (upoštevajoč celotno potencialno dobo možnega onesnaževanja)

Tip odlagališča	nekontrolirano disperzno	visokoprepustno trajnostno	moderno: suhi tip	moderno: mokri tip
Prejeta količina onesnažila [kg]	2350	6.5	7090	555
Kriterij: 95% verjetnost, da je maksimalna kumulativno prejeta količina kvečjemu manjša od zapisane vrednosti				

Tabela 6: Maksimalna možna letna količina v vodonosnik prejetega referenčnega onesnažila

Tip odlagališča	nekontrolirano disperzno	visokoprepustno trajnostno	moderno: suhi tip	moderno: mokri tip
Emitirana količina [kg/leto]	427	0.1	7.0	8.1
Kriterij: 95% verjetnost, da je maksimalna možna letno emitirana količina kvečjemu manjša od zapisane vrednosti				

Tabela 7: Nezanesljive vhodne količine z največjim vplivom na rezultat

	nekontrolirano disperzno	visokoprepustno trajnostno	moderno: suhi tip	moderno: mokri tip
Vhodna količina	začetna koncentracija onesnažila »C_0«	koeficient hidravlične prepustnosti glinene bariere »k_{sat}«	koef. 1.reda večanja začetnih izgub po odpovedi tesnilnega sistema K [$leto^{-1}$]	
Kriterij: pri povprečni vrednosti rezultata »Ocena tveganja za onesnaženje vodonosnika velikega obsega P_{OVO}«				

3. Zaključki

Izračuni kažejo, da je visokoprepustna trajnostna deponija okoljevarstveno najprijaznejši tip odlagališča, najslabše pa se je po pričakovanju odrezala nekontrolirana disperzna deponija. Za suhi tip odlagališča se je izkazalo, da je verjetnost onesnaženja suponiranega vodonosnika pod njim zelo velika, le najverjetnejši čas za nastop takšnega scenarija je pomaknjen daleč v prihodnost.

Morda se je najtežje sprijazniti z zaključkom, da je visokoprepustna trajnostna deponija z glineno plastjo kot edinim konstrukcijskim elementom talnega tesnjenja v povprečju okoljevarstveno učinkovitejši objekt v primerjavi z enako velikim moderno grajenim odlagališčem, opremljenim s sofisticiranim sistemom talnega tesnjenja. Spodaj navajamo očitne kot tudi špekulativne razloge, ki so privedli do takšnih rezultatov:

- za visokoprepustno trajnostno deponijo je značilno, da nevarnostni potencial zelo hitro upada (tudi v primerjavi z moderno grajenim odlagališčem bioreaktorskega tipa); v času, ko pride do preboja vodnih onesnažil skozi glineno bariero, so koncentracije onesnažil v primarni izcedni vodi nad glineno bariero že izredno nizke,

- v izračunih uporabljena verjetnostna razporeditev časa odpovedi kompozitnega talnega tesnilnega sistema (Pivato, 2011) vključuje statistično dejstvo, da se med obstoječimi moderno grajenimi odlagališči nahaja veliko primerov, ko so bili geosintetiki poškodovani že v času izgradnje in/ali je bilo projektiranje neprimerno, geotehnični nadzor pomanjkljiv, itd.,
- drenažni sloj na dnu teles modernih odlagališč za neobdelane MKO se praviloma hitro zamaši s precipitiranimi železovimi hidroksidi idr. koloidi,
- glinena bariera, ki se nahaja pod telesom visokoprepustne deponije je ves čas saturirana z vodo, posledično, minerali glin se konstantno nahajajo v maksimalno nabreknjenem stanju; tega na dolgi rok ne moremo trditi za glineno plast, ki leži v vadozni coni pod sintetično folijo moderno grajenega tipa odlagališča,
- tehnologija odlaganja MKO na modernih odlagališčih je predvidevala takojšnjo in izdatno kompakcijo iztresenih odpadkov ter hitro zapolnitev ter zatesnitev odlagališčne celice; posledično, na dnu teles takšnih odlagališč so se v znatnih koncentracijah pojavljale tudi raztopljene lahkohlapne organske spojine ter druge agresivne snovi; pred časom, ko ločenega zbiranja nevarnih odpadkov še ni bilo, so se nekatere tekočine pojavljale tudi v nevodni fazi; vse to je lahko privedlo do fenomenov, kot so odpoved tesnjenja sintetične membrane (npr., Bromhead, 1997) ali večja permeabilnost glinene plasti v primerjavi s projektirano (npr., Jun et al., 2015, Johnson et al., 1987).

4. Viri

Bromhead, J., 1997. Permeation of Benzene, Trichloroethene and Tetrachloroethene through Plastic Pipes. Teddington Ltd. Available from: http://dwi.defra.gov.uk/research/completed-research/reports/dwi0772.pdf

Geoservices inc., 1987. Background Document on Bottom Liner Performance in Double-lined landfills and Surface Impoundments. EPA 1530-SW-87-013, USEPA.

Johnson R., Cherry J., Pankow J., 1989. Diffusive Contaminant Transport in natural clay: A field example and implications for clay-lined waste disposal sites. Environ. Sci. Technol., 23 (3), 340–349

Jun H., Wang Y. et al., 2015. Effects of leachate infiltration and desiccation cracks on hydraulic conductivity of compacted clay. Water Science and Engineering, 8 (2), 151-157

Kjeldsen P. et al., 2002. Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. Critical Reviews in Env. Science and Technology, 32 (4), 297-336.

Komilis P., Stegman H., 2000. The Effect of Landfill Design and Operation Practices on Waste Degradation Behavior: a Review. Waste M. and Research, 17(1), 20–26.

Madon I., 2016. Development of a sustainable MSW landfill as an intrinsic part of a low-priced, integrated waste management facility. Waste Management 2016, 195 – 206

Pivato A., 2011. Landfill Liner Failure: An Open Question for Landfill Risk Analysis. Journal of Environmental Protection, 287-297.

RITZKOWSKY m., sTEGMANN r., 2007. Landfill aeration. IWWG Monograph series.

Palisade Corporation, 2016. @Risk Analysis and Simulation. Add-in for Microsoft Excell. Available from: http://www.palisade.com

ZASUTE VRTAČE - POTENCIANA NEVARNOST ZA VODNE VIRE

dr. Mateja Breg Valjavec[1], mag. Mojca Zega[2]

[1]Geografski inštitut Antona Melika, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, [2]Zavod RS za varstvo narave, OE Nova Gorica, Delpinova 16, 5000 Nova Gorica

POVZETEK

Velike količine odloženih odpadkov so danes v pokrajini skrite in posredno ali neposredno ogrožajo podzemne vodne vire - kraške vodonosnike. Prerašča jih naravna ali antropogeno spremenjena vegetacija. Na območjih, kot so Kras, Matarsko podolje, Podgorski kras, Logaško polje, kjer so kraški vodonosniki glavni, ponekod celo edini vir pitne vode, se z rednim spremljanjem odkrivajo nenadna onesnaženja podzemne vode, pogosto neznanega izvora. Domneva se, da so vezana predvsem na skrita odlagališča odpadkov v kraških globelih.

Realnost vrtač na Krasu je dvojna: (1) iz opuščenih njivskih vrtač se izkopava zemljo/prst, ki se jo uporabi za nasutje platojev namenjenih intenzivnemu vinogradništvu in (2) vrtače so priročne 'črne luknje' za odlaganje raznovrstnih odpadkov. Vrtačo se zapolni z odpadki, za krovno plast pa se nasuje nekaj centimetrov prsti. Znani so primeri, ko so takšni posegi uradno zavedeni kot agromelioracije in kot taki celo subvencionirani. V nekaj letih se površina zarase, vrtača in odpadki pa so pozabljeni.

Tako je na površju, v kraškem podzemlju - kraških vodonosnikih, pa meteorna voda pronica skozi nešteta 'podzemna smetišča' ter preko zapletenega sistema podzemnih kanalov odteka v podtalnico.

V prispevku predstavljamo register zasutih vrtač na vodovarstvenem območju vodnega vira Rižana, ki oskrbuje Rižanski vodovod in na vodovarstvenem območju Kraškega vodovoda vira Klariči. Na podlagi preliminarne raziskave ocenjujemo, da je na obeh območjih najmanj 500 vrtač zasutih z odpadki, ki so danes popolnoma izravnane z okoliškim reliefom, nekatere tudi zaraščene, druge celo pozidane. Gostota degradiranih vrtač je največja v okolici naselij, ob prometnicah, v bližini aktivnih in nekdanjih gradbišč in kamnolomov.

Ključne besede:

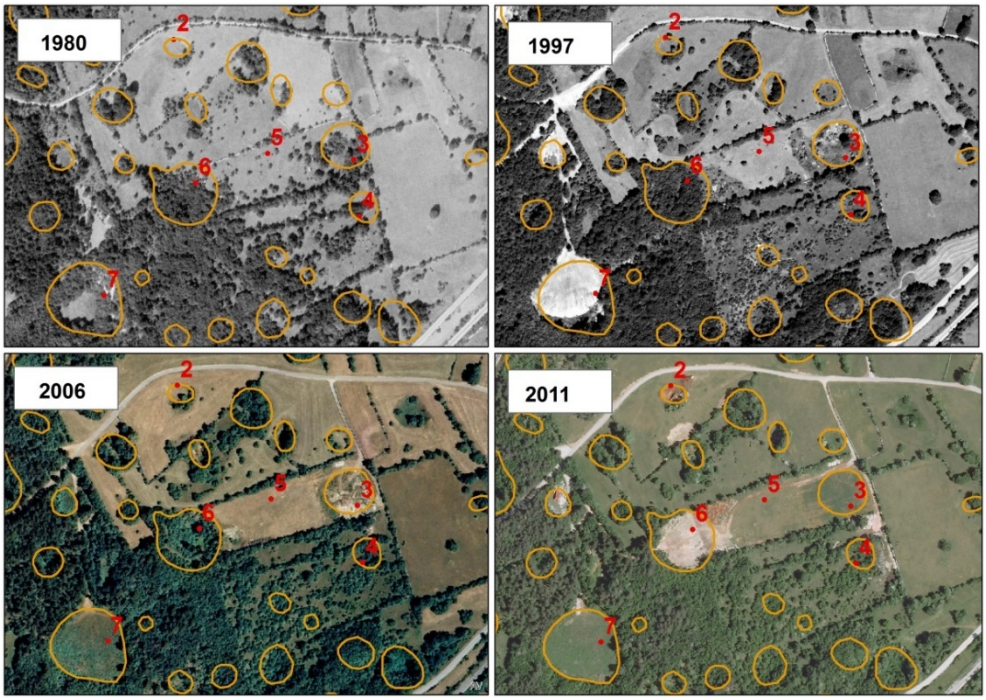
vrtače, odpadki, onesnaževanje, kraški vodonosnik, podzemne vode

1. Vrtače in raba tal: od tradicije do degradacije

Vrtače so naravne, zaprte globeli z okroglim do elipsastim tlorisom, značilne za kraški tip površja (reliefa). Nastanek vrtač je kompleksen, pogosto poligenetski proces, pogojen s pretakanjem vode in kemičnim raztapljanjem (korozija) matične kamnine, apnenca in dolomita, pod površjem. Najbolj pogoste in znane so plitve vrtače, ki jih je človek v preteklosti uporabljal za kmetijstvo. Njihova gostota in pestrost je največja na matičnem Krasu. Redkejše, globoke udornice ali koliševke nastanejo takrat, ko pride do porušitve stropa nad podzemnimi jamskimi prostori. Poseben tip so sufozijske vrtače (aluvialne), ki nastajajo v aluvialnih sedimentih s hitrim spiranjem nesprijetega sedimenta v kraško podzemlje in so značilne za Logaško polje. Vrtače so lahko zelo različnih velikosti in oblik, najpogosteje so skledaste in lijakaste. V poprečju v premeru merijo od nekaj metrov do slabega kilometra. Pobočja so lahko zelo položna do vertikalna. Posledično, se njihova globina giblje od nekaj metrov do nekaj

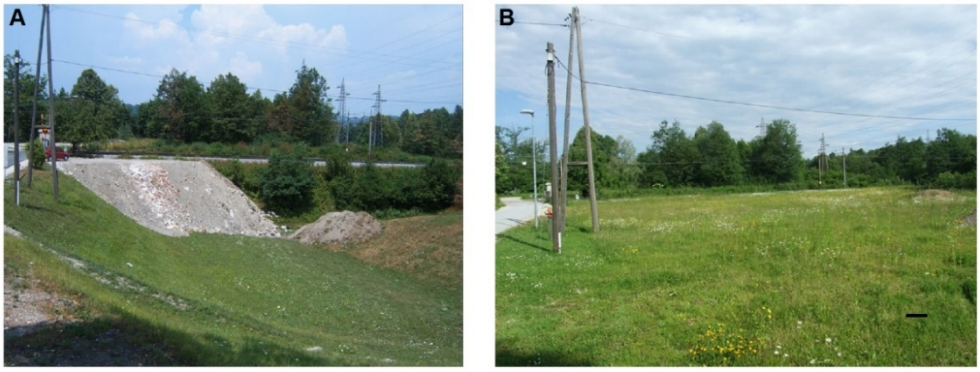
deset metrov, udornice pa so lahko globoke tudi več kot sto metrov. Vrtače so tudi zelo redek vir rodovitne prsti, na sicer s prstjo in vodo osiromašenem kraškem površju. (Gams, 2004)
Človek je vrtače tekom stoletij vedno koristil in spreminjal v skladu s svojimi potrebami. Najbolj običajna raba je oblikovanje "delanih dolin", pri čemer je dno vrtače poravnal in preoblikoval v njivo ali vinograd. Včasih pa je preprosto odvzel nekaj rodovitne prsti iz vrtače in jo uporabil za ureditev manjših vinogradov in vrtov ob hišah (Radinja, 1987; Gams in Gabrovec, 1999). Z razširitvijo in poravnavo dna vrtače je iz nekdanje lijakaste nastala bolj skledasta oblika, a kljub temu so vrtače ohranjale značilno podobo oblikovanih kotanj okroglastih oblik, navadno širših kot globljih. Vrtače, naravne in obdelane, so sestavni del mozaične kraške naravne in kulturne krajine, predstavljajo pa tudi pomembno povezavo med kraškim površjem in kraškim podzemljem.
Človekov spremenjeni, sodobni odnos do okolja se pri vrtačah kaže bolj kot pri drugih oblikah na krasu (Cernatič-Gregorič in Zega, 2010;). Številne vrtače so danes spremenjene v odlagališča smeti, gradbenih in tudi nevarnih odpadkov. Zasuvanje in degradacija vrtač se izvaja bodisi z namenom nelegalnega odstranjevanja odpadkov bodisi za izravnavo terena, kar je pogosto uradno obravnavano kot agromelioracija (Cernatič-Gregorič in Zega, 2010; Breg Vajavec, 2013; Breg, 2007). Izbrano vrtačo najprej zapolnijo z odpadki, čeznje pa nasujejo tanko plast kraške prsti, neredko izkopane iz sosednje, prav tako uničene vrtače. Težava je v tem, da meteorna voda pronica skozi z odpadki zasute vrtače, ki so tako podvržene bolj ali manj intenzivnim procesom izpiranja potencialno onesnaženih izcednih vod v podzemlje, kjer le-te lahko onesnažijo kraške vodne vire.
Odlagališča odpadkov v vrtačah so v le nekaj desetletjih postala očitna, antropogena prvina kraške krajine, značilna predvsem za relativno bližino večjih naselij. Po Šebeniku (1994), ki je edini izdelal raziskavo o odlagališčih odpadkov v Sloveniji, so odlagališča v vrtačah najpogosteje splošna, to pomeni z mešanimi odpadki. Več je tudi občasnih in zasebnih odlagališč. Dve tretjini z odpadki zasutih vrtač je poraslih z grmovjem ali se nahaja v gozdu. Za nedovoljeno odlaganje odpadkov so "primerne" prav lokacije s svojskimi lastnostmi, kot so ugodna dostopnost, prikritost (depresijske oblike), zaraščenost, odmaknjenost ter nefunkcionalnost in zapuščenost območja. Vse te značilnosti veljajo še danes.

Za primer predstavljamo območje črpališča Rižana, ki je varovano v okviru vodovarstvenih območij. Razdeljeno je v varstvene pasove z različno strogimi režimi varovanja. Kljub temu pa, kot ugotavljamo iz stanja v naravi, obstoječi sistem vodovarstvenega in drugih varovanj (npr. Natura 2000), pri nelegalnem in nedopustnem zasipanju vrtač z raznovrstnimi odpadki, ni učinkovit. Na testnem območju pri naselju Rodik smo na podlagi analize zgodovinskih aeroposnetkov iz let 1980, 1997, 2006 in 2011 raziskali primer petih zasutih vrtač in čas njihovega zasutja. Ugotavljamo, da je proces degradacije recenten in se je začel med leti 1980 in 1997, najverjetneje z izgradnjo primorske avtoceste (vrtača št. 7 z dostopno potjo in manjšo vrtačo severno od nje). Še obsežnejša degradacija se je dogajala tudi kasneje, najintenzivneje med leti 2006 in 2011, zaradi katere je prišlo do sprememb v rabi tal. Zmanjšale so se gozdne površine na račun z odpadki nasutih vrtač in na njihovem območju nastalih t.i. ruderalnih travnikov.

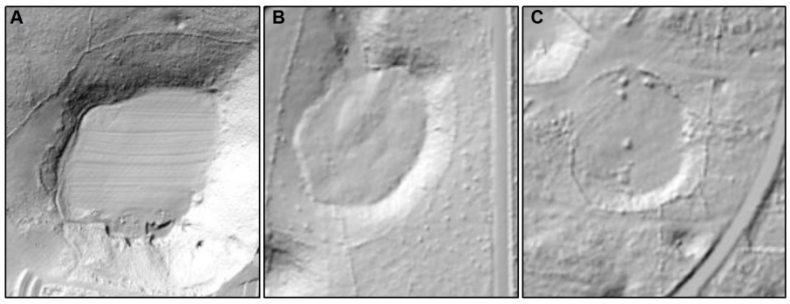


Slika 1: Ugotavljanje intenzivnosti procesov zasuvanja in degradacije korozijskih vrtač na vodovarstvenem območju Rižana (naselje Rodik) temelji na analizi časovne serije letalskih posnetkov (1980, 1997, 2006, 2011) in kaže spremembe v rabi tal na območju posameznih vrtač (oranžni poligoni, zasute vrtače označene s številkami 2, 3, 4, 6. 7).

Naravna topografija kraških depresij je zaradi odloženih odpadkov spremenjena, odpadke pa prerašča naravna ali gojena vegetacija. Določanje časovnih in prostorskih sprememb v topografiji (Slika 2, Slika 3), vegetaciji (Slika 2) in tudi časovnih spremembah rabe tal (Slika 1) omogoča posredno odkrivanje zasutih vrtač.



Slika 2: Primer degradacije vrtače med (levo 2006) in po zasutju z odpadki (desno 2013). Z zasutjem vrtače se je spremenil relief vrtače (iz konkavne oblike v ravno) in vegetacija (iz travniške v ruderalno).



Slika 3: Razpoznavanje različnih oblik vrtač in degradacije vrtač na LIDAR senčenem DMR: vrtača (slika A), delno zasuta (degradirana) vrtača (slika B), z okolico izravnana degradirana vrtača (slika C).

2. Potencialni negativni vplivi na vodne vire

Velike količine podzemno odloženih odpadkov so danes v krajini skrite ter s pronicanjem izcednih vod v podzemlje posredno ali neposredno ogrožajo podzemne vodne vire (kraški vodonosnik). Na izbranih območjih (npr. Kras, Matarsko podolje, Podgorski kras, Logaško polje), kjer so kraški vodonosniki ponekod celo edini vir pitne vode (Kras - črpališči Rižana in Klariči), se občasno pojavljajo onesnaženja podzemne vode, neznanega izvora (Rižanski vodovod). Domnevamo, da so vezana predvsem na neznana odlagališča odpadkov v kraških depresijah.

Specifične lastnosti kraškega prevotljenega podzemlja zmanjšujejo ali celo onemogočajo samoočiščevalno sposobnost vode, ki temelji na redčenju in prezračevanju. Preko skromnega prstenega pokrova ter skritih kubikov nelegalno odloženih odpadkov deževnica, 'obogatena' z onesnaženimi izcednimi vodami, hitro pronica skozi prepustno kamnino v podzemlje in se pretaka proti gladini podzemne vode. Izcedne vode se tako iz zasutih vrtač pretakajo v kraški vodonosnik, ki je vir za oskrbo skoraj polovice slovenskega prebivalstva.

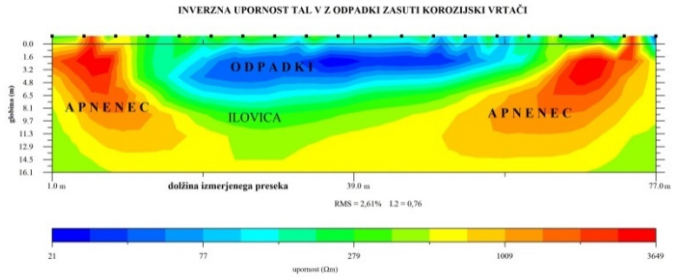
Organski odpadki so potencialno nevarni za kraški vodni vir, zaradi možnosti širjenja bakterioloških okužb. Pri razgradnji podzemno odloženih organskih odpadkov v anaerobnih razmerah nastaja bioplin (zmes plinov metan, žveplov dioksid, ogljikov dioksid,…) in z organsko snovjo nasičene izcedne vode. Za bioplin in izcedno vodo je značilna relativno visoka temperatura, ki se vidno razlikuje od temperature okoliškega površja. Z interpretacijo podatkov zajetih v termalnem infrardečem spektru lahko uspešno identificiramo območja prsti, ki izražajo nenavadno visoko temperaturo ali toplo prenikajočo vodo. Na takšen in podobne načine, s pomočjo letalskih in satelitskih posnetkov, odkrivamo z odpadki zasute vrtače.

Nevarni odpadki iz industrije so vir izcednih vod, ki vsebujejo obstojne nevarne snovi in predstavljajo največje tveganje za kraški vodni vir. Tovrstne odpadke, odložene pod površje in brez neprepustnega krovnega sloja, je mogoče zaznati posredno, preko kontaminiranih prsti. Nevarni odpadki še posebej močno vplivajo na slabši razvoj ali propadanje rastlinstva, ki raste na kontaminiranih prsteh, zato lahko uporabimo zaznan vegetacijski stres in odziv vegetacije kot indikator za prisotnost nevarnih odpadkov pod površjem.

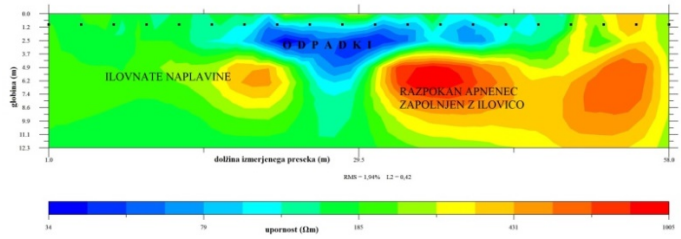
Nenevarni inertni odpadki (gradbeni odpadki) so vir izcednih voda, ki pogosto ne vsebujejo nevarnih snovi, niti ob tem ne nastaja bioplin, zato nimajo bistvenega vpliva na ekološko stanje rastlin. Kljub vsemu je vegetacija drugačna ter redkejša in manjša. Gradbeni odpadki so se v preteklosti uporabljali kot vrhnji sloj s katerim so prekrili komunalne ali industrijske odpadke v vrtači, danes pa se z njimi polnijo in trajno uničujejo celotne vrtače. Kaj se skriva med njimi, kar je lahko vzrok za onesnaženje podzemne kraške vode, je težko ugotoviti, prav tako še ni znano kakšen bo njihov vpliv na kraško podzemlje.

Bolj neposredne vplive odloženih odpadkov na podzemno vodo lahko določimo z merjenjem električne upornosti tal, ki je predstavljena na preseku dveh vrtač (slika 4 – korozijska vrtača,

slika 5 –sufozijska vrtača). Slika 3 natančno prikazuje vbočeno obliko nekdanje korozijske vrtače, izoblikovane v apnencu, kateri ima z vrednostjo od 1000 do 3000 Ωm, odvisno od razpokanosti in navlaženosti kamnine, najvišjo upornost v celotnem preseku meritve (rdeča barva). Vrtača je do vrha zapolnjena z odpadki (modra barva), katerih upornost je bistveno nižja (od 2,1 do 80 Ωm) od okoliških kamnin. Najnižje upornosti, med 21 Ωm in 50 Ωm, ustrezajo mešanim organskim odpadkom, pomešanim z neorganskimi gradbenimi in industrijski odpadki. Na sliki 5 so odpadki zakopani v manjšo sufozijsko vrtačo, kjer je nakazan tudi sufozijski kanal po katerem se sediment in z njim odpadki izpirajo v ranljivo kraško podzemlje (Breg Valjavec, 2013).



Slika 4: Profil vrtače (korozijske), ki je zasuta z mešanimi odpadki (modro), ki je narejen s terenskim merjenjem električne upornosti tal (Breg Valjavec, 2013).



Slika 5: Profil vrtače (sufozijske), ki je zasuta z mešanimi odpadki. Izcedne vode iz odpadkov v sufozijskih vrtačah potujejo hitreje v kraško podzemlje, saj so procesi sufozije zelo intenzivni (Breg Valjavec, 2013).

3. Zaključki

Občo apatičnost do nelegalnega nasuvanja vrtač z odpadki smo deloma podedovali od starejših generacij. Zaskrbljujoče pa je pravzaprav dejstvo, da se odnos do tovrstnega početja na omenjenih kraških območjih ni spremenil. Nelegalno odlaganje odpadkov v vrtače je še vedno način ravnanja - 'modus operandi', brez ozira na zakonske predpise in opozorila o nevarnosti takega početja. Velike količine podzemno odloženih odpadkov so skrite in od javnosti pozabljene, označimo jih lahko le kot 'staro okoljsko breme'. Vendar je naša naloga in moralna obveza, ki nam jo nalaga paradigma o trajnostnem razvoju, da bodočim generacijam zagotovimo bistvene informacije o starih okoljskih bremenih in začnemo s sanacijo najhujših med njimi. K temu smo se zavezali v Pravilniku o ravnanju z odpadki (UL RS 84/1998 z dopolnitvami), kjer je med drugim zapisano: "... vzpostavitev učinkovitega sistema ravnanja z odpadki in postopna odprava starih bremen ...".

V kraških pokrajinsko-ekoloških tipih, kamor sodijo ranljivi kraški vodonosniki, bi bilo treba vzpostaviti evidenco in kataster starih okoljskih bremen, tudi starih in recentnih odlagališč odpadkov v vrtačah. Nadaljnje raziskave je treba nameniti predvsem določanju vrtač, kjer so zakopani odpadki, s prednostnim ugotavljanjem lokacij nevarnih in organskih odpadkov, ki onesnažujejo podzemno vodo. Poleg tega bi bilo nujno najti učinkovit način zaustavitve tega početja in sanacije najbolj kontaminiranih in nevarnih lokacij.

4. Viri

[1] BREG, M., 2007. Okoljski vidiki ohranjanja in zaščite vrtač v Sloveniji. Dela 28, 43-57.

[2] BREG VALJAVEC, M., 2013. Nekdanja odlagališča odpadkov v vrtačah in gramoznicah. Znanstvena monografija. Ljubljana: Založba ZRC, 118 str.

[3] CERNATIČ-GREGORIČ, A., in ZEGA, M., 2010. The impact of human activities on dolines (sinkholes) – typical geomorphologic features on Karst (Slovenia) and possibilities of their preservation. Geographica Pannonica, vol. 14/4, 109-117.

[4] GAMS, I., 2004. Kras v Sloveniji v prostoru in času (druga pregledana izdaja). Ljubljana: Založba ZRC, ZRC SAZU, 515 str.

[5] GAMS, I., GABROVEC, M., 1999. Land use and human impact in the Dinaric karst. International Journal of Speleology, 28 B, (1/4), 55-70.

[6] RADINJA, D., 1987. Man and karst in the NW part of the Dinaric mountain system – the karst stone walls and enclosures. In: Karst and Man, IGU, Study Group on Man's impact in karst. Ljubljana. 111-122.

[6] ŠEBENIK, I., 1994: Pokrajinske značilnosti manjših neurejenih odlagališč odpadkov v Sloveniji. Geographica Slovenica, 26-1.

[7] RIŽANSKI VODOVOD, 2015: ustni vir.

UPORABA PASIVNIH VZORČEVALNIKOV ZA DOLOČANJE ORGANSKIH ONESNAŽEVAL V PODZEMNI VODI

Anja Koroša[1], dr. Nina Mali[1], mag. Primož Auersperger[2]

[1]Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, [2]JP Vodovod-Kanalizacija d.o.o., Vodovodna cesta 90, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Novodobna organska onesnaževala so spojine, ki vstopajo v okolje kot posledica antropogenih dejavnosti. To so ostanki zdravil, izdelki za osebno nego, pesticidi, spojine iz veterine, aditivi, nanomateriali, industrijske spojine, itd. Nekatera od teh onesnaževal lahko vplivajo na okolje in zdravje ljudi, zato je zelo pomembno razumevanje lastnosti teh snovi, njihove porazdelitve, pojavnosti in obnašanja v podzemni vodi.

Vedno večja prisotnost novodobnih organskih spojin v okolju povzroča povečano povpraševanje po občutljivih in zanesljivih orodjih za določanje le-teh tudi v podzemni vodi. EU zakonodaja v povezavi s kvaliteto pitne vode priporoča optimizacijo analitskih metod za določitev organskih onesnaževal z namenom pridobiti točne in natančne rezultateEna od novejših metod vzorčenja je pasivno vzorčenje. V nasprotju z navadnim vzorčenjem je pasivno vzorčenje manj občutljivo na naključno ekstremno nihanje koncentracij organskih onesnaževal v podzemnih vodah, prav tako je s pasivnimi vzorčevalniki mogoče zaznati širok spekter onesnaževal naenkrat. Pasivni vzorčevalniki lahko zajamejo dolgo obdobje vzorčenja, vključno s koncentracijami onesnaževal v daljšem časovnem obdobju. V primerjavi z običajnim vzorčenjem podzemne vode, uporaba pasivnih vzorčevalnikov bistveno zmanjša analitične stroške.

V prispevku predstavljamo primer uporabe pasivnih vzorčevalnikov s tkaninami iz aktivnega oglja za določitev organskih onesnaževal v podzemni vodi Dravskega polja. Pasivni vzorčevalniki so bili analizirani s plinsko kromatografijo in masno spektrometrijo (GC-MS). Rezultati podajajo ocenjeno verjetnost identifikacije in jakosti signala, ki so osnova za ciljane kemijske analize.

1. Uvod

Novodobne organske spojine se dandanes uporabljajo v velikih količinah v različnih človeških aktivnostih, prav tako imajo v okolju številne vire [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Število organskih onesnaževal v okolju se dodatno poveča za nekaj milijonov metabolitov in razgradnih produktov primarnih spojin. Ta skupina onesnaževal se pojavlja kot pesticidi, industrijski dodatki, izdelki za osebno nego, stranski produkti dezinfekcije vode, proizvodi, ki zavirajo gorenje, površinsko aktivne snovi in aditivi za živila [4]. V okolju jih najdemo v površinskih vodah, podzemni vodi in tudi v pitni vodi. Kot onesnaževala v podzemni vodi imajo lahko organske spojine škodljiv vpliv na okolje in zdravje ljudi. Organske spojine se v podzemni vodi pojavljajo kot rezultat različnih antropogenih dejavnosti, tako iz urbanega kot tudi kmetijskega okolja (izcejanje iz komunalnih in industrijskih čistilnih naprav, uhajanje iz kanalizacijskih sistemov, z uporabo kmetijskih gnojil, komunalnih odpadkov, itd.) [1,4]. Njihova pristnost v okolju povzroča prav tako povečano povpraševanje po občutljivejših in zanesljivejših orodjih monitoringa za določanje le teh, tudi v podzemni vodi. Običajno uporabljene tehnike monitoringa podajo podatke o omejenem številu kemijskih parametrov in njihovih koncentracijah na določeni točki, v

določenem čau. V nasprotju s takšnimi tehnikami vzorčenja se je pasivno vzorčenje, ki je manj občutljivo na naključne ekstremne razlike v koncentracijah organskih onesnaževal v naravnih vodah, izkazalo za koristno orodje za spremljanje širokega spektra onesnaževal v vodnem okolju [7]. Pasivni vzorčevalnik lahko zajame dolgo obdobje vzorčenja, ki vključuje koncentracije onesnaževal v daljšem časovnem obdobju [8, 9, 10, 11]. V primerjavi z običajnim monitoringom, je s pasivnimi vzorčevalniki mogoče zaznati veliko več spojin, kot je trenutno določeno za pitno vodo.

Metodo pasivnih vzorčevalnikov smo uporabili na območju Dravskega polja, kjer smo določili prisotnost organskih onesnaževal v podzemni vodi.

2. Metode

Vzorčenje podzemne vode na območju Dravskega polja je potekalo na devetnajstih vzorčnih mestih. Vzorčevalno mrežo smo določili na podlagi predhodno zbranih podatkih o geoloških in hidrogeoloških lastnostih vodonosnika ter pregleda stanja objektov na terenu. Območje vzorčenja sega od Maribora na severu do Ptuja na jugu.

Pasivni vzorčevalniki so bili v piezometrih izpostavljeni za obdobje 6 mesecev štirikrat, tako smo pokrili obdobje dveh let (od aprila 2013 do aprila 2015). Kemijske analize vzorcev smo opravili v laboratoriju JP Vodovod-Kanalizacija (VO-KA). Poleg kvalitatitvega vzorčenja s pasivnimi vzorčevalniki smo opravili tudi kvantitativne kemične analize za določene spojine (pesticidi, halogenirana topila, kofein, karbamazepin).

Pripravo in analizo pasivnih vzorčevalnikov smo opravili v skladu s standardom ISO 566-23:2011 za vzorčenje in modificirano metodo EPA 525.2 za kemijske analize. Pasivni vzorčevalniki so prikazani na sliki 1. V žepke iz 1 mm mrežice smo vstavili tkanino iz aktivnega oglja. Mrežice, žica in ostali material so iz nerjavečega jekla.

Slika 1: Pasivni vzorčevalnik pripravljen za vgraditev v piezometer

Vzorce smo analizirali s plinsko kromatografijo in masno spektrometrijo (GC-MS). Za interpretacijo kromatogramov smo uporabili AMDIS dekonvolucijo (Automated Mass spectral Deconvolution and Identification System) z uporabo GC-MS knjižnice z 921 masnimi spektri organskih onesnaževal in podatkih o retenzijskih časih ter NIST 2008 knjižnice masnih spektrov.

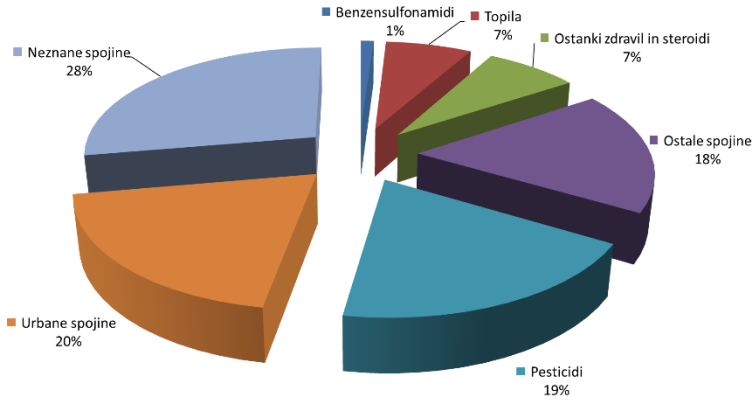
Organske spojine, ki se pojavljajo kot onesnaževalci, najdemo tudi v izdelkih za osebno nego, raznih zdravilih, itd., zato je pri vzorčenju in pri delu v laboratoriju pomembno, da se uporabi le teh izognemo (uporabi kozmetike, pitja kave in uživanja ostalih produktov, ki vsebujejo preiskovane spojine). Za nadzor kakovosti vzorčenja in analitike smo analizirali tudi t.i. slepe

vzorce. Ti so bili izpostavljeni na vsaki lokaciji pri namestitvi in odvzemu pasivnega vzorčevalnika in nadalje analizirani po istem postopku kot pasivni vzorčevalniki. Tako smo iz rezultatov lahko izločili spojine, ki bi lahko bile rezultat kontaminacije.

Rezultati analiz pasivnih vzorčevalnikov so podani kot razmerje med določeno spojino in dodanim internim standardom pri analitiki (A/Ais) (v našem primeru je standard kofein D-10, ki je bil dodan v topilo za eluiranje spojin iz aktivnega oglja). Kofein D-10 smo uporabili za nadzor nad analiznim postopkom.

3. Rezultati in diskusija

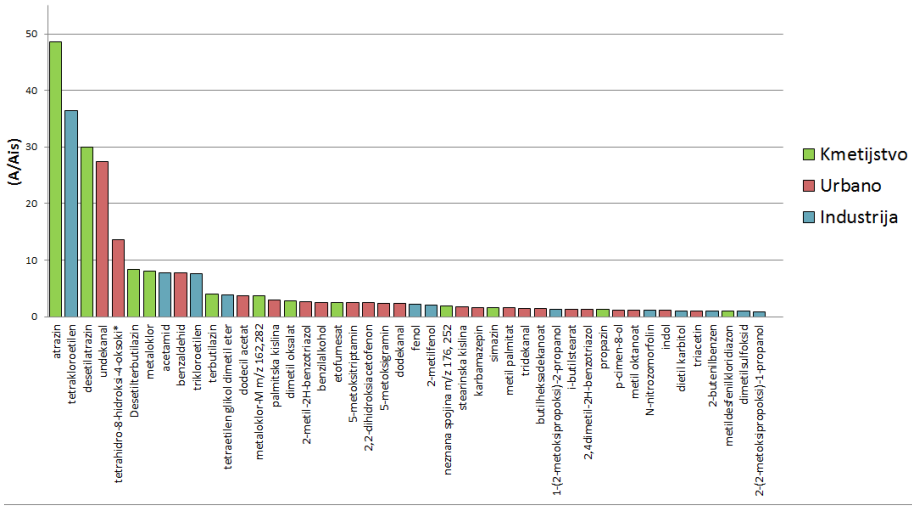
Rezultati pasivnih vzorčevalnikov nam dajo informacijo o širokem spektru organskih onesnaževal, ki so prisotne v podzemni vodi. Skupaj je bilo v štirih vzorčnih serijah določenih 382 različnih organskih spojin. Razdelili smo jih v sedem skupin glede na uporabo. Med njimi je 29 % neznanih spojin, 20 % urbanih spojin, 19 % pesticidov, 18 % ostalih spojin, 7 % ostankov zdravil in steroidov, 7 % topil, 1 % benzensulfonamidov (Slika 2). Neznane spojine so tiste spojine, za katere ni podatkov v NIST 2008 knjižnici. Verjetno gre za razne metabolite in razgradne produkte, pa tudi novodobne organske spojine, ki še niso vključene v komercialne knjižnice masnih spektrov.



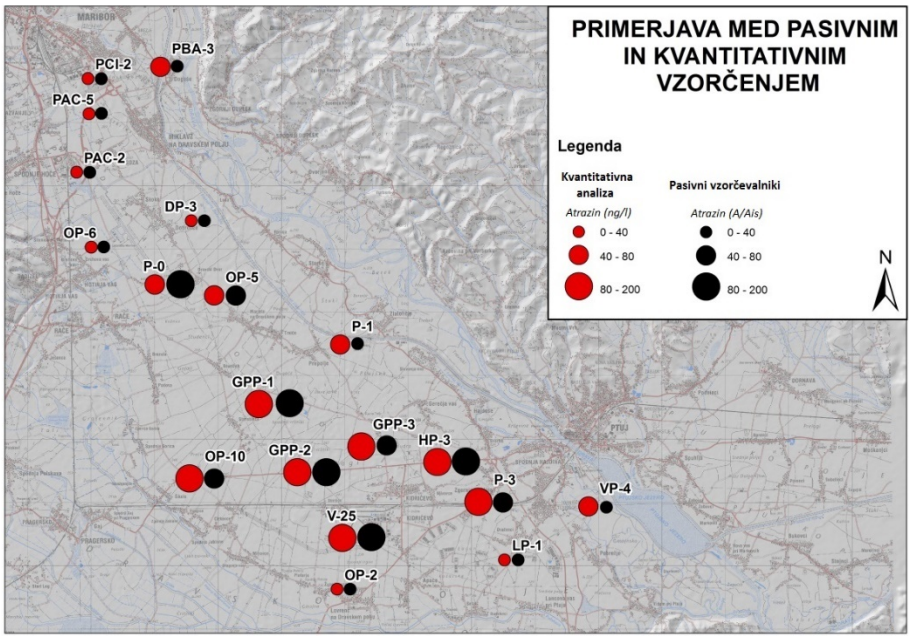
Slika 2: Razmerje detektiranih organskih onesnaževal v podzemni vodi Dravskega polja

Spojine smo razvrstili glede na izvor. Med 47 spojinami z najvišjo identifikacijo (slika 3) prevladujejo spojine z izvorom iz kmetijstva (atrazin, desetilatrazin, desetilterutilazin in metloklor), industrije (tetrakloroetilen, acetamid, trikloroetilen) in urbanim izvorom (undekanal, tetrahidro-8-hidroksi-4-oksokinolin-2-karboksilna kislina in benzaldehid). Glede na jakost signala pojavnosti lahko določimo tudi sezonske razlike v pojavnostih posameznih spojin. V našem primeru se je pokazalo, da so bili v povprečju višji signali prisotni v šestmesečnem obdobju od oktobra do aprila (zimsko obdobje), glede na obdobje od aprila do oktobra (poletno obdobje).

Prostorska porazdelitev vsebnosti pesticida atrazina je prikazana na sliki 4. Krogci rdeče barve predstavljajo rezultate koncentracij atrazina določene s kvantitativno metodo (ng/l), krogci črne barve pa predstavlajjo rezultate dobljene s pasivnimi vzorčevalniki, ki so podani kot razmerje med med atrazinom in dodanim internim standardom (A/Ais). Če primerjamo rezultate atrazina dobljene s pasivnimi vzorčevalniki in atrazina določenega kvantitativno, vidimo, da je porazdelitev atrazina v podzemni vodi zelo podobna (slika 4). Na določenih vzorčnih mesteh se pokažejo manjša odstopanja, ki so pa lahko posledica različne velikosti vzorčnega intervala. S pasivnimi vzorčevalniki smo pokrili šestmesečno obdobje, medtem ko smo s kvantitativno metodo določili vsebnost atrazina v podzemni vodi za točno določen dan.



Slika 3: Detektirane spojine v podzemni vodi z najvišjo jakostjo signala



Slika 4: Primerjava detekcij atrazina v podzemni vodi s pasivnim vzorčenjem in kvantitativno metodo (rdeča – rezultati kvantitativne analize (ng/l); črna – rezultati pasivnih vzorčevalnikov (A/Ais))

4. Zaključki

Pasivni vzorčevalniki so se pokazali kot primerno orodje za določanje prisotnosti orgnskih onesnaževal v podzemni vodi. Z njimi lahko določimo širok spekter prisotnih onesnaževal, ki bi bil z običajno kvantitativno analitiko bistveno dražji in neekonomičen.

V podzemni vodi Dravskega polja smo določili 382 različnih organskih onesnaževal in jih razdelili v sedem skupin glede na njihovo uporabo in v tri skupine glede na izvor. Rezultati kažejo, da se v podzemni vodi Dravskega polja pojavljajo spojine iz kmetijskega, urbanega in industrijskega okolja. Največjo jakost signala kažejo pesticidi in njihovi razgradni produkti (atrazin, desetilatrazin, desetilterbitilazin in metolaklor). Iz skupine industrijskega izvora tetrakloroetilen, acetamid in trikloroetilen. Spojine urbanega izvora, ki imajo visoko jakost

signalov pa so undekanal, tetrahidro-8-hidroksi-4-oksokinolin-2-karboksilna kislina in benzaldehid.

V prihodnosti si želimo še bolj izboljšati in validirati tehniko pasivnega vzorčenja ter določiti negotovosti analitike za dosego semi kvantitativnih rezultatov.

5. Viri

[1] MANAMSA, K., CRANE, E., STUART, M., TALBOT, J., LAPWORTH, D., HART, A., 2016. A national-scale assessment of micro-organic contaminants in groundwater of England and Wales. *Science of the total environment*, 568, 712–726.

[2] KOROŠA, A., AUERSPERGER, P., MALI, N., 2016. Determination of micro-organic contaminants in groundwater (Maribor, Slovenia). *Science of the total environment,* 571, 1419-1431.

[3] JURADO, A., MASTROIANNI, N., VAZQUEZ-SUNE, E., CARRERA, J., TUBAU, I., PUJADES, E., et al., 2012. Drugs of abuse in urban groundwater. A case study: Barcelona. *Science of the total environment,* 424,280–288.

[4] STUART, M., LAPWORTH, D., CRANE, E., HART, A., 2012. Review of risk from potential emerging contaminants in UK groundwater. *Science of the total environment,* 416, 1–21.

[5] LAPWORTH, D.J., BARAN, N., STUART, M.E., MANAMSA, K., TALBOT, J., 2015. Persistent and emerging micro-organic contaminants in Chalk groundwater of England and France. *Environmental Pollution*, 203, 214–225.

[6] POSTIGO, C., BARCELO, D., 2015. Synthetic organic compounds and their transformation products in groundwater: Occurrence, fate and mitigation. *Science of the total environment,* 503-504, 32-47.

[7] KOT, A., ZABIEGALA, B., NAMIESNIK, J., 2000. Passive sampling for long-termmonitoring of organic pollutants in water. *Trends in Analytical Chemistry*, 19 (7), 446–459.

[8] SEETHAPATHY, S., GORECKI, T., LI, X., 2008. Passive sampling in environmental analysis. *Journal of Chromatography A*, 1184 (1–2), 234–253.

[9] VERMEIRSSEN, E.L.M., BRAMAZ, N., HOLLENDER, J., SINGER, H., ESCHER, B.I., 2009. Passive sampling combined with ecotoxicological and chemical analysis of pharmaceuticals and biocides – evaluation of three Che catcher™ configurations. *Water Research,* 43 (4), 903–914.

[10] NYONI, H., CHIMUKA, L., VRANA, B., CUKROWSKA, E., 2011.Membrane assisted passive sampler for triazine compounds in water bodies—characterization of environmental conditions and field performance. *Analytica Chimica Acta*, 694 (1–2), 75–82.

[11] WILLE, K., CLAESSENS, M., RAPPE, K., MONTEYNE, E., JANSSEN, C.R., DE BRABANDER, H.F., VANHAECKE, L., 2011. Rapid quantification of pharmaceuticals and pesticides in passive samplers using ultra high performance liquid chromatography coupled to high resolution mass spectrometry. *Journal of Chromatography A,* 1218 (51), 9162–9173.

KRIMINALITETA ZOPER VODE IN PROJEKT WATER CRIMES

Gorazd Meško[1], Massimo Migliorini[2], Lorenzo Segato[3], Saša Kuhar[1], Katja Eman[1]

[1]Univerza v Mariboru, Fakulteta za varnostne vede, Kotnikova 8, 1000 Ljubljana, [2]SiTI – Istituto Superiore sui Sistemi Territoriali per l'Innovazione, Italija, [3]RiSSC - Research Centre on Security and Crime, Italija

POVZETEK

Voda je kot 'modro zlato' postala privlačna tarča kriminalcev. Posledično so se s kriminaliteto zoper vodo pričeli ukvarjati tudi preiskovalci in kriminologi, ki prej tovrstni problematiki niso posvečali pozornosti.

Kazniva dejanja zoper vodo je zelo težko odkriti, še težje pa je ugotoviti, kdo je storilec. Zakonodaja s področja voda se razlikuje od države do države, podatki so si v neskladju in niso standardizirani. Poleg tega se kazniva dejanja zoper vodo pogosto vodijo pod drugimi kaznivimi dejanji, kot so goljufija, korupcija, ponarejanje dokumentov in terorizem.

Da bi ugotovili, kako obsežna je problematika kriminalitete zoper vode v državah Evropske unije, se je oblikoval projekt z naslovom Water crimes. Gre za mednarodni raziskovalni projekt, ki ga sofinancira Evropska komisija. Pri projektu sodeluje pet partnerjev iz štirih držav Evropske unije: Italije, Madžarske, Španije in Slovenije. Slovenijo zastopa Fakulteta za varnostne vede Univerze v Mariboru.

Namen projekta je raziskati oblike, obseg in posledice kriminalitete zoper vode v državah Evropske unije ter odzive organov formalnega družbenega nadzorstva. Poleg tega je namen projekta narediti prve strateške analize na področju kriminalitete zoper vodne vire v Evropi. Končni cilj projekta je zbiranje primerov in klasifikacija kaznivih dejanj zoper vode v Evropi, ocena tveganja za nadaljnja kazniva dejanja in razviti vmesne napovedi gibanja kriminalitete zoper vode v Evropi.

Ključne besede:

kriminaliteta zoper vode, pitna voda, korupcija, ekološka kriminaliteta, tveganje, nevarnost, kriminologija

1. Uvod

Voda je naravna dobrina, ki je ključnega pomena za življenje, družbene in gospodarske dejavnosti ter za delovanje ekosistema. Je strateški vir za prihodnost celotnega sveta. Omejena dostopnost, napetosti povezane s prekomerno uporabo in neenakomerno razporeditvijo, njena vitalna funkcija in notranja ranljivost spremenijo vodo v iskan izdelek, zelo izpostavljen kriminaliteti. Kriminaliteta zoper vode obsega širok pojem: od tatvin pitne vode, nezakonitega odlaganja odpadkov v vodo do onesnaženja morja z razlitjem nafte. Kriminaliteta zoper vodo predstavlja vedno večji problem, a o njej žal ni mogoče pridobiti veliko podatkov in še ti so razdrobljeni.

V Evropski uniji (v nadaljevanju EU) je voda pod vse večjim pritiskom zaradi naraščajočih potreb po zadostnih količinah kakovostne vode za različne namene. Da bi ugotovili, kako obširna je kriminaliteta zoper vode v EU in kakšno tveganje predstavlja za prebivalstvo, je

Evropska komisija potrdila in sofinancirala mednarodni raziskovalni projekt z imenom Water crimes. Pri projektu sodeluje pet institucij iz štirih držav Evropske unije: Italije, Madžarske, Španije in Slovenije. Slovenijo zastopa Fakulteta za varnostne vede Univerze v Mariboru. Namen projekta Water crimes je raziskati oblike, obseg ter posledice kriminalitete zoper vode v državah EU ter odzive organov formalnega družbenega nadzorstva. V ta namen je potekalo zbiranje primerov in klasifikacija kaznivih dejanj zoper vode v državah EU. Ko so bili podatki zbrani, smo jih analizirali in ugotavljali, ali obstajajo potencialni vplivi na kriminaliteto zoper vode. Poleg tega je namen projekta ocena tveganja za nadaljnja kazniva dejanja in razviti vmesne napovedi gibanja kriminalitete zoper vodne vire v prihodnje. Cilj projekta je povečati znanje o kriminaliteti zoper vode, narediti prvo evropsko poročilo na področju varnosti voda v Evropi, povečati zavedanje ljudi o tveganjih in nevarnostih, povezanih z vodnimi viri v EU, ter razvoj priporočil in strategij za ublažitev kriminalitete zoper vodo.

Namen članka je opisati kriminaliteto zoper vodo, prikazati, na kakšne načine se lahko pojavlja, ter predstaviti mednarodni projekt Water crimes.

2. Vodna problematika in kriminaliteta zoper vode

Voda pokriva več kot 70 % našega planeta, na katerem živimo, a zavedati se je treba, da je kar 97 % vode v oceanih in je slana, 2 % predstavlja voda, ki je v ledenikih in snegu, tako da je le 1 % vode primeren za uporabo. Zavedati pa se moramo, da je ta 1 % vode zelo neenakomerno porazdeljen po kontinentih in državah. Zgolj 9 držav (Brazilija, Rusija, Kitajska, Kanada, Indonezija, Amerika, Indija, Kolumbija in Demokratična republika Kongo) poseduje 60 % celotne količine pitne vode, medtem ko 873 milijonov ljudi nima dostopa do čiste, pitne vode (World Business Council for Sustainable Development, 2005). Svetovna poraba vode se podvoji vsakih 20 let. V naslednjih treh desetletjih naj bi se povpraševanje po vodi v kmetijstvu povečalo za 50 %, za potrebe v mestih pa med 50 in 70 %. Leta 2035 bo po navedbah Svetovne banke (2014) energetski sektor predvidoma porabil 85 % več vode, kot jo porabi danes. Po navedbah Svetovne banke (n. d.) vodi izrazito povečanje uporabe vode v ustvarjanje povsem novih konfliktov med različnimi vodnimi uporabniki in medsebojno povezana tveganja.

Zmanjšanje količine in slabša kakovost pitne vode imata velike posledice na zdravje ljudi, poslovni uspeh in varnost. Clarke (1999) meni, da na oskrbo s pitno vodo vplivajo tako gospodarska rast kot tudi globalno segrevanje in kriminaliteta. Če pride do pomanjkanja vode, bodo vodni viri še bolj podvrženi tveganjem in kaznivim dejanjem tako posameznikov kot tudi organiziranih kriminalnih skupin in terorističnih organizacij. European Union Agency for Network and Information Security [ENISA] (2014) navaja, da je v prihodnje za pričakovati, da se bo stopnja ogroženosti vodnih zajetij povečala tudi zaradi kibernetične kriminalitete in teroristov.

Kriminaliteto zoper vode uvrščamo med ekološko kriminaliteto. Težava, s katero se srečujemo na globalni ravni, je odsotnost skupne pravne opredelitve kriminalitete zoper vode. Različne zakonodaje in različne opredelitve kriminalitete zoper vodo pa zaradi tega tudi ne dajejo točnih podatkov o tem, koliko je tovrstne kriminalitete. Zavedati se je treba, da se kriminaliteta zoper vodo beleži pod različnimi drugimi kriminalitetami, kar ne omogoča natančnejših vpogledov v problematiko.

Kazniva dejanja zoper vode obsegajo širok pojem: od tatvin pitne vode, nezakonitega odlaganja odpadkov v vodo do onesnaženja morja z razlitjem nafte. Kazniva dejanja v zvezi z vodo so pogosto povezana z goljufijo, korupcijo, trgovino z ljudmi, ponarejanjem dokumentov in drugimi kaznivimi dejanji. Žrtve tovrstnih kaznivih dejanj pa so vsa živa bitja (Eman, 2016). Ugotoviti, katere oblike kriminalitete zoper vodo prevladujejo v Evropi, kakšne so značilnosti in modus operandi storilcev, na kakšen način so dejanja izvedena, kakšna je ocena tveganja in kaj lahko pričakujemo v prihodnje, je namen projekta Water crimes.

3. Projekt Water crimes

Obseg kriminalitete zoper vodo je zelo težko oceniti. Prav tako je tovrstno kriminaliteto zelo težko odkriti in preiskovati, še posebno zato, ker voda prehaja meddržavne meje, podatki o kriminaliteti zoper vode se vodijo pod različnimi kategorijami kaznivih dejanj ter zakonodaja in politika na področju pitne vode se razlikujeta od države do države.

Vedno večje potrebe po vodi in manjšanje vodnih virov bodo povečali število kaznivih dejanj zoper vodo. Do sedaj še ni bilo narejenega pregleda ali študije na področju kriminalitete zoper vode v Evropi. Da bi ugotovili, kakšno je stanje na področju kriminalitete zoper vode v državah EU in kakšni so trendi za naprej, čemu je treba posvečati več pozornosti, kakšnim grožnjam je podvržen vodni sektor in kako le to preprečiti, se je izoblikovala ideja po ustanovitvi projekta, katerega cilj bo pregled trenutnega stanja na področju voda in napovedi za v prihodnje. Projekt Water crimes se izvaja od januarja 2016. Projekt sofinancira Sklad za notranjo varnost Evropske unije. Njegov namen je narediti prvo strateško analizo kaznivih dejanj in groženj, povezanih s pitno vodo v Evropi. Da bi to lahko izvedli, so bile naloge raziskovalcev:

- narediti popis različnih oblik kriminalitete, ki ogrožajo vode,
- analizirati možen vpliv in tveganja kriminalitete zoper vode,
- razviti vmesne napovedi gibanja kriminalitete zoper vode v Evropi in
- podati priporočila za ublažitvene strategije.

Še pred začetkom izvajanja prve naloge je bilo nujno potrebno opredeliti enotno definicijo kaznivega dejanja zoper vode. Kaznivo dejanje zoper vodo lahko opredelimo kot vsako ravnanje ali kršitev, ki prestopi mejo dovoljenega človekovega obnašanja, kot jo opredeljuje nacionalna kazenska zakonodaja, ki je storjena proti površinski ali podzemni vodi oziroma proti sanitarnim vodam. Definicija kaznivega dejanja zoper vodo vsebuje tudi vsako namerno dejanje, ki lahko potencialno škoduje ali uniči vodo (Mattioli, Segato, 2016).

Po postavljeni definiciji, kaj je kaznivo dejanje zoper vode, smo opravili pregled kaznivih dejanj, ki so se zgodila v državah EU med letoma 2005 in 2015. Podatke smo zbirali s pomočjo policij in s pregledom policijskih poročil, inšpektoratov, javno objavljenih statističnih podatkov ter drugih javno objavljenih dokumentov.

Pregled stanja v vseh državah EU je pokazal, da prevladujejo tri vrste kaznivih dejanj zoper vode. Najbolj pogosto je kaznivo dejanje onesnaženja vode, sledi mu namerno onesnaževanje (kontaminacija) pitne/podzemne vode in na tretjem mestu je tatvina vode.

Pod pojem onesnaženje vode vključujemo onesnaženje vseh nadtalnih vod, kot so reke, morja, oceani, jezera, ribniki, potoki in podobno. World Wide Fund For Nature (n. d.) govori o onesnaženju voda takrat, ko pridejo strupene snovi v stik z vodnimi telesi, se v njih raztopijo, ležijo na površini ali potonejo na dno. Onesnaženje voda vpliva na celotno biosfero, ki živi v in ob vodnih telesih. Škoda, nastala z onesnaženjem voda, je velika tako za okolje kot tudi za ljudi.

Namerno onesnaževanje (kontaminacija) pitne vode je mikrobiološko onesnaženje pitne vode. To pomeni, da so v pitni vodi mikrodelci, ki so lahko biološki, kemijski ali radioaktivni. Nacionalni inštitut za javno zdravje [NIJZ] (2014) navaja, da lahko do tega pride na različne načine: od fekalij do iztekanja tekočin iz industrijskih obratov in odpadnih voda v podzemne vode ali vodna zajetja. Hkrati pa pod kontaminacijo pitne vode vključujemo tudi manipulacijo metod vzorčenja, da se prepreči ali zmanjša stroške čiščenja vode. Namerno onesnaženje pitne vode lahko povzroči bolezni ljudi in dolgoročno prekinitev dobave pitne vode, kar ima lahko katastrofalne posledice za javno zdravje.

Tatvina vode vključuje nezakonito pridobitev naravne vode s pomočjo črpanja ali preusmeritve vode iz namakalnih kanalov, rečnih sistemov, jezov ali tal vodotokov ter vode, ki je posameznik ali podjetje nista plačala in sta si jo protipravno prilastila, še preden je prišla

do odjemalca. Tatvino vode je možno izvesti na različne načine. S poškodovanjem ali odstranitvijo vodomerov, fizično nameščanjem povezovalnih vodovodnih cevi ali kot krajo vodnih cistern in drugo (The global initiative, 2014).

Poleg pregleda splošnih podatkov o storjenih kaznivih dejanjih smo v državah partnerjev projekta izvedli še temeljitejšo študijo primerov, s pomočjo katere smo pridobili natančnejši vpogled v to, kdo so storilci kaznivih dejanj zoper vode in kakšna je njihova struktura, pridobili smo podatke o modusu operandi, motivih za storitev kaznivih dejanj zoper vode ter podatke o tem, kje se tovrstna kazniva dejanja najpogosteje zgodijo.

S pomočjo strokovnjakov, ki so se zbrali na prvi evropski delavnici s področja kaznivih dejanj zoper vode, smo začeli oblikovanje ocene nevarnosti in tveganja s področja kaznivih dejanj zoper vode. Ko bo ocena tveganja končana, pa je na vrsti oblikovanje vmesnih napovedi gibanja kriminalitete zoper vodne vire v prihodnje.

Rezultati projekta bodo v pomoč organom pregona in drugim organom pri preprečevanju in odkrivanju kriminalitete zoper vode, z njihovo pomočjo bo možno predvideti, na katerih področjih je treba povečati nadzor, kako oblikovati politike in kazensko zakonodajo na področju EU.

4. Zaključki

Voda je ena izmed najbolj osnovnih človekovih potreb in je nujno potrebna za skoraj vse gospodarske dejavnosti, vključno s kmetijstvom, proizvodnjo energije, industrijo in rudarstvom (Svetovna banka, 2014). Dandanes je voda pod nepredstavljivim pritiskom, saj jo ogroža tako hitro rastoče število svetovne populacije kot tudi gospodarski sektor. Zaradi prekomerne uporabe vode ljudi in gospodarstva ter zaradi vedno večjega števila kaznivih dejanj zoper vode predstavlja vse to veliko grožnjo za čisto pitno vodo.

Do danes so se študije o varnosti oskrbe z vodo bolj osredotočale na kritično infrastrukturo in še to bolj v drugih delih sveta kot pa v Evropi, kjer ta vrsta ekološke kriminalitete še nikoli ni bila sistematično analizirana. Potreba po vodi in cena vode naj bi se po navedbah Environmental investigation agency [EIA] (2008) med letoma 2000 in 2050 povečali za 55 % po vsem svetu, tako da bo voda postala zelo privlačna za kriminalce in kriminalne organizacije. V boju proti kriminaliteti zoper vode so lahko močan regulator režim in učinkoviti mehanizmi za preprečevanje tovrstne kriminalitete, vključno z ukrepi za boj proti korupciji. Kriminaliteta zoper vode je raj za korupcijo na vseh ravneh. In če so uradniki podkupljivi, bo prizadevanje za zmanjšanje kriminalitete zoper vode zelo ovirano.

Ugotovili smo, da so v državah EU tri najbolj pogoste oblike kriminalitete zoper vode. To so: onesnaženje vode, sledi mu namerno onesnaževanje (kontaminacija) pitne/podzemne vode in tatvina vode.

Rezultati projekta bodo v pomoč organom pregona in drugim organom pri preprečevanju in odkrivanju kriminalitete zoper vode, pri zbiranju in analizi statističnih in obveščevalnih podatkov o nevarnostih, tveganjih in dobrih praksah ter pri odkrivanju povezav z drugimi oblikami kriminalitete. S pomočjo ugotovitev bo mogoče oblikovati preventivne ukrepe, saj bodo znana tako najbolj pogosta kazniva dejanja zoper vode, storilci, modus operandi in motivi, s čimer lahko zmanjšamo tovrstno kriminaliteto v prihodnje. Oblikovana bo tudi ocena tveganja za nadaljnja kazniva dejanja in razvite bodo vmesne napovedi gibanja kriminalitete zoper vode v Evropi, kar bo v pomoč pri oblikovanju politik in preventivnih ukrepov, da do porasta tovrstne kriminalitete v EU ne bo prišlo.

5. Viri

[1] Clarke, R. V. (1999). *Hot Products: understanding, anticipating and reducing demand for stolen goods* [online]. London. The Policing and Reducing Crime Unit. Available from: http://www.popcenter.org/tools/risky_facilities/PDFs/Clarke_1999.pdf [dostop 15. januar 2017]

[2] EMAN, K., 2016. Water Crimes – A Contemporary (Security) Issue. *Crimen : časopis za kriviične nauke,* 7 (1), 44–57.

[3] Environmental investigation agency [EIA]. (2008). *Environmental Crime. A threat to our future* [online]. London. Environmental investigation agency. Available from: https://eia-international.org/report/environmental-crime-2 [dostop 15. januar 2017]

[4] European Union Agency for Network and Information Security [ENISA]. (2014). *Outdated energy, water and transport Industrial Control Systems without sufficient cyber security controls require coordinated testing of capability at EU levels, says the EU's cyber security Agency ENISA* [online]. Available from: https://www.enisa.europa.eu/news/enisa-news/ics-without-sufficient-cybersecurity-controls-require-coordinated-testing-of-capability-at-eu-levels [dostop 15. januar 2017]

[5] MATTIOLI, W. AND SEGATO, L., 2016. *Environmental crimes in the water sector*. Working paper - Water crimes project.

[6] Nacionalni inštitut za javno zdravje [NIJZ]. (2014). *Pogosta vprašanja o pitni vodi* [online]. Available from: http://www.nijz.si/files/datoteke/pogosta_vprasanja_o_pitni_vodi.pdf [dostop 5. februar 2017]

[7] Svetovna banka. (n. d.). *High and Dry: Climate Change, Water, and the Economy* [online]. Available from: http://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/high-and-dry-climate-change-water-and-the-economy [dostop 15. januar 2017]

[8] Svetovna banka. (2014). *Water Resources Management: Sector Results Profile* [online]. Available from: http://www.worldbank.org/en/results/2013/04/15/water-resources-management-results-profile [dostop 7. februar 2017]

[9] The Global Initiative. (2014). *Water, water everywhere: charting the growth of organized water theft, in Analysing Organised Crime* [online]. Available from: http://globalinitiative.net/water-smuggling/ [dostop 5. februar 2017]

[10] World Wide Fund For Nature. (n. d.). *Water pollution* [online]. Available from: http://wwf.panda.org/about_our_earth/teacher_resources/webfieldtrips/water_pollution/ [dostop 5. februar 2017]