Mišičev vodarski dan

ZBORNIK

34. Mišičev vodarski dan

6. december 2023, Maribor

Z B O R N I K

34. Mišičev vodarski dan

6. december 2023, Maribor

34. Mišičev vodarski dan

Izdajatelja in organizatorja:
Vodnogospodarski biro Maribor d.o.o.
Drava Vodnogospodarsko podjetje Ptuj d.o.o.

Sorganizatorja:
Ministrstvo za naravne vire in prostor RS
Ministrstvo za naravne vire in prostor
Direkcija RS za vode

V sodelovanju:
Društvo vodarjev Slovenije
Inženirska zbornica Slovenije

Organizacijski odbor:
mag. Smiljan Juvan
Borut Roškar
Boštjan Rozman
Franc Avšič
Alenka Kovačič
Agata Suhadolnik
Tijana Mičič
Maja Ograjenšek
Mitja Trop

Oblikovanje:
Jasna Andrić

DTP in tisk:
Camera d.o.o.

Naklada:
100 izvodov

V Mariboru, 2023

Fotografija na naslovnici:
Poplave na Savinji 4. avgusta 2023 v Malih Braslovčah.
Posnetek z dronom
foto: CZ Braslovče

Fotografija na hrbtni strani:
Odsek Bistre nad Stanečevo bajto, dne 13. avgusta 2023, cca. 800 m gorvodno od sotočja z Mežo, občina Črna na Koroškem.
foto: Rok Ferme, (VGP Drava Ptuj d.o.o.)

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

626/628(497.4)(082)

MIŠIČEV vodarski dan (34 ; 2023 ; Maribor)
34. Mišičev vodarski dan : zbornik : 6. december 2023, Maribor / [organizatorja Vodnogospodarski biro Maribor [in] Drava vodnogospodarsko podjetje Ptuj]. - Maribor : Vodnogospodarski biro ; Ptuj : Drava Vodnogospodarsko podjetje, 2023

ISBN 978-961-94881-4-0
COBISS.SI-ID 172116227

Poplavljene Ravne na Koroškem, 4. avgust 2023

Kazalo

Lidija Globevnik
V spomin - Peter Muck 9

Borut Roškar, Agata Suhadolnik
Uvodnik 11

01 Poplave v Sloveniji v avgustu 2023

Neven Verdnik, Agata Suhadolnik
Vplivi poplav 2023 na nedavno izvedene vodnogospodarske ureditve 15

Saša Sobočan, Gregor Šebök
Analiza izrednih dogodkov na porečju reke Mure v letu 2023 in v zadnjih 10 letih 23

mag. Matija Bogdan Marinček
Poplave ob Savinji novembra 1990 in avgusta 2023 - Primerjava, zaključki in predlogi sanacije 35

Ana Celestina, mag. Maša Čarf, mag. Aljaž Jenič, Tjaša Kodela, dr. Kaja Pliberšek, Danilo Puklavec, Špela Smrekar
Ribe, ribištvo in poplave 46

02 Količinsko in kakovostno stanje podzemnih vod v Sloveniji

mag. Polonca Mihorko, mag. Marina Gacin, mag. Mojca Dobnikar Tehovnik
Ocena kemijskega stanja podzemne vode - danes in jutri 55

mag. Marina Gacin, mag. Polonca Mihorko, mag. Irena Cvitanič, mag. Mojca Dobnikar Tehovnik
Preiskovalni monitoring kakovosti voda v vplivnem območju Križne jame 66

dr. Janko Urbanc, dr. Metka Petrič
Pregled vodnih virov za dopolnilno oskrbo Slovenske obale s pitno vodo 76

mag. Irena Kopač
Soodvisnost upravljanja s podzemnimi vodami in prehranske varnosti 82

03 Hudourniške poplave – pogostost in vzroki

mag. Jože Papež
Pomen urejanja zaledij hudourniških območij – na primeru hudournika Bistričica.....89

04 Aktualni projekti s področja upravljanja z vodami in urejanja voda

viš.pred.dr. Jošt Sodnik, Žiga Likar, Tadej Cotelj, Erazem Kovač, Urban Kristan, Tilen Koranter
Zmanjševanje poplavne ogroženosti OPVP Vransko - Načrtovanje suhega zadrževalnika na Merinščici ter ureditev vodotokov dolvodno 101

Andraž Hribar
Oblikovanje specifičnih habitatov kot ukrepanje za zmanjšanje vplivov hidroelektrarn na okolje 118

dr. Mojca Hrovat, Anet Goljevšček, Ditka Čakš Copot, Petra Repnik, Marija Habinc
Razvoj kriterijev za opredelitev sonaravnih posegov in ureditev na področju upravljanja voda 126

Matic Noč, Urša Pečan, doc. dr. Vesna Zupanc, Jure Ferlin, doc. dr. Matjaž Glavan, Timotej Horvat, Davor Mrzlić, prof. dr. Marina Pintar
Vpliv obdelave tal na vsebnost vode v tleh v sušni rastni dobi v povodju Pesnice in Vipave 134

Marko Černe
Prilagoditev pridelave poljščin na klimatske spremembe in varovanje tal..... 141

Petra Repnik, mag. Neža Kodre, Tina Mazi, Brankica Kropf, Blažo Đurović, Marija Habinc
Vključevanje načela »NBS – na naravi temelječe rešitve« v projekte za zmanjševanje poplavne ogroženosti 146

Petra Repnik, Marija Habinc, Peter Kolenko, Boštjan Kodrič, Vesna Kotnik, Špela Petelin, mag. Rok Penec, Tjaša Benedik
Popis vodnih objektov, naprav in ureditev VONU ter pomen popisa v okviru upravljanja voda 154

dr. Matevž Vremec, mag. Irena Kopač, dr. Gerfried Winkler, dr. Steffen Birk
Uporaba Python orodij za oceno vpliva podnebnih sprememb na vodno bilanco 161

viš. pred. Matjaž Nekrep Perc, red. prof. dr. Renata Jecl, izr. prof. dr. Janja Kramer Stajnko
Primer brezkontaktnega določanja hitrosti vodotokov za potrebe hidravličnega modeliranja 167

mag. Joerg Prestor, mag. Irena Kopač
Obravnava nesreč z razlitjem naftnih derivatov v tla in podtalje na območju Slovenije 173

mag. Luka Javornik, dr. Sašo Šantl, Davor Rozman
Upravljanje s plavinami v porečju Save Dolinke na podlagi modela transporta rinjenih plavin 181

Eva Horvat, Ana Kričej, Damjan Habe, dr. Polona Pengal
Popis rečnih ovir na porečju Reke 189

Uroš Fink, Dr. Rok Soczka Mandac, dr. Mitja Bricelj, dr. Sašo Šantl
Metoda za prepoznavanje zelene infrastrukture – primer slovenskega morja in obale 194

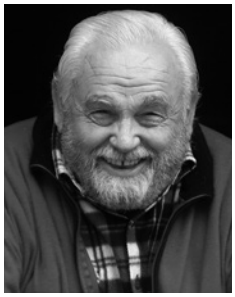
Urban Jakop, Timotej Mišič
NATURA MURA - Prvi vidni učinki ukrepov renaturacije struge Mure 200

05 Reklamni oglasi 211

V SPOMIN

Peter Muck 1930-2023

Dragemu Petru v slovo, 2. 11. 2023



Danes se poslavljamo od dragega očeta, dedka, brata, strica, prijatelja in spoštovanega kolega Petra Mucka. Pred tremi leti smo vodarji in vodarke skupaj z njegovo družino in prijatelji proslavljali njegovih čilih 90 let. In ob tej častitljivi obletnici smo v reviji Slovenski vodar zapisali kako ponosni smo na svojega vedrega, nagajivega in hudomušnega Petra. Ki poleg tega, da je spoštljiv strokovnjak inženir, tudi piše pesmi, knjige, igra na harmoniko in aktivno sooblikuje družbeno življenje. Ponosno smo s Petrom povsem do zadnjega še vedno sooblikovali nove ideje pri urejanju slovenskih rek in razmišljali o ekoloških vidikih njenega varstva. Peter nas je s svojim zgledom vedno učil spoštljivega obravnavanja velike moči vode. Tudi letošnje poplave in njene posledice je Peter redno spremljal in o njih razpravljal. Vedno je bil na tekočem z vsem dogajanjem, predvsem pa nas je povezal z modrostmi in izkušnjami vodarjev pred nami.

Peter je vodarsko strokovno pot začel na Kamniški Bistrici že leta 1947. Bil je projektant in operativni vodja del. Uvedel je veliko inovativnih rešitev na vodnogospodarskih objektih. Kasneje je operativno dejavnost prepustil mlajšim sodelavcem in se posvetil projektivni in študijski dejavnosti. Delal je na vodnogospodarskih osnovah za posamezna porečja in za celo Slovenijo. Iskal je rešitve za zadrževanje vode, in med drugim zasnoval idejo o zadrževalniku na Drtijščiči. Ves čas se je strokovno izpopolnjeval, in med drugim bral tudi tuje strokovne revije. Uredil si je strokovno knjižnico, v kateri so tudi zelo stare knjige njegovega deda, ki se je veliko ukvarjal tudi z vodarskimi deli. Z vedno novimi znanji, izkušnjami in inovativnim pristopom je tako Peter postal en izmed prvih vodarjev, ki je razmišljal tudi o ekoloških elementih urejanja voda. Koncipiral in izdelal je pilotne projekte sonaravnih ureditev vodotokov in renaturacij v Sloveniji. Tako je n.pr. razvil konceptualne rešitve sonaravnega urejana Glinščice, Gradaščice, Logaščice, Loškega potoka, Kamniške Bistrice, Rače, Savskih mrtvic, Ledave in Mislinje. Peter se je upokojil leta 1990, vendar se je še naprej udejstvoval v vodarstvu. Razvijal je metodologije določanja ekološko sprejemljivega pretoka, sonačrtoval ribje steze in različne sonaravne vodarske objekte in ureditve na rekah.

Peter je bil ljubitelj gora in glasbe. Kot glasbenik je dolga leta izvajal večerne nastope tudi kot solo ansambel za zabavno in plesno glasbo. Tudi vodarjem in vodarkam je na strokovnem izletu po reki Kolpi, po celodnevnem raftanju igral pozno v noč. In ob praznovanju svojega 90. leta je zaigral na harmoniko.

Peter je bil legenda slovenskega alpinizma, saj je že od mladih nog zahajal v hribe. Napisal je veliko člankov o gorništvu. Letos je pri Planinski zvezi Slovenije izšla tudi njegova knjiga »Spomini starega alpinista« s svojevrstno zgodovinsko vrednostjo. Peter v njej na pozitiven, samoironičen in nasploh s humorjem prežet način pripoveduje o življenju mladega alpinista povojnega časa, ko se alpinistične opreme ni dalo kar kupiti in je bilo potrebne veliko iznajdljivosti.

Njegov pripovedovalski talent pa se je udejanjal tudi v pisanju skoraj stolet dolgega urejanja reke Save, kjer je zbral in uredil spomine svojih vodarskih predhodnikov. Zapis predstavlja pomembno tehnično dediščino urejanja vodnega prostora in razvoja naselij ob reki Savi od Tacna proti Litiji. Vendar ne le naravotehnične, Peter je pisal tudi leposlovne zgodbe in pravljice. Letošnjo pomlad, ko sem ga obiskala v njegovem domu v Zaborštu, mi je podaril knjigo o deklici, ki je jedla samo bukovo listje in je sčasoma tudi sama postala bukev. Knjigo je Peter izdal v samozaložbi, ilustracije pa mu je zrisala njegova vnukinja Zala. Lepe, nežne ilustracije deklice, ki je iz lista v list knjige postajala vedno bolj sivolična, saj se je spreminjala v bukev. Zgodbica nas nazorno povleče v svet narave, v svet mističnih drevesnih bitij, ki nas gledajo, opazujejo in imajo dušo. Tak je bil naš Peter. Umetnik in inženir. Ustvarjalec svežih in ekološko učinkovitih rešitev na vodah, popisovalec jezov na reki Kolpi, mrtvic reke Save in ribjih zavetišč na reki Mislinji. Opazovalec poškodb na vodnih objektih in kreator novih ter boljših vodarskih rešitev. Odgovoren in resen kolega ter hudomušen in zabaven prijatelj, šaljiv pripovedovalec in pisatelj anekdot, zapisanih z bistroumnim jezikom. In bil je oče hčerki Desi ter dedek njenim trem hčerkam.

Bil je ponosen na vas, draga Desa in vnukinje, Iza, Urška in Zala. In mi smo ponosni, da smo ga imeli v svojih vodarskih vrstah. Hvala dragi Peter za vse. S Teboj v srcu živimo še naprej in gradimo na Tvoji dediščini znanja, vedenja in veselja do življenja.

Lidija Globevnik
Predsednica DVS

Javorski potok pod Malo Črno, 6. avgust 2023

UVODNIK

V začetku letošnjega avgusta je Slovenijo zajela vodna ujma, kakršni v času našega življenja še nismo bili priča. Prizadeta so bila porečja Selške Sore, Kamniške Bistrice, Savinje, Meže z Mislinjo, Drave, Mure,... Vzrok je bil v izjemno obilnih padavinah, katerih intenziteta je bila ocenjena na povratno dobo 250 do 500 let. Padavine so najprej povzročile proženje plazov in porast hudournikov, ki so nato povzročili obsežne poplave tudi na ravninskih odsekih vodotokov. Na porečju Drave je bilo najbolj prizadeto območje Meže s pritoki (Črna na Koroškem, Mežica, Prevalje, Ravne na Koroškem, Dravograd,...), nekoliko manj Mislinja s pritoki (Mislinja, Slovenj Gradec, Dravograd), poplave pa so se pojavile tudi ob Dravi pod Mariborom, ob Dravinji, Pesnici, ...

Ker so bili močno preseženi računski pretoki (precej nad 100-letno povratno dobo), ki so bili uporabljeni pri dimenzioniranju objektov v in ob strugi in ker so bile struge ponekod povsem zasute s hudourniškimi naplavinami in plavjem, je prišlo do popolnega razdejanja – rušile so se hiše, mostovi, ceste, uničena je bila komunalna infrastruktura, komunikacijsko omrežje...poplavljena so bila celotna naselja, industrijski objekti, prometnice, ...

Ob tem poplavnem dogodku je nastala ogromna materialna škoda, ki jo bo možno sanirati šele tekom več let. V strugah vodotokov so se pojavile številne poškodbe in porušitve objektov, ki so bili namenjeni stabilizaciji strug in izboljšanju poplavne varnosti ter s tem varovanju naseljenih območij in infrastrukture.

S strani politike in medijev se je takoj začelo z iskanjem krivcev za tako obsežne škode in našli so se dežurni krivci - koncesionarji, ki so v zadnjem obdobju le izvajali naloge upravljalca urejanja voda. Pri tem se je pozabilo na neizmerno uničevalno moč narave in razsežnosti tega dogodka ter na dejstvo, da se je v tem letu zgodilo že 11 vremenskih dogodkov, vključujoč večkratni vetrolomom, ki so bili vsi vsak posebej obravnavani kot ekstremni dogodki in katerih posledice so bile vzrok za še večjo razdiralno moč tega dogodka.

Ob pozivih k razmisleku o reorganiziranju vodnogospodarske dejavnosti, ki smo jih zasledili v medijih, bi si predvsem želeli, da se sistem vodnega gospodarstva logično nadgrajuje in ne razgrajuje. Potrebno je razmisliti o višini potrebnih finančnih sredstev, o tem kakšne vrste vodnogospodarskih ureditev in objektov so primerne na povirnih in kakšne na ravninskih odsekih vodotokov, razmisliti o načinu sodelovanja vseh deležnikov urejanja prostora, da se ne bomo lovili v časovnih zankah upravnih postopkov, o pomanjkanju kadrov in nezanimanju za stroko med mladimi in končno ne pozabiti na več kot 75 letne izkušnje obstoječih koncesionarjev. Njihove izkušnje in poznavanje terenskih značilnosti ter bogat arhiv projektne dokumentacije so nujni predpogoj za uspešno delo.

Vodna ujma, ki nas je prizadela v letošnjem avgustu, je ponovno pokazala na pomembnost urejanja povirij in na številne slabosti pri umeščanju objektov v prostor, pa tudi pri načrtovanju objektov in njihovem dimenzioniranju. Predvsem pa smo se lahko prepričali, da absolutne varnosti ni.

V bodoče bo ponovno potrebno prevetriti hidrološke podatke in ob določanju povratnih dob, tako padavin kot pretokov visokih vod, upoštevati tudi letošnje dogodke.

In ja, tudi zidove bomo morali v strugah graditi še naprej, če hočemo zmanjšati škode in obvarovati že obstoječa naselja in prometnice, sicer bo potrebno vse to odstraniti iz poplavnih območij. Tretje možnosti ni. Zato je toliko pomembneje, da se novi objekti v poplavna območja ne umeščajo, kjerkoli je to mogoče, pa bi jih bilo smotrno iz njih umakniti. Če ne želimo z ureditvami, ki jih je nujno potrebno izvajati, poslabšati poplavnih razmer na dolvodnih odsekih, je potrebno pristopiti tudi k umeščanju v prostor in gradnji zadrževalnikov – tako suhih kot mokrih, katerih funkcija je lahko večstranska. Za izvedbo potrebnih ureditev je ob vsem tem odločilna ustrezna politika države pri pridobivanju in zagotavljanju za gradnjo potrebnih zemljišč. Vsi načrtovani ukrepi pa morajo v največji možni meri slediti tudi sonaravnim principom urejanja voda.

Člana organizacijskega odbora MVD

Borut Roškar, udig
Agata Suhadolnik, udig

01

Poplave v Sloveniji v avgustu 2023

VPLIVI POPLAV 2023 NA NEDAVNO IZVEDENE VODNOGOSPODARSKE UREDITVE

Neven Verdnik, mag.inž.ok.grad., VGP Drava Ptuj, d.o.o., Žnidaričevo nabrežje 11, Ptuj

Agata Suhadolnik, univ.dipl.inž.grad., VGP Drava Ptuj, d.o.o., Žnidaričevo nabrežje 11, Ptuj

Povzetek

V referatu so obravnavani vplivi in poškodbe, ki so nastale na nedavno izvedenih vodnogospodarskih ureditvah na rekah Mislinji (Pameče) in Polskavi (Lancova vas – Lovrenc na Dravskem Polju), po katastrofalnih poplavah v avgustu 2023. Predstavljene so projektirane ureditve in poškodbe, ki so nastale na območju le-teh. Preverili smo glavne razloge, zakaj je do poškodb prišlo in podali predloge, kako bi se podobne poškodbe v prihodnje minimirale. Zajeli smo tudi vpliv poplav na »mehkejših« ureditvah v obliki lesenih kašt, in preverili, kako so se le-te odrezale v času poplav.

Uvod

V začetku letošnjega avgusta je Slovenijo zajela vodna ujma, kakršni v času našega življenja še nismo bili priča. Vzrok je bil v izjemno obilnih padavinah, katerih intenziteta je bila lokalno ocenjena na povratno dobo 250 do 500 let. Padavine so najprej povzročile proženje plazov in porast hudournikov, ki so nato povzročili obsežne poplave tudi na ravninskih odsekih vodotokov. Na porečju Drave je bilo najbolj prizadeto območje Meže s pritoki (Črna na Koroškem, Mežica, Ravne na Koroškem, Prevalje, Dravograd, idr.), poplave nekoliko manjšega obsega so se pojavile tudi ob Dravi pod Mariborom, ob Dravinji, Pesnici in drugih vodotokih.

Ker so bili močno preseženi računski pretoki (precej nad 100-letno povratno dobo), ki so bili uporabljeni pri dimenzioniranju objektov v in ob strugi in ker so bile struge ponekod povsem zasute z naplavinami, je prišlo do popolnega razdejanja, kjer je voda rušila hiše, mostove, ceste, uničena je bila komunalna infrastruktura, komunikacijska omrežja, poplavljena so bila celotna naselja, industrijski objekti, prometnice, idr.. Ob tem poplavnem dogodku je nastala ogromna materialna škoda, ki jo bo potrebno sanirati še več let. V strugah vodotokov so se pojavile številne poškodbe in porušitve objektov, ki so bili namenjeni stabilizaciji struge in izboljšanju poplavne varnosti ter s tem varovanju naseljenih območij in infrastrukture.

Vsebina

Po umiku poplavnih vod smo opravili terenske preglede nastale škode po poplavah v avgustu 2023 in na podlagi tega ugotovili, katere vrste objektov takšni ujmi najbolje kljubujejo. V nadaljevanju je prikazano stanje objektov po letošnji povodnji na dveh odsekih, ki sta bila izvedena nedavno in sicer na območju reke Mislinje v Pamečah in Polskave na območju med Lancovo vasjo in Lovrencem na Dravskem Polju.

Mislinja v Pamečah (projekt: »Zagotovitev poplavne varnosti industrijske cone ob reki Mislinji v Pamečah«, PZI, št. 146/19-AS, VGP DRAVA Ptuj, d.o.o., januar 2020.)

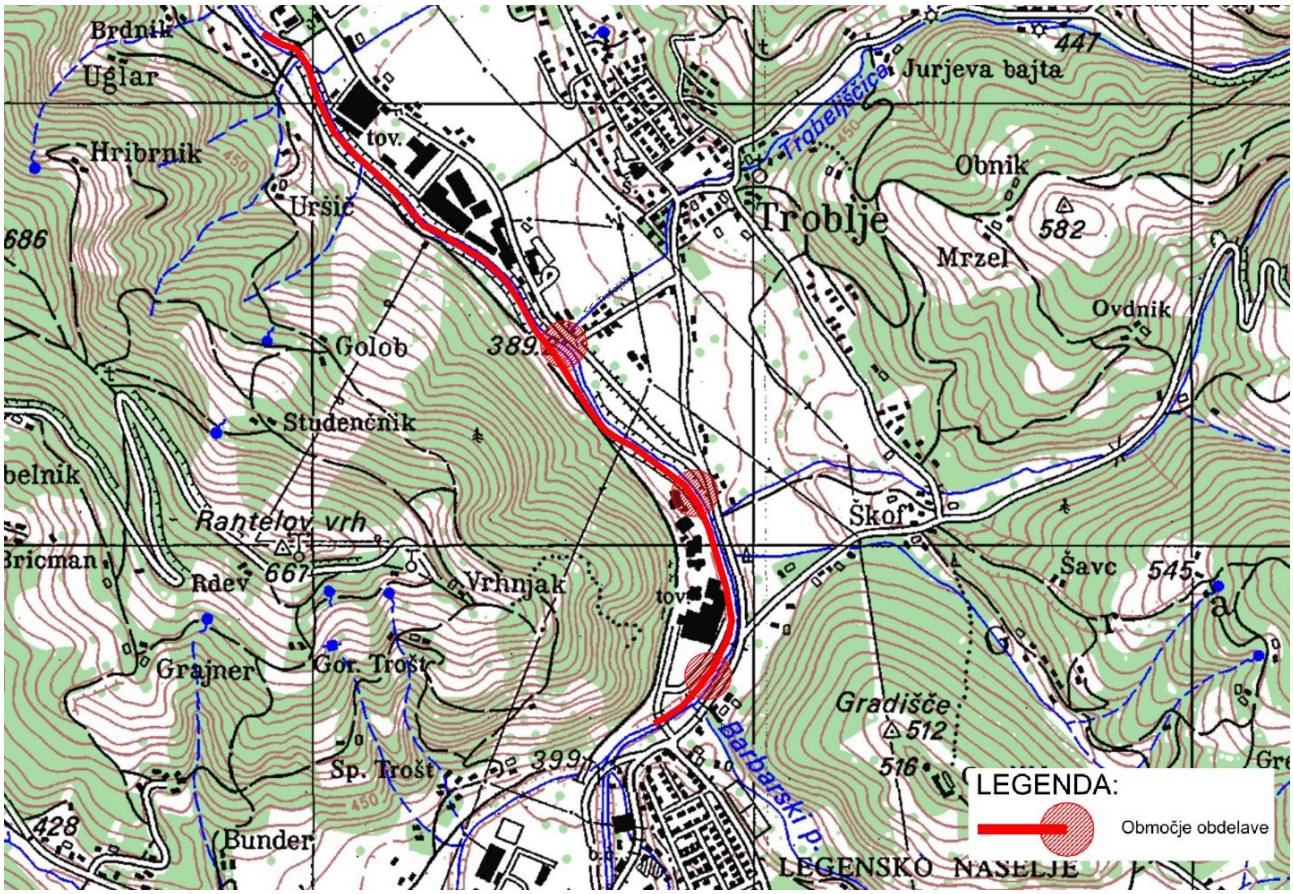
V letih 2020/21 je bila izvedena ureditev struge Mislinje na območju industrijske cone Pameče. Cilj urejanja je bil izboljšanje poplavne varnosti poseljenih območij ob strugi na obravnavanem odseku. Dela so se izvajala po gradbenem dovoljenju številka: 35105-107/2019/8 1096-05, ki je bilo s strani Republike Slovenije, Ministrstva za okolje in prostor, Direktorata za prostor, graditev in stanovanja, izdano dne 25.3.2020.

Na območju Mislinje v skupni dolžini 2185 m so bile izvedene naslednje vodnogospodarske ureditve:

1. vzpostavitev pretočnega profila z ureditvijo dvojnega pretočnega profila s širino dna do 13,00 m v skupni dolžini 1.486,50 m,
2. vzpostavitev poplavne berme na levem in desnem bregu, zavarovanje s kamnom lomljencem v višini 2,0 m,
3. odprava zožitev pretočnega profila in izravnava nivelete dna v dolžini 2185 m,
4. sanacija obstoječe poškodovane hrapave drče,
5. izvedba protipoplavnega zidu (parapetni zid) dolžine 99,50 m in višine 0,8 m,
6. vzdrževalna dela na obstoječem nasipu skupne dolžine 641,00 m in višine do 1,0 m,
7. vzdrževalna dela na opornikih mostu,
8. sanacija usada,
9. ureditve ribjih skrivališč (motilci toka v obliki lesenih kašt (bočne jezbice) in skal samic) in
10. krajinska ureditev (zasaditev in zatravitev).

Urejena struga zagotavlja industrijski coni poplavno varnost pred 100-letnimi visokimi vodami. Ureditev je zasnovana tako, da se voda še vedno razliva na področja, kjer ne povzroča večje škode, torej so kmetijske površine in poplavni gozd ob visokih vodah še vedno poplavljeni, kar omogoča vsaj delno ohranitev poplavnih površin tudi po ureditvi.

Po poplavnem dogodku v avgustu 2023 smo dne 6. in 8. avgusta odpravili na teren, kjer smo v posnetek zajeli sledeče posnetke poškodb na območju Mislinje v Pamečah. Izkazalo se je, da so obravnavane vodnogospodarske ureditve zagotovile poplavno varnost industrijski coni, kjer nikjer ni prišlo do prelivanja protipoplavnih nasipov oz. zidov, prav tako ni preplavilo desnobrežne regionalne ceste med Slovenj Gradcem in Dravogradom.



Slika 1: Območje izvajanja del na vodotoku Mislinja v Pamečah (vir: VGP DRAVA Ptuj, d.o.o., GURS DTK 50, L 2017).

Slika 2: Na sliki so prikazana dela pod točko: 1, 2, 9, 10 (vir: VGP DRAVA Ptuj, d.o.o.).

Vzdolž celotnega odseka novo izvedenih vodno gospodarskih ureditev je prišlo do manjših in večjih poškodb, ki so praviloma nastale na območju, kjer je bila predvidena zaščita brežin s kamnom zloženim v suho (na zemeljski podlagi) oz. je bila brežina zgolj proti erozijsko zavarovana s kokosovim pletivom ali zatravljena.

Na sliki 3 in 4 so prikazane poškodbe na območju desnega brega Mislinje vzdolž regionalne ceste Slovenj Gradec – Dravograd. Poškodbe so nastale zaradi poškodb na desnobrežnem kamnitem zavarovanju – kamen v suho, ki ni vzdržalo vodnih sil med poplavnim dogodkom, posebej, ker se odsek nahaja v izraziti konkavi. Zaradi poškodb ob-

Slika 3: Poškodbe desne brežine na območju regionalne ceste Slovenj Gradec – Dravograd (vir: VGP DRAVA Ptuj, d.o.o.).

Slika 4: Poškodbe desne brežine na območju regionalne ceste Slovenj Gradec – Dravograd (vir: VGP DRAVA Ptuj, d.o.o.).

režnega zavarovanja je prišlo do porušitve dela regionalne ceste in prekinitve prometa. Prav tako je prišlo do poškodb na razlivih površinah, kjer je zaradi visoke hitrosti vodnega toka in prevelikih strižnih sil, vegetativna zaščita brežin na kritičnih mestih popustila in je prišlo do zajed, ki so se širile dolvodno.

Na sliki 5 je prikazana primerjava območja, kjer so bili izvedeni ukrepi vzpostavitve enakomernega pretočnega profila, izvedb desnobrežne berme, ribjih skrivališč in motilcev toka. Izkazalo se je, da so učinki enakomernega pretočnega prereza onemogočili prekomerno odlaganje erodiranega materiala. Do poškodb je prišlo na območju zavarovanja brežin v ožjem vodnem toku, saj so bila le-ta zavarovana z kamnom v suho in z zatravitvijo brežin, ki ni vzdržalo vodnih sil med poplavnim dogodkom, kljub temu, da je bila travna ruša že dobro razraščena. Ribja skrivališča so ostala na mestu, odneslo je vegetativni del skrivališča (kokosovo pletivo in zasaditev).

Motilci toka, visokovodni zidovi, kamnito betonska obrežna zavarovanja, drče in ostali objekti, grajeni iz odpornejših materialov, so poplavni dogodek prestali brez poškodb.

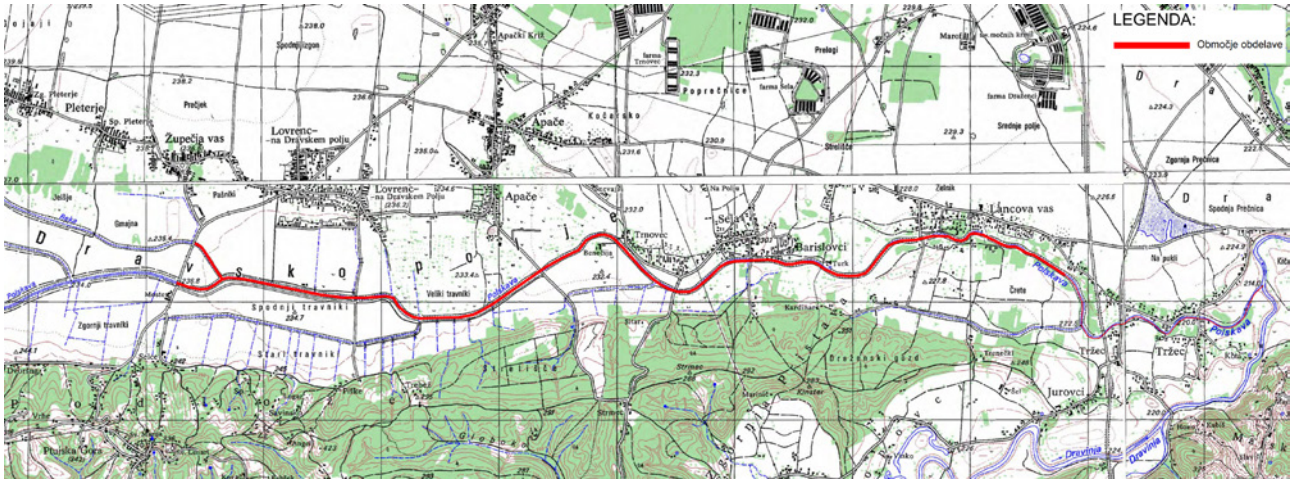
Slika 5: Primerjava območja izvedenih VGU po izvedbi (levo) in po poplavi (desno) (vir: VGP DRAVA Ptuj, d.o.o.).

Polskava med Lancovo vasjo in Lovrencem na Dravskem Polju (projekt: »Polskava – Zmanjšanje poplavne nevarnosti na območju občin Kidričevo in Videm pri Ptuju«, PZI, št. 318/21-AS-PZI, VGP DRAVA Ptuj, d.o.o., maj 2022.)

Namen posega, ki se je pričel izvajati pomladi 2022 in se je zaključil v mesecu oktobru 2023, je zagotovitev poplavne varnosti naseljenim območjem ob Polskavi in Framskem potoku na območju občin Kidričevo in Videm. Za izvedbo del je bilo 11.01.2022 s srani RS Upravna enota Ptuj izdano gradbeno dovoljenje št. 351-1362/2020-24 (04092).

Na območju ureditev Polskave v skupni dolžini ca 9 km so bile izvedene naslednje vodnogospodarske ureditve:

1. Vzpostavitev normalnega asimetričnega profila s širino dna b = 7 m in naklonom brežin približno m = 1:2 (prilagajanje sonaravnim ureditvam in obstoječim robovom struge).
2. Znižanje nivelete vodotoka s stabilizacijo dna (leseni talni pragovi) in vzpostavitev enakomernega padca 1.5 ‰ – 1.2 ‰,
3. Zavarovanje brežin s kamnom v suho na območju naselji in prometnic,
4. Lokalna vzpostavitev poplavne berme na levem in desnem bregu,
5. Menjava neustreznih premostitvenih objektov (4 novi mostovi, 3 nove brvi, 5 prilagoditev obstoječih premostitev in izgradnja prehodne rampe za težko mehanizacijo),
6. Odstranitev obstoječe hrapave drče,
7. izvedba protipoplavnega zidu (parapetni zid) dolžine 580 m in višine do 0,5 m,
8. Izvedba naravnih pragov za popestritev vodnega toka,
9. Izvedba tolmunov za popestritev vodnega toka,



Slika 6: Območje izvajanja del na vodotoku Polskava (vir: VGP DRAVA Ptuj, d.o.o., GURS DTK 50, L 2017).

Slika 7: Prikaz izvedbe naravnega pragu (levo) in ribjega skrivališča (desno). (vir: VGP DRAVA Ptuj, d.o.o.)

10. ureditve ribjih skrivališč (motilci toka v obliki izvedle s vkopavanjem odmrlih dreves s koreninskim sistemom v strugo),
11. Ureditev dveh manjših in ene velike ekološke niše in
12. Krajinska ureditev (zasaditev in zatravitev).

Znotraj naselij je izvedenih več lesenih talnih pragov s tolmuni, izven naselij pa je na obeh potokih več motilcev vodnega toka iz izruvanih debel, podobno kot ribja zavetišča iz koreninskih sistemov izruvanih dreves. Niveleta dna je mestoma poglabljena pod računsko niveleto, s čimer se posnema naravno spreminjanje nivelete dna obstoječe struge in s tem omogoča menjavanje poglobljenih delov struge (tolmunov) in plitvih odsekov (brzic).

Ekološke niše so izvedene kot rokavi s poplavnimi depresijami in avtohtono grmovno in drevesno zarastjo, največja ekološka niša na levem bregu Polskave v Lancovi vasi je izvedena kot znižanje brega z vzpostavitvijo rokava s stalno vodo in zasaditvijo celotnega območja (na sliki 8 zasaditev še ni bila izvedena).

Na obeh bregovih je izvedena nadomestna zasaditev, ki pa je pretežno na desnem bregu Polskave, ki predstavlja južno stran struge, s čimer se omogoči senčenje vodne gladine, istočasno pa se prepreči pretirano senčenje obdelovalnih površin ob strugi. Zarast na zgornji tretjini brežine ostaja neobsekana, z vejami do tal. Posamezna drevesa, ki se posadijo ob vznožju brežine pa se sadijo v ravni vrsti in se jim veje do gladine visokih vod obsekajo, tako da predstavljajo čim manjšo oviro za pretok visokih vod, njihov koreninski sistem pa služi kot skrivališče za vodne organizme.

Po poplavnem dogodku v avgustu 2023 smo se dne 4. in 5. avgusta odpravili na teren, kjer smo zajeli sledeče posnetke poškodb na območju Polskave med Lancovo vasjo in Lovrencem na Dravskem Polju. Izkazalo se je, da so obravnavane vodnogospodarske ureditve zagotovile poplavno varnost celotnega območja, kjer nikjer ni prišlo do prelivanja brežin vodotoka.

Vzdolž celotnega odseka novo izvedenih vodnogospodarskih ureditev je prišlo do številnih in obsežnih poškodb, ki so bile pretežno posledica erozije brežin, predvsem na mestih, kjer zaradi naravovarstvenih pogojev varovanje brežin s kamnitimi zložbami (kamen v suho), ni bilo dovoljeno.

Slika 8: Velika ekološka niša - zračni posnetek in posnetek s tal med izvajanjem del. (vir: VGP DRAVA Ptuj, d.o.o.)

Slika 9: Poškodbe brežin Polskave v konveksi in konkavi. (vir: VGP DRAVA Ptuj, d.o.o.)

Prav tako je težavo povzročil čas nastanka poplavnega dogodka, ki se je zgodil takoj po tem, ko so bile brežine bile na novo formirane, humizirane in zatravljene, koreninski sistem travne ruše, ki predstavlja glavno odpornost na strižne sile, pa še ni bil povsem vzpostavljena. Posledično je do poškodb prihajalo tudi na ravninskih odsekih vodotoka.

Izkazalo se je, da so »mehkejše« ureditve v smislu lesenih obrežnih zavarovanj, lesenih pragov, ribja skrivališča in ekološke niše poplavne dogodke prestale brez večjih poškodb. Problem so lokalno predstavljali le nanosi, ki so se zaradi poškodb brežin odlagali in zasipavali niveleto vodotoka.

Vpliv poplav na posameznih lokacijah

Na območju Mislinje in Meže smo se osredotočili na dve ureditvi brežin z izvedbo lesenih kašt in sicer na levem in desnem bregu Mislinje v Bukovski vasi in desnem bregu Meže v naselju Dobrije (ČN Ravne).

Slika 10: Poškodbe brežin na ravninskih delih vodotoka. (vir: VGP DRAVA Ptuj, d.o.o.)

Slika 11: Lesene kašte na reki Mislinji v Bukovski vasi. (vir: Atlas voda, VGP DRAVA Ptuj, d.o.o.).

Slika 12: Lesene kašte na reki Meži pri čistilni napravi Ravne. (vir: Atlas voda, VGP DRAVA Ptuj, d.o.o.).

V obeh primerih se je izkazalo, da je lesena zgradba vzdržala visokovodni dogodek, poškodbe so v obeh primerih nastale na zatravljenih brežinah nad kaštami, kjer je zarast brežin na kritičnih mestih popustila in je prišlo do zajed, ki so se širile dolvodno.

Vodnogospodarske ureditve so se v preteklosti izvajale z namenom doseganja zaščite naselij pred poplavami in osuševanjem vodnih zemljišč za kmetijske namene. Regulacije so se izvajale na območjih, kjer so se razvijala naselja, ne glede na upoštevanje naravnih zakonitosti vodnih teles (razlivane površine, meandri, mokrišča, idr.). Posledica teh regulacij je bila preoblikovanje rek in potokov v ravne struge, kar je omogočilo uporabo območij poplavne ravnice za druge namene, na primer intenzivno kmetijstvo ter poselitev, s tem pa so regulacije vodotokov bistveno spremenile hidrološki režim teh območji.

Posledice tovrstne pretekle prakse se ob poplavnih dogodkih večjih povratnih dob izrazito pokažejo na območju vodnogospodarskih ureditev, kjer zaradi hitrega odtekanja vode, ki je posledica zgoraj navedenih preteklih praks, prihaja do velike rušilne moči vode, ki pred seboj odnaša praktično vse ureditve, razen tistih, ki so izvedene iz kamnito betonskih in drugih odpornejših materialov. Ta učinek je še posebej izrazit na vodotokih hudourniškega tipa, kot sta reka Meža in Mislinja (s pritoki).

Za preprečevanje tovrstnih poškodb v prihodnje, bo potrebno strateško načrtovanje ukrepov, kjer se bodo vključevale različne stroke in deležniki in kjer bo potrebno jasno določiti območja, kjer bomo zagotavljali poplavno varnost ljudi in njihovega bivalnega okolja, ter območja, ki jih bomo ohranili in marsikje tudi povrnili v naravno stanje in s tem izboljšali poplavno varnost celotnih vodnih sistemov.

Zaključek

Vodna ujma, ki nas je prizadela v letošnjem avgustu, je pokazala na pomembnost urejanja povirij in na številne slabosti, predvsem pri umeščanju objektov v prostor, ter načrtovanju objektov in njihovem dimenzioniranju. Predvsem smo se ponovno zavedli, da absolutne varnosti ni. Ponovno bo potrebno prevetriti hidrološke podatke in ob določanju povratnih dob, tako padavin kot pretokov visokih vod, upoštevati tudi letošnje dogodke. Prav tako je potrebno, predvsem v povirjih, premisliti in na novo zastaviti potrebna varnostna nadvišanja nad gladinami visokih vod, predvsem pa je potrebno dobro premisliti, kakšne vrste vodnogospodarskih ureditev in objektov so primerne na povirnih in kakšne na ravninskih odsekih vodotokov. In ja, tudi zidove bomo morali v strugah graditi še naprej, če hočemo zmanjšati škode in obvarovati že obstoječa naselja in prometnice, če ne, bo potrebno vse to odstraniti iz poplavnih območij. Tretje možnosti ni. Zato je toliko pomembneje, da se novi objekti v poplavna območja ne umeščajo, kjerkoli je to mogoče, pa bi jih bilo smotrno iz njih umakniti.

ANALIZA IZREDNIH DOGODKOV NA POREČJU REKE MURE V LETU 2023 IN V ZADNJIH 10 LETIH

Saša Sobočan, dipl. gosp. inž. (UN), POMGRAD-VGP d. d., Lipovci 256b, 9231 Beltinci

Gregor Šebök, dipl. inž. gradb. (UN), POMGRAD-VGP d. d., Lipovci 256b, 9231 Beltinci

Povzetek

V sodobnem času lahko na porečju reke Mure, podobno kot v ostalih delih sveta, opazujemo vedno večje vplive podnebnih sprememb, ki se odražajo v pogosti obliki ekstremnih razmer, ki imajo za posledico povišane vodostaje in v skrajnem primeru tudi poplave. Prav tako so poplave ena izmed najpogostejših in najdražjih nesreč. Letošnje poplave, ki so prizadele Slovenijo 4. avgusta 2023 so najhujša naravna nesreča v zgodovini Slovenije. K visokovodnemu stanju rek so prispevali predhodna namočenost in številni nalivi, ki so se zvrstili med 3. in 6. avgustom. V Sloveniji so bile že večkrat prisotne velike poplave zaradi izrednih padavin, na primer na Dravi novembra 2012, vendar pa nikoli ne istočasno na skoraj dveh tretjinah Slovenije. Takšne situacije spremljajo uničujoči dogodki, ki negativno vplivajo na človeška življenja, lastnino in okolje. Ugotovimo lahko, da se je v zadnjih letih povečala nevarnost nesreč, ki lahko na okolje, vključno na vodo in vodni ekosistem. Rečne poplave so pogosta naravna nesreča v Evropi, ki je v zadnjih treh desetletjih skupaj z neurji terjala smrtne žrtve, prizadela na milijone ljudi in povzročila ogromno gospodarsko škodo. Podnebne spremembe bodo v prihodnjih letih verjetno še povečale pogostost poplav v Evropi. Močne nevihte naj bi zaradi višjih temperatur postale pogostejše in intenzivnejše, po vsej Evropi pa bodo pogostejše tudi hudourniške poplave.

V referatu obravnavamo izredne dogodke na porečju reke Mure, podrobneje za letošnje leto 2023 in primerjamo z dogodki v zadnjih desetih letih.

V uvodu predstavimo dejstva glede samega porečja in obravnavanih podatkov na podlagi katerih smo izvedli analizo in primerjavo. V prvem poglavju podrobno opišemo in slikovno prikažemo izredne dogodke v letošnjem letu. V drugem poglavju podamo podrobnejše ugotovitve analize izrednih dogodkov v zadnjih 10 letih. Nato sledi primerjava dogodkov, ugotovitve in zaključki.

Uvod

Porečje Mure s površino 1.389 km^2 zavzema 8 % celotnega vodnega območja Donave oziroma 7 % vseh porečij in povodij v Sloveniji. Dolžina vseh vodotokov na porečju Mure meri 2.612 km oziroma 9 % dolžine vseh vodotokov v Sloveniji. V primerjavi z drugimi porečji ter povodji je gostota rečne mreže na porečju Mure precej visoka, saj znaša 2 km/km^2. Večjo gostoto ima le še porečje Drave. Mura izvira v Avstriji, in sicer na območju Alp v Radstadtskih turah, kjer se poleti talijo snežišča in

ledeniki. Največ vode ima zato maja in junija, najmanj pa pozimi. Več kot dve tretjini porečja Mure zavzemajo kmetijske površine, skoraj tretjino pa gozdovi. Največje urbano območje je Murska Sobota z 20.266 prebivalci. Na porečju Mure sicer prebiva 128.984 prebivalcev, kar znaša 6 % vsega prebivalstva v Sloveniji. Najpomembnejša pritoka sta Ledava in Ščavnica.

Ena najhujših poplav ob našem delu Mure je bila 11. in 12. 11. 1925. Po močnem in dolgotrajnem deževju se je Mura na široko razlila in poplavila številne vasi na obeh straneh. Najhuje so bili prizadeti Veržej, Dokležovje in Petišovci, tudi v Murski Soboti je voda segala več kot dva metra visoko. Hude poplave so bile ob Muri še avgusta 1926, avgusta 1938, 13.–17. 7. 1972 in nazadnje avgusta 2005. Ob tej poplavi so v zadnjih desetletjih zgrajeni nasipi v polni meri izpolnili svojo nalogo, saj kljub zabeleženemu pretoku (v Gornji Radgoni 22. 8. 2005: 1350 m^3) ni prišlo do katastrofalnih poplav. Ob letošnjih poplavah avgusta je reka Mura dosegla rekorden pretok in sicer 1461 m^3/s.

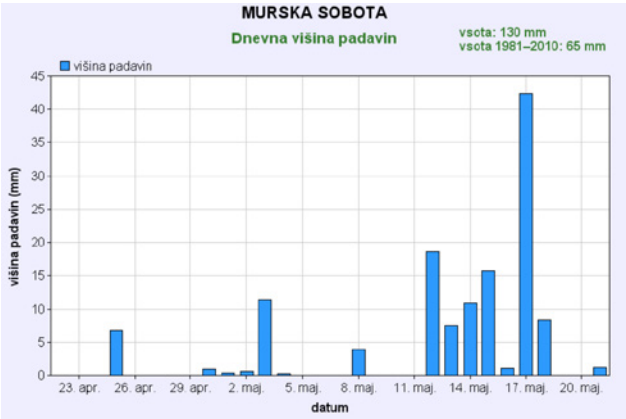
Izredni dogodki na porečju reke Mure v letu 2023

MAJ 2023

Zaradi velike predhodne vodnatosti in razmočenega terena zaradi vremenskih razmer na območju Pomurja v preteklih dneh (padavine in nalivi od 11. do 14. maja 2023), je bila dne 15. maja 2023 ob 08:00 uri izdana hidrološka napoved, ki je za vzhodno Slovenijo napovedala ponovno naraščanje vodotokov (napovedane ponovne padavine in nalivi). Predvideno je bilo razlivanje vodotokov in naraščanje poplavljenih površin popoldan dne 16. maja in v noči na 17. maj. Napovedi so bile v naslednjih dneh še večkrat osvežene.

Padavine so se v noči na torek (16. maja) okrepile. Prehod fronte je zajel celo državo. Ob 8:00 uri je bila izdana nova hidrološka napoved, ki je znova opozarjala na močno naraščanje rek v vzhodi Sloveniji, predvsem je bilo pričakovano obsežnejše razlivanje reke Ščavnice in razlivanje Mure med protipoplavnimi nasipi.

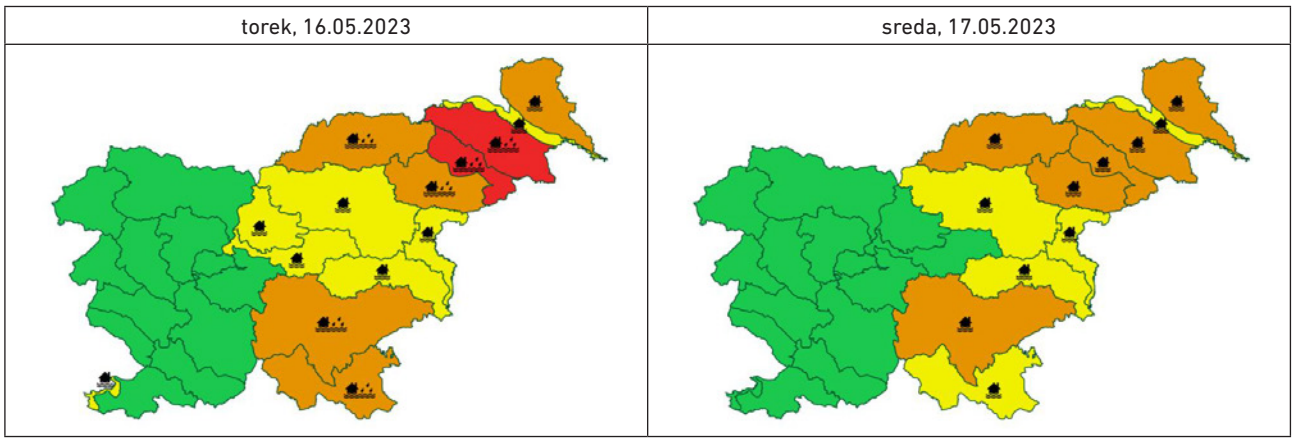
V noči na torek 16. maja in v sredo 17. maja je padlo največ padavin na območju Prekmurja. Glavna meteorološka postaja v Murski Soboti je zabeležila 43 mm padavin v dneh 16. in 17. maj, v četrtek 18. maja pa 8 mm.



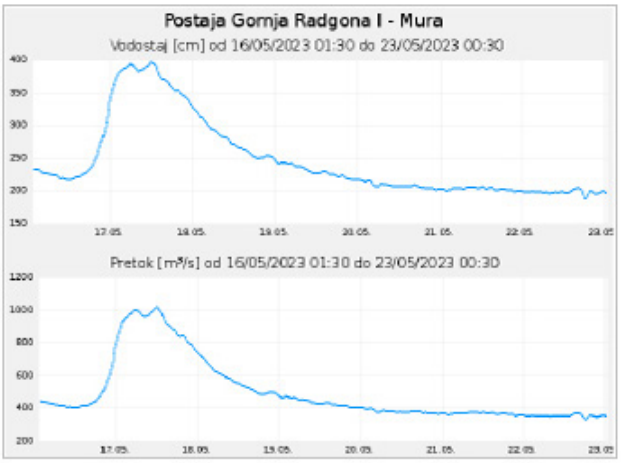
Slika 2:Višina zapadlih mesečnih padavin na meteorološki postaji v Murski Soboti (ARSO)

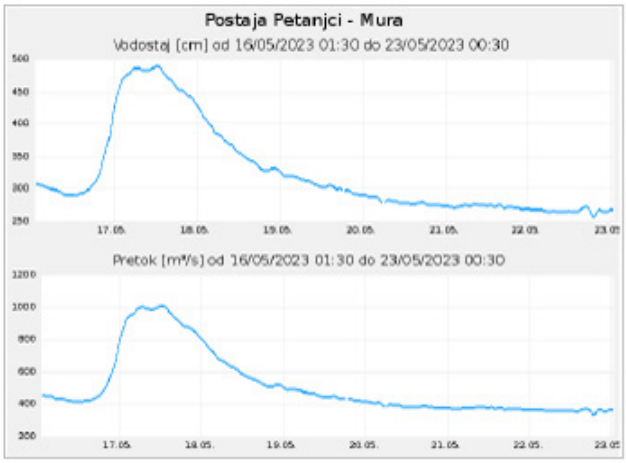
V sredo 17. maja ob 8:00 uri je bila izdana nova hidrološka napoved: reki Mura in Ščavnica poplavljata. Napovedano je zmanjševanje poplavljenih površin čez dan, vzdolž reke Mure pa se bodo poplavljene površine še nekoliko povečale.

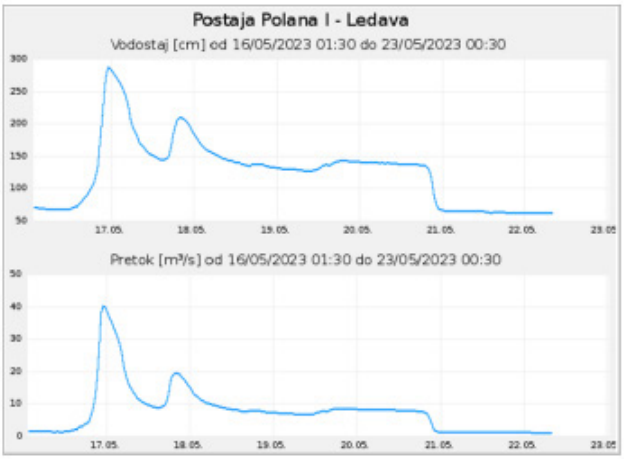
Vodotoki so v dneh med 16. majem in 19. majem zaradi obilnih padavin narasli na porečju Ščavnice, Mure in tudi Ledave. Na porečju reke Ščavnice so se vodotoki razlivali na lokacijah pogostih poplav, predvsem na spodnjem toku reke Ščavnice s pritoki (občina Razkrižje in Ljutomer). Ponoči 16. maja je reka Ščavnica na vodomerni postaji v Pristavi zabeležila največji pretok 72,4 m^3/s z vodostajem 351 cm.

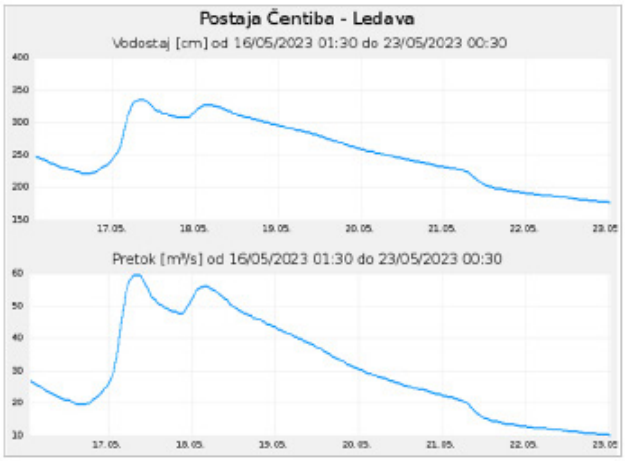


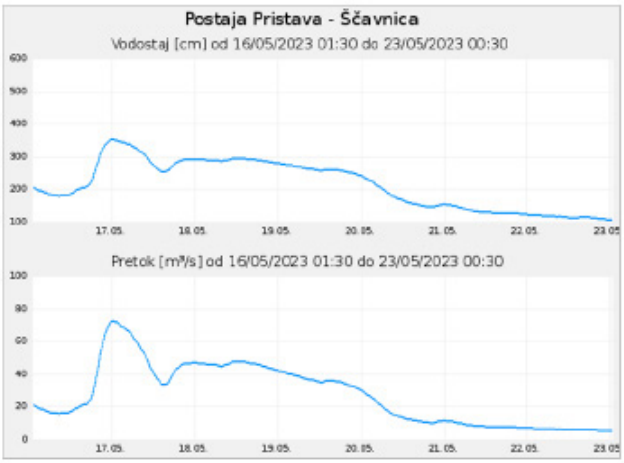
Slika 1: Izdana hidrološka napoved dne 16.05.2023 ob 8:00 (ARSO)

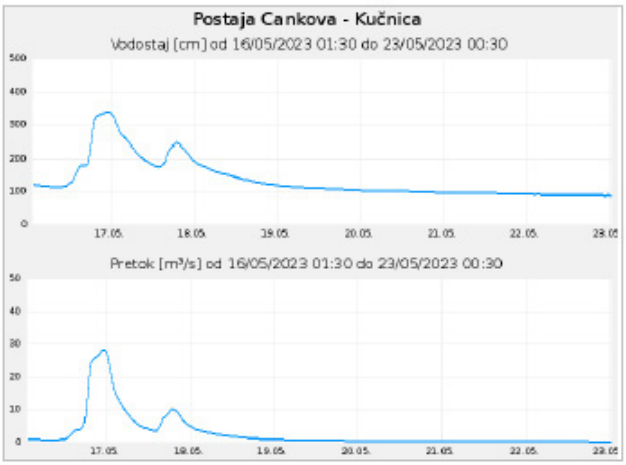












Na porečju reke Mure je reka Mura poplavila območja med visokovodnimi nasipi in območja običajnih poplav. Največji zabeležen pretok v teh dneh reke Mure je znašal 1012 m^3/s ob vodostaju 396 cm dne 17. maja ob 12:00 uri. Veliko težav je bilo s povratnimi zaklopkami na visokovodnih nasipih, ki zaradi dotrajanosti niso tesnile in so prepuščale vodo na zračno stran. Na VVN Ižakovci (občina Beltinci) se je izvedla sanacija nasipa z vrečami peska na območju precejanja nasipa. Narasli so tudi pritoki reke Mure (Hercegovščak, Boračevski potok, Kučnica). Narasla je tudi reka Ledava, prelivanje pa ni bilo zabeleženo. Predvsem so narasli pritoki reke Ledave (Martjanski potok in pritoki iz Goričkega), ki pa so ostajali v svoji strugi.

Vodotoki so v dneh med 16. majem in 19. majem zaradi obilnih padavin narasli na porečju Ščavnice, Mure in tudi Ledave. Na porečju reke Ščavnice so se vodotoki razlivali na lokacijah pogostih poplav, predvsem na spodnjem toku reke Ščavnice s pritoki (občina Razkrižje in Ljutomer). Ponoči 16. maja je reka Ščavnica na vodomerni postaji v

Slika 3: Zadrževalnik Gajševsko jezero

Slika 4: Napolnjen suhi zadrževalnik Bolehnečici

Slika 5: Ščavnica v Razkrižju proti iztoku v Muro ob poplavah maja 2023

Slika 6: Mura na Melincih ob poplavah maja 2023

Slika 7: Mura v Benici pri Lendavi ob poplavah maja 2023

Pristavi zabeležila največji pretok 72,4 m^3/s z vodostajem 351 cm.

Na porečju reke Mure je reka Mura poplavila območja med visokovodnimi nasipi in območja običajnih poplav. Največji zabeležen pretok v teh dneh reke Mure je znašal **1012 m^3/s** ob vodostaju 396 cm dne 17. maja ob 12:00 uri. Veliko težav je bilo s povratnimi zaklopkami na visokovodnih nasipih, ki zaradi dotrajanosti niso tesnile in so prepuščale vodo na zračno stran. Na VVN Ižakovci (občina Beltinci) se je izvedla sanacija nasipa z vrečami peska na območju precejanja nasipa. Narasli so tudi pritoki reke Mure (Hercegovščak, Boračevski potok, Kučnica). Tudi reka Ledava je narasla, prelivanje ni bilo zabeleženo. Predvsem so narasli pritoki reke Ledave (Martjanski potok in pritoki iz Goričkega), vendar so ostajali v svoji strugi.

AVGUST 2023

Za območje porečja reke Mure je Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) od 2. avgusta naprej napovedala izredna visokovodna stanja, ki bodo nastopila kot posledica izredno velike količine padavin na območju Pomurja in kot posledica velikega pretoka iz sosednje Avstrije. Direkcija za vode Republike Slovenije (DRSV), sektor območja porečja Mure, je skupaj s koncesionarjem Pomgrad – VGP d. d. po izdanih napovedih začela s predhodnimi aktivnostmi zaščite pred visokimi vodami, med samimi visokovodnimi dogodki je upravljala z vodno infrastrukturo in preverjala stanja vodne infrastrukture, opozarjala na kritična mesta na vodni infrastrukturi ter izvajala nujna vzdrževalna in sanacijska dela na vodni infrastrukturi. Dogodkov zaradi visokovodnega stanja na porečju reke Mure je bilo v tem obdobju izredno veliko, aktiviralo se je vso razpoložljivo vodno infrastrukturo, s katero se upravlja na porečju reke Mure.

Vremensko dogajanje na območju Pomurja je bilo v zadnjih dneh julija 2023 precej raznoliko, saj so Pomurje dnevno pogosto prešle močne nevihtne celice z obilnim dežjem, po drugi strani pa je bilo dni brez dežja (oz. suhih dni) precej malo. Posledično je bil teren zmeraj nekoliko razmočen. Padavine tudi v začetku avgusta niso pojenjale, zato je bila dne 2. avgusta 2023 ob 8:00 uri izdana hidrološka napoved, ki je za severovzhodno Slovenijo napovedovala naraščanje in posledično visoke pretoke vodotokov (napovedane obilne padavine). Predvideno je bilo hitro naraščanje vodotokov 3. avgusta zvečer in v noči na 4. avgust ter 4. avgusta čez dan, ko bo teren že precej razmočen. Koncesionar Pomgrad – VGP d. d. je 2. avgusta začel s pred-praznenjem zadrževalnikov AK Ledavsko jezero in AK Gajševci, prav tako se je visoke vode iz reke Ledave preusmerjalo v reko Muro po razbremenilnem kanalu Ledava – Mura.

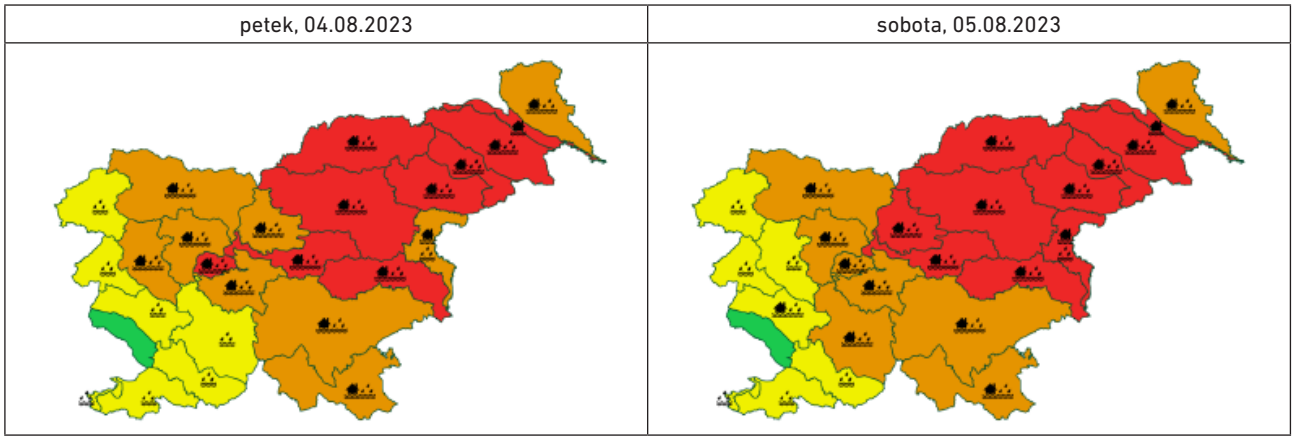
Nova hidrološka napoved je bila izdana dne 3. avgusta ob 8:00 uri in je znova opozarjala na možnost hitrega naraščanja vodotokov v Pomurju in posledično možnost poplav. Napovedano je bilo naraščanje vodotokov v petek, 4. avgusta, čez dan in v noči na soboto, 5. avgusta. Prav tako je bilo napovedano, da lahko manjši vodotoki poplavijo. Poplave se bodo nadaljevale in možno tudi stopnjevale v soboto čez dan in v noči na nedeljo. Prav tako je zaradi močnejših nalivov napovedano poplavljanje padavinske in zaledne vode. Zadrževalniki na območju porečja reke Mure so se izpraznili do potrebne minimalne kote ojezeritve. S tem je bil zagotovljen prostor napovedani visoki vodi.

Hidrološke napovedi so bile na dan 3. avgusta 2023 še večkrat osvežene. Popoldne so večji del Prekmurja zajele padavine. Meteorološka postaja v Murski Soboti je 3. avgusta zabeležila 20 mm padavin, vremenska postaja v Sotini pa 18 mm padavin. Zaradi obsežnih padavin se je pretok močno povečal tudi v sosednji Avstriji. Zadnja napoved na dan 3. avgusta je bila izdana ob 22:10 uri.

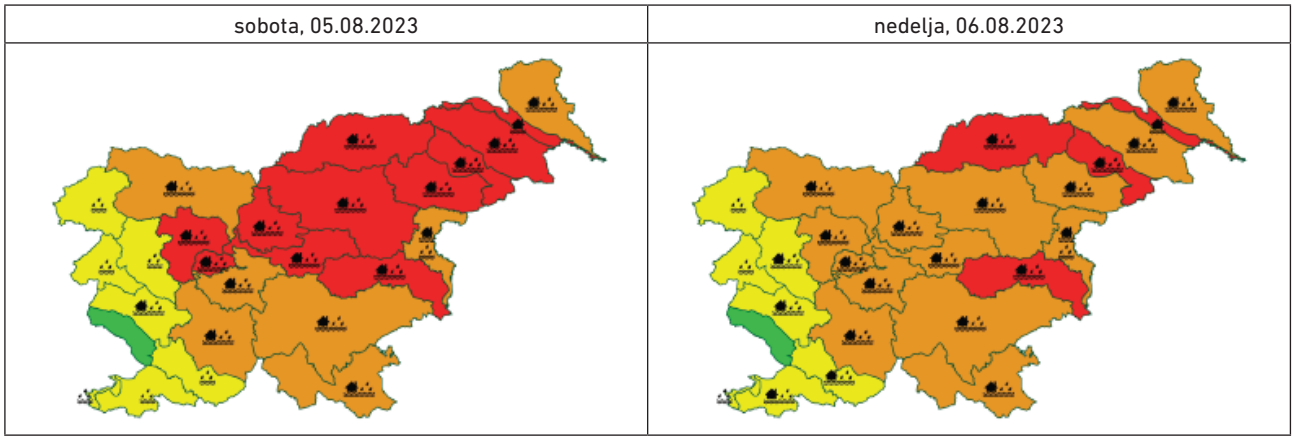
V noči na 4. avgust je količina padavin močno narasla. Do 8:00 ure 4. avgusta je meteorološka postaja v Murski Soboti zabeležila še 10 mm padavin, vremenska postaja v Sotini pa še 42,5 mm padavin. Zaradi velike količine padavin je močno narasla reka Ledava v zgornjem toku in njeni pritoki, ki so mestoma poplavljali. Na hidrološki postaji na reki Ledavi v Nuskovi je ob 00:00 uri znašal pretok 1,3 m^3/s in je do 11:00 ure narasel na 43,3 m^3/s. Hidrološke napovedi so bile izdane tudi v noči na 4. avgust, ki pa bistvenih sprememb na območju Pomurja niso predvidele. Naraščati je začela tudi reka Mura, ki je imela ob 00:00 uri pretok 250 m^3/s, ob 8:00 uri pa že 781 m^3/s (hidrološka postaja Gornja Radgona). Glavna napoved je bila izdana 4. avgusta ob 8:00 uri in je napovedovala še naprejšnje hitro naraščanje reke Mure zaradi velikega pretoka v sosednji Avstriji.

Mura je čez dan 4. avgusta naraščala in poplavila med visokovodnimi nasipi. Njen pretok je ob 11:00 uri že presegel 1000 m^3/s. Nova hidrološka napoved 4. avgusta je bila izdana ob 14:00 uri in je napovedala povečanje poplavljenih površin ob reki Muri. Pretok Mure je ob 18:00 uri presegel 1200 m^3/s.

Na kritičnih območjih vodne infrastrukture so se 4. avgusta začele dodatne aktivnosti zaščite pred visokimi vodami. Zaradi naprejšnjega naraščanja



Slika 8: Izdana hidrološka napoved dne 04.08.2023 ob 20:50 uri (ARSO)

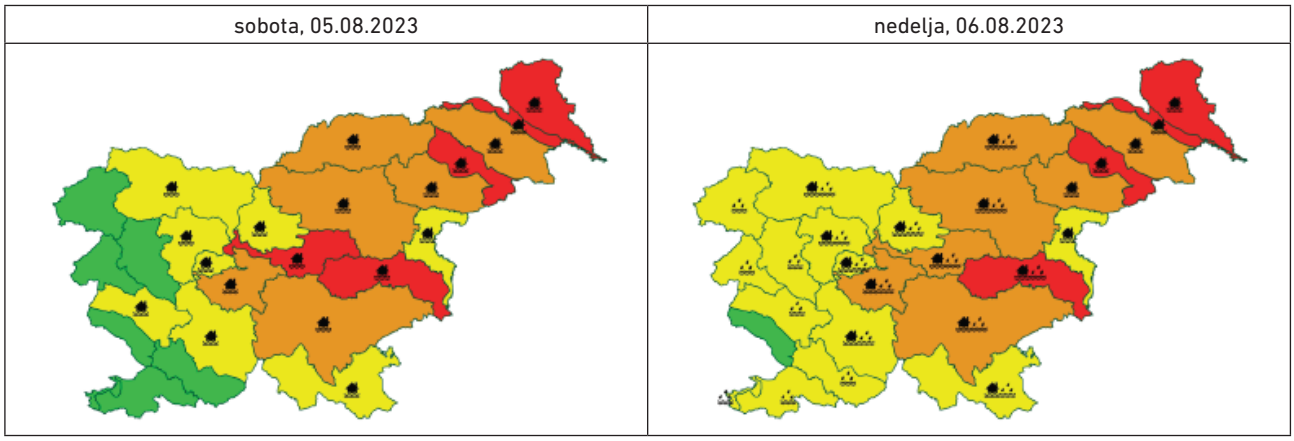


Slika 9: Izdana hidrološka napoved dne 05.08.2023 ob 8:00 uri (ARSO)

reke Mure so se na kritičnih mestih visokovodnih nasipov začele polagati vreče s peskom na območjih Bistrica – Melinci, Melinci – Ižakovci.

Naslednja napoved na dan 4. avgusta je bila izdana ob 20:50 uri in je napovedala ustaljen pretok reke Mure pri 1300 m^3/s. Poplavljene površine znotraj protipoplavnih nasipov se bodo povečevale. Konec dneva je pretok reke Mure znašal 1332 m^3/s. Reka Ledava se je v zgornjem toku tudi umirila (konec dneva pretok 7,7 m^3/s), močno se je napolnilo akumulacijsko Ledavsko jezero.

Hidrološka napoved dne 5. avgusta ob 8:00 uri je še zmeraj napovedovala naraščanje reke Mure vse do 1400 m^3/s pretoka. Dodatne aktivnosti na kritičnih odsekih visokovodnih nasipov so zajele večino nasipov v neposredni bližini naselij.



Slika 10: Izdana hidrološka napoved dne 05.08.2023 ob 19:40 uri (ARSO)

Maksimalni pretok na ta dan je znašal 1372 m^3/s (Gornja Radgona). Narasla je tudi reka Ščavnica (do 31,8 m^3/s) in njeni pritoki ter je v ožji okolici svoje struge poplavljala. Zaradi nevarnosti visoke reke Mure, ki bi lahko pretok reke Ščavnice (desni pritok reke Mure) ustavil in usmeril v obratno smer, se je ob 9:30 uri na dan 5. avgusta aktiviral suhi zadrževalnik Bolehnečici.

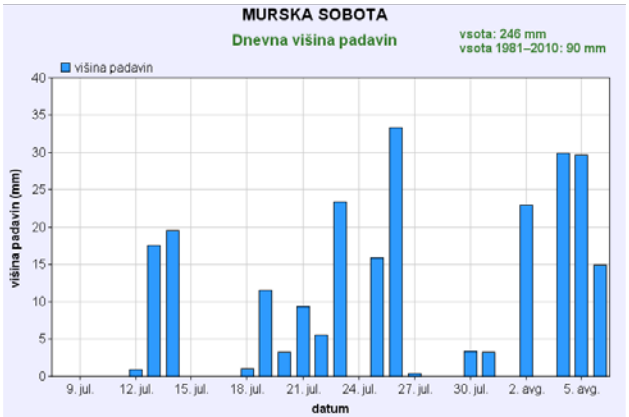
Dne 5. avgusta padavine še zmeraj niso pojenjale. Meteorološka postaja v Murski Soboti je 5. avgusta zabeležila 26 mm padavin, vremenska postaja v Sotini pa 32 mm padavin. Ledava je na zgornjem toku imela pretok do 10 m^3/s in še naprej polnila AK Ledavsko jezero, s katerega se je voda kontrolirano spuščala navzdol.

Velik pretok reke Mure je nasičil visokovodne nasipe z vodo. Na več mestih so se izvajale intervencije gasilcev, ki so polagali vreče na kritična območja na nasipih. Ob 17:15 je v naselju Dolnja Bistrica popustil del visokovodnega nasipa, kjer je Mura poplavila v velikem obsegu. DRSV in koncesionar sta se hitro odzvala in pričela s sanacijo odprtine v nasipu, ki je bila precej zahtevna zaradi stalne deroče vode.

Zvečer 5. avgusta ob 19:40 uri je bila izdana nova hidrološka napoved: reka Mura bo še naprej držala ustaljen pretok do 1400 m^3/s, ki se še ne bo bistveno zmanjšal.

Pretok reke Mure je dne 6. avgusta še naprej naraščal. Ob 8:00 je bilo izdana hidrološka napoved: Mura se bo ustalila pri pretoku do 1450 m^3/s in se še na ta dan ne bo bistveno zmanjševala.

V Dolnji Bistrici se je porušen nasip tekom dne 6. avgusta s pomočjo Civilne zaščite, gasilcev in Slovenske vojske saniral v taki meri, da voda več ne poplavlja. **Reka Mura je dosegla 1461 m^3/s pretoka v Gornji Radgoni, kar je nova najvišja izmerjena vrednost pretoka reke Mure.** Hidrološka napoved ob 17:00 je napovedala počasno upadanje pretoka reke Mure za naslednji dan. Na dan 7. avgusta se je pretok Mure zmanjšal, ob 8:00 uri je v Gornji Radgoni znašal pretok 831 m^3/s, ob 15:00 uri pa 687 m^3/s. Upadli so tudi pretoki drugih vodotokov na območju Pomurja.



Slika 11: Višina zapadlih mesečnih padavin na meteorološki postaji v Murski Soboti (ARSO)

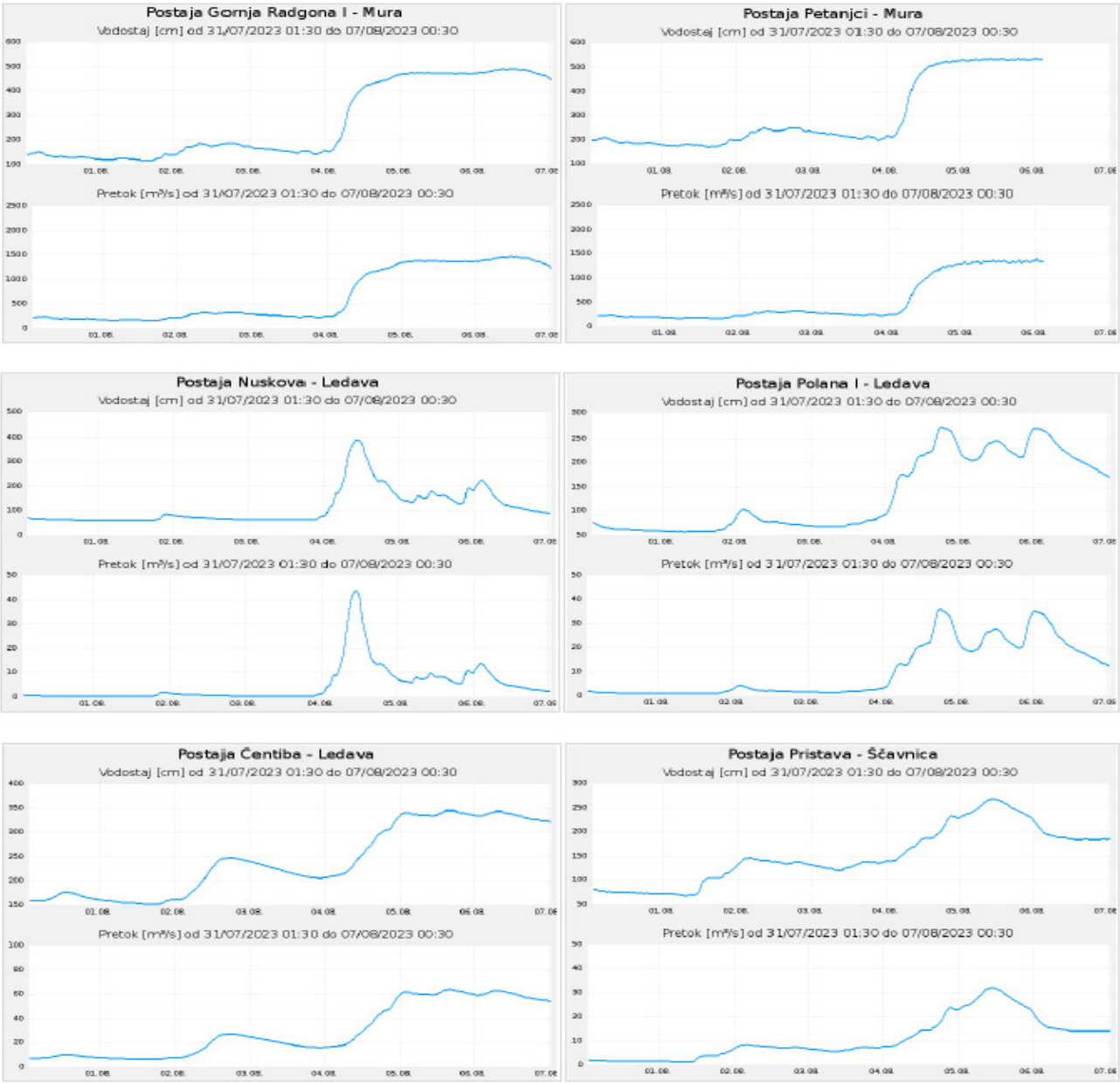
Na meteorološki postaji v Murski Soboti se je med 2. avgustom in 6. avgustom zabeležila količina padavin 97,4 mm. Na Sotini je med 2. avgustom in 6. avgustom vremenska postaja zabeležila 117,5 mm padavin.

Vodotoki so v dneh med 2. avgustom in 7. avgustom zaradi obilnih padavin narasli na porečju Ščavnice, Mure in tudi Ledave. Na porečju reke Ščavnice so se vodotoki razlivali na lokacijah pogostih poplav, predvsem na spodnjem toku reke Ščavnice s pritoki (občina Razkrižje in Ljutomer). Na tem delu je visoka reka Mura ovirala normalen pretok reke Ščavnice in njen pretok potiskala v obratno smer. Aktivirani so bili vsi razpoložljivi zadrževalniki na porečju reke Ščavnice (AK Gajševci, suhi zadrževalnik Bolehnečici).

Na porečju reke Mure je reka Mura poplavila območja med visokovodnimi nasipi. Širše območje ob nasipih je bilo tudi mestoma poplavljeno zaradi dviga podtalnice in precejanja reke Mure skozi visokovodne nasipe. V Dolnji Bistrici je del nasipa popustil. Visokovodni nasipi so se na več mestih obtežili z vrečami peska, saj je visok pretok Mure trajal dolgo in precej razmočil nasipe. Na porečju reke Ledave je reka Ledava s pritoki močno narasla v zgornjem toku, kjer je mestoma tudi poplavila. Močno se je napolnilo tudi akumulacijsko Ledavsko jezero. Upravljalo se je z vso razpoložljivo vodno infrastrukturo na porečju reke Ledave (AK Ledavsko jezero, razbremenilni kanal Ledava – Mura, suhi zadrževalnik Radmožanci). Tudi ostali pritoki reke Ledave so močno narasli in precej napolnili svoje struge ter se mestoma razlili (Lukaj potok, Martjanski potok itd.).

Povratna doba največjega pretoka reke Mure v Gornji Radgoni je bila ocenjene na 50–100 let. Martjanski potok in Ledava sta dosegli 20-letno, Kučnica in Velika Krka pa 5-letno povratno dobo

Podatki nekaterih samodejnih hidroloških postaj na porečju reke Mure:



Slika 12: Most Petanjci-Radenci ob rekordnem pretoku Mure

Slika 13: Nasip na Dolnji Bistrici ob poplavah avgusta 2023

Slika 14: Mura in porušen nasip na Dolnji Bistrici ob poplavah avgusta 2023

Slika 15: Porušitev VVN na Dolnji Bistrici ob poplavah avgusta 2023

Slika 16: Poplavljena območja ob vasi Kot pri Lendavi ob poplavah avgusta 2023

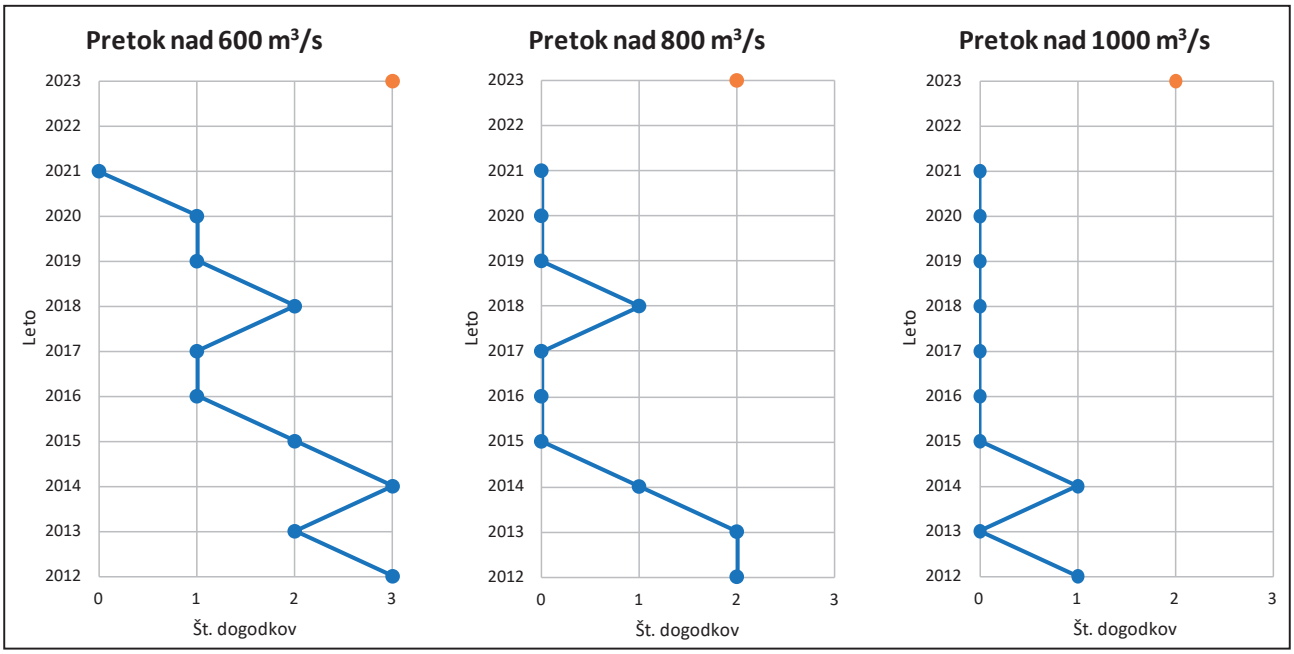
Slika 17: Poplavljena območja v Benici pri Lendavi ob poplavah avgusta 2023

Slika 18: Poplavljena območja na desnem bregu Mure v Cvenu ob poplavah 2023

Analiza izrednih dogodkov na porečju reke Mure v zadnjih 10 letih

Analiza izrednih dogodkov na porečju reke Mure je zajemala obdobje od leta 2012 do leta 2021 po podatkih hidrološkega arhiva Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) in je vključevala tri največje reke na porečju reke Mure: reko Muro, reko Ledavo in reko Ščavnico.

Na reki Muri smo analizirali pretoke in vodostaje po podatkih vodomerne postaje Gornja Radgona I (X 576.139,05 ; Y 171.774,37) v obdobju od 2012 do 2021. V analizo smo zajeli pogostost nastopa pretokov nad 600 m^3/s, pretokov nad 800 m^3/s (meja začetka poplavljanja med nasipi in hkrati do 5 letne visoke vode reke Mure na VP Gornja Radgona I) in pretokov nad 1000 m^3/s (do 10 letne visoke vode reke Mure na VP Gornja Radgona I). Rezultate prikazujejo spodnji grafi.

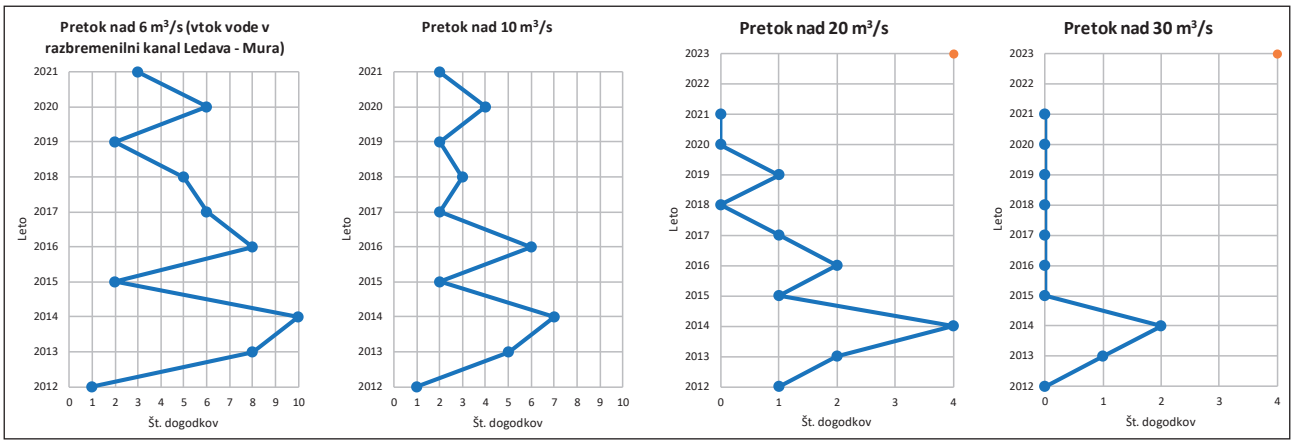


Slika 19: Analiza doseženih pretokov reke Mure na VP Gornja Radgona I v obdobju 2012 - 2021

Iz grafov je razvidno, da je pretok reke Mure v obdobju 2012 – 2021 vsaj enkrat letno presegel pretok 600 m^3/s z vodostajem cca. 285 cm (izjema je leto 2021), skupaj je v tem obdobju 16 krat pretok presegel vrednost 600 m^3/s (v povprečju 1,6 krat na leto). Pretoki reke Mure nad 800 m^3/s z vodostajem nad 340 cm (na VP Gornja Radgona I) že veljajo za kritične, saj reka Mura lahko poplavi med svojimi visokovodnimi nasipi. V obdobju od 2012 – 2021 je reka Mura pretok 800 m^3/s presegla šestkrat, in sicer dvakrat leta 2012, dvakrat leta 2013, enkrat leta 2014 in enkrat leta 2018 (v povprečju 0,6 krat na leto). Pri pretokih nad 1000 m^3/s z vodostajem nad 385 cm (na VP Gornja Radgona I) so območja med nasipi že poplavljena in veljajo ti pretoki za izjemno kritične. V obdobju 2012 – 2021 so nastopili dvakrat, in sicer enkrat v letu 2012, ko je nastopil pretok 1121 m^3/s z vodostajem 421 cm (10 letne visoke vode reke Mure na VP Gornja Radgona I) in enkrat v letu 2014 ko je nastopil pretok 1363 m^3/s z vodostajem 466 cm (več kot 50 letne visoke vode reke Mure na VP Gornja Radgona I).

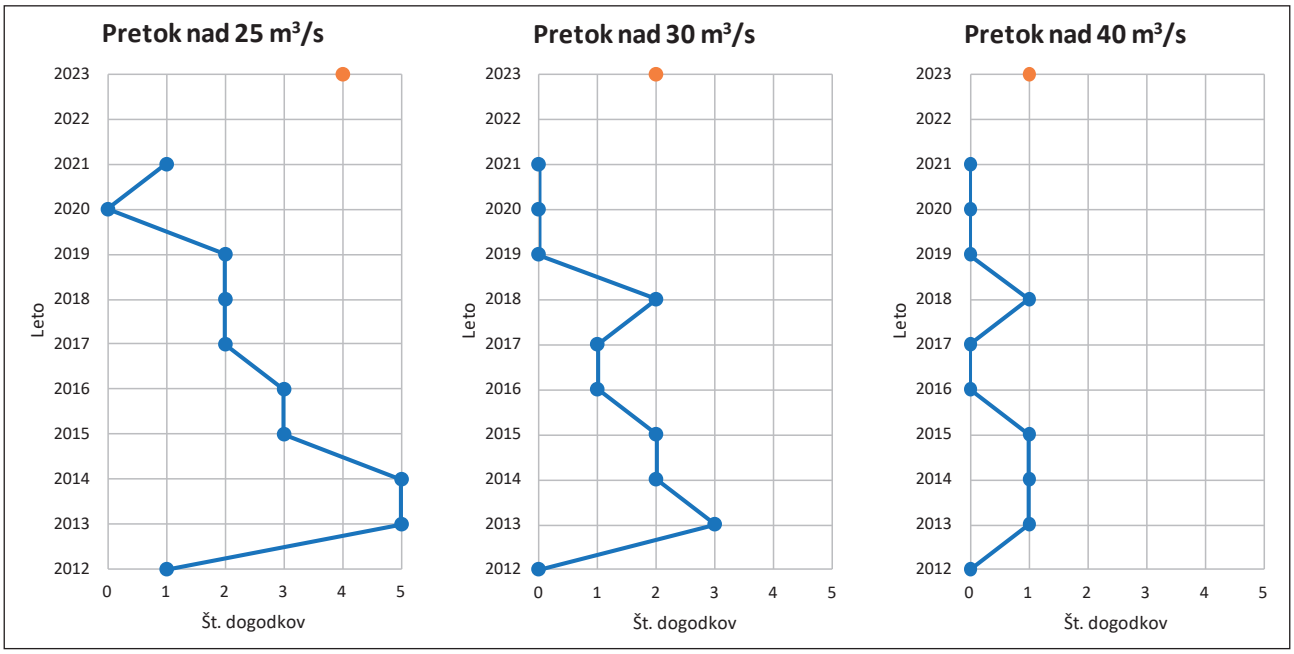
Na reki Ledavi je analiza zajela podatke vodomerne postaje Polana I (X 586.994,50 ; Y 171567,19) v obdobju 2012 – 2021. V analizo smo zajeli pogostost nastopa pretokov nad 6 m^3/s (kar znaša cca. 110 cm vodostaja na vodomerni postaji Polana I in predstavlja začetek vtoka vode iz reke Ledave v razbremenilni kanal Ledava – Mura), pretokov nad 10 m^3/s, pretokov nad 20 m^3/s in pretokov nad 30 m^3/s. Rezultate prikazujejo spodnji grafi *(slika 20)*.

Razbremenilni kanal Ledava – Mura je bil v obdobju 2012 – 2021 aktiviran 51 krat (v povprečju 5,1 krat na leto) in se precej razlikuje po letih, saj je pretok in s tem vodostaj reke Ledave precej odvisen od padavinskega dogajanja na njenem porečju. Pretok nad 10 m^3/s (vodostaj cca. 150 cm) je v tem obdobju nastopil 34 krat (v povprečju 3,4 krat na leto). Pretok nad 20 m^3/s (vodostaj cca. 190 cm) je nastopil 12 krat (v povprečju 1,2 krat na leto). Pretok nad 30 m^3/s pa je v tem obdobju nastopil le trikrat, in sicer enkrat v letu 2013 in dvakrat v letu 2014. Največji pretok je v obdobju 2012 – 2021 je bil zabeležen septembra leta 2014 in je znašal 38,7 m^3/s z vodostajem 260 cm (do 5 letne visoke vode reke Ledave).



Slika 20: Analiza doseženih pretokov reke Ledave na VP Polana I v obdobju 2012 - 2021

Na reki Ščavnici je analiza zajela podatke vodomerne postaje Pristava I (X 594.520,42 ; Y 153.959,85) v obdobju 2012 – 2021. V analizo smo zajeli pogostost nastopa pretokov nad 25 m³/s, pretokov nad 30 m³/s in pretokov nad 40 m³/s (več kot 5 letne visoke vode reke Ščavnice na VP Pristava I). Rezultate prikazujejo spodnji grafi.



Slika 21: Analiza doseženih pretokov reke Ščavnice na VP Pristava I v obdobju 2012 - 2021

Reka Ščavnica je v obdobju 2012 – 2021 pretok nad 25 m³/s presegla 24 krat (v povprečju 2,4 krat na leto). Pretok nad 30 m³/s z vodostajem cca. 225 cm, kar velja za do 5 letne visoke vode, je v tem obdobju presegla 11 krat (v povprečju 1,1 krat na leto). Zanimivo dejstvo je, da v zadnjih treh letih obdobja 2012 – 2021 pretok nad 30 m³/s ni bil zabeležen. Pretok nad 40 m³/s je v tem obdobju nastopil štirikrat, in sicer po enkrat v letih 2013, 2014, 2015 in 2018. Največji pretok je v obdobju 2012 – 2021 je bil zabeležen maja leta 2015 in je znašal 48,7 m³/s z vodostajem 314 cm (več kot 10 letne visoke vode reke Ščavnice).

Ugotovitve

Za reko Muro nam analizirani podatki ponazarjajo, da je pretok v zadnjih nekaj letih (od 2015 do 2022) le enkrat presegel vrednost 800 m³/s, in sicer leta 2018. Bolj kritične pretoke je reka Mura dosegla med leti 2012 in 2014, ko je večkrat presegla pretok 800 m³/s in dvakrat presegla pretok 1000 m³/s. Če se ozremo na pretoke nad 800 m³/s je torej po arhivskih podatkih možno, da bo reka Mura pogosto presegla tak pretok. Bolj zanimivo je, da se je pretok nad 1000 m³/s v obdobju 2012 – 2021 zgodil le dvakrat, leta 2023 pa le v tem letu že dvakrat. Torej so napovedi o bodočem naraščanju pretokov reke Mure in vodotokov njenega po-

rečja zaradi podnebnih sprememb precej resne. Analiza pretokov reke Ledave v obdobju 2012 – 2021 ponazarja, da se razbremenilni kanal Ledava – Mura lahko aktivira večkrat letno, saj je že pretok okoli 6 m^3/s dovolj, da se vode preusmeri v razbremenilni kanal. Večinoma se ti pretoki preusmerijo v razbremenilni kanal s pomočjo manipulacije bližnjega zaporničnega objekta iz razloga preventivne zaščite dolvodnih območij ter tudi iz razloga hitre in neovirane poti vode v reko Muro. Pretoki nad 20 m^3/s se sicer v obdobju 2012 – 2021 pojavljajo, precej pogosto med leti 2012 do 2014. Bolj zanimivo je pojavljanje pretokov nad 40 m^3/s, kar se je v obdobju 2012 – 2021 zgodilo le trikrat, leta 2023 pa le v tem letu že kar štirikrat. To zopet potrjuje trend bodočega naraščanja pretokov.

Pri reki Ščavnici je iz obdobja 2012 – 2021 razvidno, da se pretoki nad 20 m^3/s in 30 m^3/s pogosto pojavljajo. Tudi presežen pretok nad 40 m^3/s se pojavlja, vendar pa se je maksimalni pretok nad 40 m^3/s v obdobju 2012 – 2021 ustavil pri 48,7 m^3/s. Letošnji tak pretok se je ustavil pri 72,4 m^3/s kar je pomenilo med 100 do 300 letne visoke vode in je precejšen ekstrem napram drugim vrednostim. Iz obdobja 2012 do 2021 je zanimivo, da pretoki med leti 2019 do 2022 redko presežejo 25 m^3/s, v letu 2023 pa je bil presežen že kar nekajkrat.

Zaključki

Analiza izrednih dogodkov na porečju reke Mure v obdobju od 2012 do 2021 je potrdila vse pogostejše napovedi o naraščanju pretokov zaradi podnebnih sprememb. Podnebne spremembe se že dogajajo, temu ni nobenega dvoma, saj nam to pove že pogled na količino mesečnih padavin od maja do septembra.

Naraščanje pretokov reke Ledave in Ščavnice je odvisno predvsem od količine padavin na njihovem porečju, saj imata obe reki dokaj razvejano porečje z veliko pritoki, ki hitro napolnijo svoje struge in nato glavno strugo reke. Predvsem težavne so t. i. hudourniške poplave, ki zaradi ekstremne količine dežja v kratkem času takoj napolnijo struge ali celo poplavijo širšo okolico vodotokov. Pri reki Muri je dogajanje glede visokovodnih stanj kompleksnejše in sega izven mej Republike Slovenije. Potrebno je opazovati padavinsko in hidrološko stanje v Republiki Avstriji, saj glavnina vode priteče iz zgornjega toka reke Mure. Zato je pomembno pravočasno upravljanje z vodno infrastrukturo, saj je reka Mura znana po tem, da ob visokih vodostajih potiska svoje pritoke nazaj in poplavlja.

Nedavne poplave so nas spomnile, da so nekateri naravni dogodki kljub našemu tehnološkemu razvoju premočni, preveč siloviti, preveč intenzivni, da bi jih lahko obvladali, imamo pa dovolj znanja in izkušenj, da se jim prilagodimo. Upoštevati se morajo 5 koraki cikla obvladovanja poplavne ogroženosti in sicer **preprečevanje** (aktivnosti za zmanjšanje poplavne nevarnosti ter spodbujanje ustrezne rabe zemljišč, gospodarjenja s kmetijskimi zemljišči in gospodarjenja z gozdovi), **varstvo** (protipoplavni jezovi, ureditev razlivnih območij, čiščenje struge), **zavedanje** (informiranje prebivalcev o nevarnosti in ukrepanju), **pripravljenost** (civilna zaščita, gasilci) ter sama **obnova** (analiza, čim hitrejša vzpostavitev stanja pred poplavami, upoštevanje novih spoznanj).

Poplavna varnost mora vsebovati mnenje več strok, ki med seboj morajo sodelovati, saj je naša naloga, da se z različnimi ukrepi zoperstavimo uničenju, ki ga za seboj prinesejo poplave. **Kot odgovorna družba se moramo soočati s tem in se naučiti ustreznega ravnanja v takih dogodkih v prihodnosti, ki bodo zaradi podnebnih sprememb nedvomno še pogosteje prisotni.**

Viri

Hidrološki arhiv, Agencija RS za okolje. Dostopno na spletnem naslovu: https://vode.arso.gov.si/hidarhiv/ (15.09.2023).

Hidrološke napovedi, Agencija RS za okolje. Dostopno na spletnem naslovu: https://www.arso.gov.si/vode/napovedi/ (15.09.2023).

Meteorološki podatki, Agencija RS za okolje. Dostopno na spletnem naslovu: https://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/ (15.09.2023).

Podatki samodejnih hidroloških postaj, Agencija RS za okolje. Dostopno na spletnem naslovu: https://www.arso.gov.si/vode/podatki/amp/ (15.09.2023).

Poročilo po škodnih dogodkih zaradi visokih vod – avgust 2023, Pomgrad-VGP d. d., avgust 2023.

Poročilo po škodnih dogodkih zaradi visokih vod – maj 2023, Pomgrad-VGP d. d., maj 2023.

Povratne dobe velikih in malih pretokov za merilne mesta državnega hidrološkega monitoringa površinskih voda, Sektor za analize in prognoze površinskih voda, Urad za hidrologijo in stanje okolja, Agencija RS za okolje, november 2013.

POPLAVE OB SAVINJI NOVEMBRA 1990 IN AVGUSTA 2023 - PRIMERJAVA, ZAKLJUČKI IN PREDLOGI SANACIJE

mag. **Matija Bogdan Marinček**, upokojenec

Povzetek

Savinja, kdo si ti?

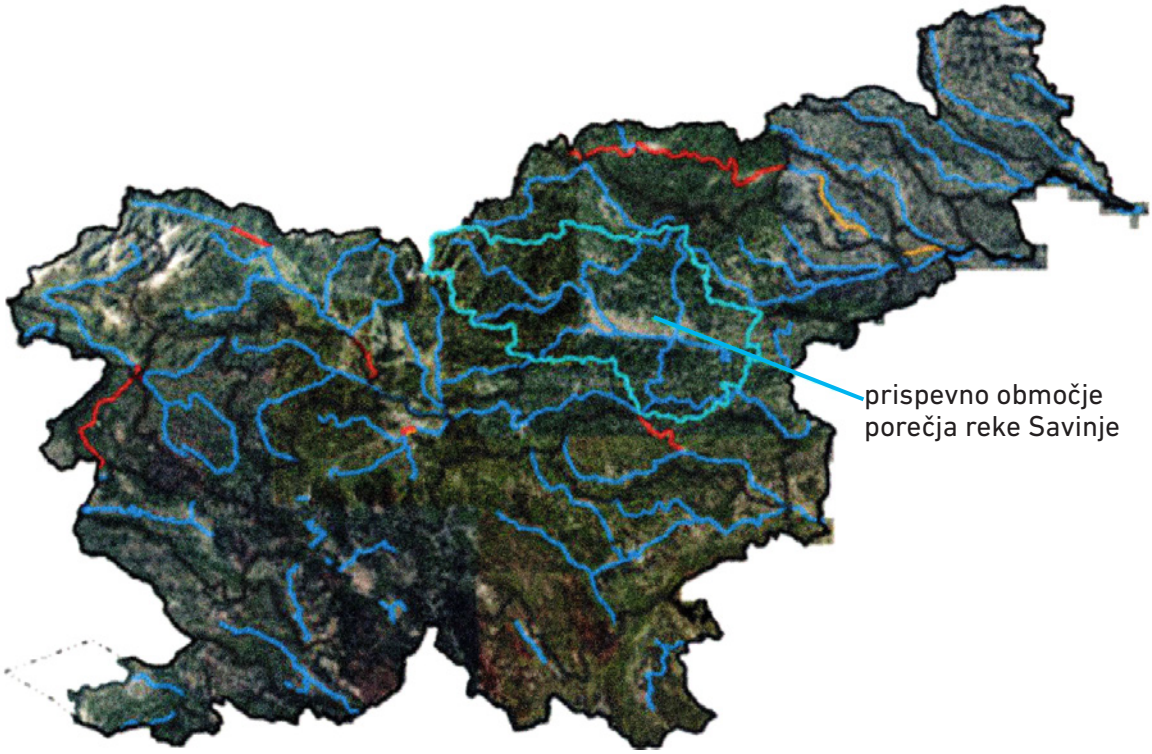
Savinja s svojim porečjem je najpomembnejši pritok naše najdaljše slovenske reke Save. Ob visokih vodah lahko poplavi obrežne površine na svojem celotnem toku. Povzroči lahko zelo velike gospodarske škode, terja pa tudi človeška življenja ter uničuje ostala živa bitja in njihov življenjski prostor. Pred ukrepanjem za izboljšanje stanja je treba poznati naravne značilnosti reke in njenega porečja, vključno s povirjem in pritoki. Pomembne so značilnosti poselitve, kot tudi dogajanja v daljši preteklosti. Prav tako je pomembno preučiti meteorološka in hidrološka stanja in njihove razlike ob nastopu zadnjih ujm, kot tudi obseg in vzroke poplav. Le na takšni osnovi je možno predvideti učinkovite ukrepe za izboljšanje stanja. Pomembna je primerjava več preteklih ujm.

Na osnovi zgoraj navedenih podatkov in preučevanj je podana okvirna primerjava poplav leta 1990 (delno tudi 1998) in poplav v letošnjem letu 2023. Sprejeti so zaključki in podani predlogi nadaljnjih ukrepov.

Uvod

Savinja izvira pod apneniškimi vršaci Kamniško Savinjskih Alp na zahodu in jugu. Te se nadaljujejo preko Dobroveljske planote v Zasavsko hribovje. Njeno severno in vzhodno povirje pa so starejše Karavanke. Te se nadaljujejo v Paški Kozjak in Pohorje. Savinja teče skozi Zgornjo Savinjsko dolino, ki sega do Soteske oziroma Letuša. Nato se vije skozi Spodnjo Savinjsko dolino do Celja. Obe dolini je Savinja ustvarila z odplavljanjem ledeniških moren po zadnji ledeni dobi. To so zgornje terase dolin. Spodnje terase pa je izoblikovala v poznejši dobi. V davnih časih je Savinja odtekala proti vzhodu v Panonsko morje. Po tektonskih premikih pa si je morala pri Celju vtreti pot proti jugu skozi Posavsko hribovje do Zidanega mostu. Tu se izliva v Savo, našo najdaljšo slovensko reko. Savi dodaja kar 1/3 do 1/2 visokih voda, manj pa prispeva nizkim vodam.

Savinja je hudourniška reka. Njen sedanji tok je dolg 102 km. Zbira vode s prispevnega območja 1884 km^2.



Slika 1: prispevno območje porečja reke Savinje

Na svoji poti iz Logarske doline do izliva v Savo se spusti za 560 m. Njen povprečni padec je kar 0.6 % oziroma 6 promil (6 ‰). Razmerje med njenim sušnim pretokom in visokimi vodami je lahko 1:200 ali celo več.

Od Logarske doline, kjer se združita izvirni potok Črna s slapom Rinka in levi potok Jezera v reko Savinjo, teče Savinja 20 kilometrov po ozki dolini do Ljubnega ob Savinji. Dolina je vrezana v strma pobočja karbonatnih Kamniško Savinjskih Alp in magmatskih silikatnih Karavank. Le mestoma se dolina razširi v manjše obrežne ravnice. Tu je njen povprečen padec kar 1.7 %, oziroma 17 ‰ . To je njen zgornji tok, ki je izrazito hudourniški. Poleg množice manjših hudourniških pritokov z obeh strani doline, dovajata vode v Savinjo pomembna desni pritok Lučnica, ki se izliva v Savinjo pri Lučah in levi pritok Ljubnica, ki se izliva v Savinjo pri Ljubnem.

Savinjin tok se nekoliko umiri v Zgornji Savinjski dolini, ki se razprostira od Ljubnega do Soteske nad Letušem. Povprečen padec dna struge je le še 4 ‰ . Tu dovajate vode Savinji dva pomembna pritoka. Z leve strani priteka Dreta, ki izvira v južnih delih Kamniško Savinjskih Alp in Paka, katere povirje se razteza po Paškem Kozjaku in delu Pohorja. Dolina Savinje se mestoma razširi v poplavne ravnice.

Od Letuša do Celja teče Savinja skozi Spodnjo Savinjsko dolino. Tu se njen povprečen padec še nekoliko zmanjša na 3.5 ‰. Tok skozi obe dolini v dolžini 50 km je srednji tok Savinje. Pomembni pritoki so: levi pritok Paka, ki odvaja vode iz vzhodnih Karavank in Paškega Kozjaka, Ložnica iz Podgorja, južnega obronka Šaleške doline, predvsem pa Hudinja, ki zbira vode s Pohorja. Na vzhodnem robu Celja se Hudinja izliva v Voglajno, ki priteka izpod Lisce. Pomemben desni pritok je Bolska s pritokom Konjščico, ki zbira vode iz jugovzhodnega dela Posavskega hribovja.

Krajši spodnji tok od Celja do Zidanega mostu (32 km) pa se spušča v padcu 1.2 ‰. Tu sta pomembna pritoka desni pritok Rečica v Laškem in levi pritok Gračnica pod Rimskimi Toplicami.

Nekaj zgodovine

Do začetka zadnjega četrtletja 19. stoletja je bila struga Savinje naravna. V Zgornji Savinjski dolini je večkrat prestavljala svojo strugo po lastni prodni podlagi. V Spodnji Savinjski dolini pa je ustvarjala tudi meandre. Tok Savinje je bil daljši kot je danes, struga je bila tudi bolj plitka. Njena prevodnost je bila manjša kot danes. Zato je pogosto poplavljala obrežna zemljišča, ki pa takrat še niso bila poseljena. Bolj je bilo ogroženo mesto Celje. Prve zabeležene poplave so bile leta 1496. Leta 1672 so bile zabeležene najobširnejše popla-

ve. Označba na ‚Vodnem stolpu' v Celju kaže, da je bilo staro mestno jedro poplavljeno v višino 1 m in več, čeprav je to najvišji predel sedanjega Celja.

Edini umetni objekti v Savinji so bili leseni jezovi ‚kranjske stene' oziroma ‚kranjske kašte'. Ogrodja jesenih jezov - kranjskih kašt so bila narejena iz lesenih oblic, ki so bile zapolnjene s kamenjem iz struge. Temeljili so jih z lesenimi piloti z železnimi glavami. Ti izvirno grajeni objekti so del slovenske kulturne dediščine. Tak način se še danes uporablja pri zavarovanjih brežin vodotokov.

Z jezovi so stabilizirali dno struge in zmanjšali erozijo brežin. Osnovni povod in namen za gradnje jezov v preteklosti pa je bila potreba po vodni energiji za pogon mlinov in žag. Od jezov so po umetnih strugah dovajali vodo do pogonskih vodnih koles mlinov in žag. Jezovi so bili in so še na reki Savinji kar številni. V tabeli 1 je podan seznam jezov na Savinji in njihova funkcija.

JEZOVI NA SAVINJI	
ZGORNJI TOK	
Jez nad Lučami pod avtokampom	vtok umetne struge
Jez v Lučah nad vtokom Lučnice	stabilizacijski
Kolenčev jez pod Savino nad Ljubnim	vtok v umetno strugo
Vrbenska jezova nad Ljubnim	stabilizacijski
Pekov jez na Ljubnem	stabilizacijski
SREDNJI TOK	
Zagožnov jez pod Ljubnim	vtok umetne struge
Radmirski jez nad mostom čez Savinjo	stabilizacijski
Prodnikov jez (kamp Prodnik)	vtok umetne struge
Okoninski jez	vtok umetne struge
Grušovelski jez pri Grušovljah	vtok umetne struge
Zgornji Nazarski jez	vtok umetne struge
Spodnji Nazarski jez nad izlivom Drete	stabilizacijski
Zgornji Mozirski jez nad Mozirskim gajem	vtok umetne struge
Spodnji Mozirski jez pod cesto v Loke	stabilizacijski
Jez v Ljubiji pod Mozirjem	
Zgornji Letuški jez	stabilizacijski
Spodnji Letuški jez	vtok umetne Letuške struge
Podvinski jez pod Malimi Braslovčami	vtok umetne Podvinsko-Žalske struge
Polzelski jez	stabilizacijski
'Hrapava drča' v Ločici pri Šempetru	stabilizacijska
'Hrapava drča' pod mostom ceste v Šešče	stabilizacijska
Petričkov jez nad Celjem	stabilizacijski
Mehki v Celju pod mostom Čopove ul.	stabilizacijski
Mehki nad mostom 14. divizije v Celju	stabilizacijski
SPODNJI TOK	
jezov ni, so le naravne brzice	

Tabela 1: jezovi na Savinji

Gospodarjenje z gozdovi in priprava ter prodaja lesa so bile pomembne gospodarske dejavnosti v preteklosti. Les, zložen v lesene splave so Savinjski ‚flosarji' plavili od Ljubnega po Savinji, naprej po Savi do Siska in še dalje do Beograda. Na koncu so les prodali in se vrnili z vlakom. S tem načinom transporta lesa so končali v 50-tih letih 20. stoletja. Naprej po Donavi so les plavili vse do Črnega morja.

Kaštni jezovi -'kranjske stene' zahtevajo stalno vzdrževanje, predvsem zamenjavo strohnelih lesenih delov in tudi lesenih pilotov. V nasprotnem primeru jih visoke vode kmalu porušijo. Zaradi njihovega pomena so jih stalno obnavljali in jih ob-

Slika 2: splav Savinjskih splavarjev, dolg do 70 m

Slika 3: leta 2017 obnovljen Grušoveljski jez na Savinji v obliki krajnske stene oziroma kašte z dograjeno ribjo stezo

navljajo še danes. Obnovljeni jezovi pa so vedno bolj dobivali trajnejše betonsko jedro in betonske temelje. Lesene oblice dajejo le zunanji videz. Eden zadnje obnovljenih jezov v zadnjem času je Grušoveljski jez.

V zadnjih 25 letih 19. stoletja so naši prednik po nekaj letnem preučevanju vodnih razmer, začeli s sistematično urejati strugo Savinje v Spodnji Savinjski dolini od Letuša do Medloga nad Celjem. Potrebovali so kmetijska zemljišča predvsem za

Slika 4: odsek regulacija Savinje na območju Roj v letu 1888

saditev hmelja za proizvodnjo piva, pa tudi za gojitev oljnih rastlin in žitaric. Eno tretjino sredstev je prispevalo cesarstvo na Dunaju, eno tretjino Kranjska dežela in eno tretjino lastniki zemljišč. Dela so potekala vse do konca 19. stoletja. Izvajali so jih po odseki od zgoraj navzdol.

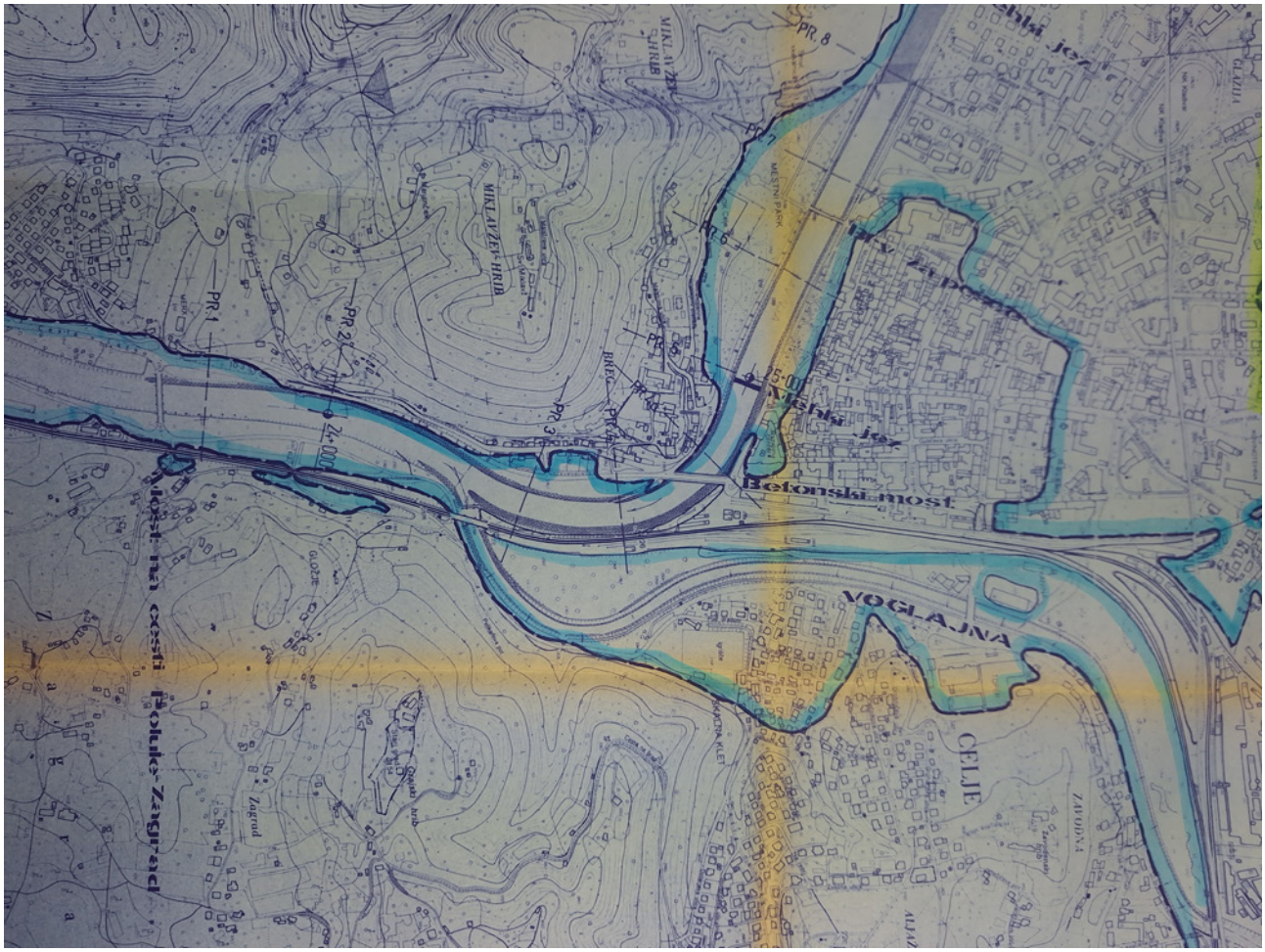
Nasipe so gradili predvsem ob levem bregu Savinje, da bi povečali poplavno varnost zemljišč za kmetovanje. Vodne brežine so varovali s kamenjem, ki so ga dovažali z vozovi. Kupe kamenja so zlagali na zgornji rob nasipa na vodni strani. Strojev za taka dela takrat ni bilo. Če je voda erodirala brežino, se je kamenje samo vsipalo po brežini in jo tako zavarovalo.

S temi ukrepi pa so postopno skrajševali strugo Savinje in povečevali njen padec. Bolj so dela napredovala, pogostejše so bile poplave v Celju. V zadnjem desetletju 19. stoletja je bilo v Celju kar nekaj poplav. Zato so na posameznih odsekih znižali nasipe za cca 1 m v dolžinah 50 do 100 m. Struga Savinje je še vedno prevajala cca 20 letne vode. Ob večjih visokih vodah pa se je del njih prelival na obrežja. Nizvodno se je del zakasnjenega poplavnega toka vračal nazaj v strugo Savinje. Tako so se nekoliko znižale konice visokovodnih valov Savinje pri Celju in zmanjšala pogostnost poplav.

Obnavljali so umetne struge. Od spodnjega Letuškega jezu do Podvina so uredili Letuško strugo. Od Podvinskega jezu pri Podvinu je bila speljana najdaljša Podvinsko-žalska struga vse do Vrbja pri Žalcu, kjer se je izlivala nazaj v Savinjo.

Kljub temu je bil v letih 1926 in 1933 del Celja še vedno poplavljen. Po poplavi leta 1933 so se sistematično lotili popravila zgoraj omenjene Avstro-ogrske regulacije Savinje. Vendar so se dela kmalu ustavila, ker financiranje ni bilo tako dobro urejeno.

V juniju leta 1954 so bile v Celju najobsežnejše poplave v zadnjih dveh stoletjih. Poplavljenih je bilo najmanj 8 km2 urbanih površin. Bile so tudi človeške žrtve. Ponekod je segala voda do napuščev streh pritličnih hiš, ljudje so se reševali tudi na streho. Osnovni vzrok poplav so bile visoke vode Savinje 100 letne verjetne poplavne dobe s konico 1100 m3/s. Katastrofo pa je povzročil sočasni prihod 50 letnega vala Voglajne s Hudinjo v Celje s konico 238 m3/s. Prišlo je do velike medsebojne zajezitve vodotokov pri sotočju. Najbolj so bili ogroženi vzhodnejši predeli Celja: Zgornja in Spodnja Hudinja, Gaberje, območje Cinkarne in Skalna klet.



Slika 5: prestavitev Savinje in Voglajne ter sotočja obeh rek v Celju v letih 1955-1962 - po ureditvi obseg poplav novembra 1990

Pristopilo se je k večletnem urejanje tako imenovanega ‚celjskega vodnega vozlišča'. Prestavljena, poglobljena in utrjena je bila struga Savinje mimo Celja do Polul in Tremerja. Po stari struge Savinje po Starim gradom je bil podaljšan izlivni odsek Voglajne do Polul.

V skupni odvodnik Ložnico so združili leve pritoke Savinje Ložnico, Koprivnico in Sušnico, ki so tudi poplavljali. Zgrajena sta bila tudi dva umetna večnamenska zadrževalnika: Šmartinsko jezero s prostornino 3 milijone m3 na Koprivnici in Slivniško jezero prostornine 5 milijonov m3 na Voglajni. Eden pomembnih namenov je bil zadrževanje visokih vod. V Laškem so v 70-tih letih prejšnjega stoletja razširili in delno poglobili strugo Savinje ter utrdili brežine.

Padavine in odtoki padavin novembra leta 1990

Padavine

Vzrok za poplave novembra 1990 je bil nastanek in razvoj široke padavinske fronte. Počasi je potovala preko Kamniško Savinjskih Alp in Dobroveljske planote proti Karavankam, Paškem Kozjaku in Pohorju. Temperature zraka so bile relativno nizke in enakomerne. Padavine niso bile preveč intenzivne, so pa trajale neprekinjeno 2 dni. V tem času je padlo več kot 200 mm padavin na m2.

Odtoki padavin

Takoj po poplavah novembra 1990 se je pregledalo stanja v porečju Savinje. Posebno skrbno so bili opravljeni ogledi območja Spodnje Savinjske doline, Celja in Laškega. Ob ogledih so bili preverjeni tudi časi, v katerih so se porušili Spodnji Letuški in Polzelski jez in nasipi Savinje v Spodnji Savinjski dolini. Ugotovljeno je bilo sledeče.

Plazov v povirjih in zgornjem toku Savinje je bilo manj. Podjetje za urejanje hudournikov Ljubljana, specializirano za vzdrževanje povirij je z vegetativnimi in drugimi ureditvami stabiliziralo pobočja hudournikov. V njihovih strugah je gradilo zaplavne pregrade, v katerih se je zadržal odplavljeni material. Klub temu sta nastala dva velika plazova. Močno narasli desni pritok Lučnica se je ujel v plaz, ki je zdrsel z levega pobočja in zaprl celotno dolino Lučnice. Plaz je zadržal blizu 3 milijone m3 voda Lučnice, dokler si voda ni ustvarila prehoda skozenj. Srečna posledica tega je bila, da je konica visokovodnega vala Savinje že odtekla, ko je začela pritekati Lučnica v Savinjo. Drugi večji plaz se je sprožil visoko v pobočjih Raduhe nad in pod panoramsko cesto. Grozil je da bo zdrsel v dolin. V Zgornji Savinjski dolini so odtekajoče padavine po Savinji in njenih pritokih povzročile poškodbe njihovih strug in vodnih objektov. Poškodovale so nekaj odsekov ceste v Logarsko dolino. Poplavile in poškodovale so nekaj hiš na obrežjih. Voda je poplavila obrežje Savinje na zgornjem in na spodnjem koncu Solčave in vdrle v pritličja nekaj hiš. Poškodovala je jez nad Lučami pod avtokampom. V Lučah je Savinja porušile most na cesti v Logarsko dolino, poplavila nekaj hiš v spodnjem delu Luč in razdejala svojo strugo v ovinku pod sotočjem z Lučnico. Naselje Struge skoraj ni bilo prizadeto, razen območja pri žagi ter na spodnjem koncu desnega brega. Podobno kot v Lučah je bilo na Ljubnem. Savinja je poplavila spodnji predel Ljubnega pod Pekovim jezom, ter zasula svojo strugo z naplavljenim prodom. Porušila je Zagožnov jez pod sotočjem z levim pritokom Ljubnico. Na tem območju je poplavila in poškodovala nekaj hiš. Hiše je poškodovala tudi Ljubnica na obrežju njenega strmega izlivnega odseka. Od Ljubnega do Nazarij so visoke vode Savinje poplavljale gmajne na obeh bregovih. Segale so tudi do zaselkov, ki so se v preteklosti širili proti gmajnam. Poplavilo je kamp Menina. Ponekod je Savinja spremenila svojo naravno strugo. Poiskala si je bližnjico skozi gmajne. Pri Nazarjah je Savinja poškodovala Zgornji Nazarski jez. Poplavila je zemljišča na levem bregu. Prizadetih je bilo nekaj hiš nad mostom ceste v Gornji Grad. Reka Dreta, desni pritok Savinje iz Zadrečke doline, je v izlivnem odseku tudi poplavila obrežje in nekaj raztresenih hiš ob vodotoku. Nazarska graščina je poplavam kljubovala. Poplavljeno je bil tudi levo obrežje pod sotočjem Savinje in Drete. Poškodovan je bil Zgornji Mozirski jez. Od njega je speljana umetna struga skozi dobro poznani Mozirski gaj in Loke do Soteske. Poplavne vode Savinje so odtekale po desnem bregu vse do Soteske nad Letušem. Poplavljen je bil tudi del Mozirja na nižjem delu levega brega Savinje do Soteske.

V Spodnji Savinjski dolini tako velikih vod struga Savinje ni zdržala. Popustili so jezovi in nasipi. Precejšnje razdejanje struge Savinje in vodnih objektov je povzročila visoka voda Savinje že v Letušu. Poškodovala je Zgornji Letuški jez. Porušila je spodnji Letuški jez, od katerega je bila speljana umetna Letuška struga, ki je zato presahnila. Razdejala je levi in desni breg pri sotočju s Pako. Porušen je bil Polzelski jez. Nasipi Savinje so bili na več mestih porušeni, tudi desno obrežni nasip Savinje pod mostom državne ceste Celje - Ljubljana. Skozi porušene dele nasipov in preko še ohranjenih ponižanj ‚avstro ogrske' regulacije je Savinja preplavila Spodnjo Savinjsko dolino od Letuša do Celja. Poplavila je mešani naselji v Letušu na obeh bregovih. Poplavljene do bile male Braslovče, posamezne zgradbe v Preserju, naselje Parižlje ter

del Spodnjega Podvina pri Polzeli na nasprotnem bregu. Nižje ležeči objekti so bili poplavljeni do streh. Poleg tega so bili poplavljeni južni predeli naselij Ločica, Šempeter, Zg. in Sp Roje, Vrbje, Novo Celje, Petrovče in Levec. Poplavne vode so napredovale navzdol počasneje kot v strugi Savinje. Zato je bila konica strmega visokovodnega vala Savinje v Celju nižja. Klub temu sta bili mesti Celje in Laško močno prizadeti, delno tudi Rimske Toplice.

V Celju je poplavilo naselje Lisce ter mestni park na desnem bregu Savinje. Poplavljeni so bili nižji predeli naselja Polul na desnem bregu. Poplave Celja na levem bregu je povzročilo prelivanje voda Savinje na krajšem odseku čez levo obrežni nasip Ložnice in Savinje pri njunem sotočju. Del vod se je prelil čez levi nasip nad Splavarsko brvjo v mestni park po njegovi zamašitvi s z vzvodno posekanimi topoli na levem obrežju Savinje pred poplavami.

Slika 6: zamašitev Splavarske brvi v Celju po prehodu konice visokovodnega vala Savinje

Občutne količine poplavnih vod so dodale visoke vode Savinje, ki so brizgale v povratnem toku iz jaškov rajonskih zbiralnikov mešanega kanalizacijskega sistema Celja v višino 1.5 m in več. Rajonski kanalizacijski zbiralniki se namreč združujejo v glavni kanalizacijski zbiralnik, ki poteka v levi brežini Savinje. Ob poplavi leta 1990 so se vode rajonskih kanalizacijskih zbiralnikov pred priključitvijo na glavni zbiralnik razbremenjevale v Savinjo težnostno. (Opomba: po poplavi so težnostno razbremenjevanje začeli nadomeščati s črpanjem v črpališčih). Poplavne vode so se širile preko Celja (gl. sliko 5). Med drugim je bila poplavljena Bolnica Celje. Delno ali v celoti so bili uničeni arhivi nekaterih javni ustanov. Skozi podhode pod železniško progo Celje-Velenje so se širile v severne in severovzhodne predele Celja. Vzhodne predele Celja: Industrijsko cono -vzhod, obrežje ob Teharski cesti ter Skalno klet pa so poplavile visoke vode Voglajne s Hudinjo. Voglajna je bila zaradi visokih vod Savinje zajezena vse do sotočja s Hudinjo, kar je upočasnilo odtekanje njenih voda.

V Laškem je Savinja poplavila levi in desni breg od Debra navzdol. Med drugim so bili poplavljeni transformatorska postaja, kompleks Zdravilišča Laško ter preko križišča pri mostu čez Savinjo tudi stanovanjski bloki ob železnici na desnem bregu.

Poplave v Spodnji Savinjski dolini, v Celju in Laškem so zajele 1000 ha površin, od tega kar 600 ha urbanih površin. V obeh mestih je poplava povzročila veliko materialno škodo, človeških žrtev pa na srečo ni bilo. Voda je poplavila tudi poslopje železniške postaje v Rimskih Toplicah.

Dejavnosti med obema poplavama

Za sanacije po poplavi 1990 so bila pridobljena kar občutna sredstva Evropske banke za razvoj (EBRD).

Sanacijska dela neposredno po poplavi

Takoj po poplavi so se začela izvajati nujna sanacijska dela. Obnavljali so se porušeni odseki strug in porušeni deli nasipov vodotokov v porečju Savinje. Žal so takrat zasuli prenekatera ponižanja nasipov Avstro-ogrske regulacije. Obnavljali so jezove, vendar ne vseh. Ni bil obnovljen Zagožnov jez na Ljubnem nad nastajajočo obrtno-industrijsko cono. V Spodnji Savinjski dolini ni bil obnovljen Spodnji Letuški jez. Namesto tega je bilo zgrajeno črpališče za dovajanje vode v umetno Letuško strugo. Struga je bila nekaj let suha. Načrpana voda je ponikala skozi dno struge v prodno podtalje, dokler se dno ni ponovno zatesnilo (zakolmatiralo). Porušen Polzelski jez pod cestnim mostom na Polzeli prav tako niso obnovili. Posledično se je struga Savinje od Podgore navzdol začela močno poglabljati v lapornato dno vse do Ločice pri Šempetru. Navidezno se je poplavna ogroženost zmanjšala, destabilizirale pa so se brežine struge Savinje, povečala se je kinetična energija vodnega toka. Prekinjen je bil tudi tok podtalnice iz desnega brega skozi dno Savinje na levi breg, kar je povečalo potrebo za namakanje hmeljišč. Poleg jezov so obnavljali tudi porušene dele nasipov, med drugim porušen levo obrežni nasip pod mostom ceste Celje-Ljubljana v Ločici pri Šempetru. Popravili so obe hrapavi drči. Od obeh mehkih jezov v Celju, ki nista prav dobro delovala, so ohranili le njuna betonska temelja.

Študija Koncept ureditve Savinje

Ministrstvo za okolje je leta 1991 naročilo pri Vodnogospodarskemu inštitutu Ljubljana izdelavo študije ‚Koncept ureditve Savinje'. Osnovni namen

naloge je bil izdelati koncept ureditve porečja Savinje.

V zvezku 1 te študije (gl. vir št 3) so bile določene visoke vode različnih verjetnih povratnih dob in izračunani hidrogrami pretokov visokovodnih valov. Določeni so bili z verjetnostno analizo podatkov vodomernih postaj na Savinji in pritokih v različnih časih oziroma dogodkih od leta 1954 do leta 1990. V Tabeli 2 so prikazane velikosti konic valov izračunanih hidrogramov visokih vod 100 letne verjetne povratne dobe Savinje.

Lokacija	vir 3
	Q100 let
	m^3/s
Sotočje Črne in Jezera v Logarski dolini	126
Savinja Solčava	158
Savinja Luče do Lučnice	240
Savinja Luče pod Lučnico	330
Savinja Ljubno nad Ljubnico	400
Savinja Ljubno pod Ljubnico	458
Savinja VP Nazarje	638
Savinja VP Letuš km 47.190	725
Savinja VP Celje km 70.905	1200

Tabela 2: konice visokovodnih valov Savinje 100 letne verjetne povratne dobe.

V zvezku II te študije (vir 4) so prikazani računi in rezultati hidravličnih računov visokovodnih valov 100 letne verjetne povratne dobena odseku Savinje od VP Letuš do VP Celje. Za račune je bil uporabljen dinamični kvazi dvodimenzionalni matematični model MIKE 11. Z matematičnim modelom MIKE 11 je mogoče simulirati tako tok v strugah vodotokov kot tudi po poplavnih površinah in čez vodne objekte. V računih so bile upoštevana ponižanja nasipov po projektih avstroogrske regulacije. Pri umerjanju matematičnega modela so bili za robne pogoje modela uporabljeni hidrogrami pretokov iz zvezka 1 študije. Rezultati so bili primerjani z dejanskim stanjem leta 1990. Nato je bil izveden še račun, ki je upošteval še predlog predvidenih kontroliranih poplavnih območij v Spodnji Savinjski dolini. Rezultati niso v celoti zadovoljili. Potrjena pa je bila potreba za zadržanje dela visokih vod na kontroliranih poplavnih območjih-suhih zadrževalnikih. V zvezku III (vir 4) je podan pregled obstoječih ter predlaganih zadrževalnikov visokih vod in kontroliranih poplavnih območij v porečju Savinje od Luč navzdol. Žal se predlagani ukrepi niso začeli izvajati.

Hidravlična analiza za Strokovne podlage za izboljšanje poplavne varnosti urbaniziranih območij v Sp. Savinjski dolini

Hidravlično analizo (gl. vir 8) je naročil Hidrosvet d.o.o. Celje. Izvedena je bila z matematičnim modelom MIKE 11. V računu je bilo obravnavano sledeče območje:

- Savinja od Letuša do Celja (med vodomernima postajama)
- Paka od vodomerne postaje v Rečici do izliva v Savinjo
- Bolska od vodomerne postaje v Dolenji vasi do izliva v Savinjo
- Ložnica od vodomerne postaje v Levcu do izliva v Savinjo, upoštevaje vpliv Sušnice s Koprivnico
- vpliv desnih pritokov Artišnice in Libojske Bistrice
- poplavna območja v Spodnji Savinjski dolini od Letuša do Celja

Računsko območje MIKE 11 je obsegalo:

- 51 vej, ki ponazarjajo tok v osnovnih strugah vodotokov ter tokove po poplavnih območjih v skupni dolžini 77570 m
- 5 široko robih prelivov
- 3 prepuste
- elemente modela, s katerimi se simulira časovni potek porušitve nasipov (pri Letušu, pri Plevčak, nad drčo Šempeter, nad izlivom Lave v Savinje, nasipa ob Lavi) in jezov (Sp. Letuški jez, Podvinski jez, Polzelski jez) z v času spreminjajočo se geometrijo, s katerimi ponazarjamo porušitev jezu.

S tako razvejano računsko mrežo se je hotelo čim bolj približati dejanskemu stanju v ujmi novembra 1990. Za robne pogoje modela so bili uporabljeni neposredno merjeni hidrogrami HMZ Ljubljana na sledečih vodomernih postajah: Savinje v Letušu, Pake v Rečici, Bolske v Dolenji vasi in Ložnice v Levcu. Za ostale pritoke so bili izračunani hidrogrami posredno. Za spodnji robni pogoj na Savinji je bila uporabljena pretočna krivulja HMZ.

Ko je bil matematični model umerjen tako, da se je ujemal z dejanskim stanjem ob poplavah novembra 1990, se je pristopilo k simulaciji ureditev za izboljšanje poplavne varnosti urbaniziranih območij v Spodnji Savinjski dolini. Pri tem so bili upoštevani sledeči principi:

- z predlaganimi ureditvami naj se ne poslabšajo razmere nizvodno od obravnavanega območja
- za zadržanje dela visokih voda naj se v največji možni meri vključijo poplavne površine, ki so -bile poplavljene v poplavah novembra 1990
- že poseljena območja naj se zavarujejo pred 100 letnimi vodami, ostale površine, namenjene za poplavne vode pa naj ne poplavijo visoke vode 20 letne verjetne povratne obe ali pogostejše
- z enostavnimi zgradbami: zemeljskimi nasipi višine do 3 m, s tlakovanimi prelivi s kamnom ter talnimi cevnimi prepusti za odvod zaostale

vode po poplavah, se zagotovi dodatna zakasnitev poplavnih vod (suhi zadrževalniki).

S predlagano rešitvijo so soglašale vse prizadete občine, saj je vključevala varovanje njihovih naselij pred poplavami. Soglasja ni dala le občina Prebold, ki je bila še najmanj prizadeta. Zakaj? Ali po naročilu državne politike, ki je ukinjala regije in uvajala centralizacijo, ali kaj drugega? Ker je bila za uresničitev predloga zahtevana soglasnost vseh prizadetih občin, so se nadaljnji postopki ustavili.

Državni lokacijski načrt za Zagotavljanje poplavne varnosti v Spodnji Savinjski dolini

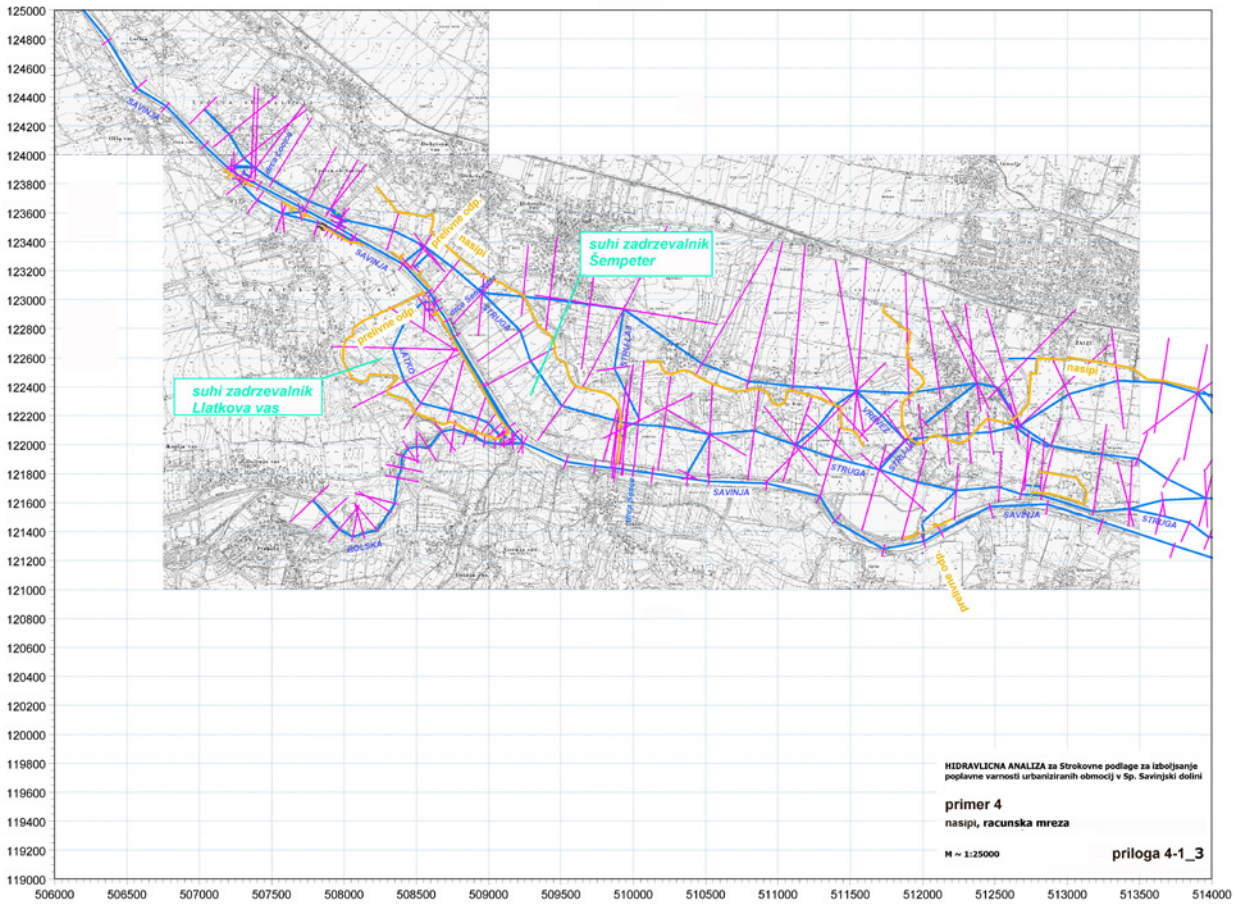
Razpis za izdelavo strokovnih podlag je bil razdeljen na dva dela: Zagotavljanje poplavne varnosti urbaniziranih območij v Spodnji Savinjski dolini in Zagotavljanje poplavne varnosti urbaniziranih območij od Ločice ob Savinji do Letuša. Za pripravo strokovnih podlag in realizacijo so bila pridobljena občutna evropska sredstva.

Strokovne podlage z po obeh razpisih je izdelovalo podjetje ZVO-R, projektiranje in inženiring d.o.o. Ljubljana v letih 2004 do 2006. Programu za izdelavo Državnega lokacijskega načrta je zahtevano, da se upošteva vsa do tedaj izdelana dokumentacija. Kolikor mi je znano, predhodna strokovna dokumentacija, ki je navedena v točki *Hidravlična analiza za Strokovne podlage za izboljšanje poplavne varnosti urbaniziranih območij v Sp. Savinjski dolini* tega prispevka, v strokovnih podlagah ni omenjena, čeprav je koncept v osnovi podoben. Razlikuje se predvsem v načinu izvedbe poplavnih zadrževalnikov. Predvideni so armiranobetonski objekti, ki so precej dražji, kot so predlagani v Hidravlični analizi, ki je opisana v točki *Hidravlična analiza za Strokovne podlage za izboljšanje poplavne varnosti urbaniziranih območij v Sp. Savinjski dolini* tega prispevka. Tok po običajno zaraščenih poplavnih površinah s padcem 1.5 ‰, je precej počasnejši, kot tok v strugah vodotokov. Po strokovnih podlagah državnega lokacijskega načrta je izvedeno le neposredno poplavno varovanje Celja.

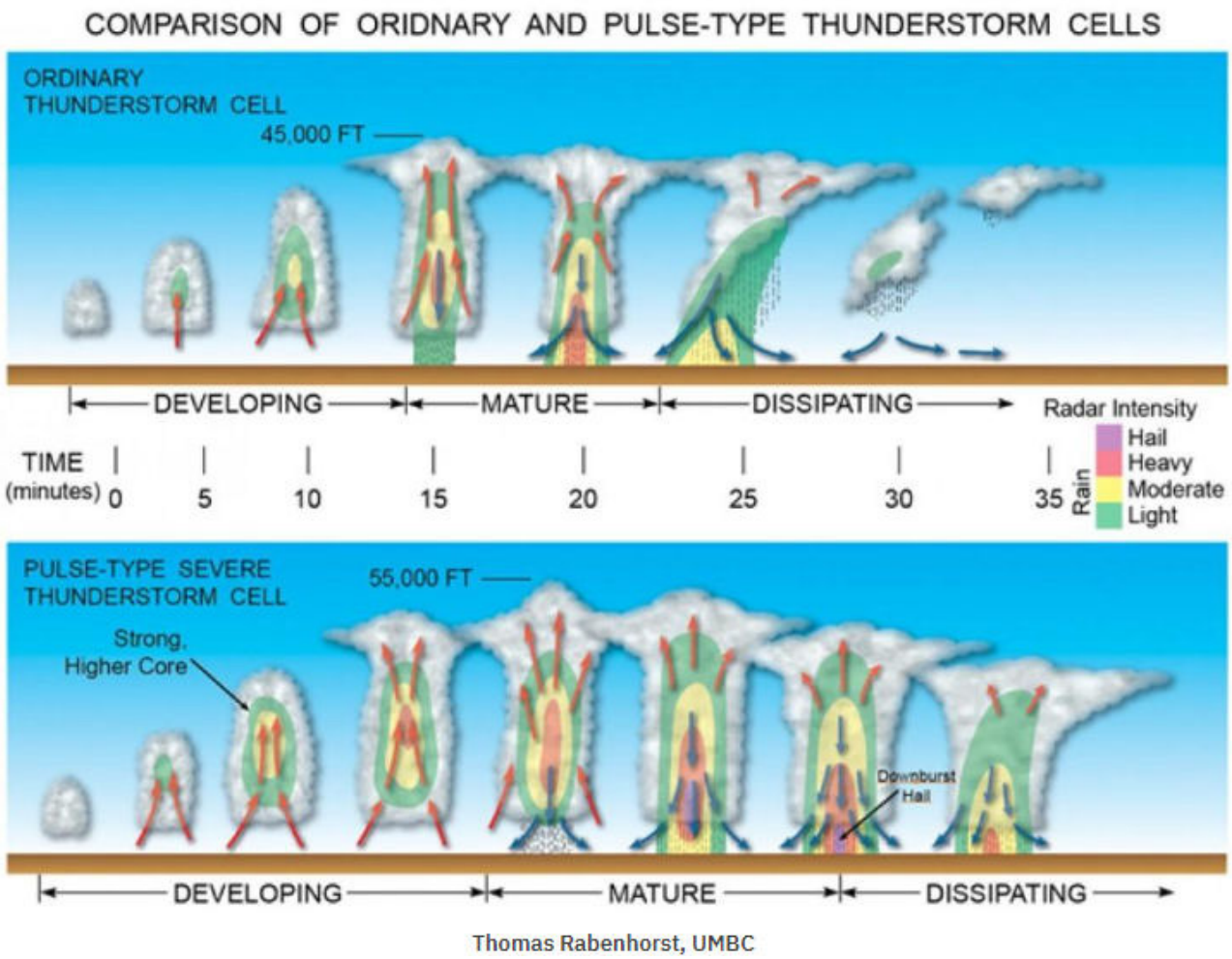
Padavine in odtoki avgusta 2023

Padavine

Poplave v začetku avgusta leta 2023 so povzročile večdnevne padavine, ki so imele precej drugačen značaj, kot jesenske v novembru 1990. V povirju in zgornjem toku Savinje, v Kamniško Savinjskih Al-



Slika 7: predlog ureditve v srednjem delu obravnavanega območja



Slika 8: enocelične in supercelične nevihtne celice ter njihov časovni razvoj

pah in Karavankah začele nastajati ‚super celične nevihtne celice'. (Več o celicah je na https://neurja.si >tipi-nevihtnih-celic).

Obnavljale so se vsak dan. Padavine niso mogle tako hitro odteči. Tla pobočij so bila zasičena z vodo. Super celične nevihte so se širile navzdol po porečju Savinje v različnih smereh. En dan so se širile preko južnih pobočji Karavank, Paškega Kozjaka in Pohorja, drugi dan vzdolž Savinjske doline, spet tretji dan preko Dobrovelj in Zasavskega hribovja. Tako so padavine v porečju srednjega toka Savinje imele več časa za odtekanje.

Odtoki padavin

Savinja in hudourniški pritoki iz povirja v zgornjem toku Savinje niso uspeli odvajati vsakodnevnih intenzivnih padavin super celičnih neviht. Površine pobočij so bile zasičene z vodo. Začela so se rušiti kamnita in prodna pobočja, predvsem melišča. Ujmo so pričakala slabše vzdrževana pobočja, zaplavne pregrade so ujmo pričakale neočiščene. Podjetje za urejanje hudournikov Ljubljana je šlo leta 2011 v stečaj. Hudourniki so poleg vode odnašali velike količine naplavin in plavja. Zasuli so lastne struge, zamašili prepuste in mostove. Njihov tok si je moral izbirati nove poti po cestah in skozi naselja. Velika moč vode, zasičene s kamenjem in prodom je rušila hiše, poti in ceste ter mostove, rušile brežine lastnih strug. Tudi številni plazovi so ovirali odtok visokih vod. Obseg poplav je bil dosti večji kot novembra 1990. V naseljih v zgornjem toku je bilo porušenih precej hiš. Najbolj je prizadeta Zgornja Savinjska dolina od Solčave do Ljubnega. Posledice so katastrofalne.

V Spodnji Savinjski dolini so bile visoke vode Savinje manj razdiralne. Seveda so bila spet poplavljena nižja obrežja v Letušu. Razdrta je struga Savinje pri sotočju s Pako. Poplavljeni so celotni nižji predeli Malih Braslovč in Preserja na spodnji terasi, kot vedno. Poplavljen je levi breg Savinje v Ločici nad državno cesto, kjer je v času med obema poplavama zrasla gospodarska cona. Nizvodno Savinja praktično ni poplavlja Spodnje Savinjske doline. Le ponekod so pljuskali valovi čez nasip, posebno na odsekih, kjer so vodne strani brežin nasipa zelo zaraščene. Poškodovana je kolesarska steza v gradnji in zaradi nje tudi brežine

nasipov na zračni strani. Celje ni bilo poplavljeno. Savinja je ob prehodu konice visokovodnega le pljuskala na levo obrežni nasip. Dodatna nadvišanja levo obrežnega nasipa Savinje z betonskimi zidovi skoraj ni bilo potrebna, čeprav poplavne površine vzvodno na levem bregu praktično niso bile v funkciji zadrževanja visokih vod. Le manjše količine prelitih vod so pritekle v Medlogu nazaj v Savinjo.

Primerjava poplav novembra 1990 in avgusta 2023

Razlike v porečju Savinje med obema ujmama so prikazane v sledeči Tabeli 3

Ujma novembra 1990	Ujma avgusta 2023
povirja bolje vzdrževana	povirja slabše vzdrževana
struge vodotokov bolje vzdrževane	poplavno bolj ogrožena Spodnja Savinjska dolina
poplavno bolj ogrožena Spodnja Savinjska dolina	poplavno bolj ogrožena Zgornja Savinjska dolina
Celje bolj ogroženo	Celje manj ogroženo
Laško bolj ogroženo	Laško manj ogroženo
Strošek nujnih sanacij vodotokov manjši	Strošek sanacij vodotokov mnogo večji
Strošek sanacij urbanih delov manjši	Strošek sanacij urbanih delov mnogo večji

Tabela 3: Razlike v porečju Savinje med obema ujmama

Zaključek

- Poplave so vedno ogrožale poselitve v vodnem prostoru.
- Bolj ko so se z ureditvami poplavne površine zmanjševale, bolj so se širili pritiski urbanizacije na ta vodni prostor.
- Poplave so verjeten dogodek, ki se občasno tudi dogodi, niso pa vsakodnevni problem.
- Pred urbanizacijo so kmetijska zemljišča dosti bolje varovana, kot poplavna, ki so tudi cenejša.
- Ko poplave nastopijo, je odpravljanje škod na urbaniziranih območjih dosti dražje, kot bi bile primerne ureditve vodnega režima.
- Hidrotehnična stroka bi morala bolj smelo zagovarjati upoštevanje sprejetih zakonov: Zakona o vodah, Evropske Vodne direktive... ob pripravah prostorskih aktov ter preprečevati neprimerno širjenja urbanizacije v vodni prostor, ne pa služiti trenutnim željam politike in vplivnih struktur.

Viri

1 Atlas voda, Direkcija za vode R Slovenije
2 Situationsplan fur die Regulirung des Sannflusses fon Prafsberg bis Cilli, Vervollstandigungsproject, Dezember 1886
3 Koncept ureditve Savinje, zvezek I, Vodnogospodarski inštitut, p.o. Ljubljana., Dare Burja in Darko nzeljc, št. študije C-15/1, julij 1992
4 Koncept ureditve Savinje, zvezka II in III, Vodnogospodarski inštitut, p.o. Ljubljana., mag. Matija Marinček, št. študije C-15, april 1993
5 Sodobni pristopi k varovanju pred poplavami, mag. Matija Marinček, Prispevek za Deseti Mišičev vodarski dan 1999
6 Hudinja od Višnje vasi do Škofje vasi- določitev ukrepov za povečanje poplavne varnosti-študija, Marinček Marija-Katarina s.p., Celje, mag. Matija Marinček, april 2000
7 Koncept ureditve Savinje za odsek Celje(Laško) do izliva v Savo-hidravlična analiza, Marinček Marija-Katarina s.p., Celje, mag. Matija Marinček, maj 2000
8 Hidravlična analiza za Strokovne podlage za izboljšanje poplavne varnosti urbaniziranih območij v Sp. Savinjski dolini, Marinček Marija-Katarina s.p., Celje, mag. Matija Marinček, št projekta 3/01, april 2001
9 Hidravlična analiza za idejno zasnovo Ukrepi za izboljšanje poplavne varnosti naselij ob Ložnici od Zg. rušovelj do Levca, Marinček Marija-Katarina s.p., Celje, mag. Matija Marinček, št. 2/01, april 2001
10 Hidravlična analiza sedanjega visokovodnega stanja Zadrečke doline od Gornjega grada do Nazarij, Marija-Katarina s.p., Celje, mag. Matija Marinček,, št. 1/02, maj 2002

RIBE, RIBIŠTVO IN POPLAVE

Ana Celestina, univ. dipl. biol.,
Zavod za ribištvo Slovenije, Sp. Gameljne 61a, 1211 Ljubljana – Šmartno

mag. Maša Čarf, univ. dipl. biol.,
Zavod za ribištvo Slovenije, Sp. Gameljne 61a, 1211 Ljubljana – Šmartno

mag. Aljaž Jenič, univ. dipl. biol.,
Zavod za ribištvo Slovenije, Sp. Gameljne 61a, 1211 Ljubljana – Šmartno

Tjaša Kodela, mag. geog.,
Zavod za ribištvo Slovenije, Sp. Gameljne 61a, 1211 Ljubljana – Šmartno

dr. Kaja Pliberšek, univ. dipl. biol.,
Zavod za ribištvo Slovenije, Sp. Gameljne 61a, 1211 Ljubljana – Šmartno

Danilo Puklavec, univ. dipl. biol.,
Zavod za ribištvo Slovenije, Sp. Gameljne 61a, 1211 Ljubljana – Šmartno

Špela Smrekar, Zavod za ribištvo Slovenije, Sp. Gameljne 61a, 1211 Ljubljana – Šmartno

Uvod

Poplave so naravni pojav, ki predstavljajo naravno nesrečo, ko so lahko ogrožena tudi življenja ljudi ter njihovo premoženje, objekti in infrastruktura. Eden izmed negativnih vplivov poplav, ki je pogosto spregledan, je njihov učinek na ribe. Ribe so organizmi, ki celo življenje preživijo v vodi, ter so posledično razmeram v vodi zelo dobro prilagojene. V primeru ekstremnih pojavov, kot so poplave, se ribe umaknejo v habitate, kjer je tok vode počasnejši. Tako se ob visokih vodah praviloma premaknejo ob brežine, kjer zavetje najdejo za debli dreves, v spodjedenih brežinah, za koreninskimi prepleti, za večjimi skalami, ali pa se umaknejo na razlivne površine, kadar vodotoki prestopijo brežine. V kolikor se v rečnem habitatu nahajajo takšne morfološke strukture, so posledice poplav za ribe manjše. Problem nastane, ko ribe zaradi togih, gladkih ureditev in golih neporaščenih brežin in podobnih morfoloških sprememb habitata nimajo zatočišč, kamor bi se lahko umaknile pred visoko vodo.

Letošnje avgustovske poplave so povzročile veliko škode tako v ribogojstvu kot tudi v ribištvu. Popisana in ocenjena je trenutna škoda zaradi ujme, pričakujemo pa lahko tudi dolgoročne posledice. Po ujmi so se izvajali številni intervencijski posegi v vodna in obvodna telesa, ki so bili izvedeni brez vednosti in sodelovanja koncesionarjev, ki izvajajo obvezne državne gospodarske javne službe na področju urejanja voda, ter seveda brez sodelovanja strokovnjakov z ostalih področij. V primeru izgube habitatov za ribe zaradi neustreznih posegov se bo škoda odražala na ribjih populacijah ter nadalje na področju sladkovodnega ribištva pri gospodarjenju z ribami, ki so naravni vir.

Rezultati vzorčenja rib, izvedenega za namen državnega monitoringa, so pokazali, da imajo že povečani pretoki vpliv na zmanjšanje naseljenosti populacij rib.

Prav tako smo evidentirali tako naravne, z lesno vegetacijo obraščene odseke, kot sonaravne ureditve strug vodotokov, ki so kljub delovanju uničujočih voda zdržali poplave.

Ugotavljamo, da je pri urejanju voda ključnega pomena načrtovati posege v vodni prostor na način, da se zagotavlja velika pestrost vodnih habitatov. Pri urejanju vodotokov bo treba veliko več pozornosti nameniti tudi nizkim pretokom in zadrževanju vode. Kljub dejstvu, da poplave ogrožajo človeška življenja in premoženje, se moramo zavedati, da tudi vpliv na ribiško gospodarjenje in ribiški turizem ni zanemarljiv, saj gre za dejavnost, ki je v slovenskem prostoru tradicionalno prisotna že stoletja. Sam ribolov je prepoznaven del turistične ponudbe v Sloveniji in kot takšen predstavlja tudi vir zaslužka. Ohranil se bo lahko samo v primeru ohranjanja in izboljšanja pestrosti vodnih habitatov in posledično pestrosti ribjih populacij ter s tem vzpostavljanju zdravih, stabilnih ribjih združb.

Ribe med poplavami

O poplavah govorimo, ko zaradi obilnih padavin pride do razlitja vode iz rečne struge. Gre za enega najbolj uničujočih naravnih pojavov, ki močno preoblikujejo pokrajino. Zaradi hribovitega reliefa, ozkih rečnih dolin in razpršene poselitve je Slovenija močno poplavno ogrožena. Ob nastanku večjih poplav, kakršne so bile avgusta 2023, se pogosto izpostavljajo le posledice poplavnih dogodkov na ljudi, vidik poplav na ribe in njihovo življenjsko okolje pa je pogosto spregledan.

V naravnih vodnih ekosistemih so poplave, kot tudi suše, del naravnih procesov, ki povečujejo heterogenost okolja in s tem tudi heterogenost združb. Diverziteta je odvisna od pogostosti in jakosti motenj, ki se pojavljajo. Na območjih z veliko motnjami je heterogenost združbe majhna, saj je malo vrst sposobnih preživeti v okolju s stalnimi velikimi motnjami, če je motenj malo, pa je življenjski prostor bolj enoličen in nudi prostor manjšemu številu vrst (Tome, 2006). Ribe so se tekom evolucije prilagodile na življenje v vodnem okolju, prav tako preživetju v določenih poplavnih razmerah. Poplave lahko imajo v primeru, da se pojavijo na naravnih odsekih vodotokov, srednjeročno pozitiven vpliv na ribje populacije, saj se ob visokih vodah v vodotokih vzpostavijo novi habitati, tolmuni se poglobijo, pesek in mulj pa se odstranita, kar izboljša habitat za drstenje rib, ki so vezane na bolj grobe frakcije rečnih sedimentov.

Na poplavnih območjih po poplavah pride do hitre namnožitve vodnih žuželk, ki za mnoge ribe predstavljajo vir hrane. Ob visokih vodah ribe lahko prehajajo pregrade, ki so ob nizkih in normalnih vodostajih neprehodne, in tako migrirajo na gorvodne odseke strug (Ausable river Association, 2023; Carlson, 2015; Tockner, 2000). S tem se vzpostavlja povezljivost odsekov, kar ima praviloma pozitivne učinke na (sub)populacije rib. Učinki poplav na ribe so odvisni predvsem od obsega in pogostosti poplav ter od trajanja, časa in hitrosti spreminjanja vodne gladine. Poleg tega se lahko vplivi poplav razlikujejo glede na starost rib, morfologijo, fiziologijo (npr. toleranca na motnost vode, moč plavanja), vedenje (npr. gibanje, uporaba habitata) in sestavo ribje združbe (npr. številčnost vrst, raznolikost) (Carlson, 2016; Bischoff in Wolter 2001; Kano in sod., 2011). Negativen vpliv poplav je še posebej izrazit na reguliranih odsekih strug, kjer ribe nimajo zavetja ob visokih vodah, kamor bi se zatekle (skrivališča za ribe) – takšne strukture predstavljajo tolmuni, spodjedene brežine, območja počasnejšega vodnega toka za velikimi skalami (George, 2016). Glede na dejstvo, da se na splošno po celotni Evropi populacije domorodnih vrst rib zmanjšujejo zaradi dejavnikov, kot so onesnaževanje vodotokov, vnos tujerodnih vrst, regulacije vodotokov in podnebne spremembe, poplave za ribe pomenijo dodaten stresni dejavnik, ki negativno vpliva na njihove populacije (Chevalier, 2023; Rytwinski, 2017; Haxton in sod., 2015).

V nadaljevanju so navedeni najbolj problematični vidiki vplivov poplav na ribe (George, 2015; Carlson, 2016; Huang, 2019; Fisheries and flooding, 2016; Salmonids in the floods, 2023):

- Tok vode s sabo nosi rečni material, ki prekrije ribje ikre, ki zaradi pomanjkanja kisika posledično odmrejo. Obnova ribje populacije je ogrožena.
- Močan tok vode odnese mladice.
- Erozijska moč vode spreminja morfologijo struge. Številna drstišča, prehranjevališča in skrivališča rib se zasujejo in trajno spremenijo. V kolikor ribe ne uspejo najti novih habitatov, populacije na prizadetih območjih začnejo upadati.
- Ob nastopu visokih voda ribe lahko porabijo veliko energije za iskanje zatočišč, kar lahko izzove stres, poveča dovzetnost za bolezni in zmanjša njihove možnosti za dolgoročno preživetje.
- Ob visokih vodah ribe naplavi izven struge, kar pomeni, da po poplavah ostanejo ujete v depresijah poplavnih ravnic, kjer so ogrožene zaradi evaporacije in izpostavljene plenilcem. V kolikor se rib z ujetih območij ne reši, lahko pride do obsežnejšega pogina in plenjenja rib.
- Odnašanje rib po toku navzdol in upad naseljenosti rib na gorvodnih delih vodotoka.
- Zasutje rib. Ribe se ob visokih vodah umaknejo v zatočišča. V kolikor poplavni tok s sabo nosi naplavni material, le ta zasuje zatočišča skupaj z ribami.
- Visoke vode nosijo ribe po toku navzdol, pri tem lahko udarjajo ob transportni material, skale, kar povzroči poškodbe na ribah. Poškodovane ribe so bolj dovzetne za številne bolezni.

- Širjenje tujerodnih vrst. Ob visokih vodah tujerodne vrste migrirajo po toku navzdol in navzgor. Na ta način se lahko razširijo v habitate, kjer prej niso bile prisotne.
- Ob visokih vodah se v reke spirajo suspendirane usedline, hranila, pesticidi in druga onesnaževala, ki lahko povzročijo širjenje bolezni. V skrajnem primeru lahko pride tudi do pogina rib.

Negativne vplive poplav na populacije rib lahko omejimo predvsem na način, da reke ohranjamo v naravnem stanju na čim daljših odsekih. Pomembno je, da so v vodotokih prisotne razgibane strukture, ki po eni strani pospešujejo vodni tok, po drugi strani pa v strugi vzpostavljajo območja s počasnejšim (kontra tokom), ki ob visokih vodah omogoča preživetje mladic. V strugah je potrebno ohranjati ali na novo vzpostaviti zatočišča in skrivališča za ribe, kot so na primer spodjede in tolmuni. Na brežinah je pomembno ohranjati obrežno zarast, ki stabilizira brežine in hkrati s svojim koreninskim prepletom, ki sega v vodnati del struge, nudi zatočišča in skrivališča za ribe (Fisheries and flooding, 2016; Salmonids in the floods, 2023).

Napovedi za prihodnost kažejo, da bo v prihodnjih letih povečana pogostost močnih padavin in poplav. Negativni vidiki poplav na ribe bodo ob že prisotnem drastičnem padcu gostote populacij domorodnih vrst rib še bolj izraziti. V kolikor želimo v naših vodotokih ohraniti ribje združbe in njihovo sposobnost prilagajanja na poplave, je pomembno, da v vodotokih zagotovimo raznolikost habitatov.

Ribištvo in poplave

Ribištvo in ribogojstvo sta v Sloveniji pomembni gospodarski dejavnosti, ki sta bili zaradi poplav v avgustu 2023 močno prizadeti. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano je takoj po ujmi pristopilo k zbiranju podatkov o škodi.

Ministri EU za kmetijstvo in ribištvo so na zasedanju v Bruslju 18. 9. 2023 obravnavali tako kmetijske kot ribiške teme.. Ministri EU so se na pobudo Slovenije seznanili s škodo v kmetijstvu, gozdarstvu in akvakulturi zaradi poplav v letu 2023. V nedavnih poplavah je tudi sektor akvakulture utrpel veliko škodo. Ministrica Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano je pojasnila, da je bila pri 35 ribiških družinah in 20 subjektih, dejavnih v sektorju akvakulture (skupaj 29 objektov), popisana škoda. Skupna ocenjena škoda znaša prek 6 milijonov evrov, od tega škoda na objektih znaša več kot 700.000 evrov, več kot 500.000 evrov na opremi ter več kot 2,6 milijona evrov škode na gojenih in prostoživečih ribah in več kot 2,2 milijona zaradi izpada dohodka (Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, 2023).

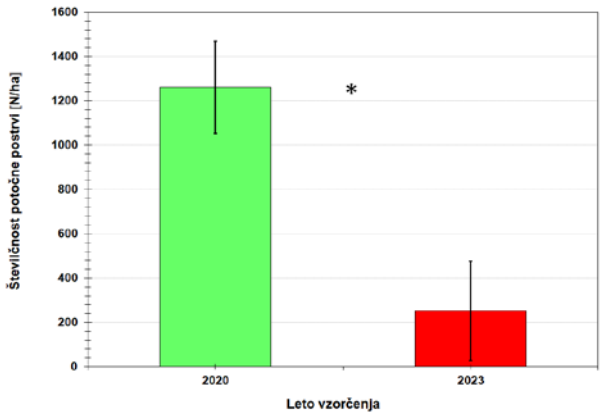
Poleg ribogojstva je v Sloveniji pomembna dejavnost športni ribolov, saj je pogosto del lokalne turistične ponudbe. Ribolov predstavlja vir zaslužka tudi za ponudnike drugih storitev, kot sta gostinstvo in ponudba nočitev. V Sloveniji ribiške družine in Zavod za ribištvo Slovenije upravljamo z ribolovnimi revirji, ki jih obiskujejo tako domači kot tuji ribiči. Za razvoj športnega ribolova je seveda pomembno, da lahko ribiči lovijo ribe v naravnem okolju, torej v vodotokih, ki niso regulirani.

Ena od pomembnejših ribolovnih vrst rib v Sloveniji je potočna postrv. Potočna postrv poseljuje nekatere vodotoke, ki so bili v letošnji ujmi močno prizadeti – reke Mežo, Mislinjo, Savinjo, Kamniško Bistrico in njihove pritoke. Na posameznih odsekih teh vodotokov Zavod za ribištvo Slovenije v okviru državnega monitoringa za Agencijo Republike Slovenije za okolje izvaja vzorčenje rib z namenom spremljanja ekološkega stanja voda.

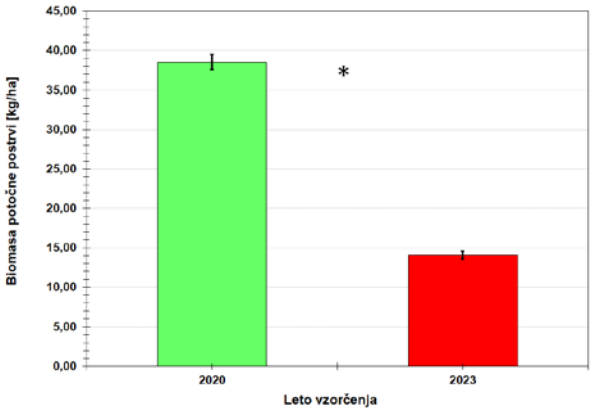
Visoki pretoki imajo vpliv na razporejanje rib v strugah vodotokov. Zaradi izrednih razmer vzorčenja rib po poplavah v avgustu 2023 ni bilo mogoče izvajati na prizadetih območjih Meže, Mislinje, Savinje in Kamniške Bistrice, kjer bi bila primerjava gostote naseljenosti rib pred in po poplavah najbolj relevantna. V nadaljevanju zato prikazujemo stanje populacije potočne postrvi na Mutski Bistrici, kjer smo v avgustu 2023 po ujmi izvedli vzorčenje. Na območju Mutske Bistrice zaradi reguliranega režima pretoka sicer ni prišlo do poplavljanja, kljub temu pa so bili v času poplav pretoki močno povečani.

Vrsta, ki je na izbranem odseku zastopana v največjem številu in masi, je potočna postrv, ki je lovna ribja vrsta, zato smo se osredotočili le na to vrsto. V nadaljevanju prikazujemo razliko v oceni naseljenosti (N/Ha) in biomase (kg/Ha) potočne postrvi na izbranem odseku Mutske Bistrice v Podlipju, kjer smo na istem odseku izvedli vzorčenje rib leta 2020 in leta 2023 po poplavah.

Iz rezultatov primerjave vzorčenja rib je razvidno, da je v letu 2020 naseljenost potočne postrvi v Mutski Bistrici znašala 1261 osebkov/ha, biomasa pa 38,56 kg/ha. V letu 2023 po poplavah je bila naseljenost potočne postrvi manjša in je znašala 253 osebkov/ha, biomasa pa 14,11 kg/ha. Naseljenost in biomasa potočne postrvi na vzorčenem odseku Mutske Bistrice v letu 2023 sta statistično značilno nižji (95% interval zaupanja). Naseljenost znaša okoli 20 % naseljenosti v letu 2020, pri čemer skupna biomasa potočne postrvi v letu 2023 dosega 36,6 % biomase rib v letu 2020.



Slika 1: Grafični prikaz gostote naseljenosti potočne postrvi in vseh vrst rib, ocenjene kot številčnost rib (N/ha) v posameznem letu vzorčenja. Z linijo je označen 95 % interval zaupanja, * predstavlja statistično značilno razliko.



Slika 2: Grafični prikaz gostote naseljenosti potočne postrvi in vseh vrst rib, ocenjene kot biomasa rib (kg/ha) v posameznem letu vzorčenja. Z linijo je označen 95 % interval zaupanja, * predstavlja statistično značilno razliko.

Sonaravne ureditve in obrežna vegetacija

Strokovnjaki s področja ribištva, ribiči in v zadnjih letih tudi strokovnjaki s področja vodarstva opozarjamo na dejstvo, da voda potrebuje svoj prostor. Prav tako z interdisciplinarnim sodelovanjem ozaveščamo tako strokovno kot laično javnost, da se sonaravno urejanje vodotokov in poplavna varnost med seboj ne izključujeta.

V času po poplavah v avgustu leta 2023 smo se ribiči pogosto srečali z izjavami, da je za reševanje nastalih posledic poplav krivo pomanjkljivo urejanje voda in da je betoniranje vodotokov edini pravi pristop, ki nam bo trajno zagotovil poplavno varnost. Ob tem naj dodamo, da se vidik urejanja prostora v Sloveniji, katerega posledica je dovoljena gradnja stanovanjskih in poslovnih objektov ob vodi in na dokazano poplavnih območjih, očitno samooklicanim strokovnjakom za poplavno varnost ne zdi pomemben.

Slika 3: Savinja pri Vrbju – sonaravne ureditve struge tik po izvedbi (Vir: G. Križnik).

Prav tako smo se srečali s trditvami, da so suhe zložbe z vidika stabilnosti neustrezne in da je treba vso vegetacijo z območja brežin vodotokov odstraniti.

Da temu ni tako, smo lahko ugotovili med in po poplavah avgusta 2023. V nadaljevanju je prikazano stanje nekaterih sonaravnih ureditev reke Savinje po letošnji ujmi. Po poročanju Ribiške družine Ljubno ob Savinji je v času poplav voda segala okoli 2 m nad brežino, zaradi česar je odneslo železno brv, sonaravne ureditve pa so obstale v celoti in zavarovale brežino pred erozijo (Slike 3, 4 in 5).

Žal se v času po poplavah avgusta 2023 soočamo tudi z nesprejemljivim poseganjem v sonaravne ureditve, ki so zdržale vodno ujmo, saj na obmo-

Slika 4: Savinja pri Vrbju – sonaravne ureditve struge pol leta po izgradnji (Vir: G. Križnik).

čju reke Savinje neznani izvajalci intervencijskih del uničujejo obstoječe sonaravne ureditve tako, da odstranijo večje skale, ki jih nato uporabijo za regulacijo brežin s kamnom v betonu.

Da so sonaravne ureditve lahko zelo stabilne, se je pokazalo tudi na lokaciji ostrega ovinka struge Savinje, ki poteka tik ob cesti. Ovinek je bil izpostavljen velikim vodnim silam. Ker so bile ureditve izvedene leta 2022, se na brežini še ni vzpostavila dokončna stabilna zarast z lesno vegetacijo. Kljub temu so bile poškodbe brežine minimalne, sonaravne ureditve pa so v celoti obvarovale cesto. Vegetacija na brežinah vodotokov, ki je sicer brez človekovega poseganja naravno prisotna, je prepogosto prepoznana kot element, ki ovira pretočnost vodotokov.

Slika 5: Savinja pri Vrbju – sonaravne ureditve struge po poplavah avgusta 2023 (Vir: G. Križnik).

Slika 6: Savinja pri Trbižu nad Ljubnim – sonaravne ureditve na ovinku struge, izvedene leta 2022 (Vir: G. Križnik).

Slika 7: Savinja pri Trbižu nad Ljubnim – eno leto stare sonaravne ureditve na ovinku struge po poplavah leta 2022 (Vir: G. Križnik).

Kako pomembna je vloga obrežne vegetacije – ne le z vidika ribištva in habitatov rib, temveč tudi z vidika stabilnosti brežin vodotokov, je prikazano na odseku reke Mislinje pod sotočjem s Suhodolnico v Slovenj Gradcu. Na Sliki 8 je prikazan odsek Mislinje na dan poplav, kjer je desna brežina brez pasu obrežne vegetacije; nedavno protipoplavno urejena struga sega tik do regionalne ceste. Kljub temu, da je bil oporni zid, ki podpira cesto, izveden z betonom in s kamnom v betonu, je cesto odtrgalo.

Na naslednji sliki je prikaz istega odseka reke Mislinje okoli 300 m gorvodno od poškodovane ceste – med izvedenim kamnometom in cesto se nahaja pas drevesne vegetacije, ki stabilizira brežino Mislinje. Na tem odseku cesta in brežina nista bili ogroženi.

Slika 8: Mislinja v Slovenj Gradcu – Poškodba regionalne ceste na dan 4. 8. 2023 na protipoplavno urejenem odseku (Vir: M. Čarf).

Slika 9: Mislinja v Slovenj Gradcu – struga z obojestransko obrežno vegetacijo okoli 300 m gorvodno od poškodovane ceste na dan 4. 8. 2023 (Vir: M. Čarf).

Zaključek

Strokovnjaki s področja ribištva že desetletja opozarjamo na pomen ustreznega prostorskega načrtovanja, urejanja prostora in umeščanja objektov v vodni in obvodni prostor. Pri rabi prostora na območju vodnih in priobalnih zemljišč je treba načrtovati posege ob upoštevanju temeljnih načel varstva okolja in upravljanja z vodami, kar nenazadnje določa tudi Zakon o vodah.

Kot smo že večkrat izpostavili, je izrednega pomena sodelovanje strokovnjakov z različnih področij, ki v medsebojni komunikaciji s pravim pristopom do posegov lahko omogočijo kvaliteten življenjski prostor, poplavno varnost in ohranjanje ribištva v Sloveniji.

Slovenski vodotoki niso grajeni objekti, namenjeni vzdrževanju in upravljanju, temveč predstavljajo življenjsko okolje mnogim vodnim organizmom in so tudi del življenjskega okolja ljudi. Življenje z vodo in ob vodi lahko s pravilnim pristopom nedvomno doprinese h kvaliteti življenja. Prav zaradi tega je na vodotok treba gledati celostno, tako v času, ko je vode v izobilju kot v času nizkih pretokov. Pri načrtovanju upravljanja z vodami je treba predvideti daljinske in kumulativne vplive posegov in dogodkov na vodotoke ter se temu ustrezno prilagoditi.

Zadnji poplavni dogodki na Kamniški Bistrici so pokazali, da je voda predrla brežine praviloma na mestih, kjer je bila v preteklih letih odstranjena obrežna zarast. Na teh mestih je prišlo tudi do ogromne škode zaradi uničujoče moči vode tam, kjer obrežne vegetacije ni bilo in zato moč vode ni bila zmanjšana. Na odsekih z drevesno in grmovno zarastjo je voda sicer prestopila bregove, vendar ni imela uničujoče razdiralne moči. Kot kažejo zadnji dogodki, odstranjevanje obrežne zarasti ob vodotokih ne prispeva k poplavni varnosti ampak ravno nasprotno. Se bomo iz tega kaj naučili?

Viri in literatura

Ausable river Association, 2023. Na spletni povezavi: https://www.ausableriver.org/blog/when-river-floods-fish-shelter-place.

Bischoff, A., Wolter, C. 2001. The flood of the century on the River Oder: effects on the 0Cfish com-munity and implications for floodplain restoration. Regul Rivers. 17:171-190.

Carlson, A. K., Fincel, M. J., Longhenry, C., Graeb, B. D. S., 2016. Effects of historic flooding on fishes and aquatic habitats in a Missouri River delta. Journal of Freshwater Ecology. 31. 1-18. 10.1080/02705060.2015.1128989.

Chevalier, M., Ngor, B., Pin, K., Touch, B., Lek, S., Grenouillet, G., Hogan, Z., 2023. Long-term data show alarming decline of majority of fish species in a Lower Mekong basin fishery. Science of The Total Environment, 891: 164624.

Fisheries and flooding, 2016. Na spletni povezavi: https://www.oxfordshirefloodtoolkit.com/pdfs/24/fisheries-flooding.pdf

George, S. D., Baldigo, B. P., Smith, A. J. in Robinson, G. R., 2015. Effects of extreme floods on trout populations and fish communities in a Catskill Mountain river. Freshw. Biol, 60: 2511-2522.

Haxton T., Friday M., Cano T., Hendry C. 2015. Assessing the magnitude of effect of hydroelectric production on Lake Sturgeon abundance in Ontario. N. Am. J. Fish. Manag. 2015;35:930–41.

Huang, G., Wang, Q., Chen, X., in sod. Evaluating impacts of an extreme flood on a fish assemblage using hydroacoustics in a large reservoir of the Yangtze River basin, China. Hydrobiologia 841, 31–43 (2019).

Kano Y., Ohnishi K., Tomida Y., Ikeda N., Iwawaki N., Miyagawa M., Harada Y., Ichiyanagi H,Watanabe K. 2011. Fluctuation and variation in stream-fish assemblages after a catastrophicflood in the Miyagawa River, Japan. Environ Biol Fish. 92:447-460.

Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, 2023. Na spletni povezavi: https://www.gov.si/novice/2023-09-18-ministrica-sinko-potrebna-bo-znatna-pomoc-v-sektorju-kmetijstva-gozdarstva-in-ribistva/

Rytwinski, T., Taylor, J. J., Bennett, J. R., in sod. What are the impacts of flow regime changes on fish productivity in temperate regions? A systematic map protocol. Environ Evid 6, 13 (2017).

Salmonids in the floods, 2023. Na spletni povezavi: https://www.gwct.org.uk/fishing/research/salmon/salmonids-in-the-floods/

Tockner K, Malard F, Ward JV. 2000. An extension of the flood pulse concept. Hydrol Process.14:2861-2883. Journal of Freshwater Ecology: 287.

Tome, D., Batič, F. Ekologija : Organizmi v prostoru in času. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana, 2006: 344 str.

Biološka zbirka podatkov Zavoda za ribištvo Slovenije. Zavod za ribištvo Slovenije, 2023.

02

Količinsko in kakovostno stanje podzemnih vod v Sloveniji

OCENA KEMIJSKEGA STANJA PODZEMNE VODE - DANES IN JUTRI

mag. Polonca Mihorko, univ. dipl. kem., Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana

mag. Marina Gacin, univ. dipl. inž. geol., Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana

mag. Mojca Dobnikar Tehovnik, univ. dipl. kem.,
Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana

Povzetek

Podzemna voda je skrita pod zemeljskim površjem in je ne vidimo. Njeno lepoto lahko občudujemo le na mestih, kjer izvira, ali pa v naših kraških jamah. Dejstvo, da je skrita pod zemeljskim površjem, daje lažni občutek, da je podzemna voda zaščitena pred morebitnim onesnaženjem, ki ga povzroča človek s svojimi dejavnostmi. Vendar pa ima podzemna voda slabo samočistilno sposobnost in onesnaženje, ki zaide v podzemno vodo, se zaradi specifičnih fizikalnih in kemijskih procesov tam zadržuje daljši čas. Zato je najpomembnejša naloga vseh nas preprečevanje vsakršnega onesnaženja, še posebej ob dejstvu, da podzemna voda predstavlja glavni vir pitne vode v Sloveniji.
Agencija Republike Slovenije za okolje izvaja monitoring podzemne vode na podlagi Zakona o varstvu okolja in podzakonskih aktov. Program spremljanja kakovosti podzemne vode je za vsako leto pripravljen v skladu z Uredbo o stanju podzemnih voda in Pravilnikom o monitoringu podzemnih voda, ki sta v slovenski pravni red v letu 2009 prenesla Direktivo o varstvu podzemne vode pred onesnaževanjem in poslabšanjem.

Glede na standarde kakovosti in vrednosti praga, ki so predpisani v Uredbi o stanju podzemnih voda določimo kemijsko stanje vodnih teles podzemne vode. Vodna telesa podzemne vode so lahko razvrščena v dva razreda in sicer dobro ali slabo kemijsko stanje.

Uvod

V prispevku je predstavljeno kemijsko stanje podzemne vode in preiskovalni monitoringi, ki jih izvajamo v okviru monitoringa podzemnih voda (ostanki zdravil, novodobna onesnaževala in metaboliti pesticidov). Predstavljeni so tudi izzivi, ki nam jih v naslednjih letih prinašajo spremembe zakonodaje na evropskem nivoju.

Kemijsko stanje podzemne vode - danes

Agencija Republike Slovenije za okolje izvaja monitoring voda v naravnem okolju na podlagi Zakona o varstvu okolja in podzakonskih aktov. Program spremljanja kakovosti podzemne vode je za vsako leto pripravljen v skladu z Uredbo o stanju podzemnih voda in Pravilnikom o monitoringu podzemnih voda, ki sta v slovenski pravni red v letu 2009 prenesla Direktivo o varstvu podzemne vode pred onesnaževanjem in poslabšanjem. Direktiva predpisuje izvajanje nadzornega in operativnega monitoringa. Nadzorni monitoring se izvaja v skladu z načrtom upravljanja voda, ki se pripravi vsakih šest let in zajema določanje kemijskega stanja na vseh vodnih telesih. Operativni monitoring se izvaja letno na vodnih telesih, ki v preteklosti niso dosegala dobrega kemijskega stanja, na vodnih telesih, ki so zaradi rabe prosto-

ra še posebej ranljiva in na vodnih telesih, v katerih so viri namenjeni oskrbi s pitno vodo večjega števila prebivalcev.

Merila za oceno kemijskega stanja podzemne vode

Uredba o stanju podzemnih voda predpisuje metodologijo in mejne vrednosti za določanje ocene kemijskega stanja podzemne vode. V uredbi so tako poleg metodologije predpisani:

- standardi kakovosti in
- vrednosti praga.

Standardi kakovosti predpisujejo mejne vrednosti za nitrat in pesticide (posamezne in vsoto) in so enaki za vse države Evropske unije. Vrednosti praga določi vsaka država posebej na podlagi analize pritiskov. V Sloveniji smo zato določili vrednosti praga za nekatere lahkohlapne alifatske halogenirane ogljikovodike.

Parametri, za katere so z Uredbo o stanju podzemnih voda določeni standardi kakovosti podzemne vode in vrednosti praga, so prikazani v tabelah 1 in 2.

Parameter	Enota	Standard kakovosti
Nitrati	mg NO3/L	50
Posamezen pesticid in njegovi relevantni razgradni produkti	µg/L	0,1
Vsota vseh izmerjenih pesticidov in njihovih relevantnih razgradnih produktov	µg/L	0,5

Tabela 1: Standardi kakovosti za oceno kemijskega stanja podzemne vode

Parameter	Enota	Vrednost praga
Diklorometan	µg/L	2
Tetraklorometan	µg/L	2
1,2-Dikloroetan	µg/L	3
1,1-Dikloroeten	µg/L	2
Trikloroeten	µg/L	2
Tetrakloroeten	µg/L	2
Vsota lahkohlapnih alifatskih halogeniranih ogljikovodikov	µg/L	10

Tabela 2: Vrednosti praga za oceno kemijskega stanja podzemne vode

Kemijsko stanje vodnega telesa podzemne vode se določi vsako leto na podlagi podatkov, zbranih v okviru monitoringa podzemne vode. Za vsak parameter, naveden v uredbi se izračuna letno povprečje.

Vodno telo ima dobro kemijsko stanje, če povprečne letne vrednosti posameznega parametra ne presegajo standardov kakovosti ali vrednosti praga.

V primeru, da je standard kakovosti ali vrednost praga presežena na enem ali več merilnih mestih, se za oceno kemijskega stanja vodnega telesa izvedejo dodatni testi in sicer:

- Test 1: Vdor slane vode ali druge vrste vdor
- Test 2: Vpliv na kemijsko in ekološko stanje površinske vode
- Test 3: Vodni in kopenski ekosistemi, odvisni od podzemne vode
- Test 4: Zavarovana območja pitne vode
- Test 5: Splošna ocena kemijskega stanja podzemne vode

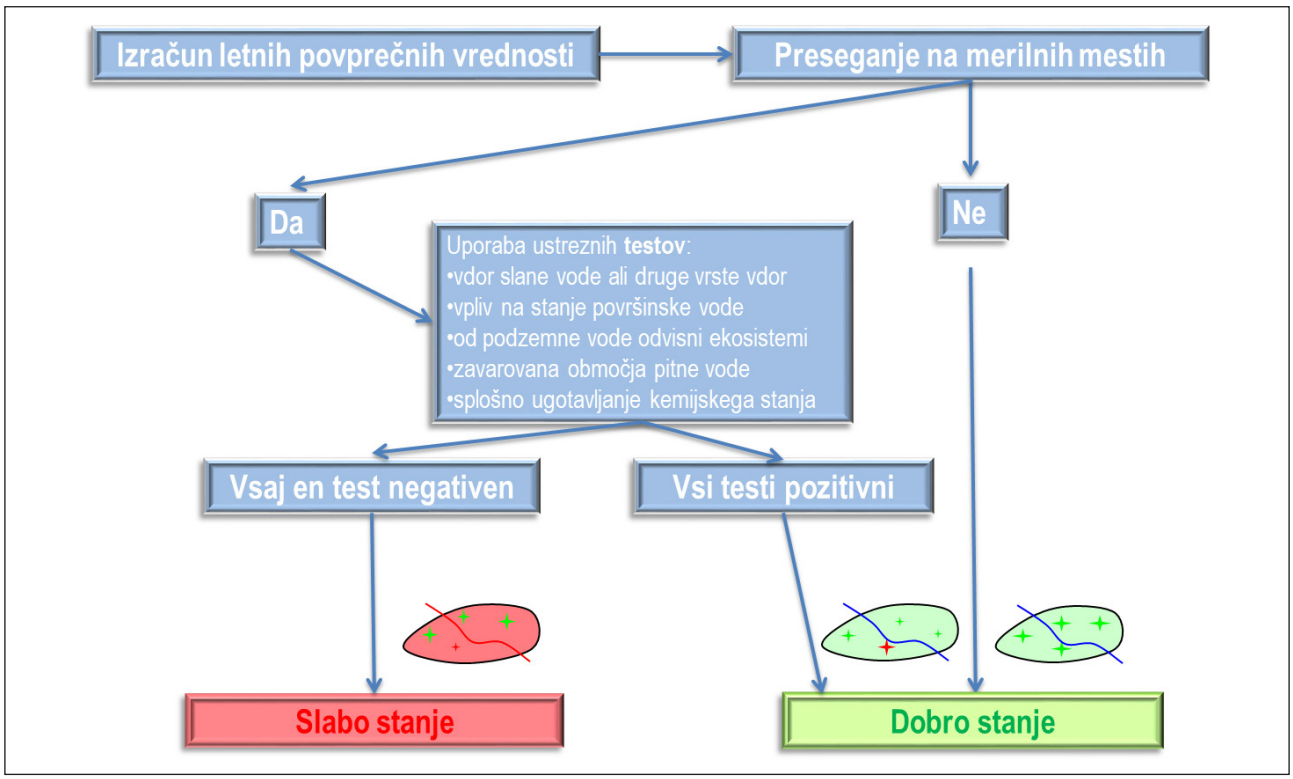
Test 1: Vdor slane vode ali druge vrste vdor
S testom se ugotavlja ali parametri (npr. eklektična prevodnost) nakazujejo vdor slane vode ali druge vrste vdor vode slabše kakovosti v vodno telo podzemne vode.

Test 2: Vpliv na kemijsko in ekološko stanje površinske vode
S testom je potrebno oceniti, ali je prenos onesnaževal iz podzemne vode v površinsko tolikšen, da lahko ogroža cilje za doseganje dobrega stanja površinskih voda. Test je potrebno izvesti za tista vodna telesa podzemnih voda, ki so povezana z vodnimi telesi površinskih voda, ki ne dosegajo dobrega stanja.

Test 3: Vodni in kopenski ekosistemi, odvisni od podzemne vode
S testom se ugotavlja, ali pomembne in značilne poškodbe vodnih in kopenskih ekosistemov, ki so neposredno odvisni od podzemne vode, povzročajo koncentracije onesnaževal v podzemni vodi.

Test 4: Zavarovana območja pitne vode
S testom se ugotavlja ali koncentracije onesnaževal v podzemni vodi povzročajo obširnejše in pogostejše obdelave pitne vode (vključno z mešanjem) na točki črpanja.

Test 5: Splošna ocena kemijskega stanja podzemne vode
S testom se ugotavlja, kolikšno območje vodnega telesa ali kolikšen volumen podzemne vode tega telesa pripada merilnim mestom s preseženimi standardi kakovosti ali vrednostmi praga. Če je preseganje večje kot 30 %, se za vodno telo določi slabo kemijsko stanje.



Slika 1: Shematski prikaz izračuna kemijskega stanja podzemne vode

V kolikor je eden od testov negativen je vodno telo uvrščeno v slabo kemijsko stanje. V nasprotne primeru je kemijsko stanje vodnega telesa dobro. Postopek za ugotavljanje kemijskega stanja vodnega telesa podzemne vode je prikazan na sliki 1.

V okviru ocene stanja podzemne vode spremljamo tudi trende onesnaževal v podzemni vodi. Trendi se ugotavljajo za posamezna vodna telesa podzemne vode in za posamezna merilna mesta znotraj vodnih teles. Statistično značilne trende onesnaževal ugotavljamo v vodnih telesih podzemne vode in vodonosnikih z medzrnsko poroznostjo in sicer za tista merilna mesta, za katere je na voljo najmanj 6 letni niz podatkov.

Trende ugotavljamo za nitrat ter atrazin, ki sta vzrok slabemu kemijskemu stanju podzemne vode. Poleg omenjenih dveh spojin statistično vrednotimo tudi desetil-atrazin, ki je razgradnji produkt atrazina. Razgradni produkt nam poda vpogled v hitrost razpada atrazina.

Za oceno statistično značilnega trenda za posamezna vodna telesa in merilna mesta smo v letu 2022 izbrali obdobje med leti 1998-2022 (25-letni niz podatkov). Poleg ocene trenda za celotno izbrano obdobje smo v letu 2022 prvič izvedli statistično analizo tudi za krajše časovno obdobje na koncu podatkovnega niza (6 do 18 let). Namen teh analiz je vpogled v razvoj trenda proti koncu podatkovnega niza. Ker se zanesljivost ocene trenda s krajšim nizom podatkov zmanjša smo glede na število obravnavanih let določili tudi zanesljivost obravnavanega trenda (Tabela 3).

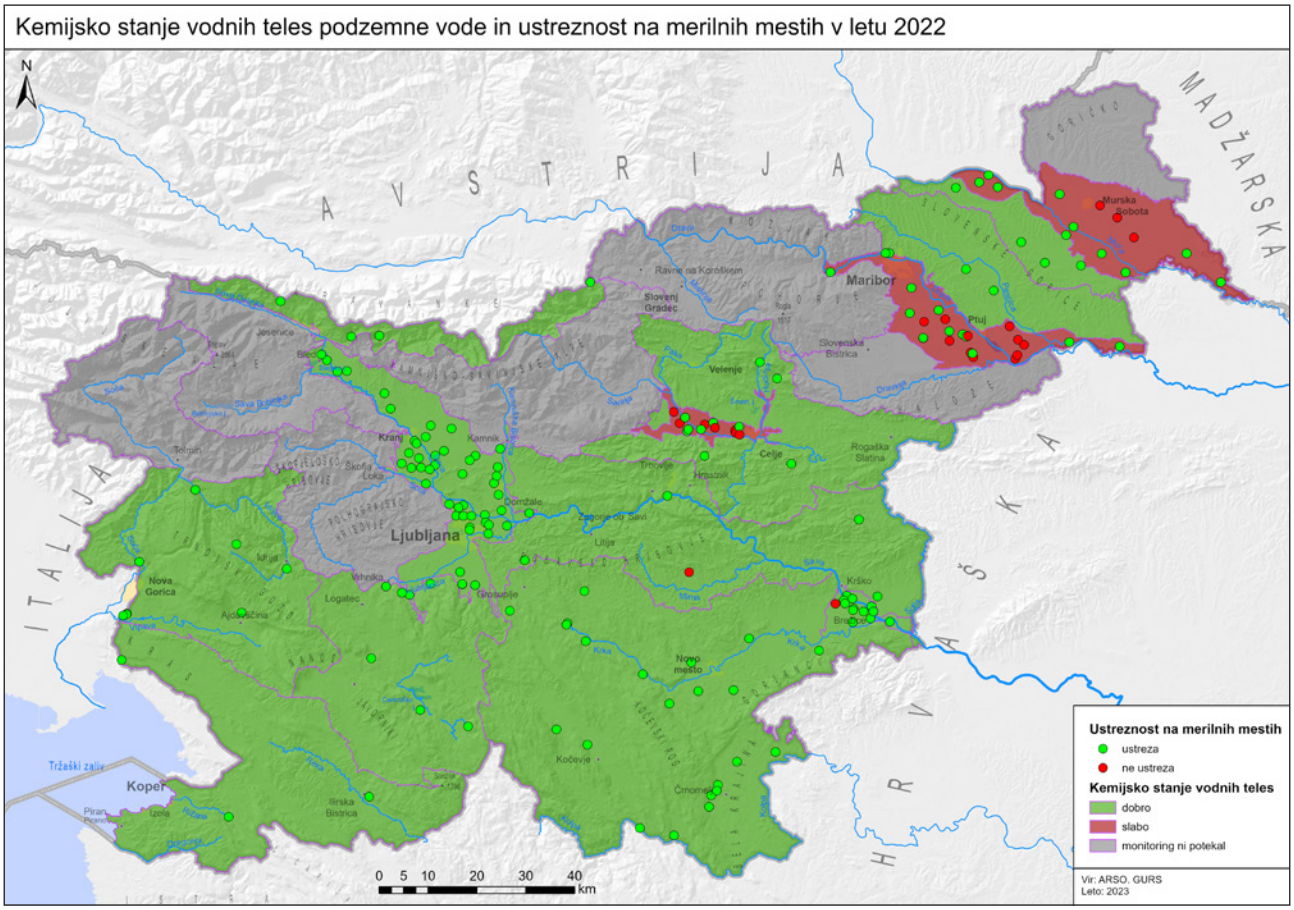
Število let	Zanesljivost ocene trenda
6-10	nižja
11-14	srednja
15-18	višja

Tabela 3: Zanesljivost ocene trenda glede na število let – krajše obdobje na koncu podatkovnega niza

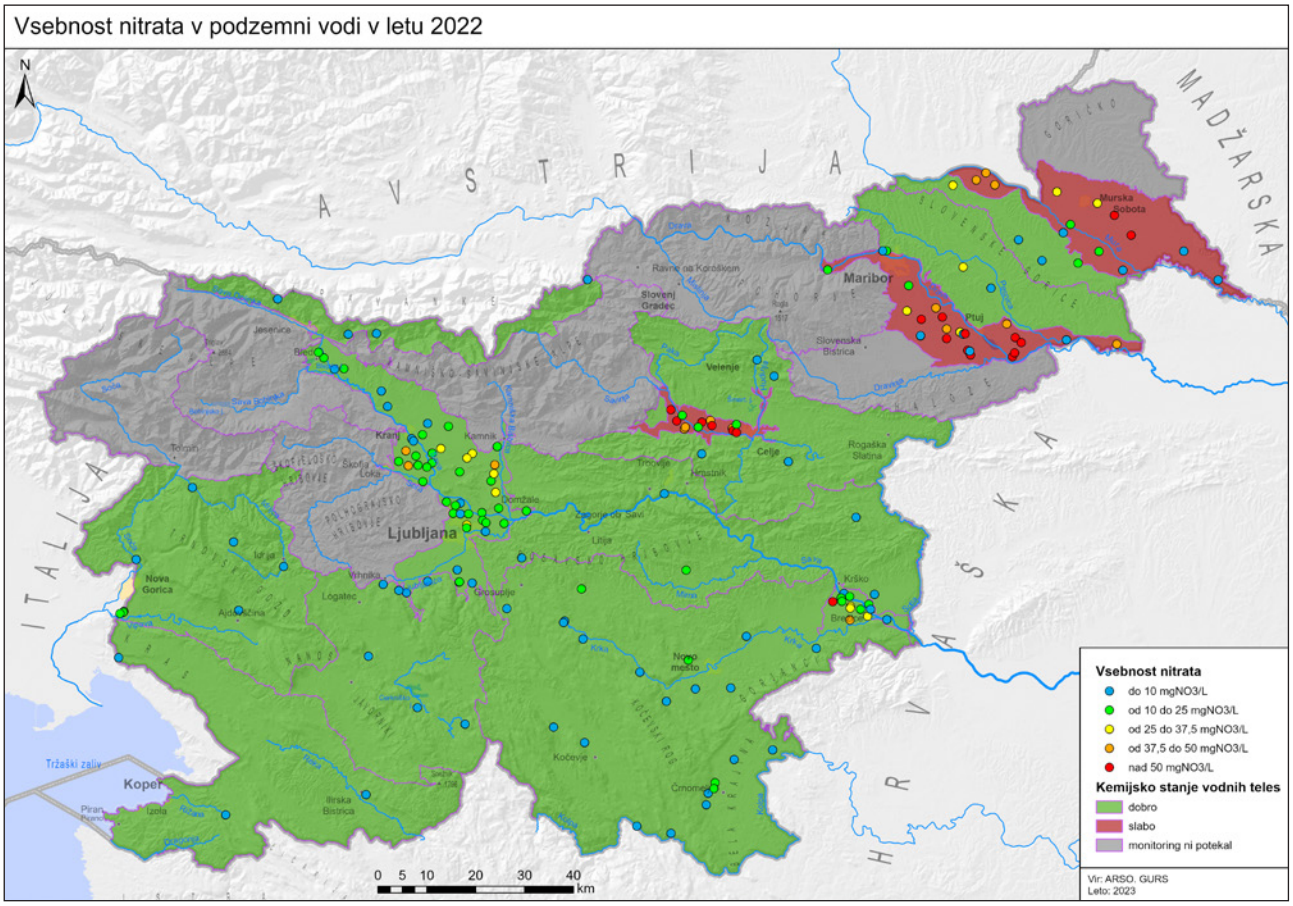
Ocena kemijskega stanja podzemne vode v letu 2022

V letu 2022 se je izvajal operativni monitoring in sicer na 14 vodnih telesih podzemne vode. V program je bilo vključenih 173 merilnih mest, od tega 129 na vodonosnikih s prevladujočo medzrnsko poroznostjo ter 44 na vodonosnikih s prevladujočo kraško in razpoklinsko poroznostjo.

Največja gostota merilnih mest je na bolj obremenjenih vodnih telesih, na ostalih, predvsem kraških vodnih telesih, je gostota nižja. Na kraških vodnih telesih reprezentativni kraški izviri z večjimi napajalnimi zaledji zajamejo večji delež telesa. Podzemna voda je bolj obremenjena v vodonosnikih z medzrnsko poroznostjo, boljše kakovosti pa je v vodonosnikih z razpoklinsko ali kraško



Slika 2: Kemijsko stanje vodnih teles podzemne vode in ustreznost po merilnih mestih v letu 2022



Slika 3: Vsebnost nitrata v podzemni vodi v letu 2022

poroznostjo. Zaradi intenzivnih človekovih dejavnosti so najbolj obremenjena vodna telesa v severovzhodnem delu Slovenije. V letu 2022 smo slabo kemijsko stanje določili za Savinjsko, Dravsko in Mursko kotlino (Slika 2)

Podzemna voda v Savinjski, Dravski in Murski kotlini je prekomerno obremenjena z nitrati, v Dravski kotlini pa tudi z atrazinom in njegovim razpadnim produktom desetil-atrazinom. Vodni telesi Murska in Savinjska kotlina sta lokalno obremenjeni z lahkohlapnimi halogeniranimi alifatskimi ogljikovodiki, občasno preseganja opazimo tudi na drugih vodnih telesih.

Vsebnost nitrata v letu 2022

Vsebnost nitrata se v programu monitoringa podzemne vode določa na vseh merilnih mestih v spomladanskem in jesenskem vzorčenju. Analize v letu 2022 smo izvedli na 173 merilnih mestih. Na 20 merilnih mestih smo ugotovili preseganje standarda kakovosti, kar predstavlja 11,6 % vseh merilnih mest. Nitrat je vzrok za slabo kemijsko stanje vodnih teles Dravske, Murske in Savinjske kotline. Na drugih vodnih telesih je obremenjenost z nitratom nižja, najnižja pa je vodnih telesih s prevladujočimi kraško razpoklinskimi vodonosniki. Vsebnost nitrata po razredih je prikazana tudi na sliki 3.

Vsebnosti nitrata se v posameznih vodnih telesih za obdobje med leti 1998-2022 statistično znižujejo z izjemo vodnega telesa Krška kotlina, kjer trenda ni. Nasprotno, pa v vodnih telesih podzemne vode za krajša obdobje trenda ni (Tabela 4).

Podobne rezultate je analiza trendov pokazala tudi na znatnem številu merilnih mest, kjer je statistično značilen trenda za nitrat prisoten za celotno obdobje, medtem ko ga za krajše obdobje ni. V tabeli 5 so prikazana merilna mesta na vodnih telesih, kjer je nitrat vzrok za slabo kemijsko stanje. Celotna tabela je objavljena v poročilu na spletni strani ARSO.

Vsebnost pesticidov v letu 2022

Pesticidi se v vodnih telesih podzemne vode pojavljajo večinoma le v sledovih, izjema so le nekatera merilna mesta na vodnem telesu Dravske in Murske kotline. Na Dravski kotlini je atrazin vzrok

Vodno telo podzemne vode	Trend 1998-2022	Krajše obdobje	Krajše obdobje (število let)	Trend - krajše obdobje	Zanesljivost trenda - krajše obdobje
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Trend pada	2015-2022	8	Trenda ni	nižja
Savinjska kotlina	Trend pada	2006-2022	17	Trenda ni	višja
Krška kotlina	Trenda ni	2003-2022			
Dravska kotlina	Trend pada	2011-2022	12	Trenda ni	srednja
Murska kotlina	Trend pada	2007-2022	16	Trenda ni	višja
Goriška Brda in Trnovsko Banjška planota	Trend pada	2011-2022	15	Trenda ni	srednja

Tabela 4: Nitrat - statistično značilni trendi v vodnih telesih podzemne vode med leti 1998-2022 in za krajše obdobje

Šifra VTPodV	Merilno mesto	Trend 1998-2022	Krajše obdobje	Krajše obdobje (število let)	Trend - krajše obdobje	Zanesljivost trenda - krajše obdobje
1002	Črpališče Roje	Trend pada	2010-2022	13	Trenda ni	srednja
1002	Dolenja vas ČB 1/83	Trend pada	2010-2022	13	Trenda ni	srednja
1002	Gotovlje 0800	Trend pada	2012-2022	11	Trenda ni	srednja
1002	Levec AMP P-1	Trend pada	2013-2022	10	Trenda ni	nižja
1002	Levec VČ-1772	Trend pada	2015-2022	8	Trenda ni	nižja
1002	Medlog 1941	Trend pada	2005-2022	18	Trenda ni	višja
1002	Medlog, vodnjak A	Trend pada	2013-2022	10	Trenda ni	nižja
1002	Šempeter 0840	Trend pada	2007-2022	16	Trenda ni	višja
3012	Črpališče Skorba VG-3	Trend narašča	2009-2022	14	Trenda ni	srednja
3012	Kamnica 0080	Trend pada				
3012	Kungota (Ku-1/09)	Trend pada	2015-2022	8	Trenda ni	nižja
3012	Lancova vas Lp-1	Trend pada	2013-2022	10	Trenda ni	nižja
3012	Skorba V-5	Trend pada	2006-2022	17	Trenda ni	višja
3012	Zagojiči ZP-3/01	Trend pada	2007-2022	16	Trenda ni	višja
4016	Rakičan (Ra-1/09)	Trend pada				
4016	Žepovci Žep-2/10	Trend narašča	2016-2022	7	Trenda ni	nižja

Legenda: VTPodV: vodno telo podzemne vode; 1002: Savinjska kotlina, 3012: Dravska kotlina, 4016: Murska kotlina

Tabela 5: Nitrat - statistično značilni trendi v podzemni vodi na merilnih mestih med leti 1998-2022 in za krajše obdobje

Vodno telo podzemne vode	Merilno mesto	Metolaklor (µg/L)	Atrazin (µg/L)	Desetil-atrazin (µg/L)	Terbutilazin (µg/L)
Posavsko hribovje do osrednje Sotle	Kamnje Š-1/92			0,13	
Dravska kotlina	Prepolje, P-1	0,12			
Dravska kotlina	Kidričevo		0,21		
Dravska kotlina	Skorba V-5		0,11		
Dravska kotlina	Spodnja Hajdina SHaj-1/14		0,102		
Dravska kotlina	Dornava (Do-1/09)	0,25			0,104
	Standard kakovosti	0,1	0,1	0,1	0,5

Tabela 6: Preseganje standarda kakovosti za posamezen pesticid po merilnih mestih v letu 2022

Šifra VTPodV	Merilno mesto	Trend 1998-2022	Krajše obdobje	Krajše obdobje (število let)	Trend - krajše obdobje	Zanesljivost trenda - krajše obdobje
3012	Kidričevo	Trend pada				
3012	Kungota (Ku-1/09)	Trend pada				
3012	Podova Pod-1/10	Trend pada				
3012	Prepolje, P-1	Trend pada	2014-2022	Trenda ni	9	nižja
3012	Skorba V-5	Trend pada	2015-2022	Trenda ni	8	nižja
3012	Spodnja Hajdina SHaj-1/14	Trend pada				
3012	Šikole	Trend pada				
4016	Gančani Gan-1/14	Trend pada				
4016	Odranci (Od-1/09)	Trend pada				

Legenda: VTPodV: vodno telo podzemne vode, 3012: Dravska kotlina, 4016: Murska kotlina

Tabela 6a: Atrazin - statistično značilni trendi v podzemni vodi na merilnih mestih med leti 1998-2022 in za krajša obdobja

za slabo kemijsko stanje. V letu 2022 smo pesticide spremljali na 66 merilnih mestih. Standard kakovosti je bil presežen na šestih merilnih mestih, od tega jih je pet na vodnem telesu Dravske kotline. Na treh merilnih mestih na Dravski kotlini je bila presežena vsebnost atrazina, kar je poleg nitrata tudi vzrok za slabo kemijsko stanje vodnega telesa Dravske kotline. (Tabela 6)

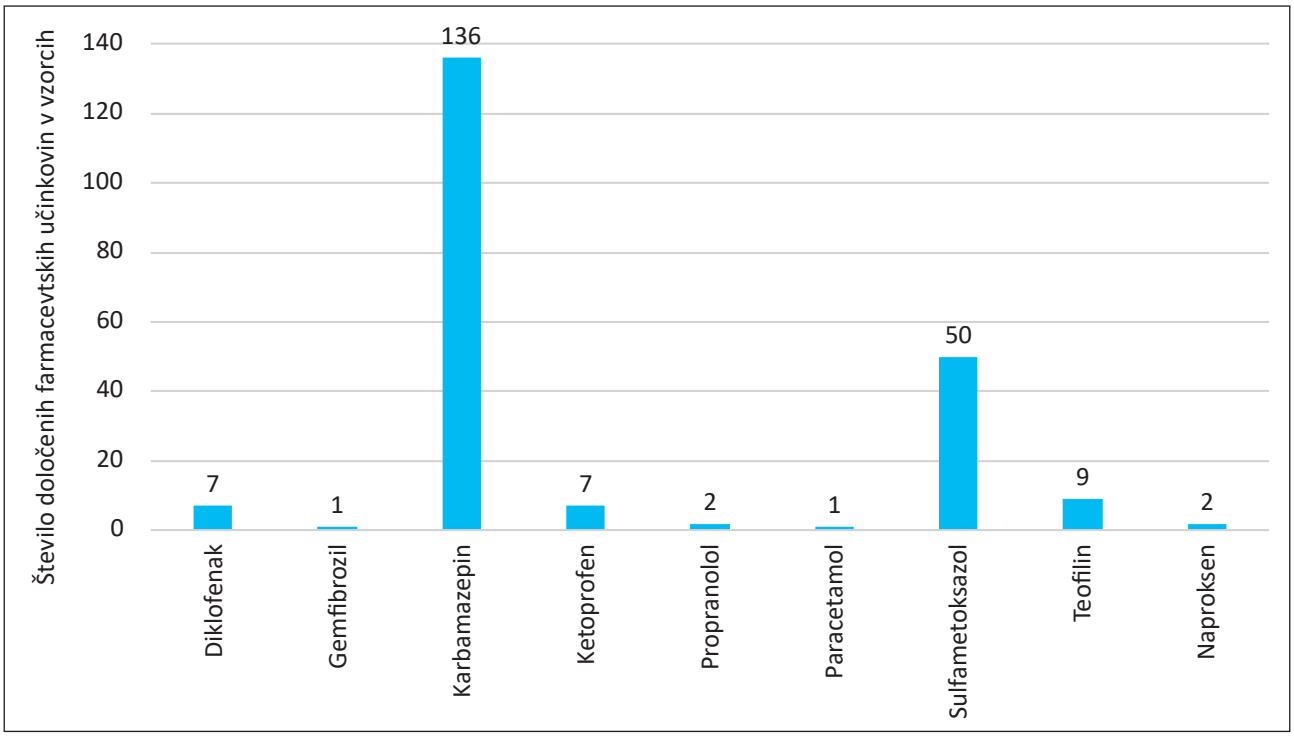
Ker se vsebnosti pesticidov v vodnih telesih podzemne vode pojavljajo le v sledovih obsežnejša analiza trendov ni potrebna. Izjema je le Dravska kotlina, kjer je atrazin še vedno vzrok za slabo kemijsko stanje. Na vseh merilnih mestih, kjer smo v letu 2022 zaznali preseganje (Tabela 5), trendi v obdobju 1998-2022 statistično značilno padajo. Trendi padajo tudi na nekaterih drugih merilnih mestih v Dravski kotlini in v Murski kotlini (Tabela 6a).

Preiskovalni monitoringi

V okviru monitoringa podzemne vode izvajamo tudi preiskovalne monitoringe. Vzpostavimo jih na področjih, kjer imamo malo podatkov ali na področjih, kjer je bilo zaznano onesnaženje. V okviru preiskovalnih monitoringov spremljamo tudi spojine, ki jih trenutno še ni v slovenski zakonodaji, jih bo pa vpeljala sprememba evropske zakonodaje. Nekateri preiskovalni monitoringi potekajo več let, nekateri se zaključijo po enem letu. V nadaljevanju so predstavljeni trije bolj obsežni preiskovalni monitoringi, ki potekajo že več let. Povzetki ostalih preiskovalnih monitoringov so dostopni v letnih poročilih, objavljenih na spletni strani ARSO.

Ostanki zdravil v podzemni vodi

Farmacevtske učinkovine in njihovi razgradnji produkti lahko končajo v okolju na več načinov (proizvodnja zdravil, uporaba zdravil, neustrezno odlaganje, gnojenje). Po ocenah največji delež prispeva uporaba zdravil tako v humani kot veterinarski medicini. Človeško ali živalsko telo namreč porabi le del zdravilnih učinkovin, preostanek le teh in njihovi razgradni produkti pa se izločijo preko ledvic ali črevesja in zato večinoma končajo v kanalizaciji, kjer preko čistilne naprave, ki jih pogosto odstrani le v sledovih, končajo v rekah, tleh in podzemni vodi. Veterinarski pripravki se s kmetijsko dejavnostjo preko gnoja ali gnojnice raztrosijo po njivah in vrtovih, kjer onesnažujejo tla, s spiranjem pa tudi vode. Nekatere spojine se v okolju razgradijo, nekatere pa so obstojne in jih



Slika 4: Število določenih farmacevtskih učinkovin v vzorcih v obdobju 2014-2022

v vodah lahko zaznavamo še mnogo let.
V okviru monitoringa podzemne vode smo v letu 2014 pričeli s spremljanjem farmacevtskih učinkovin in njihovih razgradnih produktov v podzemni vodi. Kriteriji, ki smo jih pri izbiri merilnih mest upoštevali, so bili podatki o čistilnih napravah v zaledju merilnih mest, urbana poselitev (problem neustrezno vzdrževane kanalizacije) in kmetijska področja.

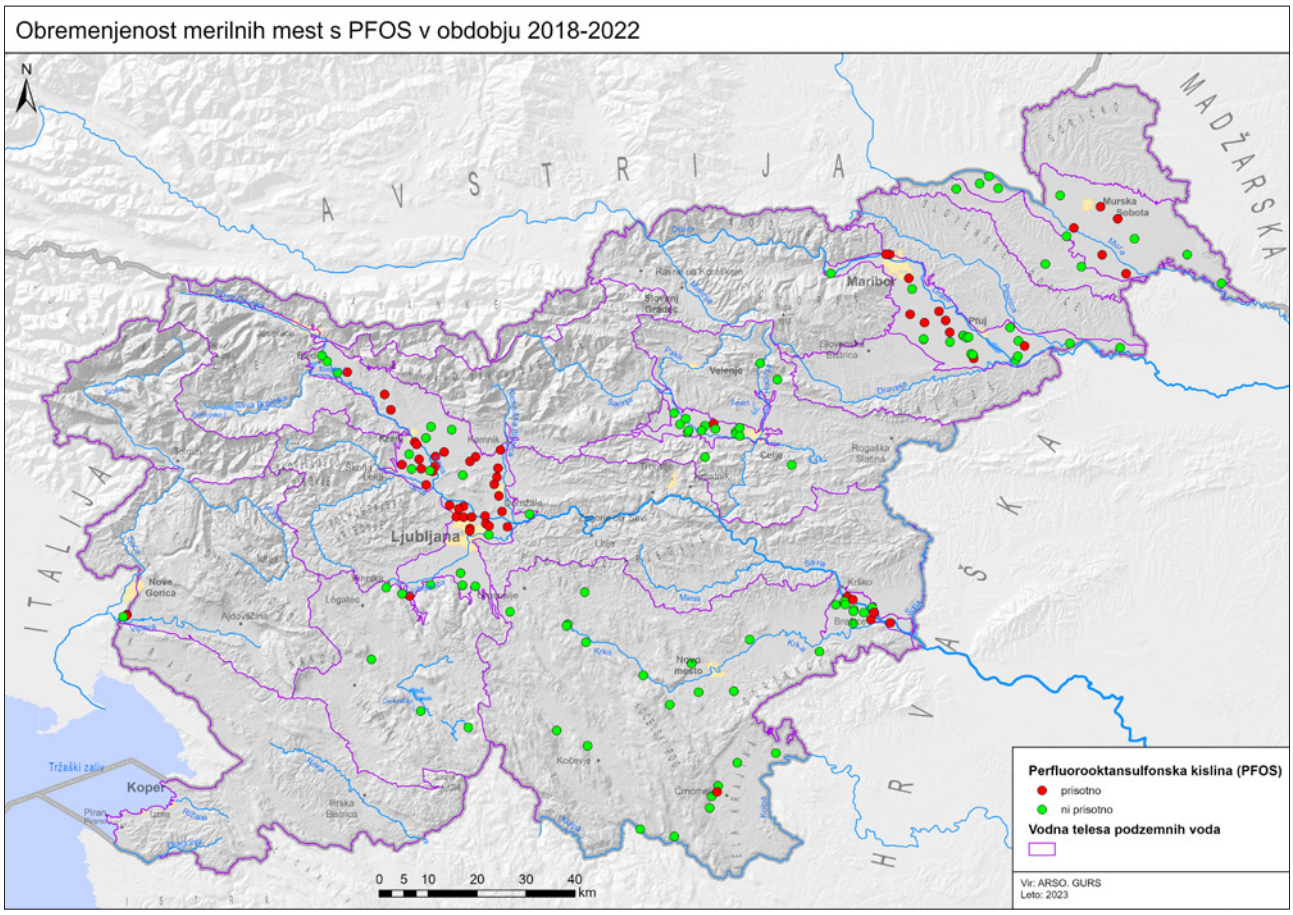
V celotnem obdobju od leta 2014 do 2022 v vzorcih določili skupaj 215 farmacevtskih učinkovin od tega najpogosteje karbamazepin in sulfametoksazol (slika 4).

Rezultati analiz so pokazali, da so nekatera merilna mesta bolj in stalno obremenjena s farmacevtiki. Večina obremenjenih merilnih mest se nahaja na vodnih telesih, kjer prevladuje kraški tip vodonosnika. Vire onesnaženja s farmacevtskimi učinkovinami v kraških izvirih gre iskati v njihovih napajalnih zaledjih, kjer onesnaženje največkrat povzročajo čistilne naprave in lokalno neurejena kanalizacija. Med najbolj obremenjeno merilno mesto spada izvir reke Krke, kjer ob vsakem vzorčenju določimo več vrst ostankov zdravil. V napajalnem zaledju izvira se nahaja čistilna naprava, prepoznan pa je tudi pritisk kmetijstva.

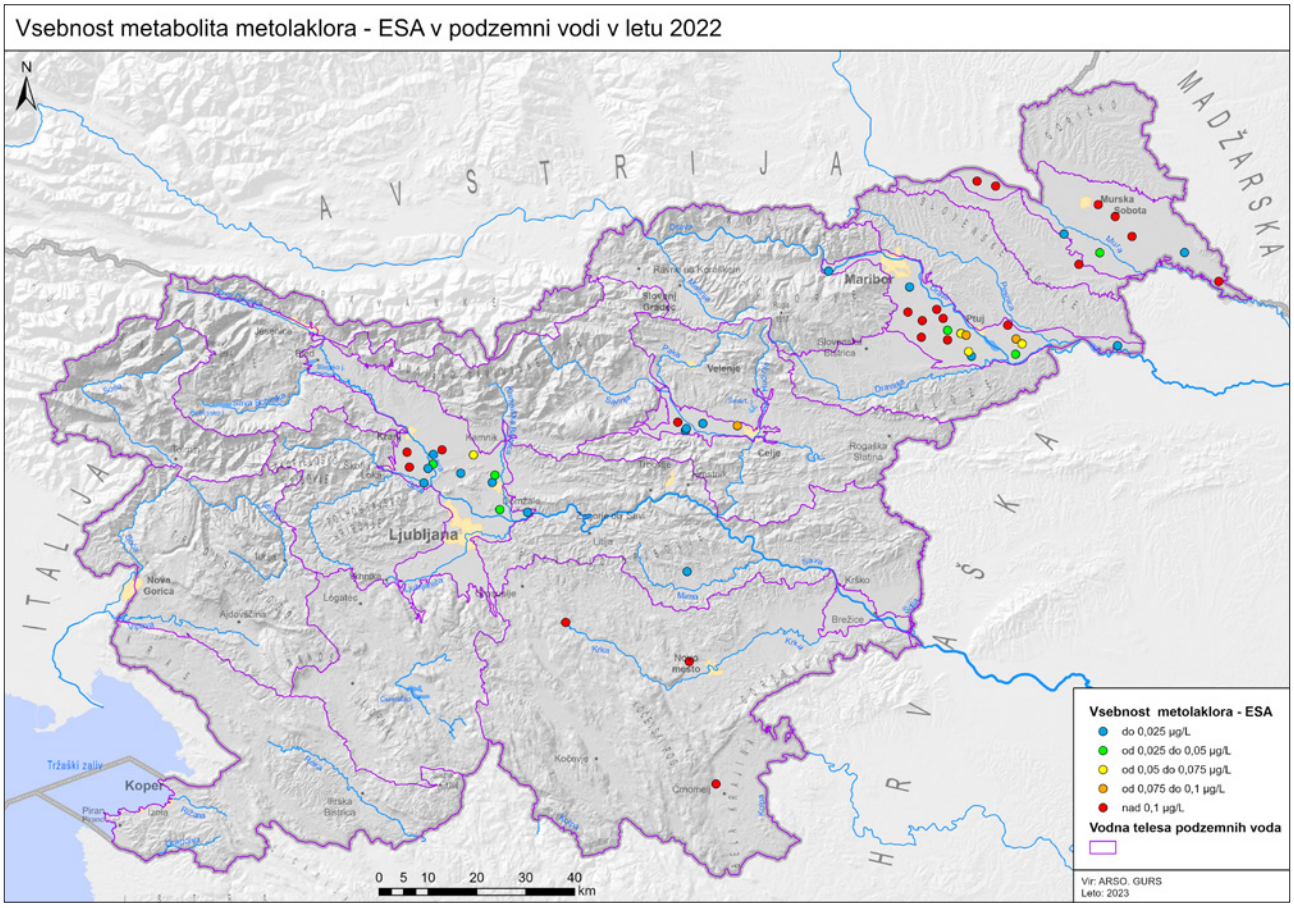
Analize perfluorooktansulfonske kisline (PFOS) in perfluorooktanojske kisline (PFOA)

PFOS in PFOA sta industrijski kemikaliji, ki sta imeli zaradi svojih hidrofobnih in lipofobnih lastnosti v preteklosti širok spekter uporabe. Uporabljali sta se v čistilnih izdelkih, v penah za gašenje in kot impregnacijsko sredstvo v številnih izdelkih, kot so preproge, pohištvo, papir, tekstil in usnje. Danes je uporaba močno omejena, uporabljata se le tam, kjer niso našli ustrezne zamenjave, npr. v fotografski industriji, v industriji elektronike in polprevodnikov ter v hidravličnih tekočinah v letalih. Zaradi izjemno močne vezi ogljik – fluor so te snovi med uporabo in tudi v okolju zelo obstojne proti razgradnji. Zato jim včasih rečemo tudi večne kemikalije. Večina PFAS se zlahka prenaša v okolju in razdalje od vira do sproščanja so lahko zelo velike.

PFOS v podzemni vodi spremljamo od leta 2018, PFOA pa od leta 2020. Večina merilnih mest, kjer smo v vzorcih določili PFOS in PFOA se nahaja na urbanih oziroma industrijskih področjih, kjer je bila verjetnost pojava v podzemni vodi tudi pričakovana. Daleč najbolj je obremenjeno vodno telo Savska kotlina in Ljubljansko barje, kjer je bila PFOS prisotna kar na 67,3% merilnih mest. Bolj obremenjeni sta tudi vodni telesi Krške in Dravske kotline ter nekaj merilnih mest na vodnem telesu Goriška Brda in Trnovsko-Banjška planota (slika



Slika 5: Obremenjenost merilnih mest z PFOS v obdobju 2018-2022



Slika 6: Povprečna letna vsebnost metolaklora – ESA v letu 2022

5) Rezultati analiz kažejo tudi na to, da so vsebnosti PFOA nižje kot vsebnosti PFOS. Standard kakovosti za vrednotenje PFOS in PFOA v podzemni vodi ni predpisan.

Metaboliti (razgradni produkti) pesticidov v podzemni vodi

Vsebnost pesticidov v podzemni vodi spremljamo od začetka monitoringa podzemne vode in sicer od leta 1987. V prvih letih so bila v vzorcih pogosto določena preseganja pesticidov, pogosti so bili tudi vzorci, kjer sta standard kakovosti presegala več kot dva pesticida. V zadnjih dveh letih so preseganja standarda kakovosti redka, v letu 2022 smo preseganja ugotovili v devetih (3,6 %) od 252 vzorcev. Glede na upadanje vsebnosti pesticidov v podzemni vodi v zadnjih letih na nivoju EU pozornost posvečajo tudi metabolitom pesticidov. Metaboliti so produkti razgradnje ali produkti reakcije aktivne substance, delimo pa jih na relevantne in nerelevantne. Posebej pomembni so relevantni metaboliti, saj imajo podoben toksikološki vpliv kot osnovna aktivna substanca. Od leta 1991 v podzemni vodi redno spremljamo dva metabolita atrazina (desetil-atrazin in desizopropil-atrazin) in od leta 2006 en metabolit terbutilazina (desetil-tebutilazin). Atrazin je od leta 2002 v Sloveniji umaknjen iz prodaje, medtem ko je terbutilazin še v uporabi. Metaboliti atrazina in terbutilazina se uvrščajo med relevantne metabolite.

V letu 2021 smo v program monitoringa podzemne vode prvič uvrstili metabolit metolaklora in sicer metolaklor-ESA (Metolachlor Ethane Sulfonic Acid). Metolaklor je mešanica dveh stereoizomer (S in R). R izomera je praktično neaktivna, zato v fazi proizvodnje poskušajo doseči čim večjo vsebnost S izomere. V metolakloru se tako nahaja 80-100 % S in 0-20 % R izomere. Glede na to, da je aktivna le S izomera pogosto metolaklor označujejo po aktivni substanci kot S-metolaklor.

Glede na toksikološke študije je bil na Evropsko Agencijo za kemikalije vložen predlog razvrstitve S-metolaklora med substance, ki so lahko kancerogene in vplivajo na razmnoževanje. Aktivna snov S-metolaklor je trenutno še v zaključni fazi revizije na Evropski agenciji za varnost hrane (EFSA) oziroma na Evropski Komisiji. Na podlagi osnutka ocene in RAC mnenja lahko pričakujemo, da bo metabolit metolaklor-ESA razglašen za relevantnega in bo zanj veljal standard kakovosti 0,1 µg/L.

Kriterij za uvrstitev merilnih mest v program spremljanja vsebnosti metolaklora-ESA je bilo pojavljenje pesticidov na merilnem mestu v preteklosti. V letih 2021 in 2022 smo izvedli 352 analiz in v 168 vzorcih (47,8 % vzorcev) določili prisotnost metolaklora-ESA. Rezultati spremljanja metabolita metolaklora-ESA so pokazali, da je največ merilnih mest s preseganji na Dravski in Murski kotlini, kjer je tudi zelo visok delež njivskih površin. Na teh dveh vodnih telesih je praktično dve tretjini vseh merilnih mest, kjer smo določili prisotnost metolaklora-ESA. Prisotnost metolaklor-ESA visoka je tudi v Savinjski kotlini (Braslovško polje) in Savski kotlini in Ljubljansko barje (Kranjsko in Sorško polje), kjer tudi prevladuje višji delež njivski površin.

Če torej podatke za metolaklor-ESA leto 2022 ovrednotimo na standard, ki velja za relevantne metabolite, ugotovimo, da je bilo od 104 vzorcev preseganje standarda kakovosti (0,1 µg/L) v 26 vzorcih (9,7 % vzorcev). Na sliki 6 je prikazana povprečna letna vsebnost metolaklora – ESA v letu 2022 po razredih.

Kemijsko stanje podzemne vode – jutri

Na EU nivoju je bil podan predlog spremembe Vodne direktive, Direktive o varstvu podzemne vode pred onesnaževanjem in poslabšanjem ter Direktive o okoljskih standardih kakovosti na področju vodne politike. Namen spremembe več direktiv, ki pokrivajo področje voda je pomoč pri uresničevanju enega od ciljev Evropskega zelenega dogovora, to je ničelno onesnaževanje za zrak, vodo in tla.

V okviru sprememb omenjenih direktiv se na seznam parametrov dodajajo nove spojine, ki jih bo potrebno spremljati v okviru monitoringa podzemne vode. Predlog nove liste parametrov je podan v tabeli 7. Poleg nitrata in pesticidov so dodane še vsota per- in polifluoroalkilne snovi (PFAS) iz skupine industrijskih kemikalij, farmacevtski izdelki in nerelevantni metaboliti pesticidov.

Uvedba novih parametrov predstavlja veliki izziv za monitoring kemijskega stanja podzemnih voda. Veliko breme bo padlo na laboratorije, ki izvajajo analize vzorcev, saj velika večina metod (skupna PFAS in metaboliti pesticidov) še ni vpeljana v rutinske analize.

Vrednotenje rezultatov analiz vzorcev z upoštevanjem novih standardov kakovosti pa se bo po vsej verjetnosti poznalo tudi na kemijskem stanju vodnih teles. V letu 2022 smo iz nabora predlaganih novih parametrov v vzorcih analizirali perfluorooktansulfonsko kislino (PFOS) in perfluorooktanojsko kislino (PFOA). Omenjeni dve spojini

spadata v vsoto per- in polifluoroalkilnih snovi (PFAS), ki je seštevek 24 spojin, pri katerih se upošteva tudi faktor relativne potentnosti. V tabeli 8 je prikazana vsota PFOS in PFOA za leto 2022.

Vsote, označene s poudarjenim tekstom, presegajo predlagan standard kakovosti za vsoto 24 spojin PFAS. Glede na to, da trenutno v monitoringu spremljamo le dve od 24 spojin, lahko v primeru, da bo predlagan standard sprejet, z veliko gotovostjo sklepamo, da bo vodno telo Savska kotlina in Ljubljansko barje v slabem kemijskem stanju zaradi PFAS. Podobno bi lahko sklepali tudi za Dravsko in Krško kotlino.

Ime snovi	Kategorija snovi	Enota	Standard kakovosti
Nitrati	**Hranila**	**mg NO3/L**	**50**
Aktivne snovi v pesticidih, vključno z relevantnimi metaboliti, razgradnimi in reakcijskimi produkti	Pesticidi	µg/L	0,1 (posamezno) 0,5 (vsota)
Per- in polifluoroalkilne snovi (PFAS) – vsota 24 spojin	Industrijske snovi	µg/L	0,0044
Karbamazepin	Farmacevtski izdelki	µg/L	0,25
Sulfametoksazol	Farmacevtski izdelki	µg/L	0,01
Farmacevtske učinkovine – vsota	Farmacevtski izdelki	µg/L	0,25
Nerelevantni metaboliti pesticidov (nrM)*	Pesticidi	µg/L	0,1 ali 1 ali 2,5 ali 5 (posamezno) 0,5 ali 5 ali 12,5 (vsota)

* Standard kakovosti za nerelevantne metabolite pesticidov se določi glede na to, koliko zanesljivih eksperimentalnih podatkov je na voljo o kroničnih ali akutnih učinkih nrM na taksonomsko skupino, za katero se zanesljivo predvideva, da je najbolj občutljiva. Če je podatkov na voljo malo, se iz previdnostnega načela uporablja najstrožji standard kakovosti.

Tabela 7: Predlog novih standardov kakovosti za podzemno vodo

Vodno telo podzemne vode	Merilno mesto	Leto	Vsota (µg/L)
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Naklo Nak-1/13	2022	0,004
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Podbrezje VPB-1/88	2022	0,0012
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Moste Most-1/18	2022	**0,0287**
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Dragočajna D-0185	2022	**0,0313**
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Trboje Trb-1/13	2022	**0,0297**
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Iskra Kranj 0391	2022	0,0038
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Meja 0320	2022	0,0023
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Meja Mej-1/13	2022	0,0041
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Drulovka Dru-1/14	2022	0,0030
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Podgorje Pod-1/14	2022	0,0037
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Domžale, C-4	2022	**0,0127**
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Domžale Dom-1/14	2022	**0,0088**
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Črpališče Lek	2022	0,0005
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Mengeš Men-1/14	2022	**0,0124**
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Podgorica 1991	2022	0,0036
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Jarški prod (III) JA-3	2022	**0,0048**
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Brod (Br-11) LV-0477	2022	0,0021
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Mercator V1	2022	**0,0137**
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Stožice LV-0277	2022	**0,0046**
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Vojkova Voj-1/14	2022	**0,0115**
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Navje-limnigraf	2022	0,0016
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Hrastje - ŠM1/2D	2022	0,0030
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Hrastje (I a) 0344	2022	**0,0190**
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Koteks-Zalog 0371	2022	**0,0071**
Krška kotlina	Krška vas Kvas - 1/15	2022	**0,0066**
Krška kotlina	PB-20	2022	0,0043
Dravska kotlina	Vrbanski plato 16	2022	**0,0049**
Dravska kotlina	Kamnica 0080	2022	0,0041
Dravska kotlina	Prepolje, P-1	2022	**0,0273**
Dravska kotlina	Starše Sta-1/10	2022	**0,0690**
Goriška Brda in Trnovsko-Banjška planota	Miren 0330	2022	0,0021

Tabela 8: Vsota PFOS in PFOA v letu 2022

V programu monitoringa kemijskega stanja podzemne vode spremljamo tudi metabolite pesticidov. Od relevantnih pesticidov spremljamo metabolita atrazina (desetil-atrazin in desizopropil-atrazin) in metabolit terbutilazina (desetil-tebutilazin). Noben od teh metabolitov ni vzrok za slabo kemijsko stanje podzemne vode. V primeru metabolita metolaklora metolaklor-ESA pa bo v primeru, da bo metabolit potrjen kot relevanten tudi zanj veljal standard kakovosti 0,1µg/L. V tem primeru bo brez ustreznih ukrepov na strani registracije z veliko verjetnostjo v slabem kemijskem stanju vodno telo Dravske in Murske kotline. Na ostalih vodnih telesih trenutno razpolagamo z manjšim številom meritev in ocene ne moremo podati.

V leto 2022 smo v podzemni vodi spremljali tudi vsebnosti karbamazepina in sulfametoksazola, vendar predlagani standardi kakovosti nikjer niso bili preseženi.

Zaključek

Rezultati monitoringa kemijskega stanja podzemne vode v letu 2022 so tako kot tudi v preteklih letih pokazali, da so bolj obremenjena vodna telesa, kjer prevladujejo vodonosniki z medzrnsko poroznostjo, boljše kakovosti pa je podzemna voda v vodnih telesih s prevladujočo razpoklinsko ali kraško poroznostjo. Zaradi intenzivnih človekovih dejavnosti so najbolj obremenjena vodna telesa v severovzhodnem delu Slovenije. Tako smo v letu 2022 slabo kemijsko stanje določili za Savinjsko, Dravsko in Mursko kotlino. Podzemna voda v Savinjski, Dravski in Murski kotlini je prekomerno obremenjena z nitrati, na Dravski kotlini pa tudi z atrazinom, ki je vzrok za slabo kemijsko stanje.
S spremembo direktiv, ki urejajo področje voda na evropskem nivoju (Vodna direktiva, Direktive o varstvu podzemne vode pred onesnaževanjem in poslabšanjem ter Direktive o okoljskih standardih kakovosti na področju vodne politike) se vnašajo v program monitoringa nova onesnaževala, ki bodo vplivala na kemijsko stanje podzemne vode. Zato redno vzpostavljamo preiskovalne monitoringe, s katerimi pridobimo informacije o vsebnosti predvsem novodobnih onesnaževal, preden so le ta uvrščena na seznam obveznih parametrov monitoringa podzemnih voda.

Viri

1. Zakon o vodah (Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 – ZZdrI-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15 in 65/20)
2. Zakon o varstvu okolja (Uradni list RS, št. 41/04, 17/06 – ORZVO187, 20/06, 49/06 – ZMetD, 66/06 – odl. US, 33/07 – ZPNačrt, 57/08 – ZFO-1A, 70/08, 108/09, 108/09 – ZPNačrt-A, 48/12, 57/12, 92/13, 56/15, 102/15, 30/16, 61/17 – GZ, 21/18 – ZNOrg, 84/18 – ZIURKOE, 158/20 in 44/22 – ZVO-2)
3. Uredba o stanju podzemnih voda (Uradni list RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16)
4. Uredba o stanju površinskih voda (Uradni list RS, št. 14/09, 98/10, 96/13, 24/16)
5. Uredba o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov (Uradni list RS, št. 113/09, 5/13, 22/15 in 12/17)
6. Direktiva 2000/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike
7. Direktiva o varstvu podzemne vode pred onesnaženjem in poslabšanjem 2006/118/ES
8. Direktiva Sveta 91/676/EGS z dne 12. decembra 1991 o varstvu voda pred onesnaženjem z nitrati iz kmetijskih virov
9. Direktiva Komisije 2009/90/ES z dne 31. julija 2009 o določitvi strokovnih zahtev za kemijsko analiziranje in spremljanje stanja voda v skladu z Direktivo Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES
10. Kemijsko stanje podzemne vode v Sloveniji, Poročilo za leto 2022 http://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/publikacije%20in%20poro%c4%8dila/Porocilo_podzemna_2022.pdf
11. Podatki in analiza trendov monitoringa kemijskega stanja podzemne vode http://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/publikacije%20in%20poro%c4%8dila/Porocilo_podzemna_2022.pdf

PREISKOVALNI MONITORING KAKOVOSTI VODA V VPLIVNEM OBMOČJU KRIŽNE JAME

mag. Marina Gacin, univ. dipl. ing. geologije,
Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1 B, Ljubljana

mag. Polonca Mihorko, univ. dipl. kem.,
Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1 B, Ljubljana

mag. Irena Cvitanič, univ. dipl. kem.,
Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1 B, Ljubljana

mag. Mojca Dobnikar Tehovnik, univ. dipl. kem.,
Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1 B, Ljubljana

Povzetek

S preiskovalnim monitoringom podzemne vode in ponikalnic v vplivnem območju Križne jame smo v letih 2021 in 2022 ugotovili dobro kemijsko stanje podzemne vode in površinskih voda. Koncentracije kofeina in zdravil v sledovih kažejo na vpliv točkovnih virov onesnaženja. Višje vsebnosti sulfata in stroncija v izviru Žerovniščica kažejo na svojevrstne geološke značilnosti napajalnega zaledja tega izvira.

Uvod

V Agenciji RS za okolje smo v letih 2021 in 2022 vzpostavili preiskovalni monitoring kakovosti voda med Bloško planoto, Loškim poljem in Cerkniškim poljem, kjer se v osrednjem delu nahaja tudi naravna vrednota Križna jama (Slika 1). Namen raziskave je bil ugotavljanje vpliva točkovnih virov onesnaženja na stanje voda tega območja.

V nadaljevanju predstavljamo program monitoringa, geološke, hidrogeološke, hidrografske ter hidrološke značilnosti raziskanega območja z rezultati in interpretacijo. Dodatno predstavljamo ovrednotenje višjih vrednosti sulfata in stroncija v podzemni vodi enega izmed izvirov (Žerovniščica) in sicer glede na smeri podzemnih tokov ter glede na geološko zgradbo v napajalnem zaledju.

Merilna mreža

Nabor merilnih mest, ki z napajalnimi zaledji odražajo vpliv na naravno vrednoto Križna jama, smo izbrali na ekspertni podlagi in na osnovi podatkov o smereh pretakanja podzemne vode, ki so zbrani v bazi sledilnih poskusov (Petrič, 2018-2021; ARSO, 2018-2021), katero smo v Agenciji v letu 2017 vzpostavili skupaj z Inštitutom za raziskovanje krasa iz Postojne (tabela 1-2, slika 1). V raziskavo smo vključili merilna mesta iz programov podzemnih in površinskih voda. V dveh izvirih in eni izmed jam, smo spremljali stanje kakovosti

Šifra VTpodV	Ime vodnega telesa	Šifra merilnega mesta	Merilno mesto	GKX	GKY
1010	Kraška Ljubljanica	I14051	izvir Šteberščica	67360	456866
1010	Kraška Ljubljanica	5725	Izvir Žerovniščica	68934	456532
1010	Kraška Ljubljanica	I14050	Mrzla jama pri Bločicah	68523	457536

Tabela 1: Merilna mesta preiskovalnega monitoringa podzemne vode

Šifra VTPV	Ime VTPV	Vodotok	Šifra merilnega mesta	Merilno mesto	GKX	GKY
SI141VT2	VTJ Cerkniško jezero	Farovščica	5755	Hudi vrh	68841	463419
SI141VT2	VTJ Cerkniško jezero	Farovščica	5756	Fara	69447	462182
SI141VT2	VTJ Cerkniško jezero	Bloščica	5757	Velike Bloke	71200	459594

Tabela 2: Merilna mesta preiskovalnega monitoringa površinskih voda

podzemne vode. Vsebnost kemijskih onesnaževal smo spremljali v ponikalnicah.

Parametri in frekvenca vzorčenja

Za program preiskovalnega monitoringa podzemne vode smo v šestih vzorčenjih letno v izvirih Šteberščica in Žerovniščica ter podzemne vode v Mrzli jami pri Bločicah, spremljali terenske in osnovne parametre, kovine, pesticide ter ostanke zdravil. Terenske, osnovne parametre in kovine smo vzorčili ob vseh zajemih, pesticide vsako leto v dveh zajemih, ostanke zdravil pa v štirih zajemih na leto.

Za preiskovalni monitoring kemijskih onesnaževal površinskih voda oziroma ponikalnic, smo na merilnih mestih Farovščica Fara, Farovščica Hudi vrh in Bloščica Velike Bloke v šestih vzorčenjih na leto spremljali terenske parametre, fizikalno-kemijske parametre in kovine. V Farovščici Fara in v Bloščici Velike Bloke so se dvakrat na leto spremljali triazinski pesticidi ter štirikrat na leto farmacevtiki.

Viri onesnaženja

V zaledju merilnih mest in Križne jame so prisotne kmetijske površine ter urbana območja z industrijo in komunalnimi čistilnimi napravami. V zaledju se nahaja tudi vojaško strelišče pri Bloški polici (Bole et.al., 2007-2009; Petrič et.al., 2021).

Lokacije merilnih mest odražajo glede na dokazane smeri tokov podzemne vode vplive točkovnih virov onesnaženja, tudi na Križno jamo. Na obravnavanem območju obratuje več komunalnih čistilnih naprav in sicer Velike Bloke (kapaciteta 280 PE, ponikanje v Bloščico), Nova vas (kapaciteta 350 PE, ponikanje v ponikovalnico gorvodno od ponora), Hudi vrh (kapaciteta 350 PE, v ponikovalnico in skozi nezasičeno cono posredno v podzemne vode (Čuk, et.al, 2022)), Bločice (150 PE, ponikovalnica), poleg tega pa tudi industrijski objekt JUB v Novi vasi z iztokom odpadnih vod v Sušico, ki je pritok Farovščice (ARSO, 2023 a) (slika 1). Sledenja so pokazala, da je dotok vode v Žerovniščico iz Bloške planote, za razliko od Šteberščice in Mrzle jame počasnejši in v manjšem deležu, zato bi lahko to mesto bolj odražalo vpliv onesnaženja iz ponora Bloščice (Bole et.al, 2007-2009; Kogovšek et.al, 2008)(slika 1).

Geološke značilnosti Bloške planote

Regionalno gledano gradijo večji del Bloške planote ter del njenega severozahodnega hribovitega obrobja zgornje triasni dolomiti (norijsko retijski glavni dolomit) (Bole et.al., 2007-2009). Glavni dolomit je del dolge in široke cone, ki se razteza v dinarski smeri od Loškega potoka in Ribnice čez Vidovsko in Rakitniško planoto do Barja ob Borovniščici. Vanj je skoraj v celoti vrezana dolina Bloščice do Velikih Blok ter Bloško in Farovško polje (Meze, 1983). Na jugozahodni strani jih obrobljajo jurski dolomiti tako, da tvorijo podlago severnemu delu Bločiškega polja, celotnemu polju pod Bloško polico, od tu pa zavijejo proti Metuljam na Blokah (Bole et.al. 2007-2009). Južno in jugozahodno obrobje je sestavljeno tudi iz jurskih apnencev. Severovzhodni del planote, kjer se porajajo vsi glavni dotoki Bloščice, sestavljajo spodnjetriasni dolomiti s plastmi skrilavca, sljudnatega skrilavca, lapornatega skrilavca, lapornatega apnenca, peščenjaka z oolitnim apnencem in dolomita s peščenjakom. Ponekod so prisotni tudi srednjetriasni dolomiti z vložki apnenca. Široke doline Bloščice in pritokov zapolnjujejo drobnoklastične kvartarne fluvialne naplavine holocenske starosti. Naplavino sestavlja pretežno svetla glina, avtohtonega izvora, nastala s preperevanjem dolomitnih kamnin. Debelino naplavine (okoli 5 m) razkrivajo požiralniki v akumulacijskih ravnicah.

Slika 1: Hidrogeološka karta z lokacijami merilnih mest in čistilnih naprav ter s smermi tokov podzemne vode med Bloško planoto, Loškim poljem in Cerkniškim poljem (Kogovšek et.al, 2008, Petrič, 2018-2021; ARSO, 2018-2021)

Bloško planoto prepredajo prelomi dinarske smeri. Na prelome je vezan del vodne mreže (Meze, 1983) (slika 1).

Hidrografija

Iz območja Bloške planote vodo danes skoraj v celoti odvaja Bloščica, na jugu pa tudi Farovščica, dalje kraška kotanja v Ravnah na jugovzhodu in Ravniščica na severu, ki izvira v nizkem razvodnem predelu Iške, v slabše prepustnih spodnjetriasnih kamninah in ponikne slabih 400 m pred Bloščico (Meze, 1983). Bloščica se napaja z dotoki med Zakrajem in Runarskim, ki imajo povirja v slabše prepustnih dolomitih. V zgornjem toku je poimenovana kot Blatnica in teče na vzhodnem delu planote v značilni dinarski smeri proti severozahodu, pri Šivčah pa ostro zavije ter nadaljuje svoj tok proti jugu ter pri Velikih Blokah že doseže zahodni del planote. Tam ob običajnem vodostaju tudi ponikne, ob višjem vodostaju pa svoj površinski tok prelije preko Bloškega polja do Nove vasi in do Fare. Tu skupaj s Farovčico in Sušico (pritok Farovščice ob višjem vodnem stanju) ponika v podzemlje na polju južno od Fare (Bole et.al., 2007-2009; Enciklopedija n.k.d. Slovenije, splet). Široke aluvialne ravnice na Blokah so zapolnjene s fluvialnim peščeno-ilovnatim ter glinastim nanosom, z majhnim strmcem in plitvimi strugami potokov, kar povzroča počasno odtekanje vode, v plitvejših depresijah pa njeno zastajanje in zamočvirjenost tal. Ravnice so majhnega strmca in v številnih meandrih. Tako je predvsem v vzhodni Bloški dolini z Bloščico in obema izvirnima krakoma, Runarščico in Blatnim potokom. Manj izrazit meandrski tok imajo Bloščica v zahodni Bloški dolini, Farovščica in Ravniščica pa v srednjem toku (Meze D., 1983). Vode se z Bloške planote podzemno stekajo proti Cerkniškemu in Loškemu polju. Ponovno se pojavijo na površju v pritokih Cerkniškega jezera, v izvirih Šteberščica in Žerovniščica ter v Podložu. Tečejo tudi skozi Mrzlo jamo in Križno jamo (Novak, 1969; Bole et.al, 2007-2009; Kogovšek et.al, 2008). Poleg imenovanih, je na Blokah še nekaj obdobnih potokov, ki oživijo le ob visoki vodi. Ob visoki vodi oživijo tudi občasni izviri (pri Metljah, Sušica, Rupa, Topolščica, Grdale, Kotla zahodno od Krampelj), ki veliko prispevajo k poplavljanju dolin na Blokah (Meze D., 1983).

Pregled sledilnih poskusov s smermi in hitrostmi odtekanja podzemne vode

Glavne smeri podzemnih tokov na območju raziskovalnega monitoringa potekajo od severovzhoda proti jugozahodu. Smeri odtekanja podzemne vode so bile določene na osnovi sledilnih poskusov v preteklosti. Prva sledenja iz leta 1939 so pokazala, da se je voda Bločice pri Velikih Blokah po 83 urah pojavila v izvirih Žerovniščica (s hitrostjo 3,3 cm/s) in Šteberščica (s hitrostjo 4 cm/s) (Novak, 1969). Leta 1946 so z Bloške planote sledili tudi Studenec na Ravnah. Barvilo naj bi se po 10 dneh pojavilo v Velikem Obrhu v Loški dolini. Hitrost naj bi znašala okoli 2 cm/s. Pri sledenju v Mrzli jami pri Bločicah naj bi se sledilo po 22 urah (navidezna hitrost toka 3,9 cm/s) pojavilo v Šteberščici (Novak, 1969). Leta 1965 je Novak izvedel sledenje voda v Križni jami ob srednjem do visokem vodostaju. Sledilo se je po 130 urah pojavilo v izviru Šteberščica (z navidezno maksimalno hitrostjo 4,1 cm/s) (Novak, 1969; Bole et.al., 2007-2009)

V letu 2007 je Inštitut za raziskovanje krasa iz Postojne izvedel sledenje ponora Farovščice ob srednjih do nizkih pretokih. Ugotovljena je bila glavna povezava z vodnim tokom v Mrzli jami pri Bločicah (46 m/h), dalje z izvirom Šteberščica (48 m/h), nekoliko slabšo povezavo (stransko) z izvirom Žerovniščica (47 m/h) ter Blatnim rovom v Križni jami. Le v nizkih koncentracijah se je sledilo pojavilo v Križni jami 2 (tabela 3) (Kogovšek et.al, 2008).

Mesto vzorčenja	Cmax (ppb)	t-maks. (h)	t-dominant. (h)	v-maks. (m/h)	v-maks. (cm/s)	v-dominant. (m/h)	v-dominant. (cm/s)
Mrzla jama	1,16	70	95	62	1,7	46	1.3
Šteberščica	0,50	102	113	53	1,5	48	1,3
Žerovniščica	0,32	102	117	54	1,5	47	1,3
Izvir v Podložu	0,05	94		53	1,5		
Križna jama – Blat. rov	0,14	114	138	29	0,8	24	0,7
Križna jama 1. jezero	0,075	132	150	29	0,8	25	0,7
Križna jama 2	0,105	121	142	35	1,0	30	0,8

Tabela 3: Rezultati sledilnega poskusa na ponoru Farovščica (Kogovšek et.al., 2008)

(C_{max}) - maksimalna dosežena koncentracija sledila, **(t-maks)** - čas do pojava prvih sledi sledila, **(t-dom)** - čas, ko je bila dosežena maksimalna koncentracija sledila, **(v-maks)** - največja hitrost pretakanja, **(v-dominant)** - dominantna hitrost pretakanja, ki je izračunana kot kvocient med zračno razdaljo od točke injiciranja do točke pojava sledila in časom od injiciranja do pojava maksimalne koncentracije sledila

Hidrološke in geološke značilnosti merilnih mest

Izvir Šteberščica v nižjem toku imenovana tudi Lipsenjščica, predstavlja najbolj izdaten izvir na obravnavanem območju. V izviru prihaja voda na površje iz sifona, dolgega 80 m in globokega 18 m (Petrič et.al., 2021). Povprečni pretok Šteberščice je na merilnem mestu pod mostom Žerovnica-Lipsenj med leti 1972-1975 znašal 1,3 m^3/s, minimalni pretok 0,01 m^3/s, maksimalni pretok pa 16,0 m^3/s (Gospodarič in Habič, 1976). Razmerje med Ca in Mg v izviru (okoli 1,5-2,34) (Petrič et.al., 2021), kaže na nekoliko večje napajalno zaledje na dolomitu, čeprav ga občasno preseže apnenčasti del. V zaledju se v apnencih praktično povsod pojavljajo dolomitni vložki tako, da je delež napajanja s pretežno apnenčastih delov zaledja vsaj polovičen, drugo polovico pa predstavljajo triasni in spodnje jurski dolomiti z (obrobja) Bloške planote. Izvir dokazano napajata ponikalnici Bloščica in Farovščica (Novak, 1969, Kogovšek et.al, 2008) v izvir Šteberščica pa se stekajo tudi vode iz Križne jame (Novak, 1969). Pomemben del vode se ponikalnicam z Bloške planote priključi na podzemni poti z avtogenim ponikanjem skozi kraško površje. Po oceni je delež vode iz ponikalnic le približno četrtina, drugo je avtogeni dotok, ki lahko precej razredči morebitno onesnaženje (Petrič et.al., 2021).

Izvir Žerovniščica predstavlja za sosednjim izvirom Šteberščico drugi najbolj izdaten izvir na območju med Blokami in Cerkniškim jezerom. Izvirna kotanja se nadaljuje v rov registriran kot kraška jama Žerovniščica z dolžino 420 m (Petrič et.al., 2021). Med leti 1972-1975 je imela Žerovniščica pri Žerovnici povprečni pretok 0,21 m^3/s, minimalni pretok 0,01 m^3/s, maksimalni pa 7,59 m^3/s (Gospodarič in Habič, 1976). Razmerje Ca/Mg (okoli 1,4-2,1) (Petrič et.al., 2021) kaže pretežno dolomitno vodozbirno območje. Izvir dokazano napajata Farovščica in Bloščica (Novak, 1969; Kogovšek et.al., 2008) z zaledjem na poseljenem območju Bloške planote. S sledenjem Ravniščice

na Blokah v letu 1981 povezava ni bila ugotovljena (Mencej 1983), tudi napajanje s strani Križne jame je bilo s sledenjem ovrženo (Novak 1969; Petrič et.al., 2021).

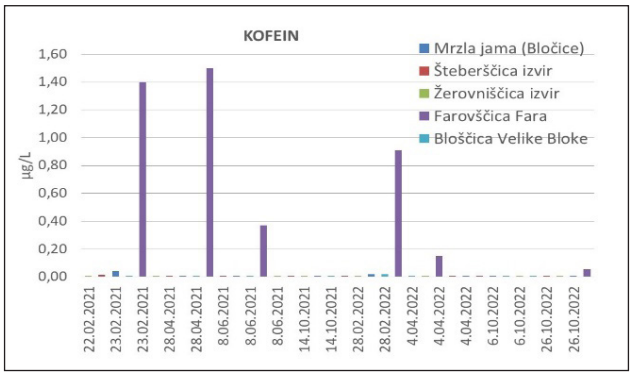
Mrzla jama pri Bločicah se nahaja dober kilometer severno od Križne jame. Jama je dolga 132 m in globoka 19 m (del je pod vodno gladino). Razmerje med Ca in Mg znaša 1,5-1,9 in kaže na 61% zastopanost dolomitov v napajalnem zaledju, preostanek (39%) pa leži na apnencih (Petrič et.al., 2021). Voda glede na sledenja dokazano priteka s ponora Farovščice (Kogovšek et.al, 2008), po ustnih informacijah o sledenju v letu 1959 (Novak, 1969) pa odteka v izvir Šteberščica. Po oceni se v njej pretaka od nekaj 10 do nekaj 100 l/s vode. Pri tem se voda ob letnih poplavah dvigne do 2 m, ob izjemnih poplavah pa naraste tudi preko 5 m in se z ocenjenim pretokom več kot 1m^3/s prelije na Bločiško polje. V Mrzli jami je voda ponikalnic z Bloške planote najmanj razredčena zaradi pronicanja skozi kraško površje (avtogeno napajanje) (Petrič et.al., 2021).

Merilna mesta v ponikalnicah Bloščica in Farovščica - Velike Bloke, Fara, Hudi vrh, so bila v naši raziskavi (z izjemo Hudi vrh) razmeščena gorvodno od iztokov komunalnih voda iz čistilnih naprav (slika 1) zaradi zabeležbe ničelnega stanja. Med leti 1972-1975 je minimalni pretok Bloščice znašal 0,02 m^3/s, povprečni pretok je bil 0,42 m^3/s, največji pretok je bil 15,9 m^3/s (Gospodarič in Habič, 1976). Zaradi podobnih značilnosti, vendar manjšega povodja, bi moral povprečni pretok Farovščice znašati 0,09 m^3/s (Prelovšek, 2012).

Rezultati

Preiskovalni monitoring kemijskega stanja voda je pokazal, da je večji del antropogenih onesnaževal (Arso, 2023) pod mejo določljivosti. Vrednosti parametrov, ki so nad mejo določljivosti so spremenljive po prostoru in času zaradi številnih dejavnikov, kot na primer hidrološke razmere, antropogeni pritiski, naravno ozadje itd. Merilna mesta za spremljanje kakovosti podzemne vode so bila v letih 2021 in 2022 glede na mejne vrednosti določene v Uredbi o stanju podzemnih voda, v dobrem kemijskem stanju. V Mrzli jami pri Bločicah in v izviru Šteberščica smo v sledovih zabeležili kofein (poživilo) in sulfametoksazol (antibiotik). Merilna mesta za spremljanje kakovosti površinskih voda so bila za leti 2021 in 2022 glede na mejne vrednosti določene v Uredbi o stanju površinskih voda v dobrem kemijskem stanju in hkrati ni bilo preseganj mejnih vrednosti za posebna onesnaževala. Na merilnem mestu Farovščica Fara so se pojavili kofein in zdravila: sulfametoksazol (antibiotik), diklofenak (protivnetno zdravilo), karbamazepin (antiepiletpik), teofilin (zdravilo za pljučne bolezni), paracetamol (protibolečinsko zdravilo) in klaritromicin (antibiotik) (graf 1-7). Kofein in ostanki zdravil v vodah kažejo na prisotnost in vpliv čistilne naprave v zaledju merilnih mest.

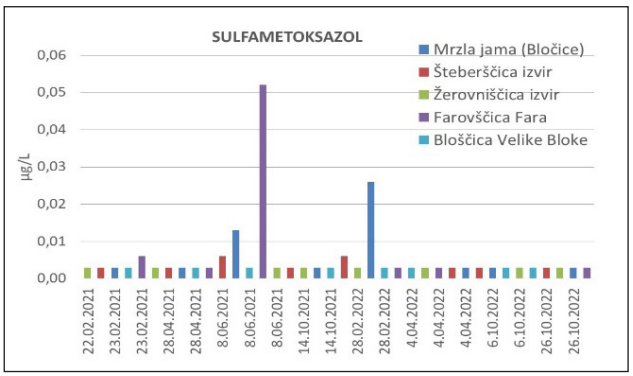
V v izviru Žerovniščica smo glede na druga merilna mesta, med osnovnimi parametri v večini vzorcev beležili višje vsebnosti sulfata, med kovinami pa višje vsebnosti stroncija. Povprečna vrednost sulfata je v izviru Žernovniščica približno do 5,2 krat višja, povprečna vrednost stroncija pa približno do 5,7 krat višja kot na ostalih merilnih mestih (tabela 4, graf 8-9). Na merilnem mestu parametra statistično značilno pozitivno korelirata. V letu 2022 sta se na tudi v Farovščici Hudi vrh pojavili dve višji vrednosti sulfata in sicer dne 21.9.2022 - 12,30 mg/L in dne 25.10.2022 – 11,70 mg/L (graf 8-9).



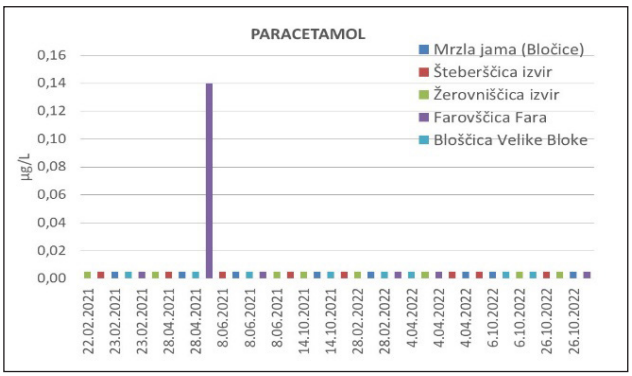
Graf 1: Vrednosti kofeina v podzemni in površinski vodi

Merilno mesto	Sulfat (mg/L) 2021	Sulfat (mg/L) 2022	Sulfat 2021-2022	Stroncij (µg/L) 2021	Stroncij (µg/L) 2022	Stroncij 2021-2022
Žerovniščica izvir	18,16	16,05	17,10	195,82	169,52	182,67
Mrzla jama (Bločice)	3,48	4,16	3,82	38,27	35,38	36,83
Šteberščica izvir	3,19	3,71	3,45	38,57	36,45	37,51
Bloščica Velike Bloke	3,27	4,28	3,78	38,42	35,30	36,86
Farovščica Fara	3,36	3,12	3,25	32,56	30,98	31,86
Farovščica Hudi vrh	3,47	6,46	4,96	34,32	31,33	32,83

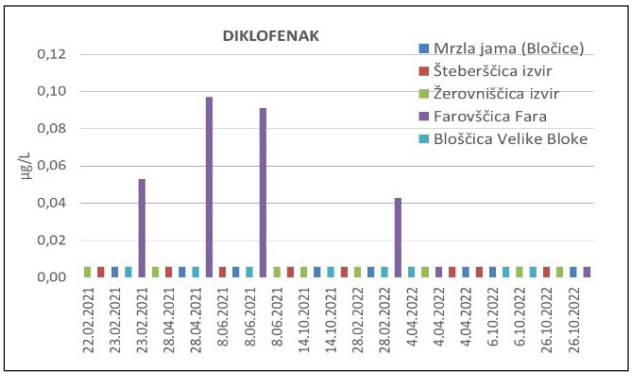
Tabela 4: Povprečne vrednosti sulfatov in stroncija v podzemni vodi



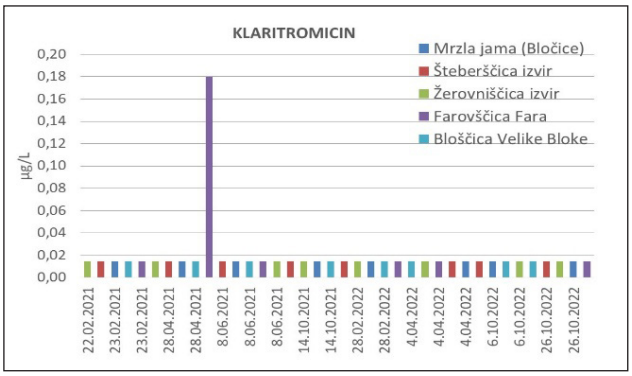
Graf 2: Vrednosti sulfotmetaksazola v podzemni in površinski vodi



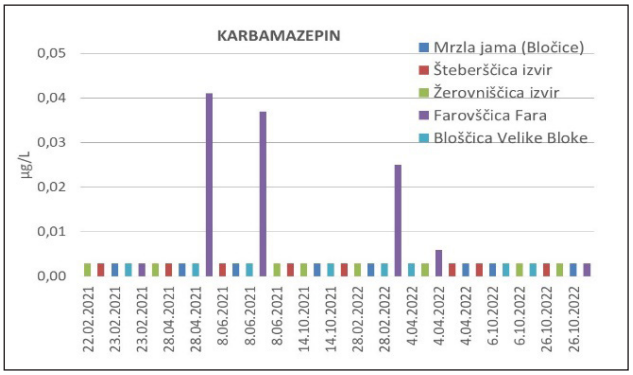
Graf 6: Vrednosti paracetamola v podzemni in površinski vodi



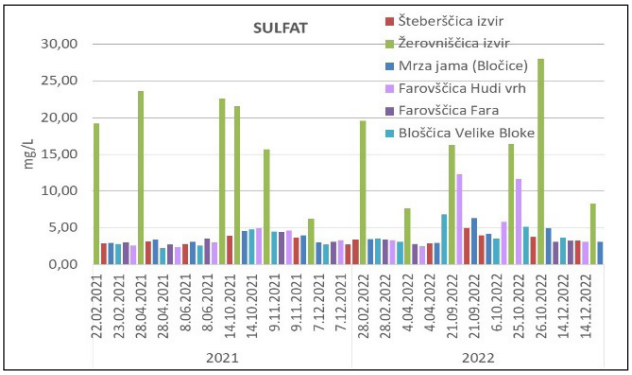
Graf 3: Vrednosti diklofenaka v podzemni in površinski vodi



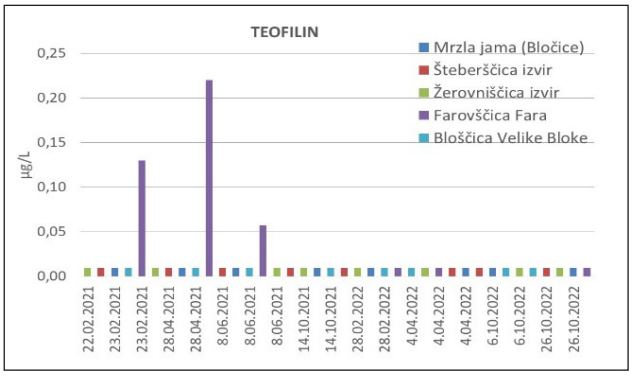
Graf 7: Vrednosti klaritromicina v podzemni in površinski vodi



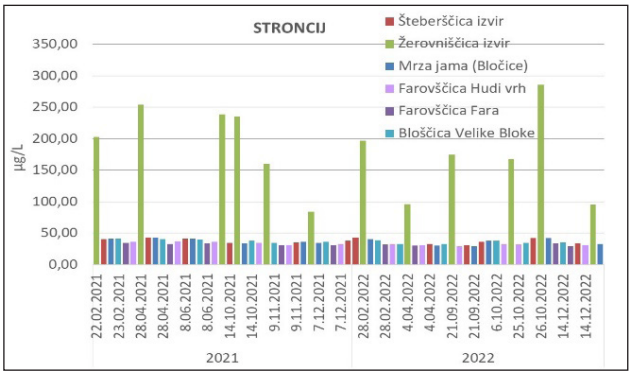
Graf 4: Vrednosti karbamazepina v podzemni in površinski vodi



Graf 8: Vrednosti sulfata v podzemni in površinski vodi

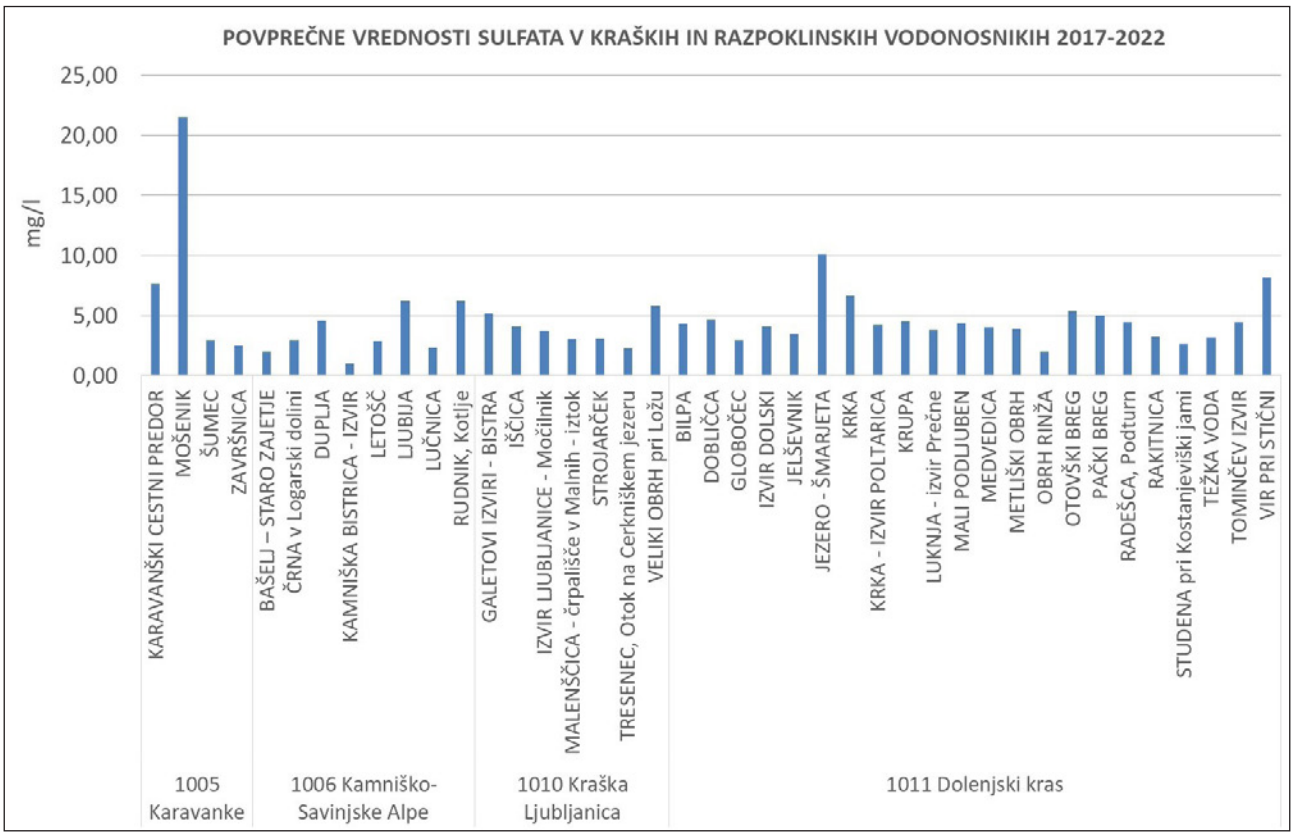


Graf 5: Vrednosti teofilina v podzemni in površinski vodi

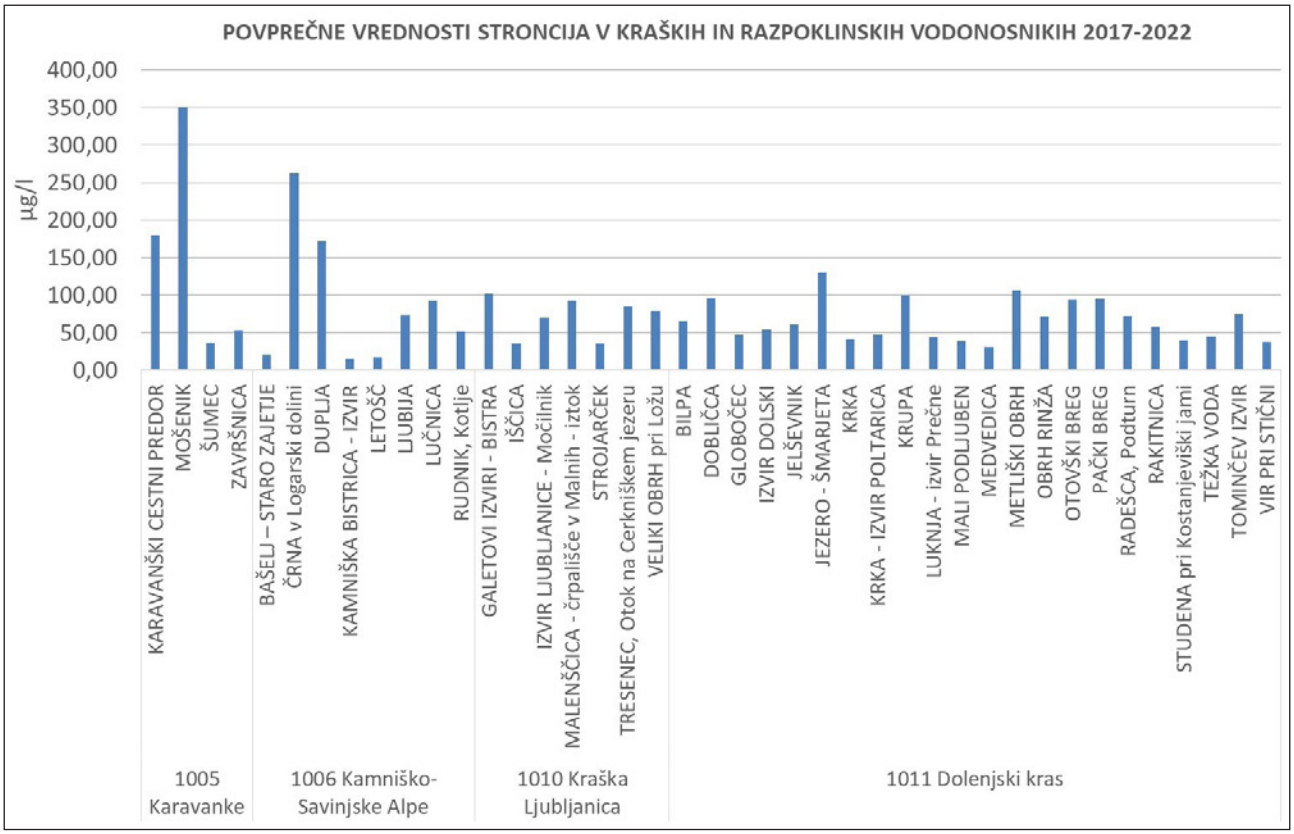


Graf 9: Vrednosti stroncija v podzemni in površinski vodi

Na osnovi nekaterih dosedanjih raziskav (Mezga, 2014, Ogorelec 1992, 2009) in rezultatov monitoringa (graf 10-11) predvidevamo, da sta parametra spremenljiva v mejah naravnega ozadja. Mezga (2014) je z geokemijskimi in izotopskimi raziskavami podzemne vode Slovenije za slo-



Graf 10: Sulfat v nekaterih vodonosnikih med leti 2017-2022



Graf 11: Stroncij v nekaterih vodonosnikih med leti 2017-2022

venske podzemne vode ocenila mejo naravnega ozadja za sulfat (SO_4^{2-}) - 6,93 mg/L. Poleg tega avtorica v raziskavi navaja oceno vsebnosti naravno prisotnega sulfata drugih avtorjev (Hounslow 1995; Hem 1985; Todd in Mays 2005), ki naj bi bila v vodah nižja od 300 mg/L, v padavinah pa do 10 mg/l. Višjo vsebnost sulfata (30,45 mg/l) je avtorica ugotovila v izviru Mošenik, katerega izvor je pripisala evaporitom v trasnih karbonatnih kamninah Karavankah.

Stroncij je v karbonatnih kamninah je ena najbolj zastopanih prvin v sledovih. Vzrok temu je njegova relativno visoka koncentracija v morski vodi - 8 ppm (Wedepohl, 1966) ter da lahko kot dvovalentni ion dobro zamenjuje kalcij ali magnezij v kristalih kalcita (Ogorelec, 2009). V fizikalno-kemijskih in/ali biokemijskih procesih formiranja kalcita in aragonita je stroncij vgrajen v mrežo teh mineralov (Berner 1971; Ogorelec 1992). Ogorelec (1992, 2009) je raziskoval mikrofacies, daigenezo in geokemijo zgornje triasnih daschsteinskih apnencev in norijsko retijskega glavnega dolomita v jugozahodni Sloveniji, v Preserju pri Borovnici pa geološki profil zgornjetriasnih pasovitih dolomitov, ki zvezno prehajajo v spodnjejurski dolomit in plastovit apnenec z vmesnimi plastmi laminiranega dolomitiziranega apnenca. Ugotovil je, da je porazdelitev posameznih elementov v apnencih, dolomitih in dolomitnih apnencih, različna. Najvišje ravni stroncija so v čistih apnencih (90 do 465 ppm, 115 in 260 ppm), nekoliko nižje v zgodnjediagenetsko dolomitiziranih apnencih (od 65 do 245 ppm, 65 do 220 ppm), v poznodiagenetskih čistih dolomitih še nižje (40 do 230 ppm). Na splošno je ugotavljal zmanjšanje stroncija od Z proti V, kar je pripisal vplivu diageneze.

Zaključki in interpretacija rezultatov preiskovalnega monitoringa

Sledovi kofeina in zdravil v vodah so posledica odvajanja neprečiščenih komunalnih odpadnih voda in odpadnih voda iz čistilnih naprav v vplivnem območju merilnih mest. V največji meri se pojavljajo v Farovščici na merilnem mestu Fara, manj v Mrzli jami in v izviru Šteberščica. Vrednosti ostalih onesnaževal so pod mejo določljivosti.

Merilna mesta na ponikalnicah smo razmestili izven vpliva lokacij ponikanja iz čistilnih naprav, z izjemo merilnega mesta v Hudem vrhu (slika 1). Vzorce smo zajemali ob srednjih do nižjih hidroloških stanjih, ko Bloščica ponikne že na Velikih Blokah in ne razliva naprej proti Novi Vasi, Fari in Farovškem polju. Glede na to lahko sklepamo, da je obremenitev s kofeinom in zdravili, ki smo jih v sledovih zabeležili v Farovščici na merilnem mestu v Fari, posledica izpustov iz čistilne naprave Hudi vrh, ki ponika v ponikovalnico in skozi nezasičeno cono (Čuk, et.al, 2022) proti strugi Farovščice.

Iz ponora Farovščice, v bližini katerega se v ponikovalno polje odvajajo izpusti iz komunalne čistilne naprave v Novi vasi (Mlakar, 2020), je poleg glavne podzemne vodne smeri proti Mrzli jami in Šteberščici, dokazana tudi stranska povezava pretakanja proti Križni jami (slika 1), sicer s počasnejšim tokom in manjšim deležem sledila (tabela 3) (Kogovšek et.al, 2008), vendar je vpliv na naravno vrednoto vsekakor možen. Ker se ponikalnicam na podzemni poti priključi še pomemben delež vode, ki pronica skozi kraško površje (Bole et.al., 2007-2009, Petrič et.al., 2021), je povsem verjetno, da je vpliv točkovnih virov onesnaženja na opazovanih merilnih mestih tudi razredčen in zato višjih koncentracij onesnaževal z raziskovalnim programom, nismo zaznali.

Glede na raztros vrednosti, ki jih za sulfat in stroncij beležimo z državnim monitoringom podzemne vode v kraških in razpoklinskih vodonosnikih (graf 10-11) predvidevamo, da so višje vrednosti (povprečje sulfat - 17,10 mg/L, povprečje stroncij - 182,67 µg/L) v izviru Žerovniščica (tabela 4, graf 8 -9) spremenljive v mejah naravnega ozadja. Višje vrednosti kažejo na specifiko geoloških plasti v napajalnem zaledju izvira, oziroma na raznovrstnost kamninske sestave ter litoloških enot iz katerih se merilna mesta raziskovalnega programa napajajo.

Glede na sledilni poskus iz leta 2007, ko je bila dokazna nekoliko slabša (stranska) povezava med ponorom Farovščice in izvirom Žerovniščica (s počasnejšim tokom in manjšim deležem sledila) (slika 1, tabela 3), je verjetno, da merilno mesto bolj odraža vpliv iz ponora Bloščice (Kogovšek et.al, 2008).

Korelacija med stroncijem in sulfatom v izviru Žerovniščica lahko pomeni, da je podzemna voda znotraj napajalnega zaledja na poti proti izviru, v kontaktu s kamnino določene litološke enote v kateri se pojavljata oba elementa. Druga možnost je ta, da je tok podzemne vode na poti proti izviru zajel dve sosednji litološki enoti, ki sta nastajali v paleokolju geološke preteklosti pod podobnimi pogoji. V eni je lahko izvor sulfata, v drugi pa stroncija. Korelacija bi lahko bila v tem primeru posledica podzemnega pretakanja v isti smeri.

Če se na Osnovni geološki karti - OGK, 1:100.000 (Buser et al., 1965, 1970) osredotočimo na napajalno zaledje izvira Žerovniščica v smeri ponora

Bloščice opazimo, da jurski apnenci in dolomiti v bližnjem zaledju od jugozahoda proti severovzhodu prehajajo v triasne dolomite. Prevladujejo zgornjetriasni norijsko retijski dolomiti, nekaj manj je spodnjetriasnih skitskih lapornatih apnencev, lapornatih dolomitov s peščenjakom in sljudnatim skrilavcem. V manjšini so srednjetriasni ladinijski zrnati dolomiti z vložki apnenca. Prisotne so tudi zgornje triasne karnijske plasti: argilit, peščenjak, breča, ooliten boksit, tuf, v zgornjem delu dolomit s plastmi laporja. Da v zaledju izvira prevladujejo dolomiti dokazuje tudi razmerje Ca/Mg (okoli 1,4-2,1) (Petrič et.al., 2021).

Po Ogorelcu (Ogorelec 1992, 2009) so najnižje vsebnosti stroncija v dolomitih, kar je posledica diageneze, ki je zajela apnence in katere stopnja v regionalnem pogledu od zahoda proti vzhodu, narašča.

Izvor višjih vsebnosti stroncija v izviru Žerovniščica je lahko v organski biogeni komponenti karbonatne kamnine, ki je pozna diageneza še ni zajela. V karbonatnih kamninah se lahko pojavlja celestin ($SrSO_4$) kot nadomestni mineral za lupine biogene komponente in kot avtigeni akcesorni mineral v evaporitnih faciesih (Ščavničar 1979).

Po Mezga (2014) so v Sloveniji maksimalne vrednosti sulfata v: kvartarnih naplavinah - 42,10 mg/L, v triasnih karbonatnih kamninah - 35,70 mg/L,v apnencih - 35,70 mg/L, v dolomitih - 21,90 mg/L, v karbonatih s klastiti - 12,60 mg/L, v magmatskih kamninah - 10,70 mg/L, v jurskih karbonatnih kamninah - 6,18 mg/L, v ladinijskih magmatskih kamninah - 5,02 mg/L.

Izvor višjih vsebnosti sulfata in stroncija v izviru Žerovniščica je lahko na podzemni poti do izvira v kateri koli od, v zaledju opisanih, litoloških in litostratigrafskih enot. Glede na maksimalne vrednosti sulfata, ki smo jih z raziskovalnim monitoringom izmerili v izviru (2021 - maksimum 23,6 mg/L, 2022 - maksimum 28,6 mg/L) (graf 8, 9) pa predvidevamo, da je podzemna voda v kontaktu s karbonatno kamnino, ki lokalno vsebuje višje vsebnosti sulfata in stroncija. To so lahko kamnine v katerih vpliva diageneze še ni ali pa je stopnja diageneze nižja.

Izvor sulfata v karbonatnih kamninah je lahko v evaporitih - v vodi dobro topnih sulfatnih mineralih (sadra - $CaSO_4x2H_2O$, anhidrit - $CaSO_4$), ki so nastali s kemijskim izločanjem iz naravnih koncentriranih slanih raztopin ob izparevanju in evaporaciji. Z biogeno dejavnostjo bakterij, ki reducirajo sulfate se v nadplimskih močvirskih okoljih ob izločanju karbonatov, lahko izloča tudi pirit (FeS_2) (Tišljar, 2001). Prisotnost sadre kaže na oksidacijske razmere, za razliko od pirita, ki nastaja v značilno redukcijskih okoljih (Jeršak, Marijino stelklo, splet).

Na Rakitniško-Bloški planoti je dokazan srednjetriasni do zgornjetriasni ladinjsko-karnijski vulkanizem (Buser et al., 1965). S tem v zvezi je pojav sulfidnih mineralov možen v tudi karnijskih skladih (klastiti, karbonati, boksit), kot tudi v spodnjetriasnih skitskih plasteh (laporni apnenec, laporni dolomit s peščenjakom), na katere karnijske plasti ponekod nalegajo (Buser et al., 1965).

V Farovščici v Hudem vrhu sta bili vzorčeni dve nekaj višji vrednosti sulfata in sicer konec septembra ter konec oktobra (21.9.2022 - 12,30 mg/L in dne 25.10.2022 – 11,70 mg/L). Ker sta pod mejno vrednostjo za zelo dobro ekološko stanje (15 mg/L), sklepamo, da nista posledica človekovega vpliva.

Viri

1. ARSO 2018-2021: Podatkovna baza sledilnih poskusov. Splet Agencija Republike Slovenije za okolje: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso
2. ARSO 2023 a: Komunalne čistilne naprave. Splet Agencija Republike Slovenije za okolje: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso
3. ARSO 2023 b: Baza podatkov o kakovosti podzemne vode. Agencija Republike Slovenije za okolje
4. Berner R.A. 1971: Principles of Chemical Sedimentology. Mc Graw-Hill, 240 p., New York
5. Bole M., Druks Gajšek P., Petrič M., Kogovšek J., 2007-2009: Pehotna strelišča kot dejavnik tveganja za okolje s poudarkom na ekološki sanaciji pehotnega strelišča na vojaškem poligonu Poček: Ranljivost vodnih virov na vplivnih območjih pehotnih strelišč. ZRC SAZU, IZRK Postojna, Erico Velenje
6. Buser S., et al., 1965: OGK 1:100.000, Tolmač za list Ribnica, L33-76, Geološki zavod Ljubljana, 60 str., Beograd
7. Buser S., et.al., 1970: OGK 1:100.000, Tolmač za list Postojna, L33-77, Geološki zavod Ljubljana, 62 str., Beograd
8. Čuk T., et.al., 2022: Poročilo o obratovalnem monitoringu za KČN BČN Hudi vrh za leto 2022, Nigrad d.o.o, Maribor
9. Enciklopedija naravne in kulturne dediščine na Slovenskem http://www.dedi.si/dediscina/56-bloscica
10. Gospodarič R., Habič P., 1976: Underground water tracing. Investigations in Slovenia 1972-1975. Institute Karst Research, 312 p., Ljubljana
11. Hem J. D., 1985: Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 3rd edition. VA Department of the interior, U.S. Geological Survey, Water supply paper 2254: 263 p., Alexandria
12. Hounslow A. W., 1995: Water quality data. Analysis and interpretation. Boca Rato. Lewis Publishers: 397 p., London

13. Jeršak M., : Marijino steklo https://www.mladinska-knjiga.si/dobrezgodbe/prosti--cas/marijino-steklo
14. Kogovšek J., Prelovšek M., Petrič M., 2008: Underground water flow between Bloke plateau and Cerknica polje and hydrologic function of Križna jama, Slovenia. Podzemni tok med Bloško planoto in Cerkniškim polje in hidrološka funkcija Križne jame. ZRC SAZU, IZRK Postojna, Acta Carsologica, 37/2-3, Postojna
15. Mlakar B., 2020: Hidrogeološko poročilo o vplivu ponikanja prečiščene odpadne vode na vode in tla. Priloga k vlogi za pridobitev okoljevarstvenega soglasja. Geologija d.o.o. Idrija
16. Mencej Z., 1983: Poročilo o hidrogeoloških raziskavah na širšem območju Velikih Blok. Tipkano poročilo, Arhiv GeoZS, 7 str., + priloge, Ljubljana
17. Meze D., 1983: Poplavna področja na Blokah. Flood areas on Bloke. IZCR SAZU, GI Antona Melika, Ljubljana
18. Mezga K., 2014: Natural hydochemical background and dynamics of groundwater in Slovenia. Dissertation. 226 p., + appendices, Univeristy of Nova Gorica, Nova Gorica
19. Novak D., 1969: O barvanju potoka v Križni jami. Geografski vestnik XLI, Manjši prispevki, 75-79, Ljubljana
20. Ogorelec B., 1992: Mikrofazies, Diagenese und geochemie des dachsteinkalkes und hauptdolomits in süd-west – Slowenien. Mikrofacies, diageneza in geokemija dachsteinskega apnenca ter glavnega dolomita v jugozahodni Sloveniji. Geologija 35, 81-181, Ljubljana
21. Ogorelec B., 2009: Spodnje jurske plasti v Preserju pri Borovnici. Geologija, 52/2, 193-204, Ljubljana
22. Petrič M., 2018-2021: Podatkovna zbirka rezultatov sledenja toka podzemne vode. ZRC SAZU, IZRK Postojna
23. Petrič M. et.al., 2021: Strokovne podlage za nadgradnjo in pogostitev merilne mreže za spremljanje kemijskega stanja podzemne vode v vplivnem območju točkovnih virov onesnaženja v vodonosnikih s kraško in razpoklinsko poroznostjo – 1010 Kraška Ljubljanica in 1011 Dolenjski kras. ZRC SAZU, IZRK Postojna
24. Prelovšek M.,, 2012: The dynamics of the present-day speleogenetic processes the stream caves of Slovenia. Carsologica 15, ZRC SAZU, IZRK SAZU Postojna
25. Ščavničar B., Ščavničar S.,1979: Autigeni celestin u vapnencima donjeg trijasa i evaporitnim sedimentima permotrijasa u Damaciji. Geološki vjesnik 31, 279-286, Zagreb
26. Tišljar J., 2001: Sedimentologija evaporita i karbonata. Institut za geološka istraživanja - Zagreb,375 str., Zagreb
27. Todd D. K., Mays L.W., 2005: Groundwater hydology. 3rd Ed. John Wiley & Sons Inc., U.S.A., 6 p., Hoboken
28. Wedepohl, K. H., 1966: Die geochemie der gewässer. Naturwissenchaften 53, 352-35, Berlin

PREGLED VODNIH VIROV ZA DOPOLNILNO OSKRBO SLOVENSKE OBALE S PITNO VODO

dr. Janko Urbanc, Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, Ljubljana

dr. Metka Petrič, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Titov trg 2, Postojna

Povzetek

Suša v letu 2022 je pokazala, da Slovenska Obala nujno potrebuje dodatne količine pitne vode. Rešitev problema oskrbe s pitno vodo v sušnih obdobjih bi lahko predstavljal skupni vodovodni sistem, v katerega bi bilo vključenih več vodnih virov JZ Slovenije: Rižana, Klariči pri Brestovici, Bistrica v Ilirski Bistrici in Malenščica pri Postojni; mogoče bi se lahko pokazali kot primerni tudi nekateri drugi vodni viri.

Opravljena analiza kapacitet vodnih virov je pokazala, da bi združeni vodovodni sistem lahko tudi v sušnih pogojih računal z dodatnimi količinami pitne vode, ki bi jo bilo mogoče uporabiti v primeru pomanjkanja vode na posameznem vodovodnem sistemu. Podrobnejše študije omenjenih vodnih virov namreč jasno kažejo, da z enim vodnim virom ni možno rešiti vseh potreb za oskrbo obale s pitno vodi v prihodnosti. Vsi vodni viri imajo kraški značaj, imajo velika in ranljiva napajalna zaledja, njihova izdatnost pa je zelo občutljiva na hidrološke razmere in na stanje zalog vode iz preteklega obdobja.

Uvod

Prispevek obravnava kapaciteto vodnih virov povezanega vodovodnega sistema, v katerega bi bili vključeni vodni viri Rižana, Klariči pri Brestovici, Bistrica v Ilirski Bistrici ter izvir Malenščica pri Postojni. Skupni sistem bi služil kot rezervni vodni vir za primer, da bi se na katerem koli od vodovodnih sistemov pojavilo pomanjkanje vode, bodisi zaradi pomanjkanja padavin ali zaradi izpada vodnega vira zaradi morebitne okoljske nesreče.

Oskrba obale z vodo ob suši 2022

Leto 2022 je bilo izrazito sušno (ARSO, 2022). Pomanjkanje padavin je bilo prisotno že od zime naprej, v pomladnih in poletnih mesecih pa se je samo še stopnjevalo. Dolgotrajno sušno obdobje so prekinile šele intenzivnejše padavine v mesecu septembru.

Zaradi suše se je izrazito zmanjšal pretok izvira Rižana. Ker so podobne hidrološke razmere vladale tudi v hrvaški Istri, so bile tudi od tam dobave vode zmanjšane na 76 l/s. Zaradi tega je bil Rižanski vodovod v največji meri odvisen od vodnega vira Klariči, od katerega je dobival 100 l/s, kolikor največ omogoča povezovalni cevovod med Sežano in Rižano. Manjkajoče količine pitne vode so dovažali s cisternami iz vodnega vira Malenščica.

Težave pri oskrbi z vodo so bile še hujše zaradi velikega požara na Krasu v mesecu juliju (Turšič, 2023). Vodni vir Klariči je poleg oskrbe Obale v tem času moral zagotavljati tudi velike količine vode potrebne za gašenje požara.

Da se podobne težave glede oskrbe Obale s pitno vodo v prihodnosti ne bi več ponavljale, je takratno Ministrstvo za okolje in prostor formiralo delovno skupino, ki naj bi oblikovala tako kratkoročne kakor tudi dolgoročne rešitve. Med slednjimi se je oblikoval predlog o povezavi južno-primorskih vodovodnih sistemov na stični točki v Rodiku. V ta sistem bi bili poleg Rižane vključeni še vodni viri Klariči pri Brestovici, Bistrica v Ilirski Bistrici ter izvir Malenščica pri Postojni.

Hidrološke značilnosti izvira Rižana

Sistem Rižane je najpomembnejši vodni vir za oskrbo obale in je hkrati del širšega prekomejnega vodonosnega sistema pomembnega za oskrbo mest tudi na hrvaški strani (GeoZS, Hrvatske vode, NLZOHKP, 2015).

Hidrološke razmere imajo na kraški vodonosnik v 237 km^2 velikem zaledju, in posledično na izvir Rižane, izrazito časovno in prostorsko spremenljiv učinek. Odzivni časi so zelo kratki, gre za zelo razvit kraški sistem, kjer prevladuje pretok v kanalih in zakraselih conah. Pretok reke Rižane pod izvirom je bil v obdobju 2016 – 2021 v povprečju 3,6 m^3/s, najmanj 0,1 m^3/s in največ 78,5 m^3/s (Serianz & Prestor 2022; Prestor 1992).

V daljših sušnih obdobjih se glavni aktivni kraških kanali izpraznijo, tako da v tem obdobju prevladuje »nekraški« tok podzemne vode. V takih razmerah se že zdaj delno, oziroma v razmeroma manjši količini, uporabljajo statične zaloge podzemne vode. Količine statičnih zalog, ki jih je zdaj mogoče črpati, so zelo majhne in se, glede na letno infiltracijo, lahko obnavljajo vsako leto (Serianz & Prestor 2022; Prestor 1992).

V zadnjem desetletju so bile izvedene obširnejše raziskave na zahodnem robu napajalnega zaledja Rižane za graditev 2. tira železnice Divača - Koper. Značilne vrednosti hidravlične prevodnosti za kraške karbonatne plasti vzdolž železniške proge so bile ugotovljene v območju od 1,8 x 10^{-7} m/s do 3 x 10^{-6} m/s. Za celoten raziskani kraški masiv je značilna srednja do slaba hidravlična prepustnost in nizka poroznost, to je do 0,3 % ali manj (Klasinc in sod. 2019).

Vodni vir Klariči pri Brestovici

Območje črpališča Klariči - Brestovica leži v severozahodnem delu Tržaško-komenske planote v tektonsko pogojeni dolini suhe rečne doline, ki se iz Slovenije nadaljuje proti Doberdobskemu jezeru v Italiji. Kraški vodonosnik se nahaja v apnencih ter deloma tudi v dolomitih kredne starosti. Podzemna voda se pretaka večinoma po kraških kanalih.

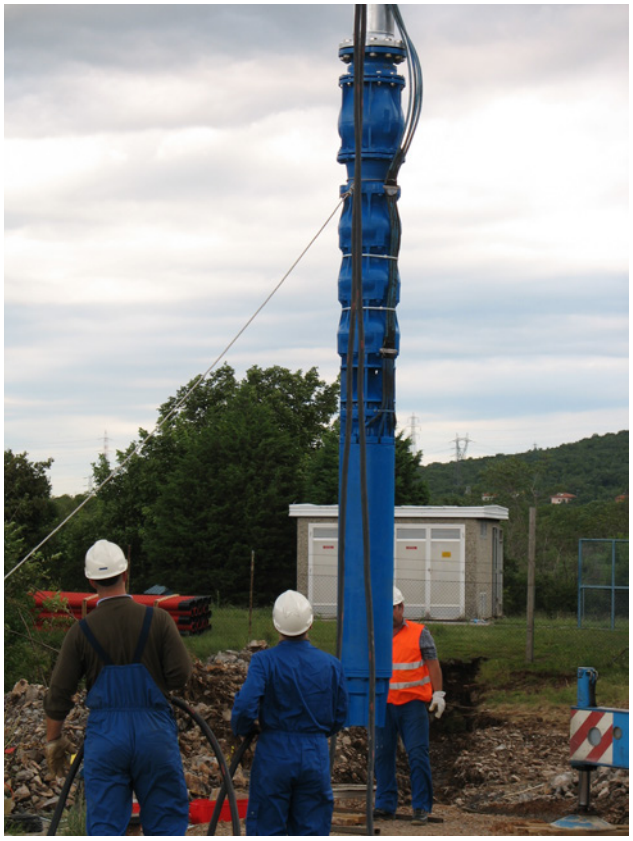
Vodonosnik matičnega Krasa je po svojih dimenzijah zelo obsežen, saj se razteza od Vremščice na vzhodu preko Dutovelj, Komna in Kostanjevice na italijansko stran, vse do Doberdoba in Gradišča ob Soči. Površina kraškega vodonosnika znaša okoli 500 km^2.

Slika 1: Črpališče Klariči pri Brestovici

V sklopu izotopskih raziskav vode iz črpališča Klariči je bilo ugotovljeno, da se v vodonosniku poleg padavinske vode z območja Krasa še posebej v sušnih obdobjih pojavlja tudi podzemna voda reke Soče, ki doteka z italijanske strani. Z dotokom soške podzemne vode se v sušnih obdobjih tako kompenzira tudi zmanjšanje dotokov iz kraškega zaledja.

V letih 2006 – 2007 so bile na širšem območju črpališča Klariči izvedene obširne geološke in hidrogeološke raziskave, katerih namen je bil

podrobnejša hidrogeološka opredelitev vodonosnika ter tudi zajem še večjih količin podzemne vode z dodatnim vodnjakom (Urbanc in sod. 2008). Raziskave sta financirala Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije ter Kraški vodovod Sežana. Izdelane so bile tri raziskovalne vrtine ter vodnjak B-10 globine 80 m s premerom 600 mm.



Slika 2: Vgrajevanje potopne črpalke v vodnjak B-10

Črpalni poizkus z intenzivnim črpanjem podzemne vode je potekal mesec dni, od 4. avgusta do 4. septembra 2008, torej v poletnem času, ko je količina padavin majhna, nivo podzemne vode v vodonosniku pa nizek.

Med poizkusom se je v vodnjaku B-10 ob črpanju 265 l/s nivo podzemne vode znižal le za 18 cm. Z ekstrapolacijo podatkov je bilo ocenjeno, da bi se ob intenziteti črpanja 350 l/s nivo vode v vodnjaku znižal za približno 25 cm. Tudi premer depresijskega lijaka vodnjaka B-10 je bil dokaj majhen, znižanje nivoja podzemne vode zaradi črpanja je bilo zaznano le do razdalje 25 m od vodnjaka.

Rezultati črpalnega poizkusa v Klaričih so pokazali, da je iz vodonosnika možno črpati vsaj 565 l/s podzemne vode tudi v poletnih sušnih pogojih. Voda je dobre kakovosti in primerna za oskrbo prebivalstva s pitno vodo. Trenutno Kraški vodovod za oskrbo slovenskega Krasa potrebuje dobrih 100 l/s, za občasne dobave vode na slovensko obalo pa porabi okoli 110 l/s, neizkoriščenih ostaja torej približno 360 l/s kakovostne pitne vode. Viške pitne vode bi bilo mogoče koristno uporabiti kjerkoli na območju jugozahodne Slovenije.

Slika 3: Iztok vode iz začasnega odvodnjevalnega cevovoda med črpalnim poizkusom (Foto: J. Urbanc)

Izvir Bistrica v Ilirski Bistrici

Na zahodnem obrobju Snežnika je pri Ilirski Bistrici več stalnih in občasnih kraških izvirov na nadmorskih višinah med 420 in 470 m. Najpomembnejši med njimi je stalni izvir Bistrica, ki je zajet za oskrbo s pitno vodo. Pretok Bistrice, ki ga stalno meri ARSO na hidrološki postaji Ilir-

Slika 4: Izvir Bistrice v Ilirski Bistrici (Foto: F. Drole).

ska Bistrica, se je v obdobju 1992-2021 gibal med 0,058 in 24,90 m^3/s, srednji pretok je bil 1,39 m^3/s (ARSO 2023). V zelo sušnem poletju 2022 je bil po podatkih ARSO pretok Bistrice v obdobju od 8. avgusta do 16. septembra med 100 in 150 l/s.

Iz izvira Bistrice se s pitno vodo oskrbuje približno 11.000 prebivalcev, letno vodovod zagotavlja približno 0,5 milijona m^3 vode. Obdelava vode poteka s postopki sedimentacije, mikrofiltracije in dezinfekcije s plinskim klorom, v gradnji pa je objekt za ultrafiltracijo (Komunala Ilirska Bistrica 2023). Za vodni vir Bistrica državna uredba o vodovarstvenih območjih še ni bila sprejeta.

Obseg zaledja izvira Bistrice je ocenjen na 50 km^2, vendar pa položaj razvodnic z drugimi izviri ni poznan (Kovačič 2003). V dobro zakraselih apnencih kredne in jurske starosti prevladuje avtogeno napajanje s padavinami na jugozahodnem delu Snežniške planote.

Izvir Malenščica pri Postojni

Malenščica priteka na površje skozi več izvirov v približno 800 m dolgi in 200 m široki zatrepni dolini na južnem robu Planinskega polja. Največji je najnižji izvir z vodno gladino na nadmorskih višinah med 448 in 449,5 m, ki je stalen. Po dolini navzgor je več občasnih izvirov na nadmorskih višinah med 455 in 470 m (Habič 1987). Skupni pretok, ki ga na hidrološki postaji Malni dolvodno od zajetja stalno meri Agencija Republike Slovenije za okolje, se je v neprekinjenem nizu meritev od 1996 do 2021 gibal med 1,12 in 11,24 m^3/s, srednji pretok pa je bil 6,18 m^3/s (ARSO 2023).

Slika 5: Zajetje na izviru Malenščice (Foto: C. Mayaud).

Malenščica je desni pritok reke Unice, ki izvira iz Planinske jame 0,8 km zahodno na nadmorski višini 453 m, teče po Planinske polju in izginja v podzemlje skozi številne ponore na vzhodnem in severnem robu polja ter podzemno odteka proti izvirom Ljubljanice.

Pretoki Unice na izviru, ki so bili merjeni v obdobju dveh hidroloških let 2016-2018, so se gibali med 0,09 in 89 m^3/s, srednji pretok pa je bil 5,25 m^3/s (Kogovšek 2022). Primerjava pretokov obeh izvirov kaže, da so maksimalni pretoki Malenščice omejeni. Že ob srednjih vodostajih doseže pretoke 8 m^3/s, le ob zelo visokih vodah preseže 9 m^3/s, ob nizkih vodostajih pa predstavlja glavni iztok iz kraškega vodonosnika v zaledju. V zelo sušnem poletju 2022 je po podatkih ARSO pretok Malenščice kljub dolgotrajnemu obdobju brez pomembnejših padavin od 6. avgusta do 8. septembra vztrajal na vrednostih okrog 1 m^3/s.

Pri rekonstrukciji leta 2017 so na glavnem izviru zgradili dve enakovredni zajetji. Delovanje je zasnovano tako, da dela bodisi eno ali drugo, iz vsakega je možno črpanje do 150 litrov vode na sekundo. Iz zajetij vodo črpajo približno 75 m visoko do čistilne naprave, v kateri od leta 2018 poteka proces ultrafiltracije.

Voda se uporablja za oskrbo približno 22.000 prebivalcev občin Postojna in Pivka. Letno vodovod skupaj z izgubami zagotavlja približno 2,5 milijona m^3 vode. Sistem upravlja Javno podjetje Kovod Postojna, vodovod, kanalizacija, d.o.o. Po podatkih upravljalca za zadnjih nekaj let so spremljani kemijski parametri neobdelane vode iz zajetja skladni s kriteriji za pitno vodo. Je pa voda stalno mikrobiološko obremenjena.

Prispevno zaledje izvira obsega okrog 730 km^2, v večjem delu se prekriva z zaledjem izvira Unice. Njegov osrednji del predstavlja kraški vodonosnik Javornikov in Snežnika, ki ga gradijo kamnine kredne starosti, predvsem apnenci, ki ponekod prehajajo v dolomite in breče. Na zahodnem obrobju kraškega masiva je zgornji tok reke Pivke, ki pa teče po površju le v obdobju višjih vodostajev. Takrat se z vodo napolnijo tudi številne kraške depresije presihajočih Pivških jezer. S sledilnim poskusom je bilo dokazano, da se vode iz ponorov v strugi pri naselju Pivka stekajo podzemno proti izviru Malenščice (Habič 1989). Spodnji del Pivškega bazena gradijo zelo slabo prepustni eocenski fliši, po katerih Pivka teče površinsko in ponika v Postojnsko jamo. Ta voda odteka proti izviru Unice in ne napaja izvirov Malenščice (Gabrovšek in sod. 2010).

V vzhodnem delu zaledja, ki ga predstavlja niz kraških polj ob idrijskem prelomu, prevladuje zgornjetriasni dolomit, ki proti jugu in zahodu prehaja v jurske apnence in dolomite. Kraška polja so povezana v skupni hidrološki sistem s prehodi

med površinskimi in podzemnimi vodnimi tokovi. S ponorov na severozahodnem obrobju največjega med njimi, Cerkniškega polja, teče voda proti izviru Rak v Rakovem Škocjanu in naprej proti izvirom na Planinskem polju.

Obsežno kraško zaledje zagotavlja dovolj veliko količino vode za napajanje izvira tudi v sušnih obdobjih, predstavlja pa tudi nevarnost za ohranjanje kakovosti vode. Ker so kraški vodonosniki zelo ranljivi na različne vire onesnaženja, je potrebno ustrezno načrtovati raznovrstne dejavnosti in upoštevati ukrepe za njihovo varovanje. Osnova je sprejetje državne uredbe o vodovarstvenih območjih.

Ocena razpoložljivih vodnih potencialov

Da bi na enoten način ocenili potrebe po vodi smo za vse vodovodne sisteme privzeli enako povprečno in vršno porabo na prebivalca (Preglednica 1).

Primerjava računske ocene porabe vode in minimalnih pretokov na izvirih kaže, da je v primeru Brestovice in Malenščice izkoriščen šele manjši del razpoložljivih zalog (Preglednica 2).

V preglednici niso upoštevani minimalni ekološki pretoki na posameznih vodnih virih kakor tudi ne izgube vode v posameznih vodovodnih sistemih. Okvirna ocena količin v Preglednici 2 kaže, da je v obravnavanih vodnih virih tudi ob suši razpoložljivih preko 1400 l/s pitne vode, kar bi tudi z upoštevanjem omejitev lahko zadoščalo za potrebe oskrbe z vodo celotnega območja JZ Slovenije.

Posamezni vodovodni sistemi bi lahko rabili razpoložljive vodne količine iz skupnega sistema, bodisi zaradi pomanjkanja vode zaradi sušnih pogojev ali tudi kot rezervni vodni vir v primeru okoljskih nesreč v padavinskem zaledju. Pogoj je seveda ustrezna ureditev črpališč ter povezava med vodnimi viri v skupni vodovodni sistem.

Zaključki in priporočila

V prispevku so ocenjene vodne količine, ki bi bile na razpolago v primeru povezave vodnih virov JZ Slovenije: Rižana, Klariči pri Brestovici, Bistrica v Ilirski Bistrici ter Malenščica pri Postojni. Največje proste količine v sušnih pogojih imata vodna vira Malenščica (967 l/s) ter črpališče Klariči – Brestovica (457 l/s). Dejanske razpoložljive količine bo v prihodnosti potrebno še bolj podrobno opredeliti tudi z upoštevanjem drugih omejitev, kot so npr. ekološko sprejemljivi minimalni pretoki, izgube vode v posameznih vodovodnih sistemih, zagotavljanje dolvodnega napajanja občutljivih območij ipd.

Dosedanje poznavanje obravnavanih vodnih virov jasno kaže, da samo z enim vodnim virom ni možno rešiti vseh potreb ter varnosti oskrbe Obale s pitno vodi v prihodnosti. Izdatnost vodnih virov je zelo občutljiva na hidrološke razmere, razporeditev padavin, sosledje suš in na stanje zalog vode iz preteklega obdobja. Vsi obravnavani vodni viri imajo izrazit kraški značaj ter velika in ranljiva napajalna zaledja, zato je zelo pomembno izvajanje ustreznih ukrepov za ohranjanje njihove kakovosti.

Vodni vir	Število oskrbovanih prebivalcev	Računska poraba 115 l/preb./dan (l/s)	Računska poraba ob 1,5-x povečanem sezonskem odvzemu (l/s)	Računska vršna poraba 2,4-x dnevna (l/s)
Rižana	88.000	118	177	425
Klariči	22.000	30	45	108
Bistrica	11.000	15	23	56
Malenščica	22.000	30	45	108
Skupaj	143.000	193	290	697

Preglednica 1: Enotna ocena porabe vode iz posameznih virov – brez upoštevanja izgub.

Vodni vir	Površina zaledja (km^2)	Srednji pretok (l/s)	Minimalni pretok Qmin (l/s)	Vršna poraba Qvp (l/s)	Razpoložljivo ob suši Qmin - Qvp (l/s)
Rižana	237	3.600	100	425	0
Brestovica	500		565*	108	457
Bistrica	50	1.390	76	56	20
Malenščica	730	6.180	1.075	108	967
Skupaj		11.170	1.816	697	1444

** - črpalni poizkus ob sušnih pogojih*

Preglednica 2: Ocena sedanjih razpoložljivih količin glavnih vodnih virov JZ Slovenije

Viri

ARSO, 2022: Hidrološka suša površinskih voda v letu 2022 in primerjava s sušnimi leti 1993, 2003 in 2012. Agencija RS za okolje, Ljubljana.

ARSO, 2023: https://www.arso.gov.si/vode/

Cucchi, F., Zini, L., Calligaris, c., 2015: Le acque del Carso Classico. Progetto Hydrokarst Vodonosnik/Klasičnega Krasa. Project Hydrokarst, Trieste, EUT Edizioni Università di Trieste, 2015.

Gabrovšek, F., Kogovšek, J., Kovačič, G., Petrič, M., Ravbar, N., Turk, J., 2010: Recent results of tracer tests in the catchment of the Unica River (SW Slovenia).- Acta carsologica, 39/1, 27-37.

GeoZS, Hrvatske vode, NLZOHKP, 2015. Trajnostno upravljanje s čezmejnimi podzemnimi vodami med Tržaškim in Kvarnerskim zalivom. Rezultati projekta Istra Hidro, Evropsko teritorialno sodelovanje SI – HR, Koper.

Habič, P., 1987: Raziskave kraških izvirov v Malnih pri Planini in zaledja vodnih virov v občini Postojna. Tipkano poročilo, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU.

Habič, P., 1989: Kraška bifurkacija Pivke na jadransko črnomorskem razvodju. Acta carsologica, 18, 233-264.

KLASINC, M. in sod., 2019: Hidravlična povezanost in efektivna poroznost v krasu : meritve vzdolž odseka novega odseka železnice Divača-Koper. V: BLATNIK, Matej (ur.), et al. Kraška hidrogeologija - raziskovalni trendi in uporaba izsledkov: Povzetki in vodnik. Založba ZRC, Ljubljana.

Kogovšek, B., 2022: Characterization of a karst aquifer in the recharge area of Malenščica and Unica springs based on spatial and temporal variations of natural tracers. Doktorska disertacija, Univerza v Novi Gorici.

Komunala Ilirska Bistrica, 2023: https://kp-ilb.si/dejavnosti/oskrba-s-pitno-vodo/

Kovačič, G., 2003: The protection of karst aquifers: the example of the Bistrica karst spring (SW Slovenia). Acta carsologica, 32/2, 219-234.

Prestor, J. 1992: Prispevek k proučevanju odnosov med padavinami in odtokom iz kraškega vodonosnika. Magistrsko delo. Univerza v Ljubljani.

Serianz, L., Prestor, J., 2022: Hydrogeological conceptualization of Rižana spring karst system. V: Brenčič, M. (ur.), Žvab Rožič, P. (ur.), Torkar, A. (ur.). "Making groundwater in the Danube region visible" : 5th IAH CEG Conference : 5-7 October 2022, Rogaška Slatina

Turšič, P., 2023: Izzivi vodooskrbe ob požaru na spodnjem Krasu. Zbornik 12. konference komunalnega gospodarstva, Terme Olimia.

Urbanc, J. in sod., 2008: Hidrogeološka spremljava črpalnega poizkusa za ugotavljanje kapacitete vodnega vira Brestovica. Geološki zavod Slovenije, arh. št. K-II-30d/c--2/1185-a, Ljubljana.

SOODVISNOST UPRAVLJANJA S PODZEMNIMI VODAMI IN PREHRANSKE VARNOSTI

mag. Irena Kopač, univ.dipl.inž.grad., AEI – Aneri Eco Inženiring, Maistrova ul. 4, Radenci

Povzetek

Že ob vstopu v novo tisočletje je bilo s strani Združenih narodov dano opozorilo, da se bo človeštvo na polovici tega stoletja srečalo z usodnim pomanjkanjem hrane in vode, če ne bo učinkovitega globalnega ukrepanja. Podzemne vode predstavljajo, tako v Sloveniji kot v svetu, največjo zalogo pitne vode in so tako kritične za preživetje in dobrobit človeštva. Skoraj vsaka večja ekološka kriza je do neke mere posledica ali simptom degradacije tal. Zmotno je misliti, da se lahko lotimo katerega koli problema našega okolja, ne da bi obravnavali celoto, saj noben del ekosistema ne deluje ločeno. Znanost, ki se ukvarja z upravljanjem podzemnih voda, in tista, ki se ukvarja z gospodarjenjem s tlemi, sta v tem času prinesli številna nova spoznanja, a tudi uporabna orodja. Na drugi strani pa je družba s svojim razvojem in pristopom do življenja prinesla nove probleme in izzive. Slovenija ni pri tem nobena izjema. Kaj so torej ključni izzivi, orodja, ki jih že imamo na razpolago in kateri so potrebni koraki za učinkovito ukrepanje?

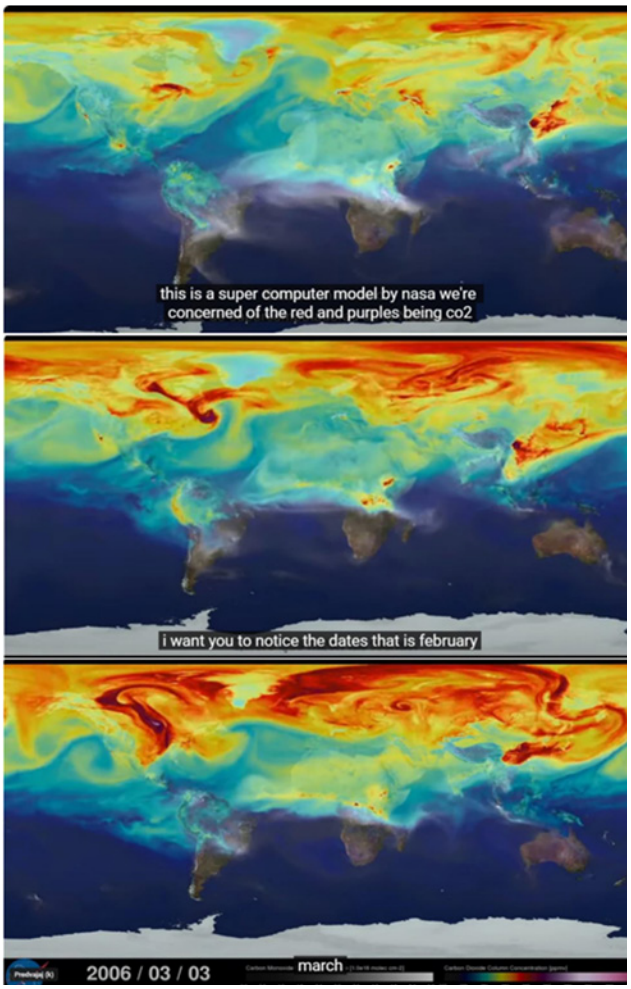
Uvod

»Ne glede na bogastvo, izobrazbo in denar, ki jih imamo, naši otroci ne bodo mogli dobro živeti, če ne obnovimo prsti in vode.« Jaggi Vasudev - Sadhguru

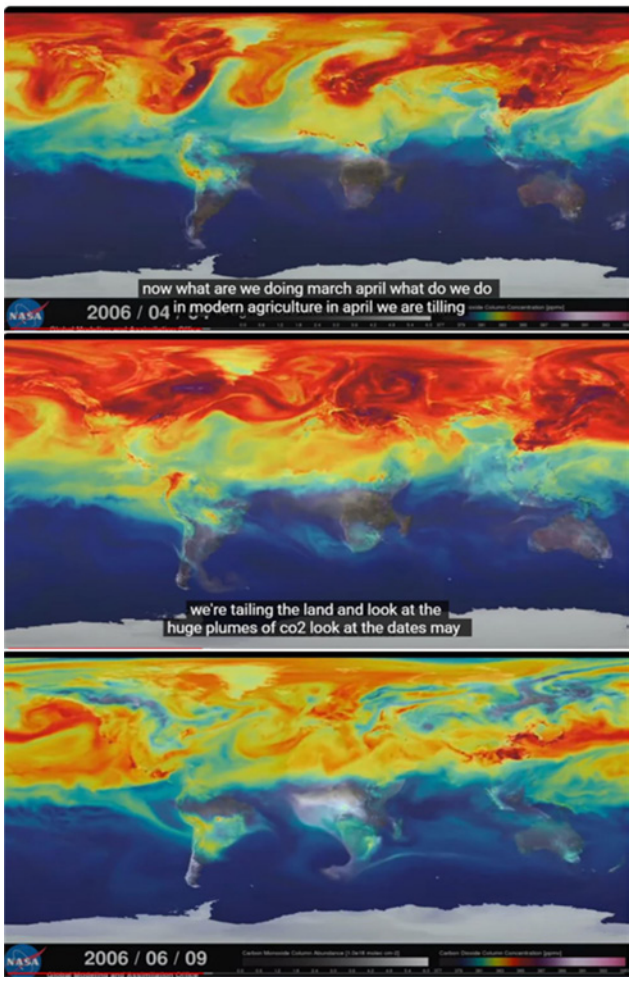
Pravzaprav se celotni naravni krogotok pričenja s tlemi, še posebno v vrhnji prsti. Od organske snovi v tleh je odvisna sposobnost zadrževanja CO_2 v tleh. V tleh je shranjenega 3x več ogljika kot v rastlinah in 2x več kot v atmosferi. Kar pomeni, da so tla bistvenega pomena za sekvestracijo ogljika in vpliva na globalno segrevanje, kar spet lahko vodi v ekstremne meteorološke dogodke. Izčrpana tla ne morejo absorbirati in uravnavati pretoka vode, kar vodi v pomanjkanje vode, suše in poplave. Izčrpana tla so tudi slaba pregrada pri preprečevanju izpiranja onesnaževal v podzemno vodo ali površinske vodotoke. Organska snov lahko zadrži vode do 90% svoje teže in jo počasi sprošča. Izgubljamo biodiverziteto, ko se soočamo z izginotjem 80% žuželk in nam zaradi izgube življenjskega okolja vsako leto izumre približno 27.000 živih bitij. Izguba biodiverzitete še bolj uničuje življenjski prostor tal in preprečuje njihovo obnovo.

Izčrpana tla vodijo v nizko hranljivost. Tako imajo današnja zelenjava in sadje po nekaterih podatkih tudi do 90% manj hranil kot v preteklosti, kar seveda vodi v številne sodobne bolezni. Izčrpanost tal vodi v izgubo virov preživetja, kar povzroča mnoge samomore kmetov po svetu. Evropa pri tem ni izjema. V švicarskih Alpah so samomore kmetov zaradi izgube virov preživljanja že izpostavili kot problem. 74% revnih na globalni ravni trpi zaradi degradacije prsti. Ocenjuje se, da izumiranje prsti stane svet 10,6 bilijonov ameriških dolarjev letno. Vse to vodi v konflikte in migracije. Konflikti zaradi zemlje in vode so od leta 1990 igrali pomembno vlogo v več kot 90% večjih vojn v Afriki. In seveda je vprašanje, v koliko se to z ukrajinsko krizo ne seli v Evropo.

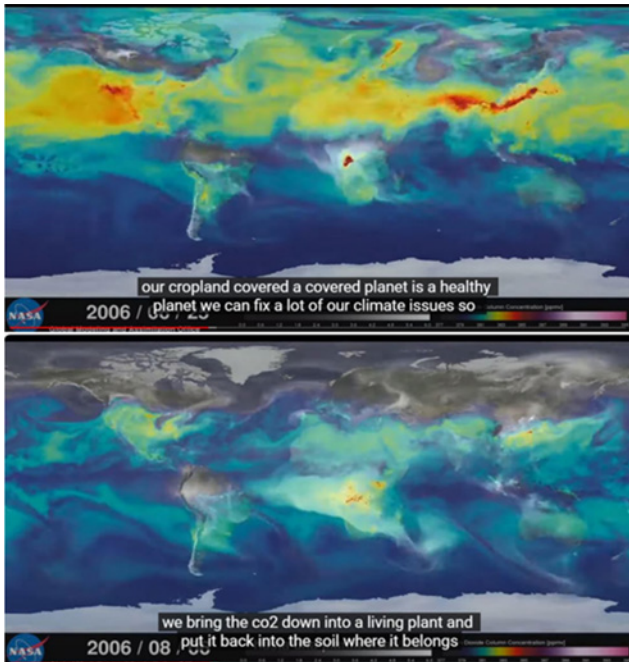
Zelo ilustrativen je primer, ko je NASA na podlagi merjenih podatkov izdelala super model pojavljanja CO2 v ozračju. Animacija za npr. leto 2006 je dostopna v dokumentarnem filmu o zdravih tleh in ohranitvenem kmetovanju (slike 1 – 3, https://www.youtube.com/watch?v=Aywr5n4Fkvw (26 min : 07 sek)). Iz modela je jasno razvidno, da se količina CO_2 v ozračju severne poloble povečuje spomladi, ko se prične intenzivna obdelava tal. Ko pa pride do rasti na obdelovalnih kmetijskih površinah in prekritja predhodno golih tal, ta količina CO_2 v ozračju prične upadati. Konec leta 2015 so v Franciji ustanovili mednarodno iniciativo »4 per 1000«, da bi prikazali, da lahko kmetijstvo in še posebno obdelovalna kmetijska površina igra



Slika 1



Slika 2



Slika 3

kritično vlogo v prehranski varnosti in podnebnih spremembah. To gibanje temelji na strokovnih ugotovitvah, da če bi se raven ogljika, shranjenega v tleh v zgornjih 30 cm prsti, povečala za 4‰ na leto, bi se letno povečanje CO_2 v ozračju znatno zmanjšalo oz. bi skoraj lahko kompenzirala letne CO_2 izpuste celotne družbe.

Povezava varne oskrbe z vodo in kmetovanja v Sloveniji

V naših razmerah smo se ob skrbi za varno oskrbo z vodo že zelo hitro srečali s problemom kmetovanja. To velja še posebno za severovzhodno Slovenijo, kjer se večje količine podzemne vode nahajajo na območjih, ki so tudi najbolj rodovitna in kjer se nahaja največ kmetijskih površin. Tako je bilo potrebno iskanje sožitja, nekje bolj učinkovito, drugje manj. Pozornost se je ob tem namenjala predvsem sredstvom za varstvo rastlin in presežkom nitrata v tleh. Ob sodelovanju z avstrijskimi strokovnjaki, ki so bili korak pred nami, so nas ti opozorili, da ekološko kmetovanje sicer pomeni manj kemije, a ne nujno tudi manj presežka nitratov. To je odvisno od načina obdelovanja tal. Bili pa smo še daleč od tega, da bi razmišljali o organski snovi v tleh. Vedenje o tem se je pravzaprav z vedno več raziskavami razširilo predvsem v zadnjem desetletju. Vendar so posamezni pionirji, kot je npr. Branko Majerič, kmet s Ptujskega polja, prvi, ki se je prvi lotil ohranitvenega kmetovanja v našem prostoru, že pred dvajsetimi leti pričeli delovati v tej smeri. Uvideli so, da so s sodobnim kmetovanjem pravzaprav uničili svojo prst in so zato za svojo proizvodnjo potrebovali vse več umetnih gnojil in sredstev za varstvo rastlin. Sedaj po vseh teh letih pa so jasno vidni pozitivni rezultati in konkurenčno ekonomsko poslovanje, manj občutljivo na stresne razmere podnebnih sprememb. Seveda tudi manj obremenjujoče za podzemno vodo tega območja.

Kot je bilo rečeno tudi ob letošnjih poplavnih dogodkih, stvari lahko rešujemo le globalno in sektorsko povezano. Tako pri nas kot tudi v drugih evropskih državah in po svetu je vse več razdrobljenih lokalnih dobrih praks, a še vedno premalo širše povezanosti in jasne politične podpore. Vse več je tudi lokalnih in mednarodnih iniciativ, kot so npr. pri nas Slovensko društvo za zaščito voda, Društvo vodarjev Slovenije in Slovensko združenje za ohranitveno kmetijstvo, v mednarodnem prostoru pa npr. Global Water Partnership, 4 per 1000 in Conscious Planet, če omenimo le nekatere. Vsekakor bo potrebno vložiti še veliko napora v komunikacijo, strokovno in politično usklajevanja ter pripravo skupnih strategij.

Okvirji učinkovitega upravljanja

Ne glede na to ali gre za upravljanje s podzemnimi vodami ali prehransko varnost, v splošnem so pomembni štirje stebri strategij, ki jih je potrebno upoštevati:

1. Sistemi znanja s strokovnimi podpornimi sistemi;
2. monitoringi in sistemi učenja ter razumevanja na podlagi njihovih podatkov;
3. podporni ekosistemi in
4. zakonska določila.

Ni namen tega prispevka, da bi se podrobneje spuščali v vsebino vsakega od teh stebrov, saj je ta dokaj obširna in v nenehnem razvoju. Želimo samo opozoriti na kakšne pomanjkljivosti v našem prostoru, ki onemogočajo boljšo učinkovitost. Predvsem pa želimo opozoriti na pomanjkljivo komunikacijo in usklajevanje med sektorji.

Sistemi znanja s strokovnimi podpornimi sistemi so v obeh strokah zelo bogati in v nenehnem razvoju. Pomembno je, da naša stroka lahko sledi razvoju v svetu. Seveda so s tem povezana finančna sredstva in strateška politična podpora. Prav tako je pomembno ali lahko motiviramo dovolj mladih, da vstopijo v sistem izobraževanja, ki podpira obe ključni stroki. Ena od slabosti, ki se kaže, je prav gotovo strokovna rast že zaposlenih. Ob razdrobitvi na manjša podjetja in samostojne podjetnike, ko večkrat gre le za sprotno izvajanje projektov in zaslužek plače, manjkajo čas, sredstva in motivacija za nadaljnje izobraževanje in mednarodno izmenjavo.

Na področju upravljanja s podzemnimi vodami, je v našem prostoru prisotno dokaj dobro znanje o samih podzemnih voda. Pomanjkljiv pa je pristop do znanja v nenasičenih tleh nad gladino podzemne vode, ki igrajo izredno pomembno vlogo pri učinkovitem upravljanju s samimi podzemnimi vodami. Tukaj vsekakor v splošnem zaostajamo za npr. Avstrijo ali Nemčijo, kjer temu posvečajo več pozornosti in strokovnega znanja.

Vsa priporočila znanstvenikov za tla in strokovnjakov za regenerativno/ohranjevalno in modro kmetijstvo za povečanje organske snovi v tleh so omejena na prakse kot so kolobarjenje, brez ali omejeno, plitvo oranje, kolobarjenje stročnic za naravno fiksiranje dušika, pokrivni posevki poleti in pozimi, nadzorovana paša, kompostiranje, zeleno gnojenje, vračanje živalskih odpadkov nazaj v tla, gozdni pašniki in nekaj drugih praks. Če bi bilo pridobivanje znanja in katalogizacija, specifična za konkretna kmetijska zemljišča, osredotočena na eno samo nalogo povečanja organske snovi v tleh na minimalni razpon 3–6 % pri upravljanje tal,

bi komunikacija in usposabljanje kmetov prinesla boljše rezultate.

Monitoringi so pomemben sestavni del upravljanja s prostorom in okoljem. Sodobni družbi lahko pomagajo pri zagotavljanju stabilnosti in trajnostnega obstoja. Eden od pomembnih monitoringov je hidrološki monitoring. V evropskem prostoru je dobro znano, da koristi hidroloških podatkov močno odtehtajo potrebne naložbe v monitoring voda, vključno s podzemnimi vodami in celotnim vodoprispevnim oz. vodovarstvenim območjem v primeru vodnih virov javne oskrbe z vodo. Vendar se vsi deležniki običajno tega ne zavedajo povsem jasno. Dobro zasnovana mreža monitoringa posreduje potrebne informacije, ki lahko zaščitijo pred prekomernim izkoriščanjem vodnega vira, preprečijo napačno uporabo in zaznajo zlorabo skupnega vodnega vira.

Hidrološki podatki, vključno s podatki o kvaliteti vode, so »lingua franca« (premostitveni jezik) pri komuniciranju o zmogljivosti določenega vodoprispevnega ali vodovarstvenega območja, da se lahko sprejme ustrezne ukrepe ob raznolikih zahtevah. Morda se premalo zavedamo, da so mnoge socialne, ekonomske in okoljske odločitve odvisne od kvalitete podatkov monitoringa voda oz. podzemnih voda. Le informacije pridobljene v realnem času lahko podprejo jasne in utemeljene odločitve. Integrirani hidrološki monitoring je pomemben za upravljanje z vodnimi viri. Konstantni monitoring hidrološkega ciklusa je ključen za ustvarjanje zanesljivih informacij in za napoved možnih dogodkov. Mnogi parametri se morajo meriti v realnem času, npr. meteorološki podatki, gladina podzemne vode.

Vse, kar velja za hidrološki monitoring, velja tudi za monitoring tal. Oba potrebujeta ustrezne digitalne sisteme in baze podatkov za zbiranje podatkov. Ti pa ne smejo biti samim sebi v namen, temveč morajo omogočati prosti pretok informacij med posameznimi deležniki. Za tla je treba vzpostaviti indikatorje za merjenje kazalnikov napredka glede različnih vidikov tal, zlasti sprememb v organski snovi v tleh in biologije tal. Potreben je jasen izvedbeni okvir z opredelitvami ključnih kazalnikov uspešnosti, specifičnih za tla, v različnih shemah za lastnike zemljišč in ključne deležnike. Nekateri specifični ključni kazalniki uspešnosti, ki lahko zagotovijo, da države ostanejo na pravi poti, so: sprememba v organske snovi v tleh, sprememba v zmogljivosti zemljišč za zadrževanje vode, sprememba količine porabe gnojil, sprememba pridelka, sprememba vzorcev posevkov itd. Priporočljive so redne letne ocene izbranih kazalnikov na lokalni in agregatni ravni, rezultati pa morajo biti dostopni vsem ključnim deležnikom.

Bistveni element pri izvajanju kakršnega koli monitoringa je tudi zagotavljanje zanesljivosti njegovih podatkov. Tu pa se v praksi kaže določena slabost, saj v glavnem ni časa, interesa ali finančnih sredstev za preverjanje zanesljivosti zbranih podatkov. Tukaj pravzaprav nismo izjema v primerjavi z drugimi državami in se zato vse bolj razvijajo podporna orodja za oceno nezanesljivosti kakšnih podatkov. Te bi bilo modro vpeljati v uporabo tudi pri nas. Tako pa se lahko zgodi, da kakšen nezanesljiv in napačen podatek zapelje tudi v kakšna napačna razmišljanja in odločitve,

Potreba po inženirskih odločitvah, ki temeljijo na zanesljivih podatkih, je sedaj večja kot kdaj koli prej. Soočamo se z negotovostjo klimatskih sprememb, povečanim onesnaževanjem naših omejenih vodnih virov in s povečanimi zahtevami rastoče svetovne populacije. Povsem jasno lahko vidimo, da se naša država ali lokalna skupnost ne more izolirati iz bolj globalnih dogajanj. Inženirji morajo vložiti napor v preučevanje informacij iz različnih virov, da bi lahko načrtovali dovolj robustne infrastrukture ali primerno rabo tal, ki bodo kos novim, pojavljajočim se značilnostim posameznega vodoprispevnega ali vodovarstvenega območja.

V okviru podpornih ekosistemov je potrebno zagotoviti lahek in prosti dostop do izobraževanja in sistemov znanja za vse vključene, na primernem nivoju za dvig kompetenc in za boljšo ter učinkovito komunikacijo. Prav tako je potrebno zagotoviti ustrezno specifično opremo, potrebno za izvajanje zahtevanih nalog, od primerne merilne opreme za posamezne elemente monitoringa, programske opreme za obdelavo podatkov, internetnega dostopa, modeliranja, GIS orodja, specifične opreme za alternativno obdelavo tal ipd.

Na področju zakonskih določil lahko vidimo, da imamo relativno dokaj dobro zakonodajo glede vode in zraka. V našem prostoru se je v letošnjem letu npr. posodobil Pravilnik o pitni vodi, ki upravljavcem javnih vodovodnih sistemov nalaga nove naloge. Ob tem pa se postavlja vprašanje, ali imajo za to vsi dovolj znanja in sredstev. Glede tal nimamo enakovredne zakonodaje. V okviru EU poteka razprava posvečena zakonu o zdravju tal. Ni dvoma, da je posebna zakonodaja o zdravju tal nujna. To je zaradi večplastnega učinka, ki ga imajo zdrava tla na hrano, hranila v kmetijskih proizvodih, vodo, biotsko raznovrstnost in podnebne spremembe.

Zaključki

Smo generacija, ki je v veliki meri povzročila sedanjo družbeno in okoljsko krizo in od nas je odvisno ali smo sposobni kaj premakniti, da bi lahko zagotovili bodočnost tudi svojim otrokom in vnukom. Jasno lahko vidimo, da pogrešamo sistemske, celovito povezane programe vseh sektorjev upravljanja z vodami in kmetijske prakse, ki bi imeli dolgoročno zavezo in bi se pri njih tudi vztrajalo. Vsekakor je potrebno tudi sistemsko izboljšati komunikacijo med strokovnjaki in odločevalci v okviru upravljanja s podzemnimi vodami ali tudi splošnega upravljanja z vodami ter strokovnjaki in odločevalci s področja kmetijske proizvodnje in zagotavljanja prehranske varnosti.

Letošnji svetovni dan voda je potekal pod motom »pospeševanje sprememb«. Na pot so mu dali tudi lepo basen o kolibriju, ki je ob požaru v gozdu nenehno letal med jezerom in požarom in skušal pomagati pri gašenju požara. Velike živali so se mu smejale, češ saj ne moreš pogasiti tega požara. A jim je le odvrnil: »Delam, kar lahko.« Tudi vsak od nas se mora vprašati, ali dela kar lahko.

Viri

Conscious Planet (2022). Soil revitalization, - Europe Global Policy Draft & Solutions Handbook. Conscious Planet Inc. 2022

NASA – model pojavljanja CO_2 v ozračju: https://www.youtube.com/watch?v=Aywr5n4Fkvw (26 min : 07 sek)

Nataša Pirc Musar – Podnebne spremembe in ekosistemi, cilji predsedničinega mandata https://www.predsednica-slo.si/assets/documents/Rodovitna-prst-v3.pdf

Negm, A. M., Romanescu, G., Zelenakova, M. (2020). Water Resources Management in Balkan Countries. Springer Nature Switzerland AG, 2020

Ozaveščeni planet – Conscious planet: https://consciousplanet.org/sl

03

Hudourniške poplave – pogostost in vzroki

POMEN UREJANJA ZALEDIJ HUDOURNIŠKIH OBMOČIJ – NA PRIMERU HUDOURNIKA BISTRIČICA

mag. Jože Papež, u.d.i.gozd., Hidrotehnik, Vodnogospodarsko podjetje d.o.o., Slovenčeva 97, 1000 Ljubljana, joze.papez@hidrotehnik.si

Povzetek

Prispevek na primeru hudournika Bistričica pri kraju Bistričica nad Kamnikom opisuje pomen urejanja hudourniških območij, zlasti povirnih območij in gornjih tekov hudournikov, kjer se praviloma nahaja največ erozijskih žarišč in kjer so posledično potencialno največji viri plavin in plavja.

V primeru hudournikov je primernejši izraz od poplavljanja izraz preplavljanje, kajti za težko napovedljiv, hitro se razvijajoč pojav nenadnih visokih hudournih voda je značilno, da iz povirja v dolino »hrumi« mešanica vode z velikim volumenskim deležem trdih delcev in z veliko specifično gostoto, predvsem v obliki rinjenih plavin in z vsebnostjo lesenega plavja, ki ob izstopu iz struge preplavlja, erodira in v primeru drobirskih tokov tudi ruši vse pred seboj.

V času trajanja istega dogodka se na istih odsekih hudournika menjava in sovpliva drug na drugega več vrst hudourniških in erozijskih procesov in pojavov. Pri hudourniških izbruhih gre torej praviloma za kombiniran naravni nevarni dogodek, za verižno sosledje različnih procesov, pri čemer pobočni usadi in zemeljski plazovi igrajo veliko vlogo; pri nastanku rušilnega pojava visokih hudournih voda – drobirskem toku – pa imajo praviloma ključno vlogo.

Za pravilno določitev želene funkcionalnosti varovalnih objektov in ureditev in kasneje za pravilno izbiro lokacij in tipov ukrepov – tako tehničnih kot biotehničnih, je torej nujna uvodna strokovna presoja, kakšne hudourniške procese lahko pričakujemo na posameznih odsekih hudournikov. Pri tem je nujen terenski ogled zaledja in vseh odsekov hudournika, neprecenljiva pa je tudi ustrezna dokumentacija o preteklih nevarnih in/ali škodnih dogodkih na obravnavanem hudourniku. V obeh primerih je za terensko delo nepogrešljivo dobro poznavanje nemih prič oz. znakov/sledov hudourniških in erozijskih procesov – tako trenutnih kot nedavnih - ob zadnjih poplavah, kot tudi zgodovinskih, lahko oddaljenih tudi več desetletij. Neme priče so sledi v pokrajini, ki omogočajo povratno opisno sklepanje na pretekle in sedanje procese masnih gibanj, v najboljšem primeru pa dopuščajo tudi kvantitavne interpretacije procesov. Za pravilno razlago nemih prič v hudourniških območjih je pomembno, da se geomorfološke značilnosti obravnava celostno, ob hkratni preučitvi razvoja celotnega hudourniškega območja skozi daljše časovno obdobje. Le na ta način se je mogoče izogniti napačnim sklepanjem.

Na primeru hudournika Bistričica, kjer je hudourniška problematika tako zaradi nevarnostnega kot škodnega potenciala zelo zahtevna, je v prispevku nakazano, kako je mogoče načrtno, s premišljenimi ukrepi z razpoložljivimi (omejenimi) sredstvi

bistveno zmanjšati potencialno nevarnost pojava najrušilnejše oblike hudourniške erozije – drobirskega toka. Leta 1990 je namreč hudournik Bistričica v obliki drobirskega toka, ki je nastal v povirju, skoraj popolnoma razdejal poseljeno dolino. Ob letošnjih poplavah je s plavinami praktično zasul vso strugo od povirja do iztoka v Kamniško Bistrico, toda škoda zaradi preplavjanja, erozije in zasipavanja struge in okoliškega terena s pretežno drobno do srednje zrnatimi plavinami dolomitnih preperin in lesenim plavjem je manjša od škode zaradi ujme 1990. Leta 1990 so na čelu poplavnega vala iz povirja potovale največje skale, tudi balvani – rušilna sila je bila ogromna, hudournik je trgal in odnašal ceste, rušil mostove in vrezoval novo strugo; letos avgusta pa je prevladoval posamični in hiperkoncentrirani oz. čezmernozgoščeni pretok visokih hudournih voda, z bistveno manjšo rušilnostjo. Iz povirnega erozijskega območja je hudournik sicer v dolino spral in premestil več desettisoč prostorninskih metrov hudourniških plavin in plavja, poškodoval ceste in mostove, toda ni jih odnesel, na številnih mestih je poškodoval brežine – tudi utrjene, toda ni naredil nove struge idr. Iz sledov v in ob strugi je razvidno, da je bila v času istega dogodka na daljših odsekih struga za določen čas popolnoma zasuta, potem pa so jo visoke (očitno čiste) hudourne vode spet sprale in odnesle material naprej v dolino, kjer so ga (začasno) odložile spet na drugih odsekih, veliko plavin pa je Bistričica odplavila vse do sprejemne hudourniške reke Kamniške Bistrice.

Ko se neposredno po poplavah soočamo s podobami s plavinami in plavjem preplavljenih hudourniških strug in okoliškega terena, zamašenih mostov in prepustov, z drobirjem zasutimi dvorišči idr. je prva pomisel večine javnosti – zakaj niso hudourniki – zlasti v zaledju - urejeni tako, da do tega ne bi prihajalo? Zakaj nas vodarji in gozdovi ne obvarujejo pred tem? Odgovor na to vprašanje ni enostaven, ni enoznačen, predvsem pa je zelo specifičen in od hudournika do hudournika različen. Dejavnikov, ki vplivajo v kakšni meri je kateri vodotok urejen je veliko (ne samo razpoložljivost sredstev) – eden izmed osnovnih je tudi ta, da se načeloma v okviru rednega vzdrževanja vodotokov, torej tudi hudournikov in hudourniškega zaledja – praviloma naj ne bi gradilo novih objektov. Ne smemo pa pozabiti tudi t.i. spečih hudournikov, popolnoma neurejenih, številni večji del leta tudi popolnoma suhi, za katere se domačini za zadnjih 100 let ne spomnijo, da bi kadarkoli »izbruhnili«, potem pa se – tako kot letošnjega avgusta majhen neimenovani desni pritok Bistričice, nenadoma – zaradi intenzivnih padavin skoncentriranih na njegovem vodozlivnem območju in številnih sproženih usadih in plazovih na njegovih brežinah in pobočjih nad njim, aktivira v nepredstavljivo rušilen hudournik, ki je resno ogrozil stanovanjsko hišo na njegovem vršaju in s sabo odnesel avto – ki ga niso nikoli več našli.

Seveda je zaželeno, da se posamezni hudourniki, zlasti tisti, kjer se na njihovem območju poplavne / hudourniške nevarnosti nahaja velik škodni potencial, čim prej celovito uredijo, toda ne smejo ostati spregledani tudi »delni / fazni uspehi«, ko se lahko ob poplavah ugotovi, da smo s postopnim dosedanjim ukrepanjem (v okviru – zlasti finančnih - možnosti) na pravi poti in da smo v danih razmerah naredili optimalne ukrepe, da so kljub ekstremnemu dogodku varovalni ukrepi prestali preobremenitve, 100% izpolnili svoj namen, in pozitivno vplivali na vrsto (manj rušilni procesi!) in obseg poplavnih škod v obravnavanem hudourniku.

Sedaj je bistveno, da se naslednje »obdobje miru« kar najbolje izkoristi in izvede nove konkretne »korake« v smeri celovite ureditve hudourniškega območja in hkrati zagotovi zadostno in redno vzdrževanje obstoječe vodne infrastrukture. Žal ponovni pojav visokih hudournih voda ni vprašljiv, verjetno bo še dolgo ostal tudi težko napovedljiv – kar je v naši moči je, da z ureditvami dosežemo večjo predvidljivost razvoja bodočih poplavnih dogodkov in zmanjšamo ali izključimo možnost pojava najbolj nevarnih scenarijev dogodkov in posledično tako s pričakovano manjšo poplavno škodo povečamo našo odpornost na naravne nesreče na vseh ravneh družbe. V primeru nenadnih hudourniških poplav, ko se lahko hudourniških izbruh zgodi brez poprejšnjega obveščanja, opozarjanja in/ali alarmiranja, morajo ostati prioritetni vsaj naslednji sklopi preventivnega ukrepanja: 1. Upoštevanje nevarnosti hudourniških poplav pri prostorskem načrtovanju; 2. Prilagojeno gospodarjenje z gozdovi v hudourniških območjih; 3. Urejanje hudourniških območij s tehničnimi in biotehničnimi ukrepi ter izvajanje vzdrževalnih ukrepov, ter 4. Kontinuirano vzdrževanje zavedanja o nevarnosti in znanja ter veščin samozaščitnega ukrepanja. Glede točke 2. so v prispevku kratko povzeti vmesni rezultati naloge »Strokovna izhodišča ter smernice za gospodarjenje z gozdovi na hudourniških območjih«, ki ga vodi Gozdarski inštitut Slovenije, financirata pa ARIS in MKGP (J2-1743) v okviru Ciljnega raziskovalnega programa (CRP 2022).

Hudourništvo - erozijski in hudourniški procesi in pojavi

Hudourniška območja, v katerih nastajajo drobirski tokovi, „drobirske poplave“, in intenzivna premeščanja rinjenih plavin, sestavljajo strme struge povirnih gorskih vodotokov in njihovih pritokov. Zanje je značilno variiranje pretoka za več velikostnih redov in prispevno območje običajno manjše od 25 km^2. Geomorfološki procesi na pobočju in v strugi so tesno povezani in jih večinoma sprožijo lokalne padavine visoke intenzivnosti in kratkega trajanja.

Prekomerno sproščanje in dolvodno premeščanje plavin po strugi predstavlja nevarnost za naselja in infrastrukturo, vendar je premeščanje rinjenih plavin z vidika upravljanja s porečij obenem pomemben dejavnik ohranjanja obnavljanja in ohranjanja dinamičnega ravnovesja posteljice struge hudournika in sprejemnih rek. Vzpostavitev in vzdrževanje take ureditve vodotokov, da bomo na nivoju porečja imeli pretežni čas bilanco prodonosnosti, ki bo vzdržna tako z vidika varstva pred poplavami kot z vidika dobrega stanja voda, je verjetno najzahtevnejši strokovni izziv urejanja hudournikov in nasploh urejanja vodotokov. Popolna zaustavitev sproščanja in premeščanja plavin praviloma ni v naboru sprejemljivih rešitev.

Za opis razvoja in delovanja hudourniških območij je v literaturi predlaganih več klasifikacij. Na podlagi teorije hudourniškega vršaja opisujemo sestavo hudourniška območja v alpskih regijah kot zaporedje začetnega, povirnega območja, območja transporta in območja odlaganja (hudourniški vršaj ali stožec). Za alpska hudourniška porečja v nižjih regijah pa je značilno začetno povirno območje in razpotegnjeno spodnje območje za katero je značilno izmenjavanje procesov odlaganja in erodiranja plavin. Takšna vodozbirna območja ob iztoku v sprejemni vodotok praviloma nimajo značilnega vršaja (primer hudournika Bistričica).

V svojem pionirskem delu je Stiny (1910) opredelil glavne vire plavin za procese premeščanja. Razlikoval je med hudourniki, ki prenašajo „stare“ usedline, ki so bile odložene med preteklimi geološkimi dobami (npr. nalaganje usedlin v ledenih dobah) in hudournike, kjer je večina plavin nastalo z nedavnimi procesi fizikalnega in kemičnega preperevanja ter erodiranja. Prva vrsta hudournikov (kamor sodi hudournik Bistričica), običajno povzroča epizodične in večinoma obsežne drobirske tokove in drobirske poplave - dokler je na voljo dovolj gradiva so omejitveni dejavnik za razvoj poplavnih in erozijskih dogodkov padavine. Druga vrsto hudournikov je pri razvoju dogodkov omejena s trenutno razpoložljivimi produkti preperevanja, ki se premeščajo in odlagajo v ali blizu struge. Ko je v strugi in v njenem vplivnem območju na voljo dovolj materiala, lahko tudi tu obilne padavine sprožijo periodične procese transporta plavin. Zato je v okviru presoje tveganja pomembno, da pridobimo znanje o dolgoročni zgodovini hudourniških območij in prepoznamo in upoštevamo sledi ledeniške dejavnosti in ledeniških nanosov. Aulitzky (1980) je predlagal klasifikacijsko shemo, ki bolj temelji na procesu. V svoji „dvakratni klasifikaciji hudournikov“ Aulitzky razlikuje med hudourniki drobirskih tokov, hudournikih drobirskih poplav, hudournikih z rinjenimi plavinami in poplavami potokov.

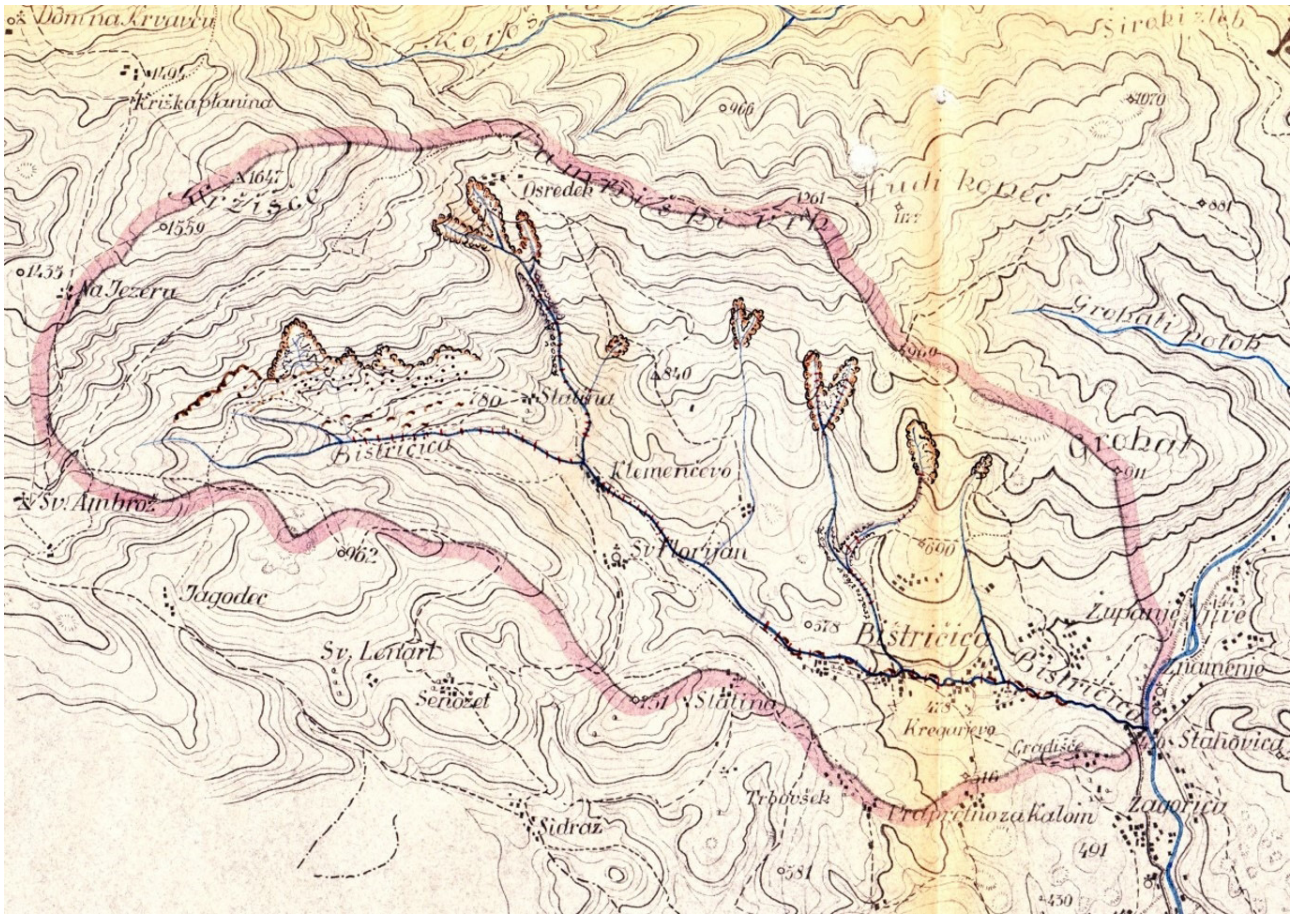
Hudourniško območje Bistričice

Opis hudourniškega območja

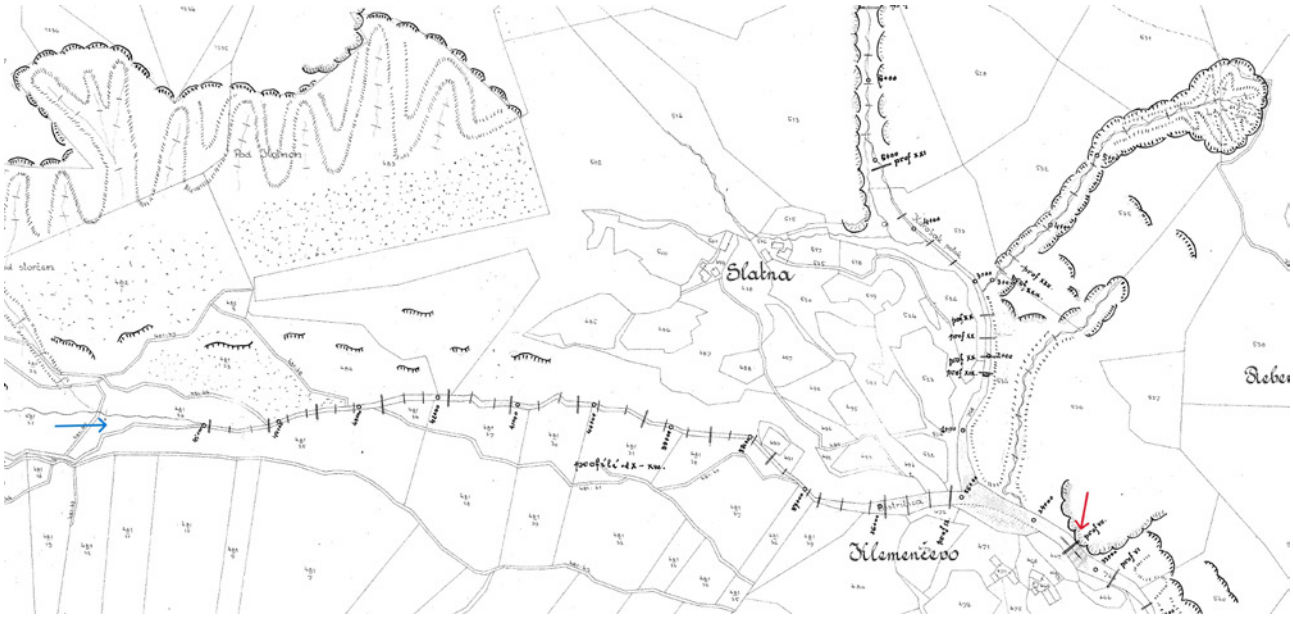
Bistričica je vodotok, ki izvira v Kamniško Savinjskih Alpah, natančneje pod jugovzhodnim pobočjem Krvavca, pod Križiščem (1658 m). Od izvira dalje teče do Klemenčevega pod imenom Blatnica, nato pa kot Bistričica po istoimenski dolini do Bistričice in Stahovice, kjer se kot desni pritok izliva v Kamniško Bistrico. Glede na vrsto vodotoka spada med tipične hudournike. Prispevno območje je večinoma strmo in srednje močno razgibano. Le levo pobočje na delu od izliva do Slatne je globoko razčlenjeno. Na tem delu izvirajo levi pritoki Hudi potok, Tratnik s pritokom Pohek, Potok in Korošak. Večina prispevnega območja je orientiranega proti jugu, jugovzhodu in jugozahodu. V te smeri je namreč orientirano levo pobočje, ki zajema 3/4 celotne prispevne površine. Desno, položnejše, pobočje, ki zavzema le 1/4 prispevne površine je obrnjeno proti severozahodu, severu, severovzhodu.

Območje (11,5 km^2) se razteza na obronkih Kamniškega Vrha (1259 m), Križišča (1658 m) in Požganice (981 m). Je podolgovate oblike, dolgo približno 5,75 km in široko približno 2 km. Razteza se od nadmorske višine 430 m (izliv v Kamniško Bistrico) do 1658 m (Križišče). Izvir glavnega dela vodotoka se nahaja na nadmorski višini približno 1060 m, v bližini cerkve Sv. Ambroža. Povprečen naklon dna struge je 11 %, od tega je naklon zgornjega dela struge v razponu od 14 % do 20 %, naklon struge v srednjem delu je 7 %, naklon struge v spodnjem delu pa je približno 4 %. Območje spada, glede na naklon terena v sredogorje. Sestavljajo ga gozd (približno 1/2 površine) ter travniki, njive in pašniki (1/2 površine).
Dno, približno 400 m široke glavne doline Bistričice je pokrito z debelo plastjo glacialnega in delno pobočnega in aluvialnega grušča ter proda. Debe-

lina plasti znaša v spodnjem in srednjem delu od 5 do 6 m, v zgornjem delu pa 50 m. To plast glavni vodotok skupaj s pritoki močno erodira in korodira in je zato glavni vir plavin, ki jih Bistričica erodira in transportira dolvodno po strugi. To dokazuje prečni prerez struge nad Slatno, iz katerega so razvidne rečne terase, ki pričajo o posedanju plasti grušča. Posedanje in plazenje gruščnatega dna doline v strugo Bistričice podpirajo številni studenci, ki pronicajo na podnožju strmega skalnatega levega pobočja v grušč in nato, predvidevamo da podtalno, na plasteh ilovice, tečejo v glavno strugo. Močna erozija vodotoka se kaže v zgornjem delu struge, od Klemenčevega oziroma



Slika 1: Pregledna karta hudourniškega območja Bistričice (Štrancar, 1939)



Slika 2: Situacija povirnega dela Bistričice z vrisanimi načrtovanimi hudourniškimi pregradami in pragovi; z rdečo puščico je označena zgrajena »Štrancarjeva pregrada« (Štrancar, 1939)

Slatne gorvodno, kjer se nahaja približno 1 km^2 plazljivega pobočja.

Na podlagi prečnega prereza glavne doline je leta 1939 hudourničar inž.gozd. Alojzij Štrancar (1885 – 1983), takratni »Šef gozdnotehničnega odseka za urejanje hudournikov« sklepal, da znaša debelina gruščnate plasti od 20 do 30 m (lahko tudi več). Glede na dolžino je ocenil, da znaša količina plazljivega materiala najmanj 25 mio m^3. V svojem »Generalnem načrtu ureditve hudourniškega območja Bistričice« je takrat (leta 1939) dobesedno zapisal: »Če pomislimo, da bi mogel ves ta svet, vseh teh 25 milijonov m^3 materiala preiti v gibanje, potem si lahko mislimo, kako strašne posledice bi imelo to gibanje za dolino Bistriščice in za naselja, ki so v njej. Nastal bi tok vode in materiala (Murgang), ki bi zasul vso dolino Bistriščice in prodrl iz nje tudi v dolino Kamniške Bistrice, prinašajoč ogromno opustošenje.« V svoji idejni zasnovi je predvidel izgradnjo 38 pregrad ter številne pragove in obširna pogozdovalna dela, s katerimi je nameraval ustaliti narušena erozijska pobočja nad Blatnico. Žal je bila izvedena samo ena njegova, sicer najbolj ključna zaplavna pregrada, ki jo še danes imenujemo »Štrancarjeva pregrada«, delno pa so bila izvedena tudi pogozdovalna dela pretežno s črnim borom) .

Dogodek iz leta 1990 je jasno pokazal na pravilnost Štrancarjevega generalnega načrta – tudi za stabilizacijo struge Blatnice. Precej verjetno je, da bi izvedba celotnega načrta preprečila ali vsaj omilila takratno ujmo.

Drobirski tok se je dejansko pojavil dobrih 50 let kasneje – 1. novembra 1990. V zaledju so se sprožili veliki usadi in plaz z leve strani Blatnice, vodna ujma pa je z naplavinami opustošila dolino Bistričice do iztoka v Kamniško Bistrico. Infrastruktura je bila porušena in zasutih več stanovanjskih in gospodarskih objektov. »Štrancarjeva pregrada« v Klemenčevem je takrat odigrala ključno vlogo pri zaustavljanju najbolj grobih plavin, da ni prišlo tudi do rušenja hiš. Po tej ujmi je takratni koncesionar – Podjetje za urejanje hudournikov, na podlagi projektov hudourničarja Aleša Klabusa, izvedel obsežno sanacijo s sonaravno regulacijo struge in izgradnjo dveh večjih zaplavno stabilizacijskih pregrad nad obstoječo Štrancarjevo pregrado in eno na Korošaku. Zaplavek Štrancarjeve pregrade so začeli tudi redno čistiti, ker se je pokazala potreba po akumulaciji čim večje količine plavin.

Po katastrofalnih poplavah leta 1990 je bila torej struga Bistričice urejena z dodatnimi 50 pragovi, 1,5 km obrežnimi ureditvami in zasaditvami in zgrajene so bile še tri pregrade, toda sredstev za ureditvena dela tudi višje v povirju Blatnice in Korošaka žal ni bilo dovolj.

Hudourničarski objekti in ureditve na Blatnici 2011

Leta 2011 se je na podlagi projekta izkušenega hudourničarja Stanka Silana, pristopilo k stabilizaciji struge v povirnem delu, na Blatnici, ki je zgornji povirni krak Bistričice. Na tem odseku se je namreč struga ob večkratnih visokih vodah precej poglobila in s tem pripomogla k proženju plazov levega pobočja nad strugo.

Zlivno območje Blatnice je deloma gozdnato, deloma pašniško, prisotna pa so tudi erozijska žarišča na strmih dolomitnih pobočjih pod Kržiščem. V spodnjem delu so v kamninski podlagi prisotni tudi erodibilni skrilavi glinenci in peščenjaki.

S serijo ustalitvenih pregrad se je ta odsek stabiliziral na način, da se je niveleto zvišalo v nekdanje stanje, torej zvišalo dno struge za cca. 3 m. S tem se je preprečilo nadaljnje poglabljanje in vzpostavilo stabilno peto pobočja, tako da je bila omogočena sanacija plazov na pobočju pod dostopno cesto na Kuharjevo domačijo.

Vodozlivno območje do obravnavanega odseka meri 2,31 m^3. Za izračun pričakovanih visokih vod smo uporabili empirično formulo Kresnika, ki pri hudournikih v naših razmerah izkazuje najbolj realne rezultate. Za koeficient hrapavosti smo vzeli vrednost 0,70, ker gre za precej strmo zlivno območje s precejšnjim deležem pašniških in erodiranih – golih površin. Izračun pričakovane 100 letne visoke vode, po vzoru Bavarske, povečan za faktor vpliva podnebnih sprememb 1,15, je znašal 29,46 m^3/s. S hidravličnimi izračuni smo določili dimenzije prelivov za načrtovane pregrade in potrebne dolžine podslapij. Prelive pregrad smo dimenzionirali na prevodnost pričakovanih 100 letnih visokih vod po Wehrmannovi formuli ustrezno nadvišane zaradi velike prodonosnosti. Dolžino utrjenega dela podslapja pregrad smo določili z metodo Lazareva.

Zgrajenih je bilo 5 težnostnih hudourniških ustalitvenih pregrad v nizu s stopnjami od 2,4 do 3,0 m, rustikalno zidanih iz kamna v betonu. Leta 2015 je bila na dolvodnem začetku tega niza dodatno zgrajena še ena pregrada tipa kranjske stene oz. dvostenske lesene kašte s stopnjo 2,2 m, ter 16,2 m levoobrežnega zavarovanja tipa kranjske stene. Sistem šestih pregrad ne samo da vzdržuje stabilno blažjo niveleto in podira brežine in labilna pobočja, ampak v času visokih hudournih voda tudi zmanjšuje njeno vlečno silo in na odseku (vsaj začasno) zadrži znatno količino hudourniških plavin.

Slika 3 in 4: Situacija leta 2011 urejenega odseka z nizom 6 ustalitvenih pregrad – pred (levo) in po (desno) poplavami 2023 (Atlas voda)

Hudourničarski objekti in ureditve na Blatnici 2020

Leta 2020 se je na osnovi projekta hudourničarja Stanka Silana pristopilo k izvedbi nadaljnjih (navezujoč se na odsek urejen v letu 2011) 5 ustalitvenih pregrad v sistemu na Blatnici, in sicer v dolžini 400 m gorvodno od obstoječih pregrad pod domačijo Kuhar. Struga se je ob večkratnih visokih vodah v prejšnjih letih precej poglobila in povzročila daljše usade brežin. Poglabljanje struge na tem odseku je zelo problematično, ker se je prav tu že leta 1990 sprožil drobirski tok, ki je opustošil dolino Bistričice. Visoka voda ob neurju oktobra 2018 je ponovno povečala nevarne poškodbe, zato smo objekt vključili v sanacijski program.

Pri presoji o izbiri najprimernejše rešitve smo se posvetovali tudi s kolegi iz tujine. S hudourničarji Avstrije, Bavarske in južne Tirolske (Bolzano) vzdržujemo redne stike, zato so nam bila znana njihova zadnja razvojna prizadevanja in dileme. Vsem hudourničarjem na območju Alp je skupno da se soočamo s pomanjkanjem sredstev za redno vzdrževanje, marsikje pa so problematične tudi deponije, ki so potrebne za deponiranje materiala iz zaplavnih prostorov pregrad. Bavarska zato preizkuša koncept manj intenzivnega urejanja in vzdrževanja ureditev v povirjih, kar bi nadomestili z izgradnjo enega ali dveh zelo velikih varovalnih objektov s (prebiralno) funkcijo zadrževanja plavin in plavja nad naselji. Tudi v Avstriji so hudourniške pregrade odprtega tipa z bolj ali manj delujočo samočistilno funkcijo ena izmed stalnic pri urejanju zelo prodonosnih hudournikov, vendar se vsi strinjamo, da je treba v primeru intenzivnih erozijskih procesov v povirju te procese z ureditvenimi deli omejiti na vzdržno raven – odvisno od idejne zasnove celostne ureditve posameznega porečja, katerega del je obravnavani hudournik. Glede na nevarnosti potencial hudournika Bistričice je na koncu Blatnice smiseln vsaj en tak večji hudourniški objekt / pregrada odprtega tipa s funkcijo zadržanja morebitnega drobirskega toka. S pomočjo dveh projektantov avstrijske državne službe za urejanje hudournikov, ki sta bila tri dni naša gosta, smo tudi prišli do idejne zasnove takega objekta. Dokončanje projektiranja, proces umeščanja v prostor, pridobivanje vse dokumentacije in tudi strošek take pregrade je ta projekt zamaknilo v prihodnost. Načrtovanih in izvedenih pa je bilo 5 zaplavno stabilizacijskih pregrad iz kamna v betonu s stopnjami 3 m. Pri načrtovanju pregrad smo se ozirali na možnost dostopa z gradbeno mehanizacijo po strugi navzgor.

Dimenzioniranje pretočnega profila struge na bodoči nadvišani strugi med pregradami za prevodnost visoke vode s plavinami smo izvedli po metodi Manninga s Pintarjevo redukcijo hitrosti vode.

Za izvedbo del je bilo pridobljeno tudi geomehansko poročilo in varnostni načrt, saj so bila dela na težko dostopnem terenu in ob labilnih brežinah

Slika 5, 6: Situacija leta 2020 urejenega odseka z nizom 5 ustalitvenih pregrad – pred (zgoraj) in po (spodaj) poplavah 2023 (Atlas voda)

in s številnimi usadi na pobočjih nad strugo, zelo zahtevna. V projekt je bila vključena zahteva po zavarovanju izkopov in odvod zalednih voda ter geomehanski in projektantski nadzor. Občasna prisotnost projektanta je bila nujna, da so se projektne rešitve po potrebi prilagodile ugotovljenim posebnostim na terenu – stanje temeljnih tal, stabilnost bokov, os vodotoka in podobno.

Za preprečitev oziroma omilitev možnega ponovnega drobirskega toka, je v bodoče potrebno izvesti tudi večjo prebiralno pregrado / razbijača drobirskega toka na zaključku obravnavanega odseka in nadaljnje stabilizacijske posege višje na Blatnici in na globokih jarkih in erozijskih žariščih v zaledju. Protierozijski ukrepi in biotehnična sanacijska dela v zaledju, za zmanjšanje sproščanja in odnašanja hudourniških plavin, so nujna, če hočemo v prihodnosti še zmanjšati posledice hudourniških poplav v obliki zasipavanja strug in okoliških površin s plavinami. Sicer zelo pomembna Štrancarjeva zaplavna pregrada, v primeru ekstremnih dogodkov, svojo funkcijo zadrževanja plavin opravlja omejen čas. Njen akumulacijski prostor se namreč lahko hitro zapolni.

Slika 7 in 8: Posledice avgustovskih poplav v srednjem in spodnjem teku Bistričice - zasutje struge in okoliškega terena z ogromno količino hudourniških plavin (foto: Hidrotehnik)

Hudourniške poplave avgusta 2023

Hudournik Bistričica je povzročal škodo na vsej dolžini svoje struge in bližnji okolici struge ter poškodoval ceste, mostove, električno in vodovodno napeljavo, stanovanjske in gospodarske objekte itd. Poleg dotoka velikih vodnih količin so se v strugo, zaradi spodjedenosti in nasičenosti z vodo, sprožili še številni usadi, ki so bili glavni vir plavin predvsem dolomitnega drobirja, ter majhnih do srednje velikih skal, ostankov dreves idr. Večina škode v srednjem in spodnjem teku Bistričice in njenih pritokov je bila posledica zasipavanja (zamašitve) s plavinami in manjši del neposredna posledica bočne in globinske erozije, čeprav je šlo pretežno za soodvisne in hkratne procese. V za-

Slika 9 in 10: Zaplavni prostor izza vseh 5 pregrad se je ob poplavah hitro zapolnil (levo zaplavek 3. pregrade pred poplavo in desno po poplavi) – tako kot je bilo predvideno – in pregrade so 100% začele opravljati svojo ustalitveno funkcijo. Niveleta struge se je na celotnem odseku dvignila za cca. 3 m – preprečena je bila globinska erozija, podprte so bile brežine in pete labilnih pobočij in tako preprečene nenadne globje in obsežnejše splazitve hribinskih mas (zlasti z levega pobočja) v hudournik, ki bi lahko povzročile nastanek drobirskih tokov (foto: Hidrotehnik)

ledju pa so prevladovali procesi površinske, bočne in globinske erozije ter plazenja.

Po prvem pregledu stanja je bila pomembna ugotovitev, da se noben ključni hudourniški varovalni objekt ni porušil ali se poškodoval do te mere, da bi izgubil svojo funkcijo. Največ škode je bilo na prečnem objektu na pritoku Korošak, kjer se je struga zaradi erozijskih procesov zelo razširila. Iz poškodb levega krila uvajalne, prve (z gorvodne strani) pregrade na Blatnici pa smo se naučili, da je treba pri dimenzioniranju in oblikovanju kril uvajalnih objektov, vpetih v erodibilna meliščna pobočja iz nevezanih kamnin, upoštevati bolj neugodne scenarije dotoka večjih količin plavin in potencialnega – sicer težko predvidljivega

Slika 11 in 12: Zaplavni prostor 4 pregrade pred poplavami in po poplavah, za ca. 3 m dvignjeno dno struge deluje ustalitveno na gorvodni odsek z erodiranimi brežinam in labilnimi pobočji (foto: Hidrotehnik)

- premeščanja toka visokih hudournih voda izza pregrade v labilna pobočja. Uvajalna pregrada mora visoke hudourne vode s plavinami ustrezno usmeriti v sistem zaplavnih pregrad.

Na območju Alp so hudourničarski strokovnjaki v zadnjem času prišli do »neformalnega konsenza« (PLANALP), da je treba hudourniške objekte in ureditve projektirati in izvajati na način, da bodo razmeroma nepoškodovani prestali tudi ekstremne dogodke, preobremenitve - da v nobenem primeru ne sme priti do porušitve varovalnih objektov. V Sloveniji je še treba najti sistematični način da se to priporočilo z vidika projektiranja »prevede« v konkretne dodatne usmeritve za projektiranje, da bo pristop na tem področju primerljivo enak ne glede na to, katero podjetje ali posamezni projektant projektira hudourniške objekte in ureditve.

Zaključek

Kaj je torej namen prispevka? S pomočjo pozitivnega primera dodatno opozoriti na pomen urejanja povirnih, »skritih« delov hudourniških območij, ki prepogosto izpadejo iz letnih načrtov nabora vzdrževalnih in sanacijskih del na vodotokih. Seveda, treba je urediti odseke na poseljenih območjih, ob infrastrukturnih objektih, toda z vidika obvladovanja ogroženosti pred pojavi rušilnih hudournih voda je treba nujno pogledati višje, nad naselji, tam kjer se poti končajo in kjer javnosti hudourniške struge in hudourniški varovalni objekti niso vidni – so pa lahko ključni, da so dolvodna območja varnejša.

In pa, vsaka ujma je tudi priložnost, ki se je ne sme nikoli zamuditi, da vsak pri sebi preveri pravilnost svojih in naših skupnih odločitev in (ne)dejanj v bližnji in daljni preteklosti. Urejanja hudourniških območij se namreč učiš vse življenje. Pri izbiri in projektiranju ureditev hudourniških območij je poleg vseh principov, pravil in standardov inženirske stroke nepogrešljivo tudi znanje in izvajanje presoje stanja s pomočjo t.i. nemih prič.

Načrtno vzdrževanje in optimiranje ekoloških funkcij (funkcija varovanja gozdnih zemljišč in sestojev, hidrološka, funkcija ohranjanja biotske raznovrstnosti ter klimatska funkcija) in zaščitne funkcije gozdov na hudourniških območjih aktivno preprečuje povečevanje poplavne in erozijske ogroženosti zlasti v zgornjih, povirnih delih hudourniških območij. Nedvomno je še vedno veliko razvojnih priložnosti za sinergijsko delovanje gozdarske in vodarske stroke, npr. da se naredi več na preventivi varstva pred negativnim učinkom lesenega plavja.

Nezanemarljiv pa je tudi poziv, da naj strokovnjaki, tako raziskovalci kot praktiki čim več objavljajo svoja opažanja, izkušnje in ugotovitve. Da se lahko tudi učimo drug od drugega. To je bila ena izmed številnih vrlin nestorja slovenskega hudourničarstva, dipl. inž. gozd. Alojzij Štrancarja, katerega življenjsko vodilo je bilo: »Vzroke za današnje odločitve si vedno zabeležim, saj bom že čez leto ali kasneje lahko morda drugačnega spoznanja. Moram vedeti zakaj sem se tako odločil. Čas in razmere v času in prostoru se spreminjajo.«

Viri in literatura

- EUSALP AG8, 2018. Natural hazards in the alpine region - Dealing with cases of overload and the residual risk - Beyond The Expected, 14 s.
- Papež J. 2011. Neme priče pri presoji nevarnosti zaradi erozijskih in hudourniških procesov. Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 180 str.
- PLANALP, 2014: „Persistence of Alpine Natural Hazard Protection"; Medmrežje (PLANALP brošura): http://www.alpconv.org/en/organization/groups/WGHazards/Documents/PLANALP_LCM%20brochure_final.pdf, 63 p.
- PLANALP, 2015: "Protection Systems against Natural Hazards - Durability through Systems Engineering?", Medmrežje (PLANALP konferenca, München 13.-14.10.2015): http://www.alpconv.org/en/organization/groups/WGHazards/Conference_Munich/default.html
- Projektna dokumentacija »STABILIZACIJA STRUGE BLATNICE V KLEMENČEVEM« - sanacijski program po poplavah september 2010, Hidrotehnik, P - 487/11, Ljubljana, maj 2011
- Projektna dokumentacija »KRANJSKA STENA NA BLATNICI V KLEMENČEVEM« - vzdrževalna dela, Hidrotehnik, P – 675/14, Ljubljana, december 2014
- Projektna dokumentacija »BLATNICA NAD KLEMENČEVIM – STABILIZACIJA STRUGE POD KUHARJEM« - sanacijski program po poplavah september 2018, Hidrotehnik, P - 865/19, Ljubljana, september 2019
- Projekt »Strokovna izhodišča ter smernice za gospodarjenje z gozdovi na hudourniških območjih«, ki ga vodi Gozdarski inštitut Slovenije, financirata pa ARIS in MKGP (J2-1743) v okviru Ciljnega raziskovalnega programa (CRP 2022) »Naša hrana, podeželje in naravni viri«. https://www.gozdis.si/projekti/strokovna-izhodisca-ter-smernice-za-gospodarjenje-z-gozdovi-na-hudourniskih-obmocjih-crp-v4-2212/
- PUH, 1995. Pogubna razigranost - 110 let organiziranega hudourničarstva na Slovenskem 1884-1994, Ljubljana, 276 s.
- Štrancar A. 1939. Generalni načrt ureditve hudourniškega območja Bistričice, Gozdnotehniči odsek za urejanje hudournikov Dravske Banovine, Ljubljana

04

Aktualni projekti s področja upravljanja z vodami in urejanja voda

ZMANJŠEVANJE POPLAVNE OGROŽENOSTI OPVP VRANSKO - NAČRTOVANJE SUHEGA ZADRŽEVALNIKA NA MERINŠČICI TER UREDITEV VODOTOKOV DOLVODNO

viš.pred.dr. Jošt Sodnik, univ. dipl. inž. grad., TEMPOS, okoljsko gradbeništvo d.o.o., Tehnološki park 21, 1000 Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

Žiga Likar, univ. dipl. inž. grad., Geoportal d.o.o., Tehnološki park 21, 1000 Ljubljana

Tadej Cotelj, dipl.inž.grad., Geoportal d.o.o., Tehnološki park 21, 1000 Ljubljana

Erazem Kovač, mag.inž.geol., Geoportal d.o.o., Tehnološki park 21, 1000 Ljubljana

Urban Kristan, mag. inž. ok. grad., TEMPOS, okoljsko gradbeništvo d.o.o., Tehnološki park 21, 1000 Ljubljana

Tilen Koranter, mag. inž. ok. grad., TEMPOS, okoljsko gradbeništvo d.o.o., Tehnološki park 21, 1000 Ljubljana

Povzetek

V prispevku je prestavljen projekt zmanjševanja poplavne ogroženosti na območju OPVP Vransko. Prva idejna zasnova je bila izdelana v letih 2014-2016 in je predvidevala gradnjo suhega zadrževalnika in ureditve vodotokov dolvodno, do konca naselja Vransko. Leta 2021 je bila z DRSV podpisana pogodba za izdelavo projektne dokumentacije DGD, PZI in tehničnih specifikacij. Na dan priprave tega prispevka je bila izvedena predhodna recenzija PZI, izdelan je DGD, ki bo takoj po pridobljeni pravici graditi, vložen na upravno enoto. Gradnja je predvidena v letih 2024 in 2025.

Predstavljeni projekt predstavlja zahteven projekt, saj gre, zaradi višine nasipa, za veliko pregrado. V fazi načrtovanja so bile uporabljene smernice IZS za načrtovanje pregrad, katere so bile uradno objavljene med samo izdelavo dokumentacije. Skladno s smernicami se je spremenila zasnova objekta, predvsem evakuacijskih objektov (dva talna izpusta, varnostni preliv). Projekt je predviden za financiranje preko sklada NOO in je bil zato preverjen tudi iz vidika zagotavljanja pogojev NBS in DNSH.

Tehnično gledano gre za suhi zadrževalnik na Merinščici, ki bo zmanjšal pretok Q100 na Merinščici iz sedanjih 30 na 11 m^3/s. Volumen zadrževanja je cca 160.000m^3. Najbolj problematičen odsek dolvodno je odsek Merinščice skozi Vransko, kjer gre za zelo utesnjeno strugo in so vsi ukrepi za povečanje pretočnosti zelo omejeno izvedljivi.

Prav tako ja ta odsek struge, kot del naselja, zaščiten kot kulturna dediščina. Detajlna hidravlična analiza je pokazala, da struga skozi Vransko prevaja samo 6m^3/s. Zato je bila predlagana rešitev (poleg zadrževanja) z razbremenjevanjem viškov vode v strugo Podgrajščice in povečanje pretočnega profila le-te. Za potrebe dušenja pretokov na Merinščici je bil rekonstruiran most, ki ima poleg premostitve, funkcijo dušilke. Poleg tega mostu, je predvidenih za rekonstrukcijo še 8 drugih premostitev. V največji meri so bile ohranjene obstoječe retenzijske površine, kar je bilo zagotovljeno z dodatnimi nasipi in ustrezno rekonstrukcijo cest (niveletna prilagoditev). V predvidenem stanju (po izvedenih ukrepih), bodo vsi naseljeni objekti znotraj OPVP Vransko varni pred poplavami s povratno dobo 100let. Vse ureditve so bile preverjene tudi za primer povečanja pretokov zaradi podnebnih sprememb.

Predstavljeni projekt prikazuje primer suhega zadrževalnika načrtovanega skladno z novimi smernicami IZS za zadrževalnike, vse ureditve skupaj pa izpolnjujejo tudi pogoje NBS in DNSH, ki bodo v bodočih finančnih perspektivah vse bolj pomembne in verjetno celo obvezne.

Uvod

Vransko je eno od številnih poplavno ogroženih območij v Sloveniji. Območje Vranskega je dobilo status OPVP in s tem nekaj prednosti pri načrtovanju in umeščanju ukrepov za zmanjševanje poplavne ogroženosti. Že v predhodni dokumentaciji in strokovnih podlagah, so bili predvideni različni ukrepi za izboljšanje stanja na področju poplavne problematike. Eden od ključnih pristopov pri reševanju poplavne problematike na območjih obstoječe pozidave je zadrževanje poplavnega vala oz zniževanje konice pretoka poplavnega vala. Običajno samo zadrževanje (gradnja zadrževalnika) ni zadosten ukrep, zato so potrebni dodatni ukrepi, ki skupaj z zadrževanjem dosežejo želen učinek. Podoben primer je OPVP Vransko, kjer je poleg gradnje suhega zadrževalnika predvideno tudi več komplementarnih ukrepov (regulacije, kontrolirano razlivanje poplavnih voda, nove premostitve), ki skupaj zagotavljajo ustrezno zmanjšanje poplavne ogroženosti. Z ukrepi se zmanjšuje ogroženost OPVP in ohranja obstoječe poplavne površine. Vsi ukrepi so zasnovani z upoštevanjem smernic BNS in DNSH.

Zasnova ukrepov

Zaradi predvidene gradnje zadrževalnika se bodo spremenile odtočne razmere in temu je tudi prilagojen koncept rešitev na Merinščici in Podgrajščici. Ključni cilj predvidenih ureditev je zmanjšanje poplavne ogroženosti poseljenega območja in hkrati ohranjanje obstoječih razlivnih površin, kjer je to možno. Kljub gradnji zadrževalnika, konice pretoka ne bo možno zmanjšati to te mere, da dolvodno ne bi bile potrebne dodatne ureditve. Zato so v projektu poleg samega zadrževalnika, predvidene tudi rekonstrukcije premostitev in regulacije vodotokov. Podrobneje so vse ureditve opisane v nadaljevanju.

Hidravlična analiza obstoječega in predvidenega stanja

V sklopu projekta je bila izdelana hidrološko hidravlična analiza vodotokov dolvodno od lokacije predvidene pregrade na Merinščici do sotočja Merinščice z Bolsko.

Hidrološka izhodišča
Hidrološka izhodišča (konice poplavnih voda in

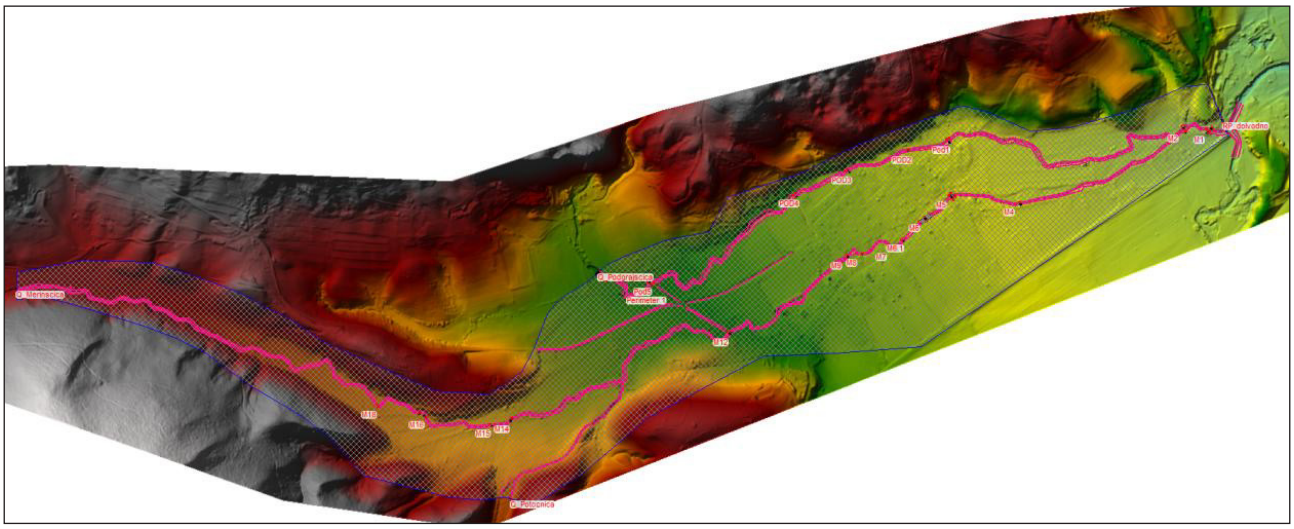
OZN	ime prereza	Fb (km^2)	Ql0 (m^3/s)	Q20 (m^3/s)	Q50 (m^3/s)	Ql00 (m^3/s)	Q500 (m^3/s)	
15x	Merinca do profila	5,7	9,7	13,5	20	25	39	*
16x	Merinca do Potočnice	11,1	14,4	19,2	27	33	50	*
16y	Merinca pod Potočnico	12,2	15,8	21	29	36	55	
17x	Merinca do Podgrajščice	12,6	16,0	20	29	35	53	*
17y	Merinca pod Podgrajščico	18,2	23	29	40	48	70	
4z	Merinca do Bolske	18,4	23	29	40	48	71	*
16z	Potočnica do Merince	1,1	1,7	2,4	3,5	4,5	7,3	
18x	Globočka do izvira Podgrajščice	2,1	3,4	4,7	6,6	8,4	13	*
18z	Izvir Podgrajščice	2,0	2,4	2,7	2,9	3,1	3,4	*
18y	Podgrajščica pod Globočko	4,1	5,7	7,1	9,3	11,1	16	
17z	Podgrajščica do Merince	5,6	7,3	9,3	11,3	13,8	19	*

Preglednica 1: Vrednosti visokovodnih pretokov Merinščice (v študiji imenovana Merinca), Potočnice do Merinščice in Podgrajščice do Merinščice (Inštitut za vode RS, 2015)

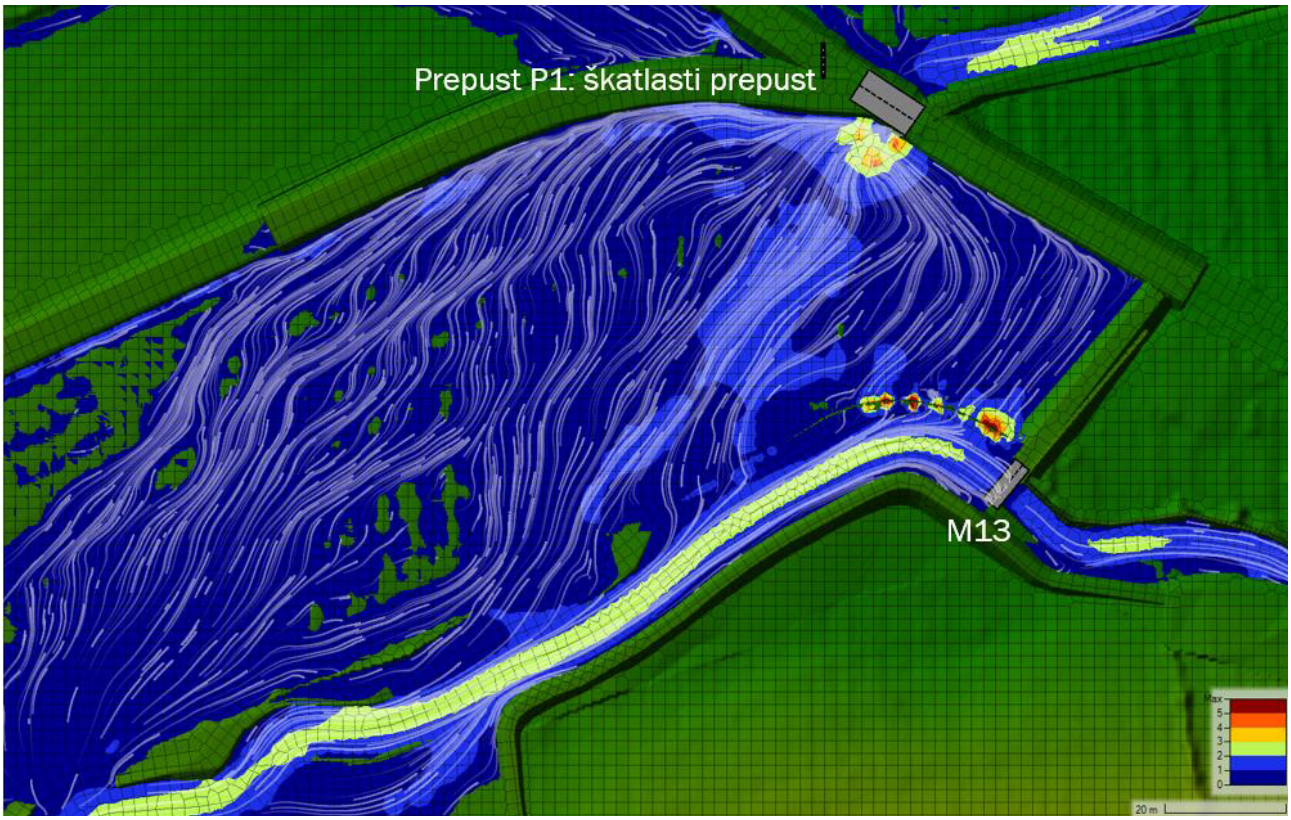
hidrogrami) so privzeta po študiji »VISOKOVODNE RAZMERE na porečju Bolske - sedanje stanje, Inštitut za vode Republike Slovenije, avgust 2015«. Uporabljeni so hidrogrami v celoti povzeti po hidrološki študiji, kjer so tudi grafično prikazani. Za Potočnico v študiji ni bilo podanih hidrogramov, zato je bil določen teoretični hidrogram z ujemanjem konic koincidenc pretokov.

Izdelan je bil hidravlični model obstoječega stanja, katerega namen je bil potrditi rezultate obstoječega stanja iz pretekle študije, na podlagi katere so izdelane trenutno veljavne karte poplavne nevarnosti za obravnavano območje. Ustrezno izdelan model obstoječega stanja je predstavljal osnovo za načrtovanje predvidenih ureditev.

Na podlagi kompleksnosti tokovnih in poplavnih razmer je bil izdelan 2D hidravlični model v programskem orodju HEC-RAS 6.3. Območje struge in poplavno območje sta bila računana kot enotno območje znotraj dvodimenzionalnega modela. Hidravlični model obstoječega stanja obsega 4 km odsek Merinščice, 0,5 km odsek Potočnice, 2 km odsek Podgrajščice in krajši del sotočja Merinščice in Bolske. V hidravličnem modelu obstoječe-



Slika 1: Računsko območje hidravličnega modela obstoječega stanja



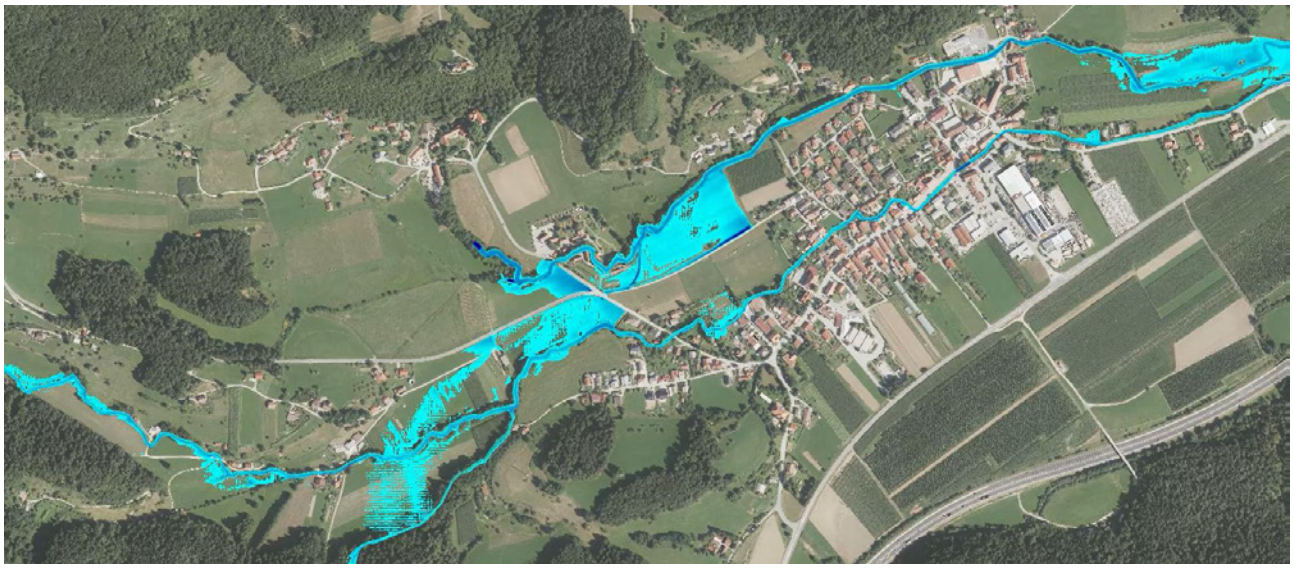
Slika 2: Hidravlični model območja prelivanja poplavne vode Merinščice proti Podgrajščici pri pretoku Q100.

ga stanja je bilo upoštevanih 16 premostitvenih objektov na Merinščici in 5 premostitvenih objektov na Podgrajščici.

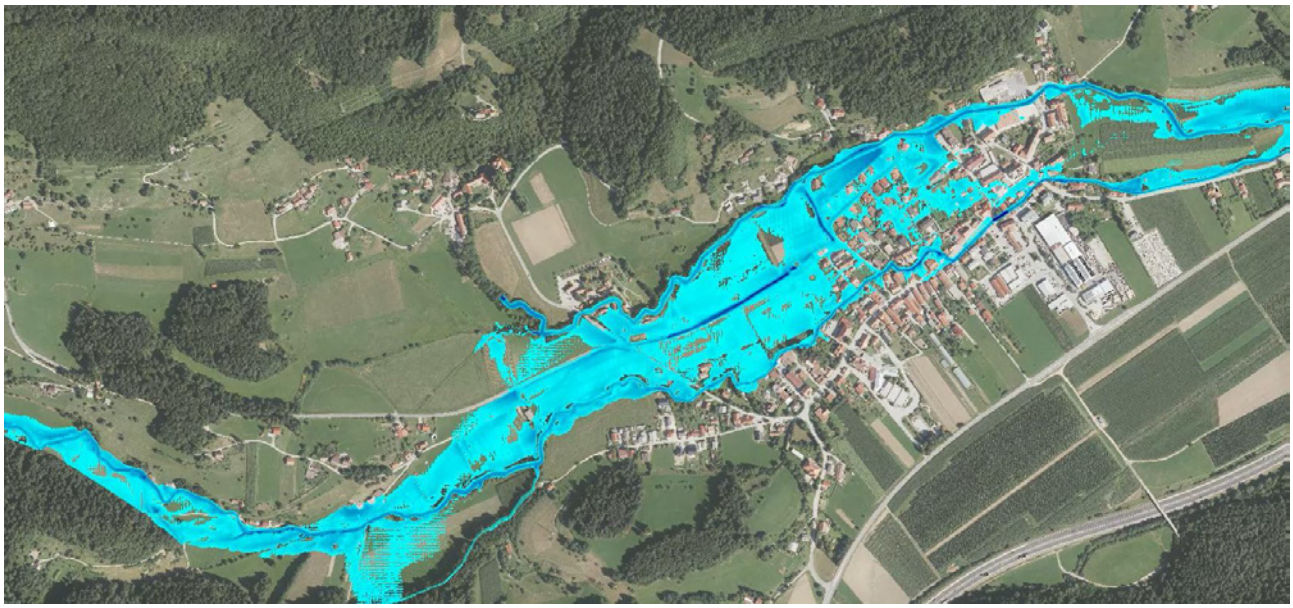
S hidravličnim modelom obstoječega stanja je bila potrjena obstoječa poplavna ogroženost naselja Vransko zaradi visokih voda Merinščice, Podgrajščice in Potočnice. V obstoječem stanju na območju naselja Vransko poplavljata tako Merinščica kot Podgrajščica. Večji del visokih voda Merinščice poplavlja v naselju Vransko, del pa se jih tudi v obstoječem stanju preliva proti Podgrajščici, ki tudi poplavlja na območju naselja Vransko.

Načrtovanje predvidenih vodnogospodarskih ureditev dolvodno od pregrade je potekalo sočasno z izdelavo hidravličnih modelov načrtovanega stanja. Za posamezne ureditve so bili izdelani ločeni hidravlični modeli, ki so analizirali ustreznost posamezne ureditve, nato pa je bil izdelan enoten hidravlični model celotnega območja s katerim je bil analiziran celovit vpliv ureditev na zmanjšanje poplavne nevarnosti na celotnem obravnavanem območju. Enoten hidravlični model načrtovanega stanja zajema območje dolvodno od lokacije predvidene pregrade visokovodnega zadrževalnika na Merinščici do sotočja Merinščice in Podgrajščice dolvodno od naselja Vransko.

S hidravličnim modelom je bila analizirana prevodnost Merinščice skozi naselje Vransko. Na podlagi rezultatov modela je bil določen maksimalni pretok, ki ga obstoječa struga Merinščice prevaja brez (kritičnih) razlivanj. Z analizo v hidravličnem modelu odseka Merinščice skozi Vransko je bilo ugotovljeno, da znaša maksimalni ustrezni pretok



Slika 3: Obseg poplav pri pretoku Q100 – obstoječe stanje



Slika 4: Obseg poplav pri pretoku Q100 – obstoječe stanje

Merinščice skozi Vransko 6 m^3/s. Zato je predvideno, da se na gorvodnem delu naselja uredi premostitev (M13), ki bo hkrati delovala kot dušilka, ki ne bo spuščala v naselje Vransko več kot 6 m^3/s. Nad premostitvijo M13 (dušilko) bo urejeno prelivno polje, preko katerega se bodo pretoki Merinščice večji od 6 m^3/s razlivali proti Podgrajščici. V izogib pogostemu poplavljanju križišča cest in polj, je predviden dvig nivelete cest, vgradnja škatlastega prepusta in novega razbremenilnega jarka od prepusta do Podgrajščice.

Izdelan je bil 2D hidravlični model za območje prelivanja, kjer sta bila premostitev M13 in škatlasti prepust pod novim nasipom ceste upoštevana kot objekta v hidravličnem modelu. V modelu je bil v topografiji terena upoštevan visokovodni nasip N4 ob desni brežini Merinščice ter dvig ceste v krožišču. Prva spodnja slika prikazuje karto hitrosti in tokovnice pri pretoku Q100 (Q100 = 11m^3/s (Merinščica iz pregrade) + 4,5 m^3/s (Potočnica) + 9,3 m^3/s (Podgrajščica). Po strugi Merinščice priteka 15,5 m^3/s, skozi objekt M13 proti Vranskem teče 6 m^3/s, ostalih 9,5 m^3/s se preliva proti križišču in odteka skozi prepust P1 (škatlasti prepust) v razbremenilni kanal proti Podgrajščici.

Na spodnjih slikah je prikazana primerjava poplavljanja pri pretoku Q100 v obstoječem in predvidenem stanju na celotnem obravnavanem odseku. Predvideno stanje upošteva delovanje zadrževalnika in ureditev vseh dolvodnih protipoplavnih ukrepov do sotočja Merinščice z Bolsko. V predvidenem stanju so vsi obstoječi objekti na obravnavanem območju varni pred poplavami s 100 letno povratno dobo. Hidravlični model predvidenega stanja tako potrjuje ustreznost načrtovanih protipoplavnih ukrepov v tem projektu.

Zasnova zadrževalnika in predvideno obratovanje

Zasnova zadrževalnika

Osnovno izhodišče dimenzioniranja nasipnega dela in evakuacijskih objektov pregrade predstavljajo smernice »Navodila DWA-M522, Male pregrade in mali visokovodni zadrževalniki« (Kryžanowski et al., IZS-MSG, Ljubljana 2022), izhodišča, ki se navezujejo na velike pregrade pa dopolnjena z uporabo »DIN 19700«, ki celovito obravnava problematiko pregradnega inženirstva.

Pogoje izgradnje zadrževalnika v osnovi narekuje uvrstitev pregrade v razrede, glede na velikost pregrade - prostornino zadrževalnika in višino pregradne konstrukcije. Zadrževalnik na Merinščici je kot nasuta pregrada po kriteriju višine uvrščena pod velike zadrževalnike.

Krona pregrade se nahaja na višini 383.5 m.n.v., nad sedanjim terenom v višino sega cca 13.5 m. Najvišja obratovalna gladina vode v zadrževalniku je 380 m.n.v. kjer volumen zadrževanja znaša 160 000 m^3. Višina pregrade, zadrževalni volumen in izhodiščna vrednost iztoka iz pregrade so dimenzionirani na način, da dolvodno naselje Vransko ob poplavnem dogodku s povratno dobo 100 let (z upoštevanjem izvedbe dodatnih protipoplavnih ukrepov) ni več ogroženo, akumulacija pregrade pa je pri tem v večjem delu izkoriščena. Iztok iz pregrade se z upravljanjem zapornice pripira na 11 m^3/s.

Smernice sicer narekujejo, da so evakuacijski objekti dimenzionirani na projektni pretok s povratno dobo 1000 let (t.i. računski pretok BHQ1), vendar je bilo z naročnikom dogovorjeno, da se za BHQ1 uporabi pritok s 500-letno povratno dobo, saj so za to povratno dobo razpoložljivi hidrogrami, ki so ključni za analizo obratovanja samega zadrževalnika. Poleg tega je bil upoštevan tudi t.i. (n-1) kriterij, pri čemer predstavlja n število vseh evakuacijskih objektov na pregradi. Kriterij predstavlja varnostni faktor, ki upošteva možnost, da ob nastopu visokovodnega dogodka zaradi najrazličnejših razlogov (remont, izpad, havarija ipd.) ne obratujejo vsi evakuacijski organi. Kljub temu morajo preostali delujoči objekti (zmanjšani za enega nedelujočega) prevajati računski pretok BHQ1 brez posledic za pregrado in dolvodno ter na vplivnem območju zajezitve. S tem je zagotovljena varnost obratovanja pregrade. Za zadostitev varnostnemu kriteriju sta na pregradi predvidena dva talna izpusta enakih dimenzij z enako opremo in sposobnostjo obratovanja.

Drugi pogoj, kateremu je pri dimenzioniranju evakuacijskih objektov skladno s smernicami potrebno zadostiti je, da so vsi evakuacijski objekti skupaj z varnostnim prelivom sposobni prevajati računski pretok »BHQ2« (projektna poplava 2) brez posledic za pregrado in dolvodno ter na vplivnem območju zajezitve. S tem je zagotovljena varnost pregrade. Evakuacijski objekti so skupaj z varnostnim prelivom na pregradi Merinščica dimenzionirani na način, da so sposobni prevajati pretok s povratno dobo 10 000 let.
Projektna poplava BHQ2 v analizi predstavlja najbolj kritičen scenarij, kjer je dosežena najvišja pričakovana gladina v zadrževalniku. Nanjo je dimenzionirana višina krone pregrade, ki mora upoštevati zadostno varnostno nadvišanje. V primeru zadrževalnika Merinščica varnostno nadvišanje znaša 1.5 m nad maksimalno gladino, ki se lahko pojavi v zadrževalniku (scenarij Q_{10000} in prelivanje preko varnostnega preliva).

Skladno z navedenimi usmeritvami je bilo podrobno obdelano tudi samo obratovanje pregrade pri različnih scenarijih, saj je ravno obratovanje pregrade eno od ključnih izhodišč za dimenzioniranje evakuacijskih objektov.

Predvideno obratovanje

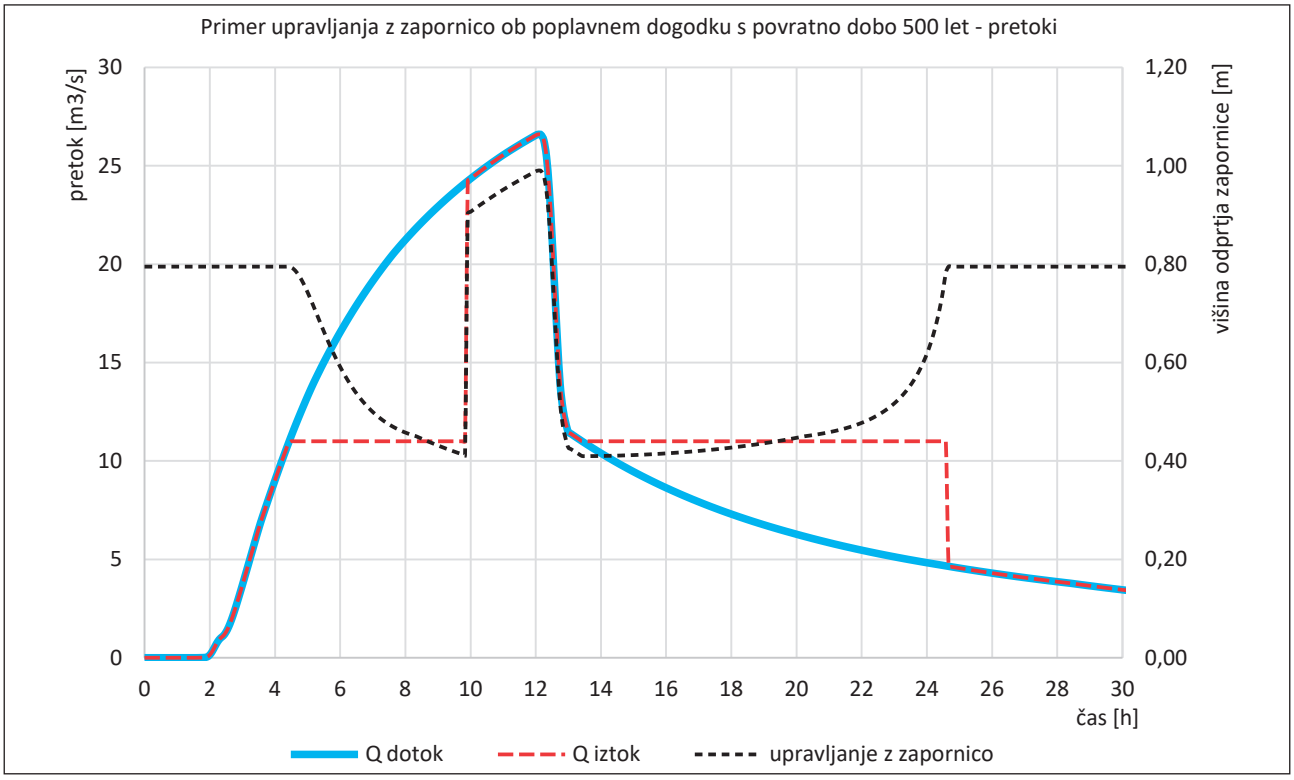
Pregrada je predvidena kot suhi zadrževalnik z nalogo ščitenja dolvodnega območja ob nastopu visokovodnega dogodka. Optimalno naj bi zadrževalnik zadržal konico poplavnega vala s tem pa preprečil ali omilil poplavlanje dolvodno. Načrtovan je na način, da ob pojavu poplavnega dogodka s povratno dobo 100 let izkoristimo razpoložljiv volumen zadrževalnika in zadržimo konico poplavnega vala, brez aktivacije varnostnega preliva. Iztok iz pregrade se z upravljanjem zapornice pripira na 11 m^3/s. Z izvedbo celovitih ukrepov (vključno s protipoplavnimi ukrepi dolvodno od pregrade) ob tem naselje Vransko ni več poplavno ogroženo.

V nadaljevanju je predstavljen karakteristični primer predvidenega obratovanja z zapornico ob nastopu visokovodnega dogodka Q500. Prvi graf prikazuje pretok Merinščice gorvodno od pregrade oziroma dotok v zadrževalnik (modra črta), pretok skozi talni prepust oziroma odtok iz zadrževalnika (prekinjena rdeča črta) in predvideno upravljanje z zapornico (prekinjena črna črta). Drugi graf pa prikazuje upravljanje z zapornico s polnjenjem in praznenjem zadrževalnika oziroma gladinskim stanjem v zadrževalniku (rumena črta).

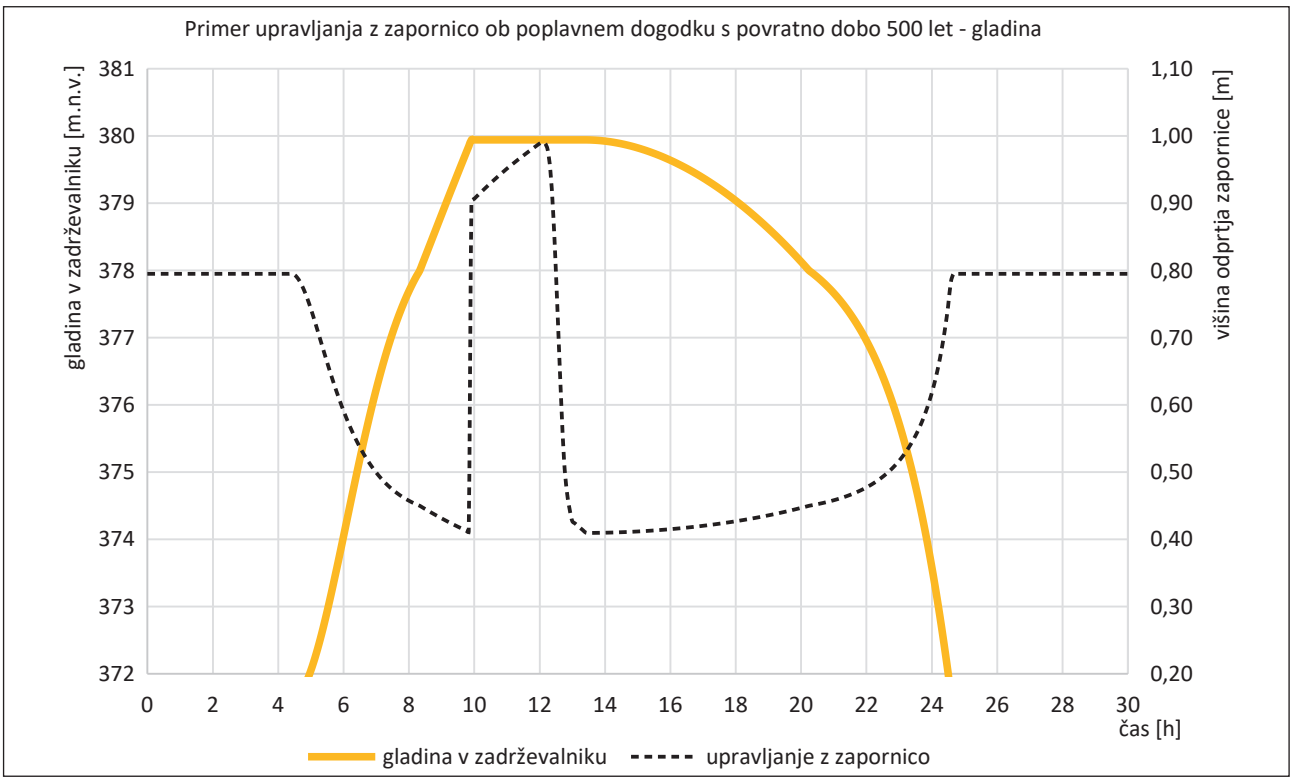
Pri upravljanju z zapornico ločimo tri različne režime, ki so predstavljeni v nadaljevanju.

Običajne razmere, pretok Merinščice je manjši od 11 m^3/s.
V običajnih razmerah ko je pretok Merinščice manjši od 11 m^3/s. Ni potrebe po upravljanju z zapornico in pripiranju pretoka. Zapornica je v izhodiščni legi na višini 0.80 m. Zadrževalnik je prazen, skozi prepust spuščamo celoten pretok Merinščice.

Polnenje in praznenje akumulacije
Ob pretokih Merinščice večjih od 11 m^3/s višek pretoka zadržimo v akumulaciji. Gre za prvi del poplavnega dogodka, ko s pripiranjem zapornice poskrbimo za vzdrževanje enakomernega iztoka iz pregrade (11 m^3/s). Pripiranje se vrši na podlagi spremljanja gladinskega stanja v zadrževalniku. Ko dotok v zadrževalnik zopet znaša manj od 11 m^3/s s pripiranjem zapornice ohranjamo instaliran pretok, zadrževalnik pa se pri tem prazni. Ko je akumulacija zopet prazna in pretok Merinščice manjši od 11 m3/s nastopijo običajne razmere iz prejšnje točke.



Slika 5: Upravljanje s pregrado – pretoki in pozicija zapornice



Slika 6: Upravljanje s pregrado – gladina in pozicija zapornice

Akumulacija je polna, pretok Merinščice v celoti spuščamo skozi talni prepust

Gre za situacijo visokovodnega dogodka, ko ob upravljanju opisanem v prejšnji točki zadržimo del poplavnega vala, pri tem pa v celoti izkoristimo razpoložljiv volumen akumulacije. Gre za poplavni dogodek s povratno dobo večjo od 100 let. Ker je dotok v zadrževalnik nadalje še vedno večji od 11 m3/s se upravljanje z zapornico spremeni na način, da se vzdržuje najvišja obratovalna gladina 380.0 m.n.v. To pomeni, da z ustreznim odpiranjem zapornice zagotavljamo, da je iztok izpod zapornice enak pretoku Merinščice oziroma dotoku v zadrževalnik. Obratovanje se vrši na podlagi spremljanja pretočnih razmer na vodomerni postaji gorvodno od pregrade. Ko pretok Merinščice oziroma dotok v zadrževalnik zopet znaša manj kot 11 m3/s, pričnemo s praznjenjem akumulacije, z zapornico pa upravljamo kot navedeno v prejšnji točki.

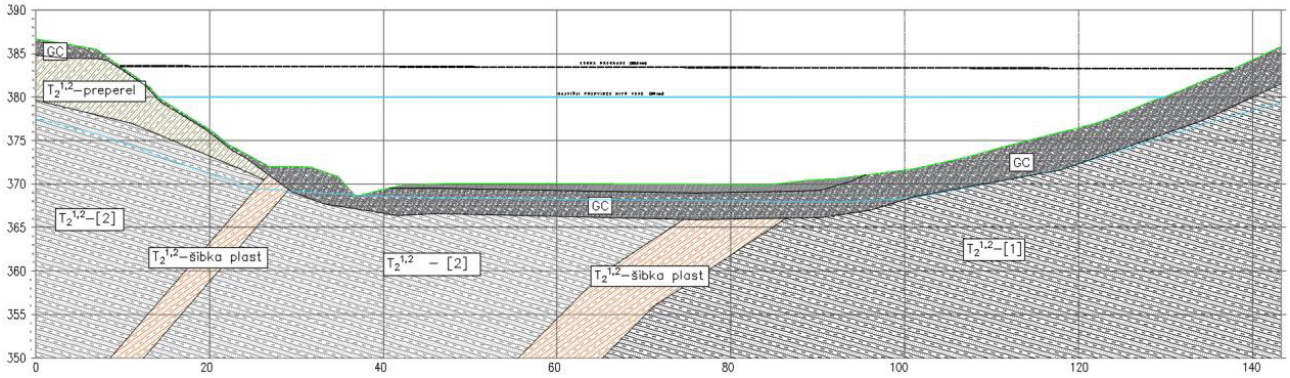
V kolikor pretok Merinščice, oziroma dotok v zadrževalnik ni znan, z zapornico upravljamo na podlagi spremljanja gladinskega stanja v zadrževalniku. Slednje je priporočeno (kot kontrola) tudi v primeru, ko je dotok v zadrževalnik znan. Obratovanje prilagodimo na način da znotraj časovnega intervala 1 min spremljamo spremembo gladinskega stanja v zadrževalniku. Na podlagi spremembe gladinskega stanja je preko grafa ocenjeno kolikšen je dotok v zadrževalnik in za koliko je potrebno odpreti zapornico na talnem izpustu, da se prepreči nadaljnji dvig gladine, oziroma zagotovi, da je dotok v zadrževalnik enak iztoku. Nadalje so spremembe gladinskega stanja v zadrževalniku manjše, in jih spremljamo znotraj časovnega intervala 5 minut za katerega je prav tako podan način upravljanja. Graf za pripiranje/odpiranje zapornice se uporabi tako za primer zaznanega ponovnega dviga ali morebitnega spusta gladinskega stanja. Cilj je vzdrževanje gladine na višini najvišje obratovalne gladine.

Konstrukcija zadrževalnika in evakuacijskih objektov

Inženirsko-geološke razmere na območju pregrade

Za območje pregrade in vplivno okolico je značilna prisotnost 3 glavnih inženirsko-geoloških enot, ki jih predstavljajo srednje triasna matična podlaga, deluvialni sedimenti in kvartarni aluvialni sedimenti.

Pregrada se razteza preko ožje doline s smerjo ZSZ-VJV. Osrednji del doline zapolnjujejo aluvialni sedimenti, ki se proti robovom mešajo in prehajajo v deluvialne sedimente. Prisoten je krovni glinasti sloj debeline do 2 m. Podzemna voda generalno sovpada z nivojem Merinščice, ki teče vzdolž južnega roba doline.



Slika 7: Geološki prerez po osi krone pregrade

Južni rob pregrade nalega na pobočje, kjer matična podlaga deloma izdanja, deloma pa jo prekriva tanjši deluvialni pokro. Krona pregrade se v svojem zgornjem delu, na južnem robu pregrade zajeda v deluvialne sedimente, ki so akumulirani znotraj hudourniške grape, v katero centralni del pregrade nalega. Ti sedimenti so ob intenzivnejših padavinah in saturaciji predvidoma v labilnem stanju na lokalnih območjih kjer so prisotni povečani nakloni (nakloni okrog 40°).

Na severnem robu pregrada nalega na položnejše pobočje hriba Hrib, kjer matično podlago prekriva nekajmetrski sloj deluvialnih sedimentov. Pobočje je stabilno, opažene pa so posamezne nestabilnosti na starejši poti, ki poteka po zgornjem robu hriba, vendar so te izven vpliva pregrade.

Smer toka podzemne vode
Smer toka podzemne vode v dolini sledi površinskemu toku potoka Merinščica. V pobočnem grušču tok podzemne vode sledi morfologiji površja in del vode pronica v raščeno kamninsko podlago. Smer toka podzemne vode v raščeni kamninski podlagi sledi tektonskim strukturam (razpokam).

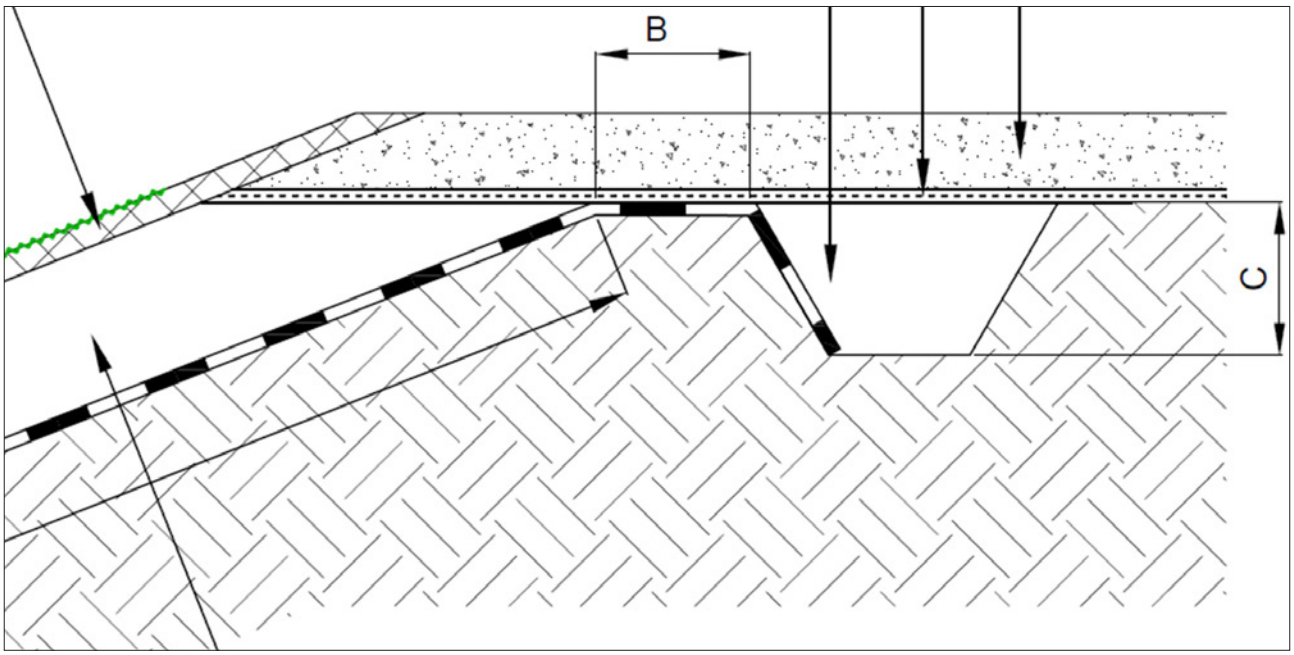
Globina podzemne vode
Globina podzemne vode v aluviju niha in je delno odvisna tudi od vodostaja potoka. Ob visokih vodah potok lahko napaja podzemno vodo v aluvialnih naplavinah. V nižjem vodnem stanju podzemna voda iz aluvija napaja potok. Globina do podzemne vode v aluviju je od 1,2 m do 1,9 m odvisno od vodnega stanja. Gladina podzemne vode v pobočnih gruščih tik pod ali blizu površja, odvisno od vodnega stanja.

Koeficient prepustnosti
Povprečna vrednost koeficienta prepustnosti aluvija znaša k = 5,27*10-5 m/s, za matično kamninsko podlago pa k = 6,6*10-5 m/s.

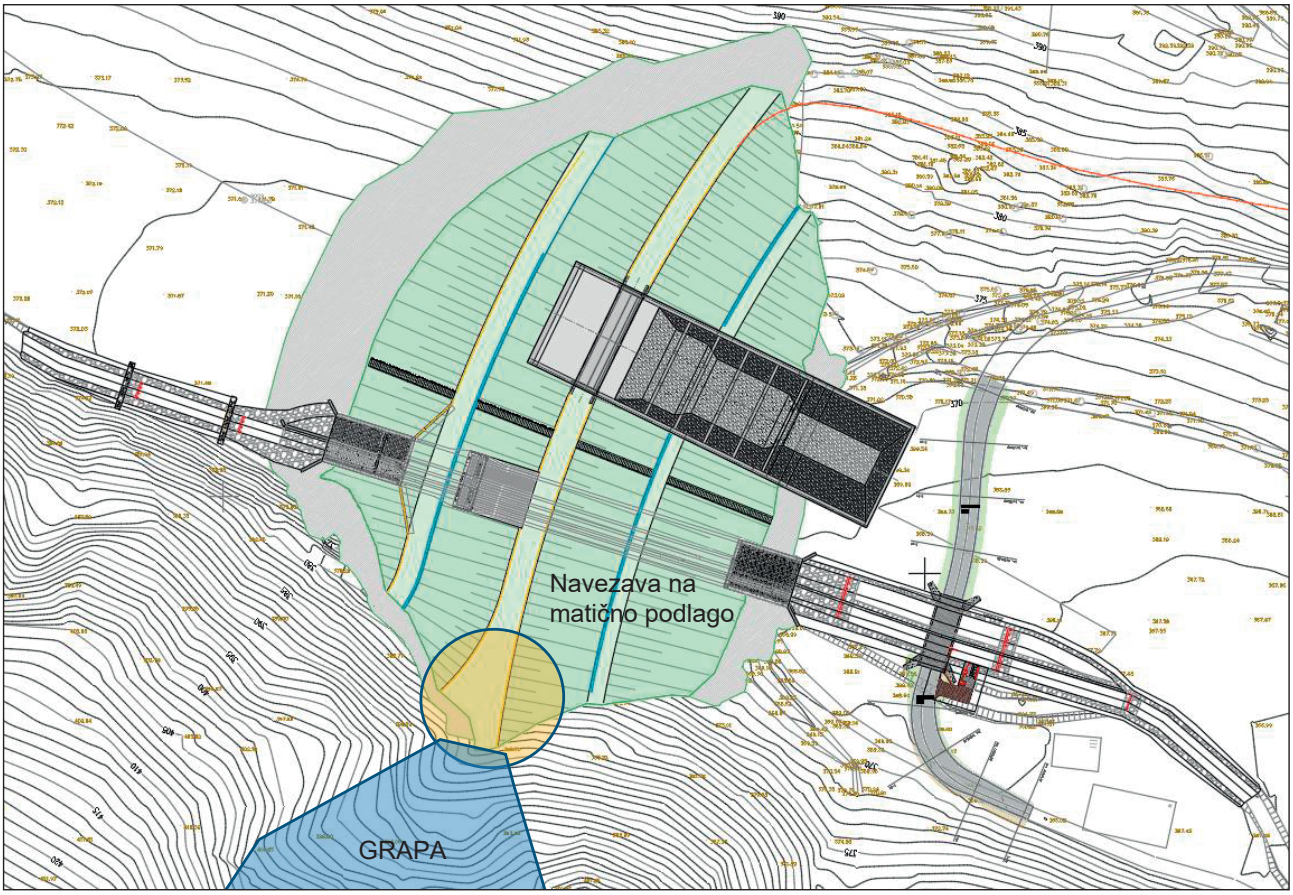
Nasip pregrade

Zasnova in tesnjenje
Pregrada Merinščica je zaradi srednje prepustne podlage, ki jo predstavljajo srednje triasna matična podlaga in deluvialni sedimenti, ter poteka izrazito šibke plasti matične podlage zasnovana kot kombinacija slojevite zemeljske pregrade in neprepustne GCL obloge. Osrednji del pregrade predstavljajo srednje prepustni zaglinjeni grušči, zunanji del pa dobro prepustni in zmrzlinsko odporni nasipni material. Pregrada je v večjem delu temeljena na sloju zaglinjenih gruščev, odstranjen je zgolj humus in pa sloj aluvialnih glinastih sedimentov. Peta na vodni strani, kjer bo izvedeno tesnjenje z GCL folijo, je poglobljena in sega 1 m v sloj matične podlage. Z namenom podaljšanja poti podzemne vode je GCL folija od stika s temeljno podlago izvedena tudi v obliki preproge pred pregrado in sicer v dolžini 1,5 m (bok pregrade) – 10,0 m (dno pregrade). Na kroni pregrade je izveden sidrni jarek GCL folije in armaturne geomreže. Armaturna geomreža je vgrajena od sidrnega jarka do stika s temeljnimi tlemi, njen namen je prevzem nateznih napetosti, ki bi se sicer pojavile v GCL foliji. GCL folija bo vgrajena po izvršitvi posedkov, katerih velikost je ocenjena na 15 cm, ter na ta način zaščitila telo pregrade v primeru nastanka razpok zaradi diferenčnih posedkov, do katerih lahko pride predvsem na južnem bregu pregrade, kjer hribinske podlage ne pokrivajo deluvialni sedmineti. Na suhi strani pregrade je na stiku s podlago izvedena drenažni tepih katerega prvi namen je zagotavljanje nadzora nad notranjo erozijo in erozijo v temeljnih tleh, drugi pa kontroliranje pornih tlakov v temeljnih tleh in centralnem delu pregrade ter na ta način zagotavljati stabilnost pregrade.

Desni bok pregrade nalega na pobočje, kjer matična podlaga deloma izdanja, deloma pa jo prekriva tanjši deluvialni pokrov, zato težav vezanih na stabilnost naravnih brežin ne pričakujemo. Krona pregrade se v svojem zgornjem delu, na južnem robu pregrade zajeda v deluvialne sedimente, ki



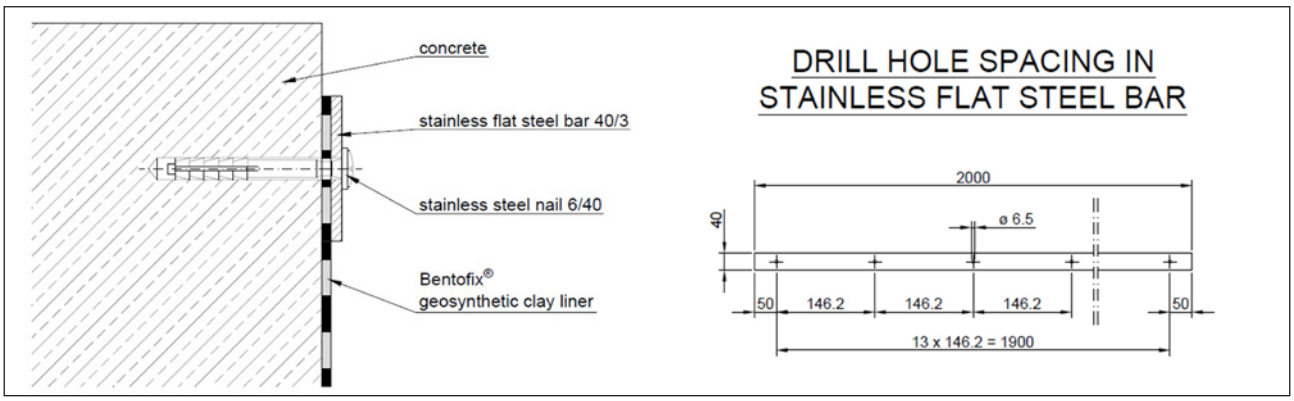
Slika 8: Prikaz izvedbe sidrnega jarka GCL folije v osi pregrade



Slika 9: Zaključek pregrade na desnem boku

so akumulirani znotraj hudourniške grape, v katero centralni del pregrade nalega. Zaradi večje debeline akumuliranih deluvialnih sedimentom desni bok nekoliko zavije gorvodno, tako da se vodotesni sloj GCL folije lahko naveže na matično podlago brez potrebnih večjih vkopov na območju grape.

Za zagotovitev vodotesnosti na stiku z evakuacijskimi objekti je GCL folija pritrjena na objekte na način prikazan na spodnji sliki.



Slika 10: Pritrjevanje GCl folije na konstrukcije

Monitoring nasipa

Višina pregrade Merinščica znaša 18 m, zato spada skladno s kriterijom ICOLD in Pravilnikom o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade (Uradni list RS, št. 92/99, 44/03 in 58/16) med velike pregrade (>15 m), posledično bo poleg tehničnega monitoring vzpostavljen tudi seizmični monitoring.

Poleg ustrezne zasnove pregrade, ki predstavlja osnovo za zagotavljanje ustrezne stabilnosti v življenjski dobi pregrade, in se izvede pred samo gradnjo, je po končani gradnji eden ključnih ukrepov preverjanje obnašanja pregrade med obratovanjem. S tem namenom bodo v sklopu tehničnega opazovanja vgrajeni naslednji inštrumenti: 6x posedalna plošča, 20x merska točka – za spremljanje vertikalnih in horizontalnih deformacij na površini pregrade in evakuacijskih objektih, 4x inklinometer – za spremljanje horinzontalnih deformacij v telesu podlage, 4x piezometer – za spremljanje toka podzemne vode, 2x tlačna sonda – za spremljanje gladine vode v zadrževalniku, 1x radar - za spremljanje gladine vode v zadrževalniku v območju prelivanja preko varnostnega preliva, 1x končno sitkalo.

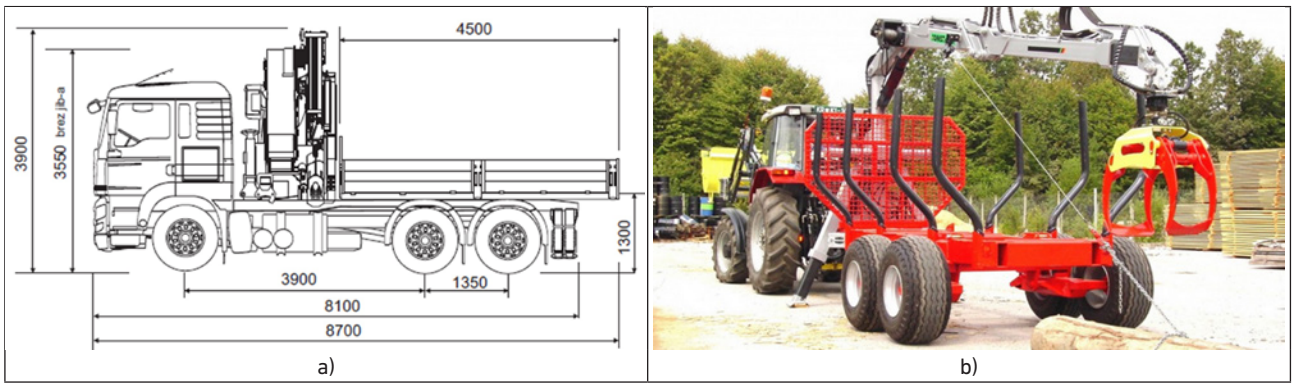
Ker gre za visoko pregrado, hkrati pa je nižja od 30 m morata biti na pregradi v sklopu seizmičnega opazovanja postavljena najmanj dva akcelerografa, od katerih je eden v temelju pregrade, drugi pa na prostem površju. Pregrada je nižja od 40 m zato opazovanje inducirane seizmičnosti ni potrebno. Prvi akcelerograf je predviden v vrtini na suhi strani pregrade. Vrtanje je predvideno do 2 m pod nivo obstoječega terena pod pregrado. Vrtina mora biti dolžine 18 m. Akcelerograf se v vrtini namesti 0,5 do 1,0 m nad dnom temelja pregrade. Drugi akcelerograf je vgrajen v jašek na dnu pregrade na suhi strani pregrade.

Dostop do pregrade

Dostop do pregrade bo omogočen preko levega boka pregrade, in sicer bo dostop z vozili omogočen do krone pregrade, do berme na vodni strani in do vtoka v temeljni izpust.

Dostopne ceste do pregrade omogočajo prevoznost vozil z zunanjim zavijalnim radijem velikosti 12 m. Preverjena je bila prevoznost vozila z zunanjim zavijalnim radijem 18,5 m. Tip tovrstnega vozila z dvigalom je predviden za namestitev zapornice na pregradi. Na krono pregrade bo zagotovljen dostop za tovorno vozilo z dvigalom za montažo hidromehanske opreme.

Za zagotovitev dostopa za čiščenje grobih rešetk na vtoku v temeljni izpust je predviden dostop preko berme na vodni strani pregrade, kjer je zagotovljena minimalna širina dostopne poti



Slika 11: Primer a) tovornega vozila z dvigalom za montažo hidromehanske opreme in b) mehanizacije predvidene za čiščenje plavja ujetega na grobih rešetkah in prebiralni pregradi.

4,0 m, nad vtokom v temeljni izpust pa je zagotovljen plato širine 7,8 m. Na ta način bo na mestu platoja omogočena ustrezna stabilizacija mehanizacije za čiščenje ter vzvratna vožnja do obračališča, ki se nahaja na levem boku pregrade.

Dostopna pot do prebiralne pregrade je predvidena po levem boku pregrade vse do vtoka v temeljni izpust, kjer se cesta nahaja na nivoju obstoječega terena. Širina dostopne poti znaša 3,5 m. Obračanje vozil je predvideno na zelenici na vznožju pregrade. Prav tako se omenjena dostopna pot lahko uporablja za čiščenje grobih rešetk v primeru praznega zadrževalnika.

Evakuacijski objekti

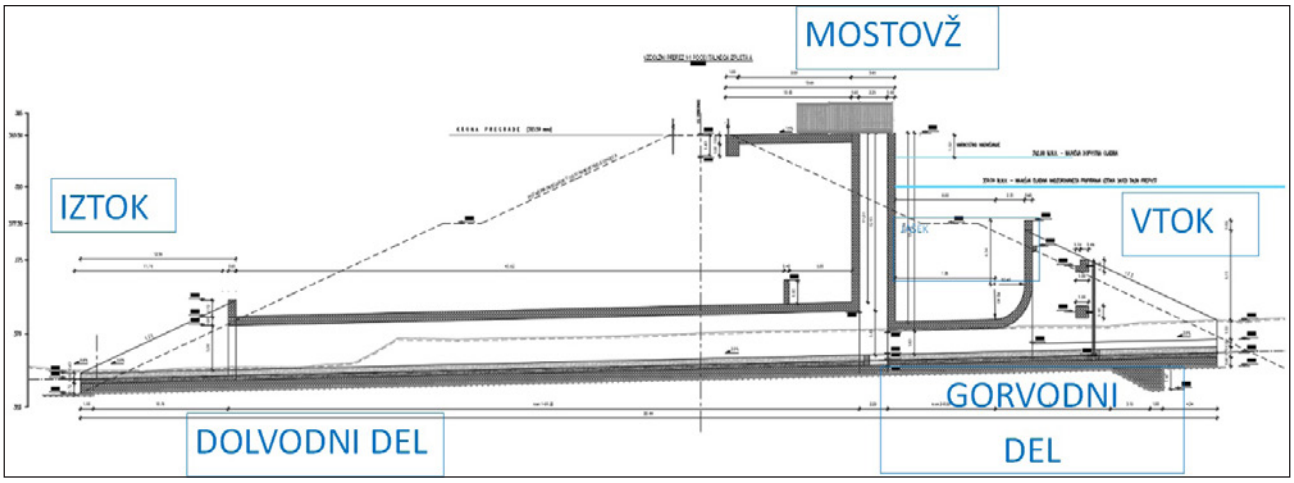
Evakuacijske objekte predstavljajo dva temeljna izpusta in varnostni preliv. Namen temeljnih izpustov je v primeru projektnega poplavnega dogodka (Q100) zagotoviti pretok Merinščice dolvodno od pregrade, katerega posledica ne bo nekontrolirano preplavljanje poseljenih površin znotraj območja pomembnega vpliva poplav Vransko. V primeru poplavnih dogodkov katerih povratna doba je večja od projektnega (>Q100 in <Q500) je namen temeljnih izpustov omilitev vpliva poplav na poplavno območje. V primeru poplavnega dogodka s povratno dobo do 10.000 let pa je namen temeljnih izpustov in varnostnega preliva zagotovitev stabilnosti pregrade.

Temeljni izpust
Objekt je lociran ob desnem boku in se tlorisno gledano skoraj povesem prekriva z obstoječo strugo Merinščice, ki bo po končani gradni speljana skozi temeljni izpust. V smeri vodnega toka si sledijo deli temeljnega izpusta, in sicer:

a. vtok v temeljni izpust, kjer se nahajajo grobe rešetke, kot zaščita pred zaplavnim materialom
b. del izpusta gorvodno od zapornice, deluje kot dušilka in omejuje iztok iz temeljnega izpusta v primeru polne odprtosti zapornic
c. zapornični jašek, v katerem so vgrajene zapornice za reguliranje pretoka hkrati predstavlja tudi jašek za ozračevanje.
d. Na vrhu jaška se na platoju nahaja še oprema za upravljanje pregrade ter dizelski agregat za zasilno električno napajanje.
e. del izpusta dolvodno od zapornice, znotraj katerega se zgodi vodni skok in služi namesto umirjevalnega bazena.
f. Iztok iz temeljnega izpusta

Objekt temeljnega izpusta sestavljata dva ločena izpusta enakih svetlih prečnih prerezov. V gorvodnem delu znaša svetli prerez 2,3 m x 3,0 m, v dolvodnem pa 3,7 m x 3,0 m. V dnu obeh izpustov je obloga iz kamna v betonu skupne debeline 0,7 m. V desnem obratovalnem jašku je izveden tudi kanal struge, ki bo omogočal stalno omočenost v primeru normalnega vodostaja. Skladno z zahtevami zavoda za ribištvo bo tlak talnega izpusta oblikovan na način, da bo poglobitev v osi izvedena z grobih skal, ki bodo na razdalji 2-3 m (cikcak izvedba) ovirale tok v poglobitvi do polovice širine in do vrha poglobitve. S tem bo ob nizkih pretokih tok razbit in bo omogočen lažji prehod za ribe.

Na vtoku v talni izpust pred kotalnimi zapornicami je nameščena groba rešetka, ki je namenjena zadrževanju večjih plavajočih predmetov kot so drevesna debla in veje. Jašek je opremljen s hidromehansko opremo s tablasto zapornico za reguliranje pretoka dolvodno od pregrade. Telo zapornice je zvarjena jeklena konstrukcija z gorvodno zajezno steno in tesnilnim okvirjem. Na ta način je preprečeno zagozdenje morebitnega plavja, ki bi lahko onemogočilo upravljanje z zapornicami.



Slika 12: Vzdolžni prerez temeljnega izpusta

Varnostni preliv
Objekt je lociran v severni polovici pregrade. V smeri vodnega toka si sledijo deli varnostnega preliva, in sicer:

a. Preliv, ki se nahaja na koti 380,5 m n.m., preko njega pa poteka premostitev, ki omogoča dostop do zaporničnega jaška.
b. Drča, ki je skoraj povesem zatravljena, stabilnost zatravitvi pa zagotavljajo betonske prečne grede.
c. Umirjevalni bazen

Varnostni preliv je namenjen preprečevanju prelivanja krone pregrade in je skladno z navodili DWAM 522Slo dimenzioniran za poplavni dogodek s povratno dobo 10.000 let, ko mora biti sposoben zagotavljati pretok 54,6 m3/s. Preliv se nahaja na koti 380,5 m n.m., višina vode ob pretoku 54,6 m3/s znaša 1,5 m in torej sega do kote 382 m n.m., do krone na kot 383,5 m n.m. pa je zagotovljeno še varnostno nadvišanje 1,5 m. Skupna dolžina znaša cca. 70 m, višinska razlika pa znaša 13,2 m.

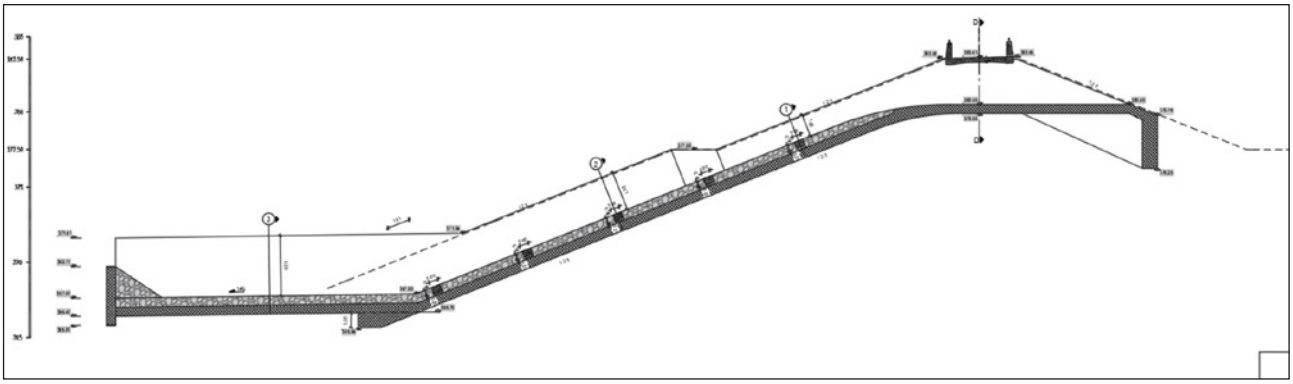
Preliv
Pod ploščo preliva je na vodni strani izveden tudi tesnilni zid ter sega pod nivo GCL folije, tako višina čelnega zidu znaša 3,2 m, nato pa se v enakem naklonu kot osrednji del pregrade dviguje do temeljne plošče preliva. Svetla višina znaša 2,75 m, s čimer je zagotovljena svetla višina 1,0 m nad maksimalno gladino vode. Svetla širina med stenami preliva znaša 19,0 m. Preko preliva je izvedena premostitev, ki zagotavlja dostop do zaporničnega jaška.

Premostitev čez preliv
Spodnja kota plošče se nahaja na koti 383,1 m n.m., premostitev pa je izvedena brez vmesnih podpornih stebrov, na ta način sta zagotovljeni ustrezna varnostna višina in širina, ki zagotavljata prehajanje plavja, s čimer je preprečena zamašitev varnostnega preliva. Premostitev je zasnovana kot prekladna plošča debeline 0,30-0,40 m z 1,4 m (1,0 m nad koto plošče) visokima nosilcema na obeh straneh plošče. Poleg svoje konstrukcijske funkcije imata nosilca tudi vlogo varnostne ograje. Za dosego ustrezne višine je na vrhu nosilcev vgrajeno tudi kovinsko držalo, ki je navezano na varnostno ograjo pred in za premostitvijo. Stene in talna plošča preliva služijo kot podporna konstrukcija premostitvi. Na območju premostitve znaša debelina sten 0,6 m.

Drča
Prehod na drčo je izveden v radiju polmera 15,0 m, sama drča pa poteka v enakem naklonu kot brežine pregrade, brez izvedene vmesne berme. Na prehodu v drčo je izvedena tudi poglobitev temeljne plošče, tako da je zagotovljena višina 0,6 m za izvedbo zatravitve. Spodnjih 0,2 m predstavlja drenažna plast, zgornjih 0,4 m pa humusni sloj za izvedbo zatravitve. Na medsebojni razdalji 6,5 m so izvedene grede, ki so vpete v stene preliva ter še na vmesnih dveh podporah.

Umirjevalni bazen – podslapje
Na dnu drče se nahaja umirjevalni bazen dolžine 20 m. Dno bazena je izvedeno v naklonu 1,4% proti čelni steni in je prav tako pokrito z vsaj 0,6 m debelo plastjo zemlje. Debelina temeljne plošče znaša 0,6 m ob vznožju drče pa je izveden še temeljni zob globine 1,0 m. Stranske stene segajo 4,0 m nad koto zatravitve, čelna pa 2,1 m. Po obodnih stenah umirjevalnega bazena so na stiku temeljne plošče in sten izvedene izcednice za odvajanje padavinske vode. V primeru, da bodo med izkopom gradbene jame za izvedbo umirjevalnega bazene izmerjeni večji dotoki je predvideti vgradnjo vertikalnih paličnih sider.

Zasip
Varnostni preliv zaradi svoje širine in dejstva, da je izveden kot armirano betonska konstrukcija, predstavlja precejšen poseg v izgled same pregra-



Slika 13: Vzdolžni prerez varnostnega preliva z drčo in umirjevalnim bazenom

de. Ker bo aktiviran zgolj v primeru poplavnih dogodkov s povratno dobo več kot 500 let, bodo v celoti zasute tudi stene preliva in sicer v naklonu 2:3 ter ozelenjene. Skladno s hidravlično analizo znaša hitrost vodnega toka na dnu drče 16 m/s, kar je precej višja hitrost kot je potrebna za dosego učinka izpiranja zatravljenega zasipa.

Hidromehanska oprema

Hidromehansko opremo zaporničnega objekta, ki je obravnavana v tem projektu, sestavljajo naslednji sklopi:

Grobe rešetke
Na vtoku v talni izpust pred kotalnimi zapornicami so nameščene grobe rešetke, ki so namenjene zadrževanju večjih plavajočih predmetov kot so drevesna debla in veje. Sestoji se iz dveh delov – sprednjega vertikalnega dela in zgornjega dela v nagibu.

Vertikalni del grobe rešetke je izdelan iz lamel - jeklenih pravokotnih cevi 200x100x10 mm kvalitete S355J2. Lamele vertikalnega dela rešetke so privijačene v treh podporah – zgoraj in na sredini razpona v prečne betonske nosilce ter spodaj v armirano betonsko ploščo. Lamele so nameščene v medosnem razmaku 600 mm (svetli razmak med lamelami znaša 500 mm).Zgornji del grobe rešetke je nagnjen pod kotom 22° glede na horizontalno ravnino in je razdeljen na 5 panelov zaradi lažjega transporta in montaže. Paneli so spodaj naslonjeni in privijačeni na betonsko razporo ter zgoraj na betonsko steno vtočnega dela talnega izpusta. Lamele rešetke so izdelane iz pločevine 200x15mm kvalitete S355J2 na medosnem razmaku 220 mm. V prečni smeri so lamele medsebojno povezane z okroglim jeklom Ø35 na vsakih 500 mm

Kotalni zapornici
Telo zapornice je zvarjena jeklena konstrukcija iz jekla S355J2, z gorvodno zajezno steno in tesnilnim okvirjem – zgoraj horizontalno ‚'omega'' guma, bočno notna guma, ter ploščata guma na nožu zapornice.

Zaporna tabla ima na vsaki strani po dve kolesi in po dve bočni vodili s protivodenjem.
Na temenu zapornice se nahaja uho za prijemališče dvižnega droga. Predvidena so štirje dvižni drogovi, za vsako zobato letev dvižnega mehanizma. Začetni dvižni drog je povezan z zobato letvijo dvižnega mehanizma.

Kot dvižna naprava je predviden Haacon dvižni mehanizem z dvostransko nameščeno zobato letvijo in Auma elektromotornim pogonom, ki je dimenzioniran tako, da zapornici lahko obratujejo pod polnim pritiskom. Predvideno je tako lokalno kot tudi daljinsko upravljanje. Lokalno upravljanje zapornic je izvedeno električno, preko tipk na samem pogonu in ročno preko ročnega kolesa. Pogon je antikorozijsko zaščiten.

Druge ureditve na vodotokih in premostitve

Vodnogospodarske ureditve na Merinščici, Podgrajščici in Potočnici

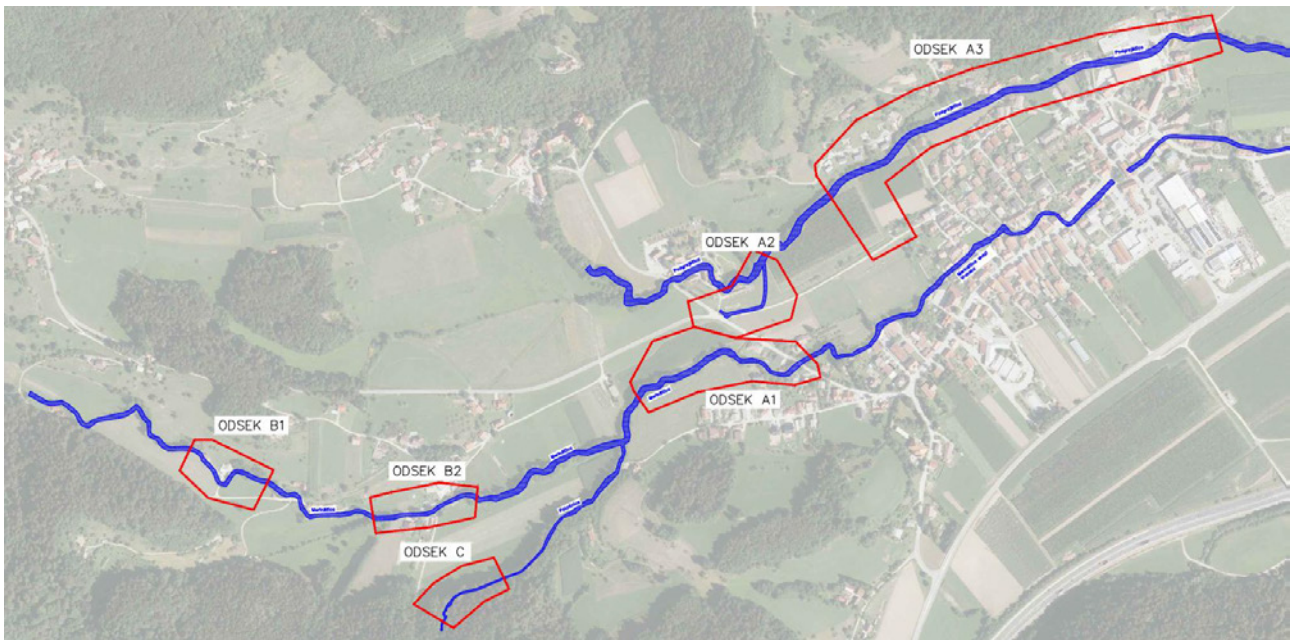
Cilj vodnogospodarskih ureditev na obravnavanih odsekih je zagotavljanje protipoplavne zaščite ob upoštevanju delovanja zadrževalnika visokih voda. Osnova za načrtovanje ureditev je bila izdelana predhodna idejna zasnova. Na podlagi podrobnejše obdelave tehničnih rešitev in detajlne hidravlične analize posameznih odsekov, so bile tehnične rešitve iz idejne zasnove optimizirane in dopolnjene.

Predvidene vodnogospodarske ureditve so razdeljene na 3 odseke:

- Odsek A: Vodnogospodarske ureditve na Merinščici in Podgrajščici na območju naselja Vransko
  - Odsek A1: Merinščica na območju preliva
  - Odsek A2: Območje razbremenilnega kanala iz Merinščice proti Podgrajščici
  - Odsek A3: Podgrajščica
- Odsek B: Vodnogospodarske ureditve na Merinščici na odseku od zadrževalnika do sotočja s Potočnico
- Odsek C: Vodnogospodarske ureditve na Potočnici

UREDITVE NA ODSEKU A - Vodnogospodarske ureditve na Merinščici in Podgrajščici na območju naselja Vransko
Zaradi gradnje zadrževalnika se bodo spremenile odtočne razmere in temu je tudi prilagojen koncept rešitev na Merinščici in Podgrajščici. Ključni cilj predvidenih ureditev je zagotavljanje poplavne varnosti poseljenega območja in hkrati ohranjanje obstoječih razlivnih površin, kjer je to možno.

Glede na predvidene pretoke po izgradnji pregrade je koncept ureditve sledeč. Struga Merinščice skozi Vransko je zelo utesnjena in ne prevaja pričakovanih visokih voda, prav tako bi bilo povečanje profila zelo težavno (številni objekti, premostitve). Zato je predvideno, da se na gorvodnem



Slika 14: Odseki VGU dolvodno od pregrade

delu naselja uredi premostitev (M13), ki bo hkrati delovala kot dušilka, ki ne bo spuščala v naselje Vransko več kot 6m^3/s. Hkrati je predvidena regulacija struge Merinščice na dolžini 160m, da bo le ta prevajala 6m^3/s brez poplavljanja. Nad premostitvijo M13 (dušilko) bo urejeno prelivno polje, preko katerega se bodo pretoki Merinščice večji od 6m^3/s razlivali proti Podgrajščici. Ob regulirani strugi Merinščice je na desni brežini predviden viskovodni nasip (VV nasip N4), za katerega so bile v hidravličnem modelu določene minimalne kote krone nasipa (H100 + 0,5m).

V izogib pogostemu poplavljanju križišča cest (LC 490111, LC490123, JP 992631) in polj, je predvidena rekonstrukcija ceste (dvig nivelete), vgradnja škatlastega prepusta in novega jarka od prepusta do Podgrajščice. Prevodnost škatlastega prepusta je ocenjena na 9,5 m^3/s, kar je projektni pretok oz. Q100 na tem odseku. Dolvodni razbremenilni jarek do Podgrajščice bo prevajal 5 m^3/s brez poplavljanja. Višji pretoki se bodo razlivali preko hmeljišča proti Podgrajščici, ki bo omejeno VV nasipi, ki bodo preprečevali širše razlivanje poplavnih voda. Del VV nasipov ima tudi vlogo ceste.

Dolvodno od hmeljišča je predvidena regulacija struge Podgrajščice na dolžini 720 m. V zgornjem delu je za dodatno varnost predviden VV nasip, dolvodno je struga dimenzionirana na projektni pretok (Q100 =21,2 m^3/s). Predvidna je rekonstrukcija treh premostitev, ki bodo zagotavljale ustrezno varnostno nadvišanje nad gladino H100. V največji možni meri je struga Podgrajščice urejena sonaravno s položnimi brežinami, dvojnim dnom, ki bo omogočilo stano omočenost dna tudi v obdobju z nizkimi pretoki. Na odsekih, kjer je prostora za umestitev položnih brežin premalo (objekti, cesta), pa je predvidena gradnja zložbe kamen v betonu ali zid iz kamna v betonu. Na dolvodnem koncu (na lokaciji mostu POD1) je predvideno znižanje nivelete, vgradnja grobe drče in podbetoniranje obstoječih zidov.

UREDITVE NA ODSEKU B - Vodnogospodarske ureditve na Merinščici na odseku od zadrževalnika do sotočja s Potočnico

Na obravnavanem odseku v predvidenem stanju, ob izhodiščnem pretoku Merinščice (Q=11m^3/s iz pregrade) še vedno poplavlja in ogroža nekatere stanovanjske objekte. Z načrtovanimi ureditvami na odseku B, se objektom ob strugi zagotavlja varnost pred poplavami oziroma omogoča zadostno prevodnost struge. Poplavna varnost je na obravnavanem odseku B1 zagotovljena z oblikovanjem novega, širšega prečnega prereza z ohranjanjem nivelete dna na način, da se sočasno ne poslabša stabilnosti obstoječih zidov. Ohrani se obstoječe zavarovanje leve brežine, kjer se temelje odsekoma utrdi s podbetoniranjem. Na dolvodnem odseku se obstoječe dotrajano zavarovanje z lesenimi piloti in oblicami v celoti nadomesti s kamnito zložbo v betonu. Poplavna varnost na odseku B2 je zagotovljena z znižanjem nivelete dna struge, z oblikovanjem novega prečnega prereza in izravnavo poteka struge na krajšem odseku dolvodne premostitve.

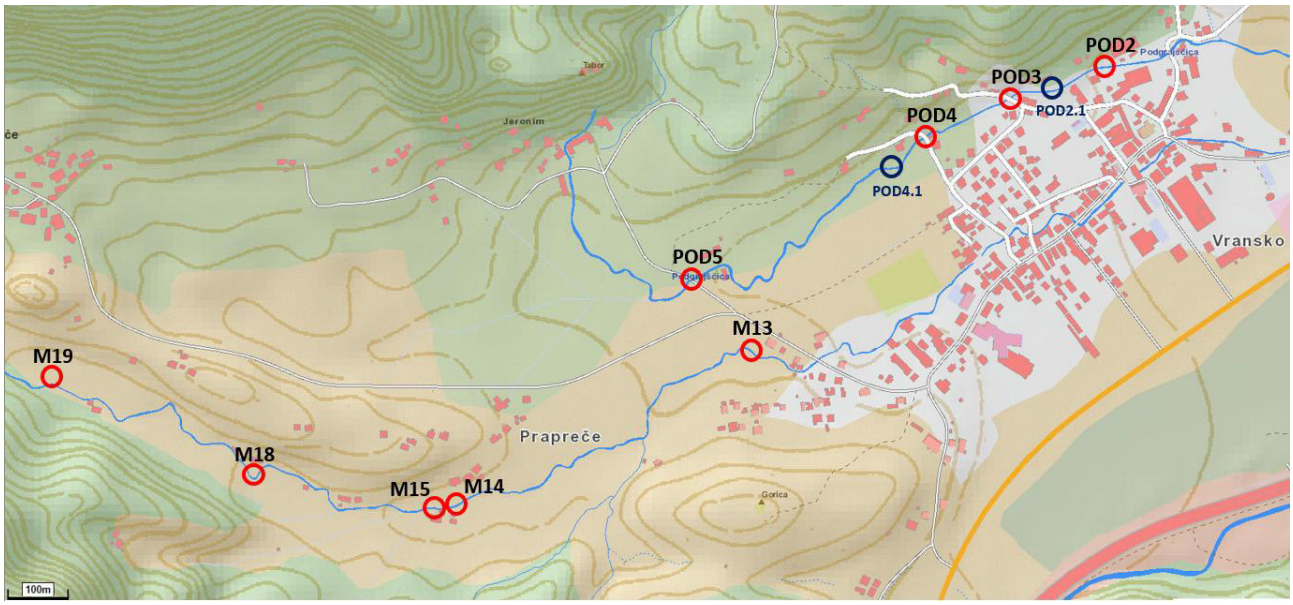
UREDITVE NA ODSEKU C - Vodnogospodarske ureditve na Potočnici

Predvidena je gradnja VV nasipa v dolžini 100 m, ki bo preprečeval razlivanje vode v naseljeno območje in poplave preusmeril na kmetijske površine. Dolvodno od tega odseka, je pretočnost potoka Potočnica zadostna.

Rekonstrukcija premostitev

Na obravnavanem območju je predvidena novogradnja devetih mostov, in sicer štirih na vodotoku Podgrajščica (POD2, POD3, POD4 in POD5) in pet na vodotoku Merinščica (M13, M14, M15, M18 in M19) (Slika 1). Premostitve so predvidene na lokacijah obstoječih mostov, ki se jih zaradi neustreznega prevajanja visokovodnih pretokov odstrani. Obstoječa mostova POD2.1 in POD4.1 se poruši in se jih ne nadomesti.

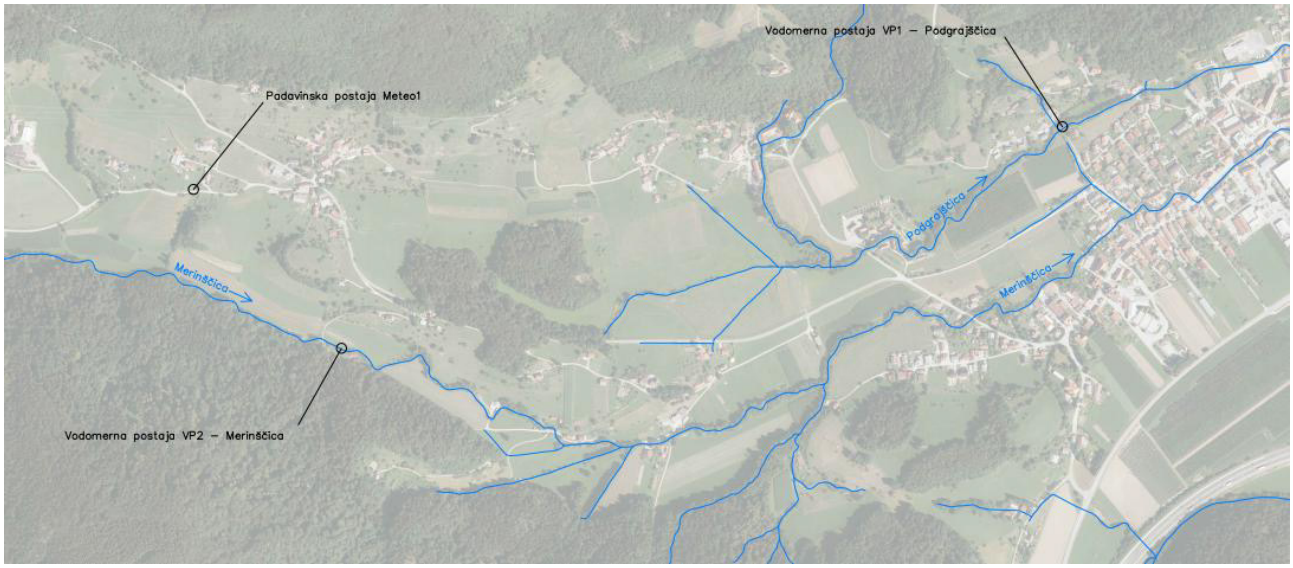
Obravnavane obstoječe premostitve z oporniki se v celoti poruši in na enakih lokacijah zgradi nove, ki ustrezajo pogojem iz hidravlične študije in cestnih navezav obstoječih oziroma rekonstruiranih cest. Rekonstruirani premostitveni objekti dopuščajo prevajanje vod višjih povratnih dob, in sicer za višine vod s 100 letnim poplavnim dogodkom z dodatnim upoštevanjem varnostnega nadvišanja v višini 0,5 metra.



Slika 15: Lokacije novih premostitev na Merinščici in Podgrajščici

Nova padavinska postaja in vodomerni postaji

Po projektu je predvidena vzpostavitev padavinske postaje v porečju Merinščice in dve vodomerni postaji na vodotokih Podgrajščica in Merinščica. Vodomerna postaja VP2 je predvidena na desnem bregu Merinščice tik dolvodno od mostu M19 in se nahaja na reguliranem iztočnem delu struge Merinščice pod pregrado. Postaja VP2 bo merila pretok Merinščice, ki bo iztekal iz zadrževalnika.



Slika 16: Lokacija padavinske postaje v porečju Merinščice in vodomernih postaj na Merinščici (VP2) in Podgrajščici (VP1)

Vodomerna postaja VP1 je predvidena na levem bregu Podgrajščice dolvodno od predvidenega mostu POD4 in bo v času visokovodnih dogodkov merila pretoke Podgrajščice in del pretoka Merinščice, ki se pred naseljem Vransko kontrolirano prelival v Podgrajščico.

Postaje vključujejo vse objekte, opremo in napajanja, da bo omogočeno njihovo delovanje in vzpostavitev daljinskega prenosa podatkov v informacijski center upravljalca.

Merjeni pretoki vodomernih postaj ne bodo neposredno uporabljeni za upravljanje pregrade zadrževalnika. Se bo pa lahko na podlagi njunih meritev validiralo delovanje zadrževalnika in drugih vodnogospodarskih ureditev na odseku.

Smernice pri projektiranju (načela NBS in DNSH)

Presoja vplivov na okolje
Skladno z določili Uredba o posegih v okolje, za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje (Uradni list RS, št. 51/14, 57/15, 26/17, 105/20 in 44/22 – ZVO-2) se razvršča načrtovani poseg med posege z oznako »*E.II.7.1: drugi zadrževalniki proda ali hudourniške vode prostornine vsaj 500 m3 ali višine vsaj 7 m*«. Ker je s posegom presežen prag za izvedbo predhodnega postopka po točki E.II.7.1. Priloge 1 Uredbe PVO, je za poseg treba izvesti predhodni postopek.

V sklopu predhodnega postopka je bil preverjen vpliv posegov, in sicer glede rabe naravnih virov, vpliv na biotsko raznovrstnost in naravne vrednote, preverjene so bile nastale emisije, pričakovani ostanki iz proizvodnje in nastali odpadki, sprememba dejanske rabe zemljišč ter vpliv na kulturno dediščino. Vsi omenjeni vplivi so bili preverjeni tako za čas gradnje, kot med samim obratovanjem objekta.

Na podlagi ugotovljenih vplivov smo predvideli omilitvene ukrepe z vidika zakonodajnih zahtev, zahtev
mnenjedajalcev in dodatnih omilitvenih ukrepov, ki so bili določeni v postopku presoje vplivov na okolje pri priprave vloge za predhodni postopek.

Evropski okoljski cilji
Projekt bo financiran v okviru Mehanizma za okrevanje in odpornost, zato je bilo v sklopu načrtovanja treba upoštevati načeli DNSH (»Do no significant harm« ali »Da se ne škoduje bistveno«) in NBS (»Nature based solutions« ali »Rešitve, ki temeljijo na naravi«). Evropska Komisija je namreč z Uredbo o Taksonomiji vzpostavila enoten kvalifikacijski sistem za vrednotenje trajnostnih dejavnosti, katerega del je tudi načelo DNSH, v sklopu katerega je treba preveriti sledenje šestim okoljskim ciljem, ki so:

- blaženje podnebnih sprememb,
- prilagajanje na podnebne spremembe,
- trajnostna uporaba in varstvo vodnih virov,
- preprečevanje in nadzorovanje onesnaževanja,
- prehod v krožno gospodarstvo,
- varstvo in obnova biotske raznovrstnosti in ekosistemov.

V okviru Mehanizma za okrevanje in odpornost bo dana prednost naravnim in zelenim rešitvam po konceptu »Nature based solutions, kar je še eden od razlogov, da smo v sklopu projekta načrtovali okoljsko sprejemljive rešitve.

Zaključek

V prispevku opisan primer načrtovanja visokovodnega zadrževalnika kot ukrepa za zmanjševanje poplavne ogroženosti izbranega območja. Podobni zadrževalniki bodo v bodoče, skupaj s pripadajočimi ureditvami, predstavljali eno ključnih rešitev za reševanje poplavne problematike v Sloveniji, saj je zadrževanje dela poplavnega vala za večino problematičnih območij obstoječih poselitev, edina efektivna rešitev. Prikazana je zasnova in predvideno obratovanje zadrževalnika, opisane so pripadajoče druge ureditve (struga, premostitve, prelivna polja, razbremenilni kanal). Zadrževalnik in pripadajoči evakuacijski objekti so načrtovani skladno z novimi IZS smernicami (pravilnik DWA) za načrtovanje pregrad in visokovodnih zadrževalnikov, pri načrtovanju ureditev so upoštevana načela DNSH in NBS.

Viri

- Pravilnik DWA, navodila DWA-M 522Slo, Male pregrade in mali visokovodni zadrževalniki, IZS, maj 2015
- ICOLD Bulletin No. 38, Use of thin membranes on fill dams
- ICOLD Bulletin No. 21, General considerations applicable to instrumentation for earth and rockfill dams
- ICOLD Bulletin No. 187, Flood evaluation, hazard determination and risk management
- ICOLD Bulletin No. 176, Blockage of reservoir outlet structures by floating debris
- Ureditev Merinščice, Podgrajščice in izvedba zadrževalnika na Merinščici – DGD in PZI dokumentacija, št. Projekta gp-pr-038/21, Geoportal d.o.o. - Načrt pregrade zadrževalnika visokih voda, Geoportal d.o.o.
- Ureditev Merinščice, Podgrajščice in izvedba zadrževalnika na Merinščici – DGD in PZI dokumentacija, št. Projekta gp-pr-038/21, Geoportal d.o.o. – Načrt evakuacijskih objektov, Geoportal d.o.o.
- Ureditev Merinščice, Podgrajščice in izvedba zadrževalnika na Merinščici – DGD in PZI dokumentacija, št. Projekta gp-pr-038/21, Geoportal d.o.o. – Načrt opazovanja pregrade, Geoportal d.o.o.
- Ureditev Merinščice, Podgrajščice in izvedba zadrževalnika na Merinščici – DGD in PZI dokumentacija, št. Projekta gp-pr-038/21, Geoportal d.o.o. - Načrt vodnogospodarskih ureditev, Tempos d.o.o.
- Ureditev Merinščice, Podgrajščice in izvedba zadrževalnika na Merinščici – DGD in PZI dokumentacija, št. Projekta gp-pr-038/21, Geoportal d.o.o. - Načrt premostitvenih in drugih objektov, Tempos d.o.o.
- Ureditev Merinščice, Podgrajščice in izvedba zadrževalnika na Merinščici – DGD in PZI dokumentacija, št. Projekta gp-pr-038/21, Geoportal d.o.o. - Načrt postavitve padavinske in vremenskih postaj, Tempos d.o.o.
- Ureditev Merinščice, Podgrajščice in izvedba zadrževalnika na Merinščici – DGD in PZI dokumentacija, št. Projekta gp-pr-038/21, Geoportal d.o.o. - Načrt strojnih inštalacij in strojne opreme pregrade, Montavar d.o.o.
- Ureditev Merinščice, Podgrajščice in izvedba zadrževalnika na Merinščici – DGD in PZI dokumentacija, št. Projekta gp-pr-038/21, Geoportal d.o.o. - Geološko-geomehanski elaborat, Geoportal d.o.o.
- Ureditev Merinščice, Podgrajščice in izvedba zadrževalnika na Merinščici – DGD in PZI dokumentacija, št. Projekta gp-pr-038/21, Geoportal d.o.o. - Hidrološko hidravlični elaborat s kartami poplavne nevarnosti in karto razredov poplavne nevarnosti za novo načrtovano stanje za rešitev načrtovano v DGD, Tempos d.o.o.
- Ureditev Merinščice, Podgrajščice in izvedba zadrževalnika na Merinščici – DGD in PZI dokumentacija, št. Projekta gp-pr-038/21, Geoportal d.o.o. - Elaborat porušitvene analize pregrade zadrževalnika, Tempos d.o.o.

OBLIKOVANJE SPECIFIČNIH HABITATOV KOT UKREPANJE ZA ZMANJŠANJE VPLIVOV HIDROELEKTRARN NA OKOLJE

Andraž Hribar, univ.dipl.inž.vod. in kom.inž,
HESS, d. o. o., Cesta bratov Cerjakov 33A, 8250 Brežice, Andraz.hribar@he-ss.si

Povzetek

Zajezba na vodotoku je tisti del vsake hidroelektrarne, ki predstavlja največjo spremembo v prostoru in ima največji vpliv na okolje v času obratovanja HE. Sodobni pristopi k umeščanju akumulacij zahtevajo celovit in multidisciplinaren pristop ter vključitev različnih deležnikov. Vključevanje širokega kroga strokovnjakov iz različnih področij po eni strani odpre veliko vprašanj, po drugi pa omogoči takšno ukrepanje, ki zmanjša vpliv na okolje ob umestitvi objekta in tudi v času obratovanja. Primer dobre prakse so pretočne akumulacije na spodnji Savi, kjer so se v času gradnje uredili nadomestni habitati, v času obratovanja pa se na podlagi monitoringov in sodelovanja s strokovnjaki s področja ekologije, biologije in drugih naravoslovnih ved zbirajo podatki in oblikujejo nova znanja o prostoru. To omogoča prilagajanje spremembam v naravi, ki so neizbežne. Ravno narava je namreč tista, ki daje prostoru dinamiko. Statični objekti, kakršne naj bi bile hidroelektrarne, se morajo tej dinamiki prilagajati z novimi ukrepi, ki ne nasprotujejo naravi, temveč sprejemajo nove naravne danosti in gradijo na prednostih, ki jih nudijo pretočne akumulacije. Vzdrževanje hidroelektrarn je povečini rutinska aktivnost. Vendar nova spoznanja o migracijah organizmov (na primer ribe), prihod novih vrst v prostor (na primer bober), širjenje novih tujerodnih vrst (trikotna ladjica), spremembe v hidrološkem režimu reke (prehod Save iz snežno-dežnega režima v dežni režim) in klimatske spremembe zahtevajo razvoj in prilagajanje. Vsi novi ukrepi dandanes težijo k načelom krožnega gospodarstva, upoštevati pa je potrebno tudi spremljanje ogljičnega odtisa, kar je pri aktivnostih, vezanih na sedimente, vse pomembnejše vprašanje. V družbi HESS imamo oblikovan dvojni sistem: spremljanje stanja pretočnih akumulacij v našem upravljanju in hkratno oblikovanje nabora zaželenih ukrepov za povečanje okoljske in družbene vrednosti. Sistem omogoča primerjavo obeh sklopov in ukrepanje na način, da se ob vsaki sanaciji ali modifikaciji doseže dodana vrednost. Primerov tovrstnega ukrepanja na spodnji Savi je veliko. Trenutno je v fazi realizacije projekt ureditve brežine Kompolje na pretočni akumulaciji HE Boštanj.

Uvod

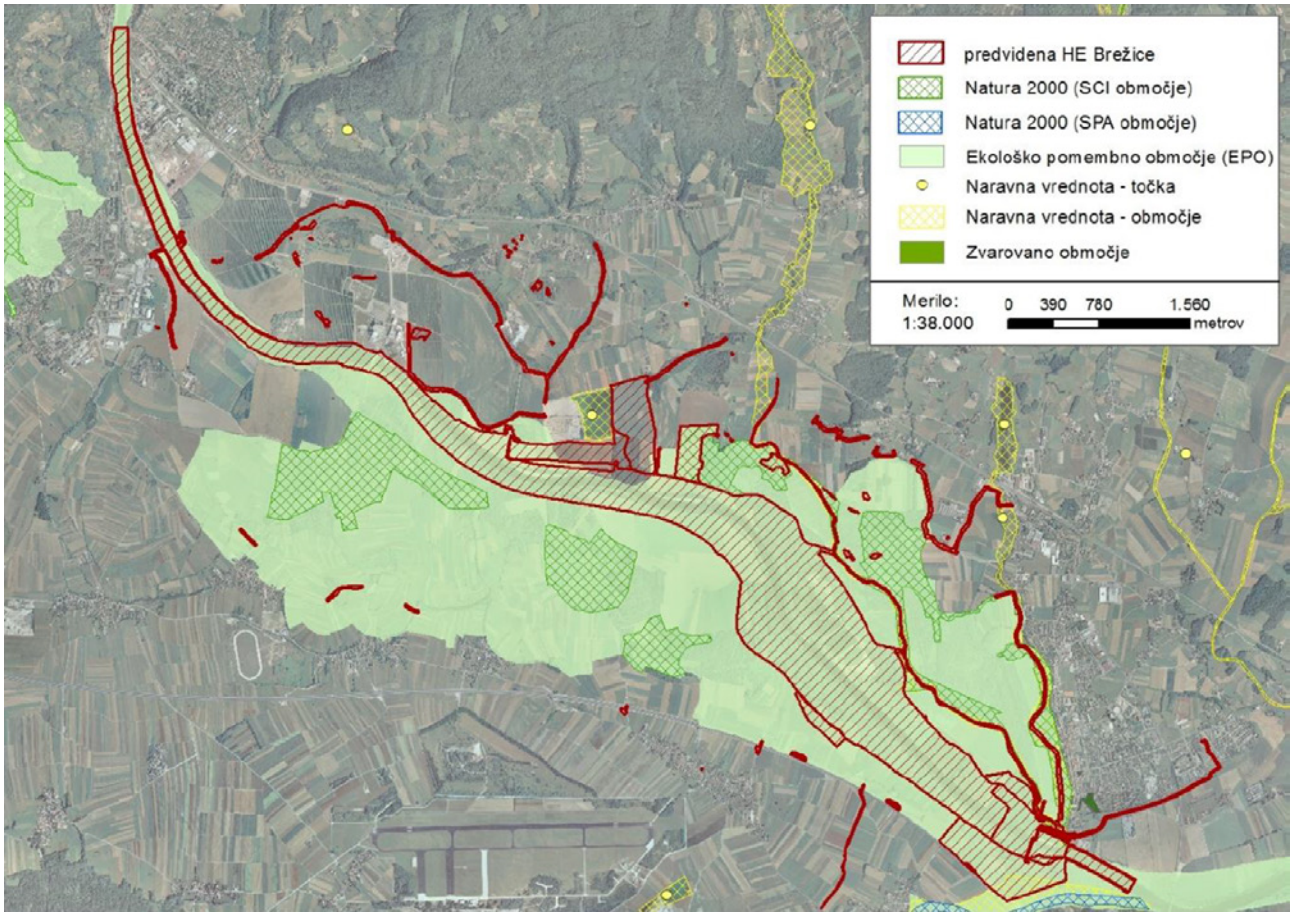
Razmišljanje o varovanju narave ob umeščanju novega objekta ali nove ureditve v prostor je dejansko primerjava med tistim, kar je, in tistim, kar bo. Zatakne se že pri prvem delu: tistim, kar je, oziroma povedano drugače, stanje, v katerem je narava v tem trenutku. Ali je stanje v tem trenutku res tisto, kar želimo ohranjati? Če govori-

mo o rekah, varstveniki v Srednji Evropi pogosto štejejo, da je bilo »optimalno naravno« stanje rek v obdobju med 1800 in 1850, ko je bila »dosežena« največja vrstna pestrost v biološkem smislu [1], [2]. Če upoštevamo podatek, da je po ocenah v Srednji Evropi tako ali drugače degradiranih 95% vodotokov, se dandanes torej neizogibno že v štartu vedno pogovarjamo zgolj o tem, kako zelo je stanje degradirano. Ali pri spreminjanju (umeščanju novega objekta oz. ureditve) torej resnično želimo ohraniti to, kar je, se pravi degradirano stanje? Vsaj nekateri bodo rekli, da ne. Želimo si več, nekaj boljšega. Tudi ostali, bolj previdni, se bodo verjetno strinjali, da je nekaj boljšega vsekakor zaželeno.

Drugi del uvodnega stavka »kar bo« se nanaša na načrtovanje in predvidevanje, v kakšnem stanju bo narava po izgradnji oz. po ureditvi. Sodobni pristop je vključevanje širokega nabora strok in znanj, s ciljem nedvoumno zapisati kaj in kako mora biti. Nesporno danes vemo veliko. Znanstveni pristop je temelj današnjega razvoja, zato naj bi mu sledili vsi naravoslovni strokovnjaki (tako inženirji kot biologi). Vendar znanstveni pristop od nas zahteva tudi pogled na celotno sliko (ne spreglejmo gozda pri proučevanju listov). Zanimiv primer je širjenje pristanišča v Singapurju. Habitati in z njimi celoten ekosistem so seveda popolnoma drugačni kot v Sloveniji, posegi in posledice kot proces ter kvaliteta in strokovnost napovedi pa so poučne. Singapur s pristaniščem je eno najhitreje razvijajočih se območij na svetu in je v direktni koliziji s koralnim grebenom, ki je nekoč pokrival več kot 100 km2. Niti nasprotniki uničevanja koralnega grebena niti strokovnjaki na investitorjevi strani pa niso pričakovali, da se bodo korale in z njimi celotni koralni ekosistem pojavil na podvodnih pilotih pomolov [3]. Ko so ugotovili razcvet narave na podvodne stebre, je bilo retrospektivno logično, da se bo to zgodilo: gre za ogromno novih površin, točno na globini z dobro osvetljenostjo in pod vplivom neurij, ter za zaščiteno območje, na katero plovba ne vpliva (pod pomoli). Nekaj, kar je iz retrospektivnega vidika samoumevno, ni znal (pred tem) nihče napovedati.
Znanstveno se je vprašati: Česa vse še ne vemo?

Primeri »naravnih« habitatov

Preselimo se bližje nam, v Slovenijo, na spodnjo Savo. V trenutku umeščanja HE Brežice v prostor so strokovnjaki ustvarjali rešitve (prostorske ureditve), ki bi v naravi ustvarile določene pogoje in prostor za življenje določenih organizmov. Pri tem so se strokovnjaki v veliki meri naslanjali na ele-

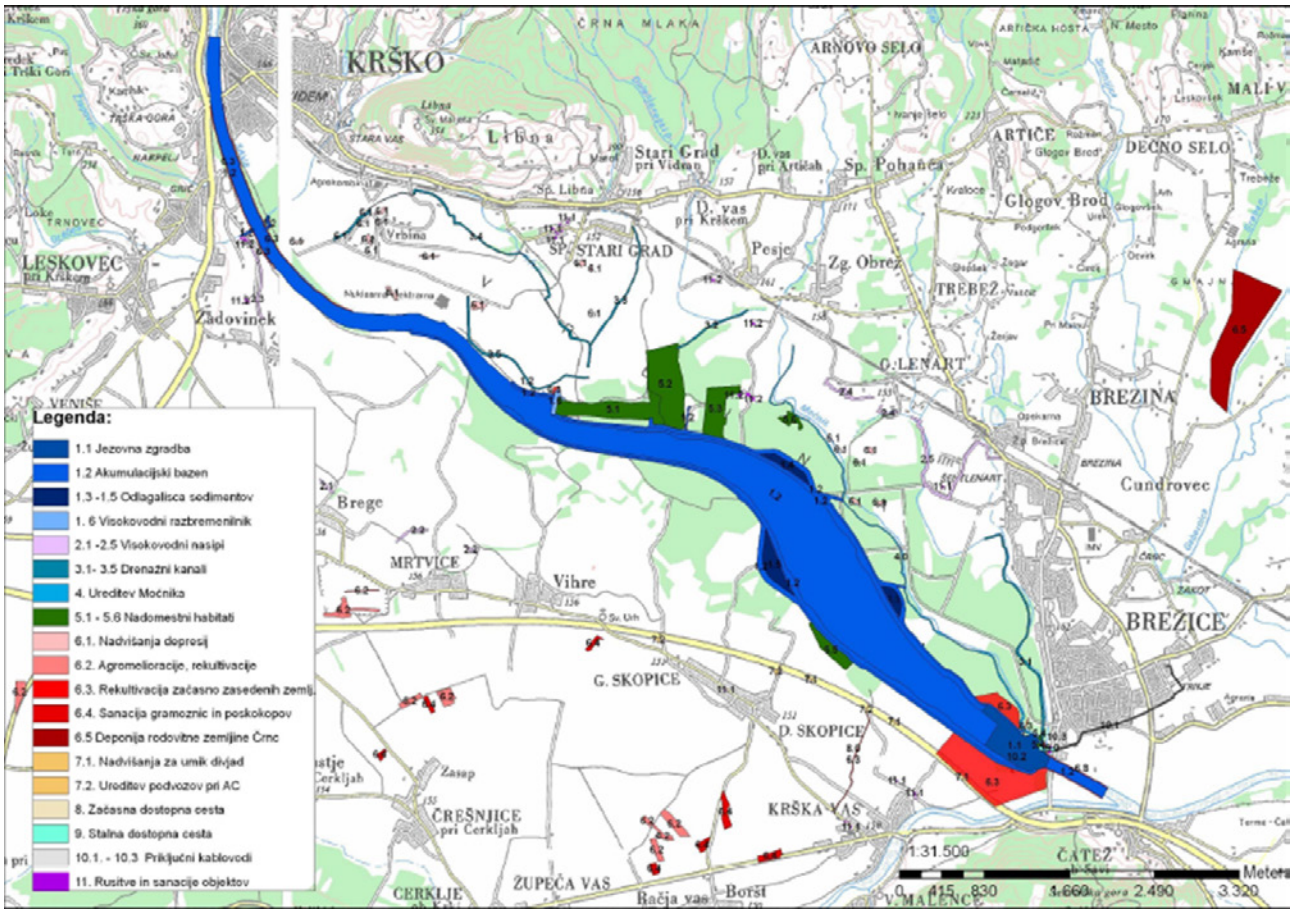


Slika 1: Varovana območja in prikaz infrastrukturnih ureditev HE Brežice [5]

mente, ki jih je ustvarila narava in so (bili) domovanje številnih organizmov: Poplavni gozd imenovan Vrbina pri Brežicah, gramozne jame, suhi travniki, mlake in jezera. Pa jih je res ustvarila narava?

V poplavnem gozdu Vrbina pri Brežicah rastejo v večini topoli, ki so jih zasejali od leta 1952 naprej za potrebe proizvodnje papirja v Tovarni papirja Krško. Gre za v vrste zasajene topole, celoten nasad, na začetku velik 17 ha, v letih največjega obsega pa je pokrival 555 ha. Razdeljen je bil v kvadrante in ločen s pravokotnimi gozdnimi cestami. Posamezne kvadrante so izsekavali z golosekom, ko je bila lesna masa zrela, in zasajevali s sadikami, ki so jih gojili v bližnji drevesnici. Da so ustvarili prostor za nasad topolov, so izkrčili dotedanji poplavni gozd, ki ga je pred tem sestavljal dob (vrsta hrasta). Dob je veličastno drevo, visoko do 40m in s premerom debla tudi več kot 2m. Topol je hitro rastoče drevo, ki hitro nabira lesno maso in je po 8-10 letih pri debelini debla 20 cm že primerno za posek [4]. Sprememba iz naravnega dobovega poplavnega gozda v topolov nasad je nedvomno pomenila izredno osiromašenje ekosistema. Šlo je za industrijski poseg brez okoljevarstvenega razmisleka. Zadnje zasaditve so se izvajale leta 2009, od takrat naprej pa nasad »propada«. Propada seveda le z vidika industrije in proizvodnje lesne mase, z vidika naravovarstva pa se je takrat pričelo uravnoteženje ekosistema z naravnim procesom naseljevanja drugih organizmov in upadanjem monokulture (topola), ki je z vidika narave nevzdržna. V teh razmerah so se na območju naselili nekateri organizmi, med drugimi tudi hrošč škrlatni kuku, ki je v odmirajočem lubju dreves našel zanj bogat življenjski prostor. Rezime: Pri gradnji HE Brežice smo varovali umetno ustvarjen habitat, za katerega se ob nastanku ni smatralo, da bo imel kakšno naravovarstveno vrednost (nasad monokulture), pri čemer se varuje takšno stanje habitata, ki je iz naravnega vidika nevzdržno (naravno nevzdržna prevlada enega tipa habitata, ki je na kratek rok povzročil ekspanzijo določenega tipa organizma).

Reka Sava je pred izgradnjo HE Brežice predstavljala cca 90m široko strugo v obliki trapeznega korita z utrjenimi brežinami in poplavnim območjem okoli struge. Poplavno območje je bilo ponekod omejeno z varovalnimi nasipi, kjer ni bilo ogroženih objektov, pa se je prosto razlivala. Gramozne jame oz. gramoznice so jame, iz katerih se izkopava gramoz. Ker segajo pod gladino podtalnice, gre v naravi za jezera. Navadno se gramoznica



Slika 2: Prostorski prikaz posegov ob gradnji HE Brežice; opis nekaterih oznak, za pojasnilo opisov v članku: 5.1, 5.2 in 5.5 so Nadomestni Habitati (NH) 1, 2 in 5, ki predstavljajo nove vodne površine kot nadomestilo za nekdanje gramoznice. 5.3 je NH3, ki v južnem delu predstavlja nove gozdne površine, v severnem delu pa novi suhi travnik. 5.6 je NH6, kjer se nahaja jezero/mlaka za želvo sklednico.

širi v eno stran, tako da se fronta izkopa premika, preostale brežine pa se sčasoma zarastejo in postanejo domovanje za številne organizme. Umetna jama torej s časoma ustvari različne tipe habitatov; od strmih brežin do položnejših, od golih do zaraščenih, od čiste prodnate obale do korenin in mulja v plitvini. S poplavljanjem reke se v ta vodna telesa naselijo ribe, poplavno premeščanje sedimenta pa premesti tudi organizme iz dna vodotoka, ki predstavljajo hrano ribam in dvoživkam. Dvoživke s selitvijo najdejo nove vodne površine, ptiči in mrčes se naselijo še hitreje. Osredotočimo se na ptice, posebej ogrožene vrste lastovke breguljke in čebelarje. Te ptice vsako leto ob selitvi iz Afrike poiščejo sveže erodirano območje ob reki, kjer je voda ob zadnjih spomladanskih poplavah odnesla breg in ustvarila strmo prodnato brežino. V brežini izkopljejo rov v produ, strma brežina nad vodo pa jih varuje, da do gnezd ne pridejo kače in lisice. Reka Sava je prenehala odnašati brežine zaradi stoletja ukalupljanja v trapezoidno strugo z utrjenimi brežinami. Klimaks ukalupljanja se je odvil med leti 1850 in 1950 z gradnjo južne avstroogrske železnice (odsek Zidani Most – Sisak), z gradnjo cest (ob spodnji Savi je potekala že rimska cesta med Celeio (Celje) in Neviodunum (Drnovo pri Krškem, kjer je bilo pomembno pristanišče), s širitvijo mest in razvojem industrije (Radeče, Sevnica, Krško), ne gre pa zanemariti niti vpliva širjenja obdelovalnih površin. Tudi v času Jugoslavije se je ukalupljanje nadaljevalo, kar je lepo razvidno iz katastra vodnogospodarskih ureditev. Rezultat ukalupljanja pa je fiksirana brežina, ki je voda ne erodira in ne ustvarja novih golih strmih brežin, ki jih potrebujejo breguljke in čebelar. Zato so ptice našle nove lokacije vedno novih primernih brežin – v gramoznicah, točno na fronti odkopa, kjer je vsako leto sveža brežina. Rezime: Gramoznica je škrbina v okolju (za vsako gramoznico se mora v sklopu pridobitve koncesije izdelati tudi projekt sanacije). Ob podeljevanju koncesij za izkop se gramoznice obravnavajo kot poseg v okolje brez kakršne koli ekološke vrednosti. V primeru gradnje pretočne akumulacije HE Brežice, s katero se je potopilo nekaj gramoznic, pa se je te "škrbine" moralo nadomestiti, tako da so se zgradile nove, nadomestne prodne stene nad vodno površino, s katerimi se je simuliralo habitate v gramoznicah.

Primeri »umetnih« habitatov

Je habitat lahko umeten? Habitat je življenjski prostor, torej nekaj naravnega. Če ga zgradi človek, je lahko to naravno? Bistvo narave so procesi, procesi ustvarjajo spremembe, ravno spremembe pa so tista dinamika, ki ustvarja pestrost habitatov, kot na primer različne globine vode, različne brežine gramoznic, različna kvaliteta prsti, različna granulacija sedimenta. Te razlike omogočajo različnim organizmom lokalne pogoje za življenje, zato je ta dinamika tako pomembna. Ko gradi človek, navadno gradi nekaj fiksnega, nekaj, kar bo stalo čvrsto skozi celotno življenjsko dobo. Vsak objekt mora izpolnjevati bistvene lastnosti. Je to združljivo z naravo?

V prejšnjem poglavju opisano ukalupljanje reke je Savi onemogočilo premikanje struge. Kot že omenjeno, je bila reka Sava pred izgradnjo HE Brežice široka cca 90m. Kartografski arhivi avstro-ogrskih katastrov pa na območju Brežic prikazujejo reko, katere glavna struga je široka 500m, zraven nje pa več stranskih strug, rokavov, meandrov in drugih oblik (okljuki, zalivi, mrtvice, jezera...). Vse te oblike nastajajo, ko reka ob poplavah ustvarja novo glavno strugo, stara struga pa se postopoma zamulji, preide v rokav, nato jezero, nato mrtvico, mlako, močvirje in na koncu v suha (občasno poplavljena) tla. Takšne reke od 19. stoletja pri Brežicah ni več, še vedno pa so ostanki nekdanjih strug in drugih vodnih oblik. Tovrstne mlake in močvirja so (bila) pester habitat in zato se je ob gradnji HE Brežice zgradilo nove tovrstne oblike. V prostor se je torej želelo umestiti nekaj, kar je izgubil že več desetletij nazaj. Ni se zgolj ohranjalo stanje reke pred izgradnjo HE Brežice, temveč se je želelo »izboljšati« trenutno stanje narave. Primer takšnega ukrepa je habitat imenovan NH6, ki je bil prioritetno namenjen želvi sklednici. Habitat se je zasnoval kot napol jezero in napol mlaka, z dinamično brežino in globinami ter dovolj golega, prodnatega prostora ob vodi, kjer si lahko želve ustvarjajo gnezda in se sončijo. Vsi podatki po izgradnji so kazali na uspeh. Po nekaj letih »obratovanja« habitata pa so se zgodile določene spremembe: ker ni tekoče vode, ki bi občasno poplavila prodišče, se slednje zarašča in želve izgubljajo prostor za sončenje. Iz bližnjega potoka je bober skopal kanal do mlake in si v mlaki zgradil gnezdo. Po kanalu dostopa do tekoče vode in preko nje do prostora za hranjenje. Narava gre svojo pot. Potekajo naravni procesi, s katerim pa izgubljamo prvoten namen habitata. Ali je ta objekt uspešno zgrajen? Ali uspešno »obratuje«?

Suhi travniki so nastajali na območjih, kjer je reka nasipala prod. Takšna neugodna rastišča so najprej naselile pionirske rastline, ki so ustvarile tanek sloj humusa, slednji pa je omogočal razrast nezahtevnih rastlin. Večje rastline je ob poplavi odneslo in s tem je nastal specifičen travniški habitat s pestrim ekosistemom rož, med katerimi je 25 ogroženih vrst [5]. Ob umeščanju HE Brežice v prostor se je rezerviral tudi prostor za tovrstne habitate, imenuje se NH3. Pred pripravila so se tla in simulirali pogoji, kakršni najdemo na naravnih suhih travnikih. Tako kot vsaka naravna oblika,

Slika 3: Nadomestni habitat 6 (NH6), namenjen želvi sklednici, cca 2 leti po izgradnji. Vidne so prvotno gole površine proda, ki se postopoma zaraščajo. Na desni je vidno porušeno drevje, kjer je aktiven bober [8].

tudi suhi travniki preidejo v naslednji stadij, saj večanje debeline humusa tudi večjim rastlinam omogoči, da ustvarijo dovolj bogat koreninski sistem, ki zdrži poplave. S časoma tako travnik preide v gozd. Če se ta naravni proces odvije na zgrajenem habitatu, kateremu je dodeljen namen, ali je projekt uspešen? Ali habitat obratuje uspešno, ali se bo okrivilo tistega, ki je zadolžen za vzdrževanje, da ni ohranjal ustreznih pogojev (ni ohranjal tal dovolj siromašnih)?

Ima naravni habitat fazo obratovanja?

Na spodnji Savi trenutno obratuje 5 HE s pripadajočo vplivno površino. Ukrepi, izvedeni v času gradnje posamezne HE, so predani različnim upravljalcem. To še posebej velja za HE Brežice. Pri gradnji prejšnjih elektrarn se je malo ali delno dajala pozornost naravi, HE Brežice pa je pilotni projekt v Sloveniji, celo v svetu, glede pozornosti, ki se je namenila naravi. V prvi vrsti se je opredelilo vse naravne vrednosti, nato razmišljalo o možnih ukrepih, se ukrepe zasnovalo ali sprojektiralo in na koncu so se objekti in ureditve zgradili, aktivnosti in procesi pa pričeli, pri čemer se je določil tudi izvajalec teh aktivnosti. Na primer, obratovanje prehoda za vodne organizme za premostitev višinske razlike v gladinah vode nad in pod jezovno zgradbo, v katerem se mora ohranjati ustrezna vodnatost/pretočnost ne glede na hidrološko-hidravlične pogoje v reki Savi. Drug primer je že omenjena brežina za breguljke in čebelarje; ker ni vode, ki bi erodirala, niti ni izkopa gramoza, ki bi ustvarjal svež izkop, je potrebno ohranjati strmo brežino na način, da se odkoplje tisti material, ki ga padavine erodirajo. Tam, kjer je predpisano navodilo za vzdrževanje, torej lahko govorimo o obratovanju, tudi če gre za naravovarstveno ureditev. Ribe namreč plavajo skozi prehod za vodne organizme, celo veliko jih je, in ptice tudi kopljejo vsako leto nova gnezda v umetno zgra-

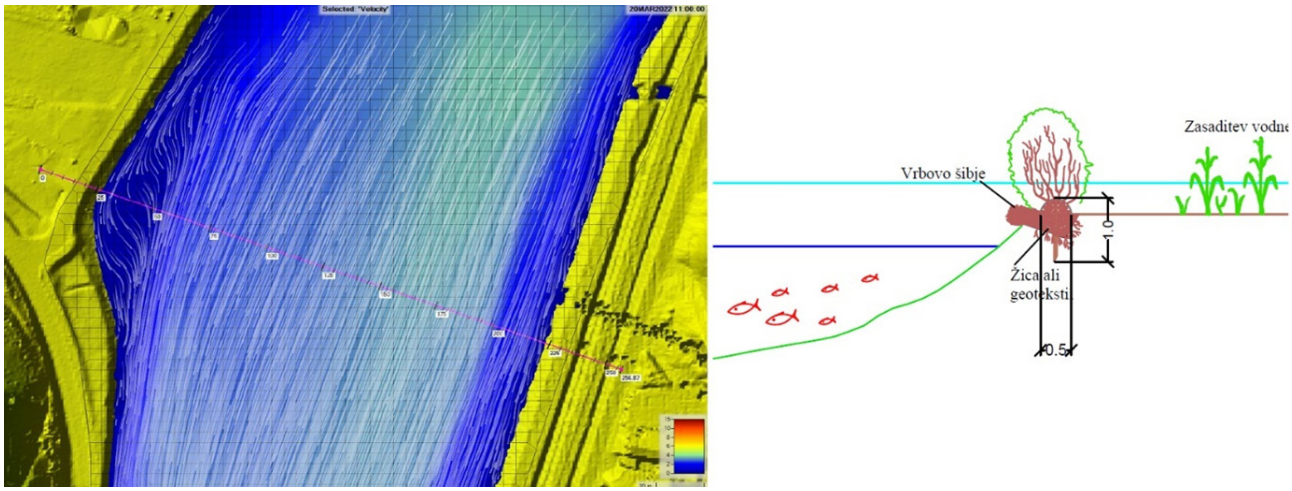
jenih brežinah. Kjer je naravna oblika ustvarjena, pa je ocenjevanje uspešnosti nesmiselno. Narava je namreč vedno uspešna, vprašanje je samo, ali je ljudem njena rešitev všeč. Obratovanje torej ne obstaja, saj je obratovanje po definiciji ponavljajoč proces. Gonilo narave pa je sprememba.

Pristop k izgradnji novega naravnega habitata

Sedaj znamo pristopati znanstveno in multidsciplinarno, zavedamo se, kako »deluje« narava, razumemo spremembe v naravi, poznamo pomen naravnih oblik in opremljeni smo z znanjem (tako tehničnim kot biološkim), kako oblikovati prostor na način, da bo primeren za izbrane organizme.

Na pretočni akumulaciji HE Boštanj se v bližini naselja Kompolje nahaja zožitev struge. Pred zožitvijo ob desnem bregu voda zaradi hidravličnih razmer zastaja in odlaga nanos (imenovan tudi sediment). Ker voda v pretočni akumulaciji dnevno niha zaradi proizvodnje električne energije in ker je odloženega že toliko nanosa, je tam pogosto viden otok. Ker je nanos, ki ga nosi reka Sava, v glavnem zelo drobnozrnat in z veliko organskimi primesmi, otok izgleda kot kup mulja. Fizikalne lastnosti tega materiala so takšne, da zadržuje vodo. Ker je lahek, se ne posede, ne konsolidira in zaradi tega tudi ne more ustvariti dovolj čvrste podlage, na kateri bi se lahko naselile rastline, čeprav je semen v vodi vse polno, kakor pričajo različna testiranja, ki smo jih opravili. Ideja je torej, da ne obnovimo brežine v osnovno obliko trapeznega korita, utrjenega s skalometom, temveč da uporabimo lokalne hidravlične razmere in omogočimo naravi njen razvoj. Po pogovorih z ZRSVN smo prišli do zaključka, da bi bilo na območju HE Boštanj koristno ustvariti boljše pogoje za vidro. Zato je ideja, da to lokacijo, ki trenutno nima bistvene ekološke vrednosti, preuredimo na način, da bo vsaj sprva tu našla svoj življenjski prostor vidra, kasnejši naravni razvoj pa bo pokazal, kakšne načrte ima narava.

Slika 4: Otok nanosa (sedimenta) na pretočni akumulaciji HE Boštanj na reki Savi [6].



Slika 5: Rezultati študije ureditve brežine [7]. Levo: Prikaz rezultatov hidravličnih izračunov. Desno: Prikaz idejne rešitve ureditve brežine.

Hidravlična analiza je pokazala, da ni ovire za ureditev brežine, ki bo ustvarila kombinacijo čvrste površine in vodnih lagun, saj tudi ob najvišjih pretokih reka Sava na tem mestu ne bi odnašala materiala. Izdelali smo idejno zasnovo brežine in sedaj pristopamo k izdelavi projekta za izvedbo nove brežine. Ustvarili bomo lepšo brežino, ki ne bo kazila podobo reke Save, na in ob kateri poteka rekreacija in turizem. Vpliv na proizvodnjo je zanemarljivo majhen, saj že sedaj otok zmanjšuje prostornino vode, ki se uporablja za proizvodnjo električne energije. Stroški vzdrževanja bodo manjši, saj ne bo potrebno čiščenje in ohranjanje osnovne utrjene brežine. Narava pa bo dobila nov prostor.

Prihodnost sodelovanja z naravo

Je z naravo možno sodelovati? Je narava pripravljena sodelovati? Vse, kar lahko naredimo, je, da se zavedamo naravnih procesov, jih poskušamo čim bolj razumeti in spoznati njihovo kompleksnost ter povezanost. Elektro energetski objekti se ne umeščajo, ker bi bili sami sebi namen, umeščajo se z razlogom. Ker jih potrebujemo. Hkrati je smiselna določena doza samokritičnosti pri »predpisovanju« naravnih procesov in pri napovedovanju, kaj bo narava naredila ali kaj glede okolja lahko pričakujemo v prihodnosti. Dejstvo je, da ne vemo vsega, kompleksnost narave pa je osupljiva, zato je smiselna določena doza ponižnosti. Človek potrebuje svoj prostor za življenje, ravno tako ga narava. Razmišljanje o naravi je še kako ključno, če želimo ljudje preživeti na tem planetu. Izgradnja HE Brežice je primer dobre prakse glede pozornosti, ki se je je namenilo naravi, glede truda in znanja, ki se ga je vložilo, in tudi glede na novo pridobljenega znanja. Predvsem pa je dobra praksa v tem, da se je ob gradnji HE zagotovil in uredil prostor tudi za naravo. S tem se omogoča naravna dinamika in dogajanje sprememb v okolju, kajti to je naravno. Tudi če kakšen ukrep sedaj ni popolnoma takšen, kot se je sprva zastavil, gre še vedno lahko za primer dobre prakse. V najslabšem primeru kot pokazatelj, kaj lahko naredimo še boljše.

Slika 6: Primer tipičnega vodnega telesa s habitatno diverziteto, kakršna se je umeščala na potokih v bližini HE Brežice. Proces erodiranja na levi strani slike ustvarja strmo brežino, v kakršni lastovice breguljke in čebelarji gradijo gnezda. Na desni strani poteka odlaganje in ustvarjanje prodišča, kjer pričenjajo z rastjo pionirske rastline, na kamnih pa se sončijo želve. Plitvine in tolmuni ustvarjajo različne pogoje za različne velikosti rib, različno obvodno rastlinje pa hrano za različne organizme. "Izgradnja" tovrstne ureditve neizbežno vodi v spremembo, saj bo narava že ob prvem dežju takšen "objekt" spremenila. Faza obratovanja takšnega "objekta" v smislu ponavljanja procesov zato ne obstaja. Vse, kar lahko ljudje naredimo, je, da zagotovimo prostor in pustimo naravnim procesom naravno pot.

Zaključki

Ker je celoten članek napisan v poljudnem stilu, naj zaključim s tehničnim komentarjem. Tehniki smo navajeni ravnati s številkami, vrednotiti po kriterijih in razvrščati v razrede. Naravo je težko razvrščati na tovrsten matematičen način iz več razlogov. V prvi vrsti so naravni sistemi preveč kompleksni, da bi jih enoznačno vrednotili, pogosto pa jih niti ne razumemo v celoti. Pomen naravnih oblik in njihovo vrednost vedno vrednotimo z antropološkega vidika, ki je avtomatsko subjektiven. Objektivna ocena vrednosti ni možna, še manj z vidika narave. Vrednosti posameznega organizma ali lokalnega habitata za celoten ekosistem ni mogoče ovrednotiti. Za konec upoštevajmo še človeški faktor in različne razloge za ravnanje posameznikov, tudi inženirjev in znanstvenikov, ki pogosto upoštevajo zgolj tisto, kar se je dogodilo v njihovi karieri, preteklost in prihodnost pa presegata okvir njihovega zanimanja. Narava ni tako ozkogleda, zato si je treba priznati, da vsega pač ne vemo. Ukrepe, za katere so bili strokovnjaki čvrsto prepričani, da bodo delovali, je narava »odpeljala po svoje«. Degradiranost okolja je narava pogosto preoblikovala v nekaj nepričakovanega, kar čez desetletja cenimo in želimo ohraniti. Zato posegi v prostor, kakršne so tudi gradnje elektro energetskih objektov, niso nujno takšna degradacija okolja, kakršna izgleda na prvi pogled. Zaradi našega lastnega obstoja na planetu je brez dvoma potrebno pri umeščanju v prostor vložiti trud, čas in denar tudi v ohranjanje narave. Pri tem ni smiselno, da ohranjanje narave temelji strogo na načrtovanju in predvidevanju naravnih procesov in naravnega stanja, temveč je preudarno vsaj deloma dovoliti, da naravni procesi oblikujejo prostor tudi po lastni poti. Sodobni pristopi k umeščanju zahtevajo tovrstno širokoglednost, potrebna pa je tudi multidisciplinarnost, da se naslovi vse ekološke vidike. Tudi v 3. fazi projektov, fazi obratovanja, je pri vsaki spremembi prostor, da se razmisli o možnosti sonaravnega ukrepanja, pri čemer je sonaravno ukrepanje že to, da se da naravi prostor.

Reference

[1] Plachter, H. 1995. A Central European Approach for the Protection of Biodiversity. V: Ogrin, D. (et al.) 1996.

[2] Ogrin, D. 1995. Dileme v načrtovanju za varstvo narave: primer reke Mure.

[3] Lin Sien, C (et al.) 1988. The Coastal Environmental Profile of Singapore.

[4] Lubi, J. 2011. Gospodarjenje s topolovimi nasadi na krško-brežiškem polju.

[5] Geateh, d.o.o. 2014. Poročilo o vplivih na okolje za HE Brežice.

[6] Hribar A. 2015-2022. Osebni arhiv fotografij in tehničnega gradiva (gradivo z avtorskimi pravicami je uporabljeno s privolitvijo lastnika, HESS, d.o.o. in Infra, d.o.o.).

[7] Kryžanowski, A. 2022. Študija možnosti ureditve brežine reke Save pri naselju Kompolje.

[8] Splet

RAZVOJ KRITERIJEV ZA OPREDELITEV SONARAVNIH POSEGOV IN UREDITEV NA PODROČJU UPRAVLJANJA VODA

dr. Mojca Hrovat, univ. dipl. biol.,
Direkcija Republike Slovenije za vode, Mariborska cesta 88, 3000 Celje

Anet Goljevšček, mag. geog. (UN),
Direkcija Republike Slovenije za vode, Mariborska cesta 88, 3000 Celje

Ditka Čakš Copot, univ. dipl. inž. grad.,
Direkcija Republike Slovenije za vode, Mariborska cesta 88, 3000 Celje

Petra Repnik, univ. dipl. inž. v.k.i.,
Direkcija Republike Slovenije za vode, Mariborska cesta 88, 3000 Celje

Marija Habinc, Direkcija Republike Slovenije za vode, Mariborska cesta 88, 3000 Celje

Povzetek

Prispevek obravnava kriterije za opredelitev sonaravnosti ureditev in posegov na vodah, ki jih je razvila Direkcija RS za vode v okviru projekta LIFE-IP NATURA.SI[1], v sodelovanju s projektnimi partnerji. Sonaravna ureditev ali poseg je bila definirana kot ureditev oziroma poseg vezan na urejanje voda ob upoštevanju okoljskih ciljev (preprečevanje poslabšanja ali izboljšanje stanja voda, ohranjanje narave). Kriteriji so bili razviti za šest kategorij ureditev: izgradnja ali rekonstrukcija prečnega objekta, odvzem naplavin, ureditev prečnega profila in izgradnja ali rekonstrukcija obrežnega zavarovanja, vzpostavitev obrežne vegetacije in vzdrževanje obrežne vegetacije. Oblikovani sta bili dve skupini kriterijev: »Splošni kriteriji«, s katerimi se vrednoti splošne značilnosti ureditve oziroma posega in »Specifični kriteriji«, ki so opredeljeni zaradi specifičnih značilnosti določenih ureditev ali posegov. Za namene vrednotenja sonaravnosti ureditev in posegov so kriterijem dodeljene točke, katerih število se povečuje skladno s približevanjem naravnemu stanju, posnemanjem naravnih značilnosti in omogočanjem naravnih hidromorfoloških procesov. Kriteriji so podlaga za pripravo usklajenih splošnih usmeritev za izvajanje posegov in ureditev na vodah, ki se bodo uporabljale v procesu načrtovanja, usklajevanja in priprave novih projektov oziroma investicij na vodah.

Uvod

V okviru projekta LIFE-IP NATURA.SI je Direkcija RS za vode razvila kriterije, ki so podlaga za opredelitev sonaravnih ureditev in posegov na vodah ob upoštevanju okoljskih ciljev. Kriteriji obravnavajo šest kategorij in spodbujajo urejanje voda z ohranjanjem in posnemanjem naravnih značilnosti ter procesov. Služili bodo kot podlaga za pripravo usklajenih splošnih usmeritev za izvajanje posegov in ureditev na vodah.

1 LIFE integriran projekt za okrepljeno upravljanje Nature 2000 v Sloveniji (LIFE-IP NATURA.SI LIFE17 IPE/SI/000011)

Izhodišča

Izhodišča za razvoj kriterijev so bile Usmeritve za načrtovanje in izvajanje ureditev z vidika preprečevanja poslabšanja stanja vodotokov iz Priloge 6 Splošnih smernic s področja upravljanja z vodami (DRSV, 2022), Naravovarstvene usmeritve za namene podrobnejšega načrtovanja in izvajanja posegov na vodotokih na vodnih območjih Jadransko morje in Donave (ZRSVN, 2020) in Smernice ZZRS pri načrtovanju posegov v vodotoke (ZZRS, 2020). Poleg smernic so bili v sklopu naloge zbrani tudi primeri potencialnih sonaravnih ureditev, izvedenih v okviru izvajanja obvezne državne gospodarske javne službe na področju urejanja voda (vzdrževalna dela). Omenjeni primeri ureditev so bili uporabljeni za testiranje in dopolnitev kriterijev.

Pri določitvi vrste prečnih objektov in obrežnih zavarovanj je bilo za izhodišče uporabljeno gradivo Katalog dobrih praks urejanja voda (Repnik Mah in sod., 2013) in izrazje s področja vodnih objektov naprav in ureditev (VONU) (Habinc in Repnik, 2022), ki vsebuje opise objektov in ureditev.

Razvoj kriterijev

Kriteriji so bili razviti za šest kategorij ureditev oziroma posegov:

- izgradnja ali rekonstrukcija prečnega objekta,
- odvzem naplavin,
- ureditev prečnega profila,
- izgradnja ali rekonstrukcija obrežnega zavarovanja,
- vzpostavitev obrežne vegetacije in
- vzdrževanje obrežne vegetacije.

Oblikovani sta bili dve skupini kriterijev. S »Splošnimi kriteriji« se vrednoti vse kategorije ureditev oziroma posegov. V to skupino sodijo naslednji kriteriji: *Tip ureditve oziroma posega*, *Način izvedbe*, *Material* in *Izvedba*, za katero se lahko dodelijo dodatne točke za stanje voda in habitatov. Druga skupina kriterijev so t.i. »Specifični kriteriji« za ocenjevanje kategorij Odvzem naplavin, Vzpostavitev obrežne vegetacije in Vzdrževanje obrežne vegetacije, ki so opredeljeni zaradi specifičnih značilnosti ureditev ali posegov. Za namene vrednotenja sonaravnosti ureditev oziroma posegov se število točk povečuje v smeri vzpostavljanja naravnega stanja, večjega posnemanja naravnih značilnosti in omogočanja naravnih hidromorfoloških procesov.

Splošni kriteriji

S kriterijem *Način izvedbe* se vrednoti odstopanje od naravnega stanja, ki ga povzroči izvedeni poseg. Večja odstopanja vodijo tudi v odvzem točk in posledično v negativno oceno. Največje število točk je namenjeno vzpostavitvi naravnega stanja pri vseh kategorijah ureditev oziroma posegov.

Kriterij *Tip ureditve oziroma posega* se upošteva pri kategorijah, kjer je prisoten objekt. S kriterijem se določa vpliv vrste oziroma velikosti objekta na stanje voda in habitatov. Večji kot je poseg, večji je vpliv na stanje voda in habitatov, manjše je število točk.

Ureditvam, za katere izvedbo se uporablja gradbeni material, je dodan kriterij *Material*. Z njim se vrednoti uporabo naravnih ali umetnih in za vodno telo značilnih oziroma neznačilnih materialov.

Kriterij *Izvedba* je oblikovan z namenom spodbujanja oziroma ohranjanja naravnih značilnosti in procesov ter posnemanja naravnih značilnosti voda pri izvajanju posegov (kriterij je podrobneje opisan v poglavju Izvedba – dodatne točke za stanje voda in habitatov). V okviru tega kriterija se lahko dodelijo dodatne točke za posege in ureditve, katerih način izvedbe pozitivno vpliva na stanja voda in habitatov.

Specifični kriteriji

Specifični kriterij *Upravljanje z odvzetimi naplavinami* je določen za posege, kjer je prisotno upravljanje z odvzetimi naplavinami (neorganski in organski material), saj je za stanje voda in habitatov pomembno, da se material ponovno in čimbolj lokalno uporabi.

Specifični kriterij *Sestava in razporeditev obrežne vegetacije* je določen za posege, ki naslavljajo vzpostavitev in vzdrževanje obrežne vegetacije. Sestavi obrežne vegetacije pripisujemo primarni pomen za stanje voda in habitatov z vidika stabilizacije in osenčenosti struge, zmanjševanja segrevanja in izhlapevanja vode, naravnega vnosa hranil, vzpostavitve habitatov.

Kriteriji po kategorijah ureditev

Prečni objekti

Obravnavane ureditve v tej kategoriji obsegajo izgradnjo ali rekonstrukcijo prečnega objekta[2].
S kriterijem ***Način izvedbe*** se vrednoti prehodnost za ribe[3] in sedimente. Vzpostavitev naravne prehodnosti s porušitvijo prečnega objekta prinaša največ točk, neprehodnim objektom se odvzame največ točke. Različno se vrednoti ohranitev prehodnosti čez prečne objekte (npr. talni prag, drča...) in vzpostavitev prehodnosti čez neprehodni objekt z dodatnimi objekti (ribja steza, obvodna struga). Ob izgradnji novega prehodnega prečnega objekta se prehodnost namreč ne prekine ali poslabšala, oziroma se v primeru rekonstrukcije neprehodnega objekta celo izboljša. Pri izgradnji dodatnega objekta ob neprehodnem prečnem objektu pa je zveznost toka prekinjena, nov objekt pa predstavlja zgolj omilitveni ukrep.

V okviru kriterija ***Tip ureditve*** se vrednoti višino prečnega objekta, v odvisnosti od velikost zajezitve. Talni prag je najnižji izmed prečnih objektov, ki ne povzroči zajezitve in višinske razlike ter je prehoden za sedimente in vodne organizme. Zato med objekti dobi največ točk. Prečni objekti so glede na višino razdeljeni v tri skupine, tj. nižji od 0,3 m, med 0,3 – 1 m in višji od 1 m. Ker je velikost zajezitve in zadrževalni čas odvisen od tipa vodotoka (predvsem padca), je v merilu upoštevana tudi velikost zajezitve tj. kratka (krajša od 150 m oziroma 500 m) in dolga (daljša od 150 m oziroma 500 m) zajezitev[4]. Smatra se, da prečni objekt, ki je nižji od 0,3 m ne more povzročiti zajezitve daljše od 150 m. Največ točk se odvzame prečnim objektom, ki so višji od 1 m in je dolžina zajezitve daljša od 500 m.

Pri kriteriju ***Material*** je največ točk namenjenih ureditvam, za katere so pri gradbenemu posegu uporabljeni naravni materiali, značilni za obravnavano vodno telo (npr. veliki kamni niso značilni za nižinski tip vodotoka). V kolikor se uporabijo naravni materiali, ki niso značilni za vodno telo, se pripiše nič točk. Umetni materiali ne sodijo v vodni ekosistem, zato že kombinacija naravnih in umetnih materialov pomeni odvzem točk. Največ negativnih točk pa prinaša izvedba posega z izključno ali s prevladujočimi umetnimi materiali.

Odvzem naplavin

V sklopu posega Odvzem naplavin se z vidika vpliva na stanje voda in habitate upošteva odvzem in upravljanje z naplavinami.

Pri vrednotenju kriterija ***Način izvedbe*** je najbolje ocenjeno preoblikovanju prodišč brez spremembe lokacije, kjer se ohrani naravno odlaganje oziroma premikanje sedimenta. Prekomerna ali popolna odstranitev naplavin (npr. odvzemi v komercialne namene) je zaradi negativnega vpliva na stanje voda in habitatov ocenjena negativno. Prerazporeditev naplavin po strugi na odseke, kjer je prisoten deficit materiala – gorvodno ali dolvodno od posega (na način, da se ne razširi invazivnih tujerodnih vrst ali zasipava obstoječe habitate) in s tem ohranitev hidromorfološke strukture, je ocenjena pozitivno. Odstranitev minimalnih količin[5] naplavin zaradi zmanjšane pretočnosti struge pa z nič točkami.

Pri kriteriju ***Tip ureditve*** se vrednoti izvedbo objektov za namene zadrževanja naplavin. Kjer se zaradi majhnega obsega posega pri izvedbi ureditve (npr. lovilne jame) predvideva minimalen vpliv na stanje voda in habitate, se oceni nevtralno. V primeru večjih izvedbenih posegov (npr. prodni zadrževalniki – za sedimente neprehoden prečni objekt) se ureditev oceni negativno.

Pri kriteriju ***Upravljanje z odvzetimi naplavinami*** se ločeno ocenjuje način upravljanja z odvzetimi anorganskimi (mulj, prod, kamenje...) in organskimi (debla, veje in drug odmrli rastlinski material, vključno z odstranjeno vegetacijo s prodišč) naplavinami. V primeru vračanja naplavin na ustrezno lokacijo ali pa lokalne uporabe naplavin za namene vzdrževalnih del (npr. obnova brežin na območjih naselij in infrastrukture, ki je erozijsko ogrožena, preoblikovanje prodišč...) se točke dodelijo. V primeru odvoza naplavin na deponijo, kadar gre za odvzem naplavin iz lokacije in neuporabo, se točke odvzamejo.

Obrežno zavarovanje

Obravnavane ureditve na brežini obsegajo izgradnjo ali rekonstrukcijo obrežnega zavarovanja.

2 Na prečnem objektu je lahko prisotna obremenitev z vidika odvzema vode, ki ga v okviru te naloge ne upoštevamo. Kriteriji so razviti z namenom iskanja najboljših rešitev pri izgradnji ali rekonstrukciji objektov. Za potrebe vrednotenja kumulativne obremenitve na vodotok, je odvzem vode dejavnik, ki ga je potrebno upoštevati.

3 Za ocenitev prehodnosti bi bilo potrebno upoštevati vse vodne organizme, vendar se je zaradi pomanjkanja podatkov o zahtevah posameznih vrst, omejilo na prehodnost za ribe.

4 Dolžina 150 m je bila določena na podlagi ocene pomembne obremenitve, katere kriterij je, da je lahko največ 30 % odseka vodotoka (dolžina odseka vodotoka = 500 m) izvedenega s tehničnimi/togimi ureditvami.

5 Minimalne količine so definirane na podlagi potreb po zmanjšanju poplavne ogroženosti ali z odvzemom naplavin do gladine srednjih nizkih pretokov.

Kriteriji za oceno sonaravnosti posega/ureditve:	IZGRADNJA/REKONSTRUKCIJA OBREŽNEGA ZAVAROVANJA	
Kriterij	**Opis merila**	**Točke**
Način izvedbe (Struktura in naklon brežine)	vzpostavitev naravne brežine (strukture in naklona brežin)	2
	manjša sprememba strukture in naklona brežin (sprememba na dolžini do 50 m ali manjša (do 25°) sprememba naklona glede na naravno stanje)*	-1
	večja sprememba strukture in naklona brežin (sprememba na dolžini več kot 50 m ali večja (nad 25°) sprememba naklona glede na naravno stanje)*	-2
Velikostni razred vodotoka [širina vodotoka v m], na katerem je izvedena sprememba strukture in naklona brežine	< 2 m	-3
	2 - 10 m	-2
	> 10 m	-1
	> 50 m	0
Tip ureditve	izvedba vkopanega pasivnega zavarovanja (zavarovanja odmaknjena od struge)	3
	izvedba lokalnih točkovnih obrežnih zavarovanj, brez vmesnih utrditev (jezbice, odbijači, traverze, rebra, usmerjevalni objekti itd.)	2
	izvedba sonaravnih vzdolžnih oz. linijskih obrežnih zavarovanj (živa gradiva - vrbovi popleti, lesena zavarovanja, kašte itd.)	1
	izvedba klasičnih prepustnih obrežnih zavarovanj, če točkovna in sonaravna vzdolžna oz. linijska zavarovanja niso mogoča (skalometi / kamnometi v suho, kamnite zložbe v suho itd.)	0
	izvedba klasičnih neprepustnih obrežnih zavarovanj (skalomet/kamnomet v betonu, obrežni zid, betonske plošče, asfalt itd.)	-2
Material	naravni, za vodotok značilni materiali (živo gradivo, les, kamen ustrezne frakcije, naplavine iz struge, odstranjen les z lokacije)**	1
	naravni za vodotok neznačilni materiali**	0
	kombinacija naravnih in umetnih materialov (npr. začetne utrditve s kamnom v mokro pri kaštah)	-1
	prevladujoči ali izključno umetni materiali (žične košare, asfalt, beton, kamen v mokro)	-2
Izvedba - DODATNE TOČKE za stanje voda in stanje habitatov	poglobljene fuge/odprte fuge (prepustnost)	0,25/0,5
	vzpostavitev/ohranitev mikrohabitatov*** (skrivališča za ribe, drstišča, npr. z vgradnjo različno velikih skal, debel s koreninskim sistemom, izvedbo grobih neporavnanih oblik na nivoju stalne vodnatosti – npr. razgibana peta brežine..) (posnemanje značilnosti bližnjih naravnih odsekov)	0,5/1
	nenaravna vzpostavitev hidromorfoloških struktur v strugi (prodišča, tolmuni oz. počivališča za ribe, brzice...)/ohranitev naravnih (ali procesna vzpostavitev) naravnih hidromorfoloških struktur v strugi (prodišča, tolmuni oz. počivališča za ribe, brzice, slapovi, lehnjakovih struktur, bobrišč, naplavine, plavni les...) (posnemanje značilnosti bližnjih naravnih odsekov)	0,5/1
	zasaditev/ohranitev značilne avtohtone grmovne in drevesne obrežne vegetacije****	1/2

* ocena je vezana le na posamezno ureditev; za oceno potencialnega poslabšanja stanja celotnega odseka je potrebno upoštevati kulumativno oceno vseh ureditev znotraj odseka.
** v tej kategoriji se upošteva tudi primere, ko so materiali sidrani, fiksirani (npr. s tirnicami) ali zgolj spojeni z umetnimi materiali (npr.kovinske spone)
*** gradnja mikrohabitatov z umetnimi materiali ne prinaša bonus točk (npr. betonske cevi..)
**** eno ali par dreves ne prinaša dodatnih točk

Slika 1: Kriteriji za ocenjevanje izvedbe obrežnega zavarovanja

Pri ***Načinu izvedbe*** se vzpostavitvi naravne brežine (strukture in naklona) namenil največ točk. Pri vrednotenju sprememb brežine so opredeljene manjše in večje spremembe strukture in naklona, oboje pa so ocenjene negativno. Velikost spremembe je ocenjena na podlagi dolžine ureditve in spremembe naklona. Kriterij je razvit z namenom, da se točkovnim ureditvam zmanjša oceno, v primeru velikega obsega ureditve (tj. izvedbe na dolgem odseku).

Ker je velikost obremenitve zaradi spremembe brežine odvisna od velikosti vodotoka, so točke za način izvedbe kombinirane z dodatnim kriteri-

jem *Velikostni razred vodotoka*. Velikostni razredi so definirani s širino vodotoka[6] v metrih. Določeni so štirje velikostni razredi vodotokov: ožji od dveh metrov, 2 - 10 metrov, > 10 metrov in > 50 metrov. Sprememba brežine, izvedena na manjšem vodotoku, predstavlja večjo obremenitev. Zato je primerom, kjer je izvedena večja sprememba na vodotoku ožjem od dveh metrov, odvzetih največ točk.

V kriteriju ***Tip ureditve*** so točke podane na podlagi vrste obrežnega zavarovanja in njegovega vpliva na stanje voda in habitatov. V brežino ne posegamo z izvedbo vkopanega pasivnega zavarovanja, zato dobi največje število točk. V prihodnosti bo to obrežno zavarovanje sicer prevzelo funkcijo sonaravnega obrežnega zavarovanja, ampak bo hkrati omogočalo vodotoku več prostora v primerjavi z izvedbo klasičnega obrežnega zavarovanja. Sledijo manjša poseganja, mednje sodijo točkovne ureditve (jezbice, odbijači, traverze, rebra, usmerjevalni objekti...) brez vmesnih utrditev[7].

Pod sonaravna linijska zavarovanja spadajo vzdolžna zavarovanja izvedena z živimi gradivi (vrbovi potaknjenci, vrbovi popleti...), lesena zavarovanja (lesene oblice, plohi...), lesene kašte. Tip zavarovanja se določi z vidika obstojnosti glede na značilnosti vodotoka – npr. vrbovi popleti so bolj primerni na nižinskih vodotokih, kašte pa na hudourniških vodotokih. Te ureditve omogočajo prilagajanje terenu, razgibanost, razvoj mikrohabitatov, lateralno povezanost oziroma izmenjavo snovi med obrežnim pasom in vodnim okoljem.

Klasična vzdolžna ali linijska zavarovanja delimo na dve skupini. Prepustna zavarovanja (skalometi/kamnometi v suho, kamnite zložbe v suho...) so običajno bolj obstojna od sonaravnih zavarovanj, (še posebej na hudourniških vodotokih), ne zahtevajo pogostega poseganja v brežino za namene vzdrževanja in omogočajo vzpostavitev grmovne in drevesne zarasti. Smatra se, da zaraščena prepustna zavarovanja dolgoročno nimajo negativ-

Kriteriji za oceno sonaravnosti posega/ureditve:	**OBREŽNA VEGETACIJA (OV) - VZPOSTAVITEV**	
Kriterij	**Opis merila**	**Točke**
Način izvedbe (vzpostavitve obrežne vegetacije)	vzpostavitev obrežne vegetacije (OV) na brežini* in v obrežnem pasu (v širini 5 - 15 m)	3
	vzpostavitev obrežne vegetacije na brežini*	2
	vzpostavitev obrežne vegetacije na vrhu brežine	1
	vzpostavitve ni	-2
Sestava in razporeditev obrežne vegetacije	kompaktna/zvezna zasaditev značilne, kompleksne, avtohtone zeliščne, grmovne in drevesne obrežne vegetacije **	4
	nezvezna/nepovezana gručasta zasaditev avtohtonih zeliščnih, drevesnih ali grmovnih vrst	3
	zvezna zasaditev vrbovih potaknjencev**	2
	gručasta zasaditev vrbovih potaknjencev	1
	zasaditev posameznih avtohtonih drevesnih ali grmovnih vrst	0
	zasaditev lokalno neznačilne avtohtone obrežne vegetacije***	-1
	zatravitev	-2
	ni vegetacije	-3
Izvedba -DODATNE TOČKE za stanje voda in stanje habitatov	vzpostavitev/ohranitev strukture (stabilizacije) brežine	1/1,5
	vzpostavitev osenčenosti struge	1
	na eni strani/na obeh straneh	1/2
	zasaditev starejših/zrelejših sadik	1

* zasaditev na brežini se razume kot zasaditev na celotni brežini, vključno z vrhom brežine
** zvezna zasaditev ni linijska (parkovna) zasaditev, ampak gosta zasaditev v širokem pasu ali v povezanih gručah
*** neavtohtonih vrst se ne sadi

Slika 2: Kriteriji za ocenjevanje vzpostavitve obrežne vegetacije

6 Podatek je mogoče pridobiti iz ploskovnega podatkovnega sloja hidrografije.
7 V primeru vmesnih ureditev smo jih definirali kot linijsko obrežno zavarovanje.

nega vpliva na stanje voda in habitatov in se jih vrednoti z nič točkami. Sledijo neprepustna zavarovanja (kamnometi in skalometi v betonu, obrežni zidovi, betonske plošče, asfalt ...), ki so ocenjeni negativno.

Material se pri obrežnem zavarovanju vrednoti na enak način kot pri prečnem objektu (glej opis v poglavju Prečni objekti).

Vzpostavitev obrežne vegetacije

V kategorijo posegov Vzpostavitev obrežne vegetacije sodijo ukrepi, pri katerih se na novo vzpostavi obrežno vegetacijo, kjer je prej ni bilo.
V kriteriju ***Način izvedbe*** se točke dodeli na podlagi obsega vzpostavljene obrežne vegetacije na brežini in obrežnem pasu. Ureditvi, kjer je bila vzpostavljena obrežna vegetacija na celotni brežini in obrežnem pasu (5 - 15 m od vrha brežine upoštevajoč določila 14. člena ZV-1), se dodelili največje število točk. V primeru vzpostavitve vegetacije samo na vrhu brežine, se podeli najmanj točk. Nobeno merilo z vegetacijo ni negativno ocenjeno, ker ima prisotnost vegetacije pozitivno vlogo na stanje voda in habitatov. V primeru nevzpostavitve obrežne vegetacije, se ureditvi točke odvzame.

Za stanje voda in habitatov je pomembna predvsem ***Sestava in razporeditev obrežne vegetacije***. Največ točk tako dobijo primeri, kjer je prisotna zvezna (gosta) kompleksna zrela vegetacija, značilna za območje, sestavljena iz avtohtonih zeliščnih, grmovnih in drevesnih vrst. Podeljeno število točk je manjše, če se omenjeni sestav pojavlja sporadično oziroma gručasto. Enovrstne sestave dobijo še manj točk. Zaradi premajhnega pomena za stanje voda in habitatov z vidika vpliva na naravne procese, se zasaditev posameznih avtohtonih drevesnih in grmovnih vrst oceni nevtralno. Točke so odvzete primerom, kjer se za vzpostavitev vegetacije izvede le zatravitev, kjer se zasadi nelokalno avtohtono vegetacijo in kjer vegetacije ni.

Vzdrževanje obrežne vegetacije

V kategorijo posegov Vzdrževanje obrežne vegetacije sodijo primeri, kjer se izvaja vzdrževanje na obstoječi obrežni vegetaciji – upošteva se ohranjanje, dodatna zasaditev (obogatitev) in odstranjevanje obrežne vegetacije.

Pri kriteriju ***Način vzdrževanja*** se primerom ohranitve obstoječe in obogatitve (dosaditve) značilne, avtohtone vegetacije podelil največ točk. Ostalim ukrepom, ki zahtevajo poseganje v obrežno vegetacijo, se podelili manj točk. Točke se odvzamejo primerom redne sečnje ali košnje na eni ali obeh brežinah. Večja kot je pogostost in obseg sečnje oziroma košnje, večje je število negativnih točk. Izjemoma je redna košnja sprejemljiva v primeru prisotnosti invazivnih tujerodnih vrst.

Pri kategoriji Vzpostavitev obrežne vegetacije je kriterij ***Sestava in razporeditev obrežne vegetacije*** nadgrajen z dodatnimi kriteriji za ohranjanje obrežne zarasti. Ohranitev oziroma zvezna zasaditev značilne kompleksne avtohtone grmovne in drevesne obrežne vegetacije dobi največ točk. Ohranjene vegetacijske oaze in zaplate na območjih redne košnje imajo manjši pomen za stanje voda in habitatov, zato se jim pripiše manj točk, še manj pa v primeru ohranitev zaplat vrb in posameznih dreves in grmov. Točke so odvzete pri ohranjanju neznačilne oziroma neavtohtone vegetacije in zatravitvi.

Prečni profil

Obravnavane ureditve prečnega profila obsegajo fizične spremembe širine (širjenje, oženje) in globine (poglabljanje, zasutje) struge ter naklona brežine. Določili smo dodatna kriterija za primere izvedenih zavarovanja dna in brežine[8].

S kriterijem ***Način izvedbe*** se vrednoti obliko prečnega profila. Vzpostavitev naravne oblike prečnega profila, tako da se ga prepusti rečni dinamiki, prinaša največje število točk. Ostalim ureditvam, pri katerih je spremenjen prečni profil, se točke odvzamejo na podlagi povečanja obsega spremembe. Velikost spremembe prečnega profila je ocenjena na podlagi dolžine ureditve, upoštevajoč minimalne zahteve (prevajanje nizkih in srednjih pretokov). Velikim spremembam prečnega profila, kanaliziranju in zacevitvam je odvzetih največ točk.

Ker je velikost obremenitve zaradi spremembe prečnega profila odvisna od velikosti vodotoka, se točke za način izvedbe, podobno kot pri kategoriji Obrežno zavarovanje, kombinirajo z velikostnim razredom vodotoka (glej opis v poglavju Obrežno zavarovanje). Sprememba prečnega profila, izvedena na manjšem vodotoku predstavlja večjo obremenitev. Zato je primerom, kjer je izvedena večja sprememba na vodotoku ožjem od dveh metrov, odvzeto največje število točk.

S kriterijem ***Tip ureditve – dno*** se vrednoti ureditve dna. Ohranitvi in vzpostavitvi naravnega dna je

8 Kriteriji, ki so upoštevani pri ureditvah brežin so osnovani na kriterijih za tip ureditve obrežnih zavarovanj.

dodeljeno največ točk. Za lokalna, prepustna zavarovanja, ki so krajša od 10 metrov se smatra, da nimajo ali imajo minimalen negativen vpliv na stanje voda in habitatov, zato je ureditev ocenjena nevtralno. Ostalim ureditvam so točke odvzete, največ v primeru izvedbe neprepustnega zavarovanja dna, ne glede na dolžino.

V kriteriju ***Tip ureditve – brežina*** so merila prevzeta iz kriterijev za ocenitev primerov tipov ureditev brežin oziroma tipov obrežnih zavarovanj (glej opis v poglavju Specifični kriteriji).

Material se pri prečnemu profilu vrednoti na enak način kot pri prečnem objektu (glej opis v poglavju Prečni objekti).

Izvedba – dodatne točke za stanje voda in habitatov

Pri vsaki kategoriji se za ureditev upošteva kriterije za izvedbo. Omenjeni kriteriji prinesejo dodatne točke, če so pri izvedbi upoštevani ukrepi, namenjeni izboljšanju stanja voda in habitatov. Ukrepom, ki naslavljajo ohranitev stanja, pripada večje število dodatnih točk od vzpostavitve stanja, saj le-ta zahteva poseganje v prostor.

Obrežna vegetacija je s funkcionalnega vidika ključnega pomena za vodno telo, saj omogoča tvorjenje hidromorfoloških struktur in mikrohabitatov za vodne organizme. Poleg omenjenega ima številne druge funkcije (stabilizacija brežin, značilna obrežna zarast, senčenje vodotoka, vnos ustreznih hranil in organskih snovi, puferska cona, ki zadržuje vnos sedimenta in onesnaževal v vode ...). S tem namenom se največ možnih dodatnih točk pripiše posegom, ki lahko zajemajo ohranitev značilne obrežne vegetacije v največji meri.

Dodatne točke se podelijo v smiselnih kategorijah za vzpostavitev oziroma ohranitev mikrohabitatov in hidromorfoloških struktur. Pri vzpostavitvi hidromorfoloških struktur se ločeno obravnava izvedene hidromorfološke strukture[9] (na lokacijah, kjer se ne bi vzpostavile samostojno) z manj točkami in omogočanje procesne vzpostavitve hidromorfoloških struktur z več točkami.

Za izvedbo poglobljenih oziroma odprtih fug se dodelili najmanj dodatnih točk, saj gre za omilitveni ukrep z manjšo vlogo pri izboljšanju stanja voda in habitatov.

Pri posegih, ki naslavljajo vzpostavitev in vzdrževanje obrežne vegetacije, se dodatne točke pripišejo v primeru ohranjanja ali vzpostavitve strukture (stabilizacije) brežine in osenčenosti struge. V kolikor se pri posegih ohranjajo le posamezna drevesa ali grmi se dodatnih točk ne dodeli. Pri vzpostavitvi obrežne vegetacije se dodatne točke pridobi še v primeru vzpostavitve na obeh straneh vodotoka in zasaditve zrelejših oziroma starejših sadik.

Vzpostavitvam in rekonstrukcijam prečnih objektov dodatne točke prinaša tudi izvedba koncentracije toka (preliva) in podslapja (tolmuna).

Pri posegih, ki naslavljajo odvzem naplavin, se pri dodatnih točkah upošteva tudi ohranjanje prodišč, njihove zaraščenosti in začasno deponiranje materiala pred odvozom za namen prehoda vodnih organizmov nazaj v vodno okolje. Dodatne točke se podajo tudi, če je omogočeno naravno premeščanje[10] aktivnih naplavin.

Dodatno točko dobijo primeri urejanja prečnega profila, kjer je oblikovan dvojni profil, sestavljen iz širše struge za prevajanje pretoka Q500, znotraj katere se oblikuje naravna struga za manjše pretoke.

Zaključek

V okviru projekta LIFE-IP NATURA.SI so bili razviti kriteriji, ki vrednotijo sonaravnost ureditev in posegov, razdeljenih v šest kategorij (izgradnja ali rekonstrukcija prečnega objekta, odvzem naplavin, urejanje prečnega profila, izgradnja ali rekonstrukcija obrežnega zavarovanja, vzpostavitev obrežne vegetacije in vzdrževanje obrežne vegetacije). Cilj je, da bodo kriteriji, uporabljeni pri dopolnitvi splošnih usmeritev za izvajanje ureditev in posegov na vodah. Poleg tega bodo podlaga pri pripravi novih projektov oziroma investicij na vodah z oblikovanjem rešitev, ki upoštevajo okoljske cilje. Kriteriji bodo uporabljeni tudi pri vrednotenju sonaravnosti prihodnjih izvedenih ureditev oziroma posegov.

Tekom izdelave kriterijev se je hkrati vrednotil vpliv posegov na (ekološko) stanje voda (predvsem DRSV), stanje habitatov (predvsem ZRSVN) in stanje ribjih združb (predvsem ZZRS), kar pomeni, da se je pri vrednotenju hkrati zasledovalo vse ključne okoljske cilje, ki jih narekujejo vodna, habitatna in ptičja direktiva. Ugotovljeno je bilo, da

9 Vzpostavitev mikrohabitatov oziroma hidromorfoloških struktur z neznačilnimi umetnimi materiali (npr. betonska cev za ribja skrivališča) ureditvam ne prinaša dodatnih točk.

10 Naravno premeščanje se lahko omogoči s premikom naplavin na rob vodotoka, tj. na brežino, s katere jih visoke vode premestijo same.

je pri zasledovanju vseh ciljev ključnega pomena ohranjanje naravnih značilnosti vodotokov in njihovih naravnih hidromorfoloških procesov ter da mora biti slednje pri izvajanju ureditev upoštevano v največji možni meri. Običajno je pri izvedbi ureditev največja omejitev razpoložljivi prostor za izvedbo ureditve, ki vse prepogosto omogoča le izvedbo manjših izboljšav stanja voda in stanja habitatov. Tudi v tem primeru se načelo »vodi več prostora« izkazuje kot temeljnega pomena za izvajanje sodobnih, okoljsko sprejemljivih ureditev, skladnimi s kriteriji, določenimi v okviru predmetnega projekta.

Literatura

DRSV, 2022. Usmeritve za načrtovanje in izvajanje ureditev z vidika preprečevanja poslabšanja stanja vodotokov iz Priloge 6 Splošnih smernic s področja upravljanja z vodami. https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/DRSV/Dokumenti/Navodila_Smernice/2022/PRILOGA-6_jan-2022.pdf.

Habinc, M., Repnik, P. 2022. Izrazje s področja vodnih objektov, naprav in ureditev. DRSV, 2022, Ljubljana.

Repnik Mah, Habinc M., Petkovska V., Urbanič G. 2013. Katalog dobrih praks urejanja voda. IZVRS, 2013, Ljubljana.

Zakon o vodah (ZV-1) (Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 – ZZdrI-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15, 65/20, 35/23 – odl. US in 78/23 – ZUNPEOVE). http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO1244.

ZRSVN, 2020. Naravovarstvene usmeritve za namene podrobnejšega načrtovanja in izvajanja posegov na vodotokih voda na vodnih območjih Jadransko morje in Donave. https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/Voda/NUV/7f9fb06e94/Naravovarstvene_usmeritve_VO_Donava.pdf. https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/Voda/NUV/3db745017b/Naravovarstvene_usmeritve_VO_Jadransko_morje.pdf.

ZZRS, 2020. Smernice ZZRS pri načrtovanju posegov v vodotoke. https://www.zzrs.si/blog/smernice-zzrs-pri-nacrtovanju-posegov-v-vodotoke.

VPLIV OBDELAVE TAL NA VSEBNOST VODE V TLEH V SUŠNI RASTNI DOBI V POVODJU PESNICE IN VIPAVE

Matic Noč, mag. med. fiz.,
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana

Urša Pečan, mag. inž. agr.,
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana

doc. dr. Vesna Zupanc, univ. dipl. inž. agr., mag. hidr. zn.,
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana

Jure Ferlin, dipl. inž. agr. (UN),
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana

doc. dr. Matjaž Glavan, univ. dipl. inž. agr.,
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana

Timotej Horvat, univ. dipl. inž. agr., Kmetijsko gozdarski zavod Maribor

Davor Mrzlić, univ. dipl. inž. agr., Kmetijsko gozdarski zavod Nova Gorica

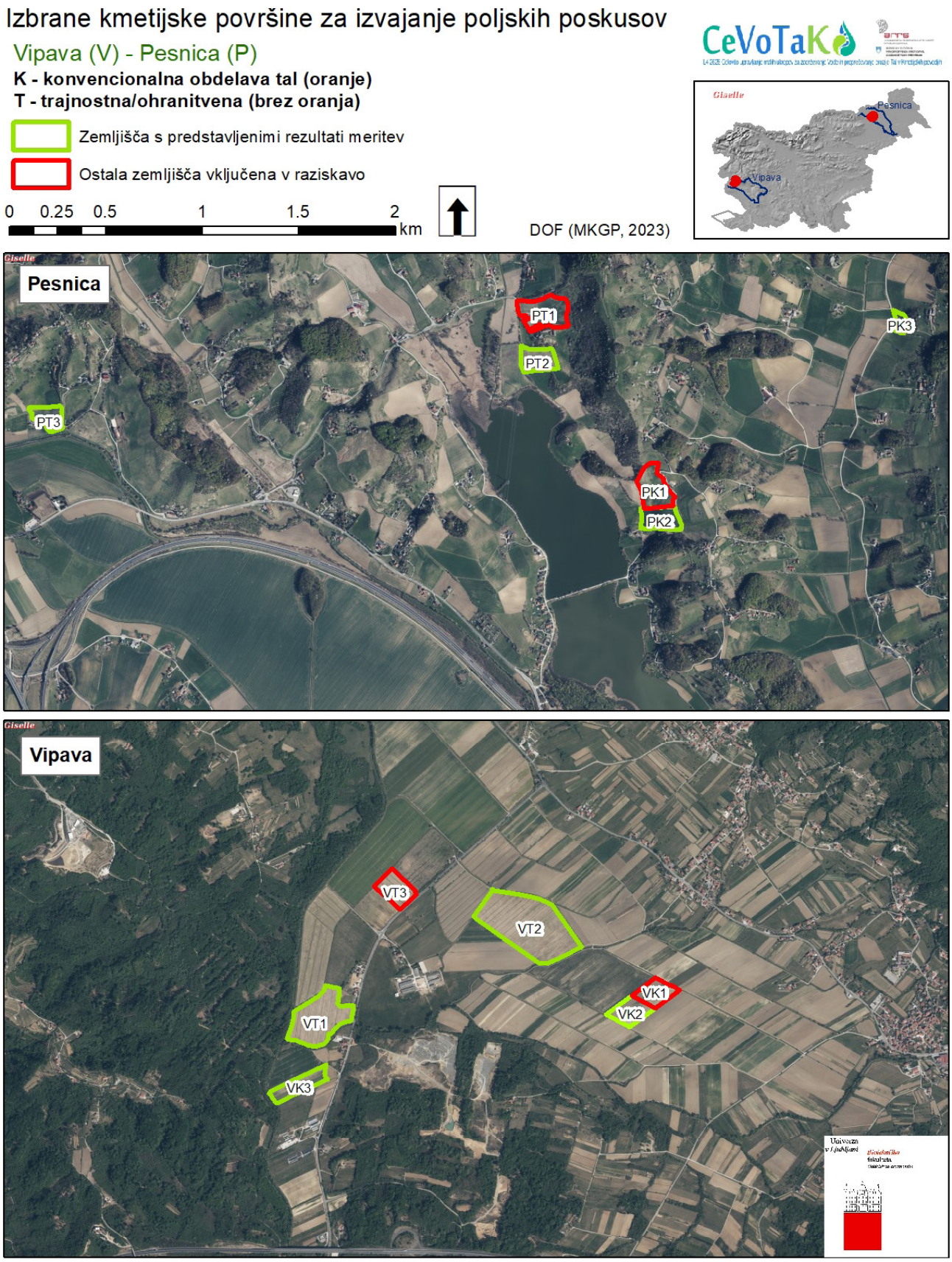
prof. dr. Marina Pintar, univ. dipl. inž. agr.,
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana

Povzetek

Različni načini obdelave tal, kot sta konvencionalno oranje in ohranitvena obdelava z minimalno obdelavo, vplivajo na fizikalne lastnosti tal, kot je sposobnost tal za zadrževanje vode. V povodjih reke Vipave in Pesnice smo med dvema rastnima dobama, na treh globinah, spremljali vsebnost vode v tleh z različno obdelavo tal. Povodji se med seboj razlikujeta v času trajanja ohranitvene obdelave in izrazitosti suše med rastno dobo, pri čemer je bilo povodje Vipave bolj sušno. Zaradi primerjave vpliva obdelave tal na vsebnost vode na njivah z različnimi talnimi lastnostmi smo na podlagi vsebnosti gline in vsebnosti vode pri poljski kapaciteti in točki venenja določili primerljive pare v posameznem povodju. Poteki vsebnosti vode v tleh po primerljivih parih, ne glede na globino meritev, ne kažejo izrazitih razlik v vsebnosti vode, odvisne od obdelave tal. Pri drugem paru v povodju Vipave je vsebnost vode višja pri ohranitveno obdelanih tleh, kar pa pripisujemo napajanju te površine z vodo iz dveh mejnih potokov.

Uvod

Med pomembnejše načine upravljanja s kmetijskimi zemljišči uvrščamo različne sisteme obdelave tal, kot so konvencionalna obdelava (*conventional tillage*), sistem minimalne obdelave (*minimal tillage*) in sistem neposredne setve brez predhodne obdelave tal (*no-tillage*). Minimalna ob-



Slika 1: Lokacije njiv z različno obdelavo tal v povodju Vipave in Pesnice. Z zeleno so označeni izbrani pari s podobnimi talnimi lastnostmi.

delava in sistem setve brez predhodne obdelave imata nadpomenko ohranitvena obdelava tal (Busari in sod., 2015). Pri ohranitveni obdelavi tal se rastlinske ostanke ohranja na površju, kar v času privede do razslojenosti vsebnosti organskega ogljika po profilu tal. Pod površjem je organskega ogljika največ in z globino pada (Deiss in sod., 2021; López-Fando in Pardo, 2011). Sloj z višjo vsebnostjo organskega ogljika ima boljšo strukturo, kar pozitivno vpliva na sposobnost zadrže-

vanja vode v tleh (Stockfisch in sod., 1999). Zaradi spremenjene obdelave tal prihaja tudi do drugih sprememb v fizikalnih lastnostih tal, kot so gostota, poroznost in hidravlična prevodnost (Kahlon in sod., 2013; Miller in sod., 1998), ki prav tako vplivajo na zadrževanje vode v tleh.

Namen raziskave je ugotavljanje razlik v zveznih meritvah vsebnosti vode v tleh, odvisne od načina obdelave tal (ohranitvena in konvencionalna), na izbranih lokacijah v povodju Vipave in Pesnice.

Materiali in metode

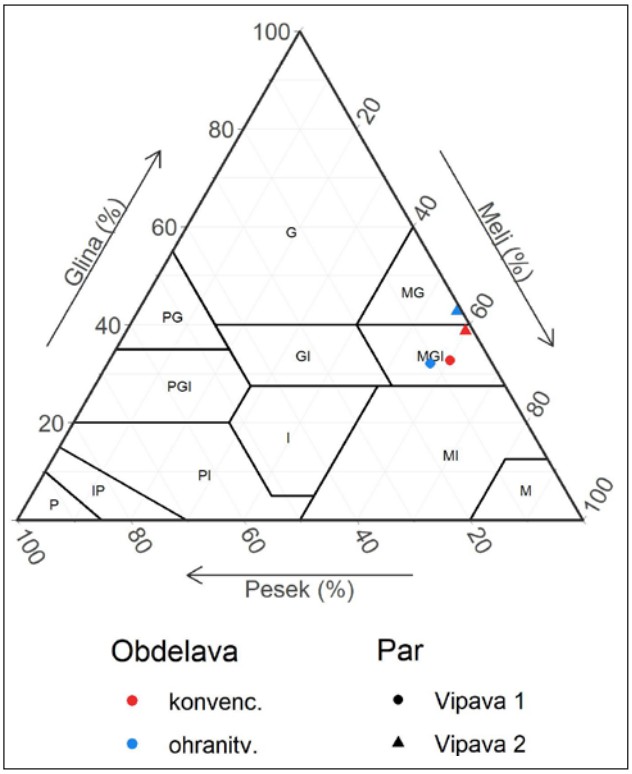
V povodjih reke Vipave in Pesnice smo izbrali konvencionalno in ohranitveno obdelane njive s podobnimi talnimi lastnostmi (Slika 1). Pri konvencionalno obdelanih njivah se oranje izvaja na globini od 22 do 27 cm, pri ohranitveni se obdeluje do 10 cm. Obravnavane lokacije v povodju Vipave so v ohranitvenem sistemu obdelave že od leta 2010. Lokacije ohranitvene obdelave povodja Pesnice pa le od leta 2020, kar pomeni, da gre bolj za prehodno obdobje med različnima načinoma obdelave tal. V rastni dobi 2021 se je na vseh poskusnih površinah med majem in oktobrom gojila koruza, sledila je setev ozimne pšenice, ki je bila požeta v juliju 2022. Po pšenici se je v povodju Vipave posejalo oljno ogrščico in v povodju Pesnice deteljno travno mešanico (DTM).

Na vsaki njivi smo na reprezentativno mesto na tri globine vgradili merilnike vsebnosti vode v tleh. Na vsako globino (15 cm, 30 cm in 50 cm) smo vgradili po en merilnik SM150T (Delta-T Devices, Cambridge, UK), ki omogoča zvezne meritve vsebnosti vode v tleh. Uporabili smo privzeto tovarniško umeritveno funkcijo za mineralna tla (Delta-T Devices, 2016). Merilno opremo smo vgradili konec junija oziroma v začetku julija 2021. Pred oranjem smo v jesenskem obdobju (oktober) merilnike na konvencionalno obdelanih tleh na globini 15 cm odstranili in jih po oranju namestili nazaj. Maja 2022 smo na lokacijah v povodju Vipave na vsaki globini meritev dodali še dva merilnika vsebnosti vode v tleh. Meritve so se v 5-minutnih časovnih intervalih samodejno izvajale in beležile na shranjevalnik podatkov s prenosom na spletni vmesnik. Zaradi občasnih težav z elektroniko smo nelogične vrednosti vsebnosti vode odstranili. Za analizo smo uporabili dnevne povprečne vrednosti vsebnosti vode in dnevno vsoto padavin.
Krivuljo vodozadrževalnih lastnosti tal smo, za območje od skorajšnje nasičenosti do matričnega potenciala okoli −100 kPa, določili na neporušenih vzorcih tal, v laboratoriju, z metodo evaporacije (komercialno ime HYPROP, METER Group, Washington, USA). Poljsko kapaciteto (PK) smo določili kot vsebnost vode pri matričnem potencialu −33 kPa. Točko venenja (TV) smo določili kot vsebnost vode pri matričnem potencialu −1500 kPa. TV smo določili na porušenih vzorcih z uporabo tlačne posode (ISO 11274, 1998). Masne odstotke vsebnosti vode v tleh smo pomnožili z gostoto tal, da smo izračunali volumske vsebnosti vode v tleh.

Rezultati in razprava

Povodje Vipave

Različne talne lastnosti vplivajo na sposobnost tal za zadrževanje vode, pri tem je še posebej pomembna tekstura tal (Saxton in sod., 1986). Na podlagi teksture (Slika 2) in vodozadrževalnih lastnosti tal smo za primerljivost vsebnosti vode v tleh med različnima načinoma obdelave tal naredili primerjave za pare s podobno vsebnostjo gline in podobnimi vsebnostmi vode pri PK in TV.



Slika 2: Teksture tal za 30 cm sloj tal primerljivih parov z različno obdelavo tal v povodju Vipave

Prvi par z različno obdelavo tal v povodju Vipave ima enako vsebnost gline (konvencionalna 32,7 % in ohranitvena 32,1 %) in podobne vsebnosti vode pri PK in TV na globini 15 cm, na 30 cm površina pod konvencionalno obdelavo zadrži več vode pri PK in manj pri TV. Pri drugem paru ima oh-

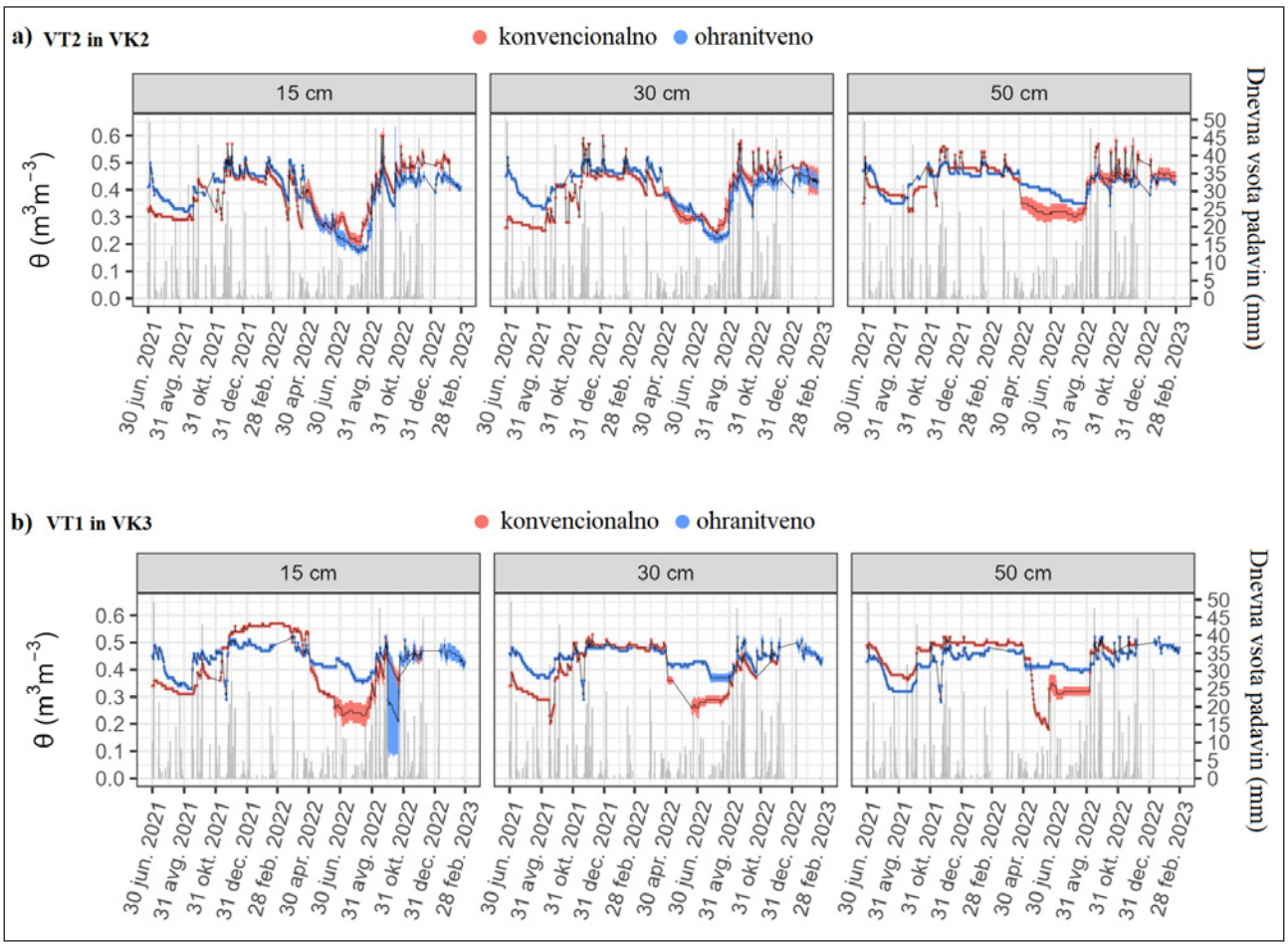
Preglednica 1: Teksturni razred (TRZ) in vsebnost gline za prvih 30 cm ter vsebnost vode pri poljski kapaciteti (PK) in točki venenja (TV) na 15 cm in 30 cm za para z različno obdelavo tal v povodju Vipave

Povodje	ID	Obdelava	0 – 30 cm		15 cm		30 cm	
			TRZ	Glina (%)	PK (m^3 m^{-3})	TV (m^3 m^{-3})	PK (m^3 m^{-3})	TV (m^3 m^{-3})
Vipava 1	VK2	konvenc.	MGI	32,7	0,43	0,25	0,47	0,22
	VT2	ohranitv.	MGI	32,1	0,40	0,26	0,40	0,29
Vipava 2	VK3	konvenc.	MGI	38,7	0,42	0,27	0,43	0,26
	VT1	ohranitv.	MG	42,8	0,41	0,27	0,42	0,26

ranitveno obdelana površina nekoliko višjo vsebnost gline (42,8 %) kot konvencionalno obdelana (38,7 %), vendar imata zelo podobni vsebnosti vode pri PK in TV na obeh globinah (Preglednica 1).

Rastna doba 2022 v povodju Vipave je bila izjemno sušna. Vsota referenčne evapotranspiracije (ET_0) od maja do vključno avgusta za meteorološko postajo Bilje je 632,3 mm (ARSO, 2023), medtem ko je izmerjena vsota padavin za izbrano obdobje le 171,6 mm.

Zvezne meritve vsebnosti vode v tleh pri prvem paru (VT2, VK2) z različno obdelavo tal in primerljivo teksturo kažejo, da je takoj po vgradnji merilnikov med delom rastne dobe 2021 (julij – oktober) vsebnost vode višja pri ohranitveno obdelanih tleh na globinah 15 cm in 30 cm. Med rastno dobo 2022 (april – oktober) pa na omenjenih globinah ne opazimo večjih razlik v dnevnih vsebnostih vode v tleh. V času junij 2022 na globini 15 cm opazimo nekoliko višjo vsebnost vode na konvencionalno obdelanih tleh kot na ohranitveno obdelanih tleh. Na 50 cm so vsebnosti vode med rastno dobo 2021 na njivah z različno obdelavo tal podobne. Med rastno dobo 2022 smo zaznali nekoliko višjo vsebnost vode na ohranitveni površini (Slika 3a).

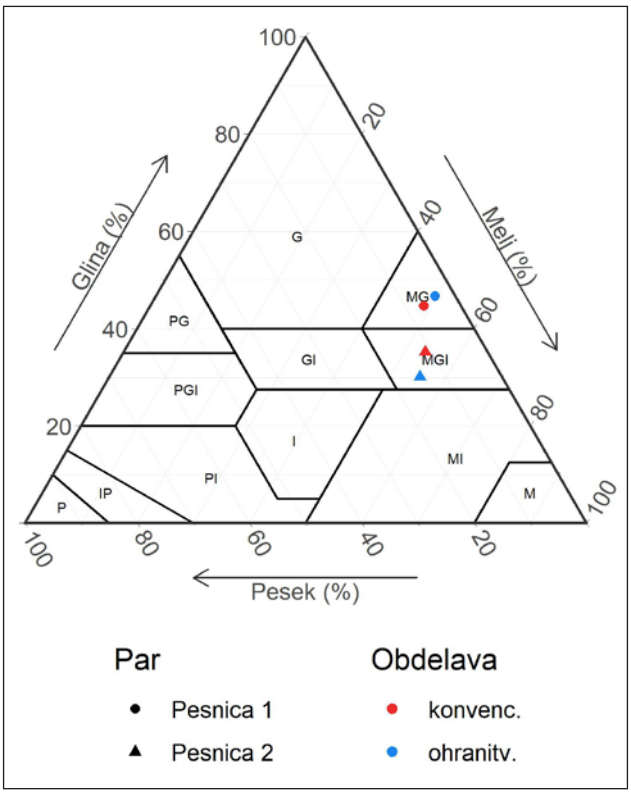


Slika 3: Dnevne meritve vsebnosti vode v tleh (θ) ± SE treh tehničnih ponovitev ter dnevna vsota padavin za primerljiva para z različno obdelavo tal v povodju Vipave, prikazano po globinah meritev

Pri drugem primerljivem paru (VT1 in VK3) v povodju Vipave kaže, da je na vseh globinah vsebnost vode med rastno dobo 2022 višja pri ohranitveno obdelanih tleh. Rastna doba 2022 v povodju Vipave je bila izjemno sušna. Zaradi majhne količine padavin in visoke ET_0 med rastno dobo 2022 je nenavadno, da ima ohranitveno obdelana površina drugega para tako visoke vsebnosti vode v tleh (kljub težki teksturi tal). V najbolj sušnem obdobju vsebnost vode ni bila manjša od 0,35 m^3 m^{-3}, kar je med 0,05 in 0,10 m^3 m^{-3} nad TV (Preglednica 1). Ohranitveno obdelano površino na dveh straneh obdajata dva potoka, zaradi česar sklepamo, da se tla poleg padavin napajajo tudi z vodo iz potokov preko kapilarnega srka (Slika 3b).

Povodje Pesnice

Vse lokacije iz povodja Pesnice imajo prav tako težko teksturo z visoko vsebnostjo gline (Slika 4)



Slika 4: Teksture tal za 30 cm sloj tal, primerljivih parov z različno obdelavo tal v povodju Pesnice

kot v Vipavi. Prvi primerljiv par z različno obdelavo tal ima zelo podobno vsebnost gline (konvencionalna 48,7 % in ohranitvena 49,7 %) ter vsebnosti vode pri PK in TV na obeh globinah. Drugi par ima še višjo vsebnost gline, konvencionalna (53,7 %) in ohranitvena obdelava (55,3 %) ter prav tako podobne vsebnosti vode pri PK in TV (Preglednica 2).

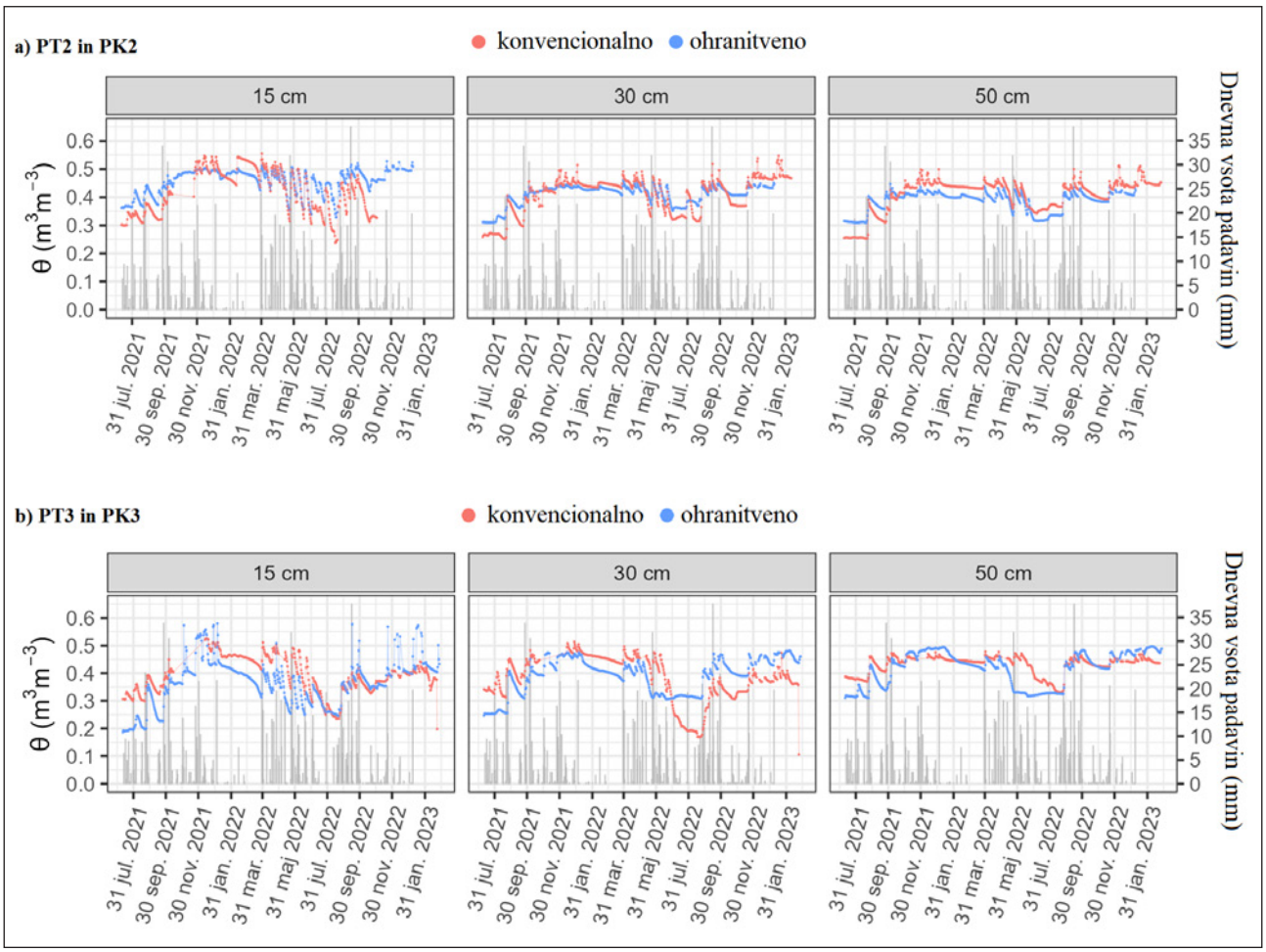
V povodju Pesnice je bila vsota ET_0 od maja do vključno avgusta 2022 za meteorološko postajo Maribor 550,0 mm (ARSO, 2023) in vsota količine padavin za isto obdobje 347,8 mm, kar kaže na manj izrazito pomanjkanje vode kot v povodju Vipave. Tekom celotnega merilnega obdobja (julij 2021 do februar 2023) meritve vsebnosti vode v tleh prvega primerljivega para, ne glede na globino meritev, ne kažejo večjih razlik v vsebnosti vode glede na različno obdelavo tal. Razlike v rastni dobi na 15 cm so v območju 0,10 m^3 m^{-3}, kar je primerljivo prostorski variabilnosti podatkov, ki smo jo zaznali na povodju Vipave (Slika 5a).

Pri drugem primerljivem paru na globini 15 cm, prav tako nismo zaznali večjih razlik v poteku vsebnosti vode v tleh. Na globini 30 cm je vsebnost vode pri konvencionalni obdelavi prvi del rastne dobe 2022 višja kot pri ohranitveni in drugi del rastne dobe nižja. Na 50 cm pa je večino rastne dobe 2022 vsebnost vode na konvencionalno obdelani površini višja kot na ohranitveno obdelani (Slika 5b).

Učinki različnih načinov obdelave tal na vsebnost vode v tleh in sposobnost tal za zadrževanje vode, so si pogosto nasprotujoči. Razlike v rezultatih so posledica različnih pedoklimatskih razmer lokacij poskusov, časa trajanja takšnega načina obdelave tal in različnega upravljanja ohranitvenih površin oziroma pojmovanja ohranitvene obdelave, ki je pogosto neizenačen med različnimi poskusi (Derpsch in sod., 2014; Skaalsveen in sod., 2019). V naši raziskavi različna obdelava tal ni pomembno vplivala na dnevne vsebnosti vode v tleh. A kljub temu smo po koncu poskusa opazili razlike v ocenjenih količinah pridelka. Pridelek koruze (2021) v povodju Vipave je bil na obeh konvencionalno obdelanih njivah okoli 10 t/ha in na ohranitveno obdelanih le 6 t/ha, medtem ko je bil pridelek pšenice (2022) na konvencionalnih

Preglednica 2: Teksturni razred (TRZ) in vsebnost gline za prvih 30 cm ter vsebnost vode pri poljski kapaciteti (PK) in točki venenja (TV) na 15 cm in 30 cm za para z različno obdelavo tal v povodju Pesnice

Povodje	ID	Obdelava	0 – 30 cm		15 cm		30 cm	
			TRZ	Glina (%)	PK (m^3 m^{-3})	TV (m^3 m^{-3})	PK (m^3 m^{-3})	TV (m^3 m^{-3})
Pesnica 1	PK2	konvenc.	MG	48,7	0,43	0,27	0,47	0,22
	PT2	ohranitv.	MG	49,7	0,41	0,27	0,45	0,28
Pesnica 2	PK3	konvenc.	MGI	53,7	0,43	0,21	0,43	0,32
	PT3	ohranitv.	MGI	55,3	0,41	0,18	0,41	0,34



Sliki 5a in 5b: Dnevne meritve vsebnosti vode v tleh (θ, $m^3\ m^{-3}$) ter dnevna vsota padavin (mm) za primerljiva para z različno obdelavo tal v povodju Pesnice prikazano po globinah meritev (15, 30 in 50 cm)

površinah 6 t/ha in na ohranitvenih 3,5 t/ha. V povodju Pesnice je bil pridelek koruze (2021) na konvencionalno obdelanih površinah 15,5 t/ha in na ohranitveno obdelanih 14,3 t/ha ter pridelek pšenice (2022) na konvencionalnih 8,3 t/ha in na ohranitvenih 7,5 t/ha. Razlik v količini pridelka ne moremo pripisati razlikam v vsebnosti vode v tleh, vendar so posledica drugih upravljavskih praks.

Sklepi

Med julijem 2021 in februarjem 2023 smo na osmih lokacijah z različno obdelavo tal zvezno merili vsebnost vode v tleh na treh globinah (15 cm, 30 cm in 50 cm). Meritve smo izvajali v povodju Vipave in Pesnice, ki se med seboj razlikujeta v času trajanja ohranitvene obdelave (Vipava od 2010; Pesnica od 2020) in izrazitosti suše med rastno dobo 2022, pri čemer je bilo povodje Vipave bolj sušno. Različne talne lastnosti vplivajo na sposobnost tal za zadrževanje vode, pri tem je še posebej pomembna tekstura tal. Zato smo za primerjavo vpliva obdelave tal na njivah določili primerljive pare na podlagi vsebnosti gline ter primerjali laboratorijsko določene vsebnosti vode pri PK in TV. Poteki vsebnosti vode v tleh po primerljivih parih ne glede na globino meritev ne kažejo izrazitih razlik v vsebnosti vode, odvisne od obdelave tal. Pri drugem paru v povodju Vipave je vsebnost vode višja pri ohranitveno obdelanih tleh, kar pa pripisujemo napajanju te površine z vodo iz dveh mejnih potokov.

Literatura

ARSO. 2023. Agencija RS za okolje. Opazovani in merjeni meteorološki podatki po Sloveniji. http://meteo.arso.gov.si/met/sl/ (2. jun. 2023)

Busari M. A., Kukal S. S., Kaur A., Bhatt R., Dulazi A. A. 2015. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. International Soil and Water Conservation Research, 3: 119–129, https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.05.002

Deiss L., Sall A., Demyan M. S., Culman S. W. 2021. Does crop rotation affect soil organic matter stratification in tillage systems? Soil and Tillage Research, 209: 104932, https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104932

Delta-T Devices. 2016. User manual for the SMT150T soil moisture sensor. Delta-T Devices Ltd., Cambridge. Velika Britanija: 56 str.

Derpsch R., Franzluebbers A. J., Duiker S. W., Reicosky D. C., Koeller K., Friedrich T., Sturny W. G., Sá J. C. M., Weiss K. 2014. Why do we need to standardize no-tillage research? Soil and Tillage Research, 137: 16–22, https://doi.org/10.1016/j.still.2013.10.002

ISO 11274. Soil quality – Determination of the water-retention characteristic – Laboratory methods, 1998: 20 str.

Kahlon M. S., Lal R., Ann-Varughese M. 2013. Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. Soil and Tillage Research, 126: 151–158, https://doi.org/10.1016/j.still.2012.08.001

López-Fando C., Pardo M. T., 2011. Soil carbon storage and stratification under different tillage systems in a semi-arid region. Soil and Tillage Research, 111: 224–230, https://doi.org/10.1016/j.still.2010.10.011

Miller J. J., Kokko E. G., Kozub G. C. 1998. Comparison of porosity in a Chernozemic clay loam soil under long-term conventional tillage and no-till, Can. J. Soil. Sci., 78: 619–629, https://doi.org/10.4141/S97-073

Saxton K. E., Rawls W. J., Romberger J. S., Papendick R. I. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Science Society of America Journal, 50: 1031–1036, https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000040039x

Skaalsveen K., Ingram J., Clarke L. E. 2019. The effect of no-till farming on the soil functions of water purification and retention in north-western Europe: A literature review. Soil and Tillage Research, 189: 98–109, https://doi.org/10.1016/j.still.2019.01.004

Stockfisch N., Forstreuter T., Ehlers W. 1999. Ploughing effects on soil organic matter after twenty years of conservation tillage in Lower Saxony, Germany. Soil and Tillage Research, 52: 91–101, https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00063-X

PRILAGODITEV PRIDELAVE POLJŠČIN NA KLIMATSKE SPREMEMBE IN VAROVANJE TAL

Marko Černe, univ.dipl.inž.agr., KGZS Zavod Ptuj, Ormoška cesta 28, 2250 Ptuj

Povzetek

V kmetijski pridelavi se iz leta v leto srečujemo z izrazitejšimi podnebnimi spremembami, ki se izražajo predvsem v višjih povprečnih letnih temperaturah, vročih in suhih poletjih, milejših zimah brez oziroma z malo snežnimi padavinami in večji pogostosti ekstremnih vremenskih dogodkov (močni nalivi z obilo padavinami, vetrovi, poplave, suše, itd.). V nekaterih kmetijskih panogah, npr. pri pridelavi zelenjave pridelava brez namakanja ni možna, pogosto pa se pri kmetih in tudi strokovni javnosti poraja dvom glede smiselnosti namakanja poljščin. V projektu z naslovom »Prilagoditev pridelave poljščin na klimatske spremembe in varovanje tal« tako obravnavamo namakanje poljščin ob hkratnem varovanju tal, obenem pa poskušamo tudi dvigniti zavedanje o vlogi in pomenu namakanja pri pridelavi poljščin.

Uvod

Z uporabo ustreznih kmetijskih praks in spremljevalnih rešitev lahko dosežemo učinkovitejšo rabo vode v pridelavi poljščin, kar vpliva pozitivno tudi na okolje. Vzpostavljanje in reguliranje ugodnega vodnega režima je ob upoštevanju klimatskih in talnih razmer ter ob različnih agrotehničnih ukrepih ključno za uspešno in gospodarno kmetijsko pridelavo. Poraba vode za namakanje mora biti usklajena s potrebami rastlin v vseh fazah njihovega razvoja za doseganje visokih in kakovostnih pridelkov poljščin. Projekt EIP Prilagoditev pridelave poljščin na klimatske spremembe in varovanje tal se izvaja v okviru podukrepa 16.5: Podpora za skupno ukrepanje za blažitev podnebnih sprememb ali prilagajanje nanje ter za skupne pristope k okoljskim projektom in stalnim okoljskim praksam. Podukrep je financiran iz sredstev EU in sredstev iz Programa razvoja podeželja RS za obdobje 2014-2020 oz. 2022.

Vsebina projekta

Ugotavljamo, da se v praksi večino kmetijskih zemljišč namaka dokaj nesistematično in nenačrtovano, saj se pogosto rastline namaka prepozno, ko so rastline že v sušnem stresu in pomanjkanje vode že vpliva na pridelek. Pogosto se namaka tudi s preveliko količino vode, kar vpliva na slabše stanje pridelka (bolezni, občutljivost) ali s premalo vode (nižji in manj kakovostni pridelki), občasno tudi prehitro. Ob strokovnem namakanju povečujemo proizvodno sposobnost kmetijskih zemljišč, ob tem varujemo okolje, ohranjamo habitate, vežemo ogljik v tleh in preprečujemo erozijo tal, izpiranje hranil ter sredstev za varstvo rastlin v podtalnico.

Pri uveljavljanju namakanja je pomembna ekonomika namakanja, zato v projektu natančno spremljamo stroške in koristi namakanja za pridelavo naših najpogostejših poljščin (koruza, žita, krompir, krmne rastline, soja) na podlagi realnih podatkov iz praktičnih preizkusov.

Kmetijstvo pogosto označujejo za velikega onesnaževalca zraka z emisijo ogljikovega dioksida. Potrebno se je zavedati, da pa kmetijstvo na drugi strani rešuje problem, saj humus, ki se razvije iz organske snovi, veže CO_2 (po avstrijskih študijah bi naj 1% humusa vezal od 45-50t/ha CO_2), tako da z višanjem deleža organske snovi v tleh zagotavljamo rodovitna in biotsko pestra tla za naslednje generacije.

Z namakanjem v kmetijstvu zmanjšujemo oziroma se prilagajamo na spremenjene podnebne razmere. Kmetijsko pridelavo in namakanje opredeljujeta odnosa tla-voda in rastlina-voda. Oba odnosa sta povezana z naravno danostjo, t.j. z vremenskimi razmerami na določenem področju v posamezni rastni sezoni. Kmetje, ki že namakajo svoja polja potrebujejo strokovne podlage (tla, voda, podnebje, rastlina) za namakanje poljščin na podlagi realnih terenskih meritev. Tistim kmetom, ki še dvomijo v korist namakanja poljščin, pa bodo rezultati projekta v pomoč pri bodočih odločitvah za namakanje.

V projektu obravnavamo štiri različne sklope, *prvič*, izboljšanje praks namakanja poljščin z uvajanjem daljinskega zaznavanja, *drugič,* vpliv obdelave tal na zadrževanje vode v tleh, *tretjič,* vpliv namakanja na izpiranje nitratov v podtalnico, in *četrtič*, ohranjanje biotske pestrosti na kmetijskih površinah.

Sklopi projekta se medsebojno prepletajo in dopolnjujejo.

Na vseh partnerskih kmetijah se izvajajo naslednje aktivnosti:

- analiza tal,
- vzpostavitev vremenskih postaj za spremljanje vremena in napovedovanje namakanja,
- spremljanje stanja vlažnosti tal s senzorji in
- ugotavljanje ekonomske učinkovitosti namakanja posameznih kultur poljščin.

Slika 1: Talni profil na poskusnem polju projekta, avtor: Marko Černe

Izboljšanje praks namakanja kmetijskih površin z uvajanjem daljinskega zaznavanja

Namakanje je najvišja oblika kmetijske pridelave. Z namakanjem uravnavamo naravni vir – vodo, ki jo umetno dodajamo rastlinam takrat, ko jo primanjkuje za njihovo rast in razvoj. S tem omogočamo ali povečamo kakovosten pridelek in izboljšujemo potencial kmetijskih zemljišč. Neustrezno in nestrokovno namakanje ima precej nezaželenih posledic. S preveliko količino vode ob neprimernem času lahko izpiramo hranila v podtalnico in uničujemo strukturo tal. S strokovnim in načrtovanim pristopom pri namakanju pa lahko v znatni meri omejimo in zmanjšamo neželene vplive kmetijske pridelave na okolje (tla, vode, biotsko raznovrstnost).

V praksi se večino kmetijskih zemljišč namaka nesistematično in nestrokovno, saj uporabnikom namakalnih sistemov primanjkuje znanja in tudi primernih sredstev za učinkovito napovedovanje in strokovno podprto namakanje. V sodobnem kmetijstvu je v porasti tudi uporaba brezpilotnih letalnikov, t.i. dronov. V Sloveniji so prakse uporabe le-teh skoraj nične. Cilj v projektu je tudi preizkusiti uporabnost dronov za daljinsko zaznavanje potreb rastlin po namakanju.

Na kmetijah smo na izbrani poskusni površini naredili analizo tal in analizo talnega profila. S tem smo pridobili podatke o lastnosti tal, ki so pomembni pri napovedovanju namakanja.

Tla imajo različne sposobnosti za zadrževanja vode, kar je v veliki meri odvisno od teksture tal. Težja tla z višjim deležem gline zadržujejo višji odstotek vode, voda je vezana z močnejšimi silami in tla so manj občutljiva na pomanjkanje vode. Srednje težka tla sicer vežejo vodo dokaj močno, a dovoljujejo tudi gibanje vode po talnem profilu navzdol. Lahka tla imajo slabšo sposobnost za zadrževanje vode, voda ni močno vezana na talne delce, taka tla so zelo občutljiva na pomanjkanje vode. V projektu so zajeti praktično vsi tipi tal od zelo lahkih do težkih tal.

Na poskusnih parcelah smo prav tako postavili vremensko postajo za spremljanje osnovnih vremenskih parametrov: padavin, povprečne temperature, zračne vlage, sončnega sevanja in vetra.

V poskusu s krmno rastlino lucerno imamo štiri obravnavanja različnih kombinacij namakanja in gnojenja posevka z dušikom. S tem bomo pridobili podatke iz katerih bomo lahko analizirali količino pridelka in ekonomsko upravičenost namakanja v povezavi z gnojenjem z dušičnimi gnojili. Prav tako smo po spravilu opravili analizo krme, saj nas zanimajo tudi razlike po obravnavanjih v kakovosti krme. Tudi za ta del bo opravljena ekonomska analiza, saj nas zanima ekonomska upravičenost namakanja in gnojenja posevka z dušikom v povezavi s končno kakovostjo krme.

Na poskusnem polju bomo tudi uporabili dron in izdelali karto potreb rastlin po vodi in pridobljene rezultate potreb po namakanju primerjali s podatki iz vremenske postaje.

Vpliv obdelave tal na zadrževanje vode v tleh in izboljšanje proizvodnega potenciala tal

Številni strokovnjaki ugotavljajo, da način obdelave tal v kmetijstvu pomembno vpliva na različne funkcije tal. Med drugim način obdelave vpliva na sposobnost zadrževanja vode v tleh. To hipotezo bomo preizkusili na enem od kmetijskih gospodarstev, kjer se ukvarjajo s spremenjeno tehnologijo obdelave tal (konzervirajoča obdelava tal). Na kmetiji imajo že več let vzpostavljen poskus, kjer na eni parceli obdelujejo tla po treh različnih sistemih: klasična obdelava (oranje), konzervirajoča obdelava tal in tla brez obdelave.

Na poskusnih parcelah spremljamo podatke o stanju vlage v tleh. Iz pridobljenih podatkov bomo opravili ekonomsko upravičenost namakanja na posameznih načinih obdelave tal in upravičenost namakanja kulture (merjenje količine pridelka), ki bo v času projekta prisotna na parceli. Prav tako bomo spremljali stanje količine vode v tleh s senzorji in opravili primerjavo med različnimi načini obdelave tal.

Slika 2: Namestitev vremenske postaje, avtor M.Č.

Slika 3: Nameščeni senzorji za spremljanje stanja vlažnosti tal, avtor M.Č.

Vpliv namakanja na izpiranje nitratov v podzemne vode na vodovarstvenih območjih

V zadnjih nekaj letih so izrazite podnebne spremembe vplivale tudi na izpiranje nitratov v podzemne vode. Pojavljajo se daljša sušna obdobja, ki jih kmetje neprimerno izkoriščajo za gnojenje z dušičnimi gnojili, nato pa nastopi obdobje močnih nalivov, kjer gojene rastline, predvsem tiste, sejane v presledni setvi, ki puščajo več nepokritega prostora na tleh, niso sposobne porabiti in zadržati vsega dušika in se ta izpira v podzemne vode.

V poskusu želimo pridobiti podatke o količini izpranih nitratov v podzemne vode, ob stalnem namakanju koruze. Zanima nas, ali je izpiranje nitratov tako manjše. Na poskusnih parcelah smo opravili analizo tal, namestili vremensko postajo, kar predstavlja podlago za napovedovanje namakanja. Na poskusni parceli, kjer se prideluje naša najbolj razširjena poljščina koruza smo vzpostavili štiri obravnavanja glede namakanja in gnojenja z dušikom.

S pomočjo senzorjev za meritve vlage v tleh ugotavljamo stanje vlažnosti tal in potrebe po namakanju za posamezne vrtnine in poljščine.

Sončne celice za napajanje senzorjev za meritve vlažnosti tal, avtor M.Č.

Pri vseh obravnavanjih bomo natančno s pomočjo GPS sistema določili točke na posameznih obravnavanjih, kjer bomo na globinah 30, 60 in 90 cm spremljali izpiranje nitratov v podzemne vode. Termini vzorčenja bodo različni. Za vsa obravnavanja bomo vzpostavili terminski plan v različnih fazah rasti koruze. Na vseh obravnavanjih bomo vzorčenje opravili trikrat, s tremi ponovitvami.

Ob količini izpranih nitratov bomo prav tako merili pridelek po posameznih obravnavanjih in ekonomsko ovrednotili upravičenost namakanja koruze.

Ohranjanje biotske raznovrstnosti in spremljanje količine organske snovi v tleh

Biotska raznovrstnost je pomembne del uspešne kmetijske pridelave, na njeno varovanje ob vodotokih so kmetje v zadnjem času malce pozabili. Cene pridelave posameznih kultur so kmete prisilile v obdelavo prav vsakega razpoložljivega kosa zemlje, tako nekateri obdelujejo zemljo neposredno do brežin vodotokov. Na tak način izginjajo določene vrste, značilne za življenje ob vodotokih, prav tako pa ti vodotoki postajajo vse bolj onesnaženi z erodirano zemljo zaradi neprimerne obdelave in posredno tudi z odtekanjem gnojil in sredstev za varstvo rastlin v vodo.

Poskus obsega tri različna obravnavanja, obdelana tla do brežine, zatravljen pas pet metrov pred brežino in neobdelana kontrola (naravno zaraščanje) pred brežino. To so tri najpogostejše oblike rabe tal, ki jih opazimo pred brežinami vodotokov. Zanimala nas bo primerjava biotske raznovrstnosti pri posameznih obravnavanjih pred vzpostavitvijo poskusa in ob zaključku projekta. S tem bomo pridobili podatke in opisali razlike med posameznimi obravnavanji. Na ta način želimo ugotoviti, katera oblika rabe tal je najprimernejša za ohranjanje biotske raznovrstnosti ob vodotokih.

Zaključek

V kmetijstvu se močno zavedamo pomena pregovora »brez vode ni življenja«, saj je voda poleg tal in vremenskih razmer ključna naravna danost, ki omogoča življenje večini organizmov. V zgodovini človeške civilizacije je prav namakanje omogočilo nastanek in razvoj prvih naselbin, saj so nastale na področjih, kjer je bilo omogočeno namakanje, s katerim so zagotovili dovolj hrane za prebivalstvo prvih mest ter njihov nadaljnji razvoj.

Slovenija je država, ki ima zelo pestro talno odejo, prav tako pa ima tudi raznoliko vremensko dogajanje. Količina padavin se zmanjšuje od zahoda proti vzhodu, padavin je skupno sicer dovolj, a jih praviloma primanjkuje v pomladnih in poletnih mesecih, ko rastline potrebujejo največ vode za svojo rast in razvoj.

Vzpostavitve namakanja poljščin je ena od oblik prilagajanja pridelave poljščin spremembam klime. Za povečanje obsega namakanja je pred nami še veliko dela tako na področju raziskav, povezovanja in organiziranja lastnikov kmetijskih zemljišč, izobraževanja kmetov in poenostavitve upravnih postopkov za pridobivanje dovoljenj za namakanje. Naš skupen cilj naj bo, da bi v prihodnosti imeli možnost namakati čim več poljedelskih površin z namakalnimi sistemi, ki so za okolje najbolj sprejemljivi, za uporabnika pa najbolj učinkoviti in ekonomični.

Upamo, da bo zgoraj opisani projekt pripomogel k doseganju tega cilja.

Viri

Pribožič.P. 2016. Ekonomika delovanja velikih namakalnih sistemov. KGZS Zavod Ptuj

MKGP. 2023. Program razvoja podeželja 2014-2020. Spletna stran: www.program-podezelja.si

Humus projekt hogi. 2023. Podukrep 19.3. Ökoregion Kaindorf GmbH, KGZS Zavod Ptuj, LAS Društvo »Bogastvo podeželja«. Ptuj.

VKLJUČEVANJE NAČELA »NBS – NA NARAVI TEMELJEČE REŠITVE« V PROJEKTE ZA ZMANJŠEVANJE POPLAVNE OGROŽENOSTI

Petra Repnik, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.,
Direkcija Republike Slovenije za vode, Hajdrihova 28 c, 1000 Ljubljana

mag. Neža Kodre, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.,
Direkcija Republike Slovenije za vode, Hajdrihova 28 c, 1000 Ljubljana

Tina Mazi, univ. dipl. inž. gradb.,
Direkcija Republike Slovenije za vode, Hajdrihova 28 c, 1000 Ljubljana

Brankica Kropf, univ. dipl. inž. gradb.,
Direkcija Republike Slovenije za vode, Hajdrihova 28 c, 1000 Ljubljana

Blažo Đurović, univ. dipl. inž. gradb.,
Direkcija Republike Slovenije za vode, Hajdrihova 28 c, 1000 Ljubljana

Marija Habinc, Direkcija Republike Slovenije za vode, Hajdrihova 28 c, 1000 Ljubljana

Povzetek

Projekti za zmanjševanje poplavne ogroženosti morajo biti skladno z evropsko in nacionalno zakonodajo ter evropskimi usmeritvami, ki izhajajo iz evropskega zelenega dogovora (European Green Deal), zasnovani na način, da ob upoštevanju okoljskih ciljev določajo celovite ukrepe za zmanjševanje poplavne ogroženosti na ravni porečij in povodij. Z namenom boljše implementacije tovrstnih ukrepov je Evropska komisija v nove finančne mehanizme za črpanje evropskih sredstev (npr. Mehanizem za okrevanje in odpornost, Program evropske kohezijske politike) vključila načelo NBS (»nature based solutions« ali »na naravi temelječe rešitve«), preko katerega se bo preverjala ustreznost projektov za zmanjševanje poplavne ogroženosti. Glede na to, da za načelo NBS na evropski ravni niso podana jasna zakonska določila, obstajajo pa določene smernice, je potrebno na ravni posamezne države opredeliti podrobnejši način vključevanja navedenih načel v projekte. V prispevku je podana predstavitev načela in pogoji za vključevanje le-tega v projekte za zmanjševanje poplavne ogroženosti. Pri snovanju pogojev je bilo v središče postavljeno načelo »vodi več prostora«, ki ga prepoznavamo kot ključnega z vidika preprečevanja nadaljnjega povečevanja poplavne ogroženosti in zmanjševanja obstoječe poplavne ogroženosti ter izboljšanja hidromorfološkega staja voda. Le na način zagotovljenega prostora, bo možna tudi izvedba okoljsko bolj sprejemljivih protipoplavnih ureditev, ki prinašajo širše okoljske in družbene koristi.

Uvod

Poleg evropske zakonodaje, ki poudarja pomen zasledovanja okoljskih ciljev v projektih za zmanjševanje poplavne ogroženosti, je slednje določeno tudi v nacionalni zakonodaji, in sicer že v 5. členu Zakona o vodah (ZV-1), ki navaja, da morajo biti raba in drugi posegi v vode, vodna in priobalna zemljišča ter zemljišča na varstvenih in ogroženih območjih ter kmetijska, gozdna in stavbna zemljišča programirana, načrtovana in izvajana tako, *da se ne poslabšuje stanje voda, da se omogoča varstvo pred škodljivim delovanjem voda, da se ohranjajo naravni procesi, naravno ravnovesje vodnih in obvodnih ekosistemov, ter varujejo naravne vrednote in območja, varovana po predpisih o ohranjanju narave*.

V zadnjem obdobju se za celovite rešitve, ki upoštevajo okoljske cilje, kakor tudi druge cilje trajnostnega razvoja, uporablja izraz »nature-based solutions« ali »na naravi temelječe rešitve« (NBS rešitve). Skladno z definicijo Evropske komisije so na naravi temelječe rešitve takšni ukrepi, ki so zasnovani, podkrepljeni ali povzeti iz poznavanja delovanja narave. Nekateri vključujejo ali izboljšujejo obstoječe naravne rešitve, medtem ko drugi vključujejo tudi nove rešitve, ki posnemajo mehanizme (ne-človeških) organizmov in združb za prilagajanje na okoljske ekstremne spremembe. Na naravi temelječe rešitve so tako zasnovane ob upoštevanju naravnih procesov in značilnosti, so stroškovno-učinkovite, prinašajo okoljske, družbene in ekonomske koristi ter prispevajo k večji odpornosti družbe na naravne in druge nesreče. Tovrstne rešitve so lokalno prilagojene in upoštevajo učinkovito rabo naravnih virov ter tako preko sistematične implementacije prinašajo raznolikost narave ter njenih oblik in procesov v mesta, podeželje in obmorski prostor. NBS rešitve prispevajo k izboljšanju biotske raznovrstnosti in omogočajo ekosistemske storitve (Evropska komisija, 2020). Prepoznan je tudi njihov pomemben vpliv na blaženje podnebnih sprememb in na prilagajanje le-tem.

Na naravi temelječe rešitve je definirala tudi Mednarodna zveza za ohranjanje narave (International Union for Conservation of Nature, IUCN), ki določa, da so na naravi temelječe rešitve takšni ukrepi varovanja, trajnostnega upravljanja in obnove naravnih ali spremenjenih ekosistemov, ki hkrati učinkovito in prilagodljivo naslavljajo družbene izzive in prinašajo koristi za človeka in biodiverziteto (IUCN, 2020). Kot družbeni izzivi so izpostavljeni predvsem: blaženje in prilagajanje na podnebne spremembe, zmanjševanje tveganja za naravne nesreče, izboljšanje ekosistemov in biotske raznovrstnosti, zdravje prebivalcev, družbeno-ekonomski razvoj, oskrba s hrano in oskrba z vodo. Pomen na naravi temelječih rešitev izpostavljajo tudi številni strateški dokumenti na ravni EU, med njimi Strategija EU za prilagajanje podnebnim spremembam, Strategija EU za zeleno infrastrukturo, Strategija EU za biotsko raznovrstnost, Urbana agenda EU itd.

Z namenom boljše implementacije NBS rešitev je Evropska komisija le-te vključila tudi v nove finančne mehanizme (npr. Mehanizem za okrevanje in odpornost, Program evropske kohezijske politike), kjer se izpostavlja upoštevanje NBS rešitev v največji možni meri.

Na naravni temelječe rešitve majhnega in velika obsega

Na naravi temelječe rešitve se načeloma delijo na NBS rešitve majhnega obsega (small-scale NBS) in NBS rešitve velikega obsega (large-scale NBS). Slednje se lahko pogosto hibridno povezujejo s klasičnimi protipoplavnimi ukrepi.

NBS rešitve majhnega obsega se navezujejo predvsem na zmanjševanje poplavne ogroženosti zaradi dežnih (pluvialnih) poplav in so osredotočene na posamezne objekte in manjša območja. Mednje se uvrščajo predvsem ukrepi kot so zelene strehe, prepustne površine (npr. vodoprepustna tlakovanja), lokalni zbiralniki / zadrževalniki padavinske vode, infiltracijske površine, ozelenjeni odvodniki / drenažni jarki, puferske / filter cone (npr. cone avtohtone zarasti) ipd. Za NBS rešitve malega obsega je značilno, da so bolj učinkovite za zmanjševanje poplavne ogroženosti, ki nastane ob kratkih nalivih, hkrati pa je ocenjeno, da prispevajo tudi k večanju biotske pestrosti in dvigu kakovosti bivalnega okolja (Evropska komisija, 2020).

Za zmanjševanje poplavne ogroženosti zaradi rečnih (fluvialnih) poplav, kot tudi padavinskih (pluvialnih) poplav, pa se uporabljajo NBS rešitve velikega obsega, med katere se uvrščajo predvsem obnova ali ponovna vzpostavitev večjih razlivnih območij (poplavnih ravnic), umik / premik visokovodnih nasipov, širitev vodnega prostora preko obnov ali revitalizacij vodotokov in obale, obnova ali revitalizacija mokrišč in poplavnih gozdov, izvedba suhih zadrževalnikov, preoblikovanje togih prečnih profilov v naravno značilno obliko, odstranitev objektov iz vodnih zemljišč (npr. mostnih opornikov, obsoletnih prečnih objektov kot so jezovi in pragovi). Tudi NBS rešitve velikega obsega pomembno prispevajo k izboljšanju stanja voda, stanja habitatov (biotske raznovrstnosti), blaženju podnebnih sprememb, hkrati pa prinašajo tudi možnosti za rekreacijo in dvig kakovosti vodnega

in obvodnega prostora ter človekovega bivalnega okolja nasploh.

Kriteriji za opredelitev načela NBS v projektih za zmanjševanje poplavne ogroženosti

V navedenem prispevku so naslovljene predvsem NBS rešitve velikega obsega, ki jih je skladno s pravili evropskih finančnih mehanizmov potrebno v največji možni meri vključevati v projekte za zmanjševanje poplavne ogroženosti. Pri tem je potrebno poudariti, da je pri iskanju ustreznih protipoplavnih ukrepov potrebno najprej izhajati iz celovitega poznavanja obstoječe poplavne problematike, ki obsega poznavanje vrste poplav, intenzitete poplav, dinamike poplav, poznavanja razpoložljivega prostora za izvedbo ukrepov in specifičnih razmer na terenu, saj se le te med posameznimi poplavnimi območji zelo razlikujejo. Prav navedena izhodišča so ključnega pomena za snovanje tehnično izvedljivih in učinkovitih ukrepov.

Pri snovanju ukrepov je z vidika načela NBS pomembno, da se zasleduje več ciljev hkrati: i) zagotavljanje celovitih, multifunkcionalnih in trajnostnih ukrepov za zmanjševanje poplavne ogroženosti na ravni porečij in povodij, ii) blaženje in prilagajanje na podnebne spremembe, iii) izboljšanje bivalnega okolja za človeka, iv) izboljšanje stanja voda ter izboljšanje biotske raznovrstnosti. Pri iskanju rešitev je pomembno konstruktivno sodelovanje deležnikov, ki se sproti vključujejo v sooblikovanje končnih rešitev.

Z namenom ustreznega upoštevanja načela NBS v projektih za zmanjševanje poplavne ogroženosti so opredeljeni sledeči kriteriji, ki jih morajo naslavljati projekti:

- Kriterij 1: Utemeljitev optimalne rešitve za zmanjševanje poplavne ogroženosti na ravni porečja ali povodja,
- Kriterij 2: Delež prioritetnih protipoplavnih ukrepov,
- Kriterij 3: Pogoji in delež ukrepov za izboljšanje stanja voda in habitatov.

Kriterij 1: Utemeljitev optimalne rešitve za zmanjševanje poplavne ogroženosti

Za projekte za zmanjševanje poplavne ogroženosti je potrebno podati utemeljitev izbrane rešitve, iz katere izhaja, da so bile za potrebe zmanjševanja poplavne ogroženosti preverjene različne možnosti, in da je bila za izvedbo izbrana optimalna rešitev, ki izkazuje načelo celovitosti reševanja poplavne problematike ter načelo optimalnega udejanjanja NBS rešitev. Projekti za zmanjševanje poplavne ogroženosti načeloma združujejo različne protipoplavne ukrepe, ki skupno tvorijo celovito rešitev.

Z namenom zagotavljanja celovitosti ukrepov se pri načrtovanju zasledujejo predvsem sledeči cilji:

- preprečevanje povečevanja poplavne ogroženosti,
- preprečevanje poslabšanja hidromorfološkega stanja voda,
- zmanjševanje poplavne ogroženosti,
- izboljšanje hidromorfološkega stanja voda.

Preglednica 1: Prioritetnost ukrepov z vidika doseganja ciljev, vezanih na poplavno ogroženost in hidromorfološko stanje voda

Prioritetnost ukrepa	Vrsta ukrepa
1	Zaščita obstoječih razlivnih območij (ohranjanje vodnega prostora)
	Vključitev NBS rešitev majhnega obsega v prostorske akte (zelene strehe, infiltracijski bazeni, prepustna tlakovanja ipd.)
2	Vzpostavitev / širitev razlivnih območij oziroma vodnega prostora – odstranitev ali premik visokovodnih nasipov / zidov ali odstranitev objektov (npr. stavb) z namenom večjega razlivanja in zadrževanja voda, upočasnitve vodnega toka, zmanjševanja erozije ipd.
	Vzpostavitev / širitev razlivnih območij oziroma vodnega prostora – revitalizacija vodotokov in obale z namenom večjega razlivanja in zadrževanja voda, izboljšanja hidromorfološkega stanja voda, upočasnitve vodnega toka, zmanjševanja erozije ipd., vključno s potencialno revitalizacijo mokrišč
3	Izvedba protipoplavnih ukrepov izven vodnih / priobalnih zemljišč (npr. izgradnja nasipov okoli ogroženih stavb, zaščita naselij z montažnimi protipoplavnimi paneli), ob hkratni potencialni izvedbi ukrepov za izboljšanje stanja voda in habitatov
4	Izvedba suhih zadrževalnikov, ob hkratni izvedbi ukrepov za izboljšanje stanja voda in habitatov
5	Izvedba klasičnih protipoplavnih ukrepov na vodnih / priobalnih zemljiščih (rekonstrukcija/nadgradnja obstoječih objektov, izgradnja novih objektov) ob hkratni izvedbi ukrepov za izboljšanje stanja voda in habitatov

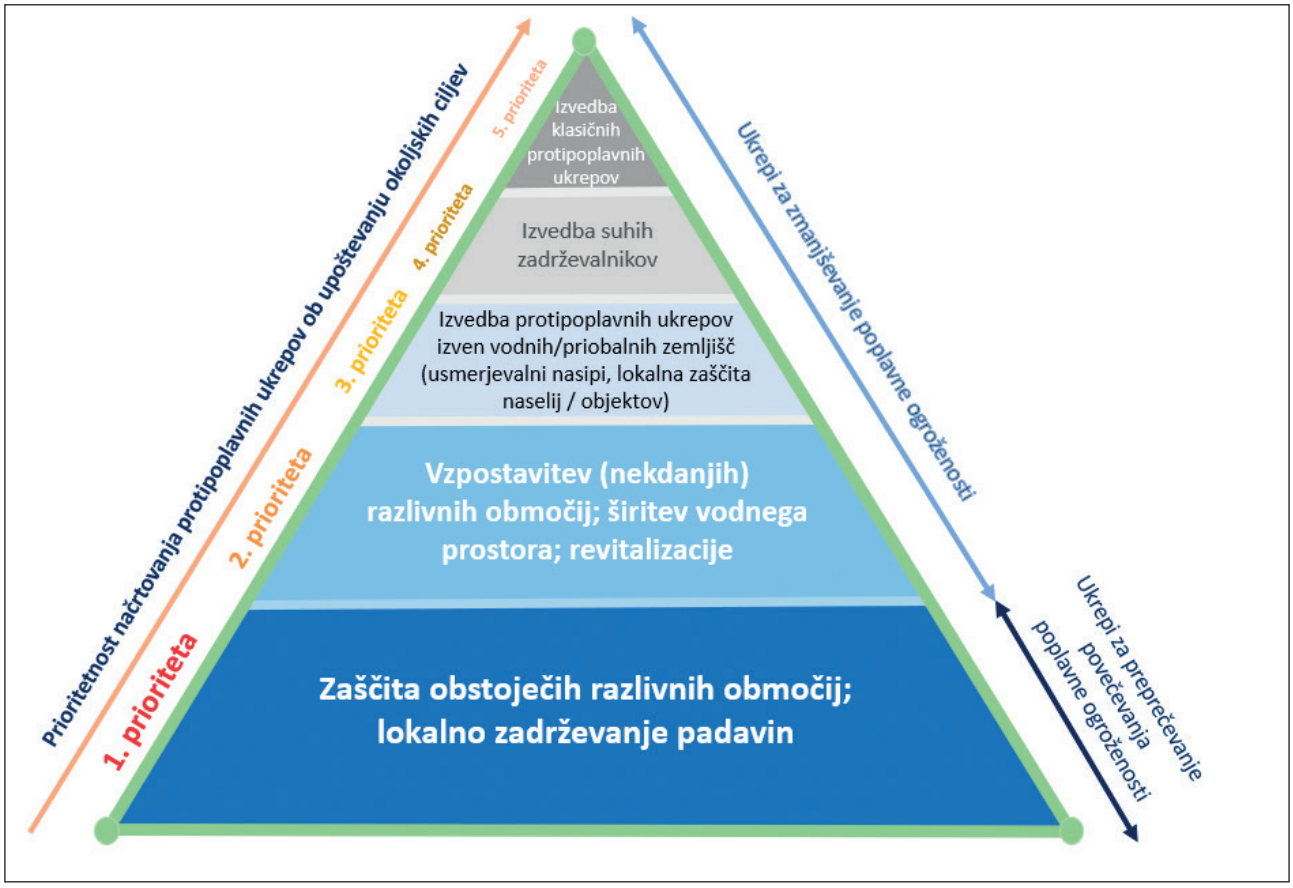
V okviru ciljev, vezanih na hidromorfološko stanje voda, se zasledujejo ključni okoljski cilji, ki so določeni z nacionalno in evropsko zakonodajo (dobro stanje voda in ugodno stanje habitatov). Preko sledečih se udejanja okoljska komponenta NBS rešitev. Upoštevanje vseh štirih ciljev pomeni tudi hkratno zasledovanje ciljev vodne in poplavne direktive (ter posredno tudi habitatne in ptičje direktive), kar omogoča določitev t.i. sinergijskih ukrepov. Tekom priprave projektne dokumentacije se preverjajo tudi ostale komponente NBS rešitev (predvsem stroškovna učinkovitost in zasledovanje drugih družbenih interesov in potreb), kar skupno določa, da NBS rešitve vključujejo tako okoljske, družbene in ekonomske vidike.

Prioritetni ukrepi za zmanjševanje poplavne ogroženosti, ki se navezujejo na načelo NBS, so predvsem tisti ukrepi, s katerimi se ohranjajo / ščitijo razlivna območja in ukrepi, s katerimi se le-te ponovno vzpostavljajo (re-aktivirajo) in s katerimi se vodi vrača njen prostor (revitalizacija poplavnih ravnic / razlivnih območij, vodotokov in obale). Pri utemeljevanju celovitosti načrtovanja se zasleduje hierarhija (prioritetnost) ukrepov, ki je navedena v Preglednici 1 in prikazana na Sliki 2.

V okviru navedenih ukrepov se ukrep »zaščita obstoječih razlivnih območij« razume kot ključni ukrep z vidika preprečevanja nadaljnjega povečevanja poplavne ogroženosti (ter vnosa novega škodnega potenciala) ter z vidika prilagajanja na podnebne spremembe. Ukrep je pomemben tudi z vidika preprečevanja nadaljnjega poslabšanja hidromorfološkega staja voda.

V okviru *Kriterija 1 – Utemeljitev optimalne rešitve za zmanjševanje poplavne ogroženosti* je potrebna opredelitev do vseh navedenih ukrepov ter utemeljitev vključenosti posameznih ukrepov v projekte (oziroma utemeljitev, v kolikor določeni ukrepi niso primerni oziroma izvedljivi). V kolikor posamezni ukrepi niso relevantni za reševanje poplavne problematike predmetnega območja (npr. širitev razlivnih območij na hudournikih, ki tam niso značilne), se navedeno pojasni v utemeljitvi. Prav tako se pojasni, če določeni ukrepi tehnično niso izvedljivi (npr. ni razpoložljivega prostora za izvedbo tovrstnih ukrepov).

Pri ukrepih, ki so navedeni pod prioritetami 3, 4 in 5 se na projektnih / vplivnih območjih dodatno opredelijo tudi potencialni ukrepi, ki prinašajo izboljšanje stanja voda in habitatov. V kolikor izvedba le teh na obravnavanem območju ni možna, se le ti predvidijo v neposredni bližini, v kolikor



Slika 2: Prioritetnost načrtovanja protipoplavnih ukrepov ob upoštevanju okoljskih ciljev

tudi slednje ni možno, se opredelijo znotraj istega vodnega telesa površinskih voda (VTPV) oziroma istega vodotoka. Pri teh ukrepih je pomembno tudi vzporedno zasledovanje načela DNSH »do no significant harm« ali »ne škoduj bistveno«, v okviru katerega je potrebno dokazati, da projekt (med drugim) ne bo povzročil poslabšanja stanja voda in/ali biotske raznovrstnosti in ekosistemov. Vpliv na stanje voda se preverja skladno z navodili, podanimi v Splošnih smernicah s področja upravljanja z vodami[1].

Pri opredelitvi ukrepov za izboljšanje stanja voda in habitatov je potrebno stremeti k določitvi celovitih ukrepov, ki dejansko vplivajo na izboljšanje obstoječega stanja (npr. odkup zemljišč, kjer lahko vodotok vzpostavi naravno dinamiko, vzpostavitev obrežnih pasov z avtohtono značilno obrežno vegetacijo, odstranitev (obsoletnih) prečnih objektov ali rekonstrukcija le teh na način, da je možno premeščanje sedimenta in prehod za vodne organizme, nadomestitev togih obrežnih zavarovanj s sonaravnimi (po možnosti vegetativnimi zavarovanji) in se izogibati ukrepom, ki so stroškovno neučinkoviti. Pri izvajanju ukrepov je potrebno posebno pozornost nameniti tudi pravilnemu ravnanju z invazivnimi tujerodnimi rastlinskimi vrstami.

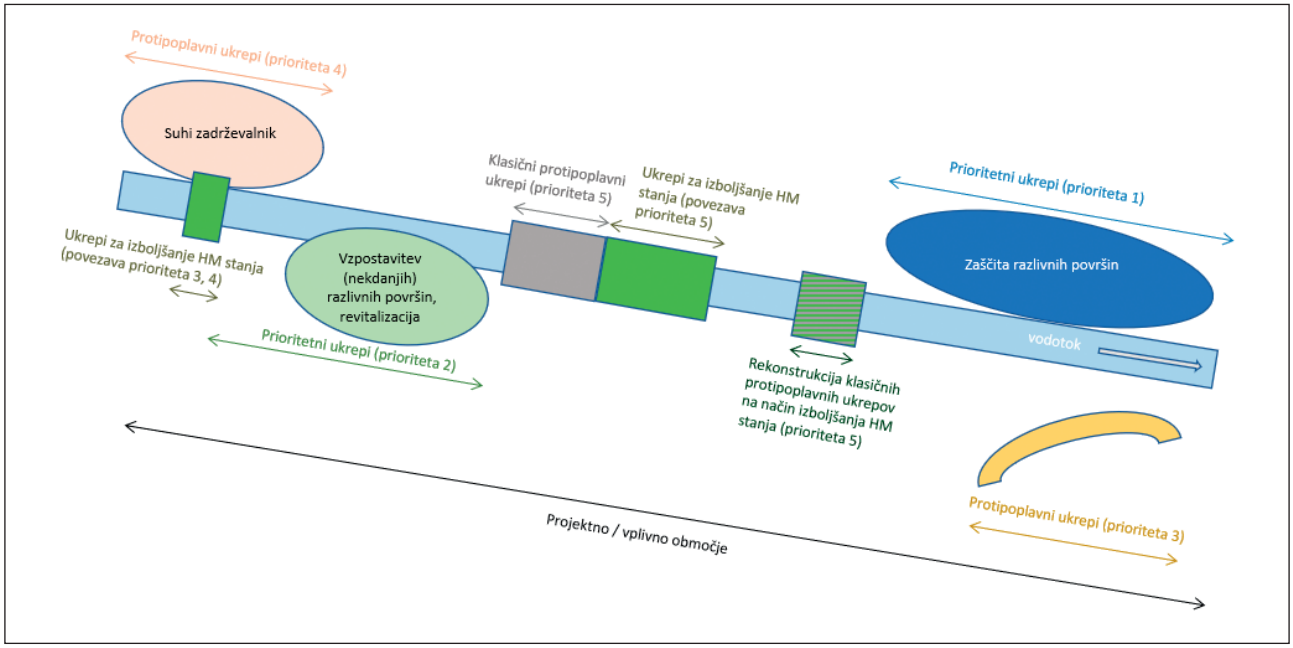
Kriterij 2: Delež prioritetnih protipoplavnih ukrepov

Kot prioritetni ukrepi za zmanjševanje poplavne ogroženosti so določeni ukrepi, s katerimi se i) ohranjajo / ščitijo razlivna območja in ii) ukrepi, s katerimi se le-te ponovno vzpostavljajo (re-aktivirajo) in s katerimi se vodi vrača njen prostor (revitalizacija poplavnih ravnic / razlivnih območij, vodotokov in obale). Ti ukrepi so navedeni kot *Prioriteta 1* in *Prioriteta 2*.

Navedeni prioritetni ukrepi morajo načeloma predstavljati 1/3 ukrepov znotraj projektnega / vplivnega območja (v kolikor je le-to tehnično izvedljivo). Za okvirno oceno obsega ukrepov se smiselno uporabi ocena »dolžine« ukrepov vzdolž vodotoka ali obale. V kolikor izvedba ukrepov ni izvedljiva znotraj projektnega / vplivnega območja, se ukrepi predvidijo na drugih lokacijah (po pravilu čim bližje – znotraj vodnega telesa – znotraj vodotoka).

V primeru več manjših območij, kjer se bodo izvajali ukrepi za zmanjševanje poplavne ogroženosti, naj se slednji povežejo v smiselna celovita območja, kjer bo možna tudi kumulativna ocena učinkovitosti ukrepov (npr. upoštevanje izvedbe gorvodnih zadrževalnikov). Vrste posameznih ukrepov (prioriteta 1-5) se ustrezno označijo na pregledni situaciji, na kateri se določi tudi okvirni obseg ukrepov, in sicer na način, kot je prikazano na Sliki 3.

Na Sliki 3 je prikazano i) območje zaščitenih razlivnih območij (prioriteta 1), ii) območje vzpostavitve (nekdanjih) razlivnih območij, na katerih se izvedejo ukrepi za izboljšanje hidromorfološkega stanja (prioriteta 2), iii) območje, kjer se izvedejo protipoplavni ukrepi izven območja vodnih in priobalnih zemljišč (npr. visokovodni nasip ob naselju)



Slika 3: Prikaz protipoplavnih ukrepov glede na določene prioritete

1 https://www.gov.si/zbirke/storitve/presoja-prostorske-in-okoljske-dokumentacije/

(prioriteta 3), iv) območje suhega zadrževalnika (prioriteta 4), v) območje, kjer se izvedejo ukrepi za izboljšanje hidromorfološkega stanja, ki so prispevek k okoljskim ciljem zaradi ukrepov po prioriteti 3 in 4 (npr. vzpostavitev obrežnih pasov z značilno obrežno vegetacijo), vi) območje, na katerih se izvede rekonstrukcija/nadgradnja obstoječih protipoplavnih objektov, ki se izvede na način potencialnega izboljšanja hidromorfološkega stanja (npr. zamenjava togega s sonaravnim obrežnim zavarovanjem) (prioriteta 5), vii) območje klasičnih protipoplavnih ukrepov (npr. izgradnja novih protipoplavnih zidov na območjih, kjer je bil prej naravni vodotok) (prioriteta 5), viii) območje ukrepov za izboljšanje hidromorfološkega stanja, ki so prispevek k okoljskim ciljem zaradi izvedenih ukrepov po prioriteti 5 (npr. odstranitev ali rekonstrukcija prečnega objekta na način, da se vzpostavi prehodnost za sediment in prehod za vodne organizme ter vzpostavitev obrežnih pasov z značilno obrežno vegetacijo).

Kot že navedeno je pri vseh projektih potrebno preveriti smiselnost in izvedljivost posameznih skupin ukrepov, saj se lahko glede na specifične razmere na terenu ali razpoložljiv prostor ugotovi, da določeni ukrepi za posamezna območja niso primerni.

Kriterij 3: Pogoji in delež ukrepov za izboljšanje stanja voda in habitatov

Pri ukrepih, ki so opisani pod prioriteto 3, 4 in 5 je potrebno določiti tudi učinkovite in tehnično izvedljive ukrepe za izboljšanje stanja voda in habitatov. V primeru ukrepov pod prioriteto 3 in 4 se obseg ukrepov določi glede na specifične razmere na terenu, medtem ko se pri določitvi obsega ukrepov pod prioriteto 5, načeloma upoštevajo deleži ukrepov, ki so navedeni v Preglednici 2. Pri določitvi deležev so uporabljena merila, ki se navezujejo na določitev pomembnih obremenitev v sklopu načrtov upravljanja voda.

Ukrepi za izboljšanje stanja voda in habitatov se prioritetno določijo za tisti hidromorfološki element kakovosti, na katerega ima poseg največji vpliv (npr. vzpostavitev značilne obrežne vegetacije, če so ugotovljeni največji vplivi na strukturo obrežnega pasu). Če tovrstni ukrepi niso izvedljivi, se opredelijo drugi ukrepi na lokaciji, kjer se izvaja poseg, ki bi v največji meri prispevali k zmanjšanju (kompenzaciji) povzročenega negativnega vpliva. Če tudi to ni izvedljivo, se opredelijo ukrepi znotraj istega vodnega telesa površinskega voda oziroma na istem vodotoku in, kjer bi bila izvedba ukrepov učinkovita in bi prispevala k zmanjšanju oziroma izničenju negativnega vpliva obravnavanega posega. Izjemoma se lahko ukrepi izvedejo tudi na sosednjih vodnih telesih, v kolikor se druge možnosti niso izvedljive in se predlog izkaže kot smiseln in učinkovit.

Izvedljivost oziroma neizvedljivost ukrepov za izboljšanje stanja voda in habitatov na lokaciji posega oziroma v njegovi neposredni bližini se obrazloži in utemelji. Opredelijo se le stroškovno učinkoviti in izvedljivi ukrepi, ki bodo dejansko vplivali na zmanjšanje oziroma izničenje negativnih vplivov posegov ter hkrati prispevali k izboljšanju obstoječega stanja voda in stanja habitatov.

Pri opredelitvi ukrepov za izboljšanje stanja voda in habitatov se prioritetno zasleduje načelo, da se v vodotoku z ukrepi vzpodbuja naravna dinamika ter naravni procesi, ki bodo samodejno vplivali na vzpostavitev za vodotok značilnih hidromorfoloških struktur oziroma habitatov ter privedli do izboljšanja hidromorfološkega stanja (npr. samodejna vzpostavitev stranskih rokavov, tolmunov, prodišč, ribjih skrivališč ipd.). Pri udejanjanju slednjega je tako ključnega pomena odkup zemljišč ter zagotavljanje več vodnega prostora, v okviru katerega se lahko izvedejo ukrepi za vzpodbuditev izboljšanja dinamike in procesov.

Preglednica 2: Opredelitev deležev ukrepov za izboljšanje stanja voda in habitatov v primeru izvedbe protipoplavnih ukrepov pod prioritetami 3, 4 in 5

Vrsta protipoplavnih ukrepov	Opredelitev deleža ukrepov za izboljšanje stanja voda in habitatov
Izvedba protipoplavnih ukrepov izven vodnih in / ali priobalnih zemljišč (prioriteta 3)	Obseg ukrepov se določi glede na specifične razmere na terenu
Izvedba suhih zadrževalnikov (prioriteta 4)	Ukrepi za izboljšanje stanja voda in habitatov se določijo v območju zadrževalnika (ali v širšem projektnem / vplivnem območju)
Izvedba klasičnih protipoplavnih ukrepov na vodnih in priobalnih zemljiščih – rekonstrukcija/nadgradnja obstoječih objektov (prioriteta 5)	Ukrepi za izboljšanje stanja voda in habitatov se določijo v okvirnem obsegu 33 % dolžine ureditve s klasičnimi protipoplavnimi ukrepi (npr. vzpostavitev zasaditve obrežnega zavarovanja, formiranje značilnih hidromorfoloških struktur)
Izvedba klasičnih protipoplavnih ukrepov na vodnih in priobalnih zemljiščih – izgradnja novih objektov (prioriteta 5)	Ukrepi za izboljšanje stanja voda in habitatov se določijo v okvirnem obsegu 133 % dolžine ureditve s klasičnimi protipoplavnimi ukrepi (v kolikor gre za nove ureditve na naravnih vodotokih) oziroma v deležu, ki se določi glede na specifične razmere na terenu, v kolikor gre za že regulirane vodotoke

Prav tako je potrebno pri opredelitvi ukrepov slediti načelu, da tovrstni ukrepi ne zahtevajo vzdrževanja oziroma je sledenje le redko in izvedeno v minimalnem obsegu na način, da se upoštevajo sonaravni pristopi. Pri izboru ukrepov se je prav tako potrebno izogniti vzpostavljanju umetnih, (za vodotok) neznačilnih struktur in habitatov (kot so umetni, neznačilni zatoki in mrtvice, umetna, neznačilna ribja skrivališča in motilci tokov ipd.). Pri določitvi ukrepov je tako ključnega pomena, da se upoštevajo naravne (referenčne) hidromorfološke značilnosti vodotokov ter da se poiščejo takšne rešitve, ki te značilnosti v največji možni meri posnemajo oziroma vzpodbujajo njihov nastanek.

Zaključek

V okviru projektov za zmanjševanje poplavne ogroženosti se v povezavi z udejanjanjem načela NBS kot prioritetna ukrepa zasledujeta predvsem zaščita obstoječih razlivnih območij ter vzpostavitev nekdanjih razlivnih območij oziroma ukrepov, s katerimi se vodi vrača njen prostor. Kot je izpostavljeno v prispevku, včasih navedene rešitve niso smiselne ali izvedljive, zato je za namen zmanjševanja poplavne ogroženosti potrebno poseči tudi po drugačnih ukrepih, ki pa v vseh primerih upoštevajo tudi zasledovanje okoljskih ciljev. V svetu se kot NBS ukrepi pogosto razumejo tudi t.i. hibridni ukrepi, ki delno povzemajo »zelene« ukrepe, delno pa tudi »sive« ukrepe, saj se pogosto navedena kombinacija ukrepov (predvsem v urbanih območjih) izkazuje kot najbolj učinkovita z vidika zmanjševanja poplavne ogroženosti in hkratnega izboljšanja hidromorfološkega stanja voda.

Navedena prioritetna ukrepa izpostavljata predvsem pomen vodnega prostora, v okviru katerega razumemo prostor, ki obsega vodna in priobalna zemljišča, poplavna območja in druga območja, ki so pomembna za ohranjanje ali ponovno vzpostavitev značilnih hidromorfoloških procesov. V kolikor je vodni prostor razpoložljiv, je možno poseči tudi po (bolj) »zelenih« ukrepih, saj je izvedljivost le-teh običajno odvisna prav od razpoložljivega prostora. Iz navedenega sledi, da je za udejanjanje takšnih rešitev potrebno najprej razrešiti problematiko zemljišč, kar bo v nadaljevanju tudi omogočalo izvedbo okoljsko (bolj) sprejemljivih ureditev. Pri tem se kot ključnega pomena ponovno izkaže ustrezno prostorsko načrtovanje, ki zasleduje načelo »vodi več prostora«.

Običajno je tako široko koncipiranje rešitev »vodi več prostora« zelo težko povezljivo z izvedbo majhnih lokalnih ukrepov za zmanjševanje poplavne ogroženosti, ki so prostorsko pogosto zelo omejeni. Takšne rešitve je bistveno lažje in bolj smiselno iskati v okviru celovitih hidrološko-hidravličnih študij porečij in povodij, kjer se protipoplavna problematika rešuje na ravni porečij in povodij in ne na ravni posameznih omejenih lokacij. V tovrstnih študijah je tako pravi prostor za iskanje rešitev, ki bi dejansko prispevale k udejanjanju načela »vodi več prostora« in tako zadostile tudi vsem okoljskim zahtevam in zahtevam po upoštevanju načela NBS.

Glede na navedeno je Direkcija Republike Slovenije za vode že v letu 2020 pristopila k pripravi tovrstnih študij. Trenutno potekata izdelavi študije za porečje Savinje in porečje Vipave, postopno pa se bodo študije pripravljale tudi za druga porečja. V projektnih nalogah za izdelavo študij (za primer Savinje in Vipave) je izpostavljen pomen povezovanja protipoplavnih ukrepov z ukrepi za preprečevaje poslabšanja oziroma izboljšanje hidromorfološkega stanja voda. Kot t.i. sinergijski ukrepi se izkazujejo ravno ukrepi, s katerimi se ščitijo razlivna območja oziroma ukrepi, s katerimi se omogoča širitev vodnega prostora, ki je namenjen razlivanju poplavnih voda in hidromorfološkim procesom. Naveden prostor se je kot ključnega pomena izkazal tudi v preteklih ekstremnih poplavah v avgustu 2023.

Navedene študije tako predstavljajo izhodišče za drugačno prostorsko načrtovanje ter pripravo drugačnih regionalnih in občinskih prostorskih načrtov, ki bodo vodni prostor zaznali kot pomemben segment v prostoru, ki ga je potrebno ohranjati oziroma ponovno vzpostaviti v primernem obsegu, kjer je to tehnično izvedljivo. Prav v celovitih hidrološko-hidravličnih študijah je možno identificirati potencialne površine za izvedbo prioritetnih NBS ukrepov. V kolikor bo ta prostor nadalje v prostorskih načrtih tudi določen (rezerviran), bodo temu lahko sledile tudi drugačne, okoljsko (bolj) sprejemljive rešitve za zmanjševanje poplavne ogroženosti.

Slednje ne zahteva le pomembnih sprememb v okviru prostorskega načrtovanja, temveč tudi pomembne spremembe v dojemanju vodnega prostora v širši družbi. Iz navedenega sledi, da uspešnost vključevanja načela NBS v projekte za zmanjševanje poplavne ogroženosti tako ni odvisna le od vodarjev samih, temveč od tvornega medsebojnega sodelovanja različnih strokovnjakov in nenazadnje od naklonjenosti NBS rešitvam, ki jo izkazuje celotna družba.

Viri in literatura

Evropska komisija. 2023. Nature-based solutions. Research & Innovations.
https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions_en

Evropska komisija, 2020. Nature Based Solutions for Flood Mitigation and Coastal Resilience. Poročilo.
https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d6e80dca-d530-11ea-adf7-01aa75ed71a1/language-en

Forfang, S. 2021. Study finds nature-based solutions add flood resilience across large areas. Spletna stran.
https://www.interregnorthsea.eu/our-news/study-finds-nature-based-solutions-add-flood-resilience-across-large--areas

Hartmann, T., Slvikova, L., MyCarthy, S. (ur). Nature-Based Flood Risk Management on Private Land. Disciplinary Perspectives on a Multidisciplinary Challenge. E-knjiga.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-23842-1

IUCN. 2020. Guidance for using the IUCN Global standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for verification, design and scaling up of Nature-based Solutions. First edition. Gland, Switzerland. Poročilo.
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjn5_K5ppr_AhX1SfEDHU0NBfgQFnoECCoQAQ&url=https%3A%2F%2Fportals.iucn.org%2Flibrary%2Fsites%2Flibrary%2Ffiles%2Fdocuments%2F2020-020-En.pdf&usg=AOvVaw11KP5vrfSoHgKnndQ4Nm1O

DRSV. 2022. Splošne smernice s področja upravljanja z vodami.
https://www.gov.si/zbirke/storitve/presoja-prostorske-in--okoljske-dokumentacije/

Uradni list RS. 2002. Zakon o vodah. Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 – ZZdrl-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15, 65/20, 35/23 – odl. US in 78/23 – ZUNPEOVE.

POPIS VODNIH OBJEKTOV, NAPRAV IN UREDITEV VONU TER POMEN POPISA V OKVIRU UPRAVLJANJA VODA

Petra Repnik, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.,
Direkcija Republike Slovenije za vode, Hajdrihova 28 c, 1000 Ljubljana

Marija Habinc, Direkcija Republike Slovenije za vode, Hajdrihova 28 c, 1000 Ljubljana

Peter Kolenko, univ. dipl. inž. stroj.,
Direkcija Republike Slovenije za vode, Hajdrihova 28 c, 1000 Ljubljana

Boštjan Kodrič, Geofoto, d. o. o., Mariborska cesta 5, 2310 Slovenska Bistrica

Vesna Kotnik, dipl. geog.,
Direkcija Republike Slovenije za vode, Hajdrihova 28 c, 1000 Ljubljana

Špela Petelin, univ. dipl. ing. gradb.,
Direkcija Republike Slovenije za vode, Hajdrihova 28 c, 1000 Ljubljana

mag. Rok Penec, univ. dipl. ing. geol.,
Direkcija Republike Slovenije za vode, Hajdrihova 28 c, 1000 Ljubljana

Tjaša Benedik, dipl. org. in menedž. soc. dej.,
Direkcija Republike Slovenije za vode, Hajdrihova 28 c, 1000 Ljubljana

Povzetek

Popis vodnih objektov in naprav predstavlja eno od temeljnih evidenc v okviru vodnega katastra. Podatki, zajeti v evidenci, so ključnega pomena za načrtovanje vzdrževanja in obnov vodne infrastrukture, pripravo strateških načrtov in programov ukrepov upravljanja voda, kakor tudi za pripravo podrobnejših načrtovalskih dokumentov, med katere se uvrščajo predvsem podrobnejši načrti urejanja voda, letni programi dela javne službe urejanja voda, celovite hidrološko-hidravlične študije porečij/povodij. Na podlagi predhodnih poskusov vzpostavitve popisa vodnih objektov in naprav je bil na Direkciji Republike Slovenije za vode (DRSV) vzpostavljen popis objektov VONU, ki je trenutno v izvajanju. Za potrebe popisa je bil razvit dopolnjen šifrant objektov ter pripravljeno izrazje s področja objektov. Za posamezne objekte so bili razviti šifranti za enotno popisovanje podatkov o objektih. Z namenom čim lažjega izvajanja popisa je bila razvita spletna aplikacija VONU, ki jo pri popisu uporabljajo gospodarske javne službe urejanja voda (koncesionarji). Trenutno je popis izveden na približno polovici prioritetno določenih vodotokov, jezer, zadrževalnikov in morja. Prve ocene kažejo, da bo število objektov VONU močno preseglo število objektov, ki je bilo do sedaj delno popisano v prehodnih evidencah vodnih objektov, naprav in ureditev. Popis VONU se vključuje v širši proces digitalizacije na DRSV, ki se izkazuje kot ključnega pomena za celovito upravljanje voda.

Uvod

Pravilnik o vodnem katastru (Uradni list RS, št. 30/17) določa, da je vodni kataster evidenca, ki je sestavljena iz popisa voda ter popisa vodnih objektov in naprav. Popis vodnih objektov in naprav obsega tri zbirke, in sicer zbirko vodne infrastrukture, zbirko vodnih objektov, namenjenih izvajanju vodnih pravic, in zbirko drugih objektov,

naprav in ureditev, s katerimi se ureja vodni režim ali pa se neposredno vpliva nanj.

Popis vodnih objektov in naprav je bil v preteklosti že večkrat poskusno vzpostavljen, vendar zaradi različnih tehničnih in finančnih razlogov nikoli v celoti sistematično izveden. Tekom poskusnih vzpostavitev so bila pridobljena določena znanja ter prepoznane nove potrebe po podatkih, ki bi jih moral zajeti celovit popis objektov. Na podlagi preučitev preteklih poskusnih vzpostavitev popisa je pripravljen nov popis objektov VONU (**v**odni **o**bjekti, **n**aprave in **u**reditve), ki je predstavljen v nadaljevanju prispevka.

Popis objektov vodi Direkcija Republike Slovenije za vode (v nadaljevanju: DRSV), pri popisu pa sodelujejo vsi izvajalci gospodarskih javnih služb urejanja voda (koncesionarji). Prioritetno se je pristopilo k popisu objektov na vodotokih s prispevno površino večjo od 10 km^2, jezerih s površino večjo od 0,5 km^2, zadrževalnikih in obali, kar skupno predstavlja popis v okvirni dolžini 6700 km. Po vzpostavljeni spletni aplikaciji VONU v letošnjem letu je popis možen tudi na ostalih vodotokih, ki niso opredeljeni kot prioritetni.

Popis VONU je bil v letu 2019 sprva izveden na Krki in na porečju Dravinje. Potekal je na način vnosa podatkov v poenostavljeno aplikacijo, ki je bila izdelana v programu Excel. Glede na pridobljene izkušnje pri popisu je sledila nadgradnja poenostavljene aplikacije, ki je bila nato testirana pri popisu objektov na porečju Vipave v letu 2020. Glede na vsa pridobljena znanja in izkušnje tekom prvih popisov je bila v letu 2022 razvita spletna aplikacija VONU, ki omogoča sodoben zajem, urejanje in pregled prostorskih podatkov o objektih.

Priprava temeljnih gradiv za vzpostavitev popisa VONU

Za potrebe popisa vodnih objektov, naprav in ureditev je bil v prvem koraku izdelan šifrant VONU, ki zajema objekte, ki so predmet popisa. Za slednje je bilo v nadaljevanju izdelano izrazje (definicije) za enotno pojmovanje objektov. Za vsak objekt so bili določeni tudi opisni podatki, ki jih je potrebno popisati ter izdelana podrobna navodila za popis objektov.

Šifrant vodnih objektov, naprav in ureditev VONU

Šifrant vodnih objektov, naprav in ureditev je osnovan na Seznamu vrst objektov, ki ga določa Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture (Uradni list RS, št. 46/05) ter seznamu vrst objektov, ki so bili pripravljeni v okviru preteklih poskusnih vzpostavitev popisa (npr. popisov VIN, EVON, VGO, VIN - Norveški mehanizem). Šifrant se je obsežno nadgradil v fazi testiranja popisa VONU, saj se je tekom popisa na terenu in zajema novih primerov objektov izkazala potreba po širitvi oziroma podrobnejši delitvi objektov. Vzpostavljen je bil šifrant na treh ravneh (Preglednica 1), v okviru popisa pa se nato objekti še podrobneje nadalje delijo glede na specifične značilnosti. V šifrantu niso zajeti le objekti, ki se uvrščajo med vodno infrastrukturo, temveč tudi drugi objekti, naprave in ureditve, s katerimi se ureja vodni režim ali pa se neposredno vpliva nanj.

Za vse objekte, ki so navedeni v Preglednici 1, so opredeljene definicije (izrazje), ki so povzete ali pa nadgrajene na osnovi definicij, ki so že zajete v razpoložljivih terminoloških slovarjih ali drugih relevantnih znanstvenih in strokovnih gradivih. Za številne objekte VONU so bile definicije novo osnovane, saj v navedenih gradivih še niso bile (jasno) opredeljene.

Pripravljeno izrazje omogoča enotno in sistematično razvrščanje objektov VONU in predstavlja eno temeljnih gradiv pri izvajanju popisa. Glede na izkušnje pri popisih se delno tudi stalno nadgrajuje.

Opisni podatki VONU

Pravilnik o vodnem katastru določa minimalni obseg podatkov, ki morajo biti zajeti v popisu objektov. Za navedene tri zbirke so opredeljeni nekateri različni zahtevani podatki (Preglednica 2), pri vseh zbirkah pa je potrebna opredelitev imena objekta, vrste objekta, enoličnega identifikatorja in lokacije objekta.

Glede na pretekle poskuse vzpostavitve popisa objektov ter nove potrebe po podatkih o objektih z različnih področij upravljanja voda, je bil pripravljen razširjen nabor opisnih podatkov, ki so zahtevani v okviru popisa VONU.

Končni nabor obsega 70 opisnih podatkov, ki so razvrščeni v 10 sklopov (Preglednica 3). Številni opisni podatki so zahtevani samo pri popisu določenih objektov, pri katerih se posamezen podatek izkazuje kot relevanten, tako da je v splošnem

Preglednica 1: Šifrant vodnih objektov, naprav in ureditev VONU

VONU - 1. raven		VONU - 2. raven		VONU - 3. raven
100	objekt in ureditev brežine struge ali obale	**110**	obrežno/obalno zavarovanje	zložba / kamnomet in skalomet / obrežni zid / zavarovanje z lesom / gabioni / kaštno zavarovanje / vegetativno zavarovanje / piloti, pilotna stena / nasutje brežine in druga obrežna zavarovanja
		120	usmerjevalni objekt	jezbica / odbijač / usmerjevalni klin / usmerjevalni pomol
		130	drugi objekt in ureditev na brežini/ obali	rebro / ribje skrivališče v brežini struge/obali
		140	vkopano obrežno/obalno zavarovanje	
		150	tesnilna zavesa	
200	objekt in ureditev dna struge ali obale	**210**	zavarovanje dna	utrditev dna / obogatitev posteljice dna
		220	ureditev dna	samica / ribje skrivališče v dnu
		230	lovilna jama	
300	prečni objekt	**310**	prag	talni prag / stopenjski prag / večstopenjski prag
		320	drča	drča / večstopenjska drča
		330	stopnja	stopnja / kaskadna stopnja
		340	jez	jez / večstopenjski jez / mehki jez / večstopenjski mehki jez
		350	pregrada	pregrada za zadrževanje vode / prodna pregrada / hudourniška pregrada / ustalitvena pregrada
		360	zapornica	
		370	baraža in grablje	baraža / grablje
		380	bočni preliv	
		390	razbijač	
400	visokovodni zid in nasip	**410**	visokovodni zid	
		420	visokovodni nasip	
		430	prepust v visokovodnem nasipu	
500	zadrževalnik in usedalnik	**510**	vodni zadrževalnik	suhi zadrževalnik / mokri zadrževalnik
		520	prodni zadrževalnik	
		530	usedalnik	
600	kanal	**610**	odprti kanal	odprti kanal za odvzem vode / odprti glavni odvodni kanal osuševalnega sistema / odprti razbremenilnik
		620	zaprti kanal	zaprti kanal za odvzem vode / zaprti glavni odvodni kanal osuševalnega sistema / zaprti razbremenilnik
700	regulacija in druga ureditev struge	**710**	sprememba poteka struge	prestavitev / korekcija / prestavitev s korekcijo
		720	sprememba prečnega prereza	zožitev / poglobitev / razširitev / zožitev s poglobitvijo / razširitev s poglobitvijo
		730	prekritje struge	zacevitev / prekritje
		740	zasutje	
800	drugi objekt in ureditev	**810**	pomol in ploščad	pomol / ploščad
		820	dostop	rampa / stopnice
		830	premostitveni ali drug objekt	brv / cestni most / železniški most / cevovod - komunalni vodi / cevovod - energetski in drugi vodi / pregaz
		840	vtok in iztok	vtok / iztok
		850	valobran	
		860	podvodni objekt in ureditve	umetni podvodni greben / umetna čer / sidrišče / podvodna ograja / podvodno nasutje
		870	ureditev obrežja	obrežno nasutje / obrežna ploščad
		880	ribji prehod	obtočni kanal / ribja steza / ribje dvigalo
		890	sifon, natega	
900	drugo	**910**	odstranjevanje zarasti	odstranjevanje zarasti v strugi/na dnu / odstranjevanje zarasti na brežini / odstranjevanje zarasti v obrežnem pasu / odstranjevanje zarasti v pribrežnem pasu
		920	odstranjevanje naplavin in plavja	odstranjevanje sedimenta / odstranjevanje lesenih naplavin / odstranjevanje plavja
		930	vzdrževalna pot	
		940	obratovalni objekt	
		950	revitalizacija (obnova)	celostna revitalizacija/obnova / vzpostavitev hidromorfoloških struktur
		960	druge ekološke ureditve	
		970	ostali objekti, naprave in ureditve	umetni otok / drugo

za posamezen objekt potrebno popisati bistveno manj opisnih podatkov. Določeni opisni podatki se samodejno povzamejo v spletni aplikaciji VONU ob opredelitvi lokacije objekta (opisni podatki povzeti iz relevantnih podatkovnih slojev) (9 % podatkov), za del opisnih podatkov se zahteva vpis vrednosti (41 %), za večino opisnih podatkov pa so možne vrednosti določene vnaprej v spustnih seznamih (50 %), kar zahteva le ustrezno izbiro vrednosti, s čimer se poenostavi in predvsem časovno optimizira izvedbo popisa.

Popis objektov poleg opisnih podatkov obsega tudi grafični izris objekta in fotografsko gradivo s prikazom objektov. Za vse objekte je določena geometrija izrisanega objekta (točkovni, linijski ali ploskovni prikaz). Za navedene tri segmente popisa objektov so izdelana podrobnejša navodila za izvedbo popisa VONU, ki se sproti, glede na prepoznane potrebe za izvajanje sistematičnega in poenotenega popisa, nadgrajujejo.

Preglednica 2: Zbirke podatkov, ki sestavljajo popis vodnih objektov in naprav skladno s Prilogo 2 Pravilnika o vodnem katastru in njihov minimalni atributni del

	Zbirka	Podatki – nivo 1	Minimalni atributni del
1	Vodna infrastruktura	Vodni objekti in naprave, ki so pridobili status vodne infrastrukture	Ime, vrsta objekta (v skladu s predpisi, ki urejajo enotno klasifikacijo vrst objektov), enolični identifikator, lokacija v državnem koordinatnem sistemu, lastnik, upravljavec
		Vodotoki in ostalo, kar se v skladu z zakonom, ki ureja vode, šteje za vodno infrastrukturo	
2	Vodni objekti in naprave, namenjene izvajanju vodnih pravic		Ime, vrsta objekta (v skladu s predpisi, ki urejajo enotno klasifikacijo vrst objektov), enolični identifikator, lokacija v državnem koordinatnem sistemu ter vrsta vodne pravice in podatek o vrsti rabe
3	Drugi objekti, naprave ali ureditve, s katerimi se ureja vodni režim ali pa se neposredno vpliva nanj		Ime, vrsta objekta (v skladu s predpisi, ki urejajo enotno klasifikacijo vrst objektov), enolični identifikator, lokacija v državnem koordinatnem sistemu

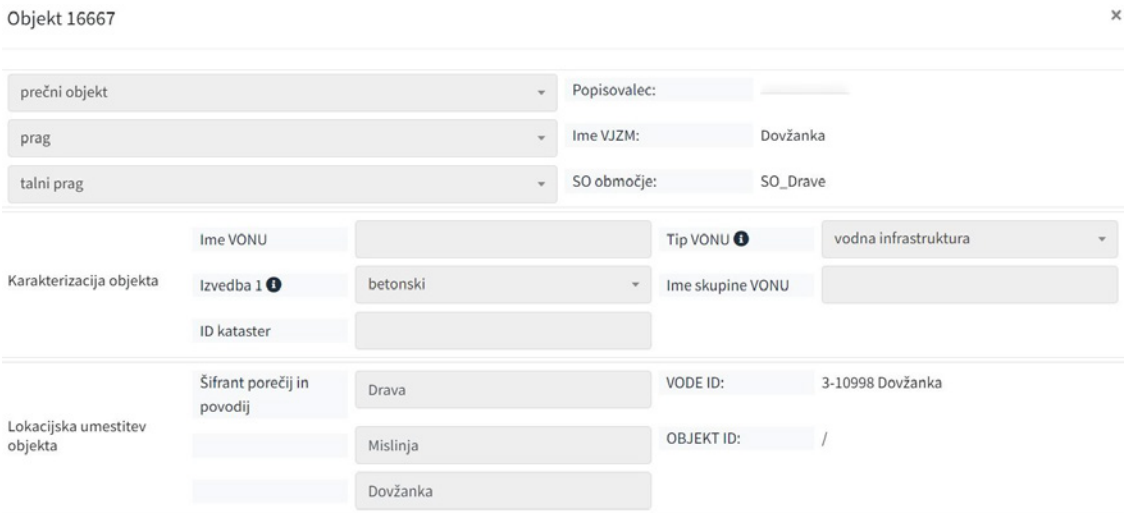
Preglednica 3: Nabor opisnih podatkov v okviru popisa VONU

Sklop opisnih podatkov	Ime opisnega podatka
Karakterizacija objekta	Identifikator / Krajevno/lokalno ime / Tip objekta / Vrsta - šifrant, 1. raven / Vrsta - šifrant, 2. raven / Vrsta - šifrant, 3. raven / Izvedba 1 / Izvedba 2/ Šifra objeta skladno s CC-SI klasifikacijo / Identifikator skupine VONU / Ime skupine VONU / Identifikator kataster VGO
Lokacijska umestitev objekta	Ime vodotoka/jezera/zadrževalnika/morja / Šifra vodotoka s prispevno površino večjo od 10 km^2 / Identifikator hidrografije / Identifikator objekta hidrografije / Lokacija
Inventarna in lokacijska št.	Inventarna številka / Lokacijska številka
Namen in sektor	Namen / Sektor, ki narekuje umestitev
Tehnične karakteristike objekta	Material / Dolžina (m) / Višina (m) / Širina (m) / Debelina/globina (m) / Prelivna širina (m) / Naklon (x:y) / Površina (m^2) / Prostornina (m^3) / Največja višina posamezne stopnje (m) / Število elementov / Širina krone (m) / Najvišja kota zajezitve (m.n.v.) / Dolžina zajezitve (m) / Največja dovoljena amplituda nihanja vodostaja / Talni izpust / Povratna doba pretoka / Ureditev za male pretoke / Prehodnost za ribe / Prehodnost za sediment / Opredelitev vira tehničnega podatka
Raba vode	Vrsta vodne pravice / Vrsta rabe vode
Upravljanje objekta	Perioda odstranjevanja sedimenta / Perioda posega / Način odstranjevanja vegetacije / Območje odstranjevanja zarasti in sedimenta / Način upravljanja / Funkcionalnost / Ohranjenost / Pogostost potrebe po vzdrževanju / Leto izgradnje/izvedbe / Opredelitev vira leta izgradnje / Upravljavec VONU / Ime upravljavca VONU / Lastnik VONU / Ime lastnika VONU
Vrednost objekta	Vrednost novega objekta / Leto določitve vrednosti novega objekta / Opredelitev vira podatka o vrednosti novega objekta
Vir podatkov	Terenski ogled in datum terenskega ogleda / Projektna dokumentacija / Izris objekta
Ostalo	Relacija EHVZ / Razlog spremembe opisa / Legalnost objekta / Opomba

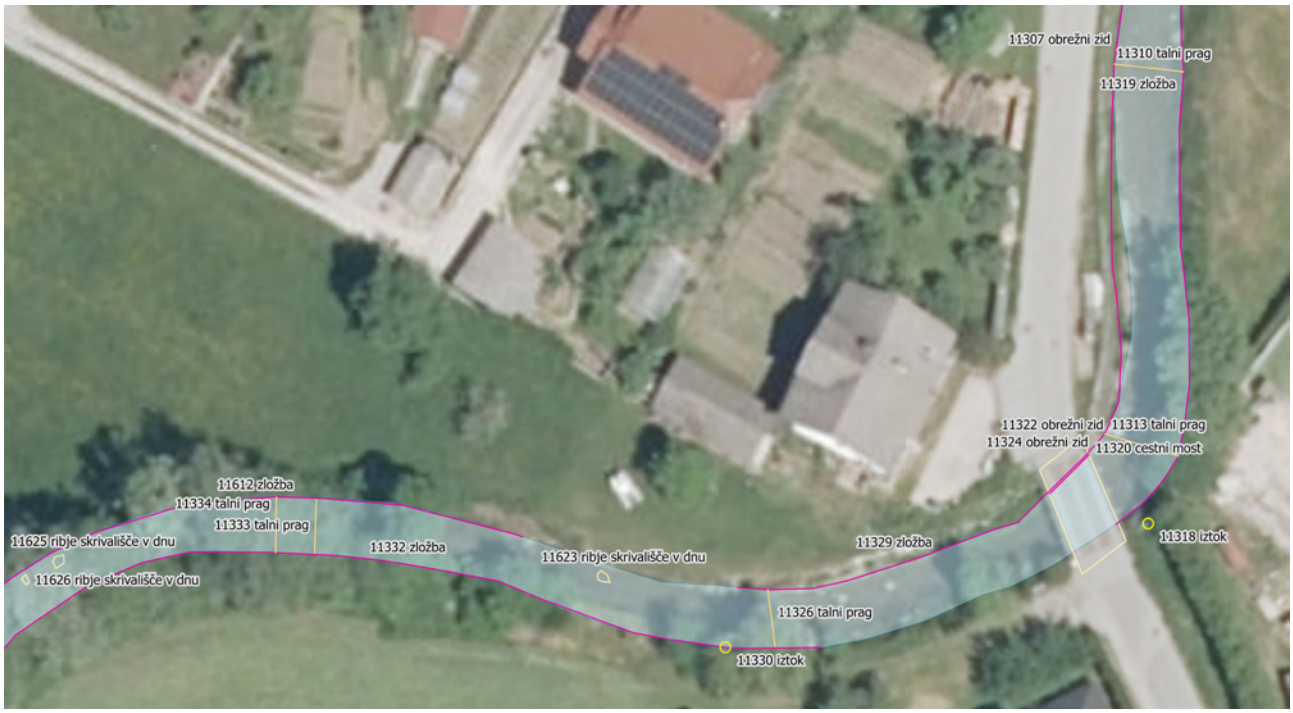
Spletna aplikacija VONU

Spletna aplikacija VONU, ki se trenutno uporablja pri izvajanju popisa objektov, je bila osnovana na podlagi prvotne poenostavljene aplikacije VONU (izdelane v programu Excel) ter obsežno nadgrajena glede na vse pridobljene izkušnje v fazi prvih popisov objektov VONU ter podane predloge popisovalcev (koncesionarjev) za optimizirano popisovanje objektov. Zgrajena je iz dveh delov – »popisovalskega dela«, ki je namenjen popisovanju objektov VONU (del namenjen predvsem koncesionarjem) ter »pregledovalskega dela«, ki je namenjen pregledovanju popisanih objektov ter potrjevanju izvedenih popisov (del namenjen predvsem DRSV).

Aplikacija je zasnovana na način, da omogoča popis objektov preko mobilnikov, tabličnih računalnikov ter namiznih računalnikov ter je uporabna tako v času terenskega kot kabinetnega dela. Preko mobilnika je možen hiter zajem podatkov o objektih in fotografskega gradiva, preko računalnika pa nato podrobnejša obdelava podatkov in priprava grafičnih prikazov (Slika 1, Slika 2). V aplikacijo so vključeni tudi vsi opisi zahtevanih opisnih podatkov, definicije (izrazje) o objektih, ključni podatkovni sloji, ki omogočajo popis in izris objektov (povezava preko spletnih servisov, kar zagotavlja ažurnost podatkov), ter druge relevantne informacije, ki omogočajo popis. Aplikacija deluje na način, da zahteva popis le tistih podatkov, ki so relevantni za posamezne objekte,



Slika 1: Prvi del opisnih podatkov VONU – podatkovni prikaz v aplikaciji VONU



Slika 2: Prikaz izrisov objektov v aplikaciji VONU

omogoča pa tudi povezavo z GIS programskimi orodji, kot je npr. QGIS. Zasnovana je na način, da omogoča delovanje tudi v načinu »offline«, kar je ključnega pomena pri popisu objektov v povirnih delih vodotokov.

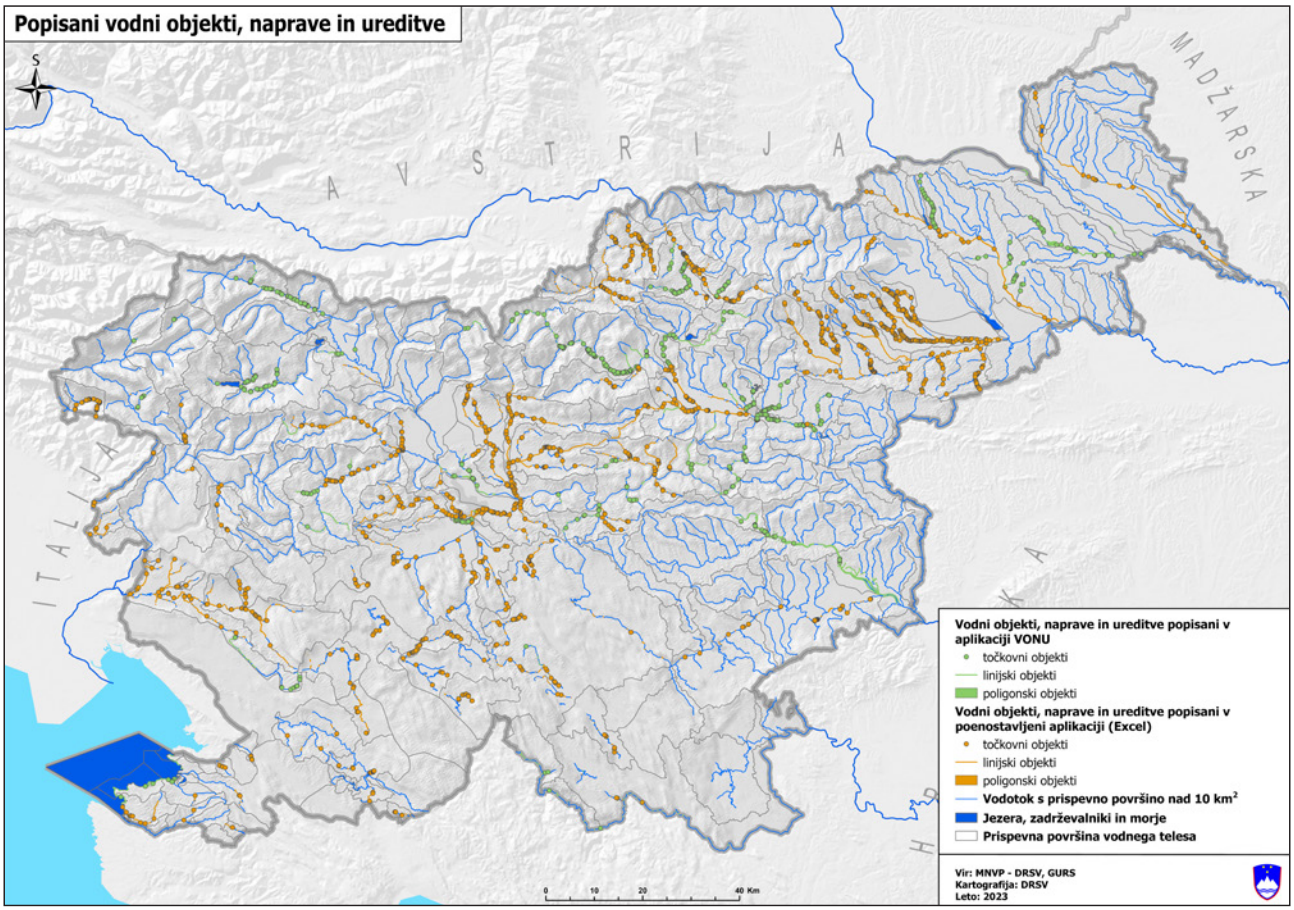
Vmesni rezultati popisa VONU

Popis objektov VONU je v teku, ocenjuje se, da je izveden na okvirno 45 % prioritetno določenih vodotokov, jezer, zadrževalnikov in morja. Popis se je z različno intenziteto izvajal po posameznih sektorjih območij DRSV ter je tako v največjem obsegu izveden na Sektorju območja Srednje Save, Sektorju območja Drave, Sektorju območja Soče in Sektorju območja jadranskih rek z morjem (Slika 3).

V prvi fazi popisa, ki je potekal preko poenostavljene aplikacije (Excel) je bilo skupno popisanih 16.175 objektov, v spletni aplikaciji VONU pa je trenutno dodatno popisanih 10.075 objektov, kar skupno pomeni 26.250 objektov, od katerih se ocenjuje, da približno polovica objektov predstavlja objekte vodne infrastrukture. Pri nadaljnji interpretaciji končnega števila objektov je potrebno upoštevati, da prioritetni vodotoki, na katerih najbolj intenzivno poteka popis VONU, predstavljajo le približno 17 % dolžine celotne rečne mreže v Sloveniji oziroma 33 % dolžine rečne mreže, ki upošteva le vodotoke s širino struge večjo od 2 m.

Zaključek

Popis objektov se je v preteklih letih izkazoval kot pomemben predvsem z vidika možnosti priprave izboljšane ocene vrednosti vodne infrastrukture ter s tem povezane ocene sredstev, ki bi jih država morala namenjati za vzdrževanje le-te. Pomen pravilne ocene potrebnih sredstev so potrdile tudi zadnje ekstremne poplave v letu 2023, ki so pokazale, kako ranljiva je vodna infrastruktura (tudi ob upoštevanju podnebnih sprememb, ki prinašajo vedno pogostejše in intenzivnejše poplavne dogodke), ter kako pomembno je sprotno vzdrževanje oziroma nadgrajevanje le-te. Slednje velja predvsem za območja, kjer prostorske omejitve ne dopuščajo drugačnih (bolj sonaravnih) rešitev za zmanjševanje poplavne in erozijske ogroženosti.
Poleg navedene ocene potrebnih sredstev, popis objektov omogoča tudi izboljšano pripravo načrtovalskih dokumentov (npr. načrtov upravljanja voda, načrtov zmanjševanja poplavne ogroženosti) ter drugih strokovnih podlag, ki so ključnega pomena



Slika 3: Prikaz trenutno popisanih objektov VONU na prioritetno določenih vodotokih, jezerih, zadrževalnikih in morju

z vidika upravljanja voda. Med slednjimi se popis objektov kot pomemben izkazuje tudi v pripravi t.i. celovitih hidrološko-hidravličnih študij za posamezna porečja/povodja, saj omogoča podrobno opredelitev izhodiščnega stanja na porečju/povodju ter učinkovito analizo potrebnih ukrepov na porečjih/povodjih, s katerimi bi se doseglo določene cilje urejanja voda (predvsem cilje zmanjševanja poplavne in erozijske ogroženosti ter cilje izboljšanja hidromorfološkega stanja voda).

Popis objektov med drugim predstavlja tudi izhodišče za pripravo letnih programov dela javne službe urejanja voda, saj se v okviru popisa ocenjuje tudi stanje ohranjenosti vodne infrastrukture, kar bo v prihodnje omogočalo še bolj sistematično usmerjanje sredstev za njeno vzdrževanje. Podatki o objektih so ključnega pomena tudi za sprotno dopolnjevanje evidence hidrografije in vodnih zemljišč ter v nadaljevanju določitev priobalnih zemljišč, kar je pomembno predvsem v okviru priprave prostorskih načrtov (npr. občinskih prostorskih načrtov) ter priprave mnenj v okviru DRSV postopkov.

Ob upoštevanju popisanih objektov bo v nadaljevanju možno sproti nadgrajevati številne podatkovne sloje, ki so ključni za strateško in podrobnejše načrtovanje na področju upravljanja voda ter izvajanje presoj vplivov na okolje. Kot takšen podatkovni sloj se izkazuje predvsem Kategorizacija urejanja vodotokov (DRSV, 2021), v okviru katere se določa stopnja urejanja vodotokov – od naravnih do togo reguliranih vodotokov. Kategorizacija v nadaljevanju omogoča tudi coniranje vodotokov glede na cilje urejanja voda. Glede na prisotnost in stanje vodne infrastrukture (ter drugih objektov VONU) bo možno določiti območja, kjer se primarno zasleduje le cilj zmanjševanje poplavne ogroženosti, območja, kjer se zmanjševanje poplavne ogroženosti lahko doseže tudi na način izboljšanja hidromorfološkega stanja voda in območja, kjer se lahko poseže po bolj celovitih ukrepih za izboljšanje hidromorfološkega stanja (in posledično izboljšanja stanja voda in stanja habitatov).

Popis VONU se je v začetni fazi usmerjal predvsem v popis objektov na prioritetnih vodotokih, jezerih zadrževalnikih in morju, postopno pa se razširja tudi na manj prioritetne vodotoke. Poleg vnosa novih objektov v popis, je enako pomembno tudi sprotno ažuriranje popisanih objektov, tako da bo popis odražal realno stanje na terenu ter podajal ažurne podatke o objektih.
Poleg popisa in sprotnega ažuriranja podatkov o objektih je pomemben tudi prenos izvedenih popisov VONU v uradne, javno dostopne evidence, kar se pripravlja v tej fazi izvajanja naloge. Skladno s Pravilnikom o vodnem katastru bodo zbrani podatki po potrditvi popisov na DRSV dostopni na spletnem portalu »eVode« in grafično prikazani na spletnem pregledovalniku »Atlas voda«. V povezavi z uradnimi evidencami je ključnega pomena tudi vzpostavitev povezave med popisom objektov vodne infrastrukture ter zbirnim katastrom gospodarske javne infrastrukture. Slednje se naslavlja v okviru projekta Zeleni slovenski lokacijski okvir (SLO4D), katerega cilj je povezati ključno prostorsko in okoljsko digitalno podatkovno infrastrukturo ter s tem omogočati celovito urejanje prostora, v katerem imajo prav vode eno izmed ključnih vlog.

Viri in literatura

Banovec, P. Vzpostavitev evidence vodnih objektov in naprav EVON. Podatkovna baza in interna gradiva. Inštitut za vodarstvo, Ljubljana.

DRSV. 2021. Kategorizacija urejanja vodotokov. Podatkovni sloj. Direkcija Republike Slovenije za vode, Ljubljana.

GIS. 2021. Podrobnejša navodila za zajem geometrije objektov, naprav in ureditev VONU. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana. Delovno gradivo.

Habinc, M., Repnik, P. 2022. Izrazje s področja vodnih objektov, naprav in ureditev. Direkcija Republike Slovenije za vode, Ljubljana.

Hidrogea, 1990. Standardi za vodnogospodarska dela. Poročilo. Hidrogea, Maribor.

ARSO. 2012. Vodni objekti in naprave VIN. Podatkovna baza. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.

Koren, S. 2020. Vodni objekti in naprave VIN. Interna gradiva. Direkcija Republike Slovenije za vode Ljubljana.

Košuta, B. 2020. Vzpostavitev katastra vodnogospodarskih objektov VGO. Interna komunikacija. Direkcija Republike Slovenije za vode, Ljubljana.

Mikoš, M. 2000. *Urejanje vodotokov. Skripta. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.*

Pemič, A., Mikoš, M. 2005. Inženirska hidrotehnika. *Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.*

Repnik, P., Habinc, M., Kolenko, P., Kodrič, B. 2022. Šifrant objektov VONU, podatki in navodila za izvedbo popisa VONU. Direkcija Republike Slovenije za vode, Ljubljana.

Sodnik, J., Kogovšek, B., Mikoš, M. 2014. Vodna infrastruktura v Sloveniji: Ali vemo kaj moramo vzdrževati? Zbornik, 14. Mišičev vodarki dan, Maribor.

Urbančič, J. 2020. Vzpostavitev popisa vodnih objektov in naprav VIN v okviru Norveškega mehanizma. Interna gradiva. Direkcija Republike Slovenije za vode, Ljubljana.

Uradni list RS. 2017. Pravilnik o vodnem katastru. Uradni list RS, št. 30/17.

Uradni list RS. 2002. Zakon o vodah. Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 – ZZdrl-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15, 65/20, 35/23 – odl. US in 78/23 – ZUNPEOVE.

Uradni list RS. 2005. Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture. Uradni list RS, št. 46/05.

UPORABA PYTHON ORODIJ ZA OCENO VPLIVA PODNEBNIH SPREMEMB NA VODNO BILANCO

dr. Matevž Vremec, mag. inž. teh. var. okolja,
Institute of Earth Sciences, University of Graz, Heinrichstraße 26, Graz

mag. Irena Kopač, univ.dipl.inž.grad.,
AEI – Aneri Eco Inženiring, Maistrova ul. 4, Radenci

dr. Gerfried Winkler, Assoz.-Prof. Priv.-Doz. Dr.rer.nat.,
Institute of Earth Sciences, University of Graz, Heinrichstraße 26, Graz

dr. Steffen Birk, Univ.-Prof. Dr.rer.nat.,
Institute of Earth Sciences, University of Graz, Heinrichstraße 26, Graz

Povzetek

Segrevanje ozračja in vse pogostejši ekstremni vremenski dogodki imajo neposreden vpliv na meteorološko vodno bilanco, vodno bilanco tal, površinskih vod in podzemnih vodnih teles. Za ocenjevanje vplivov podnebnih sprememb na te sisteme inženirji pogosto uporabljajo hidrološke modele in različna sodobna orodja. V tem prispevku s pomočjo treh konkretnih primerov predstavljamo, kako lahko raznovrstna in uporabniku prilagojena orodja v programskem jeziku Python prispevajo k učinkovitejši oceni vplivov podnebnih sprememb na vodno bilanco. Python se, s svojo preglednostjo in bogato paleto orodij, potrjuje kot zanesljiva platforma za izvedbo inženirskih študij. Dodatno Jupyter Notebooki zagotavljajo podporo za celovito dokumentacijo delovnega procesa, s tem pa omogočajo večjo ponovljivost, avtomatizacijo in lažjo izmenjavo strokovnih znanj.

Ključne besede: vodna bilanca, Jupyter beležnica, podnebne spremembe, Python, hidrološki modeli

Uvod

Podatki zadnjih desetletij kažejo na naraščanje temperature in koncentracije CO_2 v ozračju. Te podnebne spremembe vodijo do izrazitih sprememb v hidroloških procesih: od spremenjenih vzorcev padavin in povečanega izhlapevanja do razlik v deležu snežnih padavin, taljenja snega in razlik v intenzivnosti padavin (ARSO, 2008). Posledično se povečuje tveganje za ekstremne dogodke, kot so poplave in suše. Zaradi obsežnih učinkov suše in poplav na različne sektorje sta celovito razumevanje in natančno napovedovanje teh pojavov ključnega pomena za učinkovito blažitev posledic (Ipavec in Kajfež, 2008).

Inženirji si pri razumevanju in napovedanju poplav in suš med drugim pomagajo z meritvami vplivnih dejavnikov, fizikalnimi zakoni in vodnobilančnimi modeli. Ti modeli vključujejo izračun meteorološke vodne bilance, vodne bilance tal ter hidrološke vodne bilance prispevnih območij in vodonosnikov. Pri oceni vodne bilance tal in hidrološke vodne bilance si lahko pomagamo s hidrološkimi

modeli, ki simulirajo tok vode iz atmosfere skozi tla oziroma v porečje ali vodonosnik (ARSO, 2008). Vpliv podnebnih sprememb na vodno bilanco lahko med drugim analiziramo za preteklost na podlagi merjenih podatkov, ali prihodnosti z analizo obcutljivosti na podlagi modifikacije vhodnih podatkov za izračun vodne bilance, ali na podlagi podatkov klimatskih modelov (Glavan in sod., 2011). V obeh primerih je potrebna modifikacija vhodnih podatkov, kjer med najpomembnejše spadajo padavine, evapotranspiracija in taljenje snega (Maček in sod., 2018). Pri tem si lahko pomagamo z različnimi orodji za vnos in obdelavo podatkov, vodno-bilančnimi modeli, in orodji za prikaz rezultatov.

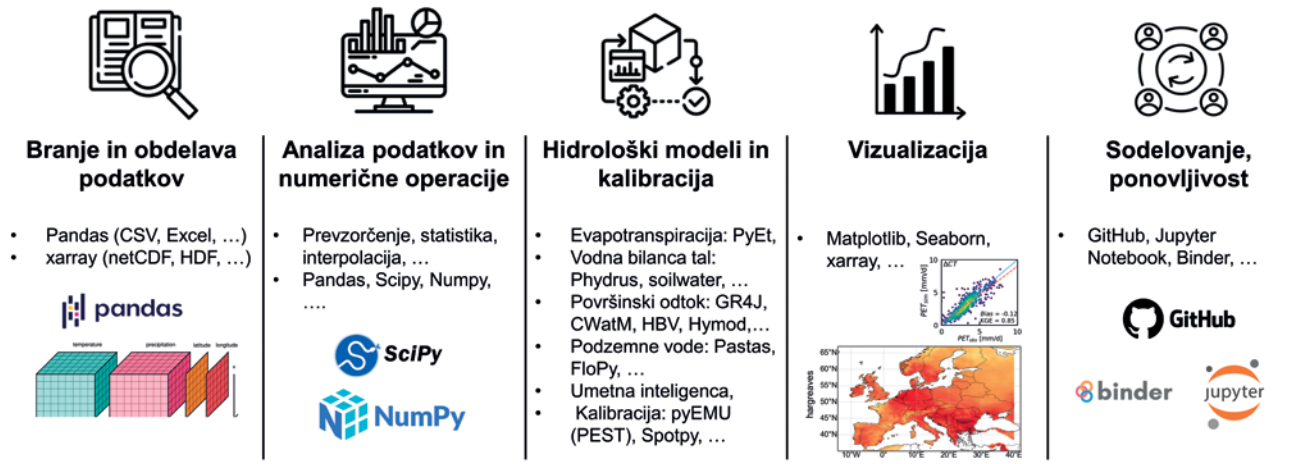
Python orodja postajajo vse bolj priljubljena v inženirskih krogih zaradi svoje široke uporabnosti v različnih fazah delovnega procesa (Slika 1). Na primer, knjižnica Pandas omogoča enostavno berljivost in obdelavo tabelarnih podatkov, medtem ko se knjižnica xarray uporablja za delo z 2D in 3D prostorskimi podatki. Xarray je posebej koristen pri obdelavi podatkov klimatskih modelov, ki so pogosto shranjeni v netCDF formatu, berljivem z xarray. Poleg tega se v Pythonu najde bogata zbirka hidroloških modelov za izračun evapotranspiracije (PyEt; Vremec in sod., 2023), površinskih vodnih tokov (GR4J, CWatM) in podzemne vode (Pastas; Collenteur in sod., 2019; FloPy; Bakker in sod., 2016), kakor tudi modeli za strojno učenje in umetno inteligenco (Kratzert in sod., 2018). Ti Python paketi so običajno dostopni na GitHub platformi, kjer orodje Git omogoča učinkovito upravljanje z različicami in kjer so tudi ustrezno dokumentirani. Jupyter beležnice (Notebook; Kluyver in sod., 2016) predstavljajo še eno izmed velikih prednosti, saj omogočajo interaktivno okolje za integracijo besedila, kode in rezultatov v enem dokumentu. Njihova uporabnost je prepoznana tudi v okviru Evropskega programa Copernicus, kjer se uporabljajo za analizo in vizualizacijo podatkov (Buontempo in sod., 2022). Poleg tega Jupyter beležnice omogočajo izvajanje v Google Colab okolju brez potrebe po namestitvi dodatne programske opreme, kar povečuje prenosljivost in dostopnost analitičnih procesov.

V tem prispevku želimo na treh primerih predstaviti uporabo orodij, ki temeljijo na Pythonu, in beležnic Jupyter pri ocenjevanju učinkov podnebnih sprememb na vodno bilanco. Prvi primer prikazuje, kako lahko na podlagi podatkov o padavinah in temperaturi ocenimo meteorološko vodno bilanco ter izračunamo trende. Drugi primer prikazuje, kako je mogoče s paketom xarray obdelati prostorsko porazdeljene 2D-podatke. Tretji primer prikazuje, kako je mogoče vključiti različne hidrološke modele za izračun vodne bilance tal in porečja.

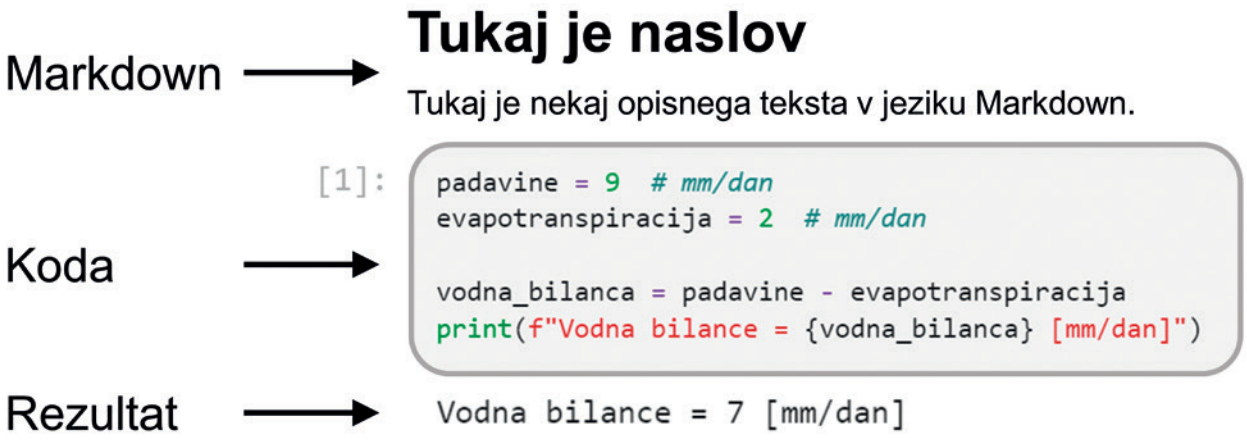
Metodologija

Jupyter beležnice

Jupyter beležnice so neprecenljivo računalniško orodje za inženirje in znanstvenike, saj olajšajo številne naloge, ki vključujejo vnos podatkov, analizo, empirično modeliranje in vizualizacijo rezultatov (Kluyver in sod., 2016). Oblikovani kot spletno interaktivno računalniško okolje, Jupyter beležnice omogočajo izvajanje žive kode skupaj z bogatimi besedilnimi elementi in vizualnimi predstavitvami. Ta večnamenski dokumentni format podpira vključevanje besedila, matematičnih enačb in večpredstavnostnih virov ter tako zagotavlja celovito platformo za pripovedovanje in kodo.



Slika 1: Jupyter beležnica (Notebook) in Python paketi lahko podpirajo celoten proces ocene vodne bilance, od branja in obdelave podatkov, do hidrološkega modeliranja, vizualizacije podatkov, in interaktivne izmenjave podatkov.



Slika 2: Ilustracija vsebine Jupyter beležnice (Notebook-a). Jupyter beležnice vsebujejo interaktivno mešanico besedila markdown, kode in rezultata kode.

Uporabnost beležnic Jupyter se razširi na skupna prizadevanja, saj ponuja funkcije, kot so deljenje kode v realnem času in opombe, ki bistveno povečujejo ponovljivost in preglednost raziskav. Poleg tega platforma že sama po sebi podpira avtomatizacijo delovnih postopkov, s čimer racionalizira ponavljajoče se procese in povečuje produktivnost. S tem ko ponuja celovit dokument, ki brez težav združuje razlago, kodo in rezultate, so beležnice Jupyter nepogrešljiv pripomoček za sodobne znanstvene raziskave in reševanje inženirskih problemov.

Vpliv podnebnih sprememb na vodno bilanco

Vodno-bilančni modeli se v praksi pogosto uporabljajo pri razumevanju in napovedovanju sušnih obdobij, čemur lahko služi enostaven izračun meteorološke vodne bilance ali vodne bilanc tal s pomočjo hidroloških modelov (Ipavec in Kajfež, 2008). Ti modeli lahko prav tako služijo potrebam namakalnih sistemov (Glavan in sod., 2011). Na drugi strani se lahko hidrološki modeli prav tako uporabljajo za razumevanje in napovedovanje razpoložljivosti vode v rekah in vodonosnikov (Andjelov in sod., 2013).

Pri analizi podnebnih sprememb na vodno bilanco lahko analiziramo vplive v preteklosti na podlagi merjenih podatkov (Ipavec in Kajfež, 2008) ali računamo vplive v prihodnosti z modifikacijo vhodnih podatkov za izračun vodne bilance (padavine in evapotranspiracija). Tukaj lahko uporabimo analizo senzitivnosti, kjer padavine oziroma evapotranspiracijo znižamo oziroma zvišamo glede na napovedi v naši regiji, ali uporabimo podatke projekcij regionalnih klimatskih modelov.

Primeri uporabe

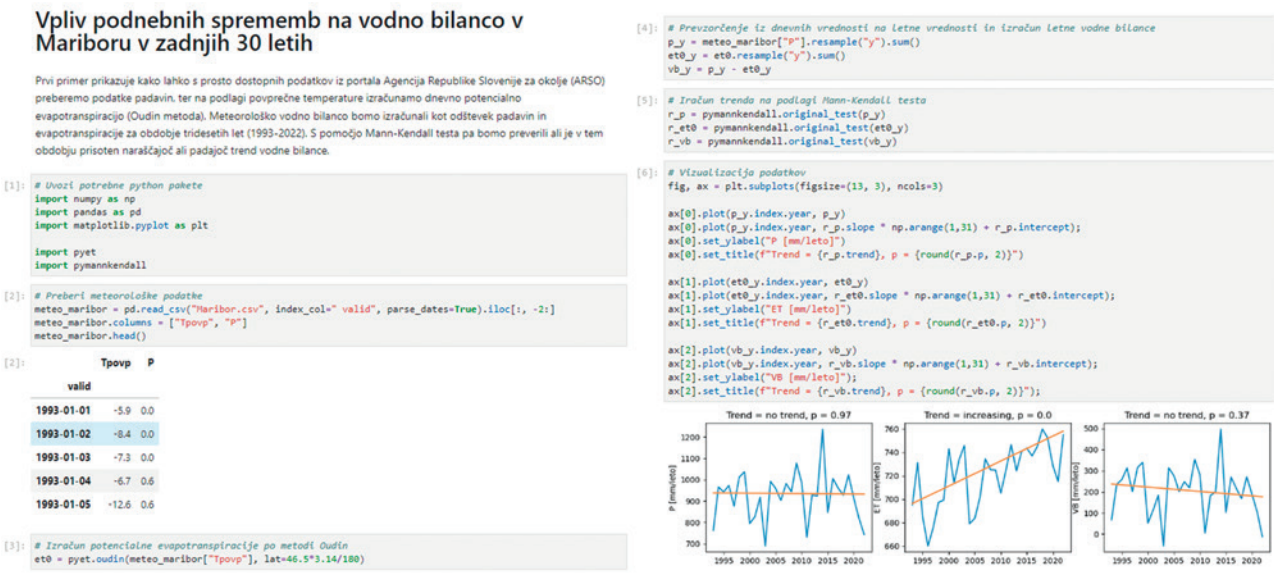
Vpliv podnebnih sprememb na vodno bilanco v Mariboru v zadnjih 30 letih

Prvi primer analizira trende vodne bilance za zadnjih 30 let na meteorološki postaji letališča Edvarda Rusjana v Mariboru. Temelji na prosto dostopnih podatkih dnevnih padavin in povprečnih temperatur, pridobljenih iz podatkovne zbirke Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO). Dnevno potencialno evapotranspiracijo smo za lažjo predstavo izračunali z uporabo paketa *PyEt* po Oudinovi metodi. PyEt med drugim ponuja izračun potencialne evapotranspiracije na podlagi 18 metod, med katere spada tudi standardna metoda Penman-Monteith.

Na podlagi teh podatkov smo nato izračunali dnevno meteorološko vodno bilanco kot razliko med padavinami in evapotranspiracijo. Dnevne vrednosti smo prevzorčili na letno osnovo in s pomočjo paketa *pymannkendall* izvedli analizo trendov letnih količin padavin, evapotranspiracije ter vodne bilance. Rezultati, predstavljeni na Sliki 3, kažejo izrazito naraščajoč trend evapotranspiracije, medtem ko padavine ne kažejo statistično značilnega trenda, vodna bilanca pa nakazuje rahlo upadanje, ki pa zaenkrat še ni statistično pomembno.

Uporaba projekcij regionalnih modelov projekta EURO-CORDEX

Drugi primer analizira razliko v projicirani meteorološki vodni bilanci za obdobje 2071–2100 v primerjavi s trenutno vodno bilanco za obdobje 1981–2010. Vodna bilanca je izračunana na



Vpliv podnebnih sprememb na vodno bilanco v Mariboru v zadnjih 30 letih

Prvi primer prikazuje kako lahko s prosto dostopnih podatkov iz portala Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) preberemo podatke padavin, ter na podlagi povprečne temperature izračunamo dnevno potencialno evapotranspiracijo (Oudin metoda). Meteorološko vodno bilanco bomo izračunali kot odštevek padavin in evapotranspiracije za obdobje tridesetih let (1993-2022). S pomočjo Mann-Kendall testa pa bomo preverili ali je v tem obdobju prisoten naraščajoč ali padajoč trend vodne bilance.

```
[1]: # Uvozi potrebne python pakete
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

import pyet
import pymannkendall

[2]: # Preberi meteorološke podatke
meteo_maribor = pd.read_csv("Maribor.csv", index_col=" valid", parse_dates=True).iloc[:, -2:]
meteo_maribor.columns = ["Tpovp", "P"]
meteo_maribor.head()
```

[2]:

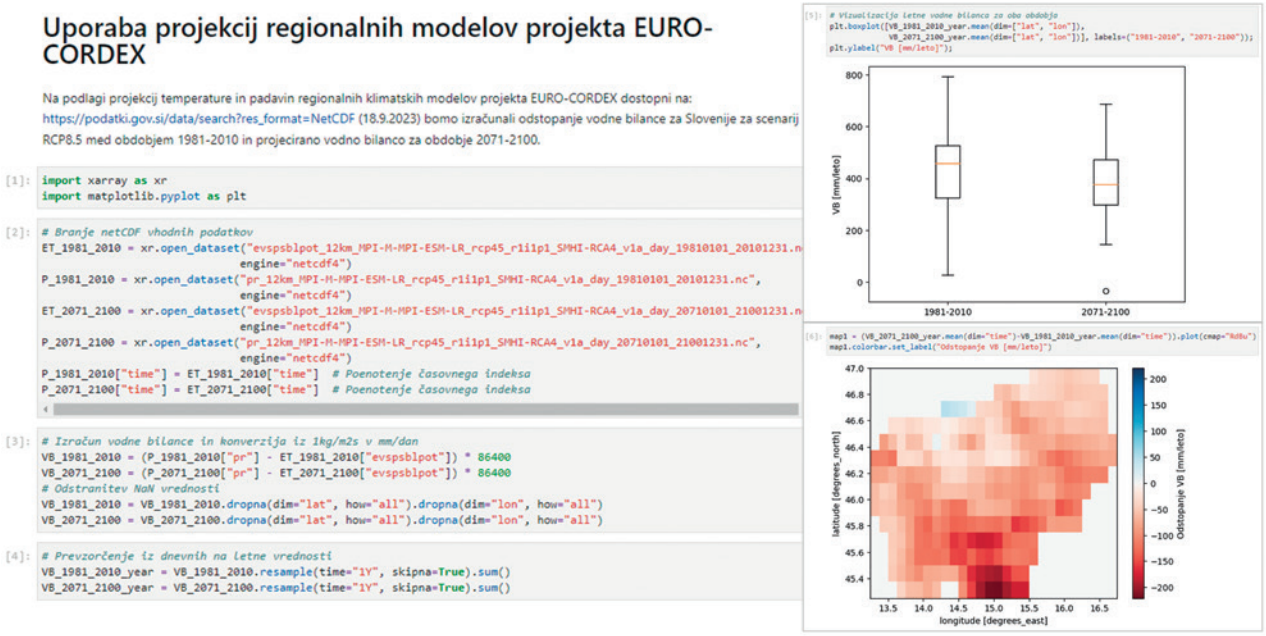
	Tpovp	P
valid		
1993-01-01	-5.9	0.0
1993-01-02	-8.4	0.0
1993-01-03	-7.3	0.0
1993-01-04	-6.7	0.6
1993-01-05	-12.6	0.6

```
[3]: # Izračun potencialne evapotranspiracije po metodi Oudin
et0 = pyet.oudin(meteo_maribor["Tpovp"], lat=46.5*3.14/180)

[4]: # Prevzorčenje iz dnevnih vrednosti na letne vrednosti in izračun letne vodne bilance
p_y = meteo_maribor["P"].resample("y").sum()
et0_y = et0.resample("y").sum()
vb_y = p_y - et0_y

[5]: # Izračun trenda na podlagi Mann-Kendall testa
r_p = pymannkendall.original_test(p_y)
r_et0 = pymannkendall.original_test(et0_y)
r_vb = pymannkendall.original_test(vb_y)

[6]: # Vizualizacija podatkov
fig, ax = plt.subplots(figsize=(13, 3), ncols=3)

ax[0].plot(p_y.index.year, p_y)
ax[0].plot(p_y.index.year, r_p.slope * np.arange(1,31) + r_p.intercept);
ax[0].set_ylabel("P [mm/leto]")
ax[0].set_title(f"Trend = {r_p.trend}, p = {round(r_p.p, 2)}")

ax[1].plot(et0_y.index.year, et0_y)
ax[1].plot(et0_y.index.year, r_et0.slope * np.arange(1,31) + r_et0.intercept);
ax[1].set_ylabel("ET [mm/leto]")
ax[1].set_title(f"Trend = {r_et0.trend}, p = {round(r_et0.p, 2)}")

ax[2].plot(vb_y.index.year, vb_y)
ax[2].plot(vb_y.index.year, r_vb.slope * np.arange(1,31) + r_vb.intercept);
ax[2].set_ylabel("VB [mm/leto]");
ax[2].set_title(f"Trend = {r_vb.trend}, p = {round(r_vb.p, 2)}");
```


Slika 3: Primer izračuna meteorološke vodne bilance na podlagi meteoroloških podatkov za Letališče Edvarda Rusjana Maribor z *Jupyter* beležnico (Vir podatkov:ARSO).

podlagi podatkov o dnevnih padavinah in potencialni evapotranspiraciji, pridobljeni iz regionalnih klimatskih modelov projekta EURO-CORDEX, dostopnih na spletni strani https://podatki.gov.si/ (dostop: 18. 9. 2023). Za lažjo predstavo smo za analizo uporabili rezultate enega klimatskega modela (SMHI-RCA) za scenarij RCP4.5, ki velja za zmerno optimističen klimatski scenarij. Ti podatki so dostopni v netCDF formatu, ki smo ga prebrali in podatke prevzorčili na letno osnovo z uporabo paketa *xarray*.

Na prvi sliki Slike 4 je prikazana variabilnost letne vodne bilance za oba izračunana obdobja, ki kaže na nižjo vodno bilanco v prihodnosti. Druga slika na Sliki 4 pa predstavlja prostorsko porazdelitev spremembe povprečne letne vodne bilance med obema obdobjema, s čimer je razviden največji upad vodne bilance na jugovzhodnem delu Slovenije.



Uporaba projekcij regionalnih modelov projekta EURO-CORDEX

Na podlagi projekcij temperature in padavin regionalnih klimatskih modelov projekta EURO-CORDEX dostopni na: https://podatki.gov.si/data/search?res_format=NetCDF (18.9.2023) bomo izračunali odstopanje vodne bilance za Slovenije za scenarij RCP8.5 med obdobjem 1981-2010 in projecirano vodno bilanco za obdobje 2071-2100.

```
[1]: import xarray as xr
import matplotlib.pyplot as plt

[2]: # Branje netCDF vhodnih podatkov
ET_1981_2010 = xr.open_dataset("evspsblpot_12km_MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp45_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1a_day_19810101_20101231.n
                               engine="netcdf4")
P_1981_2010 = xr.open_dataset("pr_12km_MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp45_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1a_day_19810101_20101231.nc",
                              engine="netcdf4")
ET_2071_2100 = xr.open_dataset("evspsblpot_12km_MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp45_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1a_day_20710101_21001231.n
                               engine="netcdf4")
P_2071_2100 = xr.open_dataset("pr_12km_MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp45_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1a_day_20710101_21001231.nc",
                              engine="netcdf4")
P_1981_2010["time"] = ET_1981_2010["time"]  # Poenotenje časovnega indeksa
P_2071_2100["time"] = ET_2071_2100["time"]  # Poenotenje časovnega indeksa

[3]: # Izračun vodne bilance in konverzija iz 1kg/m2s v mm/dan
VB_1981_2010 = (P_1981_2010["pr"] - ET_1981_2010["evspsblpot"]) * 86400
VB_2071_2100 = (P_2071_2100["pr"] - ET_2071_2100["evspsblpot"]) * 86400
# Odstranitev NaN vrednosti
VB_1981_2010 = VB_1981_2010.dropna(dim="lat", how="all").dropna(dim="lon", how="all")
VB_2071_2100 = VB_2071_2100.dropna(dim="lat", how="all").dropna(dim="lon", how="all")

[4]: # Prevzorčenje iz dnevnih na letne vrednosti
VB_1981_2010_year = VB_1981_2010.resample(time="1Y", skipna=True).sum()
VB_2071_2100_year = VB_2071_2100.resample(time="1Y", skipna=True).sum()

[5]: # Vizualizacija letne vodne bilance za oba obdobja
plt.boxplot([VB_1981_2010_year.mean(dim=["lat", "lon"]),
             VB_2071_2100_year.mean(dim=["lat", "lon"])], labels=("1981-2010", "2071-2100"));
plt.ylabel("VB [mm/leto]");
```



```
[6]: map1 = (VB_2071_2100_year.mean(dim="time")-VB_1981_2010_year.mean(dim="time")).plot(cmap="RdBu")
map1.colorbar.set_label("Odstopanje VB [mm/leto]")
```


Slika 4: Primer izračuna odstopanja meteorološke vodne bilance med trenutno vodno bilanco (1981-2010) in vodno bilanco v prihodnosti (2071-2100) na podlagi podatkov padavin in potencialne evapotranspiracije iz regionalnih klimatskih modelov programa EURO-CORDEX (Vir: *https://podatki.gov.si/data/search?res_format=NetCDF*, dostop: 18.09.2023).

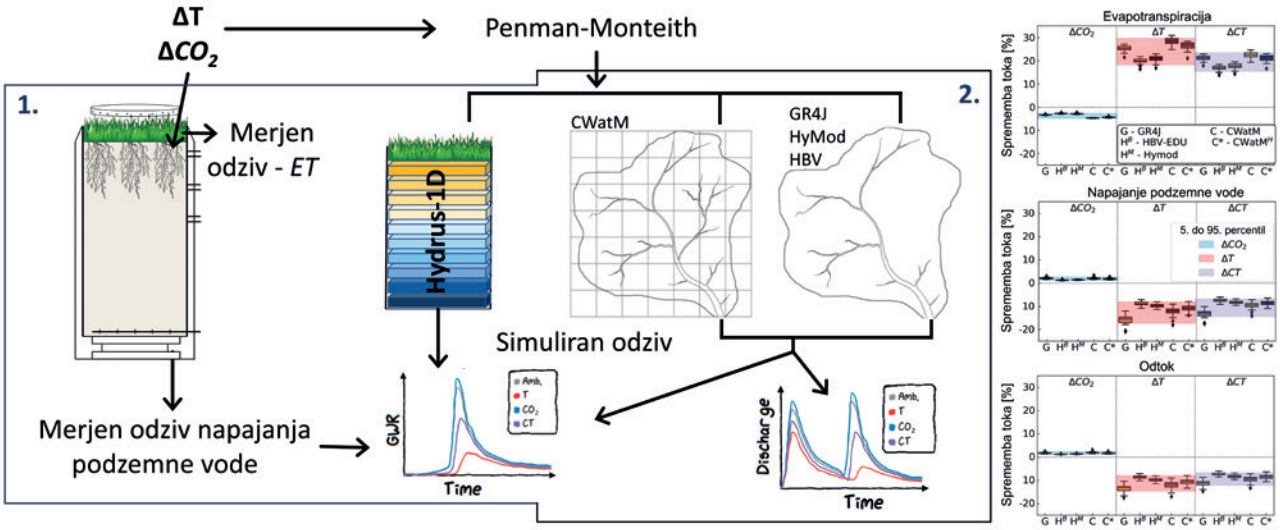
Uporaba hidroloških modelov za analizo vpliva podnebnih sprememb na vodno bilanco

V okviru eksperimenta o vplivu podnebnih sprememb (Forstner in sod., 2021), izvedenega na travniškem ekosistemu, smo s šestimi tehtalnimi lizimetri kvantitativno ocenili vplive segrevanja (ΔT) in povišane koncentracije CO_2 (ΔCO_2) na vodno bilanco tal. Med letoma 2014 in 2022 sta bila dva lizimetra izpostavljena segrevanju (ΔT; +3 °C), dva povišani koncentraciji CO_2 (ΔCO_2; +300 ppm), en lizimeter pa tako segrevanju kot povišani koncentraciji CO_2 (ΔCT). En lizimeter je deloval pod kontrolnimi pogoji in je služil kot referenca. Lizimetri so omogočili direktno merjenje individualnih in kombiniranega vpliva ΔT in ΔCO_2 na dejansko evapotranspiracijo (ET) in napajanje podzemne vode, kot tudi na vsebnost vode v tleh in matrični potencial.

V prvem koraku analize (slika 5) smo ocenjevali sposobnost hidroloških modelov, da pravilno simulirajo vplive ΔT in ΔCO_2 na vodno bilanco tal. Da bi odgovorili na to vprašanje, smo primerjali simulacijske rezultate toka vode v vseh šestih lizimetrih, ki jih je generiral hidrološki model HYDRUS-1D, z merjenimi vrednostmi iz lizimetrov. Vhodna podatka modela HYDRUS-1D sta padavine in potencialna evapotranspiracija (PET). Pri tem smo med različnimi scenariji oziroma HYDRUS-1D modeli lizimetrov (ΔT, ΔCO_2, ΔCT) spreminjali samo vhodne podatke za PET. PET smo izračunali po metodi Penman-Monteith, upoštevajoč stomatalno senzitivnost na CO_2. Ob višji koncentraciji CO_2 se namreč listne reže trav deloma zaprejo, kar zmanjša izgube vode iz rastlin skozi listne reže in s tem zniža evapotranspiracijo (Vremec in sod., 2022). PET za ΔT lizimetre smo izračunali tako, da smo k dnevni temperaturi dodali +3 °C, za ΔCO_2 lizimetre pa smo upoštevali +300 ppm višjo koncentracijo CO_2 pri izračunu stomatalne odpornosti. Primerjava merjenih in simuliranih vodnih tokov je pokazala zelo dobro ujemanje. Tako meritve kot model so pokazale povečanje evapotranspiracije in zmanjšanje napajanja podzemne vode pri ΔT, medtem ko so povišane koncentracije CO_2 imele nasproten učinek. Pri kombiniranem vplivu ΔCT je prevladoval učinek ΔT, kar pripelje do sušnejših razmer in večjega tveganja za sušo.

Da bi razumeli, kako ΔT in ΔCO_2 vplivata na vodno bilanco bližnjega višjeležečega porečja, večinoma pokritega s travniki, smo študijo razširili in ugotovitve iz lizimetrov uporabili za celotno okoliško porečje. Za modeliranje vodne bilance porečja smo uporabili tri konceptualne hidrološke modele — GR4J, HYMOD in HBV_{EDU} — ter prostorsko porazdeljen hidrološki model CWatM. Pri vseh modelih smo upoštevali enake vhodne podatke za padavine in taljenje snega, medtem ko smo vhodno PET izračunali na enak način kot pri HYDRUS-1D modelu, le da smo upoštevali podatke porečja. Učinki na ET in napajanje podzemne vode so bili podobni kot pri lizimetrih, torej večja ET pri ΔT in zmanjšanje napajanja podzemne vode ter površinskega odtoka (slika 5). Primerjava z lizimetri je pokazala, da podnebne spremembe bolj negativno vplivajo na napajanje podzemne vode v nižjeležečih in bolj sušnih območjih.

Celotna analiza in modeliranje vodne bilance tal in porečja je bila izvedena v Jupyter beležnicah, kar potrjuje njihovo vrednost v znanstvenem raziskovanju.



Slika 5: Potek modeliranje vodne bilance tal in porečja ter modelirane relativne spremembe dejanske evapotranspiracije, napajanja podzemne vode in površinskega odtoka za modele GR4J (G), HBV_{EDU} (HB), HyMod (HM), CWatM (C) in CWatM* (C*). Diagrami prikazujejo letno spremembe komponent vodne bilance med podnebnim scenarijem in trenutnimi razmerami.

Zaključki

Za učinkovito napovedovanje in razumevanje vplivov podnebnih sprememb je ključnega pomena sistematsko, kakovostno zbiranje in redno, sprotno spremljanje podatkov ter zagotavljanje njihove zanesljivosti. Na drugi strani je enako pomembna tudi napredna obdelava teh podatkov z uporabo sodobnih analitičnih orodij. Prav tako je zaželeno, da so vsi ti podatki in ključna orodja dostopni in v domeni razumevanja ključnih deležnikov. To nam lahko pomaga pri sprejemanju pravočasnih in učinkovitih ukrepov v soočanju s podnebnimi spremembami.

Tako meritve kot tudi različni hidrološki modeli kažejo na naraščajočo pogostost ekstremnih vremenskih dogodkov, ki direktno vplivajo na vodno bilanco. Ta prispevek je s pomočjo treh specifičnih primerov demonstriral učinkovitost orodij, zasnovanih na programskem jeziku Python, za hitro in učinkovito analizo vplivov podnebnih sprememb na vodno bilanco. Vsekakor gre za prve korake pristopa, ki bi potreboval sistematično nadaljevanje.

Ta orodja omogočajo globlje razumevanje dinamike vodnih tokov in njihovih posledic, kar je še posebej kritično v kontekstu spreminjajočih se podnebnih razmer. Jupyter beležnice so se izkazale kot izjemno učinkovit pripomoček, ki ne omogoča le celovite dokumentacije delovnega procesa, temveč tudi avtomatizacijo številnih korakov analize. S tem zagotavljajo visoko stopnjo ponovljivosti inženirskih študij, avtomatizacijo procesov in omogočajo lažjo izmenjavo znanja, kar spodbuja tudi interdisciplinarno sodelovanje, ki je za učinkovitost posameznih ukrepov izredno pomembno.

Literatura

Andjelov, M., Mikulič, Z., Uhan, J., & Dolinar, M.. 2013. *Vodna bilanca z modelom GROWA-SI za količinsko ocenjevanje vodnih virov Slovenije*. https://www.mvd20.com/LETO2013/R17.pdf (17.9.2023).

ARSO, 2008. Vodna bilance Slovenije 1971-2000. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje.

Bakker, M., Post, V., Langevin, C. D., Hughes, J. D., White, J. T., Starn, J. J., & Fienen, M. N.. 2016. *Scripting MODFLOW model development using Python and FloPy*. Groundwater, 733-739.

Buontempo, C., Burgess, S. N., Dee, D., Pinty, B., Thépaut, J.-N., Rixen, M., Almond, S., Armstrong, D., Brookshaw, A., Alos, A. L., Bell, B., Bergeron, C., Cagnazzo, C., Comyn-Platt, E., Damasio-Da-Costa, E., Guillory, A., Hersbach, H., Horányi, A., Nicolas, J., ... Garcés De Marcilla, J. (2022). *The Copernicus Climate Change Service: Climate Science in Action. Bulletin of the American Meteorological Society*, 103(12).

Collenteur, R. A., Bakker, M., Caljé, R., Klop, S. A., in Schaars, F.. 2019. *Pastas: open source software for the analysis of groundwater time series*. Groundwater, 877-885.

Forstner, V., Groh, J., Vremec, M., Herndl, M., Vereecken, H., Gerke, H. H., ... & Pütz, T.. 2021. *Response of water fluxes and biomass production to climate change in permanent grassland soil ecosystems.* Hydrology and Earth System Sciences, 25(12), 6087-6106.

Glavan, M., Meljo, J., Podboj, M., Tratnik, M., Zupanc, V., Kregar, M., ... & Pintar, M. Projekcija vodnih količin za namakanje v Sloveniji. https://mvd20.com/LETO2011/R17.pdf (17.9.2023).

Ipavec, T., in Kajfež-Bogataj, L.. 2008. *Možni vplivi podnebnih sprememb na vodno bilanco tal v Sloveniji*. Acta agriculturae Slovenica, 91, 427-441.

Kluyver, T., Ragan-Kelley, B., Pérez, F., Granger, B. E., Bussonnier, M., Frederic, J., ... in Willing, C.. 2016. Jupyter Notebooks-a publishing format for reproducible computational workflows. Elpub, 87-90.

Kratzert, F., Klotz, D., Brenner, C., Schulz, K., in Herrnegger, M.. 2018. *Rainfall–runoff modelling using Long Short-Term Memory (LSTM) networks*, Hydrol. Earth Syst. Sci., 22, 6005–6022.

Maček, U., Bezak, N., & Šraj, M.. 2018. *Reference evapotranspiration changes in Slovenia, Europe.* Agricultural and forest meteorology, 260, 183-192.

Vremec, M., Collenteur, R. A., in Birk, S.. 2023. *Technical note: Improved handling of potential evapotranspiration in hydrological studies with PyEt, Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*

Vremec, M., Forstner, V., Herndl, M., Collenteur, R., Schaumberger, A., & Birk, S.. 2023. Sensitivity of evapotranspiration and seepage to elevated atmospheric CO2 from lysimeter experiments in a montane grassland. Journal of Hydrology, 617.

PRIMER BREZKONTAKTNEGA DOLOČANJA HITROSTI VODOTOKOV ZA POTREBE HIDRAVLIČNEGA MODELIRANJA

viš. pred. Matjaž Nekrep Perc, univ. dipl. inž. gradb., Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

red. prof. dr. Renata Jecl, univ. dipl. inž. gradb., Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

izr. prof. dr. Janja Kramer Stajnko, univ. dipl. inž. gradb., Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

Povzetek

V zadnjem obdobju smo priča vse pogostejšim ekstremnim vremenskim dogodkom, ki imajo močan vpliv na vodostaje rek in potokov ter infrastrukturo. Da bi se lahko v največji možni meri izognili strašljivim posledicam delovanja visokih voda in dolgotrajnim obnovam, so se vodotoki začeli opremljati z različnimi merilniki in senzorji, ki v vsakem trenutku zagotavljajo pomembne podatke, kot so hitrost toka, pretok, vodostaj in temperatura. Obstoječi sistemi so večkrat pomanjkljivi ali pa so v primeru nastopa visokovodnega vala poškodovani, zato je smiselno, da se poiščejo ustrezne alternative, kjer bi lahko z uporabo brezkontaktnih merilnikov v kombinaciji z mobilnimi telefoni in pripadajočimi aplikacijami hitro in učinkovito prišli do ključnih podatkov, s čimer bi pomembno dopolnili sistem pravočasnega ozaveščanja o nastopu nevarnosti.

Uvod

Brezkontaktno merjenje različnih parametrov na zemeljski površini v zadnjem času prihaja vedno bolj v ospredje in je predmet številnih aktualnih raziskav [1-3]. Parametri površinskih vodotokov se merijo s konvencionalnimi posrednimi ali neposrednimi merilniki toka (npr. ultrazvočna metoda, ...). Glavna pomanjkljivost klasičnih merilnih tehnik je, da so zahtevne in niso vedno varne za izvajalce meritev, zlasti v spremenljivih razmerah, ko se lahko vodostaj in pretok bistveno spremenita, poleg tega pa se lahko po površini premeščajo večje plavine. Pri meritvah pretoka smo večino časa omejeni na razmere, ko so pretoki nizki, na osnovi česar je ocena za višje vodostaje nenatančna.

Brezkontaktno merjenje hitrosti in pretokov vodotokov ima številne prednosti, v primerjavi s konvencionalnimi metodami, kjer gre najbolj izpostaviti varnost izvedbe meritve, možnost neprekinjene meritve, ki omogoča časovno nadzorovanje sprememb vodnih razmer, manjši vpliv na okolje, daljinsko spremljanje parametrov vodoto-

ka, kar omogoča merjenje na težje dostopnih območjih, avtomatizacijo s katero lahko zagotovimo neprekinjen sprejem podatkov v realnem času, kar je ključno za pravočasno odzivanje na spreminjajoče se vodne pogoje ter preprosto uporabo.

V prispevku je predstavljena alternativna metoda za merjenje hitrosti in pretokov vodotokov z mobilnim telefonom in dve prosto dostopni aplikaciji za zajem podatkov. Na izbranem merilnem mestu je opravljena primerjava s podatki pridobljenimi iz avtomatske merilne postaje, ki se upravlja s strani Agencije RS za okolje. Do sedaj zbrani rezultati in izkušnje kažejo, da lahko z razpoložljivimi aplikacijami pridobimo dovolj natančne rezultate, predvsem pa je prednost ta, da lahko podatke hitro prenašamo na druge naprave. Še vedno pa je nekaj pomanjkljivosti iz vidika zanesljivosti pridobivanja podatkov kot tudi natančnosti meritev.
Predlagan pristop pridobivanja podatkov bi lahko v prihodnje predstavljal učinkovito alternativo obstoječim metodam zbiranja podatkov in pripomogel k izboljšanju sistema za pravočasno ozaveščanje o nevarnosti poplav.

Aplikacije za brezkontaktno merjenje parametrov vodnih teles

Aplikacije za merjenje hitrosti toka vodotokov delujejo na osnovi algoritmov vgrajenih v programsko opremo, ki zaznavajo gibanje delcev v vodi. Gre za programsko opremo LSPIV – (angl. Large Scale Particle Image Velocimetry).

LSPIV tehnologija omogoča merjenje parametrov površinskega toka na osnovi digitalnih slik pridobljenih iz stalnega mesta. Zajemajo se podatki na površini vodotoka, omogočeno je zajemanje širšega območja kot pri uporabi klasičnih metod. Kljub številnim prednostim, med katerimi so najbolj izpostavljene prilagodljivost raznolikim pogojem meritev, so še vedno prisotne nekatere pomanjkljivosti, predvsem optične (odboj, sence, svetloba). Natančnost rezultatov pridobljenih s pomočjo te tehnologije pa je kljub temu primerljiva z drugimi, kot npr. ADCP metodo (akustični Dopplerjev merilnik pretokov).

Z razvojem metod brezkontaktnega merjenja različnih parametrov vodnih teles, so se hkrati razvijale tudi številne aplikacije s katerimi lahko podatke zajemamo in jih dalje obdelujemo.
Primeri uporabnih aplikacij so:

– DischargeApp,
– Flowonthego.

Aplikacija DischargeApp

Discharge je profesionalna platforma za merjenje pretokov in hitrosti vodotokov. Temelji na uporabi kamere za zajem kratkega posnetka na pametnem mobilniku. Platforma je sestavljena iz mobilne aplikacije na mobilniku (DischargeApp) in spletnim vmesnikom (DischargeWeb) za lažje pregledovanje ter urejanje pridobljenih podatkov in meritev. Bistvena prednost aplikacije je, da omogoča hitro in poceni pridobivanje podatkov, saj za meritev potrebujemo le štiri kontrolne točke, na terenu pa ni potrebna uporaba drage merilne opreme. Podatke o pretoku vodotoka lahko ob predhodno pripravljenem merilnem mestu pridobimo prej kot v eni minuti Vsi podatki se prenašajo neposredno na telefon in se takoj ali kasneje (ko je vzpostavljena internetna povezava) naložijo v oblak. Ključne prednosti aplikacije so: [4]

– Nizki stroški izvedbe meritve, hitra in visoka natančnost pridobljenih podatkov (hitrosti, pretoka).
– Aplikacija omogoča meritve v kakršnihkoli odprtih kanalih in pogojih (potoki, reke, namakalni kanali, kanalizacijski kanali, ...).
– Čas priprave območja meritve traja manj kot eno uro, sama meritev parametrov pa je končana prej kot v eni minuti.
– Pri vsaki meritvi takoj pridobimo podatke o vodostaju, površinski hitrosti in pretoku. Pretok se določi na osnovi hitrostnega polja na površini vodnega telesa, kar močno vpliva na natančnost meritve.
– Po vzpostavitvi kontrolnih točk na območju meritve, lahko le-to izvajajo tudi drugi uporabniki, kar omogoča zbiranje večjega števila podatkov.
– Meritev je neinvazivna, saj se hitrost izmeri na podlagi obstoječih objektov na vodni površini in ni odvisna od kemičnih ali fizičnih sledilcev. Ta metodologija prav tako omogoča varnejšo izvedbo meritve v času poplav ali visokovodnih valov.
– Pri vsaki meritvi se posnema tudi slika.
– Na osnovi izmerjenega vodostaja in pretoka se izdelajo krivulje ocen.
– Prenos podatkov se izvede avtomatsko, pri čemer se izognemo napakam pri samem zbiranju podatkov.
– Po meritvi se podatki naložijo v platformo DischargeWeb, ki omogoča pregledovanje, deljenje in izvoz.

Aplikacija Flowonthego

Aplikacija Flowonthego je v fazi razvoja in deluje na mobilnih napravah, ki jih poganja operacijski sistem iOS in Android. Prav tako temelji na upo-

rabi kamere za zajem kratkega posnetka na mobilnem telefonu. Aplikacija omogoča določevanje hitrostnih polj na terenu z možnostjo nalaganja podatkov v oblak, kjer je s pomočjo algoritmov razumevanje in predvidevanje nevarnih dogodkov lažje. Lastnosti aplikacije so: [5]

- Aplikacija omogoča snemanje parametrov v realnih dimenzijah brez, da bi uporabnik moral nameščati posebne kontrolne točke.
- Posneti podatki se samodejno izvozijo na računalnik v obliki *.csv in *.xml.
- Aplikacija omogoča meritve na vseh odprtih vodotokih.
- Iz zbranih podatkov se lahko izračuna povprečna hitrost na merjenem območju.
- Na podlagi znanih referenčnih točk se s posnetkom opravi kalibracija dimenzij.
- Razpoložljiva aplikacija za sledenje je lahko v pomoč pri upravljanju vožnje plovil.

Izvedba meritev

Za pridobivanje čim bolj natančnih podatkov, je velikega pomena izbira ustreznega merilnega mesta, ki mora biti dostopno in urejeno, zaželeno je, da je struga čim bolj enakomernega prečnega prereza. Med samo izvedbo meritve je treba poskrbeti tudi za primerno osvetljenost.

V prispevku prikazujemo izvedbo meritve na strugi reke Pesnice. Meritev se je izvajala v kraju Gočova na lokaciji, kjer je postavljena tudi merilna postaja s strani Agencije RS za okolje, kar nam omogoča neposredno primerjavo rezultatov s podatki, ki jih zabeležijo njihove naprave in so javno dostopni. Vodostaj, hitrost in pretok vode na tem mestu so v veliki meri pogojeni z zapornicami na izpustu jezera Pernica. Te regulirajo vodostaj na več okoliških jezerih, ki se nato zberejo in izlivajo v reko Pesnico pred merilno postajo Gočova.

Meritve so potekale dne 24. 10. 2022 pri temperaturi 9,5° C in 92 % relativni vlažnosti, na sliki 1 so razvidni tudi ostali vremenski parametri.

Za izvedbo meritve smo vzpostavili dve merilni mesti, in sicer pred in za mostom. Med postajama je razlika v gladini, kar se pozna tudi pri vrednostih hitrostih.

Merilno mesto je treba postaviti premišljeno, pri čemer moramo zagotoviti:

- konstanten prečni profil vodotoka,
- dostopnost brežin vsaj na eni strani,
- primerno osvetlitev in dovolj zaznavnih oziroma vidnih struktur na gladini, kot npr. rahle turbulence, valovanje, listje, mehurčki.

Po ureditvi merilnega mesta s kamero mobilnega telefona preverimo vidljivost in območje same meritve. V nadaljevanju zagotovimo še, da:

- sta obe brežini lepo vidni,
- je gladina vode na nasprotni brežini vidna pod kotom 20–70 glede na vodoravno ravnino,
- je na obe brežini možno postaviti talne kontrol-

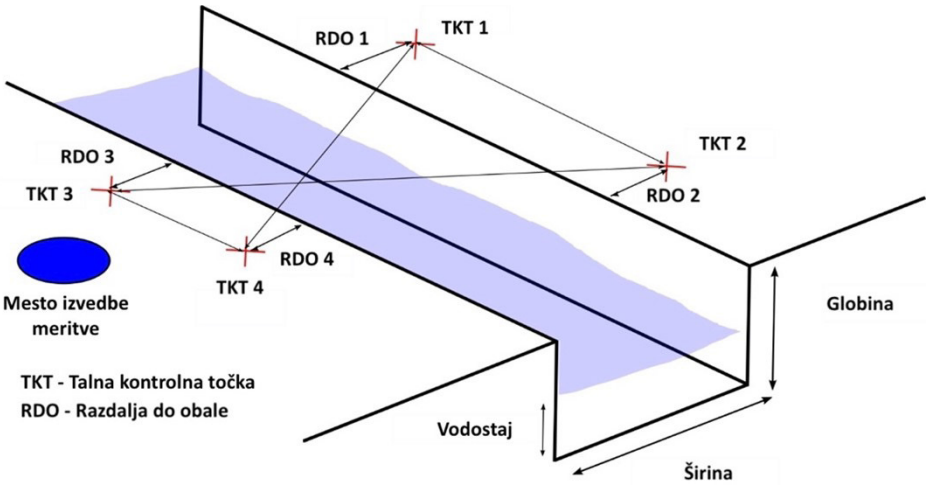
Slika 1: Vremenski parametri v času izvedbe meritve

ne točke, ki sta vidni preko kamere na telefonu,
- so talne kontrolne točke postavljene v horizontalni ravnini in bodo vidne ob različnih pogojih (nizek pretok, visok pretok, razlivanje, ...),
- lokacija izvajanja meritve ni predaleč od struge in je površina vode vidna s kamero (pokriva vsaj 1/3 višine slike).

Za izvedbo meritve moramo postaviti talne kontrolne točke, ki morajo biti vidne na zaslonu mobilnika. Točke morajo biti fiksne in dobro vidne ob vsakršnih vremenskih razmerah. Mesto, kjer postavimo točke mora biti varno pred morebitno visoko vodo.

Pred izvedbo meritve je treba še določiti natančne razdalje med kontrolnimi točkami (slika 3)

Slika 2: Pravilna postavitev kontrolnih točk

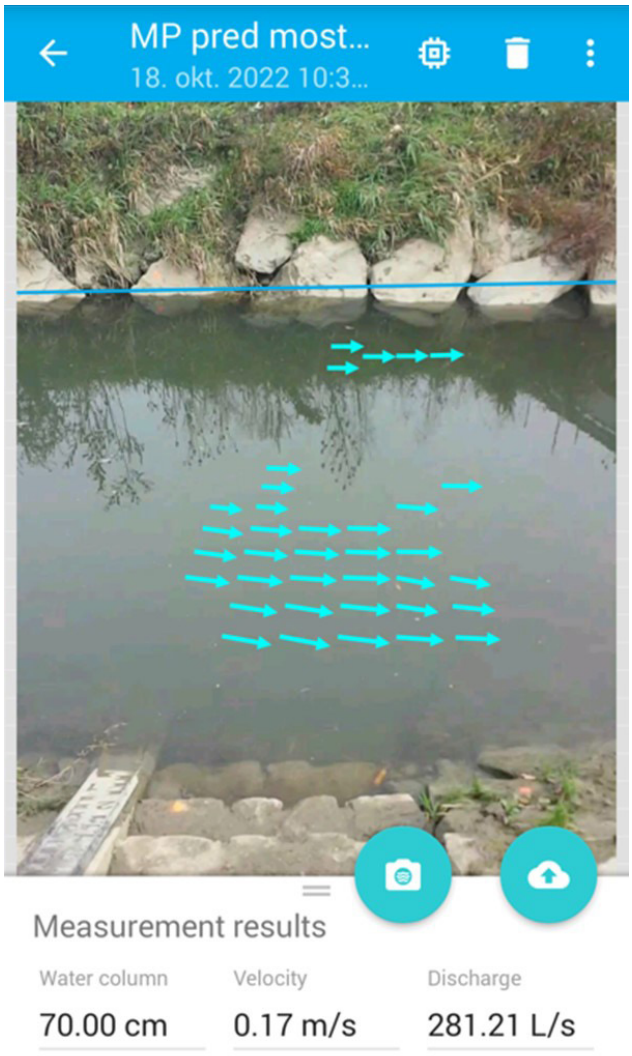


Slika 3: Določevanje razdalj med kontrolnimi točkami

Rezultati in diskusija

Podatke meritve smo zajemali z aplikacijama Discharge in Flowonthego. Pred zajemom slike iz katere pridobimo podatke meritve je treba vnesti nekaj osnovnih parametrov: karakteristike, obliko in dimenzije prečnega profila, globino, razdaljo med kontrolnimi točkami, Manningov koeficient hrapavosti.

Rezultati meritev z aplikacijo Discharge so prikazan na sliki 4. Modre puščice prikazujejo vektorje hitrosti in kažejo smer vodotoka. Prikazane so tam, kjer so algoritmi aplikacije najbolje razbrali gibanje na vodni površini. V tej fazi je možno korigirati le še gladino vode, ki nam jo aplikacija označi z modro črto. Obdelavo posnetka lahko zaključimo z nalaganjem podatkov v oblak, kar nam shrani rezultate meritev na platformo aplikacije.



Slika 4: Rezultat meritve z aplikacijo Discharge

Za razliko od aplikacije Discharge, ki nam izpiše preračunan podatek o hitrosti, pri aplikaciji Flowonthego le-tega odčitamo iz barvne skale na mreži (slika 5). Točnega – številčnega podatka o hitrosti ne dobimo, na voljo je le barvna mreža in skala. Na podlagi barve in območja na skali lahko za naše merilno mesto pod mostom razberemo, da je približna hitrost okoli 1.0 m/s.

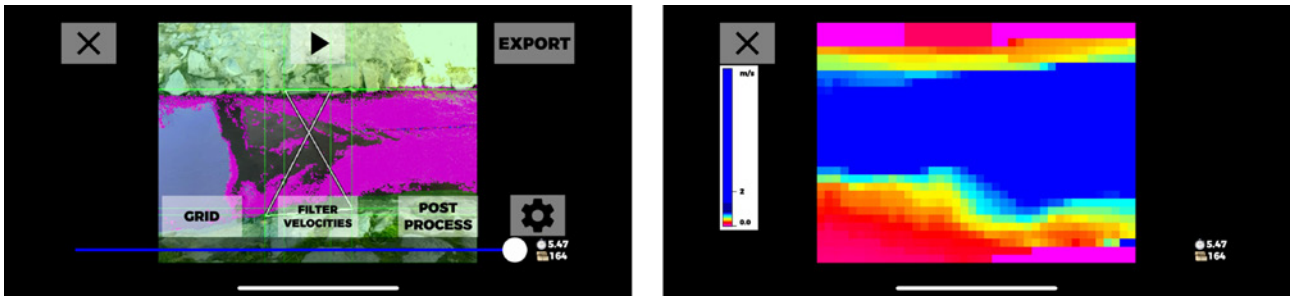
V tabeli 1 so zbrani končni rezultati meritev hitrosti in pretokov v primerjavi z izmerjenimi vrednostmi pretokov na merilni postaji Gočova (ARSO), dodana je tudi vrednost izmerjene hitrosti z ročnim prenosnim merilnikom (hidrometrično krilo).

Končni rezultati	Hitrost pred mostom	Hitrost pod mostom	Pretok pred mostom	Pretok pod mostom
MP ARSO	/	/	229,0 l/s*	229,0 l/s*
Prenosni merilnik	0.2 m/s	0.8 m/s	/	/
Discharge	0.17 m/s	0.837 m/s	281,45 l/s	368,56 l/s
Flowonthego	/	1.27 m/s	/	/

Tabela 1: Primerjava rezultatov meritev hitrosti in pretokov z različnimi metodami

* Predpostavimo, da je pretok na merilni postaji pred mostom in pod mostom konstanten.

Iz rezultatov je razvidno, da s pomočjo aplikacije Discharge pridobimo solidne rezultate z manjšimi odstopanji v primerjavi z ročnim prenosnim merilnikom in podatki iz avtomatske merilne postaje ARSO. Večje odstopanje smo opazili na merilnem mestu pod mostom, kar lahko pripišemo napačni izbiri vrednosti Manningovega koeficienta hrapavosti in slabše definiranemu prečnemu profilu, ki ga je bilo težje določiti, saj je na dnu in brežinah veliko kamenja, tok je izrazito turbulenten, posledično je voda kalna.



Slika 5: Rezultat meritve z aplikacijo Flowonthego

Rezultat o vrednosti hitrosti pridobljen z aplikacijo Flowonthego kaže večje odstopanje od drugih, prav tako pa ugotavljamo, da ima mnogo omejitev in trenutno v obstoječi fazi razvoja še ni primerna za izvajanje obsežnejših meritev.

Zaključek

Brezkontaktno merjenje parametrov površinskih vodotokov ima kljub nekaterim omejitvam številne prednosti in bi v prihodnje lahko služilo za hitro pridobivanje podatkov ob izrednih dogodkih, saj so pridobljeni podatki dovolj natančni, meritve pa so mogoče tudi v ekstremnih razmerah. Med pomanjkljivosti brezkontaktnih metod lahko navedemo nezanesljivost oziroma nestabilnost mobilnih aplikacij, zaradi česar se lahko čas izvajanja meritve zelo podaljša, občutljivost na vremenske pogoje, zahtevna kalibracija, omejena natančnost v posebnih okoliščinah. Med bistvenimi prednostmi pa so, da so meritve neinvazivne in bolj varne, omogočajo neprekinjeno merjenje, oprema za izvedbo meritve je cenovno dostopna, izvedba pa je možna tudi v ekstremnih razmerah.

Viri

[1] Alimenti F. et al.:Noncontact Measurement of River Surface Velocity and Discharge Estimation With a Low-Cost Doppler Radar Sensor, IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 58:7, 5195-5207, 2020

[2] Dolcetti G., Hortobágyi B., Perks M., Tait S. J. and Dervilis N.: Using Noncontact Measurement of Water Surface Dynamics to Estimate River Discharge, Water Resources Research, 58, 1-23, 2022.

[3] Jyoti J. S., Medeiros H., Sebo S. and McDonald W.: River velocity measurements using optical flow algorithm and unoccupied aerial vehicles: A case study, Flow Measurement and Instrumentation, 91, 1-10, 2023.

[4] Discharge »User manual 2021-04-06« [Elektronski]. Dostopno: https://app.discharge.ch/res/discharge_manual.pdf. [Dostop: 10. 9. 2023].

[5] Flowonthego [Elektronski]. Dostopno: http://jonnyhigham.co.uk/FOTG/index.php. [Dostop: 10. 9. 2023]

OBRAVNAVA NESREČ Z RAZLITJEM NAFTNIH DERIVATOV V TLA IN PODTALJE NA OBMOČJU SLOVENIJE

mag. Joerg Prestor, univ. dipl. inž. geol.,
Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana

mag. Irena Kopač, univ.dipl.inž.grad., AEI – Aneri Eco Inženiring, Maistrova ul. 4, Radenci

Povzetek

Prispevek predstavlja nekaj odmevnejših razlitij naftnih derivatov, ki so se zgodili v preteklih letih na različnih območjih Slovenije. Z opisom določenih značilnosti posameznih primerov (različnih nesrečnih dogodkov, hidroloških in hidrogeoloških razmer na teh območjih ter pristopov k reševanju, preprečevanju okoljske škode in remediaciji) podaja dobre izkušnje in prakse ter tudi težave, ki so bolj ali manj značilne za posamezne primere ali vse primere skupaj. Vsak primer je vedno povsem poseben, tako za območje Slovenije kot tudi v širšem smislu, in vsak primer zato prinese pomembne izkušnje za učinkovitejše ukrepanje in remediacijo za vsak nov primer, ki se, na žalost, lahko zgodi kadarkoli. Obravnava takih razlitij je pomemben del upravljanja z vodami, bolje rečeno z onesnaženji podzemnih vod in podtalja, saj se aktivno reševanje oziroma posledice praviloma občutijo več let in lahko ostajajo kot pomembna latentna obremenitev prisotne v upravljanju lokalnih vodnih virov še desetletje ali več.

Uvod

Razlitja naftnih derivatov so razmeroma pogosta nesreča. V bolj urbaniziranih vodovarstvenih območjih je treba z nesrečami računati praktično s povratno dobo 20 let. Sanacija in remediacija se izvajata z odkrivanjem oblaka onesnaženja, spremljanjem sproščanja onesnaževala, oceno tveganja ter z odstranjevanjem in razgradnjo onesnaževala. Slednjo, žal, v veliki meri prepuščamo naravnim razmeram, skupnosti in prihodnji generaciji.

Po pregledu pristopa ukrepanja v primeru razlitja naftnih derivatov in njihove remediacije podajamo tri značilne primere zadnjih večjih onesnaženj na območju Slovenije. Ti zajemajo:

- aluvialno območje s prodnim zasipom – razlitje kurilnega olja na območju mesta Maribora v letu 2016,
- kraško območje – razlitje kerozina v predoru Dol pri Hrastovljah v letu 2019 in
- obmorski predel – razlitje kurilnega olja Hotela Delfin v Izoli v letu 2023

Ukrepanje v primeru razlitja

Obveščanje o nesreči

Obveščanje v primerih nesreč poteka od trenutka ugotovitve razlitja derivata načeloma po treh naslovih, to je preko treh javnih služb hkrati.

(1) Zaradi varnosti ljudi in premoženja je gotovo Center za obveščanje (112) tisti, ki naj bi bil prvi obveščen. Na Centru za obveščanje so stalno noč in dan prisotni profesionalci, ki vejo, kakšne informacije so potrebne in kdo mora biti obveščen naprej, zato da se v čim večji meri zaščiti ljudi in okolico. Center za obveščanje je del upravne, intervencijske in prostorske, to je lokalne in regionalne hierarhije, ki jo je treba znati upoštevati, da ne pride do zmede ali celo panike. S tem so po potrebi obveščeni in že mobilizirani Civilna zaščita, gasilci, Rečna in morska nadzorna služba, ki so usposobljeni in imajo potrebna sredstva za ukrepanje, oziroma takojšnje zaščito varnosti ljudi.

(2) Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) mora biti hkrati prva obveščena zaradi nevarnosti nastanka okoljske škode. Razlitje lahko povzroči okoljsko škodo zavarovanim vrstam (njihovim habitatom in habitatnim tipom), vodam (njihovemu ekološkemu, kemijskemu in količinskemu stanju, oziroma potencialu) in tlom, če se s tem tla prekomerno onesnažijo in je ogroženo zdravje ljudi. ARSO bo zato od začetka razlitja bdel nad tem, ali je prišlo do povzročitve okoljske škode, ali lahko do okoljske škode še pride in kdaj bo možno ugotoviti, da ni več nevarnosti okoljske škode, oziroma da sta nevarnost ali škoda sama odpravljeni.

(3) Tretji naslov, ki mora biti hkrati prvi obveščen, je inšpekcijska služba, ki je pristojna za dejavnost ali naprave ali objekte, kjer ali zaradi katerih je prišlo do razlitja. Če gre za železniško nesrečo, je to inšpekcijska služba, ki je pristojna za železniški promet. Če gre za razlitje kurilnega olja iz rezervoarja ob stavbi, mora biti o tem obveščena inšpekcija, ki preverja skladnost vgradnje, vzdrževanja in delovanja rezervoarja in napeljave do kurilne naprave. Pri tem se lahko pristojnosti prepletajo, recimo za promet in ravnanje z nevarnimi snovmi. Vsaka inšpekcijska služba mora zato dati navodila, ali morajo biti obveščene še druge inšpekcije.

Z obvestilom na te tri naslove se mora vzpostaviti celoten sistem obveščanja. Vsaka od navedenih treh služb obvesti vse nadaljnje naslove, če je potrebno, ali pa da navodila, kdo še mora biti obveščen. Dobro je še posebej poskrbeti, da so obveščeni vsi imetniki vodnih pravic, ki bi lahko bile ogrožene zaradi razlitja.

Spremljanje stanja in tveganja

Po preiskavah za ugotovitev položaja oblaka razlitega onesnaževala v podtalju se pristopi k njegovemu odstranjevanju. Z uspešno sanacijo se velika večina tekočine, ki je ušla in se zadržala v podtalju, izčrpa in celo ponovno uporabi. Pri tem je treba izpostaviti, da imajo skoraj vse neuspešne sanacije skupno značilnost, da je bilo razlitje v kraškem terenu (Barrès in sodel. 1984). Spremljanje stanja in tveganja temelji na ugotavljanju položaja, geometrije in prostornine oblaka onesnaževala, njegovih premikih in razgradnji. Spremlja se podatke o tem, kakšen delež oblaka je bil odstranjen, koliko se je zmanjšal zaradi kemijske ali biološke razgradnje in kakšen delež se še sprošča iz njega in uhaja v okolje. Tveganje se spremlja z oceno posledic, ki lahko nastanejo zaradi dela oblaka, ki se še sprošča in ogroža okolje in okoljske kazalnike.

Zasnova reševanja onesnaženja in ukrepanja na kraškem terenu je vedno poseben primer in temelji na naslednjem pristopu (OFEV, 2018):

1. Ukrepi sanacije mesta razlitja se izvajajo v primeru, če je na zajetju presežena meja določanja onesnaževala.
2. Dokler se iz oblaka izločajo onesnaževala, vrednosti na izviru pa so pod mejo določanja, se izvaja monitoring.
3. Ko se onesnaževala iz mesta razlitja ne morejo več izločati v pomembnih količinah in so vsebnosti na zajetjih pod mejo določanja, ni več potrebe po monitoringu niti po sanaciji.

Odstranitev vsakega litra razlitega onesnaževala, preden se izgubi v podtalje, je izredno pomembna. To bi lahko bil ravno tisti liter, ki bi se v podtalju sprostil iz oblaka in onesposobil zajetje ali ekosistem.

Remediacija razlitja naftnega derivata

V tem prispevku obravnavamo samo remediacijo podtalja, ne pa tudi ukrepov na morju. Možni načini remediacije podtalja zaradi razlitja ogljikovodikov se v splošnem delijo v šest skupin:

1. Opazovanje in spremljanje razvoja onesnaženja – brez posegov;
2. fizični poseg;
3. toplotna obdelava;
4. kemijska obdelava;
5. biološka obdelava;
6. kombinacija različnih načinov.

Običajno sta vedno najbolj v ospredju prva dva načina. Opazovanje in spremljanje razvoja onesnaženja (1) je vedno prvi in neizogiben korak. Vsekakor je vedno treba najprej z opazovanji ugotoviti, kje v podtalju se izgubljeno olje nahaja, ali/in s kakšno hitrostjo se premika, v kakšni količini in koncentraciji in kaj je ogroženo, oziroma kakšna so tveganja. Na podlagi opazovanja in spremljanja se ugotovi, kaj bodo naslednji načini remediacije, ali pa se opazovanje in spremljanje še nadaljuje brez fizičnih posegov in se s tem še odloži odločitev za nadaljnje posege. Ves ta čas pa je seveda treba natančno spremljati gladine, koncentracije, morebitne trende, in izvajati preizkuse, tako da se lahko sprejme stroškovno učinkovite ukrepe.

Fizični posegi (2) so lahko:

a. Izkop onesnaževala in odvoz onesnažene zemljine na primerno mesto ali v nadaljnjo obdelavo, odvisno od stopnje onesnaženosti.
b. Izolacija onesnaževala s prekritjem ali pregradami proti nadaljnjemu širjenju onesnaževala v podtalju.
c. Izčrpavanje onesnaževala z odvozom tekočine na drugo mesto nadaljnje obdelave.
d. Izčrpavanje onesnažene podzemne vode in odstranjevanje raztopljene frakcije s prezračevanjem na površju.
e. Odstranjevanje onesnaževala z izparevanjem s pospešenim prezračevanjem v podtalju.

Toplotna obdelava (3) pomeni običajen sežig ali katalitični sežig na nižji temperaturi in se nanaša na izkopano onesnaženje ter preostanek, ki je lahko zopet nevaren odpadek. Kemijska obdelava (4) pomeni kemijsko reakcijo med dvema ali več snovmi, s katero nastane manj škodljiva snov ali pa se onesnaženje imobilizira. Izvedljiva je le pod zelo kontroliranimi pogoji, to je na izoliranem ali strogo omejenem onesnaženju v podtalju. Biološka obdelava (5) pomeni pospešeno mikrobiološko razgradnjo, ki je izvedljiva le pod zelo kontroliranimi pogoji, to je na izkopanem onesnaženju na površini ali na izoliranem ali strogo omejenem onesnaženju v podtalju.

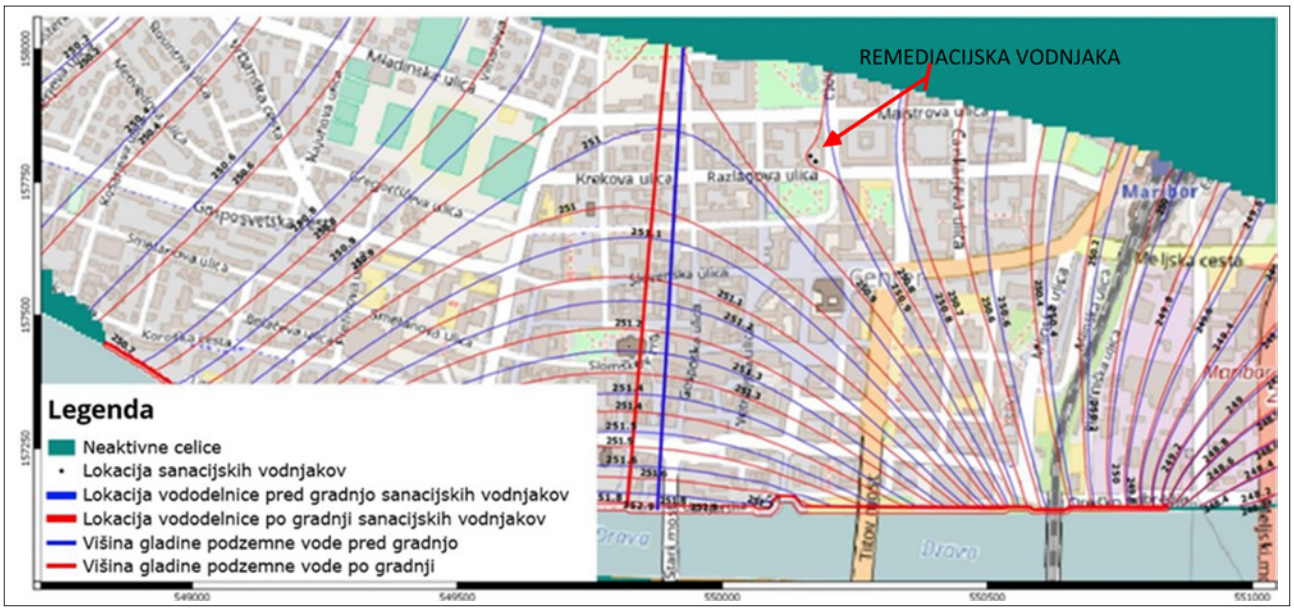
Nekatere pomembne značilnosti znanih zadnjih primerov

Mestna občina Maribor – razlitje kurilnega olja na dvorišču stavbe mestne občine v letu 2016

Količina in način razlitja: V marcu 2016 se je ob prenehanju delovanja kurilnice v kleti stavbe Mestne občine Maribor ugotovilo razlitje večje količine kurilnega olja na dvorišču, med povezavo vkopane cisterne za gorivo s kurilnico. Jasnih informacij o celotnem dogajanju ni bilo in izpuščanje kurilnega olja se kar nekaj časa tudi ni opazilo. Ob prenehanju dotoka kurilnega olja v kurilnico, se je odločilo za izkop do kinetne povezave med cisterno in kurilnico v stavbi MOM. Ob tem se je odkrilo poškodbo na dotrajanih ceveh dovoda kurilnega olja v kurilnico ter dve lokaciji poškodb na varovalni kineti: prelom kinete na sredini na asfaltni povozni površini dvorišča ter posedek kinete ob zidu lovilne sklede cisterne, kar je povzročalo izcejanje razlitega kurilnega olja ob zidu v podtalje. Z analizo vseh možnih razpoložljivih podatkov o nabavah kurilnega olja in delovanju kurilnice do njene zaustavitve se je ocenilo, da je prišlo do razlitja najmanj 20.000 l kurilnega olja.

Geološke in hidrogeološke posebnosti: Območje razlitja je v VVO II vodonosnika Vrbanski plato, ki je del podzemnega vodnega telesa Dravske kotline in se nahaja na območju, ki se razprostira od Limbuške dobrave preko Mariborskega otoka, Koblarjevega zaliva, doline Rošpoškega in Vinarskega potoka, območja mestnega jedra Maribora na levem bregu reke Drave vse do jezu v Melju. Ob izgradnji jezu v Melju je na tem območju nastalo neke vrste podzemno jezero v stari geološki zasipani strugi reke Drave in se izkorišča za javno oskrbo z vodo v črpališču Vrbanski plato, ki je glavno črpališče za območje Maribora in bližnjih občin. Območje razlitja predstavlja eno od dravskih teras, kjer prevladujejo prod, peščen prod, pesek, melj in peščena glina in ki jih je ob vrezovanju nove struge v svoj pleistocenski nanos ustvarila reka Drava. To območje je obrobje tega vodonosnika, kjer je globina podzemne vode 23 m po terenom, nepropustna laporna podlaga pa na cca 25 m pod terenom.

Ocena tveganja: Čeprav je to območje zajeto v VVO II, obstaja na tem območju vododelnica med tokom podzemne vode v zahodni smeri proti črpališču in proti vzhodu proti Melju, kjer je ob varovalni nepropustni zagatni steni ob obrežju Drave urejena drenaža, ki zagotavlja izpust v staro strugo reke Drave pod jezom v Melju. Pri oceni tveganja



Slika1: Gladina podzemne vode in lega vododelnice pred aktivacijo remediacijskih vodnjakov na območju MOM in po njihovi aktivaciji (Kopač, Vremec, 2017)

in nadaljnjem spremljanju se je uporabil nestacionarni model tega vodonosnika, razvit v okviru EU projekta FREEWAT. Ob tem je bilo ugotovljeno, da ob normalnem delovanju sedanje 1. faze umetnega bogatenja podzemne vode Vrbanskega platoja, lahko ohranjamo vododelnico zahodno od lokacije onesnaženja.

Način odstranjevanja onesnaževala: Ob odstranitvi asfaltne površine se je takoj pristopilo k odvozu onesnažene zemljine; ki pa je zaradi objektov lahko seglo le do globine 4 m. Nato se je izvedla mreža piezometrov, seveda prvi v centru onesnaženja. Ob vrtanju so se sproti odvzeli vzorci tal za analizo obremenitve tal. Ob tem je bilo ugotovljeno, da so s kurilnim oljem povsem namočena tla segala takrat do 14 m pod terenom. Iz piezometra v centru onesnaženja se je takoj pričelo izčrpavati podzemno vodo in jo preko lovilca olj izpuščati v kanalizacijo. Ocenjuje se, da se je tako izčrpalo cca 500 l olja. Tako se je seveda takoj pristopilo k izgradnji dveh črpalnih vodnjakov s tehnologijo dvojnega črpanja (odstranjevanje olja na gladini in črpanje podzemne vode za ustvarjanje depresije) na dvorišču MOM.

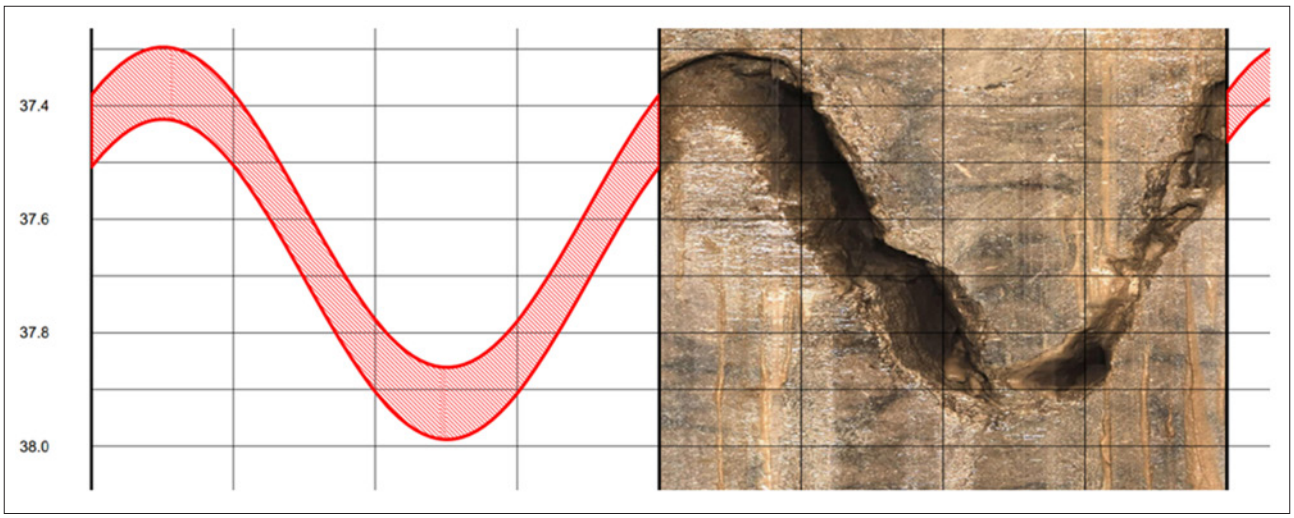
Način spremljanja stanja: Stanje se je redno spremljalo z meritvami gladine podzemne vode in plasti olja nad njo v piezometrih in vodnjakih ter rednimi kemijskimi analizami na vsebnost mineralnih olj.

Trajanje remediacije in zaključek: Črpalna vodnjaka sta bila dokaj učinkovita, seveda za tisti del onesnaženja, ki je prispel do gladine podzemne vode. Za to območje je značilna velika globina nenasičene cone tal nad podzemno vodo in seveda površinska zatesnjenost, ki onemogoča neposredno pronicanje padavin. V aprilu 2018 se je odločilo za ustavitev črpanja iz njih. Hidrološki monitoring za nadzor nad vododelnico se je izvajal še do jeseni 2018. Po kontroli v letu 2019 je občina pristopila k 2x letnemu monitoringu, ki pa ga je v letu 2023 omejila na 1x letno. Ker je to območje pozidano in asfaltirano seveda ni bilo možno določiti obsega oblaka onesnaženja in njegov preostali del v nenasičeni coni tal. Tako se je ob letošnjih obilnih poletnih padavinah v piezometru v centru onesnaženja po 7 letih od dogodka ponovno pojavila 1 cm debela plast olja na gladini podzemne vode.

Železniški predor Dol pri Hrastovljah - razlitje kerozina v letu 2019

Količina in način razlitja: Razlitje se je zgodilo 25. junija 2019, ko se je ena od cistern okoli 30 m od vhoda v predor predrla zaradi iztirjenja vlaka. Iz cisterne je izteklo 10.040 litrov kerozina. Z mesta razlitja je bilo odstranjeno približno 844 l kerozina (okoli 550 l iz namočenega nasipa, 250 l z odstranitvijo onesnaženega nasipa, okoli 44 l pa verjetno z izhlapevanjem). V tla se je torej izgubilo 9.200 l, oziroma 7.400 kg. Ta količina je skozi železniški nasip iz tolčenca in podložne tamponske plasti iztekla skozi navidezno tesne razpoke v apnenčasto podlago.

Geološke in hidrogeološke posebnosti: Teren je izrazito kraški. Geološka zgradba ozemlja je tektonsko zelo preoblikovana. Zaradi močnega gubanja v geološki zgodovini in vrste narivov gub druge na drugo, se taka zgradba v geološkem izrazoslovju imenuje luskasta zgradba. Na terenu



Slika 2: Posnetek 22 mm široke kraške razpoke s sledovi toka podzemne vode v steni vrtine V-3 na globini 37 m pod površjem (Foto: arhiv GeoZS)

vidimo tako zgradbo kot pogosto menjavanje lapornatih in apnenčastih plasti. Kraški vodonosnik je zato na površju in v globini večkrat prekinjen z lapornatimi plastmi. Podzemna voda se zadržuje v posameznih apnenčastih luskah kot v kaskadah. Ob deževjih se hitro preliva iz luske v lusko preko lapornatih plasti. Ob nizkih vodah pa se le počasi pretaka v večji globini pod lapornatimi plastmi. Srečna geološka okoliščina obravnavanega razlitja je, da imamo zelo verjetno vsaj eno globljo lapornato zaporno plast, ki preprečuje, da bi bili kraški kanali med mestom razlitja in zajetji pitne vode neposredno povezani. S stališča onesnaženja je srečna okoliščina tudi to, da je bilo razlitje v predoru, kjer ni neposrednega spiranja tal s padavinami.

Ocena tveganja: Za zajetja 2 km oddaljenega vodnega vira Rižane je bilo tveganje onesnaženja izjemno veliko. V najslabšem primeru, če bi onesnaževalo prodrlo v kraške kanale in kaverne ter se od tam sporadično sproščalo v zajetja, bi lahko bila Rižana izključena iz oskrbe z vodo tudi za več tednov (Prestor in sodel. 2020). Ker gre za kraški čezmejni vodonosni sistem, je bila o dogodku seznanjena tudi Hrvaška stran. Zaradi dobrega sodelovanja med obema državama na področju prekomejnih vodnih virov, sta obe strani enakovredno seznanjeni z geološkimi in razmerami na mejnem območju. Na podlagi tega znanja nobena od strani ni ocenjevala, da bi šlo za veliko tveganje prodora onesnaževala na hrvaško stran.

Način odstranjevanja onesnaževala: Z natančnim geološkim kartiranjem ter georadarskimi meritvami smo preiskali teren pod mestom razlitja, kjer bi se lahko oblak zadržal, ter položaj tektonskih con, kjer bi lahko odtekel proti zajetjem. Položaja oblaka ni bilo možno zanesljivo ugotoviti, vrtanja bi bila preveč tvegana. V tektonski coni dolvodno smo izdelali 150 m globoko opazovalno-sanacijsko vrtino V-3 in določili mesta za morebitne potrebne dodatne vrtine. Za vodnjake v zajetjih je bil pripravljen načrt odstranjevanja s črpanjem.

Način spremljanja stanja: Stalno se je spremljalo:1 - prostorsko razporeditev in višino nalivov, 2 - gibanje gladin podzemne vode in pretokov Rižane, 3 – koncentracije onesnaževala. Nalivi so predstavljali nevarnost, da pride do odtoka derivata po kraških kanalih. Po nalivih pa bi lahko topna frakcija odtekala skozi globlji del vodonosnika v izvir. Zato se je z vsakim višjim nalivom izboljševala ocena verjetnosti sprostitve onesnaževala v kraške kanale. Kumulativni pretok Rižane pa je kazal, kdaj bi celotna masa topne oziroma lahke frakcije že lahko v celoti odtekla pod mejo določanja oziroma v nezaznavnih količinah. S tem se je izboljševala tudi ocena verjetnosti, da bi se topni del še pojavil na izviru.

Zaradi možnega zelo hitrega prodora onesnaževala je potekalo stalno vzorčenje na zajetjih, v novi vrtini, vaških vodnjakih v okolici razlitja ter na opazovalnih vrtinah v smeri proti zajetjem. Rezultati spremljanja so bili osnova za nadaljnje ukrepe po določenih scenarijih:

1. v primeru sproščanja onesnaževala iz oblaka, bi se obnovili ukrepi za odkrivanje njegovega natančnejšega položaja;
2. v primeru prodora tekoče frakcije v vodnjake bi se takoj začelo izčrpavanje;
3. v primeru pojava mineralnih olj v koncentracijah nad 0,02 mg/l, bi se takoj izvedli ukrepi za preprečitev vdora onesnažene vode v vodovodni sistem.

Trajanje remediacije in zaključek: Aktivna remediacija ni potekala, saj ni bil zaznan kakršenkoli premik ali pojav onesnaževala. Dostopa do oblaka ni bilo, zato dinamike razgradnje ni možno

zanesljivo oceniti. Remediacija torej še vedno poteka v naravnih razmerah in v dolgoročnem času razgradnje. Spremljanje morebitnih premikov oblaka se je zaključilo novembra 2021, ko je bila verjetnost, da bi še prišlo do sproščanja onesnaženja, sprejemljivo majhna. Sprejemljivost je bila dosežena na podlagi podrobne analize rezultatov spremljanja stanja.

Hotel Delfin Izola - razlitje kurilnega olja v letu 2023

Količina in način razlitja: Do ugotovitve razlitja je prišlo šele precej po nesrečnem dogodku, to je šele, ko je onesnaženje prodrlo po podtalju od cisterne Hotela Delfin na nadmorski višini 5 m do morja, približno 114 m severno. Tudi po pojavu prvih madežev na morju še ni prišlo do ugotovitve, za kaj dejansko gre, saj se madeži dokaj pogosto pojavijo tudi iz drugih virov, iz plovil na morju ali tudi iz različnih virov na obali preko meteorne kanalizacije. Zaradi zapletenega sistema kanalizacije se onesnaženje lahko pojavi tudi precej daleč od dejanskega vira. Šele po več obvestilih občanov je prišlo do iskanja in odkritja izvora, ki je bil puščajoči ventil v jašku ob cisterni vkopani v tla.

Prve ocene količine razlitja so bile zato nizke, ukrepi pa so bili odprava okvare ventila, ureditev in zatesnitev jaška ter dela kanalizacijskega voda, v katerega se je dreniralo kurilno olje in odtekalo v morje. V bližini obale je bil izkopan preiskovalni jašek, s katerim bi ugotovili, ali je prišlo do prodora onesnaženja v podtalju do morja. Pregledani so bili tudi vsi znani kanalizacijski vodi, kamor bi lahko še prodrlo kurilno olje. Po izvedenih pregledih in ukrepih je bilo na eni strani ugotovljeno, da je količina kurilnega olja lahko 30 m^3, vendar pa še ni bilo možno ugotoviti, kje bi se ta količina lahko nahajala. Območje, na katerem bi lahko pričakovali premike onesnaženja proti obali je bilo veliko okoli 6.000 m^2.

Geološke in hidrogeološke posebnosti: Območje je zelo urbanizirano in turistično, zaradi česar so kakršnekoli preiskave izredno otežene. Poleg tega sta morfologija in sestava tal umetno zelo preoblikovana z izkopi gradbenih jam, nasipi, zasipi različnih vodov in drugimi gradbeno tehničnimi ukrepi. Načrti so dostopni, vendar pa dejanske izvedbe odstopajo vsaj v določenih podrobnostih, ki pa so lahko zelo pomembne. Značilna sestava tal je zemljina v debelini približno 1 do 4 m, pod tem pa se nahaja že hribinska podlaga, zakrasela apnenčasta. Vrhnja plast zemljine je sestavljena iz grušča apnenca, preperelega apnenca, puste do mastne gline in večjim ali manjšim deležem peščene in meljne frakcije. V apnenčasti podlagi so prisotne kaverne, večinoma zapolnjene z glinastim materialom. Prepustnost in poroznost zemljine in hribine sta zato mestoma zelo spremenljivi (1×10^{-8} ms^{-1} < k < 1×10^{-5} ms^{-1}, $m_{ef} \approx 2$ % – 10 %). Samo lokalno, kjer so bili izkopi za različne vode ali drenaže zasuti z bolj čistim gruščnim ali tamponskim materialom, je lahko prepustnost dobra ($\approx 1 \times 10^{-4}$ ms^{-1}, $m_{ef} \approx 10$ % – 20 %). Iz zaledja v pobočjih nad Hotelom Delfin so značilni dotoki sladke podzemne vode, ki kot tanjša plast plava na morski vodi. Jedro razlitega onesnaževala je bilo s plitvimi jedrovanimi piezometričnimi vrtinami odkrito na mestu zasutja nekdanje večje gradbene jame sosednjega objekta Amfora.

Slika 3: Delfin Izola: težavno sondiranje v grajenem okolju med različnimi vodi in objekti; iz navrtanega grušča se cedi kurilno olje (Foto: Arhiv GeoZS)

Ocena tveganja: Največje tveganje predstavlja nevarnost onesnaženja kopalne vode na zahodni strani, ki je na kopnem dokaj dobro ločena s slabše prepustno apnenčasto podlago, na morju pa s pomolom.

Način odstranjevanja onesnaževala: Onesnaževalo se odstranjuje z neposrednim črpanjem oljne plasti, kjer ta plava v debelini > 1 cm na podzemni vodi. Tanjšo plast se je odstranjevalo s posnemalnikom, ki pa postane hitro neučinkovit, ko se debelina plasti zmanjša pod 1 cm.

Način spremljanja stanja: Stanje se spremlja z rednimi meritvami oljne plasti in izčrpane količine.

Trajanje remediacije in zaključek: Remediacija še poteka z odstranjevanjem oljne plasti, ki pa doteka vedno bolj počasi in je praktično povsod že zmanjšana pod 1 cm.

Značilna skupna problematika onesnaženj

Količina razlitja: V enem navedenih primerih je bila količina razlitja in izgubljenega onesnaževala dokaj natančno razjasnjena (Hrastovlje), v ostalih dveh primerih pa ostaja nezanesljiva. Natančna in točna ocena količine razlitja je v prvi vrsti pomembna pri odločanju za način sanacije. To še posebej velja za grajeno območje ali kraška tla, kjer so zelo otežene same preiskave in tudi sanacijska dela. Razjasnitev količine razlitja lahko povežemo s strogostjo nadzora in inšpekcijskih služb, pristojnih za določeno dejavnost. Ta se v prvi vrsti nanaša na redne preglede vseh objektov in naprav in njihovo redno vzdrževanje. Slednje pa je zelo pomembno tudi za druge objekte in naprave, ki so za preprečevanje onesnaženj pomembni posredno: npr. jaški in kanali za napeljave, odvodni kanali, lovilci olj in peskolovi, merilne in alarmne naprave, piezometrične vrtine, ipd. Še posebej lahko izpostavimo lovilce olj, ki imajo praviloma zelo natančna navodila za vzdrževanje v projektni dokumentaciji, v praksi pa se ne izvajajo.

Določanje položaja razlitega onesnaževala: Možnost določanja položaja oblaka z vrtinami je lahko močno omejena v razpoklinskih in kraških vodonosnikih ter v grajenem okolju. V teh primerih ga določamo posredno in z drugimi primernimi preiskavami. V kraškem okolju na podlagi položaja tektonskih in strukturnih elementov, plastovitosti, zakraselosti in drugih geoloških elementov. Pregled možnih in priporočenih preiskav je dobro povzet in kritično ocenjen v Demougeot-Renard, H., 2018. V grajenem okolju sledimo, poleg naravnim, še umetno preoblikovanim strukturam kot so nasutja, zasutja izkopov in gradbenih jam, potek vodov (kanalizacijskih, električnih, komunikacijskih, idr.). Posebej stari betonski kanalizacijski vodi lahko delujejo kot drenaže, kamor se drenira razlitje. Kot drenaža lahko delujejo tudi zasipi in posteljice kanalizacijskih in drugih vodov.

Napoved premikov razlitega onesnaževala in analiza tveganja: Vedno je najpomembnejši podatek, ali in kakšna masa onesnaževala na dan se sprošča iz oblaka in širi naprej v okolje. Ta je ključen za oceno tveganja, kdaj in v kakšni koncentraciji bi lahko onesnaževalo prispelo do določene točke. Spremljamo štiri ključne točke:

T0 – na mestu sproščanja onesnaževala iz oblaka,
T1 – na mestu prodora onesnaževala v podzemno vodo,
T2 – na varni razdalji za pravočasno opozarjanje in ukrepanje, ter
T3 – na zajetju ali drugi točki ogroženosti, kjer je treba zagotavljati skladnost z mejnimi vrednostmi.

Razlitje lahko zelo hitro prodre do gladine podzemne vode, če se ta nahaja razmeroma plitvo pod površjem in se potem širi s tokom podzemne vode. V nasprotnem primeru, če je gladina podzemne vode 20 in več metrov pod površjem, se lahko oblak zadrži v nenasičeni coni zelo dolgo. Še posebej, če gre za grajeno območje z zatesnjenimi površinami, kjer ni infiltracije padavin. V takem primeru bo sproščanje onesnaževala lahko zelo počasno in bo treba meritve dolgoročno vzdrževati na vseh štirih točkah skladnosti.

Zaključek

Osnova za zaključek sanacije je ocena verjetnosti, da bi po določenem času še prišlo do onesnaženja. Skupna problematika je, kako pridobivati podatke o količinah odstranjenega onesnaževala, dinamike njegove razgradnje, preostalega onesnaževala in onesnaževala, ki se še sprošča in širi s tokom podzemne vode. Verjetnost je lahko ovrednotiti, če imamo navedene podatke. V praksi se izkazuje, da so ocene teh količin zelo nezanesljive. Verjetnost se tako ovrednoti na podlagi nezanesljivih ocen, negotovost pa se prenese in prišteje v skupne obremenitve na vodni vir.

Remediacija je teoretično končana, ko je okolje zopet v prvotnem stanju. V praksi jo sledimo do takrat, ko so vsi elementi okolja (zrak, tla, voda, biocenoza) zopet v takem stanju, da njihova nadaljnja raba po veljavnih standardih ne predstavlja tveganja in ni več omejena.

Pri tem prihaja do zapletov predvsem v vodovarstvenih območjih, kjer se voda uporablja za oskrbo s pitno vodo. Namreč, kljub temu, če so koncentracije razlitega onesnaževala pod mejnimi vrednostmi, kakršnakoli prisotnost tega onesnaževala v vodi, ki jo uporabniki pijejo in uporabljajo za prehrano, ni sprejemljiva za nikogar. Zaradi tega mora biti na vstopu v vodovodni sistem praktično stalno izvajan poseben monitoring. Ampak, ključno vprašanje se potem postavi takoj ko bi bile koncentracije razlitega onesnaževala na vstopu v vodarno že nad mejo zaznavanja, kako ukrepati.
Tega problema se ne moremo rešiti z zakonodajo, pač pa s tem, da iz vodovarstvenega območja izključujemo, kolikor je mogoče, proizvodnjo, obdelavo, uporabo, skladiščenje in prevoze nevarnih in škodljivih snovi za vode. Za zatečeno stanje pa izvajamo primerno redno kontrolo z monitoringom podzemne vode.

Viri

Barrès, M., Carly, R., Lallemand-Barrès, A., 1984. Étude documentaire sur la dépollution des nappes polluétes par les hydrocarbures. Rapport du B. R. G. M. Secrétariat d'état auprès du premier ministre chargé de l'environment te de la qualité de la vie – Service de l'eau. Junij 1984.

Demougeot-Renard, H., 2018. Moyens d'investigation des sites pollués situés en milieu karstique. Inventaire et analyse critique. Colloque OFEV « Sites pollués sur aquifères karstiques » du 28 juin 2018 à Neuchâtel

Hojnik, D., Kopač, I. (2022). Kontrolni monitoring ostankov kurilnega olja v podzemni vodi zaradi razlitja na območju stavbe MOM v letu 2022. NLZOH, AEI, november 2022.

Kopač I, Vremec M, (2017) FREEWAT – FREE and open source software tools for WATer resource management, Appendix 4, Report on the application of FREEWAT to Vrbanski Plato case study (Slovenia), Version 0.3, Julij 2017.

OFEV (éd.) 2018 : Évaluation de sites pollués en milieu karstique. Un module de l'aide à l'exécution « Investigation de sites pollués ». L'environnement pratique n° 1821: 22p.

Prestor, J., Rman, N., Klasinc, M., Koren, K., Mozetič, S., Meglič, P., 2020. Interpretacija hidrogeološkega monitoringa v zaledju Rižane zaradi razlitja kerozina v Dolu pri Hrastovljah Obdobje od 25. 6. 2019 do 30. 9. 2020. Arhiv GeoZS, 631-257/2020.

UPRAVLJANJE S PLAVINAMI V POREČJU SAVE DOLINKE NA PODLAGI MODELA TRANSPORTA RINJENIH PLAVIN

mag. Luka Javornik, Inštitut za vode Republike Slovenije, Einspielerjeva ul. 6, Ljubljana

dr. Sašo Šantl, Inštitut za vode Republike Slovenije, Einspielerjeva ul. 6, Ljubljana

Davor Rozman, Inštitut za vode Republike Slovenije, Einspielerjeva ul. 6, Ljubljana

Povzetek

Leta 2022 se je začel izvajati skupni partnerski projekt za pripravo strokovnih podlag za namen oblikovanja strategije upravljanja z naplavinami v porečju reke Save v Sloveniji. V podporo oblikovanju te strategije je bil pripravljen dvodimenzionalni model transporta rinjenih plavin z namenom določiti količine, prostornine, bilance in ključne lokacije odlaganja oz. odplavljanja plavin v najbolj prodonosnem delu porečja reke Save, v porečju Save Dolinke v severozahodnem delu Slovenije. Za optimalno obdelavo je bil model razdeljen na 9 odsekov (podmodelov). Robni pogoji modela transporta plavin so bili določeni za tri hidrološke scenarije - enkratni dogodek s konico poplavnega vala velikosti Q_{100}, mokro in sušno hidrološko leto. Rezultati prikazujejo premestitveno zmogljivost za rinjene plavine vzdolž posameznega odseka modeliranja, reprezentativna območja s preseženimi ravnmi erodiranja in predvsem odlaganja. Poleg tega količine premeščenih rinjenih plavin na povprečni letni ravni oz. na podlagi dogodka kažejo pričakovano bilanco plavin, količine/prostornine za izbran hidrološki scenarij in vpogled v prihodnje trende dinamike transporta plavin ob upoštevanju ekoloških vidikov in vidikov upravljanja z vodami, kar pristojnim organom podaja ključna izhodišča za podelitev koncesije za komercialno izkoriščanje rečnih naplavin.

Uvod

Z namenom ohranitve zveznosti rek, zmanjšanja poplavne in erozijske nevarnosti, stabilnosti rečne struge in raznolikosti habitatov z zagotavljanjem dobrega ekološkega stanja, je ključno vzpostaviti ustrezno strategijo upravljanja plavin na nacionalni in lokalni ravni. Upravljanje s plavinami v Sloveniji doslej ni bilo posebej opredeljeno v okviru nacionalnih in lokalnih predpisov, smernic in drugih aktov. Nacionalna in lokalna zakonodaja [1] opredeljuje osnovne pogoje odvzema rinjenih plavin, kjer so podane nekatere splošne smernice o interventnih ukrepih za upravljanje z rinjenimi plavinami z namenom zmanjšanja poplavne

in erozijske nevarnosti ter ohranjanja pretočne sposobnosti vodotokov. Raba vode in posledično odvzem rinjenih plavin v komercialne namene pa sta dovoljena le s pridobitvijo koncesijskih pravic, ki se podeljujejo na obdobni ravni. Koncesije za odobritev odvzema rinjenih plavin v komercialne namene nimajo skupne strategije; obstoječe koncesije se podeljujejo na podlagi grobih ocen bilance rinjenih plavin znotraj rečnih odsekov. Upravljanje z rinjenimi plavinami v Sloveniji nima sistemskega pristopa, ki bi vključeval vidike ključnih deležnikov, tj. predvsem s področja upravljanja z vodami in ekologije. Leta 2022 se je začel izvajati projekt za pripravo strategije upravljanja s plavinami na porečju reke Save v Sloveniji, ki bi podprl upravljanje z rečnimi plavinami z analizo porečja Save v kontekstu zagotavljanja ravnovesja rinjenih plavin, zaščite pred poplavami/erozijo in dobrega ekološkega stanja, hkrati pa bi zagotovil podlago za odvzem (na)plavin za gospodarsko izkoriščanje. V prispevku je podana analiza transporta plavin z uporabo dvodimenzionalnega (2D) modeliranja transporta plavin, ki podpira postopke odločanja o podelitvi koncesij za komercialno rabo (na)plavin z ugotavljanjem letnih količin in ključnih lokacij odloženih oz. erodiranih (na)plavin na porečju Save Dolinke s Pišnico do Jesenic.

Metoda

Območje Analize

Reka Sava v Sloveniji izvira kot Sava Dolinka na severozahodu Slovenije v naravnem rezervatu Zelenci, blizu meje z Italijo in Avstrijo, teče kot alpska reka skozi Jesenice, kjer počasi pridobiva predalpske značilnosti, ko se zlije s pritokom Save Bohinjke in pri Radovljici postane reka Sava. Predalpske značilnosti, tj. visoki pretoki, ki so spomladi predvsem posledica taljenja snega, jeseni pa obilnih padavin, kot je značilno za jugovzhodne Alpe [2], so vidne vse do državne meje s Hrvaško na jugovzhodu. Za namen optimalne analize transporta rinjenih plavin je bilo računsko porečje Save v Sloveniji preoblikovano tako, da je vključevalo le: i) porečja, na katerih se nahajajo pobude za podelitev koncesije za odvzem rinjenih plavin za gospodarske namene, ii) porečja, za katera je na podlagi letnih podatkov o odvzemih rinjenih plavin [3] znano, da se znotraj njih premeščajo večje količine rinjenih plavin ter iii) porečja, kjer razpoložljivi podatki o koncentraciji plavin pri višjih pretokih (npr. dvoletna povratna doba visokih voda - Q_2) kažejo na vodotok z nizko premestitveno zmogljivostjo. Glavni viri rinjenih plavin v porečju Save so ledeniška pobočja znotraj severozahodnega dela porečja Save (Dolinke), kjer se rinjene plavine koncentrirajo v hudourniških pritokih, zlasti Pišnici, pa tudi Martuljku, Belem potoku, Belci in v manjši meri Triglavski Bistrici.

Podatki

Za analizo transporta dna reke Save Dolinke je bilo treba pridobiti naslednje prostorske in hidrološke podatke ter rezultate vzorčenja rinjenih plavin:

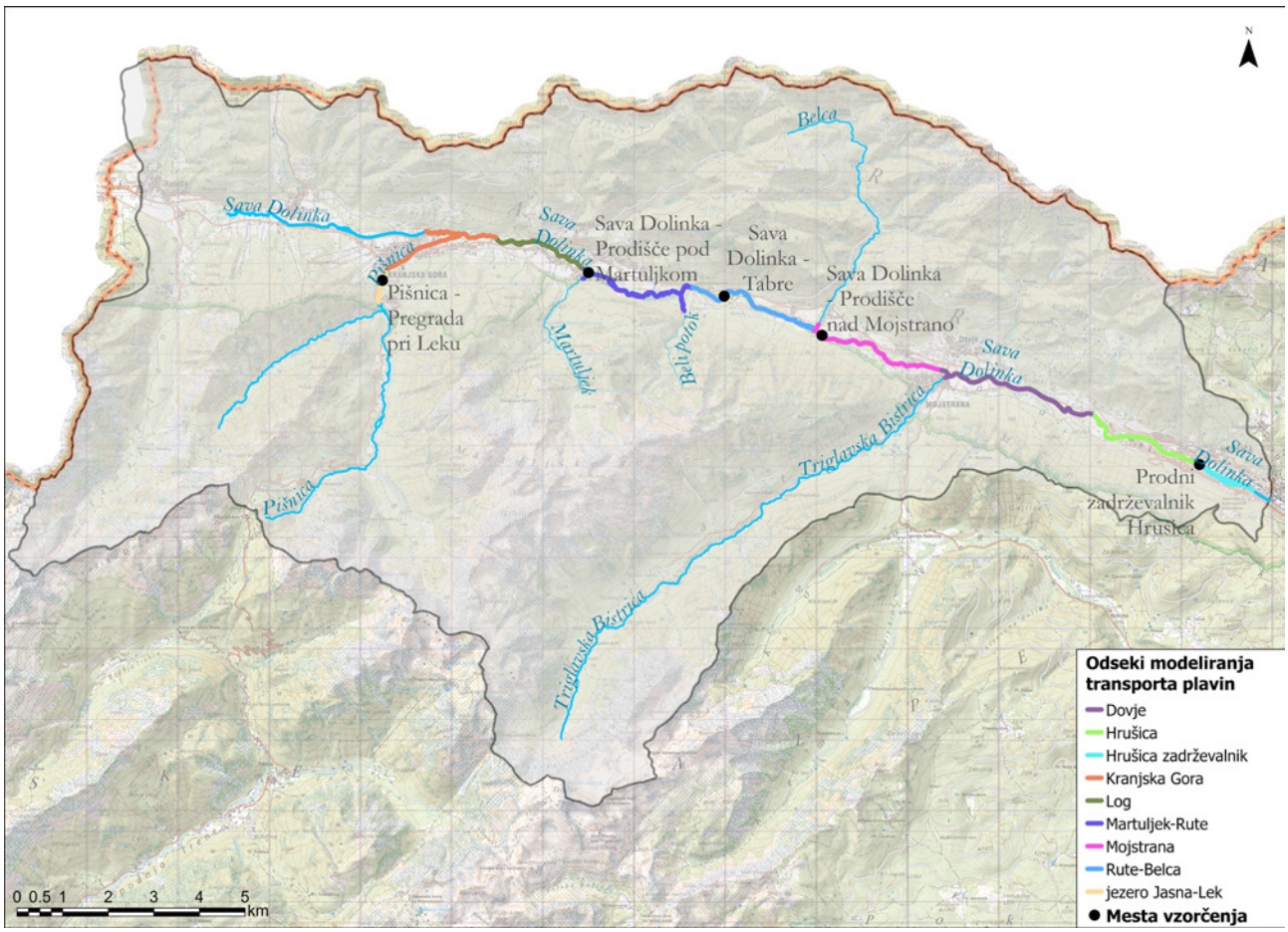
- Tridimenzionalno (3D) terestrično snemanje batimetrije Save Dolinke z rečnimi bregovi in inundacijskim pasom skladno s homogenostjo terena - snemanje je bilo opravljeno v poznem zimskem obdobju leta 2022, v času nizkih vodostajev in brezlistne fenofaze;
- Podatki o padavinah za oceno površinskega odtoka hudourniškega pritoka Pišnica;
- Zgodovinski hidrološki podatki (pretoki, globine/vodostaji) iz obstoječih hidrološko-hidravličnih analiz in izbranih vodomernih postaj za potrebe opredelitve robnih pogojev v modelu;
- Vzorčenje grobozrnatih naplavin za potrebe pridobitve zrnavostnih krivulj na različnih globinah naplavin terena vodnega zemljišča;
- Podatki o rabi tal za določitev Manningovih koeficientov hrapavosti v modelu transporta plavin;
- Pedološki podatki za opredelitev hidroloških skupin zemljin;
- Letni podatki o odlaganju plavin in eroziji (lokacije, količine) iz podatkovnih zbirk vodovarstvenih nadzornikov in drugih virov o količini odlaganja, predvsem za namene vzdrževanja pretočnosti strug. Ti podatki so služili za potrebe validacije modela.

Z izjemo podatkov vzorčenja naplavin v ključnih točkah in 3D terestričnih podatkov, so bili vsi podatki pridobljeni s strani (spletnih) podatkovnih zbirk nacionalnih/lokalnih organov upravljanja z vodami.

Vzorčenje naplavin

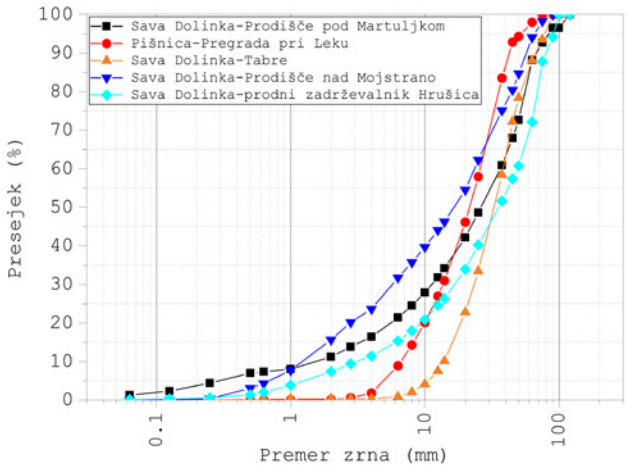
Mesta vzorčenja grobozrnatih oz. rinjenih naplavin so bila določena na podlagi lokacij pobud za podelitev koncesije za komercialni odvzem naplavin in karakterističnih mest modela transporta plavin (predvsem mesta izlivov hudourniških pritokov v Savo Dolinko). Vzorčevanje se je izvajalo do globine 10-15 cm. Podatki o zrnavostni sestavi na večjih globinah so bili pridobljeni iz obstoječe literature (geotehnične študije ob rekonstrukcijah cest, mostov, ipd.). Mesta vzorčenja plavin so prikazana na sliki 1.

Rezultat vzorčenja grobozrnatih naplavin na petih mestih vzorčenja znotraj območja modeliranja



Slika 1: Odseki modeliranja transporta plavin s prikazom mest vzorčenja plavin

transporta plavin je pet presejnih krivulj, kot sledi na sliki 2.



Slika 2: Presejne krivulje na mestih vzorčenja naplavin v območju modeliranja transporta plavin

Raba tal

Prostorski podatki o rabi tal so bili uporabljeni za določitev Manningovih koeficientov hrapavosti (n_g) - lastnosti materialov v okviru robnih pogojev modeliranja. Vsaki kategoriji rabe tal je bil dodeljen posamezen Manningov koeficient hrapavosti v skladu s klasifikacijo CORINE. Manningov koeficient hrapavosti za kategorijo vodnih teles je bil dodeljen modeliranim območjem, ki so izpostavljena poplavam z enoletno povratno dobo. Zaradi prevladujočega alpskega terena [4] ter značilnosti, velikosti zrn in porazdelitve rinjenih plavin je bil n_g določen nekoliko višje pri 0,045. Izbrani Manningovi koeficienti za druge vrste rabe tal so se gibali od 0,02 (urbana območja) do 0,07 (gozdne površine).

Model transporta plavin s ključnimi vhodnimi parametri

Numerični model transporta rinjenih plavin

Za simulacijo je bil uporabljen model transporta plavin SRH-2D, različica 3.0 [5], z integriranimi dvodimenzionalnimi (2D) globinsko povprečenimi St. Venantovimi dinamičnimi enačbami, ki se rešujejo z uporabo numerične metode končnega volumna. Numerična mreža, uporabljena za te si-

mulacije, je bila sestavljena iz trikotnih elementov, vendar se lahko alternativno uporabijo tudi štirikotni elementi ali kombinacija obeh. Z namenom časovno in izvedbeno optimalnega modeliranja dinamike transporta plavin v porečju Save Dolinke, je bilo celotno območje modeliranja razdeljeno na 9 segmentov s povprečno dolžino približno 3 km (slika 4), pri čemer je širina računskega območja temeljila na dosegu visokih voda s povratno dobo p=0,01 (100-letne visoke vode). Uporabljena je bila trikotna numerična mreža z namenom boljše prilagoditve robnim pogojem in raznolikemu terenu, hkrati pa se je ohranila numerična stabilnost ob optimalnem času računalniške obdelave. Povprečna velikost elementov numerične mreže je bila 4 m na območju reke in več kot 10 m na območjih poplavljanja.

Vhodni parametri modela

V okviru določitve ustreznih vrednosti modelnih parametrov je bilo med drugim potrebno izbrati ustrezno enačbo transporta rinjenih plavin skupaj z reprezentativnimi zrnavostnimi razredi/frakcijami, časovnim korakom in trajanjem simulacije (0,5 sekunde oz. 120 ur za scenarija z visokovodnim dogodkom intenzitete Q_{100} in mokro hidrološko leto oz. 96 ur za scenarij za suho hidrološko leto). Privzeta vrednost paraboličnega faktorja turbulence je bila 0,7. Specifična teža plavin je bila privzeta kot 2,65 kg/m^3, debelina aktivne plasti pa 15 cm.

Za potrebe simulacije je bila izbrana transportna enačba po Wu [6] (enačba (1)), saj ima širok spekter uporabe s stališča prevladujočih zrn plavin v masnem toku, tj. uporabna je tako v prevladujočem toku rinjenih, lebdečih plavin ali pa mešanega stanja.

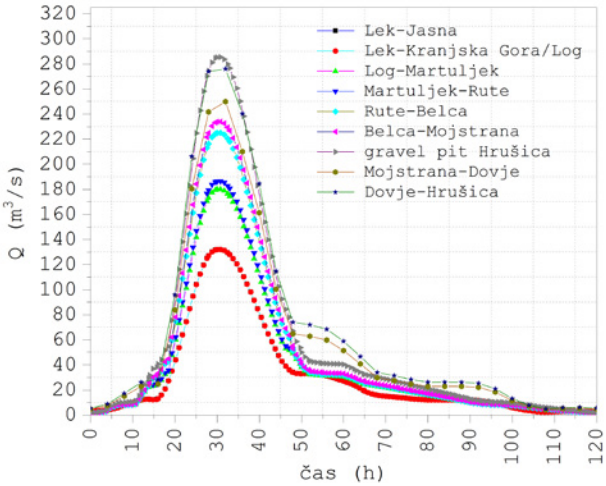
$$\frac{qbi}{q*} = 0{,}0053 \left(\frac{\tau_g}{\tau_{ci}} - 1\right)^{2,2} \quad (1)$$

qbi [m^3/s] je masni tok plavin, τ_g [N/m^2] je strižna napetost odvisna od srednjega zrna, Manningovega koeficienta hrapavosti in strižnih napetosti na dnu struge, τ_{ci} [N/m^2] je strižna napetost vsakega zrnavostnega razreda *i* in $q*$ je strižna napetost vsakega zrnavostnega razreda odvisna od specifične teže plavin, premera povprečnega zrna vsakega zrnavostnega razreda in faktorjev izpostavljenosti oz. potopljenosti posameznih zrn zrnavostnega razreda. Kritični Shieldsov parameter prodnega premika je 0,03. Za reprezentativne velikosti rinjenih plavin, ki se na začetku simulacije pojavljajo v masnem toku plavin, smo izbrali 7 zrnavostnih razredov od 0,5 mm do 64 mm, tj. iz zrnavostnih razredov grobi peski, zelo grobi peski, zelo fini prod, fini prod, srednji prod, grobi prod in zelo grobi prod.

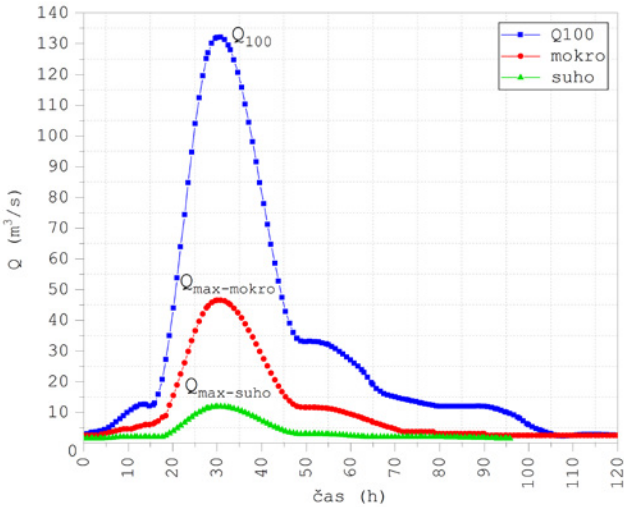
Robni pogoji

Robni pogoji modela so bili nastavljeni skladno s tremi hidrološkimi scenariji – individualen visokovodni hidrološki dogodek s konico velikosti povratne dobe 0,01 (Q_{100}) in hidrološka scenarija reprezentativna za mokro oz. suho hidrološko leto. Reprezentativno mokro hidrološko leto je bilo izbrano na podlagi kriterija letne vsote padavin vsaj 2.000 mm, medtem, ko letna vsota padavin v primeru suhega hidrološkega leta ne sme presegati 1.400 mm. Relevantne padavinske postaje so bile tiste najbližje ležeče obravnavanemu modelnemu odseku, izbrane iz nabora padavinskih postaj Rateče, Kranjska Gora, Mojstrana, Zgornja Radovna in Javorniški Rovt. Model transporta plavin zahteva vnos dveh vrst robnih pogojev – hidrološki (pretoki) in sedimentološki (masni tok plavin). V obravnavanem primeru sta bila kot vhodna robna pogoja uporabljena sintetični hidrogram pretokov in masni tok plavin po zrnavostnih razredih v odvisnosti od časa (z izjemo najbolj gorvodno ležečega odseka Jasna-Lek, kjer je bila namesto odvisnosti masnega toka od časa uporabljena transportna enačba po Wu). Sintetični hidrogrami za vse scenarije so bili oblikovani na podoben način, t.j. z namenom zajema pretokov, ki sprožijo prodni premik določen po Shieldsovi enačbi [7], pretok ob razviti prodonosnosti, maksimalne pretočne količine in, po nastopu visokovodnih konic, simulacija usedanja najbolj drobnih rinjenih/grobozrnatih frakcij s podaljšanim trajanjem. Dolžina trajanja dogodka je bila v primeru scenarija visokovodnega dogodka s konico Q_{100} in scenarija, ki je predstavljal mokro hidrološko leto 120 ur, v primeru scenarija, ki je predstavljal suho hidrološko leto pa 96 ur. Spodnji/izhodni robni pogoj je v primeru vseh odsekov predstavljala Q-h krivulja določena na podlagi batimetrije, vzdolžnega padca struge, Manningovih koeficientov hrapavosti in pretoka.

Sedimentološki vhodni robni pogoj za vsak odsek (razen za najbolj gorvodni odsek Jasna-Lek) je bilo razmerje med časom/trajanjem in masnim tokom plavin za posamezen zrnavostni razred t-Qs_i, kjer je *i* posamezni zrnavostni razred. V sklopu določitve sedimentološkega robnega pogoja je potrebno določiti še reprezentativne velikosti frakcij plavin, ki dotekajo v odsek. Skladno s predpostavko o upoštevanju zgolj transporta rinjenih plavin je bilo določenih 8 zrnavostnih razredov, ki predstavljajo zrnavostno strukturo na zgornjem robu modela. V praksi je meja med drobnozrnatimi in grobozrnatimi plavinami pri 2 mm premera srednjega zrna.



Slika 3: Hidrološki robni pogoj (hidrogram s konico Q_{100}) na vtoku vsakega modelnega odseka



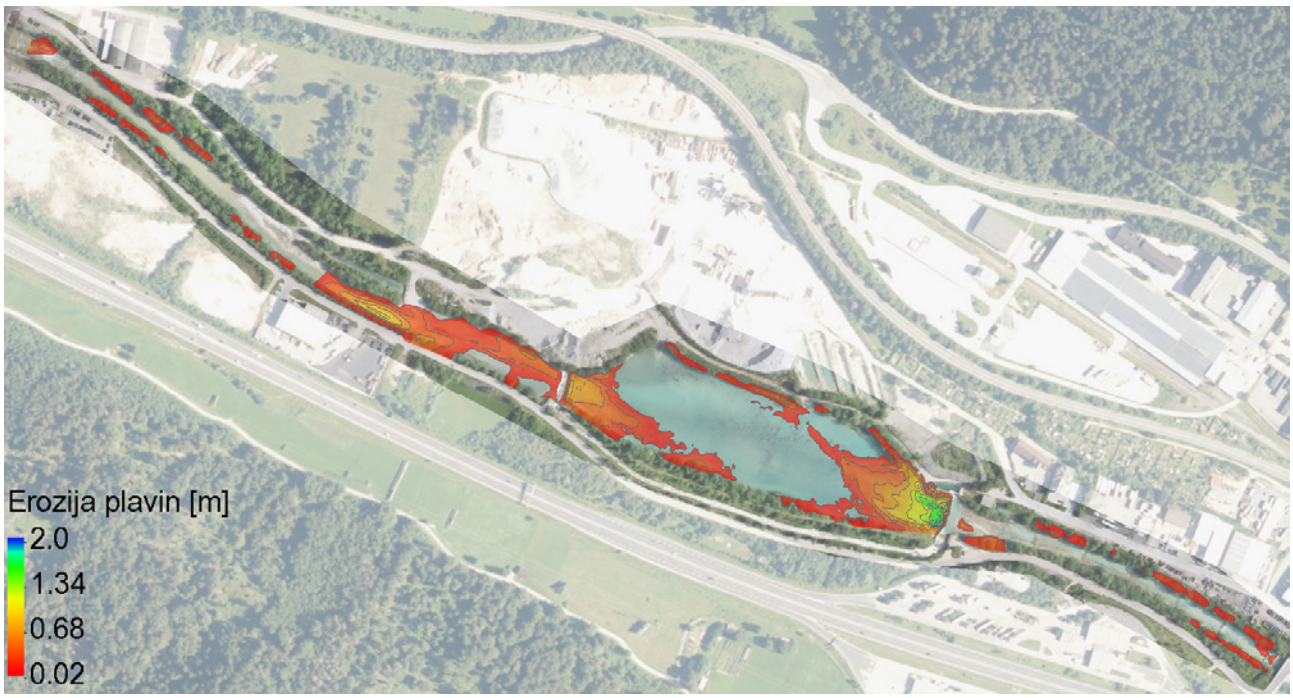
Slika 4: Hidrološki robni pogoji vseh treh scenarijev – odsek Jasna-Lek na Pišnici

Privzeto se zrnavostna struktura na zgornjem robnem pogoju vzdolž odsekov modeliranja na Pišnici in Savi Dolinki ni spreminjala zato sta bila zaradi upoštevanja zmanjševanja srednjega zrna vzdolž modelnih odsekov (od 22 mm pri jezeru Jasna do 6 mm pri zadrževalniku Hrušica) privzeta 2 zrnavostna razreda iz skupine drobnozrnatih plavin (srednji in grobi peski) [8].

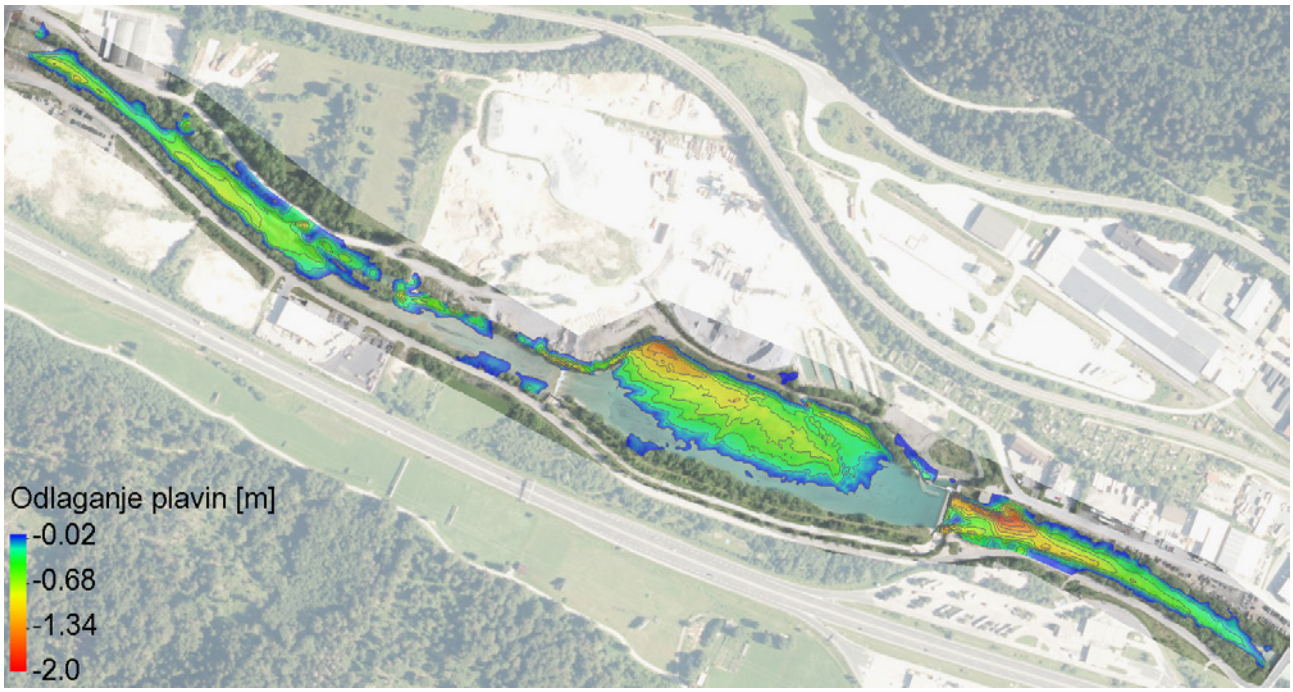
Rezultati

Model transporta rinjenih plavin je bil izveden za tri scenarije z namenom letne ocene premeščenih plavin v primeru ekstremnih hidroloških let oz. ocene premeščenih plavin v primeru visokovodnega dogodka s konico Q_{100}. Količina prenesenih plavin znotraj visokovodnega dogodka Q_{100} je bila pridobljena neposredno iz modela transporta plavin, medtem ko so se letne bilance plavin v primeru značilnih hidroloških (mokrih in suhih) let določile na podlagi razmerij med pretoki in masnim tokom plavin na vhodnih in izhodnih profilih odsekov modeliranja. Na podlagi reprezentativnega hidrološko mokrega oz. suhega leta reprezentativnih vodomernih postaj so se z upoštevanjem razmerij prispevnih površin pridobili pretoki (krivulje trajanja) za vhodne in izhodne profile vsakega izmed odsekov modeliranja. Vzporedno so bila na podlagi simulacij 2D modela transporta plavin pridobljena razmerja med pretokom in masnim tokom plavin (Q/Q_s) po koncu simulacije. Iz razmerij Q/Q_s za vsak časovni korak je bila oblikovana korelacija obeh parametrov Q in Q_s s polinomsko funkcijo, ki je bila aplicirana na podatke o pretokih v vhodnih in izhodnih profilih posameznih odsekov modeliranja. Poleg bilance naplavin na podlagi visokovodnega dogodka s konico Q_{100} oz. značilnih hidroloških let so bile identificirane še lokacije s povečano/kritično stopnjo odlaganja oz. erozije in dinamika zrnavostne porazdelitve vzdolž modelnih odsekov glede na posamezen scenarij. Vzdolžni profili na sliki 5 prikazujejo nihanje bilance plavin vzdolž Pišnice (najbolj prodonosen pritok Save Dolinke), ki se pri Kranjski Gori združi s Savo Dolinko.

V primeru scenarija z visokovodnim dogodkom Q_{100} so v porečju Pišnice dolvodno od jezera Jasna vidni trendi odlaganja (pretežno grobozrnatih) plavin, kar pomeni, da potujejo dolvodno v Savo Dolinko pretežno drobnozrnate frakcije. Dolvodno od sotočja Pišnice in Save Dolinke pa vse do vtoka Martuljka v Savo Dolinko (kot posledica visoke premestitvene zmogljivosti vodotoka na tem mestu) tako prevladujejo erozijski procesi. Dolvodno od vtoka Martuljka v Savo Dolinko so trendi podobni v primeru scenarija hidrološko mokrega in suhega leta, čeravno z manjšimi prostorninami prenesenih plavin. Pritok Martuljek je prvi prodonosni pritok dolvodno od sotočja s Pišnico, tako je njegov prispevek k celotni prostornini prenesenih plavin v Savi Dolinki viden predvsem v primeru scenarija z visokovodno konico Q_{100}, ko vnos plavin iz Martuljka znatno zmanjša učinek zmanjšanja srednjega zrna plavin in prevlade erozijskih procesov, v primeru scenarija s suhim hidrološkim letom pa je bilanca v odseku celo pozitivna, tj. znotraj odseka se več plavin odloži kot jih odnese dolvodno. Nadaljnja prevlada erozijskih procesov v primeru scenarija mokrega hidrološkega leta je posledica višjih pretokov in zmanjševanja srednjega zrna plavin. Pritoka Beli potok in Belca sta poleg Pišnice najbolj prodonosna pritoka Save Dolinke, ki v primeru visokih pretokov (Q_{100} in mokro hidrološko leto) prispevata znatne količine rinjenih plavin k bilanci Save Dolinke, kar povzroča oblikovanje novih žarišč odlaganja in s tem zmanjševanje padca dna struge Save Dolinke, kar pa



Slika 5: Primer maksimalne stopnje erozije plavin na območju zadrževalnika Hrušica

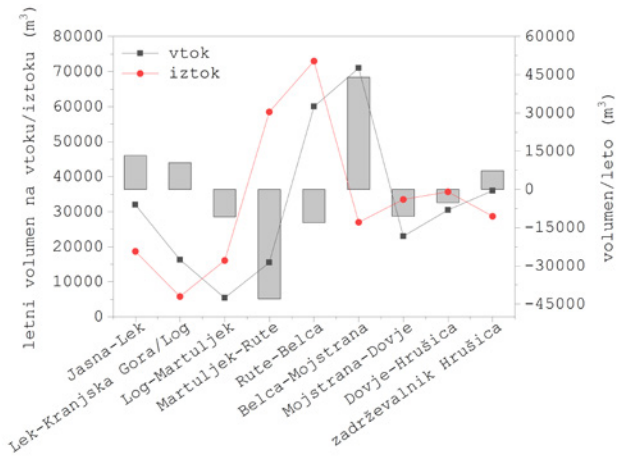


Slika 6: Primer maksimalne stopnje odlaganja na območju zadrževalnika Hrušica

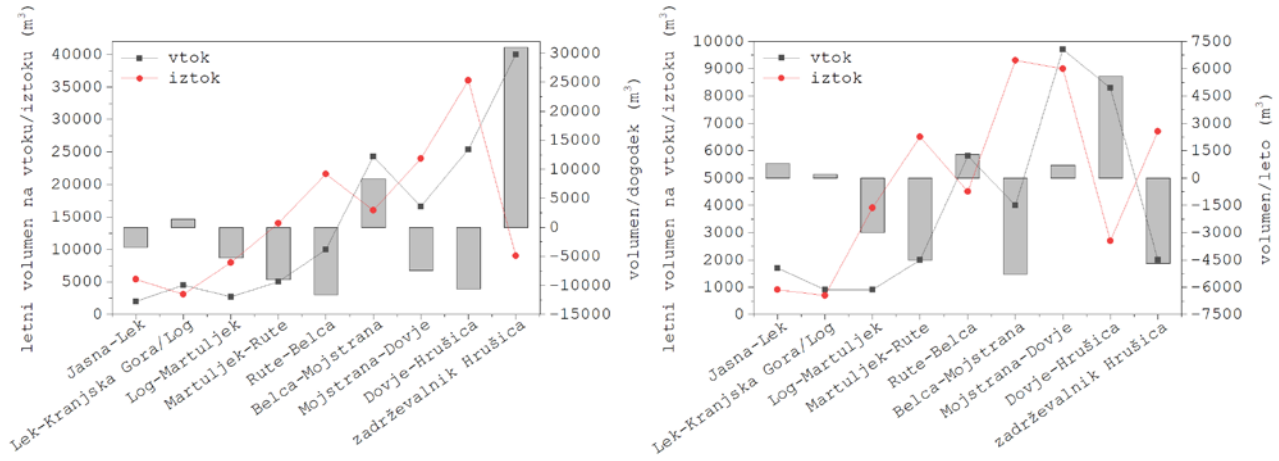
ponovno povzroči nižje hitrosti in večjo intenziteto odlaganja plavin (prevladujoči procesi odlaganja plavin nad Mojstrano). Na tem mestu je dinamika procesov odlaganja oz. erozije plavin drugačna v primeru scenarija s suhim hidrološkim letom, saj so pretoki manjši, manj grobozrnatih plavin potuje dolvodno, prevladujejo drobnozrnate rinjene frakcije in erozijski procesi. Dolvodno od Mojstrane in s tem Triglavske Bistrice je vidna visoka premestitvena zmogljivost Triglavske Bistrice, saj v Savo Dolinko prinaša manjše količine rinjenih plavin, kar v primeru scenarijev s pretoki nivoja Q_{100} in mokrega hidrološkega leta pomeni ponovno prevladujoč učinek erozijskih procesov v odseku V primeru suhega hidrološkega leta so pretoki tako nizki, da se odložijo tudi najbolj drobne frakcije, kar povzroča prevladujoče procese odlaganja plavin. Situacija s stališča dinamike odlaganja oz.

erozije plavin je podobna v primeru odseka Save Dolinko dolvodno od Dovja do Hrušice, saj na tem mestu ni prodonosnih pritokov. Zadnji modelni odsek je na območju prodnega zadrževalnika Hrušica, kjer na začetku visoke magnitude pretokov v primeru scenarija z visokovodnim dogodkom nivoja Q_{100} in scenarija, ki simulira mokro hidrološko leto povzročijo prodni premik in transport velikih količin rinjenih plavin znotraj zadrževalnika, kasneje se, s padcem pretokov in hitrosti zaradi učinka zadrževalnika, grobe frakcije usedejo v zadrževalniku, drobne frakcije pa potujejo preko praga dolvodno. Vsled tega izven zadrževalnika prevladajo erozijski procesi.

Rezultati 2D modeliranja transporta plavin prikazujejo okvirne debeline nanosov plavin z ocenjenimi volumni in prostorsko porazdelitvijo. Vidna je tipična dinamika transporta plavin v alpskih porečjih – presežki grobozrnatih frakcij plavin v najbolj gorvodnih delih porečja Pišnice (dolvodno od jezera Jasna), ki se premeščajo dolvodno v odvisnosti od velikosti pretokov – večji so pretoki, večji delež grobozrnatih frakcij se premesti dolvodno. V povprečju se zaradi morfoloških značilnosti struge, manjšega padca dna in z večjo oddaljenostjo od virov plavin srednje zrno plavin vzdolž Pišnice in nato Save Dolinke do prodnega zadrževalnika Hrušica zmanjšuje s 20-25 mm premera na 5-10 mm premera. Porazdelitev zrnavostne sestave naplavin variira vzdolž aktivne struge in v prodiščih v obravnavanem območju, zato je za natančnejšo oceno strukture naplavin, njihovo prostorsko porazdelitev in za potrebe kalibracije priporočljiva pridobitev več vzorcev naplavin, predvsem pa je ključna vzpostavitev relacije pretoki vodotoka-masni tok plavin na podlagi dalj časa trajajočih terenskih meritev.



Slika 7: Nihanje bilance rinjenih plavin vzdolž Pišnice in Save Dolinke v primeru visokovodnega vala Q_{100}



Slika 8: Nihanje bilance rinjenih plavin vzdolž Pišnice in Save Dolinke v primeru scenarijev hidrološko suhega (levo) in hidrološko mokrega leta (desno)

Zaključki

Izvrednotene so bile količine in lokacije odloženih oz. erodiranih naplavin, iz naslova modeliranja transporta plavin (porečje Save Dolinke s Pišnico do Jesenic) ali pa iz naslova strokovnih ocen iz obstoječe literature [9] oz. terenskih ocen vodovarstvenih nadzornikov (celotno modificirano porečje Save do državne meje). V porečju Save Dolinke s Pišnico do Jesenic so bili rezultati modela transporta plavin (količine/prostornine na letni ravni) neposredno primerjani s podatki iz literature in podatkov s terena. Primerjave kažejo na zadovoljivo ujemanje rezultatov – v povprečju je razlika med rezultati modela transporta plavin in ostalimi podatki 25 %.

Na podlagi rezultatov modela in ostalih strokovnih ocen, z upoštevanjem mnenj relevantnih deležnikov v prostoru ter ocene stanja voda, se bodo v prihodnosti vzpostavili pogoji in omejitve za podelitev koncesij za komercialni odvzem naplavin. Nadalje se bo lahko ta princip preslikal tudi na ostala (prodonosna) porečja v Sloveniji.

Zahvala

Predmetna študija je bila izdelana na podlagi raziskav in analiz izvedenih v okviru projekta Strategija odvzema naplavin na porečju reke Save - naročnik Direkcija Republike Slovenije za vode.

Viri

[1] Zakon o vodah (ZV-1). (2002). Uradni list RS, št. 67/02. http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO1244

[2] Bard, A., Renard, B., Lang, M., Giuntoli, I., Korck, J., Koboltschnig, G., Janža, M., d'Amico, M., Volken, D. (2015). Trends in the hydrologic regime of Alpine rivers. Journal of Hydrology, 529, 1823–1837. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.07.052

[3] DRSV (2022). Podatki o odvzemih naplavin po koncesijskih območjih Save v obdobju 2014-2018. Posredovano po elektronski pošti s strani Mitja Centa (DRSV), 15. 3. 2022.

[4] Yochum, S.E., Comiti, F., Wohl, E. (2014). Photographic guidance for selecting flow resistance coefficients in high-gradient channels. https://www.researchgate.net/publication/266970182

[5] USBR. (2020). SRH-2D User Manual: Sediment Transport and Mobile-Bed Modeling. https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/computer%20software/models/srh2d/downloads/SRH-2DSedimentTransptModelingUsersManual_V3.3_June2020_Final508.pdf

[6] Wu, W., S.S.Y. Wang, and Y. Jia. (2000). Nonuniform sediment transport in alluvial rivers. Journal of Hydraulic Research, 38(6), 427–434.

[7] Shields, A. (1936). Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung. Mitteilungen der Preußischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin. Heft 26. Berlin.

[8] Ashworth, P.J., Ferguson, R.I. (1989). Size-selective entrainment of bed load in gravel bed streams. Water Resources Research, 25(4), 627–634. https://doi.org/10.1029/WR025i004p00627

[9] Pintar, J. (1980). Sava Dolinka – Idejna zasnova postopnega – ekološko prirejenega urejanja Save Dolinke s posebnim ozirom na možnosti odvzema naplavnih granulatov. VGI, Ljubljana

POPIS REČNIH OVIR NA POREČJU REKE

Eva Horvat, mag. ekol. biod., Zavod REVIVO, Staretova ulica 1, 1233 Dob

Ana Kričej, univ. dipl. ekon., Zavod REVIVO, Staretova ulica 1, 1233 Dob

Damjan Habe, univ. dipl. soc. ped., Zavod REVIVO, Staretova ulica 1, 1233 Dob

dr. Polona Pengal, univ. dipl. biol., Zavod REVIVO, Staretova ulica 1, 1233 Dob

Povzetek

V okviru ozaveščevalnega projekta »304 – Open Rivers Programme« smo na Zavodu REVIVO s pomočjo prostovoljcev oziroma »ljubiteljskih znanstvenikov« (ang. citizen science) izvedli osem javnih popisov rečnih ovir. Prostovoljci so pred popisom imeli kratko izobraževanje, da so spoznali aplikacijo BarrierTracker App in se naučili beležiti parametre zahtevane ob različnih tipih ovir. Tekom dogodkov smo s 57 ljubiteljskimi znanstveniki ob potokih in rekah prehodili dobrih 370 km ter z brezplačno aplikacijo vnesli 514 rečnih ovir, a aktivnosti še potekajo.

Preko preživljanja časa ob vodotokih, tako na urbanih kot na naravnih rečnih odsekih, so se prostovoljci naučili razlikovati med različnimi tipi pregrad in spoznali posledice prekinitve toka, ki ga ovire predstavljajo. Sočasno so se naučili tudi prepoznati naravno strugo in regulirano strugo, posledice vpliva gradnje tik ob vodotokih, širjenje kmetijskih površin kot so npr. pašniki v strugo, gostoto divjih odlagališč v ruralnih okoljih ipd. Ob ozaveščevalni vsebini pa je namen projekta pridobiti podatke o lokacijah, tipih, višini, stanju in funkcionalnosti ovir, da bi bolje in celostno razumeli hidro-morfološke pritiske na Reko in njene pritoke. Ti temeljnimi podatki bodo nam in drugim ustanovam omogočili pripravo načrtov in ukrepov za obnovo vodotokov in ponovno vzpostavitvijo lateralne povezljivosti.

Uvod

S ciljem ozaveščanja in zbiranja podatkov o hidromorfoloških pritiskih na porečju Reke, smo uporabili preizkušeno mednarodno aplikacijo »BarrierTrackerApp«, ki omogoča beleženje ovir, brez predhodnega znanja. Z vzpostavitvijo mreže ljubiteljskih znanstvenikov, ki raziskujejo vodotoke in zbirajo podatke, pa raziskovalci, upravljalci in odločevalci prejmemo prepotrebne informacije o vodotokih.

Opis porečja in dela

Porečje Reke

Reka Reka se nahaja v Jugozahodni Sloveniji in je poznana kot najdaljša in najbolje poznana ponikalnica klasičnega Krasa. Izvira na Hrvaškem in ponikne v Škocjanskih jamah, ki so del UNESCOve dediščine. Ponovno se iz kraških izvirov pojavi kot reka Timava v Italiji, kjer se izlije v Jadransko morje. Dolžina Reke je 54 km, njeni glavni levi pritoki so Molja, Posrtev in Padež, desni pa Bistrica, Sušica, Mrzlek in Podstenjšek (Brilly s sod., 2005). Po podatkih ribiškega katastra so v porečju Reke prisotne salmonidne vrste rib, kot so soška postrv ter tujerodna potočna postrv, šarenka in njihovi križanci. Od ciprinidnih vrst pa klen in mrena (RibKat, 19.9.2023), klen, krap, smuč in ščuka (spletna stran RD Soza, 19.9.2023).

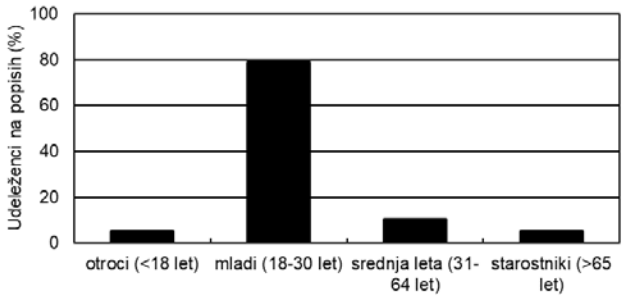
Porečje Reke smo zaradi lažje obvladljivosti razdelili na 208 odsekov, ki so bili dolgi med 5 do 7 km. Torej uro do dve uri hoje ob potoku, odvisno od območja in fizične pripravljenosti posameznika. Ljubiteljske znanstvenike smo k popisovanju rečnih ovir vabili preko različnih spletnih kanalov (FB, Instagram, spletna stran), spletnih novic ter društev. Aktivno zbiranje podatkov v okviru projekta traja od februarja 2023 do februarja 2024.

Uporabljena mobilna aplikacija BarrierTracker App, kamor beležimo podatke, je splošno dostopna in brezplačna ter narejena za splošno javnost, saj omogoča beleženje rečnih ovir brez poglobljenega predhodnega znanja. Dodatno so na vsakem koraku vnosa mogoče dodatne opisne in slikovne razlage parametrov, ki zagotavljajo večjo natančnost in kasnejšo preverljivost podatkov. Ovire, ki jih z aplikacijo beležimo so jez, prag, prepust, zapornica, mulda, tlakovano dno in »ostalo«. Oviram določimo podrobnejše informacije kot so dolžina, višina (v šestih razredih: do 0,5 m, od 0,5–1 m, 1–2 m, 2–5m, 5–10m in > 10 m brez zgornje omejitve), prisotnost ribjega prehoda, ali je ovira še funkcionalna, GPS lokacija ovire in fotografija.

Aplikacijo je mogoče uporabljati brez mobilnih podatkov, vendar pa je potrebno zagotoviti dostop do lokacije pametnega mobilnega telefona. Vsi podatki so prosto dostopni v obliki slikovnega prikaza na zemljevidu ali kot surovi podati na spletni strani »https://amber.international/european-barrier-atlas/«.

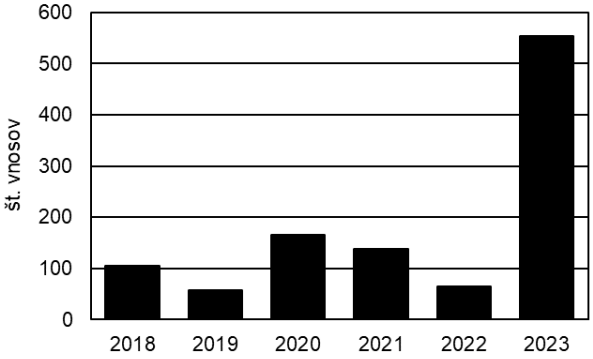
Vnosi rečnih ovir v aplikacijo

Pri osmih popisih rečnih ovir na porečju Reke se nam je pridružilo 57 ljubiteljskih znanstvenikov iz različnih starostnih skupin in strokovnega ozadja (Slika 1). V večini so prevladovali mladi (78,95 %) različnih bioloških študijev iz Univerze v Ljubljani in Primorske Univerze. Najmanj so se popisov udeleževali otroci (5,26 %) ter starostniki (5,26 %). Od februarja pa do začetka septembra 2023 smo ob različnih vodotokih prehodili od 265 do 371 km (53 odsekov) in v okviru projekta zabeležili 514 rečnih ovir. Grobo rečeno, se na porečju Reke pojavi vsakih 500 oziroma 700 metrov ena ovira.



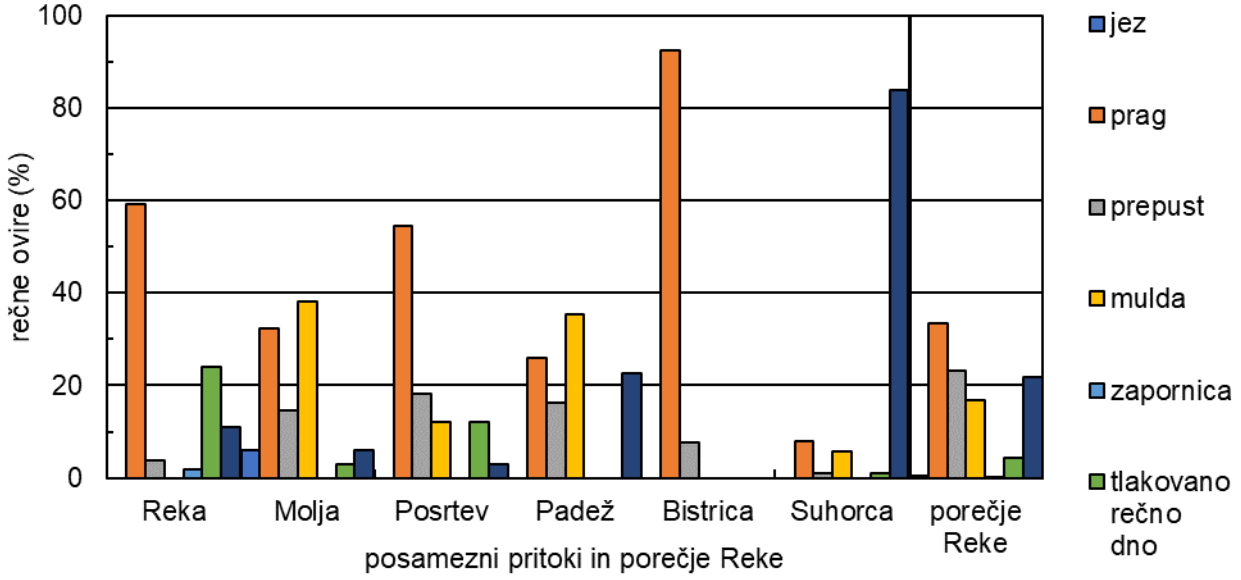
Slika 1: Sodelujočih 57 ljubiteljskih znanstvenikov razporejenih v starostne razrede.

V primerjavi s preteklimi leti je številno vnosov v aplikacijo skoraj petkrat višje kot pretekla leta. Na območju celotne Slovenije je bilo vnesenih najmanj ovir v 2019 (57), največ pa v 2020 (165) ter v 2023 (554). V kolikor v seštevku za 2023 ne upoštevamo vnosov iz projekta, lahko zabeležimo nadaljnji trend upadanja, z vnesenimi 40 ovirami (Slika 2).



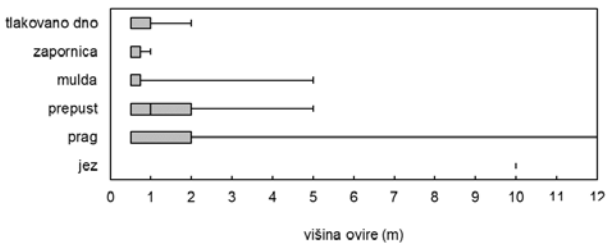
Slika 2: Vnos ovir v BarrierTrackApp v Sloveniji od 2018 do 2023.

Na porečju Reke je bilo zabeleženih 33,33 % ovir pragov (171), 23,20 % prepustov (119) in 16,76 % muld (86). V kategoriji ostalo, ki predstavlja 21,83 % (112) vnosov so vključene zanimivosti iz terena, kot so večje skale, naravne ovire (debla, veje), kamnite stene ali pretekle regulacije.



Slika 3: Pregled rečnih ovir (%) na posameznem pritoku Reke ter celotnem porečju na Reke.

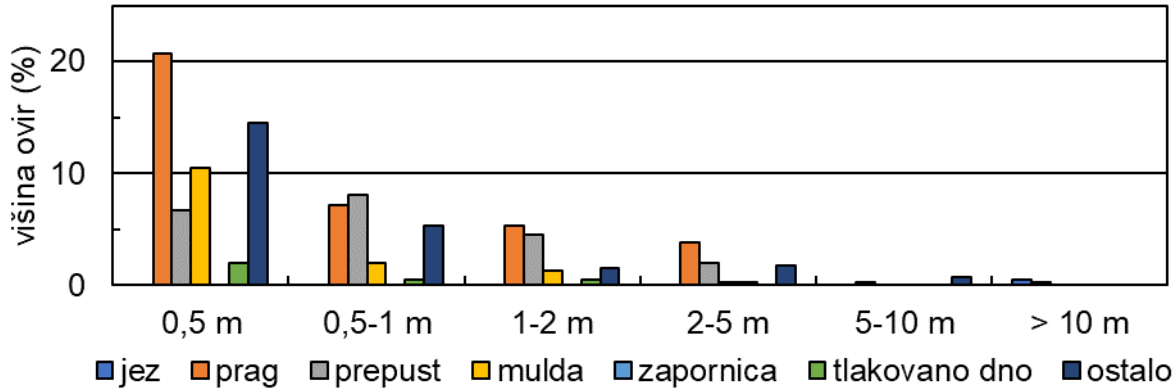
Na Bistrici, ki teče skozi Ilirsko Bistrico predstavljajo pragovi 92,31 % vseh ovir (Slika 4). Na Reki je 59,26 % pragov in 24,07 % tlakovanega rečnega dna, ostalih 16,67 % predstavlja kategorija ostalo, prepusti in zapornica. Na Molji in Padežu prevladujejo mulde (38,24 % in 35,48%) in pragovi (32,35 % in 25,81 %). Potok Mrzlek ni vključen v podrobnejšo analizo, saj ni v celoti popisan, zabeležen je en prag.



Slika 4: Najnižje, srednje in najvišje višine zabeleženih rečnih ovir.

Srednja višina (mediana) edine zapornice in muld je v najnižjem višinskem razredu ovir do 0,5 m. Preostalih 25–75 % prepustov in pragov pa med 0,5 in 2 m. Zabeležen je prag, ki je višji od 10 m. Pri jezovih je srednja višina v razredu več kot 10 m, vendar točnejših vrednosti ni zabeleženih.

O višini rečnih ovir je v aplikaciji zabeleženih 449 podatkov za porečje Reke. V velikostnem razredu do 0,5 m so prevladovali pragovi (20,71 %), mulde (10.47 %), prepusti (6,68 %) in ostalo (14,48 %; Slika 5). V naslednjem velikostnem razredu do 1 m je bilo zabeleženih največ prepustov (8,02 %) in pragov (7,13 %), podobno a obratno je tudi v naslednjih razredih, vse do višine 5-10 m, ko so prisotni samo še pragovi. V razredu nad 10 m so zabeleženi jezovi (0,45 %) in pragovi (0,22 %).



Slika 5: Razporeditev rečnih ovir v porečju Reke glede na njihovo višino.

Kaj govorijo podatki

Reka Reka spada, skupaj z njenimi mokrotnimi travniki, v območje Natura 2000 ter je uvrščena v naravne vrednote državnega pomena. Iz poročila o ekološkem stanju površinskih voda 2019 spada Reka pri vzorčni točki Cerkvenikov mlin (pred Škocjanskimi jamami) iz vidika BPKja, nitratov in celotnega fosforja v zelo dobro stanje, glede na posebna onesnaževala pa dobro stanje (ARSO, 2020). Ekološko stanje (saprobnost in hidromorfološka spremenjenost), ki temelji na podlagi bentoških nevretenčarjev iz 2018 kaže na dobro in zelo dobro stanje (ARSO, 2020).

Pri popisovanju rečnih ovir so do septembra v večini sodelovali mladi, ki študirajo biologijo ter se aktivno udeležujejo različnih društvenih taborov ter so že seznanjeni s potekom terenskih aktivnosti, priprave na teren, gibanja po gozdovih in strugah, splošne orientacije ipd. Drugih, ki bi bili iz lokalnega okolja ali drugih študijskih smeri, vključno s taborniki in ribiči, aktivnost kot taka ni pritegnila, kljub številnim pozivom. Podobno smo zaznali tudi pri skupini udeležencev srednjih let, saj so na popis prišli biologi, ki se poljubno ali po službeni strani še ukvarjajo z biologijo, raziskovanjem narave in območij, ki so jim manj znani. S strani lokalnega prebivalstva so se popisov udeleževali tisti, ki so v svojem prostem času del porečja že spoznali in so želeli spoznati njim nepoznane pritoke ter hkrati prispevati k izboljšanju stanja voda.

Tip rečne ovire, ki se nahaja na specifičnem vodotoku je močno odvisen od zaledja in rabe okoliškega prostora. Čeprav porečju govori v prid naravovarstveni status pa smo na vodotokih zabeležili rečno oviro vsakih 500 do 700 metrov, kar je znotraj neslavnega evropskega poprečja vodotokov, kjer se v povprečju rečna ovira pojavi vsakih 740 metrov (Belleti s sod., 2020).

Na Reki najdemo predvsem pragove in tlakovano dno, ki sta dopolnjujoča se ukrepa upravljanja voda, da se prepreči spodjedanje dna struge. Kljub temu pa podatkov o tlakovanem dnu struge, ukrepu, ki se uporablja tudi pri npr. mostovih, v državnih bazah skoraj ni (DRSV, ARSO, GURS; Pengal s sod., 2021). Čeprav je (le) četrtina pragov višine do 0,5 m, so vsi ostali pragovi višji in ne vključujejo ribjih stez. Prav tako za Reko, kot za številne druge vodotoke, študij o splošni degradiranosti reke ter prehodnosti, ki temelji na ribah, ni (ARSO, 2020).

Večja kanaliziranost struge je še posebej očitna na Bistrici, ki teče čez center Ilirske Bistrice. Na potoku so bili od 15. stoletja naprej mlini in žage, kar lahko vidimo iz prevladujočega deleža pragov. Med njimi pa najdemo tudi takšne, ki so s tehnično ribjo stezo (v teoriji) prehodne vsaj za salmonidne vrste rib, kar kaže na pomembnost ribolova tudi v preteklosti. Dodatno so mnogi pragovi nastali kot posledica regulacije struge in umirjanja toka voda, saj teče potok med bloki, hišami in pod cestami. Ravno nasprotno pa so na Molji in Padežu najpogostejše mulde, saj tečeta skozi večinsko kmetijska območja ter gozd. Te poti kmetje občasno uporabljajo za gospodarjenje s svojimi zemljišči. Na obeh potokih mulde niso dodatno nasipane s sedimenti in so tako prehode za sediment in vodne organizme. Zaporedni pragovi so na obeh potokih ter Suhorci, večinoma na odsekih, ki so v bližini hiš in cest, kot del nedavnih regulacij za protipoplavno zaščito. Nekaj pragov najdemo tudi na njihovih hudourniških pritokih, ki se pojavijo le v času večjih nalivov. Predvsem na Suhorci je število vnosov pod kategorijo »ostalo« visoko, kar je posebnost popisovalca, ki si v aplikacijo zabeleži naravne rečne ovire kot so podrta drevesa, skale, zanimivosti podlage ipd.

Zaključek

Vključevanje ljubiteljskih znanstvenikov v raziskave je ukrep zapisan v Okvirni direktivi EU o vodah (2000/60/ES) in kot tak, v mednarodnem okolju na področju raziskovanja okolja in narave vsesplošen trend, ki za seboj potegne pozitivne posledice kot so lažje in hitrejše pridobivanje podatkov, ozaveščanje javnosti in medgeneracijsko povezovanje. Iz terena in s strani udeležencev smo videli, da je poznavanje posledic o ovirani ali onemogočeni prehodnosti rek nizko, saj vplivi ovir, kot tudi delovanje rečnih ekosistemov, niso poznani. Na mnogih mestih na vodotokih obstajajo ovire, kljub temu, da te zaradi starosti ali poškodovanosti ne opravljajo več svoje prvotne funkcije, kot je zadrževanje vode za delovanje mlinov in žag, zastarele in nefunkcionalne protipoplavne zaščite, prepusti ali tlakovanim dnom pod katerimi se je naredila stopnica ipd. Kot takšne so iz biološkega vidika motnja v rečnem sistemu, ki negativno vpliva na lokalno vrstno pestrost, razporeditev vrst, saj fragmentira in s tem degradira rečne in obrečne habitate (Belleti s sod., 2020).

S pomočjo projekta bomo zagotovili ažurne podatke, ki nam bodo dali celostno sliko vseh pritiskov na porečju, kar bo nam in drugim nevladnim raziskovalnim organizacijam, parkom, občinam in državnim ustanovam dalo možnost za pripravo celovitih prioritizacijskih načrtov obnove rečnih ekosistemov.

Citati – viri

Direktiva 2000/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike (UL L 327, 22.12.2000, str. 1–73).

ARSO, 2019. Ekološko stanje površinskih voda v Sloveniji, Poročilo o monitoringu za leto 2018. Ljubljana, Vojkova 1b

ARSO, 2020. Ekološko stanje površinskih voda v Sloveniji, Poročilo o monitoringu za leto 2019. Ljubljana, Vojkova 1b

Belletti B., Garcia de Leaniz C., Jones J., Bizzi S., Börger L., Segura G., Castelletti A., Bund W., Aarestrup K., Barry J., Belka K., Berkhuysen A., Birnie-Gauvin K., Bussettini M., Carolli M., Consuegra S., Dopico E., Feierfeil T., Fernández S., Zalewski M. 2020. More than one million barriers fragment Europe's rivers. Nature. 588. 436-441. 10.1038/s41586-020-3005-2.

Brilly M., Globevnik L., Štravs L., Rusjan S. 2005. Eksperimentalna porečja v Sloveniji. Raziskave s področja geodezije in geofizike - 2005 : zbornik predavanj. Ljubljana: Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko.

Pengal P., Horvat E., Gričnik M., Martin E. 2021. Fragmentiacija in obnova rek v Sloveniji. Zbornik – Mišičevi vodarski dnevi.

METODA ZA PREPOZNAVANJE ZELENE INFRASTRUKTURE – PRIMER SLOVENSKEGA MORJA IN OBALE

Uroš Fink, Inštitut za vode Republike Slovenije, Einspielerjeva ul. 6, Ljubljana

dr. Rok Soczka Mandac, Inštitut za vode Republike Slovenije, Einspielerjeva ul. 6, Ljubljana

dr. Mitja Bricelj, Ministrstvo za naravne vire in prostor, Dunajska 48, Ljubljana

dr. Sašo Šantl, Inštitut za vode Republike Slovenije, Einspielerjeva ul. 6, Ljubljana

Povzetek

Prepoznavanje in načrtovanje zelene infrastrukture v prostoru je del evropske politike na področju trajnostnega razvoja, ki je podprta z Zelenim dogovorom. Gre predvsem za povečanje odpornosti na podnebne spremembe predvsem s ciljem zmanjšanja porabe energije in izboljšanja samooskrbnosti. Za realizacijo tega cilja je seveda potrebno razviti določene pristope, metode, s katerimi lahko v prvi fazi ocenimo obseg in raznolikost koristi, ki jih nudi naraven ali naravi podoben prostor. V drugi fazi pa se na podlagi prepoznanih potreb in zmožnosti prostora zeleno infrastrukturo tudi načrtuje in umešča v prostor ali pa se naravi določena območja celo vračajo. V članku je predstavljena razvita metoda za prepoznavanje površin glede na njihovo zalogo in potencial za zagotavljanje storitev, ki jih omogočajo naravni ali antropogeno modificirani ekosistemi. Metoda temelji na večkriterijski analizi prostorskih podatkov in upošteva predvsem dejansko rabo prostora in že pravno prepoznane in urejene koristi prostora, kot so na primer zavarovana območja Natura 2000 in poplavna območja. V nadaljevanju je na podlagi razvite metode prikazan rezultat prepoznavanja zelene infrastrukture na primeru slovenskega morja z obalo.

Uvod

Koncept zelene infrastrukture je razmeroma nov pristop, ki omogoča boljše in usklajeno načrtovanje prostora z vključevanjem naravnih ali naravi podobnih elementov s ciljem povečanja kakovosti bivanja, povečanja biotske raznovrstnosti in zagotavljanja številnih storitev, ki jih daje živi svet. (seveda je ekosistem zmeraj sestavljen tudi iz neživega sveta (voda, kamnina, sonce...) na katerem temelji živi svet).

Obstajajo različna razumevanja in definicije, kaj so ekosistemske storitve in kaj je zelena infrastruktura ter kaj jih sploh zagotavlja. Pomembno je, da se doseže čim širši dogovor oziroma, da se jasno določi kaj v konkretnem primeru posame-

Preglednica 1: *Elementi zelene infrastrukture s primeri, prirejeno po Mazza in sod. [15.]*

ELEMENTI ZI	
Jedrna naravna območja	Območja z visoko vrednostjo ohranjanja biotske raznovrstnosti, ki so praviloma zavarovana, kot npr. območja Natura 2000, in obsežnejši habitati, kot je/so morsko obalno območje ali obsežna travišča.
Območja ES	Gospodarsko pomembna območja z oskrbovalnimi ES (les, hrana, pitna voda), ki se upravljajo trajnostno, tako da so ohranjene številne druge uravnalne in kulturne ES. Lahko se prekrivajo z jedrnimi območji.
Obnovljena ali umetna naravna območja ali območja ES	Nova habitatna območja ali obnovljeni ekosistemi za specifične ciljne vrste in/ali povečanje zaloge ciljnih ES. So dejansko sestavni del predhodnih dveh elementov.
Zelene mestne in primestne površine	Parki, vrtovi, manjši gozdovi, zelene stene in strehe, drevoredi, sonaravno urejeni zadrževalniki meteornih voda, ribniki, tudi zeleno urejena šolska dvorišča, pokopališča, vrtički.
Naravni koridorji/ povezave	Naravne povezave, kot so reke/potoki, naravni povezovalni drevesni pasovi, mejice, tudi stopalni kamni, kar vse omogoča gibanje in boljše stanje vrst ter tudi zalogo ES. Imenujejo se tudi zeleni ali modri koridorji.
Umetni koridorji/ povezave	Umetno ustvarjene povezave s funkcijo povezovanja presekanih predhodnih elementov ZI za omogočanje gibanja in migracije vrst in povečanje zaloge ES. Na primer ribji prehodi, ekodukti preko prometnic, tuneli pod prometnicami ipd. Umetni koridorji vzpostavljajo funkcionalnost zelenih in modrih koridorjev in so kot taki njihov sestavni del.

Tabela 1: Pregled elementov zelene infrastrukture. (Mazza et al., 2011)

zni pojem predstavlja (referenca na raznolikost definicij, kaj so ekosistemske storitve).V našem primeru smo se naslonili na splošne definicije, zlasti na zadnjo, ki jo je podala evropska komisija (Evropska komisija, 2013):

»Zelena infrastruktura je strateško načrtovana mreža naravnih in pol naravnih območij, pri čemer so druge okoljske značilnosti zasnovane in upravljane tako, da opravljajo širok nabor ekosistemskih storitev. Vključuje zelene prostore (ali modre, če se nanaša na vodne ekosisteme) in druge fizikalne značilnosti na kopenskih (vključno z obalnimi) in morskih območjih. Na kopnem je zelena infrastruktura prisotna v ruralnem in urbanem okolju.«

Za podporo prepoznavanju zelene infrastrukture v prostoru je treba vzpostaviti metodo. V našem primeru smo se pri vzpostavitvi metode naslonili na pristop z večkriterijsko analizo, pri kateri smo upoštevali že prepoznane koristi v prostoru in vzpostavljene pravne režime. V nadaljevanju bo podrobneje predstavljena metoda z upoštevanimi prostorskimi sloji (vidiki), njihovim načinom vrednotenja in ocenjevanja ter načinom določitve skupne ocene prostorske enote iz vidika njene prepoznavnosti kot zelene infrastrukture.

Metoda

Kot je že navedeno smo za analizo površin na izbranem območju smo izbrali metodo večkriterijske analize. Za izbrano območje, v našem primeru slovensko obalo in slovensko teritorialno morje, smo zbrali kar se da veliko prostorskih slojev, ki so opredeljeni z veljavnimi pravniki akti in dejansko rabo prostora. Prostorski sloji, ki smo jih uporabili v analizi so vključevali sloj dejanske rabe prostora, sloj območij Natura 2000, sloj za-

varovanih območij, sloj vodovarstvenih območij, sloj poplavnih območij, sloj varovalnih gozdov, sloj območij kulturne dediščine, sloj območij naravnih vrednot, sloj priobalnih zemljišč, sloj kopalnih voda in vplivnega območja kopalnih voda in sloj ekološko pomembnih območij. Analiza je bila na podlagi teh podatkov izvedena že eno leto prej. Tokrat smo izbrani slojem dodali še sloj akvakulture (školjčišča in ribogojnice), sloj morskih travnikov, sloj pristaniške infrastrukture in sloj antropogenih sprememb morja. Pomemben dodatke je predstavljal tudi sloj zelenih površin, ki se nahajajo na območjih, kjer je dejanska raba površin opredeljena kot pozidana zemljišča (posamezna drevesa znotraj območij poselitve, rastlinje ob prometnicah, ...). Izbrane prostorske sloje smo v programskem okolju Arcgis združili in tako dobili sliko in tabelirane vrednosti za posamezne prostorske enote, ki vključujejo vse ocene dejavnikov. Metoda je podrobneje opisana v preteklih objavah, ki se navezujejo na tematiko objavljeno v tej objavi. (Bricelj et al. 2021, Šantl et al. 2022)

Okrajšava uporabljena v analizi	Ekosistemska storitev	Utež
RABA_V	Dejanska raba površine	0,250
NATURA_V	Natura 2000	0,104
ZAVOBM_V	Zavarovana območja	0,083
EKOP_V	Ekološko pomembna območja	0,021
VARG_V	Varovalni gozdovi	0,042
KULT_V	Kulturna dediščina	0,021
NARVRED_V	Naravne vrednote	0,083
KOPVOD_V	Kopalne vode	0,083
VVO_V	Vodovarstvena območja	0,125
PRIOB_V	Priobalna zemljišča	0,042
POP_PO_V	Poplavna območja	0,063
DNOPOS_V	Antropogene spremembe na morju	0,250

Tabela 2: Seznam v analizi uporabljenih podatkov in njihove normirane uteži.

SKUPINA DEJANSKE RABE PROSTORA	DEJANSKA RABA PROSTORA (najmanjša površina zajema)	Ocena (1 do 6)
NJIVE IN VRTOVI	1100 -Njiva ali vrt (1000 m^2), 1160 Hmeljišče(500m^2)	0,4
	1180 - Trajne rastline na njivskih površinah (1000 m^2)	0,6
	1190 - Rastlinjak (25 m^2)	0,2
TRAVNIŠKE POVRŠ.	1300 - Trajni travnik (1000 m^2), 1321 – Barjanski travnik (1000 m^2)	1
TRAJNI NASADI	1211 - Vinograd (500 m^2), 1212 – Matičnjak (500 m^2), 1221 – Intenzivni sadovnjak (1000 m^2), 1230 – Oljčnik (500 m^2), 1240 – Ostali trajni nasadi (500 m^2)	0,6
DRUGE KMETIJSKE POVRŠINE	1410 - Kmetijsko zemljišče v zaraščanju (1000 m^2), 1420 – Plantaža gozdnega drevja (1000 m^2), 1500 – Drevesa in grmičevje (1000 m^2), 1600 – Neobdelano kmetijsko zemljišče (1000 m^2), 1800 – Kmetijsko zemljišče poraslo z gozdnim drevjem (1000 m^2)	0,8
GOZD	2000 - Gozd (5000 m^2)	1
OSTALA NEKMETIJS. ZEMLJIŠČA	3000 - Pozidano in sorodno zemljišče (25 m^2)	0
	3001 - Vegetacija na pozidanih zemljiščih	1
	4100 - Barje (5000 m^2), 4210 – Trstičje (5000 m^2), 4220 – Ostalo zamočvirjeno zemljišče (5000 m^2), 5000 - Suho odprto zemljišče s posebnim rastlinskim pokrovom (5000 m^2)	1
	6000 - Odprto zemljišče brez ali z nepomembnim rastlinskim pokrovom (5000 m^2)	0,2
VODNE POVRŠINE (CELINSKE IN MORSKE VODE)	7000 - Voda (10 m^2)	1
	7001 - Voda – sidrišče	0,2
	7002 - Voda - plovbni koridor	0,4
	7003 - Voda – pristanišče	0
	7004 - Marikultura	0,6
	7005 - Morski travnik	1

Tabela 3: Vrednosti dejanske rabe prostora in njihove ocene.

Naš pristop z vključitvijo različnih pravnih režimov ne poda samo ocene glede prepoznavnosti prostora iz vidika zagotavljanja ekosistemskih storitev ampak vključuje tudi oceno glede na potencial. Na primer priobalna zemljišča so v veliko primerih povržena rabi, ki ne daje ekosistemskih storitev (pozidana ipd.), vendar imajo ta zemljišča zaradi vzpostavljenega režima (omejitve ipd.) višjo oceno, saj bi bilo na njih mogoče lažje vzpostaviti zeleno infrastrukturo oziroma jo načrtovati.

Vsakemu od vključenih prostorskih slojev smo določili nabor možnih vrednosti in pripadajoče ocene, ki predstavlja prispevek tega sloja k opredeljevanju zelene infrastrukture na nekem območju. Ker analiza vključuje večje število prostorskih slojev, je potrebno posameznemu sloju njegovo pomembnost ali utež. Način ocenjevanja in določitev uteži smo oblikovali na podlagi strokovne presoje in pregleda relevantne literature. Zaradi poenotenja in normalizacije smo razpon ocen določili v intervalu od 0 do 1 pri čemer je 0 najnižja ocena in 1 najvišja ocena.

Posebej je potrebno omeniti sloj zelenih površin na pozidanih zemljiščih (koda rabe 3000) in sloj antropogenih sprememb morja. Sloj zelenih površin smo za namene naše analize ustvarili na podlagi infrardečih posnetkov površja slovenske obale. Algoritem je prepoznal specifične odtenke barv, ki smo jih določili kot rastlinje, in jih pretvoril v poligone. Sloj antropogenih sprememb morja smo ustvarili na podlagi podatkov o poškodbah dna zaradi sidranja, izkopov in nasutij na morskem dnu, morske infrastrukture, morskih boj, arheoloških in arheoloških najdb. Podobno kot pri dejanski rabi površin je tudi v primeru antropogenih sprememb morja vsaka od kategorij/vrednosti dobila svojo oceno.

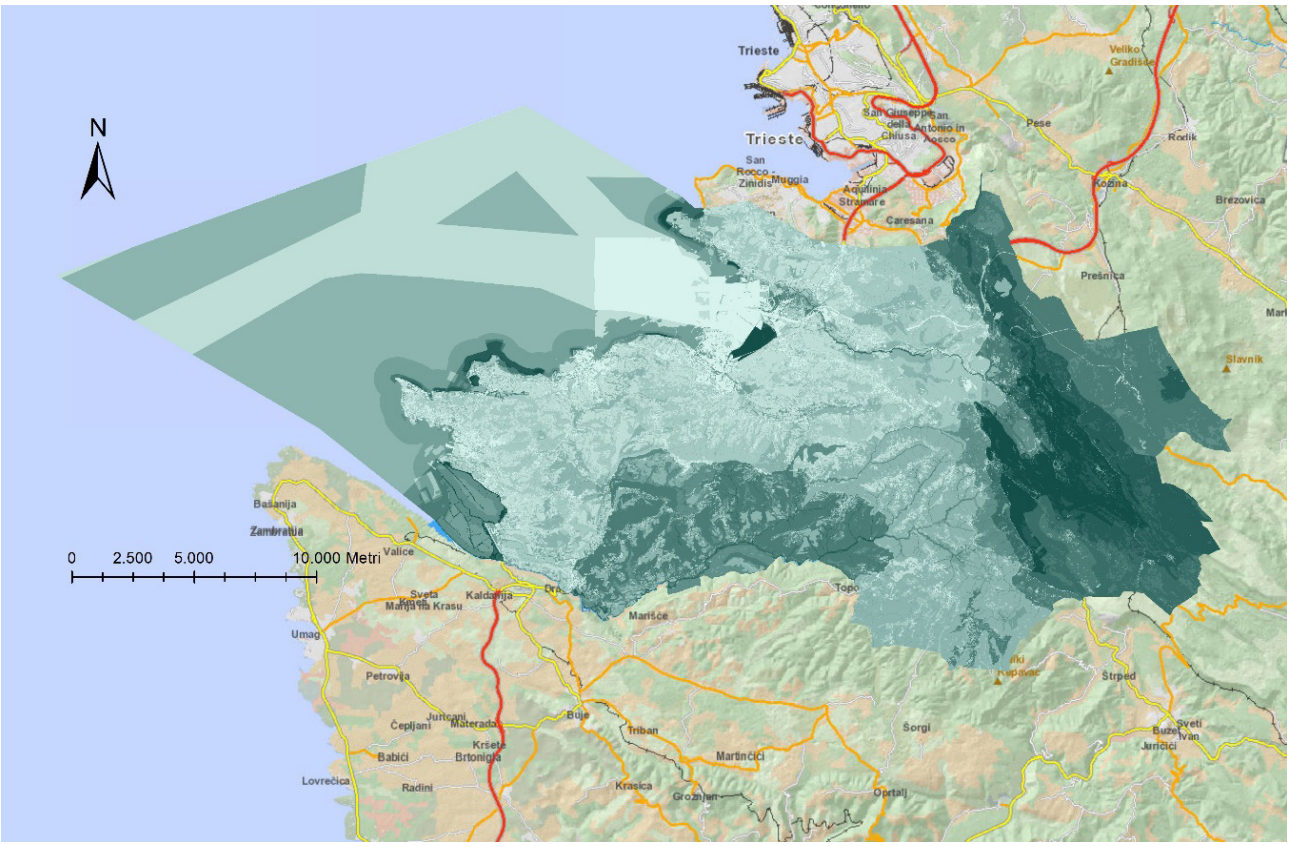
Skupno vrednost za posamezno prostorsko enoto smo izračunali po sledeči formuli:

$$A_i = \sum_{j=1}^{\text{št. kriterijev}} \|fj(xij)\| * \|wj\|$$

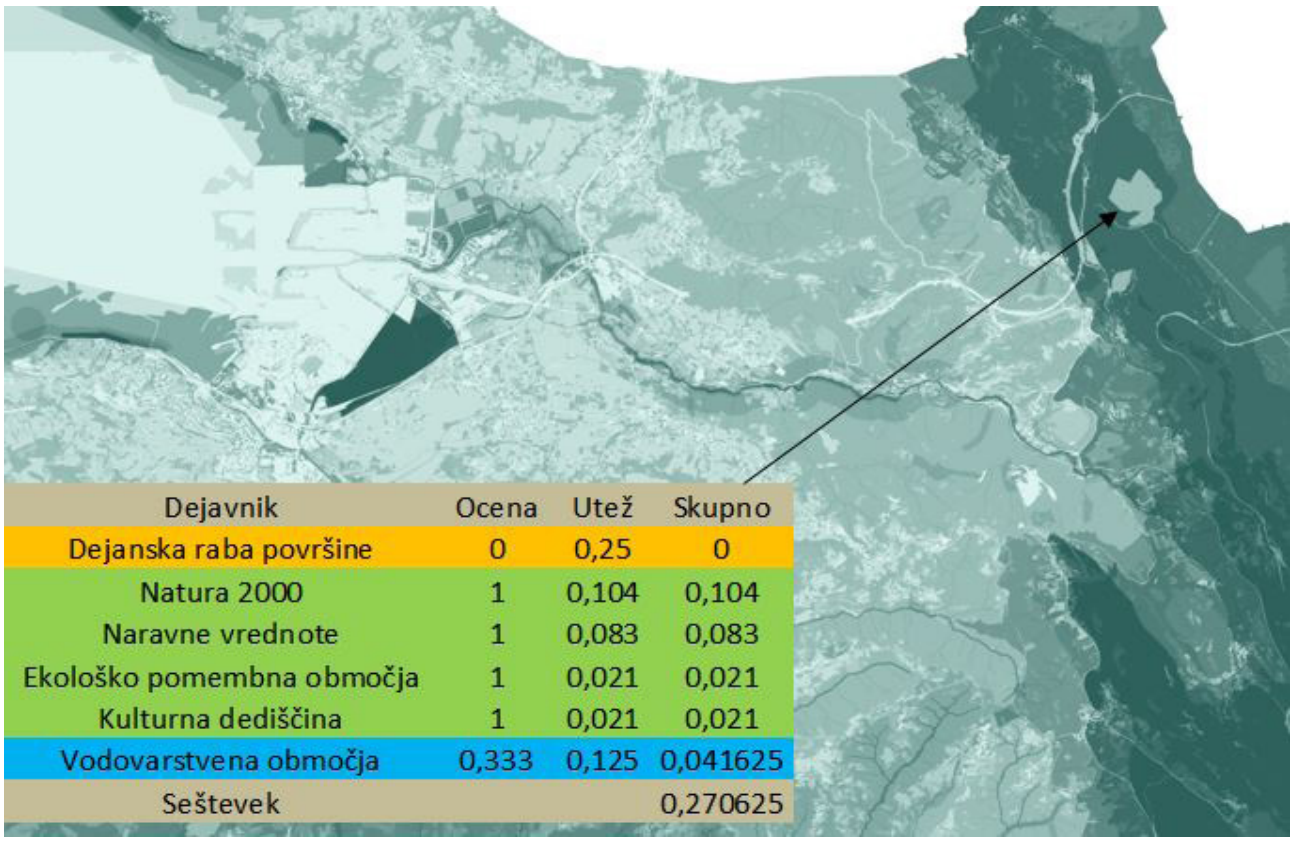
F_j....ocenjevalna funkcija za j-ti kriterij
x_{ij}....vrednost i-te podenote po j-tem kriteriju
w_j....utež j-tega kriterija

Rezultati

Rezultat analize na izbranem območju je tabela z vrednostmi ocenjene zelene infrastrukture za vsako od površin. Hkrati je bila izdelana tudi karta (slika: 1, 2, 3), na kateri so omenjene površine tudi prostorsko umeščene in obarvane glede na višino njihove ocene zelene infrastrukture.

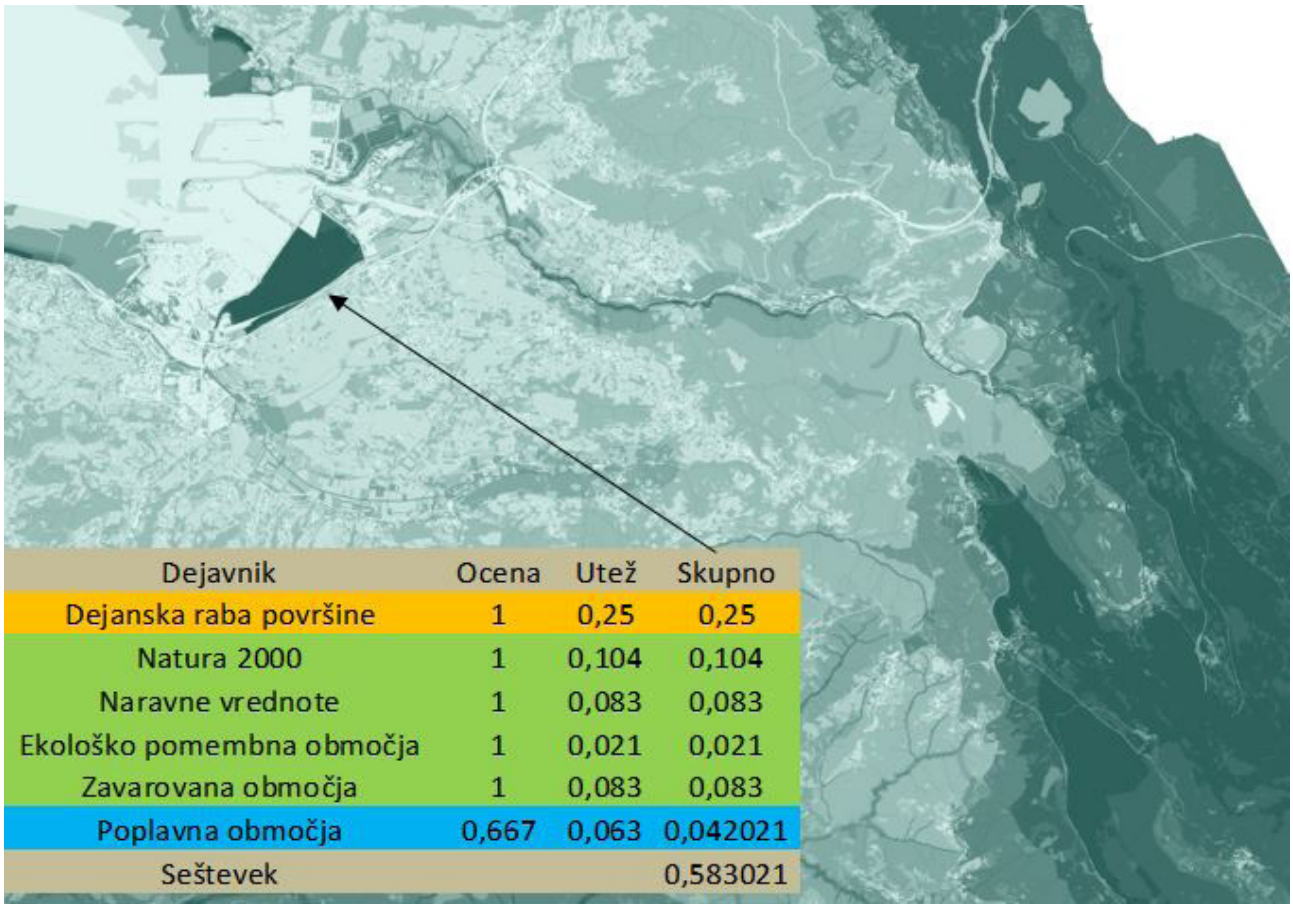


Slika 1: Prikaz površin glede na njihovo zalogo ekosistemskih storitev in prepoznavnost zelene infrastrukture. Temnejše barve nakazujejo na večjo zalogo medtem ko svetlejše barve predstavljajo manjšo zalogo.



Dejavnik	Ocena	Utež	Skupno
Dejanska raba površine	0	0,25	0
Natura 2000	1	0,104	0,104
Naravne vrednote	1	0,083	0,083
Ekološko pomembna območja	1	0,021	0,021
Kulturna dediščina	1	0,021	0,021
Vodovarstvena območja	0,333	0,125	0,041625
Seštevek			0,270625

Slika 2: Kamnolom Črnotiče. Primer območja z nizko zalogo ekosistemskih storitev. Vidiki, po katerih ima predstavljena površina oceno 0, v tabeli niso prikazani.



Dejavnik	Ocena	Utež	Skupno
Dejanska raba površine	1	0,25	0,25
Natura 2000	1	0,104	0,104
Naravne vrednote	1	0,083	0,083
Ekološko pomembna območja	1	0,021	0,021
Zavarovana območja	1	0,083	0,083
Poplavna območja	0,667	0,063	0,042021
Seštevek			0,583021

Slika 3: Škocjanski zatok. Primer območja z visoko zalogo ekosistemskih storitev (visoka ocena po elementu zelene infrastrukture). Vidiki, pri katerih ima predstavljena površina oceno 0, v tabeli niso prikazani.

Razprava in zaključek

Metoda in rezultati izkazujejo, da smo dejansko presegli različni razumevanji, kateri prostor daje ekosistemske storitve, saj je zelena infrastruktura bolj prepoznana v naravnih območjih. Seveda je to posledica izbranih vidikov in njihove obtežitve.

Razpon je od 0 do 1, ampak glede na rezultate so ocene od 0 do 0,69. Za večjo diverziteto in primerjavo bi bilo učinkovito, če se rezultati prikažejo v intervalu razpona ugotovljenih ocen, torej relativno. V primeru primerjave z drugimi območji pa je smiselno, da se ostane na absolutnem razponu.

Metodo prepoznavanja in ocenjevanja zelene infrastrukture lahko nadgradimo z upoštevanjem drugih dejavnikov v prostoru, na katere imajo zelene površine lahko pozitivne vplive. Na primer z vključitvijo izvorov zvočne in svetlobne onesnaženosti lahko posamezne zelene površine iz dodatno ovrednotimo z učinkom na zmanjšanje tega vpliva. Na morskih površinah je odprta možnost za poglobljeno analizo v treh dimenzijah, kjer namesto ploskovnih slojev v analizi zajamemo podatke na različnih globinah v vodnem stolpcu. Na teh osnovah se lahko premaknemo tudi v fazo načrtovanja zelene infrastrukture, kjer prepoznane površine vrednotimo glede na njihov doprinos koristi za človeka in okolje, ali pa v okolju, kjer je prepoznano pomanjkanje zelene infrastrukture, načrtujemo umestitev površin, ki bi dvignile zalogo ekosistemskih storitev.

Opazili smo, da se z oddaljevanjem od obale količina podatkov za morske površine zmanjšuje. Medtem, ko je obalni pas zelo dobro pokrit z raznolikimi podatki, je globje morje v tem pogledu skopo.

Rezultati nakazujejo, da ima dejanska raba največji vpliv oceno prostor iz vidika zelene infrastrukture. Na rezultat bi lahko vplivali z določitvijo manjše uteži sloju dejanske rabe prostora. Vendar ali je to smiselno, saj ta sloj predstavlja stvarno stanje v prostoru, ostali pa so bolj kot ne pravni režimi. Dejansko bi bilo bolje razmisliti v smeri, da se v analizo vključi druge podatke, ki niso večinsko osnovani na podlagi pravnih režimov.

Metodo lahko nadaljujemo v kvalitativni smeri ali pa se usmerimo proti kvantifikaciji zelene infrastrukture in njenih koristi. V primeru kvantifikacije metoda lahko hitro postane zelo kompleksna, kar bi se odražalo vsaj v izvajanju obsežnih različnih terenskih meritev in študij/modeliranj za oceno vpliva posameznih dejavnikov.

Pri izvajanju kvalitativne metode lahko prilagajmo svoje kriterije glede na to, kako strogi želimo biti pri opredeljevanju površin kot zelena infrastruktura. Mejne vrednosti, pri katerih neka površina predstavlja zeleno infrastrukturo ali ne, tako lahko določamo glede na potrebe konkretnega scenarija (npr. urejanje parkirišč, ...).

Pri načrtovanju zelene infrastrukture se pojavilo tudi polemike o tem, ali večja raznovrstnost ekosistemskih storitev določenega območja pomeni tudi večjo biotsko raznovrstnost. To še posebej velja za zelene »otoke« znotraj večjih centrov pozidave. Ali samostojno drevo v središču luke Koper predstavlja točko biotske raznovrstnosti ali služi samo kot faktor zmanjševanja človeških vplivov?

Viri

Bricelj M., Šantl S., 2021, Priročnik za prepoznavanje in načrtovanje zelene infrastrukture, IzVRS.

Evropska komisija, 2013, Sporočilo komisije evropskemu parlamentu, svetu, evropskemu ekonomsko-socialnemu odboru in odboru regij. Zelena infrastruktura – izboljšanje evropskega naravnega kapitala. (dostopno na: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d41348f2-01d5-4abe-b817-4c73e6f1b2df.0011.03/DOC_1&format=PDF).

Mazza L., Bennett G., 2011, Green infrastructure implementation and efficiency, končno poročilo, DG Environment on Contract.

Šantl S., Bricelj M., 2021. Zelena infrastruktura in trajnostni razvoj. 32., Mišičev vodarski dan, Zbornik.

Šantl, S., Soczka Mandac, R., Fink U., Trdan, Š. 2022. 4.1 Vzpostavitev platforme in modela za celovito upravljanje morskega okolja in izmenjavo podatkov. Nadgradnja metode in podatkov za oceno zelene infrastrukture, Končno poročilo. Naročnik: Ministrstvo za naravne vire in prostor.

NATURA MURA
PRVI VIDNI UČINKI UKREPOV RENATURACIJE STRUGE MURE

Urban Jakop, mag. inž. ok. grad., VGB MARIBOR d.o.o., Glavni trg 19c, 2000 Maribor

Timotej Mišič, univ. dipl. inž. kraj. arh., VGB MARIBOR d.o.o., Glavni trg 19c, 2000 Maribor

Povzetek

Aktivnosti v sklopu projekta Natura Mura, o katerem smo poročali že v prejšnji izdaji Zbornika Mišičevih vodarskih dni (2022), so po dveh letih intenzivnega projektiranja in izvajanja zaključene. Izvedene so bile vse načrtovane aktivnosti, katerih glavni namen in cilj sta bila predvsem revitalizacija reke in obnova rečne dinamike in obrečnih habitatov.

Večji del izvedenih aktivnosti, med katere spadajo predvsem razširitve struge Mure, je zasnovanih na način, da z njimi sprožimo naravne hidromorfološke procese in reki pomagamo pri preoblikovanju »kanaliziranega« korita struge. Intenzivnost in število naravnih hidromorfoloških procesov, ki bi sprožili širjenje struge Mure in s tem nastanek novih habitatov, pa je odvisno predvsem od erozijske sposobnosti vodotoka. Večjo erozijsko moč ima vodotok ob višjih pretokih, ko se pojavijo višje hitrosti vode in s tem večje vlečne sile.

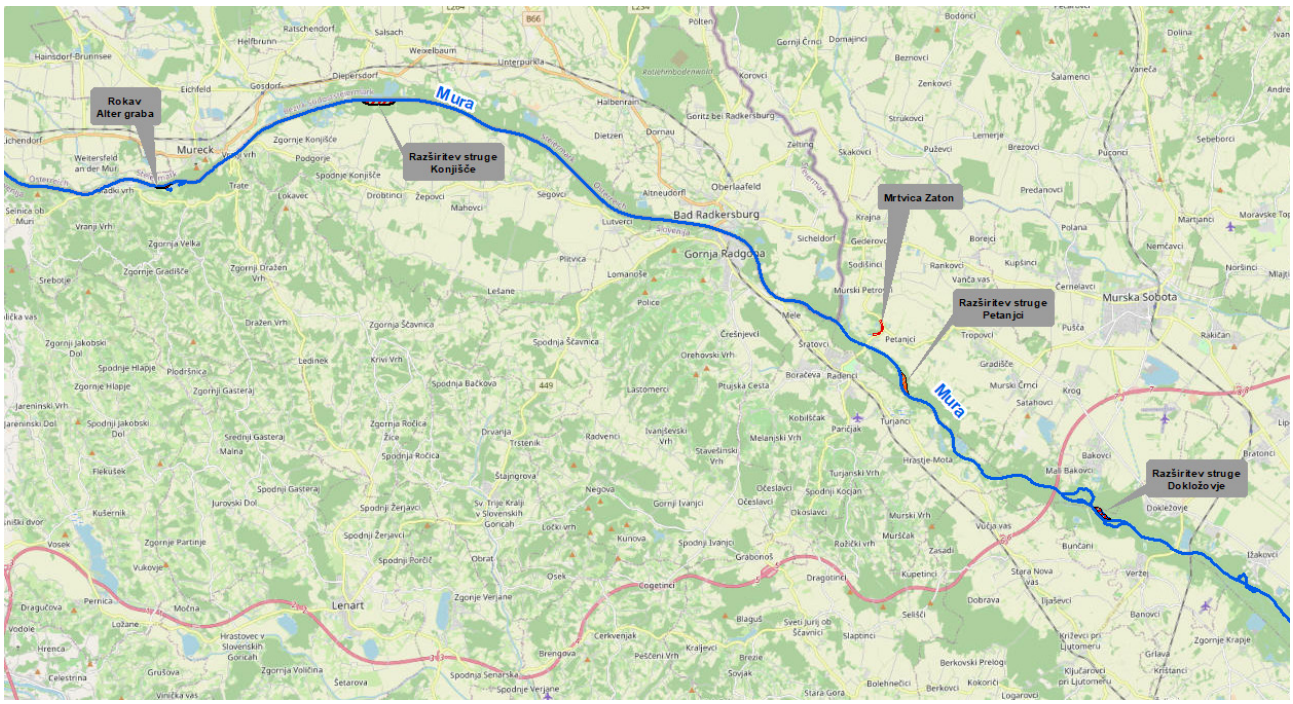
Ekstremne padavine, ki so v začetku avgusta povzročile katastrofalne poplave in visoke vode vodotokov praktično na celotnem območju Slovenije, so močno pripomogle k sprožitvi številnih naravnih procesov na celotnem projektnem območju Natura Mura. Pokazali so se že prvi učinki izvedenih ukrepov in aktivnosti v sklopu projekta Natura Mura. Na odsekih načrtovanih razširitev je Mura že razširila in preoblikovala svojo sicer močno regulirano in utrjeno strugo, nastajati so začela prva prodišča in novi habitati, predvsem pa so se pokazali prvi znaki razgibane in naravi bolj prijazne reke Mure.

Uvod

Glavni namen prispevka je predvsem slikovno predstaviti prve večje spremembe in učinke renaturacije in revitalizacije struge Mure, ki so nastale na območjih izvedenih aktivnosti po visokovodnem dogodku na reki Muri med 4. in 6. avgustom 2023.

Na podlagi terenskih ogledov in dron posnetkov, ki jih je po visokovodnem dogodku priskrbel Zavod RS za varstvo narave, smo naredili primerjave na območjih, kjer so se pokazale največje spremembe. V prispevku tako obravnavamo novo izveden rokav Alter graba, razširitve struge Mure v Konjišču, Petanjcih in Dokležovju ter oživitev mrtvice Zaton.

Na vseh analiziranih lokacijah so se izvedene ak-



Slika 1: Opazovane lokacije aktivnosti Natura Mura, ki so predstavljene v prispevku.

tivnosti izkazale za zelo učinkovite v smislu doseganja ciljev projekta Natura Mura. Na nekaterih odsekih se je struga razširila tudi za 30 m in več, začeli so nastajati zatoki, sipine in prodišča, oživljena mrtvica Zaton pa je ponovno postala habitat številnim rastlinskim vrstam. Zaradi izvedenih aktivnosti visokovodna Mura ni dodatno ogrožala območij izven meje obdelave, prav tako se širša poplavna ogroženost ni povečala.

Natura Mura - pregled izvedenih opazovanih aktivnosti

Lokacije aktivnosti v sklopu projekta Natura Mura obsegajo območje Nature 2000 praktično vzdolž celotnega slovenskega odseka reke Mure. Lokacije in načrtovani posegi so bili skrbno izbrani s strani Zavoda RS za varstvo narave in predstavljeni v publikaciji *»Akcijski načrt obnove rečnih in obrečnih habitatov na območju Natura 2000 Mura, projekt: coop MDD, DTP1-259-2.3, ZRSVN, 2019«.*

V nadaljevanju je predstavljen kratek povzetek izvedenih ukrepov na opazovanih lokacijah ob Muri.

Rokav Alter graba

Glavna aktivnost na območju Alter grabe je bila izvedba novega rokava v dolžini več kot 500 m. Širina rokava in kota vtoka v rokav sta izvedeni na način, da je tudi ob nižjih pretokih Mure rokav pretočen. S tem smo se poskušali izogniti zaprojevanju in usedanju materiala znotraj rokava, ki bi lahko skozi čas povzročilo prekinitev pretoka skozi rokav.

Poleg izvedbe novega rokava se je na območju obstoječe brežine Mure delno odstranilo zavarovanje, ki je izvedeno s položenim kamnom v suho. S tem smo Muri omogočili preoblikovanje novo nastalega otočka.

Razširitve struge Konjišče, Petanjci in Dokležovje

Na lokacijah razširitev je bila glavna aktivnost odstranitev obstoječega obrežnega zavarovanja. S tem smo ustvarili pogoje za preoblikovanje struge Mure. Zavarovanje se je prestavilo v zaledje, kot pasivno zavarovanje in prepreka pred nekontroliranim širjenjem brežine. V pasu širne cca. 10 m so se odstranila vsa večja drevesa in druga zarast.

Mrtvica Zaton

Mrtvica Zaton pred izvedbo aktivnosti ni več predstavljala stalno omočene vodne površine. Območje je bilo močno zaraščeno in v veliki meri okopnelo. V sklopu aktivnosti Natura Mura se je izvedel izkop cca. 16.000 m^3 sedimenta. Povprečna širina izkopa je 20 m, brežine se prilagajajo na obstoječ teren. Tlorisen potek mrtvice je sonaraven in nepravilnih oblik. Kota dna izkopa je projektirana pod koto dna podtalnice pri nizkih vodostajih Mure.

Slika 2: Lokacija rokava Alter graba pred izvedbo (FOTO: Pomgrad d.o.o.).

Slika 3: Razširitev struge Dokležovje med izvedbo aktivnosti.

Slika 4: Lokacija razširitve struge Konjišče.

Slika 5: Območje mrtvice Zaton pred izvedbo del.

Visokovodni dogodek na reki Muri

Kot že omenjeno, so ekstremni pretoki Mure v začetku avgusta močno pospešili procese revitalizacije in renaturacije struge Mure na ciljnih območjih projekta Natura Mura. Najbolj vidni so vplivi na razširitve struge, kjer si je Mura z erodiranjem brežine vzela svoj prostor.

Visokovodna situacija na Muri je v nadaljevanju na kratko povzeta iz: *»POROČILO O POPLAVAH, Izjemne poplave v Sloveniji med 4. in 8. avgustom 2023, ARSO - Urad za meteorologijo, hidrologijo in oceanografijo, avgust 2023«*.

Visok porast pretokov Mure so v petek 4. avgusta povzročili predvsem njeni manjši pritoki, ki so zaradi obilnih padavin silovito narasli. Izpostaviti velja predvsem reko Solbo in leve pritoke Mure severno od slovensko-avstrijske meje. Pretok je v dobrih desetih urah iz 240 narasel na 1100 m^3/s. V soboto, 5. avgusta je bil pretok reke Mure večinoma ustaljen na okoli 1360 m^3/s. V nedeljo pa je ta ob vnovičnem porastu manjših rek na avstrijskem Štajerskem znova začel polagoma naraščati. Maksimalen pretok – konica je bila v Gornji Radgoni dosežena v nedeljo 6. avgusta, ko je vodomerna postaja Gornja Radgona I zabeležila pretok 1461 m^3/s (slika 2). Zabeležen pretok predstavlja rekordno vrednost v več kot 90-letnem opazovalnem obdobju in je po podatkih ARSO ocenjen na pretok s povratno dobo nekje med 50 in 100 let.

Pregled učinkov ukrepov po visokih vodah na Muri

Rokav Alter graba

Novi rokav Alter graba je dobro prestal avgustovske visoke vode Mure. Dodatnega in nepredvidenega širjenja in erodiranja ni bilo zaznati. Prav tako znotraj rokava ni prišlo do zaprojevanja, ki bi lahko prekinilo tok vode po rokavu.

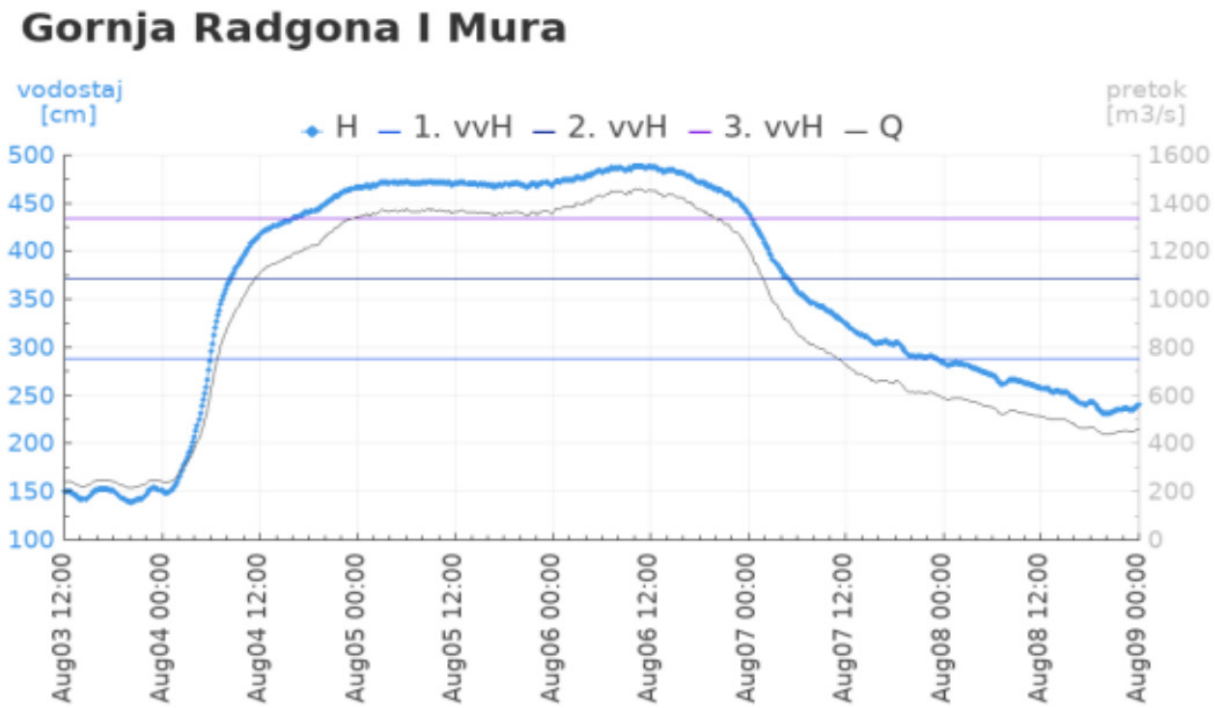
Novo nastali otoček se je delno preoblikoval.

Razširitev struge Konjišče

Kljub ravnemu poteku struge na območju razširitve v Konjišču se je struga razširila. K temu sta bistveno pripomogli tudi kamnita zložba, s katero delno preusmerjamo tok Mure v območje brežine in umetno izvedena iniciacijska zajeda.
Struga se je v povprečju razširila za cca. 10 m, na nekaterih krajših odsekih še za nekoliko več.

Razširitev struge Petanjci

Pogoji za razširitev struge v Petanjcih so bistveno boljši kot v Konjišču (zunanji zavoj Mure), zato se je na tem odseku struga še bolj razširila. Na sliki 11 je z oranžno linijo nakazan potek brežine pred visokimi vodami. Struga se je na tem odseku razširila tudi za 30 m in več. Močno se je spremenila rečna dinamika, ki je sedaj bolj razgibana.



Slika 6: Visokovodni val na Muri zabeležen na VP Gornja Radgona I (vir: ARSO).

Nastalo je tudi novo prodišče, ki jih prej na tem odseku Mure praktično ni bilo zaznati. Ostanki podrtih dreves ob brežini ustvarjajo dodaten habitat in dodatna skrivališča za ribe.

Slika 7: Rokav Alter graba takoj po izvedenih delih (FOTO: Pomgrad VGP, 2022)

Slika 8: Rokav Alter graba po Avgustovskih visokih vodah (FOTO: ZRSVN, avgust 2023).

Slika 9: Notranjost rokava (September 2023).

Slika 10: Razširjena struga po visokih vodah Mure (FOTO: ZRSVN, Avgust 2023)

Slika 11: Razširjena struga v Petanjcih po avgustovskih visokih vodah (FOTO: ZRSVN, Avgust 2023).

Slika 12: Območje razširitve struge v Petanjcih , september 2023.

Razširitev struge in obnova rokava Dokležovje

Na območju aktivnosti v Dokležovju se je struga prav tako močno razširila. Na krajšem odseku tudi za več kot 30 m. Na sliki 13 je z oranžno linijo nakazan potek brežine pred visokimi vodami.

Slika 13: Razširjena struga v Dokležovju po avgustovskih visokih vodah (FOTO: ZRSVN, Avgust 2023).

Slika 14: Območje razširitve struge v Dokležovju.

Mrtvica Zaton

Po odstranitvi zarasti in izkopu in odstranitvi sedimenta se je v mrtvici Zaton ponovno pojavila voda – podtalnica. Voda je v mrtvici prisotna tudi pri nizkih pretokih Mure in posledično nizki podtalnici. Znotraj mrtvice so se že pojavile prve rastlinske vrste, ki jih na tem območju ni bilo zaznati že vrsto let.

Slika 15: Območje mrtvice Zaton po izvedbi del (FOTO: Pomgrad VGP, 2022).

Slika 16: Oživela mrtvica Zaton, september 2023.

Slika 17: Interpretacijska pot v mrtvici.

Slika 18: Oživela mrtvica Zaton.

V nastajanju je tudi nova interpretacijska pot znotraj oživele mrtvice (sliki 18 in 19), ki bo še povečala zanimivost in lepote habitata.

Zaključek

Reka Mura je po avgustovskih poplavah na nekaterih odsekih preoblikovala svojo strugo in s tem delno spremenila tudi svojo dinamiko. V veliki meri so na to vplivale aktivnosti, ki so bile izvedene v sklopu projekta Natura Mura.

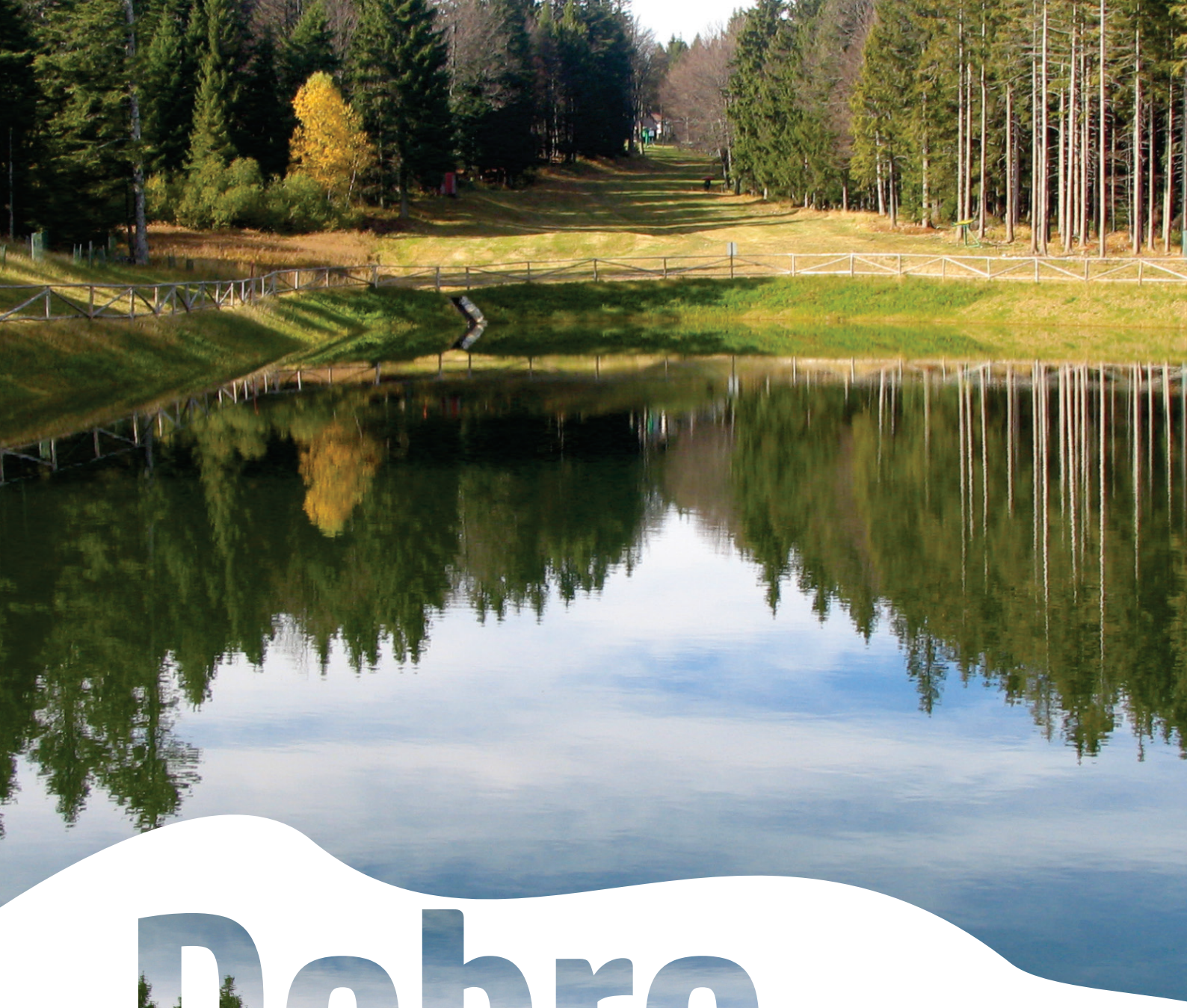
Cilji projekta Natura Mura so bili na opazovanih lokacijah v veliki meri doseženi.

Viri

Akcijski načrt obnove rečnih in obrečnih habitatov na območju Natura 2000 Mura, projekt: coop MDD, DTP1 259 2.3, Zavod RS za varstvo narave, 2019

05

Reklamni oglasi



Dobro

za naše okolje

Področja naše dejavnosti:

- Urejanje voda in upravljanje z vodami
- Kmetijstvo in razvoj podeželja
- Ekologija
- Komunala
- Hidrotehnični objekti
- GIS in vizualizacije
- Krajinska arhitektura

www.vgb.si

VODNOGOSPODARSKI BIRO MARIBOR d.o.o.

www.vgp-drava.si

- NAČRTOVANJE
- IZVAJANJE
- VZDRŽEVANJE
- vodnih objektov
- komunalne hidrotehnike
- objektov varstva okolja

DRAVA 70 let

VODNOGOSPODARSKO PODJETJE PTUJ, d.o.o.

Glej zeleno
Delaj modro

| Ptuj | Ravne na Koroškem | Ilirska Bistrica | Koper |
| Slovenija | Hrvaška | Srbija | Črna gora |

Žnidaričevo nabrežje 11, 2250 Ptuj
E-mail: info@vgp-drava.si
Telefon: 02 787 50 00

REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA NARAVNE VIRE IN PROSTOR

REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA NARAVNE VIRE IN PROSTOR

DIREKCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA VODE

DRUŠTVO VODARJEV SLOVENIJE

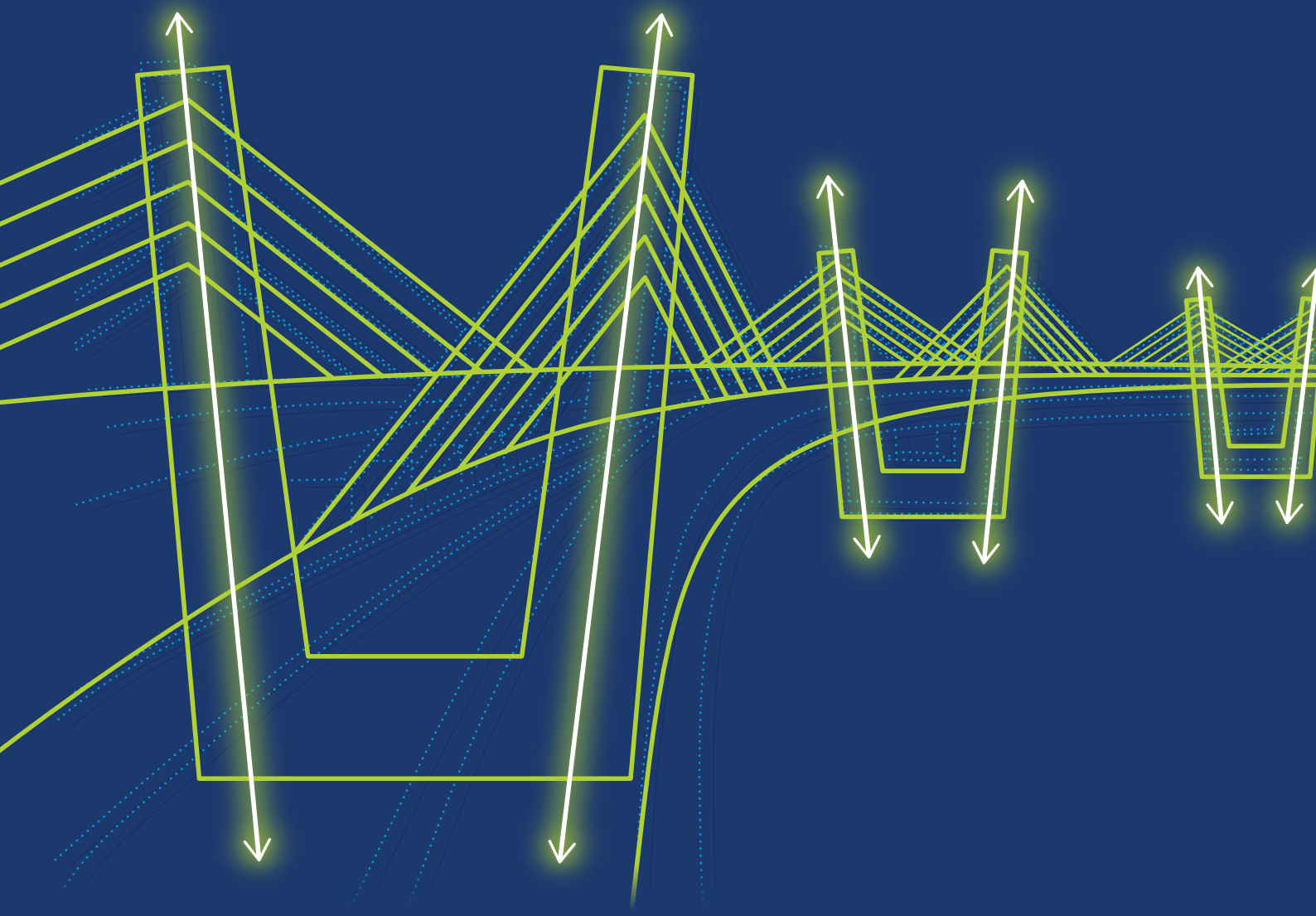
INŠTITUT ZA VODE REPUBLIKE SLOVENIJE

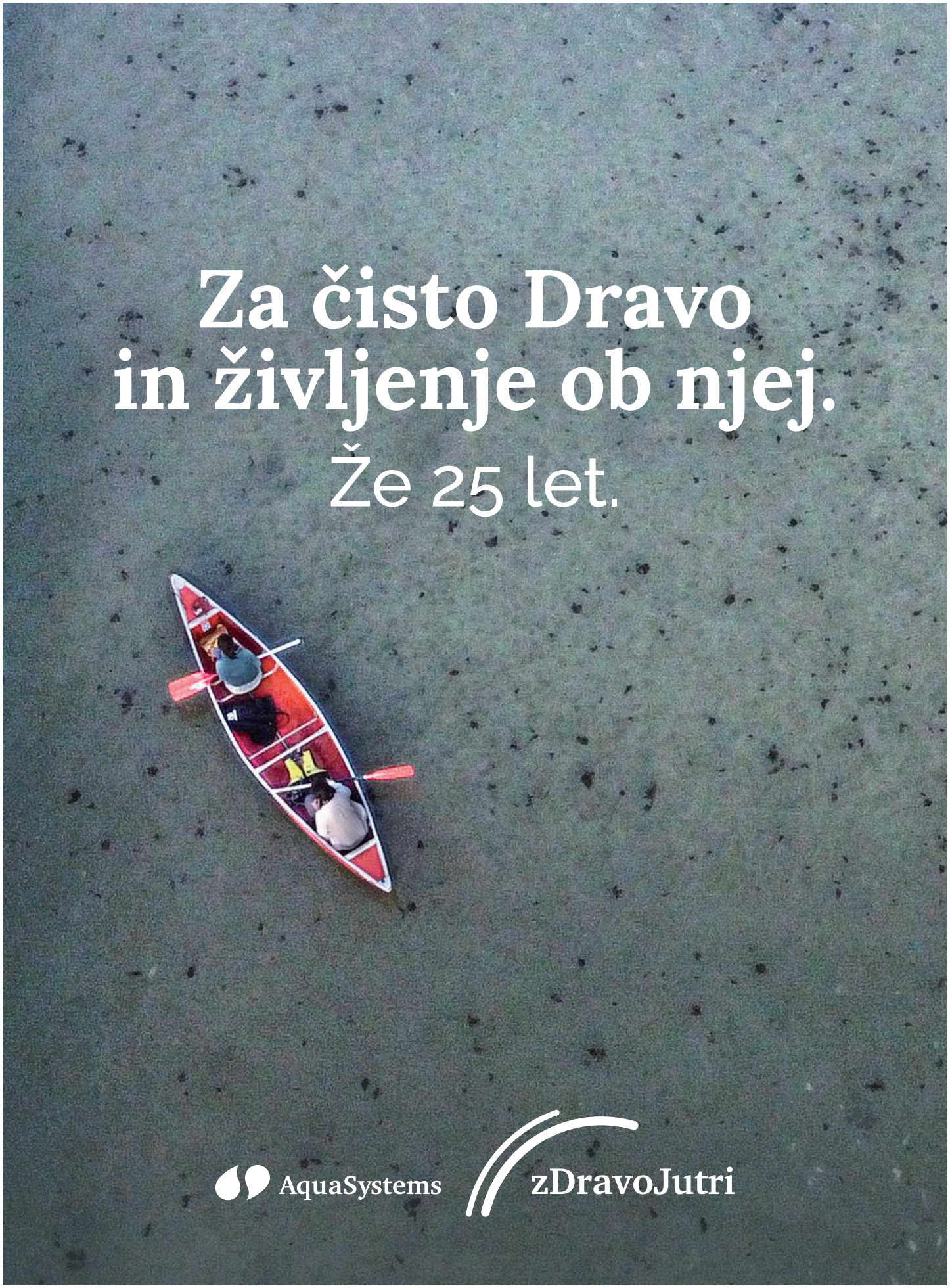
Institute for Water of the Republic of Slovenia

INŽENIRSKA ZBORNICA SLOVENIJE
JARŠKA CESTA 10B
1000 LJUBLJANA
SLOVENIJA

USTVARJAMO TRAJNOSTNO PRIHODNOST

ZELENO. VARNO. DIGITALNO.




Za čisto Dravo
in življenje ob njej.
Že 25 let.
AquaSystems
zDravoJutri

NAČRTOVANJE / IZVAJANJE / VZDRŽEVANJE

vodne infrastrukture / okoljskih projektov

POMGRAD

VODNOGOSPODARSKO PODJETJE

Upravljanje z vodami tudi v ekstremnih vremenskih pojavih

Nemoteno zagotavljanje oskrbe s pitno vodo

Tehnološke rešitve priprave pitne vode za zagotavljanje dolgoročno varne oskrbe s pitno vodo z minimalnimi škodljivimi vplivi na okolje in z zanemarljivo količino uporabe kemikalij. Preizkušena uporaba klasične pred obdelave vod z usedanjem, peščeno filtracijo, membranskih tehnologij s kombinacijo ultrafiltracije in alternativno nanofiltracije ali reverzne osmoze v vseh klimatskih razmerah ne glede na kvaliteto surove vode, izpade električne energije ali spreminjajoče se kakovosti vode.

Ponovna uporaba odpadne vode

Tehnološke rešitve ponovne uporaba očiščene industrijske ali komunalne odpadne vode z uporabo različnih tehnologij. Glede na zahteve procesa in vhodne karakteristike vode izberemo ustrezne tehnologije od fizikalne obdelave s flotacijo ali sedimentacijo, »grobo« filtracijo (razna sita, peščena filtracija, katalitična filtracija, adsorpcija), ultrafiltracijo, nanofiltracijo ali reverzno osmozo, selektivno ionsko izmenjavo do biološkega čiščenja z uporabo metod SBR, MBR ali MABR. S ponovno uporabo očiščene odpadne vode se zmanjša potreba po uporabi virov pitne vode in količini izpuščenih odpadnih voda in posledično zmanjša obremenjevanje okolja.

Analiza stanja gospodarske javne infrastrukture na podlagi satelitske detekcije namočenosti zemljine

Detekcija podpovršinskih kritičnih žarišč geotehničnih okvar/ nestabilnosti kot znanilcev bodočih okvar gospodarske javne infrastrukture (ceste, železnice, protipoplavna zaščita, zemeljski jezovi in nasipi), ne glede na sestavo tal, vegetacijo... Zaradi možnosti zaznavanja namočenosti zemljine do 6 metrov v globino zemeljske površine se lahko identificirajo potencialno kritična žarišča še preden so vidna na površju in povzročijo resne okvare gospodarske javne infrastrukture ali celo ogrozijo življenja ljudi in je sanacija le-teh še obvladljiva.

KOLEKTOR

Kolektor Sisteh d.o.o.
www.kolektorsisteh.com

SPIRALNI PILOTI

Z IZVAJANJEM NAČRTOVANJA IN IZVAJANJA SPIRALNIH PILOTOV UVAJAMO V SLOVENSKO GRADBENO INDUSTRIJO NAPREDNI SISTEM ZA TEMELJENJE NA SLABONOSILNIH TERENIH, ZAVAROVANJE PLAZOV IN BREŽIN OB VODOTOKIH, SANACIJE POSEDKOV NA OBJEKTIH...

PGGH d.o.o. | Kosarjeva ulica 4 | SI-2000 Maribor
Telef.: +386 2 234 25-70 | @mail: info@pggh.com | **www.pggh.com**

VESOLJE▸SI

CENTER ODLIČNOSTI VESOLJE,
ZNANOST IN TEHNOLOGIJE

- **Satelit**
- Visoka ločljivost
- Opazovanje Zemlje
- **HD video iz vesolja**
- **Multispektralni posnetki**
- Snemanje s sledenjem rekam
- Obdelava satelitskih podatkov
- **Zemeljska postaja za prenos podatkov**

www.space.si

PAL d.o.o.
inženiring
ščitimo pred poplavami že od leta 2008

IBSI TECHNICS GMBH

Od načrtovanja,
do izvedbe in skladiščenja

Kidričeva ulica 4, 4000 Kranj **M:** 051 641 670 **E:** info@pal-inzeniring.si **W:** www.pal-inzeniring.si

BIM spreminja svet načrtovanja,
oblikovanja, gradnje in upravljanja.

01. BIM management

- BIM izvedbeni načrti (BEP)
- projektna naloga za implementacijo BIM-pristopa
- skupno podatkovno okolje
- kontrola kakovosti modelov in preverjanje kolizij

02. BIM modeliranje

- 3D modeliranje
- 4D modeliranje (terminski plan)
- 5D modeliranje (finančni plan)
- 6D modeliranje (upravljanje)

03. BIM nadzor

- spremljanje gradnje na osnovi BIM modela
- korekcije modela med gradnjo
- izdelava končnega (as-built) modela

04. BIM svetovanje

- svetovanje s področja BIM-a
- recenzije BIM modelov
- izvedba izobraževanj
- spremljava realizacije BIM-a na projektih

a Jezdarska ul. 3, 2000 Maribor t 02 429 27 00 e info@lineal.si s www.lineal.si

lineal

Največji proizvajalec električne energije
iz obnovljivih virov

www.dem.si

EHO PROJEKT

EHO Projekt d.o.o.
Dunajska cesta 51
1000 Ljubljana, Slovenija
e-mail:info@ehoprojekt.si

www.ehoprojekt.si

Skrb za okolje po elementarnih nesrečah

Stabilizacije brežin
Zemeljski plazovi
Protipoplavna zaščita
Skalni podori
Snežni plazovi

IBE, d.d., svetovanje,
projektiranje in inženiring

V KORAK Z NAJSODOBNEJŠIMI DIGITALNIMI TEHNOLOGIJAMI

HE BREŽICE, nazivna moč 47,4 MW (3x15,8 MW), volumen akumulacije 19,3 mio m3, gradnja 2012-2016

IZVO-R d.o.o.
Projektiranje in inženiring
Z vami že 20 let.

IZVO-R, projektiranje in inženiring d.o.o.
Sedež podjetja: Pot za Brdom 102, 1000 Ljubljana
PE CELJE, Opekarniška cesta 15B, Celje

T: 0590 81 100
E: izvor@izvor.si
W: www.izvor.si

Ključna področja delovanja:

- Izdelava projektne dokumentacije hidrotehničnih ureditev
- Izdelava hidrološko hidravličnih študij, analiz in presoj
- Matematično modeliranje hidrodinamičnih pojavov
- Izdelava kart poplavne in erozijske nevarnosti
- Izdelava hidrotehničnih podlag za prostorske načrte
- Recenzije projektne dokumentacije (hidrotehnika)
- Analize in načrtovanje sanacij zemeljskih plazov
- Renaturacija vodnih teles (reke, ribniki)

V sožitju vodnih tokov in družbenih potreb.

VGP KRANJ

- VODNO GOSPODARSTVO
- NIZKE GRADNJE
- PROJEKTIRANJE
- KAMNOLOM

CKFF CENTER ZA KARTOGRAFIJO FAVNE IN FLORE

bioportal.si

Ali na območju posega živita rak koščak, želva močvirska sklednica ali druge zavarovane vrste?

- Kaj njihova prisotnost pomeni?
- Je projekt na območju Natura 2000?
- Kako bo projekt mogoče umestiti v prostorske akte?
- Ali za izpeljavo zadoščajo tehnične rešitve ali bodo potrebni omilitveni ukrepi?
- Bo projekt sploh mogoče izpeljati?

Na ta in podobna vprašanja s stališča narave vam lahko odgovorimo:

- s popisi rastlinstva in živalstva,
- s svetovanjem in pripravo strokovnih podlag za prostorske akte, umeščanje posegov v prostor, tehnične rešitve in z načrtovanjem renaturacij ter revitalizacij vod in nadomestnih habitatov,
- z naravovarstvenim nadzorom in monitoringom med gradnjo in obratovanjem.

Antoličičeva 1, SI-2204 Miklavž na Dravskem Polju, Slovenija • pisarna Ljubljana: Tacenska cesta 20, SI-1210 Ljubljana-Šentvid, Slovenija
T: +386 1 544 32 81 • M: +386 31 762 256 • E: info@ckff.si, www.ckff.si

PROJEKTIRANJE IN UREJANJE VODA d.o.o.

iS projekt

POT ZA BRDOM 102, 1000 LJUBLJANA

Dejavnost:

V podjetju iS Projekt, projektiranje in urejanje voda d.o.o. smo specializirani za celovito reševanje pri načrtovanju in projektiranju urejanja voda. S ciljem celovitega reševanja voda izdelujemo:

- Analize poplavnosti ter karte poplavne nevarnosti in karte razredov poplavne nevarnosti
- Strokovne podlage s področja vodarstva za potrebe DPN, OPN, OPPN,…
- Hidrološke analize
- Matematično modeliranje gladin
- Projekti in načrti hidrotehničnih ureditev
- Projekti za renaturacijo vodotokov
- Geodetske meritve
- Recenzije in revizije s področja hidrotehnike

T: 0590 81 116 E: projekt@isprojekt.si W: www.isprojekt.si

HIDROSVET d.o.o.

E-pošta: info@hidrosvet.si
tel (CE): +386 342 44 300
tel (LJ): +386 158 39 570

SEDEŽ PODJETJA
Kidričeva ulica 25
3000 CELJE

PROJEKTIVA LJUBLJANA
Koprska ulica 98
1000 LJUBLJANA

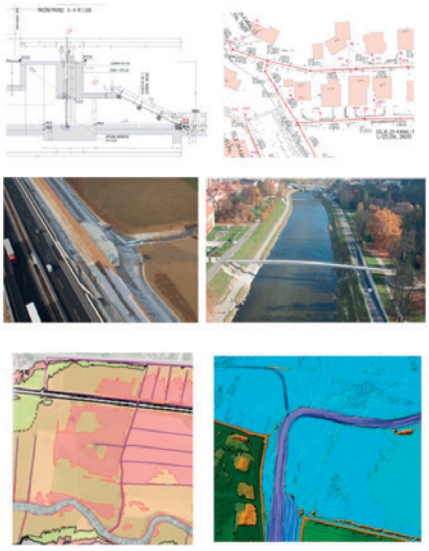
DEJAVNOSTI

PROJEKTNA DOKUMENTACIJA

Urejanje vodnega režima, odvajanje in čiščenje odpadnih voda, oskrba pitne vode, čiščenje pitne vode, ekološke sanacije, namakanje in osuševanje ter zasneževanje in ostale nizke gradnje.

ŠTUDIJE, ELABORATI, ANALIZE

Hidravlično modeliranje in izračuni visokih voda, hidrotehnični elaborati in primerjalne študije, karte razredov poplavne nevarnosti, strokovne podlage s stališča upravljanja z vodami, hidravlične študije in izračuni kanalizacijskih in vodovodnih omrežij, optimizacija obstoječih kanalizacijskih in vodovodnih omrežij.



RECENZIJE, REVIZIJE

Izdelava recenzijskih in revizijskih poročil izdelane dokumentacije.

VARSTVO OKOLJA

Ocene in poročila o vplivih na okolje.

SVETOVANJE

Svetovanje v postopkih izdelave investicijske, projektne in tehnične dokumentacije.

NADZOR

Izvedba projektantskih in izvajalskih nadzorov v postopku gradnje objektov.

www.hidrosvet.si

RAFAEL

WWW.RAFAEL.SI

SANACIJE PLAZOV

ŽELEZNIŠKE IN CESTNE GRADNJE

HIDROGRADNJE

IZGRADNJA PROTIHRUPNIH OGRAJ

PROIZVODNJA GEOTEHNIČNIH SIDER

NIVO EKO d.o.o.

www.nivoeko.si

Telefon: +386 3 42 24 109

Fax: +386 3 54 51 024

Email: info@nivoeko.si

Gprocom

Gradbeni in geotehnični inženiring ter poslovne storitve d.o.o.

Razvanjska cesta 76,
2000 MARIBOR

tel: 02/429 58 50
02/429 58 51
gsm 041 640 956
e.mail: danilo.muhic@siol.net
gprocom@siol.com

Vodnogospodarsko podjetje Novo mesto, d.d.
Ljubljanska cesta 36, 8000 Novo mesto

tel.: +386 (0)7 39 30 550
fax: +386 (0)7 39 42 852

BIRO GBH d.o.o.

GRADBENIŠTVO, PROJEKTIRANJE IN NADZOR

Pot k mlinu 18E, 2000 Maribor – Slovenija

tel: 02/3312-641
gsm: 051/364-450
fax: 02/3312-671
e-mail: gbh@siol.net

DHD modeliranje projektiranje in meritve v hidrotehniki d.o.o.
Prapotnikova ul.37, 2000 Maribor, Slovenija

DHD

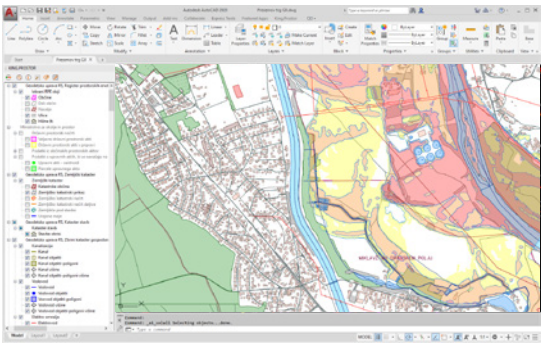
digitalna hidrodinamika
Digital Hydrodynamics

www.dhd.si

King.Prostor

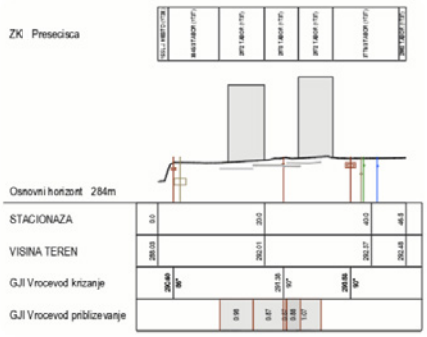
Začnite projekt z natančno informacijo

Urejen in pregleden prikaz podatkov katastra nepremičnin, GJI, eVode, kulturne dediščine, kmetijskih površin, rabe prostora, ortofotov... Uporabimo lahko preko 450 slojev na poljubno izbranem območju.



Celovit vpogled za tehtne odločive

Preverimo poseg predvidene gradnje na območja dejanske rabe zemljišč. Izdelamo poročila o posegih na parcele ter presek parcel in območij dejanske rabe. Seznam vseh soglasodajalcev za izbrano območje posega pridobimo že ob pričetku načrtovanja.



Prerezi za lažjo predstavo

Izrišemo poljuben prerez, ki prikaže presek z ARSO Lidar terenom, katastrom stavb in parcelami ter križanja in približevanja z GJI infrastrukturo.

Informacijsko podprto načrtovanje in sodelovanje

King.Prostor predstavlja nepogrešljivo orodje za dobro umestitev vaših projektov v prostor ter izmenjavo podatkov med vsemi sodelujočimi v projektu.

King.Prostor je tudi del Sewer+ Pro kjer s pomočjo obstoječih GJI vodov in ARSO Lidar podatkov v BIM podprtem okolju načrtujemo nove komunalne vode in obnove obstoječih vodov.

www.kingprostor.si

En klik do GURS, ZKP, GJI, ARSO, RKD, GERK ... v dwg

NARODNI DOM MARIBOR

Podarite umetnost, podarite kulturo.

Naj bo za praznik, rojstni dan ali kar tako.

ITSing

- CC GRP poliestrske cevi za kanalizacijo
- GlasGrid mreže za ojačitev cestišča
- Geoinformacijski sistem – pametno mesto
- Površinska obdelava cest (asfalt ali makadam)
- Geodetske storitve

ADFORS SAINT-GOBAIN

HOBAS®

STM SÜDDEUTSCHE TEERINDUSTRIE GMBH & CO KG · MALSCH

ITSing d.o.o. | Koprska ulica 94 | 1000 Ljubljana | 00 386 41 669 414 | info@itsing.si

IRGO 60 let

IRGO Consulting d.o.o. 25 let

IRGO je neodvisna skupina svetovalnih inženirjev, specializiranih za načrtovanje posegov v podzemni prostor.

S svojim delom oblikujemo naše okolje in ga varujemo.

Oddelek za rudarstvo, monitoring in terenske raziskave

Oddelek za hidrogeologijo in okoljske študije

Oddelek za inženirsko geologijo in geomehaniko

Raziskave in razvoj

Oddelek za gradbeništvo in podzemne objekte

Oddelek za geotehniko

ekologika

A-projekt d.o.o.

ACOUSTIC SOLUTION

Tempos
okoljsko gradbeništvo

Tehnološki park 21
Ljubljana, Slovenija

info@tempos.si

+386 41 288 442

www.tempos.si

Hidrotehnik

Vodnogospodarsko podjetje d.o.o.

PROVOG

Inženirske storitve

PROINFRA

INŽENIRSKI BIRO

TC VODE

TEMATSKI CENTER ZA RAZISKAVE, ŠTUDIJE IN RAZVOJ PROJEKTOV NA VODAH, D.O.O.
TRNOVSKI PRISTAN 10, 1000 LJUBLJANA

BPI

biro za projektiranje in inženiring d.o.o.

GeoZS

Geološki zavod Slovenije

EPI SPEKTRUM

Varstvo okolja, informacijski sistemi in storitve d.o.o.
Strossmayerjeva 11, 2000 Maribor, Slovenija

FIMA MATIKUN d.o.o.
Otiški vrh 26 c
SI-2373 Šentjanž pri Dravogradu

MS SKUPINA

MS SKUPINA
inženiring, projektiranje in svetovanje, d.o.o.

- strokovni nadzor
- svetovalni inženiring
- priprava investicijske dokumentacije
- priprava projektne dokumentacije

www.ms-skupina.si **info@ms-skupina.si**

HIDROINŠTITUT
INŠTITUT ZA HIDRAVLIČNE RAZISKAVE

HIDROLOGIJA
EKOLOGIJA
KOMUNALA
, Doroteja Starec s.p.
Projektiranje in svetovanje
Rožna dolina, cesta III 17F, 1000 Ljubljana

HIDROPRO inženirske storitve
Zoran Fujs s.p.
Spodnje Gameljne 118
1211 Ljubljana-Šmartno

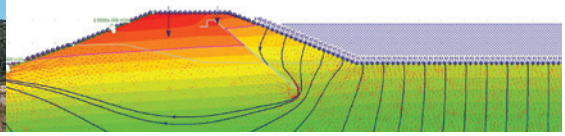
GEOMET
geološke, hidrogeološke in geotehnične storitve

Geološke in geomehanske storitve:
- geološko geomehanske raziskave in poročilo o sestavi tal
- geološko poročilo o plazovitosti terena
- geološko poročilo o erozijski ogroženosti terena
- geotehnične analize in projektiranje geotehničnih konstrukcij

Goručanova ul. 10,
3000 Celje
M: 031 412 046
E: info@geomet.si

Hidrogeološke storitve:
- hidrogeološko poročilo za pridobitev vodnega soglasja
- hidrogeološko poročilo o možnosti ponikanja vod
- analiza tveganja za onesnaženje vodnega telesa

Ostale storitve in raziskave:
- geomehanski strokovni nadzor
- meritve zbitosti tal
- raziskave z dinamičnim penetrometrom DPSH in DPL
- dimenzioniranje vozišče konstrukcije



aquarius
d.o.o. Ljubljana

SLEMENŠEK

hse Invest

Skupina hse

GEOMETRA d.o.o.
Trg Alfonza Šarha 18
2310 Slovenska Bistrica
t: 02 818 03 30, f: 02 818 03 31
m: 041 654 056, 031 356 686
e: geometra@siol.net

Ureditev meje, izravnave meje, parcelacija, vris objektov, kataster stavb, sprememba bonitete zemljišč, zakoličenje objektov, geodetski načrti za projektno dokumentacijo, izmera in vpis gospodarske infrastrukture

S P I T

gradbeni inženiring d.o.o. Nova Gorica

SPIT d.o.o. Nova Gorica je projektivno podjetje, ki se ukvarja s projektiranjem statike gradbenih konstrukcij – tunelov,mostov, opornih in podpornih konstrukcij, jeklenih konstrukcij, industrijskih, poslovnih in stanovanjskih objektov ter s projektiranjem komunalne infrastrukture in hidrologije.

URBIS

Partizanska cesta 3
2000 MARIBOR
Tel.: 08/ 38 49 336

E-pošta: urbis@urbis.si
www.urbis.si

PROJEKTANTI, GRADITELJI, INVESTITORJI

Podjetje Urbis vam nudi celovit prostorski inženiring od svetovanja do pridobitve dovoljenj in izdelave potrebne dokumentacije za poseg v prostor

PROIZVODI ZA IZGRADNJO
KOMUNALNE INFRASTRUKTURE

Podjetje AMT PROJEKT d.o.o. je proizvajalec in prodajalec proizvodov za izgradnjo komunalne infrastrukture, raznih izdelkov iz poliestra ter komunalne opreme.

PRODAJNI PROGRAM PODJETJA

KOMUNALNA INFRASTRUKTURA
Čistilne naprave - Lovilci olja - Lovilci maščob - Črpališča - Hišna črpališča – Vodohrani - Cisterne za tehnološko vodo – Cisterne za deževnico – Cisterne za pitno vodo - Cisterne za kemikalije – Jaški - Vzdrževanje cestne infrastrukture

KOMUNALNA OPREMA
Vrata iz nerjavečega jekla – Lestve iz nerjavečega jekla – Podesti iz različnih materialov - Košare iz nerjavečega jekla – Pokrovi iz različnih materialov – Zračniki iz različnih materialov – Tlačni vodi iz različnih materialov

POLIESTER IZDELKI
Cisterne za ladje/barke - Nadzemne in prevozne cisterne - Poliester deli za marin program - Vrata za delovne stroje - Proizvodi po naročilu

AMT PROJEKT d.o.o.
Alpska cesta 43, LESCE
info@amtprojekt.si
08 200 75 57

AMT projekt
www.amtprojekt.si

ANDREJC

OD PROJEKTA DO OBJEKTA

Hidro Lab

Vodam bo potrebno vrniti poplavne prostore, morda odstraniti pozidave ali jih pripraviti za možno nadzorovano povodenj.

Franc Avšič