

VPLIV SPREMEMBE RABE TAL NA POPLAVNO NEVARNOST IN OSKRBO Z VODO

IMPACT OF LAND USE CHANGES ON FLOOD RISK AND WATER SUPPLY

Gašper Rak

doc. dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Hajdrihova 28, Ljubljana, gasper.rak@fgg.uni-lj.si

Mateja Škerjanec

asist. dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Hajdrihova 28, Ljubljana, mateja.skerjanec@fgg.uni-lj.si

Branka Bračić Železnik

mag., JP Voka Snaga, d. o. o., Vodovodna cesta 90, Ljubljana, branka.bracic.zeleznik@vokasnaga.si

Daniel Kozelj

asist. dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Hajdrihova 28, Ljubljana, daniel.kozelj@fgg.uni-lj.si

Povzetek

V članku bo prikazan vpliv spremembe rabe zemljišč zaradi naravnih ali antropogenih dejavnikov na površinski odtok in stanje podzemnih voda, s tem pa na poplavno nevarnost, ter vpliv na znižanje podzemne vode ob vodnjakih in s tem na (ne)varno delovanje vodooskrbnega sistema. Vplivi spreminjanja rabe zemljišč in gozdne zarasti na vodozbirnem območju na poplavno nevarnost ob reki Iški in vodarni Brest ter povezave med površinskimi in podzemnimi vodami ob visokih vodah in v sušnem obdobju, od katerih je odvisno delovanje vodarne, ki oskrbuje Ig in Ljubljano z vodo, so bili analizirani s povezovanjem hidrološkega, hidravličnega in hidrogeološkega modeliranja. Obravnavali smo 27 scenarijev, ki poleg sprememb rabe zemljišč vključujejo tudi različne padavinske dogodke, vplive podnebnih sprememb ter naravnih nevarnosti (žled, lubadar) in človekove posege v gozd (pogozdovanje). Prikazani so spremembe poplavne nevarnosti za poselitev na Iškem vršaju in neugodni vplivi na oskrbo z vodo iz vodarne Brest. Posledice naravnih ali antropogenih sprememb rabe tal je z omilitvenimi ukrepi mogoče vsaj delno omejiti, opozoriti pa velja, da na območjih s pravnim režimom veljajo omejitve, prepovedi in zapovedi, ki vplivajo tudi na sanacijske ukrepe. Zato je treba slediti poti vode in v posameznih procesih ovrednotiti vir in stopnjo nevarnosti pri običajnih razmerah in ob izrednih dogodkih.

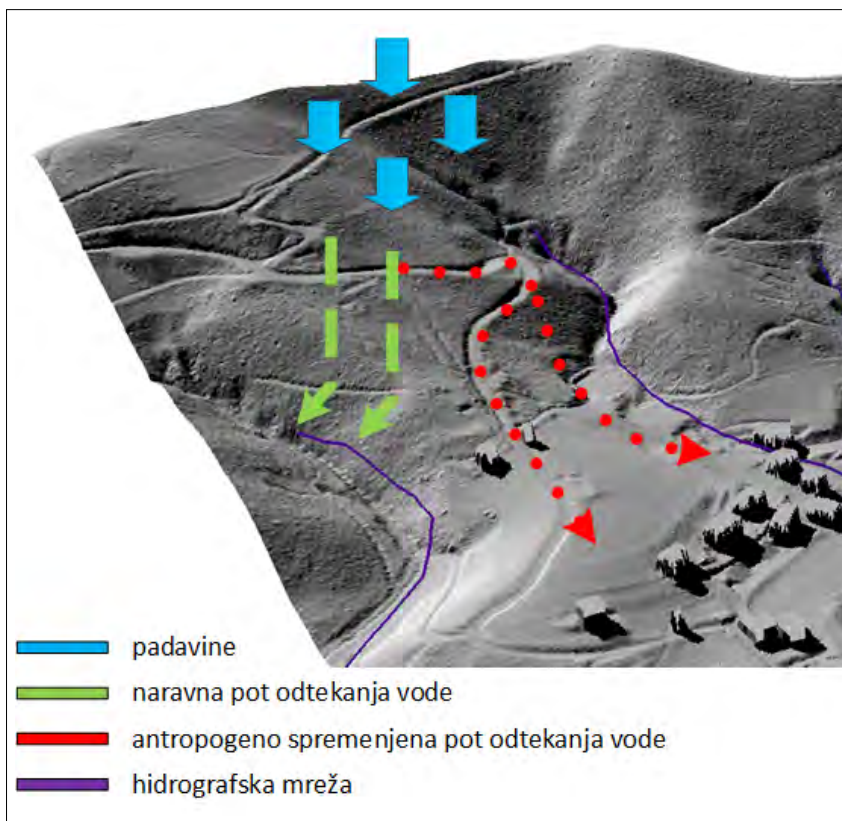
Abstract

This article describes the impact of land use changes within the Iška River catchment, due to natural or anthropogenic factors, on surface runoff and groundwater status, and consequently on flood risk along the Iška River. Additionally, the impact on the lowering of groundwater level around the water supply facility Brest and its wells, and thus on the functioning of the water supply system, supplying drinking water to Ig and Ljubljana, is presented. The impact of changes in land use and forest overgrowth within the catchment on flood risk and on the connections between surface water and groundwater, which enable the functioning of the water supply facility Brest, were analysed by a combination of hydrological, hydraulic and hydrogeological modelling. Twenty-seven scenarios were examined, which, in addition to land use changes, included different precipitation events, climate change scenarios, natural hazards (ice storms, bark beetles), and human interventions (afforestation). The consequences of natural or anthropogenic land use changes can be limited, to some extent, by mitigation measures. However, it should be noted that in the areas protected by the legal regime, restrictions, prohibitions and rules apply that also affect remedial measures. Therefore, the water flow must be followed. For the individual processes, the source and the level of risk under normal and emergency conditions must be evaluated.

Uvod

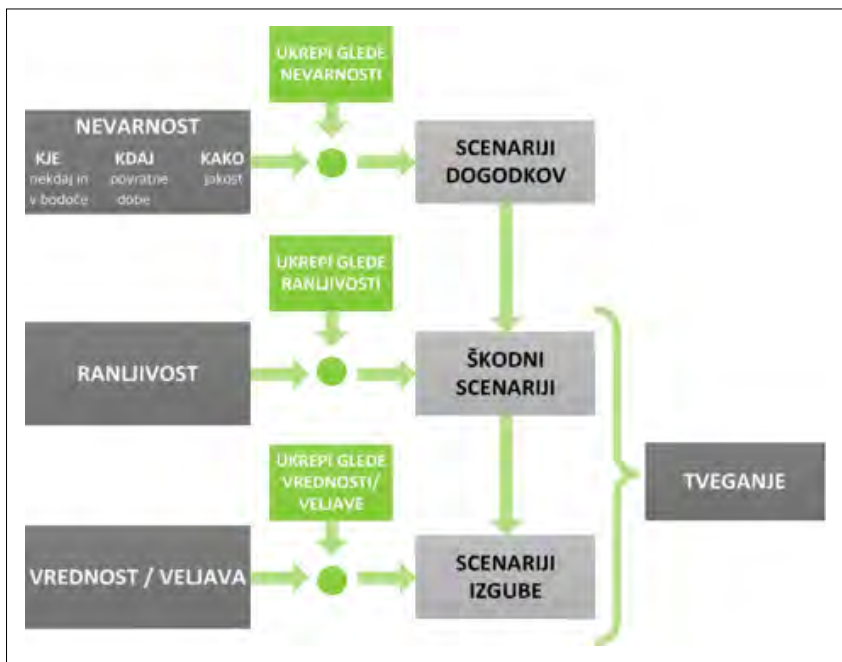
Podonavje se spoprijema z izzivi, povezanimi z rabo zemljišč in njenimi vplivi na odtočni režim, poplavno nevarnost in druge z vodo povezane nevarnosti. V Strategiji EU za Podonavje (EEA, 2010), ki jo je sprejela

Evropska komisija in leta 2011 podprl Evropski svet, je poudarjen pomen ohranjanja kakovosti vode in biotske raznovrstnosti ter obvladovanja okoljskih tveganj. Zaradi z vodami povezanih nevarnosti postaja ravnanje z vodami še pomembnejše področje, ki zahteva meddržavno in medresorsko usklajevanje in sodelovanje.



Slika 1:
Odtokne razmere lahko spremeni že gozdna cesta v zaledju, saj prenese vir antropogene poplavne nevarnosti na nove lokacije

Figure 1:
Runoff conditions can change as a result of a simple forest path in the hinterland, since it transfers the source of anthropogenic flood risk to new locations.



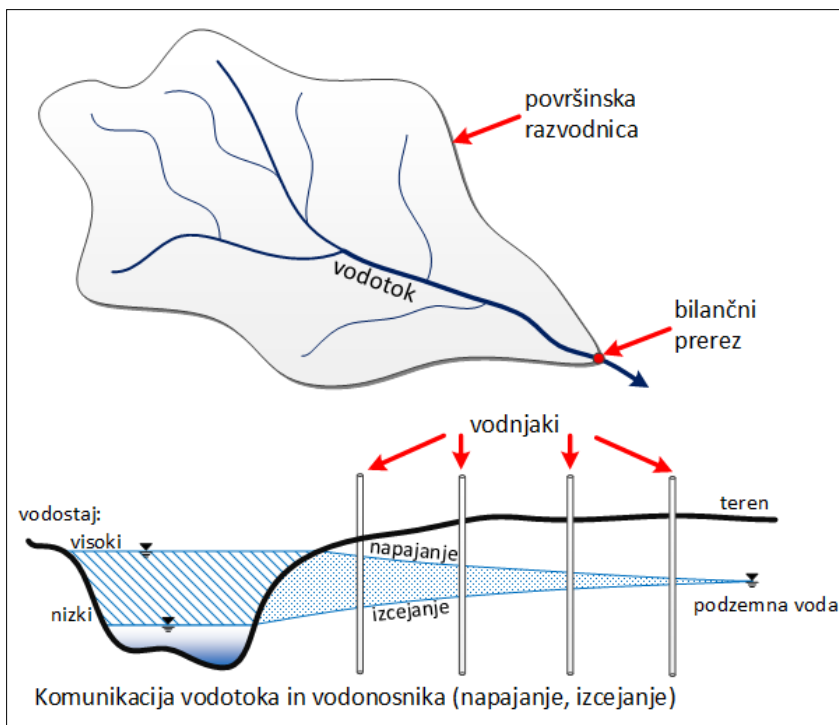
Slika 2:
Izvajamo lahko ukrepe za odvrčanje nevarnosti, ukrepe za povečanje odpornosti ali prevrednotimo škodni potencial.

Figure 2:
Measures for minimization of hazards or increase of resilience can be carried out, or damage potential can be re-evaluated.

To področje je 14 partnerjev in 9 pridruženih partnerjev iz devetih držav Podonavja obravnavalo v projektu CAMARO-D (Mayer in sod., 2019), ki sta ga sofinancirala Evropski sklad za regionalni razvoj (ESRR) in Instrument za predpristopno pomoč (IPA). Osnovni izdelek projekta so bili smernice in priporočila, ki naj usmerjajo uporabnike prostora k dolgoročnemu varovanju vodnih virov in zmanjševanju poplavne ogroženosti. Za njihovo podkrepitev so dani prikazi, kako bi z uporabo naprednih praks gospodarjenja s prostorom lahko izboljšali količino infiltracije in zadrževanje voda, kar zmanjšuje nevarnost

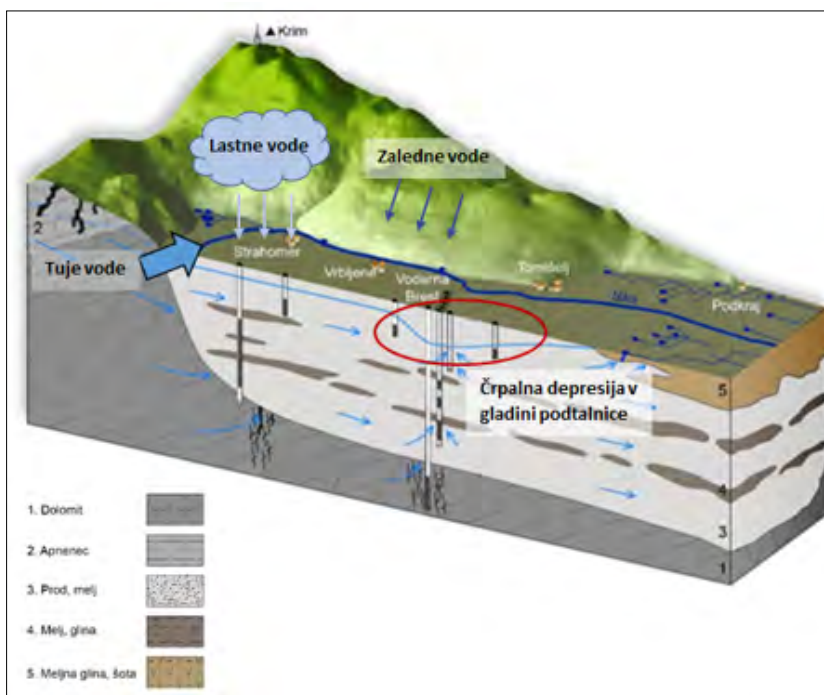
erozije tal in pogostost ter obsežnost poplav, hkrati pa izboljša količinsko stanje vodnih teles, kar zmanjšuje nevarnost pomanjkanja vode.

Prikaz uporabnosti rezultatov projekta je bil opravljen na 14 pilotnih območjih. V Sloveniji je bilo izbrano porečje lške z njenim vršajem, iz katerega črpa vodo vodarna Brest. Z rezultati smo prikazali neposredne povezave med padavinami in odtokom ter izdatnostjo vodonosnika in oskrbo z vodo, na kar vse vpliva raba prostora na vodozbirnem območju. Deležnikom smo nazorno prika-



Slika 3:
 Odtok z vodozbirnega območja (zgoraj) opišemo s hidrogramom. Gladine v vodotoku (spodaj) določajo dotok v vodonosnik oziroma izcejanje iz njega.

Figure 3:
 The picture above shows the outflow from the catchment area, which is described by a hydrograph. The figure below shows the effect of the water level of a watercourse on the inflow into and discharge from the aquifer.



Slika 4:
 Shematski prikaz povezanih vodnih poti: tujih voda (iz lškega vintgarja), lastnih padavinskih voda in zalednih voda, ki dotekajo na območje lškega vršaja (dopolnjeno po: Lapanje in sod., 2014).

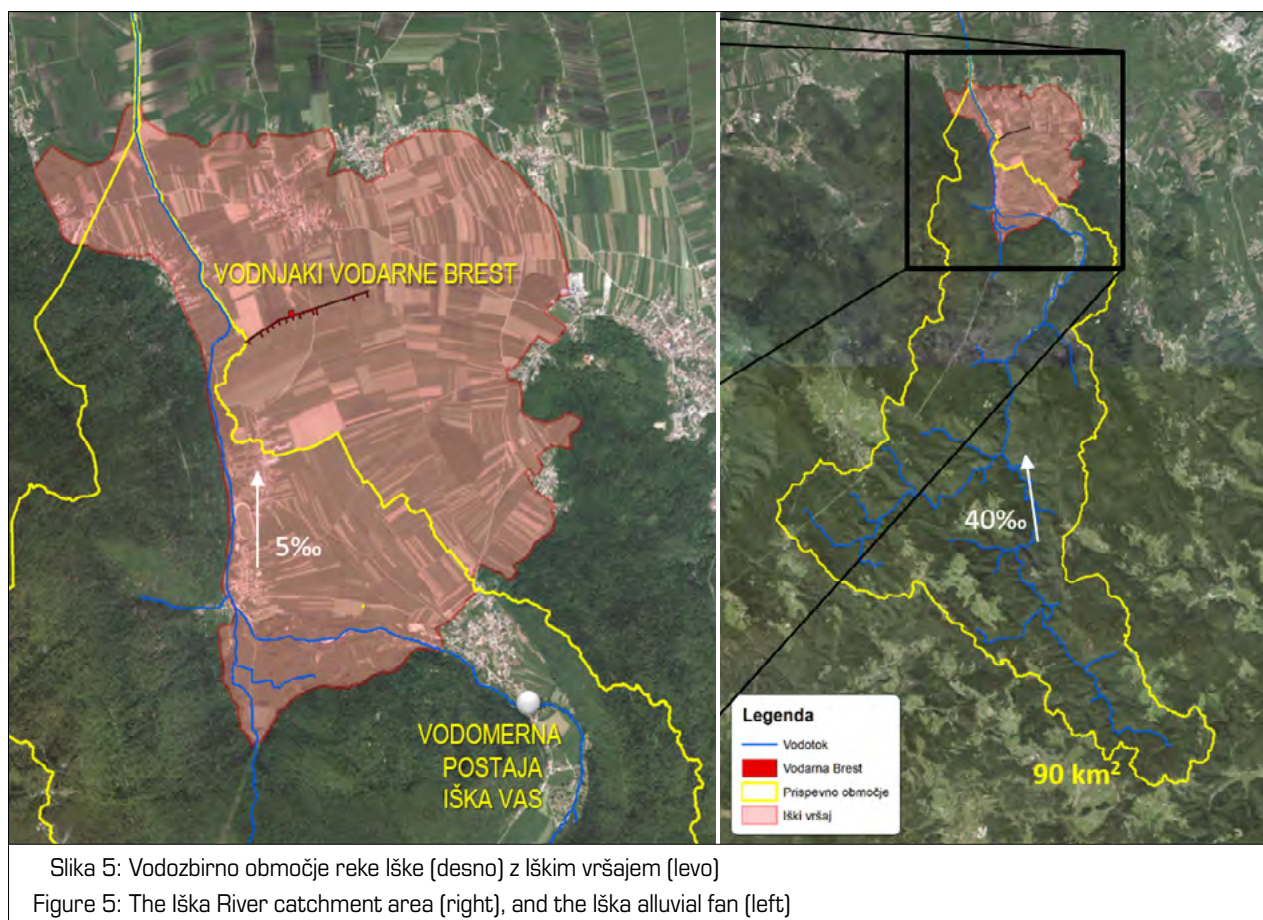
Figure 4:
 Schematic representation of connected waterways: extraneous water (from the lška vintgar gorge), rainwater and hinterland water flowing to the area of the lška alluvial fan (adapted from Lapanje et al., 2014).

zali, kako naravni procesi ali človekovo spreminjanje rabe prostora spreminja obseg in dinamiko poplavne nevarnosti. Prav tako smo prikazali tudi, kako lahko poplava ob vodarni ali dolgotrajnejše sušno obdobje vpliva na podzemno vodo, torej na njene količinske in kakovostne značilnosti ter s tem na obratovanje vodarne Brest.

Vodni krog je mogoče obravnavati tudi tako, da ugotovljamo, kako posamezni procesi postanejo vir nevarnosti. Naravni procesi, v katerih je voda neposredno sprožilo nevarnih dogodkov, so bili že pogosto obravnavani, a obstajajo še manj zaznavne posledice človekovih posegov. Tak primer prikazuje slika 1, ki opozarja, da se

lahko že z gradnjo nove poti poplavna nevarnost prenese na nove lokacije. Eden izmed načinov, kako ukrepati ob preteči nevarnosti, je priprava scenarijev (slika 2), ki obravnavajo ukrepe za zmanjšanje ali odvrčanje nevarnosti, ukrepe za zmanjšanje ranljivosti oziroma povečanje odpornosti na pretečo nevarnost ali pa ocenjevanje in prevrednotenje škodnega potenciala (Rak in Steinman, 2018).

Spremembe rabe prostora na vodozbirnem območju (slika 3) so lahko nadzorovane, z izdajo dovoljenja za gradnjo oziroma druge posege v prostor, ali pa naključne, na primer zaraščanje krajine ter odmiranje



gozda zaradi žleda in lubadarja ipd. Eden izmed antropogenih vplivov na rabo prostora je tudi določanje različnih območij s pravnim režimom. Upravni akt na takih območjih, navadno določenih z obodnimi parcelami, uveljavi omejitve, prepovedi in zapovedi. Ne gre le za zavarovana območja narave, voda ipd., temveč tudi za območja, s katerimi se varujejo pravice uporabnikov, na primer prepoved nabiranja kostanjev v tako imenovanem gospodarskem gozdu. Pri upravljanju zavarovanih območij se lahko pojavi tudi zanimivo vprašanje – ali naj zaradi intenzivnega napada lubadarja posekamo zavarovani (pra)gozd?

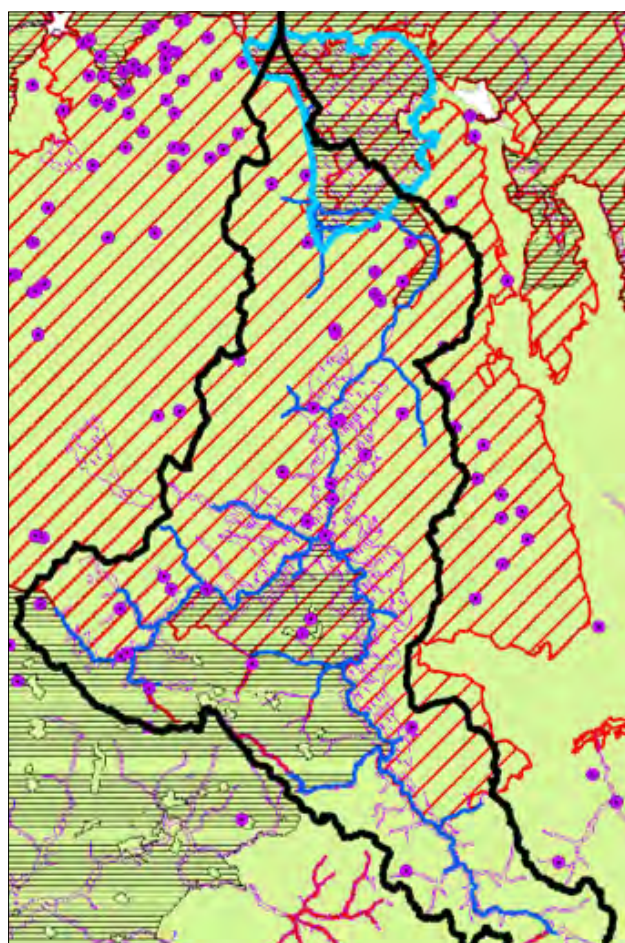
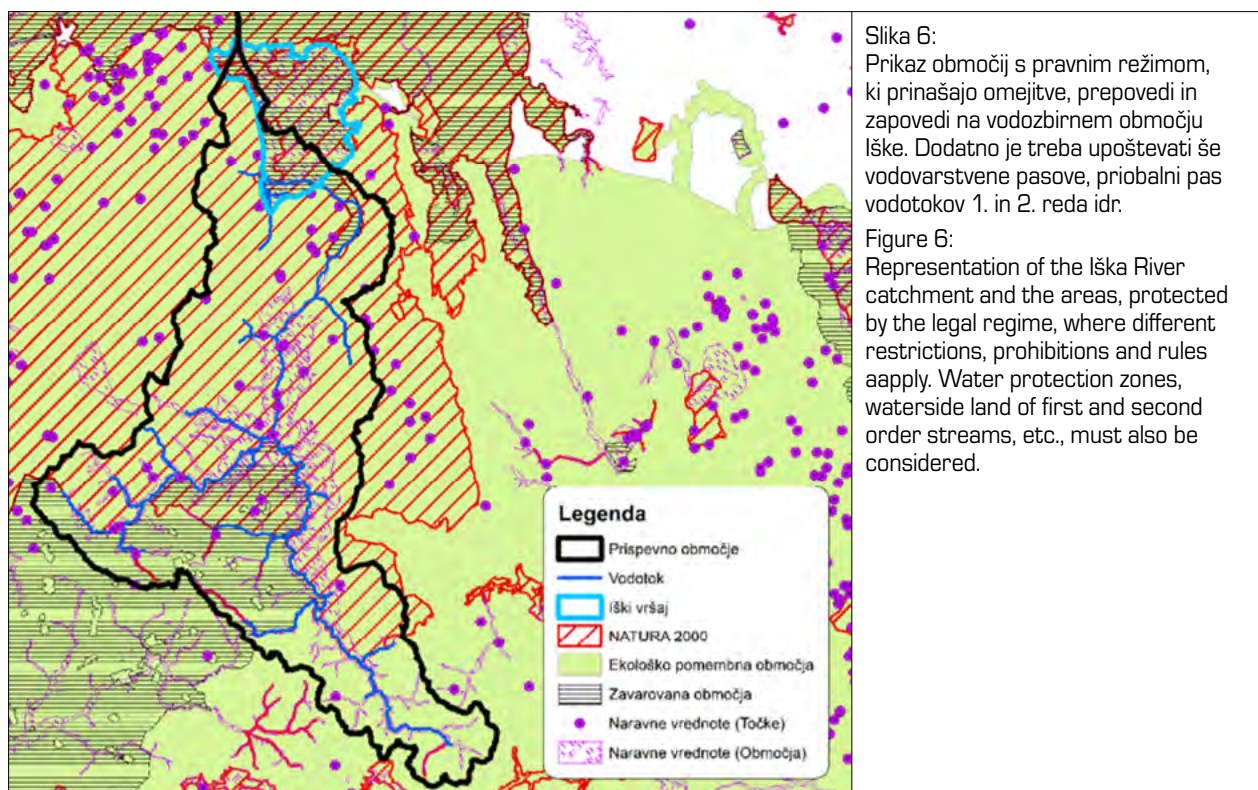
Za opazovani prerez na vodotoku spremembe odtočnih razmer navadno prikažemo s hidrogramom, analize pa so usmerjene v sušne razmere ali visokovodne dogodke. Stanje podzemnih voda, ki je povezano s komunikacijo med vodotokom in vodonosnikom, določa pogoje rabe podzemne vode. Slika 4 prikazuje dogajanje v vodonosniku, iz katerega se zajema voda za oskrbo naselja. Večja ko je količina črpanja, globlja depresija gladine podzemne vode nastaja ob vodnjakih. Manjši ko je dotok iz vodotoka (tuje vode, ki se zbirajo gorvodno), manjši ko je dotok zalednih voda ali manjša ko je količina lastnih padavinskih voda, bolj se znižuje voda v vodonosniku. Tako se zmanjšuje njegova izdatnost, hkrati pa se povečuje črpalna višina v vodarni – oboje negativno vpliva na oskrbo z vodo. Po drugi strani pa se, ko visoke vode poplavijo območje ob vodarni, pojavi nevarnost vdora poplavitvene vode slabše kakovosti v vodooskrbni sistem.

Glavno sporočilo uporabnikom prostora, še posebno dolvodnim, je, da obstajajo tudi vplivi spremenjene rabe prostora, ki niso zaznavni na prvi pogled, a so lahko prav tako pomembni. Želimo, da bi deležniki odslej bili pozornejši tudi na procese na vodozbirnem območju in na pojave zalednih voda, zato so prikazane tako posledice človekovih dejavnosti kot tudi opustitve dejavnosti, ki še niso dovolj obravnavane.

V nadaljevanju bodo prikazani le nekateri primeri, v katerih smo s hidrološkim in hidravličnim modeliranjem obravnavali izbrane scenarije, na kratko pa tudi povzemamo rezultate UL NTF in Geološkega zavoda Slovenije, ki so opravljali hidrogeološko modeliranje vodonosnika Iškega vršaja.

Opis testnega območja na Iški

Vodozbirno območje reke Iške meri 90 km² (slika 5, desno). Hudourniški del porečja Iške na južni in vzhodni strani Ljubljanskega barja, na strmih pobočjih Krima in okoliških hribov, ima povprečni padec reke Iške 40 promilov. Manjši del vodozbirnega območja predstavlja Iški vršaj (slika 5, levo) v nižinskem delu Ljubljanskega barja, v katerem se povprečni padec vodotoka zmanjša na 5 promilov. Za to območje so značilne široke obvodne ravnice s plitvo podzemno vodo v zgornjem sloju in slojevitim vodonosnikom (slika 4). Vzduž reke leži več manjših naselij, ki so zaradi hudourniškega značaja Iške poplavno



ogrožena (Golob in Polajnar, 2014). Na izlivnem delu lške ima prevladujoči vpliv Ljubljaničica, zato ta del v tem projektu ni bil obravnavan, ga pa pokriva Operativni hidrodinamični model Ljubljanskega barja (Moderc in sod., 2015).

Na sliki 5 (levo) je prikazano, kakšne so meje vodonosnika in da le del površinske razvodnice lške (glej Atlas voda) sega na to območje. Hidrogeološko modeliranje, ki je zajelo celotni vodonosnik, je ustrezno zajelo tako vpliv lške kot vplive zalednih in padavinskih voda. Rezultati hidravličnega modeliranja pa so opozorili, da lahko visoke vode lške poplavijo tudi območje do vodarne, zato območje poplavne nevarnosti iz lške sega čez razvodnico (na sliki 5 označeno rumeno).

Na porečju lške je več območij s pravnim režimom (slika 6), ki po eni strani vplivajo na spreminjanje rabe prostora, po drugi pa tudi na izvajanje nujnih vzdrževalnih ali sanacijskih ukrepov. Kar 90 odstotkov obravnavanega območja prekriva gozd, ki je v celoti zavarovan z različno strogimi režimi varstva narave, zato je spreminjanje rabe v tem delu precej omejeno. Zaradi vodoskrbe lga in Ljubljane ima črpališče vodarne Brest vodovarstvena območja, s katerimi se varuje pravica prebivalcev do oskrbe z vodo oziroma zmanjšuje ogroženost vodnega vira. Izziv, kako uskladiti različne javne interese varstva narave, oskrbe z vodo, poplavne varnosti idr., je velik.

Povprečna letna količina padavin na tem območju znaša od 1300 do 1600 mm (ARSO, 2016). Glede na meritve v 51-letnem obdobju je trend letne višine padavin večinoma negativen oziroma statistično nepo-

redčenje gozda za 80 odstotkov (na primer zaradi žledoloma, vetroloma, požara, lubadarja itn.).

Hidrološki model vodozbirnega območja reke lške

Za obravnavo povezav med padavinami in odtoki na vodozbirnem območju je bil uporabljen znani numerični model HEC-HMS. Vhodni podatek so tudi količine padavin, ki pa se na obravnavanem območju ne merijo, zato so bile uporabljene dnevno in urno izmerjene padavine na petih meteoroloških postajah v sosesčini, pridobljene s spletne strani ARSO, in upoštevane padavine s krajšo povratno dobo. Da bi deležniki lažje uporabili rezultate, so bili analizirani pogostejši dogodki, z večjo verjetnostjo pojava, kot se uporabljajo pri izdelavi kart poplavne nevarnosti.

Hidrografska mreža lške (slika 7) je bila v numeričnem modelu shematsko zajeta (slika 8), podatki o topografskih značilnostih vodozbirnega območja in struge reke lške pa so bili pridobljeni z obdelavo podatkov LIDAR s programskim orodjem ArcMap. Za določanje rabe tal na obravnavanem območju so bili uporabljeni podatki Evidence dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč (MKGP, 2018).

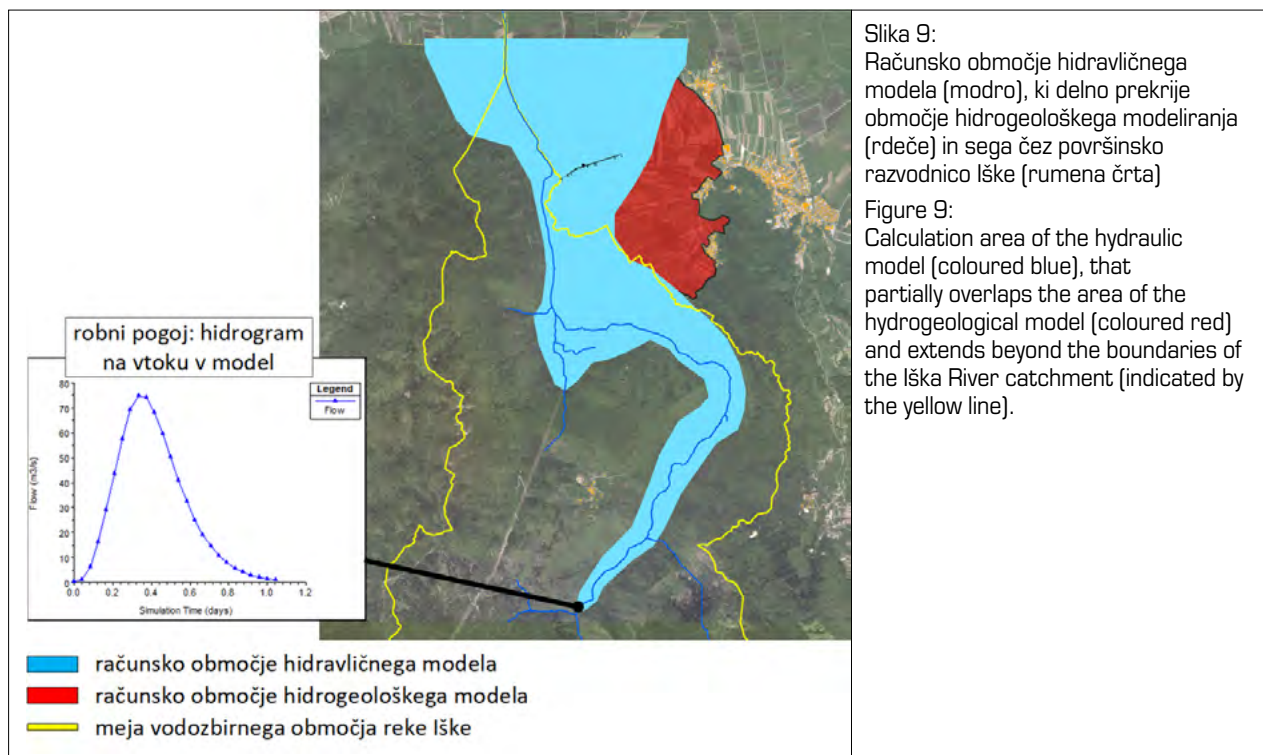
Za umerjanje hidrološkega modela so bili uporabljeni pretoki lške, izmerjeni na vodomerni postaji lška vas ARSO. S primerjavo hidrogramov odtoka, katerih lastnosti (konica, hitrost povečanja pretoka ipd.) kažejo spreminjanje razmer na vodozbirnem območju, je mogoče določiti vplive na odtočni režim na dolvodnih

območjih. Hidrogrami torej opišejo del vodnega kroga, izračunana dinamika odtoka pa je vhodni podatek za hidravlični model, s katerim se izračunata potovanje in poplavljanje visokovodnega vala lške.

Hidravlični model nižinskega dela reke lške

Za odsek reke lške, ki je segal od izhoda iz soteske čez območje lškega vršaja do izlivnega dela v reko Ljubljano, smo uporabili dvorazsežni numerični model HEC-RAS 5.0 (USACE, 2018), s katerim smo s simuliranjem nestalnega toka po obravnavanem območju izračunali lokalne globine in hitrosti vode. Za javno predstavitev je bila pripravljena tudi vizualizacija širjenja vode po poplavljenih površinah. Računsko območje hidravličnega modeliranja, ki ga prikazuje slika 9 (modra barva), je širše od površinske razvodnice, saj smo na podlagi terenskega oglada domnevali, da je razlivanje lške lahko obsežnejše, kot ga določa (rumeni) potek površinske razvodnice. Za izračune je treba v numerični mreži dati čim natančnejši opis terena in geometrijo struge ter geometrijo objektov v prostoru, še posebno takšnih, ki bi lahko bistveno spremenili vodne tokove, na primer premostitve.

Na tokovne razmere vpliva tudi raba tal (MKGP, 2018), ki je zajeta z vrednostjo Manningovega koeficienta hidravlične hrapavosti v posamezni numerični celici (več o tem: Rak in sod., 2018). Gorvodni pogoj je rezultat hidrološkega modeliranja za posamezni scenarij rabe prostora, zato se tudi hidravlični izračuni (globine, smeri in jakosti tokov) razlikujejo od scenarija do scenarija.



Hidrogeološki model lškega vršaja

S hidrogeološkim modeliranjem se čim bolje opiše dinamika vode v vodonosniku. Navadno so rezultati izračunov v vozliščih numerične mreže vodostaji, smeri in hitrosti podzemne vode, lahko pa na podlagi hidrodinamike analiziramo še potovanje in koncentracije onesaženja v primeru razlitja, določamo vpliv črpanja oziroma tako imenovani depresijski lijak na raven podzemne vode, ocenjujemo značilnosti in vodno bilanco vodonosnika ipd. Natančnost rezultatov modeliranja je odvisna od opisa hidrogeoloških razmer v vodonosniku, torej od števila geoloških vrst oziroma drugih meritev in raziskav na obravnavanem območju.

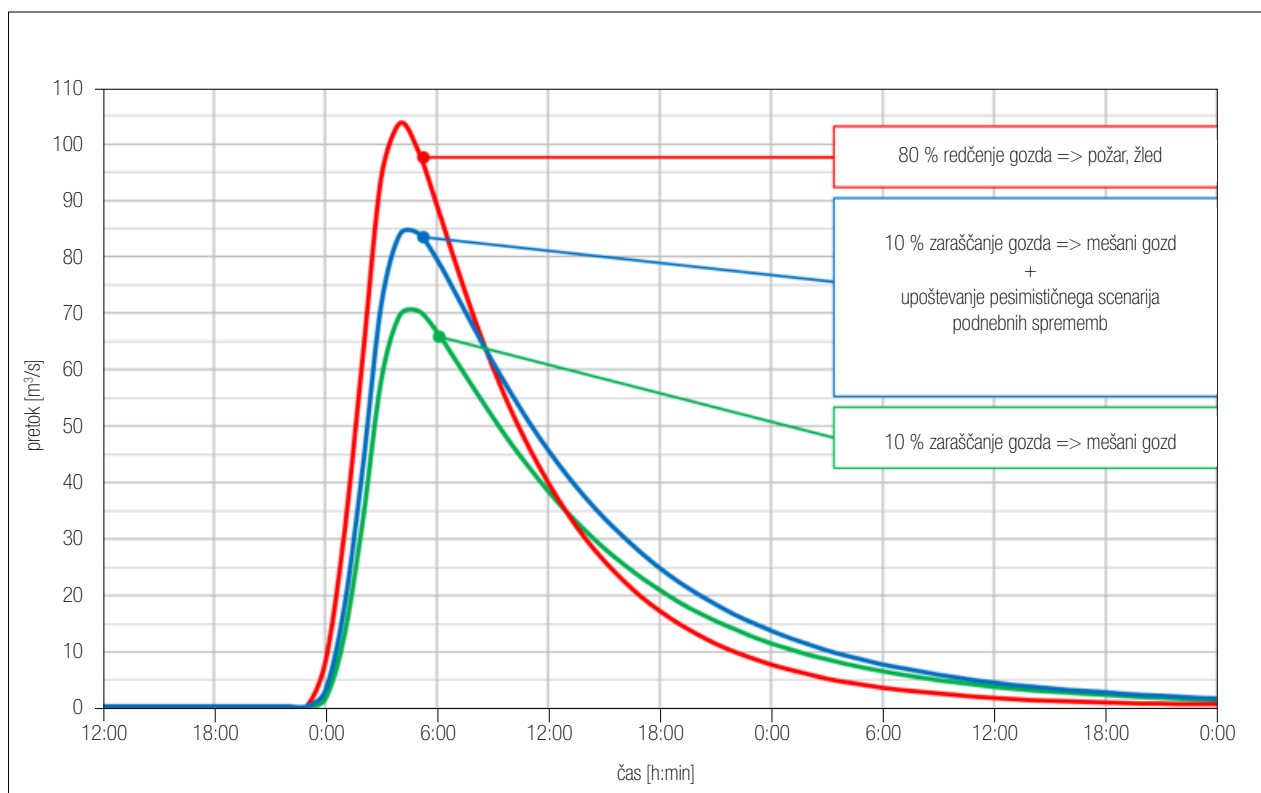
Z izračuni je Geološki zavod Slovenije določal povezave med površinsko in podzemno vodo pri različnih vodnatostih ter njihov vpliv na pogoje delovanja črpališča Brest. Za ta projekt so bile pomembne ugotovitve, da se ob dolgotrajni suši oziroma daljšem obdobju brez padavin lški vodonosnik napaja le iz karbonatnega zaledja (slika 4) in lške, ki po izstopu iz soteske presahne in na nižinskem delu zaradi suhe struge nima neposrednega vpliva na podzemne vode. Podrobnejša analiza vpliva visoke vode na vodonosnik je bila opravljena za pretok lške 15 m³/s, kolikor znaša povprečje največjega merjenega sedemdnevnega pretoka. Ekstremni poplavni dogodki, v katerih voda hitro priteče, se zadrži le nekaj ur in nato odteče, nimajo posebnega vpliva na nivo podzemne vode, zato so za hidrogeološko modeliranje pomembni dogodki, ko visoki pretoki lške trajajo dlje.

Rezultati in diskusija

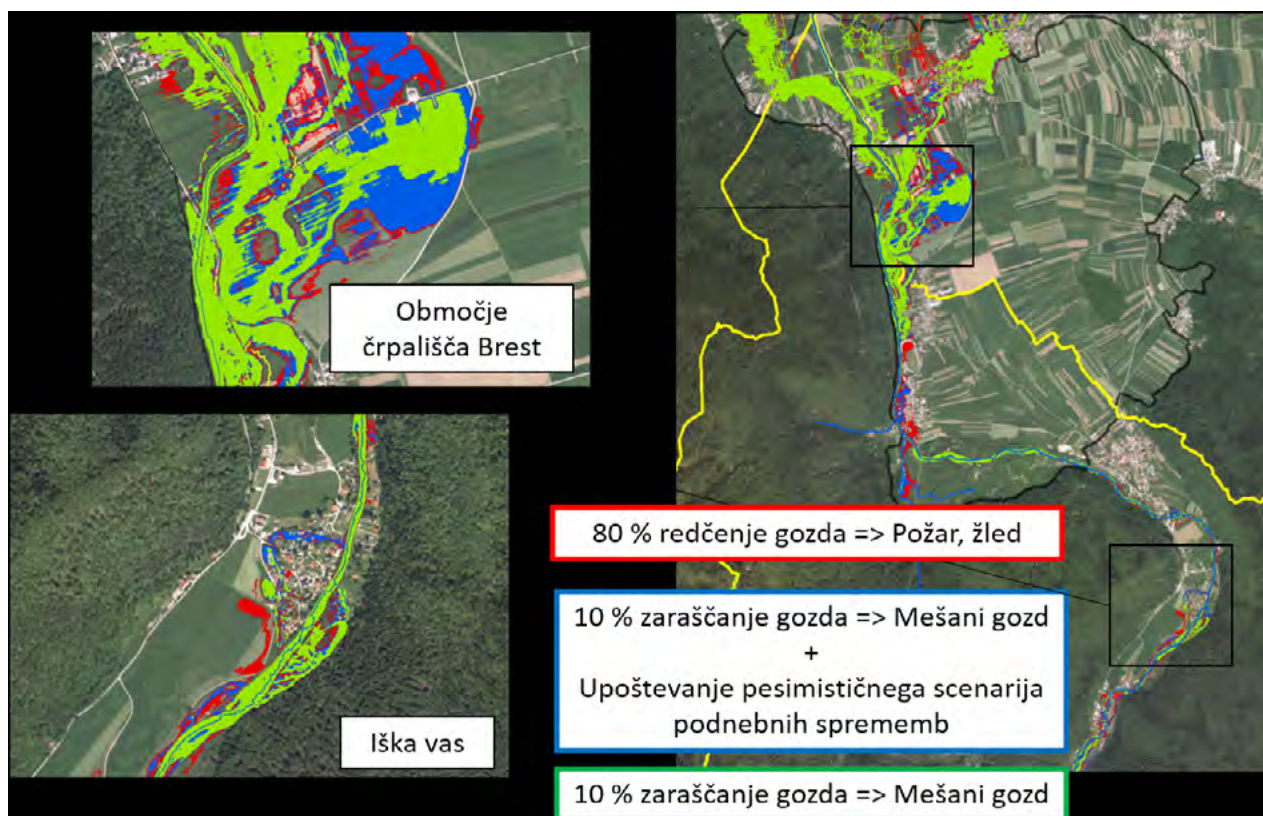
Rezultati hidrološkega modela

Za privzetih 27 scenarijev so bili izračunani hidrogrami, v katerih so različne konice in čas trajanja povečanih pretokov na lokaciji, na kateri lška vstopa na območje hidravličnega modeliranja lškega vršaja. Da bi ohranili preglednost prikaza, slika 10 prikazuje tri hidrograme oziroma časovno porazdelitev pretokov za različne rabe prostora, če bi se pojavile padavine s povratno dobo 20 let.

Največji površinski odtok se pojavi ob zmanjšanju gozdnega pokrova, na primer zaradi požara, žledoloma ali lubadarja. Pesimistični scenarij podnebnih sprememb predvideva intenzivnejše nalive, zato je pričakovano povečanje pretoka lške. Iz grafa je razvidno, da upoštevanje pesimističnega scenarija poveča odtok za približno 20 odstotkov, kar je zaskrbljujoč vpliv klimatskih sprememb na dolvodna območja poselitve. Če pa bi ugodni vpliv 10-odstotnega zaraščanja gozda prizadel izreden dogodek (žled, lubadar ipd.), ki bi za 80 odstotkov zmanjšal obseg zarasti, bi se dolvodno pojavili več kot 40 odstotkov (za 32 m³/s) večji odtoki. Slednji podatek pričča o pomembni vlogi gozdarjev, ki z ustreznim gospodarjenjem z gozdovi vplivajo na zmanjšanje dolvodne poplavne nevarnosti. O tem vplivu so na delavnicah razmišljali tudi lokalni deležniki. Tudi če ta vpliv ni natančno določen, se vtisne v spomin kot zaznavna povezanost rabe prostora v zaledju in stopnje poplavne nevarnosti.

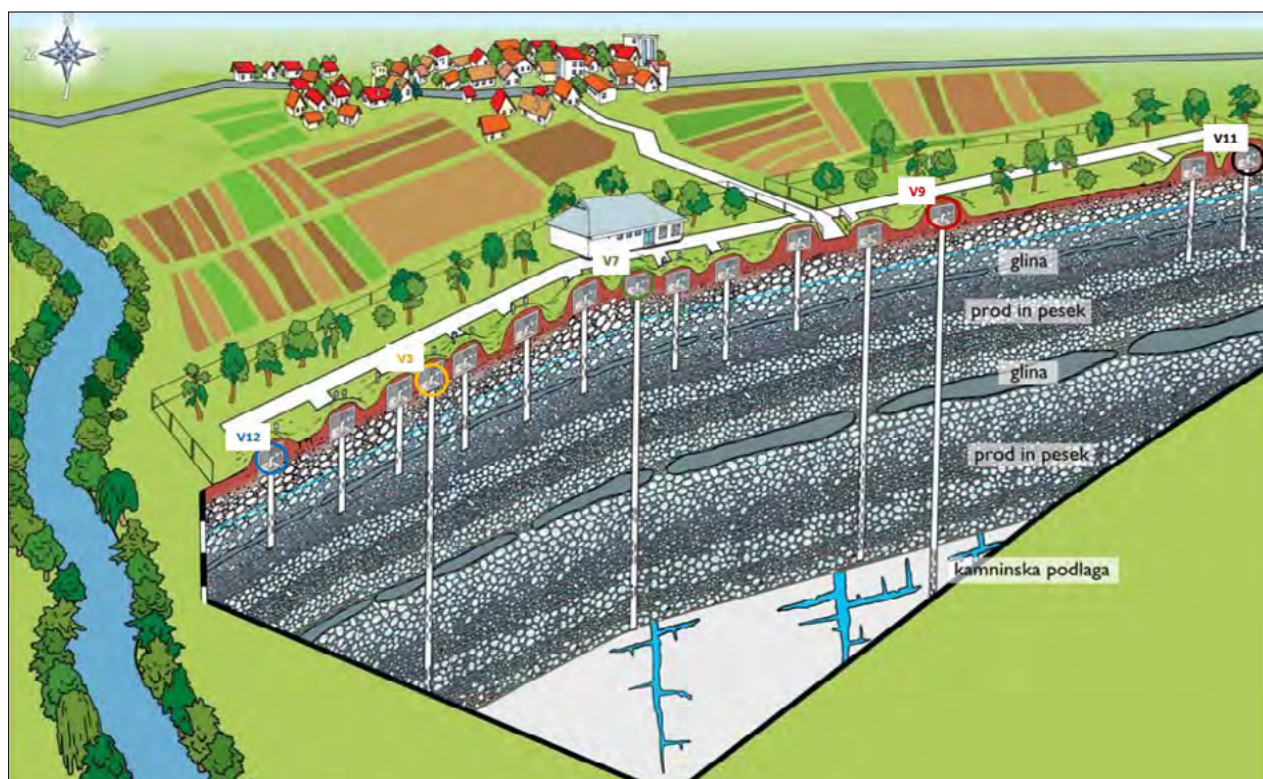


Slika 10: Hidrogrami odtoka za tri izmed 27 scenarijev, ki upoštevajo vpliv naravnih procesov
Figure 10: Runoff hydrographs for three of the 27 scenarios, which consider the effects of natural processes.



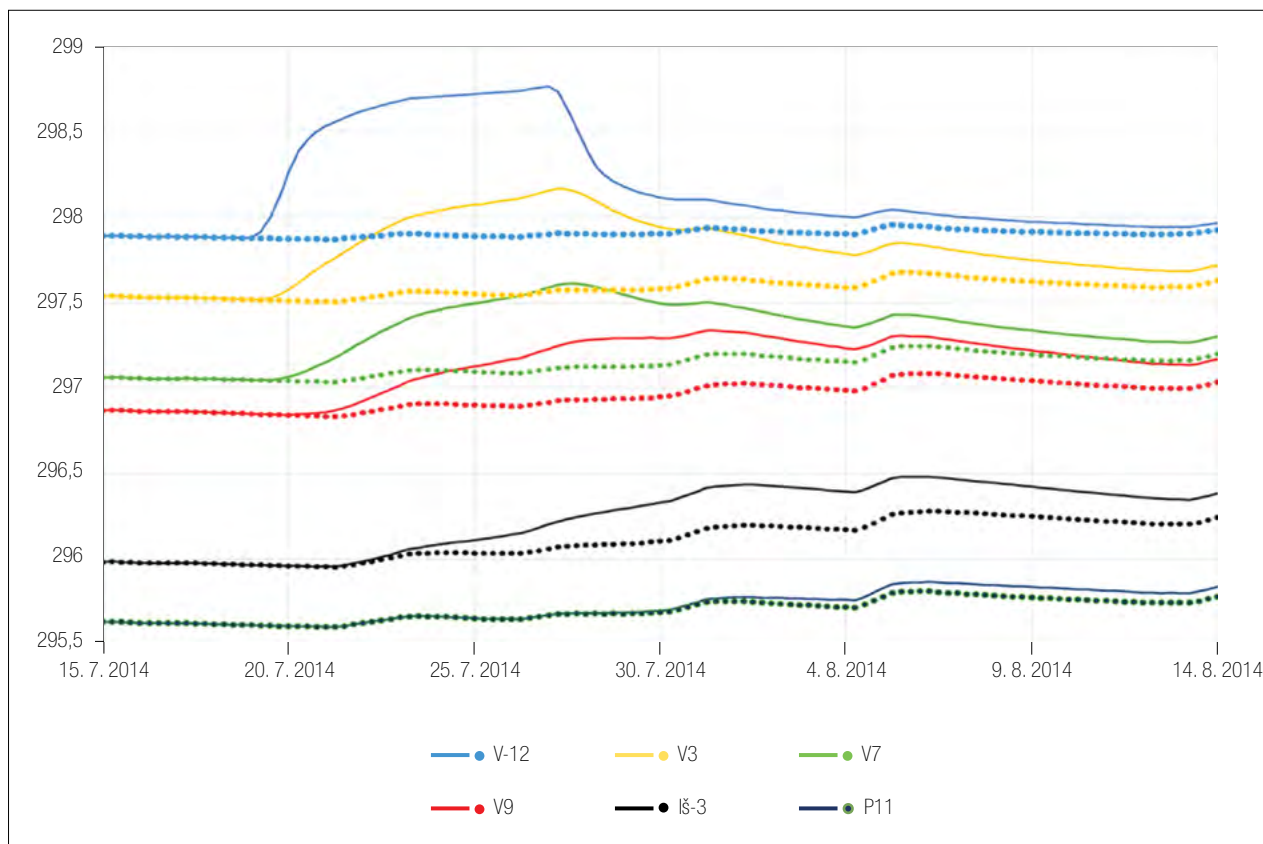
Slika 11: Rezultati hidravličnega modeliranja za tri izbrane scenarije pri 20-letnih padavinah: poplavna nevarnost za celotno območje (desno), levo pa povečan prikaz lokalnih razmer ob črpaljšču oziroma v Iški vasi

Figure 11: Hydraulic modelling results for the three selected scenarios, considering a 20-year storm event: flood risk in the entire area of Iška alluvial fan (right), and detailed local conditions at the Brest Pumping Station (left above) and in the village of Iška vas (left below).



Slika 12: Črpaljšče Brest - prikaz zgornjih plitvih vodnjakov in vodnjakov, ki segajo v spodnji vodonosnik (vir: JP Voka Snaga, 2014)

Figure 12: Brest Pumping Station - view of the upper shallow wells, and wells extending to the lower aquifer [source: JP VOKA SNAGA, 2014].



Slika 13: Črpališče Brest – dvig gladine podtalnice v enem mesecu, razdeljen na vpliv povprečnega najvišjega sedemdnevnega pretoka lške (polna črta) in na vpliv drugih dotokov (pikčasta črta) (Geološki zavod, 2018)
 Figure 13: Brest Pumping Station – groundwater level increase over a period of one-month; influence of the 7-day average maximum flow of the lška River (solid line) and of the other inflows (dotted line) (Geological Survey of Slovenia, 2018).

Rezultati hidravličnega modela

Za iste tri scenarije slika 11 prikazuje rezultate hidravličnega modeliranja. Z rdečo barvo je prikazan doseg najobsežnejših poplav, ki bi nastopile ob žledolomu oziroma zmanjšanju gozdnega pokrova, če bi se pojavile padavine z 20-letno povratno dobo, dodane pa so razmere za druga dva scenarija (modra in zelena območja). Poplavna nevarnost na širšem območju ob črpališču Brest prinaša opozorilo pred vdorom poplavne vode v vodnjake in s tem na nevarnost onesnaženja črpane podzemne vode zaradi mešanja z visokimi vodami lške ter opozorilo pred poplavljanjem objektov črpališča. Obseg poplavljenih zemljišč je zanimiv tudi z vidika nadaljnjih raziskav interakcije med površinskimi in podzemnimi vodami.

Prikazano poplavljanje na območju lške vasi (spodaj desno) je zanimivo, ker pokaže pojav poplavne nevarnosti zaradi dodatnih vodnih poti (modra barva), ki jih visoke vode lške najdejo v naselju. Poplavna ogroženost objektov in prebivalcev torej ne izvira le iz struge lške, temveč iz vseh vodnih poti, ki jih voda ubere v prostoru.

Prostorska razsežnost poplavljenosti lepo pokaže posledice različne rabe tal oziroma pokrovnosti v zaledju. Iz slike je razvidno, kako lahko večji posek gozda (lubadar), naravna katastrofa (žled, požar) ali napovedane podnebne spremembe vplivajo na območja poplavne nevarnosti,

pojavijo pa se lahko še dodatna območja. Spremembe bi v prihodnje lahko analizirali tudi pri redkejših dogodkih (Q_{50} , Q_{100} itn.), kot del priprave načrtov zaščite in reševanja.

Rezultati hidrogeološkega modela

Rezultati hidrogeološkega modela pokažejo, da je vodnosni sistem na lškem vršaju zelo dinamičen in kompleksen (slika 12). Dinamika podzemne vode je najbolj odvisna od vodnih razmer v karbonatnem zaledju, ki so slabo poznane.

Povprečni najvišji sedemdnevni pretok lške ($15,18 \text{ m}^3/\text{s}$) povzroči na skrajnem zahodnem robu vodarne, ob lški, dvig gladine podzemne vode za približno 1 m (vodnjak V12). Ta vpliv se z oddaljenostjo od reke zmanjšuje in je na skrajnem vzhodnem delu vodarne (piezometer P11) komaj še opazen (slika 13). Vpliv lške na globok vodnosnik (IŠ-3) je po enem mesecu komaj zaznaven.

V času visokih voda doteka neposredno iz struge v podtalnico 147 l/s . Vendar pa prikazana dinamika poplavljanja okolice in večji vpliv na vodnjake ob lški lahko vpliva na obratovanje vodarne, saj bi se zaradi slabše kakovosti visoke vode lške lahko zmanjšala količina črpanja v teh vodnjakih.

Sklepne misli

S povezovanjem hidrološkega, hidravličnega in hidrogeološkega modeliranja je prikazano, kako raba prostora na vodozbirnem območju vpliva na obseg območij poplavne nevarnosti. Trenutno je povezovanje omenjenih modelov potekalo še »ročno«, pri čemer so bili rezultati predhodnega modela vhodni podatek za naslednjega. Se pa že pojavljajo celovitejša orodja, ki samodejno povezujejo več procesov v vodnem krogu ter vključujejo tudi antropogene sisteme, na primer za dovod in odvod vode v naseljih. Z njimi bo analiza mogočih scenarijev še olajšana.

Privzetih 27 scenarijev obsega kombinacije tako naravnih kot antropogenih vplivov, saj je bil cilj deležnikom pokazati tudi povezave, ki so očem pogosto skrite. Z uporabljenimi orodji so bile prikazane

povezave, od padavin, odtočnih razmer in pretakanja v hidrografske mreže ter v vodonosniku do vtoka v sistem za oskrbo z vodo. Bilanca vodnih tokov je obravnavala sušne razmere, ko se pojavi nevarnost za oskrbo z vodo, in visokovodne razmere, ki so prikazane kot spreminljiva poplavna nevarnost, če se raba prostora spreminja.

Ob tem je bilo mogoče prikazati še vplive uveljavljanja različnih varovanih območij, da bi opozorili, da so lahko tudi različni javni interesi v nasprotju. Kot praktični primer je iz rezultatov mogoče razbrati, da lahko tudi omejitve in prepovedi na območju »varovanega gozda« vplivajo na oskrbo s pitno vodo. To pomeni, da je treba ovrednotiti oziroma prevrednotiti posledice »izgub«, kot to prikazuje slika 2. Čeprav je projekt končan, delo ni končano, saj so rezultati projekta prinesli nekatere odgovore, toda odprli nova vprašanja.

Viri in literatura

1. ARSO, 2016. Povprečna letna višina merjenih padavin (1981–2010). https://meteo.arslo.gov.si/uploads/probase/www/climate/image/sl/by_variable/precipitation/mean-annual-measured-precipitation_81-10.png. [10. 10. 2017].
2. ARSO, 2018. Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja. https://meteo.arslo.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/OPS21_Porocilo.pdf. [12. 3. 2019].
3. EEA, 2010. Strategija EU za Podonavje. https://ec.europa.eu/regional_policy/sl/information/publications/factsheets/2017/factsheet-eu-strategy-for-the-danube-region. [December 2018].
4. Golob, A., Polajnar, J., 2015. Visoke vode v Sloveniji leta 2014. *Ujma* 29, 62–65.
5. HEC, Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers; 2018. HEC-RAS, River Analysis System, 2D Modeling User's Manual, Version 5.0. Davis, CA: 171 str.
6. JP VOKA SNAGA, 2014. Ilustracije vodarn Kleče in Brest. Ljubljana, JP VOKA. <https://www.vokasnaga.si/aktualno/ilustracije-vodarn-klece-brest>.
7. Lapanje, A., Meglič, P., Mali, N., Jež, J., Novak, M., Jamšek Rupnik, P., Atanackov, J., Celarc, B., 2014. Izdelava metodologije in pilotnega vnosa hidrogeološke karte M 1: 25.000. Zvezek 4, Tolmač hidrogeološke karte pilotnega območja lškega vršaja. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije, 49 str.
8. Mayer, R., Blanzano, K., Mayer, V., Schrömmner, G., Gerhard, E., 2019. CAMARO-D: Sodelovanje pri uvajanju naprednih praks gospodarjenja s prostorom z vidika vplivov na odtočne razmere v povodju Donave [Cooperating towards Advanced Management routines for land use impacts on the water regime in the Danube River Basin]. Irdning-Donnersbachtal, HBLFA Raumberg-Gumpenstein.
9. MKGP, 2018. Evidenca dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč. <http://rkg.gov.si/GERK/>. [Oktober 2018].
10. Moderc, M., Pogačnik, N., Udovč, M., Petan, S., 2015. Operativni hidrodinamični model Ljubljanskega barja. *Ujma* 29, 378–382.
11. Rak, G., Grobljar, S., Steinman, F., 2018. Modeliranje poplavljanja urbanih površin, *Acta hydrrotechnica* 31 (54), 21–33.
12. Rak, G., Steinman, F., 2018. Povezanost vzrokov in posledic poplav. *Ujma* 32, 172–181.