

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 Bračič 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 na vodozbirnem območju reke Iške, zaradi naravnih ali antropogenih dejavnikov, na površinski odtok in stanje podzemnih voda, s tem pa na poplavno nevarnost ob reki Iški. Prikazan bo tudi vpliv na znižanje podzemne vode ob vodnjakih vodarne Brest in posledično na delovanje vodooskrbnega sistema, ki s pitno vodo oskrbuje Ig in Ljubljano. Vplivi spreminjanja rabe zemljišč in gozdne zarasti na vodozbirnem območju reke Iške na poplavno nevarnost ter povezave med površinskimi in podzemnimi vodami, ki pogojujejo delovanje vodarne Brest, so bili analizirani s povezovanjem hidrološkega, hidravličnega in hidrogeološkega modeliranja. Obravnavali smo 27 scenarijev, ki poleg sprememb rabe zemljišč vključujejo tudi različne padavinske dogodke, podnebne spremembe, naravne nevarnosti (žled, napad lubadarja) in človekove posege v gozd (pogozdovanje). Posledice naravnih ali antropogenih sprememb rabe zemljišč je z omilitvenimi ukrepi mogoče vsaj delno omejiti, opozoriti pa velja, da na območjih, varovanih 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, tako pri običajnih razmerah kot tudi 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

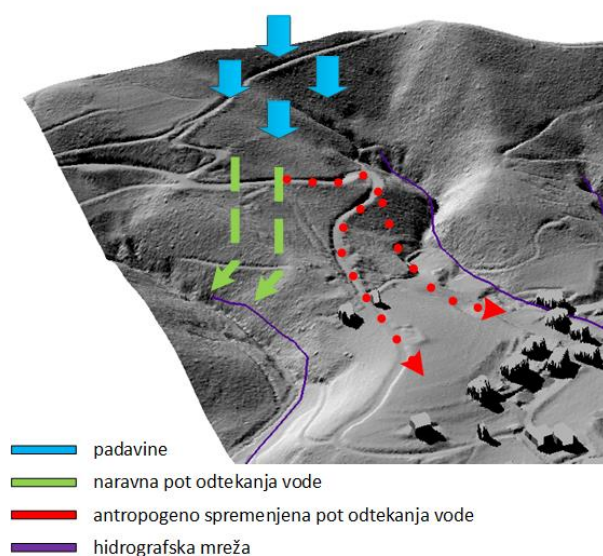
Podonavje se sooča z izzivi, povezanimi z rabo zemljišč in njenimi vplivi na odtočni režim, poplavno nevarnost in druge z vodo povezane nevarnosti. V Strategiji EU za Podonavje (EEA, 2010), ki jo je sprejela Evropska komisija in leta 2011 podprl Evropski svet, je poudarjen pomen ohranjanja kakovosti 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.

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 sofinanciral Evropski sklad za regionalni razvoj (ESRR) in Instrument za predpristopno pomoč (IPA). Osnovni izdelek projekta so bile smernice in priporočila, ki naj usmerjajo uporabnike prostora k dolgoročnemu varovanju vodnih virov in zmanjševanju poplavne ogroženosti. Za njihovo podkrepitev pa so podani 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 Iške 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 prikazali, kako naravni procesi ali človekovo spreminjanje rabe

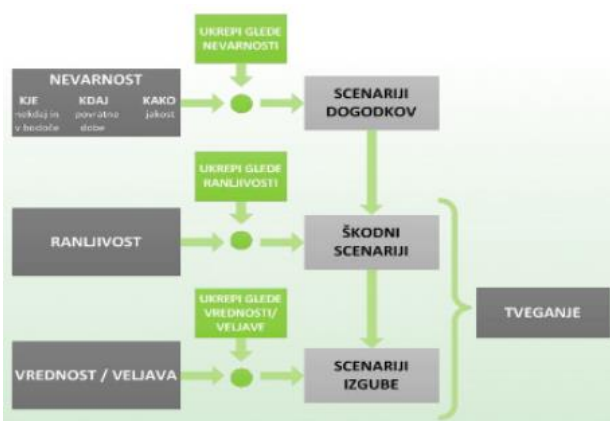
prostora spreminjajo obseg in dinamiko poplavalne nevarnosti. Prav tako smo prikazali tudi kako lahko poplava ob vodarni ali dolgotrajnejše sušno obdobje vpliva na podzemno vodo, tj. na njene količinske in kakovostne značilnosti ter s tem na obratovanje vodarne Brest.

Vodni krog je mogoče obravnavati tudi tako, da ugotavljamo, kako posamezni procesi postanejo vir nevarnosti. Naravni procesi, kjer 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 zgolj z izgradnjo nove poti poplavna nevarnost prenese na nove lokacije. Eden on načinov, kako ukrepati ob preteči nevarnosti je izdelava scenarijev (Slika 2), ki obravnavajo ukrepe za zmanjšanje ali odvrčanje nevarnosti, ukrepe za zmanjšanje ranljivosti oz. povečanje odpornosti na pretečo nevarnost ali pa ocenjevanje in prevrednotenje škodnega potenciala (Rak in Steinman, 2018).



Slika 1: Odtočne razmere lahko spremeni že gozdna cesta v zaledju, saj prenese vir antropogene poplavalne 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.



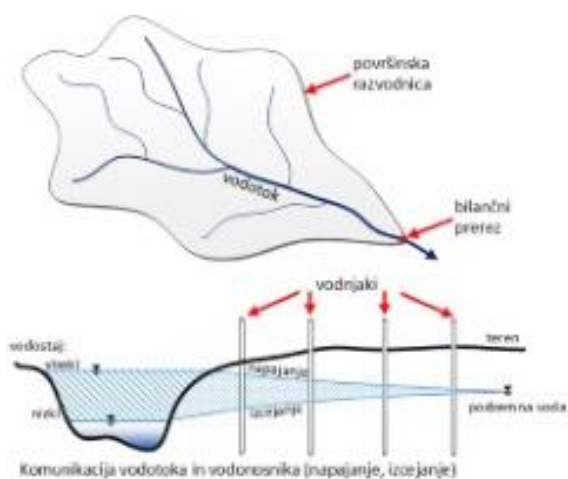
Slika 2: Izvajamo lahko ukrepe za odvrčanje nevarnosti, ukrepe za povečanje odpornosti ali prevrednotimo škodni potencial.

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

Spremembe rabe prostora na vodozbirnem območju (Slika 3) so lahko nadzorovane, z izdajo dovoljenja za gradnjo oz. druge posege v prostor, ali pa naključne, npr. zaradi zaraščanja krajine, odmiranje gozda zaradi žleda, lubadarja ipd. Eden od antropogenih vplivov na rabo prostora pa je tudi določanje različnih območij s pravnim režimom. Upravni akt na takšnih območjih, običajno določenih z obodnimi parcelami, uveljavi omejitve, prepovedi in zapovedi. Ne gre le za zavarovana območja narave, voda ipd.,

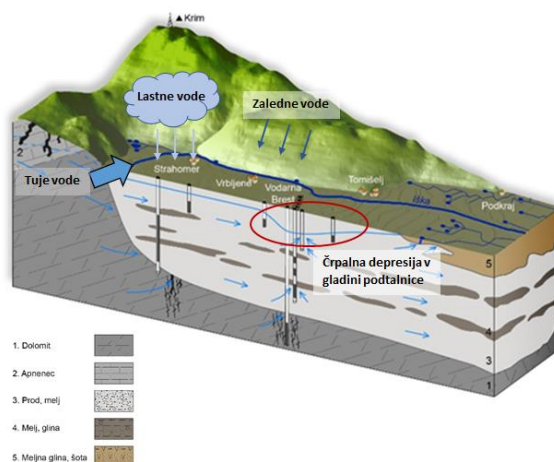
ampak tudi za območja, s katerimi se varujejo pravice uporabnikov, npr. prepoved nabiranja kostanjev v ti. gospodarskem gozdu. Pri upravljanju z zavarovanimi območji pa se lahko pojavi tudi zanimivo vprašanje – ali naj zaradi intenzivnega napada lubadarja posekamo zavarovani (pra)gozd?

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



Slika 3: Odtok z vodozbirnega območja (zgoraj) opišemo s hidrogramom. Gladine v vodotoku (spodaj) pa narekujejo dotok v vodonosnik oz. 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 Ljčka vintgar gorge), rainwater and hinterland water flowing to the area of the Ljčka alluvial fan (adapted from Lapanje et al., 2014).

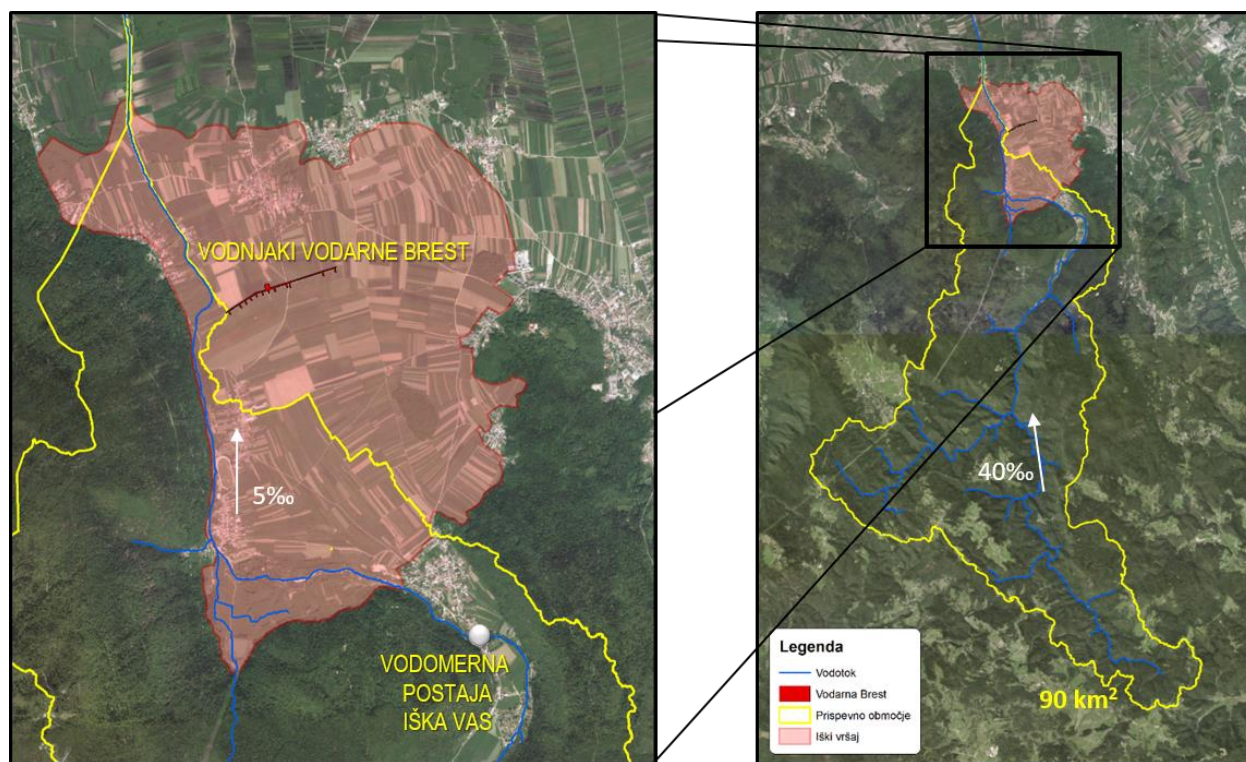
Glavno sporočilo uporabnikom prostora, še posebej dolvodnim, je, da obstajajo tudi vplivi spremenjene rabe prostora, ki niso zaznavni na prvi pogled, a so lahko prav tako pomembni. Želimo, da bi odslej deležniki bili bolj pozorni tudi na procese na vodozbirnem

območju in na pojave zalednih voda, zato so prikazane tako posledice človekovih dejavnosti kot tudi opustitve dejavnosti, ki še niso obravnavane v zadostni meri.

V nadaljevanju bodo prikazani le nekateri primeri, kjer 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 ‰. Manjši del vodozbirnega območja predstavlja Iški vršaj (Slika 5, levo) v nižinskem delu Ljubljanskega barja, kjer se povprečni padec vodotoka zmanjša na 5 ‰. Za to območje so značilne široke obvodne ravnice s plitvo podzemno vodo v zgornjem sloju in slojevitim vodonosnikom (Slika 4). Vzdolž reke leži več manjših naselij, ki so zaradi hudourniškega značaja Iške poplavno ogrožena (Golob in Polajnar, 2014). Na izlivnem delu Iške, ima prevladujoči vpliv Ljubljana, zato ta del v tem projektu ni bil obravnavan, ga pa pokriva Operativni hidrodinamični model Ljubljanskega barja (Moderc in sod., 2015).

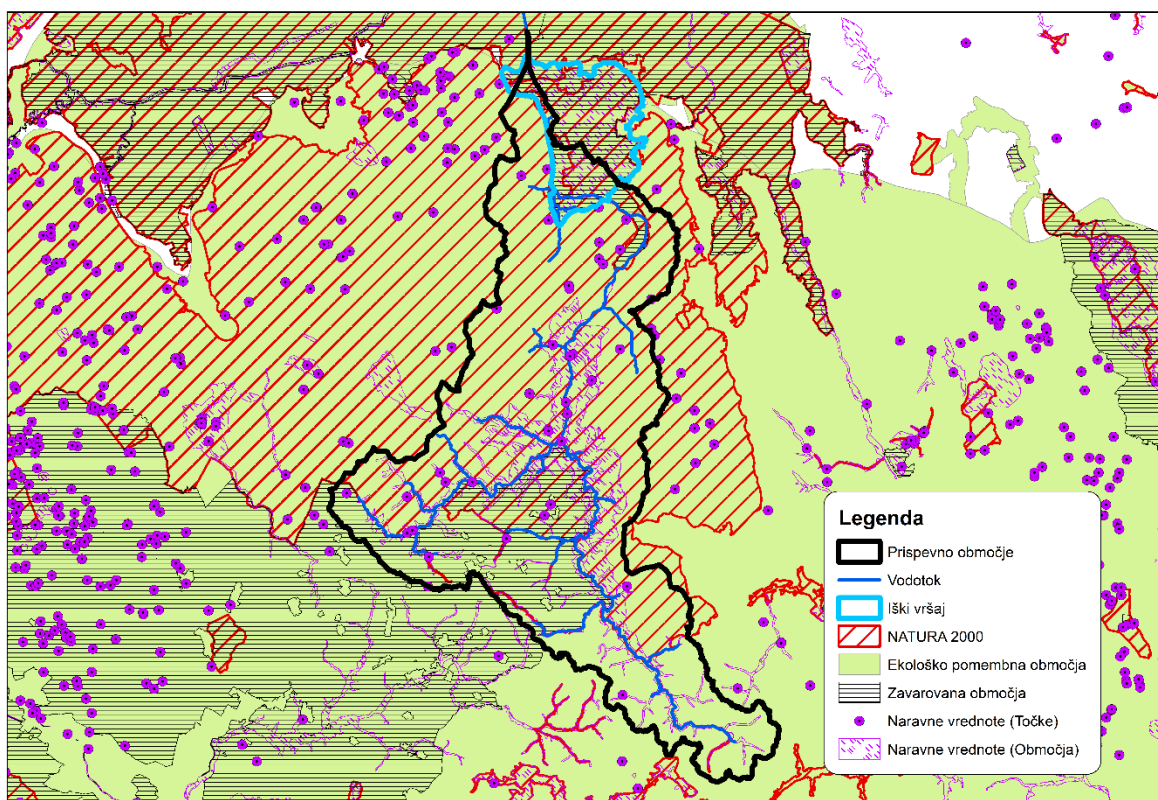


Slika 5: Vodozbirno območje reke Iške (desno) z Iškim vršajem (levo).

Figure 5: The Iška River catchment area (right), and the Iška alluvial fan (left)

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

Na porečju Iške je vrsto območij s pravnim režimom (slika 6), ki na eni strani vplivajo na spreminjanje rabe prostora, na drugi strani pa tudi na izvajanje nujnih vzdrževalnih ali sanacijskih ukrepov. Kar 90 % obravnavanega območja prekriva gozd, ki je v celoti zavarovan z različno strogimi režimi varstva narave, zato je spreminjanje rabe v tem delu precej omejeni. Zaradi vodooskrbe Lga in Ljubljane ima črpališče vodarne Brest vodovarstvena območja, s katero se varuje pravica prebivalcev do oskrbe z vodo oz. zmanjšuje ogroženost vodnega vira. Izziv, kako uskladiti različne javne interese – varstva narave, oskrbe z vodo, poplavitve nevarnosti idr., je velik.



Slika 6: Prikaz območij s pravnim režimom, ki prinašajo omejitve, prepovedi in zapovedi na vodozbirnem območju Iške. Dodatno je treba upoštevati še vodovarstvene pasove, priobalni pas vodotokov 1. in 2. reda idr.

Figure 6: Representation of the Iška River catchment and the areas, protected by the legal regime, where different restrictions, prohibitions and rules apply. Water protection zones, waterside land of first and second order streams, etc., must also be considered.

Povprečna letna količina padavin na tem območju znaša 1300 – 1600 mm (ARSO, 2016). Glede na meritve v 51-letnem obdobju je trend letne višine padavin večinoma negativen oziroma statistično nepomemben, zato je napoved sprememb povprečne letne količine padavin v naslednjih 100 letih zaradi podnebnih sprememb zelo negotova (ARSO, 2018). Zaradi strmih pobočij v zgornjem delu vodozbirnega območja Iške je površinski odtok velik, še posebej zunaj vegetacijske dobe, ko rastline ne zadržujejo vode. Gozd v zaledju ima ključno vlogo pri zmanjšanju erozijskih procesov in površinskega odтока, a gozdarska stroka opozarja, da se ta ugodni vpliv zmanjšuje zaradi napadov lubadarja. Slednji zato prinaša nov, a naravni vir poplavlne nevarnosti, saj so posledice njegovega delovanja povečani odtok in hitrejši pojav poplavljanja ob obilnejših padavinah. Kjer je pretočnost struge (naravne ali regulirane) premajhna, Iška prestopi bregove in poplavlja tako Iško vas in druga manjša naselja vzdolž vodotoka kot tudi obvodni prostor oz. območje ob vodarni.

Vse to vpliva na obratovanje vodnjakov črpališča Brest, predvsem v času ekstremnih vremenskih razmer, kot so dolgotrajne suše in daljša deževja. V tem projektu nevarnosti za oskrbo z vodo zaradi onesnaženosti vodonosnika z destil-atrazinom, ki je posledica nenadzorovane uporabe gnojil in pesticidov v preteklosti, nismo obravnavali. Analizirana pa je bila nevarnost vdora poplavlne vode v vodnjake in prehitrega podzemnega dotoka visokih voda iz Iške v njej najbližje vodnjake vodarne Brest.

Hidrološko, hidravlično in hidrogeološko modeliranje

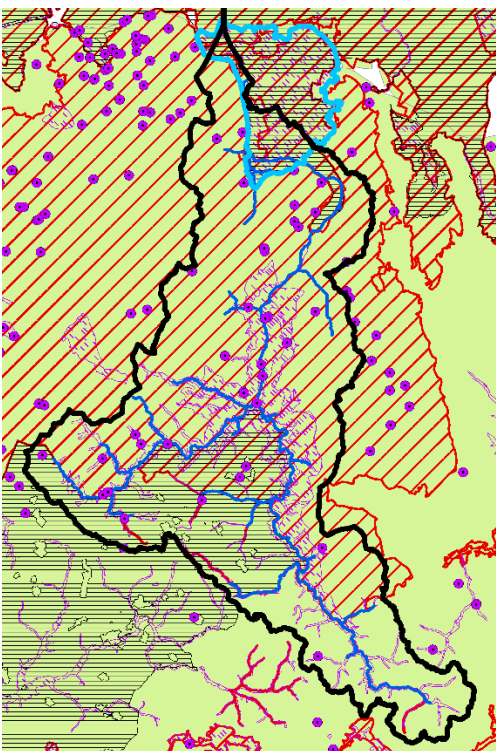
Prepletenost procesov v vodnem krogu je mogoče obravnavati z modeliranjem posameznih procesov in jih med seboj povezovati z začetnimi in robnimi pogoji. Slednje pridobimo z meritvami dogodkov, ki so se že zgodili, in z upoštevanjem drugih danosti prostora (topografija, poraslost, človekovi posegi, itd.). Uporabljeni hidrološki, hidravlični in hidrogeološki numerični modeli so bili najprej umerjeni na podlagi preteklih dogodkov. Ker je prihodnost nepredvidljiva, je bil uporabljen pristop z naborom scenarijev, v katerih se privzamejo različni pojavi v prihodnosti, da bi analizirali možne bodoče razmere. Tako je bilo s hidrološkim in hidravličnim modelom obravnavanih 27 različnih scenarijev, v katerih so bile analizirane razmere za različne verjetnosti 4-urnih padavin (t.i. povratne dobe 2, 5 in 20 let), možne spremembe pokrovnosti (zaraščanje oz. redčenje zarasti idr.) ter upoštevane pričakovane podnebne spremembe (optimistična oz. pesimistična napoved). Zaradi številnih območij varstva narave se je na obravnavanem območju upoštevalo zgolj naravno zaraščanje površin z iglastim in mešanim gozdom (do 10%), oziroma redčenje gozda za 80 % (npr. zaradi žledoloma, vetroloma, požara, lubadarja, itd.).

Hidrološki model vodozbirnega območja reke Iške

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

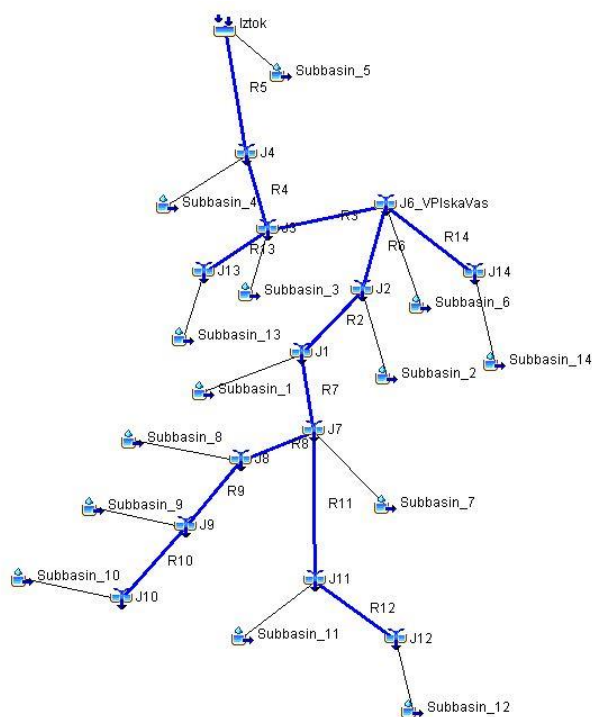
pa se ne merijo na obravnavanem območju. Zato so bile uporabljene dnevno in urno izmerjene padavine na petih meteoroloških postajah v soseščini, pridobljene s spletne strani ARSO in upoštevane padavine s krajšo povratno dobo. Da bi deležniki lažje uporabili rezultate, so bili analizirani pogostejši dogodki, tj. z večjo verjetnostjo pojava kot se uporabljajo pri izdelavi kart poplavne nevarnosti.

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



Slika 7: Hidrografska mreža Iške do vodonosnika Iškega vršaja (modro označen)

Figure 7: Hydrographic network of the Iška River up to the aquifer of the Iška alluvial fan, marked in blue



Slika 8: Shematski prikaz zasnove hidrološkega modela v orodju HEC-HMS

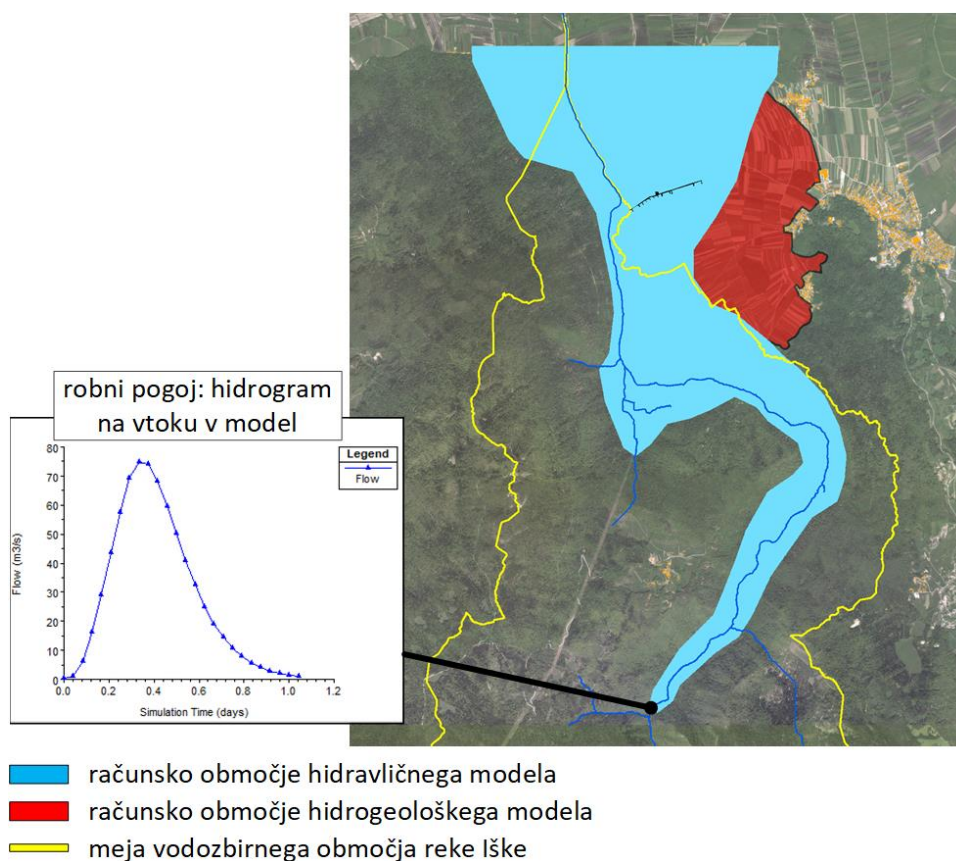
Figure 8: Schematic representation of the hydrological model created with the HEC-HMS tool

Za umerjanje hidrološkega modela so bili uporabljeni pretoki Iške, izmerjeni na vodomerni postaji Iška vas ARSO. S primerjavo hidrogramov odtoka, katerih lastnosti (konica, hitrost povečanja pretoka ipd.) odražajo 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 izračuna potovanje in poplavljanje visokovodnega vala Iške.

Hidravlični model nižinskega dela reke Iške

Za odsek reke Iške, ki je segal od izhoda iz soteske, preko območja Iškega vršaja do izlivnega dela v reko Ljubljanico, 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 pa 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 ogleda domnevali, da je razlivanje Iške lahko obsežnejše kot ga določa (rumeni) potek površinske razvodnice. Za izračune je treba v numerični mreži podati čim natančnejši opis terena in geometrijo struge ter geometrijo objektov v prostoru, še posebej takšnih, ki bi lahko bistveno spremenili vodne tokove (npr. premostitve).



Slika 9: Računsko območje hidravličnega modela (modro), ki delno prekrije območje hidrogeološkega modeliranja (rdeče) in sega preko (rumene) površinske razvodnice Iške.

Figure 9: Calculation area of the hydraulic model (coloured blue), that partially overlaps the area of the hydrogeological model (coloured red) and extends beyond the boundaries of the Iška River catchment (indicated by the yellow line).

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. Običajno so rezultati izračunov v vozliščih numerične mreže vodostaji, smeri in hitrosti podzemne vode, lahko pa na podlagi hidrodinamike analiziramo še potovanje in koncentracije onesnaženja v primeru razlitja, določamo vpliv črpanja (ti. depresijski lijak) na nivo podzemne vode, ocenjujemo značilnosti in vodno bilanco vodonosnika ipd. Natančnost rezultatov modeliranja je odvisna od opisa hidrogeoloških razmer v vodonosniku, tj. od števila geoloških vrtn oz. drugih meritev in raziskav na obravnavanem območju.

Z izračuni je Geološki zavod 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 v primeru dolgotrajne suše oz. daljšega obdobja brez padavin lški vodonosnik napaja le iz karbonatnega zaledja (slika 4) in iz 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 7-dnevnega pretoka. Ekstremni poplavni dogodki, kjer 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.

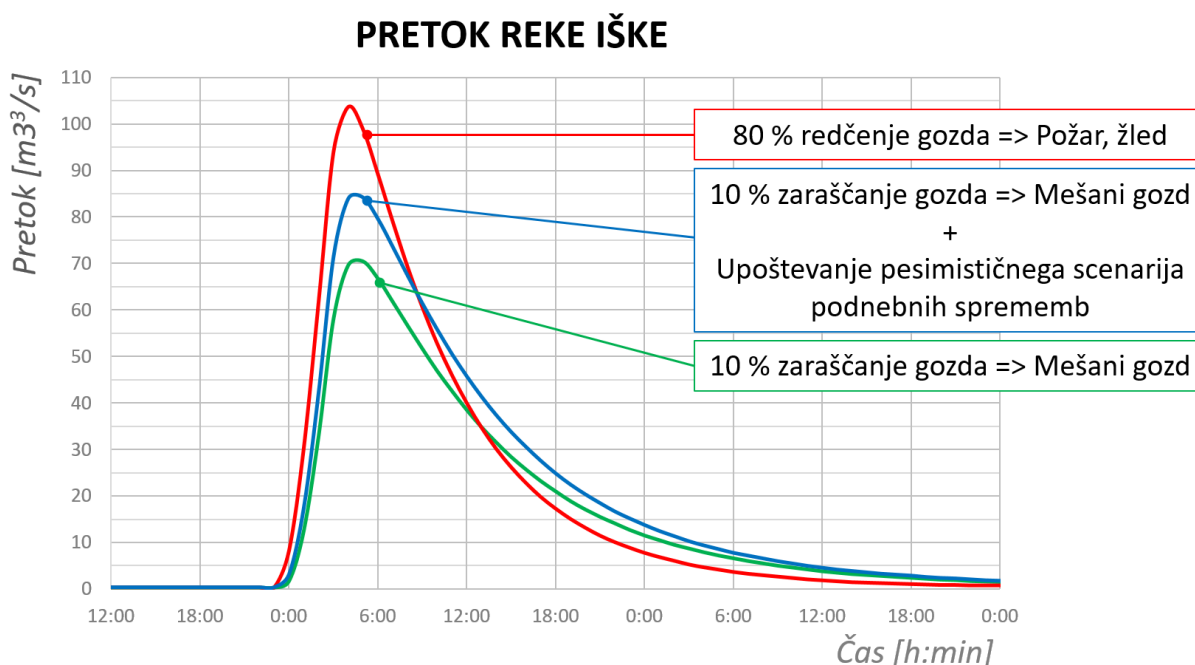
Rezultati in diskusija

Rezultati hidrološkega modela

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

Največji površinski odtok se pojavi v primeru zmanjšanja gozdnega pokrova, npr. 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 odtoke za ca. 20%, kar je zaskrbljujoč vpliv klimatskih sprememb na dolvodna območja poselitve. Če pa bi ugodni vpliv 10 % zaraščanja gozda prizadel izreden dogodek (žled, lubadar ipd.), ki bi za 80% zmanjšal

obseg zarasti, bi se dolvodno pojavili več kot 40 % (za 32 m³/s) večji odtoki. Slednji podatek priča 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 precizno določen, se vtisne v spomin kot zaznavna povezanost rabe prostora v zaledju in stopnje poplavne nevarnosti.



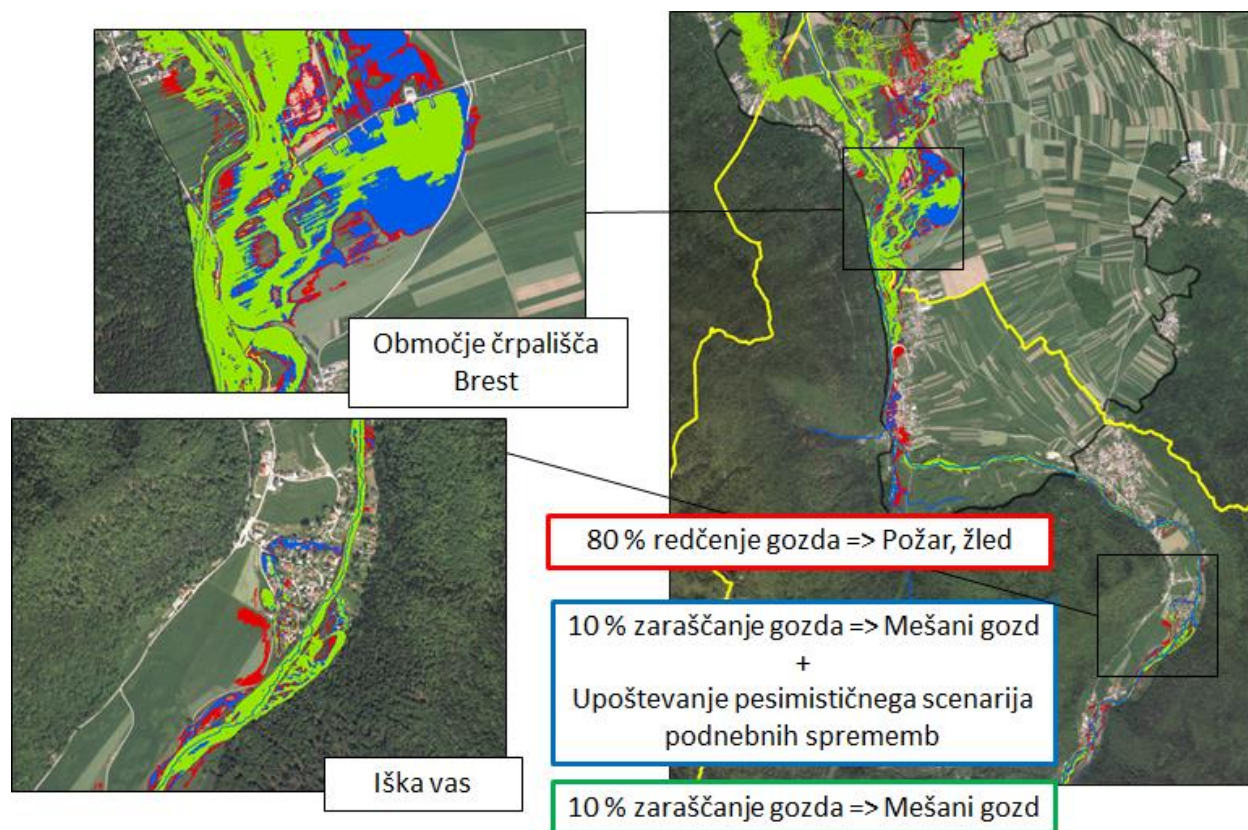
Slika 10: Hidrogrami odtoka za tri izmed 27 scenarijev, ki upoštevajo vpliv naravnih procesov.

Figure 10: Runoff hydrographs for three of the 27 scenarios, which consider the effects of natural processes.

Rezultati hidravličnega modela

Za iste tri scenarije Slika 11 prikazuje rezultate hidravličnega modeliranja. Z rdečo barvo je prikazan doseg najbolj obsežnih poplav, ki bi nastopile v primeru žledoloma oz. zmanjšanja 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 nevarnost onesnaženja črpane podzemne vode zaradi mešanja z visokimi vodami Iške 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 Iške vasi (spodaj desno) je zanimivo, ker pokaže pojav poplavne nevarnosti zaradi dodatnih vodnih poti (modra barva), ki jih visoke vode Iške najdejo v naselju. Poplavna ogroženost objektov in prebivalcev torej ne izvira le iz struge Iške, temveč iz vseh vodnih poti, ki jih voda ubere v prostoru.



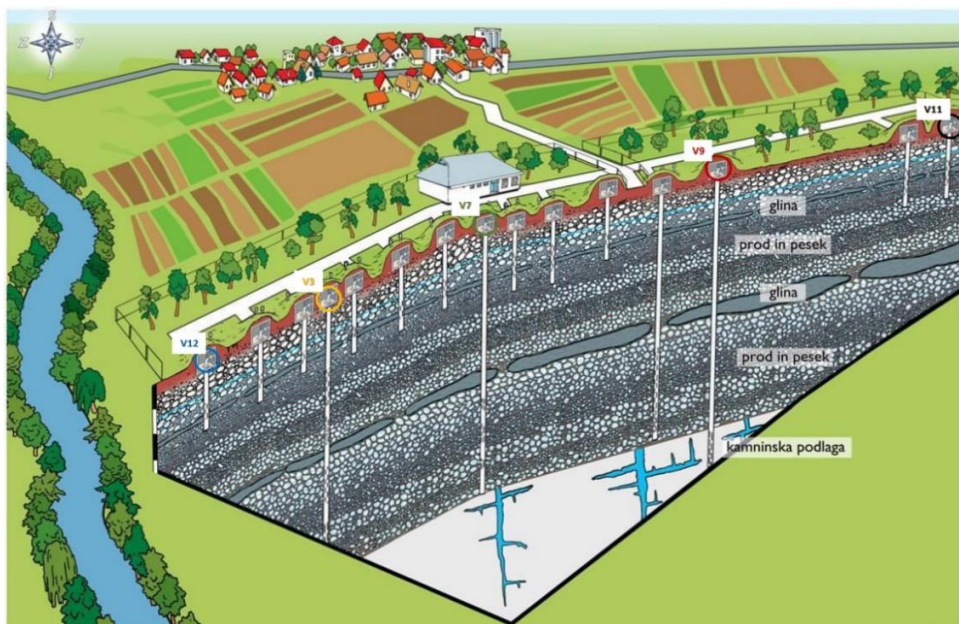
Slika 11: Rezultati hidravličnega modeliranja za tri izbrane scenarije pri 20-letnih padavinah: poplavna nevarnost za celotno območje (desno), levo pa povečan prikaz lokalnih razmer ob črpališču oz. v Iški vasi.

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).

Prostorska razsežnost poplavljenosti lepo pokaže posledice različne rabe tal oz. pokrovnosti v zaledju. Iz slike je razvidno, kako lahko večji posek gozda (lubadar), naravna katastrofa (žled, požar) ali napovedane podnebne spremembe vplivajo na obstoječa območja poplavne nevarnosti, pojavijo pa se lahko še dodatna območja. Spremembe bi v bodoče lahko analizirali tudi pri redkejših dogodkih (Q_{50} , Q_{100} itd.), kot del priprave Načrtov zaščite in reševanja.

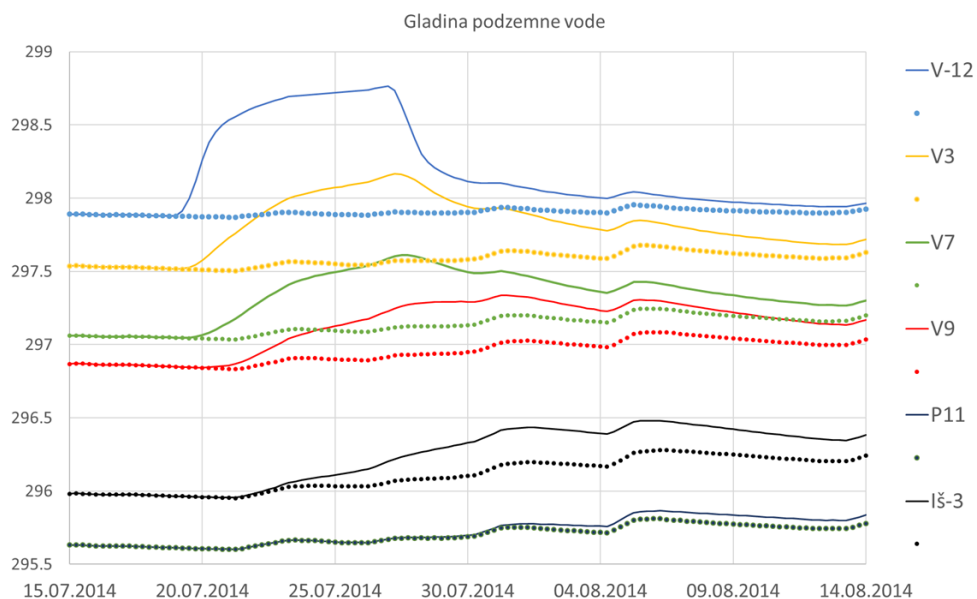
Rezultati hidrogeološkega modela

Rezultati hidrogeološkega modela pokažejo, da je vodonosni sistem na Iškem vršaju zelo dinamičen in kompleksen (slika 12). Dinamiko podzemne vode v največji meri pogojujejo vodne razmere v karbonatnem zaledju, ki so slabo poznane.



Slika 12: Črpališče 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 času enega meseca, razdeljen na vpliv povprečnega najvišjega 7-dnevnega pretoka Iške (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 Iška River (solid line) and of the other inflows (dotted line) (Geological Survey of Slovenia, 2018).

Povprečni najvišji 7-dnevni pretok Iške (15,18 m³/s) povzroči na skrajnem zahodnem robu vodarne (ob Iški) dvig gladine podzemne vode za cca. 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 Iške na globok vodonosnik (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 Iški lahko vpliva na obratovanje vodarne, saj bi se zaradi slabše kakovosti visoke vode Iške lahko zmanjšala količina črpanja v teh vodnjakih.

Zaključki

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 rezultati predhodnega modela bili vhodni podatek za naslednjega. Se pa že pojavljajo celovitejša orodja, ki avtomatsko povezujejo več procesov v vodnem krogu ter vključujejo tudi antropogene sisteme, npr. za dovod in odvod vode v naseljih. Z njimi bo analiza možnih scenarijev še olajšana.

Privzetih 27 scenarijev vsebuje kombinacije tako naravnih kot antropogenih vplivov, saj je bil cilj, deležnikom pokazati tudi povezave, ki so pogosto skrite očem. Z uporabljenimi orodji so bile prikazane povezave od padavin, preko odtočnih razmer in pretakanja v hidrografske mreže ter v vodonosniku, vse 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 spremenljiva 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 pa pomeni, da je treba ovrednotiti oz. prevrednotiti posledice »izgub«, kot to prikazuje slika 2. Čeprav je projekt končan, delo ni končano, saj so rezultati projekta prinesli nekatere odgovore a odprli še nova vprašanja.

Viri in literatura

ARSO (2016). Povprečna letna višina merjenih padavin (1981-2010). https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/image/sl/by_variable/precipitation/mean-annual-measured-precipitation_81-10.png (Pridobljeno 10. 10. 2017).

ARSO (2018). Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja. https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/OPS21_Porocilo.pdf (Pridobljeno 12. 3. 2019)

EEA, 2010. Strategija EU za Podonavje. Dosegljivo na: https://ec.europa.eu/regional_policy/sl/information/publications/factsheets/2017/factsheet-eu-strategy-for-the-danube-region (december 2018).

Golob, A., Polajnar, J. 2015. Visoke vode v Sloveniji leta 2014. Ujma 29, 62-65.

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.

JP VOKA SNAGA, 2014. Ilustracije vodarn Kleče in Brest. Ljubljana, JP VOKA. Dostopno na: <https://www.vokasnaga.si/aktualno/ilustracije-vodarn-klece-brest>

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 Iškega vršaja. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije, 49 str.

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.

MKGP, 2018. Evidenca dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč. Dosegljivo na: <http://rkg.gov.si/GERK/> (oktober 2018).

Moderc, M., Pogačnik, N., Udovč, M., Petan, S. 2015. Operativni hidrodinamični model Ljubljanskega barja. Ujma 29, 378-382.

Rak, G., Grobljar, S., Steinman, F. 2018. Modeliranje poplavljanja urbanih površin, Acta hydrotechnica 31(54), 21–33.

Rak, G., Steinman, F. 2018. Povezanost vzrokov in posledic poplav. Ujma 32, 172-181.