

Razvoj hidrologije v Sloveniji

Mitja Brilly*, Katarina Zabret*, Klaudija Sapač*, Nejc Bezak*, Andrej Vidmar*, Matjaž Mikoš*, Mira Kobold*, Andrej Kryžanowski* in Mojca Šraj*

Uvod

Razvoj hidrologije ima v Sloveniji dolgo tradicijo, ki sega v drugo polovico 19. stoletja. Vzrok so bile predvsem potrebe izkoriščanja vodnih sil, posegi v vodotoke zaradi povečanja obdelovalnih površin in zaščita pred poplavami. Tako smo imeli prve vodomerne postaje postavljene že v sedemdesetih letih devetnajstega stoletja. Kresnik je svojo enačbo za izračun poplavnih pretokov objavil koncem 19. stoletja. Bolj sistematične meritve pretokov so se nadaljevale z ustanovitvijo urada za hidrologijo pri ministrstvu za gradnje Avstro-Ogrske monarhije, ki je skrbela za meritve in podatke objavljala v zbornikih. Strokovno delo po prvi svetovni vojni je povezano z ustanovitvijo Banske vodne uprave v Kraljevini Jugoslaviji. Meritve in opazovanja je takrat prevzela hidrometeorološka služba. Danes izredno dragoceni podatki meteoroloških in hidroloških meritev, so se sistematično zbirali in objavljali v letopisih. Po drugi svetovni vojni je razvoj dobil nov zagon zaradi melioracij in potreb izkoriščanja vodnih sil ter urejanja prostora. Najprej je bil ustanovljen zavod, ki je prerasel v Inštitut za vodno gospodarstvo, hidrologija pa je postala sestavni del kurikulumoma inženirskih znanosti. Hidrološke meritve so se izvajale pod okriljem Hidrometeorološkega zavoda. Nastala je obsežna mreža hidrometeoroloških postaj, predvsem za potrebe razvoja ugotavljanja in izkoriščanja hidroenergetskega potenciala. Opisna hidrologija se je po svoje razvijala znotraj geografskih znanosti.

Eksploziven razvoj v svetovnem merilu je hidrologija doživela z mednarodnim hidrološkim desetletjem v obdobju 1965-1975. Prišlo je do sodelovanja hidrologov tedaj sprtih držav ZDA in SSSR. Sodelovanje se je nadaljevalo v Mednarodnem hidrološkem programu IHP UNESCO, ustanovljenem leta 1975. V času SFRJ je delovalo zvezno društvo hidrologov, ki je vsake dve leti organiziralo znanstvena srečanja in objavljalo navodila za izvajanje hidroloških analiz in meritev. Takšno srečanje smo organizirali tudi na Bledu v letu 2008. Nad strokovnim delom slovenskega hidrometeorološkega zavoda je bedel Zvezni hidrometeorološki zavod, ki je v letopisih objavljajal preverjene merjene meteorološke in hidrološke podatke.

Pred samo osamosvojitvijo Slovenije, smo leta 1989 organizirali mednarodno srečanje »Regionalizacija v hidrologiji«. Srečanje je bilo organizirano s strani Združenja hidroloških znanosti (IAHS). Slovenski organizacijski odbor je vodil profesor Brilly, ki je bil sočasno tudi predsednik Jugoslovanskega društva hidrologov. Tako smo imeli ob osamosvojitvi neposredni stik z IAHS in bili seznanjeni z njeno organizacijo in delovanjem. Pogoj za priključitev v IAHS je bila organizacija slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko in njegovo članstvo v IUGG. Ker so tudi ostala društva, predvsem seizmologi in meteorologi imela podoben problem, je bil organiziran iniciativni odbor za ustanovitev SZGG, ki ga je vodil dr. Lapajne. Hidrološka sekcija je aktivno delovala vse od ustanovitve SZGG, to je od leta 1993 naprej.

Sočasno smo se povezali z Uradom za UNESCO v ustanavljanju in organizirali slovenski nacionalni odbor za mednarodni hidrološki program (IHP) UNESCO. IHP nam je omogočil sodelovanje pri različnih projektih IHP UNESCO. Tako smo se vključili v program FRIEND

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

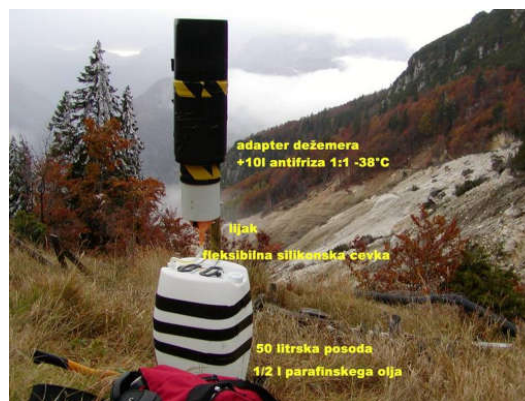
(Flow Regimes from International Experimental and Network Data) in leta 1997 organizirali mednarodno konferenco v Postojni, FRIEND'97 - Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management (IAHS Publ. 246). Z vzpostavitvijo in vzdrževanjem številnih eksperimentalnih porečij v Sloveniji (npr. Brilly et al., 2002; Brilly in Globevnik, 2003; Brilly et al., 2004; Šraj, 2004; Brilly et al., 2006; Šraj et al., 2016) smo se aktivno vključili v ERB (Euromediterranean network of experimental and representative basins). Leta 1999 smo stopili v stik z Vrije Universitet Amsterdam in vzpostavili eksperimentalno opazovanje prestreženih padavin na porečju Dragonje. Rezultate raziskav na različnih eksperimentalnih porečjih smo objavili v znanstvenih člankih in predstavili na številnih konferencah ERB. V koordinacijo nacionalnih odborov IHP UNESCO porečja reke Donave smo bili vključeni takoj po osamosvojitvi. V letu 2008 smo organizirali tudi XXIV mednarodno konferenco na Bledu. V letu 2010 smo objavili knjigo »Hydrological Processes of the Danube River Basin Perspectives from the Danubian Countries« z dotodanjimi rezultati raziskav v porečju reke Donave. Na XXVII konferenci v Zlatih peskih, Bolgarija je bila Sloveniji zaupana koordinacija NO povodja reke Donave, na sestanku sveta IHP leta 2019 pa članstvo v Biroju IHP.

Koncem devetdesetih let 20. stoletja smo si uspeli izboriti področje Vodarstvo pri ARRS in tako zagotoviti raziskovalna sredstva na področju voda. V raziskovalnem delu smo bili vključeni v številne NATO, COST, Interreg, LIFE, Horizon, bilateralne in druge EU projekte, domače ARRS in druge projekte, kar je Katedri za splošno hidrotehniko (KSH) UL FGG omogočilo izvajanje raziskav, sodelovanje na mednarodnih srečanjih, nabavo merilne opreme in vzdrževanje številnih eksperimentalnih porečij.

Leta 2016 smo dobili častni naslov UNESCO katedre za zmanjševanje tveganj ob vodnih ujmah na Univerzi v Ljubljani.

Članstvo v združenju CUAHSI (Consortium of Universities for the Advancement of Hydrologic Science) v ZDA, nam je omogočilo sodelovanje in prenos znanja vrhunskih dosežkov hidrologije. Bili smo med prvimi, ki so uporabili kopula funkcije pri statističnih hidroloških analizah (npr. Šraj et al., 2015; Bezak et al., 2014) in regularizacije pri umerjanju hidroloških modelov.

Dosežki hidrologije v preteklem obdobju so zasnovani predvsem na meritvah na eksperimentalnih porečjih, ki so bila osnova za več doktorskih disertacij in drugih zaključnih del v Sloveniji in v tujini. V 20-letnem obdobju je KSH vložila v merilno opremo sredstva v višini okoli milijon EUR. Oprema za mikro in makro meritve hitrosti vode v 3D tehniki je v vrhu svetovne opreme in enako velja za opremo za meritev temperature s pomočjo optičnega kabla. Trenutno je na terenu in v skladišču na razpolago več deset merilnikov padavin in sond za merjenje gladine vode, več disdrometrov za merjenje padavin, oprema za avtomatični odvzem vzorcev vode, merilnikov kalnosti in avtomatskih meteoroloških merilnih postaj (slike 1 – 17).



Slika 1 – Dežemer



Slika 2 – Merilnik snežnih padavin



Slika 3 – Vremenska postaja



Slika 4 – Disdrometer



Slika 5 – Sonda za merjenje globine vode



Slika 6 – Večnamenska sonda



Slika 7 – Merilnik hitrosti vode

Slika 8 – Merilnik hitrosti z merilnikom kalnosti



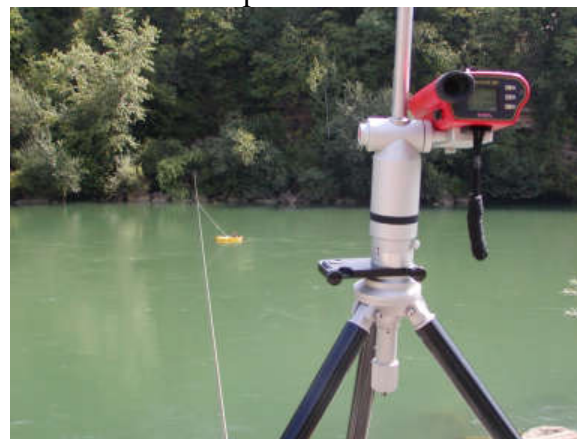
Slika 9 – Merjenje pretoka z metodo razredčenja



Slika 10 – Merjenje pretoka s trikotnim prelivom



Slika 11 – Merjenje pretoka s 3D sondo



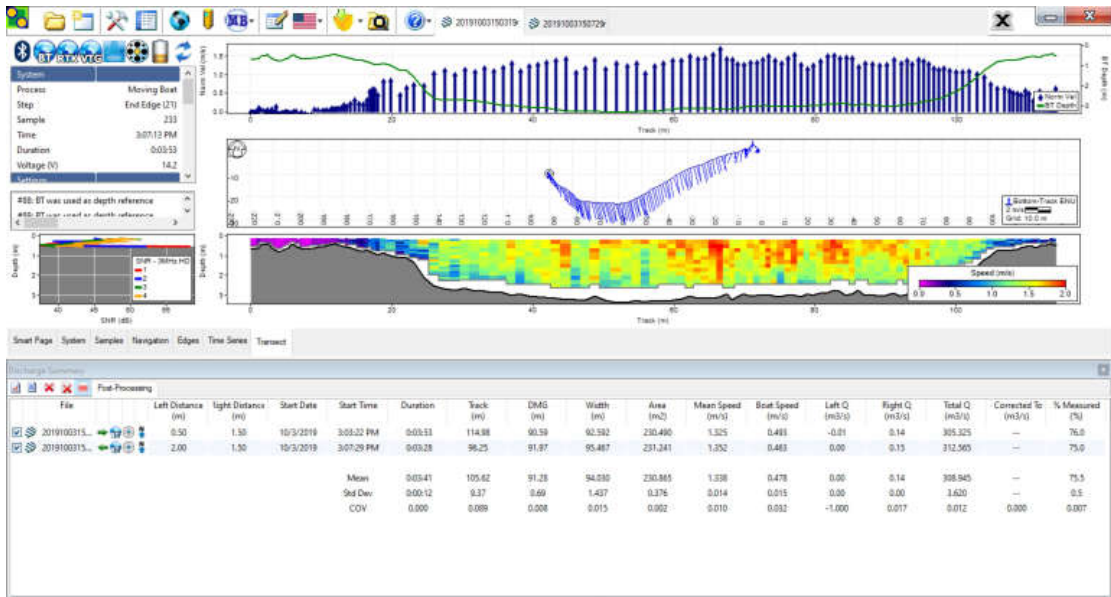
Slika 12 – Merjenje pretoka s 3D merilnikom



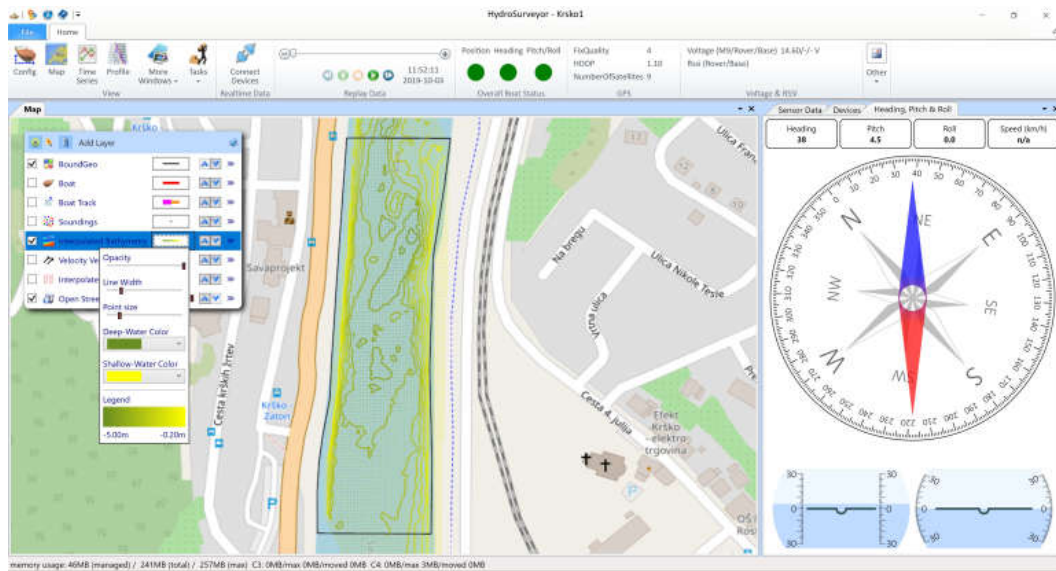
Slika 13 – Multiparameterska sonda



Slika 14 – Instrument za avtomatski odvzem vzorcev vode



Slika 15 – Rezultat meritev 3D hitrosti v prečnem profilu



Slika 16 – Rezultat meritve globlin v strugi reke Save



Slika 17 – Oprema za zbiranje in posredovanje podatkov

Eksperimentalna porečja – osnova za razvoj hidrologije v Sloveniji

Meritve prestrežanja padavin na KSH izvajamo že 20 let, vse odkar je bilo porečje Dragonje leta 1999 izbrano za eksperimentalno porečje. V sodelovanju z Vrije University of Amsterdam so na tem področju potekale različne raziskave o vplivih naravnega zaraščanja gozda na hidrološke pogoje (Šraj, 2004). Za meritve prestrežanja padavin sta bili izbrani dve raziskovalni ploskvi, na severnem in južnem pobočju, kjer smo merili padavine nad krošnjami mešanega listnatega gozda, prepuščene padavine ter odtok po deblu (slika 18) (Šraj, 2009). Rezultati meritev so pokazali, da je prestrežanje padavin gozdov v porečju Dragonje na letni ravni v povprečju enako 25-28 %, kar je znatno več od primerljivih študij in najverjetneje tudi razlog za zmanjšan površinski odtok (Šraj et al., 2008a). Meritve prestrežanja padavin smo na KSH leta 2004 dopolnili še s postavitvijo dodatne raziskovalne ploskve v Ljubljani, ob stavbi Oddelka za okoljsko gradbeništvo (Šraj et al., 2008b). Zaradi lokacije meritve omogočajo tudi analizo vplivov dreves na zmanjšanje odtoka v urbanem okolju (Zabret in Šraj, 2019a). Prepuščanje padavin in odtok po deblu na tej lokaciji spremljamo pod dvema vrstama dreves, navadno brezo in črnim borom (slika 19) (Zabret in Šraj, 2018a). Prav tako kot na Dragonji, tudi tukaj merimo količino padavin na prostem, količino prepuščenih padavin ter odtok po deblu. Merska oprema pa je tukaj dopolnjena še z dvema disdrometroma, s katerima na bližnji strehi in pod drevesi spremljamo tudi število, velikost in hitrost dežnih kapljic (Zabret in Šraj, 2018a). V zadnjem obdobju meritev (2014 – 2018) je breza v povprečju prestregla 23 %, bor pa kar 47 % padavin (Zabret et al., 2017). Analize vplivov meteoroloških spremenljivk na prestrežanje padavin so pokazale, da imajo največji vpliv količina padavin, njihova intenziteta in število dežnih kapljic (Zabret et al., 2018b; Zabret in Šraj, 2019b). Večje in hitrejše dežne kapljice hipoma povečajo prepuščanje padavin pod borom, ki se lahko poveča za 25 do 47 %, med tem ko lastnosti kapljic nimajo vidnejšega vpliva na prepuščanje padavin pri brezi (Zabret et al., 2017). Omenjana opazovanja so objavljena v 13 znanstvenih člankih.



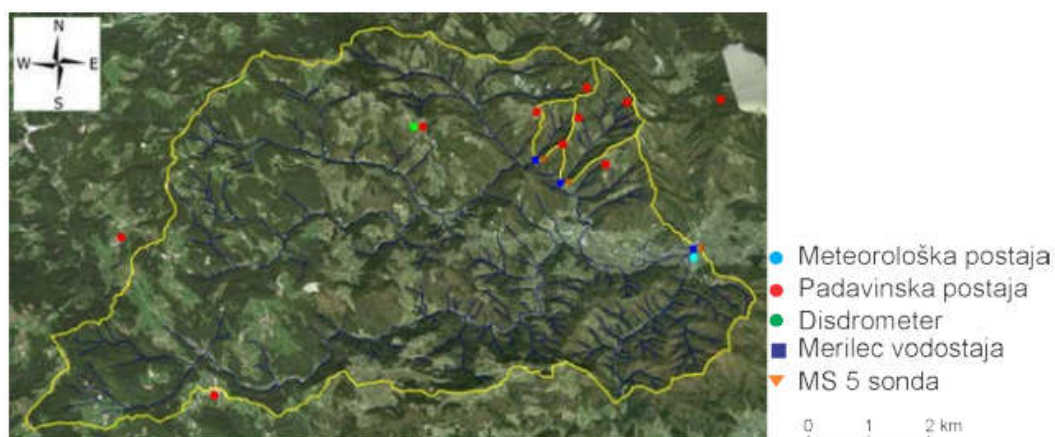
Slika 18 – Meritve odtoka po deblu na eksperimentalnem porečju Dragonje



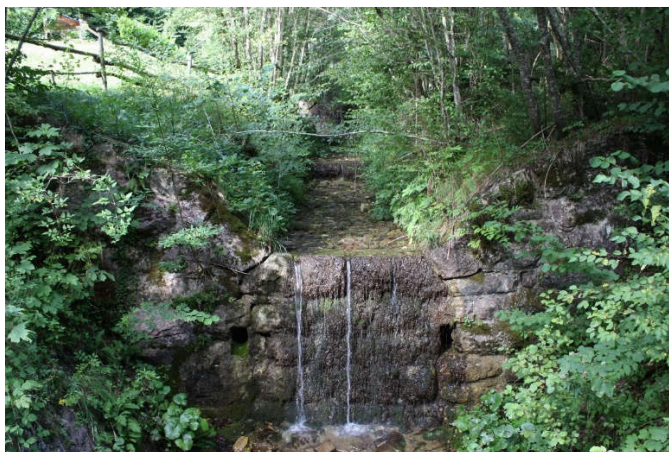
Slika 19 – Raziskovalna ploskev v Ljubljani

Eksperimentalno porečje reke Gradaščice je eno izmed eksperimentalnih hidroloških porečij na območju Slovenije (npr. Šraj et al., 2016). Meritve na porečju Gradaščice so se izvajale tako na vodotoku Glinščica kot na vodotoku Gradaščica in njenih pritokih (Šraj et al., 2016). Meritve na porečju Gradaščice so se začele bolj intenzivno izvajati v sklopu mednarodnega projekta SedAlp (<http://www.sedalp.eu/>), ki je bil del programa Alpine Space, in se je osredotočil na integralno upravljanje s sedimenti na Alpskem območju. Tako sta bili manjši hudourniški porečji Kuzlovec in Mačkov graben določeni kot testni območji

v okviru omenjenega projekta (slika 20). Z namenom preučevanja dinamike erozijsko-sedimentacijskega kroga smo tako na omenjenih porečjih začeli z meritvami transporta sedimentov in erozijskih procesov (npr. Bezak et al., 2017a; Bezak et al., 2017b). Dodatno smo izvajali tudi meritve gladine vode, padavin in periodične meritve pretokov (npr. Bezak et al., 2013; slika 21). Na porečju Gradaščice pa smo za namen preučevanja erozivnosti padavin postavili tudi optični disdrometer, ki omogoča meritve hitrosti in velikosti dežnih kapljic (Ciaccioni et al., 2016). Meritve omenjenih spremenljivk oziroma procesov se na eksperimentalnem porečju Gradaščice še vedno izvajajo.



Slika 20 – Prispelno območje reke Gradaščice do vodomerne postaje Dvor in označeni lokaciji porečij Kuzlovec (manjše levo območje) in Mačkov graben (malce večje desno območje). Na sliki je prikazana tudi lokacija merske opreme. Povzeto po Bezak et al. (2013).



Slika 21 – Hudournik Kuzlovec v poletnih mesecih.

V letu 2018 smo predhodno vzpostavljeno mrežo merilnikov padavin na porečju Gradaščice (predvsem na območju Kuzlovca in Mačkovega grabna) nadgradili z dodatnimi dežemeri, obstoječe pa smo posodobili s sodobnejšimi zapisovalniki podatkov. Trenutno je na omenjenem eksperimentalnem porečju Kuzlovca, za katerega je značilna naravna raba tal (predvsem mešani gozd), poudarek na spremljanju dinamike vnosa in spiranja nitratnega dušika. Z več parametrskim merilnikom na iztoku s porečja z 20-minutnim časovnim korakom spremljamo naslednje fizikalne in kemijske parametre: temperaturo vode, pH, elektro prevodnost in koncentracijo nitratnega dušika (NO₃-N). Z meritvami želimo ugotoviti, kako različni padavinski dogodki (npr. intenziteta padavin in količina padavin) v

različnih letnih časih vplivajo na količino in dinamiko spranega nitratnega dušika iz porečja brez antropogenih vplivov. Prenosni, več parametrski merilnik, ki ga za zagotavljanje ustreznosti podatkov treba redno umerjati v laboratoriju, je na terenu nameščen predvsem v času padavinskih dogodkov. Ne glede na to pa smo v času od začetka meritev z znatno količino podatkov zabeležili tudi dogajanje v vodotoku v času baznega odtoka, ko lahko predvsem na podlagi temperature, pH in koncentracije nitratnega dušika, zaznamo dnevno dinamiko omenjenih parametrov. Ker predvidevamo, da na dinamiko spiranja in koncentracijo NO₃-N poleg hidrometeoroloških razmer vpliva tudi vegetacija, na porečju nekajkrat letno izvedemo tudi meritve indeksa listne površine (glej poglavje o prestrezanju padavin), s katerimi bomo opredelili vpliv fenoloških faz na količino NO₃-N v vodotoku. Dodatno pa smo v letu 2019 mersko opremo na porečju Kuzlovca dopolnili še z merilniki vlažnosti tal (slika 22) v treh globinah enega pedološkega profila (15, 40 in 70 cm), ki podatke o vsebnosti vode, natančneje volumen vode na volumen zemljine, prav tako beleži s časovnim korakom 20 minut. Ti podatki bodo pri analizi dinamike spiranja NO₃-N v veliki meri pripomogli k identifikaciji virov NO₃-N oziroma na splošno vode v vodotoku (površinsko spiranje, izcejanje iz globljih delov).



Slika 22 – Senzorji za merjenje vsebnosti vlage v tleh pred zasutjem profila (levo) in zapisovalnik podatkov s senzorjev (desno).

Zvezne meritve hidrometeoroloških razmer in kemizma vode (nitrat, amonij) z relativno kratkim časovnim korakom so se izvajale že v letih 2006 in 2007 na območju gozdnatega območja vodotoka Padež, za katerega je značilna hitra odzivnost na padavinske dogodke. Na podlagi hidrogramov, posnetih v času izvajanja meritev so bile zaznane močne povezave med hidrološkimi in biogeokemičnimi kontrolnimi mehanizmi (Rusjan et al., 2008). Ugotovitve, izhajajoče iz merjenih podatkov in njihovih analiz, so pokazale, da je vloga posebnih hidroloških dogodkov (različna intenziteta in količina padavin, trajanje padavin ipd.) zelo pomembna za napovedovanje koncentracij spiranja hranil s porečja, vendar pa se njihova količina lahko bistveno spreminja glede na podnebne, pedološke in vegetacijske dejavnike v porečju (Rusjan et al., 2008; Rusjan in Mikoš, 2008). Izmerjeni podatki imajo veliko vrednost pri izračunih masnih bilanc hranil. V obeh letih meritev se je izkazalo, da je bilo v porečje z atmosfersko depozicijo vnesena večja količina raztopljenega anorganskega dušika, kot se ga je iz porečja spralo (Rusjan in Vidmar, 2017). Še več informacij pa je

razkrila mesečna obravnava podatkov, ki je pokazala, da porečje v zimskih in zgodnjih spomladanskih mesecih deluje kot vir dušika, medtem ko preostali del leta igra vlogo ponora (Rusjan in Vidmar, 2017).

Porečje Ljubljaniče lahko zaradi obsežnih kraških sistemov opredelimo kot hidrogeološko nehomogeno. Sledenje in vrednotenje poti vodnega tok vzdolž porečja predstavlja zato zelo kompleksno nalogo. Vendar pa so se v preteklih nekaj desetletjih tudi na področju hidrologije začeli uporabljati podatki stabilnih izotopov (predvsem kisika in vodika), ki so naravno prisotni v vodi, da bi pomagali odgovoriti na vprašanja kam se steka voda po padavinskih dogodkih in kako pride do vodotokov. Na območju celotnega porečja Ljubljaniče, ki meri približno 1880 km², smo tako med majem 2016 in majem 2018 spremljali vsebnost izotopov kisika in vodika ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) v padavinskih vzorcih in vzorcih, zajetih v ponorih, jezerih in izviri. Padavine smo vzorčili na 7 lokacijah, medtem ko smo za zajem površinskih voda določili 14 lokacij na celotnem porečju (Rusjan et al., 2019). V vzorcih so bile poleg koncentracij izotopov izmerjene tudi druge fizikalno-kemijske lastnosti: temperatura, pH, elektro prevodnost. Vzorce smo analizirali enkrat mesečno, pri čemer so bili padavinski vzorci kumulativni (celotne padavine enega meseca so bile zbrane v posodi, shranjeni v temnem in hladnem prostoru), vzorce površinskih vod pa smo zajeli enkrat na mesec v različnih hidroloških razmerah (visoki pretoki, nizki pretoki). Izmerjene podatke smo dopolnili s podatki o pretokih in padavinah z merskih postaj Agencije za okolje RS.

Simulacija hidroloških procesov s pomočjo hidroloških modelov ima dolgo zgodovino in pester razvoj. Relativno velika odstopanja med rezultati simulacije in meritvami so še vedno izziv številnim raziskovalcem in so v večji meri posledica pomanjkanja znanja. Vzroki za odstopanja so različni od pomanjkanja podatkov, napak pri meritvah vhodnih in izhodnih spremenljivk do strukture modela in določanja njegovih parametrov. Zaradi nelinearnih enačb in številnih parametrov je postopek umerjanja modela zelo pomemben. Kakovost umerjanja ocenjujemo s sintetičnimi rezultati. Rezultat računa z znanimi parametri upoštevamo kot osnovo za umerjanje. Zadnje čase je vse bolj popularen postopek pri kateri iščemo inverzne rešitve enačb determinističnega konceptualnega modela s pomočjo Gaussu-Marquardt-Levenbergu (GLM) transformacije z uporabo singularnega razcepa in Tihonovo regularizacijo. Program PEST, ki se je uveljavil pri umerjanju parametrov modela podtalnice, smo uporabili za umerjanje modela HBV-light in dobili skoraj popolno skladanje med računi in meritvami (preglednica 1).

Preglednica 1 – Primer rezultatov učinkovitosti modela

Učinkovitost modela	Računski šum	GLM	GAP
Determinacijski koeficient	0.99999986	0.99999985	0.98427475
NSE	0.99999986	0.99999985	0.98003139
Kling-Gupta	0.99999026	0.99998011	0.93638967
Učinkovitost za log(Q)	0.99999888	0.99999887	0.94828924
Pretočno utežena učinkovitost	0.99999997	0.99999996	0.98843674
Povprečna razlika	0.00282528	0.00382001	18.47635686
Učinkovitost za konice	0.99999998	0.99999997	0.98586698
Napaka v volumnu	0.99999044	0.99998708	0.93748858

Literatura

- Bezak, N., Mikoš, M., Šraj, M. (2014b). Trivariate Frequency Analyses of Peak Discharge, Hydrograph Volume and Suspended Sediment Concentration Data Using Copulas, *Water Resources Management*, 28, 2195–2212.
- Bezak, N., Grigillo, D., Urbančič, T., Mikoš, M., Petrovič, D., Rusjan, S. 2017a. Geomorphic response detection and quantification in a steep forested torrent. *Geomorphology*, 291, 33-44.
- Bezak, N., Rusjan, S., Kramar Fijavž, M., Mikoš, M., Šraj, M. 2017b. Estimation of Suspended Sediment Loads Using Copula Functions. *Water*, 9, 628.
- Bezak, N., Šraj, M., Rusjan, S., Kogoj, M., Vidmar, A., Sečnik, M., Brilly, M., Mikoš, M. 2013. Primerjava dveh sosednjih eksperimentalnih hudourniških porečij: Kuzlovec in Mačkov graben. *Acta hydrotechnica*, 26(45), 85-97.
Dostopno na: http://ksh.fgg.uni-lj.si/KSH/acta_articles/a26nb.htm
- Brilly, M., Globevnik, L. 2003. Sustainable water resources management in the Dragonja catchment, Slovenia, *Water resources systems-hydrological risk, management and development : proceedings of an international symposium. The XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Sapporo, Japan*, 334-340.
- Brilly, M., Mikoš, M., Petkovšek, G., Šraj, M., Kogovšek, J., Drobne, D., Štraus, L. 2002. The experimental monitoring of the water regime in the Reka river, *Acta carsologica*, 31(1), 65–74.
- Brilly, M., Rusjan, S., Vidmar, A. 2006. Monitoring the impact of urbanisation on the Glinscica stream. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 31(17), 1089–1096.
- Brilly, M., Toman, M.J., Rusjan, S. 2004. Monitoring the impacts of urbanisation on the ecological state of river water bodies in the Gradascica catchment. *Progress in surface and subsurface water studies at the plot and small basin scale: 10th Conference of the Euromediterranean network of experimental and representative basin (ERB) Turin, Italy*, 41-52.
- Ciaccioni, A., Bezak, N., Rusjan, S. 2016. Analysis of rainfall erosivity using disdrometer data at two stations in central Slovenia. *Acta hydrotechnica*, 29(51), 89-101. Dostopno na: http://ksh.fgg.uni-lj.si/KSH/acta_articles/a29ac.htm
- Rusjan, S., Brilly, M., Mikoš, M. 2008. Flushing of nitrate from a forested watershed: An insight into hydrological nitrate mobilization mechanisms through seasonal high-frequency stream nitrate dynamics. *Journal of hydrology* 354 (1-4): 187-202.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.03.009>
- Rusjan, S., Mikoš, M. 2008. Assessment of hydrological and seasonal controls over the nitrate flushing from a forested watershed using a data mining technique. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 12: 645-656. <https://doi.org/10.5194/hess-12-645-2008>
- Rusjan, S., Vidmar, A. 2017. The role of seasonal and hydrological conditions in regulating dissolved inorganic nitrogen budgets in a forested catchment in SW Slovenia. *Sci Total Environ* 575: 1109-1118. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.09.178
- Rusjan, S., Sapač, K., Petrič, M., Lojen, S., Bezak, N. 2019. Identifying the hydrological behavior of a complex karst system using stable isotopes. *Journal of hydrology* 577: 123956.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.123956>
- Šraj, M. 2004. Določanje indeksa listne površine listnatega gozda na povodju Dragonje. Del 2, Rezultati in diskusija. Part 2, Results and discussion. *Acta hydrotechnica* 22, 36, 1-15. Dostopno na: <ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a36ms.pdf>
- Šraj, M., Brilly, M., Mikoš, M. 2008a. Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia. *Agricultural and forest meteorology* 148, 1, 121-134.
- Šraj, M., Lah, A., Brilly, M. 2008b. Meritve in analiza prestreženih padavin navadne breze (*Betula pendula* Roth.) in rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.) v urbanem okolju. *Gozdarski vestnik* 66, 9, 406-416.
- Šraj, M. 2009. Prestrežne padavine : meritve in analiza. *Geografski vestnik* 81, 1, 99-111.
- Šraj, M., Bezak, N., Brilly, M. 2015. Bivariate flood frequency analysis using the copula function: A case study of the Litija station on the Sava River, *Hydrological Processes* 29(2), 225-238.
- Šraj, M., Bezak, N., Rusjan, S., Mikoš, M. 2016. Review of hydrological studies contributing to the advancement of hydrological sciences in Slovenia. *Acta hydrotechnica*, 29(50), 47-71. Dostopno na: http://ksh.fgg.uni-lj.si/KSH/acta_articles/a29ms.htm

- Zabret, K., Rakovec, J., Mikoš, M., Šraj, M. 2017. Influence of raindrop size distribution on throughfall dynamics under pine and birch trees at the rainfall event level. *Atmosphere* 12, 8, 1-15.
- Zabret, K., Šraj, M. 2018a. Spatial variability of throughfall under single birch and pine tree canopies. *Acta hydrotechnica* 31, 54, 1-20. Dostopno na: http://ksh.fgg.uni-lj.si/KSH/acta_articles/a31kz.htm
- Zabret, K., Rakovec, J., Šraj, M. 2018b. Influence of meteorological variables on rainfall partitioning for deciduous and coniferous tree species in urban area. *Journal of Hydrology* 558, 29-41.
- Zabret, K., Šraj, M. 2019a. Rainfall interception by urban trees and their impact on potential surface runoff. *Clean - soil, air, water* 47, 8, 1-8.
- Zabret, K., Šraj, M. 2019b. Evaluating the influence of rain event characteristics on rainfall interception by urban trees using multiple correspondence analysis. *Water* 11, 12, 2659, 1-13.