

# OCENJEVANJE REFERENČNIH PRETOKOV

**dr. Katarina Zabret**, Inštitut za vode RS, Einspielerjeva 6, 1000 Ljubljana; Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo UL, Jamova 2, 1000 Ljubljana

**mag. Jana Meljo**, Direkcija RS za vode, Mariborska cesta 88, 3000 Celje

**dr. Leon Gosar**, Direkcija RS za vode, Mariborska cesta 88, 3000 Celje

**dr. Sašo Šantl**, Inštitut za vode RS, Einspielerjeva 6, 1000 Ljubljana

Referenčno hidrološko stanje opisuje naravno hidrološko stanje, kakršno bi bilo brez odvzemov vode za rabo v zaledju. Merjene vrednosti pretokov, ki jih v okviru hidrološkega monitoringa spremlja ARSO, podajajo informacijo o količini preostale vode v vodotoku in ne o celotni količini vode, ki bi bila razpoložljiva brez odvzemov. Podatki o količinah in dinamiki odvzemov vode pa so zaradi pomanjkanja meritev nezanesljivi. Poleg nezanesljivosti podatkov o količini odvzete vode, je ocenjevanje referenčnega hidrološkega stanja podvrženo še ostalim negotovostim, kot so na primer interakcija med površinsko in podzemno vodo ter nedovoljeni odvzemi. Za potrebe ocene referenčnih pretokov smo tako izvedli podrobne simulacije referenčnega hidrološkega stanja za 56 izbranih točk na vodnih telesih površinskih voda. Rezultate smo z uporabo statističnih metod posplošili za ostala vodna telesa s prispevno površino nad 10 km<sup>2</sup>. Z razvojem metodologije ocenjevanja referenčnega hidrološkega stanja smo podali posplošene ocene naravnih pretokov z natančnostjo, ki jo trenutno omogočajo dostopni podatki, omejeno poznavanje naravnih procesov ter ocenjevanje na tako velikem območju.

## Uvod

Pretoki in količine vode v rekah in potokih so zelo dinamični, ob obilnejših padavinah povzročajo poplave, po daljšem obdobju brez padavin pa manjši vodotoki lahko celo presahnejo. Poznavanje količine vode je zelo pomembno za različna področja upravljanja z vodami, od zagotavljanja vodnih virov, načrtovanja rabe vode, ohranjanja habitatov in ekosistemov, do varovanja pred škodljivim delovanjem voda. Za trajnostno upravljanje z vodnimi viri je zato pomembna informacija o dejansko razpoložljivih količinah vode, ki jih podaja referenčno hidrološko stanje. Ocenjevanja naravnih pretokov smo se na IzVRS lotili v okviru naloge iSPOR - Razvoj sistema za podporo odločanju o rabi površinskih voda, katere naročnik je Direkcija Republike Slovenije za vode.

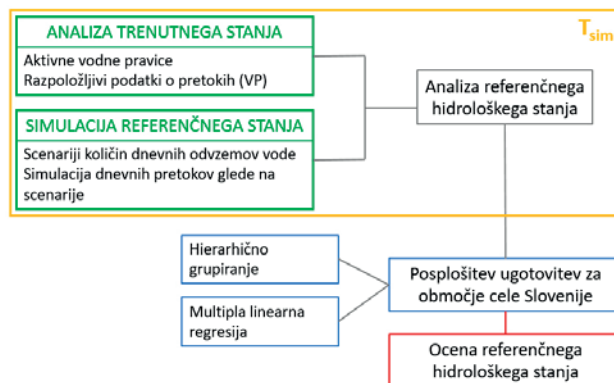
## Ocenjevanje referenčnega hidrološkega stanja

Referenčno hidrološko stanje opisuje naravno hidrološko stanje, kakršno bi bilo brez človekovih posegov vanj. Ti posegi se najbolj odražajo skozi rabo vode. Referenčni pretoki so torej pretoki, ki bi bili v vodotoku prisotni brez nepovratnih odvzemov vode za rabo v zaledju. Merjene vrednosti pretokov, ki jih v okviru hidrološkega monitoringa spremlja ARSO, so v večini primerov znižane za količino odvzete vode v zaledju točke meritve oziroma vodomerne postaje. Tako izmerjeni pretoki torej podajajo informacijo o količini preostale vode v vodotoku in ne o celotni količini vode, ki bi bila razpoložljiva brez odvzemov. Podatki o količinah in dinamiki odvzemov vode so zaradi nezadostnih meritev pomanjkljivi in nezanesljivi. Do informativnih podatkov o dovoljenem obsegu rabe vode lahko dostopamo v Vodni knjigi, do podatkov o poročenih količinah o rabi vode pa v evidenci vodnih povračilih (zavezancev za poročanje je približno 10 % vseh imetnikov vodnih pravic).

Poleg nezanesljivosti podatkov o količini odvzete vode, je ocenjevanje referenčnega hidrološkega stanja podvrženo še ostalim negotovostim, kot so na primer interakcija med površinsko in podzemno vodo, nedovoljeni odvzemi, specifičnosti posameznih primerov odvzemov, vprašanje vplivnega radija odvzema in obsega vračanja vode v naravno okolje. Z razvojem metodologije ocenjevanja referenčnega hidrološkega stanja smo podali posplošene ocene pričakovanih pretokov z natančnostjo, ki jo trenutno omogočajo dostopni podatki, omejeno poznavanje določenih naravnih procesov ter ocenjevanje na tako velikem območju.

Ocenjevanje referenčnega hidrološkega stanja je potekalo v dveh sklopih (Slika 1): simulacije referenčnega hidrološkega stanja za izbrane primere, imenovane točke simulacije ( $T_{sim}$ ) in posplošitev rezultatov za vsa vodna telesa površinskih voda (VTPV).  $T_{sim}$  se nahajajo v točkah vodomernih postaj (VP). Izbrane so bile tako, da zanje velja, da so nizi meritev pretokov dovolj dolgi (vsaj 10 let), da se nahajajo na vodotokih z različno velikimi prispevnimi površinami in različnimi velikostnimi razredi pretokov, da so približno enakomerno razporejene po mreži vodotokov ter imajo različno izražene potrebe po rabi vode v zaledju (Slika 2). Za te točke smo ocenili faktor vpliva referenčnega hidrološkega stanja ( $fR$ ), ki podaja informacijo o razliki med merjeno in ocenjeno vrednostjo karakterističnega pretoka. Kot karakteristične pretoke smo v razvoju metodologije upoštevali srednje obdobjne pretoke ( $sQs$ ) in srednje obdobjne male pretoke ( $sQnp$ ). Vrednosti  $fR$ , ocenjene s simulaci-

jami, smo z aplikacijo hierarhičnega grupiranja in multiple linearne regresije prenesli v najbolj dolvodne točke VTPV ter v določene dodatne točke, umeščene na sotočja in daljše linije vodnih teles (Slika 5).



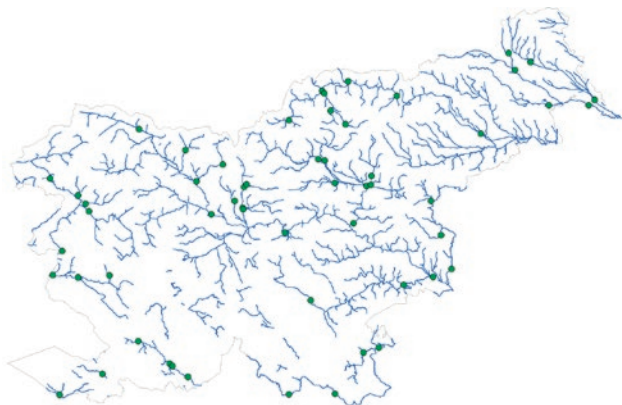
Slika 1: Koraki vzpostavitve metodologije ocenjevanja referenčnega hidrološkega stanja

## Simulacije referenčnega hidrološkega stanja

Referenčno hidrološko stanje opisuje naravno prisotne razmere, kakršne bi lahko bile brez antropološkega vpliva. Glede na to bi ga teoretično lahko ocenili na dva načina. Prvi izhaja iz tega, da razpolagamo s podatki o referenčnem stanju za nekaj primerov, ki jih upoštevamo kot robni pogoj pri prenosu na večje področje. Med tem ko v drugem primeru takih podatkov nimamo in posledično izhajamo iz opazovanega ne-referenčnega stanja, ki ga za potrebe analize korigiramo. Izmed 177 obravnavanih VP s trajanjem meritev vsaj 10 let sta bili le dve VP takšni, da na pripadajoči prispevni površini ni bilo podeljene nobene vodne pravice za rabo vode iz izvira ali iz površinskih virov vode, torej da z rabo vode meritve na VP niso obremenjene. Glede na to lahko pri ocenjevanju referenčnega hidrološkega stanja izhajamo le iz obstoječih podatkov, ki rabo vode vključujejo. Tako smo upoštevali inverzni pristop in naravno stanje ocenjevali z izvedbo simulacij ob upoštevanju merjenih podatkov in podatkov o dovoljenih količinah vode za rabo.

Simulacije referenčnega hidrološkega stanja smo izvedli za 56 izbranih  $T_{sim}$ , ki sovpadajo z lokacijami vodomernih postaj (Slika 2). Za vsako točko smo pripravili poligon prispevne površine in v programskem okolju GIS izvedli presek med sloji vodnih pravic (eVode, 2021) in poligonom prispevne površine izbrane točke. Upoštevali smo nepovratne odvzeme vode iz površinskih vodnih virov in izvirov ter sešteli količine, dovoljene za odzem

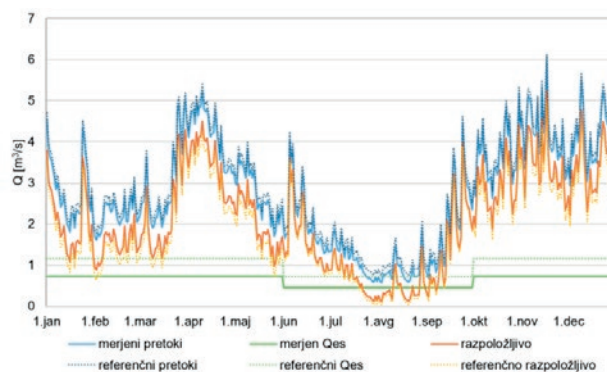
v obdobju enega leta. Ločeno smo obravnavali odvzeme za potrebe namakanja in zasneževanja, saj ti dejavnosti ne potekata celo leto. Tako smo za vsak primer ocenili tri količine odvzemov vode v zaledju: odzem v obdobju namakanja, odzem v obdobju zasneževanja in osnovni odzem, ki vključuje vse preostale vrste rabe vode.



Slika 2: Točke, v katerih smo izvedli simulacijo referenčnega hidrološkega stanja

Pomembno vlogo pri ocenjevanju referenčnega hidrološkega stanja igra tudi interakcija med površinskimi in podzemnimi vodami. S črpanjem podzemne vode iz vrtine se ustvari vpliv na vodonosnik, ki se pri daljšem črpanju odraža z zmanjšanimi dotoki podzemne vode v vodotok ali povečanimi dotoki v vodonosnik, kar se odraža v zmanjšanem pretoku vodotoka. Pri pripravi scenarijev in simulacij smo upoštevali ocene vplivov odvzemov podzemne vode na pretoke vodotokov, ki so jih posebej za obravnavane primere pripravili na GeoZS (Janža in sod., 2020). Za vsako izbrano območje so vzpostavili konceptualne modele ter za vsak primer odvzema na območju določili vpliv, ki ga ima črpanje na zmanjšanje pretoka. Pri tem so upoštevali, da delež odvzema na izviru 100 % vpliva na zmanjšanje pretoka v vodotoku.

Merjene dnevne vrednosti pretokov v Tsim smo pridobili iz Hidrološkega arhiva (ARSO, 2021) in jih razporedili v matriko, pri čemer je posamezen stolpec podajal podatke za eno leto. Merjenim vrednostim pretokov smo prišteli ocenjene vrednosti dnevni odvzemov vode v zaledju, pri čemer smo upoštevali posamezno identificirano obdobje. V primeru, da je bilo določenih več različnih scenarijev potencialnih odvzemov, smo simulacije izvedli za vsak scenarij. Umetno poustvarjene dnevne referenčne pretoke smo prikazali s statističnimi hidrogrami in krivuljami trajanja (Slika 3). Ocenjene vrednosti smo uporabili za izračun referenčnih karakterističnih vrednosti pretokov in referenčne vrednosti ekološko sprejemljivega pretoka pri različnih vrstah rabe v obravnavani točki.



Slika 3: Rezultat simulacije, prikazan na referenčnem hidrogramu za primer VP Ajdovščina na Hublju

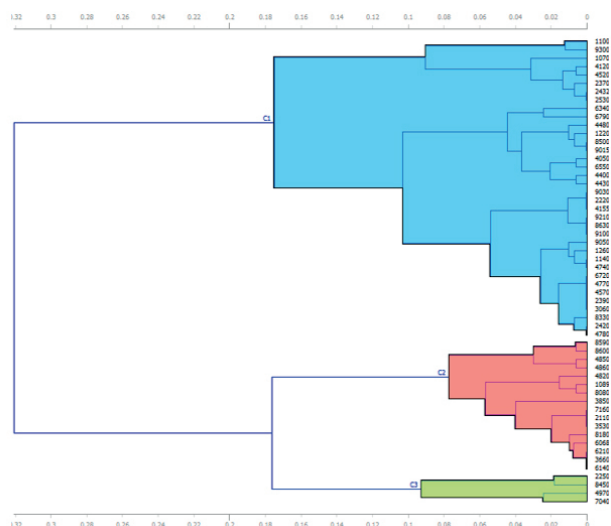
Rezultat podrobne simulacije referenčnega hidrološkega stanja, kot je na primer prikazan na sliki 3, kaže, zakaj je poznavanje referenčnih hidroloških razmer pomembno. V primeru, da nepovratnih odvzemov za rabo vode v zaledju ne upoštevamo, je izračunana vrednost  $Q_{es}$  nižja, kot bi bila ob upoštevanju naravnega hidrološkega stanja (zeleni črti na sliki 3). Karakteristične vrednosti pretokov računamo ob upoštevanju daljšega niza meritev (priporočljivo je obdobje 30 let). Tako bi se teoretično lahko zgodilo, da v tem obdobju vodotok obremenimo z dodatnim večjim nepovratnim odvzemom, kar bi se odražalo tudi v izmerjenih vrednostih pretokov. Ob upoštevanju novejših merjenih vrednosti, bi bil novo zračunan  $Q_{es}$  nižji, kot je bil ob upoštevanju merjenih podatkov pred izvajanjem novega odvzema.

## Posplošitev rezultatov za območje cele Slovenije

Vrednosti faktorjev vpliva referenčnega hidrološkega stanja smo s podrobnimi simulacijami določili v 56 točkah po Sloveniji. Ti podatki predstavljajo osnovne vhodne vrednosti, ki smo jih posplošili za vsa vodna telesa. Pristop s simulacijami je namreč mogoč le v točkah, kjer so na voljo dnevni merjeni podatki o pretokih, določitev scenarijev rabe vode pa je zamudna in zahtevna. Za posplošitev rezultatov smo v pripravi izhodišč metodologije uporabili pristop s hierarhičnim grupiranjem (Šantl in sod., 2020) in multiplo linearno regresijo (Zabret in sod., 2021).

Prvi pristop posplošitve rezultatov simulacij je temeljil na uporabi hierarhičnega grupiranja. V skupine smo razvrščali tako točke, v katerih so bile izvedene simulacije in že ocenjene referenčne vrednosti pretokov ter tudi točke, v katerih želimo referenčne vrednosti še oceniti. Za vse te točke smo s preseki poligonov prispevnih površin

in različnimi drugimi podatkovnimi sloji dobili podatke o zaledju. Upoštevali smo velikost zaledja, rabo tal, hidrogeološke enote in rabo vode. Točke smo s hierarhičnim grupiranjem ob upoštevanju lastnosti zaledja razvrstili v tri skupine (Slika 4). V vsaki skupini so bile tako točke z že ocenjeno referenčno vrednostjo kot tudi točke, kjer jo je bilo potrebno še oceniti. V teh točkah smo vrednosti pretokov (sQs in sQnp) korigirali glede na faktor vpliva referenčnega hidrološkega stanja, ocenjenega v Tsim.

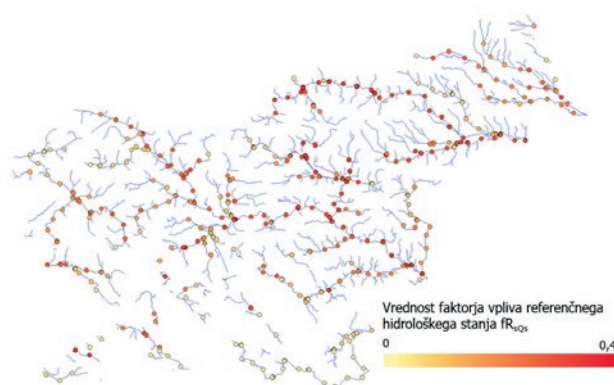


Slika 4: Rezultat hierarhičnega grupiranja razvrščanja točk v skupine glede na lastnosti zaledja

Z razvrščanjem smo večino točk uvrstili v eno skupino, med tem ko sta bili ostali dve skupini relativno majhni (Slika 4). Takšen rezultat kaže na to, da za večino točk veljajo podobne zakonitosti pri ocenjevanju referenčnega hidrološkega stanja in da lahko v tem primeru tega ocenimo na bolj preprost način. Na podlagi te ugotovitve smo preverili možnost posplošitve rezultatov z multiplo linearno regresijo. Linearna regresijska analiza je statistična metoda, ki z ustreznim regresijskim modelom opisuje odvisnost med eno ali več neodvisnimi spremenljivkami in odvisno spremenljivko (Brilly in Šraj, 2005).

Za ciljno spremenljivko, ki jo z modelom želimo napovedati, smo izbrali faktorja vpliva referenčnega hidrološkega stanja za sQs in sQnp. Pri določitvi neodvisnih spremenljivk pa smo izhajali iz nabora atributnih podatkov, ki smo ga že pripravili za potrebe hierarhičnega grupiranja in so opisovali velikost prispevne površine, rabo tal, geološke lastnosti in rabo vode v zaledju. Uporabili smo različne kombinacije neodvisnih spremenljivk in vzpostavili pet modelov multiple linearne regresije, njihovo učinkovitost pa smo ocenjevali s koeficientom korelacije (Brvar, 2007). Po posameznih korakih se je razmerje med količino odvzete

vode za nepovratno rabo vode iz površinskih vodnih virov in izvirov ter karakterističnim pretokom izkazalo kot najpomembnejša vrednost, ki določa stopnjo faktorja vpliva referenčnega hidrološkega stanja. V primeru, da za linearno regresijo uporabimo le ta podatek, lahko ciljno vrednost  $fR_{sQs}$  napovemo z vrednostjo koeficienta korelacije 0,997, ciljno vrednost  $fR_{sQnp}$  pa z vrednostjo koeficienta korelacije enako 0,984. Z uporabo tako oblikovane regresijske enačbe smo ocenili vrednosti faktorjev vpliva v 500 točkah na vodotokih s prispevno površino nad 10 km<sup>2</sup> (Slika 5).



Slika 5: Ocenjene vrednosti faktorja vpliva referenčnega hidrološkega stanja za srednji obdobjni pretok (sQs) v izbranih točkah

## Zaključki

Za ocenjevanje referenčnega hidrološkega stanja na območju cele Slovenije smo na podlagi izvedenih simulacij in razpoložljivih podatkov vzpostavili dve regresijski enačbi. Z uporabo teh enačb lahko ocenimo referenčne vrednosti karakterističnih pretokov v izbrani točki ob poznavanju vrednosti karakterističnih pretokov in predvidenih količin odvzemov v zaledju točke. Glavna vhodna podatka, ki omogočata določitev faktorjev vpliva referenčnega hidrološkega stanja, sta vrednost sQs oziroma sQnp v obravnavani točki ter podatek o količini nepovratnega odvzema iz površinskih virov in izvirov v zaledju točke. Vrednost karakterističnega pretoka v izbrani točki lahko z določeno zanesljivostjo ocenimo po metodi za ocenjevanje merodajnih pretokov v izbrani točki. Količino odvzema pa na nivoju cele države najlaže določimo glede na podatke iz Vodne knjige.

## Viri

- ARSO. 2021. Arhiv površinskih voda. Dostopno na: [http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov\\_arhiv\\_tab.php](http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php) (Pridobljeno marec 2021)
- Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, UL FGG, 309 str.
- Brvar, B. 2007. Statistika. Ljubljana, Fakulteta za varnostne vede: 352 str.
- eVode. 2021. Vodna knjiga. Dostopno na: <http://www.evode.gov.si/index.php?id=59> (Pridobljeno 29. 1. 2021)
- Janža, M., Šram, D., Meglič, P., Koren, K., Adrinek, S. 2020. Razvoj sistem za podporo odločanju o rabi podzemnih voda – letno poročilo 2020. Ljubljana, GeoZS, 63 str.
- Šantl, S., Zabret, K., Rojnik, A., Javornik, L., Rozman, D. 2020. Razvoj izhodišč sistema za podporo odločanju o rabi voda. Končno poročilo. Ljubljana, IzVRS, 60 str.
- Zabret, K., Rojnik, A., Javornik, L., Aubreht, A., Šantl, S. 2021. Razvoj metodologije sistema za podporo odločanju o rabi površinskih voda. Ljubljana, IzVRS, 60 str.