

UDK/UDC: 556.3(497.4)Vipavska dolina)

Prejeto/Received: 21.08.2020

Izvirni znanstveni članek – Original scientific paper

Sprejeto/Accepted: 08.10.2020

## ANALIZA GLADIN PODZEMNE VODE V PIEZOMETRIH V VIPAVSKI DOLINI

### ANALYSIS OF GROUNDWATER LEVELS IN PIEZOMETERS IN THE VIPAVA VALLEY

Mateja Jelovčan<sup>1</sup>, Mojca Šraj<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva 12, Ljubljana, Slovenija

<sup>2</sup> Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Jamova 2, Ljubljana, Slovenija

#### Izvleček

Vipavska dolina je svojevrstna pokrajina v jugozahodni Sloveniji. Poleg površinskih voda so, čeprav očem skrite, pomembne tudi podzemne vode. Prispevek predstavlja analizo gladin podzemne vode v piezometrih v Vipavski dolini. Analiza je bila izvedena na 10 piezometrih, ki delujejo še danes, in obsega prikaz nivogramov in osnovnih statistik, korelacij, vpliva oddaljenosti od struge reke Vipave, trendov in sezonskosti. Glede na višino kot gladin podzemne vode lahko piezometre v Vipavski dolini razdelimo v tri skupine. V prvo skupino z najvišjimi kotami spadajo piezometri Gradišče, Vipavski Križ in Ajdovščina, v drugo skupino piezometri Prvačina, Šempeter, Volčja Draga, Renče in Vrtojba, v tretjo skupino pa piezometra z najnižjimi kotami Miren in Orehovlje. Rezultati analiz so pokazali, da med gladinami podzemne vode v posameznih piezometrih ter med gladinami podzemne vode in gladino reke Vipave na različnih vodomernih postajah obstajajo boljše ali slabše povezave. Nihanje gladine podzemne vode je pogojeno z oddaljenostjo od struge reke Vipave in z geološko oziroma tektonsko zgradbo območja. Enoznačnega trenda gladin podzemne vode ni mogoče določiti. Sezonskost nihanja gladin podzemne vode ni izrazita, se pa najvišje vrednosti pojavljajo v jesenskem in zimskem času, najnižje pa v poletnem.

**Ključne besede:** Vipavska dolina, piezometri, gladina podzemne vode, statistična analiza.

#### Abstract

The Vipava Valley is a unique region in south-western Slovenia. In addition to surface water, groundwater is also important, although it is hidden from the eye. The paper presents an analysis of groundwater levels in piezometers in the Vipava Valley. The analysis was performed on 10 piezometers, which are still operating today, and includes a display of levels and basic statistics, correlations, the impact of distance from the Vipava riverbed, trends, and seasonality. According to the groundwater level, piezometers in the Vipava Valley can be divided into three groups. The first group with the highest levels includes piezometers Gradišče, Vipavski Križ, and Ajdovščina, the second group piezometers Prvačina, Šempeter, Volčja Draga, Renče, and Vrtojba, and the third group with the lowest groundwater levels includes the piezometers Miren and Orehovlje. The

<sup>1</sup> Stik / Correspondence: [mateja.jelovcan@geo.ntf.uni-lj.si](mailto:mateja.jelovcan@geo.ntf.uni-lj.si)

© Jelovčan M., Šraj M.; Vsebina tega članka se sme uporabljati v skladu s pogoji [licence Creative Commons Priznanje avtorstva – Nekomercialno – Deljenje pod enakimi pogoji 4.0](#).

© Jelovčan M., Šraj M.; This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution – NonCommercial – ShareAlike 4.0 Licence](#).

<https://doi.org/10.15292/acta.hydro.2020.05>

results of the analyses showed good or bad connections between groundwater levels in piezometers, as well as between groundwater levels and the Vipava River water level at various gauging stations. The fluctuation of the groundwater level is conditioned by the distance from the Vipava riverbed and the area's geological or tectonic structure. An unambiguous trend of groundwater levels cannot be determined. The seasonality of groundwater level fluctuations is not pronounced, but the highest values of groundwater levels occur in autumn and winter, and the lowest in summer.

**Keywords:** Vipava Valley, piezometers, groundwater level, statistical analysis.

## 1. Uvod

Poleg površinskih voda, ki jih predstavlja reka Vipava s svojimi pritoki, pomemben del vodnega kroga Vipavske doline predstavljajo podzemne vode. Začetki raziskav podzemnih voda sovpadajo s pričetkom meritev gladin podzemne vode v Vipavski dolini in segajo v leto 1957. Kljub razmeroma dolgemu obdobju meritev ostaja na področju podzemne vode še mnogo neznank (Trišič, 1987; Brenčič, 2013). Malo je znanega tudi o zatekanju vod reke Vipave v vodonosnik Krasa v spodnjem delu Vipavske doline. Na tem območju (južno od Orehovlja, pri Vrtočah) je bil sicer v začetku 20. stoletja opravljen sledilni poizkus, ki je potrdil povezavo z Doberdobskim jezerom ter izvirooma Moščenice in Timave (Forti, 1990). Povezavo z reko Timavo pa omenja že Pietro Imperati, ki je že leta 1599 opravil ene prvih sledilnih poskusov na kraškem območju med Slovenijo in Italijo (Tavagnutti, 2011).

Bolj pa so raziskani kraški izviri Vipave na severnem robu Vipavske doline in njihovo napajalno zaledje. Tako se je na primer z ugotavljanjem značilnosti odnosa med napajanjem in praznjenjem kraškega vodonosnika v zaledju izvirov Vipave in z njegovim delovanjem ukvarjala Petrič (2000). Hidrogeološko zvezo in medsebojni vpliv med izviri Vipave in potokom Bela so preučevali Baker et al. (2001). S pomočjo sledilnega poizkusa so povezavo potrdili. Pavlič in Brenčič (2011) sta statistično obdelovala pretoke izvirov Vipave, da bi ugotovila značilnosti odtoka na območju kraško razpoklinskih vodonosnikov. Ugotovila sta, da nizke vode predstavljajo bolj predvidljivo in stabilno hidrološko situacijo kot visoke vode. V primeru slednjih imajo izviri Vipave poseben in nepredvidljiv hidrološki režim. S kraškimi izviri Vipave in njihovim zaledjem se je

ukvarjal tudi Habič (1982). Ugotavljal je hidrološke in fizikalno-kemične lastnosti izvirov, kraško hidrografsko zaledje Vipave in ogroženost ter zaščito izvirov. Ugotovil je, da so izviri razmeroma ugoden vodni vir, katerega zaledje je mogoče uspešno varovati.

Z analizami oziroma monitoringom količinskega stanja podzemne vode se v Sloveniji ukvarja Agencija Republike Slovenije za okolje (npr. Andjelov et al., 2015). Poleg tega pa raziskovalci izvajajo tudi druge raziskave podzemne vode. Tako so npr. Petrič et al. (2020) ustvarili bazo podatkov, v kateri so zbrane glavne informacije že opravljenih sledilnih poizkusov na slovenskem krasu; Serianz et al. (2020) so analizirali fizikalno-kemijske parametre podzemne vode ter glavne ione, ki se pojavljajo v slovenskih vodonosnikih; Urbanc in Jamnik (2002) sta opravljala izotopske raziskave vodnih virov na Ljubljanskem barju; z analizo suše podzemne vode na Dravsko-Ptujskem polju sta se ukvarjala Adrinek in Brenčič (2019); Cerar in Mali (2016) pa sta preučevali prisotnost, izvor in sezonske spremembe organskih onesnaževal v podzemni vodi.

Namen raziskave je predstavitev in analiza nihanja gladin podzemne vode v delujočih piezometrih v Vipavski dolini na podlagi razpoložljivih podatkov o kotah gladin podzemne vode dolgoletnih meritev. Analiza vključuje pregled nivogramov in predstavitev osnovnih statistik, prikaz korelacij in vpliva oddaljenosti piezometrov od reke Vipave ter trendov in sezonskosti.

## 2. Podatki in metode

### 2.1 Obravnavano območje

Vipavska dolina je velika in heterogena pokrajina, ki se razteza v smeri vzhod–zahod v dolžini okrog 40 km. Razteza se od povirja Močilnika pod Razdrtim do Goriške ravnine ob reki Soči. Po površini meri 310 km<sup>2</sup> in ima povprečno nadmorsko višino 216 m (Kladnik, 2013).

Z geološkega vidika je Vipavska dolina nagubana vdolbina, nastala v eocenskih flišnih kamninah. Dolina na severu meji na mezozojske karbonatne kamnine Trnovskega gozda, na jugu pa na kredne in paleogenske karbonatne kamnine Krasa. Pripada Goriško-Vipavskemu sinklinoriju, ki predstavlja del Jadransko-Dinarske karbonatne platforme (Buser, 1973; Pavšič, 2013).

V Vipavski dolini poteka veliko krajših/lokalnih prelomov in tudi nekaj daljših, večjih prelomov, kot so Raški prelom, Vipavski prelom in Predjamski prelom. Prelomi potekajo vzporedno z osjo doline. Prelomi ustvarjajo ožje in širše prelomne cone, kjer so trše kamnine prelomljene in zdrobljene, mehkejša (flišna) kamnine pa zgetene (Placer, 2008; Pavšič, 2013).

V Vipavski dolini je glavni vodotok reka Vipava, ki ima svoje izvire ob neprepustnem flišnem obrobju vzhodno plastnatega zgornjekrednega apnenca Nanosa. V reko Vipavo odtekajo vode z zelo obsežnega kraškega zaledja. Porečje Vipave meri 760 km<sup>2</sup>, polovica tega območja je flišnega, polovica pa kraškega (Kladnik, 2013). Hidrološko zaledje izvirov reke Vipave predstavlja tudi severno obrobje Postojnske kotline s ponikalnicami (Uhan in Krajnc, 2003). Reka Vipava ima dinarski dežno-snežni režim s spomladanskimi in jesenskimi viški (Bat et al., 2008). Povprečna letna količina padavin v Vipavski dolini je 1500 mm, količina padavin pa se z nadmorsko višino, to je proti severu in vzhodu, hitro povečuje (Kladnik, 2013). Najvišje pretoke ima v času taljenja snega na kraški planoti Nanos in delno Hrušici (Uhan in Krajnc, 2003). Do sotočja s Sočo se v Vipavo izlivajo številni pritoki, ki se med seboj razlikujejo po hidromorfologiji in po količini vode, ki jo prevajajo. Poleg izvirov Vipave sta pomembna in prispevata velik delež vode iz kraškega zaledja predvsem Hubelj in Lijak

(Brenčič, 2013). Poleg površinskih vod pa so v Vipavski dolini pomembne tudi podzemne vode v medzrnskih vodonosnikih, ki jih delimo na štiri območja (Brenčič, 2013). Prvo območje je območje med Podnanosom, Vipavo in Ajdovščino; drugo območje leži v spodnjem toku Vipave, med Dornberkom in Biljami; tretje območje je Vrtojbenko polje, ki leži med vzporednim tokom Soče in Vrtojbi ter reko Vipavo na jugu; četrto območje pa predstavljajo pobočni sedimenti na južnih robovih Trnovsko-Banjške planote in Nanosa (Brenčič, 2013).

### 2.2 Podatki

V okviru raziskave smo z različnimi statističnimi metodami izvedli analize dnevni podatkov gladin podzemne vode v še delujočih piezometrih v Vipavski dolini. Podatki o gladinah podzemne vode so bili pridobljeni iz Arhiva podzemnih voda Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO, 2020a). Gladine podzemne vode so na obravnavanem območju začeli meriti v letu 1957, zadnji dostopni podatki pa segajo v leto 2017. V tem 61-letnem analiziranem obdobju je skupaj v različnih obdobjih delovalo 47 piezometrov. Od tega jih danes deluje le še 10 (slika 1). Največ piezometrov je delovalo v prvih letih od začetka meritev, to je od leta 1957 do leta 1959. Piezometri z najdaljšim obdobjem delovanja, od leta 1957 do 2017, so Ajdovščina (0710), Gradišče (0780), Miren (0330), Prvačina (0670), Renče (0570), Šempeter (0220), Vipavski Križ (0730) in Volčja Draga (0640), poleg teh pa še piezometer Orehovlje (0420), ki deluje od leta 1990, in Vrtojba (0241), ki deluje od leta 2000.

Pri pregledu originalnih podatkov je bilo ugotovljeno, da je v piezometrih Ajdovščina (0710), Šempeter (0220), Renče (0570), Orehovlje (0420) in Miren (0330) približno 1 % odstopajočih minimalnih vrednosti. Te vrednosti dosežejo koto gladine podzemne vode 0 m n. v., zato so bile iz nizov podatkov odstranjene. Vzrok je najverjetneje v nedelujočih merilnikih oz. napaki pri meritvah. Dodatne odstopajoče vrednosti (0,4 %) so bile odstranjene tudi iz nizov podatkov pri piezometrih Ajdovščina (0710) in Miren (0330).

V raziskavi smo uporabili tudi dnevne podatke o vodostajih na vodomernih postajah, ki ležijo vzdolž reke Vipave. Podatke o vodostajih smo pridobili iz Arhiva površinskih voda Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO, 2020b). Z meritvami vodostajev na reki Vipavi so pričeli v letu 1953, zadnji dostopni podatki pa segajo v leto 2018. Uporabljene so bile vodomerne postaje Vipava I in Vipava II, Dolenje, Dornberk, Zalošče ter Miren in Miren I. Za vodomerno postajo Dolenje je bil pri analizah uporabljen 28-letni niz podatkov (1991–2018), za postajo Dornberk 61-letni niz podatkov (1954–2014) in za postajo Zalošče 5-letni niz podatkov (2014–2018). Ker je razdalja med postajama Miren in Miren I majhna, sta bila niza podatkov iz obeh postaj združena v enotni niz, v nadaljevanju poimenovan Miren. Pri analizi smo tako uporabili 66-letni niz podatkov (1953–2018). Prav tako sta bila v enotni niz združena niza podatkov postaj Vipava I in Vipava II, v nadaljevanju poimenovan Vipava. Pri analizi je bil tako uporabljen 60-letni niz podatkov (1959–2018). Lega obravnavanih vodomernih postaj je prikazana na sliki 1.

### 2.3 Metode

Analize podatkov in grafični prikazi so izvedeni z uporabo programskega orodja R (R Core Team, 2018), ki se v zadnjih letih vse pogosteje uporablja tudi za različne hidrološke analize (npr. Omuto in Gumbe, 2009; Šraj et al., 2012; Bezak et al., 2015; Petek et al., 2015; Sapač et al., 2019; Sapač et al., 2020), saj preko različnih paketov nudi širok nabor metod za analize. Analiza podatkov v prispevku vključuje prikaz in opis nivoigramov, osnovnih statistik, korelacij in vpliva oddaljenosti piezometrov od struge reke Vipave, trendov in sezonskosti.

Izračun osnovnih statistik vključuje izračun minimuma, maksimuma, razpona, aritmetične sredine, mediane, števila podatkov, 25. percentila in 75. percentila gladin podzemne vode posameznega piezometra. Poleg aritmetične sredine je bila kot srednja vrednost izračunana tudi mediana, ki ima pred aritmetično sredino to prednost, da nanjo manj vplivajo podatki, ki izredno odstopajo od ostalih podatkov (osamelci) oz. imajo izredno visoke ali

nizke vrednosti. 25. percentil pove, da ima četrtnina podatkov vrednosti manjše ali enake od te vrednosti, 75. percentil pa pove, da ima tri četrtine vseh podatkov vrednosti manjše ali enake oz. da ima četrtnina vseh podatkov vrednosti večje od vrednosti 75. percentila (Zupančič, 2013). Za grafični prikaz osnovnih statistik in porazdelitev podatkov posameznih piezometrov smo izdelali tudi violinske diagrame, ki podobno kot grafi z ročaji prikazujejo 25., 50. in 75. percentil niza podatkov, dodatno pa še funkcijo gostote, ki nam pove, kako so podatki v vzorcu porazdeljeni. S pomočjo Pearsonovega koeficienta korelacije lahko razložimo povezave med gladinami podzemne vode posameznih piezometrov ter gladinami podzemne vode in gladinami reke Vipave. Primerjavo med opazovanimi gladinami podzemne vode posameznih piezometrov smo izvedli z namenom analize dinamike podzemne vode v prostoru.

Vrednosti korelacijskega koeficienta blizu 0 kažejo na šibko povezanost, vrednosti blizu 1 pa na močno povezanost. Visoke vrednosti korelacijskega koeficienta kažejo, da gladine podzemne vode nihajo istočasno in s podobno dinamiko, nizke vrednosti pa, da se dinamika podzemne vode, ki jo beležita piezometra, zelo razlikuje in s tem tudi dinamika v njenem napajalnem zaledju. Primerjavo med piezometri in vodomernimi postajami pa smo izvedli z namenom ugotavljanja vpliva oddaljenosti piezometra od reke Vipave na nihanja gladine podzemne vode.

Trende smo določili za dnevne podatke ter za posamezne statistike – letne maksimume, minimume in povprečja ter mesečne maksimume, minimume in povprečja. Za določitev je bila uporabljena linearna regresija, pri kateri vsem razpoložljivim podatkom prilagodimo premico, ki predstavlja najboljše ujemanje z njimi. Pri tem dobimo enačbo premice (trends) in vrednost determinacijskega koeficienta ( $R^2$ ), ki predstavlja mero ujemanja trendsa s podatki od 0 do 1. Izračunali smo tudi statistično značilnost naklona trendnih črt z neparametričnim Mann-Kendallovim testom. Za ta namen sta bili postavljeni nasprotujoči si hipotezi –  $H_0$ : trend ne obstaja in  $H_1$ : obstaja naraščajoči/padajoči trend. Trend narašča v primeru, ko je izračunana p-vrednost manjša od

stopnje značilnosti  $\alpha = 0,05$  ( $p < 0,05$ ) in ko je  $\tau$  pozitiven; trend pada, ko je izračunani  $p < 0,05$  in  $\tau$  negativen. V primeru, ko je  $p > 0,05$ , pa trend ne obstaja, torej potrdimo ničelno hipotezo  $H_0$  (Kendall, 1975).

Sezonskost smo prikazali s pomočjo polarnih diagramov. Diagrami so izdelani glede na srednje mesečne minimalne, maksimalne in povprečne vrednosti gladin podzemne oz. površinske vode. S pomočjo teh diagramov lahko ugotovimo, v katerih mesecih se tipično pojavljajo posamezne vrednosti gladin in ali je sezonskost izrazita.

### 3 Rezultati in razprava

#### 3.1 Nivogrami

Nivogrami na slikah 2 in 3, ki prikazujejo nihanje gladine podzemne vode v še delujočih piezometrih v Vipavski dolini, lahko glede na kote gladin podzemne vode ločimo na tri skupine piezometrov (slika 4). Prvo skupino, z najvišjimi kotami, predstavljajo piezometri Gradišče (0780), Vipavski Križ (0730) in Ajdovščina (0710). Vsi trije piezometri ležijo v zgornjem toku reke Vipave, kjer na visoke kote gladine podzemne vode poleg slabo prepustnega fliša, ki predstavlja hidrogeološko mejo, dodatno vpliva tudi napajalno zaledje (Nanos in Trnovski gozd).



#### Legenda

##### Hidrogeološka karta

- Vodonosniki, v katerih prevladuje medzrnski tok - obširni in visoko izdatni vodonosniki
- Vodonosniki, v katerih prevladuje medzrnski tok - lokalni vodonosniki ali vodonosniki s spremenljivo izdatnostjo, ali obširni vendar največ srednje izdatni vodonosniki
- Razpoklinski vodonosniki vključno s kraškimi - obširni in visoko izdatni vodonosniki

- Razpoklinski vodonosniki vključno s kraškimi - lokalni vodonosniki ali vodonosniki s spremenljivo izdatnostjo, ali obširni vendar največ srednje izdatni vodonosniki
- Manjši vodonosniki medzrnske ali razpoklinske poroznosti - manjši vodonosniki z lokalnimi ali omejenimi viri podzemne vode
- Slabo prepustne krovnne plasti

- podzemna MM
- površinska MM
- vodotoki



0 2.5 5 km

*Slika 1: Lega vodomernih postaj reke Vipave in delujočih piezometrov v Vipavski dolini.*

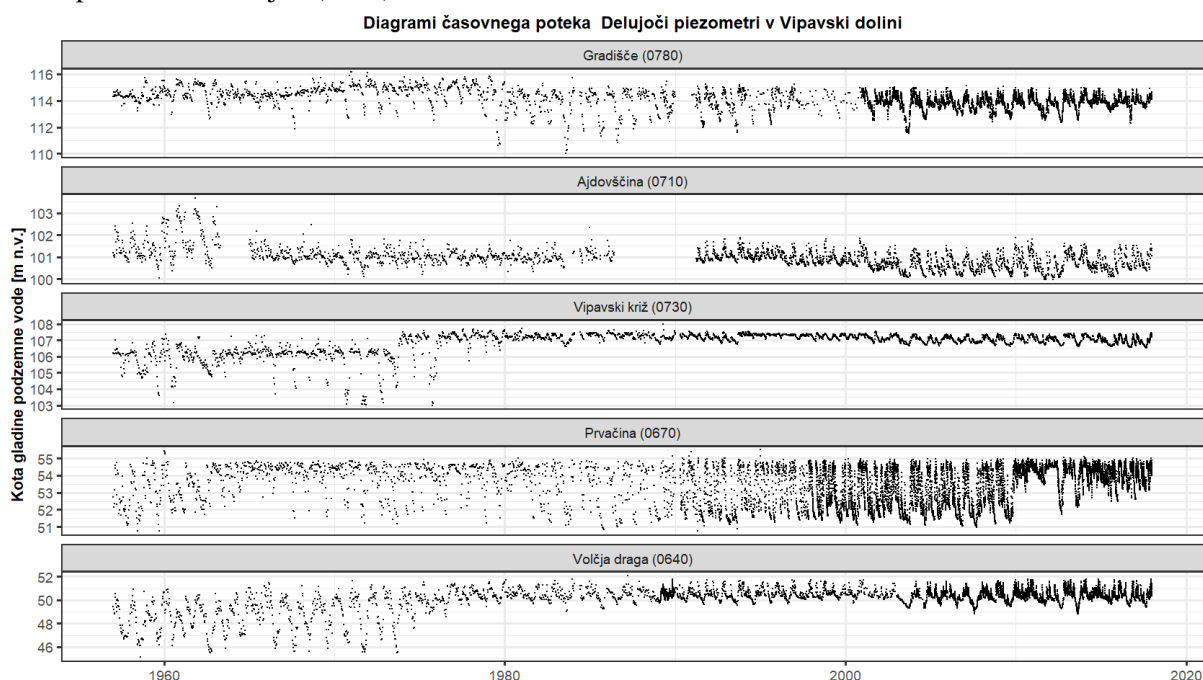
*Figure 1: Location of Vipava River gauging stations and operating piezometers in the Vipava Valley.*

Drugo skupino, s precej nižjimi kotami gladine podzemne vode, predstavljajo piezometri Prvačina (0670), Šempeter (0220), Volčja Draga (0640), Renče (0570) in Vrtojba (0241). Tretjo skupino z najnižjimi kotami pa piezometra Miren (0330) in Orehovlje (0420), ki ležita v spodnjem delu Vipavske doline, tam kjer reka Vipava pride v stik z bolj prepustnimi karbonatnimi kamninami (apnenci) in prične izgubljeni vodo. Razvidno je tudi, da gladine v piezometrih nihajo z različnimi razponi, ki so tekom celotnega opazovanega obdobja bolj ali manj konstantni. Največji razponi se pojavijo v piezometrih Orehovlje (0420) in Šempeter (0220). Do izjeme pride v piezometrih Vipavski Križ (0730), Volčja Draga (0640) in Ajdovščina (0710), kjer je v različnih letih opaziti izrazito trajno zmanjšanje razpona nihanja, v Vipavskem Križu (0730) od leta 1976, v Volčji Dragi (0640) od leta 1974 in v Ajdovščini (0710) od leta 1963. Vzrok za to spremembo lahko iščemo v regulacijah vodotokov in v melioracijskih posegih za odvajanje odvečne vode iz tal v drugi polovici prejšnjega stoletja. Ravno nasprotno, izrazito povišanje gladin pa je med letoma 2012 in 2015 opaziti v piezometru Vrtojba (0241). V literaturi ni

zaslediti posebnih dogodkov, ki bi bili vzrok za takšno povečanje.

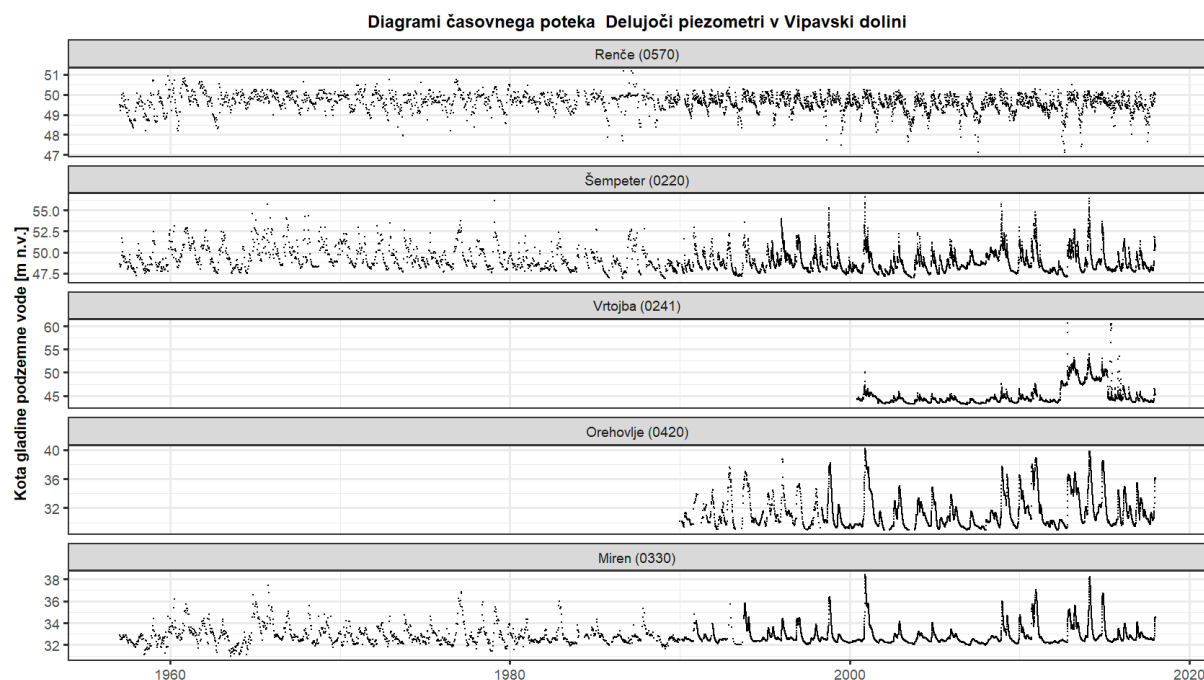
### 3.2 Osnovne statistike

Iz preglednice 1 je razvidno, da se število podatkov o gladinah podzemne vode med posameznimi piezometri med seboj zelo razlikuje. Med delujočimi piezometri z največjim številom podatkov, 10999, razpolagamo v piezometru Miren (0330), z najmanjšim številom podatkov, 3331, pa v piezometru Ajdovščina (0710). Na podlagi preglednice lahko tudi ugotovimo, da so si vrednosti aritmetične sredine in mediane gladin podzemne vode v večini piezometrov med seboj precej podobne, kar kaže na to, da so podatki o gladinah podzemne vode enakomerno porazdeljeni okoli povprečne vrednosti oz. da se v večini piezometrov pojavljajo tako visoke kot nizke gladine podzemne vode. Največji razpon nihanja podzemne vode je zabeležen v piezometru Vrtojba (0241) in znaša 17,59 m (vpliv povečanja gladin med letoma 2012 in 2015), najmanjši pa v piezometru Ajdovščina (0710) 3,71 m.



**Slika 2:** Nivogrami gladin podzemne vode v delujočih piezometrih v Vipavski dolini – Gradišče (0780), Ajdovščina (0710), Vipavski Križ (0730), Prvačina (0670) in Volčja Draga (0640).

**Figure 2:** Groundwater levels of operating piezometers in the Vipava Valley – Gradišče (0780), Ajdovščina (0710), Vipavski Križ (0730), Prvačina (0670), and Volčja Draga (0640).



**Slika 3:** Nivogrami gladin podzemne vode v delujočih piezometrih v Vipavski dolini – Renče (0570), Šempeter (0220), Vrtojba (0241), Orehovlje (0420) in Miren (0330).

**Figure 3:** Groundwater levels of operating piezometers in the Vipava Valley – Renče (0570), Šempeter (0220), Vrtojba (0241), Orehovlje (0420), and Miren (0330).

Na sliki 4 so osnovne statistike in porazdelitve podatkov posameznih piezometrov prikazane še grafično, s pomočjo violinskih diagramov. Razvidno je, da ima veliko piezometrov največ podatkov porazdeljenih okoli vrednosti mediane. Nekateri piezometri imajo tako pozitivno kot negativno asimetrično porazdelitev in levo ali desno premaknjenost. V primeru piezometrov Prvačina (0670) in Vrtojba (0241) pa je opaziti tudi bi- oz. multimodalno porazdelitev. Glede na obliko porazdelitve lahko ugotovimo, da imajo nekateri piezometri le majhen delež razmeroma visokih (npr. Ajdovščina (0710), Šempeter (0220), Vrtojba (0241), Miren (0330), Orehovlje (0420)) ali nizkih (npr. Vipavski Križ (0730), Volčja Draga (0640)) vrednosti. Piezometri imajo lahko tudi približno enako razmerje nizkih in visokih vrednosti gladin podzemne vode, večina vrednosti je med obema skrajnostma (npr. Gradišče (0780), Renče (0570)).

### 3.3 Povezave med gladinami podzemne vode in gladinami reke Vipave

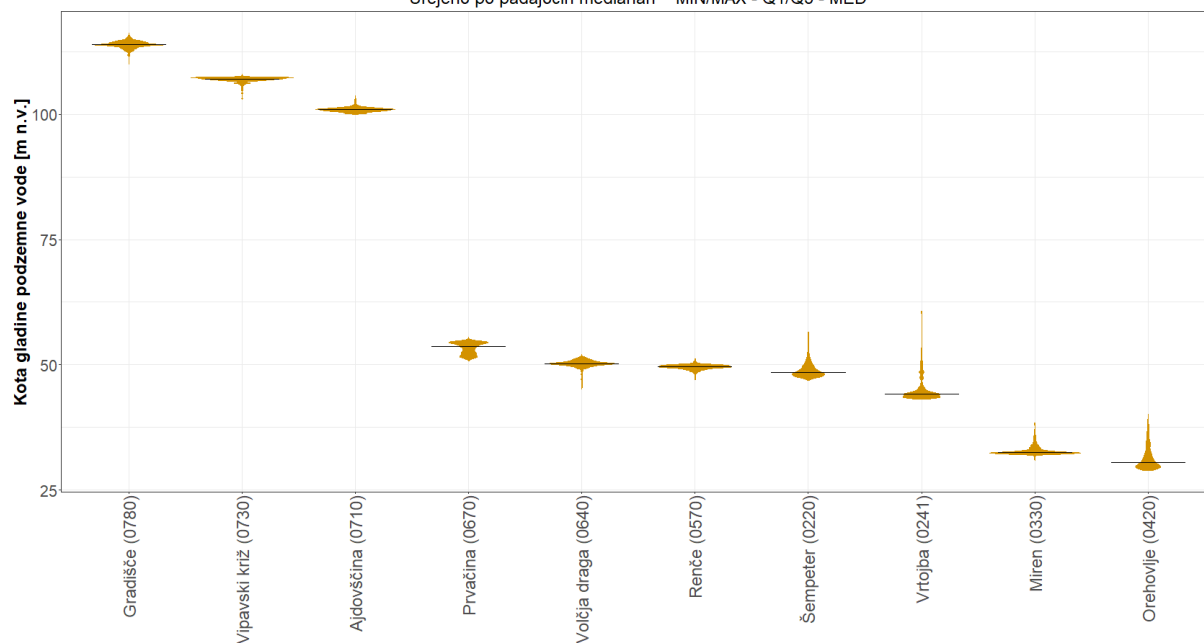
Iz slike 5 je razvidno, da med nekaterimi delujočimi piezometri v Vipavski dolini obstajajo dobre korelacije, med drugimi pa slabše. Zelo dobra oz. najboljša korelacija (0,95) med vsemi obravnavanimi piezometri je med sosednjima piezometroma Miren (0330) in Orehovlje (0420), dobra korelacija (0,85) je tudi med bližnjima piezometroma Renče (0570) in Volčja Draga (0640). Sledi korelacija med oddaljenima piezometroma Volčja Draga (0640) in Gradišče (0780) (0,81). Najslabša korelacija (0,22) se pokaže med piezometroma Vrtojba (0241) in Renče (0570). Na podlagi tega lahko sklepamo, da gladine podzemne vode v nekaterih piezometrih nihajo istočasno in imajo podobno dinamiko, v nekaterih piezometrih pa je situacija obratna. Torej se razlikuje tudi dinamika v napajalnem zaledju oz. ima vodonosnik, v katerega segajo piezometri, različno napajanje.

**Preglednica 1:** Osnovne statistike gladin podzemne vode [m n. v.] delujočih piezometrov v Vipavski dolini.

**Table 1:** Basic statistics of groundwater levels [m asl.] at operating piezometers in the Vipava Valley.

Piezometer	Min	Max	Razpon	Aritmetična sredina	Mediana	Število podatkov	25. percentil	75. percentil
Ajdovščina (0710)	99,97	103,68	3,71	100,92	100,91	3331	100,64	101,15
Gradišče (0780)	110,00	116,15	6,15	113,89	113,90	7775	113,59	114,30
Miren (0330)	30,97	38,42	7,45	32,84	32,53	10999	32,34	32,94
Orehovlje (0420)	28,93	40,15	11,22	31,45	30,58	7524	29,73	32,42
Prvačina (0670)	50,74	55,5	4,76	53,35	53,67	9550	52,31	54,40
Renče (0570)	47,10	51,17	4,07	49,59	49,64	3489	49,37	49,89
Šempeter (0220)	46,86	56,58	9,72	48,86	48,51	9942	47,94	49,47
Vipavski Križ (0730)	102,99	108,00	5,01	106,91	107,06	4610	106,78	107,26
Volčja Draga (0640)	45,12	52,07	6,95	50,19	50,25	7846	49,94	50,59
Vrtojba (0241)	43,11	60,70	17,59	44,99	44,18	6368	43,68	45,02

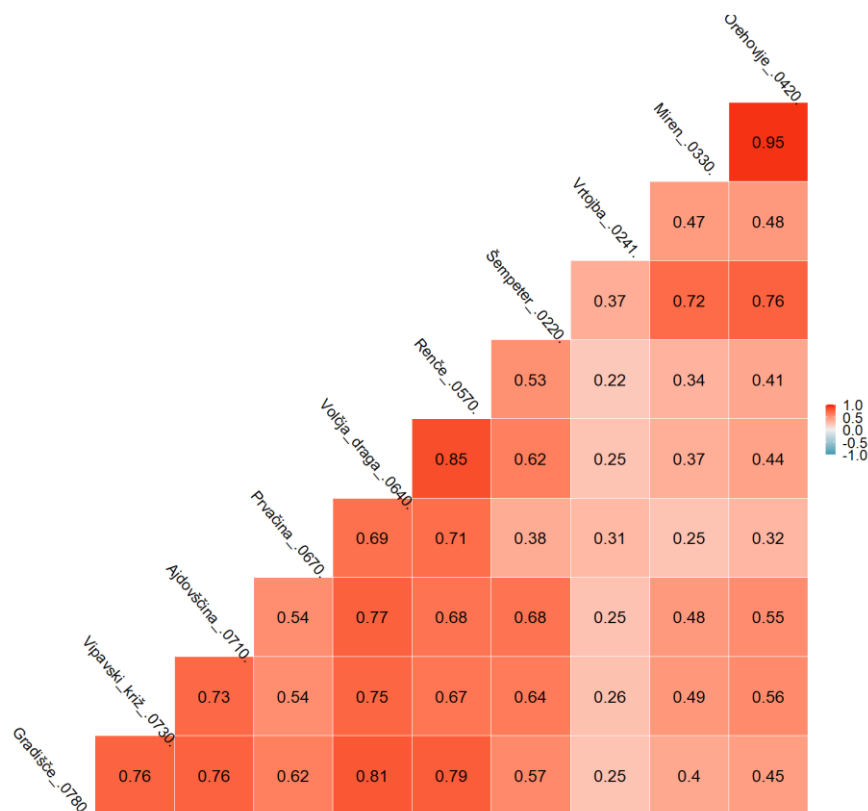
Violinski diagrami kote gladine podzemne vode v delujočih piezometrih v Vipavski dolini  
 Urejeno po padajočih medianah MIN/MAX - Q1/Q3 - MED



**Slika 4:** Violinski diagrami gladin podzemne vode delujočih piezometrov v Vipavski dolini.

**Figure 4:** Violin diagrams of groundwater levels at operating piezometers in the Vipava Valley.





**Slika 5:** Korelacijska matrika s Pearsonovimi korelacijskimi koeficienti med gladinami podzemne vode posameznih piezometrov v Vipavski dolini.

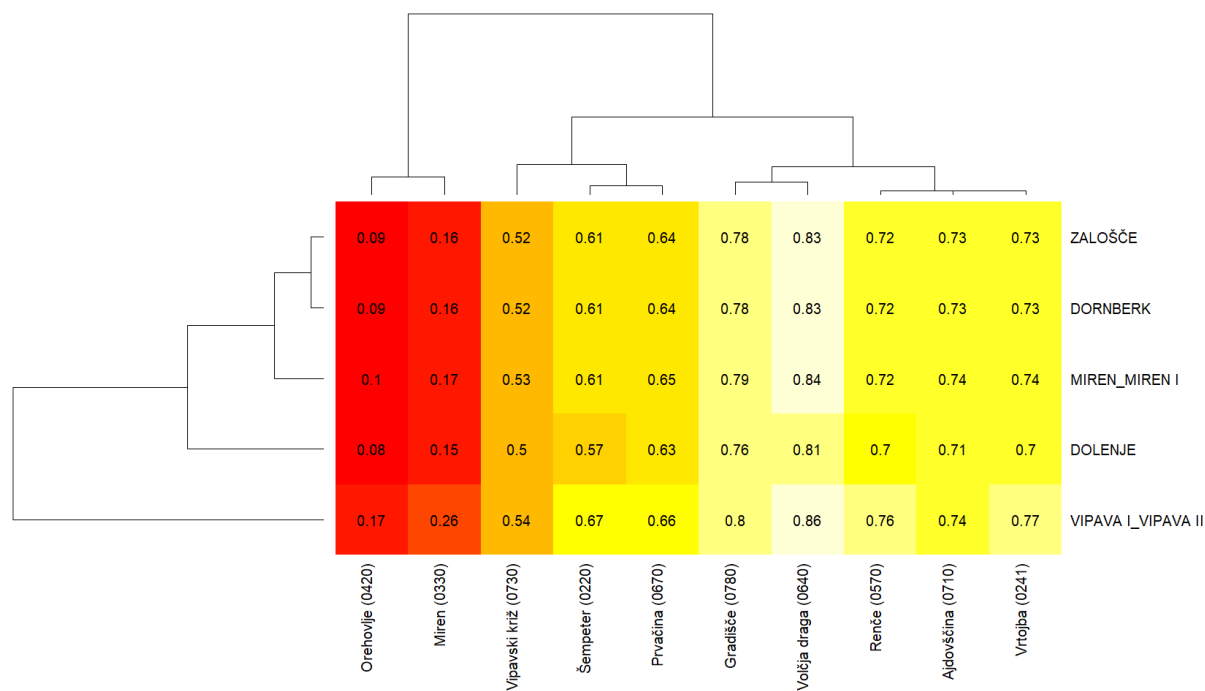
**Figure 5:** Correlation matrix with Pearson correlation coefficients between groundwater levels at piezometers in the Vipava Valley.

Slika 6 prikazuje korelacijsko matriko Pearsonovih koeficientov korelacije med gladino podzemne vode in gladino Vipave oziroma med piezometri in vodomernimi postajami v Vipavski dolini. Najboljšo povezavo med podzemno in površinsko vodo opazimo v primeru piezometra Volčja Draga (0640), ki se najbolje korelira z vsemi vodomernimi postajami Vipave. Najslabša povezava, tako z ostalimi piezometri kot z vodomernimi postajami, pa se pokaže v primeru piezometrov Orehovlje (0420) in Miren (0330). Vzrok bi lahko iskali v zatekanju vod reke Vipave v vodonosnik Krasa v spodnjem delu Vipavske doline. Iz slike 6 je razvidno tudi, da je v primerjavi z ostalimi vodomernimi postajami postaja Vipava tista, ki se najbolje ujema z vsemi piezometri, postaja Dolenje pa najslabše. Primer dobrega ujemanja med nihanjem vodostajev na vodomerni postaji Vipava in nihanjem gladine podzemne vode v piezometru Gradišče je prikazan na sliki 7. Iz slike 7 je razvidno, da se ob povišanju vodostajev v nekaj

urah poviša tudi gladina podzemne vode. Iz slike 6 lahko tudi sklepamo, da je povezava med reko Vipavo in posameznim piezometrom, poleg medsebojne oddaljenosti (razvidno iz slike 1), pogojena tudi z vplivom geološke in tektonske zgradbe ozemlja jugozahodne Slovenije. Vpliv zgradbe ozemlja na reko Vipavo omenja tudi Brenčič (2013). To je opaziti predvsem v spodnjem delu Vipavske doline, kjer reka pride v stik z dobro prepustnimi karbonatnimi kamninami (apnenci) in vanje začne izgubljati vodo, piezometra Miren in Orehovlje se tako slabše odzivata na povišane vodostaje reke Vipave. To obnašanje lahko opazujemo na sliki 8. Piezometra se rahlo in z zamikom vsaj nekaj dni odzivata le na večja povišanja vodostajev reke Vipave, pri manjših povišanjih vodostajev pa odziva gladin podzemne vode v piezometrih praktično ni zaznati. Na podlagi slike 9 še bolj nazorno ugotovimo, da je povezava med nihanjem gladine podzemne vode v piezometrih in nihanjem gladine reke Vipave odvisna od njihove oddaljenosti, kar je za primer

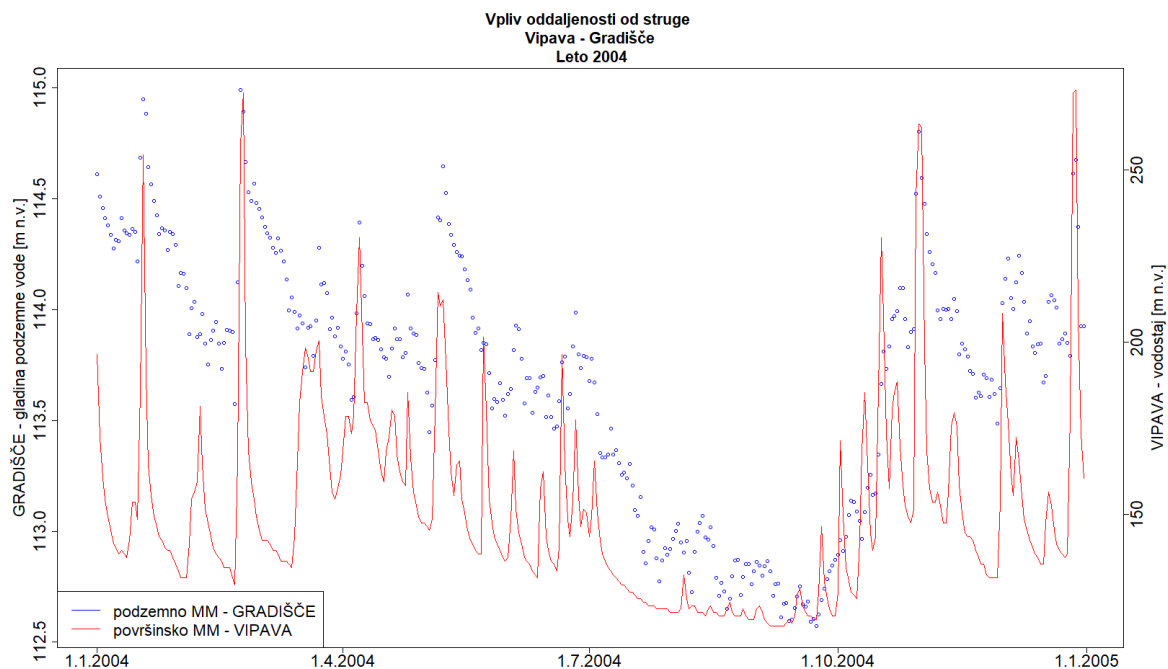
reke Drave ugotovil tudi Ravnik (2002). V piezometrih, ki so bližje vodomerni postaji, je ob porastu gladine reke opaziti intenzivnejši porast gladine podzemne vode kot v bolj oddaljenih piezometrih. Piezometer Prvačina leži najbližje vodomerni postaji Dornberk in se najbolj intenzivno odziva na nihanje v reki Vipavi. Grgas in Blašković

(1988) sta preučevala korelacijo med podzemno vodo in površinsko vodo v reki Savi. Ugotovila sta, da piezometri, ki se nahajajo bližje reki, reagirajo na povišanje nivojev v reki nekoliko prej kot bolj oddaljeni piezometri. Podobna ugotovitev velja tudi za reko Vipavo, kar prav tako potrjuje slika 9.



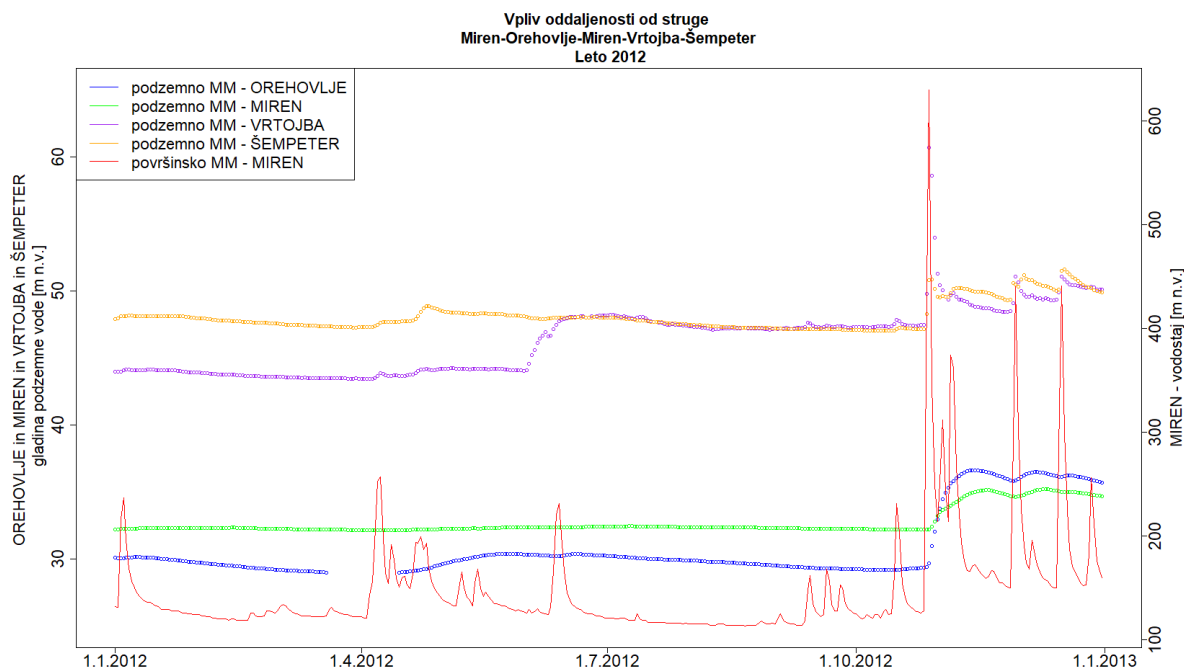
**Slika 6:** Zaznane povezave in Pearsonovi korelacijski koeficienti med gladinami podzemne vode v piezometrih in gladino Vipave na različnih vodomernih postajah v Vipavski dolini.

**Figure 6:** Perceived connections and Pearson correlation coefficients between groundwater levels at piezometers and the Vipava River level at various gauging stations in the Vipava Valley.



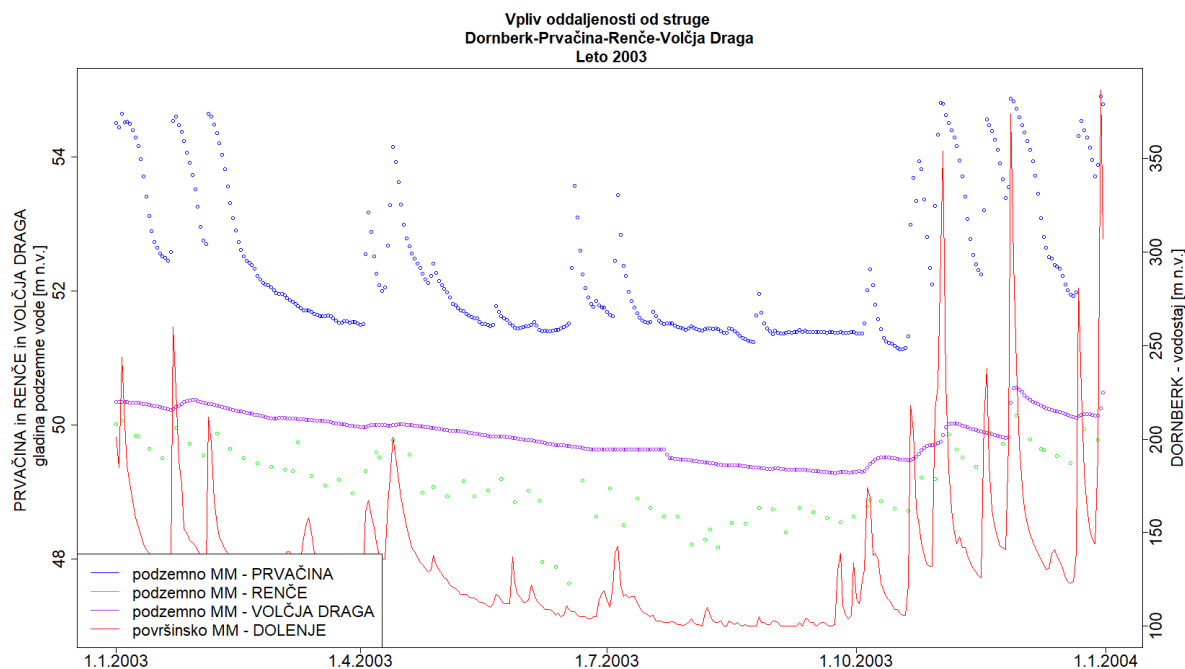
**Slika 7:** Prikaz dobrega ujemanja nihanja vodostajev na vodomerni postaji Vipava z gladinami podzemne vode na piezometru Gradišče.

**Figure 7:** Good matching of fluctuations in water level at the Vipava gauging station with groundwater levels at the Gradišče piezometer.



**Slika 8:** Prikaz slabega odzivanja gladin podzemne vode v piezometrih Miren in Orehovlje na nihanje vodostajev reke Vipave na vodomerni postaji Miren.

**Figure 8:** Poor response of groundwater levels at the Miren and Orehovlje piezometers to water level fluctuations at the Miren gauging station.



**Slika 9:** Odnos med vodomerno postajo Dornberk in piezometri Prvačina, Renče in Volčja Draga.

**Figure 9:** Relationship between Dornberk gauging station and Prvačina, Renče, and Volčja Draga piezometers.

### 3.4 Trendi

Rezultati trendov in statistična značilnost trendov nihanja gladin podzemne vode v delujočih piezometrih v Vipavski dolini za različne statistike so prikazani v preglednici 2 in na sliki 11. Ugotovimo lahko, da imajo tako v primeru dnevni vrednosti gladin kot tudi v primeru vseh izračunanih statistik štirje piezometri v vseh primerih negativen trend in štirje piezometri v vseh primerih pozitiven trend nihanja gladin podzemne vode. Dvema piezometroma (Miren (0330) in Prvačina (0670)) se trend spreminja glede na različne obravnavane statistike. Iz preglednice 2 in slike 11 je razvidno tudi, da je v primeru piezometrov z negativnim trendom pri dveh piezometrih trend statistično značilen za dnevne vrednosti gladin kot tudi za vse obravnavane statistike (Ajdovščina (0710) in Renče (0570)), pri dveh pa je trend statistično neznačilen ali ne obstaja (Gradišče (0780) in Šempeter (0220)).

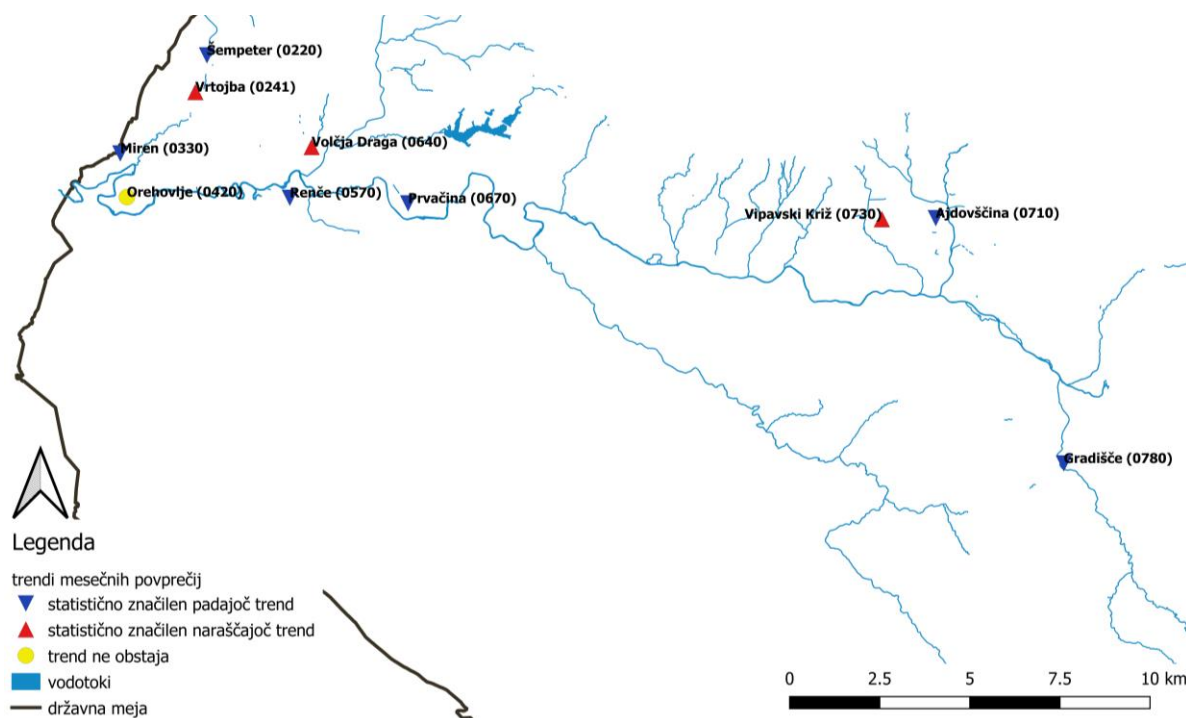
V primeru piezometrov s pozitivnim trendom je trend statistično značilen za dnevne vrednosti gladin in vse statistike le pri enem piezometru (Volčja Draga (0640)). Pri enem piezometru je trend statistično značilen le v primeru dnevni podatkov, pri različnih statistikah pa ne obstaja (Orehovlje (0420)). Pri ostalih dveh piezometrih (Vipavski Križ (0730) in Vrtojba (0241)) je trend statistično značilen, razen pri dveh izračunanih statistikah, kjer ne obstaja. Kot primer slika 10 prikazuje prostorsko razporeditev piezometrov z značilnimi trendi mesečnih povprečij.

Glede na rezultate torej za Vipavsko dolino ne moremo določiti enoznačnega trenda. Razloge za takšne rezultate verjetno lahko ponovno iščemo v tem, da piezometri segajo v različne vodonosnike Vipavske doline, katerih dinamika napajalnega zaledja se razlikuje.

**Preglednica 2:** Trendi nihanja podzemne vode v delujočih piezometrih v Vipavski dolini (+ označuje naraščajoči trend in – padajoči trend, krepko so označeni statistično značilni trendi).

**Table 2:** Groundwater fluctuation trends at operating piezometers in the Vipava Valley (+ indicates an increasing trend and – decreasing, bold indicates statistically significant trends).

Piezometer	Obdobje	Vrsta trenda						
		Dnevni podatki	Mesečni max	Mesečno povp	Mesečni min	Letni max	Letno povp	Letni min
Ajdovščina (0710)	1957–2017	-	-	-	-	-	-	-
Gradišče (0780)	1957–2017	-	-	-	-	-	-	-
Miren (0330)	1957–2017	+	-	-	-	+	-	+
Orehovlje (0420)	1990–2017	+	+	+	+	+	+	+
Prvačina (0670)	1957–2017	+	+	-	-	+	-	+
Renče (0570)	1957–2017	-	-	-	-	-	-	-
Šempeter (0220)	1957–2017	-	-	-	-	-	-	-
Vipavski Križ (0730)	1957–2017	+	+	+	+	+	+	+
Volčja Draga (0640)	1957–2017	+	+	+	+	+	+	+
Vrtojba (0241)	2000–2017	+	+	+	+	+	+	+



**Slika 10:** Prostorska razporeditev piezometrov z značilnimi trendi mesečnih povprečij.

**Figure 10:** Spatial distribution of piezometers with trends of monthly averages.



*Slika 11: Statistična značilnost naklona trendnih črt dnevni podatkov in posameznih statistik.*

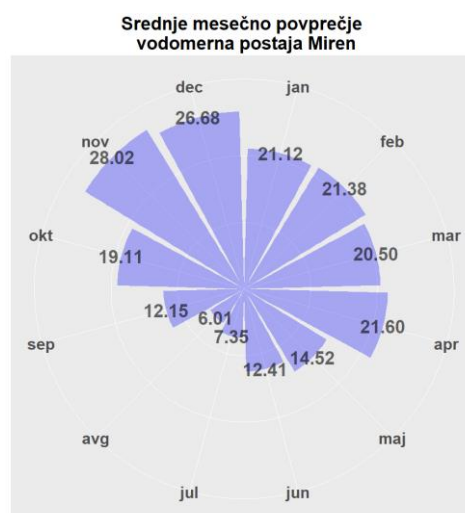
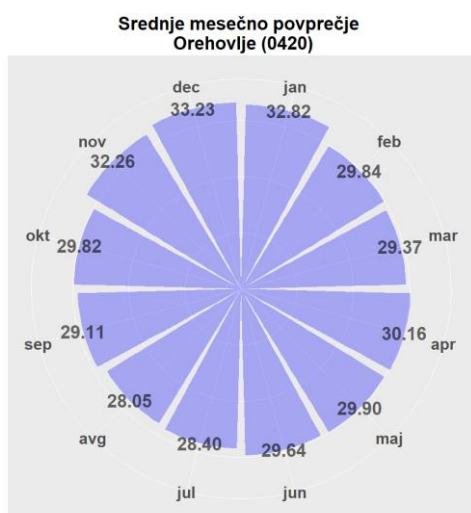
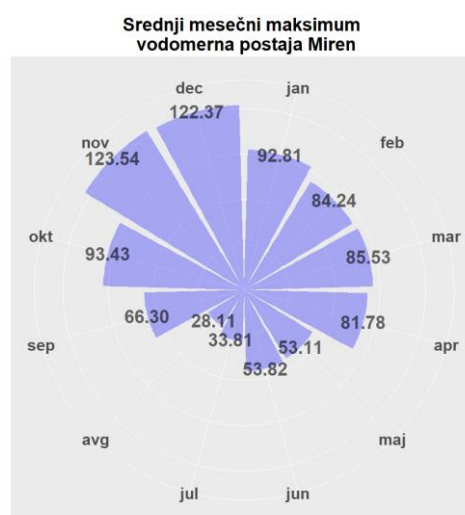
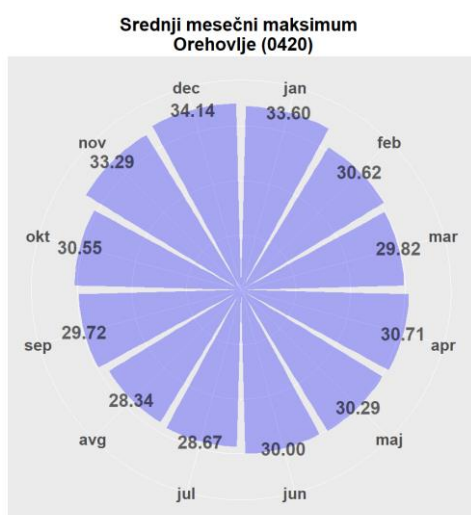
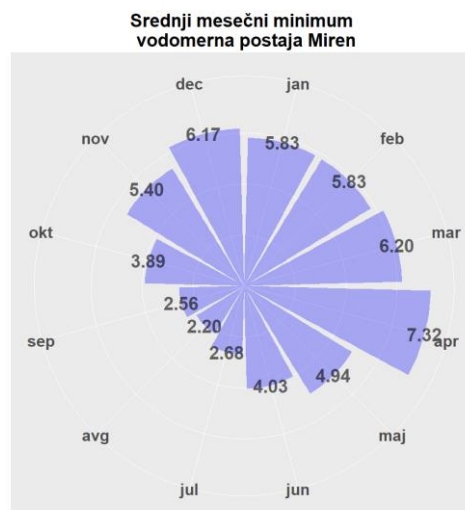
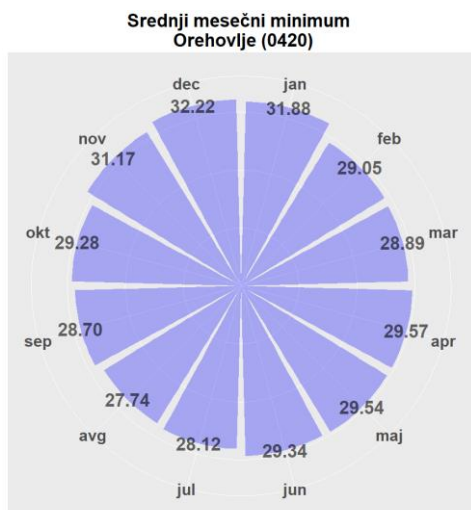
*Figure 11: Statistical characteristic of trend lines for daily data and individual statistics.*

### 3.5 Sezonskost

Sezonskost v večini piezometrov ni izrazita, še najbolj je opazna v piezometru Orehovlje (0420) (slika 12). Najvišje vrednosti gladin podzemne vode se večinoma pojavljajo v pozno jesenskem in zgodnjem zimskem času ter spomladanskem času, najnižje vrednosti pa v poletnem času.

Nasprotno pa je sezonskost pri površinskih vodah (vodomerne postaje) veliko bolj izrazita (slika 13). Čeprav je sezonskost ponekod manj, drugje bolj izrazita, se najvišje in najnižje vrednosti vodostajev časovno ujemajo z najvišjimi/najnižjimi gladinami podzemne vode. Najvišji vodostaji se pojavljajo

novembra in decembra ter aprila, najnižji pa v poletnem času, in sicer avgusta.



**Slika 12:** Sezonskost gladin podzemne vode (v m n. v.) na piezometru Orehovlje (0420).

**Figure 12:** Seasonality of groundwater levels (in m a.s.l.) at the Orehovlje piezometer (0420).

**Slika 13:** Sezonskost gladin podzemne vode (v m n. v.) na vodomerni postaji Miren.

**Figure 13:** Seasonality of groundwater levels (in m a.s.l.) at the Miren gauging station.

#### 4 Zaključek

V prispevku so predstavljeni rezultati statističnih analiz gladin podzemne vode v delujočih piezometrih v Vipavski dolini. Za večino piezometrov so obravnavane gladine podzemne vode med letoma 1957 in 2017. Izjema sta piezometra Orehovlje (0420) in Vrtojba (0241) s krajšim nizom podatkov.

Na podlagi pregleda nizov podatkov obdelanih piezometrov smo ugotovili, da lahko delujoče piezometre v Vipavski dolini glede na vrednosti kot gladin podzemne vode razdelimo v tri skupine. Prva skupina, z najvišjimi kotami, leži v zgornjem toku reke Vipave, druga v srednjem toku, tretja, z najnižjimi kotami, pa v spodnjem toku, kjer reka Vipava pride v stik z bolj prepustnimi karbonatnimi kamninami in začne izgubljati vodo v vodonosnik Krasa. Gladine v piezometrih sicer nihajo z različnimi razponi, ki pa so tekom celotnega opazovanega obdobja bolj ali manj konstantni. Vrednosti aritmetične sredine in mediane so si v večini piezometrov precej podobne, kar nakazuje, da se v piezometrih pojavljajo tako visoke kot nizke kote gladin podzemne vode. Iz violinskih diagramov je dodatno razvidno, da imajo piezometri največ podatkov porazdeljenih okoli vrednosti mediane.

Z izračunom korelacij med gladinami podzemne vode posameznih piezometrov je bilo ugotovljeno, da med nekaterimi piezometri obstajajo dobre, spet med drugimi pa slabše povezave. Korelacije med gladinami podzemne vode in gladinami reke Vipave na različnih vodomernih postajah pa so pokazale, da piezometer Volčja Draga (0640) najbolje, piezometra Orehovlje (0420) in Miren (0330) pa najslabše korelirajo z vodomernimi postajami na Vipavi. Od vodomernih postaj postaja Vipava najbolje, postaja Dolenje pa najslabše korelira z vsemi piezometri. Rezultati analiz kažejo, da gladina podzemne vode v splošnem sicer niha v odvisnosti od oddaljenosti piezometra od vodomerne postaje. V piezometrih, ki so bližje vodomerni postaji, je ob porastu gladine reke opaziti intenzivnejši porast gladine podzemne vode kot v bolj oddaljenih piezometrih. Je pa hkrati nihanje gladine podzemne vode pogojeno tudi na primer s

kompleksno geološko in tektonsko zgradbo obravnavanega območja ter napajalnim zaledjem podzemne vode, kar onemogoča enoznačne zaključke.

Tudi za trende gladin podzemne vode velja podobno. Rezultati analiz so pokazali, da za Vipavsko dolino ne moremo določiti enoznačnega trenda nihanja gladin podzemne vode, saj imajo štirje piezometri statistično značilen negativen trend za večino obravnavanih statistik, trije statistično značilno pozitivnega za večino obravnavanih statistik, dvema pa se predznak trenda spreminja glede na različne statistike, ki smo jim določali trend. Izjema je le piezometer Orehovlje, ki izkazuje statistično značilen pozitiven trend le za dnevne vrednosti gladin podzemne vode, za vse ostale obravnavane statistike pa ne izkazuje statistično značilnih trendov.

Analiza sezonskosti je pokazala, da v večini piezometrov ta ni izrazita. Nasprotno smo ugotovili za vodomerne postaje reke Vipave. Se pa tako v primeru podzemnih kot površinskih voda najvišje in najnižje vrednosti časovno ujemajo. Najvišje se večinoma pojavljajo v pozno jesenskem in zgodnje zimskem ter spomladanskem času, najnižje pa v poletnem času.

Kot omenjeno že v uvodu, je porečje Vipave s hidrološkega vidika zelo kompleksno, saj gre za kraško območje z zapletenimi povezavami med površinsko in podzemno vodo, kar kažejo tudi rezultati te raziskave. Zagotovo pa vsaka taka raziskava prispeva nova dognanja, ki pripomorejo k boljšemu razumevanju hidroloških procesov v Vipavski dolini.

#### Zahvala

Delo je nastalo v okviru doktorskega študija prve avtorice in je bilo delno sofinancirano iz raziskovalnega programa P2-0180 Vodarstvo in geotehnika, ki ga financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

#### Viri

Adrinek, S., Brenčič, M. (2019). Statistical analysis of groundwater drought on Dravsko-Ptujsko polje =



- Statistična analiza suše podzemne vode na primeru Dravsko-Ptujkega polja, *Geologija* **62/2**, 251–266. <https://doi.org/10.5474/geologija.2019.012>
- Andjelov, M., Frantar, P., Mikulič, Z., Pavlič, U., Savič, V., Souvent, P., Trišič, N., Uran, J. (2015). Količinsko stanje podzemnih voda v Sloveniji, Osnove na NUV 2015–2021. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 64 str.
- ARSO (2020a). Arhiv podzemnih voda. [http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pod\\_arhiv\\_tab.php](http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pod_arhiv_tab.php) (Pridobljeno 1. 3. 2020.)
- ARSO (2020b). Arhiv površinskih voda. [http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov\\_arhiv\\_tab.php](http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php) (Pridobljeno 1.3.2020.)
- Baker, G., Petrič, M., Parkin, G., Kogovšek, J. (2001). Surface and groundwater interaction of the Bela Stream and Vipava Springs in Southwestern Slovenia = Medsebojni vpliv površinske in podzemne vode potoka Bele in izvirov Vipava v jugozahodni Sloveniji, *Acta Carsologica* **30/2**, 217–238.
- Bat, M., Dolinar, M., Frantar, P., Hrvatina, M., Kobold, M., Kurnik, B., Nadbath, M., Ožura, V., Uhan, J., Ulaga, F. (2008). Vodna bilanca Slovenije 1971–2000. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 119 str.
- Bezjak, N., Horvat, A., Šraj, M. (2015). Analysis of flood events in Slovenian streams, *Journal of Hydrology and Hydromechanics* **63/2**, 134–144. <https://doi.org/10.1515/johh-2015-0014>
- Brenčič, M. (2013). "Vode" v J. Pavšič, ur., *Vipavska dolina: neživi svet, rastlinstvo, živalstvo, zgodovina, umetnostna zgodovina, gmotna kultura, gospodarstvo, naravovarstvo*. Slovenska matica, Ljubljana, 19–37.
- Buser, S. (1973). Tolmač lista Gorice, OGK 1:100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd, 50 str.
- Cerar, S., Mali, N. (2016). Assessment of presence, origin and seasonal variations of persistent organic pollutants in groundwater by means of passive sampling and multivariate statistical analysis, *Journal of geochemical exploration* **170**, 78–93. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.016>
- Forti, F. (1990). "Hidrološka in speleološka raziskovanja" v I. Trenc-Freljih, ur., *Reka Timav – Podobe, zgodovina in ekologija kraške reke*. Ljubljana, Mladinska knjiga, 209–237.
- Grgas, T., Blaškovič, V. (1988). Analiza korelacije vodostaja podzemne vode i Save, *Rasprave* **23**, 109–113.
- Habič, P. (1982). Vipava karst springs and their background = Kraški izviri Vipave in njihovo zaledje, *Acta Carsologica* **11**, 41–57.
- Kendall, M. G. (1975). *Multivariate analysis*. London: Griffin.
- Kladnik, D. (2013). »Geografski oris pokrajine« v J. Pavšič, ur., *Vipavska dolina: neživi svet, rastlinstvo, živalstvo, zgodovina, umetnostna zgodovina, gmotna kultura, gospodarstvo, naravovarstvo*. Slovenska matica, Ljubljana, 64–80.
- Omuto, C.T., Gumbe, L.O. (2009). Estimating water infiltration and retention characteristics using a computer program in R, *Computers & Geosciences* **35/3**, 579–585. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.08.011>
- Pavlič, U., Brenčič, M. (2011). Application of sequential trend analysis for discharge characterisation of Vipava karstic springs, Slovenia, *Acta carsologica* **40/2**, 283–291. <https://doi.org/10.3986/ac.v40i2.13>
- Pavšič, J. (2013). »Geološke razmere« v J. Pavšič, ur., *Vipavska dolina: neživi svet, rastlinstvo, živalstvo, zgodovina, umetnostna zgodovina, gmotna kultura, gospodarstvo, naravovarstvo*. Slovenska matica, Ljubljana, 11–18.
- Petek, M., Kobold, M., Šraj, M. (2015). Analiza nizkih pretokov vodotokov v Sloveniji z uporabo programa R in paketa lfstat = Low-flow analysis of streamflows in Slovenia using R software and lfstat package, *Acta Hydrotechnica* **27/46**, 13–28. (In Slovenian)
- Petrič, M. (2000). Značilnosti odnosa med napajanjem in preznenjem kraškega vodonosnika v zaledju izvirov Vipave (Slovenija) = Characteristics of the recharge-discharge relation of the karst aquifer in the background of the Vipava springs (Slovenia), *Acta carsologica* **29/2**, 271–292. <https://doi.org/10.3986/ac.v29i2.466>
- Petrič, M., Ravbar, N., Gostinčar, P., Krsnik, P., Gacin, M. (2020). GIS database of groundwater flow characteristics in carbonate aquifers: Tracer test inventor from Slovenian karst, *Applied Geography* **118**, 102191. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102191>
- Placer, L. (2008). Vipavski prelom, *Geologija* **51/1**, 101–105. <https://doi.org/10.5474/geologija.2008.011>
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ravnik, J. (2002). Vpliv nivoja gladine Drave na tok podzemne vode. Zbornik referatov 13. Mišičev vodarski dan, Maribor, 92–98.

- Sapač, K., Rusjan, S., Šraj, M. (2019). Vpliv računskih kriterijev na vrednosti recesijskih konstant nizkih pretokov v nehomogenem porečju v Sloveniji = Influence of calculation criteria on the values of low-flow recession constants in a non-homogenous catchment in Slovenia, *Acta hydrotechnica* **32/56**, 1–19. <https://doi.org/10.15292/acta.hydro.2019.01>
- Sapač, K., Rusjan, S., Šraj, M. (2020). Assessment of consistency of low-flow indices of a hydrogeologically non-homogeneous catchment: A case study of the Ljubljana river catchment, Slovenia, *Journal of Hydrology* **583**, 124621. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124621>
- Serianz, L., Cerar, S., Šraj, M. (2020). Hydrogeochemical characterization and determination of natural background levels (NBL) in groundwater within the main lithological units in Slovenia, *Environmental earth sciences* **79**, 373. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09112-1>
- Šraj, M., Bezak, N., Brilly, M. (2012). Vpliv izbire metode na rezultate verjetnostnih analiz konic, volumnov in trajanj visokovodnih valov Save v Litiji = The influence of the choice of method on the results of frequency analysis of peaks, volumes and durations of flood waves of the Sava River in Litija, *Acta hydrotechnica* **25/42**, 41–58. (In Slovenian).
- Tavagnutti, M. (2011). Giovanni Fortunato Bianchini e le prime ricerche sul Timavo sotterraneo nell'antica Contea di Gorizia. Presentation at the XXI Congresso Nazionale di Speleologia, Trieste, 497–505. (In Italian).
- Trišič, N. (1987). Hidrogeologija Vipavske doline. Unpublished diploma thesis. Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, 53 p. (in Slovenian).
- Uhan J., Krajnc, M. (2003). "Podzemna voda" v J. Uhan, M. Bat, ur., *Vodno bogastvo Slovenije*, ARSO, Ljubljana, 55–67.
- Urbanc, J., Jamnik, B. (2002). Izotopske raziskave vodnih virov Ljubljanskega barja = Isotopic investigations of the Ljubljansko barje water resources, *Geologija* **45/2**, 589-594.
- Zupančič, N. (2013). *Statistika v geologiji 1*. Univerzitetni učbenik. Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Ljubljana, 172 p.