

RAZGLEDI

VODNOEKOLOŠKE RAZMERE NA OBMOČJU DOLINE ZALOKA

AVTORJI

dr. Natalija Špeh*Visoka šola za varstvo okolja, Trg mladosti 7, SI – 3320 Velenje, Slovenija; natalija.speh@vsvo.si***dr. Anja Bubik***Visoka šola za varstvo okolja, Trg mladosti 7, SI – 3320 Velenje, Slovenija; anja.bubik@vsvo.si***Blaž Barborič***Geodetski inštitut Slovenije, Jamova cesta 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija in Visoka šola za varstvo okolja, Trg mladosti 7, SI – 3320 Velenje, Slovenija; blaz.barboric@gis.si*

DOI: 10.3986/GV93203

UDK: 911.2:628.19(497.431)

COBISS: 1.01

IZVLEČEK

Vodnoekološke razmere na območju doline Zaloka

Z raziskavo vodnoekoloških razmer na območju doline Zaloka leta 2020 smo sledili predhodni terenski študiji iz leta 1978. Zajeto je bilo isto območje, ki je bilo prvotno preučeno kot potencialno območje zajema pitne vode, danes pa je vključeno v komunalno oskrbo s pitno vodo za več kot 30.000 ljudi. Na podlagi fizikalno-kemijskih kazalnikov posameznih vodnih virov in podnebno-geoloških značilnosti območja smo ohranjanje dobrega vodnoekološkega stanja preučeni vodnih virov povezali s padavinskimi in hidrogeografskimi razmerami širšega območja izvira Ljubija. Nizka vsebnost nitratov in majhna nihanja tudi ostalih parametrov kažejo na majhen vpliv človeka.

KLJUČNE BESEDE

geografija, vodnoekološke razmere, kontaktni kras, kakovost vode, oskrba s pitno vodo, dolina Zaloka, Ljubija

ABSTRACT

Water-ecological conditions in the area of Zaloka Valley

The year 2020 water-ecological research followed the preliminary field study from 1978. We covered the same area of the Zaloka Valley, which was originally explored as a potential drinking water area, but today is included in municipal drinking water supply for more than 30,000 people. Based on physical-chemical indicators of individual water sources and climate-geological characteristics of the area, we associated the maintenance of good water-ecological status of the studied water sources with precipitation and hydrogeographic features of the wider area of the Ljubija karst spring. The low nitrate content and small fluctuations in other parameters describe the study area as an area with low human impact.

KEY WORDS

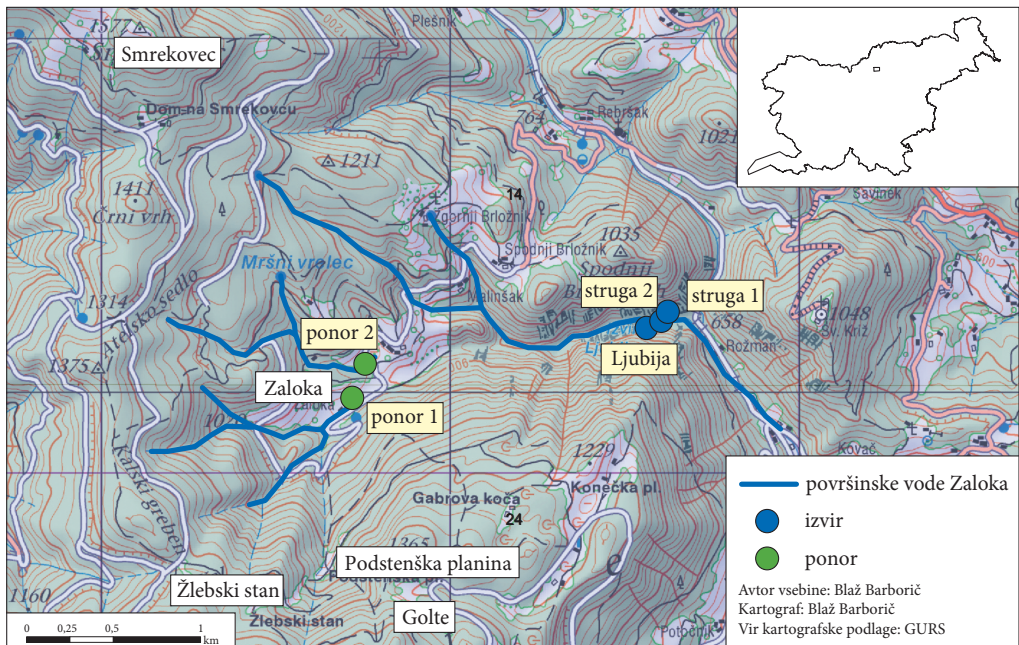
geography, water-ecological conditions, contact karst, water quality, drinking water supply, Zaloka Valley, North-East Slovenia

Uredništvo je prispevek prejelo 9. marca 2021.

1 Uvod

Onesnaževanje vodnih virov je najbolj skrb vzbujajoča oblika zmanjševanja naravnega vodnega potenciala (Plut 1998). Letna količina vode na prebivalca Slovenije znaša 17.000 m^3 , kar Slovenijo po vodnem bogastvu uvršča v sam evropski vrh, takoj za Švico in Norveško, in Sloveniji zagotavlja količinsko varno oskrbo s pitno vodo. Voda je edini naravni vir, ki ga sicer surovinsko osiromašena Slovenija premore v obilju. V Sloveniji v povprečju pade 1589 mm padavin letno, kar v celotni letni količini predstavlja $32,2\text{ km}^3$ vode. Od tega je odteče $18,7\text{ km}^3$ (58%) in izhlapi $13,5\text{ km}^3$ (42%). Manjši del vode, slaba 2% letne količine, je namenjen za oskrbo prebivalstva s pitno vodo, namakanje kmetijskih zemljišč in industrijske potrebe (Krajnc in Kryžanowski 2020). Najpomembnejša naloga oskrbe s pitno vodo je zagotoviti ustrezno kakovost in zadostno količino pitne vode tudi v sušnem obdobju, ko je potreba po njej največja. V svetovnem merilu velja, da kraške vode preskrbijo približno četrtno potrebne količine pitne vode (Ravbar s sodelavci 2021). V Sloveniji se s pitno vodo iz podzemnih vodonosnikov oskrbuje kar 97% prebivalstva (Monitoring ... 2016), skoraj polovico slovenskih potreb po pitni vodi pa zadovoljimo s črpanjem vode iz kraških vodonosnikov (Prestor s sodelavci 2008). Ob suši predstavlja kraška voda celo dve tretjini vodnih zalog. Prednost velikih kraških izvirov so zadostne količine vode, zaradi velikega napajalnega zaledja pa je težko varovati njihovo kakovost. Neurejeno odvajanje odpadnih voda predstavlja zelo resno nevarnost za onesnaženje voda, še posebej tam, kjer so odtočne cevi speljane neposredno v vodotoke (Počkar, Kovačič in Peric 2014), zlasti ob nizkih vodostajih, ko učinek redčenja skoraj izostane (Kovačič in Rupnik 2019). Ker so kraški vodonosniki zelo občutljivi na onesnaženje, kraški vodni viri zahtevajo ustrezno in previdno upravljanje. V Sloveniji so kraška območja navadno precej odročna ter zaradi neugodnih reliefnih in podnebnih razmer manj primerna za intenzivnejšo poselitve ter zgostitev različnih dejavnosti. To so večinoma gozdnata območja ali območja, v katerih prevladuje ekstenzivno kmetovanje (Petrič in Ravbar 2008).

Namen preučevanja vodnih virov na območju kontaktnega krasa doline Zaloka je bil: 1) predstavitev hidrogeoloških in podnebnih razmer v zaledju izvira Ljubija, 2) preveriti vpliv človekovih



Slika 1: Lega preučevanega območja z merilnimi mesti.

dejavnosti na kakovostno stanje omenjenih vodnih virov s kazalniki za spremljanje kakovostnega stanja voda in 3) primerjati lastne rezultate z raziskavo vodnoekoloških značilnosti istega območja iz leta 1978.

Dinamičnost in zanimiva reliefna energija obravnavanega območja kontaktnega krasa ter predhodna, a časovno zelo oddaljena raziskava vodnih virov v povirju Ljubije iz leta 1978 (Kranjc 1979), sta nas izzvali k ponovni preučitvi vodnoekoloških razmer obravnavane, na videz trajnostno ohranjene osamele kraške pokrajine. Zaradi primerljivosti rezultatov smo prilagodili časovno obdobje terenskega dela, da bi lahko preverili lastnosti vodnih teles, ki smo jih z izbranimi kazalniki na območju doline Zaloka izmerili po več kot 40 letih. Na podlagi določil za nadzorni monitoring kemijskega stanja voda (Monitoring ... 2016; Vodna ... 2000) in Metodologije vrednotenja ekološkega stanja rek na podlagi splošnih fizikalno-kemijskih elementov kakovosti (Metodologija ... 2017) smo spremljali stanje vodnih virov v dolini Zaloka (sliki 1 in 2). V obdobju april–junij 2020 smo dvakrat mesečno izvajali meritve izbranih fizikalno-kemijskih parametrov vode. Z namenom ugotavljanja vpliva človekovih dejavnosti na kakovost površinske in podzemne vode smo preverjali splošne parametre (kazalnike): motnost, vrednost pH, električno prevodnost, temperaturo ter trdoto. Kot pokazatelja stanja hranil v vodi smo med kazalnike uvrstili še vsebnost nitratov, saj je za območje doline Zaloka značilna ekstenzivna kmetijska dejavnost. Rezultate meritev smo povezali s hidrogeografskimi podatki in določili vodnoekološko kakovostno stanje. Zbrana opažanja in meritve smo primerjali z rezultati raziskave iz leta 1978 (Kranjc 1979).

Prispevek dopolnjuje sicer zelo skope vire o geografsko pestrem in z naravnimi vrednotami bogatem območju ob vznožju Smrekovca.

2 Območje raziskave

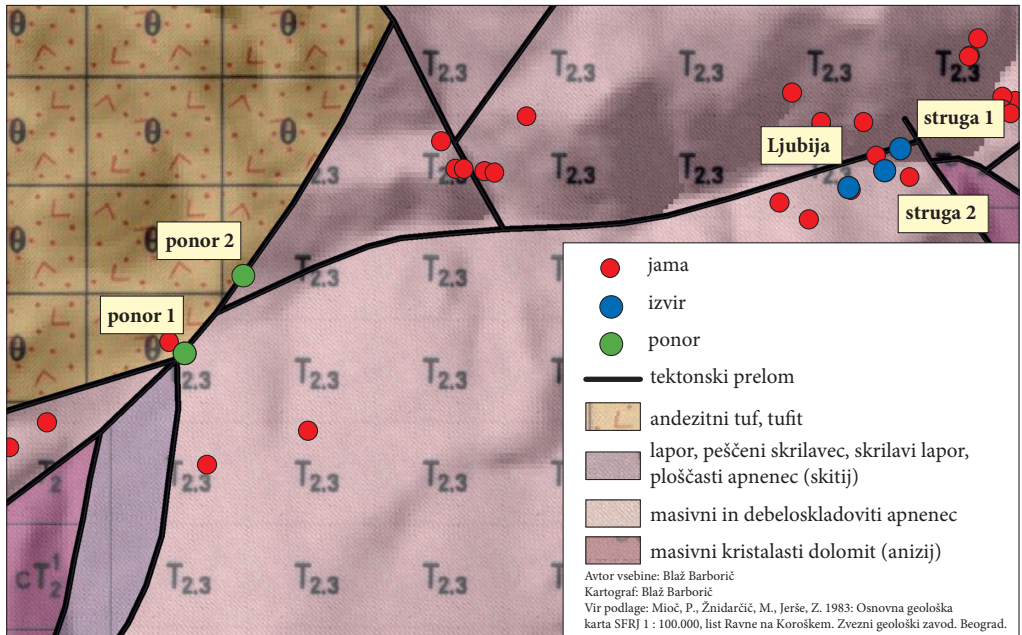
Dolina Zaloka s kraškim izvirom Ljubija (slika 1) predstavlja pomemben vir pitne vode za več kot 30.000 prebivalcev Šaleške doline (Vodni ... 2020). Njeno vodozbirno zaledje ima hkrati kraški in površinski značaj, saj ga poleg karbonatnih kamnin sestavljajo tudi nekarbonatne kamnine (andezitni tufi in tuftiti; slika 2). Petrografska meja v grobem predstavlja Smrekovski prelom, ki tudi določa potek doline (Kranjc 1979). Dolina Ljubije predstavlja požiralni rob z nizom dejavnih ponorov na stiku karbonatnih in nekarbonatnih kamnin, kar je sicer običajna podoba kontaktnega krasa (primerjaj Rakiški stržen pri Postojni; Kovačič in Rupnik 2015).

Po ekološki tipizaciji vodotokov pripada območje karbonatni bioregiji Alpe-Donavsko porečje z referenčnimi (naravnimi) razmerami (Tipi ... 2008). Širše območje izvira Ljubija predstavlja učni poligon z nekaterimi značilnimi kraškimi pojavi: ponori (slika 3) s slepimi dolinami, (pol)suha dolina, kraško okno, soteska (spodnji del doline Zaloka), kraško podzemlje s sistemom vodnih jam (gorvodno), kraški izvir vokliškega tipa in zatrep. Hkrati se na območju prepletajo različne rabe prostora: vodovarstvena (VVO, občinska raven, I.–III. varstveni režim), območje varovane narave (Krajinski park Golte znotraj območja Natura 2000), poselitvena, kmetijska in gozdna raba (Špeh in Skoberne 2017).

Širše območje Zaloke po Meliku (1954) prištevamo v sklop Kamniško-Savinjskih Alp, glede na geološke razmere pa se nahaja na severnem obrobju Karavank, ob vznožju magmatskega masiva Smrekovec (1577 m), apneniška planota Golte pa sodi k Dinarskemu gorstvu. Območje je tipičen primer kontaktnega krasa; v severnem delu prevladujejo oligocenske vulkanoklastične smrekovske plasti (Kralj 1997), ki se južno od Smrekovskega preloma nadaljujejo v mezozojske karbonatne kamnine.

Dolina hkrati predstavlja osameli kras severno od močno tektonsko prertrhtih Golt (1588 m), ki se dvigajo nad Zaloko. Dolina je vrezana v apnenice na severovzhodnem robu planote Golte in sledi smeri prelomne cone med ponoroma in izviri (slika 2). Zahodni del doline se ujema s Smrekovskim prelomom (smer jugozahod–severovzhod).

Območje doline Zaloka je ob gosti pojavnosti kraških značilnosti redko poseljeno in obiskano. Zaradi odmaknjenosti in ovirane dostopnosti ostajajo jame in brezna (slika 2) neokrnjeni. Na širšem



Slika 2: Geološke značilnosti širšega območja doline Zaloka.



Slika 3: Zaraščen vhod v ponorno jamo Rupa, registrirano naravno vrednoto (ID 44609), z datumom odkritja 31. 7. 1977 (vzorčevalno mesto P1).

NATALIJA SPEH, FEBRUAR 2020

območju doline Zaloka je 60 evidentiranih kraških jam (eKataster ... 2020). Vpliva onesnaženosti jam na podzemne kraške vode na preučevanem območju sicer natančneje ne poznamo (Tičar 2020).

Na širšem preučevanem območju najmanj padavin prejmejo območja na nadmorski višini izvira Ljubija (preglednica 1), ki ležijo najnižje. Na območju izvira so povprečne letne padavine 1400–1500 mm, kar je 200–300 mm manj od s padavinami najbolj namočenega vrha Smrekoveca, severno od doline Zaloka (1600–1800 mm).

Na obravnavanem območju lahko v 12 urah ob padavinah s povratno dobo 100 let pade med 90 in 120 mm padavin. Podatki za 12-urne padavine s povratno dobo 50 let se za posamezne dele območja razlikujejo: severni del območja (Smrekovec) lahko prejme 120–150 mm, južni del območja (Golte) pa 90–120 mm padavin (Arhiv ... 2020). Namochenost planote Golte je tako glede največje 12-urne količine padavin s povratno dobo 50 oziroma 100 let kot pri kazalniku povprečne korigirane letne količine padavin za obdobje 1981–2010 (preglednica 1) manjša od severnega obrobja doline.

Zgornji podatki kažejo, da na zaloge vodnih virov v dolini Zaloka različno vpliva njeno zaledje; izdatnost padavin severnega (slabo prepustnega) roba s Smrekovcem je večja kot na sicer višje ležeči karbonatni planoti Golte južno od doline Zaloka.

3 Metodologija in podatki

Za predstavitev padavinskih značilnosti povirja Ljubije smo uporabili podatke meteorološke postaje Bele Vode (sliki 4 in 5), Geoportala (2020) ter Atlasa okolja (2020) (preglednica 1). Prikazali smo jih z naslednjimi kazalniki: 1) povprečna količina korigiranih letnih padavin v dveh obdobjih, a) 1971–2000 ter b) 1981–2010 in 2) največja 12-urna količina padavin s povratno dobo 50 oziroma 100 let v obdobju 1961–2000. Kazalnika 1a) in 1b) prikazujeta podatke korigiranih padavin v obdobju 1971–2010, razdeljenih na dve 30-letni obdobji. Vir padavinskih podatkov je Agencija Republike Slovenije za okolje (Geoportal 2020).

Preglednica 1: Povprečne korigirane letne padavine v obdobjih 1971–2000 in 1981–2010 (Arhiv ... 2020).

območje	nadmorska višina (m)	povprečna letne padavine 1971–2000 (mm)	povprečne letne padavine 1981–2010 (mm)
Golte	1588	1600–1800	1500–1600
Smrekovec	1577	1600–1800	1600–1800
Zgornja Zaloka	910	1500–1600	1500–1600
izvir Ljubija	720	1400–1500	1400–1500

Preglednica 2: Merilna mesta in njihove značilnosti.

merilno mesto	nadmorska višina (m)	relativna višina glede na izvir Ljubija (m)	zračna oddaljenost od izvira Ljubija (v km)
ponor 2	929	209	1,58
ponor 1	910	190	1,72
izvir Ljubija	720	0	0
struga 2	670	50	0,11
struga 1	669	51	0,12

Mesta za zajem vodnih vzorcev smo izbrali na podlagi dostopnosti, hidroloških značilnosti območja ter glede na mesta vzorčenja leta 1978 (Kranjc 1979). Izbrali smo pet merilnih mest, ki si dolvodno sledijo: ponor 2, ponor 1, izviri Ljubija, struga 2 (S2), struga 1 (S1) (slika 1, preglednica 2). Ponor 1 (P1) in ponor 2 (P2) sta stalna ponora. V P1 (Rupa) je mogoče vstopiti, ker gre za odprto jamo s prostim vstopom dolžine 60 m in globine 26 m (slika 3). P2 se nahaja jugozahodno od vzpetine, na kateri je kmetija Leskošek. Geografske značilnosti merilnih mest so podane v preglednici 2.

Na merilnih mestih smo spremljali naslednje fizikalno-kemijske značilnosti: 1) temperatura (°C), 2) vrednost pH, 3) električna prevodnost ($\mu\text{S}/\text{cm}$), 4) motnost (NTU, *nephelometric turbidity unit*), 5) trdota (°d) ter 6) vsebnost kalcijevih (Ca^{2+}) in 7) magnezijevih ionov (Mg^{2+}) (mg/l). Izmerjene parametre smo zaradi lege merilnih mest v zaledju črpališča pitne vode primerjali z mejnimi vrednostmi Pravilnika o pitni vodi (2009), ki opredeljuje vrednosti pH 6,5–9,5, električno prevodnost 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in motnost kot sprejemljivo za uporabnike in brez neobičajnih sprememb. Kazalnika vrednost pH in trdota vode sta odvisna od kamninske podlage. Vrednost pH je odvisna tudi od temperature vode in v njej živečih organizmov, skupaj z njihovo dejavnostjo. Trdoto vode določajo raztopljene mineralne snovi in je opredeljena kot vsota vsebnosti večvalentnih ionov, predvsem kalcija (Ca^{2+}) in magnezija (Mg^{2+}) (Devetak s sodelavci 2019). Merimo jo lahko neposredno v obliki vsebnosti Ca^{2+} in Mg^{2+} kot celokupno trdoto ali posredno s pomočjo kazalnika električne prevodnosti. Motnost vode je pokazatelj prisotnosti delcev, manjših od 1 mm, ki tvorijo anorganske in organske snovi ter mikroorganizmov (O posameznih ... 2014).

Za kazalnik stanja hranil smo izbrali nitrate (NO_3^{2-} v mg/l; kazalnik 8), ki predstavljajo pomemben kazalnik kemijskega stanja podzemnih voda in so lahko naravnega izvora. Naravno ozadje nitratov je odvisno od geološke sestave vodonosnikov in je v Sloveniji pod 10 mg $\text{NO}_3^{2-}/\text{l}$ (Okoljski ... 2020). Nitriti se lahko pojavljajo tudi zaradi antropogenega vnosa preko dušikovih gnojil ali neurejenega odvajanja komunalnih odpadnih voda. Obremenjenost z nitriti smo opredelili na podlagi mejnih vrednosti, določenih v Uredbi o stanju podzemne vode (2009), kjer je kot mejna vrednost podana koncentracije nitratov 50 mg $\text{NO}_3^{2-}/\text{l}$ (Uredba o stanju podzemne ... 2009; Kemijsko ... 2018), kar velja tudi za pitno vodo (Pravilnik ... 2009). Tudi Uredba o stanju površinskih voda (2016) določa parametre za vrednotenje posameznih splošnih fizikalno-kemijskih elementov kakovosti, ki podpirajo biološke elemente ekološkega stanja. Mejne vrednosti razredov ekološkega stanja za nitrate površinskih voda so 3,2–7,0 mg/l (zelo dobro ekološko stanje) in 6,5–9,5 mg/l (dobro ekološko stanje) (Uredba o stanju površinskih ... 2016).

V obdobju april–junij 2020 smo na vsakem merilnem mestu izvedli šest meritev, po dve vsak mesec – ob visokem in nizkem vodostaju (skupaj 30 vzorcev). Temperaturo, vrednost pH, električno prevodnost in motnost smo merili na terenu z digitalnim vmesnikom *Vernier Labquest 2* in ustreznimi sondami po navodilih proizvajalca. Trdoto, koncentracijo Ca^{2+} , Mg^{2+} in NO_3^{2-} pa smo določili v laboratoriju spektrofotometrično z uporabo hitrih kivetnih testov (*Hach Lange LCK 327* za trdoto, Ca^{2+} in Mg^{2+} ter *Hach Lange LCK 399* za NO_3^{2-}).

4 Rezultati in razprava

Podatke o padavinah v obdobju 1978–2019 na merilni postaji Bele Vode na nadmorski višini 815 m (do leta 1980) oziroma 965 m (od leta 1982) prikazuje slika 4. Zaradi premestitve merilne postaje za leto 1981 ni podatka.

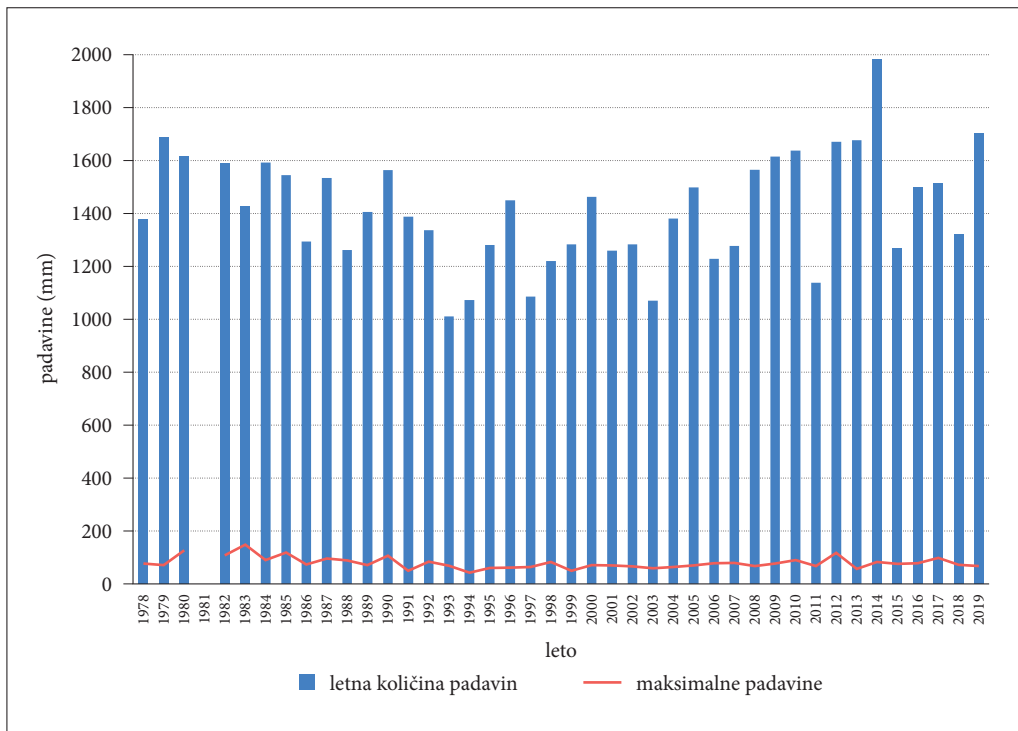
V opazovanem obdobju (1978–2019) glede na letno količino padavin navzgor izstopa leto 2014 s 1982,2 mm, navzdol pa leto 1993 s 1011 mm. Povprečje letnih padavin v opazovanem obdobju je 1382,75 mm in je nižje od povprečja (1589 mm/leto) za Slovenijo (Krajnc in Kryžanowski 2020). Glede na kazalnika izjemne, največje dnevne količine padavin izstopata leti 1983 in 1980 s 147,8 mm oziroma 127,5 mm padavin.

Primerjava povprečnih letnih padavin na merilni postaji Bele Vode (1366,2 mm) s povprečnimi letnimi padavinami v obdobju 1981–2010 na štirih območjih širšega zaledja izvira Ljubija (preglednica 2) kaže na najmanjšo izdatnost padavin prav na postaji Bele Vode, kljub višji legi od izvira Ljubija (720 m) in zgornjega dela doline Zaloka (910 m).

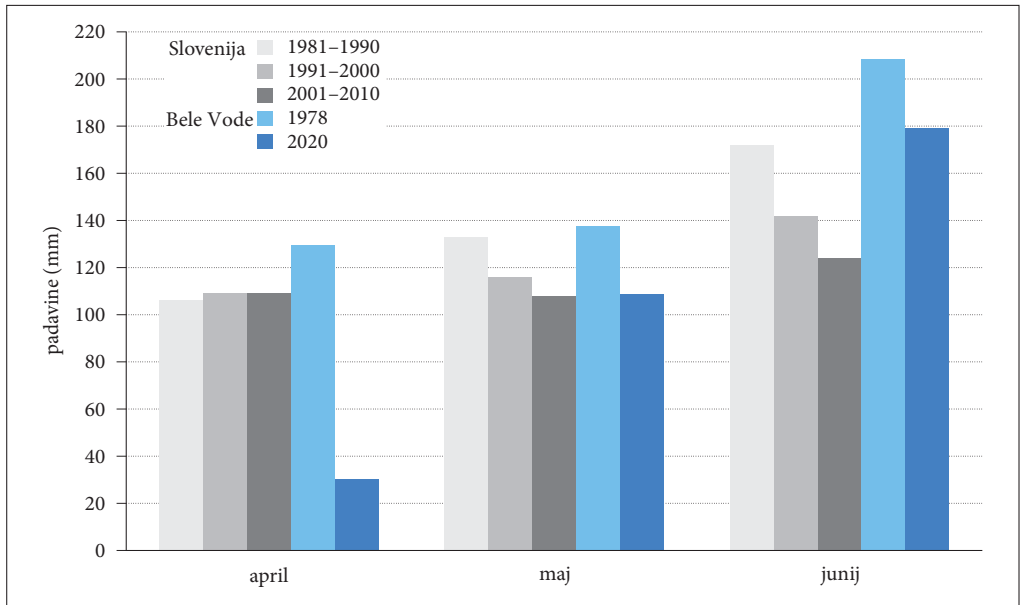
Padavinski podatki kažejo na celinski padavinski režim z viškom padavin v zgodnjem poletju (junij). Na sliki 5 prikazujemo količine izmerjenih padavin v obdobju april–junij za leti 1978 in 2020. Padavinsko najbolj skromen je bil april 2020 (30,1 mm), navzgor pa v obeh opazovanih letih izstopa mesec junij. Junija leta 1978 je padlo največ padavin (208,7 mm). Količine padavin za izbrano tromesečje (april–junij) smo primerjali z razpoložljivimi podatki povprečnih padavin za Slovenijo (Arhiv ... 2020) za naslednja časovna razdobja: a) 1981–1990, b) 1991–2000 in c) 2001–2010 (slika 5). Junjski višek, ki zagotavlja stalnost vodnih virov tudi v poletnem času, je bil posebej izrazit v obdobju 1981–1990. S kazalnikom vsebnosti nitratov nismo v vzorcih zaznali njegovega vpliva na redčenje omenjenega hranila (slika 6).

Med merilnimi mesti smo izstopajoče hidrološke in meteorološke značilnosti ter vrednosti kazalnikov kakovostnega stanja vode zaznali le na vzorčnem mestu struga 1 (S1). Ob pomanjkanju padavin (meritev v drugi polovici aprila 2020) in stalnosti evapotranspiracije, je bila količina vode na izviru izjemno nizka (slika 6), kar je privedlo do nadpovprečno visoke motnosti (> 800 NTU) in višjih vsebnosti nitratov (11,5 mg/l) (obkroženo rdeče na sliki 6). Kazalnika opozarjata na možnost zatekanja izcednih voda k izviru, ki ga ob povprečnih padavinah zaradi redčenja nismo zaznali. Tveganje za vpliv poselitve in kmetijstva iz neposrednega zaledja ter ob skromni namočenosti ni popolnoma izključeno.

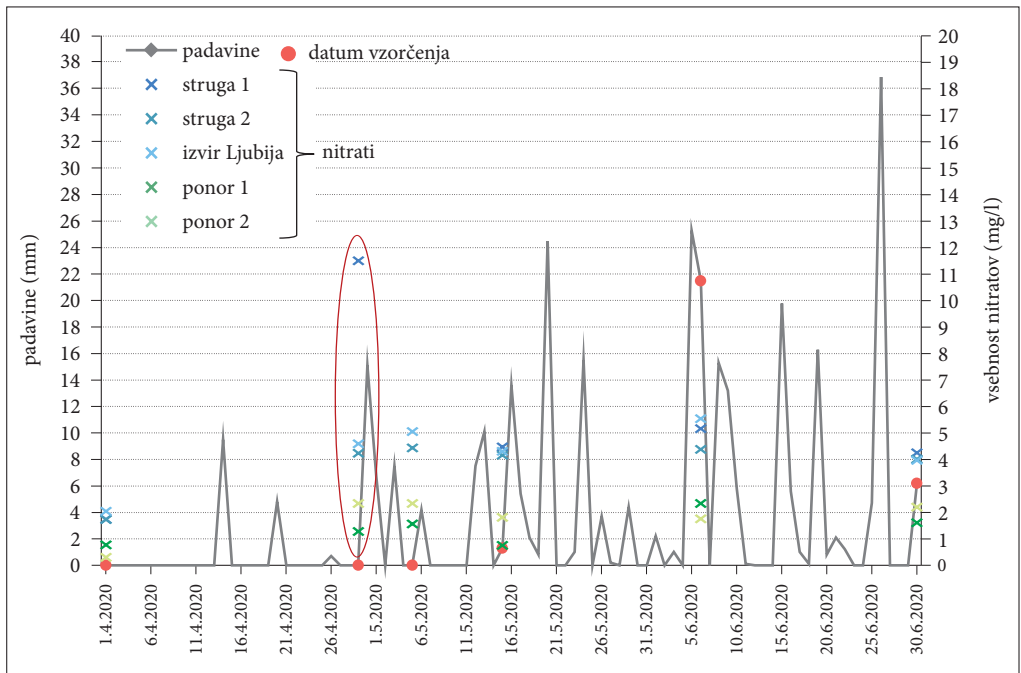
Izrednih meritev nismo vključili v izračun spomladanskega povprečja fizikalno-kemijskih parametrov, saj bi predvsem parameter motnosti nerealno zvišal trimesečno povprečje. Naslednje meritve na istem merilnem mestu v prvi polovici maja 2020 ni bilo mogoče izvesti zaradi izsušenega vira (slika 7).



Slika 4: Letne padavine na merilni postaji Bele Vode v obdobju 1978–2019 (Arhiv ... 2020).



Slika 5: Mesečne padavine v obravnavanem tromesečju – desetletna povprečja za Slovenijo v obdobju 1981–2010 in podatki za merilno postajo Bele Vode za leti 1978 in 2020 (Arhiv ... 2020).



Slika 6: Padavinske razmere v obravnavanem tromesečju, z označenimi datumi vzorčenja (Arhiv ... 2020) in meritvami vsebnosti nitratov.



Slika 7: Skoraj presahnjena izvira na vzorčnem mestu struga 1.

Na ostalih štirih merilnih mestih v obdobju vzorčenja nismo zasledili izstopajočih hidroloških značilnosti in meritev izbranih parametrov.

Povprečne vrednosti izmerjenih fizikalno-kemijskih kazalnikov na merilnih mestih so podane v preglednici 3. Povprečna temperatura vode je bila najvišja na ponorih, na P1 11,2 °C in na P2 9,0 °C. Na ostalih merilnih mestih so bile povprečne temperature med 6,9 in 7,6 °C. Med merilnimi mesti smo skozi celotno opazovano obdobje opazili zelo majhne razlike in nihanja vrednosti pH. Vrednosti pH vodnih vzorcev so bile rahlo alkalne (med 7,6 in 8,1).

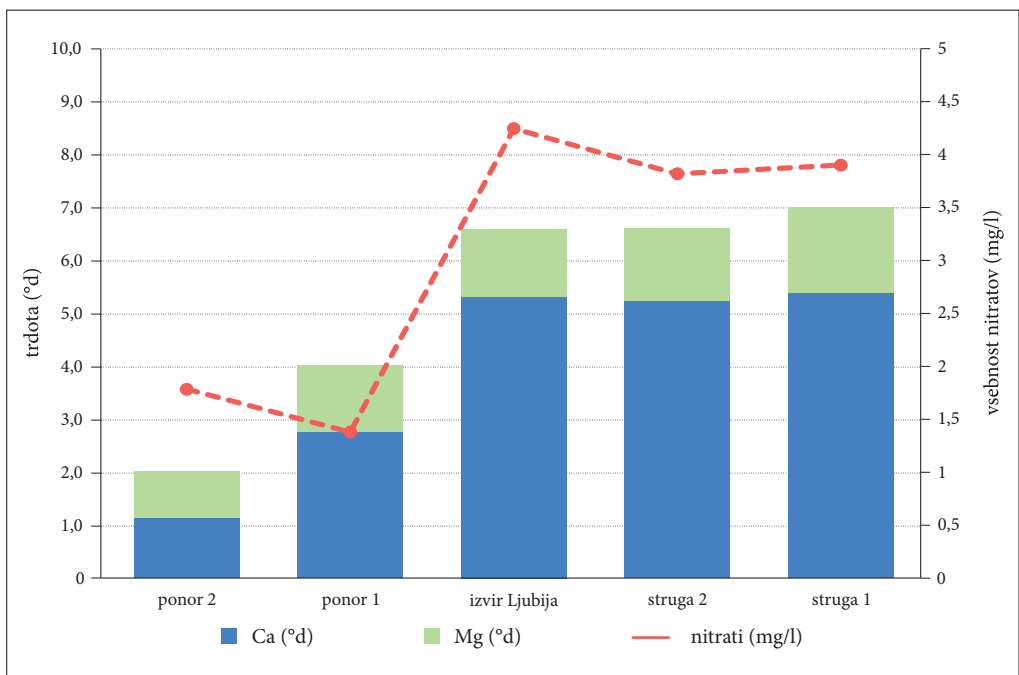
Preglednica 3: Povprečne vrednosti kazalnikov za splošno fizikalno-kemijsko stanje in hranila (NO_3^{2-}) na vzorčnih mestih, april–junij 2020.

merilno mesto	T (°C)	pH	motnost (NTU)	električna prevodnost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	trdota (°d)	Ca^{2+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	NO_3^{2-} (mg/l)
ponor 2	9,0	8,0	8,0	106,5	2,02	8,10	3,81	1,8
ponor 1	11,2	7,9	11,0	193,1	4,03	19,8	5,41	1,4
izvir Ljubija	7,5	7,8	9,2	238,6	6,58	37,9	5,48	4,2
struga 2	6,9	8,0	5,4	274,5	6,62	37,5	5,89	3,8
struga 1	7,6	7,8	6,0	282,4	7,02	38,6	6,93	5,4

Motnost vode je bila izjemno nizka in se rahlo znižuje dolvodno, razlike so zanemarljive. Podatki kažejo, da je količina suspendiranih delcev v vodnih vzorcih majhna in se dolvodno ne povečuje oziroma spreminja. V našem primeru je bila električna prevodnost v višje ležečih ponorih nižja ($< 200 \mu\text{S}/\text{cm}$), na nižjih treh merilnih mestih pa višja ($> 200 \mu\text{S}/\text{cm}$), kar kaže na večjo prisotnost raztopljenih večvalentnih ionov na izviru Ljubija ($238,6 \mu\text{S}/\text{cm}$) in obeh merilnih mestih v strugi ($274,5 \mu\text{S}/\text{cm}$ v S2 oziroma $282,4 \mu\text{S}/\text{cm}$ v S1). V raziskavi v letih 2019–2020 so izmerili vrednosti električne prevodnosti bližnjih kraških izvirov Rečice na južni strani kraške planote Golte med 273 in $433 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Ravbar s sodelavci 2021).

Vsi trije kazalniki (vrednost pH, motnost in električna prevodnost) so v skladu z določili Pravilnika o pitni vodi (2009). Električna prevodnost pričakovano narašča sorazmerno s celokupno trdoto vode. Neposredne meritve trdote kažejo, da je voda v ponorih (P1 in P2) zelo mehka ($< 4 \text{ }^\circ\text{d}$), zaradi naravnega kemizma (korozije) v vodnih vzorcih izvirov pa srednje trda ($6\text{--}8 \text{ }^\circ\text{d}$). Vsebnosti Ca^{2+} in Mg^{2+} sta najnižji v P2 in najvišji v S1, ki je tudi najnižje ležeče zajemno mesto. Razliko smo opazili tudi med ponoroma; v P1 sta vsebnosti višji za 144 % (Ca^{2+}) oziroma 42 % (Mg^{2+}) v primerjavi s P2. Dolvodno, na vzorčnih mestih na nižjih nadmorskih višinah, smo pričakovano zaznali višje prisotnosti ionov, najbolj izrazito Ca^{2+} , saj se je njegova vsebnost v povprečju zvišala skoraj za dvakrat (172 %) v primerjavi s ponoroma. Najvišja vsebnost Ca^{2+} je bila izmerjena na najnižje ležečem merilnem mestu, S1. Podoben potek sprememb smo opazili tudi pri vsebnosti Mg^{2+} , kjer razlike med ponoroma in nižjimi tremi zajemnimi mesti niso tako izrazite. Izmerili smo namreč za okrog 30 % višjo vsebnost Mg^{2+} na izviru in obeh merilnih mestih v strugi (S1, S2) v primerjavi s P2.

Koncentracije nitratov so nizke, najmanj $1,5 \text{ mg}/\text{l}$ v P1 in največ $5,4 \text{ mg}/\text{l}$ v S1. Mejna vrednost za koncentracijo nitratov v podzemni vodi ni bila presežena na nobenem merilnem mestu, prav tako tudi ne mejne vrednosti za pitno vodo. Na podlagi povprečne vrednosti nitratov za celotno območje v obdobju april–junij 2020 ($3,3 \text{ mg}/\text{l}$) in mejnih vrednosti razredov ekološkega stanja površinskih voda rezultati



Slika 8: Spreminjanje trdote vode in vsebnosti nitratov na merilnih mestih.

kažejo na zelo dobro ekološko stanje. Zaradi vsebnosti ionov in trdote je tudi vsebnost nitratov v vzorcih izvirov višja, a še zmeraj tako nizka, da ne moremo govoriti o obremenjenosti z dušikovimi spojinami. Na sliki 8 je prikazano, kako se dolvodno povečujejo skupna ter kalcijeva in magnezijeva trdota vode ter tudi koncentracija nitratov. Spremenljivki na osi y (trdota in koncentracija nitratov) sta med seboj neodvisni, a kot posledica podzemnega toka dolvodno obe naraščata.

5 Primerjava podatkov z raziskavo iz leta 1978

Vodnoekološke značilnosti doline Zaloka je z nekaterimi kazalniki predstavil že Kranjc (1979). Neposredno primerjavo smo lahko izvedli na treh vzorčnih mestih; P1 in P2 (prej Rupa II in I) ter izvir Ljubija. Primerjava podatkov je podana v preglednici 4.

Temperatura vode ponikalnic se močno spreminja glede na letni in dnevni čas ter vreme. Izvir Ljubije je spomladi leta 1978 kazal razmeroma stalno temperaturo, ki je nihala le med 6,2 in 6,6 °C, kljub raznolikim vremenskim pogojem (sneženje, toplo vreme) (Kranjc 1979). V naši raziskavi je bila povprečna temperatura vode na izvirov Ljubija v obdobju april–junij 2020 7,5 °C, z nihanjem vrednosti med 3,7 in 9,2 °C.

Leta 1978 so zaznali večje spremembe v kemičnih lastnostih vode in ugotovili, da imajo potoki, ki pritekajo z vulkanskih kamnin, nižje vrednosti pH (slabo alkalni) v primerjavi s tistimi z apnencev (alkalni) (Kranjc 1979). Po naših meritvah so bile vrednosti pH leta 2020 med seboj primerljive; vse rahlo alkalne.

Kranjc (1979) opisuje zelo nizke vrednosti celokupne trdote tokov z vododržnega sveta, ki sodijo med neznatno mineralizirane vode ($d < 3$). Tudi leta 2020 je bila voda na teh mestih zelo mehka, 1,8–4,4 °d. Izvir Ljubije je imel v opazovanem obdobju, kljub kraškemu značaju, precej nizke in v obeh raziskavah primerljive vrednosti celokupne trdote: leta 1978 6,3–6,6 °d in leta 2020 6,4–6,9 °d.

Preglednica 4: Primerjava fizikalno-kemijskih parametrov na istih mestih vzorčenja leta 1978 (zgornja vrstica) in 2020 (spodnja vrstica).

merilno mesto	leto	T (°C)	pH	celokupna trdota (°d)	Ca trdota (°d)	Mg trdota (°d)	kamninska podlaga
Rupa II	1978	5,8	8,0	2,45	2,05	0,40	nekarbonatno-
ponor 1	2020	11,2	7,9	4,03	2,77	1,25	karbonatna
Rupa I	1978	9,0	7,6	2,25	1,85	0,40	nekarbonatna
ponor 2	2020	6,9	8,0	2,02	1,13	0,88	
izvir Ljubija	1978	6,6	8,1	6,05	5,50	0,55	nekarbonatno-
	2020	7,5	7,8	6,58	5,31	1,27	karbonatna

6 Sklep

Širše območje doline Zaloka zagotavlja oskrbo s (kraško) pitno vodo z zadostnimi vodnimi zalogami tudi ob izjemnih sušnih razmerah. Kljub naravni ranljivosti (kraškost) vodonosnika za onesnaženje ob južnem robu doline je vodni vir glede na izmerjene kazalnike (nitrat) varen. Poselitev povirja je zelo redka, občasna ter sezonska (Podstenska planina, Žlebski stan), zaradi vodovarstvenega režima pa dve kmečki gospodarstvi na severnem delu preučevanega območja ohranjata vitalno podeželsko pokrajino po zahtevah ekološkega kmetovanja. Tako je na preučevanem območju zagotovljeno pretežno dobro ekološko stanje površinskih vodnih virov.

Padavinske razmere, ki jih prikazuje kazalnik letne količine padavin v obdobju 1978–2019, pomembno vplivajo na dolgoročnost zalog vode. Izračunano povprečje (1382,75 mm) za opazovano širše povirje Ljubije pa ne dosega slovenskega (1589 mm). Kazalnik povprečne letne količine padavin med letoma 1971–2010 kaže stabilno namočenost v severnem zaledju izvira Ljubija (1600–1800 mm), na Golteh (najvišja nadmorska višina preučevanega območja, 1588 m) pa se je v drugem tridesetletnem obdobju, med letoma 1981 in 2010, povprečna količina letnih padavin znižala za 100–200 mm. Tudi meritve največje 12-urne količine padavin s povratno dobo 50 oziroma 100 let v obdobju 1961–2000 kot tretji kazalnik padavinskih razmer kažejo, da je severni rob območja (Smrekovec) bolj namočen. Sklepamo, da k izdatnosti vodnih virov v dolini Zaloka več prispeva severno, kamninsko slabo prepustno obrobje, ki je deležno več padavin kljub nekoliko nižji (11 m) nadmorski višini, v primerjavi s kraško planoto Golte, južno od Zaloke. Najnižje povprečne količine padavin v obdobju 1982–2010 so izmerili na postaji Bele Vode (1366,2 mm).

Z rezultati fizikalno-kemijskih meritev nismo zaznali velikih ali skrb vzbujajočih odstopanj opazovanih parametrov, ki bi lahko povečali vodnoekološko občutljivost območja in vplivali na kakovost vodnih virov na območju doline Zaloka. Prav tako nismo zaznali realnega vpliva antropogenih dejavnikov, ki bi lahko preko vnosa dušikovih spojin vplivali na stanje okolja. Ob pomanjkanju padavin pa sicer obstaja možnost njihove povečane ranljivosti.

Ugotovitve ponovljene raziskave vodnih virov na območju doline Zaloka, skladne z evropsko Vodno direktivo (Vodna ... 2000), povezuje s tem, da preučena pokrajina v opazovanem obdobju 1978–2020 ni doživela večjih sprememb v rabi zemljišč. Meritve kazalnikov vodnoekoloških razmer so pokazale, da intenzivnost človekovih dejavnosti ne presega predhodnih naravnih funkcij in samoohranitvenih sposobnosti vodnega ekosistema.

7 Viri in literatura

- Arhiv meritev: Opazovani in merjeni meteorološki podatki po Sloveniji. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2020. Medmrežje: <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/> (17. 8. 2020).
- Atlas okolja. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2020. Medmrežje: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (17. 8. 2020).
- Devetak, I., Zupanc, N., Vinko, L., Slapničar, M. 2019: Določanje trdote vode – zbirka eksperimentov. Ljubljana.
- eKataster jam. Medmrežje: <https://www.katasterjam.si/Home/DetailedCaveMap> (9. 12. 2020).
- Geoportal. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2020. Medmrežje: <http://gis.arso.gov.si/geoportal/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7BBBA3010E-8356-467A-919E-1BCA7E335B93%7D> (17. 8. 2020).
- Kemijsko stanje podzemne vode v Sloveniji, Poročilo za leto 2018. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2018. Medmrežje: http://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Porocilo_podzemne_2018_splet.pdf (10. 12. 2020).
- Kovačič, G., Rupnik, T. 2015: Rakiški stržen: hidrogeografske značilnosti in ocena kakovostnega stanja. Geografski vestnik 87-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/GV87103>
- Kovačič, G., Rupnik, T. 2019: Kakovostno stanje Rakiškega stržena po obnovi Centralne čistilne naprave Postojna. Geografski vestnik 91-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/GV91203>
- Krajnc, U., Kryžanowski, A. 2020: Upravljanje z vodnimi viri v jugozahodni Sloveniji. Vodni dnevi 2020. Cerkevnik. Medmrežje: <https://sdzv-drustvo.si/wp-content/uploads/2020/10/ZBORNIK-VD-2020-v2.pdf> (9. 12. 2020).
- Kranjc, A. 1979: Kras v povirju Ljubije. Geografski vestnik 51.
- Kralj, P. 1997: Zeoliti v vulkanoklastičnih kamninah smrekovškega podgorja (severna Slovenija). Geologija 40. DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.1997.012>.

- Melik, A. 1954: Slovenski alpski svet. Ljubljana.
- Metodologija vrednotenja ekološkega stanja rek na podlagi splošnih fizikalno-kemijskih elementov kakovosti. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2017. Medmrežje: http://www.statika.evode.gov.si/fileadmin/direktive/WFD_P/2013/2013_I_1_2_6_TP_04.pdf (25. 11. 2020).
- Mioč, P., Žnidarčič, M., Jerše, Z. 1983: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Ravne na Koroškem. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Monitoring in ocenjevanje stanja površinskih in podzemnih voda v Sloveniji. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2016.
- O posameznih parametrih na kratko. Nacionalni inštitut za javno zdravje. Ljubljana, 2014.
- Okoljski kazalci: Nitrati v podzemni vodi. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2020.
- Petrič, M., Ravbar, N. 2008: Kraški vodni viri in njihovo varovanje. Kras: trajnostni razvoj kraške pokrajine. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612545475>
- Plut D. 1998: Pokrajinski vidiki vloge vodnih virov v sonaravnem razvoju Slovenije. *Okolje* 5, 1-2.
- Počkar, T., Kovarič, G., Peric, B. 2014: Hidrogeografske značilnosti in kakovostno stanje vodotokov v povirju Reke. *Geografski vestnik* 86-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/GV86101>
- Pravilnik o pitni vodi. Uradni list Republike Slovenije 19/2004, 19/2004, 35/2004, 26/2006, 92/2006, 25/2009. Ljubljana.
- Prestor, J., Meglič, P., Janža, M., Bavec, M., Komac, M. 2008: Hidrogeološka karta Slovenije 1: 250.000. Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.
- Program monitoringa kemijskega in ekološkega stanja voda za obdobje 2016 do 2021. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2017.
- Ravbar, N., Petrič, M., Blatnik, M., Švara, A. 2021: A multi-methodological approach to create improved indicators for the adequate karst water source protection. *Ecological Indicators* 126. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107693>
- Špeh, N., Skoberne, P. 2017: The landuse potentials of contact karst area – example of Zaloka valley, Slovenia. *Man and Karst* 2017. Zadar.
- Tičar, J. 2020: Daleč od oči, daleč od srca: Razkrivanje onesnaženosti jam v Sloveniji. Predavanje, Ljubljansko geografsko društvo, 10. 11. 2020.
- Tipi površinskih voda za vrednotenje ekološkega stanja (Ekološki tipi površinskih voda). Ministrstvo za okolje in prostor. Ljubljana, 2008.
- Uredba o stanju podzemnih voda. Uradni list Republike Slovenije 25/2009, 68/2012, 66/2016. Ljubljana.
- Uredba o stanju površinskih voda. Uradni list Republike Slovenije 14/2009, 98/2010, 96/2013 in 24/2016. Ljubljana.
- Vodna direktiva (Direktiva 2000/60/EC; Water Framework Directive): Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike. Uradni list Evropske unije 15-5. Bruselj, 2000.
- Vodni krog. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2020. Medmrežje: http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/hidro/watercycle/text/sl/observation_sites/springs/Ljubija.pdf (8. 12. 2020).

8 Summary: Water-ecological conditions in the area of Zaloka Valley

(translated by Manca Pantner)

In 2020, we followed a preliminary 1978 field study with a survey of water-ecological conditions. We covered the same area of the Zaloka Valley that was initially explored as a potential drinking water basin, meaning it is today in the municipal drinking water supply for more than 30.000 people included. We present the contact karst of the wider hinterland (10.7 km²) of the source of drinking water Ljubija (Figures 1 and 2).

Pollution of water resources is the most worrying form of reducing natural water potential (Plut 1998). Regarding the population, the annual quantity is 17.000 m³ of water *per capita*, making Slovenia the number one in Europe in terms of water richness, after Switzerland and Norway, and providing us with a safe drinking water supply. Water is the only natural resource that is abundant in otherwise impoverished Slovenia (Krajnc and Kryžanowski 2020).

In Slovenia, 97 % of the drinking water supply is provided by aquifers. Based on the provisions for monitoring the chemical status of waters (Monitoring ... 2016; The Water Directive (Vodna ... 2000), we monitored the state of water resources in the Zaloka Valley and measured selected physical-chemical parameters of water twice a month in a period from April to June 2020. According to the Water Chemicals and Ecological Status Monitoring Programme for the period 2016 to 2021 for indicators of chemical status in the water, the measurement of water quality once a month would be sufficient (Program ... 2017). We reviewed the general parameters (indicators) that represent a risk of ground-water contamination due to human activities: turbidity, pH value, electrical conductivity, temperature, and water hardness. Together with the precipitation data, we identified the current water-ecological conditions. Nitrates were monitored as an indicator of nutrient status in water samples. We were interested in the impact of people, especially the agricultural activity with which they traditionally earn their living in the Zaloka Valley. The collected observations and measurements were evaluated against the results of the 1978 survey (Krajnc 1979), for which we adjusted the period of fieldwork from April to June 2020 to verify the characteristics of water bodies that we measured after more than 40 years with selected indicators in the Zaloka Valley.

The broader area of the Ljubija spring has some special characteristics besides the drinking water supply. It is an outdoor classroom with natural karst phenomena: blind valleys with ponors (Figure 3), (half) dry valley, karst windows, gorge in the lower part of the Zaloka valley and karst underground with a system of water caves, a karst spring of the Vaucluse type and a pocket valley. At the same time, different land uses are intertwined in the area: water protection (VPA, municipal level, I.–III. Water Protection Area), protected area (Golte Nature Park within the Natura 2000 area), settlement, agricultural and forestry use (Špeh and Skoberne 2017).

The rock base of the valley is a typical example of the contact karst; in the northern part, it is represented by Oligocene Smrekovec volcanic layers (Kralj 1997), which south of the Smrekovec fault continue into the permeable carbonates of Mesozoic (Golte plateau) (Figure 2).

For the fieldwork water sampling, we determined five locations regarding the measurements in 1978; two ponors, at the volcanic-carbonate contact and three springs, with the main Ljubija spring (720 m a.s.l.) included. They were located from the highest 929 m a.s.l. (*Ponor 2*) to 669 m a.s.l., spring *Struga I*, which dried up in May due to low precipitation and evapotranspiration in April, 30.1 mm in 2020 (Figure 3). Besides the water-ecological characteristics, we also compared the precipitation data for both periods (Figure 5). The marked June high values (208.7 mm in 1978 and 179.1 mm in 2020) proved the torrential nature of the Ljubija stream and the continental rainfall regime of the area researched.

Data from the Bele Vode weather station were used to represent the precipitation characteristics of the broader Ljubija area. In the period 1978–2019, 2014 stands out with 1982.2 mm as the highest value, as well as 1993 with 1011 mm as the lowest value. The average annual precipitation was 1382.75 mm; the average for Slovenia in the same period was 1589 mm/year (Krajnc and Kryžanowski 2020). The latter part of the observed period is more modest from the outset, with the highest values of 147.8 (in 1983) and 127.5 mm (in 1980). Regarding the indicator of average annual precipitation between 1971 and 2010, in the northern, volcanic rocky periphery more precipitation fell and contributed to the stock of water resources in the Zaloka Valley despite the slightly lower (11 m) elevation than the Golte carbonate plateau south of Zaloka. The lowest average precipitation over the period 1982–2010 was measured at the Bele Vode station (965 m a.s.l., 1366.2 mm).

The results of the physical-chemical measurements (pH value, electrical conductivity and water hardness) correspond to the geological conditions of the studied area (Table 3). We did not find any large

or even significant variations in the measured parameters that could increase the water ecological sensitivity of the area and thus affect the availability and quality of water resources in the Zaloka Valley. We have not recognized the impact of anthropogenic factors that could affect the state of the environment due to the concentration of the nitrogen compounds. The results of a repeated survey of water resources in the Zaloka Valley, which was in line with the Water Directive, proved that the surveyed water resources in the research period (1978–2020) did not show any significant changes in the surface use (Table 4). Measurements of water-ecological conditions have shown that the intensity of human activities does not exceed the previous functions and self-sustaining capabilities of the water ecosystem, which is comparable to the natural (reference) conditions.

