

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet

Sveučilište u Rijeci, Odjel za fiziku

Analiza vodnog potencijala i dinamike izmjena voda izvorišta vodoopskrbe na Učki



Rijeka, studeni 2020.

Predmet: Analiza vodnog potencijala i dinamike izmjena voda izvorišta vodoopskrbe na Učki

Naručitelj: Hrvatske vode
Ulica grada Vukovara 220
10000 Zagreb

KLASA: 325-01/19-01/01

Evidencijski broj ugovora: 23-145/19

Izvešće izradili
(Zajednica ponuditelja): Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet
Sveučilište u Rijeci, Odjel za fiziku

Voditelj projekta: doc. dr. sc. *Josip Rubinić* Josip Rubinić

Vodeći član doc. dr. sc. Josip Rubinić
Sveučilište u Rijeci, Maja Radišić, mag. ing. aedif.
Građevinski fakultet Duje Kalajžić

Sveučilište u Rijeci, doc. dr. sc. Diana Mance
Odjel za fiziku

Podaci: Liburnijske vode d.o.o.
Hrvatske vode
Državni hidrometeorološki zavod

Dekanica Građevinskog fakulteta u Rijeci

Ivana Štimac Grandić
prof. dr.sc. Ivana Štimac Grandić



Rektorica Sveučilišta u Rijeci

Snježana Prijic Samaržija
prof. dr. sc. Snježana Prijic Samaržija



SADRŽAJ

1.	Uvod	1
2.	Pregled područja istraživanja	2
2.1.	Opći pregled dostupne literature o istraživanom području	2
2.2.	Osnove klimatološke značajke	3
2.3.	Osnovne hidrografske značajke	5
2.4.	Zahvati vode za vodoopskrbu	15
2.5.	Prikaz rezultata praćenja stabilnih izotopa na širem regionalnom prostoru	19
3.	Prikaz rezultata monitoringa i analiza podataka KD Liburnijske vode	23
3.1.	Pregled monitoringa količina i kakvoće vode	23
3.2.	Količinski monitoring	25
3.2.1.	Razine vode	25
3.2.2.	Zahvaćene količine	31
3.3.	Monitoring kakvoće	36
3.3.1.	Mutnoće	36
3.3.2.	Ostali parametri kakvoće vode	46
3.4.	Analiza međuodnosa izdašnosti izvorišta	57
3.5.	Analiza dinamike otjecanja malih voda	60
3.5.1.	Tunel Učka	61
3.5.2.	Mala Učka	64
3.5.3.	Vela Učka	67
3.5.4.	Rečina	70
4.	Monitoring stabilnih izotopa u oborinskoj i podzemnoj vodi Učke 2019.-2020.	75
4.1.	Uspostavljanje mjesta uzorkovanja	75
4.2.	Priprema uzoraka i određivanje zastupljenosti stabilnih izotopa u vodi	77
4.3.	Rezultati mjerenja	79
4.4.	Količina oborine	86
4.5.	Stabilni izotopi u oborini	87
4.5.1.	Izotop kisika ¹⁸ O u oborini	87
4.5.2.	Izotop vodika ² H u oborini	88
4.5.3.	Suvišak deuterija (d-excess) u oborini	90
4.5.4.	Lokalna linija oborinske vode	90

4.6.	Stabilni izotopi u izvorskoj vodi	93
4.6.1.	Izotop kisika ^{18}O u izvorskoj vodi.....	93
4.6.2.	Izotop vodika ^2H u izvorskoj vodi	94
4.6.3.	Suvišak deuterija u izvorskoj vodi	99
4.6.4.	Odnos izotopnog sastava oborinskih i izvorskih voda.....	100
4.6.5.	Prosječna nadmorska visina prihranjivanja izvora određena na temelju izotopnog sastava oborine i podzemnih voda	100
4.6.6.	Analiza izdvojenog događaja iz lipnja 2020.....	101
5.	Zaključak i prijedlog daljnjih istraživanja.....	103
6.	Literatura.....	107

1. Uvod

U predmetnom dokumentu sadržan je pregled značajki vodnog potencijala kaptiranih izvorišta na području Učke, uključenih u vodoopskrbni sustav Liburnijskih voda d.o.o. koje njima upravljaju i osiguravaju vodoopskrbu na području Grada Opatije te Općina Matulji, Lovran i Mošćenička Draga. Radi se o izvorima Vela i Mala Učka, Rečina, izvoru u tunelu Učka te grupi izvora vrlo male izdašnosti ispod sela Mala Učka pod zajedničkim nazivom Sredić ili pak Perun po zajedničkoj vodnoj komori koja prihvaća njihove vode. Iako spomenuti izvori na Učki ne pokrivaju cjelokupne vodoopskrbne zahtjeve spomenutih gradova i općina, radi se o vrlo vrijednim vodnim resursima. Dodatna vrijednost ovih izvora je njihov visinski položaj te je stoga u najvećoj mjeri gravitacijska opskrba vodom potrošača, te područja njihova prihranjivanja koja su izvan urbanih zona i s relativno malo pojedinačnih objekata na tom području koji predstavljaju potencijalni rizik po kakvoću njihove vode. No, s druge strane, radi se o krškom području, s vrlo intenzivnim pojavama kratkotrajnih jakih oborina, pa onečišćenja s površine vrlo brzo infiltriraju s palim oborinama u vodonosnike spomenutih izvora, te intenziviraju pojave mutnoća, a time i vrlo brzo dolazi do promjene kakvoće njihovih voda.

Radi se o izvorima koji su uglavnom iznimno dugo kaptirani za potrebe vodoopskrbe, od kojih je najranije izvor Rečina – još 1887. godine. No, unatoč te okolnosti, sustavnih podataka o monitoringu njihovih značajki nije bilo do sada, već su informacije o njihovim temeljnim hidrološkim značajkama, dinamiци otjecanja pa čak i samo o zahvaćenim količinama voda uglavnom bile vezane za kratkotrajna razdoblja, te sadržane u pojedinim dokumentima vezanim uz planiranje zahvata, zone sanitarne zaštite i slično. S druge strane, KD Liburnijske vode razvilo je telemetrijski sustav praćenja i upravljanja svojim objektima, koji sadrži i vrijedne informacije o značajkama izvorišta vode koje se koriste u operativne svrhe. Začetci razvoja tog sustava datiraju se za još 1963. g., s ručnim upravljanjem i cjelodnevnom nadzorom strojara iz komadnog centra smještenog na CS Opatija 1. No, realizacija suvremenog koncepta nadzorno-upravljačkog sustava započela je 2001.g., i u taj sustav, odnosno kontinuirani monitoring, postupno su uključeni i objekti izvorišta voda na Učki (<http://www.liburnijske-vode.hr/web/daljinsko-upravljanje-i-odrzavanje.html>). Unatoč postojanja informacija o prikupljenim podacima, isti nisu do sada bili nikad sustavno procesirani, te je u predmetnom dokumentu provedena analiza tako prikupljenih podataka o razinama vode, zahvaćenim količinama te zabilježenim mutnoćama vode s izvorišta vodoopskrbe na području Učke.

Uz to, elaborat sadrži i rezultate monitoringa stabilnih izotopa kisika i vodika u kišnici i na izvorima, te njihovu interpretaciju u kontekstu razmatranja ukupnih hidroloških prilika. Sam monitoring provodio se u razdoblju od srpanja 2019. do srpanja 2020. godine. Kako bi se obuhvatilo cjelokupno sušno razdoblje, u sklopu predmetnog dokumenta analizirani su i podaci telemetrijskog monitoringa, prikupljeni u razdoblju do zaključno 31.10.2020.

Cilj provedenih istraživanja u ovom dokumentu bio je provesti dopunski monitoring te provesti stanja hidroloških prilika na odabranim izvorima s područja Učke, analizirati dinamiku istjecanja i izmjene voda te provesti ocjenu raspoloživosti voda u uobičajenim i ekstremnim hidrološkim uvjetima.

2. Pregled područja istraživanja

2.1. Opći pregled dostupne literature o istraživanom području

Tijekom dugotrajnog razdoblja razvoja vodoopskrbnog sustava, izrađen je i niz dokumenata različitih profilacija dijelom vezanih uz zahvate voda na izvorštima vodoopskrbe na Učki, kao i ocjene njihovih hidroloških značajki. Najnovijim izvorom takvih informacija može se smatrati monografija „Povijest Liburnijske vodoopskrbe i odvodnje“ (Kostelac, 2009), a čiji je izdavač bilo KD Komunalac d.o.o. Opatija. Radi se o iznimno vrijednom dokumentu u kome je veoma pregledno obrađena problematika koja se dijelom odnosi i na informacije vezane uz same vodozahvate na Učki, posebno u njihovom povijesnom kontekstu. Preteča toga rada bio je rad Vodoopskrba i sanitarna odvodnja Liburnijske rivijere i zaleđa (Mrak i sur., 2005) u kome je na taksativan način dan pregled aktivnosti vezanih uz razvoj vodoopskrbnog sustava područja Opatije i susjednih općina, zahvata na izvorštima vodoopskrbe na području Učke, kao i njihovih karakterističnih ekstrema. Slijedi prikaz osnovnih informacija o provedenim zahvatima i rekonstrukcijama na izvorima na području Učke, preuzet iz spomenutog rada:

1897. - Gradnja gravitacionog cjevovoda ϕ 100 i ϕ 125 mm od izvorišta Rečina, kapaciteta 2-10 L/s za opskrbu Opatije i Lovrana,

1898. - Izvođenje radova na kaptazi Mala Učka i gravitacijskog cjevovoda ϕ 125 mm do sabirne komore Poklon,

1912. - Kaptiranje izvorišta Vela Učka i izgradnja cjevovoda ϕ 125 mm od lijevanog željeza do komore Poklon, te do izvora Rečina,

1934. - Izgradnja kaptaza Vela Ravan i 'Bukvina, sabirne komore Sredić, te polaganje cjevovoda ϕ 80 mm do Mošćenica,

1983. - Gradnja kaptaze izvorišta Tunel Učka s crpnom stanicom,

1990. do 1993. - Rekonstrukcija izvorišta Vela Učka,

1990. do 1995. - Rekonstrukcija izvorišta Mala Učka,

1997. - Rekonstrukcija izvorišta Rečina, Rekonstrukcija kaptaze „Griža“ na izvorištu Sredić.

Hidrološkim značajkama vodnih pojava na području PP Učka bavi se diplomski rad A. Rubinića (2004), pri čemu je taj rad u većom mjeri orijentiran na istraživanje značajki površinskih vodnih tokova, ali ima i vrijednih informacija o značajkama pojedinih izvora na području Učke – kako kaptiranih, tako i ostalih manjih izvora. No ipak, glavnina vodoistražnih radova i dokumenata vezana je uz hidrogeološka istraživanja analiziranog prostora. Među njima za istaći je dokument Vodoistražni radovi na izvorima Vela i Mala Učka (IGI, 1986), Zaštitne zone izvorišta pitke vode na padinama Učke (IGI, 1999) s njihovom novelacijom (GeoAqua, 2013) te u dokumentu Vodoistražni radovi na području karbonatnog grebena Vrha Učke (GeoAqua, 2005). Provedeno je još nekoliko vodoistražnih radova na potencijalnim izvorima vodoopskrbe (npr. za izvor Leskovac) (Geološki konzalting, 2003; IGI, 2004), no uglavnom se radilo o izvorima manjih izdašnosti, koje nisu opravdavale njihov nastavak. Najnoviji dokument koji se odnosi na istraživano područje je dokument Speleološka istraživanja podzemnih sustava povezanih sa zahvatom u tunelu Učka (Arbos, 2019), u kome su, uz rezultate speleoloških istraživanja dani i rezultati monitoringa preljevnih količina voda vodozahvata Tunel Učka.

2.2. Osnove klimatološke značajke

Pri analizama oborinskog režima korišteni su podaci s kišomjerne postaje Vela Učka (45°18' N, 14°12' E) koja se nalazi na nadmorskoj visini od 890 metara. Rezultati osnovne statističke obrade podataka (Sr – srednja vrijednost niza, Stdev – standardna devijacija, Cv – koeficijent varijacije, Max i Min – ekstremne registrirane vrijednosti unutar analiziranog niza srednjih mjesečnih ili godišnjih vrijednosti) o oborinama na spomenutoj postaji dani su u Tablici 2.2.1. Radi usporedbe, u tablici su dani i podaci o oborinama tijekom 2019. godine, te od siječnja do kolovoza 2020. godine.

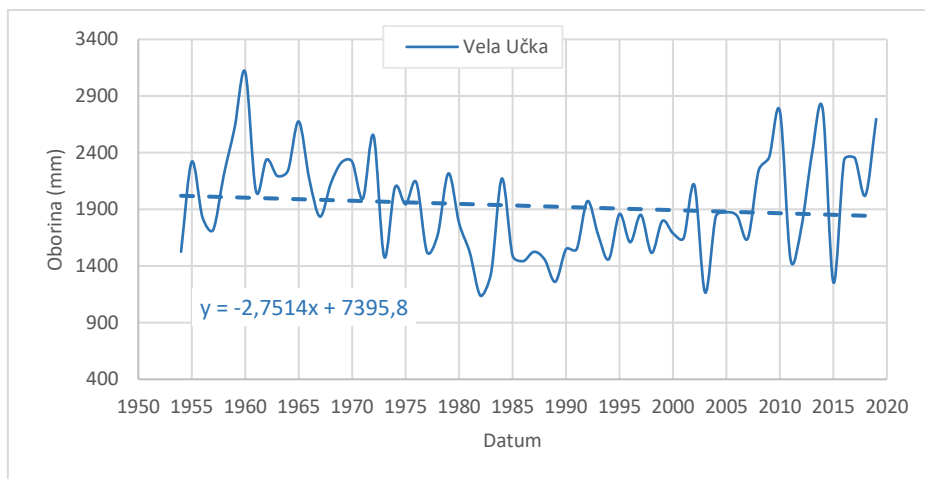
Tablica 2.2.1. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti oborina (mm) na postaji Vela Učka

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Vela Učka (1954. - 2019.)													
Sr	174,3	172,8	155,7	153,1	141,8	128,4	96,9	107,4	165,9	179,3	249,6	204,9	1930,1
Stdev	111,5	121,5	101,8	75,1	82,2	50,1	60,1	67,4	108,3	130,5	141,3	142,3	436,8
Cv	0,640	0,703	0,654	0,491	0,579	0,390	0,620	0,628	0,653	0,728	0,566	0,694	0,226
Max	453,5	477,0	459,2	395,1	472,2	279,8	276,7	368,1	538,4	643,2	583,9	622,0	3112,0
Min	0	6,0	0	9,0	14,0	23,2	6,2	1,4	16,2	0	33,0	1,6	1137,0
2019	68,4	175,7	44,5	237,4	472,2	121,8	276,7	89,6	117,0	76,1	583,9	433,2	2696,5
2020	28,1	36,2	177,4	25,2	60,6	245,4	71,3	185,6					

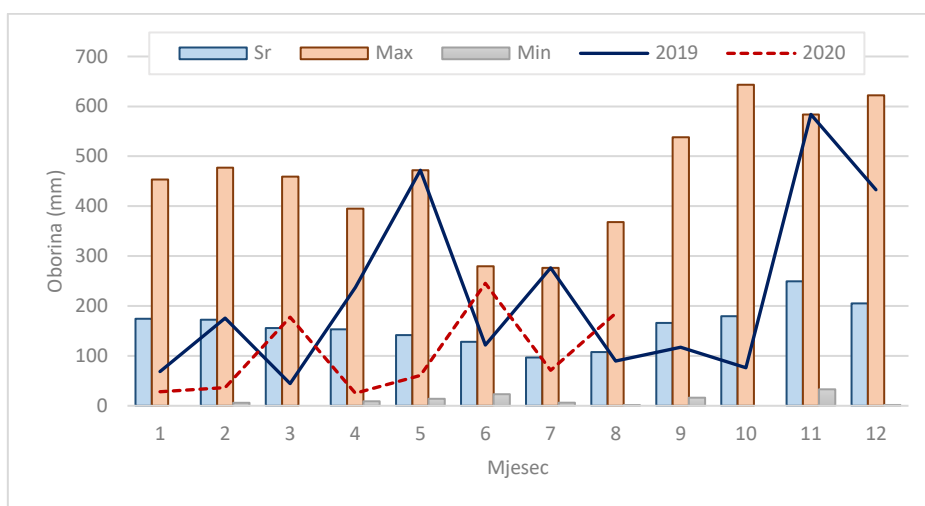
Srednja ukupna godišnja oborina na postaji Vela Učka (1954.-2019.) iznosi 1930,1 mm. Prisutna je vrlo velika varijabilnost, kako po pojedinim mjesecima, tako i na razini godišnjih podataka u ukupno palim količinama oborina. Tako npr. godišnje varijacije se kreću u rasponu između 1137,0 i 3112,0 mm. Maksimalna ukupna mjesečna oborina tijekom cijelog razdoblja monitoringa iznosi 643,2 mm (listopad 1964.), a vidimo da čak u tri mjeseca nije bilo oborina – siječanj 1989., ožujak 2012. i listopad 1965. i 1969.

2019. godina, u kojoj je započet dopunski monitoring u sklopu ovoga projekta, bila je vodnija od višegodišnjeg prosjeka i to za čak oko 770 mm. Vidimo da su svibanj, srpanj, studeni i prosinac bili čak više od dvostruko vodniji od višegodišnjeg prosjeka te da su svi spomenuti mjeseci, osim prosinca, dosegli i maksimalnu mjesečnu vrijednost oborina tijekom cijelog razdoblja opažanja.

Razmotreni su i trendovi hoda godišnjih količina oborina na analiziranoj postaji (Slika 2.2.1). Iz prikaza je vidljivo da je trend oborina u blagom opadanju i to za 27,5 mm/10 god. Također vidljivo je da je najvodnija godina bila 1960. (3112,0 mm), dok je najsušnija bila 1982. (1137,0 mm). Dana je i unutar godišnja raspodjela (Slika 2.2.2) iz koje je vidljivo da srednje mjesečne oborine dominiraju od studenog do veljače, a da su u prosjeku najmanje u srpnju. Radi usporedbe na slici su dani i podaci za 2019. godinu, kao i za razdoblje od siječnja do kolovoza 2020.

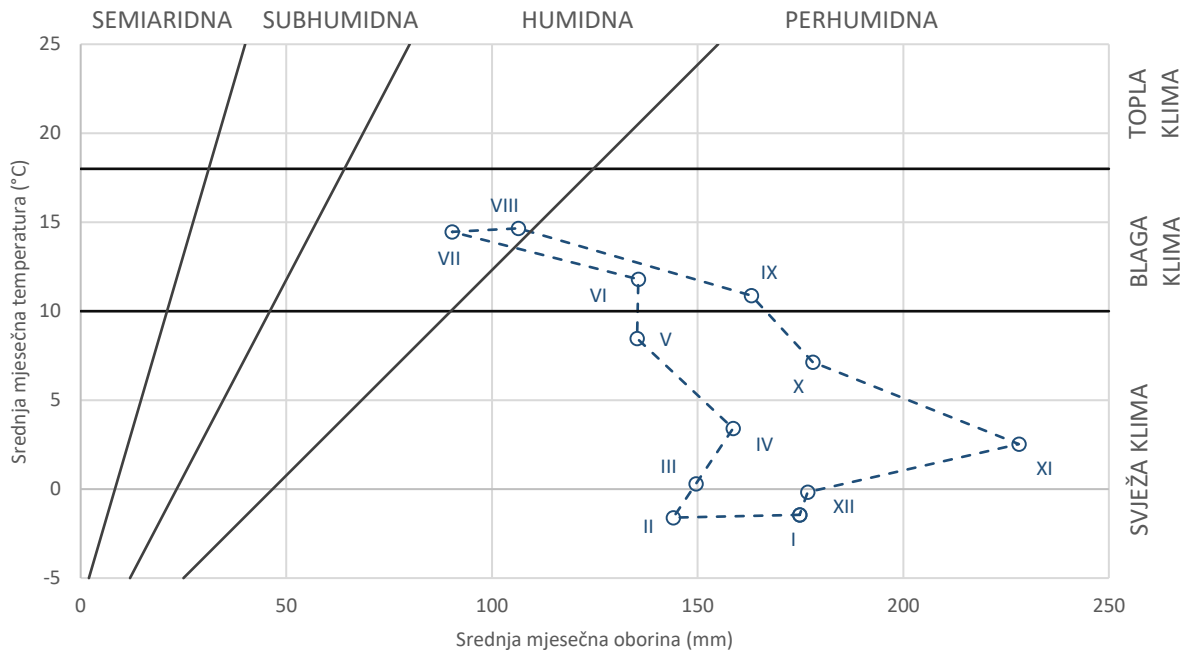


Slika 2.2.1. Hod karakterističnih godišnjih vrijednosti zabilježenih količina oborina na postaji Vela Učka



Slika 2.2.2. Unutar godišnja raspodjela srednjih, maksimalnih i minimalnih količina oborina postaji Vela Učka (1954. – 2019.) u usporedbi sa 2019. i 1.-8.2020.

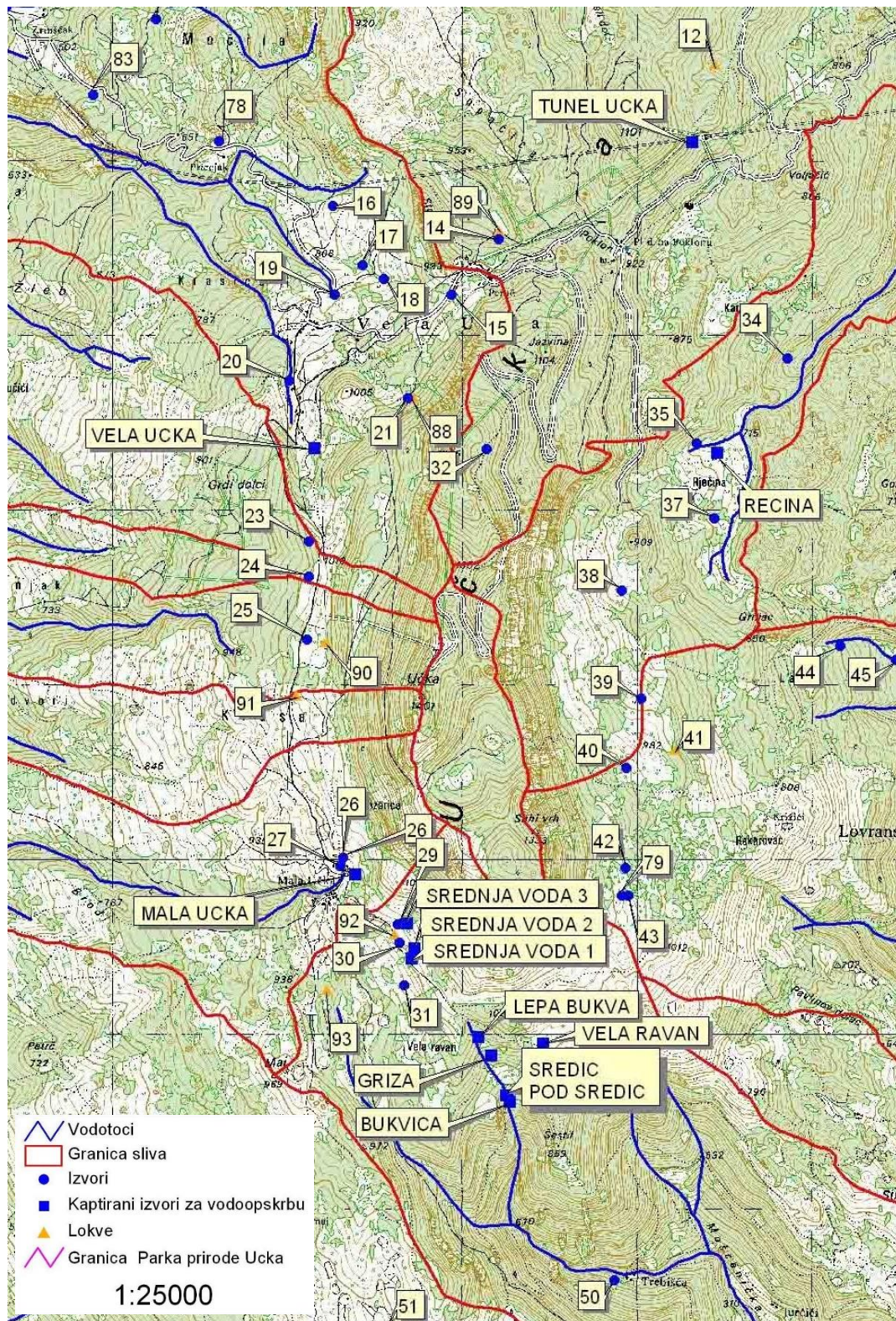
Opće klimatske značajke mogu se zorno predočiti tzv. fosterovim dijagramom (Slika 2.2.3) na kojem su dani prosječni mjesečni podaci o oborinama i temperaturama zraka za razdoblje od 1961. do 1990. (s nadopunama tijekom učestalijih prekida u radu Rubinić A. iz 2004) za postaju Vrh Učke. Iz njega je vidljivo da na vrhu planinskog masiva Učke prevladava perhumidna klima, i to svježija tijekom razdoblja listopad – svibanj, te blaga tijekom lipnja i rujna. Humidna blaga klima karakterizira dva najtoplija, a ujedno i najsušnija mjeseca u godini – srpanj i kolovoz. Takva raspodjela klimatskih prilika pogoduje generiranju vrlo značajnih specifičnih protoka praktički tijekom cijele godine. Također vidimo da su najveće oborine od listopada do siječnja i to sa uvjerljivo najvećim količinama tijekom studenog, dok su najmanje u ljetnim mjesecima (srpnju i kolovozu). Srednje mjesečne temperature zraka su čak tijekom tri mjeseca (u razdoblju od prosinca do veljače) ispod 0°C, dok maksimalna srednja mjesečna temperatura ne prelazi 15°C.



Slika 2.2.3. Fosterov dijagram za postaju Vrh Učke (1961.-90., s nadopunama tijekom prekida)

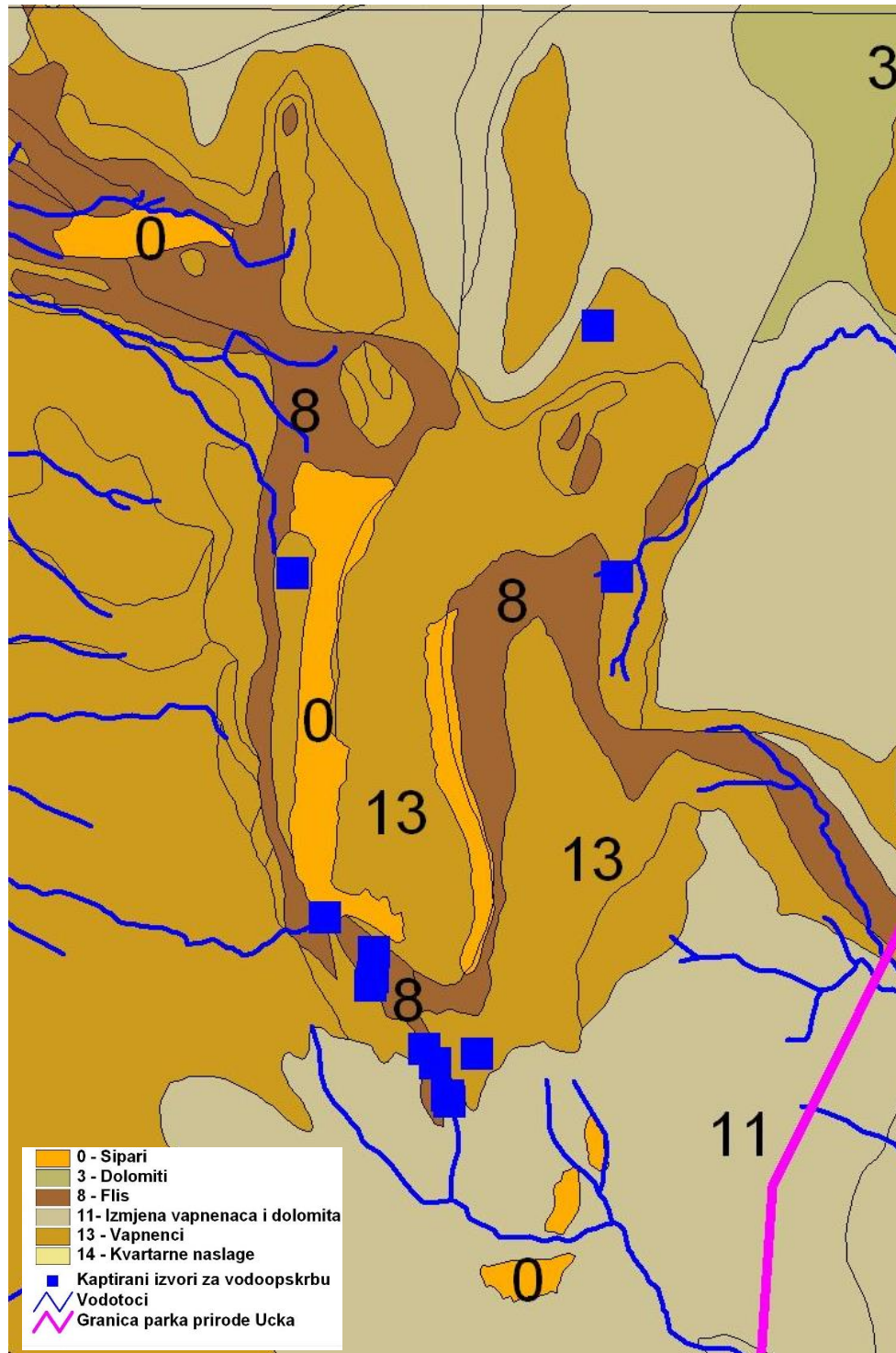
2.3. Osnovne hidrografske značajke

Analizirani izvori na Učki locirani su uokolo po njenom obodu na relativno velikoj nadmorskoj visini od oko 740 m n.m. pa do gotovo 1.000 m n.m., neposredno ispod središnjeg dijela masiva vrha Vojaka. Jedini izvor/vodozahvat koji je na nižem položaju je kaptirani izvor u tunelu Učka, lociran na koti od oko 490 m n.m. Na Slici 2.3.1 dan je položaj analiziranih izvora, kako kaptiranih za potrebe vodoopskrbe, tako i drugih manjih stalnih ili povremenih izvora, o kojima se osnovne informacije nalaze u katastru Hrvatskih voda. Dan je i prikaz hidrografske mreže površinskih vodotoka koji uglavnom počinju svoj tok upravo spomenutim izvorima na rubnim dijelovima planinskog masiva Učke. Radi se o povremenim vodotocima, uglavnom bujičnog karaktera, od kojih su jedino vodotoci koji su počinjali svoj tok na mjestima sada kaptiranih izvora, prije izvedbi tih kaptiža imali stalniji tok. I u danim uvjetima relativno dugo razdoblje bez presušivanja imaju vodotoci Banina koji se prihranjuje iz izvorišnog okruženja izvora Rečina, te vodotok Mošćenička Draga koji svoj tok započinje na području fliških struktura grupe izvora Sredić



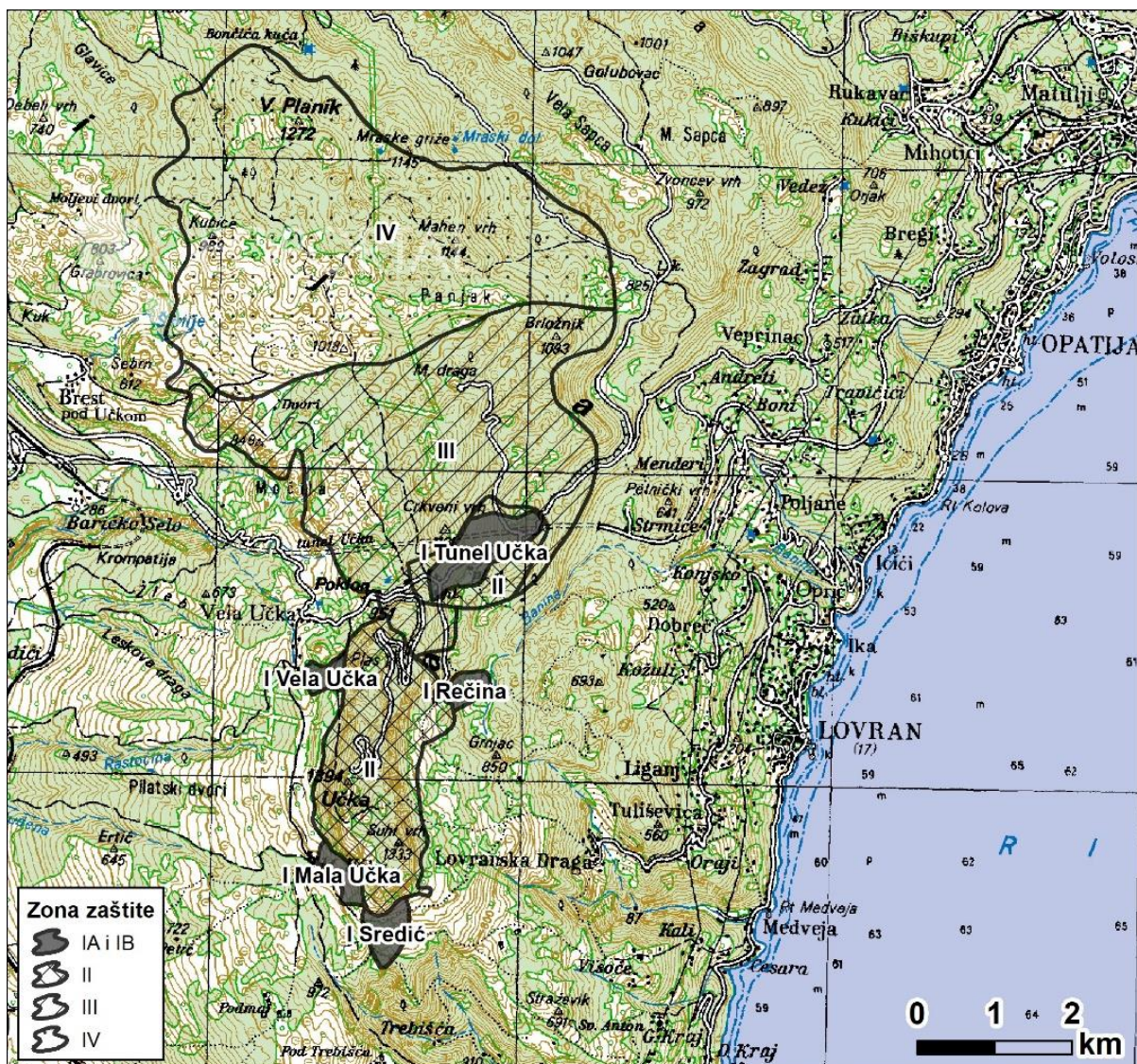
Slika 2.3.1. Prikaz položaja izvora na najvišim dijelovima masiva Učke te osnovne hidrografske mreže povremenih vodotoka – izvadak iz Rubinić A. (2004)

Na Slici 2.3.2 dan je prikaz hidrogeoloških značajki istraživanog područja izvorišta na području Učke koji su uključeni u vodoopskrbni sustav. Vidljivo je da je njihova pojava uvjetovana kontaktom fliša i vapnenaca navlačne strukture masiva Učke.



Slika 2.3.2. Hidrogeološka karta najviših dijelova masiva Učke s položajem kaptiranih izvora uključenih u vodoopskrbni sustav Liburnijskih voda – izvadak iz Rubinić A. (2004)

Obzirom na uključenost izvora u vodooopskrbni sustav, za njih su definirane i zone sanitarne zaštite izvorišta pitke vode (Sl. novine Primorsko goranske županije 39/2014) (Slika 2.3.3). Pri tome su za izvorište Tunnel Učka, koje je najniže položeno te stoga s najvećim prostornim utjecajem, određene sve četiri zone (I – IV), a za izvorišta Vela Učka, Mala Učka, Rečina, te izvorišnih skupina Sredić i Srednja voda (voda s ovih dvaju izvorišnih skupina prikuplja se u zajedničkoj vodospremi Perun) određene su samo I i II zona. Ukupna površina prve zone izvora u tunelu Učka iznosi 0,810 km², njegova druga zona ima površinu od 0,799 km², treća 11,886 km², a četvrta 15,859 km². Što se pak tiče ostalih spomenutih izvora, ukupna površina njihovih prvih zona zaštite iznosi 0,960 km², a druge 4,228 km². Ukupno se pod zonama sanitarne zaštite nalazi oko 34,54 km² površina. Za spomenuti je da je na temelju najnovijih speleoloških istraživanja rasprostiranja speleološkog sustava, kojega je sastavni dio i vodozahvat u Tunelu Učka (Arbos, 2019), predložena manja korekcija danih granica, obzirom na smjer pružanja speleoloških sustava i novoistraženih aktivnih dijelova podzemnih tokova u njemu.



Slika 2.3.3. Zone sanitarne zaštite izvorišta na području Liburnije i zaleđa

Kako bi se sagledali pojedini elementi vodne bilance izvorišta vodoopskrbe na Učki, provedena je procjena njihove vodne bilance. Pri tome su za procjenu vodnog potencijala sliva korištena dva modelska pristupa: prvi zasnovan na metodologiji predloženoj od strane Turca (1954), te drugi po Langbein-ovoj metodologiji (1962). Turc-ova formula (1954) sadrži deficit otjecanja (D) kao funkciju palih oborina (P) i temperaturnog faktora (L).

$$D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (1)$$

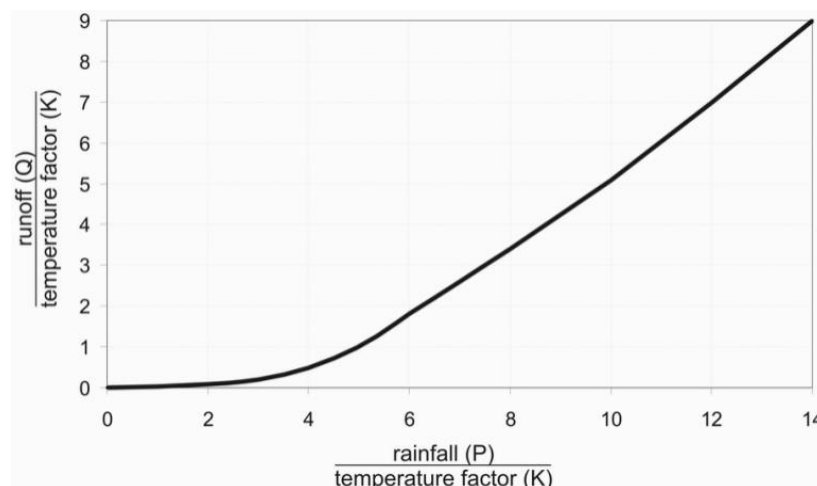
Temperaturni faktor (L) je proračunat pomoću formule:

$$L = 300 + 25 \times T + 0.05 \times T^3 \quad (2)$$

gdje T predstavlja povećanje temperature zraka.

Kao što pokazuje Slika 2.3.4, Langbein-ova metoda (1962) je zasnovana na međudnosu između faktora međudnosa oborina i temperatura (P/K) i faktora odnosa otjecanja i temperatura (Q/K), odnosno ona koristi oborine i temperature zraka kao ključne parametre za procjenu otjecanja. Temperatura zraka (T) je ugrađena u formulu za temperaturni faktor (K) koji se povećava eksponencijalno s porastom temperature:

$$K = 10^{0.0278T + 0.886}$$



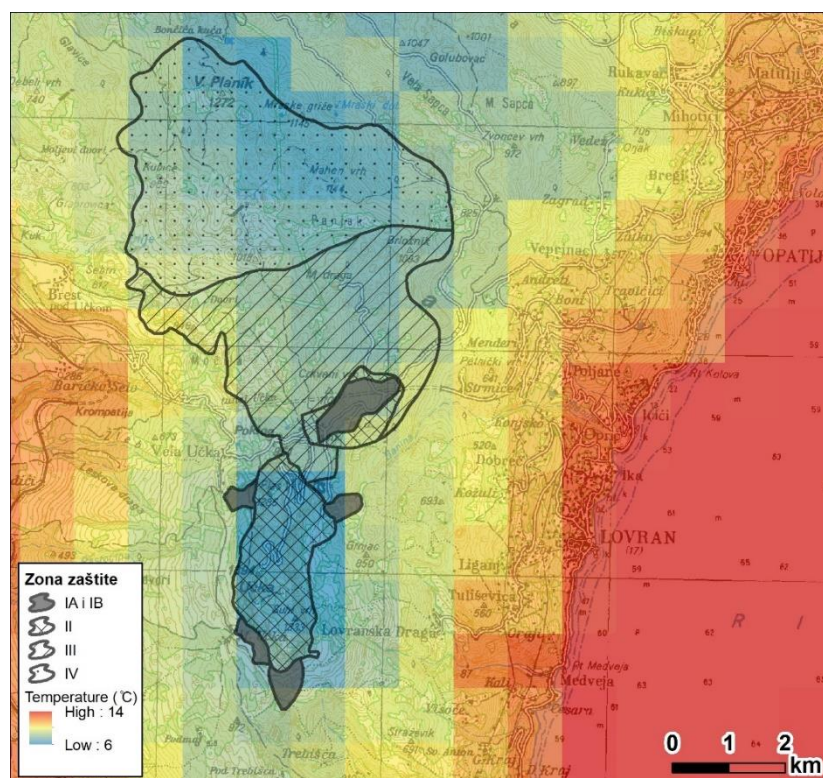
Slika 2.3.4. Langbein-ova (1962) metoda: odnos između P/K i Q/K

Oba modelska pristupa koriste prosječnu godišnju količina oborina i temperature zraka (često su to i jedini dostupni klimatološki podaci u hidrološkoj analizi otjecanja) kao prostorno

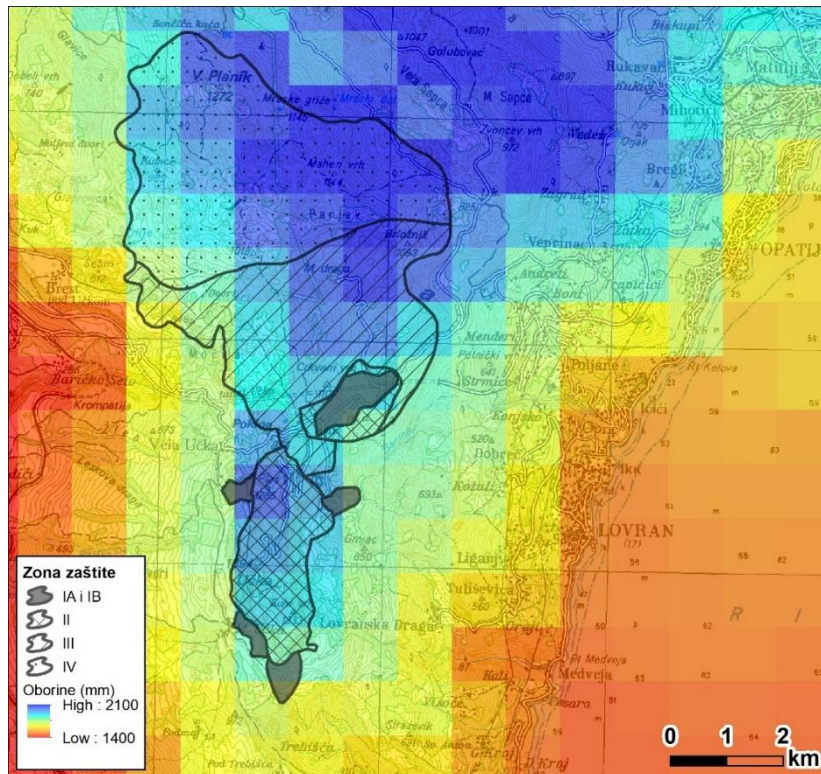
promjenjive ulazne parametre. Pri tome geografski informacijski sustavi uvelike olakšava procjenu prostorne raspodjele i prostorne analize ulaznih parametara i rezultata.

Postupak procjene godišnjeg otjecanja počinje s razgraničenjem slivova, na temelju hidrogeoloških procjena, nakon čega slijedi procjena prostorne raspodjele meteoroloških parametara (oborina i temperature). To je u danom slučaju provedeno donošenjem granica zona sanitarne zaštite spomenutih izvorišta. Zatim se provodi procjena prostorne raspodjele prosječnog godišnjeg otjecanja pomoću Turc-ove i Langbein-ove metode. Na temelju tih rezultata provode se usporedbe s mjerenim podacima ako isti postoje ili se provode procjene na temelju značajki nekih drugih vodnih pojava s okolnog regionalnog prostora.

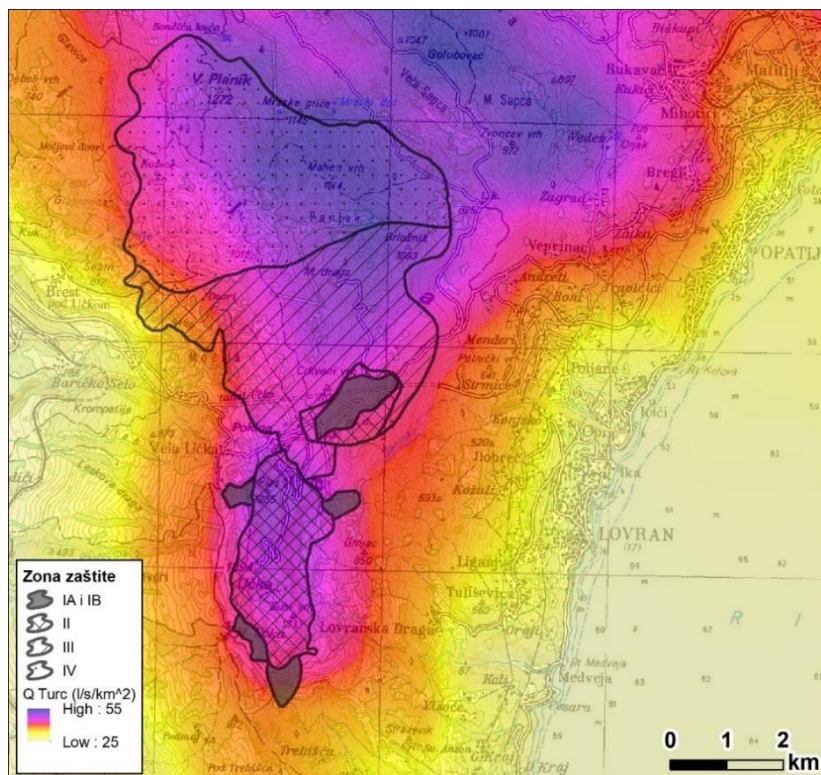
Na Slici 2.3.5 dan je prikaz prostorne raspodjele srednjih godišnjih temperatura zraka za referentno 30-godišnje razdoblje 1961.-90., a na Slici 2.3.6 prikaz raspodjele prosječnih godišnjih količina oborina. Na temelju njih, korištenjem spomenutih modelskih pristupa, definirane su karte specifičnih otjecanja po Turcu (Slika 2.3.7) i Langbeinu (Slika 2.3.8), kao i karte njihove osrednjene raspodjele (Slika 2.3.9) te njihovih razlika specifičnih protoka (Slika 2.3.10).



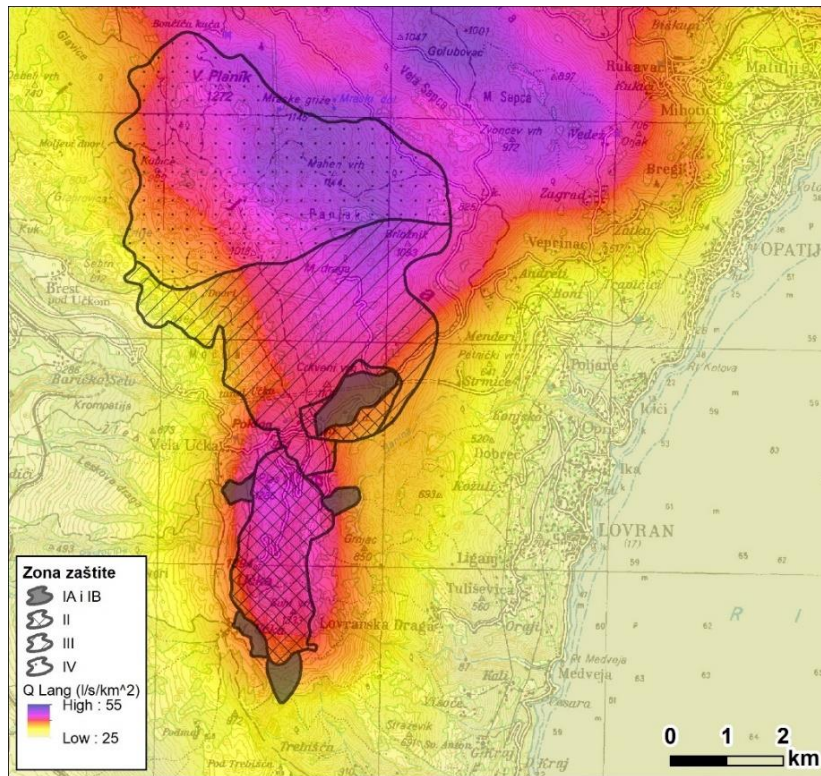
Slika 2.3.5. Prostorna raspodjela srednjih godišnjih temperatura zraka za referentno 30-godišnje razdoblje (1961.-90.) – prema DHMZ-u (2002)



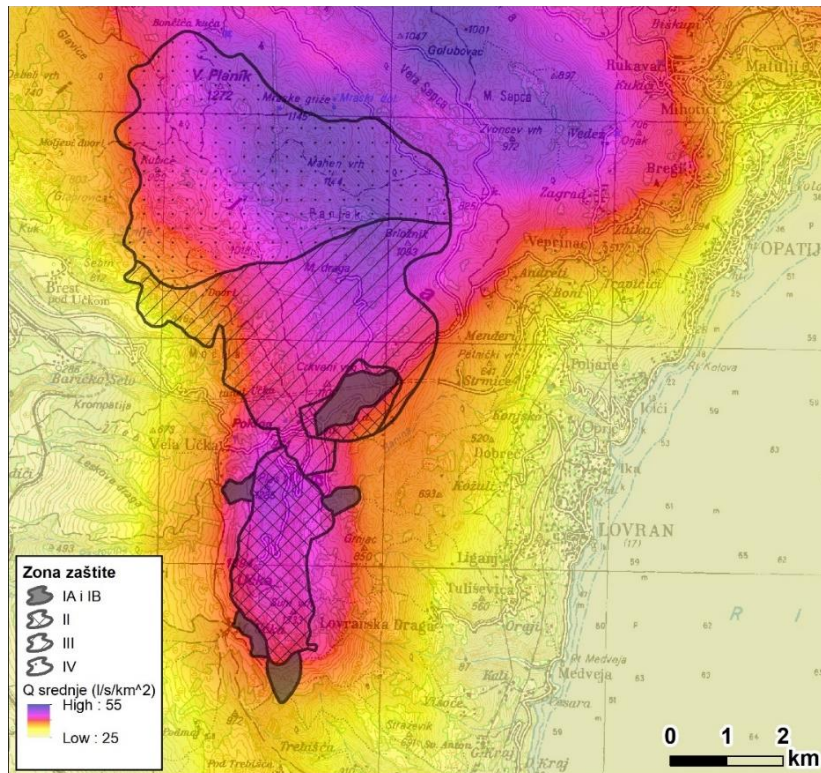
Slika 2.3.6. Prostorna raspodjela prosječnih godišnjih količina oborina (desno) za referentno 30-godišnje razdoblje (1961.-90.) – prema DHMZ-u (2002)



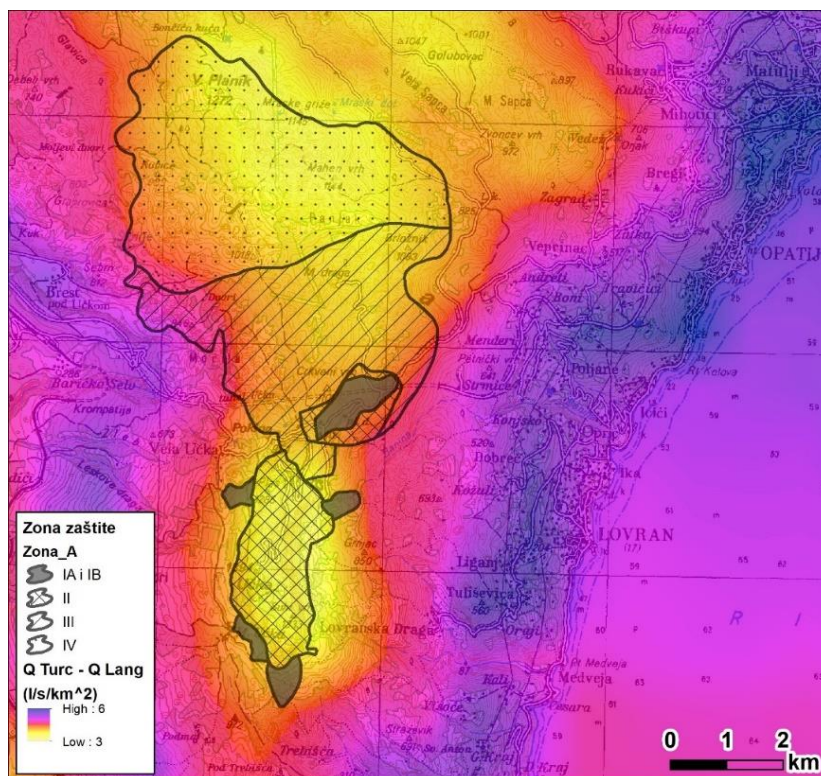
Slika 2.3.7. Prostorna raspodjela specifičnih protoka za 30-godišnje razdoblje (1961.-90) po metodi Turc-a



Slika 2.3.8. Prostorna raspodjela specifičnih protoka za 30-godišnje razdoblje (1961.-90.) po metodi Langbeina



Slika 2.3.9. Prostorna raspodjela osrednjenih specifičnih protoka po Turcu i Langbeinu za 30-godišnje razdoblje (1961.-90.)



Slika 2.3.10. Prostorna raspodjela razlika specifičnih protoka po Turcu i Langbeinu za 30-godišnje razdoblje (1961.-90.)

Osnovni rezultati provedenih obrada (prosječne temperature, oborine i specifični protoci za izdvojene površine) dani su u Tablici 2.3.1, a u Tablici 2.3.2 dane su srednje godišnje vrijednosti protoka razmatranih slivnih cjelina izvorišta na Učki.

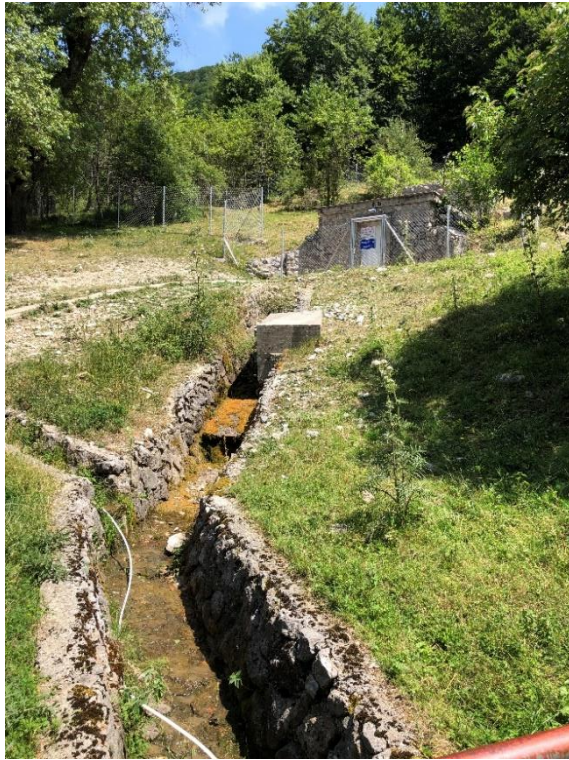
Tablica 2.3.1. Osnovni klimatološki elementi izdvojenih slivova izvorišta na području Učke (1961.-90.)

Sliv izvora	Zona sanit. zaštite	Površina (km ²)	Sr. god. temperatura zraka (°C)	Prosječna god. količina oborina (mm)
Vela Učka, Mala Učka, Rečina, Sredić	I	0,961	7,2	1826,4
	II	4,228	6,5	1907,1
	Ukupan sliv	5,189	6,6	1892,2
Tunel Učka	I	0,810	7,9	1884,5
	II	0,799	7,9	1880,0
	III	11,89	7,8	1931,8
	IV	15,86	7,1	2003,9
	Ukupan sliv	29,35	7,4	1968,0

Tablica 2.3.2. Srednje godišnje vrijednosti protoka razmatranih slivnih cjelina izvorišta na Učki

Sliv izvora	Zona sanit. zaštite	Specifične protoke (l/s/km ²)			Ukupne protoke (m ³ s ⁻¹)		
		Po Turcu	Po Langbeinu	Sredina Turc-Langbein	Po Turcu	Po Langbeinu	Sredina Turc-Langbein
Vela Učka, Mala Učka, Rečina, Sredić	I	42,60	38,55	40,58	0,04	0,04	0,04
	II	45,78	41,98	43,88	0,24	0,22	0,23
	Ukupan sliv	45,20	41,35	43,27	0,20	0,18	0,19
Tunel Učka	I	43,73	39,51	41,62	0,04	0,03	0,03
	II	43,57	39,40	41,49	0,03	0,03	0,03
	III	45,36	41,20	43,28	0,54	0,49	0,51
	IV	48,25	44,32	46,29	0,77	0,70	0,73
	Ukupan sliv	46,83	42,79	44,81	0,63	0,58	0,61

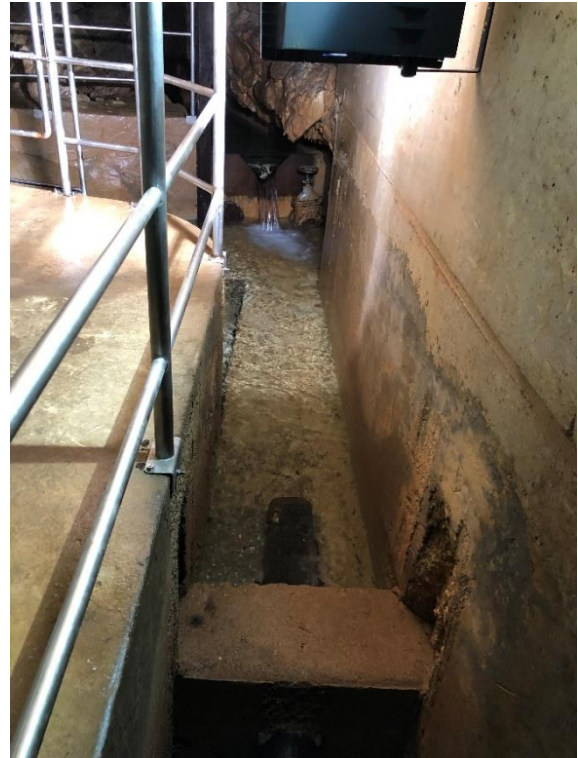
Iz danih Tablica 2.3.1 i 2.3.2 vidljivo je da razlike rezultata prema analiziranim dvama metodama i nisu prenaplašeno velike, ispod 5-10%. Temeljeno na provedenoj raspravi u dokumentu Vodni resursi i značajke kopnenih voda Istre u sušnim razdobljima (Građevinski fakultet u Rijeci, 2005), kao mjerodavni usvojeni su rezultati provedenih obrada po metodi Langbeina. Prema tim rezultatima, srednja godišnja bilanca izvora vezanih uz sustav kontakta fliša i karbonatnog masiva vršnog dijela Učke Vojaka iznosi 0,18 m³s⁻¹, a izvora u tunelu Učka 0,58 m³s⁻¹. Ukoliko se usporedi međuodnos između tako iskazanih srednjih godišnjih protoka i najmanjim srednjih mjesečnih protoka koji se mogu poistovjetiti sa najmanjim srednjim mjesečnim zahvaćenim količinama voda na njima, vidljivo je da je taj omjer u slučaju Učkarskih izvora ispod Vojaka oko 15,7 % (0,0282/0,180), a kod izvora u Tunelu Učka 3,3 % (0,0193/0,58). To bi značilo da izvor u tunelu karakterizira puno manja akumulativnost njegovih vodnih zaliha tijekom ljetnih kritičnih sušnih prilika, kao i mogućnost da dio voda koji se producira na analiziranom slivnom području u razdoblju malih voda otječe nezavisno od vodozahvata u tunelu Učka.



Slika 2.4.3. Izvor Mala Učka dne 19.7.2019. – kanal preljevnih voda (lijevo) i unutarnji bazen (desno)

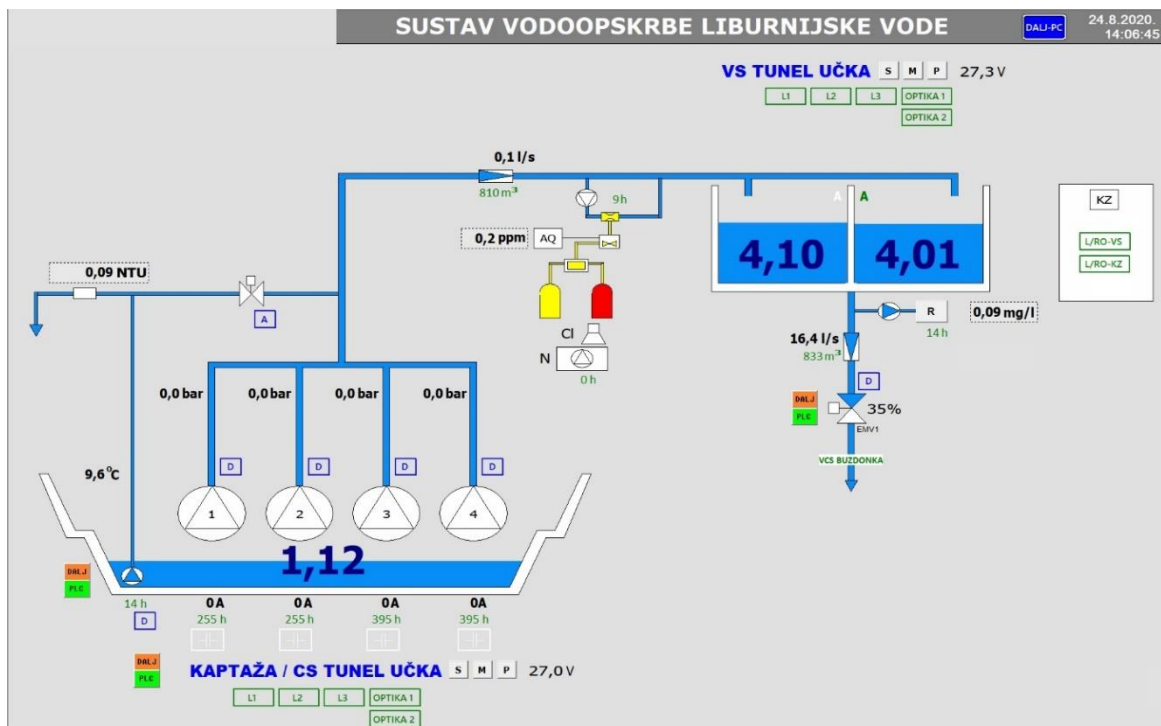


Slika 2.4.4. Izvor Rečina dne 19.7.2019. – kaptaza (lijevo) i mjerenja protoka unutar kaptaze (desno)

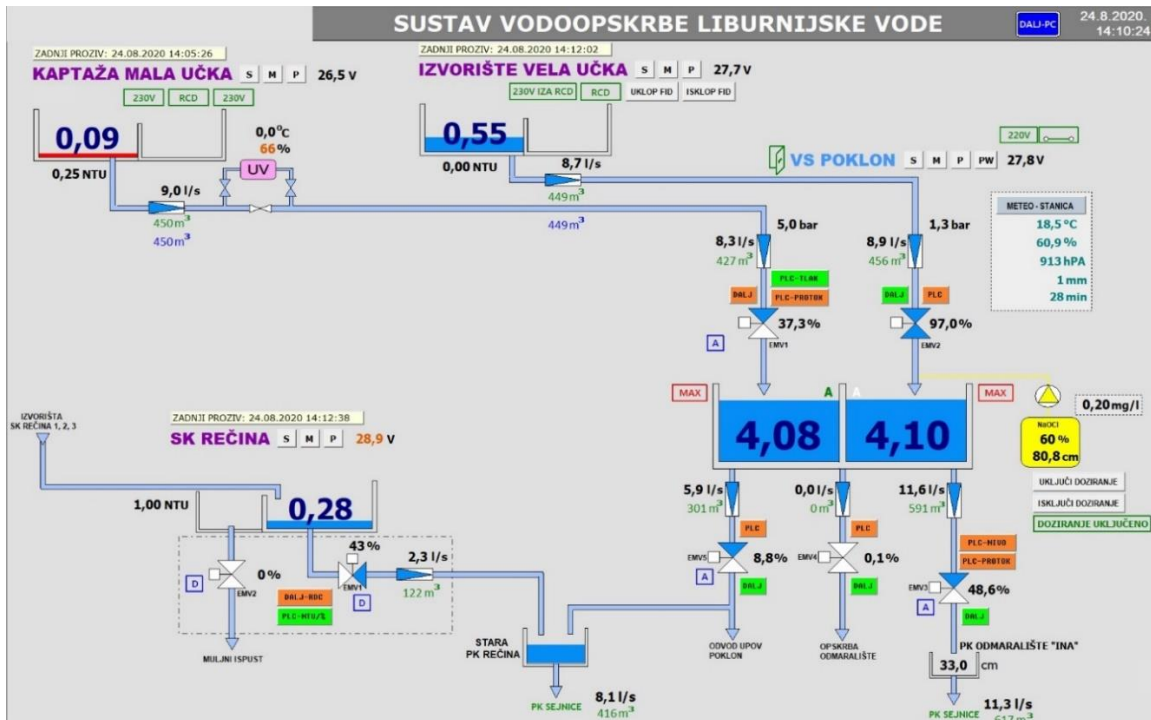


Slika 2.4.5. Izvorište Tunel Učka dne 19.7.2019. – podzemna kaptaza (lijevo) i dotok vode preko Thompsonovog preljeva (desno)

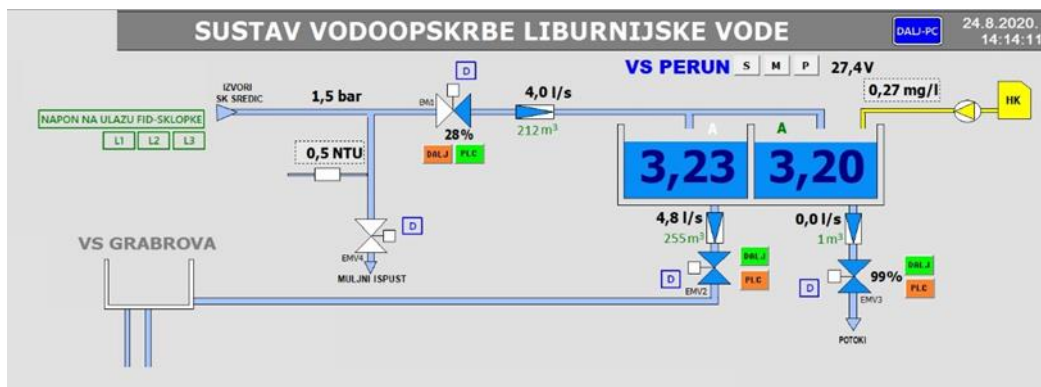
Na Slikama 2.4.6 – 2.4.8 dan je grafički prikaz sa SCADA sustava upravljanja Liburnijskih voda za izvore Tunel Učka, Mala i Vela Učka, Rečina i Sredić.



Slika 2.4.6. Grafički prikazi sa SCADA sustava upravljanja za izvorište Tunel Učka



Slika 2.4.7. Grafički prikazi sa SCADA sustava upravljanja za izvore Malu Učku, Vela Učku i Rečina



Slika 2.4.8. Grafički prikazi sa SCADA sustava upravljanja za skupinu izvora Sredić

2.5. Prikaz rezultata praćenja stabilnih izotopa na širem regionalnom prostoru

Zbog izuzetne kompleksnosti krških sustava, njihovo istraživanje zahtijeva interdisciplinarni pristup. Korištenje prirodnih izotopnih obilježivača, kao nadopuna konvencionalnim metodama istraživanja, doprinosi boljem razumijevanju hidrogeologije krša što je ključno za održivo korištenje vodnih resursa, njihovu alkoaciju i zaštitu (Palmer, 2010; Grimmeisen i sur., 2017, Mance i sur., 2018 a, b).

Izotopi su atomi istog elementa koji imaju jednak broj protona, ali različit broj neutrona u jezgri, odnosno imaju jednak atomski broj, a razlikuju se po masenom broju. Izotopi mogu biti stabilni ili radioaktivni. U ovom istraživanju proučavani su stabilni izotopi vodika (^1H , ^2H) i kisika (^{16}O , ^{18}O). Uobičajeni način izražavanja mjerenja zastupljenosti stabilnih izotopa je pomoću delta (δ) vrijednosti. Delta vrijednost se definira kao razlika omjera zastupljenosti težeg i lakšeg stabilnog izotopa u uzorku (R_{uzorak}) i omjera zastupljenosti težeg i lakšeg stabilnog izotopa u standardu (R_{standard}), normalizirana s omjerom u standardu (R_{standard}):

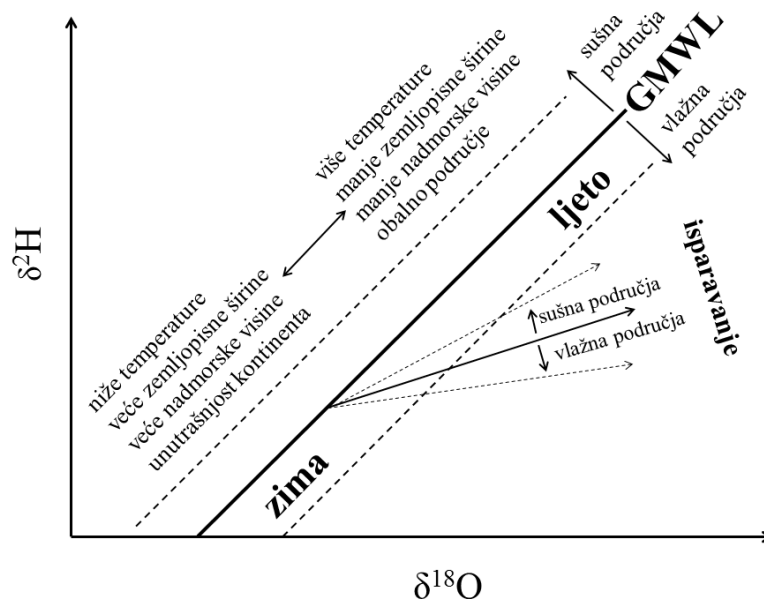
$$\delta (\text{‰}) = (R_{\text{uzorak}}/R_{\text{standard}}) - 1.$$

Međunarodni standard za izražavanje δ vrijednosti vodika ($\delta^2\text{H}$) i kisika ($\delta^{18}\text{O}$) u vodi je VSMOW2 (IAEA, 2009). δ vrijednost u prirodnim vodama je najčešće negativna što ukazuje na to da je uzorak vode osiromašen težim izotopom u donosu na standard (u uzorku manja zastupljenost težeg izotopa u donosu na standard, uzorak je 'lakši' od standarda). $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ vrijednosti jednake 0 ‰ bi imao uzorak vode čiji je izotopni sastav jednak izotopnom sastavu standarda, dok bi pozitivnu vrijednost imali uzorci s većom zastupljenosti težeg izotopa u usporedbi sa standardom.

Linearna koreliranost $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ vrijednosti oborine na globalnoj razini (Craig, 1961) prikazana je globalnom linijom oborinske vode (engl. Global Meteoric Water Line, GMWL):

$$\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10 \text{ ‰}.$$

Ključnu ulogu u određivanju podrijetla voda ima činjenica da se oborina s vrlo negativnim izotopnim vrijednostima javlja u hladnim predjelima dok su uzorci s vrijednostima bliskim vrijednosti oceanske vode (0 ‰) karakteristični za tropske krajeve (Clark i Fritz, 1997).



Slika 2.5.1. Prikaz utjecaja zemljopisnog podrijetla i hidroloških procesa na odstupanja $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ vrijednosti oborine od GMWL. GMWL – globalna linije oborinske vode (preuzeto iz Mance, 2014, modificirano prema SAHRA, 2013)

Općenito, GMWL se može smatrati srednjom vrijednosti puno lokalnih linija oborinske vode (engl. Local Meteoric Water Line, LMWL). LMWL predstavlja jednadžbu pravca regresije $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ za oborinu na određenom području. Razlike LMWL-a u odnosu na GMWL posljedica su različitih klimatskih uvjeta (npr. temperature i relativne vlažnosti zraka) i razlika u geografskim parametrima (zemljopisne širine, nadmorske visine) područja na kojem je došlo do formiranja vodene pare od koje potječe oborina (Slika 2.5.1, Mook, 2001).

Važnu ulogu u određivanju zemljopisnog podrijetla oborine, a time i podzemnih voda koje se njome prihranjuju, ima tzv. suvišak deuterija (engl. deuterium excess, d-excess, Dansgaard, 1964):

$$d\text{-excess} = \delta^2\text{H} - 8 \cdot \delta^{18}\text{O}.$$

Razlike u suvišku deuterija javljaju se zbog razlika uvjeta (temperature površine mora, brzine vjetrova, vlažnost zraka) za vrijeme primarnog isparavanja (Gat, 2006). Vrijednosti suviška deuterija oko 10‰ karakteristične su za oborinu koja je podrijetlom s Atlantskog Oceana, a oborina mediteranskog podrijetla ima vrijednosti više od 14‰ (Cruz-San Julian i sur., 1992; Gat i Carmi, 1987).

Temperatura zraka ima ključan utjecaj na izotopni sastav oborine što je vidljivo u tzv. sezonskim i visinskim učincima. Sezonski učinak očituje se u pozitivnijim δ vrijednostima ljetne oborine u odnosu na zimsku oborinu (Dansgaard, 1964). U slučaju da su sezonske oscilacije izotopnog sastava prisutne i u oborini i u podzemnoj vodi, omjeri amplituda oscilacija δ vrijednosti mogu se koristiti za izračun srednjeg vremena zadržavanja vode u podzemlju (McGuire i McDonnell, 2006). Ovisnost izotopnog sastava oborine o nadmorskoj visini naziva

se visinski učinak. Manja zastupljenost ^2H i ^{18}O u oborini s većih nadmorskih visina posljedica je opadanja temperature zraka s nadmorskom visinom te manje visine stupca zraka kroz koji oborina prolazi, a time i manjeg isparavanja oborine. Srednja visina prihranjivanja podzemne vode može se odrediti iz izotopnog sastava podzemne vode i vertikalnog gradijenta osiromašenja oborine težim izotopom za određeno područje, a uz dobro poznavanje geografskih obilježja tog područja (Fritz i Fontes, 1980).

Povremena praćenja izotopnog sastava oborine i izvorskih voda na širem području Kvarnerskog zaljeva provedena su krajem 1990-tih i početkom 2000-tih. Tako su na otoku Krku u ljeto 1998. i zimu 1999. godine provedena uzorkovanja kojima je utvrđeno postojanje sezonskih varijacija izotopnog sastava podzemne i morske vode: uočeno je da su se negativnije δ vrijednosti javile u hladnom dijelu, a manje negativne vrijednosti u toplom dijelu hidrološke godine (Horvatinčić i sur., 2000). U vodi Vranskoga jezera (Cres) i u oborini prikupljanoj u razdoblju od listopada 1992. do svibnja 1994. godine, također su uočene su sezonske varijacije izotopnog sastava s manje negativnim vrijednostima u razdoblju od travnja do rujna, u odnosu na vrijednosti uzoraka prikupljenih u razdoblju od listopada do ožujka (Hertelendi i sur., 1997). U mjerenjima izotopnog sastava oborine za Sjeverni Jadran uočene su sezonalne promjene s najnižim vrijednostima u zimi i najvišim vrijednostima u ljeti, utvrđen je raspon $\delta^{18}\text{O}$ vrijednosti oborine od $-13,8\text{‰}$ do $-1,6\text{‰}$, raspon vrijednosti koeficijenta smjera pravca LMWL-a od 6,9 do 7,7 i vrijednosti odsječaka na ordinatnoj osi u rasponu od $5,1\text{‰}$ do $10,5\text{‰}$ te visinski gradijent za $\delta^{18}\text{O}$ za od $-0,3\text{‰}/100\text{ m}$ (Vreća i sur., 2006).

Za potrebe proučavanja pograničnih vodonosnika između Slovenije i Hrvatske, koje je trajalo od 2001. do 2003. godine, određen je izotopni sastav izvorskih voda u pograničnim područjima Istre i Slovenije te na području Kvarnera (IGI, 2004). Većina izvora koji su bili uključeni u istraživanje uzorkovana je 7 puta. U grafičkom prikazu odnosa izotopnih vrijednosti u izvorskim vodama posebno je istaknuto da izotopne vrijednosti idu ka negativnijima kako raste nadmorska visina zaleda pojedinog izvora. Pomoću dobivenih rezultata za $\delta^{18}\text{O}$ i korištenjem visinskog gradijenta od $-0,3\text{‰}/100\text{ m}$ određene su srednje visine prihranjivanja izvora. Navedeni gradijent određen je korištenjem srednje $\delta^{18}\text{O}$ vrijednosti vode dva površinska vodotoka za koje je od prije bila poznata srednja nadmorska visina prihranjivanja. Od proučavanih izvora, izdvojit ćemo izvor Kristal u Opatiji za koji se je pokazalo da je pod velikim utjecajem mora te zbog toga ima najmanje negativne $\delta^{18}\text{O}$ vrijednosti, ali i najveće varijacije izotopnog sastava. Osim toga, uočeno je da su više mineralizirane vode obogaćenije izotopom ^{18}O u odnosu na manje mineralizirane vode.

U radu Roller-Lutz i sur. (2013) autori su analizirali izotopni sastav oborine na širem Kvarnerskom području, a koje je obuhvatilo postaje na Učki i na području od Kastva do Fužinskog Benkovca. Uzorci su prikupljeni od studenog 2008. do listopada 2010. godine. Utvrđena je sezonska oscilacija izotopnih vrijednosti s najmanje negativnim $\delta^{18}\text{O}$ vrijednostima u ljetnoj oborini ($\approx -4\text{‰}$) i najnegativnijim u oborini prikupljenoj u zimi ($\approx -12\text{‰}$). Izračunat je visinski gradijent od $-0,2\text{‰}/100\text{ m}$ za obje skupine kišomjernih postaja. Lokalne linije oborinske vode za obje skupine postaja imaju koeficijent smjera pravca $\approx 7,1$ i odsječak na ordinatnoj osi od $\approx 6\text{‰}$.

Prvo istraživanje koje je obuhvatilo višegodišnje uzrokovanje podzemne vode (na tjednoj bazi) i mjesečne oborine na širem pretpostavljenom području prihranjivanja podzemne vode Kvarnerskog područja provedeno je od travnja 2010. do travnja 2012. godine, a obuhvatilo je Sliv Rječine, Zvira i Martinšćice te sliv izvora u Bakarskom zaljevu (Mance, 2014; Mance i sur., 2014). Istraživanjem je utvrđeno:

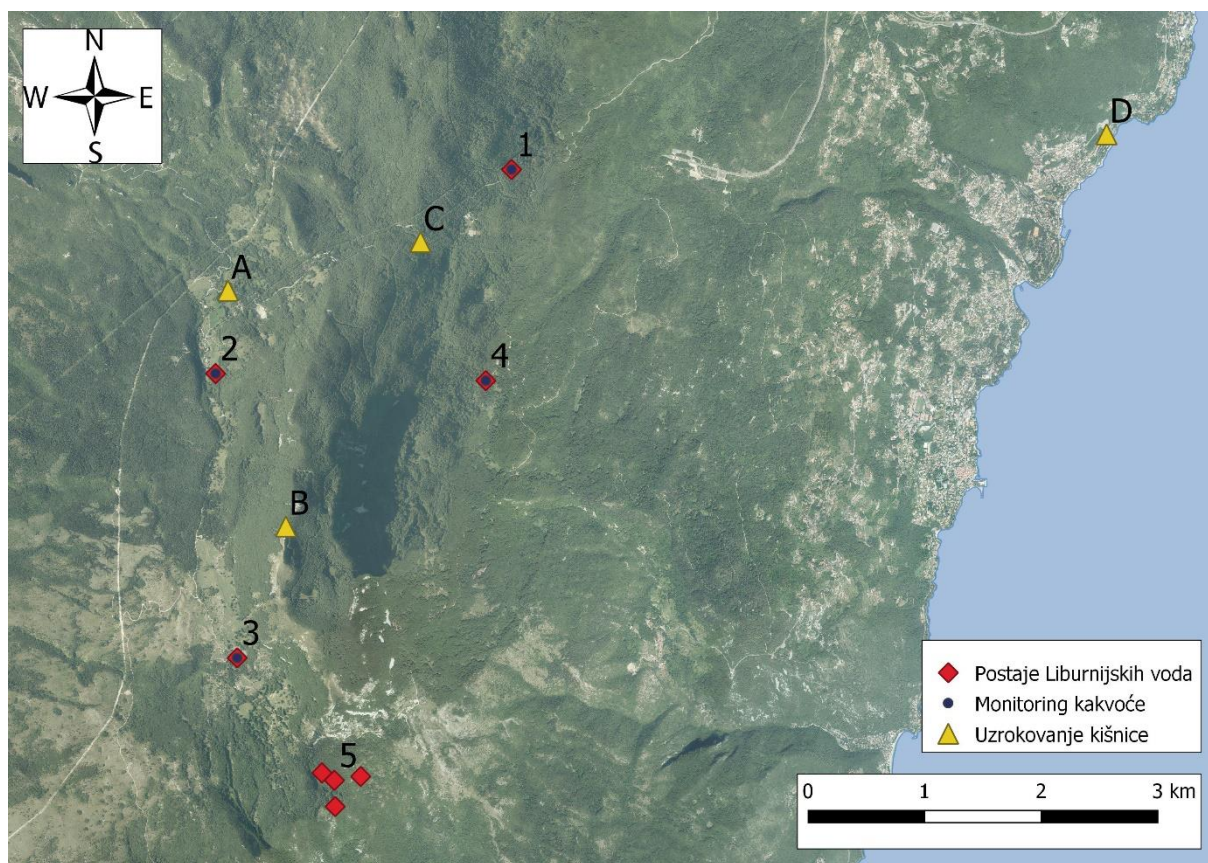
- dominantno prihranjivanje podzemnih voda zimskom oborinom mediteranskog podrijetla;
- postojanje sezonskih oscilacija izotopnog sastava podzemne vode: u zimskim mjesecima reakcija vodonosnika na oborinske ulaze je brza i intenzivna što se rezultira pomacima izotopnih vrijednosti podzemne vode prema manje negativnim vrijednostima ($\delta^{18}\text{O}$ max, $\approx -6,6\%$), nasuprot tome u sušnim razdobljima (najizraženija u ljetnim mjesecima) na izvorima istječe voda iz porozne matrice krškog vodonosnika (vodne zalihe koje se pune zimskom oborinom) pa je izotopni sastav podzemne vode u ljeti negativniji ($\delta^{18}\text{O}$ max, $\approx -10\%$) i manje varira u odnosu na izotopni sastav podzemne vode u zimi;
- dualna priroda izotopnog sastava podzemne vode (potvrđena metodom modeliranja Gaussove mješavine) ukazuje na dualnu prirodu krškog vodonosnika: kod izvora koji nisu pod značajnim utjecajem mora jasno se razdvajaju komponenta baznog toka i komponenta brzo infiltrirane oborine, pri čemu je komponenta baznoga toka dominantna;
- izotopni sastav baznih komponenti podzemne vode ukazuje na to da izvori koji pripadaju određenom slivu dijele vodne zalihe;
- opravdanost čestih (tjednih) uzorkovanja podzemne vode – brza i kratka reakcija podzemnih voda na oborinske ulaze.

Daljnja analiza ukazala je na to da je prosječno vrijeme zadržavanja vode u podzemlju istraživanog područja kraće od jedne godine (Brkić i sur., 2017).

3. Prikaz rezultata monitoringa i analiza podataka KD Liburnijske vode

3.1. Pregled monitoringa količina i kakvoće vode

Na Slici 3.1.1 dan je prikaz postaja/izvorišta Liburnijskih voda, čiji su višegodišnji nizovi podataka korišteni u danom dokumentu. Radi se o izvorima Tunel Učka, Vela Učka, Mala Učka, Rečina i skupina izvora Sredić. Također dane su i pozicije monitoringa kakvoće vode i uzrokovanja kišnice. Uzrokovanje izvorske vode vršilo se na prethodno navedenim izvorima (osim Sredića), a uzrokovanje kišnice na četiri lokacije – Vela Učka, Vojak, Poklon i Ičići. U danom dokumentu korišteni su i podaci Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ-a) s kišomjerne postaje Vela Učka (prikazano u poglavlju 2.2) koja se nalazi na istoj poziciji kao i mjesto uzrokovanja kišnice Vela Učka.



Slika 3.1.1. Lokacije postaja Liburnijskih voda (1 - Tunel Učka, 2 - Vela Učka, 3 - Mala Učka, 4 - Rečina i 5 – Sredić) i pozicije monitoringa kakvoća (1 - Tunel Učka, 2 - Vela Učka, 3 - Mala Učka, 4 – Rečina) te uzrokovanja kišnice (A - Vela Učka, B - Vojak, C - Poklon i D – Ičići)

Na svim izvorima obrađeni su dnevni podaci o razinama, zahvaćenim količinama vode i mutnoći. Samo na grupi izvora Sredić nema praćenja razina vode, dok na izvoru Vela Učka nema praćenja mutnoće. Preljevne vode izvora se ne prate te iz tog razloga ne može se znati ukupna izdašnost pojedinog izvora. S druge strane, teško je uopće i osigurati tehničke mogućnost takvih praćenja. Za praćenje zahvaćenih voda koristi se elektromagnetski mjerač

protoka vode visoke točnosti koji je instaliran na tlačnom cjevovodu kojim se voda dobavlja u vodospremu.

U Tablici 3.1.1 dan je prikaz razina vode pri kojima dolazi do preljeva vodnih komora na kaptažama spomenutih izvorišta te približni maksimalni kapaciteti cjevovoda prema raspoloživim hidrauličkim uvjetima na analiziranim postajama.

Tablica 3.1.1. Razine vode pri kojima dolazi do preljeva vodnih komora na kaptažama izvorišta te približni maksimalni kapaciteti cjevovoda prema raspoloživim hidrauličkim uvjetima na analiziranim postajama (usmeno priopćenje djelatnika Liburnijskih voda)

Izvor	Razine pri kojima dolazi do preljeva vodnih komora na kaptažama izvorišta (m)	Približni maksimalni kapaciteti cjevovoda prema raspoloživim hidrauličkim uvjetima (L/s)
Vela Učka	0,72	30
Mala Učka	1,30	23
Rečina	0,88	15
Tunel Učka	1,42	80
Izvor Sredić/ Vodosprema Perun	/	10

3.2. Količinski monitoring

3.2.1. Razine vode

Analizirani su višegodišnji nizovi podataka o razinama vode na izvorima Tunel Učka, Vela Učka, Mala Učka i Rečina. U Tablicama 3.2.1 – 3.2.4 dan je prikaz srednji, maksimalni i minimalni mjesečnih i godišnjih razina vode, kao i statistička obrada podataka (srednja vrijednost Sr, standardna devijacija Stdev, koeficijent varijacije Cv, srednji mjesečni ekstremi Max i Min) za spomenute izvore. Podaci su analizirani zaključno do listopada 2020. godine. Potrebno je napomenuti da je statistička obrada podataka obuhvaća samo cijele godine, pa tako kod svih izvora 2020. godina nije uzeta u obradu, kao ni neke od početnih godina.

Također važno je za napomenuti da je među sačuvanim dnevnim podacima telemetrijskih dojava Liburnijskih voda bilo nedostajućih podataka kao i krivo zabilježenih podatak. Ti podaci su uz pomoć djelatnika Liburnijskih voda pročišćeni pa iz tog razloga, pogotovo kod nekih izvora, ima nedostajućih podataka. Na izvoru Tunel Učka minimalni nivo kad se crpke gase je cca 0,50 m, te su svi podaci ispod te razine izdvojeni. Jedino se jednom godišnje bazen prazni radi čišćenja te u tom slučaju ti podaci nisu greška, ali nisu ni bitni za daljnje obrade. U slučaju većeg broja nedostajućih podataka u pojedinom mjesecu, mjesečne vrijednosti nisu izračunate (žuto označena polja u tablicama).

Tablica 3.2.1. Srednji, maksimalni i minimalni mjesečni i godišnji podaci o razinama vode (m) na izvoru Tunel Učka u razdoblju od 2006. do listopada 2020.

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji mjesečni vodostaji (m)													
2006	1,13	1,28	1,42	1,42	1,30	0,97	0,81	0,88	0,98	0,91	1,15	1,58	1,15
2007	1,57	1,64	1,65	1,15	0,98	0,97	0,85	0,82	0,89	0,92	0,94	1,06	1,12
2008	1,30	1,29	1,26	1,47	1,40	1,12	0,87	0,85	0,84	0,83	1,71		
2009	1,49	1,63	1,52	1,47	1,19	0,92	0,94	1,05	1,02	0,96	1,42	1,61	1,27
2010	1,59	1,51	1,58	1,55	1,51	1,15	0,97	1,03	1,21	1,56	1,61	1,65	1,41
2011	1,59	1,44	1,48	1,38	0,98	0,90	1,03	0,95	1,01	1,07	1,05	1,15	1,17
2012	1,15	1,01	1,01	1,15	1,37	1,12	0,87	0,95	1,17	1,12	1,62	1,59	1,18
2013	1,57	1,52	1,61	1,60	1,57	1,23	0,89	0,82	0,94	1,32	1,52	1,42	1,33
2014	1,60	1,67	1,51	1,40	1,28	0,93	0,98	1,01	1,40	1,30	1,56	1,56	1,35
2015	1,50	1,51	1,39	1,45	1,22	0,93	0,86	0,82	0,91	1,19	0,99	1,11	1,16
2016	1,41	1,54	1,55	1,36	1,28	1,06	0,96	0,91	0,87	1,18	1,50	1,39	1,25
2017	1,09	1,53	1,41	1,03	1,26	0,91	0,86	0,93	1,31	0,97	1,40	1,55	1,19
2018	1,53	1,48	1,51	1,51	1,02	0,91	0,94	0,96	0,96	1,02	1,54	1,51	1,24
2019	1,26	1,51	1,08	1,30	1,55	1,29	0,99	1,01	0,92	0,89	1,53	1,59	1,24
2020	1,49	1,06	1,44	0,97	0,95	1,15	0,95	0,96	1,03	1,52			
Sr	1,41	1,47	1,43	1,37	1,28	1,03	0,92	0,93	1,03	1,09	1,37	1,46	1,24
Stdev	0,19	0,17	0,19	0,17	0,19	0,13	0,06	0,08	0,17	0,20	0,25	0,21	0,09
Cv	0,13	0,12	0,13	0,12	0,15	0,13	0,07	0,09	0,17	0,19	0,18	0,14	0,07
Max	1,60	1,67	1,65	1,60	1,57	1,29	1,03	1,05	1,40	1,56	1,62	1,71	1,41
Min	1,09	1,01	1,01	1,03	0,98	0,90	0,81	0,82	0,84	0,83	0,94	1,06	1,12

Tablica 3.2.1. Srednji, maksimalni i minimalni mjesečni i godišnji podaci o razinama vode (m) na izvoru Tunnel Učka u razdoblju od 2006. do listopada 2020. (nastavak)

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Maksimalni mjesečni vodostaji (m)													
2006	1,62	1,65	1,73	1,47	1,58	1,53	1,39	1,50	1,86	1,48	2,02	1,86	2,02
2007	1,75	2,03	1,90	1,65	1,76	1,48	1,43	1,42	1,58	1,51	1,48	1,49	2,03
2008	1,72	1,52	1,64	1,55	1,52	1,50	1,45	1,44	1,42	1,36		2,24	2,24
2009	1,61	1,93	2,00	1,69	1,63	1,57	1,60	1,64	1,67	1,58	1,94	1,93	2,00
2010	1,80	1,89	1,62	1,68	1,94	1,65	1,63	1,52	1,84	1,77	2,15	2,10	2,15
2011	1,65	1,98	2,14	1,60	1,60	1,53	1,61	1,64	1,59	1,79	1,58	1,63	2,14
2012	1,64	1,54	1,51	1,62	1,63	1,70	1,65	1,53	2,01	1,95	2,26	1,86	2,26
2013	1,68	1,68	1,85	1,80	1,67	1,61	1,55	1,55	1,78	1,69	1,90	1,73	1,90
2014	1,79	2,13	1,64	1,59	1,69	1,56	1,66	1,91	1,63	1,75	2,10	1,78	2,13
2015	1,67	1,61	1,71	1,61	1,61	1,56	1,67	1,51	1,88	1,62	1,84	1,52	1,88
2016	1,75	1,82	1,68	1,63	1,59	1,86	1,73	1,51	1,50	1,75	1,91	1,57	1,91
2017	1,72	1,77	1,54	1,72	1,51	1,49	1,33	1,45	1,83	1,49	2,03	2,05	2,05
2018	1,73	1,66	1,90	1,57	1,51	1,50	1,46	1,51	1,76	1,91	1,78	1,63	1,91
2019	1,52	2,00	1,51	1,59	1,92	1,60	2,09	1,52	1,50	1,51	1,98	2,00	2,09
2020	1,56	1,52	1,93	1,51	1,49	1,77	1,50	1,59	1,77	1,68			1,93
Sr	1,69	1,80	1,74	1,63	1,65	1,58	1,59	1,55	1,70	1,65	1,92	1,81	2,05
Stdev	0,08	0,20	0,19	0,08	0,14	0,10	0,19	0,12	0,17	0,17	0,22	0,23	0,13
Cv	0,05	0,11	0,11	0,05	0,08	0,06	0,12	0,08	0,10	0,11	0,11	0,13	0,06
Max	1,80	2,13	2,14	1,80	1,94	1,86	2,09	1,91	2,01	1,95	2,26	2,24	2,26
Min	1,52	1,52	1,51	1,47	1,51	1,48	1,33	1,42	1,42	1,36	1,48	1,49	1,88
Minimalni mjesečni vodostaji (m)													
2006	0,50	0,50	0,63	1,36	0,56					0,50	0,50	0,78	0,50
2007	0,51	1,55	1,60	0,50	0,50	0,50				0,50	0,50	0,50	0,50
2008	1,38	1,26	1,09	1,44	0,53	0,52	0,51	0,50	0,50	0,50		1,52	0,50
2009	0,68	1,48	0,50	0,50	0,50	0,50	0,54	0,50	0,50	0,50	0,50	1,53	0,50
2010	1,39	0,53	1,52	0,52	0,52	0,50	0,50	0,50	0,51	1,51	0,95	1,56	0,50
2011	1,29	0,50	0,51	0,51	0,51	0,50	0,51	0,50	0,54	0,52	0,51	0,51	0,50
2012	0,51	0,56	0,56	0,52	0,51	0,51	0,50	0,50	0,51	0,51	1,54	1,54	0,50
2013	1,09	0,52	0,85	1,56	1,53	0,51	0,50	0,50	0,50	0,52	0,52	0,51	0,50
2014	1,54	1,55	0,53	0,52	0,51	0,50	0,50	0,50	0,51	0,51	0,53	0,85	0,50
2015	0,54	0,58	0,51	0,55	0,51	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51	0,51	0,50
2016	0,52	0,55	1,47	0,51	0,51	0,51	0,50	0,50	0,50	0,50	0,53	0,51	0,50
2017	0,50	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,50	0,50	0,56	0,51	0,51	1,46	0,50
2018	1,44	1,19	0,63	0,56	0,51	0,51	0,50	0,53	0,52	0,51	0,82	1,45	0,50
2019	0,51	0,52	0,56	0,51	0,61	0,51	0,51	0,51	0,50	0,51	0,56	1,51	0,50
2020	0,53	0,51	0,51	0,52	0,53	0,51	0,51	0,51	0,51	0,58			0,51
Sr	0,89	0,84	0,82	0,72	0,59	0,51	0,51	0,50	0,51	0,58	0,65	1,05	0,50
Stdev	0,43	0,44	0,42	0,40	0,27	0,01	0,01	0,01	0,02	0,27	0,30	0,49	0,00
Cv	0,49	0,53	0,51	0,56	0,46	0,01	0,02	0,02	0,04	0,46	0,47	0,46	0,00
Max	1,54	1,55	1,60	1,56	1,53	0,52	0,54	0,53	0,56	1,51	1,54	1,56	0,50
Min	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Tablica 3.2.2. Srednji, maksimalni i minimalni mjesečni i godišnji podaci o razinama vode (m) na izvoru Vela Učka u razdoblju od travnja 2016. do listopada 2020.

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji mjesečni vodostaji (m)													
2016				0,57	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,46	0,67	0,70	
2017	0,55	0,71	0,62	0,57	0,56	0,53	0,51	0,50	0,54	0,54	0,61	0,85	0,59
2018	0,88	0,77	0,81	0,85	0,71	0,64	0,61	0,58	0,56	0,54	0,70	0,68	0,69
2019	0,66	0,72	0,59	0,52	0,73	0,84	0,62	0,60	0,56	0,53	0,74	0,89	0,67
2020	0,79	0,68	0,70	0,66	0,61	0,61	0,57	0,56	0,55	0,65			
Sr	0,70	0,74	0,67	0,65	0,67	0,67	0,58	0,56	0,55	0,53	0,68	0,81	0,65
Stdev	0,16	0,03	0,12	0,17	0,09	0,15	0,06	0,05	0,01	0,01	0,07	0,11	0,05
Cv	0,24	0,04	0,17	0,27	0,14	0,23	0,10	0,10	0,02	0,02	0,10	0,14	0,08
Max	0,88	0,77	0,81	0,85	0,73	0,84	0,62	0,60	0,56	0,54	0,74	0,89	0,69
Min	0,55	0,71	0,59	0,52	0,56	0,53	0,51	0,50	0,54	0,53	0,61	0,68	0,59
Maksimalni mjesečni vodostaji (m)													
2016				0,59	0,56	0,54	0,50	0,48	0,46	0,54	0,89	0,86	0,89
2017	0,58	0,90	0,64	0,63	0,59	0,54	0,52	0,50	0,65	0,55	0,77	0,99	0,99
2018	0,93	0,84	0,94	0,86	0,84	0,66	0,62	0,60	0,78	0,71	0,81	0,69	0,94
2019	0,68	0,93	0,87	0,57	0,95	0,95	0,66	0,64	0,57	0,54	0,96	1,03	1,03
2020	0,88	0,70	0,85	0,68	0,64	0,67	0,59	0,56	0,69	0,70			0,88
Sr	0,73	0,89	0,82	0,69	0,79	0,72	0,60	0,58	0,67	0,60	0,85	0,90	0,99
Stdev	0,18	0,05	0,16	0,15	0,19	0,21	0,07	0,07	0,11	0,09	0,10	0,18	0,04
Cv	0,25	0,05	0,20	0,23	0,23	0,30	0,12	0,12	0,16	0,16	0,12	0,20	0,04
Max	0,93	0,93	0,94	0,86	0,95	0,95	0,66	0,64	0,78	0,71	0,96	1,03	1,03
Min	0,58	0,84	0,64	0,57	0,59	0,54	0,52	0,50	0,57	0,54	0,77	0,69	0,94
Minimalni mjesečni vodostaji (m)													
2016				0,55	0,52	0,50	0,48	0,46	0,45	0,44	0,47	0,58	0,44
2017	0,53	0,52	0,60	0,56	0,54	0,52	0,50	0,49	0,48	0,53	0,53	0,65	0,48
2018	0,83	0,69	0,69	0,82	0,66	0,62	0,60	0,57	0,53	0,50	0,64	0,68	0,50
2019	0,64	0,64	0,50	0,50	0,54	0,65	0,58	0,57	0,54	0,51	0,51	0,83	0,50
2020	0,70	0,67	0,67	0,64	0,60	0,58	0,56	0,55	0,53	0,59			0,53
Sr	0,67	0,62	0,60	0,63	0,58	0,60	0,56	0,54	0,52	0,52	0,56	0,72	0,49
Stdev	0,15	0,09	0,09	0,17	0,07	0,07	0,05	0,04	0,03	0,01	0,07	0,10	0,01
Cv	0,22	0,14	0,16	0,27	0,12	0,12	0,09	0,08	0,06	0,03	0,12	0,14	0,02
Max	0,83	0,69	0,69	0,82	0,66	0,65	0,60	0,57	0,54	0,53	0,64	0,83	0,50
Min	0,53	0,52	0,50	0,50	0,54	0,52	0,50	0,49	0,48	0,50	0,51	0,65	0,48

Tablica 4.2.3. Srednji, maksimalni i minimalni mjesečni i godišnji podaci o razinama vode (m) na izvoru Mala Učka u razdoblju od kolovoza 2010. do listopada 2020.

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji mjesečni vodostaji (m)													
2010								0,17	0,35	1,30	1,40	1,44	
2011	1,40	1,07	1,00	1,06	0,23	0,13	0,12	0,10	0,10	0,13	0,14		
2012	0,25	0,13	0,13	0,14	0,25	0,20	0,13	0,09	0,28	0,30	1,41	1,40	0,39
2013	1,38	1,39	1,43	1,41	1,38	1,02	0,20	0,16	0,20	0,67	1,23	1,37	0,99
2014	1,40	1,47	1,32	0,34	0,25	0,20	0,20	0,18	0,77	0,68	1,19	1,41	0,79
2015	1,37	1,02	1,26	0,94	0,43	0,21	0,18	0,15	0,14	0,27	0,17	0,21	0,53
2016	1,03	1,37	1,39	1,04	0,43	0,32	0,20	0,18	0,15	0,36	1,17	1,36	0,75
2017	0,40	1,34	1,37	0,41	0,38	0,21	0,17	0,15	0,41	0,19	1,11	1,39	0,63
2018	1,39	1,26	1,18	1,38	0,67	0,19	0,16	0,13	0,12	0,17	1,34	1,36	0,78
2019	0,30	1,13	0,26	0,24	1,05	1,27	0,26	0,19	0,15	0,15	1,10	1,39	0,62
2020	1,13	0,24	0,83	0,15	0,11	0,15	0,10	0,09	0,12	0,73			
Sr	0,99	1,13	1,04	0,77	0,56	0,42	0,18	0,15	0,26	0,33	0,98	1,24	0,68
Stdev	0,52	0,40	0,50	0,49	0,40	0,42	0,04	0,03	0,22	0,21	0,48	0,42	0,18
Cv	0,53	0,36	0,48	0,64	0,71	1,01	0,24	0,23	0,84	0,65	0,49	0,34	0,27
Max	1,40	1,47	1,43	1,41	1,38	1,27	0,26	0,19	0,77	0,68	1,41	1,41	0,99
Min	0,25	0,13	0,13	0,14	0,23	0,13	0,12	0,09	0,10	0,13	0,14	0,21	0,39
Maksimalni mjesečni vodostaji (m)													
2010								1,38	1,41	1,41	1,47	1,50	1,50
2011	1,44	1,44	1,50	1,41	1,41	0,15	0,12	0,12	1,38	1,41	1,38		1,50
2012	1,38	1,23	1,38	1,38	1,38	1,38	0,18	0,12	1,47	1,41	1,53	1,44	1,53
2013	1,41	1,41	1,47	1,44	1,41	1,41	0,24	1,38	1,41	1,38	1,44	1,41	1,47
2014	1,44	1,56	1,44	0,84	0,36	0,21	1,38	0,21	1,38	1,41	1,47	1,44	1,56
2015	1,38	1,41	1,41	1,38	1,38	0,24	0,18	0,15	0,15	1,35	1,35	1,35	1,41
2016	1,38	1,41	1,41	1,38	1,35	1,35	0,24	0,18	0,18	1,35	1,44	1,41	1,44
2017	1,38	1,41	1,38	1,38	1,35	0,24	0,18	0,15	1,35	1,38	1,38	1,44	1,44
2018	1,41	1,38	1,44	1,38	1,41	0,21	0,18	1,35	1,35	1,35	1,41	1,41	1,44
2019	1,41	1,44	1,38	0,30	1,44	1,41	1,41	0,24	0,18	0,15	1,44	1,47	1,47
2020	1,41	0,30	1,41	1,38	0,12	1,32	0,12	0,09	1,38	1,35			1,41
Sr	1,40	1,41	1,42	1,21	1,28	0,73	0,46	0,43	0,98	1,24	1,43	1,42	1,47
Stdev	0,03	0,08	0,04	0,39	0,35	0,62	0,53	0,53	0,61	0,41	0,05	0,04	0,05
Cv	0,02	0,06	0,03	0,32	0,27	0,85	1,17	1,22	0,62	0,33	0,04	0,03	0,03
Max	1,44	1,56	1,50	1,44	1,44	1,41	1,41	1,38	1,47	1,41	1,53	1,47	1,56
Min	1,38	1,23	1,38	0,30	0,36	0,15	0,12	0,12	0,15	0,15	1,35	1,35	1,41
Minimalni mjesečni vodostaji (m)													
2010								0,12	0,12	0,24	1,35	1,41	0,12
2011	1,38	0,24	0,24	0,24	0,15	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09		0,09
2012	0,12	0,12	0,09	0,09	0,12	0,15	0,09	0,09	0,09	0,12	1,38	1,38	0,09
2013	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	0,24	0,18	0,12	0,12	0,18	0,24	1,35	0,12
2014	1,38	1,44	0,36	0,33	0,18	0,18	0,18	0,15	0,15	0,21	0,18	1,38	0,15
2015	1,23	0,30	0,30	0,27	0,24	0,18	0,15	0,15	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
2016	0,15	0,93	1,38	0,24	0,24	0,21	0,18	0,15	0,15	0,15	0,27	0,99	0,15
2017	0,21	0,21	1,32	0,21	0,24	0,18	0,15	0,12	0,12	0,18	0,18	1,35	0,12
2018	1,35	0,36	0,33	1,35	0,21	0,18	0,15	0,09	0,12	0,12	0,24	0,42	0,09
2019	0,24	0,21	0,21	0,21	0,24	0,30	0,18	0,15	0,15	0,12	0,12	1,38	0,12
2020	0,27	0,21	0,18	0,12	0,09	0,09	0,09	0,06	0,06	0,12			0,06
Sr	0,83	0,58	0,62	0,48	0,33	0,19	0,15	0,12	0,12	0,14	0,31	1,05	0,12
Stdev	0,62	0,53	0,56	0,51	0,39	0,06	0,04	0,03	0,02	0,04	0,40	0,50	0,02
Cv	0,75	0,92	0,90	1,05	1,19	0,31	0,24	0,23	0,19	0,27	1,29	0,48	0,20
Max	1,38	1,44	1,38	1,38	1,38	0,30	0,18	0,15	0,15	0,21	1,38	1,38	0,15
Min	0,12	0,12	0,09	0,09	0,12	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,12	0,09

Tablica 3.2.4. Srednji, maksimalni i minimalni mjesečni i godišnji podaci o razinama vode (m) na izvoru Rečina u razdoblju od travnja 2016. do listopada 2020.

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji mjesečni vodostaji (m)													
2016				0,68	0,57	0,40	0,28	0,28	0,27	0,57	0,89	0,80	
2017	0,55	0,94	0,94	0,54	0,64	0,29	0,26	0,25	0,68	0,31	0,83	0,97	0,60
2018	0,94	0,77	0,89	0,85	0,40	0,29	0,28	0,27	0,28	0,36	0,81	0,79	0,58
2019	0,42	0,78	0,41	0,59	0,83	0,83	0,37	0,47	0,37	0,33	0,92	0,98	0,61
2020	0,80	0,41	0,62	0,41	0,54	0,55	0,36	0,29	0,36	0,74			
Sr	0,64	0,83	0,75	0,66	0,62	0,47	0,30	0,33	0,44	0,33	0,85	0,91	0,60
Stdev	0,27	0,10	0,30	0,16	0,22	0,31	0,05	0,12	0,21	0,03	0,06	0,11	0,02
Cv	0,42	0,12	0,40	0,25	0,35	0,67	0,18	0,37	0,48	0,08	0,07	0,12	0,03
Max	0,94	0,94	0,94	0,85	0,83	0,83	0,37	0,47	0,68	0,36	0,92	0,98	0,61
Min	0,42	0,77	0,41	0,54	0,40	0,29	0,26	0,25	0,28	0,31	0,81	0,79	0,58
Maksimalni mjesečni vodostaji (m)													
2016				0,94	1,01	0,93	0,90	0,70	0,35	1,03	1,03	1,00	1,03
2017	1,03	1,03	1,03	1,00	1,00	0,35	0,28	0,29	1,03	0,60	1,03	1,02	1,03
2018	1,02	1,01	1,00	0,97	0,94	0,43	0,68	0,43	0,36	1,02	1,03	0,98	1,03
2019	0,94	1,03	0,94	0,97	1,03	1,02	1,03	0,92	0,83	0,91	1,03	1,03	1,03
2020	0,96	0,62	1,03	0,70	0,89	1,00	0,60	0,90	1,01	1,01			1,03
Sr	0,99	1,02	0,99	0,98	0,99	0,60	0,67	0,54	0,74	0,84	1,03	1,01	1,03
Stdev	0,05	0,01	0,05	0,02	0,05	0,37	0,38	0,33	0,34	0,22	0,00	0,03	0,00
Cv	0,05	0,01	0,05	0,02	0,05	0,61	0,57	0,61	0,46	0,26	0,00	0,03	0,00
Max	1,03	1,03	1,03	1,00	1,03	1,02	1,03	0,92	1,03	1,02	1,03	1,03	1,03
Min	0,94	1,01	0,94	0,97	0,94	0,35	0,28	0,29	0,36	0,60	1,03	0,98	1,03
Minimalni mjesečni vodostaji (m)													
2016				0,31	0,31	0,29	0,26	0,26	0,26	0,26	0,34	0,50	0,26
2017	0,31	0,32	0,48	0,29	0,31	0,27	0,26	0,25	0,25	0,29	0,30	0,36	0,25
2018	0,34	0,34	0,33	0,36	0,29	0,24	0,26	0,26	0,26	0,26	0,34	0,35	0,24
2019	0,31	0,36	0,31	0,32	0,35	0,34	0,26	0,29	0,28	0,28	0,30	0,36	0,26
2020	0,32	0,30	0,33	0,30	0,30	0,30	0,26	0,26	0,26	0,35			0,26
Sr	0,32	0,34	0,37	0,32	0,32	0,28	0,26	0,27	0,26	0,28	0,31	0,35	0,25
Stdev	0,02	0,02	0,09	0,03	0,03	0,05	0,00	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
Cv	0,06	0,06	0,25	0,10	0,10	0,18	0,01	0,09	0,06	0,04	0,08	0,02	0,03
Max	0,34	0,36	0,48	0,36	0,35	0,34	0,26	0,29	0,28	0,29	0,34	0,36	0,26
Min	0,31	0,32	0,31	0,29	0,29	0,24	0,26	0,25	0,25	0,26	0,30	0,35	0,24

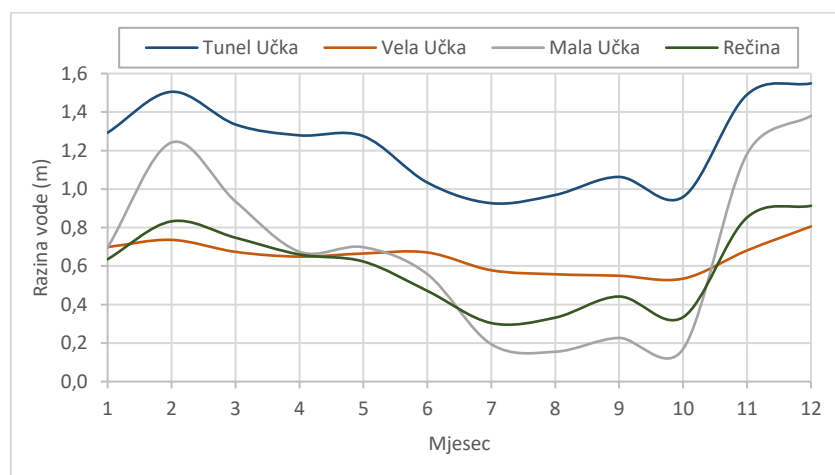
Na izvorištu Tunel Učka srednje godišnje razine vode, za razdoblje od 2006. do 2019. godine, iznose 1,24 m, maksimalne srednje godišnje 1,41 m te minimalne srednje godišnje 1,12 m. Za cijelo promatrano razdoblje, maksimalna mjesečna razina vode iznosi 2,26 m, a minimalna mjesečna razina, do koje se voda u bazenu svake godine spustila, iznosi 0,5 m.

Monitoring na izvoru Mala Učka započeo je u kolovozu 2010. godine. Srednje godišnje razine vode, za razdoblje od 2011. do 2019. godine, iznose 0,68 m, maksimalne srednje godišnje 0,99 m te minimalne srednje godišnje 0,39 m. Maksimalna mjesečna razina vode iznosi 1,56 m (veljača 2014.), dok minimalna mjesečna razina iznosi 0,09 m i pojavljuje se kroz skoro sve mjeseci u godini.

Na izvoru Vela Učka praćenja razine vode započete su u travnju 2016. godine. Za vrlo kratko razdoblje godina sa potpunim podacima tijekom svih mjeseci (od 2017. do 2019.), srednje godišnje razine vode iznose 0,65 m, maksimalne srednje godišnje 0,69 m te minimalne srednje godišnje 0,59 m. Maksimalna mjesečna razina vode iznosi 1,03 m (prosinac 2019.), dok minimalna mjesečna razina iznosi 0,48 m (rujan 2017.).

Kao i na izvoru Vela Učka, monitoring na izvoru Rečina započeo je tek u travnju 2016. godine. Za razdoblje od 2017. do 2019. godine, srednje godišnje razine vode iznose 0,60 m, maksimalne srednje godišnje 0,61 m te minimalne srednje godišnje 0,58 m. Maksimalna mjesečna razina vode iznosi 1,03 m i pojavljuje se kroz skoro sve mjesece u godini, dok minimalna mjesečna razina iznosi 0,24 m (lipanj 2018.).

Na Slici 3.2.1 dana je unutar godišnja raspodjela srednjih mjesečnih razina vode na izvorima Tunel Učka, Vela Učka, Mala Učka i Rečina za zajedničko razdoblje od 2017. do 2019. godine. Sa slike vidimo vrlo uobičajenu raspodjelu unutar godišnjih razina vode na svim izvorima – najmanje razine javljaju se tijekom ljetnih mjeseci, a najveće u hladnijem dijelu godine kada na slivnom području ima najviše oborina. Također je vidljivo da izvor Mala Učka ima najizraženije oscilacije srednjih mjesečnih razina vode, dok najmanje oscilacije ima Vela Učka kojoj srednje mjesečne razine u tom razdoblju osciliraju svega 27 cm.



Slika 3.2.1. Unutar godišnja raspodjela srednjih mjesečnih razina vode na izvorima Tunel Učka, Vela Učka, Mala Učka i Rečina za zajedničko razdoblje 2017. – 2019.

3.2.2. Zahvaćene količine

Također analizirani su višegodišnji nizovi podataka o zahvaćenim količinama vode na izvorima Tunel Učka, Vela Učka, Mala Učka, Rečina i Sredić. Izvor Sredić sastoji se od pet kaptaža (Griža, Lepa bukva, Vela ravan, Stari Sredić, Podsredić) te su dani ukupni podaci zahvaćenih voda vodospreme Perun. U Tablicama 3.2.5 – 3.2.9 dan je prikaz srednji mjesečnih i godišnjih zahvaćenih količina vode, kao i statistička obrada podataka (srednja vrijednost Sr, standardna devijacija Stdev, koeficijent varijacije Cv, srednji mjesečni ekstremi Max i Min) za spomenute izvore. Podaci su analizirani zaključno do listopada 2020. godine. Potrebno je napomenuti da je statistička obrada podataka obuhvaća samo cijele godine, pa tako kod svih izvora 2020. godina nije uzeta u obradu, kao ni neke početne godine.

Također važno je za napomenuti da je među dnevnim podacima Liburnijskih voda ima nedostajućih podataka. To je ili greška u sustavu ili je toga dana došlo do povećana mutnoće vode. Iz toga razloga srednje mjesečne i godišnje zahvaćene količine vode su samo okvirni podaci, ali ne i u potpunosti ispravni. U slučaju većeg broja nedostajućih podataka u pojedinom mjesecu, mjesečne vrijednosti nisu izračunate (žuto označena polja u tablicama).

Tablica 3.2.5. Srednji mjesečni i godišnji podaci o zahvaćenim količinama (L/s) na izvoru Tunel Učka u razdoblju od 2006. do listopada 2020.

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji mjesečni protoci zahvaćene vode (L/s)													
2006	28,0	27,5	23,8	28,3	33,1	30,3	17,7	25,5	34,7	31,8	26,2	26,0	27,7
2007	23,3	22,8	23,3	32,5	30,7	32,8	17,4	13,4	16,5	30,6	35,2	37,5	26,3
2008	31,6	27,9	33,1	33,0	29,7	36,0	19,6	13,6	10,9	9,07		16,3	
2009	17,7	15,6	22,1	27,0	29,8	19,3	18,1	22,8	19,8	19,9	32,6	21,0	22,1
2010	15,6	17,7	17,0	21,5	26,4	35,2	25,4	25,0	26,8	27,4	15,9	11,2	22,1
2011	11,2	14,4	17,6	23,1	25,3	20,3	17,5	20,5	13,5	19,1	30,3	26,6	19,9
2012	28,4	18,4	15,5	29,6	31,1	30,6	18,8	12,6	31,4	32,9	16,0	12,7	23,2
2013	11,7	15,5	16,7	18,7	24,9	31,7	19,3	13,9	20,5	46,1	22,9	19,5	21,8
2014	13,7	13,6	21,3	32,1	35,4			30,5	42,4	35,0	21,7	18,4	
2015	23,1	25,7	28,1	30,8	34,6	22,9	15,7	13,4	12,1	28,4	29,9	29,7	24,5
2016	23,2	16,9	16,5	25,7	32,0	35,9	22,7	21,4	14,8	27,9	23,8	15,6	23,0
2017	22,9	11,4	17,2	27,9	35,0	23,6	15,4	11,6	30,3	30,7	20,0	15,6	21,8
2018	13,6	13,7	17,3	24,4	35,1	23,2	20,0	14,5	17,8	19,7	20,6	15,6	19,6
2019	25,2	17,4	24,9	30,3	25,3	36,3	23,1	33,6	17,7	16,4	18,2	15,6	23,6
2020	17,2	25,3	23,1	21,2	17,7	30,7	19,6	18,2	19,5	25,0			
Sr	20,7	18,5	21,0	27,5	30,6	29,1	19,3	19,4	22,1	26,8	24,1	20,1	23,0
Stdev	6,68	5,39	5,19	4,35	3,86	6,35	2,94	7,21	9,52	9,26	6,29	7,36	2,36
Cv	0,32	0,29	0,25	0,16	0,13	0,22	0,15	0,37	0,43	0,35	0,26	0,37	0,10
Max	31,6	27,9	33,1	33,0	35,4	36,3	25,4	33,6	42,4	46,1	35,2	37,5	27,7
Min	11,2	11,4	15,5	18,7	24,9	19,3	15,4	11,6	10,9	9,1	15,9	11,2	19,6

Tablica 3.2.6. Srednji mjesečni i godišnji podaci o zahvaćenim količinama (L/s) na izvoru Vela Učka u razdoblju od travnja 2016. do listopada 2020.

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji mjesečni protoci zahvaćene vode (L/s)													
2016				26,2	21,6	17,2	13,8	11,7	9,4	10,8	27,3	32,6	
2017	21,8	36,0	30,6	21,0	18,9	14,2	11,8	9,7	12,8	11,9	20,6	26,6	19,7
2018	26,7	25,7	25,5	26,7	25,8	16,9	13,4	10,6	8,6	8,6	21,8	21,9	19,3
2019	18,6	22,6	18,3	17,5	24,3	26,4	22,7	18,3	13,2	10,7	23,6	29,2	20,4
2020	28,6	20,5	23,0	16,5	12,9	12,5	10,7	9,2	8,6	17,1			
Sr	22,3	28,1	24,8	21,7	23,0	19,2	15,9	12,9	11,6	10,4	22,0	25,9	19,8
Stdev	4,08	7,02	6,22	4,66	3,64	6,40	5,86	4,69	2,56	1,69	1,49	3,67	0,56
Cv	0,18	0,25	0,25	0,21	0,16	0,33	0,37	0,36	0,22	0,16	0,07	0,14	0,03
Max	26,7	36,0	30,6	26,7	25,8	26,4	22,7	18,3	13,2	11,9	23,6	29,2	20,4
Min	18,6	22,6	18,3	17,5	18,9	14,2	11,8	9,7	8,6	8,6	20,6	21,9	19,3

Tablica 3.2.7. Srednji mjesečni i godišnji podaci o zahvaćenim količinama (L/s) na izvoru Mala Učka u razdoblju od kolovoza 2010. do listopada 2020.

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji mjesečni protoci zahvaćene vode (L/s)													
2010								12,0	11,5	20,9	20,7	21,7	
2011	21,7	20,9	20,9	20,8	14,7	11,6	8,52	7,99	6,84	6,58	7,80		
2012	13,3	11,4	9,6	9,80	13,7	13,8	11,9	9,28	11,3	12,2	15,9	16,0	12,4
2013	16,0	14,3	13,1	12,5	12,7	15,6	15,2	10,7	9,40	15,3	20,4	19,0	14,5
2014	19,0	15,4	16,6	17,0	15,4			9,65	15,0	14,7	17,0	15,8	15,6
2015	20,1	21,0	21,3	19,6	17,6	13,5	9,77	8,70	6,77	8,26	8,02	13,0	14,0
2016	14,6	15,9	16,5	16,6	17,5	16,5	13,1	10,4	8,3	12,8	17,2	17,7	14,8
2017	16,0	19,1	19,3	17,5	17,1	13,7	11,1	8,79	14,0	14,2	17,2	21,8	15,8
2018	22,1	21,7	21,7	22,3	19,3	12,7	10,1	8,12	6,91	7,45	21,0	21,1	16,2
2019	18,1	22,8	17,3	16,5	23,2	25,3	17,6	13,5	10,2	8,6	20,4	22,8	18,0
2020	22,7	16,9	21,6	15,3	11,2	12,8	11,2	9,38	9,19	19,4			
Sr	17,9	18,0	17,4	17,0	16,8	15,3	12,2	9,68	9,86	11,1	16,1	18,4	15,1
Stdev	3,10	3,92	4,03	3,91	3,18	4,30	3,04	1,70	3,09	3,40	4,98	3,42	1,68
Cv	0,17	0,22	0,23	0,23	0,19	0,28	0,25	0,18	0,31	0,31	0,31	0,19	0,11
Max	22,1	22,8	21,7	22,3	23,2	25,3	17,6	13,5	15,0	15,3	21,0	22,8	18,0
Min	13,3	11,4	9,64	9,80	12,7	11,6	8,52	7,99	6,77	6,58	7,80	13,0	12,4

Tablica 3.2.8. Srednji mjesečni i godišnji podaci o zahvaćenim količinama (L/s) na izvoru Rečina u razdoblju od travnja 2016. do listopada 2020.

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji mjesečni protoci zahvaćene vode (L/s)													
2016				2,45	6,34	4,64	2,22	1,81	1,20	5,30	3,55	3,14	
2017	3,83	1,99	2,10	3,37	5,46	2,53	1,34	0,90	4,36	3,81	3,21	4,95	3,15
2018	4,48	5,55	8,03	7,94	3,14	2,32	1,80	1,26	1,83	2,47	7,32	8,05	4,52
2019	3,63	4,68	2,78	7,05	3,39	2,62	2,28	4,61	1,64	1,69	3,44	1,87	3,31
2020	2,39	3,72	4,42	2,11	2,76	5,00	2,00	2,01	2,81	10,6			
Sr	3,98	4,08	4,31	6,12	4,00	2,49	1,81	2,26	2,61	2,66	4,66	4,96	3,66
Stdev	0,44	1,86	3,25	2,42	1,27	0,15	0,47	2,04	1,52	1,07	2,31	3,09	0,75
Cv	0,11	0,46	0,75	0,40	0,32	0,06	0,26	0,90	0,58	0,40	0,50	0,62	0,20
Max	4,48	5,55	8,03	7,94	5,46	2,62	2,28	4,61	4,36	3,81	7,32	8,05	4,52
Min	3,63	1,99	2,10	3,37	3,14	2,32	1,34	0,90	1,64	1,69	3,21	1,87	3,15

Tablica 3.2.9. Srednji mjesečni i godišnji podaci o zahvaćenim količinama (L/s) na izvoru Sredić u razdoblju od travnja 2009. do listopada 2020.

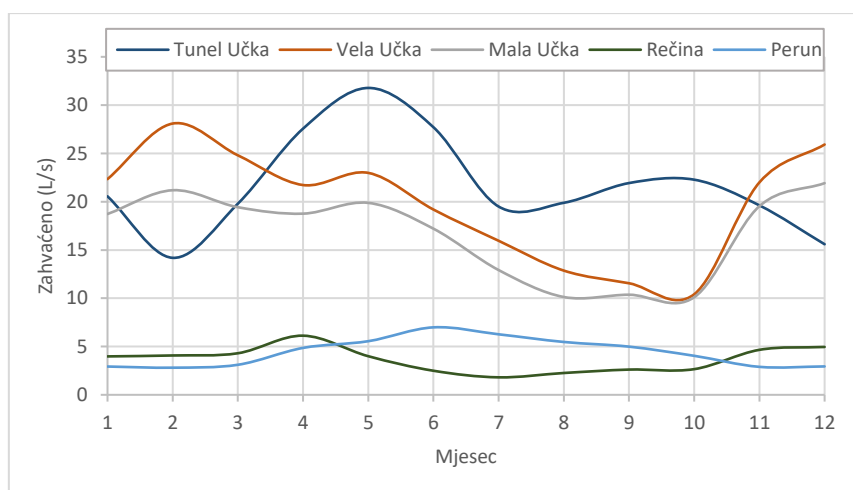
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji mjesečni protoci zahvaćene vode (L/s)													
2009				4,21	4,98	4,79	4,51	4,20	3,86	3,86	3,35	3,79	
2010	3,44	2,46	2,27	3,71	4,18	5,52	6,10	4,90	3,90	4,83	3,35	2,75	3,95
2011	2,66	2,70	2,78	4,02	4,49	5,30	4,28	4,36	3,31	3,30	4,14		
2012	2,54	3,01	2,97	3,05	3,47	5,80	5,73	4,14	3,24	4,62	3,61	3,66	3,82
2013	3,78	3,63	3,71	3,92	4,93	6,55	6,51	4,43	2,87	3,53	2,40	2,29	4,05
2014	2,20	2,20	2,67	3,55	3,82	3,83	2,97	5,62	4,86	3,44	3,08	3,00	3,44
2015	3,60	3,62	3,51	4,35	4,47	6,10	4,83	3,94	3,26	3,44	2,65	2,58	3,86
2016	2,86	2,55	2,76	4,28	6,42	7,84	8,68	6,68	4,90	4,86	2,72	3,07	4,80
2017	3,10	2,97	2,70	4,96	5,66	8,27	7,16	4,86	5,72	4,71	3,41	2,73	4,69
2018	2,68	2,60	3,51	5,85	7,01	6,22	4,61	4,01	3,92	3,65	2,29	3,01	4,11
2019	3,01	2,86	3,12	3,77	3,99	6,46	7,04	7,55	5,33	3,75	2,99	3,08	4,41
2020	2,92	2,75	2,89	3,30	3,91	4,99	5,80	4,32	3,95	2,91			
Sr	2,99	2,86	3,00	4,14	4,84	6,19	5,79	5,05	4,13	4,01	3,06	2,91	4,13
Stdev	0,50	0,47	0,46	0,79	1,16	1,26	1,66	1,21	1,00	0,65	0,58	0,39	0,44
Cv	0,17	0,16	0,15	0,19	0,24	0,20	0,29	0,24	0,24	0,16	0,19	0,13	0,11
Max	3,78	3,63	3,71	5,85	7,01	8,27	8,68	7,55	5,72	4,86	4,14	3,66	4,80
Min	2,20	2,20	2,27	3,05	3,47	3,83	2,97	3,94	2,87	3,30	2,29	2,29	3,44

Zbog mogućeg postojanja pojedinačnih grešaka u podacima i nakon provedenih provjera, zahvaćene vode dane su samo kao srednje mjesečne bez isticanja ekstremnih mjesečnih vrijednosti iz razloga što je kod ekstrema najprisutniji utjecaj tih pojedinačnih pogrešnih očitavanja.

Na izvorištu Tunel Učka srednje godišnje zahvaćene vode, za razdoblje od 2006. do 2019. godine, iznose 23 L/s, maksimalne srednje godišnje 27,7 L/s te minimalne srednje godišnje 19,6 L/s. Srednje godišnje zahvaćene vode na izvorištu Mala Učka, za razdoblje od 2012. do 2019. godine, iznose 15,1 L/s, maksimalne srednje godišnje 18 L/s te minimalne srednje godišnje 12,4 L/s.

Na izvoru Vela Učka, za vrlo kratko razdoblje godina sa potpunim podacima tijekom svih mjeseci (od 2017. do 2019.), srednje godišnje zahvaćene vode iznose 19,8 L/s, maksimalne srednje godišnje 20,4 L/s te minimalne srednje godišnje 19,3 L/s. Kao i na izvoru Vela Učka za razdoblje od 2017. do 2019. godine, srednje godišnje zahvaćene vode na izvoru Rečina iznose 3,66 L/s, maksimalne srednje godišnje 4,54 L/s te minimalne srednje godišnje 3,15 L/s. Za izvor Sredić/vodospremu Perun također su dane vrijednosti srednjih mjesečnih i godišnjih zahvaćenih voda. Srednje godišnje zahvaćene vode iznose 4,13 L/s, maksimalne srednje godišnje 4,80 L/s te minimalne srednje godišnje 3,44 L/s.

Na Slici 3.2.2 dana je unutar godišnja raspodjela srednjih mjesečnih zahvaćenih voda na izvorima Tunel Učka, Vela Učka, Mala Učka, Rečina i Perun za zajedničko razdoblje od 2017. do 2019. godine. Sa slike vidimo da su zahvaćene količine vode na svim izvorima nešto drugačije unutar godine. Izvori Vela i Mala Učka imaju vrlo sličan hod zahvaćenih količina tijekom godine. Najmanje količine na ta dva izvora zahvaćaju se u listopadu, dok se najviše zahvaća u studenom i veljači. Također je vidljivo da Rečina i vodosprema Perun imaju slične vrijednosti zahvaćenih količina vode, no malo drugačiji hod – u hladnijem dijelu godine više se zahvaća na izvoru Rečina, dok od svibnja do lipnja veće su zahvaćene količine na izvoru Sredić (vodosprema Perun).



Slika 3.2.2. Unutar godišnja raspodjela srednjih mjesečnih zahvaćenih količina (L/s) na izvorima Tunel Učka, Vela Učka, Mala Učka i Rečina za zajedničko razdoblje 2017. – 2019.

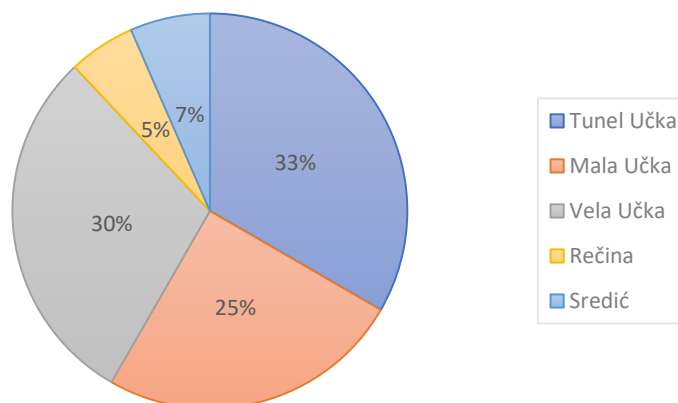
U Tablici 3.2.10 dan je prikaz ukupnih mjesečna zahvaćenih voda na svim zahvatima vode zajedno (Tunel Učka, Mala Učka, Vela Učka, Rečina i Perun) te ukupne srednje godišnje zahvaćene količine po hidrološkim godinama u razdoblju od kolovoza 2016. do svibnja 2020. Vidimo da je u prosjeku srednja godišnja zahvaćena količina vode za sve izvore oko 65 L/s.

Dan je prikaz (Slika 3.2.3) udjela (%) godišnjih zahvaćenih voda za hidrološke godine po izvorima u razdoblju od listopada 2016. do rujna 2020. Vidimo da najveći udio zahvaćenih voda ima izvor Tunel Učka (33%), nakon njega Vela Učka (30%), Mala Učka (25%), te Rečina (5%) i Sredić (7%). Najmanje srednje mjesečne zahvaćene količine za to razdoblje su u mjesecu kolovozu (prosječno svi izvori 49 L/s). Iz tog razloga dan je prikaz (Slika 3.2.4) udjela (%)

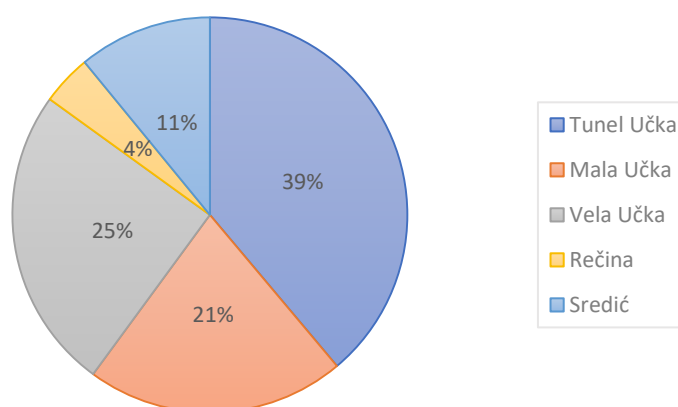
mjesečnih zahvaćenih količina vode za mjesec rujan. Vidimo da je poredak izvorišta po količini zahvaćene vode ostao isti, no povećao se udio zahvaćenih količina na izvorištu Tunel Učka na 39%, te na izvoru Sredić na 11%. Na ostalim izvorima postotak se proporcionalno tome smanjio.

Tablica 3.2.10. Srednje mjesečne zahvaćene količine vode (L/s) na svim izvorima zajedno (Tunel Učka, Mala Učka, Vela Učka, Rečina i Sredić) te srednje godišnje zahvaćene količine po hidrološkim godinama

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Hidrološke godine	
2016										61,7	74,6	72,1		
2017	67,6	71,4	71,9	74,7	82,1	62,4	46,8	35,9	67,3	65,4	64,5	71,7	65,7	2016/17
2018	69,5	69,3	76,1	87,3	90,4	61,3	49,8	38,5	39,0	41,9	73,1	69,7	65,2	2017/18
2019	68,5	70,3	66,4	75,1	80,1	97,0	72,7	77,5	48,0	41,1	68,6	72,5	70,0	2018/19
2020	73,8	69,1	75,0	58,4	48,6	65,9	49,3	43,0	44,0				59,1	2019/20



Slika 3.2.3. Udio zahvaćenih voda po izvorima za cijelu godinu za razdoblje 2016.-2020.



Slika 3.2.4. Udio zahvaćenih voda po izvorima u mjesecu kolovozu za razdoblje 2016.-2019.

3.3. Monitoring kakvoće

3.3.1. Mutnoće

Višegodišnji nizovi podataka o mutnoći analizirani su na izvorima Tunel Učka, Mala Učka i Rečina i Sredić/vodosprema Perun. U Tablicama 3.3.1 – 3.3.4 dan je prikaz srednji, maksimalni i minimalni mjesečnih i godišnjih podataka o mutnoći, kao i statistička obrada podataka (srednja vrijednost Sr, standardna devijacija Stdev, koeficijent varijacije Cv, srednji mjesečni ekstremi Max i Min) za spomenute izvore. Podaci su analizirani zaključno do listopada 2020. godine. Potrebno je napomenuti da je statistička obrada podataka obuhvaća samo cijele godine, pa tako kod svih izvora 2020. godina nije uzeta u obradu, kao ni neke početne godine.

Mjerni opsezi koji se prenose na SCADA-u su različiti i mijenjali su se tokom vremena. Postavljeni su inicijalno 0-100 NTU-a, a onda su se naknadno smanjivali na 50 NTU-a radi točnosti prijenosa podataka. Mjerači na izvorima Rečina i Sredić postavljeni su na maksimalnu vrijednost od 100 NTU-a, dok na izvorima Tunel Učka i Mala Učka na 50 NTU-a. Važno je za napomenuti da je srednja dnevna mutnoća iz koje su izračunate srednje mjesečne i godišnje mutnoće na svim izvorima, uvjetan podatak iz razloga što se kod mutnoća koje prelaze točnost detekcije u srednjak uzima granična vrijednost detekcije mutnoće, a ne stvarna vrijednost. Kod svih izvora postoje praznine u dnevnim podacima, te u slučaju većeg broja nedostajućih podataka u pojedinom mjesecu, mjesečne vrijednosti nisu izračunate (žuto označena polja u tablicama).

Tablica 3.3.1. Srednje, maksimalne i minimalne mjesečne i godišnje mutnoće (NTU) na izvoru Tunel Učka u razdoblju od 2006. do listopada 2020.

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednje mjesečne mutnoće (NTU)													
2006	0,61	0,59	0,86	0,71	0,75	0,86	0,18	0,56	0,76	0,23	0,56	0,35	0,59
2007	0,40	0,64	0,30	0,12	0,60	0,24	0,17	0,19	0,89	0,55	0,47	0,51	0,42
2008	0,99	0,54	0,83	0,82	0,73	0,74	0,64	0,70	0,79	0,96	4,35		
2009	1,60	0,59	1,01	0,42	0,25	0,25	0,35	0,54	0,48	0,32	0,67	0,74	0,60
2010	0,37	0,65	0,24	0,24	0,40	0,31	0,43	0,23	0,75	0,35	0,78	0,74	0,46
2011	0,38	0,54	0,63	0,31	0,65	0,15	0,90	2,14	1,37	0,75	1,25	0,38	0,79
2012	0,33	0,15	0,14	0,59	0,42	0,89	0,92	0,18	2,30	1,35	1,72	0,43	0,79
2013	0,19	0,16	0,81	0,30	0,26	0,22	0,07	0,09	1,22	0,76	1,67	0,49	0,52
2014	0,58	0,59	0,31	0,31	0,26	0,20	0,72	0,37	0,57	0,53	1,09	0,28	0,48
2015	0,25	0,17	0,30	0,16	0,14	0,18	0,17	0,17	0,12	0,79	0,23	0,21	0,24
2016	0,71	1,03	0,37	0,18	0,36	0,48	1,11	0,43	0,22	1,31	1,14	0,22	0,63
2017	0,51	0,62	0,23	0,36	0,22	0,28	0,10	0,10	1,28	0,21	0,82	0,56	0,44
2018	0,28	0,32	0,46	0,20	0,15	0,15	0,17	0,24	0,31	0,72	0,53	0,21	0,31
2019	0,21	0,59	0,11	0,27	0,81	0,41	0,86	0,26	0,17	0,14	0,92	0,34	0,42
2020	0,08	0,07	0,30	0,09	0,06	0,32	0,04	0,32	0,31	0,27			
Sr	0,53	0,51	0,47	0,36	0,43	0,38	0,49	0,44	0,80	0,64	0,91	0,70	0,51
Stdev	0,38	0,24	0,30	0,21	0,23	0,26	0,36	0,52	0,59	0,38	0,45	1,07	0,16
Cv	0,71	0,47	0,63	0,59	0,55	0,68	0,75	1,18	0,74	0,60	0,49	1,52	0,31
Max	1,60	1,03	1,01	0,82	0,81	0,89	1,11	2,14	2,30	1,35	1,72	4,35	0,79
Min	0,19	0,15	0,11	0,12	0,14	0,15	0,07	0,09	0,12	0,14	0,23	0,21	0,24

Tablica 3.3.1. Srednje, maksimalne i minimalne mjesečne i godišnje mutnoće (NTU) na izvoru Tunel Učka u razdoblju od 2006. do listopada 2020. (nastavak)

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Maksimalne mjesečne mutnoće (NTU)													
2006	18,5	8,1	11,9	11,3	8,0	3,2	0,5	12,8	49,9	3,8	13,4	7,5	49,9
2007	8,1	20,9	46,2	23,1	30,6	15,4	1,8	10,8	48,3	11,5	6,8	6,7	48,3
2008	33,2	17,5	18,7	35,7	7,2	7,0	22,0	3,9	6,2	2,3	49,9	49,6	49,9
2009	33,0	0,9	36,6	10,1	1,2	2,0	14,3	17,1	20,1	27,9	38,3	27,8	38,3
2010	23,1	9,5	22,4	5,3	26,0	9,2	50,0	15,5	29,2	15,0	34,4	21,0	50,0
2011	37,9	36,9	13,0	40,1	41,4	25,1	25,1	44,8	27,4	44,4	3,0	11,9	44,8
2012	11,3	12,4	17,9	35,1	8,2	47,3	22,7	7,9	49,9	49,9	38,9	16,0	49,9
2013	31,0	2,8	50,0	49,0	6,0	36,8	1,7	9,0	33,5	17,6	38,8	19,5	50,0
2014	44,1	9,1	7,8	1,5	2,3	3,6	17,0	48,0	18,4	40,1	45,8	21,6	48,0
2015	16,2	21,4	9,4	38,2	40,4	28,7	32,4	5,9	33,2	39,2	49,1	38,5	49,1
2016	44,9	38,1	18,6	35,2	40,3	38,4	49,9	12,2	6,8	49,9	48,2	2,4	49,9
2017	20,9	43,0	32,3	14,8	17,3	3,8	10,6	1,1	49,9	24,2	23,2	32,5	49,9
2018	41,4	29,1	9,2	16,9	43,3	7,2	22,7	10,1	16,0	49,9	27,9	8,9	49,9
2019	21,6	28,4	5,6	27,1	48,8	26,2	49,9	21,8	3,4	48,3	30,1	8,0	49,9
2020	22,6	5,4	21,7	11,7	16,3	47,5	5,0	26,1	14,9	8,1			47,5
Sr	27,5	19,9	21,4	24,5	22,9	18,1	22,9	15,8	28,0	30,3	32,0	19,4	48,4
Stdev	12,1	13,6	14,4	14,7	17,6	15,3	17,4	14,0	17,0	17,8	15,5	13,7	3,23
Cv	0,44	0,68	0,67	0,60	0,77	0,85	0,76	0,89	0,61	0,59	0,49	0,70	0,07
Max	44,9	43,0	50,0	49,0	48,8	47,3	50,0	48,0	49,9	49,9	49,9	49,6	50,0
Min	8,07	0,89	5,60	1,50	1,16	2,01	0,48	1,13	3,41	2,32	2,95	2,36	38,3
Minimalne mjesečne mutnoće (NTU)													
2006	0,20	0,09	0,06	0,19	0,21	0,19	0,16	0,16	0,02	0,14	0,14	0,19	0,02
2007	0,18	0,20	0,19	0,11	0,11	0,17	0,16	0,16	0,11	0,25	0,28	0,33	0,11
2008	0,33	0,41	0,40	0,48	0,56	0,61	0,61	0,66	0,71	0,88		0,64	0,33
2009	0,41	0,39	0,18	0,15	0,10	0,09	0,11	0,17	0,11	0,14	0,17	0,16	0,09
2010	0,13	0,14	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14	0,13	0,11	0,11	0,19	0,11
2011	0,16	0,14	0,26	0,11	0,01	0,12	0,13	0,59	0,13	0,06	0,23	0,12	0,01
2012	0,14	0,12	0,03	0,13	0,08	0,17	0,14	0,14	0,13	0,65	0,01	0,11	0,01
2013	0,04	0,07	0,09	0,13	0,11	0,08	0,04	0,01	0,07	0,23	0,23	0,18	0,01
2014	0,06	0,12	0,14	0,21	0,13	0,13	0,16	0,05	0,14	0,13	0,13	0,11	0,05
2015	0,10	0,08	0,09	0,09	0,05	0,08	0,09	0,09	0,10	0,09	0,07	0,14	0,05
2016	0,15	0,14	0,17	0,13	0,13	0,13	0,15	0,13	0,12	0,16	0,19	0,16	0,12
2017	0,13	0,14	0,10	0,06	0,10	0,09	0,07	0,07	0,07	0,12	0,12	0,13	0,06
2018	0,13	0,11	0,11	0,10	0,05	0,10	0,09	0,08	0,11	0,08	0,12	0,11	0,05
2019	0,11	0,13	0,05	0,08	0,11	0,11	0,09	0,10	0,09	0,04	0,09	0,08	0,04
2020	0,06	0,04	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,07			0,01
Sr	0,16	0,16	0,15	0,15	0,13	0,16	0,15	0,18	0,15	0,22	0,15	0,19	0,08
Stdev	0,10	0,11	0,10	0,10	0,13	0,13	0,14	0,19	0,17	0,24	0,07	0,14	0,08
Cv	0,62	0,66	0,67	0,69	0,98	0,85	0,89	1,06	1,14	1,10	0,51	0,75	1,08
Max	0,41	0,41	0,40	0,48	0,56	0,61	0,61	0,66	0,71	0,88	0,28	0,64	0,33
Min	0,04	0,07	0,03	0,06	0,01	0,08	0,04	0,01	0,02	0,04	0,01	0,08	0,01

Tablica 3.3.2. Srednje, maksimalne i minimalne mjesečne i godišnje mutnoće (NTU) na izvoru Mala Učka u razdoblju od lipanja 2014. do listopada 2020.

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednje mjesečne mutnoće (NTU)													
2014						0,25	0,29	0,25	0,31	0,34	0,54	0,26	
2015	0,26	0,26	0,29	0,25	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,39	0,26	0,29	0,27
2016	0,40	0,49	0,29	0,26	0,26	0,28	0,25	0,25	0,25	0,46	0,54	0,26	0,33
2017	0,27	0,39	0,25	0,28	0,25	0,25	0,25	0,25	0,39	0,25	0,37	0,42	0,30
2018	0,26	0,26	0,31	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,25	0,42	0,36	0,26	0,28
2019	0,25	0,55	0,25	0,27	0,38	0,46	0,27	0,25	0,25	0,25	0,63	0,49	0,36
2020	0,25	0,25	0,29	0,25	0,25	0,29	0,25	0,24	0,35	0,28			
Sr	0,29	0,39	0,28	0,26	0,28	0,30	0,25	0,25	0,28	0,35	0,43	0,35	0,31
Stdev	0,06	0,13	0,03	0,01	0,06	0,09	0,01	0,01	0,06	0,10	0,15	0,10	0,04
Cv	0,22	0,34	0,10	0,05	0,21	0,31	0,04	0,02	0,23	0,27	0,35	0,30	0,12
Max	0,40	0,55	0,31	0,28	0,38	0,46	0,27	0,25	0,39	0,46	0,63	0,49	0,36
Min	0,25	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27
Maksimalne mjesečne mutnoće (NTU)													
2014						0,50	7,25	0,75	2,50	11,3	16,3	1,00	16,3
2015	0,75	0,75	2,00	0,50	1,00	0,50	0,50	1,00	1,50	5,75	1,25	1,00	5,75
2016	3,75	4,75	0,75	42,8	1,00	4,25	0,50	0,50	0,50	48,8	14,00	0,75	48,8
2017	3,25	3,25	5,50	35,5	0,25	0,75	0,50	0,75	21,0	1,00	20,3	11,0	35,5
2018	1,25	3,00	2,25	0,50	2,00	0,50	0,50	1,75	1,25	26,8	40,8	27,8	40,8
2019	0,50	50,0	1,00	1,75	10,0	49,3	13,0	0,75	1,50	0,50	49,5	48,5	50,0
2020	0,50	0,50	4,25	0,75	0,50	2,50	1,75	0,50	10,8	2,25			10,8
Sr	1,90	12,35	2,30	16,2	2,85	11,1	3,00	0,95	5,15	16,6	25,2	17,8	36,2
Stdev	1,50	21,1	1,90	21,1	4,05	21,4	5,59	0,48	8,87	21,0	19,7	20,4	18,0
Cv	0,79	1,71	0,83	1,30	1,42	1,94	1,86	0,51	1,72	1,27	0,78	1,14	0,50
Max	3,75	50,0	5,50	42,8	10,0	49,3	13,0	1,75	21,0	48,8	49,5	48,5	50,0
Min	0,50	0,75	0,75	0,50	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,25	0,75	5,75
Minimalne mjesečne mutnoće (NTU)													
2014						0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
2015	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
2016	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
2017	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
2018	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
2019	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
2020	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25			0,25
Sr	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Stdev	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Max	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Min	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

Tablica 3.3.3. Srednje, maksimalne i minimalne mjesečne i godišnje mutnoće (NTU) na izvoru Rečina u razdoblju od travnja 2016. do listopada 2020.

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednje mjesečne mutnoće (NTU)													
2016				1,02	2,36	3,68	2,11	2,47	4,05	5,99	3,45	0,73	
2017	1,36	3,65	1,78	2,46	2,73	0,82	1,07	0,72	2,71	1,01	2,10	1,68	1,84
2018	1,00	1,19	1,48	1,08	1,32	2,21	1,72	1,18	1,45	2,40	1,54	0,92	1,46
2019	0,97	1,27	0,67	1,98	3,47	1,32	1,77	1,49	2,01	1,45	2,60	1,41	1,70
2020	0,69	1,03	1,44	0,67	1,14	2,17	0,54	3,48	4,07	3,73			
Sr	1,11	2,04	1,31	1,84	2,51	1,45	1,52	1,13	2,06	1,62	2,08	1,34	1,67
Stdev	0,22	1,40	0,58	0,70	1,09	0,70	0,39	0,39	0,63	0,71	0,53	0,38	0,19
Cv	0,20	0,69	0,44	0,38	0,44	0,49	0,26	0,34	0,31	0,44	0,26	0,29	0,12
Max	1,36	3,65	1,78	2,46	3,47	2,21	1,77	1,49	2,71	2,40	2,60	1,68	1,84
Min	0,97	1,19	0,67	1,08	1,32	0,82	1,07	0,72	1,45	1,01	1,54	0,92	1,46
Maksimalne mjesečne mutnoće (NTU)													
2016				6,50	68,5	98,5	99,5	99,0	95,5	99,5	99,0	1,50	99,5
2017	51,0	99,5	97,0	87,5	64,0	70,0	12,5	75,0	99,0	78,5	63,0	50,0	99,5
2018	20,0	39,5	99,5	73,5	49,5	88,0	86,5	60,0	64,0	99,0	61,0	42,0	99,5
2019	48,0	23,5	12,0	99,5	91,5	99,5	88,0	74,5	39,0	38,0	92,5	21,0	99,5
2020	11,0	79,5	73,5	80,0	16,0	94,5	1,50	99,5	98,5	98,5			99,5
Sr	39,7	54,2	69,5	86,8	68,3	85,8	62,3	69,8	67,3	71,8	72,2	37,7	99,5
Stdev	17,1	40,1	49,8	13,0	21,3	14,9	43,2	8,5	30,1	31,0	17,6	15,0	0
Cv	0,43	0,74	0,72	0,15	0,31	0,17	0,69	0,12	0,45	0,43	0,24	0,40	0
Max	51,0	99,5	99,5	99,5	91,5	99,5	88,0	75,0	99,0	99,0	92,5	50,0	99,5
Min	20,0	23,5	12,0	73,5	49,5	70,0	12,5	60,0	39,0	38,0	61,0	21,0	99,5
Minimalne mjesečne mutnoće (NTU)													
2016				0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50
2017	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
2018	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
2019	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
2020	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50			0,50
Sr	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Stdev	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Max	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Min	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Tablica 3.3.4. Srednje, maksimalne i minimalne mjesečne i godišnje mutnoće (NTU) na izvoru Sredić u razdoblju od 2011. do listopada 2020.

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednje mjesečne mutnoće (NTU)													
2011	3,09	1,96	2,68	1,08	0,97	0,87	0,91	1,02	1,13	1,31	0,93		
2012	0,90	1,95	0,69	1,27	1,26	0,93	1,82	8,45	1,25	2,44	1,71	0,82	1,96
2013	0,73	0,62	1,26	0,63	0,88	0,62	0,68	0,95	1,17	1,71	1,36	0,74	0,94
2014	0,70	0,82	0,83	0,98	0,71	0,78	1,12	1,10	1,45	0,94	1,33	0,64	0,95
2015	0,78	0,77	1,06	0,73	0,84	1,00	0,84	0,64	0,55	1,27	0,65	0,66	0,82
2016	0,88	0,88	0,45	0,53	0,81	0,65	0,40	0,43	0,53	1,41	2,06	0,34	0,78
2017	0,51	2,01	0,54	0,93	0,73	0,66	0,57	0,42	1,42	0,41	1,04	0,82	0,84
2018	0,40	0,46	0,71	0,51	0,51	0,61	0,74	0,68	0,69	1,34	0,57	0,37	0,63
2019	0,38	0,91	0,46	0,81	1,16	0,61	0,90	0,52	0,50	0,45	1,05	0,63	0,70
2020	0,35	0,41	0,85	0,62	0,95	1,25	0,64	0,69	1,05	0,75			
Sr	0,93	1,15	0,97	0,83	0,88	0,75	0,89	1,58	0,96	1,25	1,19	0,63	0,95
Stdev	0,83	0,63	0,70	0,26	0,23	0,15	0,41	2,59	0,40	0,62	0,48	0,18	0,42
Cv	0,89	0,55	0,72	0,31	0,27	0,21	0,46	1,64	0,41	0,50	0,41	0,29	0,44
Max	3,09	2,01	2,68	1,27	1,26	1,00	1,82	8,45	1,45	2,44	2,06	0,82	1,96
Min	0,38	0,46	0,45	0,51	0,51	0,61	0,40	0,42	0,50	0,41	0,57	0,34	0,63
Maksimalne mjesečne mutnoće (NTU)													
2011	32,1	76,2	100,0	20,2	37,8	34,4	40,2	28,2	86,6	100,0	15,9		100,0
2012	68,9	75,2	36,1	79,8	82,5	82,0	86,8	100,0	100,0	100,0	80,9	46,1	100,0
2013	38,6	39,4	100,0	33,4	23,7	5,9	29,6	50,5	100,0	100,0	60,9	42,3	100,0
2014	58,6	32,5	62,1	48,2	44,7	46,1	63,1	88,3	60,2	60,0	53,3	14,9	88,3
2015	50,9	48,6	53,5	7,9	44,9	61,2	42,8	29,6	17,4	62,7	32,5	100,0	100,0
2016	26,9	58,6	3,9	37,9	68,2	60,0	1,5	31,0	31,6	99,9	92,7	0,9	99,9
2017	42,1	49,3	15,9	59,2	15,9	49,6	53,3	11,7	99,9	56,2	76,9	40,2	99,9
2018	12,7	34,2	41,3	23,5	66,4	28,4	41,1	33,9	33,5	99,5	37,8	20,6	99,5
2019	2,0	42,9	3,7	57,4	33,6	51,3	53,1	13,5	21,3	4,6	56,4	14,6	57,4
2020	5,0	3,3	50,8	15,9	55,5	37,0	22,1	17,6	40,9	21,2			55,5
Sr	37,0	50,8	46,3	40,8	46,4	46,5	45,7	43,0	61,2	75,9	56,4	34,9	93,9
Stdev	21,4	16,2	36,6	22,5	22,0	21,8	23,4	31,3	35,9	33,1	24,8	30,8	14,2
Cv	0,58	0,32	0,79	0,55	0,47	0,47	0,51	0,73	0,59	0,44	0,44	0,88	0,15
Max	68,9	76,2	100,0	79,8	82,5	82,0	86,8	100,0	100,0	100,0	92,7	100,0	100,0
Min	2,03	32,5	3,74	7,92	15,9	5,93	1,45	11,7	17,4	4,59	15,9	0,87	57,4
Minimalne mjesečne mutnoće (NTU)													
2011	0,62	0,52	0,53	0,49	0,01	0,07	0,63	0,57	0,46	0,55	0,52		0,01
2012	0,07	0,01	0,55	0,50	0,59	0,07	0,52	0,43	0,15	0,44	0,55	0,07	0,01
2013	0,14	0,14	0,07	0,07	0,51	0,19	0,55	0,49	0,19	0,13	0,07	0,14	0,07
2014	0,18	0,18	0,03	0,17	0,48	0,07	0,17	0,19	0,22	0,16	0,44	0,19	0,03
2015	0,44	0,13	0,13	0,01	0,33	0,57	0,51	0,47	0,15	0,19	0,60	0,17	0,01
2016	0,24	0,16	0,14	0,16	0,15	0,15	0,13	0,17	0,13	0,07	0,16	0,13	0,07
2017	0,13	0,16	0,15	0,14	0,44	0,19	0,36	0,15	0,15	0,15	0,13	0,17	0,13
2018	0,15	0,15	0,17	0,15	0,15	0,15	0,17	0,19	0,14	0,15	0,15	0,02	0,02
2019	0,13	0,07	0,15	0,15	0,15	0,14	0,19	0,15	0,16	0,15	0,15	0,13	0,07
2020	0,15	0,15	0,19	0,19	0,55	0,07	0,53	0,16	0,19	0,49			0,07
Sr	0,23	0,17	0,21	0,20	0,31	0,18	0,36	0,31	0,19	0,22	0,31	0,13	0,05
Stdev	0,18	0,14	0,19	0,17	0,21	0,15	0,20	0,17	0,10	0,16	0,21	0,06	0,04
Cv	0,78	0,85	0,90	0,85	0,66	0,87	0,55	0,56	0,54	0,74	0,70	0,45	0,91
Max	0,62	0,52	0,55	0,50	0,59	0,57	0,63	0,57	0,46	0,55	0,60	0,19	0,13
Min	0,07	0,01	0,03	0,01	0,01	0,07	0,13	0,15	0,13	0,07	0,07	0,02	0,01

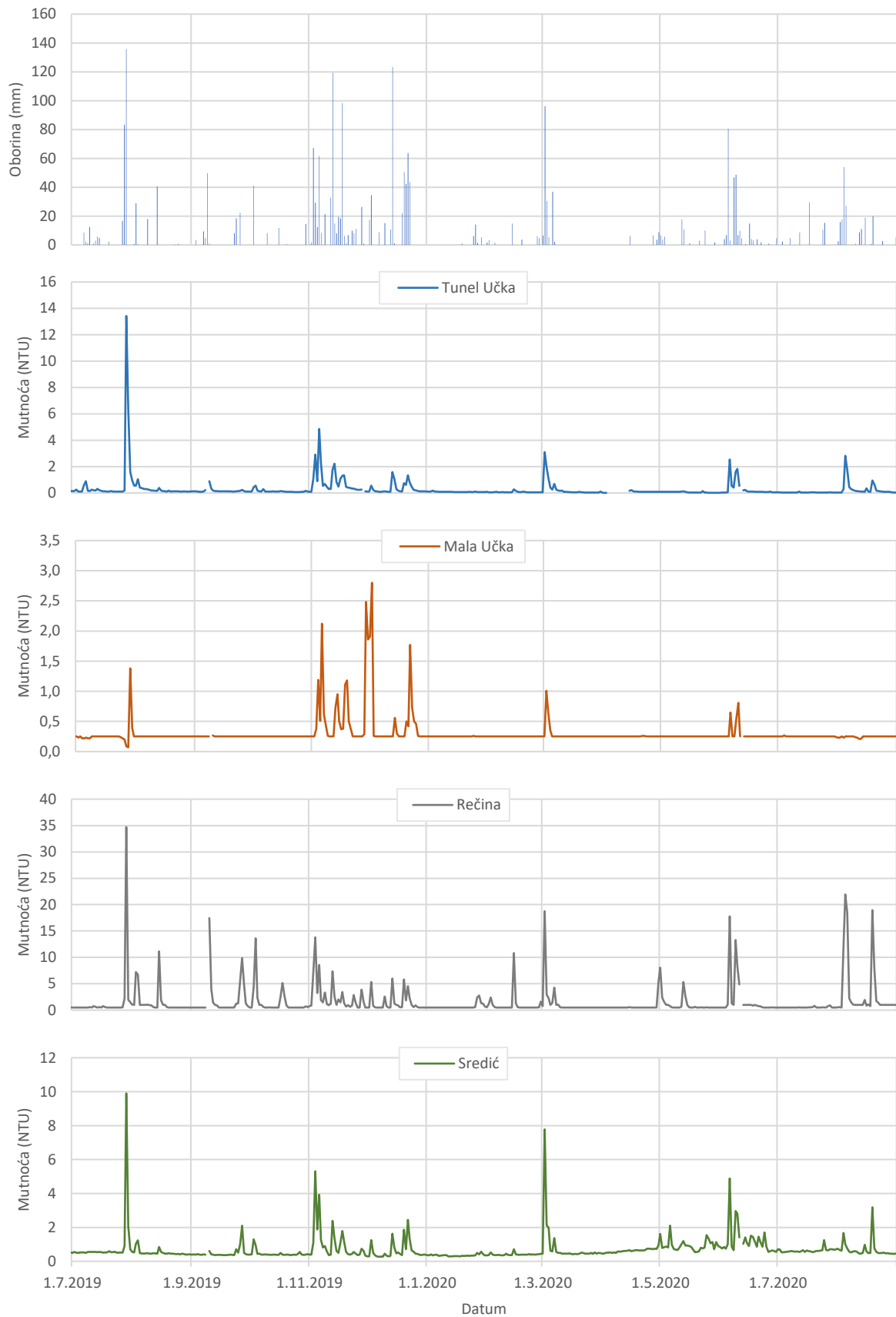
Na izvorištu Tunel Učka srednja godišnja mutnoća, za razdoblje od 2006. do 2019. godine, iznosi 0,51 NTU-a (pri čemu valja spomenuti da je taj srednjak uvjetan iz razloga što se kod mutnoća koje prelaze točnost detekcije u srednjak uzima granična vrijednost detekcije mutnoće, a ne stvarna vrijednost), maksimalna srednja godišnja 0,79 NTU-a te minimalna srednja godišnja 0,24 NTU-a. Za cijelo promatrano razdoblje, maksimalna mjesečna mutnoća iznosila je 50 NTU-a, no to nije stvarna maksimalna mutnoća nego maksimalna zabilježena na mjerачu koji je podešen da mjeri do te razine. Iz Tablice 3.3.1 možemo vidjeti da skoro svake godine izvor zamuti do maksimalne vrijednosti (osim tijekom 2009. i 2011. godine). U slučaju povećane mutnoće preko 6 NTU-a crpka se isključuje te sva voda ide na preljev. Tek nakon što se mutnoća spusti ispod 4 NTU-a crpka se ponovno uključuje.

Monitoring mutnoće na izvoru Mala Učka započeo je u lipnju 2014. godine. Srednja godišnja mutnoća, za razdoblje od 2015. do 2019. godine, iznosi 0,31 NTU-a, maksimalna srednja godišnja 0,36 NTU-a te minimalna srednja godišnja 0,27 NTU-a. Za cijelo promatrano razdoblje, maksimalna mjesečna mutnoća iznosila je 50 NTU-a, no kao što je već napomenuto, to nije stvarna maksimalna mutnoća nego maksimalna zabilježena na mjerачu koji je podešen da mjeri do te razine. Vidimo da je do maksimalne vrijednosti došlo tijekom dvije od praćenih pet godina – tijekom 2016. i 2019. u kojoj je maksimalno zamutilo čak tijekom četiri mjeseca. U slučaju povećane mutnoće preko 7 NTU-a crpka se isključuje te sva voda ide na preljev.

Monitoring na izvoru Rečina započeo je tek u travnju 2016. godine. Za razdoblje od 2017. do 2019. godine, srednja godišnja mutnoća iznosi 1,67 NTU-a, maksimalna srednja godišnja 1,84 NTU-a te minimalna srednja godišnja 1,46 NTU-a. Tijekom kratkog promatranog razdoblja vidimo da maksimalna mjesečna mutnoća tijekom svih godina je dosegla maksimalni iznos od 99,5 NTU-a (što je maksimalna granica na mjerачu). Iz Tablice 3.3.3 vidimo da tijekom svih mjeseci maksimalne mjesečne mutnoće su vrlo visoke, a to je vidljivo i iz srednjih godišnjih mutnoća koje su na ovom izvoru preko trostruko veće nego na izvoru Tunel Učka i Mala Učka. To je razlog jer je Rečina skup tri površinska izvora koji vrlo brzo reagiraju i na malu količinu oborina.

Na skupini izvora Sredić/vodospremi Perun, monitoring mutnoća započeo je 2011. godine. Za razdoblje od 2011. do 2019. godine, srednja godišnja mutnoća iznosi 0,95 NTU-a, maksimalna srednja godišnja 1,96 NTU-a te minimalna srednja godišnja 0,63 NTU-a. Vidimo da je skoro svake godine, mutnoća dosegla maksimalni iznos od 100 NTU-a (osim tijekom 2014. i 2019. godine). Iz Tablice 3.3.4 vidimo da se, kao i na izvoru Rečina, tijekom većinu mjeseci javljaju vrlo velike maksimalne mutnoće.

Na Slikama 3.3.1 i 3.3.2 dan je prikaz srednjih i maksimalnih dnevnih mutnoća na postajama Tunel Učka, Mala Učka, Rečina i Sredić u usporedbi sa dnevnim oborinama na postaji Vela Učka u razdoblju 1.7.2019.-20.8.2020. Sa Slike 3.3.2 vidimo da Tunel Učka, Rečina i Sredić slično i često reagiraju na palu oborinu, dok izvor Mala Učka reagira samo na pale oborine iznad cca 50 mm.



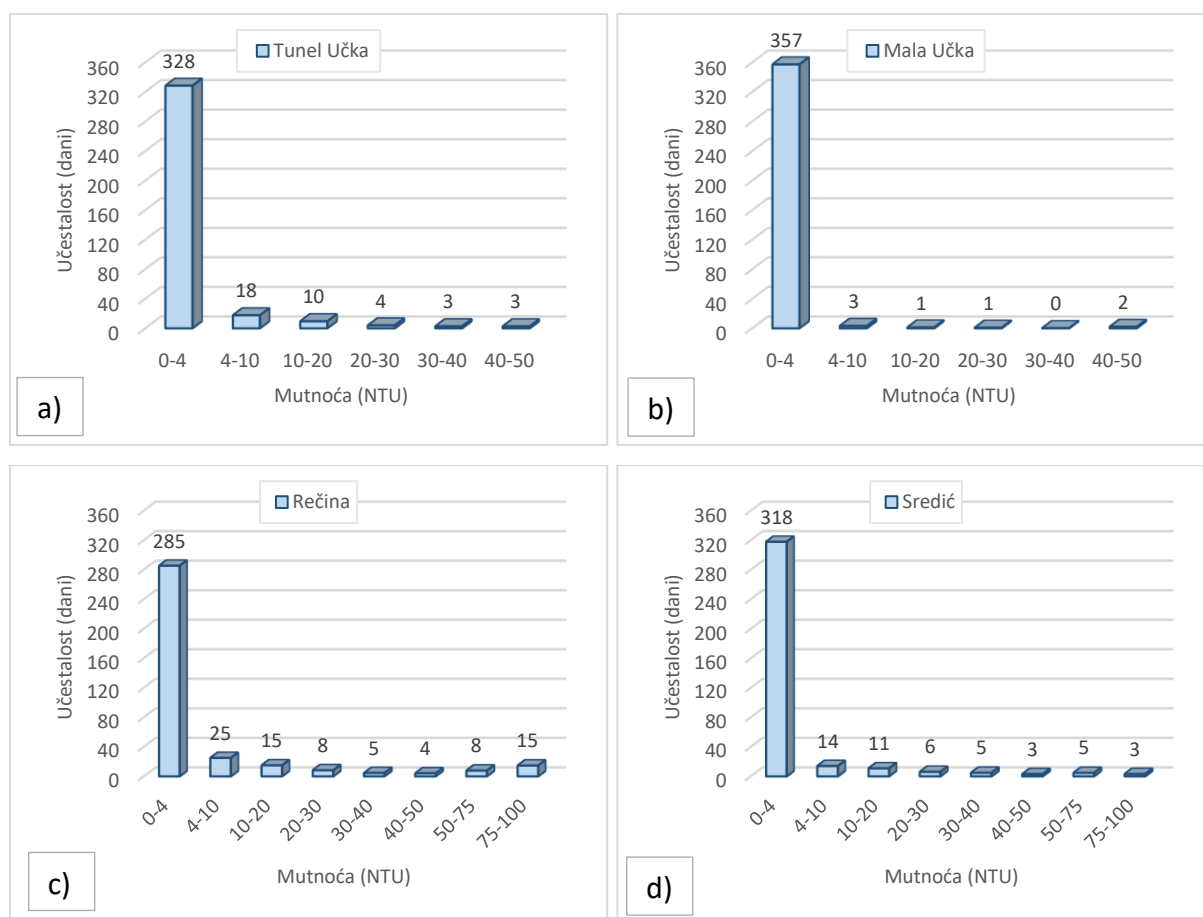
Slika 3.3.1. Prikaz srednjih dnevnih mutnoća na izvorima Tunel Učka, Mala Učka, Rečina i Sredić u usporedbi sa dnevnim oborinama na postaji Vela Učka u razdoblju 1.7.2019.-31.8.2020.



Slika 3.3.2. Prikaz maksimalnih dnevnih mutnoća na izvorima Tunel Učka, Mala Učka, Rečina i Sredič u usporedbi sa dnevnim oborinama na postaji Vela Učka u razdoblju 1.7.2019.-31.8.2020.

Pojava mutnoće na izvorima na području Učke javlja se u vodnijim razdobljima, nakon obilnih oborina na području Učke. Ispiranjem površinskog i podpovršinskog sloja nakon sušnijeg razdoblja prihranjuje se podzemlje povećanim unosom suspendiranih tvari, koje u konačnici, uz povećanje izdašnosti, rezultiraju i povećanjem mutnoće izvorske vode. Pri tome znatan doprinos daju i ranije sedimentirane čestice u podzemnim okršanim tokovima koje se, pri promjeni hidroloških i hidrauličkih prilika u podzemlju i pri pojavi značajnijih oborina i otjecanja, zbog povećanih brzina podzemne vode i njezine veće kinetičke energije, ponovno pokreću i pridonose većoj zamućenosti podzemnih voda na mjestima istjecanja.

Analizirana je učestalost pojavljivanja maksimalnih dnevnih mutnoća na izvoru Tunel Učka u razdoblju od 2006. do 31.10.2020. (5291 dana), na izvoru Mala Učka u razdoblju od 22.5.2014. do 31.10.2020. (2350 dana), na izvoru Rečina u razdoblju od 9.4.2016. do 31.10.2020. (1665 dana), te na izvoru Sredić u razdoblju od 2011. do 31.10.2020. (3560 dana). Unutar analiziranih razdoblja podaci o registriranim vrijednostima maksimalnih dnevnih mutnoća nisu bili dostupni za 127 dana na izvoru Tunel Učka, 5 dana na izvoru Mala Učka, 2 dana na izvoru Rečina, te 3 dana na izvoru Sredić. Prikazi analiziranih učestalosti prosječnih izvora za jednu godinu dan je na Slici 3.3.3 i u Tablici 3.3.5.



Slika 3.3.3. Prosječna pojava mutnoća na izvorima unutar jedne godine: a) Tunel Učka, b) Mala Učka, c) Rečina i d) Sredić

Tablica 3.3.5. Učestalost pojavljivanja maksimalnih dnevnih mutnoća

	Tunel Učka	Mala Učka	Rečina	Sredić
Razredi / br. dana	5291	2350	1665	3560
0-4	90%	98%	78%	87%
4-10	4,8%	0,9%	6,8%	3,8%
10-20	2,6%	0,3%	4,1%	3,0%
20-30	1,1%	0,3%	2,3%	1,7%
30-40	0,8%	0,1%	1,3%	1,3%
40-50	0,7%	0,6%	1,1%	0,9%
50-75	/	/	2,2%	1,3%
75-100	/	/	4,0%	0,9%

Kao što je već napomenuto, mjerni instrumenti na izvorima Rečina i Sredić podešeni su na maksimalnu vrijednost od 100 NTU-a, dok na izvorima Tunel Učka i Mala Učka na 50 NTU-a. Iz tablice i grafova vidimo da se mutnoća ne pojavljuje toliko često te da ipak dominira vrijednost mutnoće do 4 NTU-a na svim izvorima na području Učke. Vidimo da su najmanje pojave mutnoća na izvoru Mala Učka gdje čak 98% dana tijekom cijelog promatranog perioda mutnoća bila ispod 4 NTU-a. Također ispod 4 NTU-a mutnoća na izvoru Tunel Učka bila je 90% dana, na izvoru Sredić 87% dana, te na izvoru Rečina 78% dana. Gledano prosječno po danima unutar jedne godine (365 dana) to iznosi 328 dana na izvoru Tunel Učka, 357 dana na izvoru Mala Učka, 285 dana na izvoru Rečina, te 318 dana na izvoru Sredić.

Na svim izvorima karakteristično je da se mutnoća jako brzo pojavi (unutar par sati), ali i da se dosta brzo i voda pročisti. Tako da je uglavnom u većini slučajeva povećana mutnoća samo tijekom jednog do tri dana u slučaju prestanka oborina.

3.3.2. Ostali parametri kakvoće vode

Dodatne informacije o značajkama pojedinih izvora mogu dati i ostali parametri kakvoće vode, kao npr. usporedba podataka o temperaturi vode i zraka. Za pojedini izvor temperatura je određivana jednom mjesečno. U Tablicama 3.3.6-3.3.7 prikazani su rezultati pojedinih mjerenja kao i srednja vrijednost i pripadajuća standardna devijacija te maksimalne i minimalne vrijednosti temperature vode i zraka za odgovarajuće lokacije. Podaci su analizirani počevši od srpnja 2015. za vodu, odnosno od ožujka 2017. za zrak, a zaključno do srpnja 2020. godine.

Temperature podzemnih voda kreću se između 6,4°C i 12,6°C, a temperature zraka od 2°C do 30°C.

Tablica 3.3.6. Temperatura izvorske vode

Datum / temperatura vode (°C)	Mala Učka	Vela Učka	Rečina	Tunel Učka
16.7.2015	11,1	7,1		8,9
20.8.2015	9,4			9,1
10.9.2015	12,4			11,2
22.10.2015	9,1		8,9	8,4
19.11.2015	9,4	7		8,4
1.12.2015		6,6		8,13
8.12.2015	8,4		9,2	
20.1.2016	7,5	7,3		8,2
2.2.2016	7,1			
25.2.2016		6,5	7,7	7,5
24.3.2016	7,3	6,8		8
26.4.2016	7,1		7,6	8,6
25.5.2016	7,4	7,8		8,8
16.6.2016	7,2	7,2		9
31.8.2016	8,4	7,9		8,9
21.9.2016	7,6	8,2	8,9	8,2
18.10.2016	7	7,4		8,8
9.11.2016	7,4			
11.11.2016				8,9
16.11.2016				8,8
13.12.2016	8,2			8,8
27.1.2017	7,6			7,5
29.3.2017	7,1	6,5		7,8
30.3.2017			10	
26.4.2017	8,5	7,2	11	7,7
10.5.2017	8	6,9		8,5
6.6.2017	7,9	7,2	9,7	8,1
11.7.2017	9,6	7,4		8,6
9.8.2017	9	7,7		9,5
5.9.2017	7	7,8		9,5
12.10.2017	10,9	7,3	11,6	8,5
24.11.2017	9,1	7,2		8,8
5.12.2017	3,3	6,5		6,8
12.12.2017	8,8	8	7,5	8,8

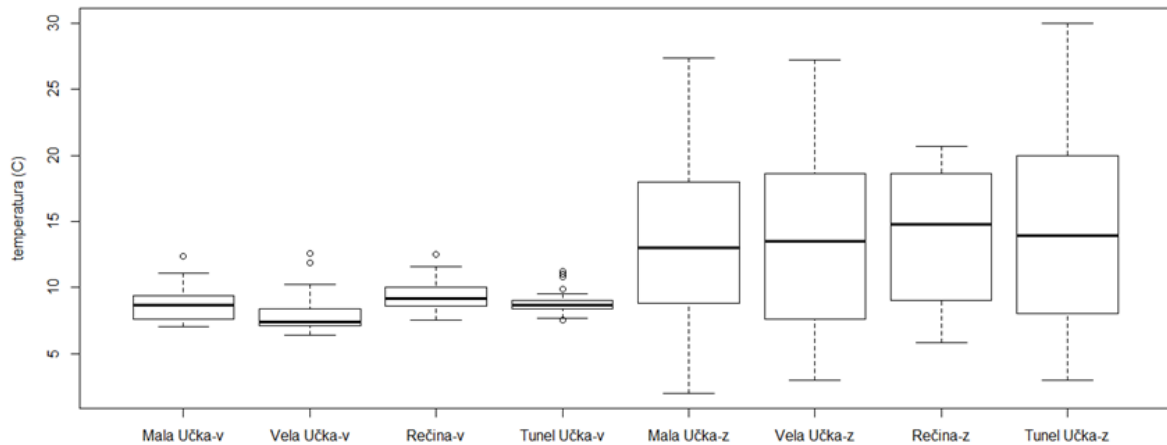
Tablica 3.3.6. Temperatura izvorske vode (nastavak)

Datum / temperatura vode (°C)	Mala Učka	Vela Učka	Rečina	Učka
12.1.2018	8,8	6,6		8,2
20.2.2018				8,7
14.3.2018	9,2	6,4		11
23.4.2018	8,8	7,3	7,8	8,3
9.5.2018	10,4	8,4	10	8,7
14.8.2018	8,8	8		10,8
10.9.2018	10,9	11,9		9,2
11.10.2018	9,7			9,2
27.11.2018				8,3
10.12.2018	9			8,9
30.1.2019				8,6
19.2.2019	9,6	9,5	9,5	8,5
7.3.2019	7,2	7,3		
24.4.2019	7,3	7	8,4	8,4
13.5.2019	7,8	7,1		9,1
17.6.2019	8	12,6	12,5	8,5
4.7.2019	10,2	10,2		8,6
7.8.2019	9,5	7,7		8,7
9.9.2019				8,8
11.9.2019	9	9,8		
17.10.2019	8,9	9,1	10,2	8,9
14.11.2019		8,2		9,2
18.11.2019	9,1			
3.12.2019	8	8,4		9,1
23.1.2020	8,4	8,5		8
14.2.2020	7,2	7,1	9,2	8,6
12.3.2020				8,7
19.3.2020	9,2	9,8		
8.4.2020				9,9
16.4.2020	9,7	9,9	9,6	
13.5.2020	7,8	8,9		9,2
1.6.2020	7,8	7,3	8,8	8,7
9.7.2020	9,8	8		9
Sr	8,5	7,9	9,4	8,7
St.dev.	1,4	1,4	1,3	0,7
Cv	0,16	0,18	0,14	0,08
Min	3,3	6,4	7,5	6,8
Max	12,4	12,6	12,5	11,2

Tablica 3.3.7. Temperatura zraka

Datum / temperatura zraka (°C)	Mala Učka	Vela Učka	Rečina	Tunel Učka
29.3.2017	8,8	17,3		20
30.3.2017			19,6	
26.4.2017	9,1	6,3	9	13
10.5.2017	14,2	14		14
6.6.2017	19	18,4	18,5	20
11.7.2017	20,4	12,8		30
9.8.2017	27	27		30
5.9.2017	17	20		20
12.10.2017	11,6	13,5	15,6	16
24.11.2017	10,5	11,4		10
5.12.2017	7,7	4		8
12.12.2017	6,1	7	5,8	8
12.1.2018	5	5		10
20.2.2018				6,9
14.3.2018	6,3	7,4		11
23.4.2018	18,4	20,2	18,7	20
9.5.2018	16,8	18,9	18,7	20
14.8.2018	27,4	27,2		28
10.9.2018	22	24		22
11.10.2018	18			19
27.11.2018	5	5	6	8
10.12.2018	12			7,1
30.1.2019				3
19.2.2019	6	6,5	6,7	5
7.3.2019	10	10		
24.4.2019	9,1	7,8	9	11,9
13.5.2019	12	10,2		9
17.6.2019	16,1	17,6	20,7	26,2
4.7.2019	20	22,2		20,6
7.8.2019	18,4	19,1		18,5
9.9.2019				13,3
11.9.2019	16,4	16,9		
17.10.2019	14,5	16,4	18,6	13,9
14.11.2019		8		10,6
18.11.2019	8,6			
3.12.2019	2	3		6,8
23.1.2020	6,2	5		4,1
14.2.2020	6,8	6,9	12,6	5,8
12.3.2020				4
19.3.2020	13	13,5		
8.4.2020				20,2
16.4.2020	14	13,1	14,8	
13.5.2020	14,1	14,2		17,7
1.6.2020	11,5	14,5	14,5	17,6
9.7.2020	23	24,5		24,7
Sr	13,3	13,6	13,9	14,7
St.dev.	6,3	6,8	5,4	7,5
Cv	0,47	0,50	0,39	0,51
Min	2,0	3,0	5,8	3,0
Max	27,4	27,2	20,7	30,0

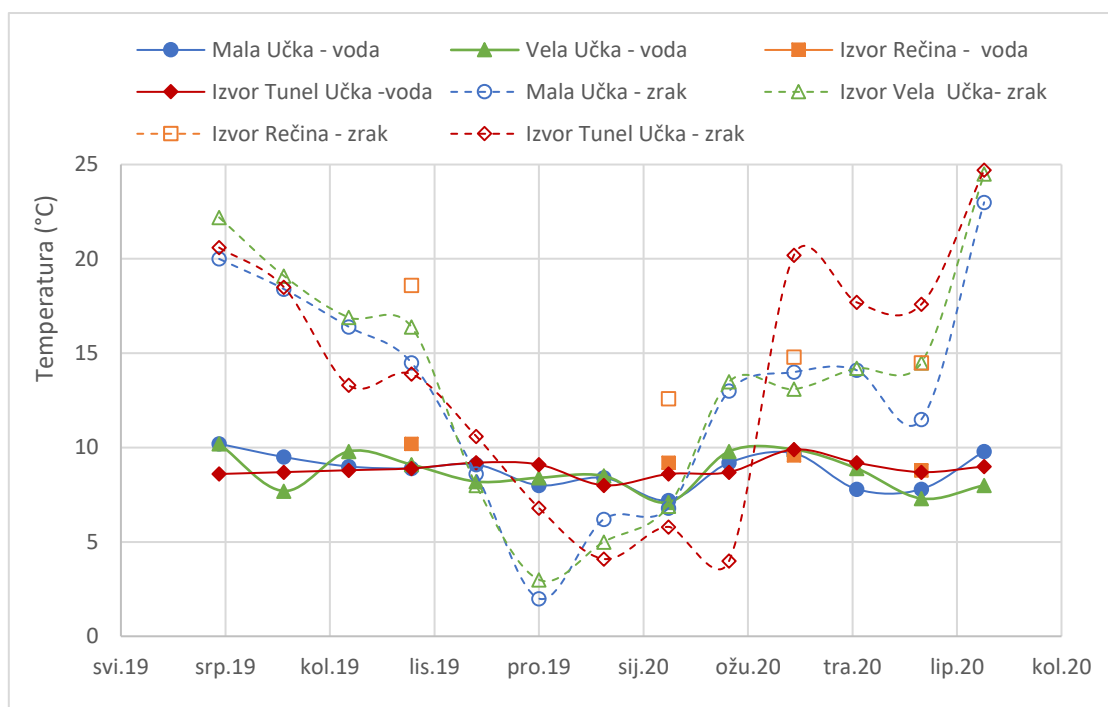
Grafička usporedba prosječnih vrijednosti temperatura prikazana je na Slici 3.3.4. Temperature zraka usporedive su na svim lokacijama (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). Za temperaturu vode na Veloj Učki pokazalo se da je značajno niža od temperature vode na izvoru Rečina i vode u Tunelu Učka (Dunn test, $p < 0,02$). Temperatura vode bila je značajno niža i manje varira od temperature zraka na svim lokacijama. Jedini izuzetak je izvor Rečina čija su temperatura vode povezanije s temperaturom zraka (Dunn test, $p > 0,3$), što ukazuje na to da se ovaj izvor neposrednije prihranjuje površinskim vodama.



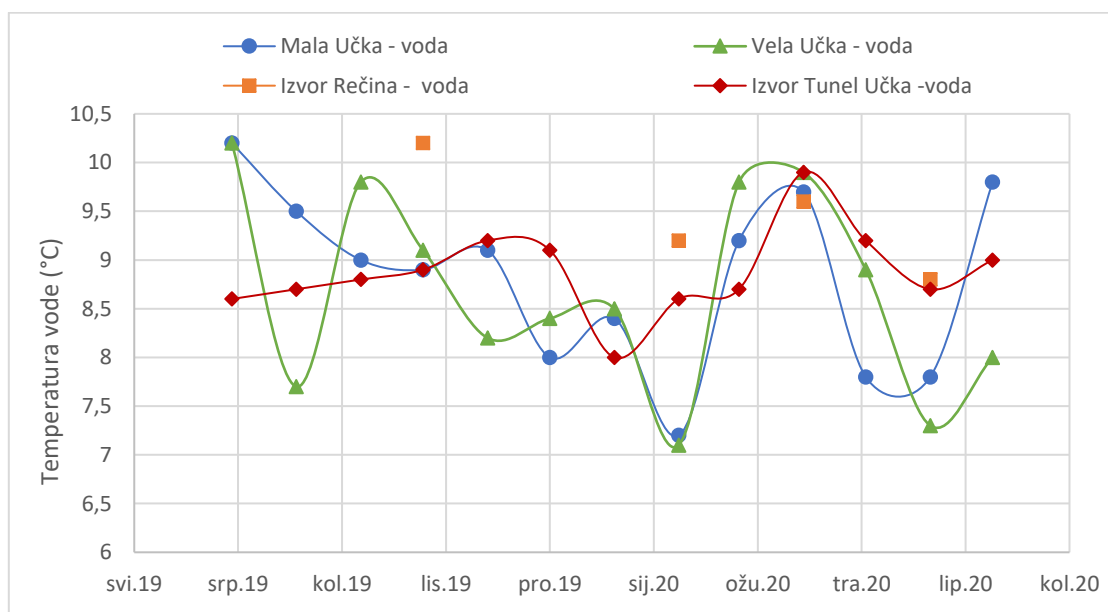
Slika 3.3.4. Prosječne vrijednosti i rasponi temperature izvorske vode (srpanj 2015. – srpanj 2020.) i temperature zraka (ožujak 2017. – srpanj 2020.). v- voda, z-zrak

Na Slici 3.3.5 dan je grafički prikaz vrijednosti temperature vode i zraka za razdoblje od srpnja 2019. do srpnja 2020. kada je provedeno uzrokovanje podzemne vode i kišnice za analizu izotopnog sastava. Za temperaturu zraka vidljiva je jasna sezonska oscilacija s nižim vrijednostima od listopada do ožujka i višim vrijednostima u razdoblju od travnja do rujna. Ta oscilacija daleko je manje izražena u podzemnoj vodi. Može se vidjeti da su temperature vode i zraka najbliže u studenom, kao i tijekom veljače.

Na Slici 3.3.6 izdvojen je prikaz temperature vode za razdoblje od srpnja 2019. do srpnja 2020. kako bi se bolje mogle usporediti unutar godišnje varijacije temperatura vode po izvorima. Vidljivo je da na izvorima Vela i Mala Učka u odnosu na temperature vode na izvoru u Tunelu Učka, temperature vode osciliraju s većom amplitudom, a što je posljedica kraćega puta infiltracije oborinskih voda u podzemlje kod tih izvora. Izvor u Tunelu ima veći nadsloj epikrške zone unutar kojeg se infiltriraju oborinske vode s površine u dublje podzemlje.



Slika 3.3.5. Temperatura izvorske vode i temperatura zraka (srpanj 2019. – srpanj 2020.)



Slika 3.3.6. Temperatura izvorske vode (srpanj 2019. – srpanj 2020.)

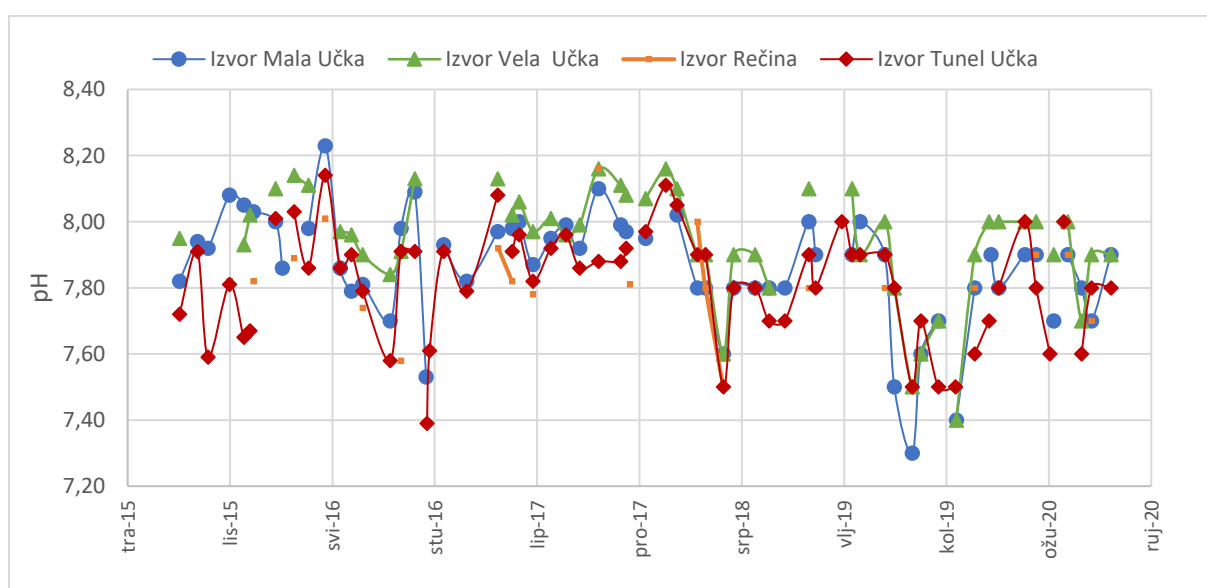
Podaci o pH vrijednostima vode analiziranih izvorišta u razdoblju od srpnja 2015. do srpnja 2020. prikazani su u Tablici 3.3.8. U istoj tablici dana je i osnovna statistika koja pokazuje da su podzemne vode uglavnom slabo alkalne (pH 7,3-8,2), što je karakteristično za vode koje potječu s terena na kojem dominiraju okršene vapnenačke stijene. Na Slici 3.3.7 može se vidjeti da su nešto niže pH vrijednosti zabilježene u ljetnim mjesecima. Voda na svim izvorima pokazuje sličnost u variranju pH vrijednosti.

Tablica 3.3.8. pH vrijednosti vode

Datum / pH	Mala Učka	Vela Učka	Izvor Rečina	Izvor Tunel Učka
16.7.2015	7,82	7,95		7,72
20.8.2015	7,94			7,91
10.9.2015	7,92			7,59
22.10.2015	8,08		7,82	7,81
19.11.2015	8,05	7,93		7,65
1.12.2015		8,02		7,67
8.12.2015	8,03		7,82	
20.1.2016	8,00	8,10		8,01
2.2.2016	7,86			
25.2.2016		8,14	7,89	8,03
24.3.2016	7,98	8,11		7,86
26.4.2016	8,23		8,01	8,14
25.5.2016	7,86	7,97		7,86
16.6.2016	7,79	7,96		7,90
8.7.2016	7,81	7,90	7,74	7,79
31.8.2016	7,70	7,84		7,58
21.9.2016	7,98	7,91	7,58	7,91
18.10.2016	8,09	8,13		7,91
9.11.2016	7,53			
11.11.2016				7,39
16.11.2016				7,61
13.12.2016	7,93			7,91
27.1.2017	7,82			7,79
29.3.2017	7,97	8,13		8,08
30.3.2017			7,92	
26.4.2017	7,98	8,02	7,82	7,91
10.5.2017	8,00	8,06		7,96
6.6.2017	7,87	7,97	7,78	7,82
11.7.2017	7,95	8,01		7,92
9.8.2017	7,99	7,96		7,96
5.9.2017	7,92	7,99		7,86
12.10.2017	8,10	8,16	8,16	7,88
24.11.2017	7,99	8,11		7,88
5.12.2017	7,97	8,08		7,92
12.12.2017			7,81	
12.1.2018	7,95	8,07		7,97
20.2.2018		8,16		8,11
14.3.2018	8,02	8,10		8,05
23.4.2018	7,80	7,90	8,00	7,90
9.5.2018	7,80	7,90	7,80	7,90
13.6.2018	7,60	7,60	7,50	7,50
3.7.2018	7,80	7,90		7,80
14.8.2018	7,80	7,90		7,80
10.9.2018	7,80	7,80		7,70
11.10.2018	7,80			7,70
27.11.2018	8,00	8,10	7,80	7,90
10.12.2018	7,90			7,80

Tablica 3.3.8. pH vrijednosti vode (nastavak)

Datum / pH	Mala Učka	Vela Učka	Izvor Rečina	Izvor Tunel Učka
30.1.2019				8,00
19.2.2019	7,90	8,10	7,90	7,90
7.3.2019	8,00	7,90		7,90
24.4.2019	7,90	8,00	7,80	7,90
13.5.2019	7,50	7,80		7,80
17.6.2019	7,30	7,50	7,50	7,50
4.7.2019	7,60	7,60		7,70
7.8.2019	7,70	7,70		7,50
9.9.2019				7,50
11.9.2019	7,40	7,40		
17.10.2019	7,80	7,90	7,80	7,60
14.11.2019		8,00		7,70
18.11.2019	7,90			
3.12.2019	7,80	8,00		7,80
23.1.2020	7,90	8,00		8,00
14.2.2020	7,90	8,00	7,90	7,80
12.3.2020				7,60
19.3.2020	7,70	7,90		
8.4.2020				8,00
16.4.2020	7,90	8,00	7,90	
13.5.2020	7,80	7,70		7,60
1.6.2020	7,70	7,90	7,70	7,80
9.7.2020	7,90	7,90		7,80
Sr	7,86	7,94	7,82	7,82
St.dev.	0,17	0,17	0,15	0,17
Cv	0,022	0,021	0,019	0,022
Min	7,30	7,40	7,50	7,39
Max	8,23	8,16	8,16	8,14



Slika 3.3.7. pH vrijednost vode (srpanj 2015. – srpanj 2020.)

Električna vodljivost vode (EC) je parametar koji predstavlja ukupnu količinu otopljenih iona u vodi. Što je veća koncentracija iona u vodi to je veća EC. EC može dati uvid u porijeklo i vrijeme zadržavanja vode u podzemlju. Svježe infiltrirana voda obično ima niže vrijednosti EC u donosu na vodu koja je duže vrijeme bila u podzemlju i time duže bila izložena interakciji s karbonatnim stijinama.

EC vrijednosti za promatrane izvore prikazane su u Tablici 3.3.9 zajedno s pripadajućom statistikom (aritmetičkom sredinom, standardnom devijacijom te minimalnim i maksimalnim vrijednostima). EC vrijednosti podzemne vode u periodu od srpnja 2015. do srpnja 2020. su prilično stabilne i kreću se u rasponu od 192 do 275 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tablica 3.3.9. Električna vodljivost vode

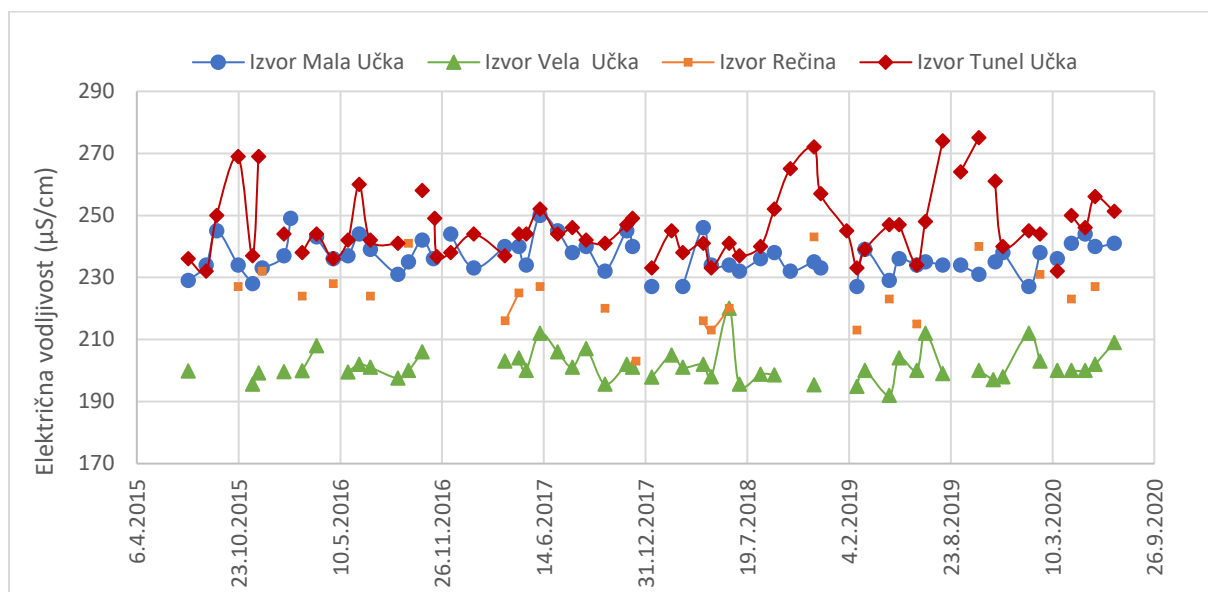
Datum / el. vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Mala Učka	Vela Učka	Izvor Rečina	Izvor Tunel Učka
16.7.2015	229	200		236
20.8.2015	234			232
10.9.2015	245			250
22.10.2015	234		227	269
19.11.2015	228	196		237
1.12.2015		199		269
8.12.2015	233		232	
20.1.2016	237	200		244
2.2.2016	249			
25.2.2016		200	224	238
24.3.2016	243	208		244
26.4.2016	236		228	236
25.5.2016	237	200		242
16.6.2016	244	202		260
8.7.2016	239	201	224	242
31.8.2016	231	198		241
21.9.2016	235	200	241	
18.10.2016	242	206		258
9.11.2016	236			
11.11.2016				249
16.11.2016				237
13.12.2016	244			238
27.1.2017	233			244
29.3.2017	240	203		237
30.3.2017			216	
26.4.2017	240	204	225	244
10.5.2017	234	200		244
6.6.2017	250	212	227	252
11.7.2017	245	206		244
9.8.2017	238	201		246
5.9.2017	240	207		242
12.10.2017	232	196	220	241
24.11.2017	245	202		247
5.12.2017	240	201		249
12.12.2017			203	

Tablica 3.3.9. Električna vodljivost vode (nastavak)

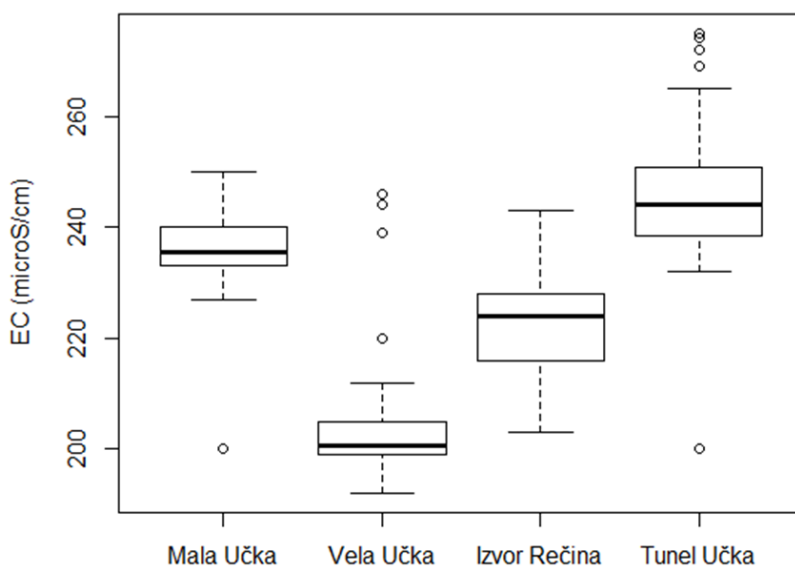
Datum / el. vodljivost (μS/cm)	Mala Učka	Vela Učka	Izvor Rečina	Izvor Tunel Učka
12.1.2018	227	198		233
20.2.2018		205		245
14.3.2018	227	201		238
23.4.2018	246	202	216	241
9.5.2018	234	198	213	233
13.6.2018	234	220	220	241
3.7.2018	232	196		237
14.8.2018	236	199		240
10.9.2018	238	199		252
11.10.2018	232			265
27.11.2018	235	195	243	272
10.12.2018	233			257
30.1.2019				245
19.2.2019	227	195	213	233
7.3.2019	200	239		239
24.4.2019	229	192	223	247
13.5.2019	236	204		247
17.6.2019	234	200	215	234
4.7.2019	235	212		248
7.8.2019	234	199		274
9.9.2019				
11.9.2019	234			264
17.10.2019	231	200	240	275
14.11.2019		197		
18.11.2019	235			261
3.12.2019	238	198		240
23.1.2020	227	212		245
14.2.2020	238	203	231	244
12.3.2020				
19.3.2020	236	200		232
8.4.2020				
16.4.2020	241	200	223	250
13.5.2020	244	200		246
1.6.2020	240	202	227	256
9.7.2020	241	209		251.3
Sr	235	204	224	246
St.dev.	9	11	10	12
Cv	0,04	0,05	0,05	0,05
Min	200	192	203	200
Max	250	246	243	275

Iz vremenskog prikaza promjene EC vrijednosti (Slika 3.3.8) može se vidjeti da su najniže vrijednosti zabilježene na Veloj Učki te da u vodi Tunela Učka postoje najveći skokovi (naročito izraženi 2018. i 2019.). Među svim promatranim izvorima postoji statistički značajna razlika u prosječnoj vrijednosti električne vodljivosti (Slika 3.3.9, Dunn test, $p < 0,01$). Prema prosječnim vrijednostima EC možemo zaključiti da je vrijeme koje voda provede u podzemlju najkraće na Veloj Učki, nešto duže na izvoru Rečina i Maloj Učki te najduže u Tunelu Učka, s time da vode izvora u Tunelu Učka imaju i najveće oscilacije promjene EC. Skokovi EC vrijednosti koji se javljaju na Tunelu Učka poklapaju se s pojavom velikih kiša i mogu ukazivati na pritek vode iz različitih dijelova vodonosnika, kao i područja epikrša. Kako se izvor u Tunelu Učka nalazi „dublje“ u planini u odnosu na ostale izvore, jasno je da u njegovoj vodi može doći do miješanja

više različitih masa vode nego kod ostalih izvora koji su bliže vrhu planine, ali i neposrednoj površini terena.



Slika 3.3.8. Električna vodljivost vode (srpanj 2015. – srpanj 2020.)



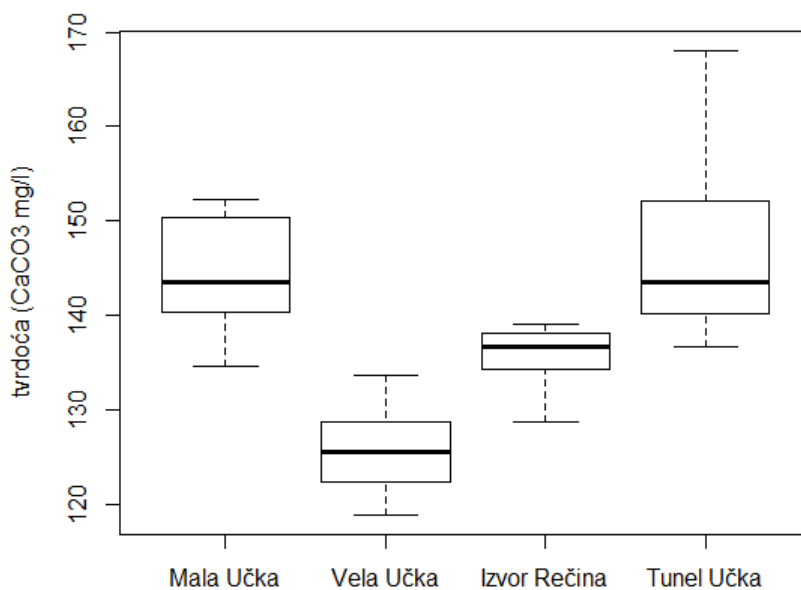
Slika 3.3.9. Prosječne vrijednosti i rasponi električne vodljivosti izvorske vode (srpanj 2015. – srpanj 2020.)

Tvrdoća vode je parametar koji pokazuje količinu otopljenog CaCO_3 u vodi, a vrijednosti tvrdoće vode za promatrane izvore prikazane su u Tablici 3.3.10. Vrijednosti tvrdoće za petogodišnje razdoblje kreću se od minimalnih 119 mg/l do maksimalnih 168 mg/l čime se ove vode svrstavaju u lagano do umjereno tvrde vode.

Prema tvrdoći promatrani izvori se grupiraju u parove (Slika 3.3.10), pa na izvorima Vela Učka i Rečina nalazimo lagano tvrdu vodu (Dunn test, $p > 0,2$), a umjereno tvrdu vodu imamo na izvorima Mala Učka i Tunel Učka (Dunn test, $p > 0,8$). Prema tome, možemo zaključiti da voda koja izvire na Maloj Učki i Tunelu Učka ima duže vrijeme zadržavanja u podzemlju u donosu na vodu koja izvire na Veloj Učki i na Izvoru Rečina.

Tablica 3.3.10. Tvrdoća vode

Datum / tvrdoća vode (mg/l)	Mala Učka	Vela Učka	Izvor Rečina	Izvor Tunel Učka
10.4.2015				140,4
14.4.2015	141,4		135,9	
10.9.2015				136,6
26.4.2016	140,6		132,7	140,6
16.6.2016		118,8		
18.10.2016				145,5
26.4.2017	152,3	127,8	136,6	150,4
12.10.2017				147,3
23.4.2018	134,6	122,4	128,7	137,1
27.11.2018	150,6	133,7	137,5	168,1
10.12.2018	150,1			160,6
24.4.2019	140,1	128,7	139,1	141,6
17.10.2019				153,9
8.4.2020				139,8
16.4.2020	145,6	123,3	138,8	
Sr	144,4	125,8	135,6	146,8
St.dev.	6,2	5,3	3,7	9,8
Cv	0,04	0,04	0,03	0,07
Min	134,6	118,8	128,7	136,6
Max	152,3	133,7	139,1	168,1



Slika 3.3.10. Tvrdoća vode (2015. – 2020.)

3.4. Analiza međuodnosa izdašnosti izvorišta

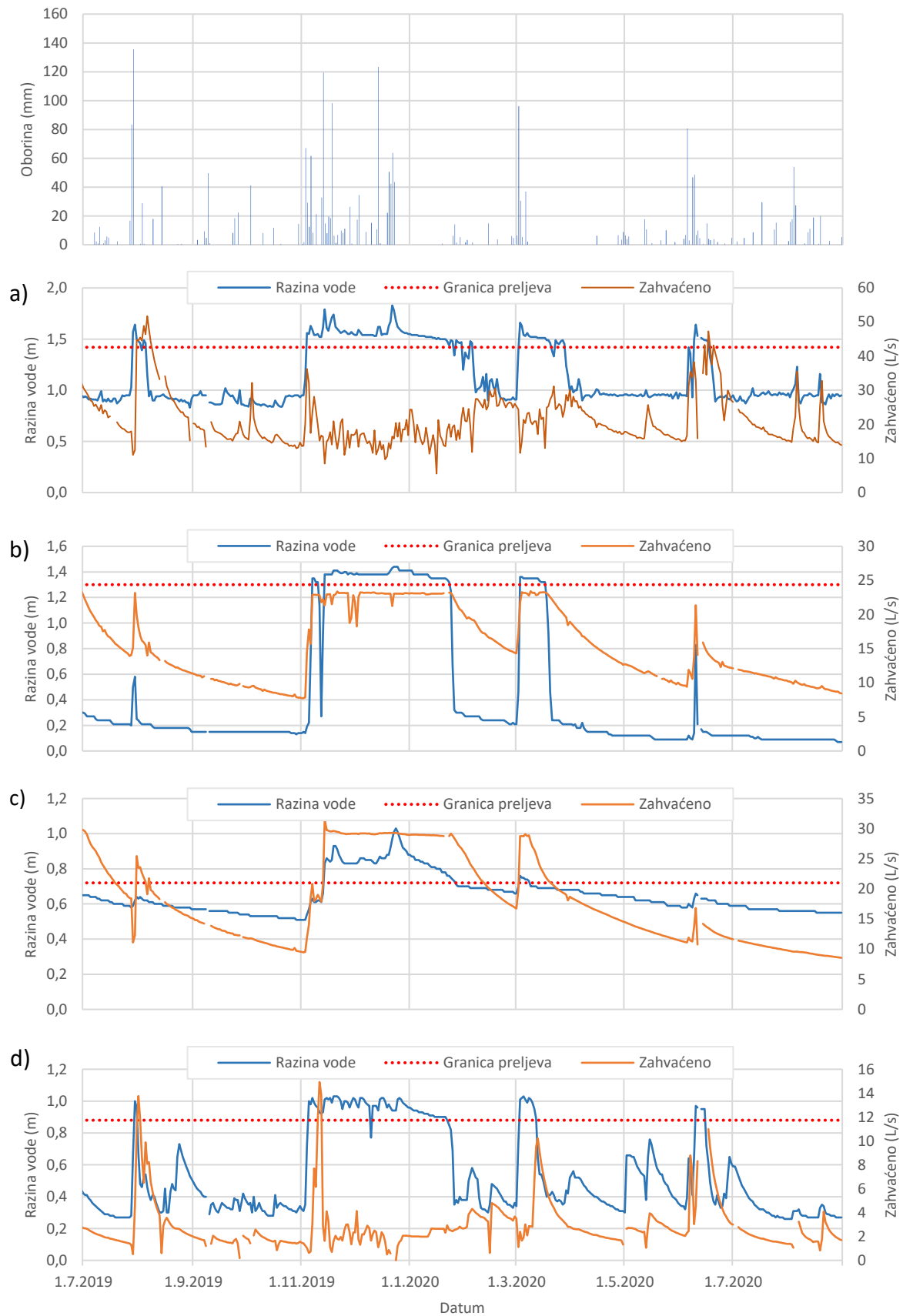
U Tablici 3.4.1 dan je prikaz dana (%) tijekom kojih je voda prelijevala iz vodnih komora na kaptažama izvorišta za dva razdoblja – cijelo promatrano razdoblje izvora Tunel Učka (2006. - 31.8.2020.), Mala Učka (29.7.2010. – 31.8.2020.), Vela Učka (9.4.2016. – 31.8.2020.) i Rečina (9.4.2016. – 31.8.2020.), te tijekom razdoblja trajanja projekta 1.7.2019. –31.8.2020. za sve izvore. Iz tablice vidimo da je kod izvora Tunel Učka najveći postotak dana preljevni voda (43%). Na izvoru Mala Učka voda preljeva iz vodnih komora 37% dana, na izvoru Vela Učka 20% dana, te na izvoru Rečina 30% dana. Vidimo da je tijekom trajanja monitoringa ovog projekta nešto manje vode prelijevalo iz vodnih komora i da je opet najviše dana prelijevalo na izvoru Tunel Učka, dok je na ostalim izvorima prelijevalo skoro jednak broja dana. No kao što je uobičajeno, na svim izvorima dolazi do preljeva tijekom zimskih vodnih mjeseci kada su i potrebe za vodom najmanje.

Tablica 3.4.1. Prikaz dana (%) tijekom kojih je voda prelijevala iz vodnih komora na kaptažama izvorišta

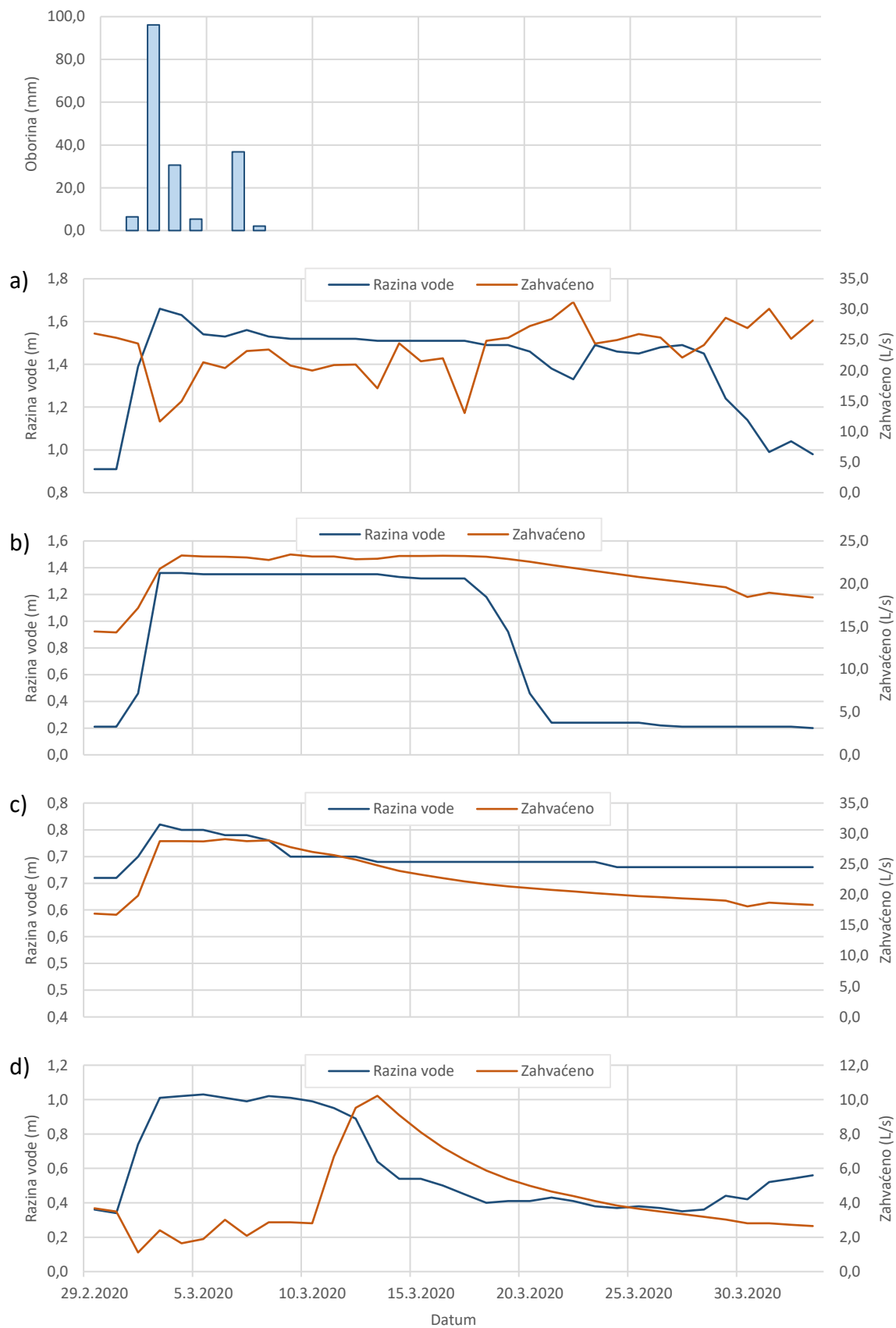
Izvor	Granica preljeva (m)	Razdoblje	Preljev vodnih komora na kaptažama izvorišta	Razdoblje	Preljev vodnih komora na kaptažama izvorišta
Tunel Učka	1,42	2006. – 31.8.2020.	43%	1.7.2019. – 31.8.2020.	30%
Mala Učka	1,3	29.7.2010. – 31.8.2020.	37%		21%
Vela Učka	0,72	9.4.2016. – 31.8.2020.	20%		19%
Rečina	0,88	9.4.2016. – 31.8.2020.	30%		22%

Na Slici 3.4.1 dan je prikaz dnevnih razina i zahvaćenih voda na izvorima Tunel Učka, Mala Učka, Vela Učka i Rečina te razine pri kojoj dolazi do preljeva vodnih komora na kaptažama izvorišta u razdoblju od 1.7.2019. do 20.8.2020. Vidimo da svi izvori vrlo slično reagiraju na palu oborinu – na oborine preko 50ak mm na svim izvorima se razina vode vrlo brzo i znatno podigne, dok kod manjih oborina nisu velike oscilacije razina. Jedino na izvoru Rečina razina vode vrlo brzo reagira na skoro svaku palu oborinu.

Također, na Slici 3.4.2, dan je isti prikaz kao na Slici 3.4.1 samo za kraće razdoblje od 29.2.2020. do 2.4.2020. u vrijeme velikih oborina.



Slika 3.4.1. Prikaz dnevnih razina i zahvaćenih voda na izvorima na području Učke te razine pri kojoj dolazi do preljeva vodnih komora na kaptažama izvorišta (1.7.2019. – 31.8.2020.): a) Tunel Učka, b) Mala Učka, c) Vela Učka, d) Rečina



Slika 3.4.2. Prikaz dnevnih razina i zahvaćenih voda na izvorima na području Učke te razine pri kojoj dolazi do preljeva vodnih komora na kaptažama izvorišta (29.2.2020. – 2.4.2020.): a) Tunnel Učka, b) Mala Učka, c) Vela Učka, d) Rečina

Vidljivo je da je u svega 7 dana (1.3.2020.-7.3.2020.) palo čak 177,4 mm oborina. Tako velika količina oborina znatno je podigla razinu vode na svim izvorima. Nakon velike oborine 2.3.2020. (96,1 mm), razina vode na svim izvorima dosegla je maksimalnu razinu unutar dva dana. Na izvorištu Tunel Učka razine se podigla unutar dva dana za 0,75 m, na izvoru Mala Učka za čak 1,15 m, a na izvoru Rečina za 0,67 m. Vidimo da izvor Vela Učka najmanje reagira na palu oborinu i razina se podigla za svega 0,10 m.

Nakon 7 dana velikih kiša slijedilo je bezoborinsko razdoblje kroz cijeli mjesec. Razina vode na izvoru Tunel Učka krenula je naglo padati nakon 27 dana, na izvoru Mala Učka nakon 17 dana, na izvoru Rečina nakon 12 dana, dok na izvoru Vela Učka razina je odmah postepeno krenula opadati, ali što je mogući razlog i značajnije povećanje zahvaćenih količina voda.

3.5. Analiza dinamike otjecanja malih voda

Pri analizi hidroloških značajki izvorišta vodoopskrbe, posebnu važnost imaju analize sušnih razdoblja, odnosno recesijskih krivulja pražnjenja vodnih zaliha kako bi se moglo prognozirati stanje vodnih resursa i dinamika njihova istjecanja u uvjetima nastavka dugotrajnih sušnih razdoblja. Analiza recesijskog razdoblja podrazumijeva analizu opadajućeg dijela hidrograma otjecanja koji odgovara bezoborinskom razdoblju, kada nema vanjskih utjecaja, kao ni prisilnog pražnjenja rezervi voda njihovim precrcpljivanjima. No u danom slučaju, zbog nedostajućih podataka o ukupnim protocima izvora, korišteni su podaci o zahvaćenim vodama na izvorima u trenutku kad na izvorima nema prelijevanja voda.

Pri analizi izvora na području Učke korišten je model/jednadžba pražnjenja prema Maillet-u (1905), koji unatoč dugo vremena od njegova nastanka, u većini slučajeva dobro aproksimira režim istjecanja rezervi podzemnih voda (Urumović i sur., 2009). Mailet-ova jednadžba ima oblik:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

Ona daje ovisnost protoka u vremenu t (Q_t) od protoka na početku razdoblja recesije (Q_0).

Koeficijent α [T^{-1}] predstavlja koeficijent pražnjenja ili koeficijent recesije, koji ovisi o geometriji sliva i krškog vodonosnika, odnosno značajkama transmisivnosti i uskladištenja. Smatra da vrijednostima α reda veličine 10^{-2} odgovara brzo pražnjenje krupnih krških kanala i pukotina, dok blaži nagibi krivulja pražnjenja, α reda veličine 10^{-3} , ukazuju na pražnjenje sitnih pukotina i klastične ispune krških provodnika (Krešić, 1991).

Na izvorima na području Učke (Tunel Učka, Mala i Vela Učka i Rečina) analizirano je više izraženih recesijskih razdoblja, no koja ipak nisu bila u potpunosti bez oborina iz razloga što su takva bezoborinska razdoblja prirodnog istjecanja podzemnih voda uglavnom ipak relativno kraćih trajanja. Stoga su u analizu uzete i situacije kada je bilo manjih utjecaja izoliranih oborinskih epizoda, čiji je utjecaj na dinamiku istjecanja podzemnih voda bio kratkotrajan i utjecao na pražnjenje samo brze komponente podzemnog istjecanja.

Analizirano razdoblje izvora Tunel Učka i Mala Učka je od 2011. do 2020. godine, a Vele Učke i Rečine nešto kraće razdoblje od 2017. do 2020. godine. Za svaki izvor posebno prikazane su recesijske krivulje, koeficijenti recesije te je odabrana mjerodavna recesijska krivulja.

3.5.1. Tunel Učka

U Tablici 3.5.1 dan je pregled 9 izdvojenih različitih razdoblja recesije i za njih određenih koeficijenta recesije. Duljine izdvojenih razdoblja recesije su se kretala od minimalno 23 dana do maksimalno 66 dana, s prosjekom trajanja od 37 dana. U spomenutoj tablici, za međusobnu usporedbu dobivenih koeficijenata recesije, dane su i vrijednosti srednjeg dnevnog protoka prvog (Q početno), kao i zadnjeg dana (Q završno) pojedinih razdoblja recesije. Dobivene vrijednosti koeficijenata recesije reda su veličine 10^{-2} , pri čemu srednji koeficijent recesije iznosi -0,013, maksimalni -0,019, a minimalni -0,008. Dakle u analiziranom slučaju izvora Tunel Učka radi se o relativno brzom pražnjenju njihovih podzemnih rezervi, a time i većoj osjetljivosti na pojave dugotrajnih sušnih razdoblja.

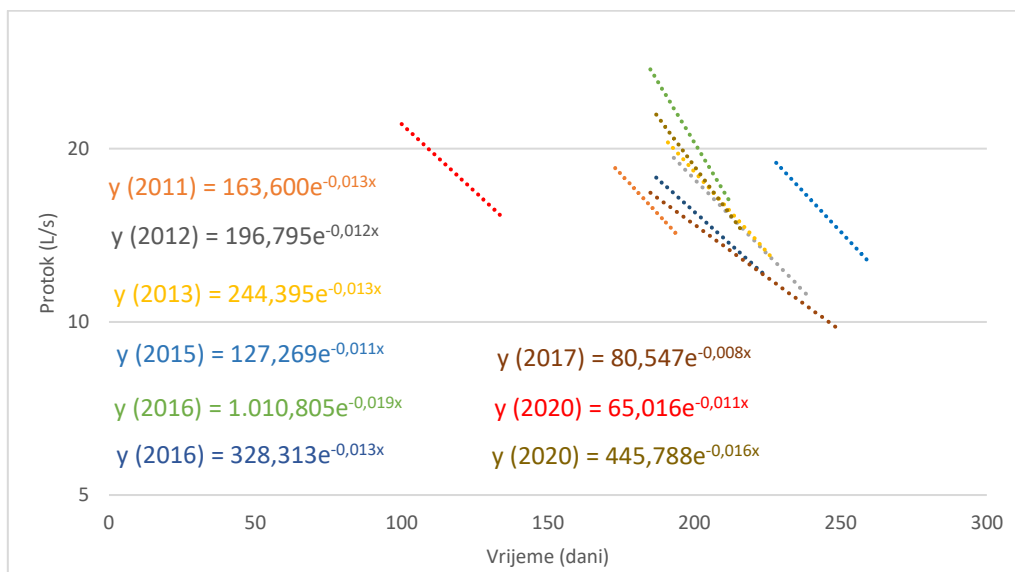
Tablica 3.5.1. Koeficijenti recesije dnevnih zahvaćenih voda na izvoru Tunel Učka u razdoblju 2011. - 2020.

Redni br.	Godina	Trajanje (dani)	Q početno (L/s)	Q završno (L/s)	α (dan ⁻¹)
1	2011	23	18,8	13,4	0,013
2	2012	48	20,2	11,0	0,012
3	2013	36	21,1	12,8	0,013
4	2015	39	18,3	12,1	0,011
5	2016	28	27,9	15,1	0,019
6	2016	33	19,2	12,9	0,013
7	2017	66	17,2	9,5	0,008
8	2020	33	23,1	15,8	0,011
9	2020	30	23,5	14,8	0,016
Sr		37	21,0	13,0	0,013
Stdev		13	3,31	2,03	0,003
Cv		0,34	0,16	0,16	0,244
Max		66	27,9	15,8	0,019
Min		23	17,2	9,5	0,008

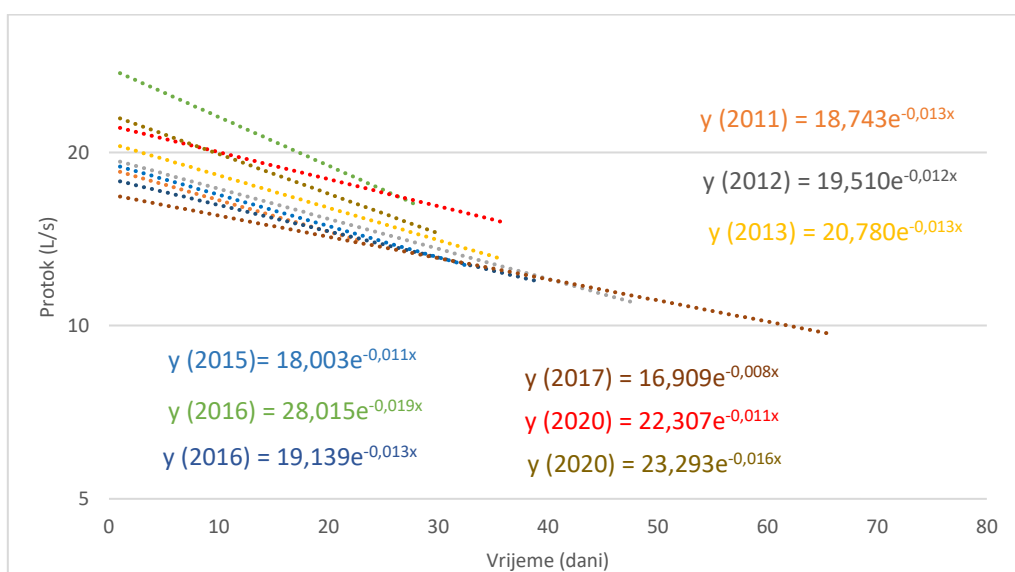
Na Slici 3.5.1 dan je grafički prikaz dobivenih krivulja recesije izvora Tunel Učka u polulogaritamskom mjerilu, s pripadajućim jednadžbama, na način da prvi dan pojedinog recesijskog razdoblja odgovara stvarnom datumu. Sa slike vidimo da sve krivulje recesije obuhvaćaju ljetno razdoblje (od kraja lipnja do sredine rujna), kada se ujedno pojavljuju i pražnjenja pri najnižim vrijednostima srednjih protoka. Jedino je izuzetak recesijska krivulja iz 2020. godine (redni broj 8 u Tablici 3.5.1), koja se pojavljuje proljetnom razdoblju. No u 2020. godini izdvojene su dva recesijska razdoblja.

Na Slici 3.5.2 prikazane su sve analizirane krivulje recesije izvora Tunel Učka u polulogaritamskom mjerilu, ali sa istim vremenskim zajedničkim ishodištem. Na taj način mogu se međusobno usporediti nagibi dobivenih krivulja, trajanje recesijskog razdoblja, kao i

srednji protoci pri kojima započinje pojedino recesijsko razdoblje. Vidljivo je da je najdulje razdoblje recesije karakteriziralo krivulju iz 2017. g., koja je imala koef. recesije (-0,008). Vidimo da ta krivulja ima najblaži nagib, odnosno α reda veličine 10^{-3} , što odgovara sporijem pražnjenju. No, vjerojatnije je da je to sporije pražnjenje ipak bilo rezultat djelomičnog prihranjivanja podzemlja novim oborinama tijekom tako dugotrajnih recesijskih razdoblja. Tako da se ta krivulja ne može smatrati mjerodavnom reprezentima dinamike pražnjenja ovoga izvora u dugotrajnim sušnim razdobljima. Sve ostale krivulje imaju strmiji i vrlo sličan nagib krivulja, a najstrmija je 2016. godine sa koef. recesije od -0,019, ali se u danom slučaju radi i o krivulji koja pokriva veće vrijednosti protoka.

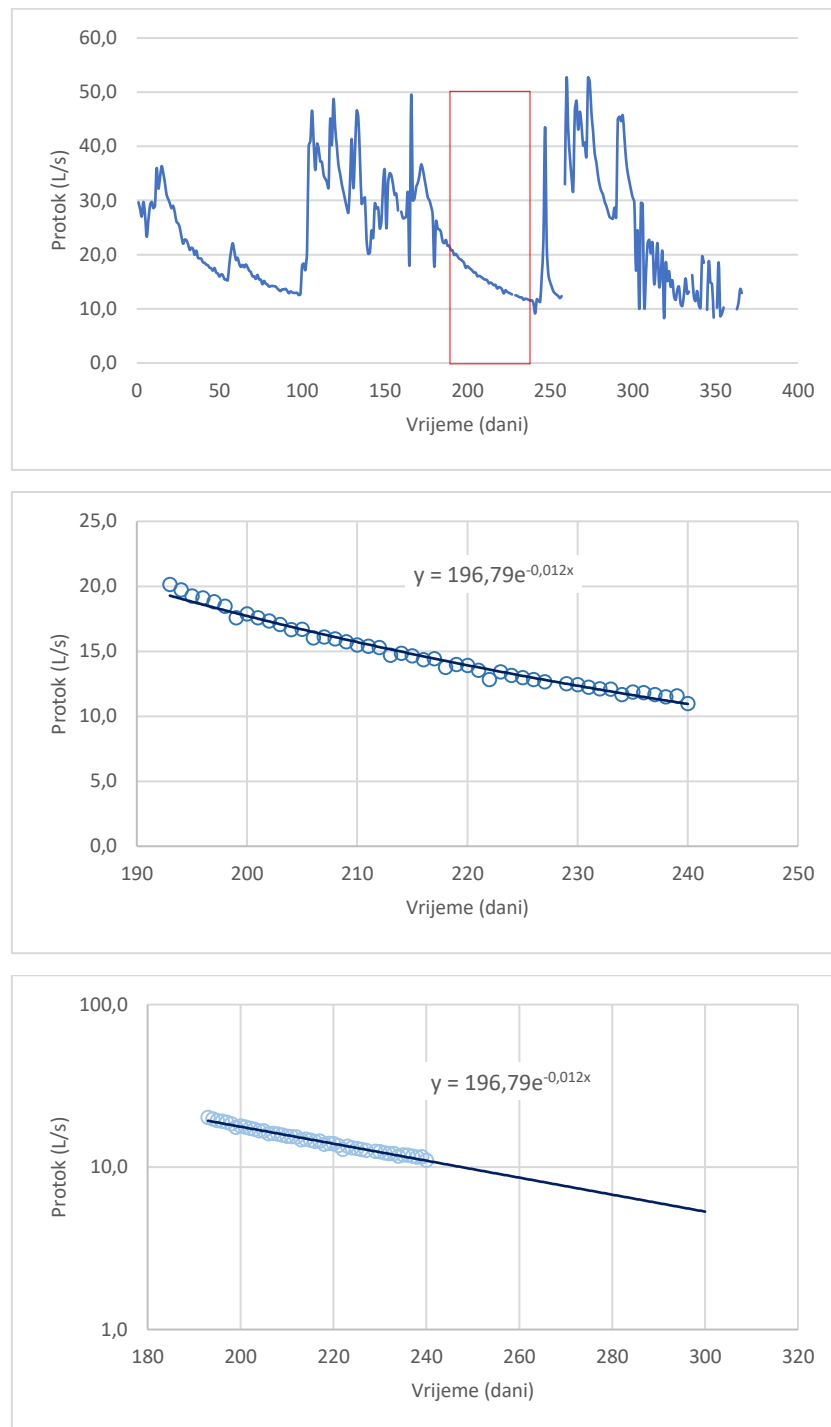


Slika 3.5.1. Krivulje recesije izvora Tunel Učka u razdoblju od 2011. do 2020. godine raspoređene prema datumu pojavljivanja



Slika 3.5.2. Krivulje recesije izvora Tunel Učka u razdoblju od 2011. do 2020. godine

Kao mjerodavnu za procjenu dinamike pražnjenja zaliha podzemnih voda tijekom sušnijih razdoblja, može se prihvatiti recesijsku krivulju iz 2012. godine, kojoj vrijednost koeficijenta recesije iznosi -0,012 (Slika 5.12.).



Slika 3.5.3. Odabrana mjerodavna recesijska krivulja iz 2012. godine: gore – cjelokupni godišnji zahvaćeni protoci s prikazom izdvojenog recesijskog razdoblja gdje su to i ukupne izdašnosti izvora, sredina – izdvojeno razdoblje na osnovu kojeg je definirana recesijska krivulja, dolje – ekstrapolirana odabrana recesijska krivulja u polulogaritamskom mjerilu

3.5.2. Mala Učka

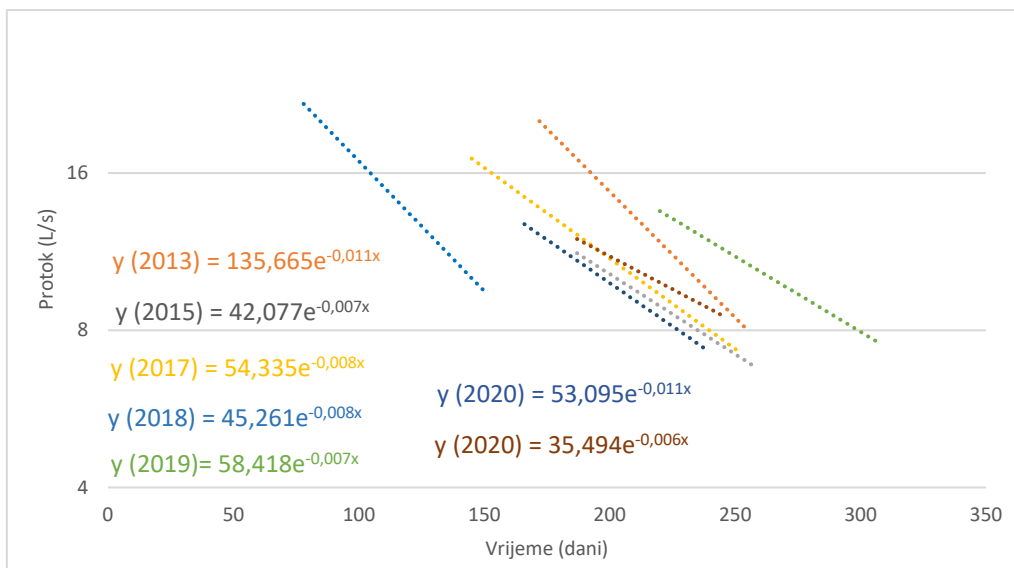
U Tablici 3.5.2 dan je pregled 7 izdvojenih različitih razdoblja recesije i za njih određenih koeficijenta recesije. Duljine izdvojenih razdoblja recesije su se kretala od minimalno 58 dana do maksimalno 108 dana, s prosjekom trajanja od 79 dana. U spomenutoj tablici, za međusobnu usporedbu dobivenih koeficijenata recesije, dane su i vrijednosti srednjeg dnevnog protoka prvog (Q početno), kao i zadnjeg dana (Q završno) pojedinih razdoblja recesije. Dobivene vrijednosti koeficijenata recesije reda su veličine 10^{-3} , pri čemu srednji koeficijent recesije iznosi -0,008, maksimalni -0,012, a minimalni -0,006. Dakle u analiziranom slučaju izvora Mala Učka radi se o relativno sporom pražnjenju njihovih podzemnih rezervi.

Tablica 3.5.2. Koeficijenti recesije dnevnih zahvaćenih voda na izvoru Mala Učka u razdoblju 2011. - 2020.

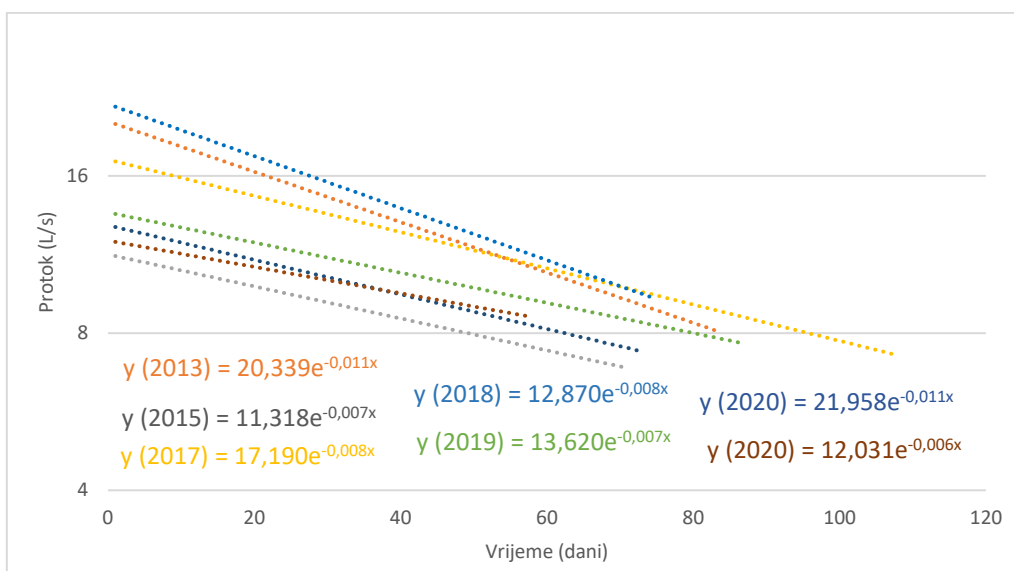
Redni br.	Godina	Trajanje (dani)	Q početno (L/s)	Q završno (L/s)	α (dan ⁻¹)
1	2013	83	21,6	8,6	0,011
2	2015	71	11,5	6,9	0,007
3	2017	108	17,6	7,5	0,008
4	2018	73	13,2	7,5	0,008
5	2019	87	14,5	7,7	0,007
6	2020	74	23,1	9,8	0,012
7	2020	58	11,9	8,4	0,006
Sr		79	16,2	8,07	0,008
Stdev		16	4,70	0,96	0,002
Cv		0,20	0,29	0,12	0,264
Max		108	23,1	9,77	0,012
Min		58	11,5	6,85	0,006

Na Slici 3.5.4 dan je grafički prikaz dobivenih krivulja recesije izvora Mala Učka u polulogaritamskom mjerilu, s pripadajućim jednadžbama, na način da prvi dan pojedinog recesijskog razdoblja odgovara stvarnom datumu. Sa slike vidimo da skoro sve krivulje recesije obuhvaćaju proljetno - ljetno razdoblje (od kraja svibnja do sredine rujna), kada se ujedno pojavljuju i pražnjenja pri najnižim vrijednostima srednjih protoka. Jedino su izuzetak krivulje - recesijska krivulja iz 2020. godine (redni broj 7 u Tablici 3.5.2), koja se pojavljuje proljetnom razdoblju i recesijska krivulja iz 2019. (redni broj 5 u Tablici 3.5.2) koja se pojavljuje u ljetno-jesenskom razdoblju.

Na Slici 3.5.5 prikazane su sve analizirane krivulje recesije izvora Mala Učka u polulogaritamskom mjerilu, ali sa istim vremenskim zajedničkim ishodištem. Vidljivo je da sve krivulje imaju vrlo slično trajanje krivulje, a najdulje razdoblje recesije je karakteriziralo krivulju iz 2017. g., koja je imala koef. recesije (-0,008). Vidimo da ta krivulja ima blagi nagib, odnosno α reda veličine 10^{-3} , što odgovara sporijem pražnjenju, a ujedno je to i srednja vrijednost koef. recesije za sva recesijska razdoblja.

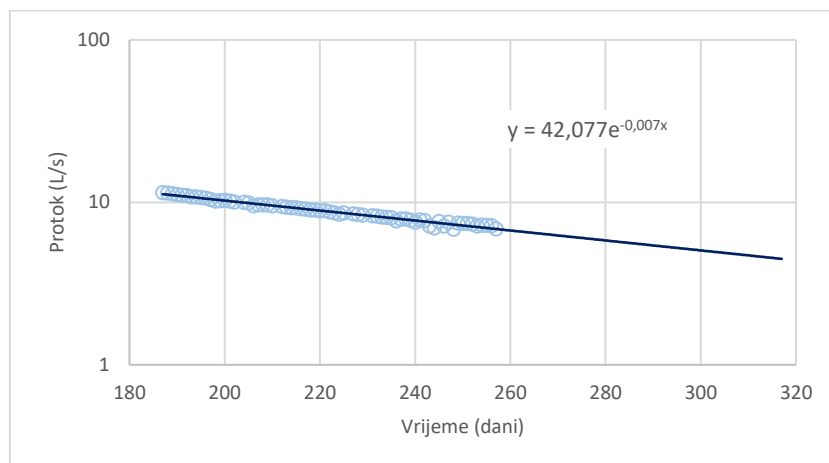
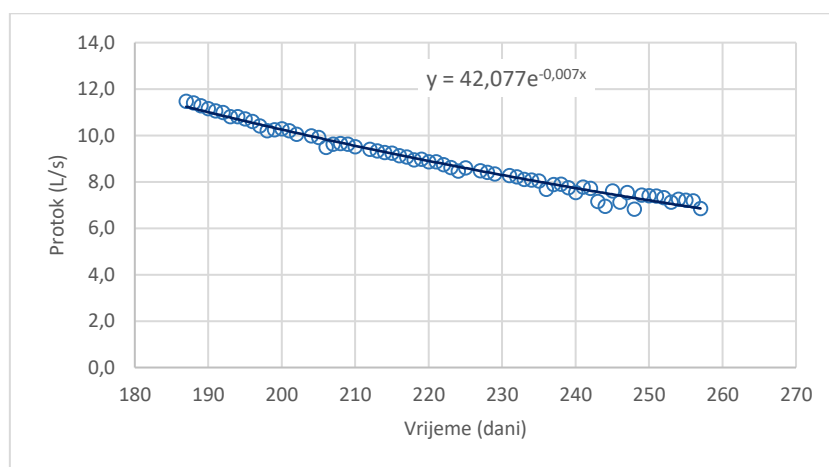
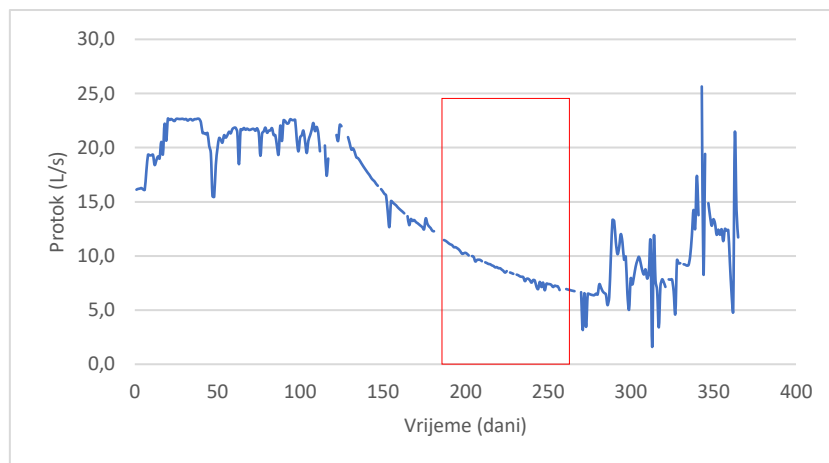


Slika 3.5.4. Krivulje recesije izvora Mala Učka u razdoblju od 2011. do 2020. godine raspoređene prema datumu pojavljivanja



Slika 3.5.5. Krivulje recesije izvora Mala Učka u razdoblju od 2011. do 2020. godine

Kao mjerodavnu za procjenu dinamike pražnjenja zaliha podzemnih voda tijekom sušnijih razdoblja, može se prihvatiti recesijsku krivulju iz 2015. godine, kojoj vrijednost koeficijenta recesije iznosi -0,007 (Slika 3.5.6).



Slika 3.5.6. Odabrana mjerodavna recesijska krivulja iz 2015. godine: gore – cjelokupni godišnji zahvaćeni protoci s prikazom izdvojenog recesijskog razdoblja gdje su to i ukupne izdašnosti izvora, sredina – izdvojeno razdoblje na osnovu kojeg je definirana recesijska krivulja, dolje – ekstrapolirana odabrana recesijska krivulja u polulogaritamskom mjerilu

3.5.3. Vela Učka

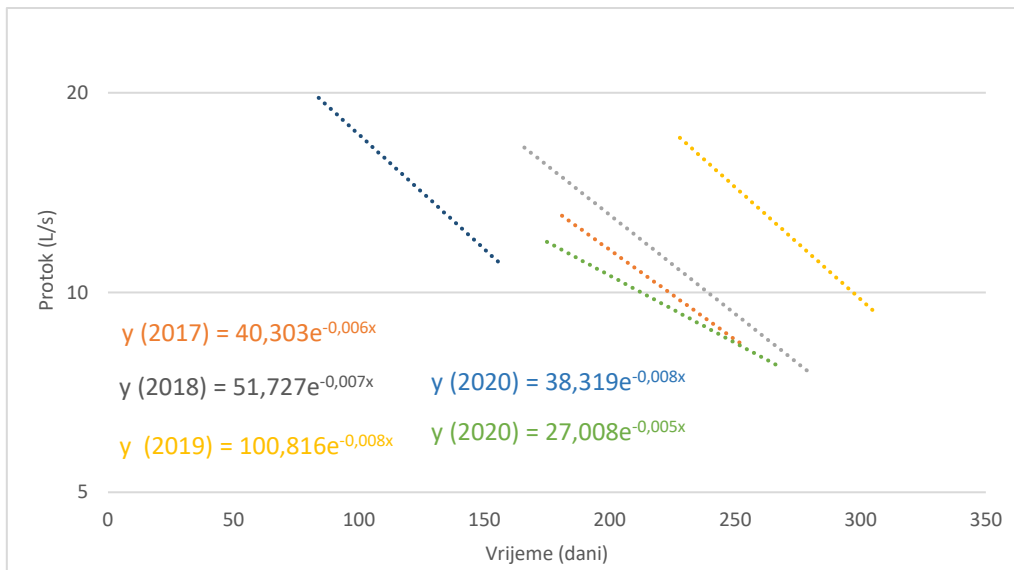
U Tablici 3.5.3 dan je pregled 5 izdvojenih različitih razdoblja recesije i za njih određenih koeficijenta recesije. Duljine izdvojenih razdoblja recesije su se kretala od minimalno 73 dana do maksimalno 114 dana, s prosjekom trajanja od 87 dana. U spomenutoj tablici, za međusobnu usporedbu dobivenih koeficijenata recesije, dane su i vrijednosti srednjeg dnevnog protoka prvog (Q početno), kao i zadnjeg dana (Q završno) pojedinih razdoblja recesije. Dobivene vrijednosti koeficijenata recesije reda su veličine 10^{-3} , pri čemu srednji koeficijent recesije iznosi -0,007, maksimalni -0,008, a minimalni -0,005. Dakle u analiziranom slučaju izvora Vela Učka radi se o relativno sporom pražnjenju njihovih podzemnih rezervi.

Tablica 3.5.3. Koeficijenti recesije dnevnih zahvaćenih voda na izvoru Vela Učka u razdoblju 2017. - 2020.

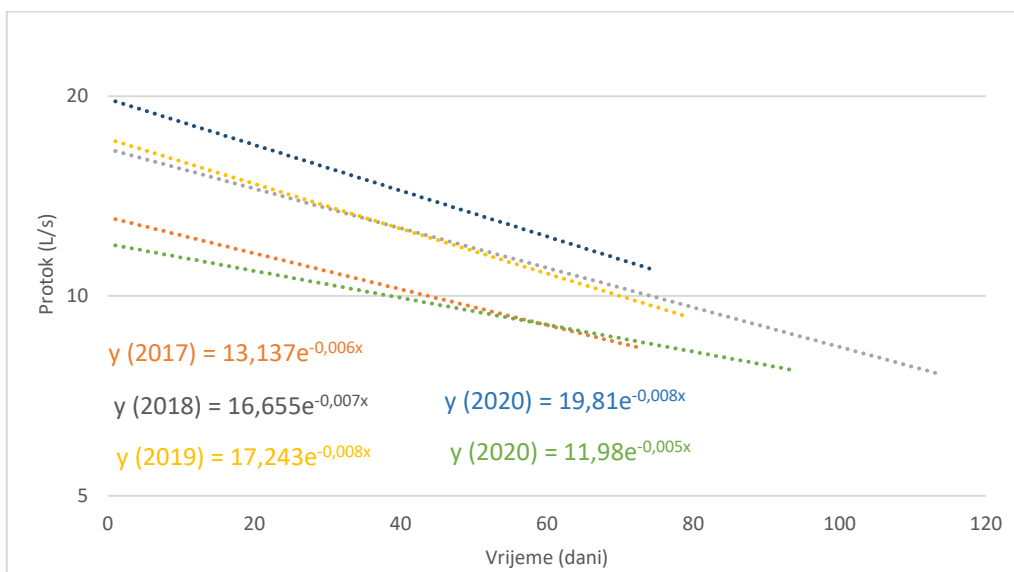
Redni br.	Godina	Trajanje (dani)	Q početno (L/s)	Q završno (L/s)	α (dan ⁻¹)
1	2017	73	13,2	8,4	0,006
2	2018	114	17,1	7,9	0,007
3	2019	79	17,8	9,5	0,008
4	2020	74	20,0	11,1	0,008
5	2020	94	12,4	7,8	0,005
Sr		87	16,1	8,93	0,007
Stdev		17	3,22	1,39	0,001
Cv		0,20	0,20	0,16	0,192
Max		114	20,02	11,1	0,008
Min		73	12,4	7,8	0,005

Na Slici 3.5.7 dan je grafički prikaz dobivenih krivulja recesije izvora Vela Učka u polulogaritamskom mjerilu, s pripadajućim jednadžbama, na način da prvi dan pojedinog recesijskog razdoblja odgovara stvarnom datumu. Sa slike vidimo da sve krivulje recesije obuhvaćaju ljetno razdoblje (od sredine svibnja do kraja rujna), kada se ujedno pojavljuju i pražnjenja pri najnižim vrijednostima srednjih protoka. Jedino je izuzetak recesijska krivulja iz 2020. godine (redni broj 4 u Tablici 3.5.3), koja se pojavljuje proljetnom razdoblju.

Na Slici 3.5.8 prikazane su sve analizirane krivulje recesije izvora Vela Učka u polulogaritamskom mjerilu, ali sa istim vremenskim zajedničkim ishodištem. Vidljivo je da je najdulje razdoblje recesije karakteriziralo krivulju iz 2018. g., koja je imala koef. recesije (-0,007). Ta krivulja ima blagi nagib, odnosno α reda veličine 10^{-3} , što odgovara sporijem pražnjenju, a ujedno je to i srednja vrijednost koef. recesije za sva recesijska razdoblja.

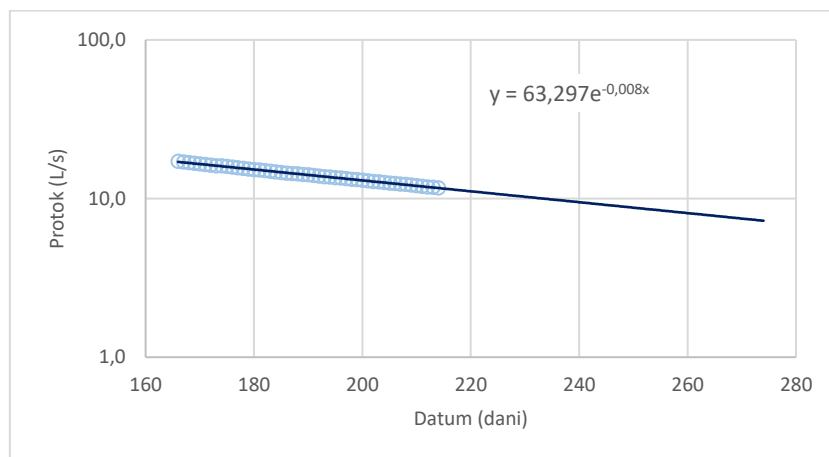
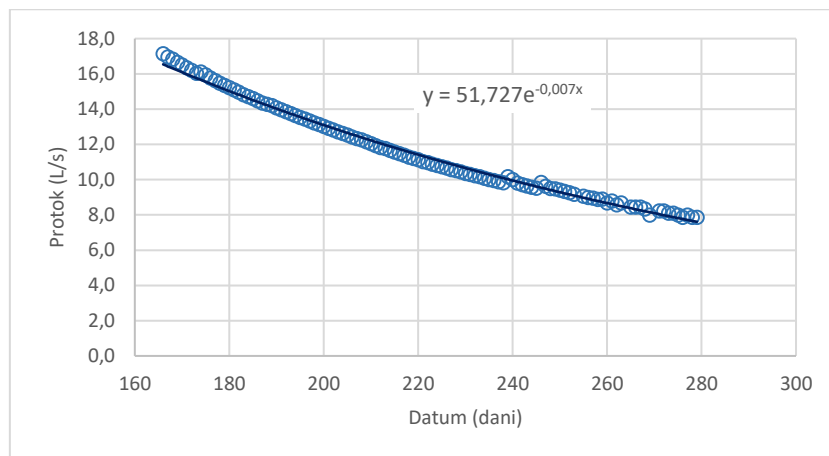
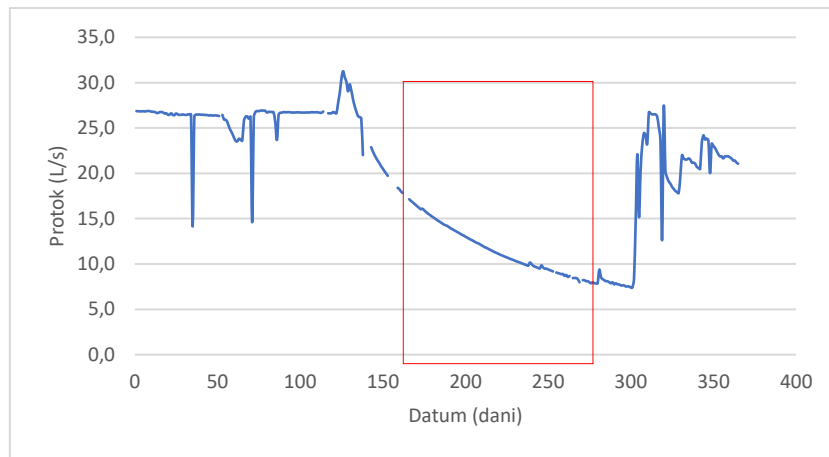


Slika 3.5.7. Krivulje recesije izvora Vela Učka u razdoblju od 2017. do 2020. godine raspoređene prema datumu pojavljivanja



Slika 3.5.8. Krivulje recesije izvora Vela Učka u razdoblju od 2017. do 2020. godine

Kao mjerodavnu za procjenu dinamike pražnjenja zaliha podzemnih voda tijekom sušnijih razdoblja, može se prihvatiti recesijsku krivulju iz 2018. godine, kojoj vrijednost koeficijenta recesije iznosi -0,007 (Slika 3.5.9). Kao što je već rečeno, to je i najdulja krivulja, a i koef. recesije odgovara vrijednosti prosječnih vrijednosti svih krivulja za izvor Vela Učka.



Slika 3.5.9. Odabrana mjerodavna recesijska krivulja iz 2018. godine: gore – cjelokupni godišnji zahvaćeni protoci s prikazom izdvojenog recesijskog razdoblja gdje su to i ukupne izdašnosti izvora, sredina – izdvojeno razdoblje na osnovu kojeg je definirana recesijska krivulja, dolje – ekstrapolirana odabrana recesijska krivulja u polulogaritamskom mjerilu

3.5.4. Rečina

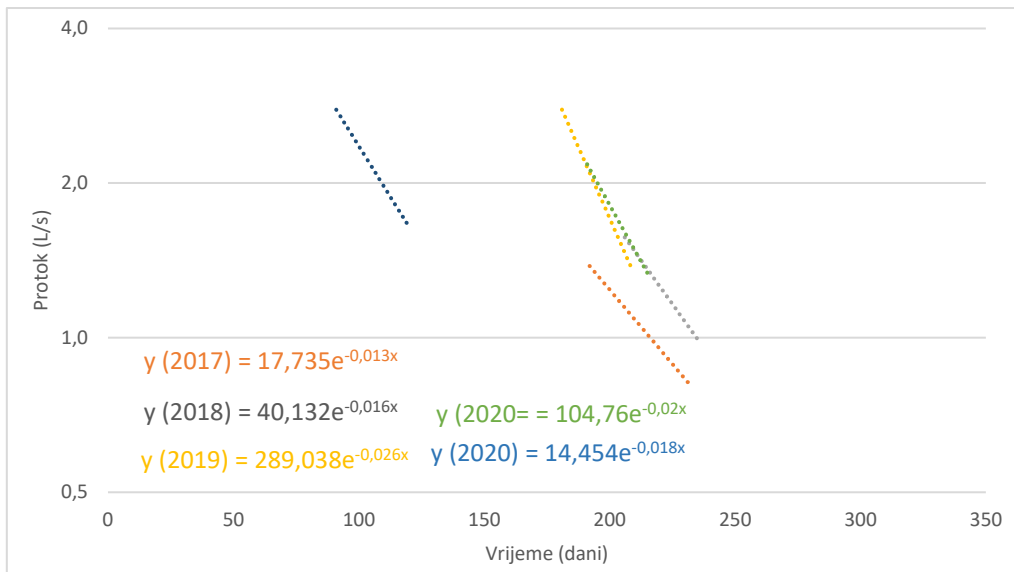
U Tablici 3.5.4 dan je pregled 5 izdvojenih različitih razdoblja recesije i za njih određenih koeficijenta recesije. Duljine izdvojenih razdoblja recesije su se kretala od minimalno 26 dana do maksimalno 41 dana, s prosjekom trajanja od 31 dana. U spomenutoj tablici, za međusobnu usporedbu dobivenih koeficijenata recesije, dane su i vrijednosti srednjeg dnevnog protoka prvog (Q početno), kao i zadnjeg dana (Q završno) pojedinih razdoblja recesije. Dobivene vrijednosti koeficijenata recesije reda su veličine 10^{-2} , pri čemu srednji koeficijent recesije iznosi -0,019, maksimalni -0,026, a minimalni -0,013. Dakle u analiziranom slučaju izvora Rečina radi se o relativno brzom pražnjenju njihovih podzemnih rezervi, a time i većoj osjetljivosti na pojave dugotrajnih sušnih razdoblja.

Tablica 3.5.4. Koeficijenti recesije dnevnih zahvaćenih voda na izvoru Vela Učka u razdoblju 2017. - 2020.

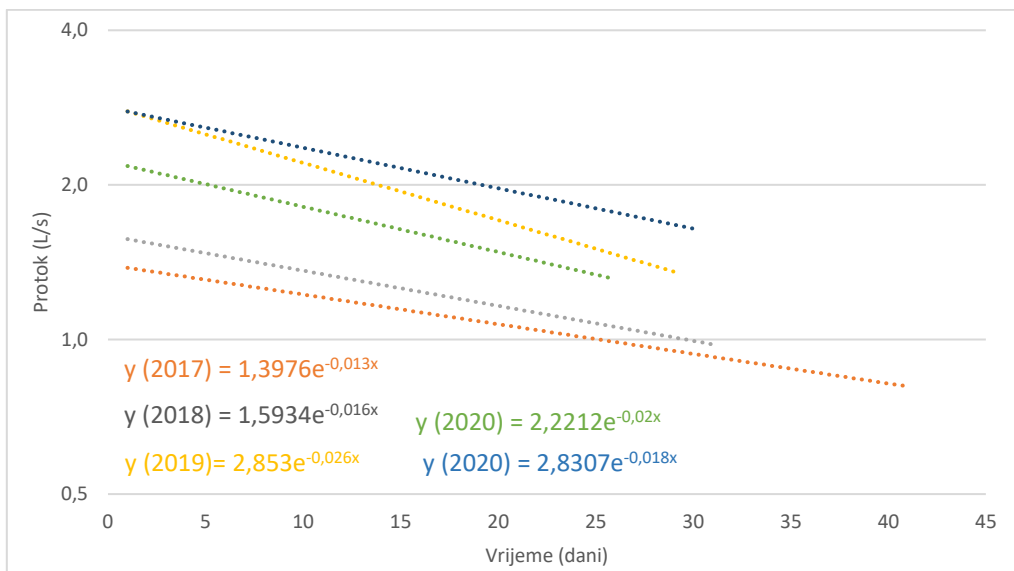
Redni br.	Godina	Trajanje (dani)	Q početno (L/s)	Q završno (L/s)	α (dan ⁻¹)
1	2017	41	1,44	0,83	0,013
2	2018	31	1,62	1,00	0,016
3	2019	29	2,79	1,30	0,026
4	2020	30	2,80	1,67	0,018
5	2020	26	2,27	1,35	0,020
Sr		31	2,18	1,23	0,019
Stdev		6	0,64	0,33	0,005
Cv		0,18	0,29	0,26	0,262
Max		41	2,80	1,67	0,026
Min		26	1,44	0,83	0,013

Na Slici 3.5.10 dan je grafički prikaz dobivenih krivulja recesije izvora Tunel Učka u polulogaritamskom mjerilu, s pripadajućim jednadžbama, na način da prvi dan pojedinog recesijskog razdoblja odgovara stvarnom datumu. Sa slike vidimo da sve krivulje recesije obuhvaćaju ljetno razdoblje (od kraja lipnja do kraja kolovoza), kada se ujedno pojavljuju i pražnjenja pri najnižim vrijednostima srednjih protoka. Jedino je izuzetak recesijska krivulja iz 2020. godine (redni broj 4 u Tablici 3.5.4), koja se pojavljuje proljetnom razdoblju.

Na Slici 3.5.11 prikazane su sve analizirane krivulje recesije izvora Rečina u polulogaritamskom mjerilu, ali sa istim vremenskim zajedničkim ishodištem. Vidljivo je da je najdulje razdoblje recesije karakteriziralo krivulju iz 2017. g., koja je imala koef. recesije (-0,013). Vidimo da sve krivulje imaju vrlo strmiji i vrlo sličan nagib, odnosno α reda veličine 10^{-2} , što odgovara bržem pražnjenju.

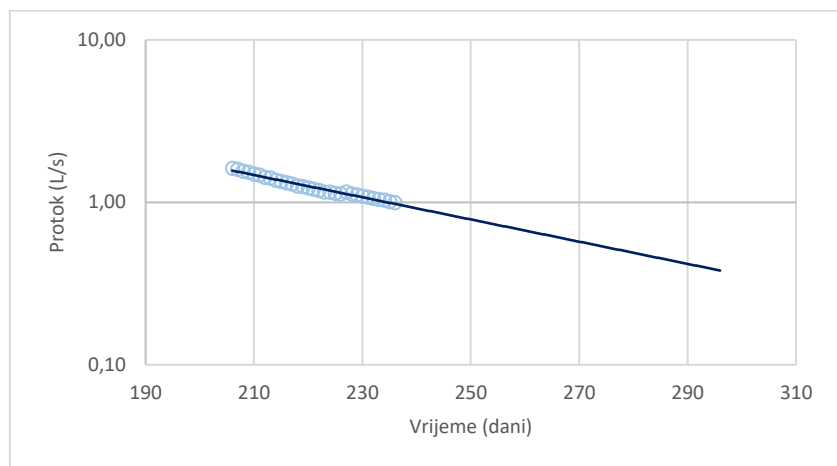
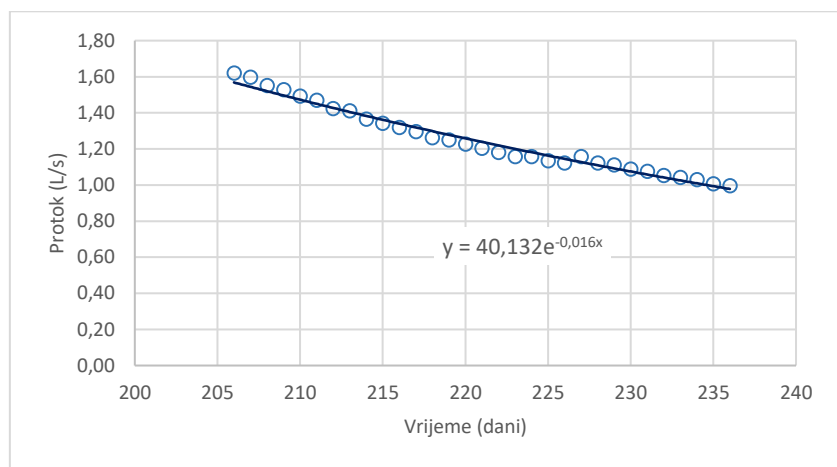
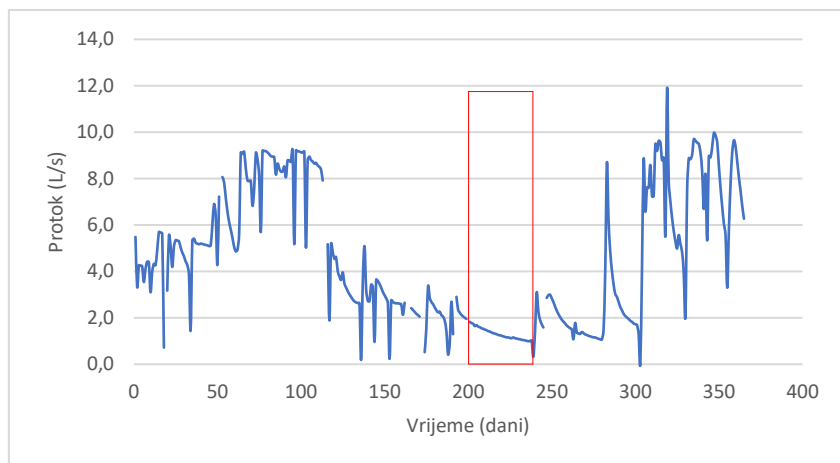


Slika 3.5.10. Krivulje recesije izvora Rečina u razdoblju od 2017. do 2020. godine raspoređene prema datumu pojavljivanja



Slika 3.5.11. Krivulje recesije izvora Rečina u razdoblju od 2017. do 2020. godine

Kao mjerodavnu za procjenu dinamike pražnjenja zaliha podzemnih voda tijekom sušnijih razdoblja, može se prihvatiti recesijsku krivulju iz 2018. godine, kojoj vrijednost koeficijenta recesije iznosi -0,016 (Slika 3.5.12), što je blisko prosječnoj vrijednost svih krivulja.



Slika 3.5.11. Odabrana mjerodavna recesijska krivulja iz 2018. godine: gore – cjelokupni godišnji zahvaćeni protoci s prikazom izdvojenog recesijskog razdoblja gdje su to i ukupne izdašnosti izvora, sredina – izdvojeno razdoblje na osnovu kojeg je definirana recesijska krivulja, dolje – ekstrapolirana odabrana recesijska krivulja u polulogaritamskom mjerilu

Pri analizama recesijskih razdoblja, prosječni koeficijent recesije je najveći na izvoru Rečina od -0,019, nakon toga na izvoru Tunel Učka -0,013, Mala Učka -0,008, te na kraju na izvoru Vela Učka od svega -0,007. Iz toga bi se dalo zaključiti da u analiziranom slučaju izvora Mala i Vela Učka se radi o relativnom sporom pražnjenju podzemnih rezervi, dok kod izvora Tunel Učka i Rečina je to nešto brže.

U Tablici 3.5.5 dan je prikaz ekstrapoliranih vrijednosti srednjih dnevnih protoka na izvorima na području Učke za slučajeve pretpostavljenog nastavka trajanja sušnog razdoblja u rasponu od 15-90 dan, s početkom krajem lipnja koji obično predstavlja početak glavne špice turističke sezone kad su potrebe i najveće. Pri tome su uzete različite varijante srednjeg dnevnog protoka – počev od srednjih mjesečnih zahvaćenih voda za mjesec lipanj (Tunel Učka – 30 L/s, Vela Učka 20 L/s, Mala Učka – 15 L/s, te Rečina 2,5 L/s), najmanjeg srednjeg mjesečnog protoka, te na kraju i nešto nižih kritičnih vrijednosti zbog vrlo kratkog perioda dostupnih podataka.

Tablica 3.5.5. Procijenjene vrijednosti srednjih dnevnih protoka izvora na području Učke na temelju recesijskih krivulja

Početni protok (L/s)	Recesijskim modelom prognozirani protok u slučaju nastavka recesijskog razdoblja bez izraženijih oborina trajanja (L/s)				
	15 dana	30 dana	45 dana	60 dana	90 dana
Tunel Učka					
30	25,0	20,9	17,4	14,6	10,2
20	16,6	13,9	11,6	9,7	6,8
15	12,5	10,4	8,7	7,3	5,1
10	8,3	6,9	5,8	4,8	3,4
Vela Učka					
20	18,0	16,2	14,6	13,1	10,6
15	13,5	12,1	10,9	9,8	8,0
10	9,0	8,1	7,3	6,6	5,3
Mala Učka					
15	13,5	12,2	11,0	9,9	8,0
10	9,0	8,1	7,3	6,6	5,3
7	6,3	5,6	5,1	4,6	3,7
Rečina					
3	2,4	1,9	1,5	1,2	0,71
2	1,6	1,2	1,0	0,77	0,48
1	0,78	0,62	0,48	0,38	0,24

Iz navedenih procjena danih u Tablici 3.5.5, za očekivati je da u slučaju da je protok na izvoru Tunel Učka krajem lipnja oko 30 L/s, te da u slučaju da tijekom ljetnih mjeseci nema značajnijih oborina koje bi povećale njegovu izdašnost, krajem kolovoza njegova izdašnost može pasti na dvostruko nižu vrijednost od oko 14,6 L/s, a krajem rujna na 10,2 L/s. U slučaju da je na kraju lipnja zabilježen niža vrijednost protoka od 20 L/s (što je minimalna srednja mjesečna

vrijednost zahvaćenih voda za mjesec lipanj), u takvim pretpostavljenim sušnim hidrološkim prilikama protok na kraju rujna hipotetski može pasti na samo oko 6,8 L/s.

Na izvoru Vela Učka, u slučaju da je protok krajem lipnja oko 20 L/s i da čak tijekom ljetnih mjeseci nema značajnijih oborina koje bi povećale njegovu izdašnost, za očekivati je da krajem kolovoza njegova izdašnost može pasti na oko 13,1 L/s, a krajem rujna na 10,6 L/s. U slučaju da je na kraju lipnja zabilježen niža vrijednost protoka od 10 L/s (minimalna srednja mjesečna vrijednost zahvaćenih voda za mjesec lipanj je 14 L/s), u takvim pretpostavljenim ekstremno sušnim hidrološkim prilikama protok na kraju rujna hipotetski može pasti na oko 5,3 L/s.

Na izvoru Mala Učka, u slučaju da je protok krajem lipnja oko 15 L/s i da čak tijekom ljetnih mjeseci nema značajnijih oborina koje bi povećale njegovu izdašnost, za očekivati je da krajem kolovoza njegova izdašnost može pasti na oko 9,9 L/s, a krajem rujna na 8,0 L/s. U slučaju da je na kraju lipnja zabilježen niža vrijednost protoka od 7 L/s (minimalna srednja mjesečna vrijednost zahvaćenih voda za mjesec lipanj je 11,6 L/s), u takvim pretpostavljenim ekstremno sušnim hidrološkim prilikama protok na kraju rujna hipotetski može pasti na oko 3,7 L/s.

Na izvoru Rečina, u slučaju da je protok krajem lipnja oko 3 L/s i da čak tijekom ljetnih mjeseci nema značajnijih oborina koje bi povećale njegovu izdašnost, za očekivati je da krajem kolovoza njegova izdašnost može pasti na oko 1,2 L/s, a krajem rujna na 0,71 L/s. U slučaju da je na kraju lipnja zabilježen niža vrijednost protoka od 1 L/s (minimalna srednja mjesečna vrijednost zahvaćenih voda za mjesec lipanj je 2,3 L/s), u takvim pretpostavljenim ekstremno sušnim hidrološkim prilikama protok na kraju rujna hipotetski može pasti na svega oko 0,24 L/s.

No, u pravilu, zbog utjecaja masiva Učke na precipitaciju oborina, ipak i ljetni mjeseci nose izvjesna kratkotrajna povećanja protoka, tako da bi ukupne izdašnosti u vrlo rijetkim situacijama mogle pasti na tako male vrijednosti. No, tijekom dugotrajnih sušnih razdoblja, posebno u uvjetima već prisutnih klimatskih promjena i njihovih manifestacija na vodni režim izvorišta vodoopskrbe, može se računati na intenziviranje takvih kritičnih sušnih prilika. Naime, iako se, prema Strategiji prilagodbe klimatskim promjenama u RH (NN 46/20) za područje Sjevernog Jadrana ne predviđaju značajnije promjene ukupnih godišnjih količina oborina, očekuje se intenziviranje trenda povećanja temperatura zraka, a što generalno utječe na povećanje evapotranspiracije i smanjenje infiltracije oborinskih voda u tlo i dalje u vodonosnike izvorišta, a što nesumnjivo nosi rizike učestalijih pojava još nižih vrijednosti protoka izvorišta vodoopskrbe.

4. Monitoring stabilnih izotopa u oborinskoj i podzemnoj vodi Učke 2019.-2020.

4.1. Uspostavljanje mjesta uzorkovanja

Za prikupljanje kumulativne oborine korišteni su polietilenski kanistri zapremine 3,5 L. Oborina je uzorkovana dva puta mjesečno. Za sprečavanje isparavanja uzorka u svaki kanistar je dodano 100 ml parafinskog ulja. Nakon što je ulje odvojeno od vode, uzorci su pohranjeni u 50 ml HDPE bočice sa dvostrukim čepom. Ukupno je prikupljeno 88 mjesečnih uzoraka oborine (u travnju 2020. količina oborine je bila vrlo mala i nedovoljna za analizu). Postavljanje kišomjera, prikupljanje oborine, tretiranje prikupljenih uzoraka i njihova pohrana provedena je prema uputama Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA, 2019).

Po projektnom zadatku, bilo je potrebno uspostaviti uzorkovanje kišnice na tri lokacije unutar sliva, smještene na različitim nadmorskim visinama. Izlaskom na teren odlučeno je da se uzorkovanje kišnice uspostavi na četiri lokacije – Poklon (911 m n.m., Slika 4.1.1) , Vela Učka (890 m n.m., Slika 4.1.2), Vojak (1396 m n.m., Slika 4.1.3) i Ičići (2 m n.m., Slika 4.1.4). Lokacija Vela Učka, osim za uzorkovanje oborine u svrhu određivanja izotopnog sastava oborinskog ulaza imala je i svrhu kontrole količine prikupljene oborine pa je uljni kišomjer postavljen u neposrednoj blizini kišomjera Državnog hidrometeorološkog zavoda (Slika 4.1.2).



*Slika 4.1.1. Lokacija: Poklon, 911 m n.m.
Instalacija: 19.7.2019.*



*Slika 4.1.2. Lokacija: Vela Učka, 890 m n.m.
Instalacija: 19.7.2019.*



*Slika 4.1.3. Lokacija: Vrh Učke, 1396 m n.m.
Instalacija: 23.7.2019.*



*Slika 4.1.4. Lokacija: Ičići, 2 m n.m.
Instalacija: 23.7.2019.*

Za potrebe određivanja izotopnog sastava podzemne vode uspostavljeno je uzorkovanje na četiri lokacije: Izvor Mala Učka (Slika 4.1.5), Izvor Vela Učka (Slika 4.1.6), Izvor Rečina (Slika 4.1.7) i Izvor Tunel Učka (u kaverni, Slika 4.1.8). Uzorkovanje izvorske vode na navedenim izvorima uključivalo je i određivanje temperature vode i temperature zraka te pH vrijednosti, električne vodljivosti i tvrdoće podzemne vode (Tablice 3.3.6 – 3.3.10).

Uzorkovanje izvorima su provodili zaposlenici KD Liburnijske vode. Uzorkovanje je bilo predviđeno provoditi dva puta mjesečno, međutim zbog ograničenja uzrokovanih povećanim obimom posla te ograničenja kretanja zbog pojave korona virusa neka uzorkovanja su obavljena samo jednom u mjesec dana. Prikupljeni uzorci su pohranjeni u 50 ml HDPE bočice s dvostrukim čepom. Ukupno je prikupljeno i analizirano 75 uzorka podzemne vode.



Slika 4.1.5. Mala Učka, 995 m n.m.



Slika 4.1.6. Vela Učka, 890 m n.m.



Slika 4.1.7. Izvor Rečina, 750 m n.m.



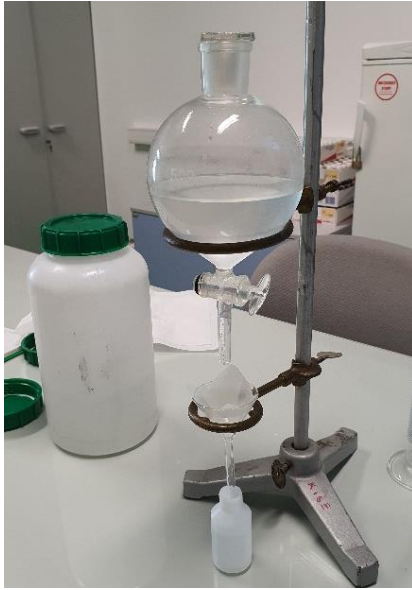
Slika 4.1.8. Tunel Učka, 500 m n.m.

4.2. Priprema uzoraka i određivanje zastupljenosti stabilnih izotopa u vodi

Priprema uzoraka za analizu i određivanje $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ vrijednosti vode obavljeno je u Laboratoriju za medicinsku fiziku i fiziku okoliša, na Odjelu za fiziku Sveučilišta u Rijeci.

Priprema uzoraka uključivala je određivanje prikupljene količine oborine i odvajanje oborinske vode od ulja. Razdvajanje vode od ulja uključivalo je korištenje trbušastog lijevka i filtriranje uzorka kroz filterski papir (Slika 4.2.1). Na taj način pripremljeni uzorci, pohranjeni su u 50 ml HDPE bočice s dvostrukim čepom za sprečavanje pojave isparavanja uzorka (Slika 4.2.2). Uzorci podzemne vode direktno su uzorkovani u 50 ml HDPE bočice s dvostrukim čepom i tako su bili pohranjeni do analize.

Kako se tijekom mjerenja izotopnog sastava uzorka javlja mogućnost frakcionacije, odnosno promjene izotopnog sastava, pri pripremi i mjerenju uzoraka primjenjuje se princip identičnog tretmana (IT princip, Werner i Brand, 2001). IT principom identičnog tretmana uzoraka nepoznatog izotopnog sastava i standarda čiji je izotopni sastav poznat poništavaju se utjecaji frakcionacije. Za provođenje IT principa koriste se laboratorijski standardi kalibrirani prema međunarodnom referentnom materijalu (IAEA, 2009). Koristeći δ vrijednosti laboratorijskih standarda dobivenih mjerenjem i njihovih poznatih (kalibriranih) δ vrijednosti izraženih prema VSMOW2, dobiva se kalibracioni pravac prema kojem se izračunavaju δ vrijednosti uzoraka na međunarodnoj ljestvici. Kontrola reproducibilnosti mjerenja obavlja se tako da se standard za kontrolu reproducibilnosti u čitavom postupku mjerenja tretira kao uzorak. Nakon što se, prema kalibracionom pravcu, izračunaju δ vrijednosti standarda za kontrolu reproducibilnosti, one se uspoređuju s njegovim poznatim (kalibriranim) vrijednostima od kojih ne smiju odstupati više od 2 ‰ za vodik, odnosno više od 0,3 ‰ za kisik.



Slika 4.2.1. Razdvajanje oborinske vode od ulja i pohranjivanje uzorka



Slika 4.2.2. Priprema uzoraka za mjerenje



Slika 4.2.3. Apsorpcijski spektrometar za određivanje izotopnog sastava vode (Liquid Water Isotope analyzer, LWIA)

Laboratorijski standardi korišteni u Laboratoriju za medicinsku fiziku i fiziku okoliša, na Odjelu za fiziku Sveučilišta u Rijeci jesu DZW ($\delta^2\text{H}=-6,22\text{‰}$; $\delta^{18}\text{O}=-1,56\text{‰}$), MGS ($\delta^2\text{H}=-146,84\text{‰}$; $\delta^{18}\text{O}=-19,92\text{‰}$), i RTW ($\delta^2\text{H}=-52,39\text{‰}$; $\delta^{18}\text{O}=-8,46\text{‰}$). RTW je služio kao kontrola reproducibilnosti mjerenja. Standardi i uzorci su pipetirani u staklene bočice te zatvoreni čepom na navoj i sa silikonskom sredinom koja omogućava prodiranje mikroigle za uvođenje uzorka u analizator. Uzorci su prije pipetiranja dodatno filtrirani Whatman Puradisc 25 syringe filterima (Slika 4.2.2).

Za mjerenje je korišten laserski apsorpcijski spektrometar LWIA (engl. Liquid Water Isotope Analyser, Los Gatos Research, SAD, Slika 4.2.3), odnosno OA-IOCS metoda spektroskopije (engl. Off-Axis Integrated Cavity Output Spectroscopy). Mjerenja su provedena prema protokolu Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA, 2020).

4.3. Rezultati mjerenja

Uzorkovanje oborine provođeno je u razdoblju od srpnja 2019. do srpnja 2020. godine. U većini slučajeva oborina je uzorkovana dva puta mjesečno. U Tablici 4.3.1 prikazane su količine prikupljene oborine. U određenim prilikama nije bilo moguće prikupiti oborinu prema predviđenom planu: uzorak Vojak na datum 16.1.2020. predstavlja ukupni uzorak od 3.12.2019.-16.1.2020. Za ostale lokacije uzorak 16.1.2020. je kumulativni uzorak od 20.12.2019.-16.1.2020. Ožujak i travanj 2020. su bili vrlo sušni tako da su dva uzorkovanja propuštena, jer kiše u tom periodu nije bilo. Rezultati vezani uz prikupljenu oborinu dani su u Tablicama 4.3.1 – 4.3.4.

Tablica 4.3.1. Rezultati mjerenja ukupne količine oborine prikupljene uljnim kišomjerima (srpanj 2019. – srpanj 2020.)

Datum uzorkovanja	Količina oborine (mm)			
	Ičići	Poklon	Vela Učka	Vojak
6.8.2019.	233,7	287,9	267,4	216,0
20.8.2019.	38,4	51,1	60,3	48,8
4.9.2019.	6,1	12,0	4,9	3,3
17.9.2019.	34,6	59,4	60,1	53,0
5.10.2019.	86,0	80,1	87,4	76,6
17.10.2019.	17,7	21,7	16,0	16,3
5.11.2019.	140,4	131,7	111,9	125,3
19.11.2019.	262,7	331,6	408,7*	278,0
3.12.2019.	113,1	127,2	110,3	163,7
20.12.2019.	112,6	138,5	227,8	NA
16.1.2020.	228,5	152,0	148,7	187,8
6.2.2020.	37,0	31,1	33,0	4,9
27.2.2020.	14,1	18,1	22,9	15,3
12.3.2020.	172,0	153,1	178,1	125,1
26.3.2020.	0,0	0,0	0,0	0,0
10.4.2020.	0,0	0,0	0,0	0,0
24.4.2020.	13,0	3,5	3,5	1,2
8.5.2020.	58,3	36,8	30,6	59,6
21.5.2020.	41,2	31,8	32,7	36,0
12.6.2020.	174,3	248,3	225,0	199,6
30.6.2020.	9,4	25,4	31,6	29,2
14.7.2020.	17,7	15,3	15,3	10,6
29.7.2020.	37,7	47,7	53,0	43,0
Sr	80,4	87,2	92,6	77,0
St.dev.	81,2	93,0	103,3	81,5
Cv	1,01	1,07	1,12	1,06
Min	0,0	0,0	0,0	0,0
Max	262,7	331,6	408,7	278,0
Medijan	38,4	47,7	53,0	45,9

*službeni podatak DHMZ-a, uljni kišomjer prelio

Tablica 4.3.2. Rezultati mjerenja zastupljenosti izotopa ^{18}O u oborini (srpanj 2019. – srpanj 2020.)

Datum uzorkovanja	Ičići		Poklon		Vela Učka		Vojak	
	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	st.dev. $\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	st.dev. $\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	st.dev. $\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	st.dev. $\delta^{18}\text{O}$ (‰)
6.8.2019.	-5,89	0,11	-6,51	0,06	-6,80	0,15	-6,86	0,20
20.8.2019.	-2,89	0,12	-4,87	0,07	-3,86	0,15		
4.9.2019.	-4,10	0,11	-4,18	0,27				
17.9.2019.	-4,66	0,17	-7,38	0,25	-7,68	0,13	-8,41	0,17
5.10.2019.	-5,38	0,10	-6,81	0,11	-6,79	0,11		
17.10.2019.			-3,24	0,12	-4,18	0,06	-3,84	0,10
5.11.2019.	-5,43	0,15	-8,52	0,14	-8,07	0,14	-7,92	0,11
19.11.2019.	-6,47	0,04	-8,54	0,15			-8,60	0,15
3.12.2019.	-5,96	0,12	-8,08	0,07	-8,11	0,09	-8,49	0,12
20.12.2019.	-7,47	0,05	-8,51	0,02	-10,01	0,04		
16.1.2020.	-8,19	0,13	-11,11	0,08	-11,74	0,05	-10,32	0,06
6.2.2020.			-5,12	0,13	-5,73	0,11	-6,62	0,11
27.2.2020.			-5,71	0,05	-6,60	0,14	-5,68	0,14
12.3.2020.	-4,65	0,04	-7,80	0,18	-7,81	0,10	-7,86	0,13
24.4.2020.	-5,34	0,17						
8.5.2020.	-4,12	0,09	-6,36	0,14	-6,15	0,13	-8,35	0,08
21.5.2020.	-2,56	0,12	-4,55	0,09	-5,30	0,08	-6,05	0,18
12.6.2020.	-3,96	0,13	-6,88	0,12	-6,30	0,09	-7,11	0,28
30.6.2020.	-3,01	0,07	-7,58	0,20	-7,87	0,09	-8,80	0,14
14.7.2020.	-3,48	0,01	-5,17	0,30	-5,69	0,08	-5,86	0,22
29.7.2020.	-5,45	0,14	-6,84	0,09	-6,81	0,02	-7,87	0,07
Sr	-4,94		-6,69		-6,97		-7,42	
St.dev.	1,54		1,86		1,90		1,56	
Cv	0,31		0,28		0,27		0,21	
Min	-8,19		-11,11		-11,74		-10,32	
Max	-2,56		-3,24		-3,86		-3,84	
vagana sredina	-5,51		-7,59		-7,49*		-8,06	

*bez podatka za 19.11.2020. (prelio kišomjer na Veloj Učki)

Tablica 4.3.3. Rezultati mjerenja zastupljenosti izotopa ^2H u oborini (srpanj 2019. – srpanj 2020.)

Datum uzorkovanja	Ičići		Poklon		Vela Učka		Vojak	
	$\delta^2\text{H}$ (‰)	st.dev. $\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	st.dev. $\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	st.dev. $\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	st.dev. $\delta^2\text{H}$ (‰)
06.08.19.	-37,38	0,53	-43,24	0,67	-42,15	0,61	-43,90	0,53
20.08.19.	-16,49	0,97	-21,70	1,00	-17,93	0,85		
04.09.19.	-27,62	0,53	-23,57	1,01				
17.09.19.	-23,66	0,42	-34,79	1,43	-35,90	0,59	-38,98	0,82
05.10.19.	-24,37	0,67	-36,26	0,65	-37,66	0,98		
17.10.19.			-12,99	0,76	-13,56	0,40	-17,43	0,84
05.11.19.	-26,49	1,00	-48,01	0,86	-45,79	0,30	-49,79	0,76
19.11.19.	-36,13	0,38	-47,09	1,09			-49,45	0,32
03.12.19.	-30,10	0,34	-42,64	0,45	-47,88	0,90	-47,08	0,64
20.12.19.	-42,12	0,30	-48,84	0,56	-63,16	0,26		
16.01.20.	-57,34	0,47	-79,15	0,56	-84,10	0,35	-65,41	0,78
06.02.20.			-26,23	0,59	-26,98	0,76	-35,12	1,00
27.02.20.			-27,81	0,93	-35,68	0,69	-27,95	0,60
12.03.20.	-25,31	0,32	-45,57	0,77	-48,26	0,68	-49,14	0,56
26.03.20.								
10.04.20.								
24.04.20.	-30,74	0,31						
08.05.20.	-26,54	0,76	-34,09	0,57	-33,51	0,98	-47,23	0,35
21.05.20.	-16,58	0,14	-25,56	1,40	-26,91	0,78	-33,43	1,18
12.06.20.	-24,76	0,57	-37,62	1,10	-37,59	0,66	-38,85	1,31
30.06.20.	-21,18	0,70	-48,57	1,47	-51,50	0,65	-54,07	1,17
14.07.20.	-24,23	0,21	-28,99	1,16	-31,59	0,77	-28,16	1,25
29.07.20.	-34,66	1,11	-41,70	0,64	-40,12	0,41	-49,01	1,11
Sr	-29,21		-37,72		-40,01		-42,19	
St.dev.	9,77		14,20		16,21		11,83	
Cv	0,33		0,38		0,41		0,28	
Min	-57,34		-79,15		-84,10		-65,41	
Max	-16,49		-12,99		-13,56		-17,43	
Vagana sredina	-32,54		-44,21		-44,98*		-47,53	

* bez podatka za 19.11.2020. (prelio kišomjer na Veloj Učki)

Tablica 4.3.4. Suvišak deuterija u oborini (srpanj 2019. – srpanj 2020.)

Datum uzorkovanja	Ičići		Poklon		Vela Učka		Vojak	
	d-excess (‰)	st.dev. d-excess (‰)	d-excess (‰)	st.dev. d-excess (‰)	d-excess (‰)	st.dev. d-excess (‰)	d-excess (‰)	st.dev. d-excess (‰)
6.8.2019.	9,71	0,62	8,81	0,7	12,28	0,75	10,94	0,78
20.8.2019.	6,65	1,03	17,25	1,02	12,99	0,95		
4.9.2019.	5,18	0,62	9,89	1,26		0		
17.9.2019.	13,6	0,64	24,24	1,6	25,54	0,69	28,31	0,95
5.10.2019.	18,68	0,73	18,2	0,72	16,66	1,03		
17.10.2019.			12,95	0,84	19,92	0,44	13,32	0,89
5.11.2019.	16,91	1,09	20,12	0,95	18,77	0,5	13,59	0,83
19.11.2019.	15,64	0,4	21,26	1,17		0	19,38	0,53
3.12.2019.	17,56	0,48	22,02	0,5	17,02	0,94	20,86	0,72
20.12.2019.	17,64	0,33	19,23	0,57	16,95	0,28		0
16.1.2020.	8,15	0,6	9,74	0,61	9,83	0,37	17,13	0,8
6.2.2020.		0	14,71	0,7	18,85	0,82	17,88	1,05
27.2.2020.		0	17,87	0,94	17,13	0,8	17,49	0,71
12.3.2020.	11,85	0,35	16,83	0,92	14,21	0,74	13,72	0,67
26.3.2020.								
10.4.2020.								
24.4.2020.	12,02	0,58						
8.5.2020.	6,39	0,8	16,8	0,69	15,66	1,05	19,6	0,42
21.5.2020.	3,88	0,38	10,84	1,42	15,49	0,82	14,96	1,29
12.6.2020.	6,91	0,67	17,4	1,15	12,8	0,71	18,06	1,54
30.6.2020.	2,9	0,72	12,09	1,58	11,46	0,7	16,29	1,23
14.7.2020.	3,64	0,21	12,41	1,44	13,96	0,81	18,73	1,39
29.7.2020.	8,96	1,18	13,05	0,69	14,38	0,42	13,95	1,13
Sr	10,35		15,79		15,77		17,14	
St.dev.	5,31		4,44		3,65		4,06	
Cv	0,51		0,28		0,23		0,24	
Min	2,90		8,81		9,83		10,94	
Max	18,68		24,24		25,54		28,31	
Vagana sredina	11,53		16,52		12,9*		16,93	

*bez podatka za 19.11.2020. (prelio kišomjer na Veloj Učki)

Uzorkovanje podzemne vode provedeno je na četiri izvora: Mala Učka, Vela učka, Rečina te u Tunelu Učka. Planirano je bilo uzorkovanje dva puta mjesečno koje su provodili djelatnici KD Liburnijske Vode. Zbog povećanog obima posla te ograničenja vezanih uz situaciju s pojavom epidemije COVID-19 u nekim mjesecima uzorkovanje je obavljeno samo jednom. Rezultati vezani uz podzemne vode dani su u Tablicama 4.3.5 – 4.3.7.

Tablica 4.3.5. Rezultati mjerenja zastupljenosti izotopa ^{18}O u izvorskoj vodi (srpanj 2019. – srpanj 2020.)

Datum uzorkovanja	Izvor Mala Učka		Izvor Vela Učka		Izvor Rečina		Izvor Tunel Učka	
	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	st.dev. $\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	st.dev. $\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	st.dev. $\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	st.dev. $\delta^{18}\text{O}$ (‰)
6.8.2019	-7,51	0,19	-7,7	0,07			-7,62	0,11
7.8.2019					-7,62	0,12		
26.8.2019	-8,63	0,04	-7,81	0,06	-7,26	0,07	-7,69	0,05
9.9.2019							-8,14	0,04
11.9.2019	-8,31	0,09	-7,82	0,15	-7,87	0,08		
25.9.2019	-7,8	0,15	-7,74	0,05	-7,33	0,14	-7,52	0,18
16.10.2019	-7,77	0,07	-7,95	0,08	-7,3	0,06	-7,6	0,04
28.10.2019	-7,9	0,03	-7,7	0,13	-7,34	0,06	-8,16	0,18
13.11.2019			-7,39	0,03			-7,67	0,11
18.11.2019	-7,11	0,22			-7,12	0,06		
3.12.2019	-7,57	0,03	-7,95	0,03	-7,02	0,05	-7,52	0,04
22.1.2020							-7,98	0,25
23.1.2020	-8,12	0,1	-8,22	0,05				
13.2.2020	-7,91	0,25	-8,15	0,05	-8,01	0,08	-8,05	0,17
27.2.2020	-7,99	0,09	-8,16	0,04	-7,84	0,06	-8,33	0,17
12.3.2020							-8,37	0,18
18.3.2020	-7,7	0,09	-8,13	0,06				
20.3.2020					-7,98	0,07		
8.4.2020							-8,34	0,11
16.4.2020	-7,93	0,14	-8,22	0,04	-8,32	0,08		
13.5.2020	-7,77	0,03	-7,84	0,09	-7,55	0,07	-7,91	0,12
27.5.2020	-7,94	0,06	-7,82	0,05	-7,89	0,08	-8,55	0,24
8.6.2020	-7,76	0,06	-7,79	0,04	-7,17	0,06	-7,63	0,19
23.6.2020	-7,8	0,04			-7,65	0,09	-8,01	0,3
24.6.2020			-7,91	0,08				
9.7.2020	-7,95	0,06	-7,91	0,09	-8,11	0,05	-7,48	0,12
16.7.2020			-8,08	0,02			-7,73	0,09
23.7.2020	-7,84	0,07			-8,16	0,2		
Sr	-7,86		-7,91		-7,64		-7,91	
St.dev.	0,31		0,21		0,40		0,34	
Cv	0,04		0,03		0,05		0,04	
Min	-8,63		-8,22		-8,32		-8,55	
Max	-7,11		-7,39		-7,02		-7,48	

Tablica 4.3.6. Rezultati mjerenja zastupljenosti izotopa ^2H u izvorskoj vodi (srpanj 2019. – srpanj 2020.)

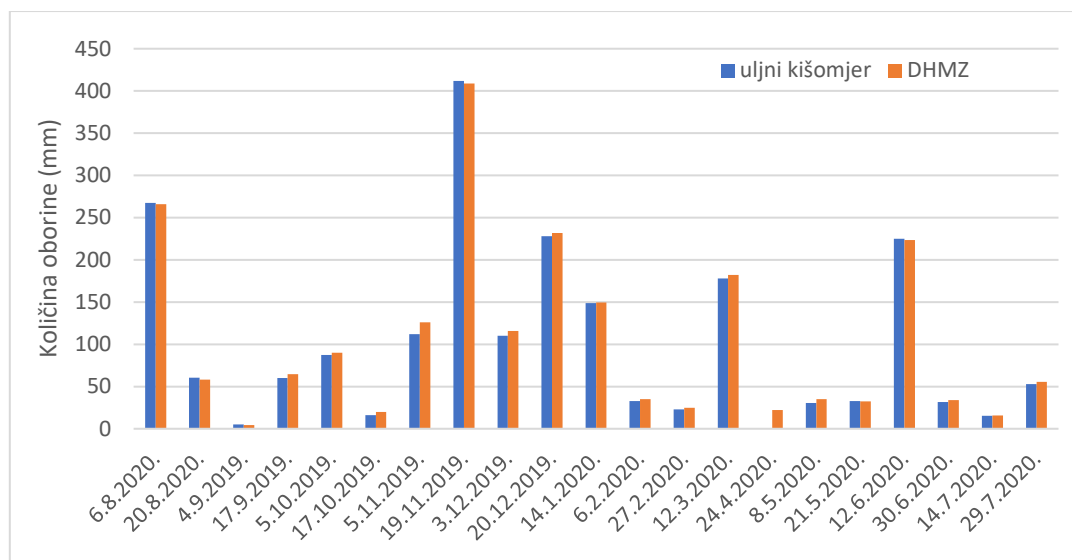
Datum uzorkovanja	Izvor Mala Učka		Izvor Vela Učka		Izvor Rečina		Izvor Tunel Učka	
	$\delta^2\text{H}$ (‰)	st.dev. $\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	st.dev. $\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	st.dev. $\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	st.dev. $\delta^2\text{H}$ (‰)
6.8.2019	-45,45	0,44	-47,1	0,27			-45,56	0,48
7.8.2019					-44,71	0,24		
26.8.2019	-47,18	0,39	-47,12	0,66	-43,21	0,34	-45,58	0,63
9.9.2019							-46,36	0,55
11.9.2019	-45,08	0,53	-46,81	0,85	-44,23	0,54		
25.9.2019	-45,11	0,48	-46,21	0,35	-43,21	0,37	-45,15	0,5
16.10.2019	-44,98	0,24	-48,17	0,3	-43,62	0,3	-47,07	0,46
28.10.2019	-46,24	0,35	-46,6	0,54	-45,24	0,47	-47,07	0,49
13.11.2019			-43,56	0,15			-41,77	0,76
18.11.2019	-42,86	0,12			-40,35	0,24		
3.12.2019	-45,25	0,08	-46,06	0,23	-41,83	0,17	-43,54	0,33
22.1.2020							-45,47	0,3
23.1.2020	-45,91	0,29	-47,07	0,11				
13.2.2020	-46,54	0,3	-46,82	0,23	-44,93	0,3	-46,12	0,18
27.2.2020	-46,81	0,24	-47,46	0,19	-45,29	0,36	-45,77	0,22
12.3.2020							-46,1	0,1
18.3.2020	-45,74	0,28	-46,82	0,12				
20.3.2020					-45,47	0,18		
8.4.2020							-46,9	0,51
16.4.2020	-46,11	0,11	-47,21	0,22	-45,48	0,25		
13.5.2020	-46,04	0,21	-47,54	0,08	-44,97	0,38	-46,19	0,24
27.5.2020	-46,11	0,1	-47,48	0,11	-46,4	0,4	-47,17	0,27
8.6.2020	-45,48	0,33	-46,7	0,13	-43,7	0,52	-42,86	0,13
23.6.2020	-46,18	0,31			-46,09	0,43	-46,49	0,43
24.6.2020			-47,25	0,08				
9.7.2020	-45,61	0,15	-47,2	0,1	-46,77	0,22	-46,99	0,09
16.7.2020			-47,48	0,1			-46,72	0,14
23.7.2020	-44,9	0,1			-44,63	0,16		
Sr	-45,66		-46,88		-44,45		-45,73	
St.dev.	0,92		0,94		1,61		1,50	
Cv	0,02		0,02		0,04		0,03	
Min	-47,18		-48,17		-46,77		-47,17	
Max	-42,86		-43,56		-40,35		-41,77	

Tablica 4.3.7. Suvišak deuterija u izvorskoj vodi (srpanj 2019. – srpanj 2020.)

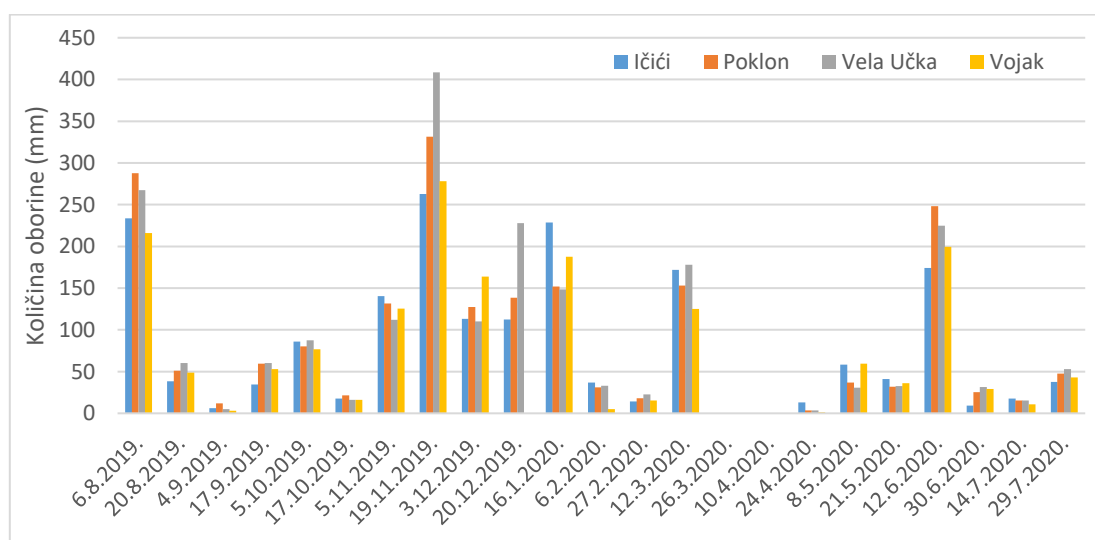
Datum uzorkovanja	Izvor Mala Učka		Izvor Vela Učka		Izvor Rečina		Izvor Tunel Učka	
	d-excess (‰)	st.dev.d-excess (‰)	d-excess (‰)	st.dev.d-excess (‰)	d-excess (‰)	st.dev.d-excess (‰)	d-excess (‰)	st.dev.d-excess (‰)
6.8.2019	14,63	0,69	14,50	0,33			15,40	0,57
7.8.2019					16,25	0,42		
26.8.2019	21,86	0,41	15,36	0,68	14,87	0,39	15,94	0,65
9.9.2019							18,76	0,56
11.9.2019	21,40	0,59	15,75	0,95	18,73	0,59		
25.9.2019	17,29	0,64	15,71	0,38	15,43	0,54	15,01	0,71
16.10.2019	17,18	0,31	15,43	0,38	14,78	0,34	13,73	0,47
28.10.2019	16,96	0,36	15,00	0,65	13,48	0,50	18,21	0,71
13.11.2019			15,56	0,17			19,59	0,82
18.11.2019	14,02	0,63			16,61	0,29		
3.12.2019	15,31	0,12	17,54	0,25	14,33	0,22	16,62	0,35
22.1.2020							18,37	0,77
23.1.2020	19,05	0,41	18,69	0,18				
13.2.2020	16,74	0,77	18,38	0,27	19,15	0,38	18,28	0,51
27.2.2020	17,11	0,35	17,82	0,22	17,43	0,40	20,87	0,53
12.3.2020							20,86	0,52
18.3.2020	15,86	0,38	18,22	0,21				
20.3.2020					18,37	0,27		
8.4.2020							19,82	0,60
16.4.2020	17,33	0,41	18,55	0,25	21,08	0,34		
13.5.2020	16,12	0,23	15,18	0,27	15,43	0,43	17,09	0,42
27.5.2020	17,41	0,20	15,08	0,18	16,72	0,46	21,23	0,73
8.6.2020	16,60	0,37	15,62	0,17	13,66	0,55	18,18	0,55
23.6.2020	16,22	0,33			15,11	0,50	17,59	0,95
24.6.2020			16,03	0,24				
9.7.2020	17,99	0,23	16,08	0,27	18,11	0,26	12,85	0,35
16.7.2020			17,16	0,11			15,60	0,29
23.7.2020	17,82	0,22			20,65	0,59		
Sr	17,21		16,40		16,68		17,58	
St.dev.	1,95		1,38		2,28		2,40	
Cv	0,11		0,08		0,14		0,14	
Min	14,02		14,50		13,48		12,85	
Max	21,86		18,69		21,08		21,23	

4.4. Količina oborine

Između količina oborine prikupljene uljnim kišomjerom na lokaciji Vela Učka i količine oborine prema službenim podacima DHMZ-a za istu lokaciju (Slika 4.4.1), nema statistički značajne razlike (Wilcoxon test, $p=0,773$). To potvrđuje ispravnost metode prikupljanja kumulativne oborine uljnim kišomjerima.



Slika 4.4.1. Usporedba količine oborine prikupljene uljnim kišomjerom i službenih DHMZ podataka za lokaciju Vela Učka. Napomena: 19.11.2019. za uljni kišomjer navedena je maksimalna količina oborine koja se može prikupiti ovom vrstom totalizatora



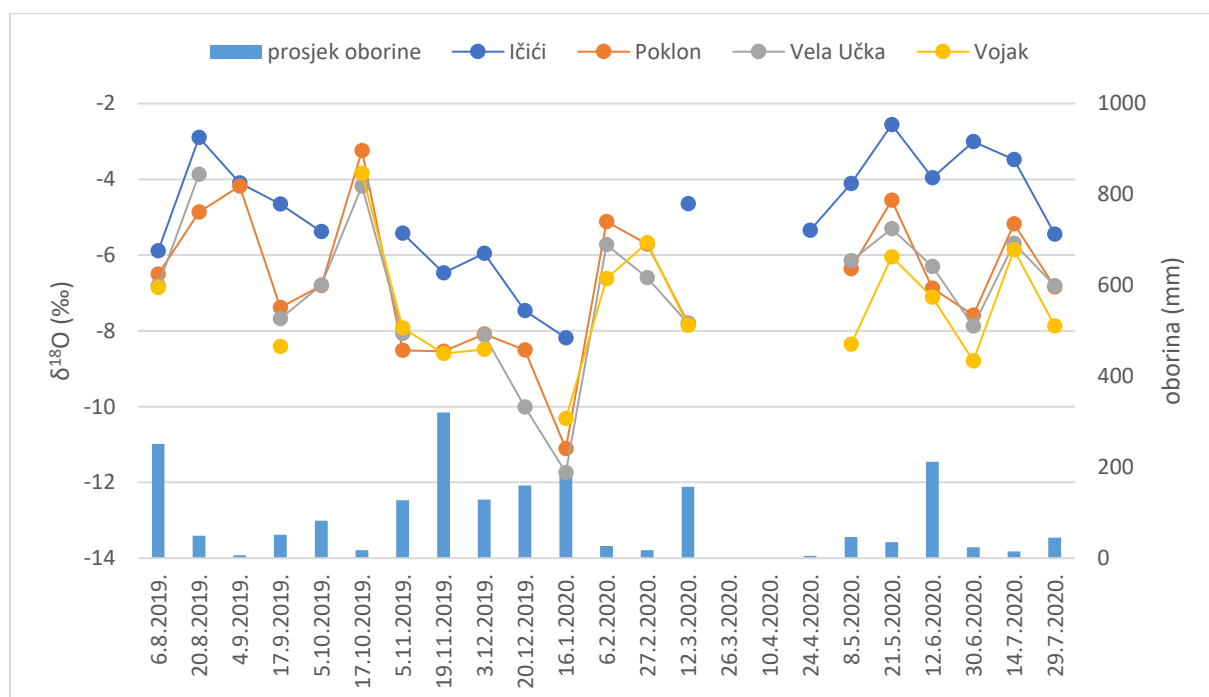
Slika 4.4.2. Količina oborine prikupljena uljnim kišomjerima (srpanj 2019. – srpanj 2020.). Napomena: 19.11.2019. za uljni kišomjer na Veloj Učki navedena je službena DHMZ količina, jer je uljni kišomjer prelio

Prosječna količina oborine prikupljena u pojedinom uzorkovanju ne razlikuje se značajno između različitih lokacija (Slika 4.4.2, Kruskal-Wallis test, $p=0,97$). To nam ukazuje da pojedini oborinski događaji nisu značajno različiti među lokacijama. Međutim, to ne vrijedi za ukupnu godišnju oborinu. U Ičićima je u razdoblju 7.2019.-7-2020. palo 1848,6 mm, na Poklonu 2004,5 mm, na Velj Učki 2129,3 mm (podatak za 19.11.2019. preuzet od DHMZ-a), a na Vojaku 1693,4 mm kiše. Ukupna količina oborine raste s porastom nadmorske visine. Izuzetak čini Vojak, jer se vodom otežali oblaci prvo moraju olakšati kako bi došli do vrha, a onda i prešli vrh Učke.

4.5. Stabilni izotopi u oborini

4.5.1. Izotop kisika ^{18}O u oborini

U Tablici 4.3.2 prikazane su δ -vrijednosti ^{18}O u oborini prikupljenoj uljnim kišomjerima. U istoj tablici prikazani su i rezultati osnovne statistike: aritmetička sredina s pripadajućom standardnom devijacijom, minimalne i maksimalne vrijednosti te vagana sredina s količinom oborine kao ponderom. Kako je manja količina oborine povezana s višim δ -vrijednostima (Slika 4.5.1), vagana sredina se smatra boljim pokazateljem prosječne vrijednosti izotopnog sastava od aritmetičke sredine.

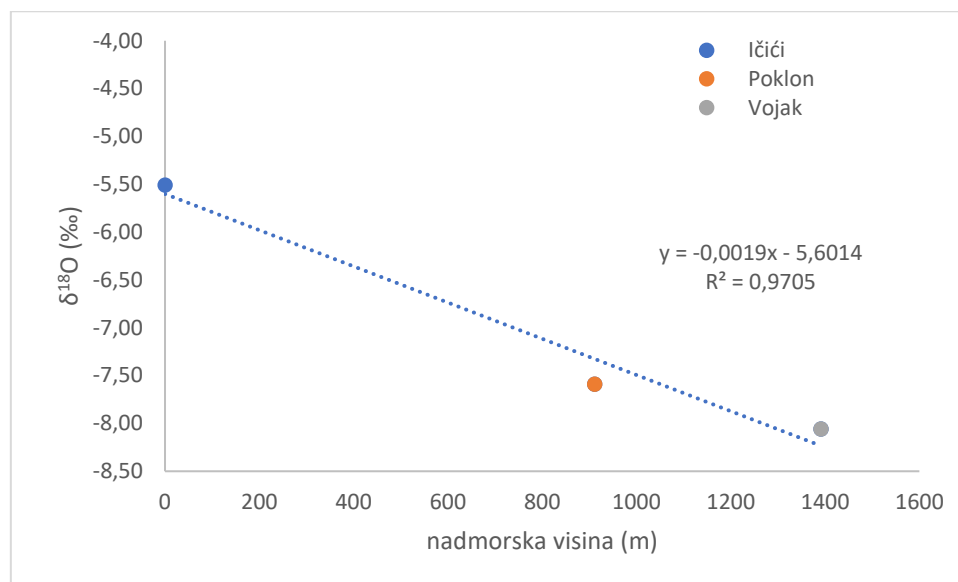


Slika 4.5.1. Zastupljenost izotopa ^{18}O u oborini i prosjek oborine za četiri lokacije uzorkovanja (Ičići, Poklon, Vela Učka i Vojak).

Statistička analiza je pokazala da prosječna $\delta^{18}\text{O}$ vrijednost oborine prikupljene na lokaciji Ičići (-4,94‰) ima značajno višu vrijednost (Dunn test, $p < 0,01$) od prosječnih vrijednosti oborine prikupljene na ostalim lokacijama (Poklon -6,69‰, Vela Učka -6,97‰, Vojak -7,42‰).

Najniže $\delta^{18}\text{O}$ vrijednosti oborine na svim lokacijama imala je oborina prikupljena u periodu od 20.12.2019. do 16.1.2020. godine (Vela Učka, -11,74‰). Oborina najviše obogaćena izotopom ^{18}O prikupljena je u svibnju 2020. godine (Ičići, -2,56‰).

I kada promatramo vagane sredine $\delta^{18}\text{O}$ vrijednosti lokacija Ičići ima najvišu vrijednost (-5,51‰), slijedi Poklon (-7,59‰), a najniža vrijednost je vrijednost vagane sredine oborine na Vojaku (-8,06‰). Vagana sredina za Vela Učku nije uzeta u obzir zato što za njezin izračun nedostaje podatak za najobilniju oborinu zbog koje je došlo do prelijevanja mjernog instrumenta. Korištenjem vaganih sredina određen je visinski učinak za $\delta^{18}\text{O}$ od -0,2‰/100 m (Slika 4.5.2).



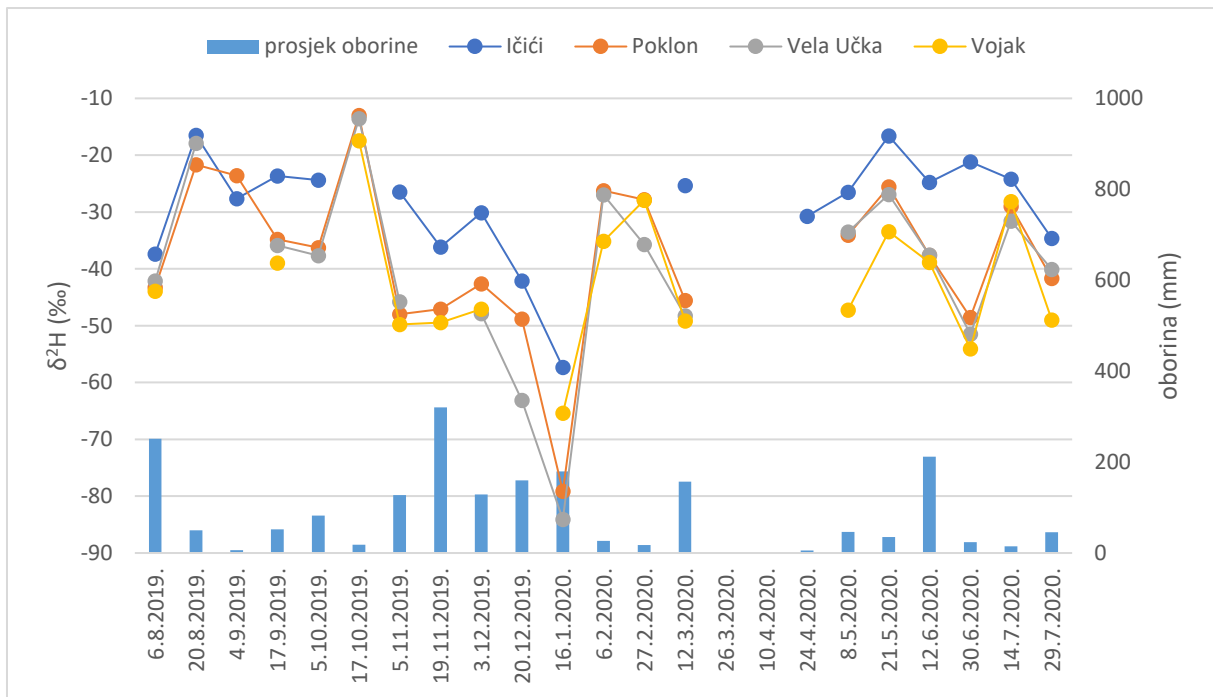
Slika 4.5.2. Promjena zastupljenosti izotopa ^{18}O s nadmorskom visinom. Na slici su prikazane vagane sredine $\delta^{18}\text{O}$ za pojedinu lokaciju

4.5.2. Izotop vodika ^2H u oborini

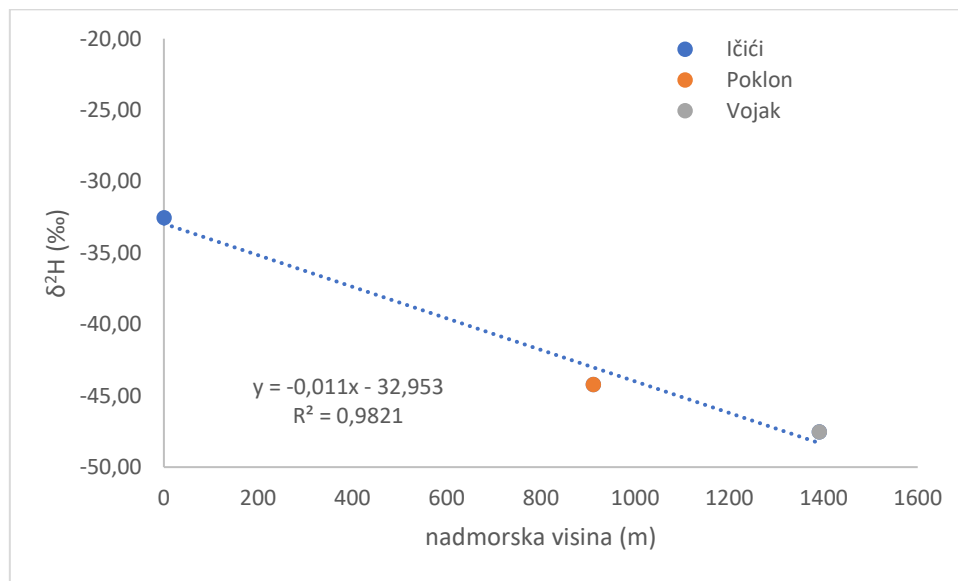
$\delta^2\text{H}$ vrijednosti oborine pokazuju slično ponašanje kao i $\delta^{18}\text{O}$ vrijednosti (Slika 4.5.3). Najniže vrijednosti zabilježene su u siječnju 2020. (Vela Učka, -84,1‰), a najviša vrijednost u natprosječno toplom listopadu 2019. godine (Poklon, -12,99‰).

Oborina prikupljena u Ičićima ima statistički značajno višu prosječnu $\delta^2\text{H}$ vrijednost (-29,21‰) od oborine prikupljene na ostalim lokacijama (Dunn test, $p < 0,03$).

Vagana sredina $\delta^2\text{H}$ opada s porastom nadmorske visine (Tablica 4.3.3.) i za Ičiće iznosi -32,54‰, za Poklon -44,21‰ te za Vojak -47,53‰. Visinski učinak na $\delta^2\text{H}$ vrijednosti ukazuje na opadanje od 1,1‰ sa svakih 100 m nadmorske visine (Slika 4.5.4).



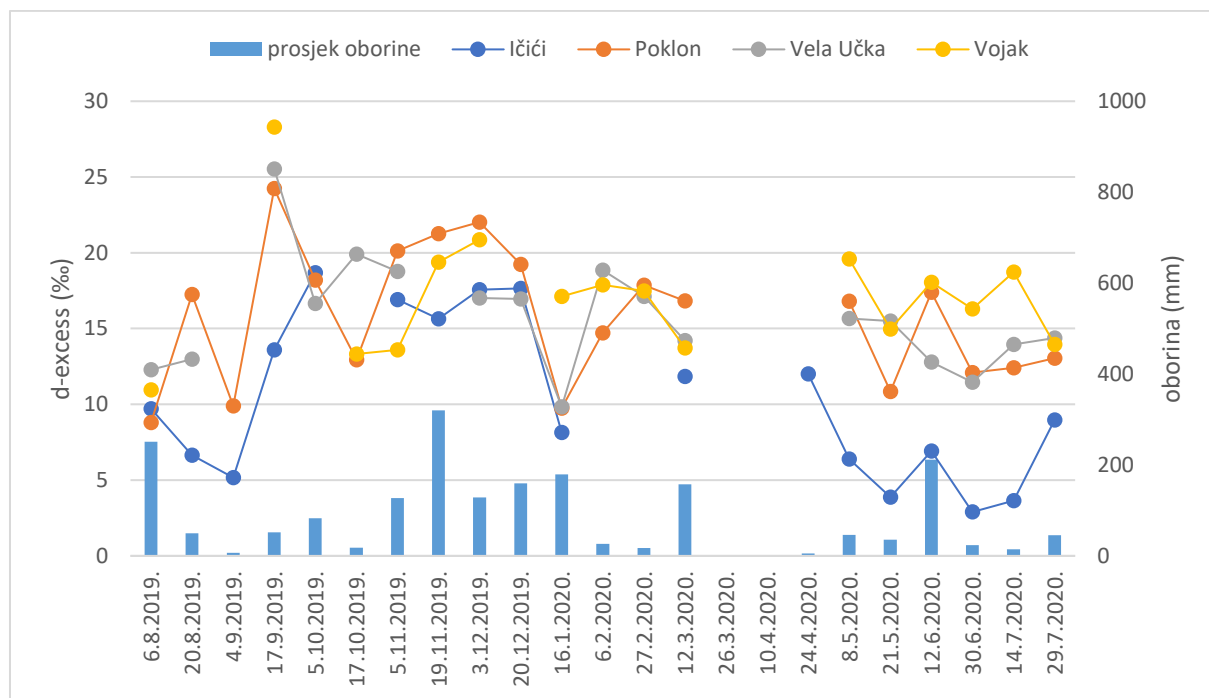
Slika 4.5.3. Zastupljenost izotopa ^2H u oborini i prosjek oborine za četiri lokacije uzorkovanja (Ičići, Poklon, Vela Učka i Vojak).



Slika 4.5.4. Promjena zastupljenosti izotopa ^2H s nadmorskom visinom. Na slici su prikazane vagane sredine $\delta^2\text{H}$ za pojedinu lokaciju.

4.5.3. Suvišak deuterija (d-excess) u oborini

Vrijednosti d-excessa u oborini dane su u Tablici 4.3.4. D-excess pokazuje sezonalnu promjenu s višim vrijednostima u kišnim razdobljima i nižim vrijednostima u razdobljima oskudne oborine i viših temperatura zraka (Slika 4.5.5). Vrijednosti d-excess-a iznad 15‰ ukazuju na prisutnost oborine Mediteranskog porijekla.



Slika 4.5.5. Suvišak deuterija u oborini i prosječna količina oborine

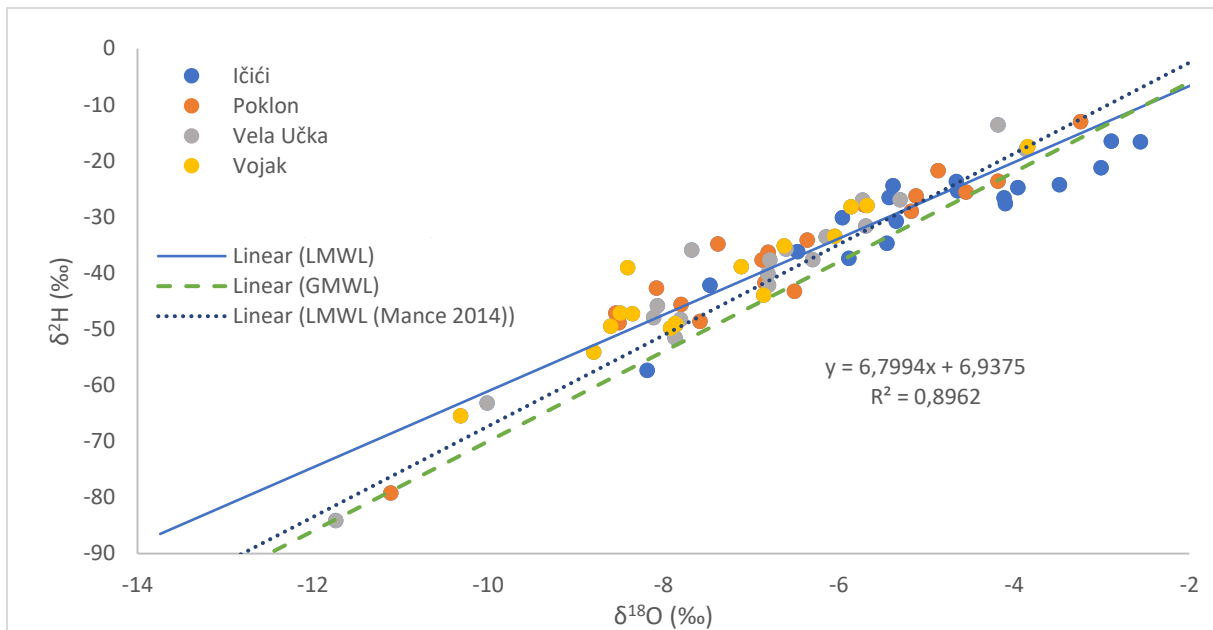
Prosječna vrijednost d-excessa oborine iz Ičića (10,35‰) je statistički značajno niža od prosječnih vrijednosti na ostalim lokacijama (Dunn test, $p < 0,01$).

Niske vrijednosti d-excessa ($< 5‰$) ukazuju na isparavanje uzorka što objašnjava situaciju u ljetnim mjesecima i za lokaciju Ičići koja je na najnižoj nadmorskoj visini.

Niske vrijednosti d-excessa u siječnju 2020. godine, vjerojatno su posljedica prodiranja zračnih masa s Atlantika.

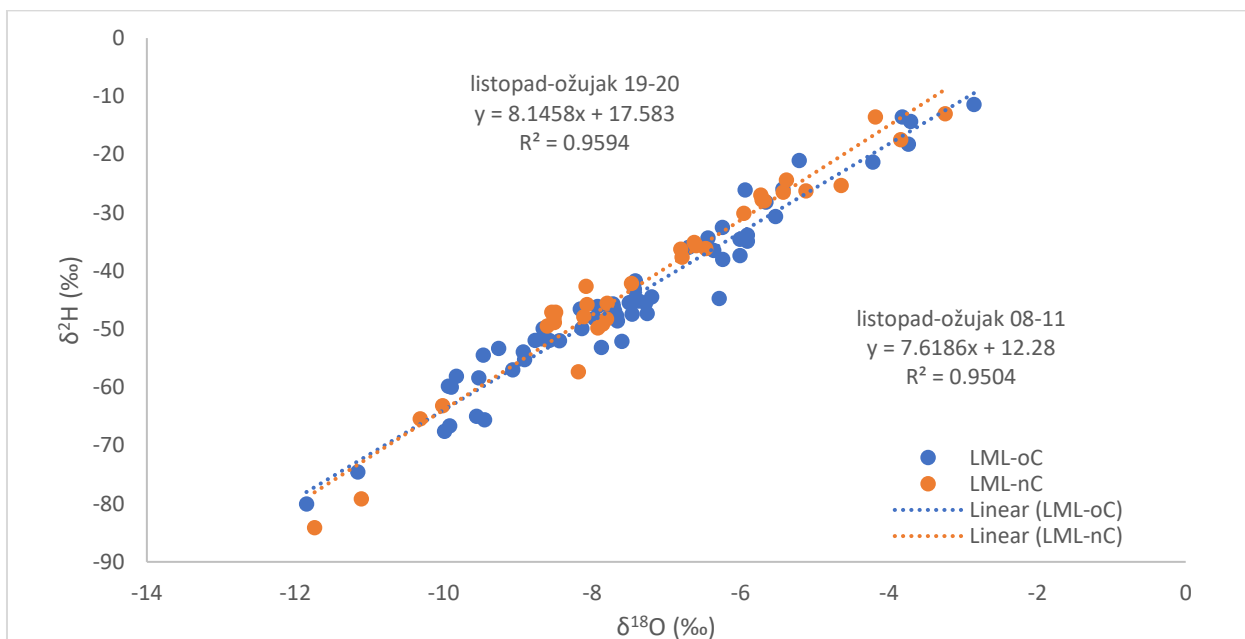
4.5.4. Lokalna linija oborinske vode

Vrijednosti izotopnog sastava oborine poslužile su za konstruiranje LMWL koja glasi: $\delta^2\text{H} = 6,8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 6,94‰$ ($R^2 = 0,9$). Ova linija oborinske vode značajno se razlikuje od linije oborinske vode za područje Kvarnera: $\delta^2\text{H} = 8,1 \cdot \delta^{18}\text{O} + 13,7‰$ (Slika 4.5.7, LMWL Mance 2014), ali je bliža LMWL za Učku dobivenu na temelju oborina prikupljenih na lokacijama Ičići, Veprinac, Poklon i Vojak u razdoblju 2008.-2011. ($\delta^2\text{H} = 7,2 \cdot \delta^{18}\text{O} + 8,24‰$, $R^2 = 0,94$). Ova promjena LMWL za područje Učke u desetogodišnjem razdoblju može ukazivati na pomak ka toplijim vremenskim uvjetima koje pogoduje jačem isparavanju.

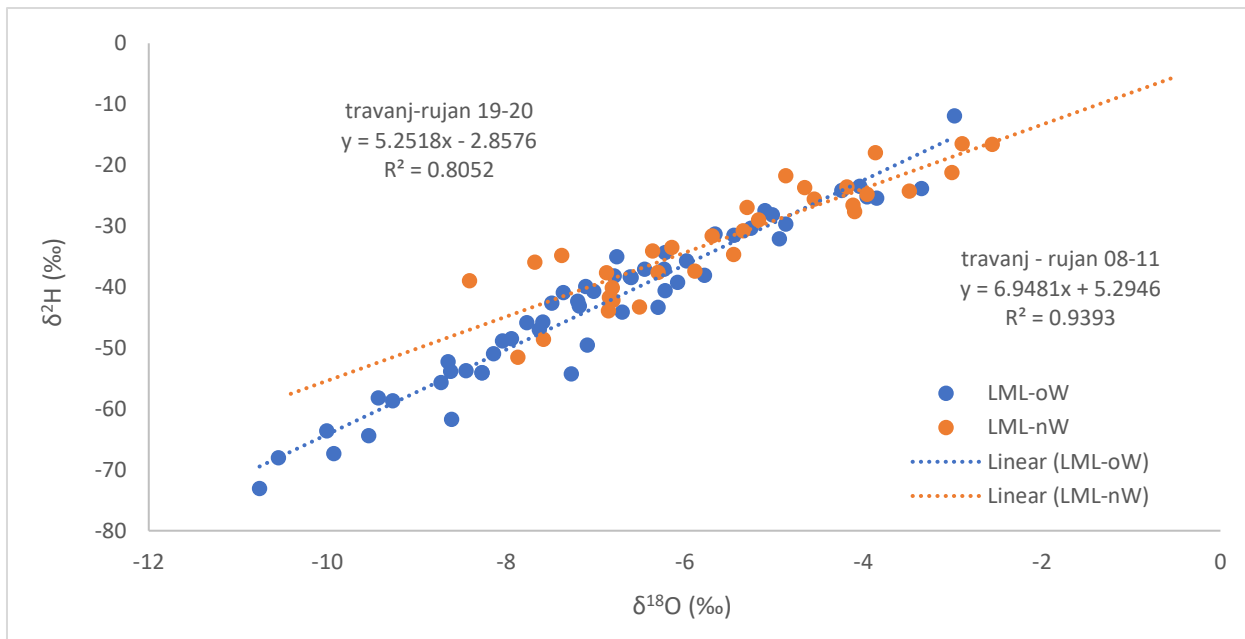


Slika 4.5.7. Odnos izotopa ^2H i ^{18}O u oborini s pripadajućom lokalnom linijom oborinske vode (LMWL). Globalna linija oborinske vode (GMWL) i lokalna linija oborinske vode za područje prihranjivanja riječkih izvora (LMWL Mance, 2014) su prikazane za usporedbu

Kako je d-excess pokazao da za lokaciju Lčići postoji vjerojatnost jačeg isparavanja uzoraka oborine, lokalne linije oborinske vode (LML) su određene za dva razdoblja: kišno/hladno razdoblje godine (listopad-ožujak) i sušno/toplo razdoblje (travanj-rujan) te su uspoređene s odgovarajućim linijama za razdoblje 2008.-2011.



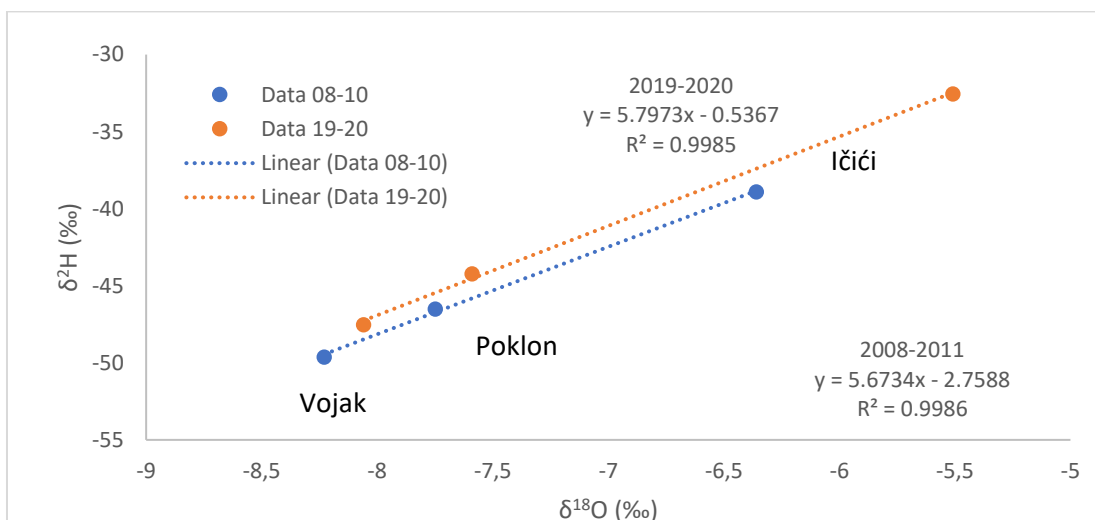
Slika 4.5.8. Odnos izotopa ^2H i ^{18}O u oborini u hladnom dijelu hidrološke godine (listopad-ožujak) s pripadajućim lokalnim linijama oborinske vode (LML). oC – razdoblje 2008-2011, nC – razdoblje 2019.-2020.



Slika 4.5.9. Odnos izotopa ^2H i ^{18}O u oborini u toplom dijelu hidrološke godine (travanj-rujan) s pripadajućim lokalnim linijama oborinske vode (LML). oW – razdoblje 2008-2011, nW – razdoblje 2019.-2020.

Na Slici 4.5.8 vidimo da je LML za hladni dio hidrološke godine u razdoblju 2019.-2020. ($\delta^2\text{H}=8,15 \cdot \delta^{18}\text{O}+17,6\text{‰}$) bliža lokalnoj liniji oborinske vode za istočni Mediteran u odnosu na razdoblje 2008-2011 ($\delta^2\text{H}=7,2 \cdot \delta^{18}\text{O}+12,3\text{‰}$).

Usporedbom LML-a za topli dio godine (Slika 4.5.9) možemo zaključiti da je u razdoblju 2019-2020 oborina bila pod većim utjecajem isparavanja (napomena: oborina je prikupljena na identičan način u oba razdoblja). I vagane sredine (količina oborine ponder) pokazuju pomak prema višim vrijednostima u razdoblju 2019-2020 (Slika 4.5.10).

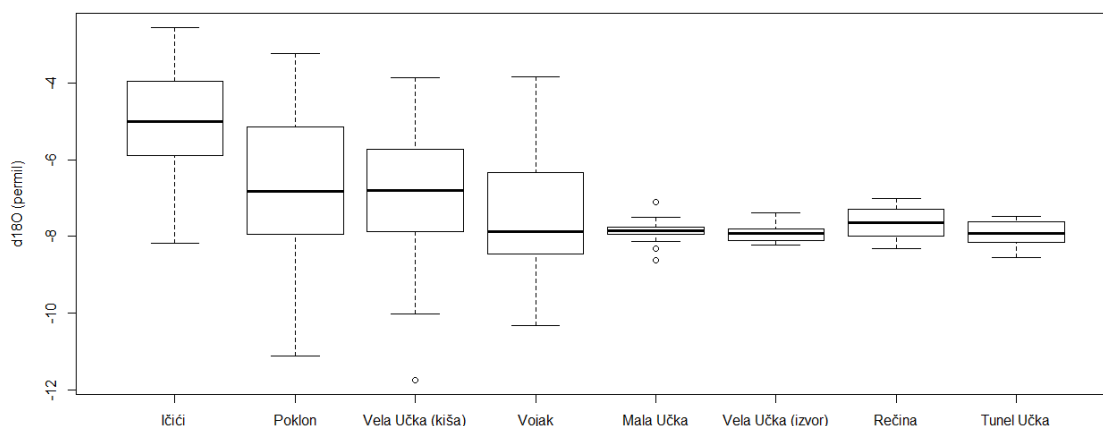


Slika 4.5.10. Odnos vaganih sredina ^2H i ^{18}O vrijednosti oborini (ponder-količina oborine) za lokacije Vojak, Poklon i Ičići u razdobljima 2008.-2011. i 2019.-2020.

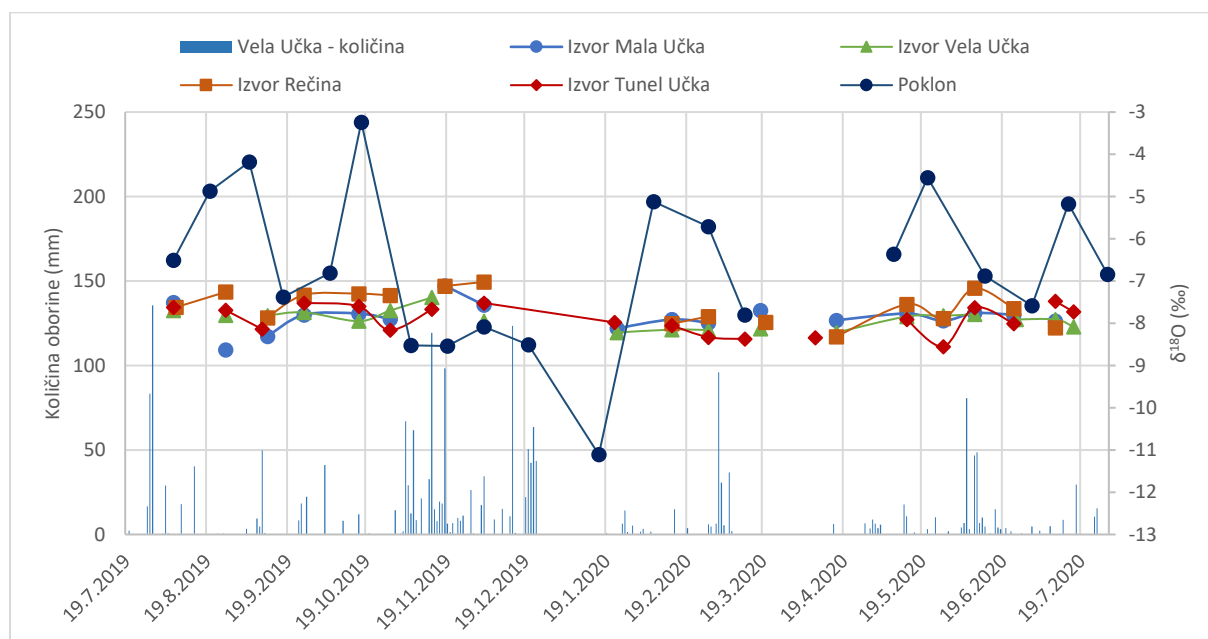
4.6. Stabilni izotopi u izvorskoj vodi

4.6.1. Izotop kisika ^{18}O u izvorskoj vodi

Rezultati mjerenja zastupljenosti izotopa ^{18}O u izvorskoj vodi za razdoblje srpanj 2019 – srpanj 2020 zajedno s pripadajućom osnovnom statistikom prikazani su u Tablici 4.3.5. Najvišu prosječnu vrijednost $\delta^{18}\text{O}$ ima Izvor Rečina (-7,64‰), dok su prosječne vrijednosti na ostalim izvorima usporedive (Slika 4.6.1). Vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ u podzemnoj vodi manje variraju od vrijednosti u oborini (Slika 4.6.2). $\delta^{18}\text{O}$ vrijednost podzemne vode nalazimo u rasponu od -8,63‰ (izvor Mala Učka) do -7,02‰ (izvor Rečina). Velika oborina je u razdoblju uzorkovanja imala izotopni sastav sličan podzemnoj vodi (prosinao 2019. i ožujak 2020.).



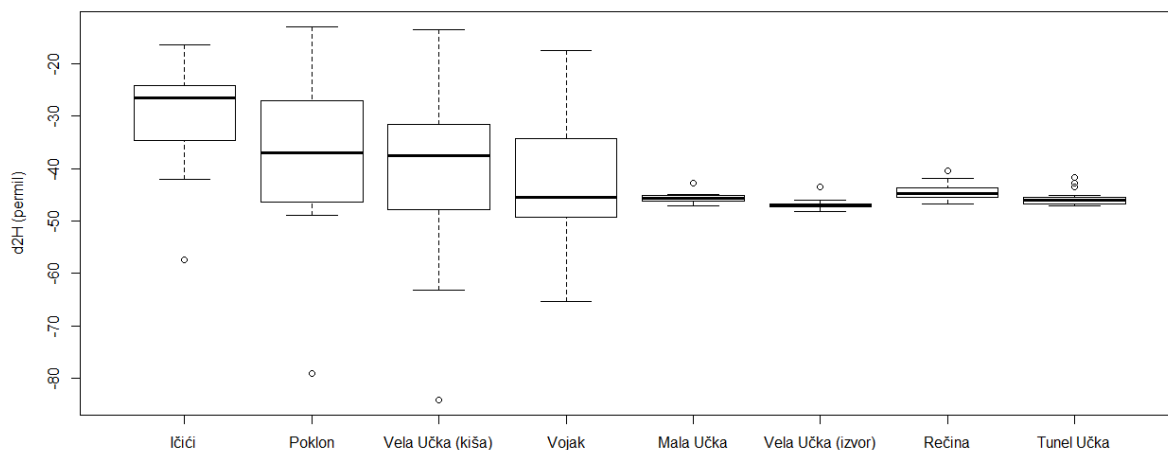
Slika 4.6.1. Prosječne vrijednosti i rasponi $\delta^{18}\text{O}$ u oborini i izvorskoj vodi (srpanj 2019. – srpanj 2020.)



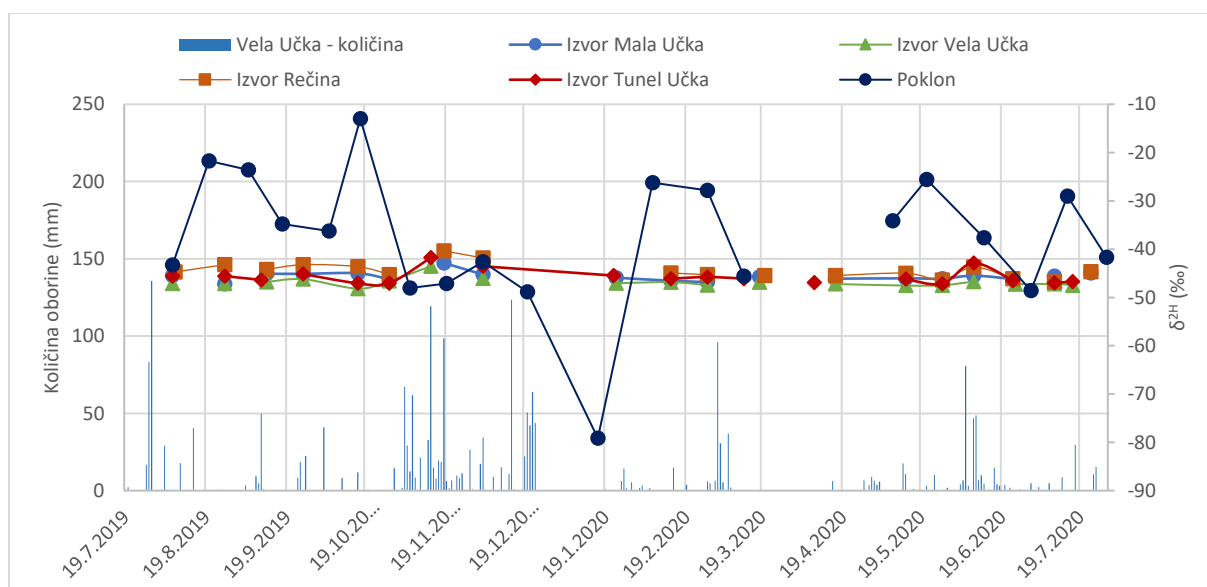
Slika 4.6.2. Vremenska serija izotopa ^{18}O u izvorskoj vodi. Vremenska serija izotopa ^{18}O u oborini prikupljenoj na lokaciji Poklon i količina dnevne oborine na Veloj Učki (podaci DHMZ) prikazane su za usporedbu.

4.6.2. Izotop vodika ^2H u izvorskoj vodi

Rezultati mjerenja zastupljenosti izotopa ^2H u izvorskoj vodi za razdoblje srpanj 2019 – srpanj 2020 zajedno s pripadajućom osnovnom statistikom prikazani su u Tablici 4.3.6. Najnižu prosječnu vrijednost $\delta^2\text{H}$ ima izvor Vela Učka (-46,88‰, Dunn test $p < 0,008$). Također, pokazalo se da voda u Tunelu Učka ima statistički značajno nižu prosječnu $\delta^2\text{H}$ vrijednost od one na Izvoru Rečina (Dunn test, $p < 0,01$). Vrijednosti $\delta^2\text{H}$ u podzemnoj vodi manje variraju od vrijednosti u oborini (Slika 4.6.1). $\delta^{18}\text{O}$ vrijednost podzemne vode nalazimo u rasponu od -48,17‰ (izvor Vela Učka) do -40,35‰ (izvor Rečina).

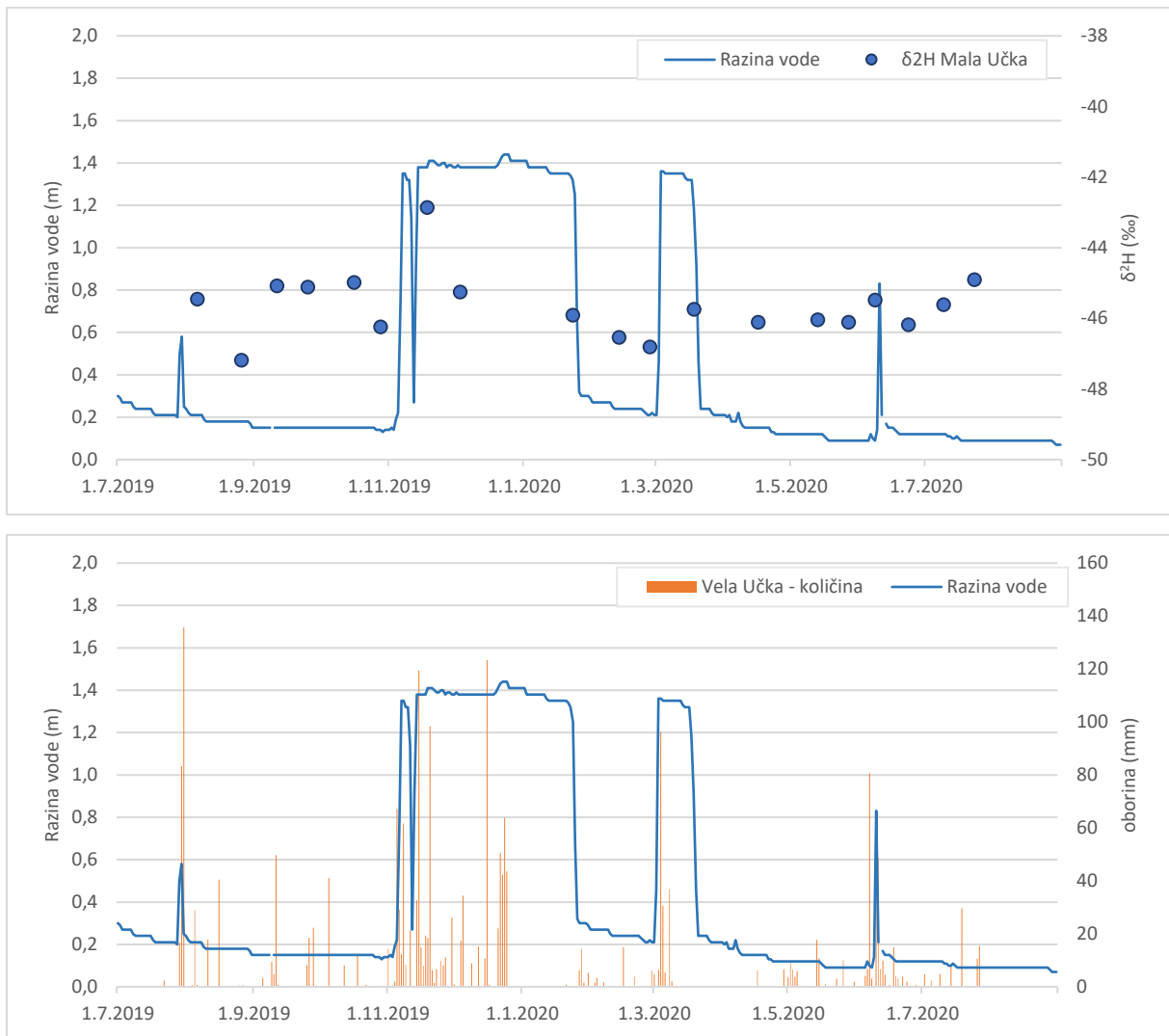


Slika 4.6.3. Prosječne vrijednosti i rasponi $\delta^2\text{H}$ u oborini i izvorskoj vodi (srpanj 2019. – srpanj 2020.)



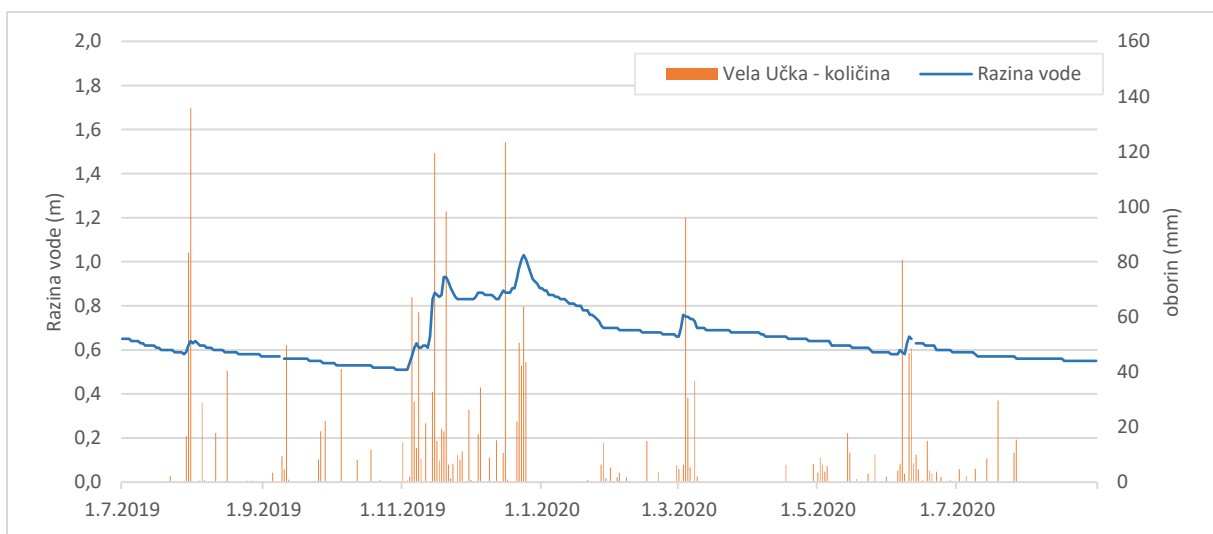
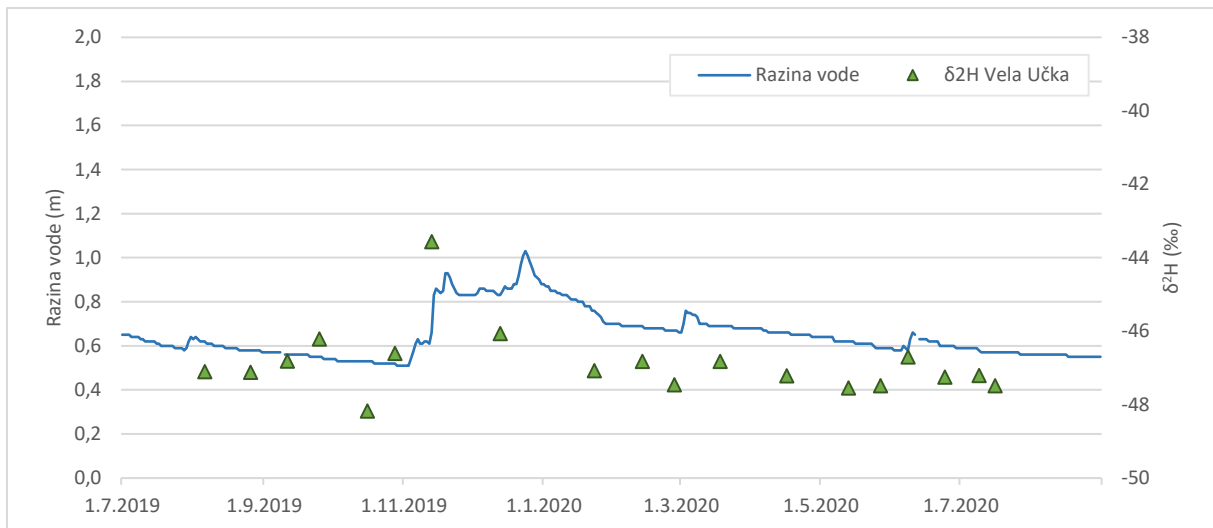
Slika 4.6.4. Vremenska serija izotopa ^2H u izvorskoj vodi. Vremenska serija izotopa ^2H u oborini prikupljenoj na lokaciji Poklon i količina dnevne oborine na Veloj Učki (podaci DHMZ) prikazane su za usporedbu

Na Slikama 4.6.5 – 4.6.8 prikazane su razine i $\delta^2\text{H}$ vrijednosti podzemne vode te dnevna količina oborine na DHMZ postaji Vela Učka. Za prikaz su odabrane vrijednosti vodika zato što je kod njih uočena statistički značajna razlika prosječnih vrijednosti između određenih izvora. Na svim izvorima vidljiva su nagla povećanja razine vode koja slijede nakon obilne oborine kojoj je prethodilo sušno razdoblje: srpanj i studeni 2019. godine te ožujak i lipanj 2020. godine. Značajan skok prema višim $\delta^2\text{H}$ vrijednostima kod svih izvora uočen je u studenom 2019. godine.



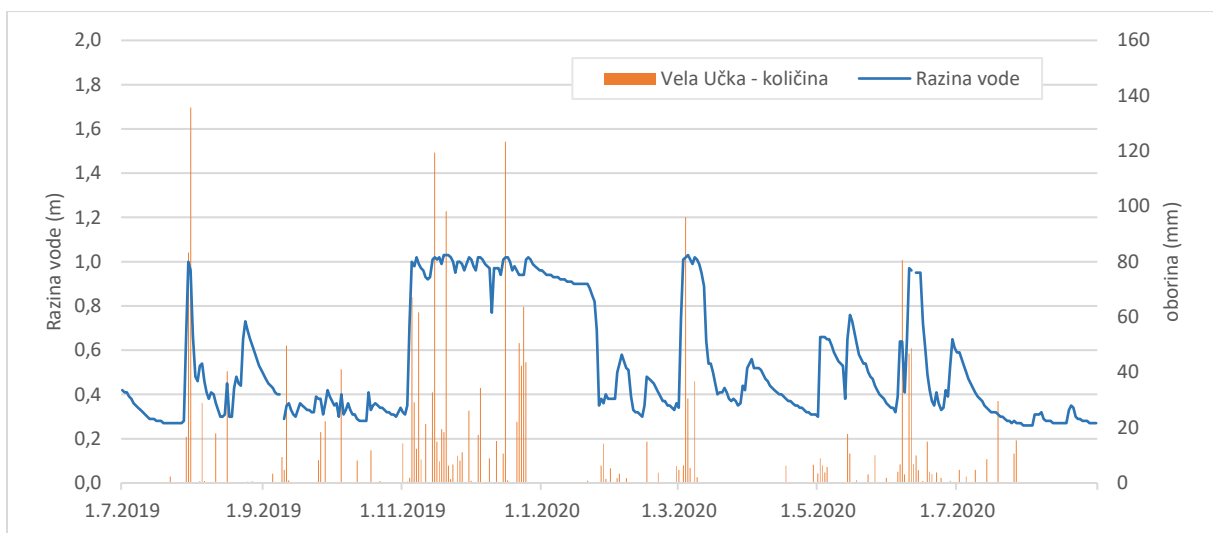
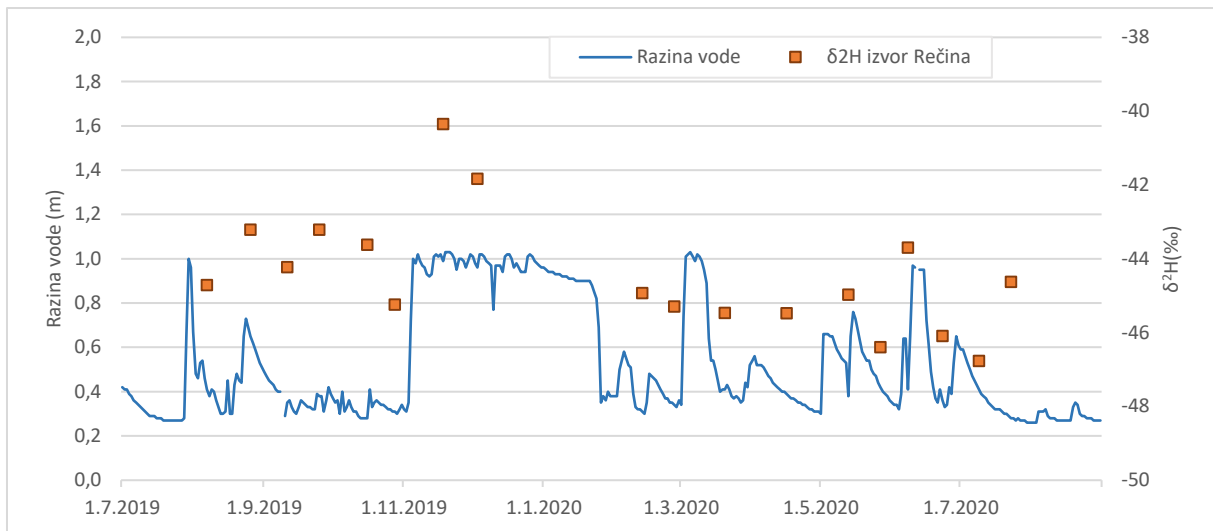
Slika 4.6.5. (gore) Mala Učka vremenska serija izotopa ^2H i razina vode; (dolje) razina vode na izvoru Mala Učka i dnevna količina oborine na postaji Vela Učka (DHMZ)

Kod Male Učke nakon prvotnog skoka prema višim vrijednostima u studenom 2011. zastupljenost ^2H u izvorskoj vodi se polako vraća prema srednjoj vrijednosti od približno -45‰ (Slika 4.6.5). Slabije izraženi pomaci prema manje negativnim vrijednostima još su se javili u ožujku i lipnju 2020.



Slika 4.6.6. (gore) Vela Učka vremenska serija izotopa ^2H i razina vode; (dolje) razina vode na izvoru Vela Učka i dnevna količina oborine na postaji Vela Učka (DHMZ)

Za Vela Učku jedini značajni skok prema višim $\delta^2\text{H}$ vrijednostima pojavio se u studenom 2019. godine. Sve ostale vrijednosti bliske su prosječnoj vrijednosti od približno -47‰ (Slika 4.6.6).



Slika 4.6.7. (gore) Rečina vremenska serija izotopa ^2H i razina vode; (dolje) razina vode na izvoru Rečina i dnevna količina oborine na postaji Vela Učka (DHMZ)

Razine izvora Rečina jače reagiraju na oborinu u odnosu na Malu i Velu Učku. Značajnija odstupanja od prosječne $\delta^2\text{H}$ vrijednosti od približno -44,5 ‰ javile su se u dva slučaja u studenom 2019. godine te u lipnju 2020. godine (Slika 4.6.7).

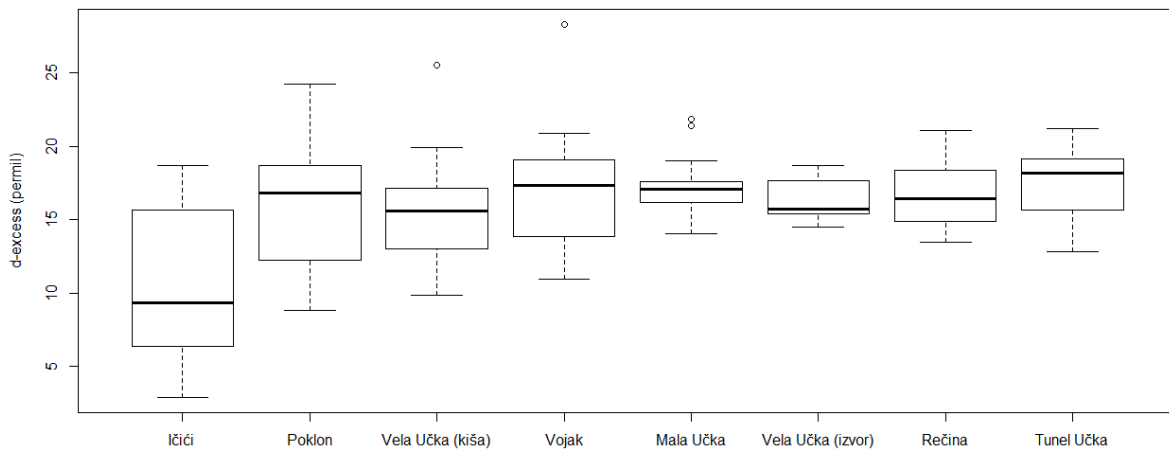


Slika 4.6.8. (gore) vremenska serija izotopa ^2H i razina vode u Tunelu Učka; (dolje) razina vode u Tunelu Učka i dnevna količina oborine na postaji Vela Učka (DHMZ).

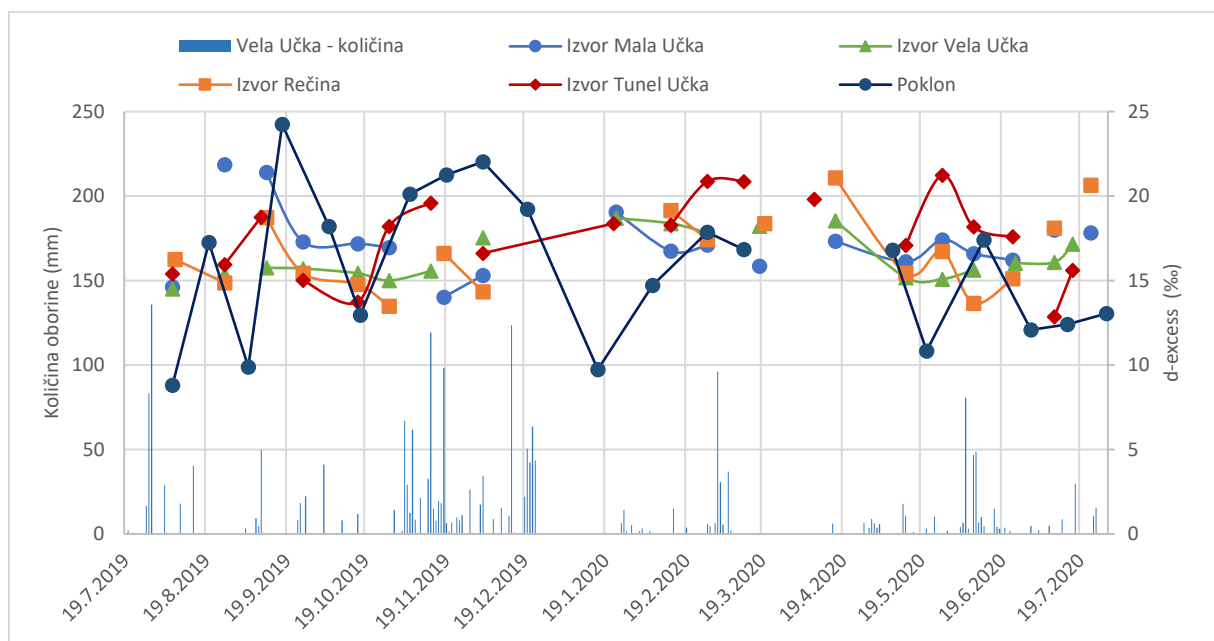
Razine vode u Tunelu Učka jače reagiraju na oborinu u odnosu na Malu i Velu Učku. Značajnija odstupanja od prosječne $\delta^2\text{H}$ vrijednosti od približno -46 ‰ javile su se u dva slučaja: u studenom 2019. godine te u lipnju 2020. godine (Slika 4.6.8).

4.6.3. Suvišak deuterija u izvorskoj vodi

Suvišak deuterija u oborinskoj i izvorskoj vodi ne razlikuje se statistički značajno što potvrđuje oborinsko podrijetlo podzemnih voda (Slike 4.6.9 i 4.6.10, Kruskal-Wallis, $p > 0,3$).



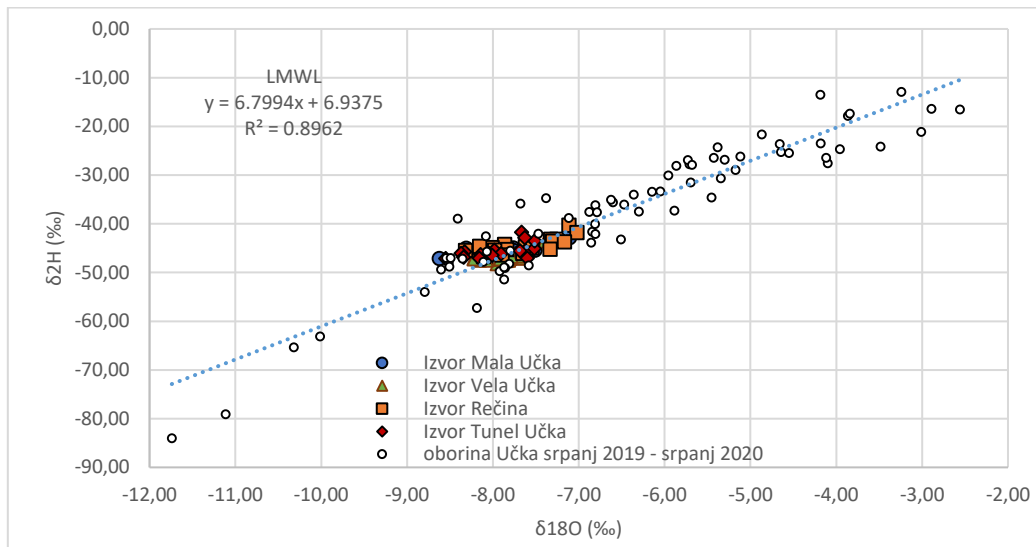
Slika 4.6.9. Prosječne vrijednosti i rasponi d-excessa u oborini i izvorskoj vodi (srpanj 2019. – srpanj 2020.)



Slika 4.6.10. Vremenska serija suviška deuterija u izvorskoj vodi. Vremenska serija suviška deuterija u oborini prikupljenoj na lokaciji Poklon i količina dnevne oborine na Veloj Učki (podaci DHMZ) prikazane su za usporedbu

4.6.4. Odnos izotopnog sastava oborinskih i izvorskih voda

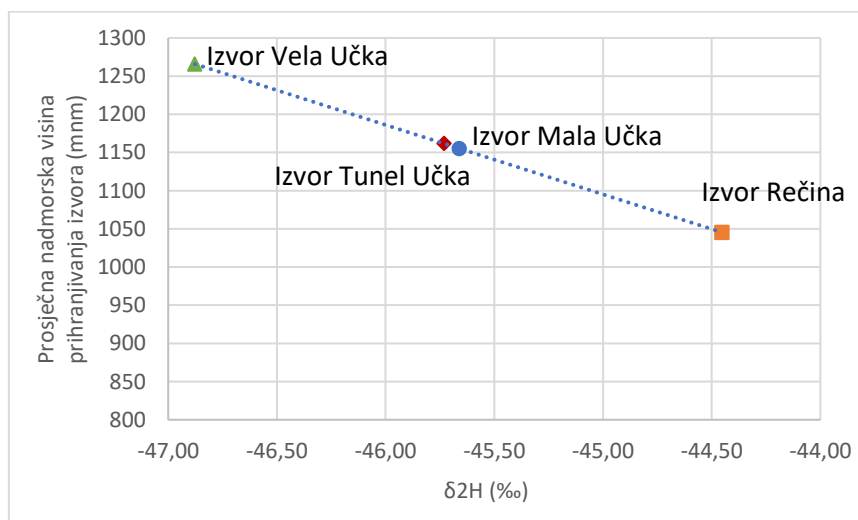
Izotopne vrijednosti podzemnih voda nalaze se uz LMWL definiran za područje Učke i period istraživanja što potvrđuje oborinsko podrijetlo podzemnih voda (Slika 4.6.11).



Slika 4.6.11. Odnos izotopa ^2H i ^{18}O u izvorskoj vodi. Odnos izotopa ^2H i ^{18}O oborini i pripadajuća lokalna linija oborinske vode (LMWL) prikazani su za usporedbu.

4.6.5. Prosječna nadmorska visina prihranjivanja izvora određena na temelju izotopnog sastava oborine i podzemnih voda

Kako se pokazalo da postoji značajna razlika prosječne zastupljenosti deuterija među izvorima za određivanje prosječne nadmorske visine prihranjivanja izvora uzet je visinski učinak vodika od $-1,1\text{‰}/100\text{m}$ (Slika 4.6.12). Prema tom izračunu, prosječna visina prihranjivanja Vele Učke je na približno 1270 m, Male Učke i vode u Tunelu Učka na 1160 m, a izvora Rečina na 1050 m.



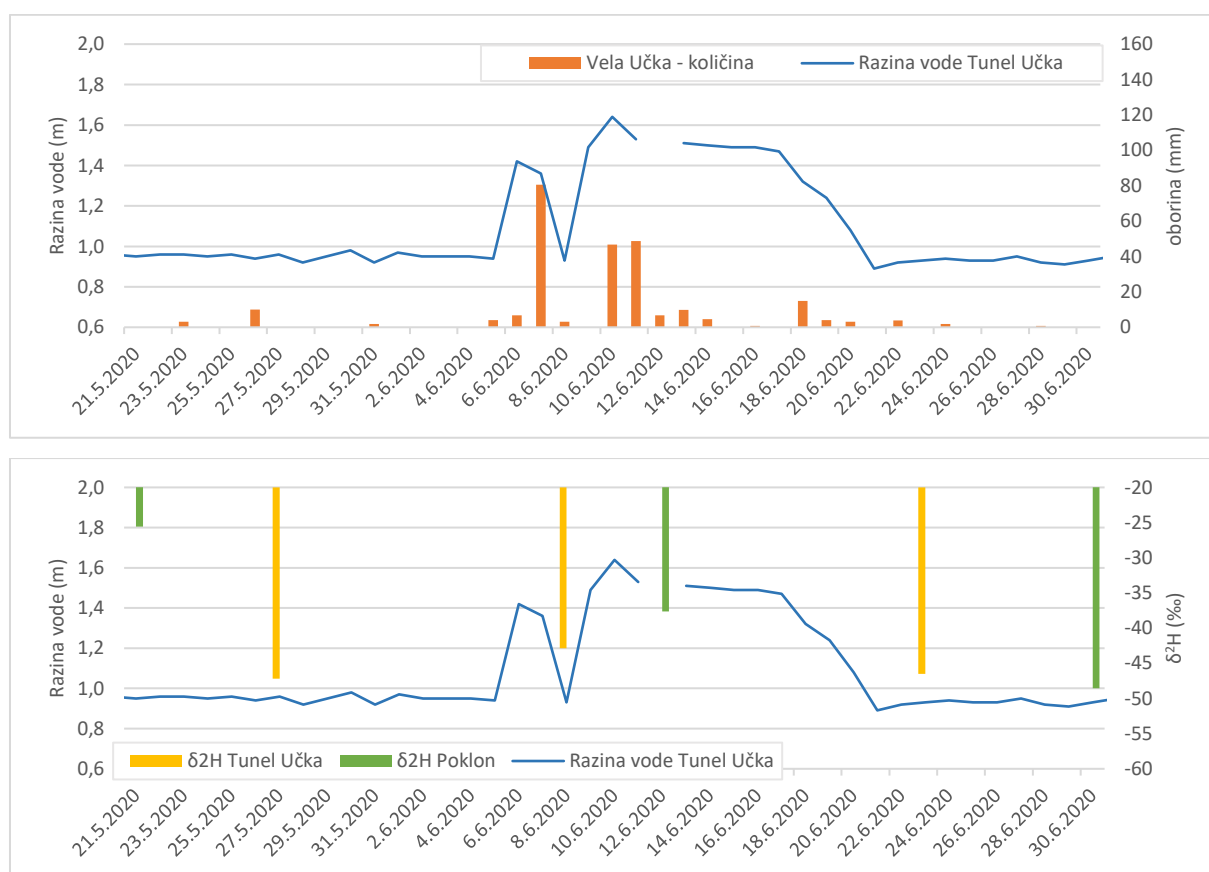
Slika 4.6.12. Prosječne nadmorske visine prihranjivanja promatranih izvora izračunate na temelju visinskog učinka na zastupljenost izotopa ^2H u oborini.

4.6.6. Analiza izdvojenog događaja iz lipnja 2020.

Da bi se odredila dinamika izmjene i istjecanje voda pomoću stabilnih izotopa potrebno je analizirati posebne hidrološke događaje koji uključuju oborinu čiji je izotopni sastav znatno pozitivniji od izotopnog sastava podzemne vode, a nakon kojeg dolazi do značajnog pomaka izotopnih vrijednosti podzemne vode prema manje negativnim vrijednostima.

Takvi događaji se obično javljaju nakon duljeg sušnog razdoblja za vrijeme kojeg je na izvoru istjecala voda baznog toka (tzv. „stara“ voda, $\delta^2\text{H}_S$). Oborinski ulaz predstavlja tzv. „novu“ vodu u sustavu ($\delta^2\text{H}_N$), a voda koja na izvoru istječe nakon događaja je mješavina stare i nove vode ($\delta^2\text{H}_M$). Korištenjem dvokomponentnog modela miješanja vode (EMMA, engl. end member mixing analysis) određuju se udjeli „stare“ (f) i „nove“ vode ($1-f$) u sustavu: $\delta^2\text{H}_M=f\cdot\delta^2\text{H}_S+(1-f)\cdot\delta^2\text{H}_N$.

U periodu uzorkovanja takav događaj zabilježen je samo u lipnju 2020. godine. Za prikaz analize odabran je izvor u Tunelu Učka zato što je kod njega uočena najveća razlika u izotopnom sastavu vode koja je karakteristična za dvokomponentnu struktura istjecanja: bazni tok i brzi tok (tzv. quick flow) (Slika 4.6.13).



Slika 4.6.13. (gore) Razina vode u Tunelu Učka i dnevna oborina na Veljoj Učki. (dolje) Razina vode u Tunelu Učka, izotopni sastav podzemne vode te izotopni sastav kumulativne oborine na Poklonu u periodu 21.5.-30.6.2020.

Na Slici 4.6.13 vidljivo je da je razina vode u Tunelu Učka, prije oborinskog događaja u lipnju 2020., bila stabilna s izotopnim sastavom od približno $-46,8\text{‰}$ što odgovara prosječnoj vrijednosti $\delta^2\text{H}$ za travanj i svibanj 2020. U tom razdoblju nije bilo značajnih oborina i razina vode je bila bez velikih fluktuacija pa tu vrijednost možemo smatrati vrijednošću koja odgovara „staroj“ vodi, odnosno baznom toku. Dana 7.6.2020. na Veloj Učki zabilježena je značajna količina oborine, a izvor u Tunelu Učka uzorkovan je dan kasnije. Razina vode na izvoru je bila niska, a izotopna vrijednost je iznosila $-42,9\text{‰}$. Tu vodu možemo smatrati mješavinom baznog toka i novo-infiltrirane oborine. Niska razina vode može ukazivati na to da izvor još nije u potpunosti „reagirao“ na novu vodu, odnosno da je prava reakcija izvora uslijedila tek dva do tri dana nakon oborine.

Za vrijednost „nove“ vode uzimamo $\delta^2\text{H}$ vrijednost kumulativne oborine koja je obuhvatila nekoliko značajnih oborinskih ulaza (Slika 4.6.13). Kako je najznačajniji oborinski ulaz bio upravo 7.6.2020. možemo pretpostaviti da vrijednost tog događaja dominira u izotopnom sastavu kumulativne oborine ($-37,6\text{‰}$).

Uzevši u obzir gore navedene pretpostavke, izračun pokazuje da je na izvoru u Tunelu Učka dana 8.6.2020. tok istjecanja bio „sastavljen“ od 57,6% vode baznog toka i 42,4% novo-infiltrirane oborine. Kako će razina vode značajno porasti tek idući dan, možemo zaključiti da sustav na novu oborinu prvo reagira tako da se voda cijedi iz pukotina krške matrice, a da se krški kanali aktiviraju nešto kasnije.

Za detaljniju i precizniju analizu ovakvih mehanizma istjecanja bilo bi potrebno provesti češće uzorkovanje podzemne vode i odvojeno uzrokovanje pojedinih kišnih događaja.

5. Zaključak i prijedlog daljnjih istraživanja

Predmetni dokument sadrži po prvi puta sustavno sistematizirane i analizirane podatke o hidrološkim značajkama nekoliko izvorišta vodoopskrbe na području visokog dijela planinskog masiva Učke, a kojima operativno upravljaju Liburnijske vode. Radi se o izvorima u Tunelu Učka, izvorima Vela Učka, Mala Učka i Rečina te grupi izvora Sredić čije se vode prikupljaju u vodospremi Perun. Njihova se eksploatabilna srednja izdašnost kreće oko 60-70 L/s, a tijekom pojedinih mjeseci s povoljnim hidrološkim prilikama i do 100 L/s. Iako se tijekom iznimno dugotrajnih ljetnih sušnih razdoblja ukupna izdašnost tih izvora značajnije smanji čak i na 40-50 - tak L/s, iznimno i niže, izvori na Učki imaju velik vodoopskrbni značaj. Razlog tome je činjenica da se radi o izvorima koji se prihranjuju s visokog masiva Učke koji je relativno dobro izoliran od bilo kojih antropogenih utjecaja u slivu (osim dijelom izvora u Tunelu Učka koji su osjetljivi na unos onečišćenja s nekoliko lokacija točkastih izvora u slivu) čime osiguravaju dobru kakvoću voda. Uz to, radi se i o izvorima koji osim djelomičnog precrpljivanja sa zahvata u Tunelu Učka, u velikoj mjeri gravitacijski osiguravaju dopremu vode do potrošača. Izvore karakteriziraju povremene pojave velikih mutnoća, posebno one s izraženijom površinskom komponentom dotoka (Rečina) ili pak tečenjem unutar jako karstificiranih pukotinskih sustava (Izvor u Tunelu Učka).

Značajke izvorišta vodoopskrbe posebno su značajne tijekom malovodnih razdoblja. U cilju osiguranja dodatnih saznanja o ponašanju izvora tijekom takvih situacija, provedeno je i modeliranje recesijskih krivulja pražnjenja po modelu Maillet-ove krivulje pražnjenja. Dobivene rezultate moguće je operativno koristiti za prognoze dinamike opadanja izdašnosti pojedinih izvora tijekom dugotrajnih sušnih razdoblja. Za svaki izvor određena je karakteristična recesijska jednadžba pražnjenja $Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$ koja daje ovisnost protoka u vremenu t (Q_t) od protoka na početku razdoblja recesije (Q_0), a gdje je koeficijent α koeficijent pražnjenja/recesije.

Dobivene su slijedeće vrijednosti mjerodavnih koeficijenta recesije po pojedinim izvorima: Tunel Učka -0,012, Mala Učka -0,007, Vela Učka -0,007 (ili - 0,008), Rečina -0,013. Dakle, ukoliko se raspolaže s vrijednošću protoka na nekom od izvora na području Učke tijekom sušnog/recesijskog razdoblja, moguće je prognozirati na koliku bi se vrijednost protoka mogla ona smanjiti, za proizvoljno odabran broj dana, ako se nastavi dugotrajno sušno razdoblje bez značajnijih oborina. Dane modele procjene protoka za npr. 30 i 60 dana unaprijed moguće je integrirati u postojeći telemetrijski sustav monitoringa na način da se za recesijska razdoblja kod pojedinih izvora počinju pratiti od pojave situacija prestanka njihova prelijevanja. U tim situacijama trenutni protoci, koji imaju karakter zahvaćenih količina vode, tretiraju se kao početna vrijednost protoka Q_0 , te se ovisno o tome o kom se izvoru radi, regresijskoj jednadžbi pridružuje odgovarajući koeficijent recesije koji se množi s brojem dana za kojega želimo dobiti procijenjenu vrijednost protoka.

Na taj način moguće je operativno procjenjivati smanjenje izdašnosti izvora tijekom sušnih razdoblja za koja se procjenjuju da će se u uvjetima nastavka prisutnih recentnih manifestacija klimatskih promjena/varijacija, u budućnosti još intenzivirati. Klimatske promjene predstavljaju veliki izazov za upravljanje korištenjem ovih izvora, pri čemu je sretna okolnost

da su svi spomenuti izvori uključeni u telemetrijski sustav te da je osigurano arhiviranje njihovih podataka.

Provedene analize pokazale su da se prilikom sustava telemetrijskog monitoringa javljaju i pojedine vrijednosti koje iskaču i za sveukupnu interpretaciju stanja potrebno je njihovo prepoznavanje i selekcioniranje, kako bi u završne obrade ušle samo pouzdane vrijednosti. Stoga bi bilo korisno da se po isteku kalendarske godine provedu primarne obrade osmotrenih podataka o razinama vode, zahvaćenim količinama i mutnoćama, te analogno obradama u predmetnom dokumentu sakupljaju informacije o značajkama vodnog režima pojedinih izvora.

Praćenje izotopnog sastava oborine i podzemne vode trajalo je u razdoblju od srpnja 2019. do srpnja 2020. godine.

Za oborinu je uočeno slijedeće:

- izotopni sastav oborine pokazuje sezonalne oscilacije s višim vrijednostima u toplom i nižim vrijednostima u hladnom dijelu godine;
- odnos $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ vrijednosti oborine u hladnom dijelu hidrološke godine (listopad-ožujak) pokazuje Mediteransko porijeklo oborine koja dominantno prihranjuje izvore na području Učke;
- za izotopni sastav oborine utvrđeno je postojanje visinskog učinka (smanjenje udjela težeg izotopa u oborini s porastom visine) od $-0,2\text{‰}$ / 100 m za kisik te $-1,1\text{‰}$ / 100 m za vodik.

U podzemnoj vodi promatranih izvora izotopni sastav nije pokazao značajne sezonalne oscilacije. To je najvjerojatnije posljedica toga što je topli dio 2019. hidrološke godine (travanj – rujan) u kojem je češća „pozitivnija“ oborina, obilježila mala količina kiše, a jedini značajniji događaj (srpanj 2020.) je imao izotopnu vrijednost sličnu izotopnoj vrijednosti podzemne vode. Odnos $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ vrijednosti u podzemnoj vodi ukazuje na to da se promatrani izvori dominantno prihranjuju u hladnom dijelu hidrološke godine, oborinom mediteranskog porijekla.

Zbog kratkog trajanja monitoringa i za krš relativno rijetkog uzorkovanja stabilnih izotopa u oborinama i izvorskoj vodi, dobiveni su polazni pokazatelji vezani uz dinamiku izmjene voda te su procijenjene srednje visine prihranjivanja pojedinih izvora.

Izvor u Tunelu Učka

- Izražen dvokomponentni sastav podzemne vode: voda baznog toka istječe u periodima bez značajnih oborinskih ulaza. Tok kroz široke krške kanale se aktivira nakon jakih oborinskih ulaza, što je posebice izraženo ako je velika oborina uslijedila nakon dužeg sušnog razdoblja.
- Električna vodljivost, temperatura i tvrdoća vode potvrđuju miješanje vode iz različitih dijelova vodonosnika.

- Postojanje baznog toka ukazuje na veliko područje prihranjivanja, dobro miješanje različitih komponenti vode (vode iz različitih dijelova vodonosnika), a time i na duže prosječno zadržavanje vode u podzemlju u odnosu na ostale promatrane izvore.
- Prosječna visina prihranjivanja procijenjena je na 1160 m nadmorske visine.
- Analiza izdvojenog hidrološkog događaja ukazuje na to da sustav u Tunelu Učka na intenzivnu oborinu prvo reagira tako da se voda cijedi iz pukotina krške matrice, a da se krški kanali aktiviraju nešto kasnije.

Izvor Vela Učka

- Kod ovog izvora uočene su najniže izotopne vrijednosti podzemne vode što ukazuje na više prosječno područje prihranjivanja od ostalih promatranih izvora.
- Prosječna visina područja prihranjivanja je procijenjena na 1270 m nadmorske visine.
- Izotopni sastav podzemne vode slabo reagira na oborinske ulaze što ukazuje da na istjecanje vode dominantan utjecaj ima pražnjenje malih pukotina.
- Bez izraženog prisustva komponente brzog toka što sugerira da u području prihranjivanja nema značajnih širokih krških kanala.
- Veliki skokovi u temperaturi vode, niska električna vodljivost i tvrdoća vode potvrđuju kratak put infiltracije oborina i kratko vrijeme zadržavanja vode u podzemlju bez značajnih vodnih zaliha.

Izvor Mala Učka

- Nešto jače izražena brza komponenta istjecanja u odnosu na Velu Učku, sugerira veću okršenost zaleđa ovog izvora.
- Nema izražene komponente baznog toka što ukazuje na to da nema značajnih vodnih zaliha.
- Procijenjena prosječna visina prihranjivanja na 1160 m nadmorske visine.

Izvor Rečina

- Najjača reakcija izotopnog sastava na oborinske ulaze među svim promatranim izvorima najvjerojatnije je posljedica izražene površinske komponente dotoka.
- Nema izražene komponente baznog toka što ukazuje na to da nema značajnih vodnih zaliha.
- Najveće variranje izotopnog sastava među promatranim izvorima ukazuje na najslabije miješanje vode različitog porijekla (npr. različitih oborinskih događaja), a time i na najkraće zadržavanje vode u podzemlju.
- Procijenjena prosječna visina prihranjivanja na 1050 m nadmorske visine.

Provedenim inicijalnim analizama utvrđen je osnovni režim prihranjivanja i izmjene voda pojedinih izvora. Pri tome je zbog svog položaja unutar masiva Učke specifičan izvor u Tunelu

Učka. Radi se o izvoru koji u odnosu na ostale izvore (izuzev Rečine) ima značajnije varijacije u režimu otjecanja, ali u pravilu i najstariju vodu iz razloga što je najdulji put do njihove drenažne baze u podzemlju. No, nije za očekivati da bi se u podzemlju ovog izvora, a ni ostalih analiziranih, mogle nalaziti veće rezerve podzemnih voda. Posebno se to odnosi na izvore Rečina i Vela Učka, dok izvor Mala Učka pokazuje mogućnost da se radi o složenom izvorištu koje nešto dulje zadržava rezerve podzemnih voda.

Korisnim se procjenjuje nastavak praćenja sadržaja stabilnih izotopa u kišnici i izvorskim vodama. Preporučuju se učestalija uzorkovanja s posebnim naglaskom na izdvojene hidrološke događaje. Tako bi se mogle analizirati i situacije s naglašenijim razlikama izotopnog sastava oborina i podzemnih voda čime bi se dobili dodatni i precizniji podaci o vremenu zadržavanja i izmjeni podzemnih voda.

6. Literatura

- Arbos, d.o.o. (2019): Speleološka istraživanja podzemnih sustava povezanih sa zahvatom u tunelu Učka (voditelj radova Jekić, M.). Fond stručne dokumentacije, Pazin.
- Brkić, Ž., Kuhta, M., Hunjak, T. (2018): Groundwater flow mechanism in the well-developed karst aquifer system in the western Croatia: Insights from spring discharge and water isotopes. *Catena*, 161, 14–26. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.011>
- Clark, I., Fritz, P. (1997): *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, SAD.
- Craig, H. (1961): Isotope variations in meteoric waters. *Science* 133, 1702-1703.
- Cruz San Julian, J., Araguas, L., Rozanski, K., Cardenal, J., Hidalgo, M.C., Garcia Lopez, S., Martinez Garrido, J.C., Moral, F., Olias, M. (1992): Sources of precipitation over South-Eastern Spain and groundwater recharge. An isotopic study. *Tellus* 44B, 226–236.
- Dansgaard, W. (1964): Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16(4), 436-468.
- DHMZ (2002): Meteorološka podloga za vodnogospodarsku osnovu Hrvatske (Voditelj zadatka: Gajić-Čapka, M.). Zagreb, nepublicirano.
- Fritz, P., Fontes, J.Ch. (Ur.) (1980): *Handbook of environmental isotope geochemistry*. Elsevier Scientific Pub. Co.
- Gat, J.R. (2006): Some classical concepts of isotope hydrology. U: Aggarwal, P.K., Gat, J.R., Froehlich, K.F.O. (Ur.) *Isotopes in the water cycle: Past, present and future in a developing science*, Springer, 127-137.
- Gat, J.R., Carmi, I. (1987): Effect of climate changes on the precipitation patterns and isotopic composition of water in a climate transition zone: Case of the Eastern Mediterranean Sea area. U: Solomon, S.I., Beran, M., Hogg, W. (Ur.): *The influence of climate change and climatic variability on the hydrologie regime and water resources*, IAHS Publ. no. 168, 513-523.
- Geoqua (2005): Vodoistražni radovi na području karbonatnog vrha Učke (nos. zad. Munda, B., Trutin, M., Matić, N., Kotaran Munda, M.).— Fond struč. dok., Zagreb
- Geoqua (2013): Novelacija elaborata i nacrt prijedloga izmjene i dopune Odluke o zonama sanitarne zaštite izvorišta vode za piće na području Liburnije i zaleđa (nos. zad Munda B.), Fond stručne dokumentacije, Zagreb.
- Geološki konzalting (2003): Vodoistraživački radovi na izvorištu Leskovac na Učki (nos Golubić, S). Fond struč. dok. Geološki konzalting, Zagreb.
- Građevinski fakultet u Rijeci (2005): Vodni resursi i značajke kopnenih voda Istre u sušnim razdobljima (nos zad. Rubinić, J.), Fond stručne dokumentacije, Rijeka.
- Grimmeisen, F., Lehmann, M. F., Liesch, T., Goeppert, N., Klinger, J., Zopfi, J. & Goldscheider, N. (2017): Isotopic constraints on water source mixing, network leakage and contamination in an urban groundwater system. — *Sci. Total Environ.*, 583, 202–213.

- Horvatinčić, N., Groening, M., Mikulić, N., Obhodaš, J., Valković, V. (2000): Investigation of groundwater infiltration to seawater in Punat Bay, Croatia, by measurements of conductivity and stable isotopes in water, *Acta Carsologica* 29 (1), 93-105
- IAEA (2009): Reference Sheet for VSMOW2 and SLAP2 international measurement standards. http://nucleus.iaea.org/rpst/Documents/VSMOW2_SLAP2.pdf, pristupljeno: kolovoz 2013.
- IAEA (2019): http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/documents/other/gnip_manual_v2.02_en_hq.pdf. Pristup: lipanj 2019.
- IAEA (2020): http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/documents/other/laser_procedure_rev12.PDF. Pristup: travanj 2020.
- IGI (1986): Vodoistražni radovi na izvorima Vela i Mala Učka (nos. zadatka Biondić B. i Dukarić F.) Fond stručne dokumentacije, Zagreb.
- IGI (1999): Zaštitne zone izvorišta pitke vode na padinama Učke (nos. zad. Dukarić F., Biondić R. i Biondić B.). Fond stručne dokumentacije, Zagreb.
- IGI (2004): Hidrogeološka istraživanja na području izvora Leskovac na Učki (nos. zad. Kuhta, M.), Fond stručne dokumentacije, Zagreb.
- IGI (2004): Granični vodonosnici Hrvatske i Slovenije između Kvarnerskog i Tršćanskog zaljeva, Izvješće II. faze istraživanja, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, izvještaj.
- Kostelac, M. (2009): Povijest Liburnijske vodoopskrbe i odvodnje. Komunalac d.o.o., Opatija.
- Krešić, N. (1991): Kvantitativna hidrogeologija karsta sa elementima zaštite podzemnih voda. Beograd, Naučna knjiga.
- Langbein, W.B. (1962): The Water Supply of Arid Valleys in Intermountain Regions In Relation to Climate, *IAHS Bull.*, Vol.7/1.
- Maillet, E. (1905): *Essais d'Hydraulique Souterraine et Fluviale*. Paris: Herman.
- Mance, D. (2014): Karakterizacija krškog vodonosnika temeljena na prostornim i vremenskim promjenama stabilnih izotopa vodika i kisika. PhD Thesis, Faculty of Science, University of Zagreb, 124 p.
- Mance, D., Hunjak, T., Lenac, D., Rubinić, J., Roller-Lutz, Z. (2014): Stable isotope analysis of the karst hydrological systems in the Bay of Kvarner (Croatia). – *App. Radiat. Isotopes*, 90, 23–34.
- Mance, D., Mance, D., Vukić Lušić, D. (2018a): Environmental isotope ^{18}O in coastal karst spring waters as a possible predictor of marine microbial pollution. – *Acta Adriat.*, 59/1, 3–15.
- Mance, D., Mance, D., Vukić Lušić, D. (2018b): Marine Pollution Differentiation with Stable Isotopes of Groundwater. – *Pomorstvo*, 32/1, 80–87.

- McGuire, K., McDonnell, J.J. (2006): A review and evaluation of catchment transit time modeling. *Journal of Hydrology*. 330: 543-563.
- Mook, W.G. (Ur.) (2001): *Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle: Principles and applications*. Technical documents in Hydrology, Pariz: UNESCO/IAEA.
- Mrak, E., Dorčić, D., Keks, V., Turković – Juričić, A., Dorčić, V. (2005): Vodoopskrba i sanitarna odvodnja Liburnijsk rivijere i zaleđa. U: Zborniku radova *Prošlost, sadašnjost i budućnost vodoopskrbe i odvodnje* (ur. Linić, A.), 133-147.
- Odluka o zaštiti izvorišta na području Liburnije i zaleđa. Sl. novine Primorsko goranske županije (39/2014)
- Palmer, A.N. (2010): Understanding the hydrology of karst. – *Geol. Croat.*, 63/2, 143–148.
- Roller-Lutz, Z., Mance, D., Hunjak, T., Lutz, H.O. (2013): On Isotopic Altitude Effect of Precipitation at the Northern Adriatic (Croatia). U: *Isotopes in Hydrology, Marine Ecosystems and Climate Change IAEA*, 99-105.
- Rubinića, A. (2004): Hidrološka analiza vodnih pojava na području Parka prirode Učka s primenom GIS-tehnologije. Diplomski rad. Građevinski fakultet u Rijeci, Rijeka.
- Sahra, (2013): *Isotopes and Hydrology*. <http://web.sahra.arizona.edu/programs/isotopes/oxygen.html>, pristupljeno: srpanj 2013.
- Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u RH (NN 46/20)
- Turc, L. (1954): Le bilan d'eau des sols, relation entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement, *Troisièmes journées de l'hydraulique à Alger*.
- Urumović K., Duić, Ž., Hlevnjak, B. (2009): Hidrogeološko značenje koeficijenta recesije na primjeru istarskih izvora. *Rudarsko-geološko naftni zbornik* 21, 25-34.
- Vreča, P., Krajcar-Bronić, I., Horvatinčić, N., Barešić, J. (2006): Isotopic characteristics of precipitation in Slovenia and Croatia: Comparison of continental and maritime stations, *Journal of Hydrology* 330, 457-469.
- Werner, R.A., Brand, W.A. (2001): Referencing strategies and techniques in stable isotope ratio analysis, *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 15, 501-519
- <http://www.liburnijske-vode.hr/web/daljinsko-upravljanje-i-odrzavanje.html> (Pristup: listopad 2020.)