

Određivanje podrijetla krških izvorskih voda zapadne Hercegovine i južne Dalmacije na temelju prirodnih i umjetnih trasera

Filipović, Marina

Doctoral thesis / Disertacija

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:484372>

Rights / Prava: [Attribution-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Marina Filipović

**ODREĐIVANJE PODRIJETLA KRŠKIH
IZVORSKIH VODA ZAPADNE
HERCEGOVINE I JUŽNE DALMACIJE
NA TEMELJU
PRIRODNIH I UMJETNIH TRASERA**

DOKTORSKI RAD

Mentori:

Dr. sc. Josip Terzić
Prof. dr. sc. Igor Vlahović

Zagreb, 2023.



University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Marina Filipović

**DETERMINATION OF THE WESTERN
HERZEGOVINA AND SOUTHERN
DALMATIA KARST SPRING WATER
ORIGIN BASED ON
NATURAL AND ARTIFICIAL TRACERS**

DOCTORAL THESIS

Supervisors:
Josip Terzić, Ph. D.
Professor Igor Vlahović, Ph. D.

Zagreb, 2023.

Mentori:

Dr. sc. Josip Terzić

Znanstveni savjetnik u Hrvatskom geološkom institutu

Dr. sc. Igor Vlahović

Redoviti profesor u trajnom zvanju na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu

Mojoj mami.

Od srca zahvaljujem svima koji su na bilo koji način pridonijeli izradi ovog rada:

...mentoru dr. sc. Josipu Terziću na primjedbama i prijedlozima koji su poboljšali kvalitetu rada, na usmjeravanju, prenesenom znanju i brojnim konstruktivnim savjetima tijekom izrade rada, a posebno na prijateljstvu i velikoj podršci od mog dolaska u Institut,

...mentoru prof. dr. sc. Igoru Vlahoviću na prihvaćanju mentorstva, brojnim savjetima i sugestijama koji su poboljšali kvalitetu doktorskog rada,

...članovima povjerenstva izv. prof. dr. sc. Željku Duiću, dr. sc. Jasmini Lukač Reberski i izv. prof. dr. sc. Jeleni Parlov na korisnim sugestijama i pomoći kako bi se rad dodatno poboljšao,

...svim hidrogeolozima koji su sudjelovali u prikupljanju podataka – Josipu, Jasmini, Tihomiru, Ivani, Hrvoju, Tomislavu, Andreju, Ani, Mirji, a posebno Matku i mojoj Ivoni na najljepšim terenima,

...kolegicama dr. sc. Tamari Marković i dr. sc. Maji Briški na provedenim laboratorijskim analizama,

...svim kolegama iz Instituta, a posebno kolegici Jasmini na brojnim savjetima pri izradi doktorskog rada i pomoći prilikom izrade članka, cimeru Tihomiru na pomoći kod definiranja teme rada i brojnim sugestijama i pomoći prilikom izrade disertacije i znanstvenog rada te mojim inženjercima Iris i Vlatku na svim savjetima tijekom studiranja, ugodnoj radnoj atmosferi i prijateljstvu,

...mojim curama s kave, na ljubavi i šačici razgovora,

...kolegi Ivanu Antunoviću na poslanim elaboratima,

...mojoj velikoj obitelji i svim mojim Antolovićima, a posebno Jelenku, Ani i Mariji na pomoći tijekom studiranja, i mojoj Veci na slušanju i bezuvjetnoj ljubavi,

...svojim najdražim dečkima: Antonu i Mateju, na velikoj podršci i razumijevanju i mojoj maloj djevojčici Leni koja će sigurno biti sretna što će mama moći više vremena provoditi s njom.:)

Sažetak

Kompleksni hidrogeološki slijevni sustav južne Dalmacije i zapadne Hercegovine površine preko 2300 km², predmet je dugogodišnjih hidrogeoloških istraživanja, koja su detaljno analizirana za potrebe izrade ovog doktorskog rada. No, ranija istraživanja nisu uključivala istodobno praćenje većeg broja izvora u obje države kako bi se odredilo podrijetlo izvorskih voda ovoga područja. U dosadašnjim istraživanjima sljevovi pojedinih izvora su se preklapali u velikoj mjeri, što je ukazalo na potrebu za delineacijom, što ujedno predstavlja temelj za mnogobrojne hidrogeološke analize poput određivanja zaliha podzemnih voda, izrade karata ranjivosti ili izrade karata poplavnih hazarda, izračuna vodne bilance. Isto tako, po prvi su put obavljena i istraživanja stabilnih izotopa kisika 18 ($\delta^{18}\text{O}$), deuterija ($\delta^2\text{H}$) i sumpora 34 ($\delta^{34}\text{S}$), kako bi se odredila starost vode te podrijetlo povišenih koncentracija sulfatnih iona.

Hidrogeološka istraživanja trajala su od rujna 2013. godine do rujna 2020. godine i uključivala su primjenu više različitih metoda, što je rezultiralo novim saznanjima o ovom krškom podzemnom sustavu i njegovoj interakciji s oborinama, površinskom i morskom vodom. Na terenu su automatskim mjerачima mjereni temperatura, elektrolitička vodljivost i razine podzemne vode, mjereni su protoci na nekoliko lokacija te su *in situ* mjereni fizikalno-kemijski pokazatelji. Uzorci podzemne i površinske vode prikupljeni su na 31 lokaciji za laboratorijsko određivanje ionskog sastava. Rađena je i analiza stabilnih izotopa kisika 18 ($\delta^{18}\text{O}$), deuterija ($\delta^2\text{H}$) i sumpora 34 ($\delta^{34}\text{S}$) u različitim hidrološkim uvjetima, kako bi se protumačile i sezonske promjene. Na terenu je provedeno i simultano trasiranje dvama traserima te su prikupljeni podaci o oborinama i protocima te mikrobiološkim pokazateljima.

Rezultati su ukazali kako je najveći dio područja napajanja u zapadnoj Hercegovini, manji dio u neposrednom zaleđu, a konačna zona istjecanja u južnoj Dalmaciji. Ukazano je i kako voda većinski prolazi kroz karbonatne naslage, a prema rezultatima analize stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ djelomično i kroz evaporitne stijene permotrijaske starosti. Rezultati ukazuju i kako se vodonosnik obnavlja s oborinskom vodom te se radi o izrazito mladoj vodi, na brzo dreniranje zbog izrazite okršenosti terena, i na moguće antropogene izvore u vodi (gnojiva, otpadne vode). Delineirano je šest podsljevova ili utjecajnih površina, što je i prikladniji opis, jer se podzemne vode u nekim hidrološkim uvjetima dokazano kreću preko naznačenih granica.

Ključne riječi: delineacija, slijev, krš Vanjskih Dinarida, krški izvor, karbonatne stijene, evaporitne stijene

Abstract

The complex hydrogeological transboundary catchment of Southern Dalmatia and Western Herzegovina, located in two neighbouring countries, Croatia and Bosnia and Herzegovina, covers an area of 2300 km². In addition to numerous previous hydrogeological studies, a new research was carried out from September 2013 to September 2020 for the purpose of this thesis. During this period monthly sampling of five spring and surface water locations in Western Herzegovina, 20 locations of spring and surface water in Southern Dalmatia and six locations of spring and surface water at Baćina lakes was performed. Additional research included hydrogeological mapping, a simultaneous tracing experiment (on September 30th and October 2nd, 2014), and stable sulphur $\delta^{34}\text{S}$ analyses from SO_4^- ions in water samples, taken during hydrological maximum (April) and minimum (October) of 2019 at ten locations.

The study area is composed of sedimentary rocks of Permian, Triassic, Jurassic, Cretaceous, Palaeogene, Neogene and Quaternary ages. The oldest, Upper Permian rocks have been tectonically uplifted to the surface through diapirism and reverse faulting N of the studied catchment area and consist of evaporitic rocks with some carbonate and clastic rocks (sandstones and marls) interbeds. Hydrogeologically they could potentially represent a barrier to groundwater flows, but since they occur outside of the study area they do not influence hydrogeological relationships. However, a very locally restricted diapir in the northern part of the study area as well as extraordinary high sulphur concentrations at some locations indicate probable diapiric uplifts also in the studied area. Triassic deposits, in large part composed of dolomites, form partial barriers to water circulation within the study area. Jurassic rocks, dolomites and limestones. Cretaceous deposits, mostly composed of bedded to massive limestones with rare dolomites prevail in this area. Palaeogene and Neogene deposits consist of a wide range of lithologies, but clastic rocks (mostly sandstones and marls) predominate, especially Eocene flysch deposits which have a diverse impact on groundwater movement. Quaternary deposits cover numerous karst poljes, as well as areas along streams and rivers. The most permeable rocks in the study area are Mesozoic limestones and dolomites, while the least permeable rocks belong to flysch and Quaternary deposits.

A complex underground conduit system and extreme karst forms heterogeneity are typical for the study area, characterised by very variable relief from mountains and hilly parts, river valleys and karst poljes to the Adriatic coast. The study area can be divided into five or six hypsometric levels. The first or the lowest level is the discharge zone almost at the sea level.

This zone extends from Gradac and the nearby coastal karst spring Mandina Mlinica, across the Baćina Lakes and the Klokun 1 spring to the Neretva River valley and its marginal karst springs Prud, Modro oko, Čeveljuša, and several smaller springs. Vrgoračko polje is part of the second level (25 m a.s.l.) and Rastok polje of the third level (70 m a.s.l.). The fourth level includes springs in the Trebižat–Mlade–Tihaljina River valley in Bosnia and Herzegovina (120–180 m a.s.l.), while the fifth level, the highest one, stretches across the Imotski–Bekija polje (260 m a.s.l.). In the northwestern part, the fifth level comprises the wider area of the Posuško polje (570–620 m a.s.l.), but the highest part of the area around the Rakitno polje (900 m a.s.l.) could be separated as the sixth level.

The study area is abundant in high-quality spring water, of which only a small amount is used for public water supply. Over a hundred temporary and permanent karst springs occur in the area with annual discharge of the largest springs (Klokun 1, Butina, Modro oko, Borak, Vrelo Tihaljine, Prud, Opačac, Klokun 2) ranging from 1.5 to over 10 m³/s. Rivers Ričina, Suvaja, Sija, Vrljika, Tihaljina, Sita, Mlade and Trebižat actually represent the same river characterized by repeated springing, flowing on the surface, sinking, and underground stream sections, along its 106 km long course from the highest spring to its confluence with the Neretva River. Most of the surface waters in the area flow towards the Neretva River, but part of groundwaters flow southwards. The recharge zone of this large catchment area is predominantly in Bosnia and Herzegovina, whereas the final discharge zone is along the Croatian coast and Neretva River valley.

During the study for this thesis an integrated hydrogeological map of the whole catchment area has been made by combining four basic geological maps and attributing specific hydrogeological characteristics to all geological units. Furthermore, further delineation of the catchment boundaries and the catchment area was performed, which is an extremely complex task in the karst areas. In order to define external and internal boundaries of such a large and complex catchment area different methods were used, including detailed study of all available geological and hydrogeological data, hydrogeochemical properties of individual springs, hydrological data, and tracing tests data combined with water balance calculated in previous reports.

Out of a large number of reviewed studies and published papers on the study area very few of them included the simultaneous monitoring of a large number of springs in both countries. In addition, a simultaneous tracer test was carried out for the purpose of this thesis.

Since some of the previously determined groundwater connections confirmed by tracing experiments were cutting previously defined groundwater boundaries within some of the subcatchments, it became evident that a new definition of some subcatchments should be introduced.

Up to now there were no research of stable isotopes of oxygen 18 ($\delta^{18}\text{O}$), deuterium ($\delta^2\text{H}$) and sulphur 34 ($\delta^{34}\text{S}$) within the study area. Those natural stable isotopes are especially important for the determination of the water age and origin, especially in areas where artificial tracing is not feasible at the scale of the regional catchments. Moreover, as evaporite diapirs crop out in the vicinity of the study area and increased levels of sulphur were determined at some studied locations, it was assumed that some diapirs exist in the shallow underground of the research area in contact with groundwater paths, enriching Southern Dalmatia and Western Herzegovina groundwater with sulphate ions. Hence, for the first time in the study area, stable $\delta^{34}\text{S}$ isotopes from sulphate ions in water samples were analysed to determine their origin.

Therefore, the conducted hydrogeological investigations of the studied large catchment area were carried out using several methods to fulfil all the objectives of this thesis. The methods used included: 1) measurements of various water parameters, such as temperature, electrolytic conductivity, and water level measurements with automatic loggers, 2) in situ measurements of physico-chemical parameters, 3) water sampling and laboratory analyses for the determination of the ion composition, 4) analyses of $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{34}\text{S}$ stable isotopes, 5) flow measurements, 6) simultaneous tracing with artificial tracers, and 7) collection of available data on precipitation, discharge and microbiological parameters.

Delineation of a large and complex karst catchment into six subcatchments from which surface and groundwater flow in different directions was the main result of this thesis. Subcatchments are defined according to their specific geological setting and hydrogeological relations, but their boundaries should not be considered as strict water divides because groundwater or surface water may intersect them during different hydrological conditions. Yet, they are fundamental for water balance calculations and estimating influence on even distant karst springs. Furthermore, new term redefining subcatchments as *influential areas* was introduced. The proposed term can be used for the description of comparable large karst catchments characterised by interaction between subcatchments. In such subcatchments groundwater fluctuates depending on the water table levels affected by changes in precipitation. Given the hydrogeological conditions during late winter and spring, when the snow melts and

precipitation significantly increases, groundwater often discharges across the defined boundaries. Therefore, the term subcatchment in this case, as in most of the Dinaric karst terrains, can only be used tentatively for easier understanding of the topic, while the term influential area could be far more appropriate.

Results of stable $\delta^{34}\text{S}$ isotopes composition from the measured sulphate ions were compared with the Permian evaporites $\delta^{34}\text{S}$ isotope curves from the literature, which supports the possible sulphate ions origin from permian evaporites in Western Herzegovian and Southern Dalmatian groundwaters. Since the main recharge area of the studied large system is located in Western Herzegovina and the final discharge zone in Southern Dalmatia, the groundwater mostly passes through karstified carbonate rocks prevailing in the entire area, but is probably partly influenced by underground deposits of evaporite rocks that were probably uplifted close to the surface in the form of diapirs. Results of stable isotops analyses of sulphur from the sulphate ion in different hydrological conditions indicate a rapid reaction of the system to precipitation and mixing of dissolved sulphate from evaporites (mostly gypsum) with rainwater and possibly polluted water (sewage water).

The presented comprehensive hydrogeological study has shown that the studied system has a zone of underground and surface runoff (sometimes intertwined) between the the Neretva River valley and hydrogeological barrier of flysch deposits along the Adriatic coast. Furthermore, research indicated that most of the studied major springs recharge from the same aquifer in their hinterland. Higher concentrations of sulphate ions in several springs of the Southern Dalmatia also indicate recharging from more distant areas – mainly W and N of Trebižat–Mlade–Tihaljina River, where evaporite rocks are cropping out and where the domination of sulphate ions in water was documented. Seawater impact was recorded in some coastal springs and surface waters, indicating fresh–seawater interaction. Such springs are located closer to the flysch barrier edge, in contact with permeable carbonates. Further to the east, the effect of underground penetration of the seawater decreases. In addition, multivariate mathematical cluster analysis of hydrogeochemical data shows two main clusters within the system, lithochemical cluster and marine cluster, while multivariate mathematical factor analysis separated three factors – seawater influence factor, carbonates and evaporates dissolution factor, and biological/chemical reactions factor. Determined three main hydrochemical facies within the investigated area (calcium–hydrogen carbonate facies, calcium–sulphate/hydrogen carbonate facies, and sodium–chloride facies) reflect the chemical response of lithology and groundwater flow pattern.

Physico-chemical parameters of spring waters indicate shorter water retention time and domination of conduit flow, whereas recession curve analysis indicates rapid drainage of the aquifer due to immense karstification. Time-series data (cross-correlation analysis) indicates a rapid response to precipitation. All aforementioned analyses provided insight into the main aquifer characteristics and represented a basis for the interpretation of $\delta^{34}\text{S}$ stable isotope data.

Obtained results could improve the quality of the establishment of sanitary protection zones, as the new tracing experiment proved that the groundwater has much higher apparent velocity than considered previously, as well as better management of the, studied and similar transboundary catchments, which can often be challenging due to differences in development and policies between different countries. Thesis could be of great importance for the future management of this transboundary catchment because ensuring high-quality groundwater is crucial for sustainable development and protecting the ecosystem integrity of each country.

In conclusion, the local and regionally important scientific contribution of the Ph.D. Thesis is manifested in:

- (1) Detailed determination of Southern Dalmatia and Western Herzegovina transboundary catchment area hydrogeological properties;
- (2) Newly proposed delineation of the studied large and complex karst catchment;
- (3) Establishing a new classification of subcatchments as influential areas applicable to other complex karst terrains;
- (4) Introducing sulphur $\delta^{34}\text{S}$ stable isotope analysis as an important research methodology for complex karst catchment area of the Outer Dinarides.

Keywords: Delineation, Catchment, Dinaric Karst, Karst Spring, Carbonates, Evaporites

Sadržaj

Sažetak	i
Abstract	ii
Sadržaj	vii
Popis slika	ix
Popis tablica	xiii
1. UVOD	1
1.1. Ciljevi i hipoteze istraživanja	2
2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	4
3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	7
3.1. Geografske i klimatološke značajke	7
3.2. Geološke i geomorfološke značajke	8
3.2.1. Stratigrafski pregled istraživnog područja	11
3.3. Hidrogeološke značajke istraživnog područja	23
4. METODE PRIKUPLJANJA, TEHNIKE MJERENJA I OBRADE PODATAKA	29
4.1. Vodni objekti u slijevu: uspostava opažanja hidrogeološkog sustava južne Dalmacije i zapadne Hercegovine	32
4.2. Hidrogeokemijski parametri	61
4.2.1. Uzorkovanje fizikalno-kemijskih parametara i osnovnih iona te opis laboratorijskih tehnika mjerenja	61
4.2.2. Metode analiza fizikalno-kemijskih parametara i osnovnih iona	64
4.2.3. Stabilni izotopi kisika 18 ($\delta^{18}\text{O}$) i deuterija (δD)	70
4.2.4. Stabilni izotopi sumpora 34 ($\delta^{34}\text{S}$)	72
4.2.5. Mikrobiološki pokazatelji	74
4.3. Podaci dobiveni automatskim mjeracima i podaci o prikupljenim protocima i oborinama	75
4.3.1. Mjesta uspostave istraživanja	75
4.3.2. Metoda analiza podataka	76
4.4. Trasiranja podzemnih tokova u području istraživanja	82
4.4.1. Prethodna trasiranja	82
4.4.2. Umjetni traseri	87
4.4.3. Opis trasiranih objekata	88
4.4.4. Hidrološki uvjeti tijekom trasiranja	89
4.4.5. Opažачka mreža	90
4.4.6. Metode mjerenja koncentracije trasera	91
5. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA	92
5.1. Hidrogeokemijske značajke	92
5.1.1. Rezultati provedenih hidrogeokemijskih analiza	92
5.2. Odnosi među fizikalno-kemijskim parametrima i osnovnim ionima	109

5.3.	Dinamika podzemnog sustava.....	119
5.3.1.	Analiza vodnih valova pomoću hidrograma i kemograma na izvorima Klokun 1 i Prud	119
5.3.2.	Analiza recesija na glavnim izvorima	121
5.3.3.	Odnosi vremenskih serija izvora i površinskih tokova	126
5.3.4.	Odnosi vremenskih serija Baćinskih jezera	130
5.4.	Rezultati trasiranja podzemnih tokova u području istraživanja	133
6.	RASPRAVA.....	138
6.1.	Značenje hidrogeoloških i matematičkih analiza za klasifikaciju vodonosnog sustava pomoću prirodnih trasera	138
6.2.	Određivanje hidrogeoloških parametara vodonosnika za potrebe tumačenja stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ i delineacije slijevnog područja	155
6.3.	Simultano trasiranje umjetnim traserima natrijevim fluoresceinom (uranin) i natrijevim naftionatom u području Vrgoračkog polja.....	159
6.4.	Delineacija slijevnog sustava južne Dalmacije i zapadne Hercegovine korištenjem prirodnih i umjetnih trasera	160
6.5.	Preporuke za unaprjeđenje metodologije prilikom istraživanja ovog i drugih sličnih kompleksnih krših slijevova.....	171
7.	ZAKLJUČAK	174
8.	LITERATURA.....	178
	ŽIVOTOPIS	202
	Prilog 1. Rezultati kemijskih analiza.....	205
	Prilog 2. Mikrobiologija.....	235
	Prilog 3. Stabilni izotopi kisika 18 i deuterija.....	236
	Prilog 4. Faktorski bodovi.....	237
	Prilog 5. Hidrogeološka karta.....	250

Popis slika

Slika 1. Područje istraživanja: (a) na skici Mediteranskog krškog područja (Bakalowicz, 2015) i (b) susjednim državama Hrvatskoj i Bosni i Hercegovini.....	7
Slika 2. Pregledna geološka karta područja istraživanja prema Geološkoj karti SFR Jugoslavije u M 1: 500.000 (Savezni geološki zavod Beograd, 1970).	12
Slika 3. Legenda pregledne geološke karte područja istraživanja prema Geološkoj karti SFR Jugoslavije (Savezni geološki zavod Beograd,1970).	13
Slika 4. Shematizirani prikaz okoliša taloženja gomjopermskog karbonatno-evaporitnog kompleksa: 1 i 1A – karbonatni facijes; 2 i 2A – evaporitno-dolomitni facijes i 3 – klastični facijes. Mjestimično u okolišima 1A i 2 može biti taložen i klastični facijes, a deltna lepeze su mogle biti formirane i u morskom zaštićenom plićaku (što nije prikazano na slici) prema Tišljar (1992).	14
Slika 5. Izdanak gipsa u okolici mjesta Sovići, u blizini rijeke Doljanke. Lijevo je prikazan izdanak uz cestu, dok se desno nalazi detalj izdanka (geološki čekić predstavlja mjerilo).	15
Slika 6. Uzorak šupljikave breče u okolici izvora Donja voda u blizini Posušja.	16
Slika 7. Pregledna hidrogeološka karta područja istraživanja: 1 – naselje; 2 – izvori različitih kategorija; 3 – povremeni izvori različitih kategorija; 4 – rijeka; 5 – lokacija opažanja; 6 – more; 7 – jezero; 8 – naslage naizmjenične propusnosti; 9 – dobro propusne naslage; 10 – srednje propusne naslage; 11 – slabije propusne naslage; 12 – nepropusne naslage; 13 – normalna granica; 14 – pretpostavljena normalna granica; 15 – transgresivna granica; 16 – pretpostavljena transgresivna granica; 17 – rasjed; 18 – pretpostavljeni rasjed; 19 – razlomljena zona; 20 – reverzni rasjed; 21 – pretpostavljeni reverzni rasjed; 22 – os uspravne ili kose antiklinale; 23 – os pretpostavljene uspravne ili kose antiklinale; 24 – os uspravne ili kose sinklinale; 25 – os pretpostavljene uspravne ili kose sinklinale; 26 – os prevrnute antiklinale; 27 – os pretpostavljene prevrnute antiklinale; 28 – os prevrnute sinklinale; 29 – os pretpostavljene prevrnute sinklinale; 30 – normalan rasjed; 31 – desni rasjed; 32 – lijevi rasjed; 33 – državna granica.....	24
Slika 8. Shema korištenih podataka (kao i ostalih podloga koje mogu pridonijeti regionalnim hidrogeološkim istraživanjima ove vrste) prilikom delineacije slijevnih površina.	31
Slika 9. Prikaz točaka opažanja na istraživanom terenu. Točke opažanja prikazane su u Tablici 1.	34
Slika 10. Točke opažanja na Baćinskim jezerima (podaci batimetrijskih mjerenja preuzeti iz Miko et al., 2015). Naziv svih točaka opažanja na Baćinskim jezerima prikazan je u Tablici 1.	35
Slika 11. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara u travnju i listopadu 2019. godine, na jednoj od pritoka rijeke Doljanke u Sovićima.	36
Slika 12. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara u travnju i listopadu 2019. godine na izvoru Donja voda u blizini Posušja.....	37
Slika 13. Točka opažanja, hidrogeokemijskih parametara od studenog 2017. godine do rujna 2020. godine, u Blidinjskom jezeru.....	38
Slika 14. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od studenog 2017. godine do rujna 2020. godine, na izvoru Borak u Širokom Brijegu.	39
Slika 15. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od studenog 2017. godine do rujna 2020. godine, na izvoru Opačac u Prološcu Donjem kod Imotskog.	40

Slika 16. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara u travnju i listopadu 2019. godine, na Grudskom vrilu u Grudama (visoke vode).	41
Slika 17. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od studenog 2017. godine do rujna 2020. godine, na Vrelu Tihaljine u Peć Mlinima.	42
Slika 18. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od studenog 2017. godine do rujna 2020. godine, na izvoru u Klokun 2 kod naselja Klobuk u Bosni i Hercegovini.	43
Slika 19. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od studenog 2017. godine do rujna 2020. godine, na izvoru Vrioštica kod Ljubuškog.	44
Slika 20. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od prosinca 2014. godine do rujna 2020. godine, na izvoru Krenica kod Rastok polja – visoke vode (desno) i niske vode (lijevo).	44
Slika 21. Izvor Banja kod Rastok polja u jami u hidrološkom minimumu (lijevo) i maksimumu (desno).	45
Slika 22. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od prosinca 2014. godine do rujna 2020. godine, iz bušenog zdenca na izvoru Banja.	45
Slika 23. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2016. godine., na izvoru Nuga u Vrgoračkom polju – visoke vode (lijevo) i niske vode (desno).	46
Slika 24. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do rujna 2020. godine i mjerenja protoka tijekom 2014. godine, na izvoru Butina u Vrgoračkom polju.	47
Slika 25. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2015. godine, na izvoru Stinjevac u Vrgoračkom polju.	47
Slika 26. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2015. godine, na izvoru Lukavac u Vrgoračkom polju.	48
Slika 27. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2016. godine, na površinskom toku rijeke Matice u mjestu Staševica.	49
Slika 28. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do rujna 2020. godine te mjerenja automatskim mjeračima tijekom 2014. godine, na izvoru Klokun 1 u Pločama.	50
Slika 29. Vrulja kod izvora Mandina mlinica u vrijeme hidrološkog maksimuma, koja ukazuje veliki dotok slatke vode i njezino prihranjivanje iz zaleđa.	51
Slika 30. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od veljače 2014. godine pa sve do kolovoza 2020. godine., na Mandinoj mlinici u izvoru (lijevo) i kaptaži (desno) u blizini Gradca.	51
Slika 31. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do kolovoza 2020. godine, na izvoru Čeveljuša kod Ploča.	52
Slika 32. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2016. godine, na izvoru Strimen kod mjesta Komin.	53
Slika 33. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do rujna 2020. godine, na izvoru Modro oko koje se nalazi jugoistočno od naselja Banja, neposredno uz granicu sa gradom Metkovićem.	54
Slika 34. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od prosinca 2013. godine i do rujna 2020. godine te mjerenja protoka tijekom 2014. godine, na izvoru Prud zapadno od Metkovića.	55
Slika 35. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2016. godine te mjerenja automatskim mjeračima i protoka tijekom 2014. godine, na Tunelu T2 kojim se višak vode iz Vrgoračkog polja dovodi u Baćinska jezera.	56

Slika 36. Panoramski prikaz jezera Crniševo u Baćinskim jezerima u mjestu Baćina pored Ploča, gdje je obavljan monitoring od rujna 2013. godine pa sve do lipnja 2015. godine.....	57
Slika 37. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2016. godine te mjerenja automatskim mjeračima tijekom 2014. godine na jezeru Oćuša u Baćinskim jezerima u mjestu Baćina kod Ploča.	57
Slika 38. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2016. godine., na izvoru Mindel u Baćinskim jezerima.....	58
Slika 39. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2016. godine te mjerenja automatskim mjeračima i protoka tijekom 2014. godine, na Baćinskim jezerima Tunelu T3 kojim se višak vode iz jezera odvodi u more, u vrijeme niskih voda.	59
Slika 40. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od listopada 2017. godine do rujna 2020., na rijeci Neretvi u Metkoviću.....	60
Slika 41. Hidrokemijski facijesi (Piper, 1994).....	67
Slika 42. Vodostaj rijeke Matice tijekom 2014. godine s naznačenim vodostajem u vrijeme ubacivanja trasera. 90	
Slika 43. Trasirani ponori i točke opažanja.....	91
Slika 44. pH vrijednost vode na izvorima južne Dalmacije i zapadne Hercegovine.....	93
Slika 45. pH vrijednost vode na izvorima južne Dalmacije i zapadne Hercegovine.....	93
Slika 46. Vrijednost temperature vode (°C) na izvorima južne Dalmacije i zapadne Hercegovine.	94
Slika 47. Vrijednost temperature (°C) vode na lokacijama Baćinskih i Blidinjskog jezera.	94
Slika 48. Vrijednost otopljenog kisika (mg/l) u vodi izvora južne Dalmacije i zapadne Hercegovine.	95
Slika 49. Vrijednost otopljenog kisika (mg/l) u vodi na lokacijama Baćinskih i Blidinjskog jezera.	95
Slika 50. Vrijednost elektrolitičke vodljivosti ($\mu\text{S}/\text{cm}$) voda južne Dalmacije i zapadne Hercegovine.....	96
Slika 51. Vrijednost elektrolitičke vodljivosti ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na lokaciji Mandina mlinica izvor i Mindel s najvišim izmjerenim te na jezerima Crniševo i Oćuša po dubini i rijeci Neretvi.	96
Slika 52. Piperov dijagram koji prikazuje tri glavna hidrogeokemijska facijesa: i) kalcijско-hidrogenkarbonatni, ii) kalcijско-sulfatno/hidrogenkarbonatni te iii) natrijsko-kloridni.	98
Slika 53. Indeks zasićenosti (SI) u odnosu na EC s mineralima kalcitom, aragonitom i dolomitom.	99
Slika 54. Varijacija indeksa zasićenosti (SI) gipsa u odnosu na EC u području istraživanja u visokim i niskim vodama.	100
Slika 55. Vrijednosti Fe u uzorkovanim vodama istraživanog područja od rujna 2013.godine do siječnja 2016. godine.	101
Slika 56. Vrijednosti Mn u uzorkovanim vodama istraživanog područja od rujna 2013. godine do siječnja 2016. godine.	102
Slika 57. Vrijednosti Cu u uzorkovanim vodama istraživanog područja od rujna 2013. godine do siječnja 2016. godine.	102
Slika 58. Omjeri stabilnih izotopa δD i $\delta^{18}\text{O}$ uzorkovanih voda u odnosu na Lokalnu meteorsku liniju vode (LMWL) i Globalnu meteorsku liniju vode (GMWL).	103
Slika 59. Mjesečne oscilacije stabilnog izotopa $\delta^{18}\text{O}$ na svim opažanim lokacijama tijekom 2014. godine.	105
Slika 60. Prostorni prikaz medijana vrijednosti koncentracije sulfatnih iona na istraživanom području.	106
Slika 61. Prostorni prikaz svih mjerenih vrijednosti koncentracija sulfatnih iona na istraživanom području.	107

Slika 62. Mikrobiološki pokazatelji u uzorkovanim vodama.....	109
Slika 63. Osnovni korelacijski odnosi između kalcija i sulfatnih iona.....	111
Slika 64. Osnovni korelacijski odnosi između EC i nekoliko osnovnih aniona i kationa.	112
Slika 65. Osnovni korelacijski odnosi između EC i SO ₄ ²⁻ na a) Prudu i b) Klokunu 2 i korelacijski odnosi između Ca ²⁺ i SO ₄ ²⁻ na c) Prudu i d) Klokunu 2.....	113
Slika 66. Dendrogram multivarijantne klusterske analize osnovnih iona svih uzoraka prikupljenih na terenu južne Dalmacije i zapadne Hercegovine.	114
Slika 67. Projekcije rotiranih faktorskih bodova na ravninu prve i druge faktorske osi u dvodimenzionalnom koordinatnom sustavu.....	117
Slika 68. Projekcije rotiranih faktorskih bodova na ravninu prve, druge i treće faktorske osi u trodimenzionalnom koordinatnom sustavu.....	118
Slika 69. Isječak hidrograma i kemograma izvora Klokun 1.	121
Slika 70. Isječak hidrograma i kemograma izvora Prud.....	121
Slika 71. Protoci na Klokunu 1 i Prudu u južnodalmatinskom dijelu slijeva i na površinskom toku Trebižat –Mlade – Tihaljina i podaci o oborinama.	122
Slika 72. Recesijska analiza na postaji Humac na rijeci Trebižat (2012.–2014.).....	123
Slika 73. Recesijska analiza na postaji Klobuk na rijeci Trebižat (2012.–2014.).....	123
Slika 74. Recesijska analiza izvora Klokun 1 (2012.–2014.).....	124
Slika 75. Recesijska analiza izvora Prud (2012.–2014.).....	124
Slika 76. Recesijska analiza izvora Modro oko (1995.–2009.).....	125
Slika 77 Kroskorelacija protoka izvora Prud i Klokun 1 (1.1.2012.–31.12.2016.).....	126
Slika 78. Kroskorelacija protoka izvora Prud i Modro oko (1.1.2005.–31.12.2009.).....	127
Slika 79. Kroskorelacija protoka površinskog toka rijeke Trebižat–Mlade– Tihaljina na točkama opažanja Klobuk i Humac (1.1.2012.–31.12.2014.).....	128
Slika 80. Kroskorelacija protoka površinskog toka rijeke Trebižat–Mlade– Tihaljina na točki opažanja Klobuk i izvora Prud (1.1.2012. – 31.12.2014.).....	128
Slika 81. Kroskorelacijska funkcija protoka na izvorima Klokun 1 i Prud s oborinom na meteorološkoj postaji Ploče.....	129
Slika 82. Kroskorelacijska funkcija površinskog toka rijeke Trebižat–Mlade–Tihaljina, na točkama opažanja Humac i Klobuk s oborinom na postaji Humac.....	130
Slika 83. EC u jezerima Crniševo i Oćuša na različitim dubinama.....	131
Slika 84. Kolebanje razine mora i razine jezera mjerene automatskim mjeračima na ulazu (Tunel T2) i izlazu iz Baćinskih jezera (Tunel T3). Zelenim pravokutnicima su naznačena dva razdoblja razina korištena prilikom analiza.....	132
Slika 85. Kroskorelogram satnih podataka plime i oseke i razina Baćinskih jezera na Tunelu T3 u razdoblju niskih voda.....	132
Slika 86. Krivulja koncentracije uranina dobivena laboratorijskim mjerenjem i terenskim fluorometrom na izvoru i kaptaži Mandina mlinica.....	134
Slika 87. Krivulja koncentracije uranina dobivena laboratorijskim mjerenjem i terenskim fluorometrom na izvoru Klokun 1.....	135

Slika 88. Krivulja koncentracije uranina na izvoru Oćuša (laboratorijska mjerenja).....	135
Slika 89. Krivulja koncentracije uranina na izvoru u Tunelu T2 (laboratorijska mjerenja).....	136
Slika 90. Krivulja koncentracije naftionata na izvoru Klokun 1 (terenski fluorometar).	137
Slika 91. Krivulja koncentracije naftionata na izvoru u Tunelu T2 (laboratorijska mjerenja).	137
Slika 92. Vrijednosti stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ područja istraživanja nanešene na krivulju vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ gornjeg perma i trijasa koju su objavili Bernasconi et al. (2017). Crvenom elipsom naznačeni su uzorci vode u visokim vodama, a plavom su elipsom naznačeni uzorci u niskim vodama.....	145
Slika 93. Varijacije $\delta^{34}\text{S}$ u odnosu na $1/\text{SO}_4$ (l/mmol) voda južne Dalmacije i zapadne Hercegovine na dijagramu prema prema Pu et al. (2012). OE – otapanje evaporita, AI – antropogeni utjecaj (kanalizacija, poljoprivredne aktivnosti), OS – oksidacija sulfida, O – oborine (atmosferski utjecaj). Uzorci koji su smješteni u zeleno naznačenom trokutu pokazatelj su miješanja podzemnih voda s oborinama te donekle i antropogenog utjecaja (poljoprivreda, kanalizacija i sl.).....	149
Slika 94. Varijacija indeksa zasićenosti (SI) gipsa u odnosu na EC u području istraživanja u visokim i niskim vodama.	150
Slika 95. Usporedba vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ iz sulfata iz različitih izvora (Whang & Zhang, 2019). Broj uzoraka (n): oborine = 264, kanalizacija = 38, zemlja = 49, gnojivo = 115, evaporiti = 264, sulfidi = 118, deterđženti = 41, ugljen = 100 i ocean = 28.	154

Popis tablica

Tablica 1. Točke opažanja i prikupljanja podataka u južnoj Dalmaciji i zapadnoj Hercegovini.	32
Tablica 2. Prikaz lokacija i vremenskih razdoblja istraživanja.	61
Tablica 3. Metode analiziranja uzoraka.	63
Tablica 4. Opažane lokacije s praćenim parametrima automatskim mjeračima (+ – mjereni parametar, - – parametar nije praćen).	75
Tablica 5. Tablični prikaz svih provedenih trasiranja na području istraživanja s naznačenim brzinama i izvođačima gdje je to poznato. Navedena trasiranja prikazana su na Prilogu 5.....	83
Tablica 6. Rezultati uzorkovanja stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ i osnovnih fizikalno-kemijskih parametara te kationa i aniona.	108
Tablica 7. Osnovni statistički pokazatelji razmatranih hidrokemijskih podataka.	110
Tablica 8. Faktori korelacije među hidrogeokemijskim parametrima. Korelacije iznad 0,5 su označene crvenom bojom, korelacije 0,3–0,4 su označene plavom bojom, a korelacije od 0,4–0,5 su označene zelenom bojom.	110
Tablica 9. Faktori i faktorska opterećenja pojedinih varijabli hidrokemijskih podataka.	115
Tablica 10. Eigen vrijednosti tri razmatrana faktora za hidrokemijske podatke.	115
Tablica 11. Faktori i faktorska opterećenja rotiranih faktorskih bodova.....	116
Tablica 12. Rezultati mjerenja protoka izvora Prud (* – nepouzdana mjerenja).	120
Tablica 13. Najvažniji podaci trasiranja uraninom iz ponora na sjeverozapadnog dijela Vrgoračkog polja.....	133
Tablica 14. Najvažniji podaci trasiranja naftionatom iz okolice izvora Crpala u središnjem dijelu Vrgoračkog polja.	136
Tablica 15. Vrijednosti koeficijenta recesije i determinacije na promatranim izvorima.	157

Tablica 16. Osnovni klimatološki elementi izdvojenih sljevova (1961.–1990.) prema Terzić et al. (2015).....	161
Tablica 17. Srednje godišnje vrijednosti protoka razmatranih slijevnih cjelina na temelju bilančnih procjena (1961.–1990.) prema Terzić et al. (2015).....	162
Tablica 18. Podsljevovi područja južne Dalmacije i zapadne Hercegovine.....	163

1. UVOD

Tema istraživanja na temelju kojih je izrađen ovaj doktorski rad su hidrogeološki odnosi velikog krškog hidrogeološkog sustava, koji zahvaća južnu Dalmaciju u Hrvatskoj i zapadnu Hercegovinu u Bosni i Hercegovini, ukupne površine oko 2.300 km². U dosadašnjim istraživanjima ovaj je veliki krški sustav često prikazivan kao jedinstveni slijev. Kad bi se obrađivali pojedini izvori, njihovi bi se sljevovi u velikoj mjeri preklapali. Takvi zaključci o funkcioniranju tog velikog sustava nisu bili zadovoljavajući te se ukazala potreba za razradom slijeva u podsljevove ili utjecajne površine s kojih se vode površinski i/ili podzemno kreću u više smjerova. Iz tog razloga započelo je istraživanje cijelog područja, koje je uključivalo i prikupljanje uzoraka izvorskih i površinskih voda s obje strane državne granice. Projektom „Hidrogeološka istraživanja Baćinskih jezera“ (naručitelj Hrvatske vode) te kroz dva europska projekta: IPA Adriatic CBC „Drinkadria“ i Interreg Central Europe „Proline-CE“ pokrenuta su istraživanja koja su započela u rujnu 2013. i završena su u rujnu 2020. godine.

Područje istraživanja najvećim je dijelom izgrađeno od karbonatnih stijena srednje ili visoke propusnosti, stoga je dominacija vrlo propusnih, raspucanih i okršenih karbonata njegova najvažnija značajka. Područje karakterizira pojava brojnih krških polja okruženih visokim planinskim sustavima. Izvori se najčešće pojavljuju u sjevernim i sjeverozapadnim rubovima krških polja. U njihovim središnjim zonama česte su estavele, a u istočnim i jugoistočnim rubovima razvijeni su ponori i ponorne zone. U južnodalmatinskom priobalnom dijelu razmatranog terena nalaze se prijelazne zone obilježene intruzijom morske vode u vodonosnike, što dodatno komplicira hidrogeološke odnose. S druge strane, krećući se prema zaleđu, zabilježena je pojava povišenih koncentracija sulfatnih iona u vodama istraživanog područja. Pritom je važno naglasiti da se sulfatne stijene, odnosno evaporiti, ne pojavljuju na površini istraživanog terena, no rezultati istraživanja ukazuju na njihovu prisutnost u dubljim zonama.

Glavni ciljevi ovog dokorskog rada su: i) delineacija sustava korištenjem dostupnih postojećih podataka i rezultata novijih istraživanja provedenih u sklopu izrade ovog dokorskog rada i ii) određivanje podrijetla sulfatnih iona u vodi ovoga područja analizom stabilnih izotopa sumpora ³⁴S iz sulfatnih iona u vodi.

Budući da je istraživani krški sustav izrazito kompleksne građe, primijenjeno je više metoda istraživanja korištenjem prirodnih i umjetnih trasera koje su uključivale: i) kontinuirano

mjerenje temperature, elektrolitičke vodljivosti i razine podzemne vode automatskim mjeračima (logerima), ii) in situ mjerenja fizikalno-kemijskih pokazatelja, iii) uzorkovanje vode za određivanje ionskog sastava, iv) izotopne analize kisika ^{18}O , deuterija ^2H i sumpora ^{34}S , v) mikrobiološke analize, vi) mjerenja protoka, vii) simultano trasiranje i viii) prikupljanje podataka o oborinama i protocima. Rezultati ovih istraživanja ukazali su na podrijetlo podzemnih voda tog velikog južnodalmatinskog i zapadnohercegovačkog slijevnog sustava.

Na početku istraživanja proučena je sva dostupna literatura o prethodnim istraživanjima tog područja. Budući da je hidrogeološki sustav istraživanog područja izrazito velik, brojni su projekti istraživali geološke i hidrogeološke značajke područja, a izrađeni elaborati s izvorno mjerenim podacima pohranjeni su u arhivima te su neki od njih tijekom izrade rada i reinterpretirani. U elaboratima su obrađivani hidrogeološki regionalni odnosi, zone sanitarne zaštite izvora i mnogobrojna trasiranja. Korištenjem svih dostupnih rezultata prethodnih istraživanja i novih istraživanja provedenih tijekom izrade ovog doktorskog rada, slijev je podijeljen na više podsljevova koji su definirani kao utjecajne površine s kojih se dio voda površinskim tokovima kreće uglavnom prema istoku (Neretva i izvori), a dio podzemnim tokovima struji prema zonama istjecanja na više „stepenica“, sve do najniže u obalnom dijelu južne Dalmacije. Pored toga, ova su istraživanja rezultirala obimnom bazom podataka na kojoj se mogu temeljiti buduća istraživanja na ovom području, poput određivanja zona sanitarne zaštite, određivanja kvalitete i količine vode (posebice u ljetnim mjesecima kad su potrebe za pitkom vodom znatno veće zbog turističke sezone) te svih vrsta znanstvenih i primijenjenih hidrogeoloških projekata.

1.1. Ciljevi i hipoteze istraživanja

Glavni ciljevi istraživanja su sljedeći:

1. Istraživanje hidrogeoloških značajki sljevova i podsljevova područja južne Dalmacije i zapadne Hercegovine.
2. Razmatranje podrijetla sulfata u izvorima na području južne Dalmacije i zapadne Hercegovine pomoću stabilnih izotopa ^{34}S .
3. Određivanje granica sljevova i podsljevova na području južne Dalmacije i zapadne Hercegovine.
4. Unapređenje metodologije za istraživanja kompleksnih krških sustava.

U skladu sa svrhom istraživanja i definiranim ciljevima, postavljene su hipoteze istraživanja:

1. Hidrogeološki sustav dijela južne Dalmacije i zapadne Hercegovine sastoji se od više kompleksnih podsljevova.
2. Tečenje podzemne vode odvija se i preko prethodno određenih granica sljevova što zahtijeva redefiniciju načina njihovog odjeljivanja.
3. Povišene koncentracije sulfatnih iona u izvorskim vodama ukazuju na prisutnost evapornih stijena u podzemlju koje su vrlo rijetko prisutne na površini istraživog područja.

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Budući da se istraživani hidrogeološki sustav proteže na površini većoj od 2300 km² u području južne Dalmacije i zapadne Hercegovine, postoji vrlo velik broj radova u kojima su obrađivane geološke i hidrogeološke značajke tog područja. Većina tih radova su arhivirani izvještaji uglavnom izrađeni pri istraživanju zona sanitarne zaštite, dok jedan dio izvještaja opisuje regionalne hidrogeološke odnose te provedena trasiranja u tom području.

Od geoloških radova najvažnije je istaknuti listove Osnovnih geoloških karata SFRJ u mjerilu 1:100.000 s pripadajućim tumačima, koji predstavljaju najvažniju podlogu za izradu hidrogeološke karte. Pri izradi hidrogeološke karte korišteni su listovi: Ploče (Magaš et al., 1972; Marinčić et al., 1979), Imotski (Raić & Papeš, 1968; Raić et al., 1978), Metković (Raić & Papeš, 1971; Raić et al., 1977) i Mostar (Mojičević & Laušević, 1966; Mojičević & Laušević, 1973). Prilikom izrade ovoga rada korištene su i neobjavljene radne verzije tumača Osnovnih hidrogeoloških karata nešto novijeg datuma (Slišković, 2009a i b).

Od objavljenih znanstvenih radova, koji su kao glavni fokus naznačili regionalne odnose terena, ističe se članak o hidrogeologiji Imotsko-bekijskog polja (Bojanić et al., 1981) u kojem se detaljnije opisuje izvor Opačac koji se nalazi u rubnom dijelu slijeva i važan je pri analiziranju hidrogeoloških odnosa. Vode Vrljike i Opačca iz Imotsko-bekijskog polja dolaze do izvora Tihaljine, dijelom prirodno utjecanjem u ponore, a dijelom tunelom te u ponornim zonama Trebižata pridonose zoni istjecanja u južnoj Dalmaciji. Ističu se i znanstveni radovi koje su objavili Bonacci & Roje Bonacci (2008) i Bonacci et al. (2013) koji opisuju istraživani kompleksni sustav prekograničnih rijeka ponornica, jezera i vodonosnika. U tim se radovima naglašava kako se vode lako i brzo infiltriraju i relativno brzo teku po privilegiranim smjerovima povezanim krškim kanalima, raspucanim i rasjednim zonama. Od površinskih tokova ističe se rijeka koja izvire, ponire i ponovno se pojavljuje u više navrata koju Bonacci et al. (2013) nazivaju rijekom s osam imena (Ričina, Suvaja, Sija, Vrljika–Matica, Tihaljina, Sita, Mlade i Trebižat), što ukazuje na izrazito zamršene uvjete ispreplitanja površinskih i podzemnih tokova. Slišković (1994) je objavio znanstveni rad u kojem je prikazao hidrogeološke regionalne odnose u razmatranom području, uz dva rada u kojima je sa suradnicima analizirao zaštitu izvora Prud te dao zanimljiv prikaz regionalnih hidrogeoloških odnosa (Slišković et al., 1997, 1998). Od ostalih radova, koji su blisko vezani uz temu doktorata, ističu se i radovi Vreča et al. (2006) u kojemu je prikazana izotopna karakterizacija oborina za područje Dubrovnika, rad u kojem su Matić et al. (2012) opisali rezultate istraživanja

krških izvora na planini Biokovo, članak u kojem je Zerem (2016) prikazao bilancu vode rijeke Trebižat i opisao utjecaj ponirućih voda iz korita rijeke na izdašnost izvora Prud, rad Posilović et al. (2018) koji su opisali uvjete taloženja sedimenata u Vrgoračkom polju te rad koji su objavili Patekar et al. (2021) u kojem su prikazali utjecaj klimatskih promjena na izvore pitke vode u južnoj Dalmaciji. Među publiciranim radovima svakako treba istaknuti i dvije knjige: „Vode Dalmacije“ (Štambuk-Giljanović, 1994) i „Vode u kršu slivova Neretve i Cetine“ (Slišković, 2014) koje na stručnoj i znanstvenoj razini prikazuju regionalne hidrogeološke odnose šireg područja.

Značajna istraživanja su prikazana i u nekoliko radova koji su prezentirani na kongresima. Tako su Ivičić & Pavičić (1999) prikazali hidrogeološke osnove zaštite vode u kršu s naglaskom na istraživano područje, a Ivičić (2000) presjek hidrogeoloških odnosa u području izvora s desne strane donjeg toka Neretve uz regionalni hidrogeološki pregled u razvijenim profilima od Livanjskog i Duvanjskog polja preko Imotsko-bekijskog polja i Posušskog polja, polja Rastok i polja Jezero (Vrgoračkog polja) do izvora Klokun 1. Ivičić & Pavičić (2000) prikazali su hidrogeološke značajke neposredne okolice Baćinskih jezera i izvora Klokun 1 uz cijeli niz podataka o jezerima na temelju dotadašnjih spoznaja te su dali opis tunela kojim se dreniraju poplavne vode Vrgoračkog polja (Jezero) u jezero Podgora (Baćinska jezera). Slišković & Bilopavlović (2003) prikazao je vodoopskrbne potencijale i korištenje voda slijevnog područja Mostarskog blata.

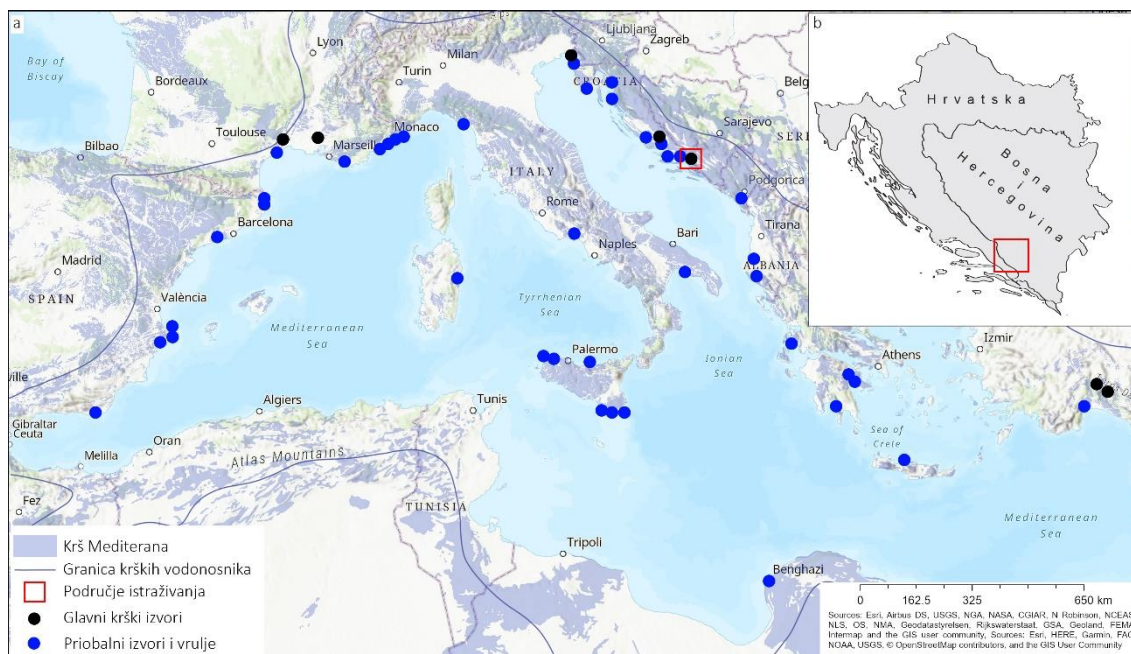
Od važnijih hidrogeoloških studija ističu se radovi kojima su autori na temelju velikog iskustva i višegodišnjih istraživanja obradili veće površine terena. Najvažniji takav rad je „Hidrogeološka studija područja Aržano–Brela–Metković“ (Bojanić & Ivičić, 1980) u kojem su detaljno razrađeni hidrogeološki odnosi tog područja te prikazani vrlo vrijedni podaci o protocima važnijih izvorišta i dane početne osnove hidrogeoloških i geomorfoloških podataka. Vrlo su vrijedni podaci prikazani u elaboratima koji su korišteni pri tumačenju dijelova istraživanih velikih sustava, u kojima su obrađene zone sanitarne zaštite izvorišta Banja i Butina—Vrgorac (Ivičić, 1992a), Modro oko (Ivičić, 1992b), Opačac (Ivičić, 1995), Klokun 1 i Modro oko (Ivičić & Pavičić, 1996), Prud (Slišković, 1996), Radobolje i Studenac (Antunović, 2007), Studenci (Antunović, 2011), Borak (Antunović, 2012) i Vrioštica (Antunović, 2018). Većina ovih prijedloga zona sanitarnih zaštita nije provedena, zbog čega su rezultati obrađeni u ovom doktorskom radu vrlo važni, jer uključuju sva dosadašnja istraživanja kao temelj za određivanje sanitarnih zona zaštite u budućnosti. Od radova novijeg datuma ističe se elaborat „Hidrogeološka istraživanja Baćinskih jezera“ (Terzić et al., 2015) na čijim temeljima je

dijelom napravljen i ovaj rad. Brojna trasiranja koja su uglavnom proveli stručnjaci iz Hrvatskog geološkog instituta detaljnije su prikazana u poglavlju 4.4.

3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

3.1. Geografske i klimatološke značajke

Područje istraživanja ovog doktorskog rada obuhvaća dio južne Dalmacije i zapadne Hercegovine (Slika 1). Najsjevernija točka na istraživanom terenu ima koordinate 43°24' N i 17°20' E, najzapadnija točka 43°31' N i 17°1' E, najjužnija točka 43°2' N i 17°29' E te najistočnija točka ima koordinate 43°13' N i 17°49' E. Prema administrativnoj podjeli teren je u Hrvatskoj smješten unutar dvije županije, a u Bosni i Hercegovini unutar dva kantona. Teren obuhvaća krške izvore desne obale rijeke Neretve, uključujući slijevno područje Mostarskog blata na sjeveru do slijeva izvora Opačac na zapadu, između kojih se nalaze stalni i povremeni ponirajući tokovi Vrioštica, Tihaljine, Trebižata i Lištice pa sve do krajnje zone istjecanja na jugu: od mjesta Gradac blizu kojeg je smješten izvor Mandina mlinica, preko Baćinskih jezera i izvora Klokun 1 u Pločama, Modrog oka i manjih izvora u Desnama, do snažnog krškog vrela Pruda kod Metkovića.



Slika 1. Područje istraživanja: (a) na skici Mediteranskog krškog područja (Bakalowicz, 2015) i (b) susjednim državama Hrvatskoj i Bosni i Hercegovini.

Teren se nalazi unutar dvije geografske cjeline, primorskog i planinskog prostora (Bertić et al., 2001). Primorski prostor obuhvaća južni dio Dalmacije u kojem se od važnijih gradova nalaze Ploče i Metković. Planinski prostor većinski se nalazi u Bosni i Hercegovini, unutar

kojeg su visoke gore i planine odvojene krškim dolinama i poljima. Najvažnije regionalno sjedište je Mostar, a od važnijih manjih gradova ističu se Široki Brijeg, Posušje i Grude u Bosni i Hercegovini te Imotski u Hrvatskoj.

Prema hipsometrijskim značajkama najviši vrh nalazi se na Planini Čvrsnici (2228 m n.m.). S obzirom na geografske cjeline koje zahvaća područje istraživanja, definirana su dva tipa klime koji uključuju gorsko-planinski i jadranski (mediteranski) tip. Prema Köppenovoj klasifikaciji klime (Köppen, 1884) na obali prevladava sredozemna klima sa suhim i vrućim ljetom (Csa), a u unutrašnjosti je sredozemna klima sa suhim i toplim ljetom (Csb). Unutar istraživanih područja čimbenici koji najviše utječu na klimatske značajke su umjerene geografske širine, Jadransko i šire Sredozemno more te planinski lanac Dinarida koji predstavlja visoku barijeru duž jadranske obale (Zaninović et al., 2008; Oprašić et al., 2016).

Raspon srednjih godišnjih temperatura zraka u području bosanskohercegovačkog dijela slijeva je zbog značajne orografske razvedenosti znatno veći, od 1,2°C–11,6°C, dok u hrvatskom dijelu iznosi 8°C–11°C. Najniže godišnje temperature vezane su uz nadmorske visine iznad 1500 m gdje su srednje godišnje vrijednosti temperature između 0,3 i 6,5 °C. Godišnji hod temperature zraka pokazuje maksimume najčešće u srpnju i minimume u siječnju. Dnevni hod temperature zraka izraženiji je ljeti, nego zimi i pokazuje veće razlike u unutrašnjosti nego u primorju (Zaninović et al., 2008; Oprašić et al., 2016).

Prosječne količine oborine tijekom godine iznose 800 i 1000 mm u obalnom pojasu pa do više od 2000 mm u planinskom području (Gajić-Čapka et al., 2003). Najveće godišnje količine oborine zabilježene su u području visokih planinskih lanaca. Navedenim parametrima klimatskih značajki zajednička je postupna promjena vrijednosti s porastom nadmorske visine – smanjenje temperature i povećanje oborine.

3.2. Geološke i geomorfološke značajke

Istraživani teren pripada Krškim ili Vanjskim Dinaridima, koji su dominantno izgrađeni od karbonatnih naslaga. Krški Dinaridi dio su alpskog planinskog sustava koji je nastao zbog konvergentnog kretanja Jadranske mikroploče u odnosu na Euroazijsku ploču, uslijed čega je došlo do značajne kontrakcije prostora. Njihova je kontinuirana sedimentacija u najvećem dijelu vezana za mezozoik (Velić & Vlahović, 2009).

Najstarije naslage na terenu predstavljene su izmjenom siliciklastičnih i karbonatnih naslaga taloženih od karbona do srednjeg trijasa u okolišima epiričke karbonatne platforme uz

rub superkontinenta Pangea (Vlahović et al., 2005). Nakon trijaskе tektonske i vulkanske aktivnosti koja je uzrokovala odvajanje od kontinentalne mase uz sjeveroistočni rub Gondwane, taloženje se odvijalo na prostranoj karbonatnoj platformi. Pri kraju starije jure međudjelovanjem ekstenzijske tektonike i Toarcijskog anoksičnog događaja došlo je do dezintegracije te karbonatne platforme pri čemu nastaje niz manjih platformi i dubokomorskih bazena između njih. Najveća i najbolje očuvana među njima je Jadranska karbonatna platforma (Velić et al., 2002; Vlahović et al., 2002, 2005; Dragičević & Velić, 2002) čije naslage danas zauzimaju veliki dio Vanjskih ili Krških Dinarida.

Glavne značajke karbonatne platforme su plitkovodna karbonatna marinska sedimentacija uz lokalna produbljivanja taložnih sredina i povremeno okopnjavanje kao posljedica tektonike. Debljina naslaga taloženih tijekom približno 120 milijuna godina trajanja Jadranske karbonatne platforme (od toarcija do kraja krede, mjestimice i do starijeg paleocena; Cvetko Tešović et al., 2020) je između 3500 i 5000 m (Vlahović et al., 2005). Tijekom mlađe krede, a na krajnjem sjeverozapadnom i jugoistočnom dijelu Jadranske karbonatne platforme, mjestimice i početkom paleogena, došlo je do regionalne emerzije, što je ujedno i obilježilo kraj njezinog postojanja. U paleogenu je taloženje nastavljeno u tektonski formiranim predgorskim flišnim bazenima nastalim tijekom izdizanja Vanjskih Dinarida, u kojima je karbonatna sedimentacija bila ograničena na uske zone karbonatnih rampa uz rubna područja bazena na kojima su taloženi foraminiferski vapnenci.

Strukturno-tektonski odnosi koji su uzrokovali značajnu tektonsku poremećenost stijenske mase u području istraživanja, produkt su značajne tektonske aktivnosti tijekom izdizanja Vanjskih Dinarida i dugotrajne emerzije koja je uslijedila, tijekom koje je došlo do izrazitog okršavanja karbonatnih naslaga. Karbonatne stijene koje izgrađuju najveći dio terena tektonski su znatno poremećene, što omogućava jako brzo poniranje oborinskih voda u podzemlje kroz kompleksne pukotinske sustave. Započeti proces okršavanja nastavlja se infiltracijom i cirkulacijom vode u podzemlju. Razvitak i napredovanje procesa okršavanja uzrokovao je nestanak većine površinskih tokova uz istodobno razvijanje podzemnih morfoloških oblika koji postaju sve brojniji i prostraniji (Bahun, 1973). Potvrda ove tvrdnje nalazi se u činjenici da se u karbonatnim dijelovima terena jasno uočavaju ostaci nekadašnje mreže površinskih tokova u obliku tzv. suhih dolina, čiji je nastanak izravno iniciran i predisponiran tektonskim pokretima i deformacijama strukturnog sklopa u geološkoj prošlosti (Kapelj, 2002).

Unutar područja istraživanja razlikuje se više tektonskih jedinica i struktura lokalnog i šireg prostiranja. Dva najvažnija tektonski aktivna razdoblja koja su utjecala na njihovo oblikovanje (Prelogović et al., 1981; Blašković, 1998; Jamičić et al., 1995) su:

- 1) kompresijski tektonski pokreti tijekom izdizanja Dinarida prilikom čega su nastale borane, ljuskave i navlačne strukture (u razdoblju od srednjeg eocena do miocena); kontinuirana kompresijska tektonika s maksimalnim stresom orijentacije JZ–SI uzrokovala je dominantno pružanje struktura poprečno na taj smjer, što je poznato kao dinaridsko pružanje (SZ–JI).
- 2) neotektonska faza koja je započela u pliocenu i traje do danas. Tijekom navedene faze došlo je do promjene smjera kretanja i rotacije Jadranske mikroploče, tako da je orijentacija glavnog regionalnog stresa zakrenuta u pružanje približno S–J. Starije strukture su u neotektonskoj fazi mjestimice značajno deformirane, uz nastajanje novih rasjeda i reaktiviranje postojećih rasjeda koji su pogotovo zanimljivi s hidrogeološkog aspekta, jer su glavni uvjet za razvoj sekundarne poroznosti u krškim karbonatima.

Područje istraživanja odlikuje se tipičnim geomorfološkim značajkama krša koji nastaje kao posljedica djelovanja vode na topive stijene, čemu pridonosi tektonika koja utječe na stvaranje brojnih diskontinuiteta, što značajno povećava poroznost. Izrazita tektonika, koja je olakšala i ubrzala kemijsko trošenje stijena topivih u vodi, utjecala je na nastanak krša u području Vanjskih Dinarida (Vlahović et al., 2005).

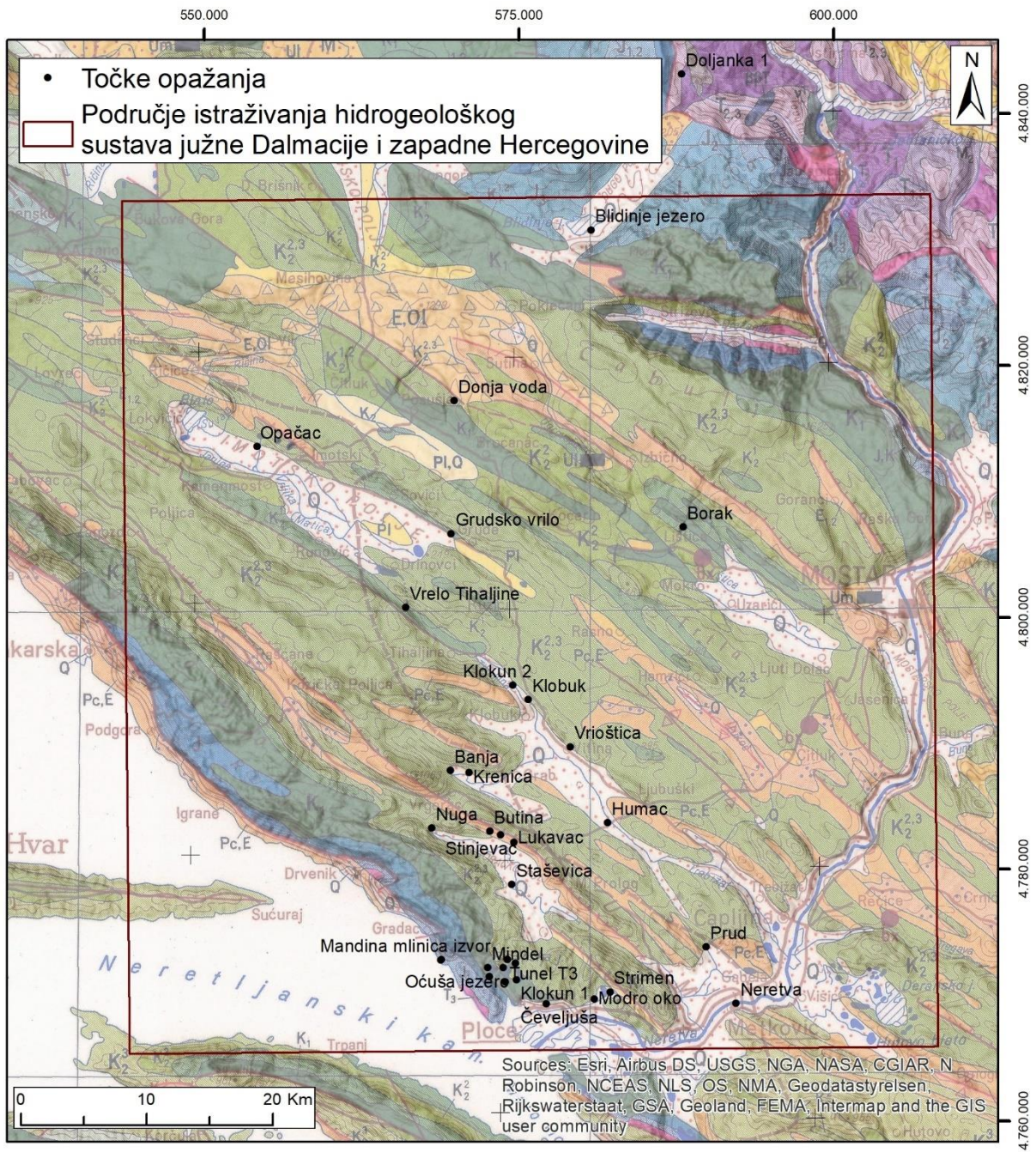
Na razmatranom terenu pojavljuje se veći broj morfoloških oblika, od dobro razvijenih krških polja, preko morfoloških zaravni i manjih brda, sve do Biokova i više planinskih masiva u Bosni i Hercegovini. Morfološke strukture imaju tzv. dinaridsko pružanje, sjeverozapad–jugooistok (SZ–JI), što odgovara pružanju geoloških struktura. Najvažniji rasjedi i pružanje stratigrafskih jedinica uglavnom prate dinaridsku orijentaciju, no za hidrogeološke odnose važni su i rasjedi koji se pružaju dijagonalno i poprečno na strukture, koji nerijetko predstavljaju privilegirane pravce strujanja podzemnih voda. Budući da se teren postupno spušta prema moru, dolina Neretve s morskom obalom predstavlja današnju erozijsku bazu. Ipak, zbog promjena razine mora tijekom ledenih doba u kvartaru, koje su prema različitim autorima bile različitih iznosa (Šegota & Filipčić, 1996; Surić, 2009; Domazetović et al., 2016.), ali vrlo značajne (primjerice kod posljednje glacije najniža razina mora bila je gotovo 130 m niža od današnje prije približno 18000 godina), stijene su okršene i na znatno nižim razinama. Kasnije su okršeni dijelovi dijelom zapunjeni, što je dodatno zakompliciralo hidrogeološke odnose u sustavu. U hidrogeološkom smislu osobito su zanimljive pojedine tektonski poremećene zone

koje se često pojavljuju paralelno s najvažnijim setovima diskontinuiteta strukturnog sklopa. Takve zone obično nisu prikazane na geološkim kartama sitnog mjerila, ali na pojedinim lokalitetima prikazanim na kartama krupnijeg mjerila, mogu biti od velikog hidrogeološkog značaja (Bense et al., 2013).

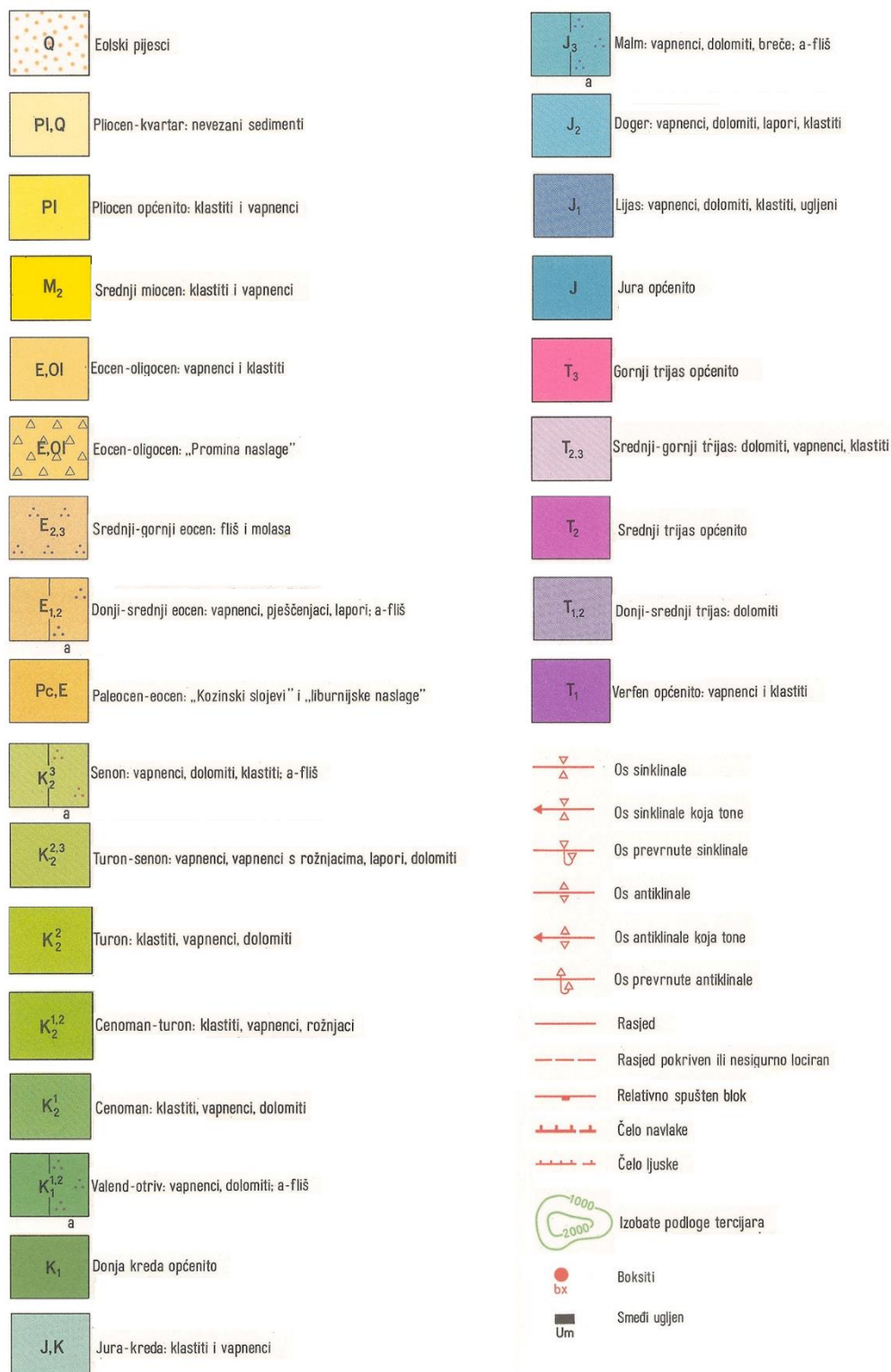
3.2.1. Stratigrafski pregled istraživnog područja

Šire područje istraživanja pripada Vanjskim Dinaridima. Najstarije naslage na površini područja istraživanja su permotrijaske naslage, najmlađe su pliocenske i kvartarne starosti, a najveći dio površine zauzimaju naslage kredne starosti. Litološki, na području istraživanja, prevladavaju karbonatne stijene – vapnenci i dolomiti.

Regionalna geološka karta (Slika 2 i Slika 3) prikazuje geologiju istraživnog terena na temelju Geološke karte SFR Jugoslavije M 1:500.000 (Savezni geološki zavod Beograd, 1970). Za opis geoloških značajki stratigrafskih jedinica izdvojenih unutar slijevnog područja korišteni su Tumač geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000 (Velić & Vlahović, 2009a) te Tumač Geološke karte SFR Jugoslavije 1:500.000 (Sikošek, 1971). Dva istražena lokaliteta, Blidinjsko jezero i Doljanka 1, nalaze se izvan slijevnog područja na kojem je provedeno istraživanje, no zbog važnosti za razumijevanje istraženog sustava detaljnije su opisane i stijene koje se nalaze u neposrednoj blizini tih lokaliteta.



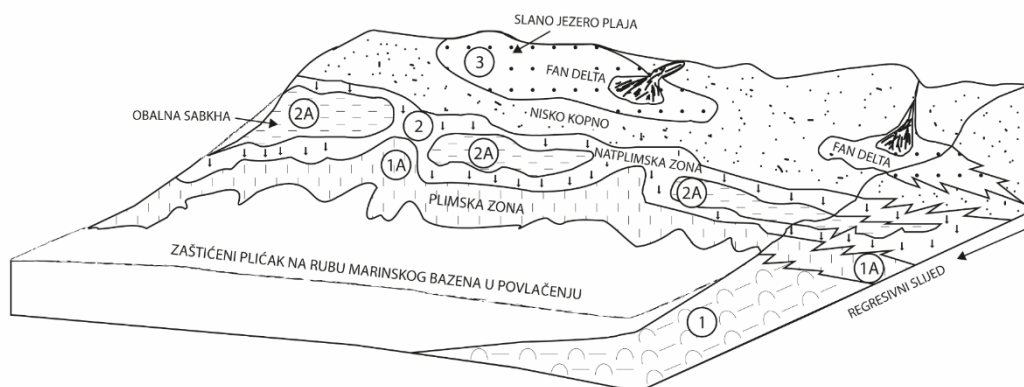
Slika 2. Pregledna geološka karta područja istraživanja prema Geološkoj karti SFR Jugoslavije u M 1: 500.000 (Savezni geološki zavod Beograd, 1970).



Slika 3. Legenda pregledne geološke karte područja istraživanja prema Geološkoj karti SFR Jugoslavije (Savezni geološki zavod Beograd,1970).

Perm (P_3)

Prema Tišljaru (1992) gornjopermske stijene područja istraživanja sadrže tri glavna facijesa: i) karbonate, ii) evaporite s ranodijagenetskim dolomitima, iii) klastične stijene (siltite i pješčenjake) te jedan poseban tip stijena – šupljikave karbonatne breče. Karbonatni facijes sadrži lagunarne i peritajdalne vapnenice, a evaporitni facijes se sastoji od gipsa (nastalog hidratacijom anhidrita), ranodijagenetskih dolomita i anhidrita. Šupljikave breče su sekundarni produkti nastali fizičkim i kemijskim trošenjem tektonski razlomljenih karbonatno-evaporitnih naslaga. Gornjopermski evaporiti i karbonati taloženi su u evaporizacijskim okolišima (Slika 4) duž rubnog dijela epikontinentalnog morskog bazena tijekom regresivnog trenda obilježenog stalnom progradacijom u smjeru mora (Tišljari, 1992). Izdanci s granicama između tri facijesa nisu vidljivi na terenu, zbog izrazite tektonske poremećenosti i prekrivenosti tlom, a nedostatak većih izdanaka uglavnom je posljedica značajno jače topivosti evaporitnih stijena u odnosu na karbonatne i klastične stijene.



Slika 4. Shematizirani prikaz okoliša taloženja gornjopermskog karbonatno-evaporitnog kompleksa: 1 i 1A – karbonatni facijes; 2 i 2A – evaporitno-dolomitni facijes i 3 – klastični facijes. Mjestimično u okolišima 1A i 2 može biti taložen i klastični facijes, a deltne lepeze su mogle biti formirane i u morskome zaštićenom plićaku (što nije prikazano na slici) prema Tišljari (1992).

Naslage perma na karti mjerila 1:500.000 (Bukovac & Jamičić, 2009) nisu prisutne na površini područja istraživanja, ali su izdvojene tijekom terenske prospekcije sjevernije od istraženog područja u okolini mjesta Sovići u dolini rijeke Doljanke sjeverno od Blidinja (Slika 5). Na tom su lokalitetu utvrđene naslage gipsa, dolomita i vapnenaca, a u dubljim dijelovima slijeda ima i anhidrita (Sikošek, 1971; Velić & Vlahović, 2009).



Slika 5. Izdanak gipsa u okolici mjesta Sovići, u blizini rijeke Doljanke. Lijevo je prikazan izdanak uz cestu, dok se desno nalazi detalj izdanka (geološki čekić predstavlja mjerilo).

Budući da je postojanje evaporitnih naslaga izrazito važno za određivanje podrijetla povišenih koncentracija sulfata u vodi istraživanog terena, te su naslage prikazane u opisu litostratigrafskih jedinica na području istraživanja. Evaporitne stijene središnjeg dijela Dinarida proučavane su dugi niz godina (Katzner, 1921, 1925; Podubsky, 1963, 1976; Šušnjar et al., 1965; Šušnjar, 1981; Herak, 1973, 1983). Većina navedenih istraživanja razmatra nastanak i starost evaporitnih stijena i pratećih sedimenata. Nešto novija istraživanja, koja uključuju mnogobrojne palinološke analize, potvrdila su da evaporitne stijene po starosti pripadaju najvišem permu, na samoj granici s trijasom (Šušnjara et al., 1992). Na temelju današnjih spoznaja o kompleksnom tektonskom sklopu i utvrđenim nalazima fosila, koji ukazuju na gornjopermsku starost evaporita, njihovi su kontakti s okolnim stijenskim kompleksima interpretirani kao tektonski. Dijapirizam kojim su zahvaćeni evaporiti i prateće naslage uzrokovao je njihove prodore kroz krovinske sedimentne stijene, što bi moglo pojasniti pojavu evaporitnih stijena u području Posušja, naznačenu na OGK 1:100.000 lista Imotski (Raić et al., 1978). Površinom vrlo male pojave takvih naslaga terenskom prospekcijom nisu pronađene zbog izrazitog trošenja i prekrivenosti vegetacijom, ali je nađeno kršje šupljikavih karbonatnih breča tamnosive boje (Slika 6) i crvenkastosmeđeg pješčenjaka neposredno uz izvor Donja voda.



Slika 6. Uzorak šupljikave breče u okolici izvora Donja voda u blizini Posušja.

Evaporitne stijene u razmatranom terenu sastoje se od gipsa i anhidrita. U okolnim područjima velikih sljevova ovog dijela Dinarida gips se najčešće pojavljuje na površini ili jako blizu površine (na dubini od 20 do 40 m), a anhidrit se nalazi u dubljim dijelovima (Gabrić et al., 2002). Gips je u ovim naslagama sekundarni mineral, jer nastaje hidratacijom anhidrita. Proces hidratacije anhidrita ovisi o količini i protoku podzemnih i oborinskih voda te veličini pukotina kroz koje voda cirkulira, što ujedno rezultira i izrazito neravnom kontaktnom plohom između njih. No, makroskopski se lako može utvrditi granica između mekanog gipsa svijetlosive boje, koji se jasno razlikuje od tvrdog i uglavnom tamnosivog anhidrita (Gabrić et al., 2002). Gips je uslijed dugotrajne tektonike, dijapirizma i procesa hidratacije uglavnom intenzivno boran i raspucan.

Trijas – općenito (T)

Trijas je započeo formiranjem plitkomorskog šelfa današnjih Vanjskih Dinarida (Sokač, 2009a). Postupno oplićavanje, koje je započelo tijekom paleozoika uz samo lokalne pojave plitkomorskih karbonata, stabiliziralo se u trijasu dominacijom karbonatne sedimentacije. Tijekom oplićavanja na prijelazu iz perma u trijas, dolazi do taloženja anhidrita i crvenih klastita. Lokalna okopnjavanja uvjetovala su promjenjive okoliše i uvjete sedimentacije. Posljedice su izmijenjene odlike stijena, pa je iz tog razloga i granica perma i trijasa u tektonski intenzivno poremećenim područjima teže uočljiva. U starijem trijasu dominirala je siliciklastična sedimentacija u starijem dijelu, dok su u mlađem dijelu taložene uglavnom karbonatne stijene. Srednji trijas obilježen je nešto stabilnijom plitkomorskom karbonatnom

sedimentacijom. Pri kraju srednjeg trijasa i u starijem dijelu mlađega trijas došlo je do izdizanja, a tijekom dugotrajnog stratigrafskog hijatusa djelomice su erodirane naslage srednjega trijasa. Uz procese okršavanja razvio se i značajan paleoreljef u kojem su dublji dijelovi ispunjeni crvenim klastitima, a mjestimice se javlja i boksit. Krajem trijasa postupno je uspostavljena stabilna sedimentacija plitkomorskih naslaga – izmjene ranodijagenetskih i kasnodijagenetskih dolomita s rijetkim lećama vapnenaca.

Trijaski dolomiti izgrađuju jednu usku zonu južno od Baćinskih jezera uz samu obalu mora te se nalaze u sjevernijem dijelu istraživanja u području rijeke Doljanke. Nemaju značajniju funkciju u terenu sami po sebi, no zajedno s jurskim, pretežito dolomitnim stijenama u krovini, čine značajnu podzemnu barijeru tečenju podzemnih voda. Litološki, dolomiti su dobroslojeviti, ali je slojevitost često teže uočljiva, zbog specifičnog trošenja ovih stijena. Unutar slijeda naslaga pojavljuju se i dolomitične breče i mikrobreče, a česti su i dolomitni stromatoliti.

Donji trijas (T₁)

Izdanci donjotrijaskih klastičnih naslaga (Sokač, 2009b) pojavljuju se u sjevernom dijelu terena. Ove stijene su utvrđene sjeveroistočno od rijeke Neretve i prisutne su neposredno uz izdanke permskih evaporitnih naslaga. Prepoznatljive su po crvenoljubičastoj boji, tankoj slojevitosti, pločasto-listićavom trošenju i uglavnom ujednačenom litološkom sastavu. Ovdje ih je važno istaknuti jer su naslage klastita utvrđene na lokaciji kod Posušja i u okolici mjesta Sovići, a novija istraživanja ukazuju na kontinuitet prema evaporitnim naslagama permotrijasa (Sokač, 2009).

Donji–srednji trijas (T_{1,2})

Plitkovodna karbonatna sedimentacija nastavila se u donjem i srednjem trijasu (Sokač, 2009c). Prevladavaju dobroslojeviti dolomiti, dolomitični vapnenci i vapnenci, a nalaze se sjeveroistočno od rijeke Neretve.

Srednji trijas (T₂)

Naslage srednjeg trijasa (Sokač, 2009d) izdvojene su sjeveroistočno od rijeke Neretve. Karbonatna sedimentacija nastavljena je i u srednjem trijasu. Sedimentacija je zastupana različitim tipovima plitkomorskih vapnenaca, više ili manje zahvaćenih procesima rekristalizacije i kasnodijagenetske dolomitizacije, pa se bočno i vertikalno s promjenljivim

udjelom izmjenjuju vapnenci i dolomiti, koje odlikuje nešto veća debljina slojeva. Završetak sedimentacije obilježen je i mjestimično okopnjelim površinama i lokalno izdignutim reljefom.

Srednji–gornji trijas (T_{2,3})

Naslage srednjeg–gornjeg trijasa (Sokač, 2009e) izdvojene su u sjeveroistočnom dijelu istraživanog područja. U srednjem–gornjem trijasu dolazi do okopnjavanja većih površina karbonatne platforme. Zbog izdizanja reljefa tijekom kopnene faze, nastale su klastične naslage nekontinuiranog pružanja vrlo različite od vapnenaca u podlozi i dolomita u krovini. Klastiti su taloženi u paleodepresijama kao produkt erozije starijih trijaskih naslaga, mjestimice uz dokaze vulkanske aktivnosti. Klastiti su dobroslojeviti i pretežito izrazite tamnocrvene boje, dok su u višem dijelu zelenkastosivi i postupno prelaze u dolomite.

Gornji trijas (T₃)

Gornjotrijaske naslage (Sokač, 2009e) prisutne su u uskom pojasu u južnoj Dalmaciji (u okolici Gradca i Ploča). Gornjotrijaske naslage taložene su u peritajdalnim okolišima karbonatne platforme. Na srednjo–gornjotrijaskim klastitima ili, gdje oni nedostaju transgresivno preko srednjotrijaskih karbonatnih naslaga, slijede gornjotrijaske naslage zastupljene cikličnom izmjenom uglavnom tanjih slojeva svijetlosivih do gotovo bijelih ranodijagenetskih i debljih slojeva tamnosivih kasnodijagenetskih dolomita, koji tek sporadično sadrže relikte vapnenaca. Takva izmjena genetski različitih tipova dolomita obično se naziva Glavni dolomit (*Hauptdolomit*). Trijas je bio razdoblje vrlo dinamičnih geoloških događaja uključujući i značajno spuštanje i izdizanje dijelova platforme. Prema kraju trijasa zabilježena je stabilizacija sedimentacijskoga prostora. Topla i suha klima s jakom evaporacijom uvjetovala je intenzivnu ranodijagenetsku dolomitizaciju. Dolomiti gornjeg trijasa ponegdje su i okršeni, ali su uglavnom nepropusni i čine barijeru tečenju podzemnih voda. Dolomiti imaju značajnu hidrogeološku funkciju u formiranju razvodnica u srednjem toku Neretve, kao što su dolomiti antiklinala Drežanke i Doljanke.

Jura – općento (J)

Nakon facijesno ujednačene, plitkomorske sedimentacije tijekom mlađeg trijasa, u juri (Velić & Vlahović, 2009b) je nastupila regionalna promjena taložnih okoliša. Donjojurske naslage na najvećem dijelu platforme kontinuirano slijede na gornjotrijaskima. Jura je prisutna u uskom pojasu južne Dalmacije, do Makarske do Ploča te u sjevernom dijelu slijeva. Plitkomorska karbonatna sedimentacija s izmjenama različitih karbonatnih facijesa nastavljena je i u donjoj i

srednjoj juri. Događaji tijekom mlađe jure bili su vrlo dinamični uslijed sinsedimentacijske tektonike koja je uzrokovala regresiju, okopnjavanje i okršavanje jugozapadnih dijelova platforme. U hidrogeološkom smislu jurske su naslage uglavnom dobro propusne do propusne.

Donja jura (J₁)

Tijekom jure (Velić & Vlahović, 2009c) nastavlja se plitkomorska karbonatna sedimentacija i to bočno i naviše u rasponu od intertajdala i supratajdala do dubljeg subtajdala. Stijene donje jure sastoje se od izmjene vapnenaca i dolomita. Dolomiti su pretežito kasnodijagenetski tamnije sive boje, a vapnenci su pretežito sivi i tamnije smeđi, iako su u južnoj Dalmaciji svjetliji, a ponegdje i gotovo bijeli. Dobro su slojeviti, često tanjih slojeva do gotovo pločasti, no mjestimice su slojevi metarskih dimenzija. U razmatranom terenu prevladavaju kristalinične dolomitne stijene koje su u odnosu na vapnence daleko niže vodopropusnosti.

Srednja jura (J₂)

U priobalnom pojasu tijekom srednje jure dominirali su okoliši platformnih plićaka, a taloženi vapnenci i dolomiti često su debeloslojeviti (Velić & Vlahović, 2009d). U području istraživanja udio dolomita je značajan, tako da zajedno sa sličnim stijenama u podini i krovini čine relativno slabije propusnu stijensku masu. Vapnenci su u razmatranom području uglavnom oolitični, a česte su i pojave breča koje reduciraju ukupnu vodopropusnost ove stijenske mase.

Gornja jura (J₃)

Plitkovodna karbonatna sedimentacija nastavljena je i u mlađoj juri, pri čemu su se izmjenjivali niskoenergijski okoliši subtajdala i/ili laguna s povremenim prijelazom u visokoenergijske plićake (Velić & Vlahović, 2009e). Glavna značajka naslaga je bočna i vertikalna izmjena različitih tipova vapnenaca s pretežito kasnodijagenetskim varijetetima dolomita. Vapnenci i dolomiti u području istraživanja zauzimaju veliku površinu od Baćinskih jezera do grada Ploče uz odvodni kanal prema moru. U sveukupnoj stijenskoj masi vapnenci znatno prevladavaju nad dolomitima, što gornjojurske naslage čini u hidrogeološkom smislu sličnima donjokrednim naslagama koje na njima više ili manje kontinuirano slijede.

Kreda općenito (K)

U kredi je nastavljena plitkomorska sedimentacija uz lokalna i kraća okopnjavanja tijekom kojih su taloženi klastiti (Velić et al., 2009). U mlađoj kredi zabilježen je vrlo značajan razvoj rudistnih školjkaša te dinamične promjene na platformi koje kulminiraju njezinom

dezintegracijom krajem krede. Veći dio terena izgrađen je od krednih naslaga te je dobre do vrlo dobre propusnosti. Naslage donje krede su ujednačenog litološkog sastava, a predstavljaju ih vapnenci i dolomiti s ulošcima vapnenaca. Na prijelazu donje u gornju kedu izdvojeni su dolomiti, dolomitični vapnenci te vapnenci i brečasti vapnenci. Naslage gornje krede čine vapnenci s proslojcima dolomita i vapnenci s rudistima.

Donja kreda (K₁)

U donjoj kredi prevladavali su idealni plitkomorski uvjeti, što je rezultiralo taloženjem ritmičnim sljedova karbonatnih sedimenata velikih debljina (Velić & Vlahović, 2009f). Donjokredne naslage izgrađuju različiti tipovi vapnenaca, a rjeđe prisutne dolomitne naslage pretežito su kasnodijagenetske.

Vapnenci i dolomiti donje krede izgrađuju najveći dio obale Baćinskih jezera i područja oko njih, osim najsjevernijeg ruba. Manjih pojava vapnenaca i dolomita ima i na više mjesta u unutrašnjosti, u zapadnohercegovačkom slijevnom području. U području istraživanja u donjokrednim naslagama prevladavaju vapnenci, no ipak ima i dolomita i dolomitičnih vapnenaca, a mjestimice i značajnijih pojava karbonatnih breča. Vapnenci prevladavaju i vrlo su raznoliki, od kristaliničnih do muljevutih, a breče koje se s njima izmjenjuju po hidrogeološkim im se svojstvima mogu pridružiti, zbog pretežito vapnenačkih klasta i kalcitičnog veziva. Takva je stijenska masa više-manje jednolično tektonski poremećena i okršena. Debljina ovog kompleksa je relativno velika i u razmatranom području iznosi oko 1000 m.

Gornja kreda (K₂¹)

Na prijelazu između donje i gornje krede zabilježeni su dolomiti i postsedimentacijske dijagenetske breče (Vlahović et al., 2009). Prisutnost ovih naslaga u području istraživanja uglavnom je vezana uz dvije zone koje se nalaze sjeverno i južno od Imotsko-bekijskog polja. Zbog prevladavajućeg dolomitnog sastava nešto su manje okršene od okolne stijenske mase, a tektonski uzrokovane pukotine i šupljine nastale otapanjem često su zapunjene produktima trošenja dolomita, što u velikoj mjeri snižava propusnost na srednju do slabu, a time i hidrauličku vodljivost takve stijenske mase. Prosječna debljina ovih naslaga je promjenljiva, no može se pretpostaviti kako iznosi oko 200 m.

Gornja kreda – gornja kreda (K_2^2 , $K_2^{2,3}$)

Rudistni vapnenci zastupljeni su u cjelokupnom sljevnom području, budući da zauzimaju najveću površinu terena unutar hrvatskog dijela, ali i značajnu površinu bosanskohercegovačkog dijela istraživanog prostora (Fuček, 2009). Zbog izrazite sinsedimentacijske tektonike, ali i eustatskih promjena tijekom taloženja ovih stijena, bilo je i značajnih prekida u sedimentaciji, ali i povremenih pelagičkih utjecaja. U gornjokrednim naslagama utvrđeni su različiti varijeteti vapnenaca, pretežito ipak sa značajnim udjelom mikritnih varijeteta. U područjima gdje su ove naslage taložene kontinuirano, procijenjena je ukupna debljina od približno 2000 m. U slijedu naslaga mjestimice ima i dolomita i dolomitiziranih vapnenaca, no u ukupnoj stijenskoj masi u velikoj mjeri prevladavaju vapnenci. Stoga je takva stijenska masa uglavnom izrazito okršena i predstavlja vrlo pogodnu sredinu za nakupljanje i strujanje krških podzemnih voda, kako kroz preferirane putove tako i kroz samu stijensku masu.

Paleogen općenito (Pg)

Završetak krede obilježen je prekidom sedimentacije, zbog konačne dezintegracije, izdizanja i prestanka postojanja Jadranske karbonatne platforme (Marinčić, 2009a). Nakon dugotrajne kopnene faze s izrazitim okršavanjem, tijekom eocena ponovno je započela karbonatna sedimentacija na dijelovima nekadašnje karbonatne platforme. U najnižim dijelovima paleoreljeva taloženi su kopneni sedimenti (mjestimično i boksiti) u močvarnim okolišima, a na njima stijene taložene u bočatim okolišima sve do uspostave širih područja karbonatne sedimentacije u okolišima karbonatne rampe. U takvim su uvjetima tijekom starijeg i srednjeg eocena taloženi foraminiferski vapnenci u postupno sve dubljim okolišima. Sredinom i krajem eocena su nastavkom sinsedimentacijske tektonike formirani flišni predgorski bazeni u kojima su turbiditnim strujama iz plićih područja transportirani pjeskovito-muljeviti sedimenti od kojih je izgrađen debeli slijed srednjo–gornjoeocenskog fliša. Vrhunac paleogenske transgresije završava taloženjem flišnih naslaga iza koje je uslijedio regresivni ciklus, zabilježen u Prominskim naslagama koje su nastale kao rezultat postupnog oplićavanja okoliša od dubljih marinskih, šelfnih, priobalnih, deltnih i aluvijalnih.

Paleogenske naslage prilično su rasprostranjene na cijelom sljevnom području. U hidrogeološkom smislu te se stijene mogu svrstati u propusne do vrlo slabo propusne stijene, ovisno o udjelu vapnenaca u odnosu na slabije propusne flišne i laporovite naslage.

Paleocen–eocen (Pc, E) i donji–srednji eocen (E_{1,2})

Stratigrafski raspon naslaga donjeg i srednjeg eocena različit je s obzirom na različito trajanje kopnene faze između mlađe krede i paleogena (Šimunić, 2009; Vlahović & Velić, 2009a). Ove naslage pretežito predstavljaju barijere u slijevu i na njegovim granicama. U ovom kompleksu naslaga nalaze se raznovrsne stijene koje se pojavljuju u razmjerno uskim izduženim zonama duž najvažnijih rasjeda. Foraminiferski vapnenci koji su po hidrogeološkim značajkama dosta slični krednim vapnencima najzastupljeniji su na istraživanom području. Kozinske i prijelazne naslage, ali mjestimice i foraminiferski vapnenci, često su jače glinoviti od okolne stijenske mase što im u većoj ili manjoj mjeri reducira hidrauličku vodljivost i vodopropusnost. Navedeno svojstvo pogotovo dolazi do izražaja tamo gdje su takve stijene izravno u dodiru s naslagama fliša. Ipak, kako u opisanim uskim zonama dominiraju foraminiferski vapnenci, taj je kompleks svrstan u srednje ili dobro propusne stijenske mase, osobito u jače tektonski poremećenim i okršenim područjima.

Srednji–gornji eocen (E_{2,3})

U istraživanom prostoru prave su flišne barijere prisutne u dvije značajne zone: jedna sjeverno od Imotsko-bekijskog polja, koja lokalno usmjerava strujanje podzemnih voda s manjim utjecajem na zonu istjecanja od Mandine mlinice sve do Pruda, i druga, vrlo značajna hidrogeološka barijera, koja se proteže uz morsku obalu od Makarske sve do Gradca (Marinčić, 2009b). Priobalna flišna barijera ima značajnu ulogu pri hidrogeološkoj interpretaciji u daljnjem dijelu ovog rada. Eocenski fliš najvažniji je i najzastupljeniji slijed nekarbonatnih naslaga u cijelom dinaridskom kršu i često ima vrlo značajnu hidrogeološku ulogu. Fliš je nastao taloženjem iz turbiditnih struja (mutnih struja) u dubokom moru. Litološki je heterogen, a može se sastojati od raznovrsnih klastičnih naslaga: od konglomerata, preko različitih karbonatnih ili siliciklastičnih pješčenjaka i silita, karbonatnih mikrobreča do lapora. U najvećem dijelu razmatranog terena ipak prevladavaju lapori i siliti, uz prisutnost pješčenjaka. Debljina naslaga fliša u istražnom terenu procijenjena je na približno 500 m.

Eocen–oligocen (E, Ol)

Prominske naslage povezane su s intenzivnim izdizanjem Dinarida te one upućuju na postupno zapunjavanje i zatvaranje paleogenskog sedimentacijskog bazena (Vlahović & Velić, 2009b). Naslage su izdvojene u sjeverozapadnom dijelu slijeva. Na postupno oplicavanje od dubljega bazena u kojem su taložene naslage djelomice flišnih značajki ukazuje slijed Prominskih naslaga. Najstarija jedinica Prominskih naslaga su karbonatni turbiditi, zatim slijede kalkareniti

dok više dijelove sekvencija izgrađuju mikritni vapnenci ili lapori. Ulošci krupnih blokova koji se sastoje od kaotičnog materijala pojavljuju se mjestimice u slojevima turbidita ukupne debljine oko 1200 m. Glinoviti vapnenci, kalkareniti i konglomerati ukupne duljine oko 100 m predstavljaju prijelazne naslage. Najmlađe naslage ukupne debljine i preko 700 m predstavljene su različitim vrstama stijena, od sitnozrnastih litotipova do konglomerata koji su i najznačajniji. Naslage ove sekvencije predstavljene su različitim vrstama stijena taloženim u različitim okolišima isprepletenim rijekama. Prominske naslage su uglavnom dobro propusne uz iznimku gotovo nepropusnih laporovitih paketa unutar slijeda.

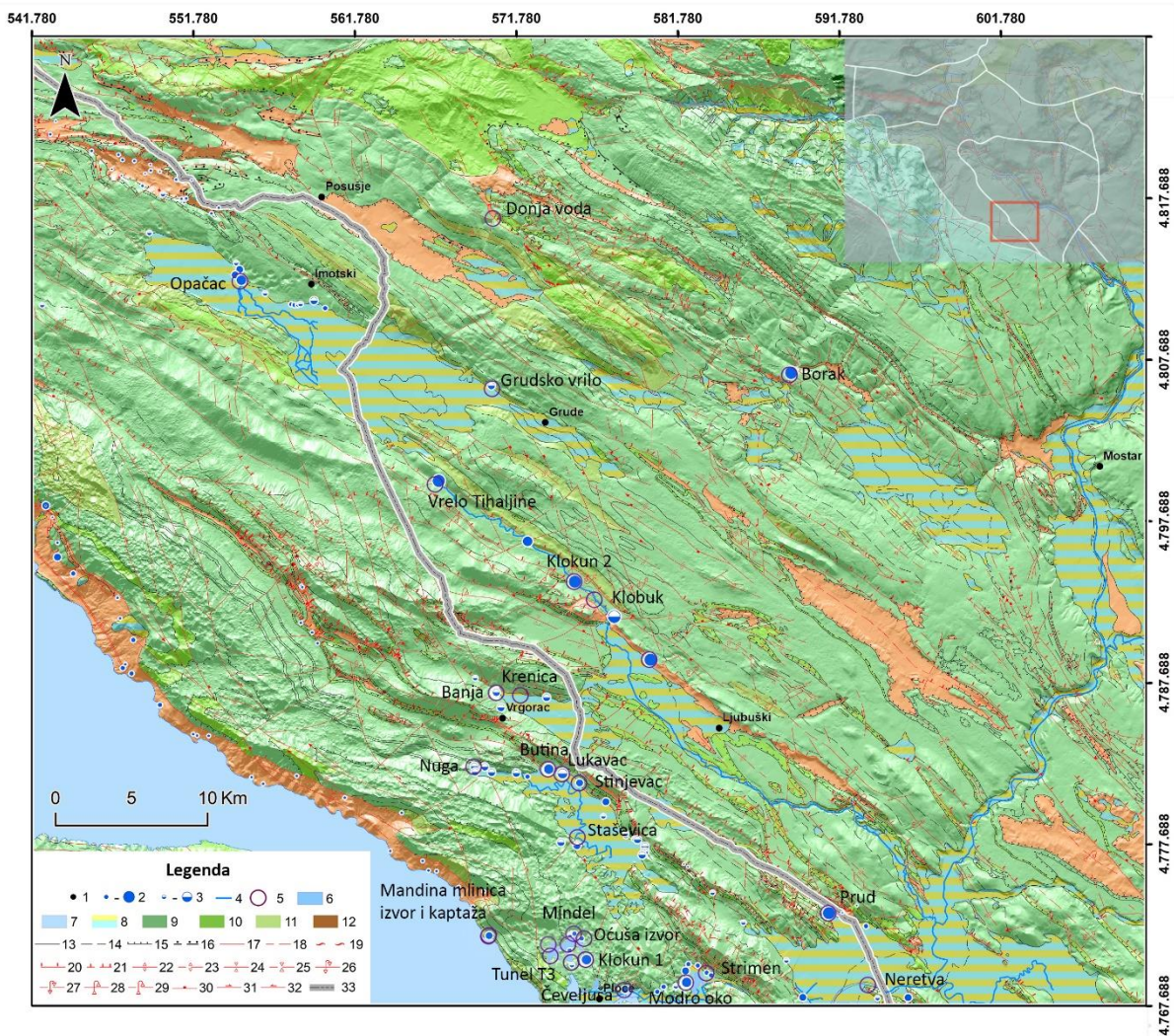
Pliokvartar (Pl, Q) i Kvartar (Q)

Značajnije kvartarne naslage krških polja u području istraživanja uglavnom su jezerskog podrijetla. U razmatranom terenu ove su naslage prisutne u Vrgoračkom polju (Jezero) i Rastok polju te u Imotsko-bekijskom polju gdje su izdvojene pliokvartarne naslage (Hećimović, 2009). U području Vrgoračkih polja (Jezero i Rastok) ove su naslage predstavljene jezerskom kredom – rastresitim bijelim do sivim prahovitim sedimentima s vrlo visokim udjelom kalcitične komponente (redovito preko 90%), debljine do 15 m. Unutar ovih naslaga mjestimično se nalaze i naslage pjeskovite gline, no zbog izrazite heterogenosti i nepravilnosti teško ih je izdvojiti. Pliokvartarne i kvartarne naslage taložene su u plitkoj i mirnoj slatkovodnoj sredini – vjerojatno nalik današnjim Baćinskim jezerima. Taloženje je započelo u pleistocenu, trajalo kroz cijeli holocen, a nastavlja se i danas (Posilović et al., 2018).

Aluvijalne naslage prisutne su u najvećem dijelu Imotsko-bekijskog polja. Riječ je o naslagama rijeka i vodenih tokova. Heterogene su i sastoje se od različitih granulometrijskih varijeteta, od šljunaka do glina. Debljina im u navedenom terenu rijetko prelazi desetak metara.

3.3. Hidrogeološke značajke istraživanog područja

Hidrogeološka karta područja (Slika 7, Prilog 5) izrađena je prema podacima s Osnovne geološke karte SFRJ mjerila 1:100.000. Područje istraživanja pokriveno je listovima Ploče (Marinčić et al., 1979), Imotski (Raić et al., 1978), Metković (Raić et al., 1977) i Mostar (Mojičević & Laušević, 1966).



Slika 7. Pregledna hidrogeološka karta područja istraživanja: 1 – naselje; 2 – izvori različitih kategorija; 3 – povremeni izvori različitih kategorija; 4 – rijeka; 5 – lokacija opažanja; 6 – more; 7 – jezero; 8 – naslage naizmjenične propusnosti; 9 – dobro propusne naslage; 10 – srednje propusne naslage; 11 – slabije propusne naslage; 12 – nepropusne naslage; 13 – normalna granica; 14 – pretpostavljena normalna granica; 15 – transgresivna granica; 16 – pretpostavljena transgresivna granica; 17 – rasjed; 18 – pretpostavljeni rasjed; 19 – razlomljena zona; 20 – reverzni rasjed; 21 – pretpostavljeni reverzni rasjed; 22 – os uspravne ili kose antiklinale; 23 – os pretpostavljene uspravne ili kose antiklinale; 24 – os uspravne ili kose sinklinale; 25 – os pretpostavljene uspravne ili kose sinklinale; 26 – os prevrnute antiklinale; 27 – os pretpostavljene prevrnute antiklinale; 28 – os prevrnute sinklinale; 29 – os pretpostavljene prevrnute sinklinale; 30 – normalan rasjed; 31 – desni rasjed; 32 – lijevi rasjed; 33 – državna granica.

Na različitim listovima Osnovne geološke karte mjerila 1:100.000 vrlo slične ili gotovo iste naslage uvrštavane su u stratigrafske jedinice različitih naziva. U prethodnom su poglavlju geološke cjeline opisane grupno prema karti sitnijeg mjerila (1:500.000), a ovdje će se uvrstiti u hidrogeološke skupine stijena, no navest će se skupno sve na kartama izdvojene jedinice bez

posebnih opisa svake od njih. U ovom regionalnom hidrogeološkom prikazu izdvojeno je ukupno devet različitih skupina stijena ili tala diferenciranih primarno po njihovim hidrogeološkim značajkama.

Kvartarne naslage riječnih dolina (Q₂; b)

Kvartarne naslage riječnih dolina su naslage izmjeničnih hidrogeoloških svojstava, a najvećim dijelom su izdvojene u dolini Neretve. Nemaju značajnu hidrogeološku funkciju u području istraživanja, no zbog prisutnosti sitnozrnaste pa i glinovite komponente, prije svega u pripovršinskim dijelovima, čine barijeru na kojoj se pojavljuju brojni krški izvori uz rub doline Neretve. Uz rub doline Neretve nastali su neki od značajnijih izvora razmatranih u prikazanim istraživanjima, kao što su Prud, Strimen i Modro oko. Hidrogeološka svojstva ovih naslaga prije svega ovise o njihovom granulometrijskom sastavu i jako variraju, kako po dubini, tako i bočno, a poroznost im je međuzrnska.

Kvartarne naslage slabije vodopropusnosti (gl, s)

U kvartarne naslage slabije vodopropusnosti uvrštene su deluvijalne, deluvijalno-proluvijalne i glacialne naslage izmjeničnih svojstava, niskih vrijednosti hidrauličke vodljivosti, ovisno o granulometrijskom sastavu. Zbog ograničene debljine i površinske kontinuiranosti nemaju značajniju hidrogeološku ulogu u razmatranom terenu, čak ni na hidrogeološkim kartama krupnijeg mjerila. Tek mjestimično mogu usporavati i u manjoj mjeri reducirati infiltraciju oborina u podzemlje, a poroznost im je međuzrnska.

Kvartarne naslage srednje vodopropusnosti (lgl, fgl₂, fgl₁, fgl, Q₂; dpr, al, Q₁; d)

U skupinu visoko vodopropusnih i poroznih kvartarnih taložina uvršten je vrlo heterogen skup naslaga koje uglavnom nisu genetski povezane, ali imaju slična hidrogeološka svojstva, pogotovo ako se promatraju u regionalnom mjerilu. Sipari su ograničeni na strme padine i litice te praktički nemaju hidrogeološkog značaja s aspekta proučavanja krških tokova i cijelog sustava od Pruda, preko Baćinskih jezera do Mandine mlinice, iako se u jače litificiranim siparima mogu pojavljivati i manji padinski izvori (npr. u području Podbiokovlja). Raznovrsne aluvijalne naslage, kao i fluvioglacialni sedimenti različite starosti i granulometrijskog sastava protežu se cijelim slijevnim područjem pa stoga i njihova hidrogeološka uloga varira. U ovu skupinu su uvršteni tamo gdje se ponašaju kao lokalni vodonosnici. Takve su naslage izdvojene

u području Mostarskog blata, Imotsko-bekijskog polja i doline rijeke Trebižat–Mlade–Tihaljina, a poroznost im je međuzrnska.

Kvartarne naslage izmjeničnih svojstava, razmjerno niske vodopropusnosti ($Q_{1,2}$; pr, j, i)

U kvartarne naslage izmjeničnih svojstava, razmjerno niske vodopropusnosti su prvenstveno uvrštene jezerske krede Vrgoračkog polja (polje Jezero) i Rastok polja, Mostarskog blata te djelomično Imotsko-bekijskog polja, no tu pripadaju i neke proluvijalne naslage. Ovisno o genezi i granulometriji tim se naslagama mijenjaju i hidrogeološka svojstva, no uglavnom su to naslage niske vodopropusnosti koje lokalno usmjeravaju tečenje uglavnom površinskih tokova, usmjeravajući ih prema prirodnim ponorima i ponornim zonama. Poroznost im je međuzrnska.

Klastične stijene niske vodopropusnosti (T_1 , T_1^1 , T_1^2 , E , E_2 , $E_{2,3}$, $^1E_{2,3}$, $^2E_{2,3}$, 2M , $M_{2,3}$, MPl , 2Pl)

Skupinu klastičnih stijena niske vodopropusnosti čine naslage širokog stratigrafskog raspona, od trijasa do miocena, a to su uglavnom pješčenjaci i lapori. Najveću površinu zauzima eocenski fliš, najvažnija klastična jedinica Vanjskih Dinarida, koji može imati različite uloge vezane za kretanje podzemnih voda. Flišne naslage mogu, ovisno o njihovom lokalnom morfološkom i hipsometrijskom položaju, predstavljati ili potpunu ili tzv. viseću barijeru za tečenje podzemnih krških voda. Na kontaktu karbonatnih i flišnih naslaga često se pojavljuju krški izvori. Unutar slijeda flišnih naslaga često se mogu naći i relativno propusni paketi – najčešće su to deblji paketi siliciklastičnih pješčenjaka ili kalkarenita, no zbog manjeg udjela i izoliranosti takvih članova čitav se kompleks obično smatra barijerom za tečenje krških podzemnih voda. Upravo zbog lokalne prisutnosti propusnih naslaga unutar fliša na brojnim mjestima se unutar flišnih naslaga crpi voda, ponegdje čak i za vodoopskrbu. Općenito, poroznost ovih stijena je pukotinska, no mjestimično može biti i međuzrnska (vrlo trošni pješčenjaci), ali i disolucijska, odnosno krška (vapnenci i kalkareniti).

Klastične stijene vrlo niske vodopropusnosti (1Pl , 1M , N , PT)

Klastične stijene vrlo niske vodopropusnosti nešto su manje propusne od flišnih naslaga i drugih naslaga koje sadrže pješčenjake. U ovu skupinu mogu se uvrstiti i evaporitne stijene, vulkanoklastične stijene i sitnozrnaste klastične stijene. Istraživanom području pripadaju stijene vrlo različite starosti, od permotrijaskih do miocenskih i pliocenskih. Takve stijene nemaju nikakva vodozadržna svojstva, gotovo su potpuno nepropusne te ako se pojavljuju u dovoljnoj debljini i rasprostiranju, predstavljaju potpune barijere za podzemno tečenje bilo koje vrste.

Treba naglasiti kako se u istočnom dijelu Vanjskih Dinarida na površini terena mjestimice nalaze manji izdanci evaporitnih stijena (uglavnom gipsa i anhidrita), ali se može pretpostaviti njihova prisutnost u podzemlju. Jedan od važnih elemenata koji ukazuju na to su i povišene koncentracije sulfata, djelomice na izvoru Prud, ali i u znatno većim koncentracijama na izvorima u Bosni i Hercegovini, osobito na izvoru Klokun 2 kod Klobuka. Ako postoji poroznost u takvim naslagama, ona je isključivo pukotinska.

Karbonatne stijene niske vodopropusnosti ($T_{2,3}$, 1J_1 , $J_1^{1,2}$, K^1 , $K_{1,2}$)

Među karbonatne stijene niske vodopropusnosti svrstane su naslage s većim ili manjim udjelom dolomita, od potpuno dolomitnih jedinica poput gornjotrijaskog Glavnog dolomita (Hauptdolomita), preko kalcitičnih dolomita ili dolomitičnih vapnenaca pa do debljih paketa izmjene vapnenačkih i dolomitnih slojeva. Takve su stijene nešto niže propusnosti, dijelom zbog manje podložnosti okršavanju, a dijelom i zbog toga što su im pukotine, kako tektonske tako i disolucijske, često zapunjene materijalom koji nastaje specifičnim trošenjem dolomitnih stijena, pogotovo kasnodijagenetskih dolomita. Takav se materijal u šupljinama može litificirati i značajno reducirati propusnost. Ipak, privilegirani krški kanalski pravci tečenja podzemnih voda mogu se razviti i u takvom najmanje propusnom karbonatnom članu ili biti razvijeni i prije kasnodijagenetske dolomitizacije stijenske mase u geološkoj prošlosti. Poroznost ovih stijena prvenstveno je pukotinska, a u manjoj mjeri i disolucijska, odnosno krška.

Karbonatne stijene srednje vodopropusnosti (T_2^1 , $^1T_2^2$, T_2^2 , J_1 , $J_{1,2}$, 2K_1 , K_1^{2-4} , K_1^{3-5} , K_1^5 , K_2^1 , $^3K_2^3$, Ol , E_1 , Pc , E)

U karbonatne stijene srednje propusnosti uvrštene su stratigrafske jedinice s podjednakim udjelom vapnenaca i dolomita ili s nešto većim udjelom vapnenaca u odnosu na dolomite. Pritom su korišteni i dostupni podaci o vrijednostima hidrauličke vodljivosti karbonatnih stijena. Slično pretežito dolomitnim naslagama i u ovakvim se stijenama mogu razviti pravi krški kanali i privilegirani pravci kretanja krških podzemnih voda. Poroznost im je pukotinsko-disolucijska, tj. krška.

Karbonatne stijene visoke vodopropusnosti (T_3 , 2J_1 , $J_1^{2,3}$, J_2 , J_3 , $J_3^{1,2}$, $J_3^{2,3}$, K_1 , 1K_1 , $K_{1,2}$, K_2 ; $^1K_2^{1,2}$; $^2K_2^{1,2}$, K_2^2 , $^1K_2^2$, $^2K_2^2$, $^3K_2^2$, $^4K_2^2$, K_2^{2+3} , $K_2^{2,3}$, K_2^3 , $^1K_2^3$, $^4K_2^3$, $^2K_2^3$, $^{+2}K_2^3$, $E_{1,2}$)

Skupini karbonatnih stijena visoke vodopropusnosti pripada najveći broj stratigrafskih jedinica koje su preuzete s listova Osnovnih geoloških karata mjerila 1:100.000 na istraživanom području. Jasno je vidljivo kako je ovo površinski daleko najzastupljenija hidrogeološka

skupina, što ukazuje na veliku propusnost i „otvoreni“ karakter krškog masiva Vanjskih Dinarida, što mu je važna značajka i izvan istraživanog područja. Iako je ovom jedinicom obuhvaćen širok raspon stratigrafskih jedinica od gornjeg trijasa do eocenskih foraminiferskih vapnenaca, u njima na površini istraživanog područja prevladavaju naslage kredne starosti, osobito gornjokredni rudistni vapnenci. Stijene ove skupine pretežito su vapnenci, no i u njima mjestimice ima i nešto dolomitnih naslaga koje se pojavljuju kao pojedini izolirani proslojci i slojevi ili kao dolomitizirane zone najčešće uz važne tektonske kontakte. Veliko prevladavanje vapnenaca čini naslage ove skupine sredinom koja je, uz evaporitne stijene, najpodložnija procesima otapanja i stoga su u tim naslagama razvijeni i glavni krški vodonosnici, ali i glavni preferirani putevi strujanja podzemne vode. Treba istaknuti da bi se foraminiferski vapnenci mogli uvrstiti u prethodnu skupinu – karbonatne stijene srednje vodopropusnosti, no u regionalnom mjerilu prema svojim hidrogeološkim značajkama, ipak najviše odgovaraju ovoj jedinici. Poroznost ove skupine stijena izrazito je krška, dakle, pukotinsko-disolucijska.

4. METODE PRIKUPLJANJA, TEHNIKE MJERENJA I OBRADJE PODATAKA

Provedena hidrogeološka istraživanja ovog velikog slijevnog sustava uključila su primjenu različitih metoda kako bi se ispunili svi ciljevi ove doktorske disertacije. Prvi korak u delineaciji velikog slijevnog sustava južne Dalmacije i zapadne Hercegovine u podsljevove započeo je digitalizacijom podataka svih prethodnih istraživanja opisanih u poglavljima 2, 4.4 i 5.4 u GIS okruženju. Delineacija krških sustava izuzetno je važna za razumijevanje krških vodonosnika (Goldscheider & Drew 2007) prilikom korištenja vodnih resursa (Plagnes & Bakalowicz, 2002), za utvrđivanje procesa i područja prihranjivanja (Malard, 2015), kao i prilikom kartiranja zona sanitarne zaštite ili izrade karata ranjivosti (Doerfliger et al., 1999), što je osobito važno u Dinaridskom prekograničnom krškom regionalnom prostoru (Parise et al., 2015; Stevanović et al., 2020). Rezultat ove analize je hidrogeološka karta, što predstavlja jedan od najvažnijih, najrazumljivijih i najsazetijih dokumenata o vodnim resursima područja (Lucianetti et al., 2019).

Nakon detaljne obrade rezultata svih dosadašnjih istraživanja u radu su analizirani podaci novijih istraživanja dobiveni tijekom izrade ovog dokorskog rada. Zbog kompleksnosti krških vodonosnika, u svijetu su razvijene brojne metode istraživanja među kojima se posebno ističu trasiranja podzemnih voda, s ciljem kvalitetnijeg definiranja krškog vodonosnog sustava (Lukač Reberski, 2011). Razlikuju se dvije vrste trasiranja podzemnih voda, pomoću prirodnih i umjetnih trasera.

Prirodni traseri su prirodno prisutne otopljene tvari, izotopi ili fizikalna svojstva vode koji se u hidrogeološkim istraživanjima najčešće koriste kako bi se odredilo podrijetlo, kretanje i dinamika te miješanje vode (Cozma et al., 2016). Od prirodnih trasera najčešće se koriste koncentracije osnovnih aniona i kationa, kako bi se dobio kemijski profil podzemne vode. Na kemijski sastav vode utječe nekoliko čimbenika, kao što su interakcija okolnih stijena i vode, ionska izmjena, geološke strukture, vrste stijena, putanja toka, vrijeme zadržavanja vode u podzemlju, poljoprivredne aktivnosti, industrija i urbanizacija itd. (Hartmann, 2014; Chen et al., 2017; Wang et al., 2020; Hoahgia et al., 2021). Matematičko-statističke analize linearne korelacije, multivarijatne klaster analize i faktorske analize korištene su prilikom obrade ovih podataka (Peh 1990a, 1990b, 1992; Davis, 2002; Terzić et al., 2010).

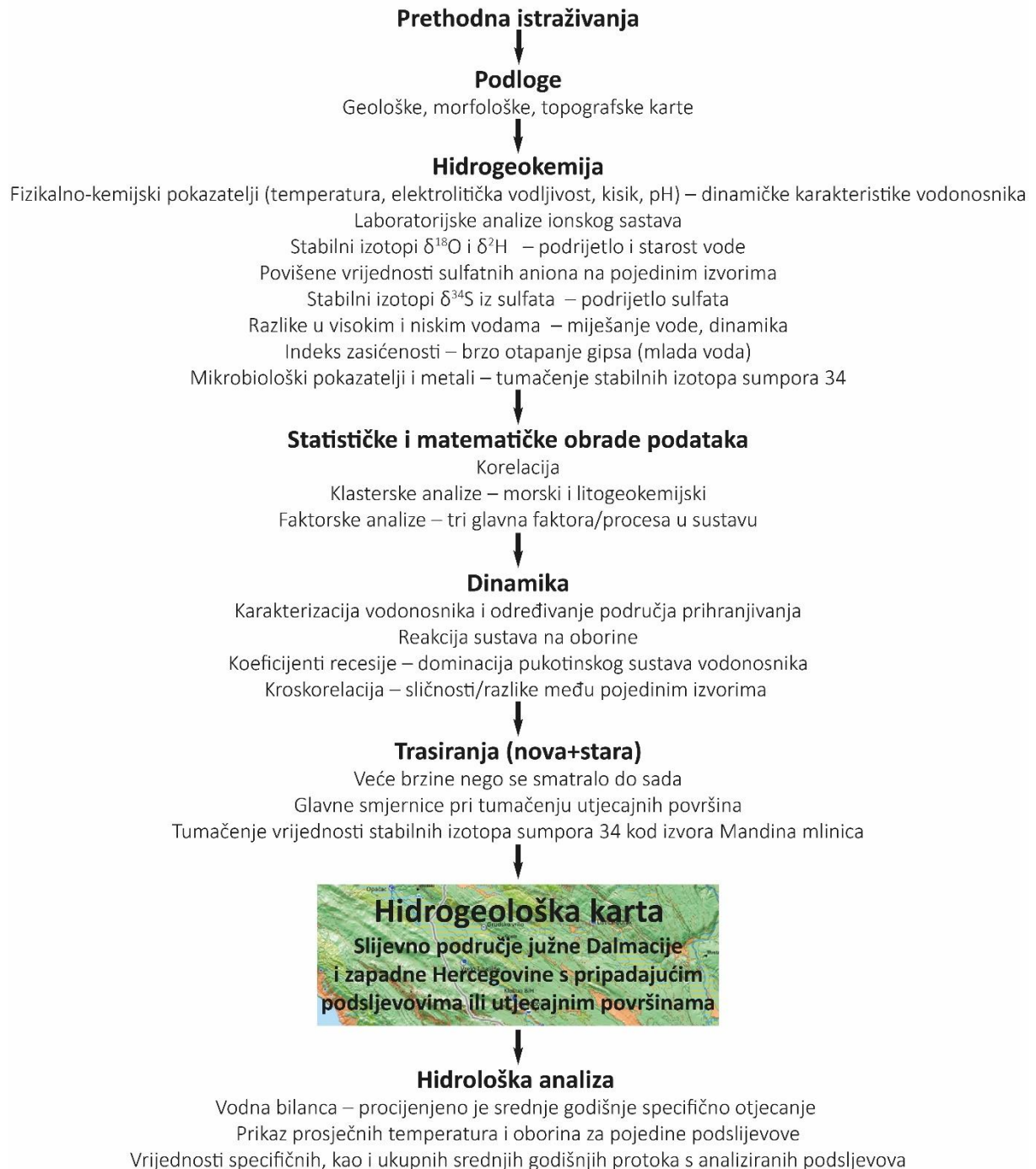
Od prirodnih trasera u radu su korišteni i stabilni izotopi kisika ^{18}O i deuterija ^2H kako bi se što bolje istražilo područje prihranjivanja, procijenilo vrijeme zadržavanja vode, identificirali mogući izvori zagađenja, prepoznalo miješanje vode te utvrdila dugoročna svojstva vodonosnika (Dewalle et al., 1997; Einsiedl, 2005; Rodgers et al., 2005). U radu su razmatrani i stabilni izotopi sumpora ^{34}S iz sulfata, kako bi se utvrdilo podrijetlo ovih izotopa u vodi te rastumačila varijabilnost rezultata u različitim hidrološkim uvjetima. Vrijednosti izotopa sumpora ^{34}S iz sulfatnih iona u vodi ukazuju i na povijest i način postanka matičnih stijena koje sadrže primarni sumpor (Thode, 1991).

Fizikalno-kemijske karakteristike vode (EC i T) i razine mjerene automatskim mjerачima, podaci o protocima i oborinama/ korišteni su pri utvrđivanju dinamičkih značajki vodonosnika. Dinamičke analize uključivale su proučavanje recesijskog dijela krivulje hidrograma pomoću *matching strip* metode, čiji oblik izrazito ovisi o hidrogeološkim značajkama vodonosnog sustava, a njegova matematička identifikacija omogućuje prognozu opadanja izdašnosti u sušnom razdoblju (Padilla et al., 1994; Dewandel et al., 2003; Urumović et al., 2009; Parlov, 2010; Posavec et al., 2010). Radi određivanja dinamičkih i hidrogeoloških značajki vodonosnika, u radu su korištene i metode autokorelacije (analiza pojedinačnih serija) i kroskorelacije (analiza međusobnih odnosa vremenskih serija) (Padilla & Pulido-Bosch, 1995).

Jedna od najčešćih i najkorisnijih metoda pri istraživanju krša je trasiranje umjetnim traserima. Njima se istražuju svojstva krškog pukotinskog sustava, s obzirom na to da se traseri unose u preferirane putove tečenja (Lauber & Goldscheider, 2014). Rezultati trasiranja u kršu obično ukazuju na kratka vremena pronosa i velike brzine protoka. Ipak, budući da umjetni traseri ne obuhvaćaju pukotinsko-poroznu epikršku zonu vodonosnika, koja igra važnu ulogu prilikom skladištenja i određivanja volumena vode (Maloszewski et al., 2002; Worthington, 2007), važno je kombinirati umjetne i prirodne trasere kako bi se što točnije rastumačili kompleksni procesi krških vodonosnika, što je pridonijelo unapređenju metodologije istraživanja kompleksnih krških sustava.

Krajnji rezultat svih provedenih metoda je podjela slijevnog sustava u podsljevove ili redefinirane utjecajne površine. Podaci koji su korišteni prilikom delineacije slijevog sustava južne Dalmacije i zapadne Hercegovine uključuju prethodna istraživanja ponajviše onih o određivanju zona sanitarne zaštite izvorišta (Ivičić & Bojanić, 1978; Bojanić & Ivičić, 1980; Bojanić et al., 1981; Ivičić, 1992a, b, 1995, 2000; Ivičić & Pavičić, 1996, 1997, 1999, 2000; Slišković, 1996, 2001; Slišković & Bilopavlović, 2003; Antunović, 2007, 2011, 2012, 2018; Ivičić et al., 2008), dosadašnjih trasiranja (Bojanić, 1980; Slišković, 1994, 2000, 2014; Ivičić

& Pavičić 1997), rezultate izračuna vodne bilance (Terzić et al., 2015), uz rezultate višegodišnjih istraživanja s mjesečnim monitoringom na velikom broju objekata (prirodni traseri i simultano trasiranje dvama umjetnim traserima) prikazani su na Slici 8.



Slika 8. Shema korištenih podataka (kao i ostalih podloga koje mogu pridonijeti regionalnim hidrogeološkim istraživanjima ove vrste) prilikom delineacije slijevnih površina.

4.1. Vodni objekti u slijevu: uspostava opažanja hidrogeološkog sustava južne Dalmacije i zapadne Hercegovine

Nakon proučavanja postojeće literature i rekognosciranja terena, odabrane su lokacije za sustavno opažanje unutar šireg hidrogeološkog sustava južne Dalmacije i zapadne Hercegovine. Na osnovi prethodnih istraživanja i proučavanja literature, odlučeno je kako će se istraživanje u početnoj fazi temeljiti na dosadašnjim hidrogeološkim konceptima, ponajviše na temelju istraživanja koje su proveli Ivičić & Pavičić (1996, 2000), koji su istraživano područje podijelili u pet ili šest hipsometrijskih razina (stepenica). Prva ili najniža razina je zona istjecanja gotovo u razini mora. Zona istjecanja ovog velikog hidrogeološkog sustava proteže se od Gradca i obližnjeg priobalnog krškog izvora Mandina mlinica, preko Baćinskih jezera i izvora Klokun 1 do doline Neretve i rubnih joj krških izvora: Prud, Modro oko, Čeveljuša te više manjih izvora. Druga razina (oko 25 m n. m.) je Vrgoračko polje. Treća razina (oko 70 m n. m.) je Rastok polje. Četvrta uključuje izvore u dolini rijeke Tihaljine/Trebižata (BiH) (između 120–180 m n. m.). Peta razina (najviša) proteže se Imotsko-bekijskim poljem (oko 260 m n.m.). U sjevernom dijelu slijeva petu razinu predstavlja šire područje Posuškog polja, ali je izdvojena i šesta – krško polje Rakitno.

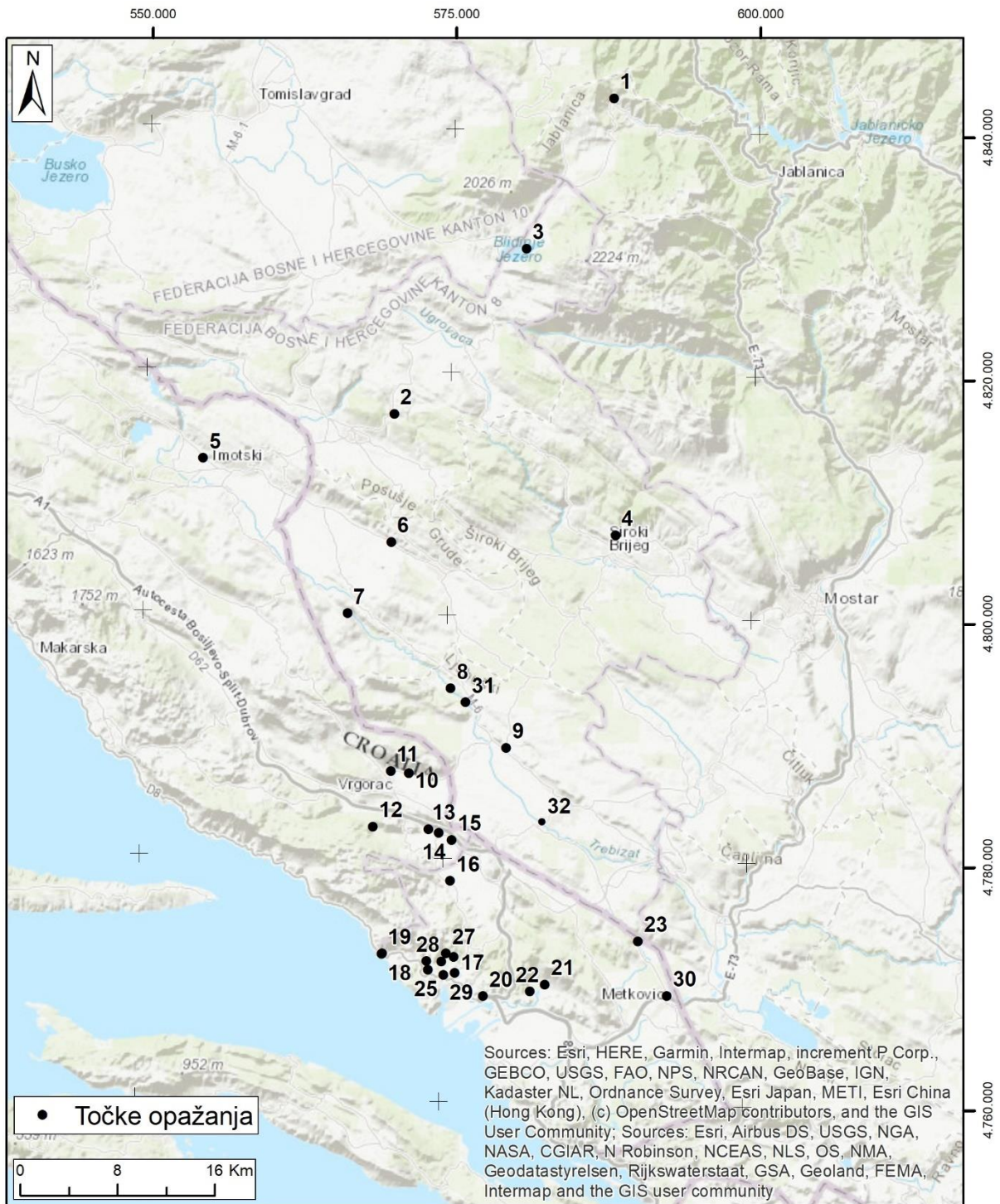
U Tablici 1 prikazane su lokacije prikupljanja podataka na istraživanom terenu.

Tablica 1. Točke opažanja i prikupljanja podataka u južnoj Dalmaciji i zapadnoj Hercegovini.

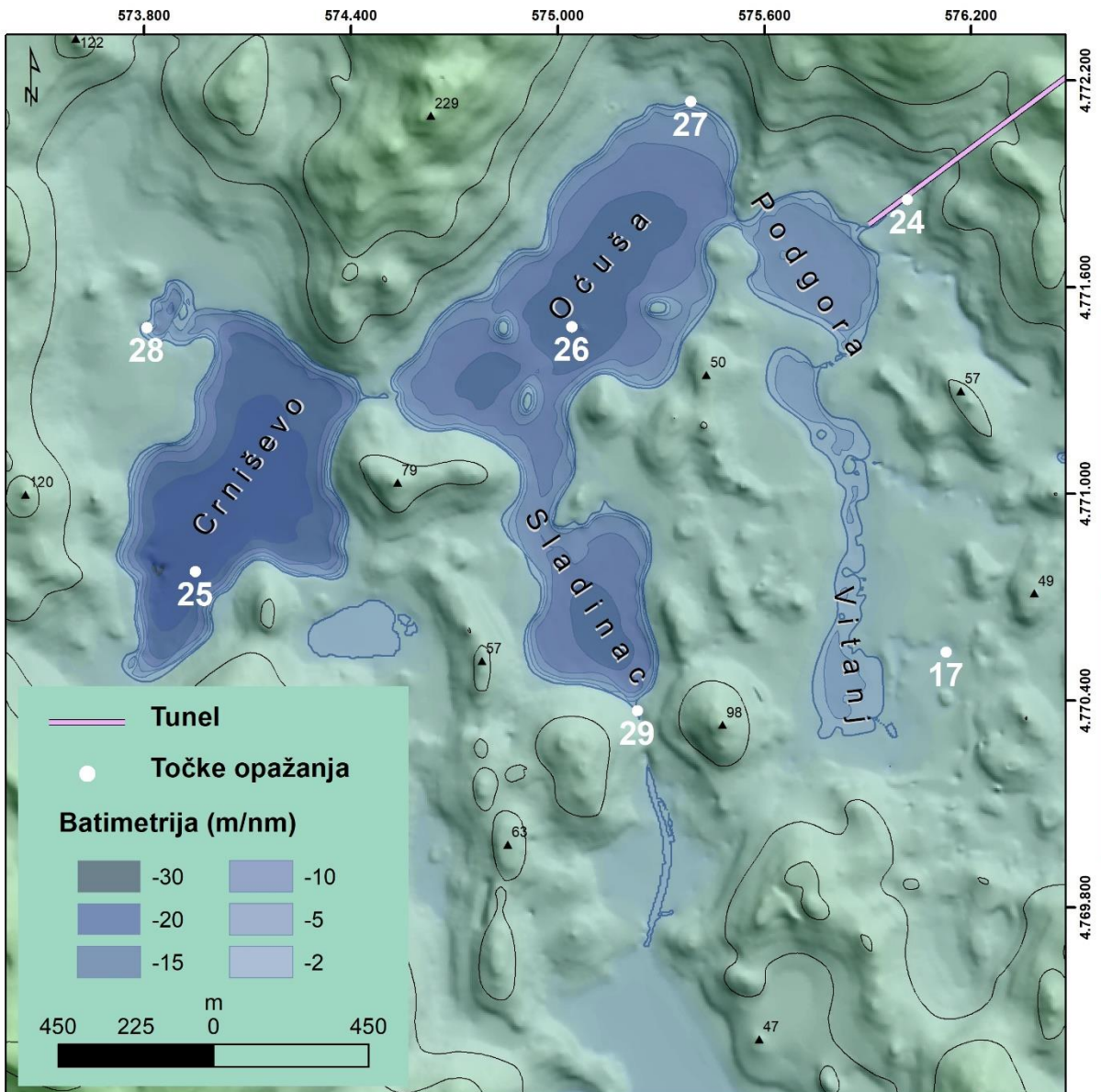
Oznaka na karti	Lokacije	HTRS koordinate		Nadmorska visina (m n.m.)
		x	y	
1	Doljanka 1	587997,4	4842703,0	950
2	Donja voda	570371,1	4816434,3	888
3	Blidinje jezero	581028,4	4830203,0	1183
4	Borak	588743,5	4806755,0	271
5	Opačac	554717,8	4812546,0	273
6	Grudsko vrilo	570322,1	4805889,9	365
7	Vrelo Tihaljine	566810,6	4799967,0	138
8	Klokun 2	575410,5	4793942,0	110
9	Vrioštica	580063,8	4789130,0	84
10	Krenica	572076,8	4786923,0	62
11	Banja	570584,1	4787072,0	26
12	Nuga	569187,3	4782481,0	30
13	Butina	573791,1	4782328,0	30

14	Stinjevac	574646,8	4782043,0	34
15	Lukavac	575713,1	4781468,0	28
16	Staševica	575623,4	4778114,0	26
17	Klokun 1	576126,7	4770542,0	2
18	Mandina mlinica kaptaza	570101,2	4771999,0	5
19	Mandina mlinica izvor	570128,5	4772049,0	10
20	Čeveljuša	578515,4	4768681,0	1
21	Strimen	583581,4	4769721,0	2
22	Modro oko	582329,2	4769128,0	10
23	Prud	591144,0	4773411,0	4
24	Tunel T2	576014,6	4771855,0	3
25	Crniševo jezero	573947,1	4770775,0	65
26	Oćuša jezero	575040,4	4771486,0	0
27	Oćuša izvor	575386,2	4772139,0	0
28	Mindel	573806,7	4771484,0	1
29	Tunel T3	575231,4	4770371,0	1
30	Neretva	593596,2	4768973,2	3
31	Klobuk	576653,8	4792824,8	106
32	Humac	58138,0	4783135,4	65

Slika 9 prikazuje istraživani teren s položajem točaka opažanja, dok Slika 10 prikazuje opažanja na Baćinskim jezerima u krupnijem mjerilu, budući da na Slici 9 radi preglednosti nisu istaknuti svi nazivi točaka opažanja. Na hidrogeološkoj karti mjerila 1:80.000 (Prilog 5) prikazane su sve točke opažanja.



Slika 9. Prikaz točaka opažanja na istraživanom terenu. Točke opažanja prikazane su u Tablici 1.



Slika 10. Točke opažanja na Baćinskim jezerima (podaci batimetrijskih mjerenja preuzeti iz Miko et al., 2015). Naziv svih točaka opažanja na Baćinskim jezerima prikazan je u Tablici 1.

Doljanka 1

Hipsometrijski najviše pozicionirana istraživana točka je Doljanka 1 na istoimenoj rijeci dugačkoj oko 13 km u zapadnoj Hercegovini. Na lokaciji Doljanka 1 (Slika 11), na jednoj od izvorišnih pritoka rijeke Doljanke, uzeti su uzorci za analize stabilnih izotopa sumpora ^{34}S u travnju i listopadu 2019. godine. Terenskom prospekcijom na ovom su području utvrđeni izdanci evaporita te je napravljeno uzorkovanje vode, iako ova lokacija ne pripada razmatranom krškom hidrogeološkom sustavu. Rijeka Doljanka prihranjuje se izvorima ispod krajnjih sjeveroistočnih padina Vran-planine. Doljanka se ulijeva u Neretvu nizvodno od Jablanice na nadmorskoj visini od 300 m. Površina slijeva Doljanke obuhvaća područje između planina

Baćina na sjeveru i Čvrsnica na jugu. Prije uzimanja uzorka na nekoliko lokacija *in situ* je mjerena EC te je uzorkovanje obavljeno na lokaciji s najvišom vrijednošću. Laboratorijskim analizama kasnije je utvrđena povećana koncentracija sulfatnih iona.



Slika 11. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara u travnju i listopadu 2019. godine, na jednoj od pritoka rijeke Doljanke u Sovićima.

Donja voda

Na širem području malog izvorčića Donja voda (Slika 12) u općini Posušje je na Osnovnoj geološkoj karti lista Imotski (Raić et al., 1978) prikazan izdanak evaporitnih stijena permske starosti. Terenskom prospekcijom šireg područja izdanak evaporita na ovoj lokaciji nije pronađen, zbog prekrivenosti gustom vegetacijom, ali su postojanje evaporitnih naslaga u osobnoj komunikaciji potvrdili mr.sc. Ivan Antunović, kao i jedan mještatin. Iz tog razloga izvor Donja voda je uzorkovan za analize stabilnih izotopa sumpora ^{34}S u travnju i listopadu 2019. godine, kako bi se utvrdilo ima li povećane koncentracije sulfatnih iona u vodi. Na terenu je procijenjen protok koji je u travnju iznosio oko $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$, dok je u listopadu protok bio oko $0,005 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 12. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara u travnju i listopadu 2019. godine na izvoru Donja voda u blizini Posušja.

Blidinje jezero

Blidinje jezero (Slika 13) je najveće planinsko jezero u Bosni i Hercegovini i zaštićeno je kao geomorfološki spomenik prirode u sastavu Parka prirode Blidinje. Smješteno je na Dugom polju, između planina Čvrsnice i Vrana. Jezero se nalazi na približno 1183 m n. m., a površina mu varira od 2,5 do 6 km². Najveća dubina jezera je 4,5 m, a najvećim dijelom je dubine do jednog metra. Nema površinskih tokova koji vode do i od jezera, a jezero se prihranjuje oborinama i procjeđivanjem s okolnih planina Vrana i Čvrsnice, ponajviše proljetnim otapanjem snijega. Ljeti veliki dio vode nestaje isparavanjem i otjecanjem kroz ponore zbog čega se razina jezera znatno snižava. Procijenjeni gubici vode iz jezera su veliki u odnosu na mali volumen i iznose oko 10 mm/dan. Na južnoj strani jezera voda kroz ponor u Ivan Docu otječe prema istoku i ponovno izvire kod brane u Grabovici i Neretvi. Ostaci morenskih naslaga u okolini ukazuju na glacijalni nastanak jezera, no prema dokumentima iz župe Poklečani oborinska voda je odlazila kroz ponore i nije se zadržavala na polju pa je tek zahvaljujući intervenciji stočara, koji su zatvorili ponore, oblikovano jezero. U svibnju 1940. godine voda je pronašla put do ponora, ali je on ponovno zatvoren. U zimskim mjesecima jezero je uglavnom zaleđeno. Iz jezera su uzimani uzorci od studenog 2017. godine do rujna 2020. godine za analize hidrogeokemijskih parametara u razdobljima kad nije bilo zaleđeno.



Slika 13. Točka opažanja, hidrogeokemijskih parametara od studenog 2017. godine do rujna 2020. godine, u Blidinjskom jezeru.

Borak

Dva kilometra od središta grada Široki Brijeg nalazi se izvor rijeke Lištice poznatiji kao Vrelo Borak (Slika 14). Vrelo Borak sastoji se od nekoliko izvora te ima konstantnu temperaturu vode oko 8 °C. Kad rijeka Lištica prikupi sve vode, ima temperaturu oko 11 °C, prema čemu je druga najhladnija rijeka u Europi, iza Neretve (Pariona, 2020). Srednja godišnja izdašnost izvora rijeke Lištice iznosi oko 2,85 m³/s te se vodom s ovog izvora opskrbljuje grad Široki Brijeg zajedno s dijelom prigradskih naselja. Lištica protječe kroz Mostarsko blato, ponire na kraju polja kod mjesta Polog te ponovno izvire kao rijeka Jasenica u dolini Neretve. Zbog nedovoljnog kapaciteta ponora, Lištica je često plavila područje Mostarskog blata. Lokacija je uključena u redoviti monitoring hidrogeokemijskih parametara od studenog 2017. godine do rujna 2020. godine, a u travnju i listopadu 2019. godine uzeti su i uzorci za analize stabilnih izotopa sumpora ³⁴S iz sulfata.



Slika 14. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od studenog 2017. godine do rujna 2020. godine, na izvoru Borak u Širokom Brijegu.

Opačac

Izvor Opačac (Slika 15) nalazi se uz desnu obalu krške rijeke ponornice Vrljike duge oko 70 km, čiji se tok većim dijelom nalazi u Bosni i Hercegovini (Trebižat–Mlade–Tihaljina), a posljednjih 13 km u Hrvatskoj. Izvor Opačac udaljen je oko 60 m od ruba Imotsko-bekijskog polja. Izvire sifonski, a jezerce ograđeno betonskim propustima je promjera oko 25 m. Na njemu je ugrađen zahvat za vodoopskrbu za šire područje Imotskog. Izvor Opačac najizdašniji je izvor u Imotsko-bekijskom polju s minimalnom izdašnošću oko 1,0 m³/s, srednja izdašnost izvora iznosi oko 6 m³/s, a maksimalna doseže i do 30 m³/s. Temperatura izvorske vode iznosi od 10 do 11 °C. Neposredno uzvodno od Opačca s lijeve strane rijeke Vrljike nalazi se nekoliko izvora vrlo velikih oscilacija, tako da tijekom dugotrajnih suša na nekim izvorima voda gotovo potpuno presuši. Ostali važniji izvori su Jauk, Utopišće, Duboka draga i Dva oka. U neposrednoj blizini nalazi se još nekoliko manje značajnih povremenih izvora koji se pojave kratkotrajno nakon intenzivnih i dugotrajnih oborina. Na lokaciji je obavljan monitoring hidrogeokemijskih parametara u razdoblju od studenog 2017. godine pa sve do rujna 2020. godine.



Slika 15. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od studenog 2017. godine do rujna 2020. godine, na izvoru Opačac u Prološcu Donjem kod Imotskog.

Grudsko vrilo

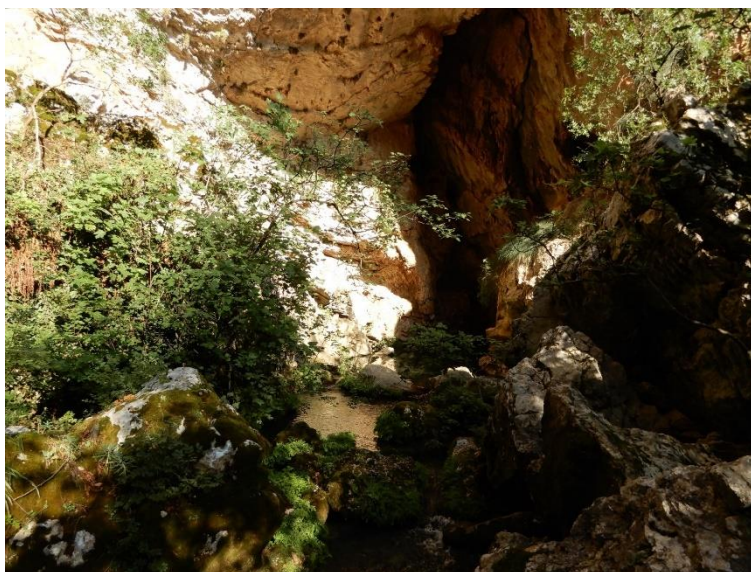
Grudsko polje je krško polje u jugozapadnom dijelu Bosne i Hercegovine. Nalazi se na nadmorskoj visini od oko 250–270 m i otvoreno je prema dolini Neretve. U sjeveroistočnom dijelu polja nalaze se brojna krška vrela, od kojih je najznačajnije Grudsko vrilo (Slika 16), a na jugozapadu su ponori od kojih su najznačajniji Šainovac i Mikulića ponor. Izvor Grudsko vrilo zahvaćen je za vodoopskbu grada Grude, udaljenog oko 4,5 km. Grudsko polje čini dio hidrološke cjeline Imotsko-bekijskog polja. Dio voda Grudskog vrila otječe u Maticu Grudsku, dalje do Grudskog polja, a dio otječe Grudskim kanalom ka ponornoj zoni u rijeci Vrljici. Kanal je izgrađen 1970-tih godina kako bi se rasteretile vode Matice Grudske pri visokim vodama i smanjile poplave u Grudskom polju. Maksimalni protoci na mjernoj stanici Grudsko vrilo su između 6,0 i 7,8 m³/s dok u ljetnim mjesecima izvor presušuje, pa se vodoopskrba nastavlja iz bušotinskog zdenca neposredno uz sam izvor. Voda s izvora kanalom otječe do ponorne zone Kongora, odakle vode podzemnim putem otječu na vrela uz Tihaljinu – Modro oko. U Grudskom vrilu uzeti su uzorci za analize stabilnih izotopa sumpora iz sulfata u travnju i listopadu 2019. godine.



Slika 16. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara u travnju i listopadu 2019. godine, na Grudskom vrilu u Grudama (visoke vode).

Vrelo Tihaljine

Tihaljina je rijeka ponornica u zapadnoj Hercegovini, u jugozapadnom dijelu Bosne i Hercegovine koja pod tim imenom izvire u spektakularnoj pećini u Peć–Mlinima. Vrelo Tihaljine izvire iz pećine podno 150 m visokih crvenkastih vapnenačkih stijena (Cvitanjskih stina) i teče niz manje slapove i brzace. Rijeka je ime dobila po naselju Tihaljina, a sâm izvor je dobio ime Peć po pećini i Mlini od niza mlinica koje su nekada bile u uporabi. 2005. godine je kod izvora sagrađena hidroelektrana istoimenog naziva Peć–Mlini. Rijeka Tihaljina je dio rijeke ponornice koja duž svojeg toka ima više imena, a u završnom je dijelu poznata pod imenom Trebižat. Nizvodno od izvora Peć–Mlini smještena je mjerna postaja Tihaljina s dugogodišnjim nizom hidroloških mjerenja protoka i vodostaja. Prema podacima s mjerne postaje Tihaljina maksimalni protoci su oko $100 \text{ m}^3/\text{s}$, minimalni padnu na vrijednost do $1 \text{ m}^3/\text{s}$, a prosječni godišnji protoci iznose oko $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Na lokaciji je obavljen monitoring hidrogeokemijskih parametara u razdoblju od studenog 2017. godine pa sve do rujna 2020. godine. Iz Imotsko bekijskog polja dio vode teče kroz tunel Pećnik (izgrađen 1951. godine) do blizine izvora rijeke Tihaljine (do HE Peć–Mlini) (Smoljan, 1970; Smirčić et al., 1995), što je smanjilo kapacitet izvora nakon izvedbe hidrotehničkog zahvata.



Slika 17. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od studenog 2017. godine do rujna 2020. godine, na Vrelu Tihaljine u Peć Mlinima.

Klokun 2

Izvor Klokun 2 (Slika 18) nalazi se u zaseoku Poljane u Klobuku. Izvor karakterizira minimalna izdašnost od oko $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$, tako da pripada u kategoriju najvećih izvora u Bosni i Hercegovini. Slijevno područje ovog izvora izduženo je prema sjeverozapadu i seže do Poklečana u Rakitnom polju – udaljenih više od 30 km. U ovom, krajnje sjeverozapadnom dijelu, slijevno područje izvora Klokun 2 pripada tektonski vrlo poremećenoj zoni s koje u razdoblju velikih voda podzemne vode otječu prema izvoru Lištice i izvoru Vrioštice, a što je utvrđeno trasiranjem podzemnih voda preko Markovića ponora u jugoistočnom dijelu polja Rakitno. Ovom izvoru dijelom pripadaju i podzemne vode sa slijeva Grudskog vrila, što je dokazano trasiranjem.

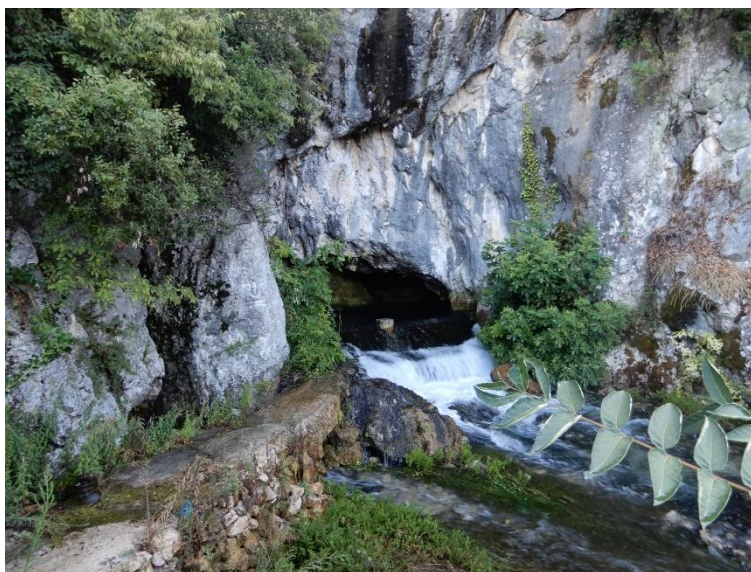


Slika 18. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od studenog 2017. godine do rujna 2020. godine, na izvoru u Klokun 2 kod naselja Klobuk u Bosni i Hercegovini.

Vrioštica

Izvor Vrioštica (Slika 19) nalazi se u Vitini sjeverozapadno od Ljubuškog, približno 11 km sjeverozapadno od najzapadnijeg izvora Studenčice, Mlinice. Nalazi se u naselju Vitina gdje voda izvire iz špilje i koristi se za potrebe vodoopskrbe jednog dijela općine Ljubuški. Izmjerena minimalna izdašnost izvora iznosi oko 1 m³/s dok su srednji godišnji protoci ovog izvora oko 3,2 m³/s. Izvor je preljevnog karaktera, a nalazi se u zoni velike Ljubuške navlake na kontaktu okršenih gornjokrednih vapnenaca i neogenske barijere uz sjeveroistočni rub Ljubuškog polja. Sa sjeveroistočne i istočne strane graniči sa slijevom izvora Studenčice, a sa sjeverozapadne i zapadne strane sa slijevom Grudskog vrila. U razdobljima vrlo velikih voda u izravnoj je vezi sa slijevom izvora Klokun 2. Izvori Grabova vrela vjerojatno su preljevne vode slijeva Vrioštice u razdoblju srednjih i velikih voda.

Na slijevnom području utvrđena je podzemna veza izvora Vrioštica s izvorom Klokun 2 i to od ponora Markovića mlinice (Rakitno), koji je udaljen od vrela Vrioštice više od 30 km. Utvrđena je i podzemna veza s krajnjim jugoistočnim dijelom Grudskog polja (Baran). Sve ovo upućuje da se radi o vrlo izduženom slijevnom području koje se pruža prema sjeverozapadu sve do polja Rakitno i Štitar planine na zračnoj udaljenosti od oko 40 km. Na lokaciji je obavljan monitoring hidrogeokemijskih parametara u razdoblju od studenog 2017. godine pa sve do rujna 2020. godine.



Slika 19. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od studenog 2017. godine do rujna 2020. godine, na izvoru Vrioštica kod Ljubuškog.

Krenica

Krenica (Slika 20) je povremeni izvor koji se nalazi u sjeverozapadnom rubnom dijelu Rastok polja. Postoji više mjesta izviranja, a izvor nije kaptiran. Mjerenja protoka nisu obavljena, a procijenjeno je kako pripada kategoriji izvora izdašnosti od 0,1–1 m³/s. Ljeti rano presuši, no brzo reagira već pri pojavi prvih kiša. Maksimalni protok nije moguće utvrditi, jer je izvor tijekom visokih voda potopljen vodom iz polja. Krenica je bila uključena u monitoring od prosinca 2014. godine pa sve do rujna 2020. godine. Uzorkovanje nije moglo biti potpuno radi povremenog presušivanja izvora.



Slika 20. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od prosinca 2014. godine do rujna 2020. godine, na izvoru Krenica kod Rastok polja – visoke vode (desno) i niske vode (lijevo).

Banja

Izvor Banja (Slika 21) nalazi se vrlo blizu izvora Krenica, tek nešto više od 1 km sjeverozapadno. To je povremeni izvor koji izvire iz krške jame. Tijekom najnižih vodostaja, vode u jami padnu i za više od 15 m, dok za vrijeme hidrološkog maksimuma voda izvire na površini kroz kratki dio godine, kada tvori i dosta jak bujični tok. U neposrednom zaleđu ovog izvora nalazi se bušeni zdenac koji koristi lokalni vodovod (Vrgorac). Uzorci za hidrogeokemijske analize uzimani su iz slavine koja se nalazi u sklopu bušenog zdenca (Slika 22) u razdoblju od siječnja 2014. godine pa sve do rujna 2020. godine.



Slika 21. Izvor Banja kod Rastok polja u jami u hidrološkom minimumu (lijevo) i maksimumu (desno).



Slika 22. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od prosinca 2014. godine do rujna 2020. godine, iz bušenog zdenca na izvoru Banja.

Nuga

Izvor Nuga (Slika 23) nalazi se na sjeverozapadnom rubnom dijelu Vrgoračkog polja. To je estavela koja ulogu izvora ima tek za viših vodostaja. U razdobljima u kojima Vrgoračko polje poplavi i tok Matice se prelije iz korita, a podzemne vode su dovoljno niske, poprima ulogu ponora. U uvjetima tako visokih voda rijeke Matice, prilikom jednog terenskog obilaska uviranje je procijenjeno na oko 0,05 m³/s. Tijekom nižih vodostaja nije vidljivo izviranje, a razina vode u estaveli tada predstavlja razinu podzemne vode u Vrgoračkom polju. Naknadno je utvrđeno kako se oko 100 m sjeverozapadno hispometrijski iznad Nuge nalazi povremeni izvor i njegovo korito. Nuga nije kaptirana, ali se koristi za zalijevanje obližnjeg poljoprivrednog zemljišta. Uzorci za hidrogeokemijske analize uzimani su od rujna 2013. pa sve do ožujka 2016. godine.



Slika 23. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2016. godine., na izvoru Nuga u Vrgoračkom polju – visoke vode (lijevo) i niske vode (desno).

Butina

Izvor Butina (Slika 24) je najveći izvor u Vrgoračkom polju (polje Jezero), a nalazi se oko 5 km istočno od Nuge. Vrlo je izdašan. Izvorište tvori jezerce promjera do 20-ak m. Izvor je kaptiran za lokalni vodovod, ali su tijekom cijelog razdoblja istraživanja trajali radovi preuređenja kaptaze, što je uzrokovalo brojne probleme u mjerenju razina i protoka na izvoru. Blizu mjesta izviranja, na mjestu gdje započinje površinski tok nalazi se kanalizacijski ispust bez ikakvog sustava pročišćavanja, što je jako nepovoljno, budući da se izvor koristi za vodoopskrbu. Uzorci za hidrogeokemijske analize uzimani su od rujna 2013. godine do rujna 2020. godine. Na izvorištu su obavljena i mjerenja protoka te mjerenja automatskim mjeračima tijekom 2014. godine. Na izvoru su uzeti i uzorci za analize stabilnih izotopa sumpora ³⁴S iz sulfata u travnju i listopadu 2019. godine.



Slika 24. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do rujna 2020. godine i mjerenja protoka tijekom 2014.godine, na izvoru Butina u Vrgoračkom polju.

Stinjevac

Izvor Stinjevac (Slika 25) nalazi se otprilike 1 km jugoistočno od izvora Butina. Prema svjedočenju lokalnog stanovništva ovaj izvor presušuje, no tijekom cijelog razdoblja istraživanja nije presušio ni u vrijeme najnižih voda. Ima izrazito krški karakter, što se vidi i po velikom variranju protoka. Voda na izvoru je poprilično mutna, što je posebno izraženo u vrijeme viših protoka. Najmanja izdašnost je oko $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$, a u maksimumu je procijenjeno istjecanje i preko $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Uzorci za hidrogeokemijske analize uzimani su od rujna 2013. godine pa sve do ožujka 2015. godine.



Slika 25. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2015. godine, na izvoru Stinjevac u Vrgoračkom polju.

Lukavac

Izvor Lukavac (Slika 26) nalazi se 2 km jugoistočno od Stinjevca. Teško je procijeniti minimalne protoke, jer je mjesto izviranja ograđeno, a na kraju se nalazi ustava kojom se tijekom minimalnih protoka regulira količina otjecanja. Procjenjuje se kako u minimumu istječe oko 0,01 m³/s, a u maksimumu i preko 0,1 m³/s. Izvor nije kaptiran, a vodu lokalno stanovništvo koristi za zalijevanje. Svi prethodno spomenuti izvori u Vrgoračkom polju (Nuga, Butina, Stinjevac), kao i izvor Lukavac, tvore tok koji se pridružuje površinskom toku Matice koja teče Vrgoračkim poljem od izvora u krajnjem sjeverozapadnom dijelu polja prema njegovom jugoistoku. Uzorci za hidrogeokemijske analize uzimani su od rujna 2013. godine pa sve do ožujka 2016. godine.



Slika 26. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2015. godine, na izvoru Lukavac u Vrgoračkom polju.

Staševica

Nizvodno od izvora koji se nalaze u sjeverozapadnom dijelu Vrgoračkog polja u mjestu Staševica, nalazi se točka opažanja na površinskom toku Matice (Slika 27). Ova točka opažanja odabrana je zato što se u starim bazama hidrogeoloških podataka navodi kako se na ovom mjestu nalazi estavela. Zbog toga su odabrane dvije točke opažanja za ovu lokaciju, međusobno udaljene oko 100 m, jedna nizvodno od estavele, a druga uzvodno. Prigodom višekratnih opažanja na ovoj lokaciji nije primijećeno niti izviranje niti uviranje. Nakon nekoliko mjeseci uzorkovanja u različitim hidrološkim uvjetima, utvrđeno je kako su vrijednosti mjerenih parametara na obje točke gotovo jednake, tako da se može smatrati da nema nikakvog

značajnog izviranja. Stoga se odustalo od uzorkovanja i mjerenja na obje točke i do kraja istraživanja je uzorkovana samo nizvodna lokacija. Uzorci za hidrogeokemijske analize uzimani su od rujna 2013. godine pa sve do ožujka 2016. godine.



Slika 27. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2016. godine, na površinskom toku rijeke Matice u mjestu Staševica.

Klokun 1

Izvor Klokun 1 (Slika 28) nalazi se s istočne strane Baćinskih jezera i ujedno je jedna od najvažnijih točaka opažanja u sklopu provedenih istraživanja. Izvorište tvori jezerce koje je popločeno kamenom, a kratkim površinskim tokom teče prema ušću u najistočnije Baćinsko jezero Vitanj (Plitko jezero). Kaptiran je za vodoopskrbu Ploča i okolice, a karakterizira ga izrazita mutnoća u vrijeme jakih oborina u zaleđu. Uzorci za hidrogeokemijske analize uzimani su od rujna 2013. godine do rujna 2020. godine. Na izvorištu su obavljena i mjerenja protoka te mjerenja automatskim mjeracima u 2014. godini. Prikupljeni su podaci protoka i razina (2008.–2010.; 2012.–2017.), a podaci o količini kišnice na meteorološkoj postaji Ploče dobiveni su od DHMZ-a (2013.–2016.).



Slika 28. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do rujna 2020. godine te mjerenja automatskim mjeračima tijekom 2014. godine, na izvoru Klokun 1 u Pločama.

Mandina mlinica

Izvor i kaptaza Mandina mlinica (Slika 30) imaju različita mjesta izviranja u različitim hidrološkim uvjetima.

Mandina mlinica je priobalni bočati izvor koji ima nekoliko mjesta izviranja. Smješten je ispod magistralne ceste u blizini Gradca, oko 3 km zapadno od Baćinskih jezera. Izvorište tvori jezercce ograđeno kamenom, koje se kroz napravljeni propust izliva u more. Dvadesetak metara od njega se nalazi se još jedan izvor, na kojem je izgrađena kaptaza iz koje je crpljena voda za vodoopskrbu, no sada je zapuštena i više se ne koristi. U prvom dijelu istraživanja je opažan izvor na kaptazi, jer je bio znatno manje bočat od donjeg izvora, a pretpostavljalo se kako su dio istog hidrogeološkog sustava. Međutim, naknadno su rađena trasiranja te su tom prilikom opažana oba mjesta izviranja. Rezultati su bili iznenađujući jer se traser, suprotno očekivanjima, nije istodobno pojavio na glavnom izvoru u jezercu i na kaptazi. Maksimalna koncentracija traseru pojavila se oko 2,5 dana ranije na glavnom izvoru nego na kaptazi. Nakon toga su pri redovitom opažanju uzorkovana i mjerena oba mjesta izviranja.

Cijela uvala Mandine mlinice odlikuje se brojnim mjestima izviranja, priobalno, ali i pod morem u obliku vrulja koje su jasno uočljive tek u vrijeme visokih razina podzemnih voda (Slika 29).



Slika 29. Vrulja kod izvora Mandina mlinica u vrijeme hidrološkog maksimuma, koja ukazuje veliki dotok slatke vode i njezino prihranjivanje iz zaleđa.

Izvor Mandina mlinica uključen je u redoviti monitoring od rujna 2013. do rujna 2020. godine, ali na izvoru nisu uzimani uzorci tijekom 2014. godine. Na izvoru su uzeti uzorci za analize stabilnih izotopa sumpora ^{34}S iz sulfata u travnju i listopadu 2019. godine. Mandina mlinica kaptaža uključena je u redoviti monitoring od veljače 2014. godine pa sve do kolovoza 2020. godine.



Slika 30. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od veljače 2014. godine pa sve do kolovoza 2020. godine., na Mandinoj mlinici u izvoru (lijevo) i kaptaži (desno) u blizini Gradca.

Čeveljuša

Izvorišna zona Čeveljuša nalazi se u blizini Ploča, u istoimenom zaselku (Slika 31). Minimalni kapaciteti izvora su oko $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$, a maksimalni i preko $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$, Sastoji se od nekoliko mjesta izviranja od kojih je za uzorkovanje odabrano jedno od jačih, koje se nalazi hipsometrijski nešto

više od rijeke Neretve, jer su neka od mjesta izviranja u razini same rijeke i povremeno pod njezinim usporom. Čeveljuša je bila uključena u redoviti monitoring hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine pa sve do kolovoza 2020. godine.



Slika 31. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do kolovoza 2020. godine, na izvoru Čeveljuša kod Ploča.

Strimen

Izvor Strimen (Slika 32) izvire u polju te je voda redovito vrlo zamućena. Kako na Strimenu ne postoji samo jedno mjesto izviranja, nego cijela zona, vrlo je teško procijeniti izdašnosti. Gruba procjena je kako se minimalna izdašnost nalazi u kategoriji od 0,01–0,1 m³/s, dok maksimalnu nije moguće ni grubo procijeniti, jer je u vrijeme visokih voda pod usporom rijeke Neretve (zapravo rijeke Desanke, desnog pritoka Neretve, no u njezinoj razini). Strimen je bio u sustavu monitoringa hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2016. godine.



Slika 32. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2016. godine, na izvoru Strimen kod mjesta Komin.

Modro oko

Izvor Modro oko (Slika 33) izvire na rubu istog polja kao i Strimen, ali na njegovoj nasuprotnoj, zapadnoj strani. To je područje Desne s brojnim prilično jakim krškim vrelima po obodu između Strimena i Modrog oka, pa i dalje, koja formiraju tok Desanke, desne pritoke Neretve. Navedena izvorišta nalaze se praktički u razini Neretve i cijela dolina u vrijeme viših dotoka poplavljuje tvoreći veliko jezero u sredini. Mjesto izviranja nalazi se malo iznad polja i tvori jezerce promjera 30-ak m. U minimumu mu je kapacitet oko 0,001 m³/s, a u maksimumu jako puno, no količine je vrlo teško precizno izmjeriti zbog uspora Desanke. Izvor Modro oko bio je uključen u redoviti monitoring od rujna 2013. godine pa sve do rujna 2020. godine. Za izvor Modro oko je DHMZ prikupljao podatke protoka i razina za razdoblje od 1995. godine do 2009. godine.



Slika 33. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do rujna 2020. godine, na izvoru Modro oko koje se nalazi jugoistočno od naselja Banja, neposredno uz granicu sa gradom Metkovićem.

Prud

Izvor Prud (Slika 34) dio je šireg hidrogeološkog sustava kojem pripadaju i Baćinska jezera. Dijele značajan dio slijeva u zaleđu, pogotovo u Bosni i Hercegovini. Nalazi se u najistočnijem dijelu istraživanog područja. To je najveći izvor u ovoj zoni i vrlo je bitan za regionalnu vodoopskrbu šireg područja. Kaptiran je za regionalni vodovod Neretva–Pelješac–Korčula–Lastovo (NPKL), kao i lokalno za dio Metkovića, a trenutno se koristi tek 10 % njegovog minimalnog kapaciteta. Prud je najizdašniji izvor u hrvatskom dijelu desne obale rijeke Neretve sa srednjim godišnjim protokom od oko 6,2 m³/s (Rubinić & Horvat, 2015), od čega se za vodoopskrbu koristi tek 0,12 m³/s. Minimalna izmjerena izdašnost tijekom razdoblja istraživanja bila je oko 3 m³/s, a maksimalna oko 10 m³/s. Na Prudu je redoviti monitoring hidrogeokemijskih parametara započeo u prosincu 2013. godine i trajao je do rujna 2020. godine. Mjerena je i razina automatskim mjerачima kao i protok. Prikupljeni su i podaci od DHMZ-a o razinama iz kojih su konstrukcijom protočne krivulje dobiveni podaci o protoku ovog važnog izvora. Na lokaciji su obavljena i uzorkovanja za stabilne izotope sumpora ³⁴S iz sulfata u travnju i listopadu 2019. godine.



Slika 34. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od prosinca 2013. godine i do rujna 2020. godine te mjerenja protoka tijekom 2014. godine, na izvoru Prud zapadno od Metkovića.

Tunel T2

Tunel T2 (Slika 35) prokopan je 1938. godine kako bi se drenirao višak vode iz Vrgoračkog polja (Jezero) tijekom visokih voda, kad je dolazilo do plavljenja velikog dijela polja. Tunel je dugačak nešto više od 2 km. U samom tunelu nalaze se jedan ili više izvora nepoznate izdašnosti koji nisu kartirani, jer je u znatnom dijelu godine nemoguće prolaziti kroz tunel zbog prejakih protoka. Izvori su otvoreni prokapanjem tunela, što je najvjerojatnije bio i razlog presušivanja jednog izvora iznad tunela koji su mještani koristili i nastojali ga ponovo obnoviti zatrpavanjem izvora u tunelu. Zbog tih izvorišnih zona tunel, ovisno o razinama voda u okolnoj stijenskoj masi, djeluje kao dren ne samo za polje Jezero, nego i za stijensku masu u svojoj okolini. Ipak, doprinosi vode koja se drenira iz okolne stijenske mase zanemarivi su u odnosu na onu koja dolazi iz polja. Uzorci za hidrogeokemijske analize uzimani su na izlazu iz tunela, gdje vode iz tunela otječu u jezero Oćuša (Baćinska jezera). Opažanje je trajalo od rujna 2013. godine pa sve do ožujka 2016. godine. Na istoj su lokaciji mjerene razina i EC automatskim mjeračima, a tijekom 2014. godine povremeno i protoci.



Slika 35. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2016. godine te mjerenja automatskim mjeracima i protoka tijekom 2014. godine, na Tunelu T2 kojim se višak vode iz Vrgoračkog polja dovodi u Baćinska jezera

Crniševo jezero

Točka opažanja u jezeru Crniševo (Slika 36) postavljena je na pretpostavljenom mjestu najveće dubine jezera čije je dno morfološki vrlo nepravilno. U sklopu paleolimnoloških istraživanja (Miko et al., 2015) sonarom, utvrđene su i dublje zone, gdje bi ubuduće trebalo obavljati sustavna opažanja logerima, radi boljeg objašnjenja utjecaja mora na ovo jezero. U sklopu hidrogeoloških istraživanja na ovoj lokaciji su na četiri dubine (3 m, 11 m, 17 m i 23 m) postavljeni automatski mjeraci za mjerenje EC. Prilikom svakog terenskog obilaska, na tim su dubinama multiparametarskom dubinskom sondom mjereni in situ fizikalno-kemijski pokazatelji. Uzorkivačima za uzorkovanje vode po dubini uzimani su uzorci i analizirani u hidrokemijskom laboratoriju Hrvatskog geološkog instituta. Monitoring hidrogeokemijskih parametara proveden je od rujna 2013. godine pa sve do lipnja 2015. godine.



Slika 36. Panoramski prikaz jezera Crniševo u Baćinskim jezerima u mjestu Baćina pored Ploča, gdje je obavljan monitoring od rujna 2013. godine pa sve do lipnja 2015. godine.

Oćuša jezero

Istraživanje na odabranoj lokaciji u jezeru Oćuša (Slika 37) bilo je isto kao i na jezeru Crniševo, ali su ovdje opažачke točke bile postavljene na samo dvije dubine (8 m i 17 m) jer je ovo jezero pliće, a uz to gotovo je i protočno dijelom godine, jer se nalazi izravno na putu vodama između dvaju tunela – dovodnog i odvodnog. Razlike u kemizmu voda po dubinama znatno su manje, a u nekim uvjetima gotovo ih i nema, pa stoga nema niti potrebe za gušćim opažanjima i mjerenjima. Ovo jezero je znatno pliće, a morfologija dna je, za razliku od Crniševa, uglavnom ujednačena. Monitoring hidrogeokemijskih trajao je od rujna 2013. godine pa sve do lipnja 2015. godine.



Slika 37. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2016. godine te mjerenja automatskim mjeračima tijekom 2014. godine na jezeru Oćuša u Baćinskim jezerima u mjestu Baćina kod Ploča.

Oćuša izvor

Izvor Oćuša nalazi se na sjeveroistočnom rubu istoimenog jezera. U monitoring je uključen tek pred kraj istraživanja, tako da je opažan nešto kraće. Procjenjuje se kako u minimumu istječe svega oko 0,001 m³/s, a u maksimumu je pod usporom jezera pa je nemoguće procijeniti ili izmjeriti njegov kapacitet. Izvor Oćuša uključen je u monitoring od listopada 2013. pa do ožujka 2016. godine. Uzorci nisu uzimani redovito, pa je ukupno s izvora analizirano samo šest uzoraka u različitim vremenskim intervalima.

Mindel

Izvor Mindel (Slika 38) nalazi se na sjeverozapadnom dijelu jezera Crniševo. Kapacitet mu nije moguće izmjeriti ni procijeniti, jer je stalno pod usporom jezera. Uvijek je zamućen, a pored toga, prilikom svakog obilaska zapažen je neugodan miris. Ovaj izvor uzorkovan je prilikom ranijih istraživanja kojima se želio utvrditi mogući utjecaj odlagališta otpada „Lovornik“ na ekosustav Baćinskih jezera (Kosović, 2008), a Mindel se nalazi oko kilometar nizvodno (i hipsometrijski niže) od odlagališta. Na tom odlagalištu otpada se od 1970. prikuplja otpad s područja grada Ploča te općina Gradac i Kula Norinska, ali na neadekvatan način. Na izvoru Mindel uzorci su uzimani za hidrokemijske analize u razdoblju od rujna 2013. godine do ožujka 2016. godine.



Slika 38. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2016. godine., na izvoru Mindel u Baćinskim jezerima.

Tunel T3

Tunelom T3 (Slika 39) odvodi se voda iz Baćinskih jezera prema moru. Prokopan je 1913. godine i dug je 120 m, a zajedno s kanalom kojim se voda dalje odvodi prema moru dugačak je 577 m. Naknadno je napravljena i betonska pregrada kako bi se spriječio prodor mora natrag u Baćinska jezera tijekom niskih razina voda i viših plima.

Uzorci za hidrogeokemijske analize uzimani su od rujna 2013. godine do ožujka 2016. godine. Na istoj su lokaciji mjerene razina i EC automatskim mjeračima te su povremeno tijekom 2014. godine mjereni protoci.



Slika 39. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od rujna 2013. godine do ožujka 2016. godine te mjerenja automatskim mjeračima i protoka tijekom 2014. godine, na Baćinskim jezerima Tunelu T3 kojim se višak vode iz jezera odvodi u more, u vrijeme niskih voda.

Neretva

Rijeka Neretva (Slika 40) dugačka je 225 km, a od toga samo se posljednjih 20 km nalazi u Hrvatskoj. Porječje obuhvaća 5581 km². Izvire u blizini sela Luka u Bosni i Hercegovini, jugoistočno od Zelengore, na visini od 1095 m n. m. U Jadransko more ulijeva se kraj Ploča. Glavni pritoci rijeke Neretve su Rakitnica, Rama, Bregava i Trebižat. Zapadno od Konjica nalazi se umjetno Jablaničko jezero iz kojeg se voda odvodi 3 km dugačkim kanalom do hidroelektrane Jablanica. Prema jugu rijeka se probija kroz kanjon između planina Čvrsnice i Prenja, a zatim teče kotlinama (Bijelo polje, Mostarska kotlina, Mostarsko polje). Kraj Gabele širi se u deltu površine 196 km², a nizvodno od Opuzena račva se u 12 rukavaca od kojih su tri protočna. Ljeti ima nizak vodostaj, a zimi i u proljeće visok, što je tipično za mediteranski režim. Plovna je do Metkovića koji se nalazi 20 km uzvodno od ušća. U antičko doba nazivala

se Naron, Narenta i Nestos. Delta rijeke je kao ihtiološko–ornitološki rezervat pod zaštitom je UNESCO-a od 1992. godine. Kao ornitološki rezervati zaštićeni su lokaliteti Pod Gredom, Prud i Orepak, a kao značajni krajolik jezera Modro oko i Desne u Hrvatskoj. Budući da rijeka Neretva skuplja vode s cijelog slijevnog područja, odlučeno je kako će lokacija uzorkovanja za hidrogeokemijske analize biti u Metkoviću, kao jednoj od krajnjih točaka istjecanja. Monitoring je počeo u listopadu 2017. godine, a završio u rujnu 2020. godine.



Slika 40. Točka opažanja hidrogeokemijskih parametara od listopada 2017. godine do rujna 2020., na rijeci Neretvi u Metkoviću.

Klobuk

Na rijeci Tihaljini nalazi se nekoliko vrela od kojih je značajnije Modro oko, gdje se Tihaljina značajno obogaćuje vodom, „pomlađuje“ pa i dobiva naziv Mlade. Naime, u ljetnim mjesecima, naročito u ekstremno sušnim godinama, Tihaljina do izvora Klokun 2 gotovo presuši i ovo izuzetno izdašno vrelo značajno poveća njezin protok, prvenstveno pri malim i srednjim vodama. Neposredno nizvodno od ušća vrela, na rijeci Mlade, nalazi se mjerna postaja Klobuk, s dugogodišnjim hidrološkim mjerenjima protoka i vodostaja. Uzvodno od mjerne postaje Klobuk, paralelno s desnom obalom, nalazi se kanal za navodnjavanje značajnih dimenzija, koji utječe na prirodne protočne količine zabilježene na mjernoj postaji Klobuk, prvenstveno pri malim vodama, u sušnom razdoblju godine. Na lokaciji je Agencija za vodno područje Jadranskog mora – Mostar prikupljala podatke o protoku u razdoblju od 2012. godine do 2014. godine.

Humac

S hidrološke i meteorološke postaje Humac prikupljeni su podaci protoka oborina u razdoblju od 2012.–2014. godine, a njihova je analiza prikazana u poglavlju 5.3. Postaja Humac je locirana nizvodno od ušća rijeke Vrioštica u Trebižat u mjestu Humac, a predstavlja jednu od najznačajnijih postaja istraživanog područja, jer ima najduži niz sustavnih hidroloških mjerenja protoka (to je prva postaja postavljena na području Bosne i Hercegovine, 1883. godine). Postaja je značajna za davanje uputa za rad HE Peć–Mlini pri velikim vodama. Danas na ovoj lokaciji postoji automatska hidrološka postaja. Podaci su dobiveni od Agencije za vodno područje Jadranskog mora – Mostar.

4.2. Hidrogeokemijski parametri

4.2.1. Uzorkovanje fizikalno-kemijskih parametara i osnovnih iona te opis laboratorijskih tehnika mjerenja

Uzorkovanje podzemne i površinske vode trajalo je od 25.9.2013. godine do 30.9.2020. godine (Prilog 1). Uzorci su prikupljeni približno u mjesečnim intervalima, osim u razdoblju od 10.12.2014. godine do 30.11.2017. godine kada su prikupljeni kvartalno. Lokacije prikupljanja uzoraka su se mijenjale tijekom vremena. S obzirom na to su u rezultatima jednokratnog uzorkovanja 2014. godine na izvorima u području Trebižat–Mlade–Tihaljina (Klokun 2 i Vrelo Tihaljine) u zapadnoj Hercegovini utvrđene povišene koncentracije sulfatnih iona, od 2017. godine su istraživanja proširena i na zapadnohercegovački dio slijeva kako bi se dodatno istražilo njihovo podrijetlo. Zbog vrlo velikog broja podataka iz hrvatskog dijela istraživanog područja, novija istraživanja obuhvaćala su samo najvažnije izvore u Hrvatskoj. U razdoblju od 26.2.2020. godine do 25.8.2020. godine nije bilo moguće prikupljanje uzoraka u zapadnohercegovačkom dijelu zbog COVID-19 pandemije. Tablica 2 prikazuje lokacije i vremensko razdoblje uzorkovanja.

Tablica 2. Prikaz lokacija i vremenskih razdoblja istraživanja.

Lokacije	Vremensko razdoblje	Napomena
Klokun 1	25.9.2013.–30.9.2020.	
Modro oko	25.9.2013.–30.9.2020.	
Prud	11.12.2013.–30.9.2020.	Nešto kasnije uključen u monitoring
Butina	25.9.2013.–30.9.2020.	

Mandina mlinica kaptaža	6.2.2014.–30.9.2020.	Nešto kasnije uključen u monitoring
Mandina mlinica izvor	25.9.2013.–30.9.2020.	Nisu prikupljeni uzorci kroz cijelu 2014. godinu
Čeveljuša	25.9.2013.–30.9.2020.	
Krenica	12.12.2013.–30.9.2020.	Nešto kasnije uključen u monitoring
Banja	31.1.2014.–30.9.2020.	Nešto kasnije uključen u monitoring
Staševica	25.9.2013.–8.3.2016.	
Nuga	25.9.2013.–8.3.2016.	
Stinjevac	25.9.2013.–8.3.2016.	
Lukavac	25.9.2013.–8.3.2016.	
Strimen	25.9.2013.–8.3.2016.	
Tunel T3	25.9.2013.–8.3.2016.	
Tunel T2	25.9.2013.–8.3.2016.	
Mindel	25.9.2013.–8.3.2016.	
Oćuša izvor	28.10.2013.–8.3.2016.	Nisu prikupljeni uzorci kroz cijelu 2014. godinu
Oćuša jezero (8, 17 m)	25.9.2013.–29.6.2015.	
Crniševo jezero (3, 11, 17, 23 m)	25.9.2013.–29.6.2015.	
Neretva	29.11.2017.–30.9.2020.	
Vrelo Tihaljine	29.11.2017.–30.9.2020.	Uz redoviti mjesečni monitoring naveden u vremenskom razdoblju obavljeno je i jedno uzorkovanje 5.2.2014. godine.
Klokun 2	29.11.2017.–30.9.2020.	Uz redoviti mjesečni monitoring naveden u vremenskom razdoblju obavljeno je i jedno uzorkovanje 5.2.2014. godine.
Opačac	29.11.2017.–30.9.2020.	
Vrioštica	29.11.2017.–30.9.2020.	
Borak	29.11.2017.–30.9.2020.	
Blidinjsko jezero	29.11.2017.–30.9.2020.	

Prilikom uzorkovanja fizikalno-kemijski parametri vode, mjereni su *in situ* s obzirom na to da su posebno osjetljivi na promjene uvjeta okoliša te ih je nužno izmjeriti na samom terenu. Mjereni su: elektrolitička vodljivost (EC), temperatura (T), pH vrijednost vode i sadržaj kisika (O₂). Parametri su mjereni ručnim sondama proizvođača WTW. Prije svakog izlaska na teren sonde su baždarene standardiziranim postupcima i standardnim otopinama tvrtke AccuStandard. *In situ* je mjereno i alkalitet, odnosno sadržaj hidrogenkarbonatnih iona titrimetrijskom metodom. Titrator i kemikalije korištene za pripremu uzoraka za titriranje proizvela je tvrtka HACH.

Za mjerenja *in situ* opažakih točaka u jezerima Crniševo i Oćuša korištena je multiparameterska dubinska sonda SEBA KLL-Q2-D8 s dosegom 200 m. Za uzimanje uzoraka

na određenim dubinama korišten je pribor za uzorkovanje tvrtke Eijkelkamp. Na početku istraživanja korišten je teflonski uzorkivač promjera 35 mm i volumena 0,69 l, no podaci nisu bili dovoljno kvalitetni zbog problema s opremom. Prilikom interpretacije rezultata analiza uzoraka uzetih uzorkivačem treba imati na umu kako se uzeti uzorak dobrim dijelom odnosi na mješavinu vode stupca od više metara, a ne samo na ciljane dubinu, iako je vjerojatno najveći dio zahvaćene vode s ciljane dubine. Ovaj podatak se stoga u interpretaciji koristi samo orijentacijski.

Osnovni kationi (natrij (Na^+), kalij (K^+), magnezij (Mg^{2+}) i kalcij (Ca^{2+})) te anioni (nitrati (NO_3^-), ortofosfati (PO_4^{3-} -P), sulfati (SO_4^{2-}) i kloridi (Cl^-)) kao i elementi u tragovima koji mogu imati negativne učinke na zdravlje, mjereni su u Hidrokemijskom laboratoriju Zavoda za hidrogeologiju i inženjersku geologiju Hrvatskog geološkog instituta. Ostali analizirani elementi su: željezo (Fe^3), mangan (Mn^{2+}), bakar (Cu^+), fluor (F^-), cink (Zn^{2+}), krom (Cr^{3+}), brom (Br^-), kobalt (Co^{2+}), olovo (Pb^+) i kadmij (Cd^{2+}). U uzorcima vode metali su mjereni samo u prvom razdoblju istraživanja (Tablica 2). Svi uzorci su prikupljeni u bočice volumena 50 ml. Uzorci koji su korišteni za mjerenja kationa konzervirani su dodavanjem 65% nitratne kiseline u uzorak do $\text{pH} < 2$. Zakiseljavanje velikim dijelom zaustavlja porast bakterija, blokira reakcije oksidacije i sprečava adsorpciju ili taloženje kationa. Prije kiseljenja uzorci su filtrirani kroz filtere s membranama koji se koriste da se uklone suspendirane čestice veće od $0,45 \mu\text{m}$. Uzorci su zatim pohranjeni u terenski hladnjak.

Zbog izrazito dugog trajanja mjerenja i uzorkovanja; metodologija laboratorijskih analiza se mijenjala zbog nabavke novijih i suvremenijih instrumenata. Zbog toga se razlikuju tri serije podataka koje su prikazane u Tablici 3. U prvoj i drugoj seriji kationi su pri uzorkovanju filtrirani i kiseljeni i analizirani metodom atomske apsorpcije, a u trećoj seriji metodom ionske kromatografije. Anioni su analizirani metodom ionske kromatografije i spektrofotometrije.

Tablica 3. Metode analiziranja uzoraka.

Seriya	Datum	Metoda – kationi	Metoda – anioni
1	25.9.2013.– 8.3.2016.	Atomska apsorpcija	Ionska kromatografija
2	29.11.2017.– 28.8.2018.	Atomska apsorpcija	Spektrofotometrija
3	25.9.2018.– 30.9.2020.	Ionska kromatografija	Ionska kromatografija

U prvom i drugom razdoblju (Tablica 3) koncentracije kationa mjerene su metodom atomske apsorpcije pomoću uređaja AAS Analyst 700 tvrtke Perkin Elmer. Atomska apsorpcija je analitička tehnika za određivanje elemenata, spojeva i smjese tvari u uzorcima vode, tla i

sedimenta. Metoda se temelji na činjenici da se termičkim putem izvrši disocijacija spojeva, a analizirani atom se prevede u neionizirano i nepobuđeno stanje. Zatim se tekući uzorak uvodi strujom plinova u plamen i atomizira (pretvara u plazmu). Kroz plazmu se propušta monokromatska svjetlost određene valne dužine koja odgovara rezonantnoj liniji pojedinog elementa, a atomi apsorbiraju rezonantnu valnu duljinu te se očitavaju na detektoru.

U prvom i trećem razdoblju (Tablica 3) koncentracije aniona u uzorkovanim vodama mjerene su metodom ionske kromatografije. Ionska kromatografija je analitička tehnika za određivanje smjese aniona i kationa pa se često koristi za određivanje kemijskog sastava i kontrolu kakvoće voda. Njezina je glavna prednost u velikoj brzini, osjetljivosti i preciznosti analize, a potrebna je i vrlo mala količina uzorka vode (cca 6 ml). Sama tehnika određivanja temelji se na odvajanju sastojaka elucijom na sintetskim ionskim izmjenjivačima u kolonama, nakon čega slijedi utvrđivanje ispitivanih iona pogodnim detektorom, najčešće konduktometrom. Prigodom mjerenja aniona uzorkovanih voda, u prvom razdoblju korišten je ionski kromatograf tvrtke LabAlliance i kolona tvrtke WARTEX, dok je u trećem razdoblju korišten ionski kromatograf tvrtke Thermo Scientific (Dionex ICS-6000 HPIC System) za mjerenje i kationa i aniona. U drugom je razdoblju korištena metoda spektrofotometrije pomoću uređaja HACH DR 9000 koja koristi vidljivo zračenje rastavljeno na komponente te stvara spektar različitih valnih duljina. Kvalitativna spektrofotometrija temelji se na ovisnosti apsorbancije o valnoj duljini, dok je na temelju vrijednosti apsorbancije pri određenoj valnoj duljini moguće identificirati apsorbirajuću tvar.

4.2.2. Metode analiza fizikalno-kemijskih parametara i osnovnih iona

4.2.2.1. Fizikalno-kemijski parametri

Prvi uvid u kvalitetu voda, ali i dinamičke značajke hidrogeološkog sustava, dobiva se mjerenjem osnovnih fizikalno-kemijskih parametara na terenu. To se prije svega odnosi na temperaturu vode, pH i sadržaj otopljenog kisika te elektrolitičku vodljivost. Navedeni su parametri neizostavni pri određivanju kvalitete i geneze podzemne vode, podrijetla podzemne vode (s kojih se hipsometrijskih visina vodonosnik napaja), određivanja značajki pukotinskih sustava stijenske mase kroz koji voda teče, vremena zadržavanja vode u podzemlju i tumačenju kemijskog sastava vode (anioni, kationi, izotopi). Osim prirodnih procesa, na sastav vode utječu i antropogena zagađenja, od kojih su u krškim vodonosnicima najčešće mikrobiološko zagađenje (na istraživanom prostoru ponajviše iz kanalizacijskih ispusta) te povećane

koncentracije metala iz gnojiva. Prilikom interpretacije ovih rezultata naglasak je bio na određivanju podrijetla vode te dinamičkih značajki vodonosnika koji su bili temelj za iscertavanja podsljevnih površina. Navedeni parametri prvenstveno su poslužili pri planiranju istraživanja, za interpretaciju značajki slijevnog područja i određivanje glavnih značajki vodonosnika koji su temelj za interpretaciju rezultata stabilnih izotopa ^{34}S iz sulfata. Nadalje, parametri su prikazani deskriptivnom box-plot analizom. Prilikom statističke analize Box-plot dijagramima, odabrani su parametri koji najbolje odražavaju karakter opažanih vodnih objekata, tako da prikazani dijagrami predstavljaju jednostavan prikaz svih opažanih objekata. Prilikom analiza korišten je Microsoft Excel XLSTAT 2014.

pH vrijednost

Koncentracija vodikovih iona ili pH-vrijednost je broj koji služi kao mjera kiselosti (aciditeta), odnosno lužnatosti (alkaliteta) vodenih otopina. pH se mjeri direktno na terenu, jer je tijekom uzimanja uzoraka za laboratorijske analize nemoguće izbjeći otplinjavanje CO_2 iz vode, što dovodi do povećanja pH i taloženja karbonata, a time su i rezultati kemijskih analiza pogrešni. Budući da na vrijednost pH mogu utjecati i kemikalije u vodi, to je jako važan parametar koji ukazuje na kvalitetu vode. Glavni parametri koji utječu na promjenu pH-vrijednosti vode su koncentracija određenih iona soli (najčešće hidrogenkarbonatnih i karbonatnih iona) i temperatura. Mjerenje pH-vrijednosti je bitno jer pH utječe na mnoge kemijske procese u vodi, a utječe i na kvalitetu vode.

Temperatura vode

Temperatura vode igra važnu ulogu, jer njezine promjene mogu imati veliki utjecaj na kemizam vode (White, 1988). Dnevna i sezonska kolebanja temperature ukazuju i na neke osnovne značajke vodonosnika. Tako je u krškim područjima, gdje je često prisutan brzi i turbulentni tok podzemne vode, temperatura vode izvora pod znatnim utjecajem sezonskih promjena temperature zraka područja napajanja (Bonacci, 1987). Naime, pri brzom toku vrijeme zadržavanja svježije infiltrirane vode u podzemlju je kratko, pa su i kolebanja temperature na izvorima veća. Temperatura podzemne vode koja teče blizu površine terena značajno varira za razliku od tečenja u dubljim dijelovima vodonosnika. Vrijednosti temperatura jedni su od najstarijih trasera podrijetla podzemnih voda, te su prema sličnim vrijednostima tih parametara izvori grupirani unutar podsljevovnih cjelina, no temperatura vode je i pod znatnim utjecajem temperature zraka, što svakako treba uzeti u obzir prigodom interpretacije podataka. Temperatura je važna, jer utječe i na biološku aktivnost vode, budući da mnogobrojni živi

organizmi preferiraju određene raspone temperatura. U slučaju da dođe do nagle promjene iznad ili ispod ove granice, dolazi do smanjenja broja jedinki određene vrste ili čak i njihovog potpunog izumiranja.

Otopljeni kisik u vodi

S hidrogeološkog stajališta otopljeni kisik je vrlo važan, jer on može ukazivati na kvalitetu vode. Npr. voda koja se kreće brzo, poput planinskih potoka ili velikih rijeka, obično sadrži puno otopljenog kisika, dok ga stajaća voda sadrži puno manje, jer bakterije u vodi troše kisik sve dok se organska tvar ne raspadne. Zbog toga u stajaćoj vodi ima puno trulog organskog materijala, posebice ljeti, kad su koncentracije otopljenog kisika na najnižim razinama. To ujedno ukazuje i na obrnuto proporcionalnu vezu kisika i temperature, budući da se u hladnijim vodama nalazi puno više otopljenog kisika u odnosu na toplije vode. Nadalje, sadržaj kisika kontrolira i pH uvjete u vodonosniku što se odražava na procese otapanja i taloženja mineralnih faza.

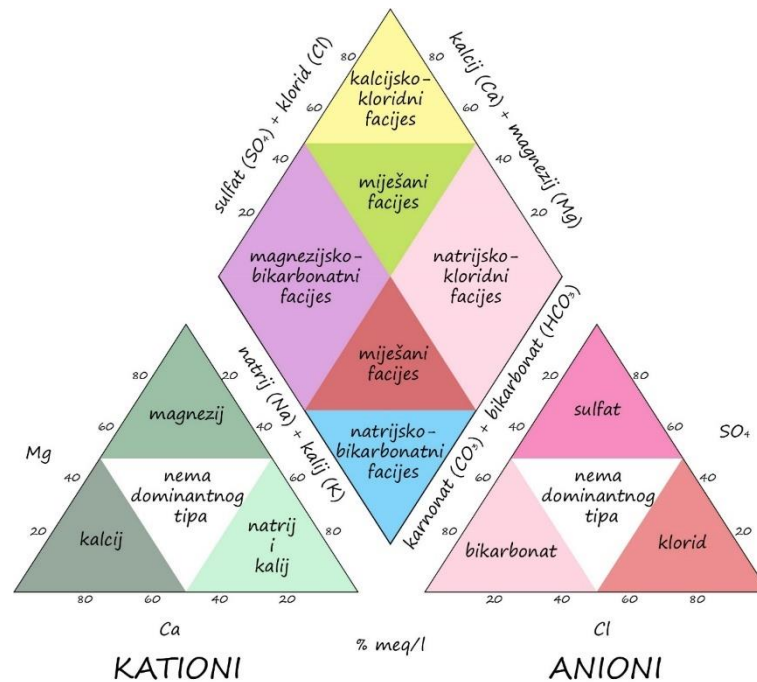
Elektrolitička vodljivost

Elektrolitička vodljivost ukazuje na količinu otopljenih iona u vodi – kako raste količina otopljenih tvari u vodi, raste i njezina vodljivost. Izrazito visoke koncentracije otopljenih tvari najčešće su pokazatelj onečišćenja i/ili povećanog saliniteta, što posljedično može uzrokovati različite probleme (izmijenjen okus vode, korozija, stvaranje kamenca itd.). Podaci o EC pokazatelj su koji uz kontinuirana mjerenja protoka mogu dati uvid u značajke vodonosnika i njegovo funkcioniranje. Elektrolitička vodljivost je pokazatelj količine otopljenih tvari u vodi te je u odnosu na temperaturu nešto bolji parametar za određivanje dinamičkih svojstava vodonosnika, jer je to neovisan, odnosno konzervativan parametar. To znači da na vrijednost elektrolitičke vodljivosti utječu samo promjene dinamike tečenja kroz vodonosni sustav.

4.2.2.2. Metode analiza osnovnih iona

Piperov dijagram predstavlja jednostavni grafički prikaz koji olakšava tumačenje izvora otopljenih sastojaka u vodi (Piper, 1994). Princip izrade polazi od tvrdnje kako većina prirodnih voda sadrži katione i anione u kemijskoj ravnoteži. Glavni kationi u vodi su kalcij, magnezij i natrij, a glavni anioni su hidrogenkarbonati, sulfati i kloridi. U većini voda u prirodi ovi ioni čine 95–100 % kemijskog sastava vode. Na temelju sadržaja glavnih iona može se identificirati hidrokemijski facijes uzorkovane vode prema Piperovom dijagramu prikazanom na Slici 41.

Piperov dijagram koristan je za interpretaciju kemijskog sastava uzorkovanih izvorskih i površinskih voda. Podaci osnovnog kemijskog sastava vode služe za određivanje hidrokemijskih facijesa. Podzemna voda otapa naslage s kojima dolazi u kontakt te je njezin kemijski sastav određen kemijskim sastavom minerala u naslagama kroz koje se podzemna voda kreće. Stoga se na temelju hidrokemijskih facijesa mogu donositi zaključci o podrijetlu voda na nekom području. GW chart (Winston, 2000) korišten je prilikom izrade dijagrama, a Adobe Illustrator 2020 za konačni grafički prikaz.



Slika 41. Hidrokemijski facijesi (Piper, 1994).

Metali su u krškim vodosnicima obično prisutni u tragovima, a njihova koncentracija ovisi o vrsti stijena i tla kroz koje voda prolazi, tj. o lokalnoj geološkoj građi (Evenset et al. 2007; Vukosav, 2014). Na povišene koncentracije tih iona može utjecati i niz antropogenih aktivnosti poput poljoprivrede, nereguliranih kanalizacijskih ispusta ili industrije (Dawson & Macklin, 1998). Prilikom proučavanja krških vodonosnika koncentracije tih iona se koriste i za određivanje sljevova, kao i kod utvrđivanja litologije vodonosnika, dinamike toka i vremena zadržavanja vode u vodonosniku (Hilberg, 2016).

Kako bi se rastumačila sezonalnost izotopnih vrijednosti izračunat je saturacijski indeks (SI) u vodama istraživanog područja, kako bi se utvrdilo koliko se minerala gipsa otapa u vodi. SI je izračunat na temelju vrijednosti aniona, kationa i fizikalno-kemijskih parametara. Prilikom obrade podataka korišten je softver PHREEQC 3.7.3 za izračunavanje indeksa zasićenosti (SI) za odabrane minerale (gips, kalcit, aragonit i dolomit). Prema Ford & Williams (2007) otopina

koja sadrži određeni mineral bit će u jednom od tri stanja: i) otopina je podzasićena u odnosu na mineral tj. on se još uvijek otapa ($SI < -0,2$); ii) postoji dinamička ravnoteža; otopina je zasićena u odnosu na mineral ($SI = -0,2 - 0,2$), iii) otopina je prezasićena te može doći do taloženja minerala ($SI > 0,2$).

4.2.2.3. Statistička obrada osnovnih iona i fizikalno-kemijskih parametara

Tijekom opsežnog višegodišnjeg istraživanja kroz izvođenje različitih projekata prikupljeno je jako puno podataka o istraživanom području. Iz tog razloga bilo je neophodno napraviti statističku i multivarijatnu obradu podataka, kako bi ih se moglo lakše interpretirati. Statističke analize provedene u sklopu ovog doktorskog rada su korelacijske analize parametara, a pored njih su korištene multivarijatne analize – klaster i faktorska analiza R modaliteta. Ove su metode korištene u znanstvenoj literaturi (Peh, 1990a, 1990b, 1992; Weiler & Flühler, 2004; Hair et al., 2010; Terzić et al., 2010), ali i prigodom izrade doktorskih disertacija (Terzić, 2006; Lukač Reberski, 2011). Korelacijska analiza bavi se istraživanjem i kvantificiranjem povezanosti među promatranim varijablama. Polazna točka u korelacijskoj analizi je dijagram rasipanja kao grafički prikaz točaka u koordinatnom sustavu koje predstavljaju niz uređenih parova. Uoči li se neka pravilnost u rasporedu točaka u dijagramu rasipanja, moguće je zaključiti jesu li varijable u korelaciji ili nisu.

Stupanj statističke povezanosti među parametrima izražava se Pearsonovim koeficijentom korelacije (r) koji mjeri jakost i smjer linearne korelacije prema formuli:

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

gdje su:

σ_x i σ_y – standardne devijacije varijabla,

x i y , a σ_{xy} – aritmetička sredina umnožaka odstupanja varijabla od njihovih aritmetičkih sredina (kovarijanca).

Osim uobičajene metode korelacije koja se koristi pri usporedbi dvaju parametara, korištene su i nešto kompleksnije, multivarijatne metode, temeljene na međusobnom uspoređivanju mnogobrojnih čimbenika. Klaster analiza je metoda koja se koristi za grupiranje podataka prema sličnim karakteristikama (Davis, 2002; Weiler & Flühler, 2004; Devčić et al., 2012 Puška & Beganović, 2017). Zbog opsežnosti podataka bolji su rezultati dobiveni

faktorskom analizom R-modaliteta. Faktorska analiza je analiza koja otkriva i uspostavlja korelaciju među opažanim slučajnim varijablama, tj. analizom se odabire manji broj parametara koji reprezentiraju osnovnu strukturu u sažetijem i jasnijem obliku (Davis, 2002; Weiler & Flühler, 2004; Srša, 2015). Kako bi faktorska analiza bila primjenjiva u korelacijskoj matrici, mora biti dovoljno visokih koeficijenata korelacije. Uobičajena faktorska analiza izvodi se u nekoliko koraka:

1. izračunavanje koeficijenata korelacije između svih originalnih varijabli;
2. izračunavanje faktorskog opterećenja (*factor loading*) iz matrice koeficijenata korelacije;
3. rotacija zajedničkih faktora zbog veće razumljivosti;
4. evaluacija i eventualno redefiniranje modela;
5. interpretacija zajedničkih faktora, uključujući i izbor odgovarajućeg naziva;
6. izračunavanje faktora, kako bi svaki zajednički faktor bio predstavljen jednim indeksnim brojem.

Zastupljenost određenog broja faktora prikazana je s eigen vrijednosti. Eigen vrijednost prikazuje koliko je neki faktor zastupljen u višeosnom matematičkom sustavu (Davis, 2002; Terzić, 2006). U razmatranje se uzimaju samo faktori s vrijednostima iznad 1,0 te se tako reducira broj varijabli u sustavu.

Nakon analize glavnih komponenti, faktorska analiza ih počinje „rotirati“. Najčešće se koristi ortogonalna Kaiserova varimax rotacija. Cilj je redefiniranje i pojašnjenje značenja svakog faktora, budući da se u prirodnim sustavima prvi faktor odlikuje velikim faktorskim opterećenjem dok ostali faktori nemaju značajna opterećenja i imaju niže eigen vrijednosti.

Ako su faktorska opterećenja u intervalu od $\pm 0,30$ do $\pm 0,40$, onda ispunjavaju minimalne zahtjeve za interpretaciju podataka. Opterećenja preko $\pm 0,50$ smatraju se dosta dobrima, dok opterećenja preko $\pm 0,70$ ukazuju na dobro definiranu strukturu vrlo pogodnu za faktorsku analizu (Davis, 2002).

Nakon što je analiza završena, potrebno je prepoznati koji se prirodni proces može odnositi na pojedine faktore. Nakon toga se vrijednosti pojedinih varijabli vraćaju iz faktora u objekte te se može utvrditi koji proces dominira u određenom objektu, a ne samo koja varijabla ima najvišu vrijednost (Terzić, 2006). Faktorska analiza se pokazala učinkovitom, zato što se vrijednost određenih procesa mijenja ovisno o vremenu prikupljanja uzoraka te je na taj način lakše i opisati neki sustav. Prigodom opisa prirodnog sustava u obzir se uzimaju tri osnovna

atributa: objekti koji pri obradi hidrokemijskih parametara predstavljaju izvore, varijable koje predstavljanju koncentracije pojedinih iona na određenim izvorima te vrijeme kad su uzorci prikupljeni. Naj taj je način moguće puno egzaktnije opisati dinamiku kompleksnih prirodnih sustava uporabom faktora, nego varijabli. Prigodom statističke obrade podataka korišten je softverski paket Statistica 12.0.

4.2.3. Stabilni izotopi kisika 18 ($\delta^{18}\text{O}$) i deuterija (δD)

4.2.3.1. Uzorkovanje i tehnike laboratorijskih mjerenja

Na terenu su u razdoblju od 19.2.2014. godine do 8.3.2016. godine uzimani uzorci vode u bočice volumena 100 ml za analize stabilnih izotopa kisika 18 ($\delta^{18}\text{O}$) i deuterija (δD) (Prilog 3). U prvom razdoblju opažanja nisu bili uključeni izvori u zapadnohercegovačkom dijelu slijeva. Prigodom uzorkovanja stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ iz sulfata u listopadu 2014. godine izmjereni su i stabilni izotopi δD i $\delta^{18}\text{O}$ (Prilog 3). Uzorci su odmah nakon uzorkovanja pohranjeni u terenski hladnjak gdje su čuvani na hladnom sve do trenutka analiziranja u laboratoriju. Omjeri stabilnih izotopa deuterija (δD) i kisika ($\delta^{18}\text{O}$) u uzorcima voda također su mjereni u Hidrokemijskom laboratoriju Zavoda za hidrogeologiju i inženjersku geologiju Hrvatskog geološkog instituta. Stabilni izotopi su analizirani na visokopreciznom analizatoru izotopa, uređaju Picarro L-2130i.

4.2.3.2. Metode analiza podataka

Prve podatke o izotopnom sastavu slatke vode iz cijelog svijeta (uključujući i oborine) objavio je Craig (1961). Iste je godine Međunarodna agencija za atomsku energiju (International Atomic Energy Agency – IAEA) u suradnji sa Svjetskom meteorološkom organizacijom (World Meteorological Organization – WMO) pokrenula svjetsko istraživanje izotopnog sastava mjesečnih oborina. Program je pokrenut s primarnim ciljem prikupljanja sustavnih podataka o sadržaju izotopa oborine na globalnoj razini – izotopa vodika ($\delta^2\text{H}$), odnosno deuterija (δD) i kisika 18 ($\delta^{18}\text{O}$). Najvažniji cilj navedenog istraživanja bio je utvrditi njihovu prostornu i vremensku varijabilnost i, posljedično, prikupiti podatke za uporabu izotopa okoliša u hidrogeološkim istraživanjima. No jako brzo se pokazalo da su prikupljeni podaci vrlo korisni i u drugim područjima, poput oceanografije, hidrometeorologije i klimatologije. Linearni

empirijski odnos između vrijednosti stabilnih izotopa kisika 18 i deuterija oborina, koje nisu isparile, prikazan je formulom koju je definirao Craig (1961):

$$\delta^2\text{H} = 8,13 \delta^{18}\text{O} + 10,8 \quad (2)$$

gdje je:

$\delta^2\text{H}$ – stabilni izotop vodika dva ili deuterij,

$\delta^{18}\text{O}$ – stabilni izotop kisika 18.

Prikazana formula poznata je kao globalna meteorska linija vode (Global Meteoric Water Line – GMWL), a temelji se na podacima o oborinama s lokacija širom svijeta. Uobičajeno je, ako postoje podaci o stabilnim izotopima $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ oborina na nekom području, izračunati i lokalnu meteorsku liniju vode (Local Meteoric Water Line – LMWL) koja može biti izvedena iz oborina prikupljenih s jednog ili više lokaliteta.

Pomoću stabilnih izotopa, u krškim hidrogeološkim istraživanjima, najčešće se određuju podrijetlo i područje prihranjivanja (Clark & Fritz, 1997; Linhares et al., 2017) te starost podzemne vode (Lauber & Goldscheider, 2014). Vrijednosti stabilnih izotopa kisika 18 ($\delta^{18}\text{O}$) i deuterija (δD) podzemne i površinske vode uvjetuje vrijednost $\delta^{18}\text{O}$ i δD oborine koja pak ovisi o kretanju oblaka, brzini vjetra, temperaturi zraka, blizini mora itd. Omjeri izotopa δD i $\delta^{18}\text{O}$ većine hladnih podzemnih voda na malim dubinama uklapaju se u prosječne omjere lokalnih meteorskih voda. Vode koje imaju podrijetlo od meteorskih voda obično leže na LMWL, dok vode koje nemaju meteorsko podrijetlo ili su bile izložene nekim sekundarnim procesima pokazuju odklon od te linije. Na taj način odstupanje od LMWL je često kod voda koje su bile izložene evaporaciji (Goldscheider & Drew, 2007). Većina krških voda leži na ili vrlo blizu LMWL, jer su nastale od lokalnih oborina koje su homogenizirane u podzemnim rezervoarima. Poznavanje vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ oborinskih voda i prikaz koliko se te vode udaljavaju od GMWL ukazuje na klimatske procese koji prevladavaju u području istraživanja. U ovom radu za izradu LMWL korištene su vrijednosti kišnice iz postaje Dubrovnik (Vreča et al., 2006), jer je to najbliža lokacija području istraživanja za koju postoje podaci o izotopnom sastavu kišnice.

4.2.4. Stabilni izotopi sumpora 34 ($\delta^{34}\text{S}$)

4.2.4.1. Uzorkovanje i tehnike laboratorijskih mjerenja

Uzorci za analize $\delta^{34}\text{S}$ prikupljeni su u dva navrata, tijekom viših i nižih voda, u travnju i listopadu 2019. godine. Na hidrometeorološkoj postaji Prud preljev uzvodno 25.4.2019. godine je zabilježen vodostaj od 128 cm, dok je protok iznosio 5,4 m³/s, a 16.10.2019. godine vodostaj je iznosio 82 cm, a protok je bio 2,4 cm³/s. Na hidrološkoj postaji Klobuk 25.4. 2019. godine vodostaj je iznosio 126 cm dok je protok bio 175 cm³/s; 16.10.2019. godine vodostaj je iznosio 100 cm dok je protok bio 123 cm³/s. I na ostalim lokacijama su zabilježene više vrijednosti vodostaja i protoka u travnju, nego u listopadu, no s obzirom na to da je najniži vodostaj na većini uzorkovanih lokacija ipak bio u kolovozu 2019.godine, a najviši u studenom ili u prosincu 2019. godine, zahvaćena razdoblja uzorkovanja nisu maksimalni hidrološki minimumi. No za potrebe doktorskog rada utvrđene su dovoljno velike razlike između oborine u vremenu uzorkovanja što potvrđuju i različite vrijednosti stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$. Kako bi se obuhvatilo cijelo slijevno područje prikupljeni su uzorci izvorske vode na osam lokacija i jedan uzorak vode iz pritoke rijeke Doljanke u travnju te osam uzoraka izvorske vode, jedan uzorak vode iz pritoke rijeke Doljanke i jedan uzorak morske vode kod mjesta Gradac u listopadu. Odabrane su lokacije na kojima je prethodnim istraživanjima utvrđena povišena vrijednost sulfatnih iona, te uzorci vode na područjima s pojavama evapornih stijena izdvojenim na geološkim kartama. Isto tako, uzorkovan je i izvor Grudsko vrilo, koji se nalazi u središnjoj zoni, između izvora Donja voda i izvora Klokun 2 koji imaju povišene koncentracije sulfatnih iona, iako sâm izvor Grudsko vrilo nema povišene koncentracije sulfatnih iona. Lokacije i datumi uzorkovanja naznačeni su u Tablici 12.

Uzorci su, ovisno o pretpostavljenoj količini sulfatnih aniona, prikupljeni u plastične boce zapremnine od 0,5 do 3 l. Voda je filtrirana kroz membranski filter s otvorima veličine 0,45 μm . Uzorci su analizirani u Institutu Jožef Štefan u Ljubljani (Slovenija). Kako bi se istaložio barijev sulfat (BaSO_4) laboratorijska priprema je uključivala: i) filtriranje kroz stakleni filter (GFF), ii) kiseljenje uzoraka s HCl do pH <2 te iii) dodavanje 10% otopine BaCl_2 . Nakon toga istaloženi BaSO_4 je ispran s vodom, filtriran kroz membranski filter (promjera 0,45 μm) i osušen u pećnici na 50°C. Prije mjerenja, uzorcima je dodan 1 mg volfram oksida (WO_3), koji se koristi kao oksidant za prijelaz SO_4 u SO_2 . Analiza je napravljena na IRMS Isoprime 100 s Pyro Cube elementnom analizatoru. Rezultati su prikazani u obliku $\delta^{34}\text{S}$, što predstavlja razliku omjera u promilima između težeg i lakšeg izotopa u uzorku ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}_{\text{uzorka}}$) i težeg i lakšeg izotopa

u standardu ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}_{\text{standard}}$). Za kalibraciju rezultata prema standardu VCDT korišteni su certificirani referentni materijali NBS127 i IAEA SO5, a za kontrolu točnosti rezultata korišten je certificirani materijal NBS 123.

Sumpor ima nekoliko stabilnih izotopa od kojih su najrasprostranjeniji ^{32}S (95 %) i ^{34}S (4,20 %). Odnos između ova dva izotopa može se prikazati formulom:

$$\delta^{34}\text{S} = [({}^{34}\text{S}/{}^{32}\text{S})_{\text{uzorak}}/({}^{34}\text{S}/{}^{34}\text{S})_{\text{VCDT standard}} - 1] \times 1000 \text{ [‰]} \quad (3)$$

gdje je $\delta^{34}\text{S}$ razlika između odnosa težih (^{34}S) i lakših (^{32}S) izotopa sumpora uzorka i standarda izražena u promilima (‰). Standard je definiran prema Vienna Cañon Diablo Troilitu (VCDT) (Ault & Jensen, 1962), odnosno sastavu meteorita pronađenog u Arizoni. Vrijednost $\delta^{34}\text{S}$ meteorita jako malo varira i iznosi oko 0 ‰.

4.2.4.2. Metode obrade podataka

Uz nekoliko iznimaka, sulfatni minerali se talože iz vode ili su u neko vrijeme svoje povijesti u velikoj mjeri komunicirali s vodom. Sulfatni anioni su drugi najzastupljeniji anioni u oceanu i imaju vrijeme zadržavanja od 10–20 milijuna godina, što daleko premašuje vrijeme miješanja oceana (Paytan et al., 2004). Koncentracija sulfata u moru je konstantna i iznosi 28 mM, dok izotopni sastav sumpora ne varira. Sulfatni anioni, koji se nalaze u oceanima, dolaze rijekama, a uklanjaju se taloženjem minerala piritita i evaporitnih minerala te tijekom hidrotermalne promjene oceanske kore (Case & Krouse, 1980). Redukcija sulfata događa se u anoksičnim uvjetima djelovanjem mikroorganizama koji koriste kisik iz sulfata, a biogeokemijski ciklus sumpora usko je povezan s ciklusima ugljika, željeza i kisika. Biogeokemijski ciklus sumpora je niz procesa kojima se sumpor transportira kroz prirodu u različitim molekulama. Među preglednim radovima o biogeokemijskom ciklusu sumpora u morskim sedimentima ističu se: Canfield (2001a), Amend et al. (2004), Jørgensen & Kasten (2006), Canfield & Farquar (2012) te Jørgensen et al. (2019). Podrijetlo sulfatnih iona iz različitih izvora može se odrediti na temelju izotopnog sastava sumpora. Sulfatni minerali mogu sačuvati zapis o podrijetlu i procesima koji su izvorno proizveli otopljeni sulfat, jer se taloženjem minerala tijekom transporta tekućine omjeri izotopa neće ponovno uravnotežiti, tako da istraživanje izotopa sulfatnih minerala daje uvid u geokemijsku povijest geoloških sustava. Stabilni izotopi se najčešće koriste u geotermometriji te kao prirodni traser.

U evaporitnim stijenama i podzemnoj i površinskoj vodi južne Dalmacije i zapadne Hercegovine do sada nisu obavljene analize $\delta^{34}\text{S}$. Prema Šiftaru (1982) vrijednosti stabilnih

izotopa $\delta^{34}\text{S}$ evaporitnih stijena područja Sinj–Gornji tok Une su u rasponu od 9,07 do 13,66‰. Šušnjara et al. (1992) su utvrdili da se brojna nalazišta evaporita u zapadnoj Hercegovini nalaze u sličnim strukturnim odnosima kao i evaporiti Dalmacije i Like na granici s Bosnom i Hercegovinom. Tišljar (1992) je evaporite područja zapadne Hercegovine po sedimentacijskim značajkama usporedio s evaporitima gornjopermske Belerofon formacije u Alpama. Vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ Belerofon evaporitnog kompleksa su u rasponu od 10,8‰ do 18,8‰ (Newton et al., 2004; Bernasconi et al., 2017). Prema novijim istraživanjima Mediteranskog područja (Boschetti et al., 2011), evaporitni sulfati gornjotrijaske Burano formacije imaju srednje vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ 15,2‰, dok su vrijednosti anhidrita analiziranog iz dubokih bušotina (dubine preko 2000 m) obogaćeni težim izotopom $\delta^{34}\text{S}$ za 2 ‰. Varijacije izotopa sumpora iz otopljenih morskih sulfata odražavaju promjene globalnog ciklusa sumpora kroz vrijeme (Paytan et al., 1998). Do sada je objavljeno nekoliko krivulja vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ u različitim geološkim razdobljima (npr. Holser, 1977; Claypool et al., 1980; Strauss, 1997). Na svim krivuljama ističe se veliki pomak u sastavu izotopa sumpora u sulfatima na granici perma i trijasa, koji je proučavan kroz dugi niz godina na mnogobrojnim lokalitetima diljem svijeta.

4.2.5. Mikrobiološki pokazatelji

Mikrobiološki parametri su pokazatelj onečišćenja krških voda, najčešće tijekom hidroloških maksimuma, što može imati vrlo negativne posljedice na osiguravanje dovoljnih količina pitke vode (Sinreich et al., 2014). No, mikrobiološki parametri se prilikom izučavanja krških vodosnosnika mogu koristiti i kao prirodni traseri. Transport istraživanih mikroorganizama, zajedno s povećanjem protoka, ukazuje kako su vrijednosti ovih parametara povezane s količinom oborine i heterogenošću vodonosnika (Auckenthaler et al., 2002).

Podaci o mikrobiološkim pokazateljima (ukupni koliformi, aerobne bakterije na 22 i 37 °C, *Escherichia coli* i enterokoki) dobiveni su na temelju uzoraka koji su u četiri navrata poslani u Hrvatski zavod za javno zdravstvo u Zagrebu, od siječnja do studenog 2014. godine. Uzorci za mikrobiološke analize prikupljeni su u kvartalnim intervalima kako bi se pokrili različiti hidrološki uvjeti. Od Zavoda su dobivene sterilne posude za uzorkovanje, a uzorci su odmah nakon prikupljanja zamrznuti u terenskom hladnjaku. Mikrobiološke analize rađene su na sedam opažanih točaka: Klokunu 1, Modrom oku, Butini, Prudu, Tunelu T3, Mindelu i Mandinoj mlinici.

4.3. Podaci dobiveni automatskim mjeračima i podaci o prikupljenim protocima i oborinama

4.3.1. Mjesta uspostave istraživanja

Od 28.11.2013. do 1.7.2015. godine automatskim mjeračima s internom memorijom (tzv. Logerima) zabilježeni su satni podaci razine, temperature (T) te elektrolitička vodljivost (EC) površinske i podzemne vode na istraživanom području, kako bi se pratila dinamika sustava. Korišteni su automatski mjerači proizvođača HOBO za mjerenje razine i temperature vode i mjerači proizvođača Eijkelkamp kojima je uz ta dva parametra mjerena i EC. Mjereni parametri na 11 lokacija te provedene analize tijekom izrade ovog doktorskog rada prikazani su u Tablici 4. Iz tablice je vidljivo da je temperatura opažana na svim lokacijama, a da su automatski mjerači postavljeni na dubinama 8 i 17 m u jezeru Oćuša te na dubinama 3, 11, 17 i 23 m u jezeru Crniševo u Baćinskim jezerima. Podaci mjerenih razina ne mogu se neposredno koristiti pri analizi sustava, jer promjene razine na različitim izvorima ovise o obliku korita, pa iste promjene razina na različitim izvorima ili profilima istog izvora mogu uzrokovati različite promjene protoka. Zato je na temelju izmjerenih razina i protoka na mjernom profilu vodotoka izrađena protočna krivulja za izvor Prud koja je korištena u daljnjim analizama. Protoci su povremeno mjereni hidrometrijskim krilom proizvođača Global Waters i uređajem Acoustic Doppler Current Profiler Stream Pro (ADCP uređaj) proizvođača Teledyne RD Instruments, ovisno o hidrološkim uvjetima na terenu. Podaci o razinama za izvor Prud, o protocima za izvor Klokun 1 i Modro oko te o oborinama na mjernoj postaji Ploče prikupljeni su od DHMZ. Podaci o protocima na lokacijama Humac i Klobuk i oborinama na postaji Humac dobiveni su od Agencije za vodno područje Jadranskog mora Mostar. Od Hrvatskog hidrografskog instituta i Lučke uprave Ploče dobiveni su satni podaci razine plime i oseke s mareografske postaje Ploče.

Tablica 4. Opažane lokacije s praćenim parametrima automatskim mjeračima (+ – mjereni parametar, - - parametar nije praćen).

Lokacija	T (°C)	EC (μS/cm)	Razina	Analize
Butina	+	+	+	
Klokun 1	+	+	-	Hidrogram/kemogram
Mandina mlinica izvor	+	+	+	
Mandina mlinica kaptaža	+	+	-	
Mindel	+	+	+	

Modro oko	+	+	-	
Prud	+	+	-	Hidrogram/kemogram i izračun protoka
Tunel T2 – Vrgoračko polje – Baćinska jezera	+	-	+	Analiza utjecaja mora na Baćinska jezera
Tunel T3 – Baćinska jezera – more	+	-	+	Analiza utjecaja mora na Baćinska jezera
Jezero Oćuša: - dubina 8 m - dubina 17 m	+	+	-	Analiza utjecaja mora na Baćinska jezera
Jezero Crniševo: - dubina 3 m - dubina 11 m - dubina 17 m - dubina 23 m	+	+	-	Analiza utjecaja mora na Baćinska jezera

4.3.2. Metoda analiza podataka

4.3.2.1. Specifična elektrolitička vodljivost

Budući da je EC izravno ovisna o promjeni temperature, bilo je neophodno sve mjerene vrijednosti svesti na referentnu temperaturu, kako bi promjene EC odražavale isključivo promjene hidroloških i hidrogeoloških utjecaja (Heimovaara et al., 1995; Hayashi, 2004; Lukač Reberski, 2011). U ovom radu korištena je sljedeća formula za izračun specifične električne vodljivosti (SEC; prema Sorensen & Glass, 1987):

$$SEC_{25}=EC_T*[1+\beta(25-T)] \quad (4)$$

gdje je:

SEC_{25} – specifična elektrolitička vodljivost na 25°C [$\mu S/cm$];

EC_T – elektrolitička vodljivost na temperaturi T [$\mu S/cm$];

T – temperatura uzorka [°C];

β – temperaturni koeficijent [%/°C].

Temperaturni koeficijent (Steinhart & Hart, 1968) se dobiva na temelju mjerenja EC pri različitim temperaturama prema formuli:

$$\beta = \frac{\frac{EC_{T1}}{EC_{T2}} - 1}{T_1 - T_2} \quad (5)$$

gdje je:

EC_{T_1} – elektrolitička vodljivost pri temperaturi T_1 ;

EC_{T_2} – elektrolitička vodljivost pri temperaturi T_2 .

Primjerice, temperaturni koeficijent izvora Klokun 1 prema navedenom izračunu iznosi:

$$\beta = \frac{\frac{0,555}{0,480} - 1}{17,8 - 11,4} = 0,0244 = 2,44 \%$$

Dobivena vrijednost ukazuje da EC na izvoru Klokun 1 raste za 2,44% za porast temperature od 1°C. Izračunati koeficijent korišten je za izračun specifične elektrolitičke vodljivosti na svim izvorima, budući da su ove značajke za krške izvorske vode dosta slične (Kogovšek & Petrič, 2010).

4.3.2.2. Hidrogram

Hidrogram krških izvora jedan je od važnijih elemenata pri analizi glavnih značajki velikih hidrogeoloških sustava, jer daje uvid u glavne fizikalne procese koji utječu na tečenje vode unutar krškog vodonosnika (Bonacci, 1987; Padilla et al., 1994; Padilla & Pullido-Bosch, 1995; Samani & Ebrahimi, 1996; Lukač Reberski et al., 2009; Urumović et al., 2009; Parlov, 2010; Terzić et al., 2012; Frangen, 2013). Hidrogram je grafički prikaz protoka vode u ovisnosti o vremenu. Kao i hidrogrami otvorenih vodotoka, hidrogrami krških izvora obuhvaćaju izravni i bazni tok. Izravni tok prikazuje sustav visoke hidrauličke vodljivosti, a bazni tok predstavlja slabije propusnu stijensku masu.

Oblik hidrograma krškog izvora ovisi o morfološkim značajkama podzemne mreže, pri čemu tipičan oblik pokazuje nagle i izrazite promjene protoka, kako brze poraste tijekom razdoblja jakih dotoka tako i nagla sniženja odmah nakon njih. Takav oblik je posljedica postojanja mnogobrojnih pukotinskih sustava koji mogu u kratko vrijeme transportirati veću količinu vode do izvora (White, 1993 i 2002). Oblik hidrograma ovisi i o čimbenicima poput trajanja i intenziteta oborina: Ako su oborine manjeg intenziteta, uzlazni dio hidrograma traje duže i razvučenog je oblika, dok je strmiji u slučaju intenzivnijih oborina kraćeg intenziteta. Na oblik hidrograma utječu i drugi čimbenici poput poroznosti, zasićenosti zone iznad izvora te dotoka iz drugih izvora (Tomić, 2015).

4.3.2.3. Usporedna analiza hidrograma i kemograma

Interpretacija hidrograma kompleksnih krških sustava znatno je olakšana praćenjem fizikalno-kemijskih parametara vode. Upravo zbog toga se usporedno prikazuju i analiziraju hidrogrami i kemogrami, čijom se zajedničkom interpretacijom mogu dobiti znatno bolji podaci o funkcioniranju hidrogeoloških sustava.

Za razumijevanje otjecanja neophodno je dobro poznavanje reakcije slijeva na oborine, tj. procesa kako oborine postaju dio podzemnog ili površinskog toka (Le Mesnil et al., 2021). Na navedene procese utječe nekoliko čimbenika, kao što su debljina i sastav tla, korištenje zemljišta, hidrološki uvjeti, geološka građa, tektonska poremećenost i okršenost. Iako se većina tih procesa može na neki način dokumentirati ili izmjeriti, osobito je teško definirati ulogu geološke građe određenog područja na sveobuhvatan način, posebice kada se radi o tečenju kroz mrežu pukotinskih sustava u krškim područjima (Le Mesnil et al., 2021). Okršavanje, tj. kemijsko trošenje karbonatnih stijena pod utjecajem vode podzasićene u odnosu na karbonatne minerale, potiče infiltraciju i protok podzemne vode kroz proširene pukotine i kanale (Bakalowicz, 2005).

Tijekom hidroloških ekstremnih događaja sa značajnim oborinama krški izvori brzo reagiraju na napajanje vodonosnika. Stoga prigodom takvih događaja promjena na protoku obično prethodi promjeni fizikalno-kemijskih značajki vode. Uslijed dolaska nove količine vode, povećanje hidrauličkog tlaka se gotovo trenutačno (brzinom zvuka u vodi tj. ~1500 m/s) prenosi kroz saturirane dijelove kanala sve do izvora, puno brže od same vode (Ford & Williams, 2007; Frangen 2013). Nakon što infiltrirana voda dospije do izvora dolazi i do promjene fizikalno-kemijskih značajki. Razlika u vremenu između povećanja protoka i promjene fizikalno-kemijskih značajki vode odgovara vremenu prolaska svježje infiltrirane vode kroz kanale (Grasso & Jeannin, 2002; Frangen, 2013). Uslijed brzog transporta kanalima tijekom događaja obilježenih naglim porastima tlaka vode u podzemlju voda ne postiže stanje kemijske ravnoteže, kao što je to slučaj kod „stare“ vode. Promjena fizikalno-kemijskih značajki vode u karbonatnim vodama odražava SE kroz količinu otopljenih iona te se koriste obično Ca^{2+} ioni. No umjesto mjerenih koncentracija Ca^{2+} mogu se koristiti mjerenja EC, što je korišteno u ovom radu, s obzirom na to da su promjene u kršu dosta nagle, a ta mjerenja se mogu obavljati kontinuirano *in situ* (Dreiss, 1989; White, 2002; Birk et al., 2004; Frangen, 2013).

4.3.2.4. Analize recesije hidrograma

Analiza recesije hidrograma je analiza padajućeg dijela hidrograma koja daje uvid u strukturu i značajke vodonosnika te se tako može koristiti pri upravljanju i zaštiti vodnih resursa (Posavec et al., 2017; Urumović et al., 2009). Oblik recesijske krivulje odraz je hidrodinamičkih svojstava vodonosnika i geomorfoloških značajki slijevnog područja (Ford & Williams, 2007; Fiorillo et al., 2012; Posavec et al., 2017). Veći uzorak recesijskih krivulja omogućava dobivanje prosječne recesijske krivulje kao i anvelopu („omotnicu“ većeg broja recesijskih razdoblja) minimalnih vrijednosti te se na taj način može s većom sigurnošću zaključivati o akumulacijskoj sposobnosti vodonosnika i očekivanim minimalnim protocima (Posavec et al., 2006, 2017; Fiorillo et al., 2012).

Prvu matematičku formulu recesije baznog toka objavio je Maillet (1905). Njegova interpretacija se temeljila na drenaži jednostavnog rezervoara i pretpostavci da je protok izvora funkcija volumena vode koja se zadržava u spremniku. Taj sustav je opisan eksponencijalnom formulom:

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha_r(t-t_0)} \quad (7)$$

gdje je:

Q_t – protok u vremenu t [m^3/s];

Q_0 – protok na početku recesije u vremenu t_0 [m^3/s];

e – baza prirodnog logaritma;

α_r – koeficijent recesije (pražnjenja vodonosnika) [dan^{-1}].

To je jedna od najjednostavnijih i najčešće korištenih formula pri prognoziranju minimalnih protoka tijekom sušnih razdoblja, pri čemu vrijednost koeficijenta recesije ovisi o hidrološkim značajkama vodonosnika. Krivulja recesije najčešće se prikazuje u polulogaritamskom mjerilu s logaritmima protoka na apscisi i vremena na ordinati. Na ovakav se način dobije recesijska krivulja u obliku pravca nagiba α_r . Što je pravac strmiji, vodonosnik je propusniji, a ako je nagib pravca blaže položen, vodonosnik ima manje kanale te je i manje propustan. U realnom sustavu obično postoji nekoliko mikrorežima pražnjenja te su i krivulje kompleksnije i poprimaju oblik pravaca različitih nagiba. Koeficijent α_r ovisi i o retencijskim značajkama podzemnog rezervoara, tj. o transmisivnosti i specifičnom uskladištenju. Koeficijent recesije $\alpha_r > 10^{-2}$ upućuje na brzo dreniranje većih krških kanala i pukotina, dok $\alpha_r < 10^{-2}$ ukazuje na sporije dreniranje vode iz manjih pora i pukotina, tj. dominaciju stijenskog matriksa u toku vode kroz krško podzemlje (Krešić, 1997). Pomoću koeficijenta recesije može

se izračunati i volumen vode uskladištene u vodonosniku koja će gravitacijski isteći tijekom perioda recesije, tj. dinamičke rezerve.

$$\alpha_r = \frac{Q_t}{V_t} \quad (8)$$

gdje je:

Q_t – količina istjecanja u vremenu t ;

V_t – volumen uskladištene vode iznad razine izvora.

Glavna recesijska krivulja (GRK) dobivena je korištenjem posebne aplikacije integrirane u Microsoft Excel (Posavec et al., 2006, 2009) koja koristi potpuno automatiziranu *matching strip* metodu za njezino konstruiranje. *Matching strip* metoda je odabrana, jer može koristiti neograničen broj vremenskih serija i moguće je izbjeći nepotpune recesije ili previše recesijskih segmenata u mnogobrojnim recesijskim serijama. Ovom metodom mogu se obraditi i različiti vremenski intervali poput tjednih učestalosti. Aplikacija može koristiti pet različitih linearnih i nelinearnih modela regresije (linearni, logaritamski, polinom drugog reda, opća potencija i eksponencijalni). Glavna krivulja se stoga konstruira iz svih recesijskih događaja iz pripadajućih hidrograma po najboljem modelu, koji se bira po kriteriju najvišeg koeficijenta determinacije R^2 . I vizualno tumačenje preklapanja pojedinačnih recesijskih segmenata može biti vrijedan podatak o vjerojatnoj veličini područja napajanja u krškim vodonosnicima (Giacopetti et al., 2016, 2017). Kod većih područja prihranjivanja, ona ima širi raspon preklapanih recesijskih segmenata i niži koeficijent determinacije (Giacopetti et al., 2016, 2017; Posavec et al., 2017).

4.3.2.5. Analiza vremenskih serija – kroskorelacija

Razvoj metoda analize vremenskih serija hidroloških podataka počeo je prije gotovo pola stoljeća, a nove metode se razvijaju još i danas (Box & Jenkins, 1974; Jenkins & Watts, 1986). Analize se izvode statističkom obradom vremenskih nizova podataka, a u hidrogeologiju krša tu je metodu prvi uveo Mangin (1981, 1984), a Padilla & Pulido-Bosch (1995) su je znatno unaprijedili.

Pomoću analiza vremenskih serija mogu se odrediti svojstva krških vodonosnika, ispitati ovisnost protoka na izvoru o oborini, ispitati ovisnost protoka o drugim fizikalno-kemijskim parametrima te ispitati međusobnu ovisnost protoka na više izvora. Najvažniji preduvjet za primjenu ovih metoda je postojanje neprekinutih vremenskih nizova mjerenih u istim

vremenskim intervalima (Davis, 2002; Fiorillo & Doglioni, 2010; Stroj, 2010; Lukač Reberski, 2011; Frangen, 2013; Karlović et al., 2021). Kroskorelacija predstavlja usporedbu dva niza podataka kako bi se utvrdila mjesta naglašenih sličnosti među njima. Pritom se dobivaju dvije vrste informacija: snaga veze između promatranih intervala i veličina odmak u vremenu ili prostoru s obzirom na točku najveće sličnosti. Na početku kroskorelacijske analize određuje se početna točka koja predstavlja nultu vrijednost i označava se kao $k = 0$.

Formula za računanje kroskorelacije (Box & Jenkins, 1974) je:

$$r_{xy}(k) = \frac{c_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (9)$$

$$c_{xy}(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N+k} (x_i - \bar{x})(y_{i+k} - \bar{y}) \quad (10)$$

gdje je:

$r_{xy}(k)$ – kroskorelacijska funkcija;

k – vremenski odmak;

σ_x i σ_y – standardna devijacija ulazne i izlazne serije;

x_t i y_t – vremenske serije;

N – broj podataka;

C – kovarijance.

Ako su ulazni podaci slučajni, tj. ako su dvije ulazne varijable nepovezane, kroskorelacijska funkcija $r_{xy}(k)$ prikazuje reakciju sustava na ulazni impuls. Ako su varijable međusobno ovisne, tj. povezane, kroskorelacijska funkcija $r_{xy}(k)$ ukazuje na značajnost veze ulazne i izlazne serije podataka. Kroskorelacijska funkcija nije simetrična, tako da ako je $r_{xy}(k) > 0$ za $k > 0$ onda je izlazna serija ovisna o ulaznoj, a ako je $r_{xy}(k) < 0$ za $k < 0$ onda je ulazna serija ovisna o izlaznoj. Simetrična kroskorelacijska funkcija s centrom simetrije $k = 0$ ukazuje na to da su izlazna i ulazna serije ovisne o nekoj trećoj seriji uz istodobne odgovore te tada ulaz ne utječe na izlaz. Vrijeme kašnjenja izlazne funkcije za ulaznom određuje vremenski odmak k kod maksimalne vrijednosti $r_{yx}(k)$. Nulta vrijednost vremenskog odmak ($k = 0$) obično se nalazi na početku obje vremenske serije. Koeficijenti kroskorelacije prikazuju se grafički na kroskorelogramu s odgovarajućim vremenskim odmacima. Izračun je proveden pomoću kroskorelacijske funkcije koja je uklopljena u Visual Basic (VB) makro unutar MS Excel

softvera i potpuno automatizirana (Posavec et al., 2017) te u koju se unose podaci dva vremenska niza (u ovom slučaju protoci i oborine te plima i oseka s razinama).

4.4. Trasiranja podzemnih tokova u području istraživanja

Metodologija trasiranja primarno je razvijena za istraživanje krških vodonosnika i do danas se najčešće koristi pri hidrogeološkom praćenju vode u kršu. Ako se rezultati trasiranja kombiniraju s dobrim poznavanjem geoloških i hidrogeoloških odnosa, postaju najbolja metoda za delineaciju sljevova krških izvora, čak i kod kompleksnih geoloških i topografskih uvjeta (Smart, 1988; Goldscheider, 2005; Palmer, 2010; Benischke, 2007). Trasiranja se mogu koristiti u vrlo različitim hidrološkim uvjetima i hidrogeološkim sredinama, kako bi se dobile informacije o podrijetlu, kretanju i odredištu vode. Iz tog su razloga i na istraživanom terenu u dužem razdoblju provedena brojna trasiranja kao jedna od najvažnijih metoda istraživanja krških vodonosnika.

Kvalitativno trasiranje umjetnim traserima je najjednostavniji i najzastupljeniji oblik trasiranja u Hrvatskoj. To je metoda kojom se utvrđuje postojanje veze između točke ubacivanja trasera i opažanih lokacija (Frangen, 2013). Dobivena krivulja koncentracije ukazuje na strukturu podzemnih kanala, što zajedno s regionalnim geološkim, geomorfološkim i hidrogeološkim značajkama omogućuje kvalitetan uvid u značajke vodonosnika i predstavlja bazu za izradu konceptualnih modela krških vodonosnika (Smart, 1988).

4.4.1. Prethodna trasiranja

Prethodno provedena trasiranja predstavljaju vrlo vrijedne podatke za tumačenja i delineacije sljevova i podsljevova unutar svakog hidrogeološkog sustava. Usprkos jako velikom broju provedenih trasiranja na istraživanom području (Tablica 5) i dalje je taj broj nedostatan zbog izrazite kompleksnosti i velike površine istraživanog područja. Pored toga, neka od starijih trasiranja nisu sasvim pouzdana, jer u vrijeme kada su bila izvedena tehnološki nije bilo moguće napraviti kvalitetnu analitiku koncentracije trasera u vodi. Tijekom izrade ovog doktorskog rada bilo je znatno teže doći i do podataka o hidrološkim uvjetima, brzinama i drugim rezultatima trasiranja provedenih na području zapadne Hercegovine.

Tablica 5. Tablični prikaz svih provedenih trasiranja na području istraživanja s naznačenim brzinama i izvođačima gdje je to poznato. Navedena trasiranja prikazana su na Prilogu 5.

R.br.	HTRS koordinate				Izvođač	Brzina (cm/s)	Tip veze	Dužina (m)
	x početak	y početak	x kraj	y kraj				
1	605977,61	4756612,1	594735,35	4763337,5		0,00	UTVRĐENA	13106,8
2	602545,37	4758999,6	594735,35	4763337,5		0,00	UTVRĐENA	8938,2
3	605701,92	4756716,1	593830,51	4763581,6		0,00	UTVRĐENA	13720,5
4	602545,37	4758999,6	594240,77	4764414		0,00	UTVRĐENA	9918,6
5	603345,69	4758555	594240,77	4764414		0,00	UTVRĐENA	10832,4
6	606895,65	4756583,3	596188,94	4764849		0,00	UTVRĐENA	13532,8
7	607841,42	4756213,2	596188,94	4764849		0,00	UTVRĐENA	14510,9
9	607841,42	4756213,2	596049,47	4768172,4		0,00	UTVRĐENA	16803,4
10	608677,18	4755593,8	596049,47	4768172,4		0,00	UTVRĐENA	17832,5
11	581670,24	4774647,1	582097,86	4768073,3	HMZ – ZAGREB	1,08	UTVRĐENA	1485,8
12	578309,3	4774376,9	582329,17	4769127,3	IGI – ZAGREB	1,34	UTVRĐENA	539,3
13	581670,24	4774647,1	582329,17	4769127,3	HMZ – ZAGREB	1,30	UTVRĐENA	733,0
14	578309,3	4774376,9	582266,71	4769826,7	IGI – ZAGREB	1,14	UTVRĐENA	37,2
15	580721,33	4775140	582097,86	4768073,3	IGI – ZAGREB	1,43	UTVRĐENA	1853,8
16	580721,33	4775140	582329,17	4769127,3	IGI – ZAGREB	1,93	UTVRĐENA	938,5
17	581670,24	4774647,1	583016,57	4770165,2	HMZ – ZAGREB	1,31	UTVRĐENA	339,5
18	578309,3	4774376,9	583581,38	4769720,5	IGI – ZAGREB	0,00	UTVRĐENA	1675,4
19	581670,24	4774647,1	582266,71	4769826,7	HMZ – ZAGREB	1,14	UTVRĐENA	684,2
20	578309,3	4774376,9	582438,74	4770249,5	IGI – ZAGREB	1,20	UTVRĐENA	362,1
21	580721,33	4775140	583016,57	4770165,2	IGI – ZAGREB	0,79	UTVRĐENA	437,6
22	580721,33	4775140	582438,74	4770249,5	IGI – ZAGREB	0,75	UTVRĐENA	669,0
23	578309,3	4774376,9	583016,57	4770165,2	IGI – ZAGREB	1,31	UTVRĐENA	1073,1
24	580721,33	4775140	583581,38	4769720,5	IGI – ZAGREB	1,33	UTVRĐENA	3648,7
25	578309,3	4774376,9	578515,45	4768680,3	IGI – ZAGREB	1,25	UTVRĐENA	6448,7
26	581052,4	4774956,8	583581,38	4769720,5	HMZ – ZAGREB	1,28	UTVRĐENA	5817,6
27	575397,69	4778065,6	570128,48	4772048,4	HMZ – ZAGREB	0,19	UTVRĐENA	4596,9
28	575397,69	4778065,6	569162,24	4773268,1	HMZ – ZAGREB	0,19	UTVRĐENA	4664,7
29	576760,65	4777079,4	575386,17	4772138,8	IGI – ZAGREB	0,65	UTVRĐENA	5149,1
30	576760,65	4777079,4	576127,49	4770532	IGI – ZAGREB	0,85	UTVRĐENA	6580,8
31	576735,01	4777082,6	578515,45	4768680,3	IGI – ZAGREB	0,75	UTVRĐENA	9313,5
32	581023,83	4780581,6	591144,02	4773411,1	IGI – ZAGREB	6,80	UTVRĐENA	12205,8
33	575549,58	4784109,4	573791,04	4782327,4	HMZ – ZAGREB	2,10	UTVRĐENA	1327,0
34	574840,34	4785171,8	574646,72	4782042,6	HMZ – ZAGREB	2,18	UTVRĐENA	1231,8
35	572406,59	4785653,4	572474,38	4781854,1	HMZ – ZAGREB	1,31	UTVRĐENA	2501,9
36	570605,49	4787071,4	573791,04	4782327,4		1,18	UTVRĐENA	2442,9
37	585385,78	4784435,7	591144,02	4773411,1	IGI – ZAGREB	2,50	UTVRĐENA	12260,6
38	574840,34	4785171,8	573791,04	4782327,4	HMZ – ZAGREB	1,94	UTVRĐENA	3033,1
39	572406,59	4785653,4	573791,04	4782327,4	HMZ – ZAGREB	2,47	UTVRĐENA	3604,1
40	570605,49	4787071,4	570314,59	4782115,3		1,00	UTVRĐENA	4966,6
41	570605,49	4787071,4	572474,38	4781854,1		1,07	UTVRĐENA	5544,1
42	561243,49	4804386,4	570605,49	4787071,4	IGI – ZAGREB	1,33	UTVRĐENA	19691,5
43	576807,59	4777083,4	576127,49	4770532	HGI – ZAGREB	3,23	UTVRĐENA	0,0
44	576807,59	4777083,4	576059,69	4771891	HGI – ZAGREB	2,58	UTVRĐENA	0,0
45	570188,98	4781723,1	570128,48	4772048,4	HGI – ZAGREB	0,78	UTVRĐENA	0,0
46	570188,98	4781723,1	575386,17	4772138,8	HGI – ZAGREB	0,62	UTVRĐENA	0,0
47	570188,98	4781723,1	576127,49	4770532	HGI – ZAGREB	0,59	UTVRĐENA	0,0
48	570188,98	4781723,1	576059,69	4771891	HGI – ZAGREB	0,63	UTVRĐENA	0,0
49	554349,85	4813147,8	554755,14	4812591,1		0,00	NESIGURNA	688,8
50	554348,61	4813163,3	554755,14	4812591,1		0,00	NESIGURNA	702,1
51	553801,91	4819995	554369,35	4812904	INTEGRA – MOSTAR	0,34	UTVRĐENA	1902,4
52	551674,11	4826212,3	554755,14	4812591,1	GEOZAVOD – BEOGRAD	0,56	UTVRĐENA	2531,0
53	551004,73	4817574,4	554755,14	4812591,1	IGI – ZAGREB	0,76	UTVRĐENA	5567,5

54	553801,91	4819995	554653,35	4813239,4	INTEGRA – MOSTAR	0,34	UTVRĐENA	6811,4
55	553801,91	4819995	554738,44	4812690,9	INTEGRA – MOSTAR	0,34	UTVRĐENA	7366,4
56	553801,91	4819995	554755,14	4812591,1	INTEGRA – MOSTAR	0,34	UTVRĐENA	7467,5
57	551674,11	4826212,3	540051,54	4814954,4	GEOZAVOD – BEOGRAD	1,26	UTVRĐENA	1676,9
58	562764,58	4824061,8	554755,14	4812591,1	INTEGRA – MOSTAR	0,76	UTVRĐENA	13995,3
59	564036,63	4815669,7	570249,04	4806056,1		0,00	UTVRĐENA	0,0
60	568362,56	4813416,2	570249,04	4806056,1		0,00	UTVRĐENA	0,0
61	568816,19	4820285,4	570249,04	4806056,1		0,00	UTVRĐENA	0,0
62	572903,31	4811566,1	570249,04	4806056,1		0,00	UTVRĐENA	0,0
63	561243,49	4804386,4	563823,87	4799614,2	IGI – ZAGREB	1,33	UTVRĐENA	19691,5

Najstarije trasiranje je izvedeno 27.8.1954. godine (Turner, 1955), pri čemu je u tok rijeke Matice ubačeno 25 kg Na-fluoresceina. Prema navodima autora, traser je ubačen otprilike 300 m uzvodno od glavnog ponora Staševica, a ponirao je u glavnom ponoru, ali i ponorima nizvodno. Matica je u trenutku ubacivanja trasera imala protok od 1,5 m³/s (vodostaj 85 cm), a njezin tok nije dopirao do ponora Crnog vira. Tim trasiranjem utvrđena je veza prema izvoru u Gradcu, Mandinoj mlinici, Klokunu 1, Čeveljuši i Modrom oku. Osim razmjerno slabo razvijene tehnologije u to doba, postoji još jedan značajan problem kod analize dobivenih rezultata. U tabelarnom prikazu trasiranja u rubrici „dokazana boja“, stoji primjedba: "Boja na izvorima nije se opazila okom, već povećalom (?)". U to vrijeme, kada je jedina mogućnost detekcije trasera bila vizualna, ovakav navod dovodi rezultat pod sumnju, jer se povećalo koristilo za „povećanje analitičke rezolucije“ kako bi se na taj način posredno postigao učinak podebljanja vodenog stupca. Iako su iz tih razloga rezultati navedenog istraživanja donekle upitni, citirani su u čitavom nizu kasnijih objavljenih i neobjavljenih radova.

Sljedeće trasiranje izvedeno je 19.8.1959. godine ubacivanjem 50 kg Na-fluoresceina direktno u ponor Staševica (Turner, 1959). Traser se pojavio na izvorima Mandinoj mlinici, izvoru i kaptazi (u preljevnoj vodi s izvora kaptiranog za vodovod Gradac), i to u količini do 100 mg/m³ vode (izvor Mandina mlinica 7.10.1959. godine) odnosno do 50 mg/m³ vode (izvor Mandina mlinica kaptaza od 6.–11.10.1959. godine). U zaključku izvještaja Turner navodi: "Prema tome vode Staševice ponora izlaze samo na Mandinoj mlinici izvoru i kaptazi, dok izvori dalje prema jugu (Klokun 1), te oni u dolini Neretve (od Čeveljuše do Strimena) nemaju vezu s tim ponorom". Isti autor ističe kako kvantitativna analiza nije mogla biti provedena, jer se ni Mandina mlinica izvor ni kaptaza ne mogu mjeriti. Osim toga, opažanje na ta dva priobalna izvora započelo je tek nakon pojave boje, a u izvještaju se ne navodi razina vode u rijeci Matici za vrijeme trasiranja.

Iste, 1959. godine izvršeno je još jedno trasiranje u Vrgoračkom polju (Turner, 1959). Dana 31. kolovoza 1959. godine u tok Matice uzvodno od mjesta vodokaza Otok u Vrgoračkom jezeru ubačeno je 50 kg Na-fluoresceina, a obojena voda je postupno uvirala na brojnim ponorima duž korita (na 12 mjesta na lijevoj i 15 mjesta, uključujući i glavni ponor, na desnoj obali). Boja je potpuno nestala s površine predponorskog jezera 1. rujna, a 9. rujna između 8 i 9 sati ujutro traser je zapažen golim okom na izvoru Strimen. Osim tamo, traser je uočen i na nizu izvora u području Desana. Opažanje na tim izvorima započelo je tek nakon obavijesti mještana o vidljivoj boji u izvorima. Autor navodi kako je boja na Modrom oku počela istjecati 7. rujna u 6 sati ujutro. Iz proračuna udaljenosti i vremena od ubacivanja do pojave boje dobivena je srednja brzina podzemnog toka koja je za izvor Modro oko iznosila 1,3 cm/s. Na Modrom Oku boja se pojavila u najvećoj koncentraciji (100 mg/m^3), dok se na izvorima Strimen, Kapovića vir i Banji desanki pojavila u koncentraciji do 50 mg/m^3 , a na Grgića vrelu do 20 mg/m^3 . Na izvoru Mišunov vir nije registrirana pojava boje. Turner (1959) je na temelju do tada obavljenih bojenja zaključio da vode Matice Vrgorske, koje utječu u ponor Staševicu izviru u Vodicama i Mandinoj mlinici, vode s ponora koji se nalaze u koritu Matice Vrgorske od Staševice do Otoka izlaze u Klokunu 1 i Čeveljuši, dok ponori od Otoka do Crnog Vira izviru od Banje Desanka do Strimena. Naravno, navedeni zaključci vrijede samo za hidrološke uvjete u kojima je bojenje provedeno.

Bojanić (1980) je rekognoscirao ponorno područje od mosta u Otoku do Crnog vira, koje je kasnije bilo trasirano s više lokacija.

U području Krotuša, u jugoistočnom dijelu Vrgoračkog polja obavljeno je trasiranje ponora Podspilom (Ivičić & Pavičić, 1996). Ponor je u vrijeme trasiranja bio pod usporom, tako da je na mjestu ponora bilo jezero promjera oko 100 m. Rijekom Maticom teklo je oko $2 \text{ m}^3/\text{s}$, a protok u odvojkju prema ponoru procijenjen je na $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Iz jezera se dio vode (oko $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$) prelijevao u 6–7 m udaljeni ponor promjera manjeg od 0,5 m. U taj ponor je 9.11.1995. godine ubačeno 30 kg Na-fluoresceina, a traser je zabilježen na izvorima na potezu Čeveljuša–Modro oko–Strimen. Najveća prividna brzina bila je prema izvoru Modro oko, a iznosila je 1,34 cm/s.

Trasiranje ponora Crpala izvršeno je 22.6.1996. godine (Ivičić & Pavičić, 1997). Ponor je kod visokih voda pod usporom rijeke Matice, dok se kod pada razine prema ponoru odvaja kanal dugačak otprilike 6 m. U vrijeme trasiranja u ponor je otjecalo $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$. Traser je najveću prividnu brzinu od svega 0,85 cm/s imao prema izvoru Klokun 1. Osim tamo, traser je zapažen na izvorima Oćuša (0,65 cm/s), Čeveljuša (0,73 cm/s) i izvoru u Tunelu T2 koji spaja

Vrgoračko polje i Baćinska jezera (0,66 cm/s). Izvor u tunelu uočen je na samom dnu tunela, približno 100 m od izlaznog portala. Autori su na temelju trasiranja zaključili kako se u uvjetima srednjih i malih voda mogu razdvojiti područja s kojih vode gravitiraju prema izvoru Klokun 1 od ponora koji su povezani s izvorom Modro oko. Male brzine tečenja upućuju na usporene vode u podzemnoj retenciji, koja se polako prazni preko trasiranih izvora. Povezanost izvora Čeveljuša s ponorom Podspilom i ponorom kod Crpala moguće je objasniti „prelijevanjem“ iz retencije u retenciju. Treba naglasiti kako su u ovom dijelu terena gradijenti izrazito niski, čak i tijekom hidroloških maksimuma.

Ponor ispod brda Obličevac trasiran je 17.3.2005. godine s 10 kg Na-fluoresceina za potrebe lokacijske dozvole kamenoloma u neposrednoj blizini (Kapelj & Terzić, 2005). Ponor se nalazi uz tok rijeke Matice, prije glavnog ponora Crni vir. Na glavnom vodotoku Matica kod mosta je u vrijeme trasiranja na vodomjernom profilu očitana razina od 60 cm. Traser je zapažen na izvorima Modro oko (prividna brzina 1,93 cm/s, maksimalna koncentracija 26,7 µg/l), Banja (prividna brzina 1,43 cm/s, maksimalna koncentracija 17,2 µg/l), Strimen, Šišino vrilo i Grgića vrilo.

Sva prethodno opisana trasiranja izvedena su iz Vrgoračkog polja. Osim njih, trasiranja su izvedena i iz polja Rastok koje je viša geomorfološka (hidraulička) stepenica u odnosu na Vrgoračko polje. Kod svih izvedenih trasiranja boja se pojavila isključivo na izvorima na sjevernoj strani Vrgoračkog polja (izvori Studena, Kruška, Butina i Stinjevac; Bojanić, 1980). Osim toga, vrijedi spomenuti i trasiranje iz Imotsko-bekijskog polja u kojem je trasiran ponor Jakići, a traser se pojavio na Banji u Rastok polju, čime je dokazana podzemna veza ta dva polja (Slišković, 2000).

Važnija istraživanja koja uključuju trasiranja i koja su povedena u susjednoj Bosni i Hercegovini su: 1) trasiranja ponora Vrcić i ponora u neposrednoj blizini Ljubuškog koja su rezultirala pojavom traseru na izvoru Prud, najvećem izvoru u okolici Baćinskih jezera (Slišković, 2001); 2) trasiranje iz područja Ljubuškog u blizini Trebižata (Slišković, 2001) kojim je dokazana i dijelom kvantificirana (samo prividna brzina) podzemna vodna veza s izvorom Norinske rijeke – Prudom; 3) trasiranje bočnih ogranaka ponorne zone Crnog Vira (Kapelj & Terzić, 2005) kojim su dobiveni vrijedni podaci o podzemnim vezama s izvorima u Desnama sve do Modrog oka, kao i 4) istraživanje utjecaja autoceste Zagreb–Dubrovnik na podzemne vode svih razmatranih izvorišta (Ivičić et al., 2008) .

U istraživanju za potrebe ovog doktorskog rada izvršeno je simultano trasiranje pomoću dva traseri. Takvo trasiranje izvodi se ubacivanjem različitih traseri na različitim lokacijama u isto vrijeme, tako da se mogu donositi puno bolji zaključci o vodonosniku, jer se trasiranja izvode u istim hidrološkim uvjetima. Odabrana lokacija trasiranja obuhvatila je šire područje Baćinskih jezera u kojem do sada nisu bile jasnije opisane moguće geološke predispozicije koje bi određivale smjer tečenja podzemnih voda. Pored tog, to se područje odlikuje vrlo niskim gradijentima, posebice od neposrednog zaleđa jezera pa gotovo sve do Vrgorca, tako da i mala promjena hidroloških uvjeta može lokalno uzrokovati velike promjene u smjeru i brzini podzemnog tečenja. Važan preduvjet pri izvođenju ovakvih trasiranja je svakako i odabir odgovarajućih traseri koji se mogu razlikovati pri pojavljivanju na istim lokacijama.

Prilikom određivanja lokacija ubacivanja traseri prikupljeni su i analizirani podaci svih prethodnih trasiranja na ovom području. Kako prethodna trasiranja nisu dala nedvojbenu odgovor na to pripadaju li pojedine zone slijevu Baćinskih jezera (pa čak i Klokuna 1) ili slijevu Mandine mlinice, obavljeno je simultano trasiranje dvaju ponora u Vrgoračkom polju u rujnu i listopadu 2014. godine. Rezultati dotadašnjih i novih trasiranja korišteni su za što točnije određivanje sljevnih granica u tom području.

4.4.2. Umjetni traseri

Traser je bilo koja tvar pomoću koje se može dobiti informacija o tečenju vode i transportu materijala (Frangen, 2013). U hidrogeološkim istraživanjima koriste se prirodni i umjetni traseri: prirodni su oni koji se nalaze prirodno u vodi (poput iona i stabilnih izotopa) ili predstavljaju neka njezina svojstva, elektrolitičke vodljivosti, temperatura, dok se umjetni traseri obično ubace u sustav te se mjeri njihova koncentracija na točkama opažanja.

Od umjetnih traseri u ovom istraživanju korišteni su natrijev fluorescein (uranin) i natrijev naftionat koji imaju dovoljno različite valne duljine da se mogu kombinirati u simultanim trasiranjima (Goldscheider & Drew, 2007). Oba traseri pripadaju skupini fluorescentnih traseri, budući da imaju svojstvo fluorescencije te su oba neškodljiva za floru, faunu i ljude.

Traser uranin je smeđe-narančasti prah koji tek jako razrijeđen pokazuje svojstvo fluorescencije i poprima jarku žuto-zelenu boju. U vodi je vidljiv u koncentracijama iznad 20 µg/l te se može reći da ima najveći intenzitet fluorescencije među traserima. U usporedbi s drugim traserima uranin ima gotovo idealna svojstva te je najčešće korišten traser.

Naftionat se sastoji od sivih kristalića i znatno je manje fluorescentan od uranina, tako da je pri izvođenju trasiranja uvijek potrebno ubaciti znatno veću količinu naftionata od količine uranina. Naftionat nije vidljiv u vodi, što ga čini pogodnim za trasiranje područja s vodoopskrbnim objektima. Upravo zbog toga je središnji dio Vrgoračkog polja trasiran naftionatom, budući da se u blizini nalazi izvor Klokun 1 s kojim je prijašnjim trasiranjima utvrđena podzemna veza. Naime, izvor Klokun 1 koristi se u javnoj vodoopskrbi te bi vidljiva pojava trasera u vodi bila nepoželjna, usprkos neškodljivosti za zdravlje. Obzirom da uranin ima nešto bolja svojstva (manju sorpciju, veću razinu detektibilnosti i veću topljivost u vodi), korišten je u sjeverozapadnom dijelu polja koji još nije bio trasiran, a bila je očekivana i veća dužina transporta.

4.4.3. Opis trasiranih objekata

Na istraživanom dijelu područja do sada je izveden razmjerno velik broj trasiranja koja su opisana u poglavlju 4.4. Neka od njih su izvedena davno te nisu poznati svi uvjeti izvođenja prisutni u to vrijeme te je zbog toga njihova pouzdanost upitna. Najveća nedoumica u dosadašnjim istraživanjima bilo je područje prihranjivanja izvora Klokun 1 na kojem je izveden manji broj trasiranja, ali i dalje nije bila jasna granica prihranjivanja između i izvora Klokun 1 i Mandina mlinica. Osim toga, sva trasiranja na Vrgoračkom polju izvedena su isključivo u njihovom središnjem i jugoistočnom dijelu. S obzirom na poboljšane laboratorijske i terenske metode opažanja koje se koriste danas, za potrebe ovog istraživanja izvedeno je simultano trasiranje s dva trasera u sjeverozapadnom i središnjem dijelu polja.

U sjeverozapadnom dijelu polja trasiran je ponor koji se nalazi približno 5 m južno od glavnog korita rijeke Matice na visini od 27 m n.m (HTRS koordinate ponora su $x = 570189$ i $y = 4781723,27$). Trasirano je s 10 kg uranina (Na-fluoresceina) 99% čistoće koji je ubačen u ponor 30.9.2014. godine u 12:00 h. U ponor je tijekom ubacivanja trasera poniralo nekoliko desetaka litara vode u sekundi.

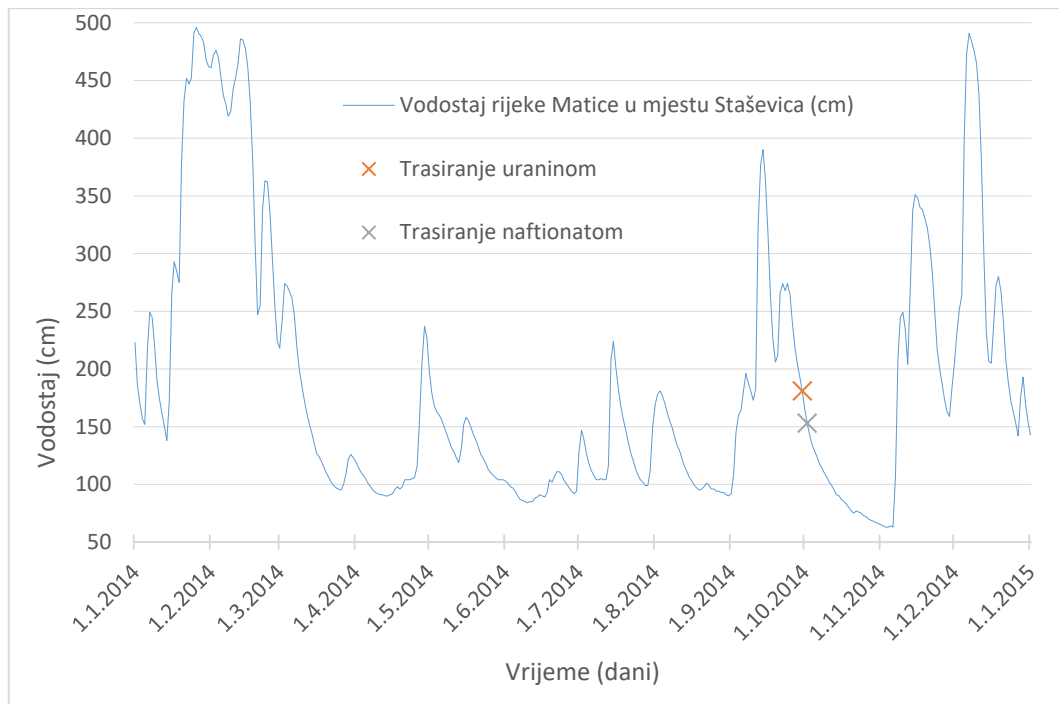
Naftionat je ubačen 2.10.2014. godine u 10:45 sati u ponor koji se nalazi u samom boku rijeke Matice na visini od 24 m n.m., na udaljenosti od svega 50-ak m od ponora Crpala (HTRS koordinate ponora su $x = 576807$ i $y = 4777083$). Zbog visokog vodostaja rijeke Matice ponor Crpala bio je potopljen te nije bilo vidljivo nikakvo poniranje vode. Pet metara nizvodnije, u desnom boku rijeke prekrivenom kamenim blokovima, čulo se poniranje vode, tako da je među

te blokove ubačeno 60 kg naftionata (minimalne čistoće 74%) otopljenog u približno 250 l vode.

4.4.4. Hidrološki uvjeti tijekom trasiranja

Kako je već navedeno u prethodnim poglavljima, u području istraživanja prevladavaju niski gradijenti, zbog čega prividne brzine u uvjetima velikih voda nisu maksimalne. Štoviše, pri takvim uvjetima ponori rijeke Matice dolaze pod uspor dok neki zapravo funkcioniraju i kao izvori (estavele), a dijelovi Vrgorčkog polja poplavljuju. Stoga bi trasiranje u takvim uvjetima bilo vrlo teško izvesti, pa je izvedeno tijekom povlačenja vodnog vala, a ne kao što je uobičajeno u uvjetima velikih voda kad se uglavnom očekuju najveće prividne brzine.

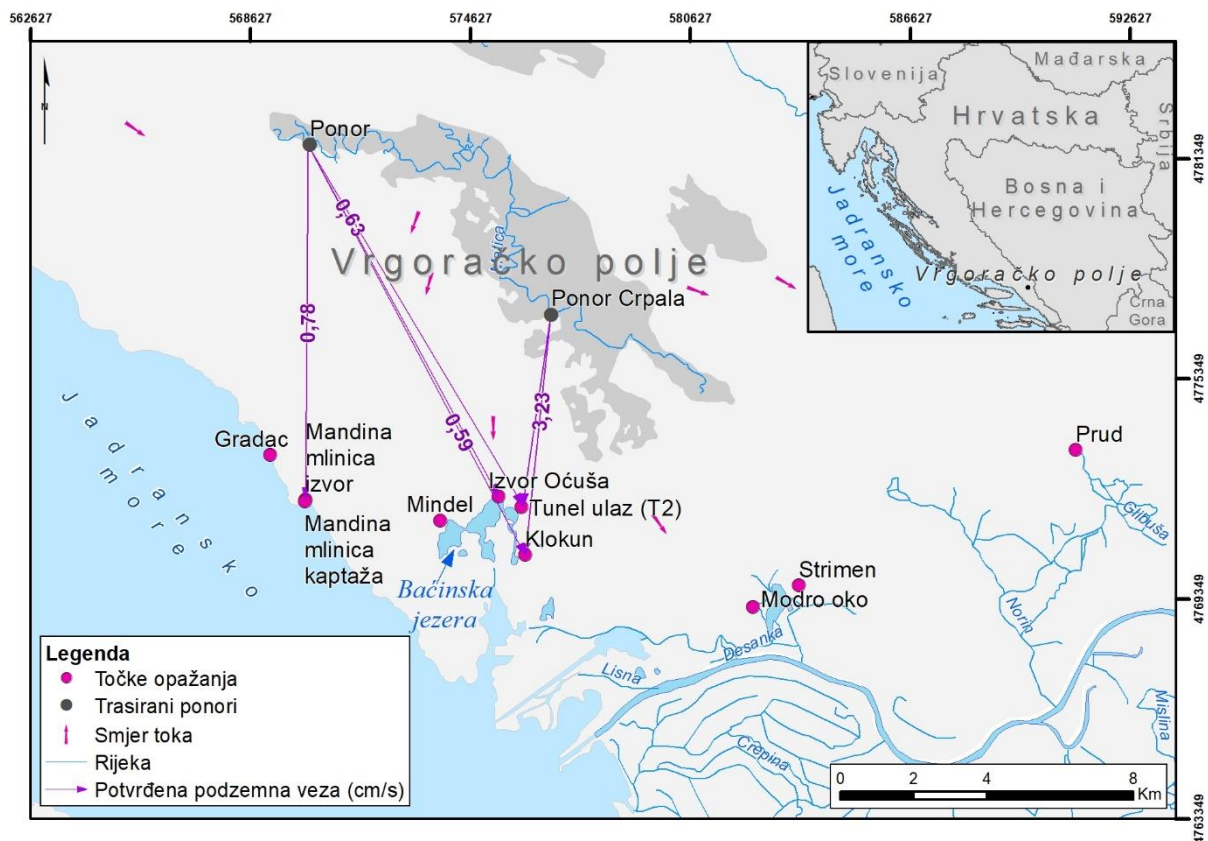
Zbog izrazite okršnosti istraživanog područja, uvjeti tečenja vrlo su promjenljivi, što je dodatno otežalo izbor optimalnog mjesta za ubacivanje trasera. Ponori se nalaze uglavnom uz bok rijeke Matice, pa je njihova aktivnost pretežito vezana uz razinu vode u rijeci. Kod velikih vodostaja ponori su pod usporom i voda ne ponire te je ubacivanje trasera teško izvedivo te uslijed pada razine vode ponori u kratkom vremenskom razdoblju presušuju. Kako je smjer dreniranja Vrgoračkog polja od sjeverozapada prema jugoistoku, tako i razine voda opadaju prvo u sjeverozapadnom dijelu polja. Radi toga je ubacivanje trasera u ponor u sjeverozapadnom dijelu polja izvedeno dva dana prije trasiranja ponora u središnjem dijelu polja (Slika 42). Srednja dnevna razina vode rijeke Matice na mjernoj postaji Staševica je na dan ubacivanja Na-fluoresceina iznosila 181 cm, dok je na dan ubacivanja naftionata opala na 153 cm.



Slika 42. Vodostaj rijeke Matice tijekom 2014. godine s naznačenim vodostajem u vrijeme ubacivanja trasera.

4.4.5. Opažачka mreža

Opažачka mreža obuhvatila je izvore Gradac, Mandina mlinica, Mindel, Oćuša, izvor u Tunelu T2 koji spaja Jezero i Baćinska jezera, Banja, Modro oko, Strimen i Prud. Izvor u Tunelu T2 je u vremenu trasiranja bio nedostupan radi jakog toka vode u tunelu, tako da je uzorkovanje obavljeno na izlazu iz Tunela T2 (Slika 43).



Slika 43. Trasirani ponori i točke opažanja.

Svi izvori uzorkovani su dva puta dnevno do 20.10.2014. godine, kada je uzorkovanje prorijeđeno na jednom dnevno, a potpuno je završeno 12.11.2014. Jedina iznimka od toga je izvor Prud koji je uzorkovan jednom dnevno u cijelom razdoblju opažanja.

4.4.6. Metode mjerenja koncentracije trasera

Na svim opažanim objektima uzimani su uzorci vode te su analizirani u laboratoriju Hrvatskog geološkog instituta na spektrofluorometru LS55 tvrtke Perkin-Elmer.

Na terenu su bila postavljena i dva terenska uređaja za mjerenje koncentracije trasera (fluorometri GGUN-FL, tvrtke Albillia) i to na izvorima Klokun 1 i Mandina mlinica. Uređaji su postavljeni direktno u izvor i automatski je mjerena koncentracija dva korištena trasera s intervalom mjerenja svakih 15 minuta. Pri ovako gustom mjerenju dobiva se gotovo kontinuirana krivulja koncentracije.

5. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

5.1. Hidrogeokemijske značajke

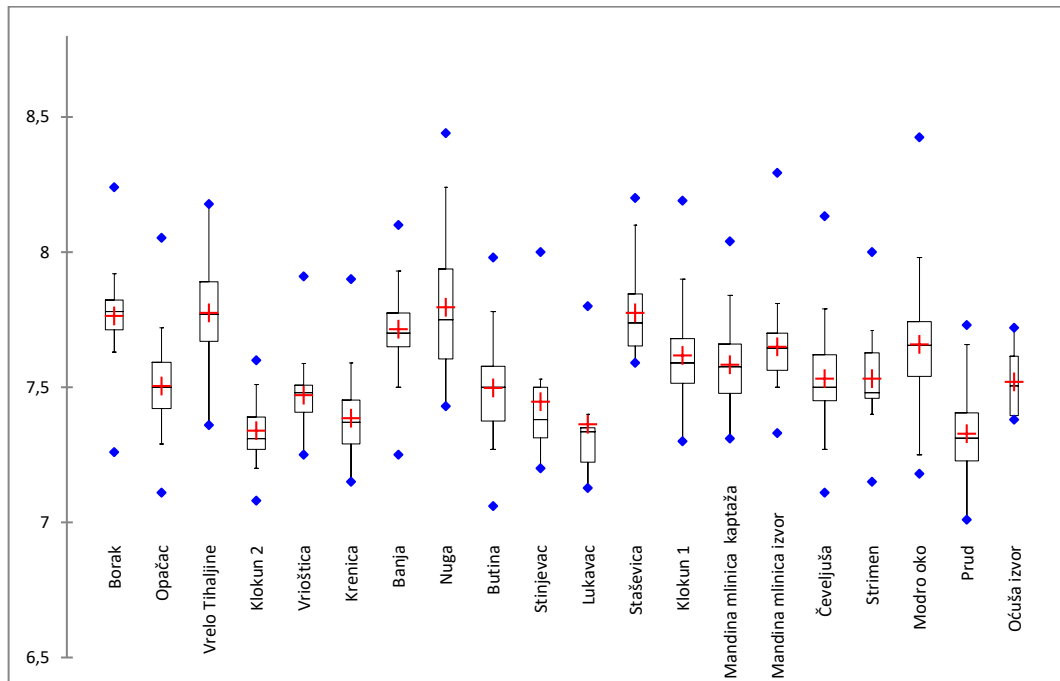
U ovom će poglavlju biti prikazani rezultati hidrogeokemijskih istraživanja, koja se temelje na opsežnom uzorkovanju voda i terenskim mjerenjima na odabranim lokacijama podzemnih i površinskih voda. Osnovne hidrogeokemijske značajke vode ključne su i za određivanje kakvoće i geneze podzemne vode. Iz kemijskog sastava vode može se dobiti uvid u podrijetlo podzemne vode, tj. informacije o hipsometrijskim visinama napajanja, sastavu vodonosnika kroz koji voda protječe te o vremenu zadržavanja vode u podzemlju (Appelo & Postma, 1994). Hidrokemijski parametri sustavno mjereni u sklopu istraživanja su: i) osnovni fizikalno-kemijski pokazatelji koji su poslužili pri određivanju geneze i dinamičkih svojstava vodonosnika; ii) hidrogeokemijski parametri obrađeni statističkim deskriptivnim metodama i multivarijantnim analizama, kako bi se utvrdilo u kojoj mjeri izmjereni parametri imaju sličnu ili različitu raspodjelu po pojedinim uzorcima voda te koji su prevladavajući geokemijski procesi koji određuju kemijski sastav voda; iii) sadržaj stabilnih izotopa kisika 18 ($\delta^{18}\text{O}$), deuterija (δD) i sumpora 34 ($\delta^{34}\text{S}$) koji su korišteni za određivanje podrijetla vode, i iv) koncentracije metala i mikrobioloških pokazatelja koji su korišteni pri tumačenju stabilnih izotopa sumpora 34 ($\delta^{34}\text{S}$). Kemijski sastav vode korišten je i za izračun indeksa zasićenosti pojedinih minerala (kalcita, aragonita, dolomita, gipsa) pri tumačenju rezultata stabilnih izotopa sumpora te pri tumačenju rezultata dobivenih statističkim analizama. Odjeljivanje slijevnih područja temelji se i na glavnim geokemijskim značajkama izvora s pripadajućim područjima napajanja. Rezultati mjerenja na terenu prikazani su u Prilogu 1.

5.1.1. Rezultati provedenih hidrogeokemijskih analiza

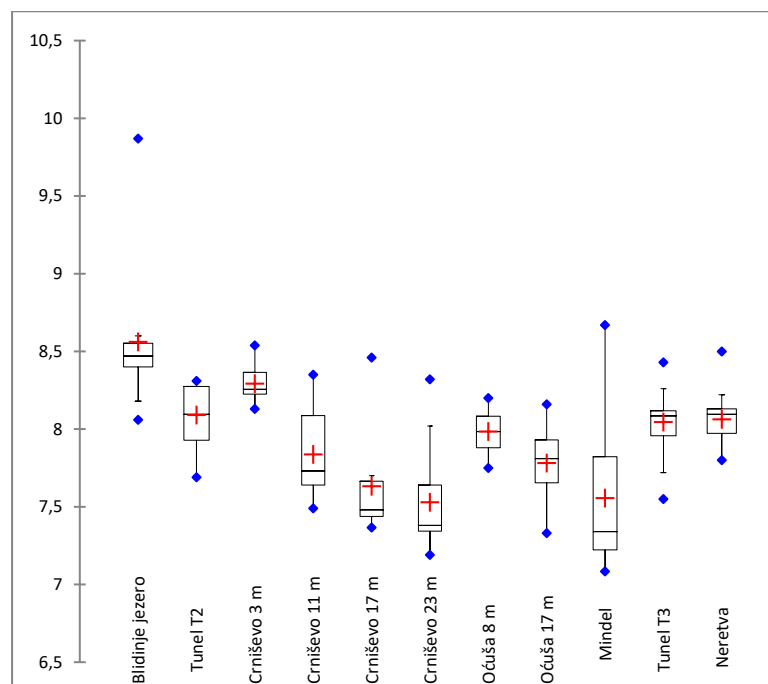
5.1.1.1. Osnovni fizikalno-kemijski parametri uzorkovanih voda

Vrijednosti pH na većini promatranih lokacija su u rasponu od 7,0 do 8,4 pa su vode istraživanog područja definirane kao blago alkalne (Slika 44). Najveće promjene pH-vrijednosti utvrđene su u površinskoj vodi Baćinskih jezera te na izvoru Mindel (gdje su vrijednosti u rasponu od 7,1 do 8,7) i Blidinjskom jezeru (gdje su minimalne izmjerene vrijednosti 8,1, a

maksimalne 9,9) (Slika 45). Najniže vrijednosti pH izmjerene su tijekom proljeća i kasne jeseni, dok su u zimskim (siječanj) i ljetnim mjesecima (kolovoz) vrijednosti pH blago povišene.



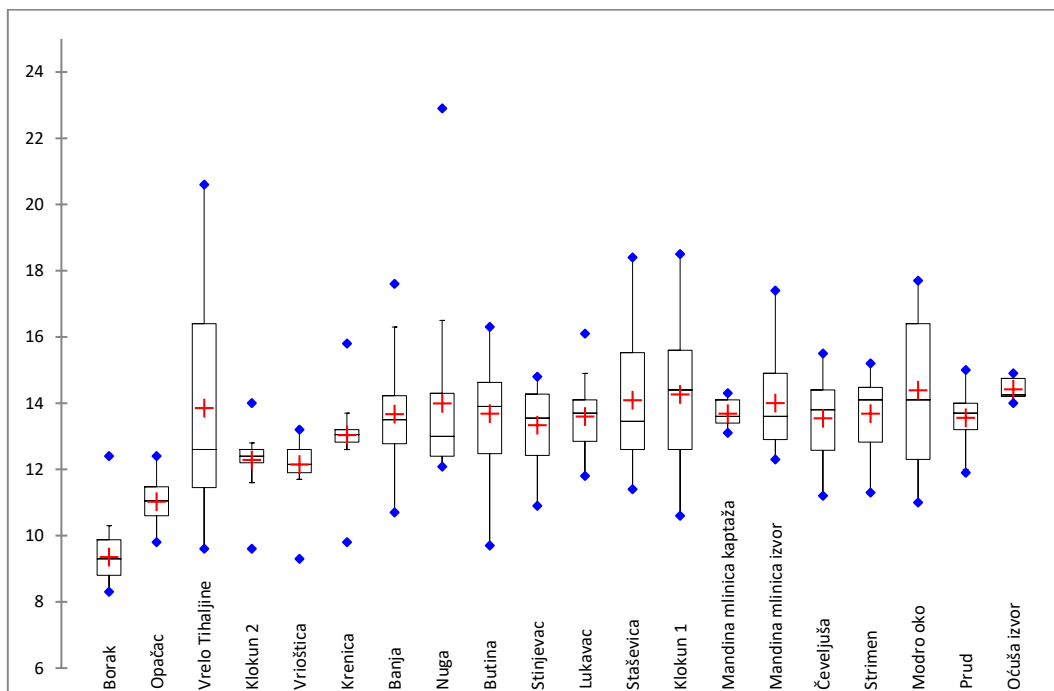
Slika 44. pH vrijednost vode na izvorima južne Dalmacije i zapadne Hercegovine.



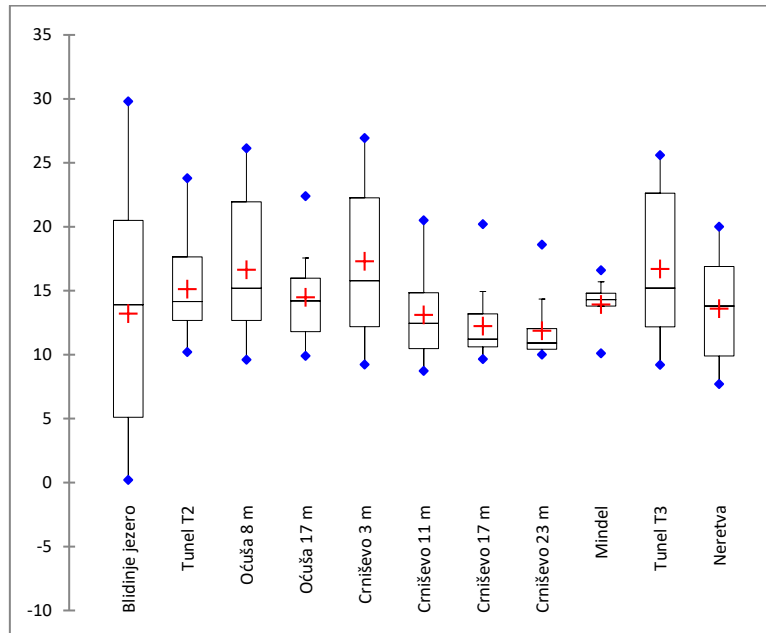
Slika 45. pH vrijednost vode na izvorima južne Dalmacije i zapadne Hercegovine.

Iz Slika 46 i 47 vidljivo je da su najmanja kolebanja temperature vode na izvoru Prud, Klokun 2, Vrioštica, Krenici, kaptazi Mandina mlinica i izvorima Očuša, Strimen i Banja, a

najveće u površinskim vodama jezera Crniševo, Oćuša i Blidinjsko jezero ta na Klokunu 1, Modrom oku, Staševici, Nugu, Butini i Vrelu Tihaljine.

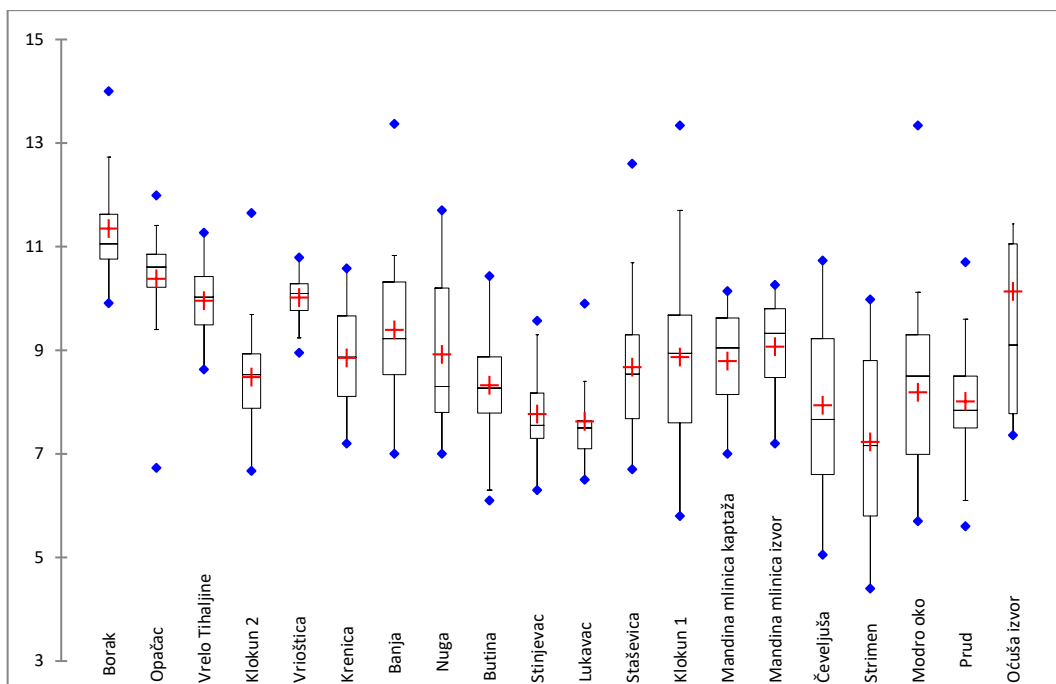


Slika 46. Vrijednost temperature vode (°C) na izvorima južne Dalmacije i zapadne Hercegovine.

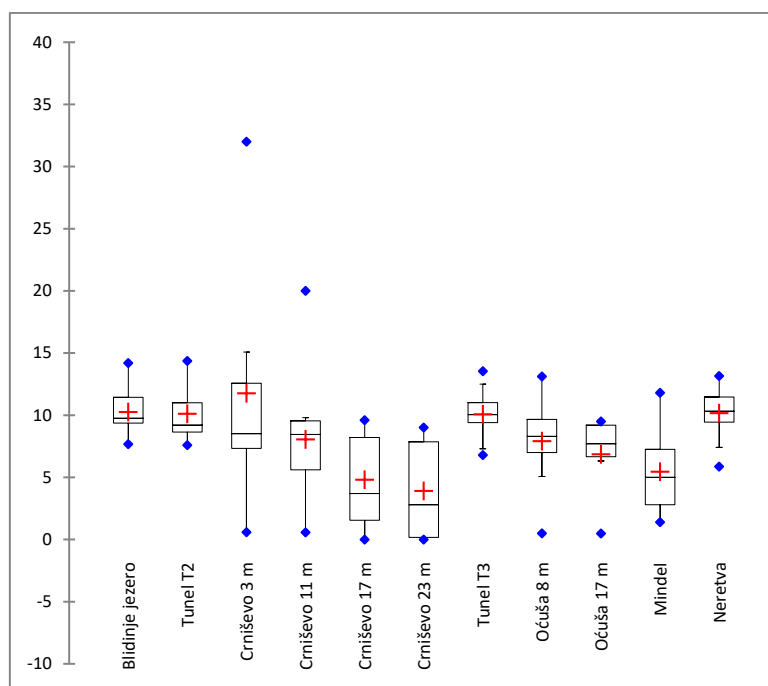


Slika 47. Vrijednost temperature (°C) vode na lokacijama Bačinskih i Blidinjskog jezera.

Razmatrane izvorske vode su dobro zasićene kisikom, čiji se sadržaj kreće od 6,1 do 14,4 mg/l (Slike 48–49). Najviše vrijednosti otopljenog kisika na svim izvorima zabilježene su u kasno proljeće, a najniže vrijednosti u kasno ljeto i jesen.

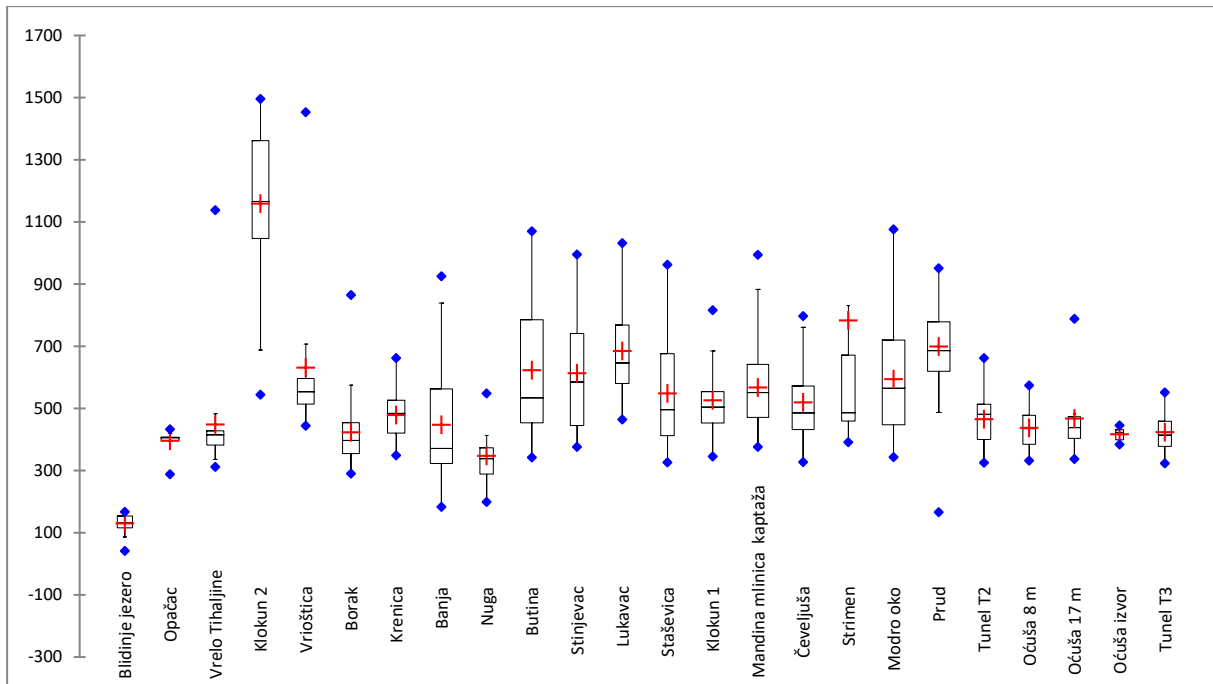


Slika 48. Vrijednost otopljenog kisika (mg/l) u vodi izvora južne Dalmacije i zapadne Hercegovine.

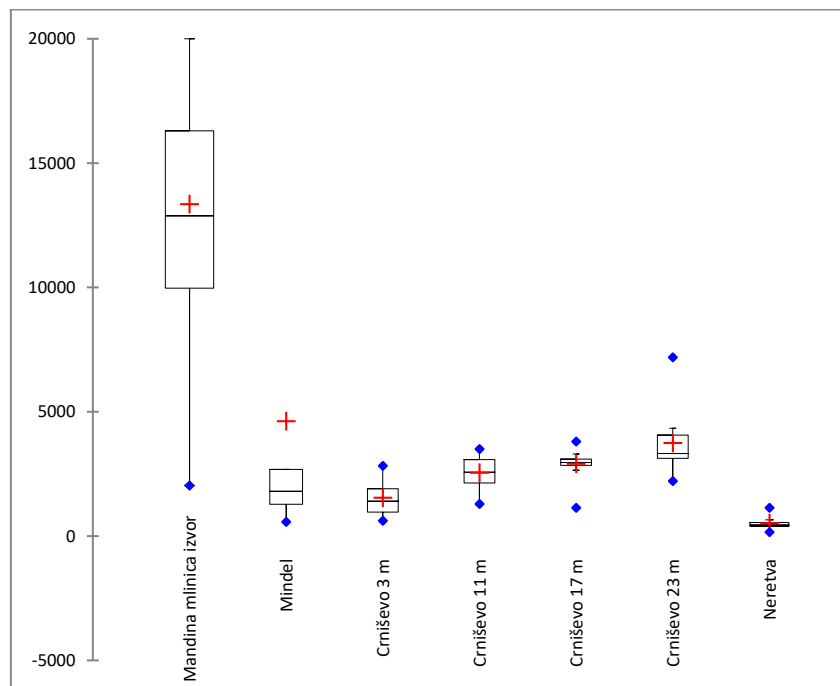


Slika 49. Vrijednost otopljenog kisika (mg/l) u vodi na lokacijama Bačinskih i Blidinjskog jezera.

Iz dijagrama (Slike 50–51) je vidljivo da su najviše izmjerene vrijednosti EC i najveće varijacije kod izvora Klokun 1 te kod izvora Modro oko, Butina, Stinjevac i Lukavac. Najniže vrijednosti EC i najmanje varijacije su utvrđene na izvorima Klokun 2, Opačac, Vrelo Tihaljine, Vrioštica, Borak i Očuša.



Slika 50. Vrijednost elektrolitičke vodljivosti ($\mu\text{S}/\text{cm}$) voda južne Dalmacije i zapadne Hercegovine.

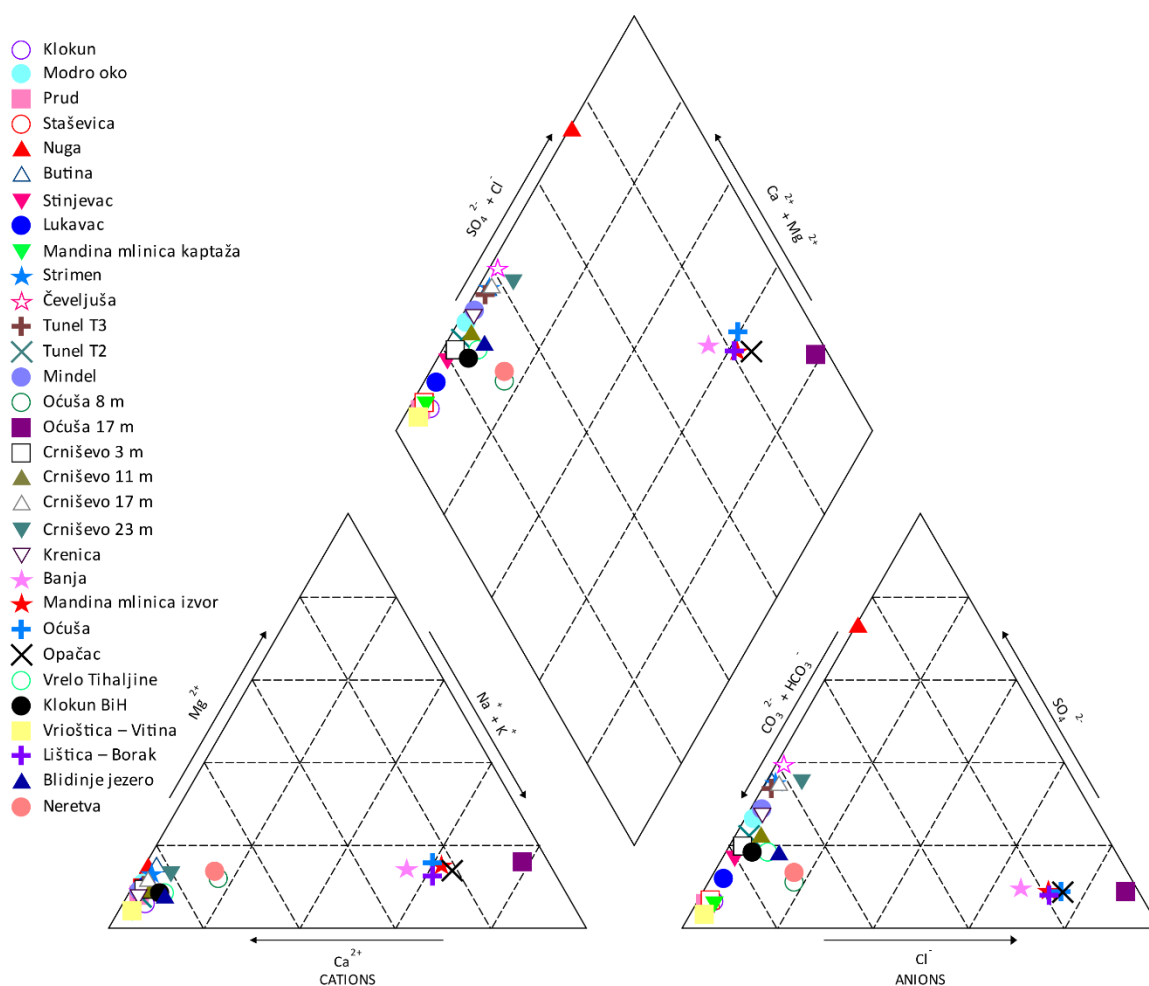


Slika 51. Vrijednost elektrolitičke vodljivosti ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na lokaciji Mandina mlinica izvor i Mindel s najvišim izmjeranim te na jezerima Crniševo i Očuša po dubini i rijeci Neretvi.

5.1.1.2. Hidrokemijski facijesi

Za prikaz osnovnih kationa i aniona na Piperovom dijagramu korišteni su medijani, jer su manje osjetljivi na ekstremne vrijednosti od aritmetičkih sredina, što prikaz čini posebno pogodnim za nepravilne asimetrične distribucije (Moore et al., 2017).

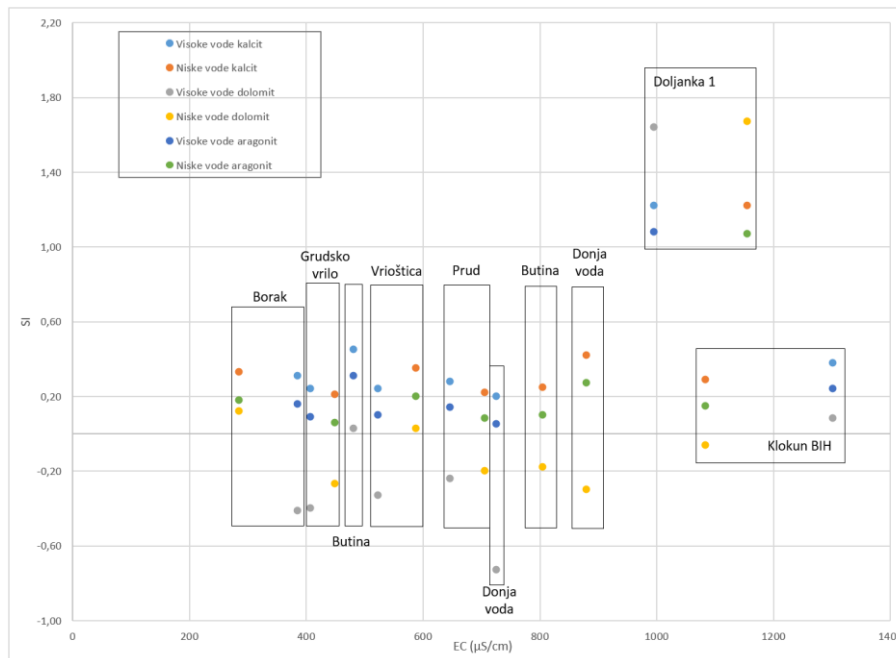
Podzemne i površinske vode istraživnog područja nije lako grupirati u određene facijese, jer se većini kroz godinu sastav mijenja kao posljedica različitih hidroloških uvjeta i zamršenih hidrauličkih odnosa unutar vodonosnika. Ipak, iz srednjih godišnjih vrijednosti kloridnih i sulfatnih iona u vodama vidljivo je u kojim dijelovima terena prevladavaju određeni facijesi. Na području istraživanja mogu se izdvojiti tri hidrogeokemijska facijesa (Slika 52). Prvi i najzastupljeniji je kalcijsko-hidrogenkarbonatni facijes (Ca-HCO_3), drugi je kalcijsko-sulfatno-hidrogenkarbonatni ($\text{Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$) a treći natrijsko-kloridni (Na-Cl) facijes. Kalcijsko-hidrogenkarbonatni tip voda karakterističan je za vodonosnike izgrađene od vapnenaca (CaCO_3) i dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) od kojih je izgrađen i najveći dio istraživnog područja.



Slika 52. Piperov dijagram koji prikazuje tri glavna hidrogeokemijska facijesa: i) kalcijsko-hidrogenkarbonatni, ii) kalcijsko-sulfatno/hidrogenkarbonatni te iii) natrijsko-kloridni.

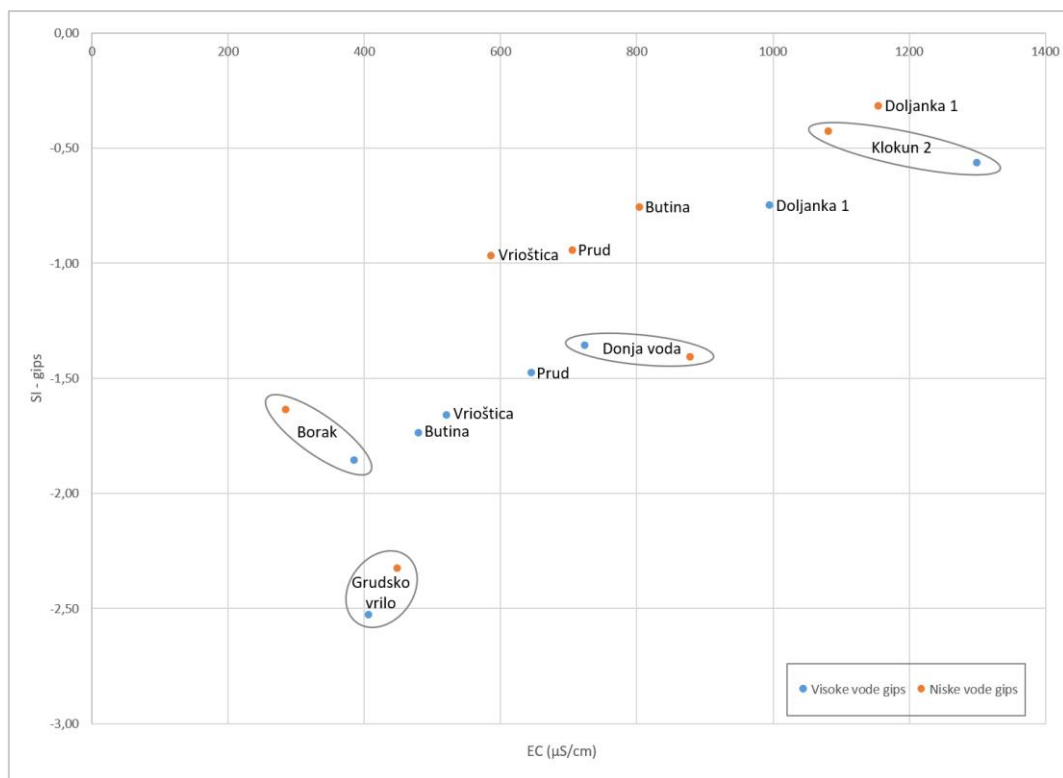
5.1.1.3. Indeks saturacije

Na Slici 53 prikazan je izračun indeksa saturacije ili zasićenosti minerala kalcita, aragonita i dolomita u niskim i visokim vodama. Kod izvora Klokun 2, Vrioštica, Borak i Butina indeks zasićenosti (SI) dolomitom je oko $SI = 0$ (između $-0,2$ i $0,2$), što znači da su otopina i mineral u ravnoteži. Kod izvora Grudsko vrilo, Prud i Donja voda SI dolomita je manji od $-0,2$, što ukazuje na to da je otopina podzasićena mineralom dolomitom, dok su kod svih izvora SI kalcita i aragonita veći od $0,2$, što ukazuje na zasićenje u odnosu na minerale kalcit i aragonit. U južnodalmatinskom dijelu slijeva mineral dolomita je prisutan samo u visokim vodama kod izvora Butina te je u nešto manjoj mjeri prisutan i na Prudu. Na Slici 53 vidljivo je da se izvor Doljanka 1 po vrijednostima znatno razlikuje od ostalih analiziranih izvora.



Slika 53. Indeks zasićenosti (SI) u odnosu na EC s mineralima kalcitom, aragonitom i dolomitom.

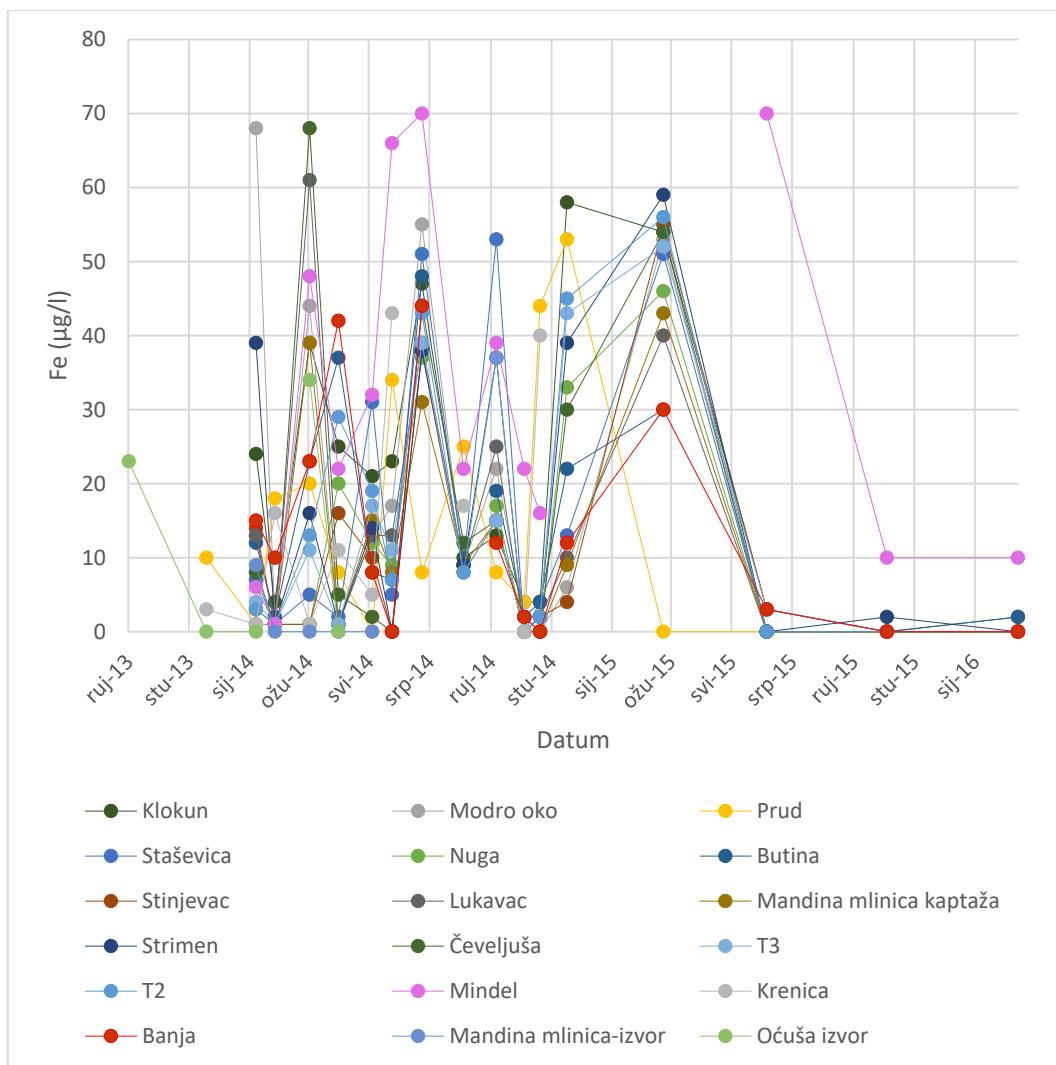
Napravljen je i izračun indeksa saturacije minerala gipsa, koji je prikazan na Slici 54. Na izvorima Klokun 2, Doljanka 1, Butina, Prud, Vrioštica te Donja voda otopljeno je više minerala gipsa u odnosu na Grudsko vrilo i izvor Borak. SI minerala gipsa Doljanke 1 ima najviše vrijednosti.



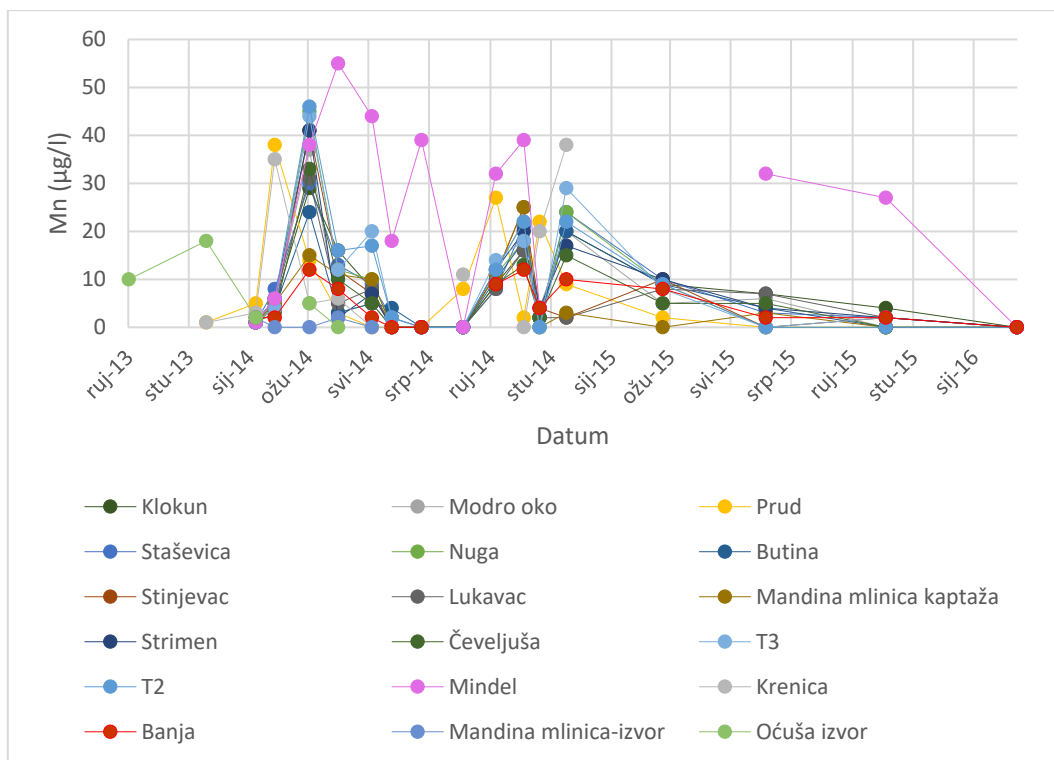
Slika 54. Varijacija indeksa zasićenosti (SI) gipsa u odnosu na EC u području istraživanja u visokim i niskim vodama.

5.1.1.4. Metali

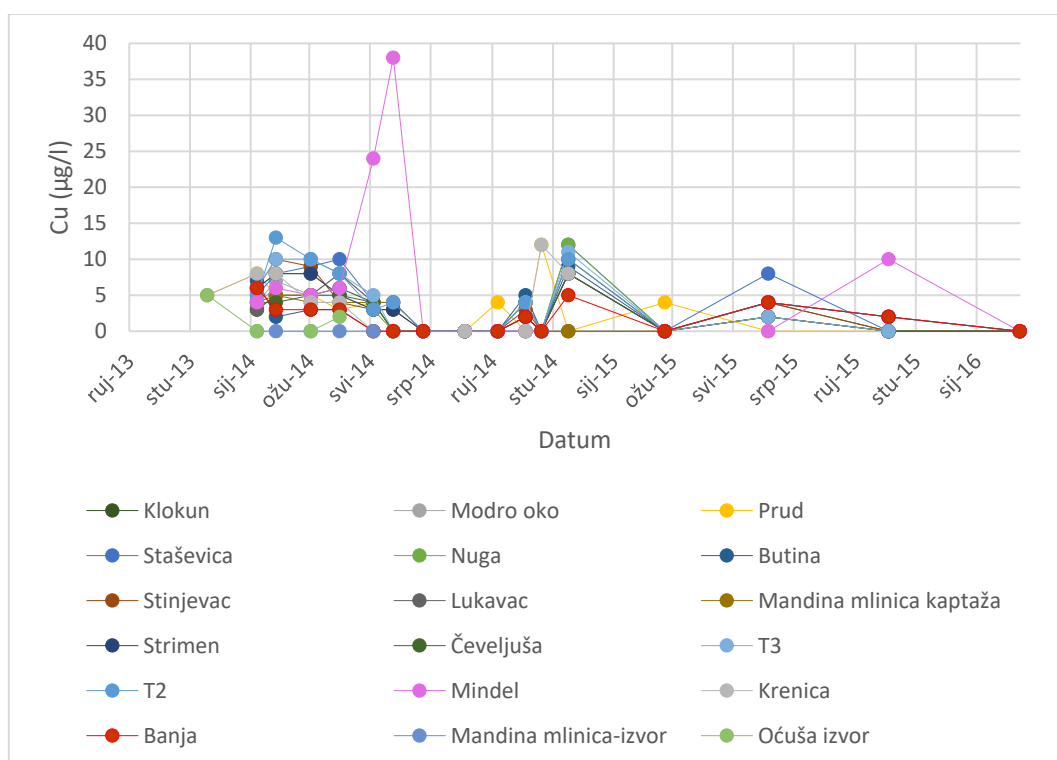
U uzorkovanim vodama analizirani su sljedeći elementi koji imaju negativne učinke na zdravlje: željezo (Fe), mangan (Mn), bakar (Cu), fluor (F), cink (Zn), krom (Cr), brom (Br), kobalt (Co), olovo (Pb) i kadmij (Cd). Koncentracije svih parametara su manje od maksimalno dopuštenih koncentracija MDK vode za piće (NN 125/2017) (Prilog 1). U mjerljivim i nešto višim koncentracijama bili su jedino metali Fe, Mn i Cu. MDK (NN 125/2017) Fe je 200 µg/l, Mn je 50 µg/l dok je MDK Cu 2,0 µg/l. Koncentracije ovih metala u analiziranim vodama prikazane su na Slikama 55–57, na kojima je vidljivo da maksimalnu koncentraciju sva tri metala ima voda iz izvora Mindel.



Slika 55. Vrijednosti Fe u uzorkovanim vodama istraživanog područja od rujna 2013.godine do siječnja 2016. godine.



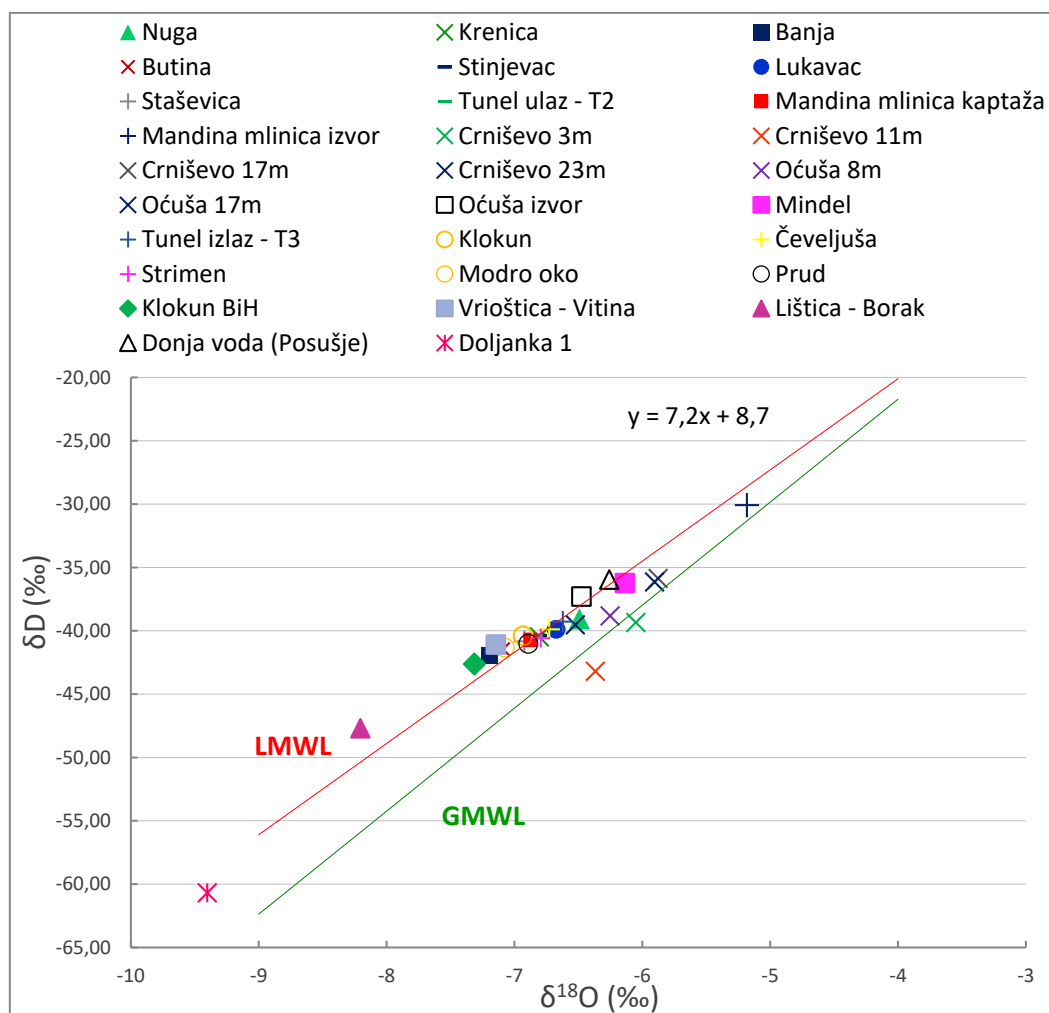
Slika 56. Vrijednosti Mn u uzorkovanim vodama istraživanog područja od rujna 2013. godine do siječnja 2016. godine.



Slika 57. Vrijednosti Cu u uzorkovanim vodama istraživanog područja od rujna 2013. godine do siječnja 2016. godine.

5.1.1.5. Stabilni izotopi 18 ($\delta^{18}\text{O}$), deuterija (δD)

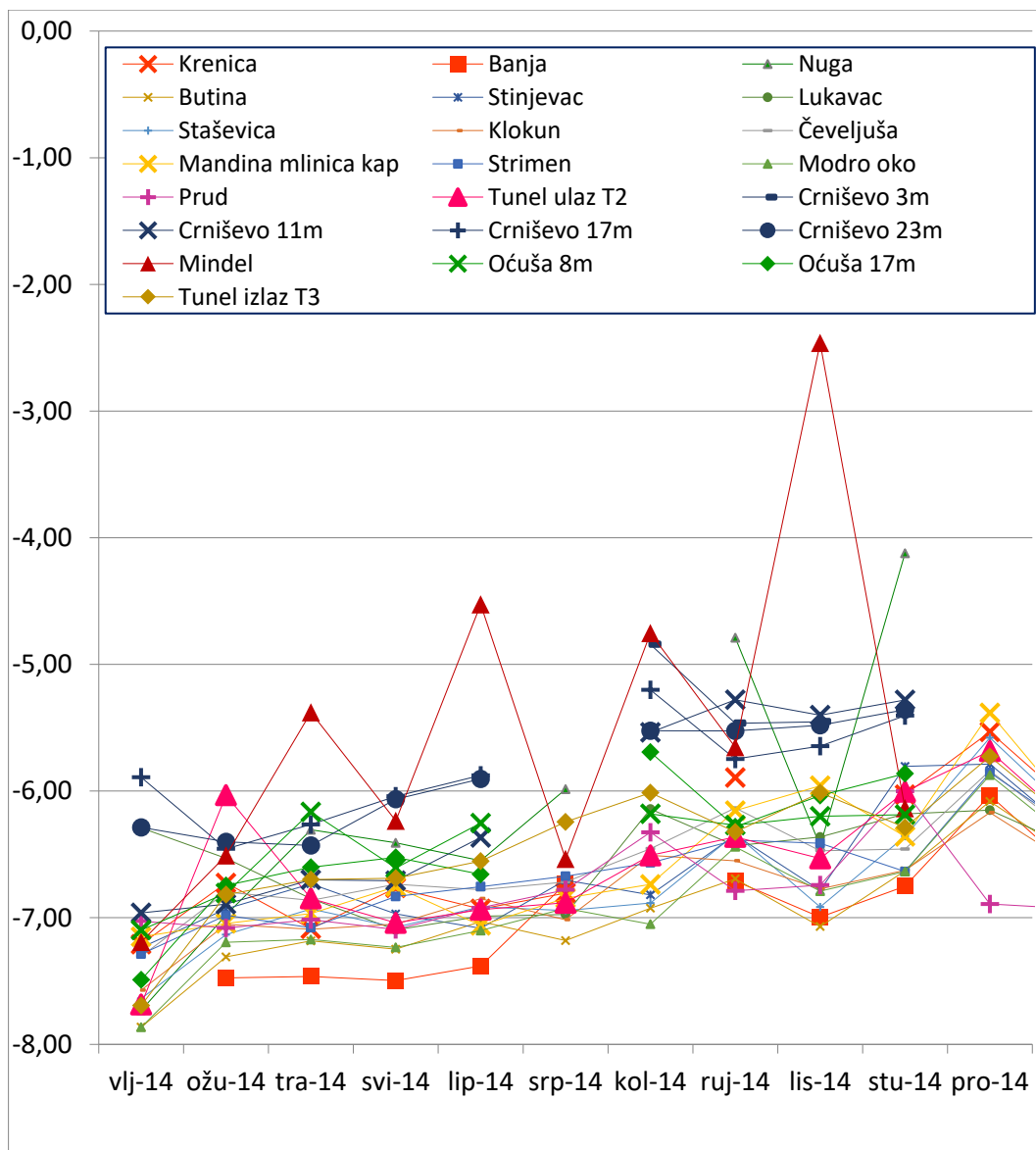
Na Slici 58 prikazani su medijani mjerenih vrijednosti stabilnih izotopa δD i $\delta^{18}\text{O}$. Omjeri izotopa δD i $\delta^{18}\text{O}$ većine hladnih podzemnih voda na malim dubinama uklapaju se u prosječne omjere lokalnih meteorskih voda. Vode koje imaju podrijetlo od meteorskih voda obično leže na LMWL, dok vode koje nemaju meteorsko podrijetlo ili su bile izložene nekim sekundarnim procesima pokazuju odklon od te linije. Na taj način odstupanje od LMWL je često kod voda koje su bile izložene evaporaciji (Goldsheider & Drew, 2007). Većina krških voda leži na ili vrlo blizu LMWL, jer su nastale od lokalnih oborina koje su homogenizirane u podzemnim rezervoarima.



Slika 58. Omjeri stabilnih izotopa δD i $\delta^{18}\text{O}$ uzorkovanih voda u odnosu na Lokalnu meteorsku liniju vode (LMWL) i Globalnu meteorsku liniju vode (GMWL).

Na Slici 58 vidljivo je da se vrijednosti stabilnih izotopa uzorkovanih voda, osobito izvorskih voda, jako dobro poklapaju s LMWL, što vrijedi i za većinu izvora u zapadnohercegovačkom dijelu slijeva. S LMWL se najbolje podudaraju vode s izvora Modro oko, Prud, Mandina mlinica, Čeveljuša, koji su nešto bliže obali, ali i postaji u Dubrovniku. Izvori Butina, Banja, Klokun 2 i Vrioštica imaju jako maleni otklon od LMWL. Vrijednosti jezerske vode (Oćuša, Crniševo) nešto odstupaju od LMWL i leže na globalnoj meteorskoj liniji vode. Isto tako, kod izvora Nuga utvrđen je otklon od GMWL u ljetnim mjesecima. Ukoliko je područje prihranjivanja na visokim nadmorskim visinama, a lokacija izvora ponekad na nižim visinama, tada su vrijednosti izotopa izvora niže od vrijednosti izotopa oborine čije su vrijednosti mjerene u blizini izvora, što je npr. čest slučaj u Austriji (Hager & Folsche, 2015). Tako su i najveće razlike stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i δD između izvora i oborina utvrđene u planinskim područjima, na što upućuju i vrijednosti stabilnih izotopa izvora Borak i pritoke rijeke Doljanke 1.

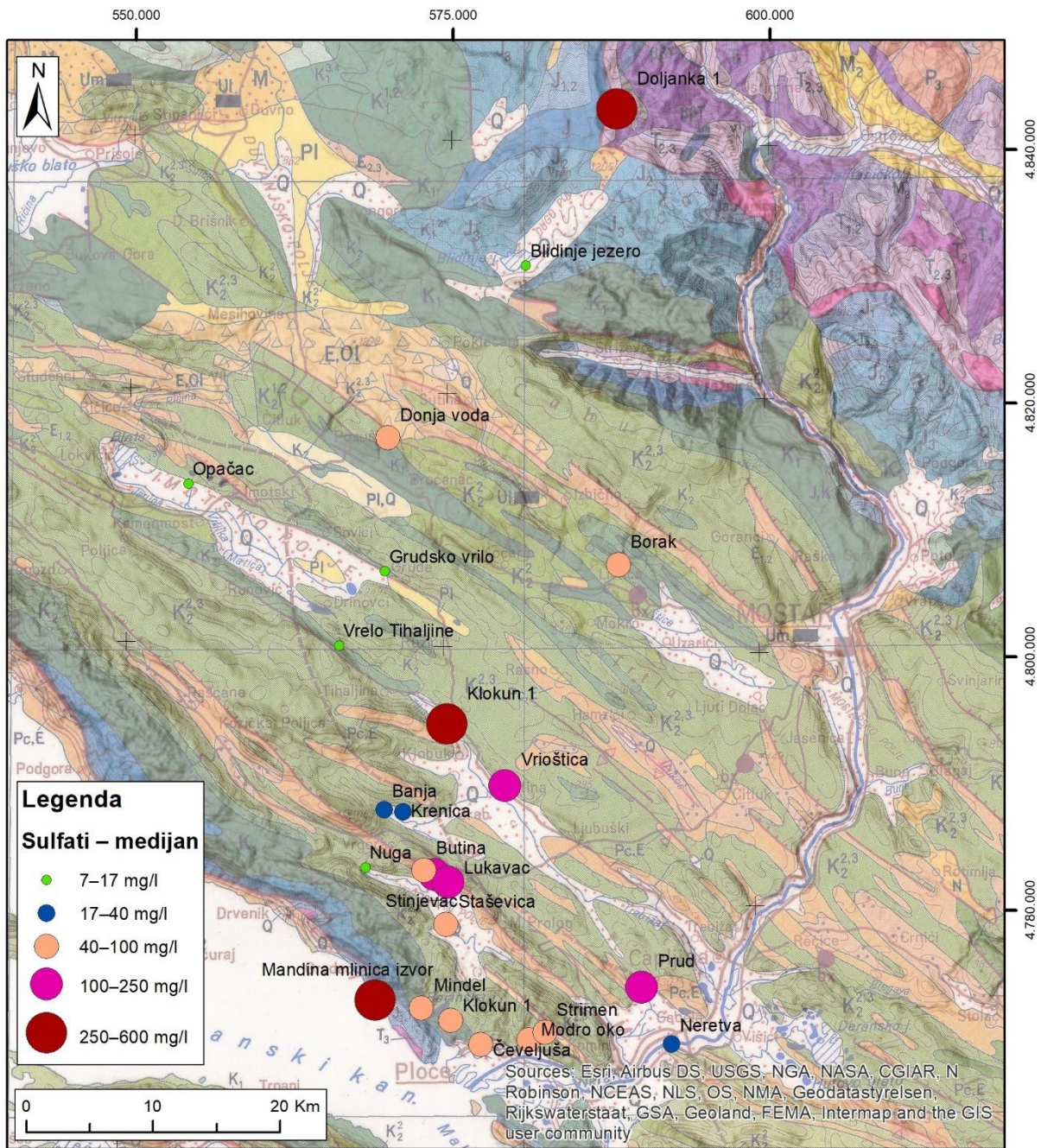
Iz mjesečnih oscilacija vrijednosti stabilnog izotopa $\delta^{18}\text{O}$ može se primijetiti kako postoji trend porasta vrijednosti od veljače do prosinca 2014. godine, kad su gotovo na svim lokacijama izmjerene najviše vrijednosti (Slika 59). No tijekom opažane godine ipak nije bilo prevelikih oscilacija sadržaja $\delta^{18}\text{O}$. Najveće oscilacije sadržaja izotopa kisika utvrđene su kod izvora Mindel, a vjerojatno su posljedica miješanja s jezerskom vodom u različitim hidrološkim uvjetima.



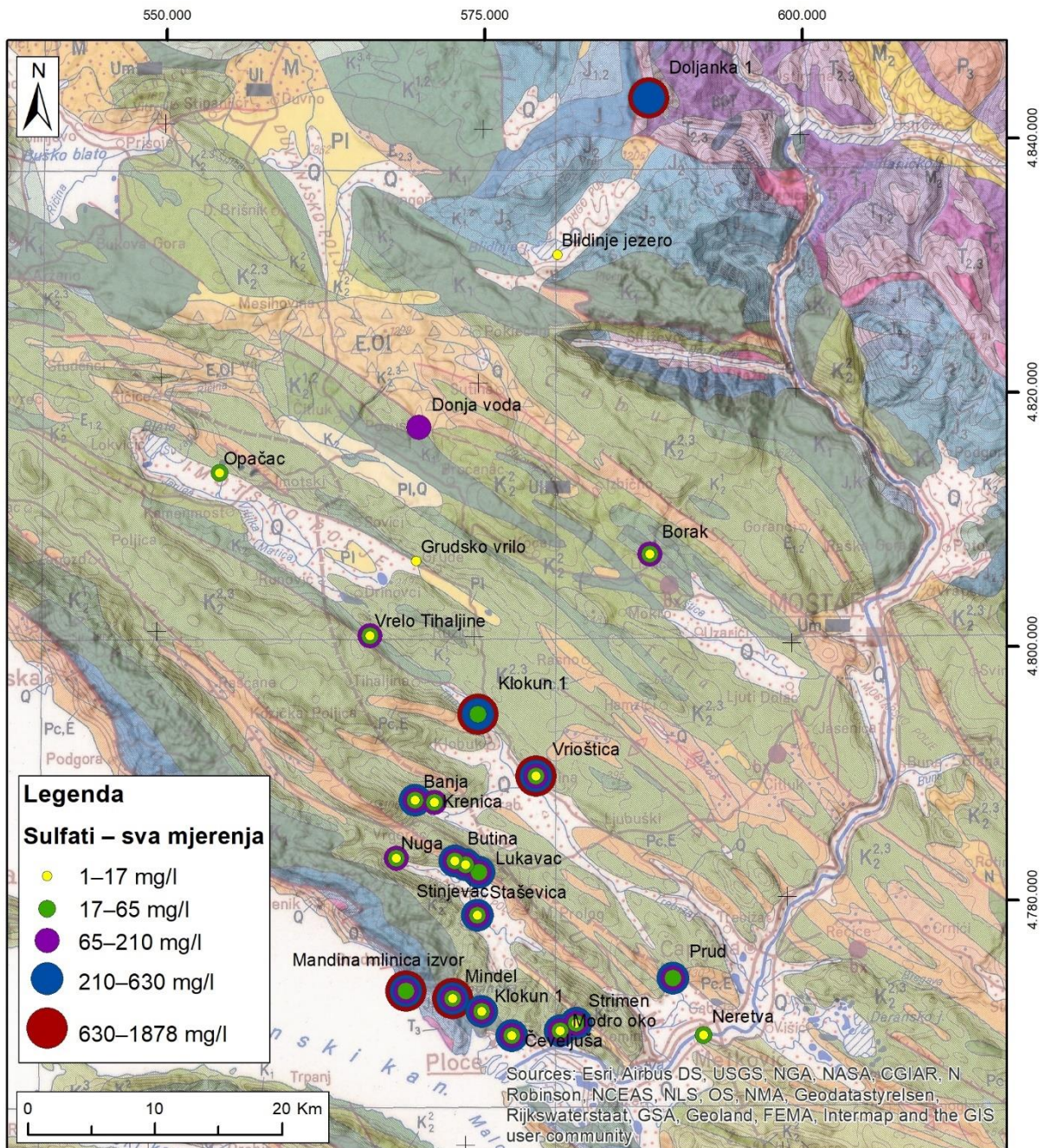
Slika 59. Mjesečne oscilacije stabilnog izotopa $\delta^{18}\text{O}$ na svim opažanim lokacijama tijekom 2014. godine.

5.1.1.6. Stabilni izotopi sumpora $\delta^{34}\text{S}$

Vrijednosti analiza sulfatnih iona u vodama istraživanog područja, koja su započela u rujnu 2013. te završena u rujnu 2020., prikazane su na Slikama 60–61. Analize stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ korištene su kako bi se utvrdilo podrijetlo povišenih koncentracija sulfatnih minerala u vodi na većini istraživanih lokacija. Više vrijednosti sulfatnih iona prisutne su na izvoru Klokun 2 u zapadnoj Hercegovini te na priobalnom izvoru Mandina mlinica. Povišene koncentracije prisutne su kod gotovo svih drugih izvora. Najniže vrijednosti su izmjerene na lokacijama Blidinje jezero, Opačac, Grudsko vrilo i Neretva.



Slika 60. Prostorni prikaz medijana vrijednosti koncentracije sulfatnih iona na istraživanom području.



Slika 61. Prostorni prikaz svih mjerenih vrijednosti koncentracija sulfatnih iona na istraživanom području.

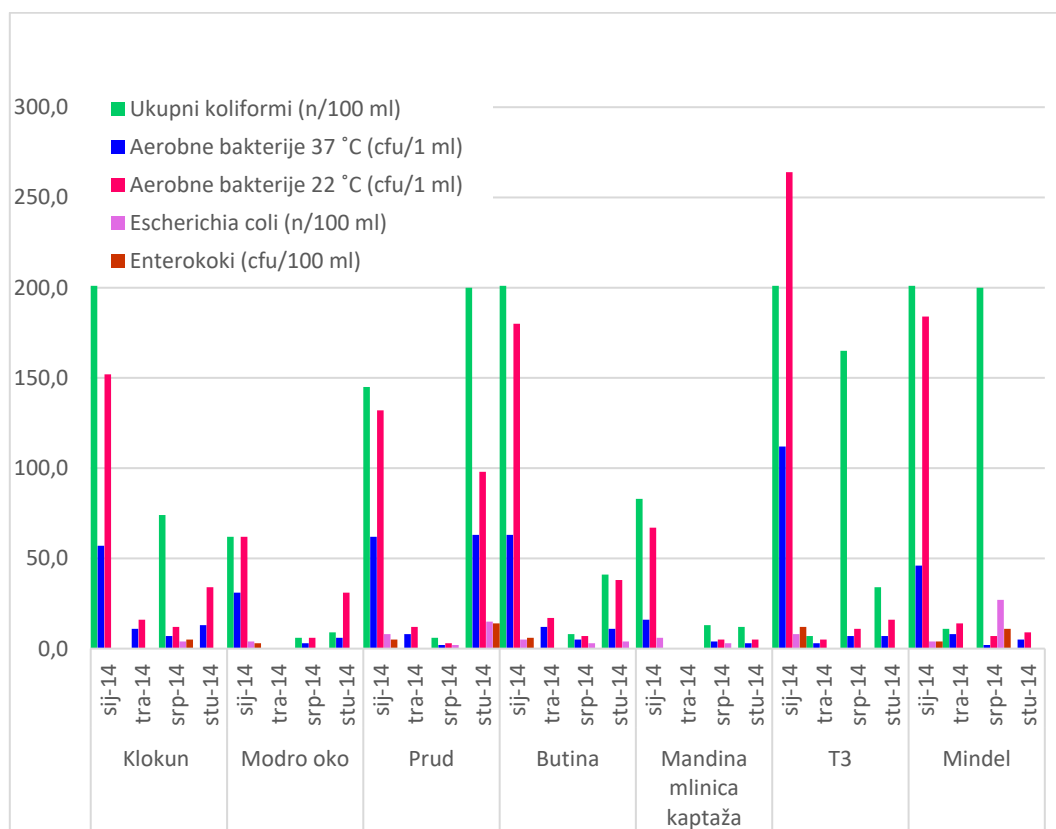
Vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ prikazane su u Tablici 6. Na većini većih izvora u području istraživanja rezultati $\delta^{34}\text{S}$ su vrlo slični. Na izvorima Vrioštica, Borak, Butina i Prud vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ su oko 13‰ u visokim vodama, a u niskim su vodama vrijednosti oko 18‰. Manja odstupanja vrijednosti stabilnih izotopa sumpora zabilježena su kod izvora Klokun 2 (pri višem vodostaju 15,49‰, a tijekom niskih voda 18,0‰) i izvora Grudsko vrilo (od 13,68‰ do 15,9‰).

Tablica 6. Rezultati uzorkovanja stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ i osnovnih fizikalno-kemijskih parametara te kationa i aniona.

Izvor	Datum	Uzorak (l)	$\delta^{34}\text{S}$	\pm	T (°C)	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	O ₂ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Cl (mg/l)	F (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)
Klokun 2	24.4.2019	0,5	15,5	0,3	12,5	7,4	1301,0	9,0	207,4	518,5	3,3	0,8	5,3	253,5	26,5		1,7
Vrioštica	24.4.2019	1,0	14,0	0,1	12,4	7,5	523,0	10,1	244,0	60,6	2,9	0,6	4,6	96,0	7,4		1,8
Borak	25.4.2019	1,0	13,9	0,1	9,1	7,8	386,0	10,9	172,0	43,0	2,8	0,6	3,6	71,9	3,5		1,3
Grudsko vrilo	24.4.2019	3,0	13,7	0,1	10,9	7,6	408,0	10,2	230,6	9,0	2,9	0,6	4,7	75,9	5,2	0,1	1,4
Butina	23.4.2019	1,0	13,7	0,0	13,5	7,7	481,0	9,2	220,8	52,4	3,5	0,6	4,7	88,3	5,9		1,8
Mandina mlinica izvor	23.4.2019	1,5	13,6	0,2	13,3	7,8	11350,0	10,3	173,2	450,9	3037,6	0,6	3,4	120,9	206,4	64,0	1775,0
Doljanka 1	25.4.2019	0,5	13,0	0,1	10,7	8,5	996,0	10,1	180,6	366,5	1,5	0,8	3,2	194,6	15,2		0,4
Prud	23.4.2019	1,0	13,1	0,0	13,2	7,4	647,0	8,2	248,9	85,0	15,9	0,6	5,4	112,8	8,7	0,2	8,2
Donja voda	24.4.2019	0,6	13,4	0,1	9,0	7,3	726,0	4,6	275,7	96,9	3,1	0,4	2,7	129,1	4,9	0,4	2,3
Klokun 2	16.10.2019	0,5	18,0	0,2	12,5	7,2	1083,0	7,6	229,4	693,5	3,7	0,8	5,7	296,8	33,4	0,1	1,9
Vrioštica	16.10.2019	1,0	18,6	0,2	11,9	7,5	588,0	10,0	236,7	250,1	3,0	0,6	5,1	151,6	16,3		3,1
Borak	16.10.2019	1,0	19,0	0,1	8,4	7,8	285,0	12,5	194,0	71,9	2,2	0,7	3,8	77,0	6,5		0,5
Grudsko vrilo	28.10.2019	3,0	15,9	0,2	11,6	7,4	449,0	9,3	294,0	14,9	6,5	0,6	6,9	76,6	8,0	1,8	3,0
Butina	18.10.2019	1,0	18,9	0,2	14,3	7,3	805,0	8,2	220,8	376,0	5,0	0,7	5,6	197,0	20,6	0,3	2,6
Mandina mlinica izvor	19.10.2019	1,5	23,1	0,3	16,5	7,6	20700,0	7,6	217,2	1363,2	8424,8		31,1	271,3	569,3	162,0	4686,0
Doljanka 1	16.10.2019	0,5	14,8	0,2	12,0	8,2	1155,0	9,8	217,2	838,0	1,9	0,6	3,0	338,9	28,9		1,3
Prud	18.10.2019	1,0	18,7	0,2	14,0	7,3	706,0	7,6	248,9	263,6	18,6	0,6	5,4	162,0	18,3	0,2	9,7
Donja voda	16.10.2019	0,6	14,2	0,1	10,6	7,4	880,0	5,7	366,0	90,3	3,2	0,6	3,0	128,4	4,8		1,9
Morska voda (Gradac)	18.10.2019		23,9	0,1						2697,0	19287,0	0,3		439,0	1278,0	370,0	10701,0

5.1.1.7. Mikrobiološki pokazatelji

Rezultati analiza prikazani su na Slici 62. Analize su potvrdile da su u vodi na svim lokacijama prisutni ukupni koliformi. Voda krških izvora uobičajeno ne zadovoljava mikrobiološke kriterije vode za piće te se prije uporabe obavezno mora tretirati. Najveće mikrobiološko onečišćenje utvrđeno je tijekom visokih voda, u siječnju. To se podudara s rezultatima ranijih istraživanja koja su obavljena s ciljem utvrđivanja utjecaja odlagališta otpada „Lovornik“ na vode Baćinskih jezera, prije svega na izvore Mindel i Crniševo (Kosović, 2008).



Slika 62. Mikrobiološki pokazatelji u uzorkovanim vodama.

5.2. Odnosi među fizikalno-kemijskim parametrima i osnovnim ionima

S obzirom na dugogodišnje prikupljanje hidrogeokemijskih podataka, pristupilo se njihovoj matematičkoj i statističkoj obradi kako bi se pojednostavilo njihovo tumačenje. U Tablici 7 prikazani su svi osnovni statistički pokazatelji svih analiziranih varijabli.

Tablica 7. Osnovni statistički pokazatelji razmatranih hidrokemijskih podataka.

Varijabla	N – broj podataka	Srednja vrijednost	Medijan	Suma	Min.	Maks.	Stand. Dev.
T (°)	748	13,46	13,30	10071,78	7,70	25,60	2,26
pH	719	7,61	7,58	5468,54	7,01	8,67	0,26
EC (µS/cm)	727	1341,97	513,00	975609,00	154,00	33700,00	3472,19
O ₂	706	8,86	8,93	6255,31	1,40	14,37	1,70
HCO ₃	702	223,31	227,00	156763,49	102,00	377,00	32,10
Ca ₂	705	105,17	92,10	74146,04	28,09	309,36	45,72
Mg ₂	703	21,09	6,80	14826,28	1,10	450,00	58,06
Na	701	167,19	2,78	117199,50	0,40	6880,67	754,31
K	657	7,49	0,73	4918,71	0,00	421,00	33,14
Cl	732	275,12	4,88	201385,87	1,60	11940,00	1191,36
SO ₄	725	129,38	57,08	93801,52	1,00	1877,98	183,99
NO ₃	708	3,40	3,54	2410,40	0,10	15,90	2,22

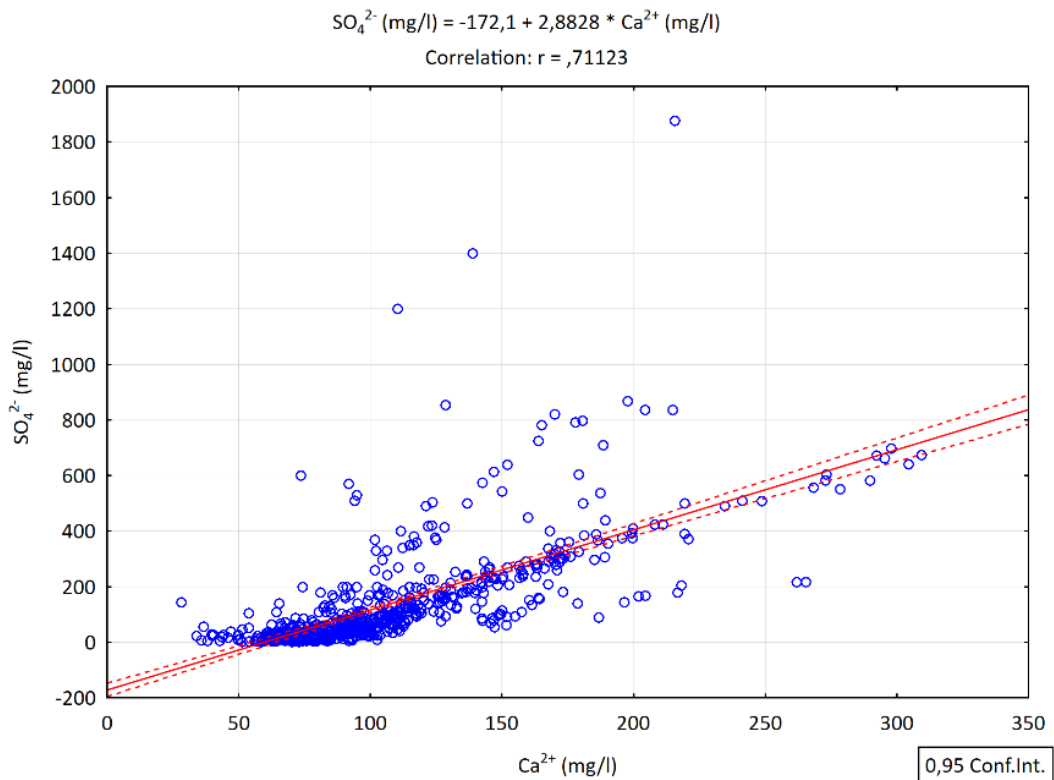
Tablica 8 prikazuje korelacijske odnose između parametara. Iz tablice je vidljivo da među većinom analiziranih parametara postoji određena korelacija u rasponu od 0,3 pa sve do 0,9. Provedena analiza pokazala je da se faktorska analiza može provesti obzirom da postoji veliki broj korelacija između pojedinih parametara. Naravno, ukoliko je korelacijski odnos (r) analiziranih parametara veći od 0,5, statistička veza je jača. Korelacije s nižim vrijednostima od 0,3 i 0,4 su nešto manje značajne, no svakako ih treba uzeti u obzir pri interpretaciji podataka.

Tablica 8. Faktori korelacije među hidrogeokemijskim parametrima. Korelacije iznad 0,5 su označene crvenom bojom, korelacije 0,3–0,4 su označene plavom bojom, a korelacije od 0,4–0,5 su označene zelenom bojom.

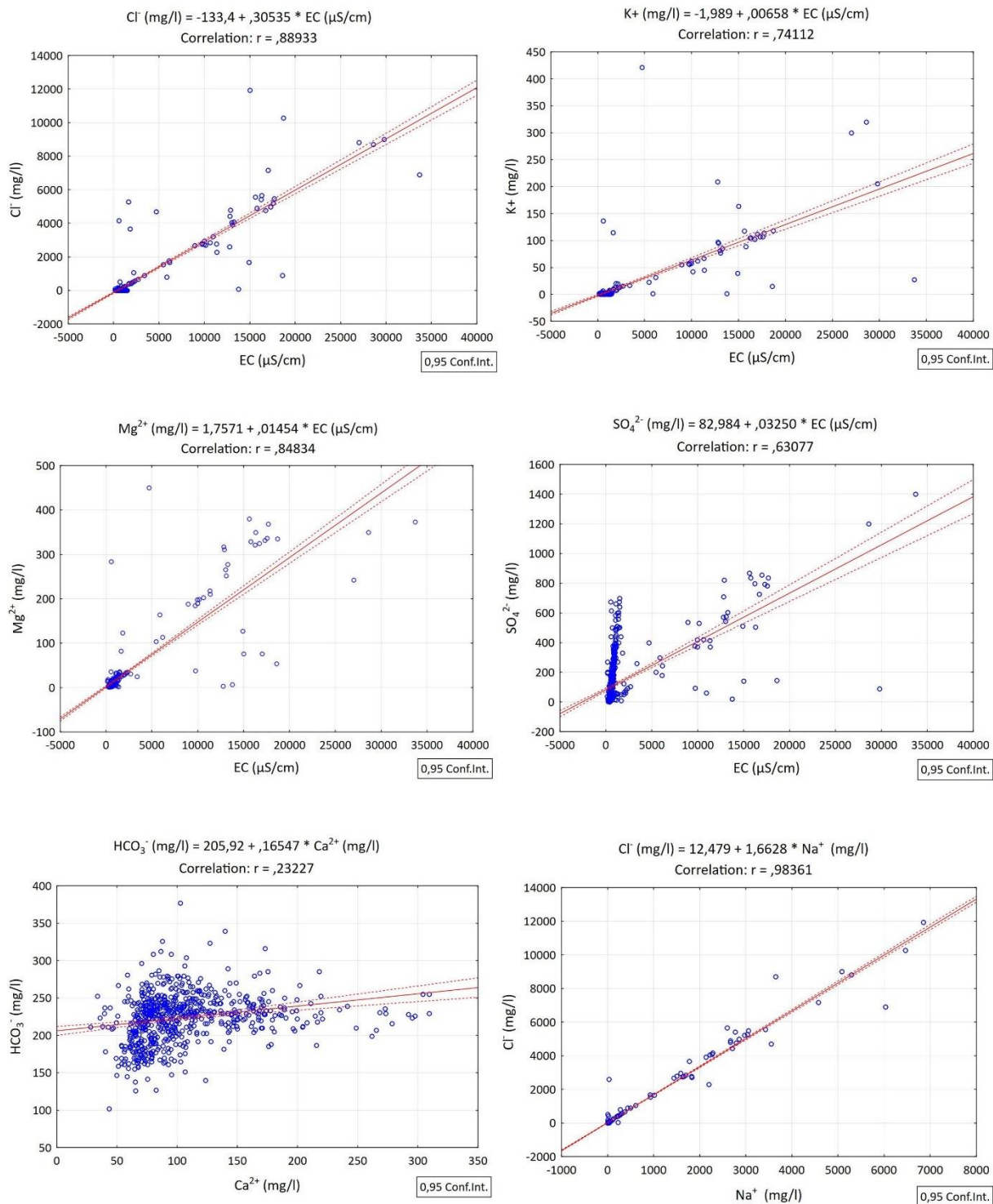
	T (C°)	pH	EC (µS/cm)	O ₂	HCO ₃	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	NO ₃
T (C°)	1,00	0,14	0,10	-0,31	-0,10	0,18	0,09	0,10	0,08	0,10	0,18	0,00
pH		1,00	0,00	0,48	-0,34	-0,31	-0,01	0,00	0,02	0,01	-0,19	-0,24
EC(µS/cm)			1,00	-0,10	-0,04	0,27	0,87	0,86	0,77	0,90	0,70	-0,05
O ₂				1,00	-0,20	-0,31	-0,08	-0,13	-0,07	-0,13	-0,23	-0,25
HCO ₃					1,00	0,28	-0,03	-0,05	-0,05	-0,04	0,12	0,22
Ca						1,00	0,30	0,22	0,15	0,22	0,72	0,30
Mg							1,00	0,81	0,78	0,80	0,68	-0,02
Na								1,00	0,79	0,99	0,56	-0,10
K									1,00	0,81	0,53	-0,12
Cl										1,00	0,59	-0,10

SO ₄											1,00	0,06
NO ₃												1,00

Najznačajnije linearne korelacije prikazane su i grafički na Slikama 63 i 64. Prikazana je međuovisnost nekoliko glavnih iona s elektrolitičkom vodljivošću te međuovisnost između pojedinih aniona i kationa. Iz grafičkog je prikaza vidljivo da ne koreliraju svi jako dobro te da su faktori nešto niži. Ovo je primjer korelacijskog odnosa između sulfatnih i kalcijevih iona koji direktno ukazuju na prisutnost evaporita u podzemlju (Slika 63).



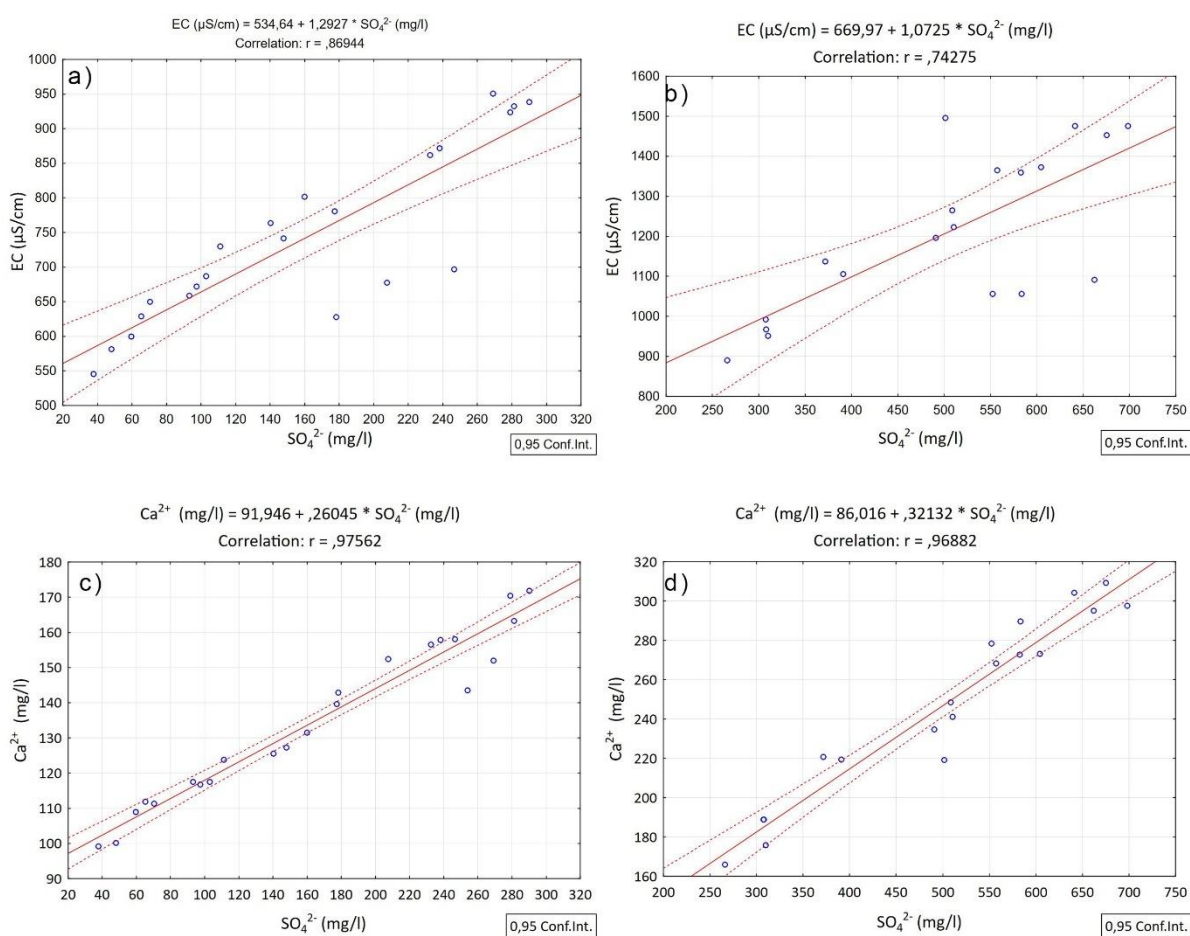
Slika 63. Osnovni korelacijski odnosi između kalcija i sulfatnih iona.



Slika 64. Osnovni korelacijski odnosi između EC i nekoliko osnovnih aniona i kationa.

S obzirom na nešto niži koeficijent korelacije među svim analiziranim parametrima, analizirani su odnosi sulfatnih iona s EC i kalcijem na izvorima Prud i Klokun 2 (Slika 65) na kojima su utvrđene povišene koncentracije sulfatnih iona. Ovdje je jasno kako je faktor korelacije

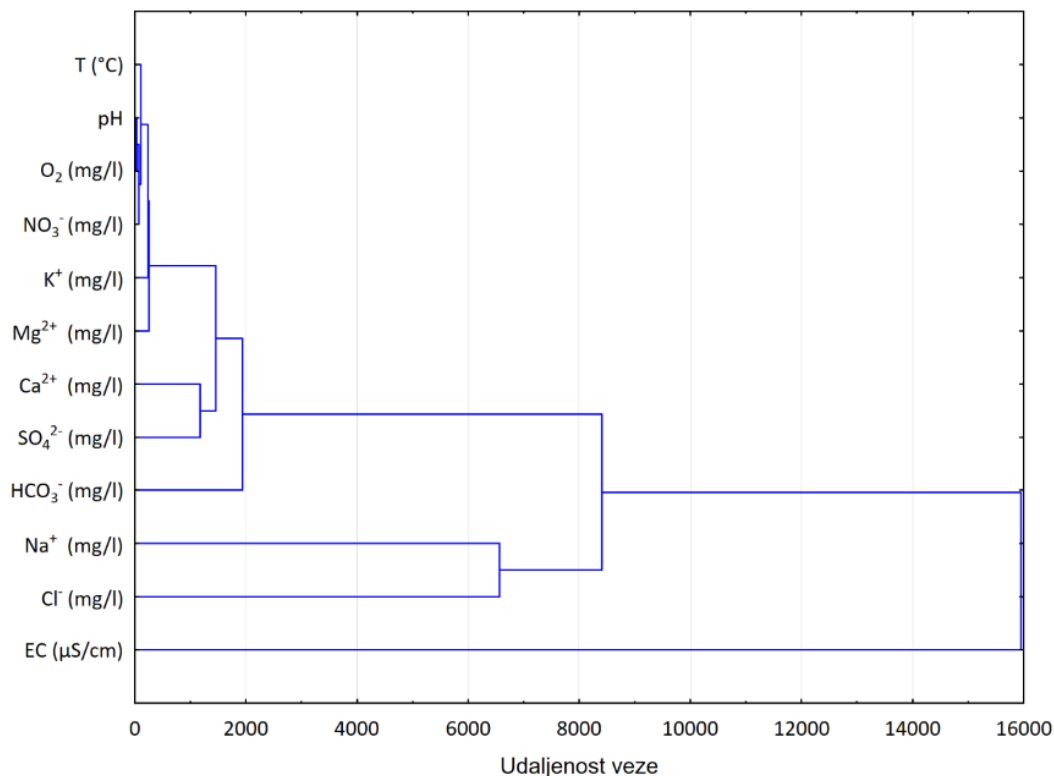
puno veći nego prilikom analiza svih parametara. Stoga je preporuka da se prilikom budućih istraživanja ovoga ili sličnih kompleksnih krških sustava, koriste pojedinačne analize izvora, jer takve analize pridonose lakšem tumačenju promjena dobivenih parametara i ukazuju na točno kojim lokacijama postoji veći utjecaj miješanja podzemne i morske vode ili pak na kojim izvorima dolazi do povećanog sadržaja sulfatnih iona, tj. u kojim područjima su vjerojatno u zonama podzemnih tokova prema izvorima prisutne evaporitne stijene (jer ih na površini terena nema).



Slika 65. Osnovni korelacijski odnosi između EC i SO₄²⁻ na a) Prudu i b) Klokunu 2 i korelacijski odnosi između Ca²⁺ i SO₄²⁻ na c) Prudu i d) Klokunu 2.

Na Slici 66 prikazana je veza među pojedinim parametrima koji ukazuju na veću međuovisnost. Natrijev i kloridni ion predstavljaju jedan klaster koji se može nazvati **marinski klaster**. Za očekivati je da je elektrolitička vodljivost blizu tog klastera, jer je zastupljenost natrijevih i kloridnih iona u direktnoj ovisnosti o blizini izvora morskoj obali te znatno utječe na ukupnu količinu iona u sastavu vode. Kalcijski, magnezijski i sulfatni ioni su u direktnoj

vezi s karbonatnim ionima, što ukazuje na procese otapanja vapnenca, tako da se taj klaster može nazvati **litogeokemijski** (Terzić, 2006) te je u ovisnosti o elektrolitičkoj vodljivosti, što je i očekivano, jer i ovi ioni značajno utječu na ukupnu vodljivost vode.



Slika 66. Dendrogram multivarijantne klusterske analize osnovnih iona svih uzoraka prikupljenih na terenu južne Dalmacije i zapadne Hercegovine.

Ako se podrobnije analizira litogeokemijski klaster uočljivo je da su kalcijski i sulfatni ioni u međuovisnosti, a vidljiva je i veza magnezija sa sulfatnim ionima i veza kalcija i magnezija s hidrogenkarbonatnim ionima, koji nam ukazuju na prisutnost evaporita i karbonata (vapnenaca i dolomita) u podzemlju. Budući da podaci ukazuju na vrlo jasnu vezu između pojedinih iona, obavljena je multivarijantna faktorska analiza koja daje bolje zaključke i pojednostavnjuje tumačenje kompleksnih hidrogeoloških sustava. Iz Tablice 9 vidljivo je da su u sustavu prisutna tri faktora, što ukazuje na postojanje tri procesa u sustavu. Vrijednosti faktora iznad 0,5 označene su crvenom bojom te je vidljivo kako je prvi faktor nešto značajniji u odnosu na druga dva. Vrijednosti, koje nisu zanemarive i koje je važno uključiti pri tumačenju faktora, označene su ljubičastom bojom te ih nešto više pripada trećem faktoru.

Tablica 9. Faktori i faktorska opterećenja pojedinih varijabli hidrokemijskih podataka.

Varijabla	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
T (C°)	-0,17	-0,11	0,90
pH	0,09	0,71	0,30
EC (μS/cm)	-0,94	0,14	-0,06
O ₂	0,22	0,65	-0,33
HCO ₃	-0,02	-0,58	-0,39
Ca	-0,43	-0,65	0,12
Mg	-0,91	0,11	-0,07
Na	-0,92	0,18	-0,06
K	-0,85	0,22	-0,08
Cl	-0,93	0,18	-0,06
SO ₄	-0,79	-0,31	0,07
NO ₃	0,02	-0,59	-0,04

Eigen vrijednosti razmatranih faktora obuhvaćaju oko 71% procesa analiziranog sustava, što znači da gotovo 30% procesa unutar sustava nije obuhvaćeno ovim trima faktorima (Tablica 10). Prvom sustavu pripada 42% te je on i najznačajniji faktor, dok su druga dva faktora nešto manje značajni i sudjeluju u matematičkom sustavu s 20% i 10%. Prikazani rezultati ukazuju da će interpretacija biti nešto jednostavnija za prva dva faktora.

Tablica 10. Eigen vrijednosti tri razmatrana faktora za hidrokemijske podatke.

	Eigen vrijednost	% Ukupne varijabilnosti	Kumulativna eigen vrijednost	Kumulativni %
Faktor 1	5,05	42,04	5,05	42,04
Faktor 2	2,28	18,99	7,32	61,04
Faktor 3	1,21	10,04	8,53	71,08

Vrijednosti faktora bliže nuli ukazuju na njihov slabiji utjecaj u sustavu, a vrijednosti koje su udaljenije od nule, bilo da su pozitivne ili negativne, ukazuju na veći utjecaj faktora (Peh, 1990a, 1990b; Terzić, 2006). Tri su glavna procesa u sustavu prema faktorskoj analizi (Tablica 11):

F1 – Morsko-sulfatni faktor

S obzirom na izrazito veliki broj analiziranih podataka, ova dva procesa su u tolikoj mjeri isprepleteni da ih matematički sustav grupira. Najjače su zastupljeni EC, Mg, Na, K, Cl te SO₄. Jasno je kako je proces utjecaja morske vode dominantan, što ukazuje na miješanje slatke i slane vode u podzemlju. Budući da područje južne Dalmacije obuhvaća i izvore koji se nalaze

neposredno uz morsku obalu, ovakav rezultat je bio i očekivan. No, važno je spomenuti i povišene vrijednosti sulfata čiji je povišeni sadržaj u vodi posljedica blizine mora.

F2 – Faktor otapanja karbonata

Najznačajnije opterećenje na Ca i HCO₃, uz negativno opterećenje kisika i pH vrijednosti ukazuje na proces otapanja vapnenca koji je ujedno i najučestalija značajka krških područja. Pritom je djelomično povišen i SO₄, što pak ukazuje na vjerojatnu prisutnost evapornih naslaga u podzemlju istraživanog područja. Izdvajaju se i nešto više vrijednosti nitratnih iona koji bi mogli ukazivati na prisutnost onečišćenja. Uzimajući u obzir dugogodišnju tradiciju bavljenja poljoprivredom na istraživanom području, posebice oko Vrgoračkog polja, nekontrolirana uporaba mineralnih i prirodnih gnojiva bi mogla biti uzrok tako povišenih vrijednosti (uglavnom izolirani slučajevi poput izvora Mindel). S obzirom na veličinu slijevnog područja u ovoj fazi nisu detaljnije razmatrani uzroci i moguće posljedice zagađenja uslijed uporabe gnojiva.

F3 – Faktor kemijskih reakcija.

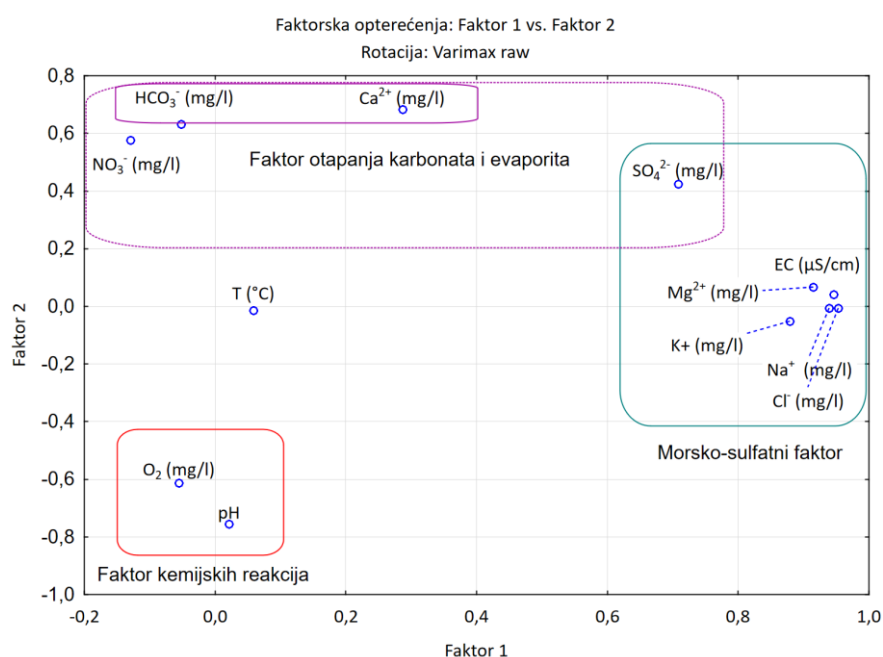
Povećanje temperature i djelomično koncentracije kisika ističe se u trećem faktoru. Veličina slijevnog područja ukazuje na postojanje više procesa i nešto kompleksniju interpretaciju, posebice kod ovog faktora. Naime, temperatura i kisik obrnuto su proporcionalni, tj. topljivost kisika se smanjuje kako temperatura raste. Temperatura i kisik jako su važni i za biološke procese koji se odvijaju u vodi. Temperatura je isti tako važna i pri kemijskim procesima, jer utječe na topljivost kemijskih tvari, tj. pri većim temperaturama raste i broj kemijskih procesa u vodi. Stoga možemo zaključiti kako treći faktor ukazuje na biološku aktivnost i kemizam vode.

Tablica 11. Faktori i faktorska opterećenja rotiranih faktorskih bodova.

Varijabla	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
T (C°)	0,06	-0,01	0,92
pH	0,02	-0,75	0,18
EC (µS/cm)	0,95	0,04	0,04
O₂	-0,06	-0,61	-0,44
HCO₃	-0,05	0,63	-0,29
Ca	0,29	0,68	0,27
Mg	0,91	0,07	0,03
Na	0,94	-0,01	0,03
K	0,88	-0,05	0,00
Cl	0,95	-0,01	0,04

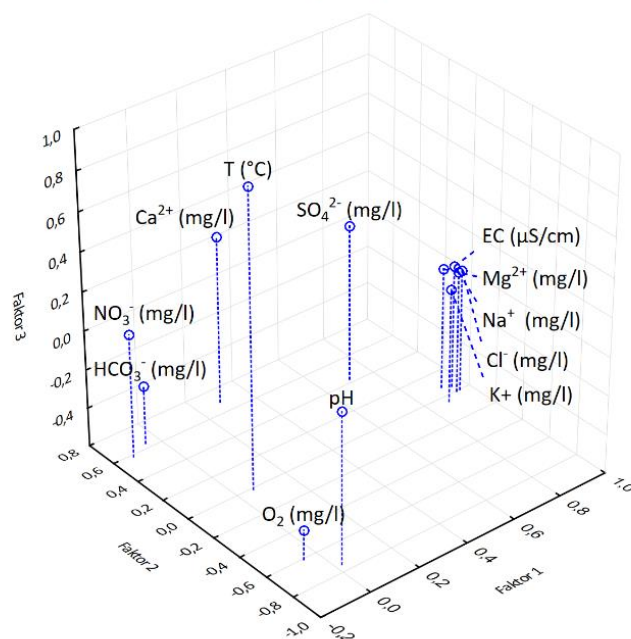
SO ₄	0,71	0,43	0,21
NO ₃	-0,13	0,58	0,04

Faktori su prikazani i grafički u dvodimenzionalnom i trodimenzionalnom koordinatnom sustavu (67–68). Rezultati faktorske analize sugeriraju i potrebu zasebne analize pojedinih grupa izvora, tj. zasebne analize izvora pod utjecajem mora od onih koji to nisu kako bi se jasnije rastumačilo kod kojih izvora je dominantniji morski faktor, kod kojih izvora dominira sulfatni, kod kojih izvora je prisutno onečišćenje itd.



Slika 67. Projekcije rotiranih faktorskih bodova na ravninu prve i druge faktorske osi u dvodimenzionalnom koordinatnom sustavu.

Faktorska opterećenja, Faktor 1 vs. Faktor 2 vs. Faktor 3
Rotacija: Varimax raw



Slika 68. Projekcije rotiranih faktorskih bodova na ravninu prve, druge i treće faktorske osi u trodimenzionalnom koordinatnom sustavu.

Proučavanjem bodova dobivenih faktorskom analizom za svaki uzorak (Prilog 4) moguće je zaključivati o prevladavajućim procesima na svakom pojedinom izvoru u određenim hidrološkim uvjetima. Kod prva dva faktora promatraju se pozitivne vrijednosti s obzirom na to da su varijable svrstane u pozitivni dio dijagrama (Slika 67), dok se negativne vrijednosti promatraju djelomično za treći faktor budući da je pH u negativnom dijelu dijagrama (Slika 68). Vidljivo je kako je faktor F1 zabilježen kod priobalnih izvora poput Mandine mlinice i Mindela te je izraženiji u ljetnom razdoblju (hidrološki minimum). Utjecaj miješanja slatke i slane vode smanjen je tijekom visokih voda, posebice kod izvora Mindel. Faktor F2, koji predstavlja otapanje karbonatnih naslaga te u nešto manjem obimu i otapanje evaporitnih naslaga u podzemlju, češće je zabilježen tijekom hidroloških maksimuma kod velike većine izvora. U južnodalmatinskom dijelu razmatranog područja ovaj faktor je dosta izražen, posebice kod izvora Prud, a u zapadnohercegovačkom dijelu F2 najizraženiji je kod izvora Klokun 2. Isto tako, kod F2 prisutan je i faktor onečišćenja koji je prisutan tijekom cijele godine (povećana vrijednost nitrata), koji bi na nekolicini izvora mogao biti povezan s prekomjernom uporabom mineralnih i prirodnih gnojiva. No važno je istaknuti, kako je zabilježeno otapanje nitrata još uvijek u količinama daleko ispod maksimalno dopuštenih koncentracija (MDK) prema

Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017).

5.3. Dinamika podzemnog sustava

Hidrogeologija krša je zbog heterogenosti vodonosnika jedna od najkompleksnijih geoloških disciplina, koja osim dobrog poznavanja temeljnih geoloških disciplina zahtijeva i dobro poznavanje hidrodinamičkih uvjeta u krškom podzemlju i na površini terena (Biondić et al., 1998). Naime, tečenje podzemne vode u kršu odvija se po poznatim hidrauličkim zakonitostima, ali najveći problem pri definiranju i opisivanju vodonosnika predstavlja nepoznavanje oblika i dimenzija nepravilne mreže pukotinskih sustava i kanala različitih dimenzija kroz koje se voda kreće. Zbog toga tečenje vode u krškom podzemlju predstavlja vrlo kompleksan proces, koji u velikoj mjeri ovisi o lokalnim uvjetima. U nekim krškim vodonosnicima dominiraju kanalni tokovi s jako malom mogućnošću uskladištenja podzemne vode u pukotinama stijenske mase, no ipak se zbog izrazite heterogenosti krških vodonosnika tečenje uglavnom odvija kombinirano u kanalima i pukotinskim sustavima. Stoga se voda nerijetko na površini pojavljuje u obliku izvora i manjih rijeka koje na određenim lokacijama poniru te se ponovno pojavljuju kao izvori na hipsometrijski nižim razinama. Na istraživani hidrogeološki sustav zbog relativne blizine mora utječe i podizanje morske razine, budući da su nekadašnji priobalni izvori koji su bili aktivni tijekom glacijalnih razdoblja danas potopljeni i predstavljaju vrulje, a krški su kanali razvijeni i duboko ispod današnje razine mora (Šegota & Filipčić, 1996; Surić, 2009; Terzić et al., 2010 i 2021; Domazetović et al., 2016).

5.3.1. Analiza vodnih valova pomoću hidrograma i kemograma na izvorima Klokun 1 i Prud

Analiza hidrograma i kemograma provedena je na izvorima Klokun 1 i Prud za razdoblja za koja postoje mjerenja automatskim mjeracima. Iako su za oba izvora mjerene i temperatura i elektrolitička vodljivost (EC), korištena je samo SEC, izračunata prema formuli 4, jer su promjene na grafu bile znatno uočljivije.

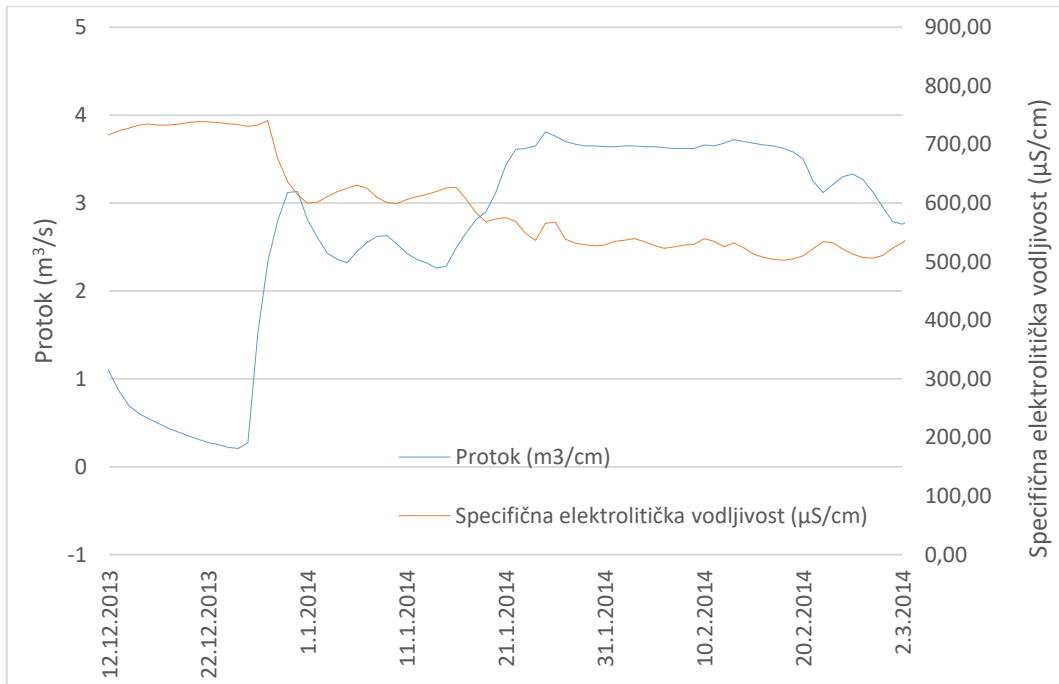
Izvor Prud je vrlo značajan izvor donjeg toka Neretve, iako se samo 10-ak % njegovog minimalnog kapaciteta koristi za vodoopskrbu (Slišković et al., 1998). Zbog velikih protoka protoci su isključivo mjereni pomoću ADCP uređaja. Razine vode izvora prikupljene od

DHMZ-a pretvorene su u protoke pomoću protočne krivulje konstruirane na temelju mjerenja prikazanih u Tablici 12.

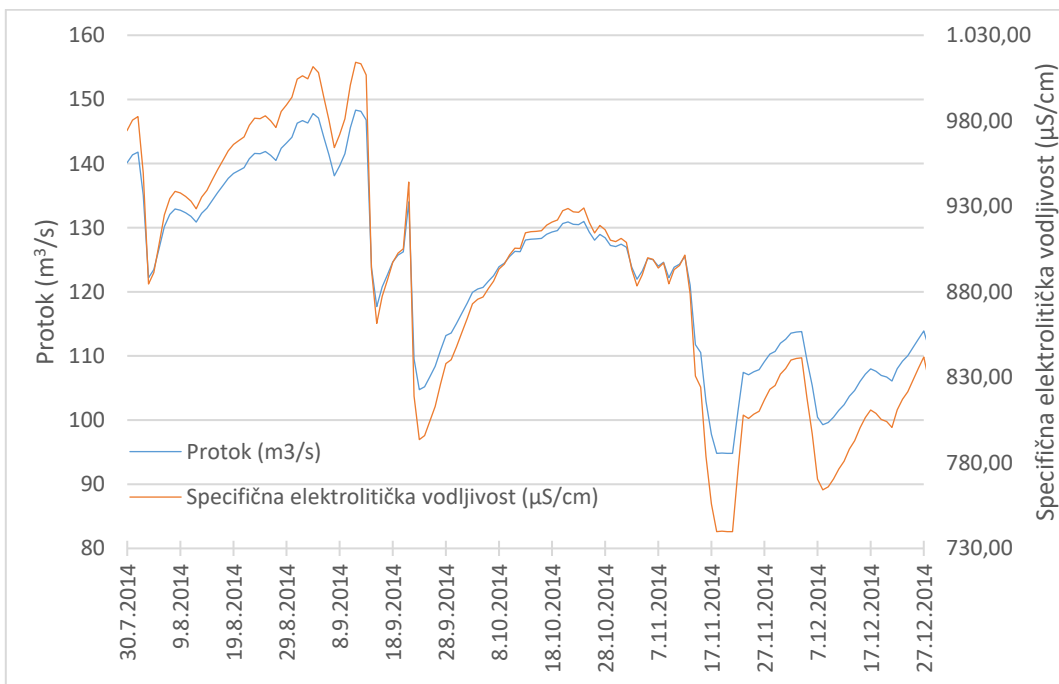
Tablica 12. Rezultati mjerenja protoka izvora Prud (* – nepouzdana mjerenja).

Datum	Vrijeme	Razina vode (m)	Protok (m ³ /s)
25.3.2014.	14:30	95	7,600
22.4.2014.	13:40	80	5,200*
27.5.2014.	15:15	81	4,270
15.7.2014.	15:30	79	3,145
26.8.2014.	12:00	71	3,051*
30.9.2014.	14:00	104	5,481*
30.10.2014.	13:45	61	3,449*
10.12.2014.	12:30	119	8,095
17.3.2015.	13:20	169	10,304

Na Slikama 69–70 prikazani su isječci hidrograma i kemograma izvora Klokun 1 i Prud na kojima su vidljivi vodni valovi s vrlo jasno vidljivom promjenom SEC. Porastom protoka SEC se započinje snižavati zbog razrjeđenja novoinfiltriranom vodom. Kada prođe maksimum vodnog vala i protok počne opadati, SEC izvorskih voda ponovno počinje rasti uslijed miješanja sa „starom vodom“. Grafovi prikazuju dva jasno drukčija odgovora na promjenu protoka: kod izvora Klokun 1 (Slika 69) dolazi do vrlo brze reakcije sustava uz naglu promjenu SEC nakon nekoliko sati, a kod izvora Prud (Slika 70) promjena je dosta sporija i slabije uočljiva, tj. SEC prati promjenu protoka prilikom oborina. Takve krivulje za izvor Prud ujedno su i pokazatelj nešto sporijeg dreniranja kišnice kroz sustav, tj. dužeg zadržavanja vode u podzemlju i dominacije pukotinskih sustava nad kontinuiranim krškim kanalima. Treba naglasiti kako je slijev izvora Prud dosta veći od slijeva izvora Klokun 1, pa su takve razlike i očekivane. Drugi izvori na istraživanom području pokazuju slične ili gotovo iste značajke poput tipičnih krških izvora Prud i Klokun 1, tako da se očekuje i slična reakcija sustava na oborine u cijelom sljevnom području. U budućnosti bi bilo svakako dobro postaviti veći broj automatskih mjerača na više lokacija, kako bi se mogla napraviti detaljnija analiza izvora, pogotovo u zapadnohercegovačkom dijelu slijeva.



Slika 69. Isječak hidrograma i kemograma izvora Klokun 1.

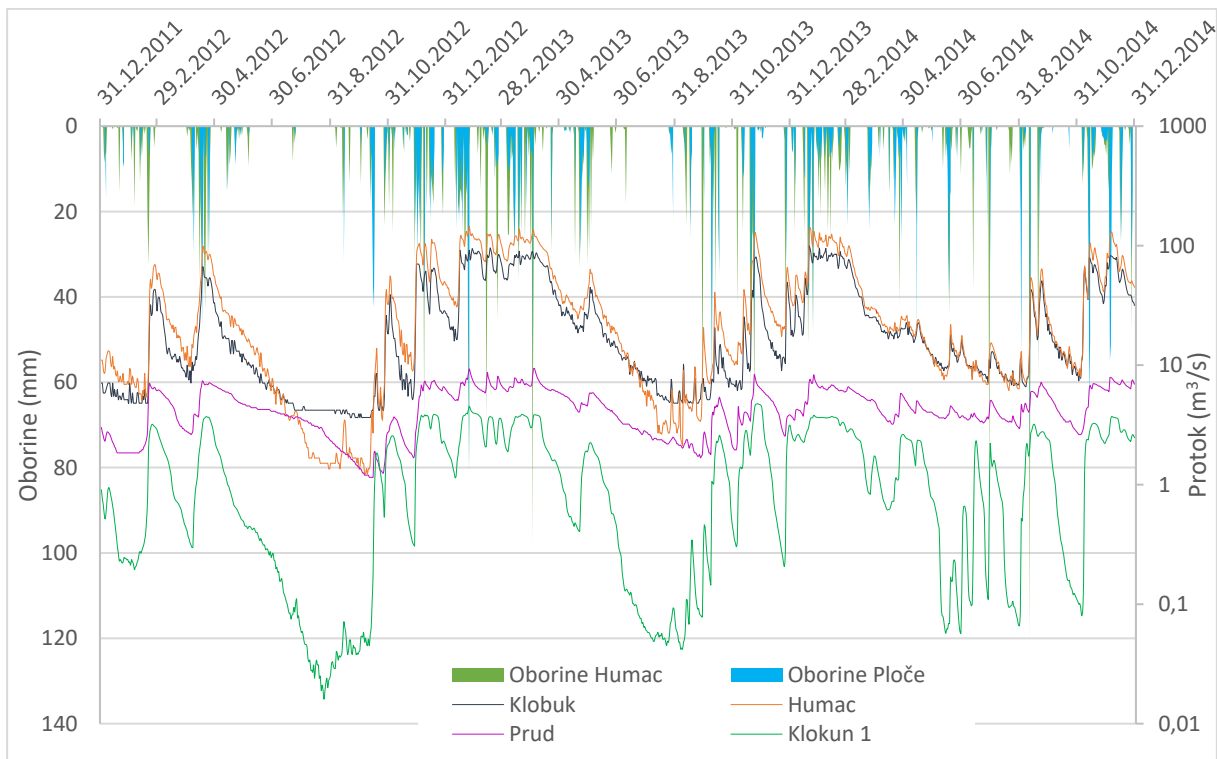


Slika 70. Isječak hidrograma i kemograma izvora Prud.

5.3.2. Analiza recesija na glavnim izvorima

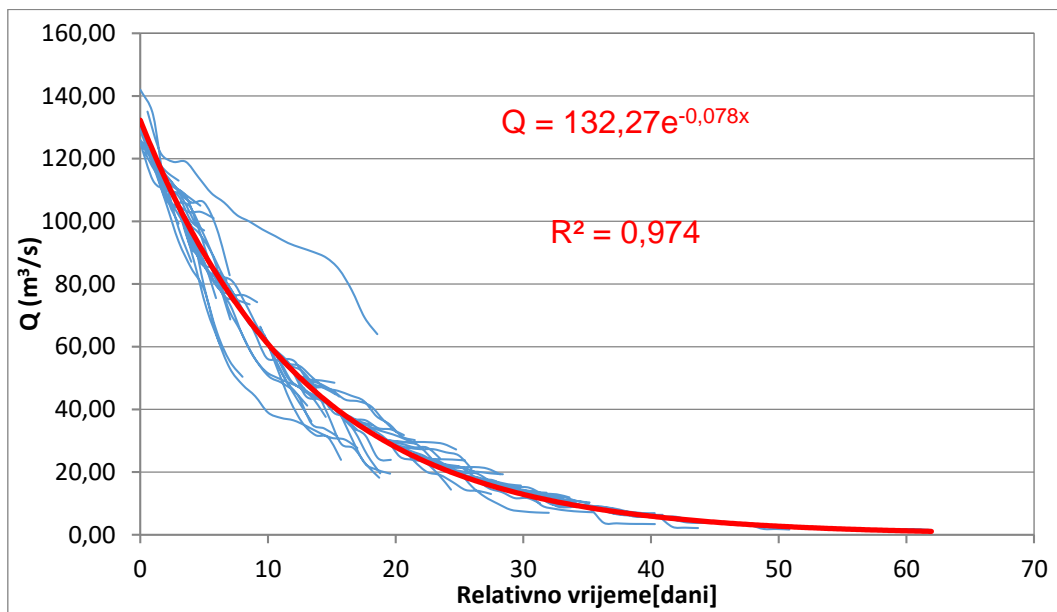
Kako bi se dobio što bolji uvid u funkcioniranje vodonosnika prikupljeni su podaci koji su bili dostupni s nekoliko lokacija na istraživanom velikom slijevnom području. Podaci za područje

hrvatskog dijela terena dostupni su u DHMZ-u te su već obrađivani u više diplomskih i završnih radova (npr. Tomić, 2015; Bosnić, 2015). Podaci za zapadnohercegovački dio terena teže su dostupni te je obrađen nešto manji broj podataka, kako bi se mogla napraviti usporedba s podacima iz južnodalmatinskog dijela. Iz tog razloga analizirani su srednji dnevni protoci za razdoblje opažanja od 1.1.2012. do 31.12.2014. godine, budući da su tijekom tog razdoblja prikupljeni i podaci za hrvatski dio istraživanog područja. Slika 71 prikazuje hidrogram četiri lokacije na istraživanom području (Klobuk i Humac na rijeci Trebižat te na izvorima Prud i Klokun 1) te podatke o oborinama s meteoroloških postaja Humac i Ploče. Napravljena je i glavna recesijska krivulja za izvor Modro oko, no on nije prikazan na Slici 71, jer za to razdoblje nema mjerenih podataka o protocima. Brza reakcija izvora na oborine vidljiva je po pojavi strmih uzlaznih dijelova krivulja protoka na hidrogramu, što ukazuje na prisutnost visokopropusnih sustava kanala i pukotina koji se vrlo brzo dreniraju. Iz grafikona je vidljiva slična reakcija sa sve četiri lokacije, što ukazuje na njihovu komplementarnost. To je ujedno i dobar pokazatelj da se pri analizi podataka mogu donositi zaključci o slijevnom području korištenjem podataka iz hrvatskog dijela slijeva koji je detaljnije istraživani i podaci su dostupniji.

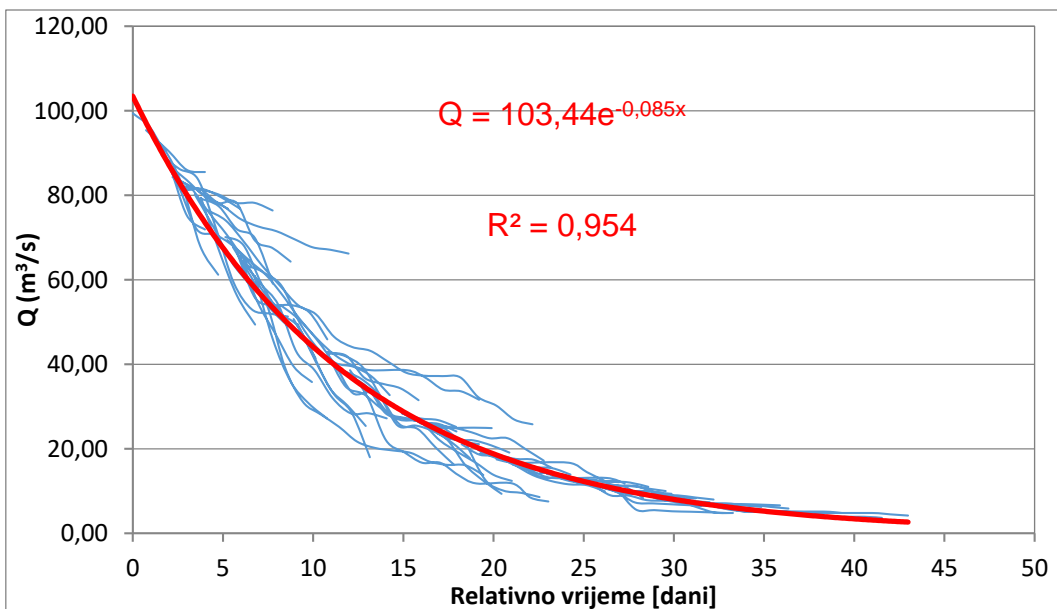


Slika 71. Protoci na Klokunu 1 i Prudu u južnodalmatinskom dijelu slijeva i na površinskom toku Trebižat – Mlade – Tihaljina i podaci o oborinama.

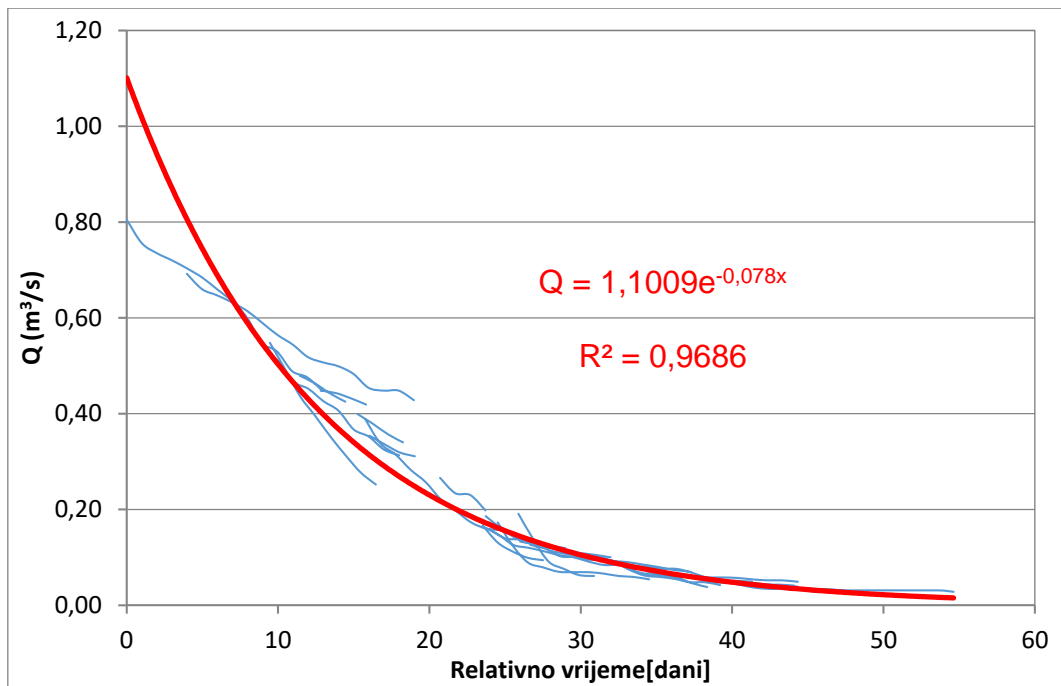
U ovom doktorskom radu svi analizirani izvori i površinski tokovi opisani su pomoću eksponencijalne formule s jednom izdvojenom glavnom recesijskom krivuljom (Slike 72–76). Prilikom konstrukcije korištena je eksponencijalna formula koja je odabrana prema kriteriju najvišeg koeficijenta determinacije R^2 . Eksponencijalna funkcija korištena je kako bi se mogao izračunati volumen iz koeficijenta recesije α_r .



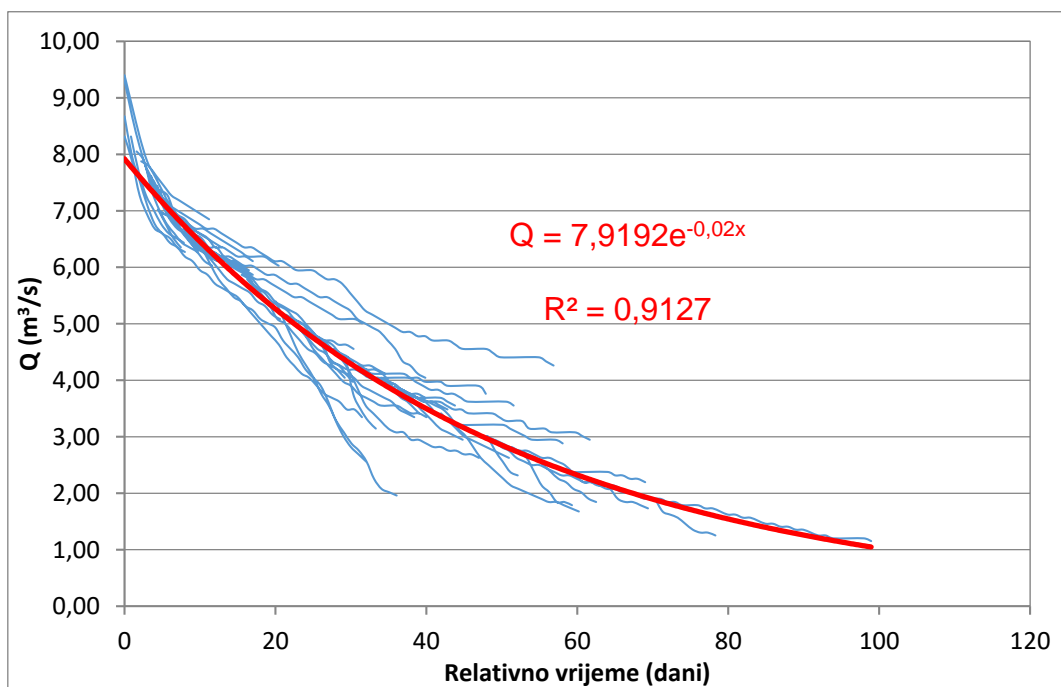
Slika 72. Recesijska analiza na postaji Humac na rijeci Trebižat (2012.–2014.).



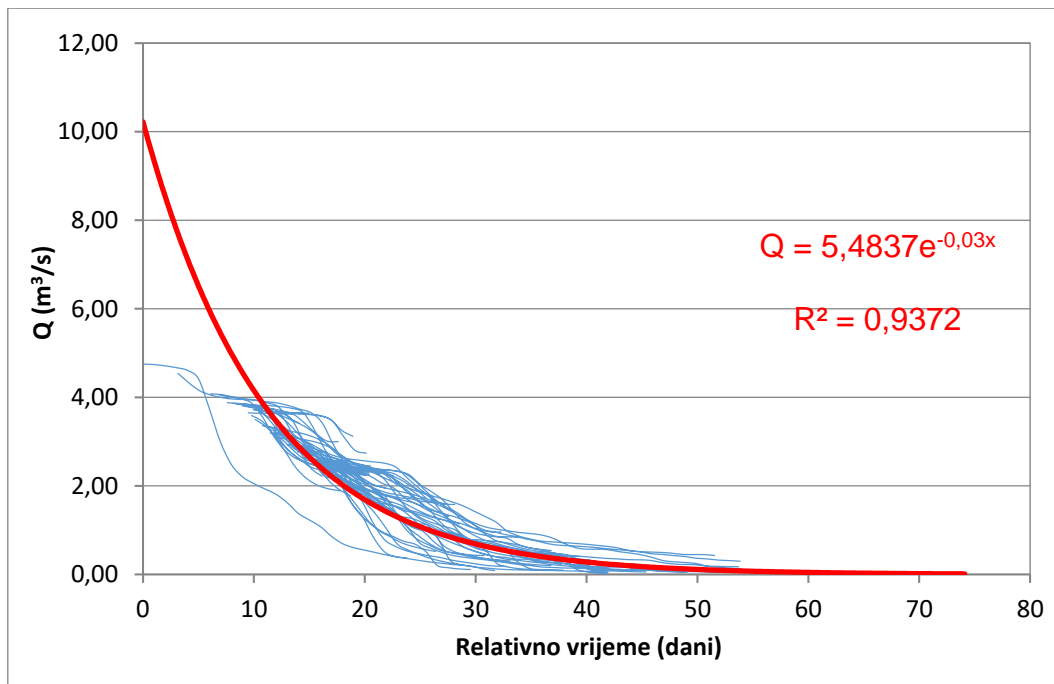
Slika 73. Recesijska analiza na postaji Klobuk na rijeci Trebižat (2012.–2014.).



Slika 74. Recesijska analiza izvora Klokun 1 (2012.–2014.).



Slika 75. Recesijska analiza izvora Prud (2012.–2014.).



Slika 76. Recesijska analiza izvora Modro oko (1995.–2009.).

Recesijski koeficijent za Klokun 1 je $\alpha_r = 0,078 \text{ dan}^{-1}$ s koeficijentom determinacije $R^2 = 0,97$, za Prud $\alpha_r = 0,02 \text{ dan}^{-1}$ s koeficijentom determinacije $R^2 = 0,91$, za Modro oko $\alpha_r = 0,03 \text{ dan}^{-1}$ s koeficijentom determinacije $R^2 = 0,94$, za Klobuk $\alpha_r = 0,085 \text{ dan}^{-1}$ s koeficijentom determinacije $R^2 = 0,95$ i za Humac $\alpha_r = 0,078 \text{ dan}^{-1}$ s koeficijentom determinacije $R^2 = 0,97$. Recesijski koeficijenti za Klokun 1, Humac i Klobuk ukazuju na brzo dreniranje kroz velike pukotine i široke pore, a recesijski koeficijenti za Prud i Modro oko su pokazatelji nešto sporijeg otjecanja vode kroz pukotinske sustave u zaleđu ta dva krška izvora. Vizualnim pregledom može se uočiti kako je kod izvora Prud (Slika 75) najširi raspon preklapanih recesijskih segmenata s glavnom recesijskom krivuljom, i prema α_r , koji ukazuje na postupno otpuštanje vode tijekom vremena i, kao posljedica toga sporije pražnjenje vodonosnika, što bi moglo biti pokazatelj većeg područja prihranjivanja (Giacopetti et al., 2016, 2017; Posavec et al., 2017).

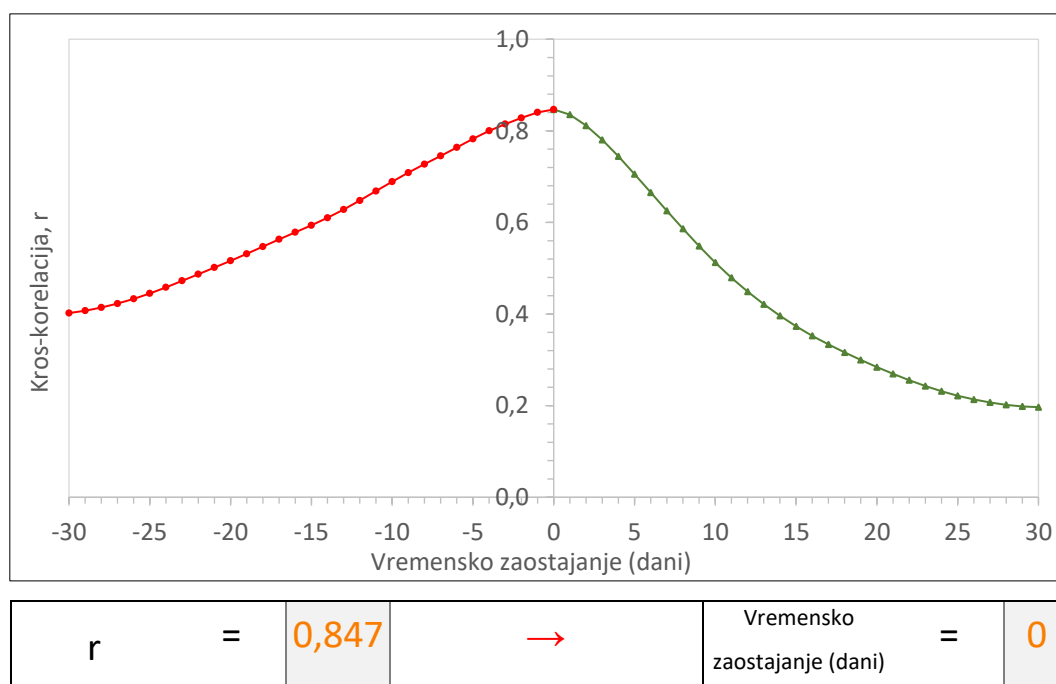
Volumeni su izračunati prema srednjem godišnjem protoku u razdoblju od 1.1.2012. do 31.12.2014. godine. Tako je srednji godišnji protok za Klokun 1 = $1,21 \text{ m}^3/\text{s}$, a $V = 0,0013 \text{ km}^3$, srednji godišnji protok za Prud = $4,19 \text{ m}^3/\text{s}$, a $V = 0,018 \text{ km}^3$, srednji godišnji protok za Modro oko = $2,12 \text{ m}^3/\text{s}$, a $V = 0,006 \text{ km}^3$, srednji godišnji protok za Klobuk = $13,9 \text{ m}^3/\text{s}$, a $V = 0,014 \text{ km}^3$ te srednji godišnji protok za Humac = $20,6 \text{ m}^3/\text{s}$, a $V = 0,023 \text{ km}^3$. Prilikom interpretacije podataka dobivenih na temelju GRK potrebno je istaknuti da je trogodišnji niz korišten u ovoj analizi prekratak da bi se mogli dati pouzdani zaključci o funkcioniranju ovih vodonosnika. Prikazana analiza napravljena je kako bi se moglo utvrditi imaju li glavni izvori u južnoj

Dalmaciji i zapadnoj Hercegovini slične značajke te da bi se u budućim istraživanjima moglo pristupiti daljnjim analizama na višegodišnjim podacima prikupljenim u hrvatskom dijelu slijeva.

5.3.3. Odnosi vremenskih serija izvora i površinskih tokova

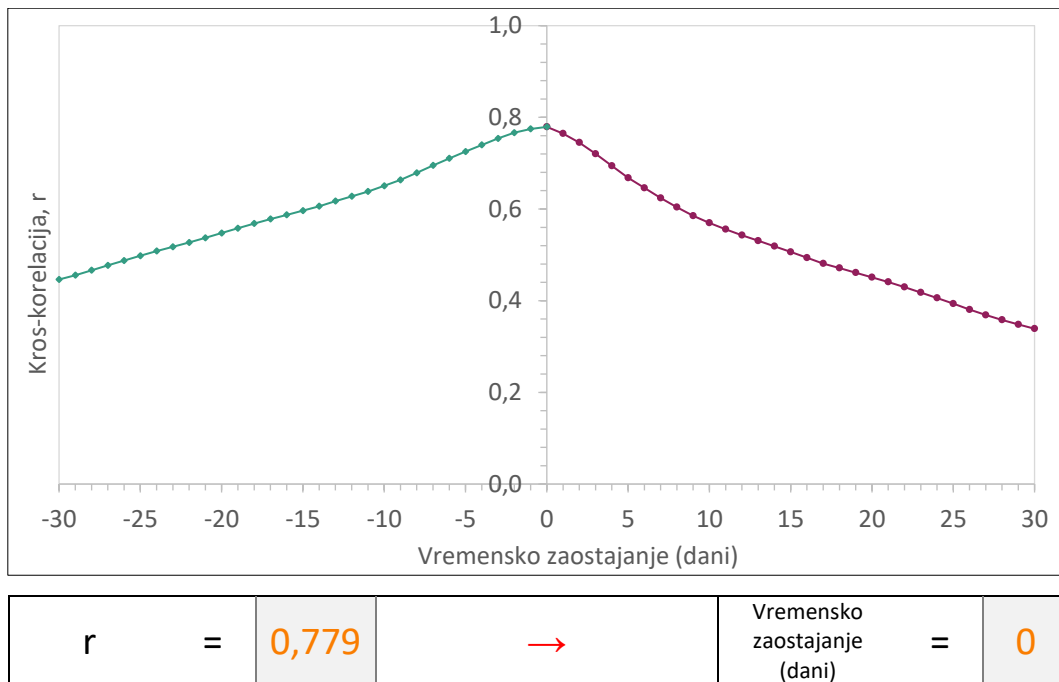
Kroskorelacije su provedene na protocima izvora Klokun 1, Prud, Opačac te na lokacijama Humac i Klobuk, mjernim postajama na rijeci Trebižat–Mlade–Tihaljina. Vremenske serije uključene u analizu su u razdoblju od 2012. do 2014. godine. Važno je naglasiti kako korišteni podaci, u trajanju od približno tri godine, nisu dovoljno dugi za definiranje pouzdanih zaključaka o njihovim odnosima. Ipak, čak i takvi razmjerno kratki nizovi mogu dati određeni uvid u funkcioniranje krških vodonosnika. Iznimno, kroskorelacija izvora Prud i Modro oko napravljena je za razdoblje od 1.1.1995. do 31.12.2009. godine, jer je 2009. godine prestao redoviti monitoring na izvoru Modro oko te su korišteni dostupni podaci. Modro oko je bilo neophodno uključiti u analize, zbog veličine izvora, kako bi se sustav što bolje diskretizirao.

Kroskorelacijska funkcija protoka izvora Prud i Klokun 1 (Slika 77) pokazuje neovisnost jednog o drugom i koeficijent korelacije od najviše 0,847. Budući da nema značajnijeg kašnjenja između dvaju izvora, može se zaključiti da dijele značajan dio slijevnog područja.



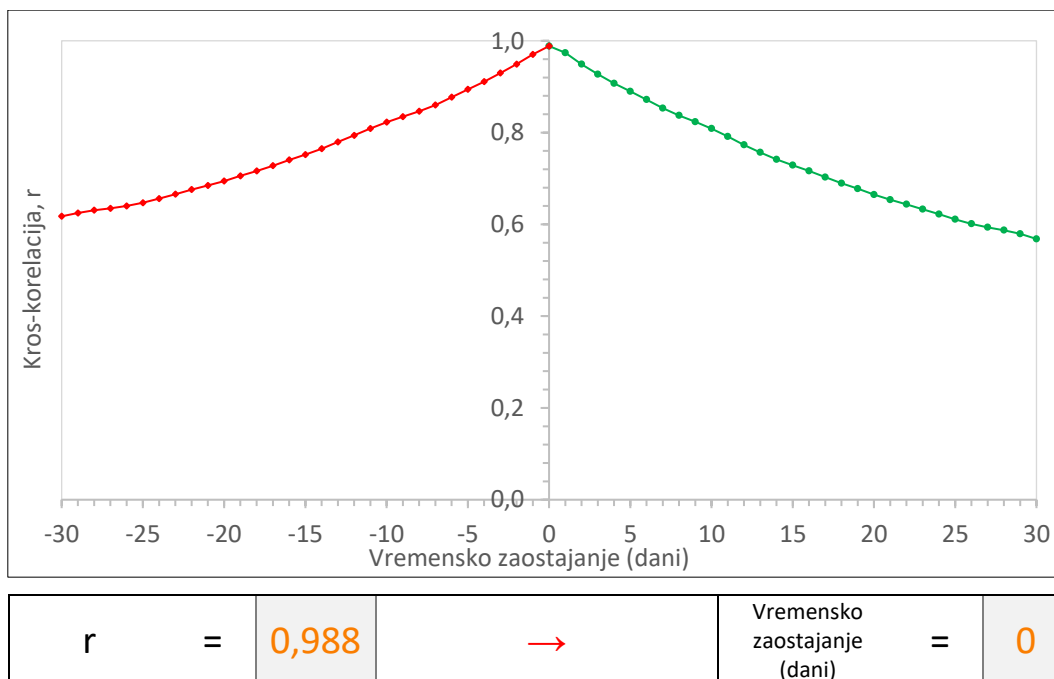
Slika 77 Kroskorelacija protoka izvora Prud i Klokun 1 (1.1.2012.–31.12.2016.).

Kao i kod izvora Klokun 1 i Prud, značajnijeg kašnjenja između izvora Modro oko i Prud nema, budući da reagiraju gotovo istodobno (Slika 78). No u ovom je slučaju koeficijent korelacije 0,779, što bi ukazivalo na nešto manju sličnost ta dva izvora. Ipak, razlike su prilično male te se može zaključiti o dosta sličnim uvjetima reakcije izvora cijelog slijevnog sustava.



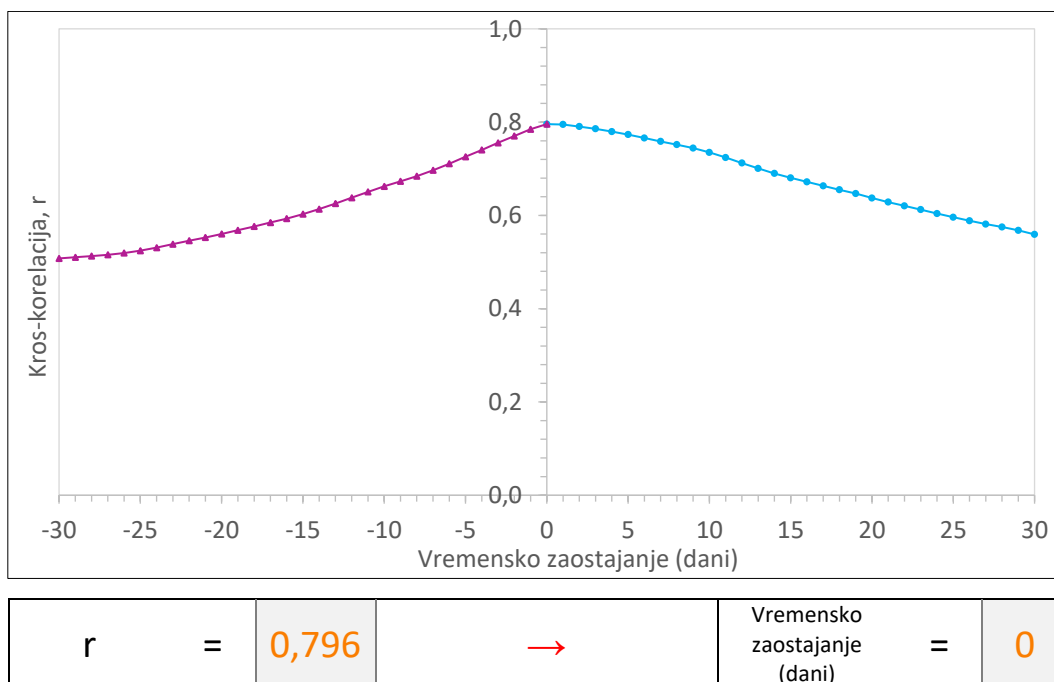
Slika 78. Kroskorelacija protoka izvora Prud i Modro oko (1.1.2005.–31.12.2009.).

Napravljena je i kroskorelacijska analiza za lokacije Klobuk i Humac na površinskom toku rijeke Trebižat–Mlade–Tihaljina (Slika 79). Kroskorelacijska funkcija protoka s ove dvije lokacije pokazuje visok stupanj korelacije od 0,988, što znači da između njih uopće nema kašnjenja, odnosno da reagiraju istodobno.



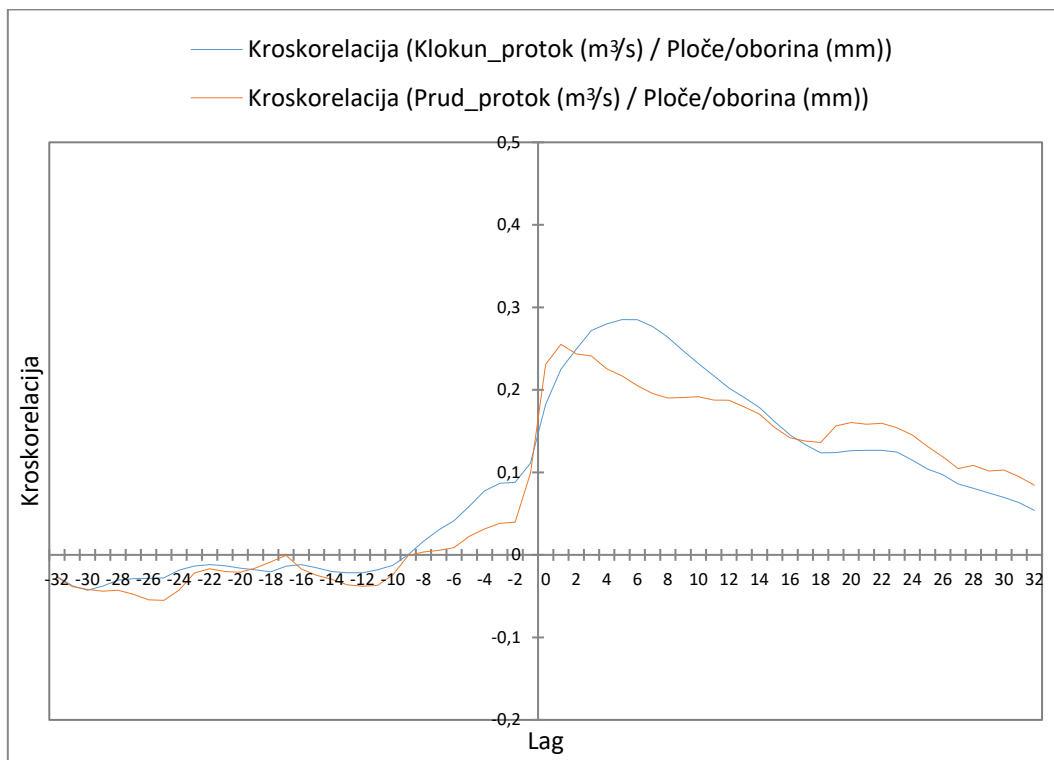
Slika 79. Kroskorelacija protoka površinskog toka rijeke Trebižat–Mlade– Tihaljina na točkama opažanja Klobuk i Humac (1.1.2012.–31.12.2014.).

Kako bi se dobio stupanj korelacije između izvora Prud i jedne od lokacija u zapadnohercegovačkom dijelu istraživanog područja napravljena je kroskorelacija s površinskim tokom rijeke Trebižat–Mlade–Tihaljina na mjernoj postaji Klobuk. Na Slici 80 vidljivo je kako je međuovisnost između tih izvora manja, iznosi 0,796.



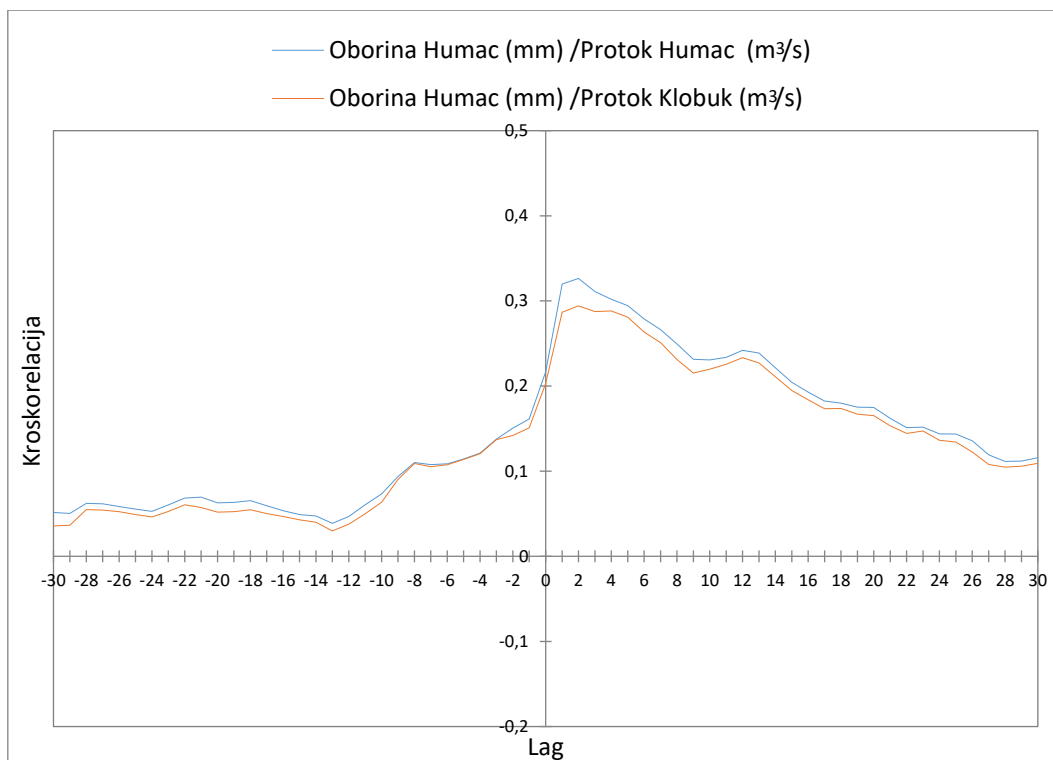
Slika 80. Kroskorelacija protoka površinskog toka rijeke Trebižat–Mlade– Tihaljina na točki opažanja Klobuk i izvora Prud (1.1.2012. – 31.12.2014.).

Kroskorelacijskom analizom napravljena je i usporedba protoka na izvorima Klokun 1 i Prud s količinom oborina na meteorološkoj postaji Ploče (Slika 81). Dobiveni maksimalni koeficijenti korelacije od 0,267 do 0,243 prilično su niski, ali usprkos tome pokazuju određenu vezu između oborina i protoka na izvorima. Prosječno kašnjenje Klokuna 1 za oborinama mjerenim na meteorološkoj postaji Ploče je pet dana. U slučaju Pruda kašnjenje za oborinama je samo jedan dan.



Slika 81. Kroskorelacijska funkcija protoka na izvorima Klokun 1 i Prud s oborinom na meteorološkoj postaji Ploče.

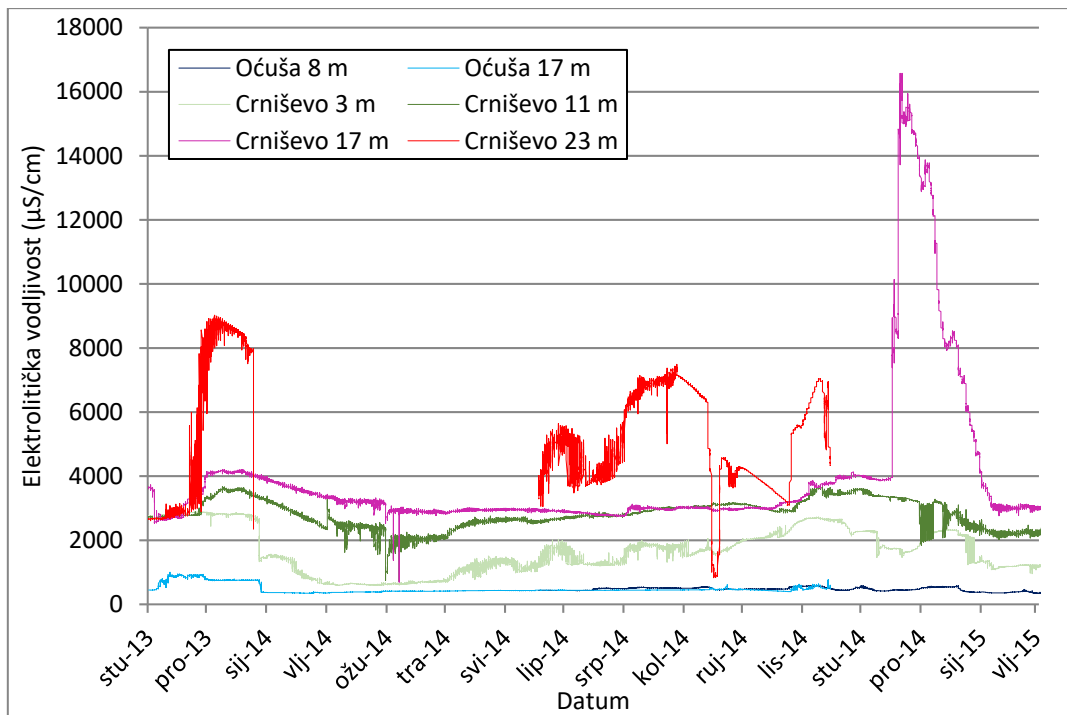
Kroskorelacija oborine s meteorološke postaje Humac s protocima na Klobuku i Humcu, mjernim postajama površinskog toka rijeke Trebižat–Mlade– Tihaljina (Slika 82) ukazuje na nešto veće koeficijente korelacije od 0,326 i 0,294 u podnosu na koeficijente dobivene usporedbom izvora Klokun 1 i Prud s meteorološkom postajom Ploče. Razlika u kašnjenju oborina za protokom je približno dva dana.



Slika 82. Kroskorelacijska funkcija površinskog toka rijeke Trebižat–Mlade–Tihaljina, na točkama opažanja Humac i Klobuk s oborinom na postaji Humac.

5.3.4. Odnosi vremenskih serija Baćinskih jezera

Kako bi se što bolje rastumačio istraživani kompleksni slijevni sustav i potvrdio utjecaj mora u priobalnom pojasu južnodalmatinskog dijela istraživanog područja, uspoređene su vrijednosti EC dobivene automatskim mjeracima u jezerima Crniševo i Oćuša kao dijelu Baćinskih jezera (Slika 83). Dobiveni rezultati ukazali su na vezu mora s jezerom Crniševo u dubljim dijelovima, što je rezultat prodora morske vode. Baćinska jezera (Slika 10) čini skupina od šest međusobno povezanih jezera – Oćuša, Crniševo, Podgora, Sladinac, Vitanj i Plitko jezero te jednoga odvojenog – Vrbnik (Vranjak). Nalaze se u neposrednom zaleđu Ploča, a iz njih se spojnim tunelom u more provodi višak voda. Baćinska jezera su kriptodepresije, s maksimalnim dubinama vode između 5 m (Plitko jezero) i 34 m (Crniševo), čija srednja razina vode na postaji Šipak iznosi 1,4 m n. m., minimalna 0,38 m n. m. (1985. godine) a maksimalna 3,9 m n. m. (1996. godine). Fluktuacije razina su izrazito velike zbog ispuštanja vode kroz dva hidrotehnička tunela koji međusobno povezuju Vrgoračko polje i Baćinska jezera (Tunel T2) te Baćinska jezera s morem (Tunel T3), čime se dodatno komplicira prirodna hidrografija.

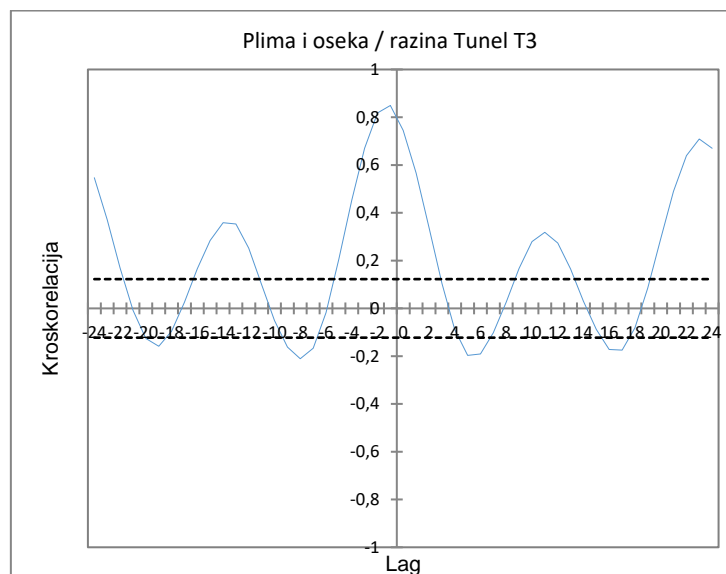


Slika 83. EC u jezerima Crniševo i Oćuša na različitim dubinama.

Pomoću razina mjerenih na automatskim mjeračima na lokacijama Tunel T3 utvrđena je veza između promjene morske razine pod utjecajem plime i oseke i razine i kemizma vode u Baćinskim jezerima. Za analizu su korišteni podaci automatskog mjerača postavljenog na izlazu iz Baćinskih jezera, prije izlaznog Tunela T3. Vremenski nizovi analizirani su metodom kroskorelacije, a odabran je vremenski odmak od 24 h, jer se unutar tog intervala ritmički izmjenjuju razdoblja plime i oseke pa se moguće korelacije očekuju unutar tog vremenskog intervala. Iz vremenskog niza satnih podataka razina jezera na Tunelu T3 izdvojeni su i analizirani isključivo segmenti najnižih razina (segmenti na Slici 84 izdvojeni crvenom bojom), budući da je kod viših razina tok vode prema izlaznom tunelu iz jezera prejak i time prigušuje utjecaj plime i oseke. Nažalost, podaci razina s automatskog mjerača na Tunelu T3 prikupljeni su samo do 23.4.2014. godine, jer je nakon tog datuma logger nestao s lokacije, tako da su zabilježena samo dva razdoblja razina dovoljno niskih za analizu (zelenom bojom naznačeni kvadrati na Slici 84). Analizom je utvrđena jako dobra pozitivna korelacija između vremenskih serija plime/oseke i razine jezera (Slika 85). Najbolja korelacija zabilježena je/ u 12-satnim intervalima, što odgovara ritmu izmjena plime i oseke.



Slika 84. Kolebanje razine mora i razine jezera mjerene automatskim mjeracima na ulazu (Tunel T2) i izlazu iz Baćinskih jezera (Tunel T3). Zelenim pravokutnicima su naznačena dva razdoblja razina korištena prilikom analiza.



Slika 85. Kroskorelogram satnih podataka plime i oseke i razina Baćinskih jezera na Tunelu T3 u razdoblju niskih voda.

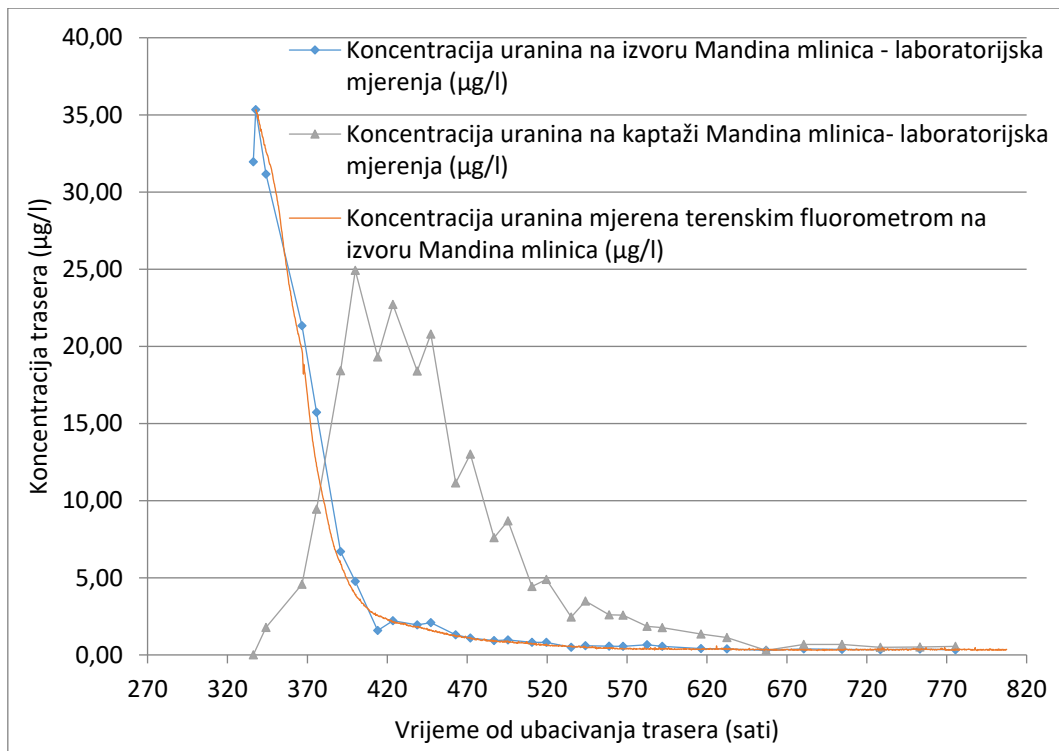
5.4. Rezultati trasiranja podzemnih tokova u području istraživanja

Uranin ubačen u ponor u sjeverozapadnom dijelu Vrgoračkog polja opažen je na izvorima Mandina mlinica (kaptaža i izvor), Klokun 1, Oćuša te na izlazu iz Tunela T2. Tunel T2 predstavlja vezu između točke ubacivanja traseru i izvora koji se nalazi u samom tunelu. Kako bi se potvrdilo da se doista traser na točki T2 pojavio na izvoru u tunelu, uzet je kontrolni uzorak 5. listopada 2014. godine, iz toka koji prolazi kroz tunel koji odvodi vodu iz Vrgoračkog polja u Baćinska jezera te prolazi točkom tunel T2 u kojem nije bilo tragova traseru. Najvažniji podaci o svim podzemnim vezama dokazanim trasiranjem uraninom s ponora u sjeverozapadnom dijelu Vrgoračkog polja prikazani su u Tablici 13.

Tablica 13. Najvažniji podaci trasiranja uraninom iz ponora na sjeverozapadnog dijela Vrgoračkog polja.

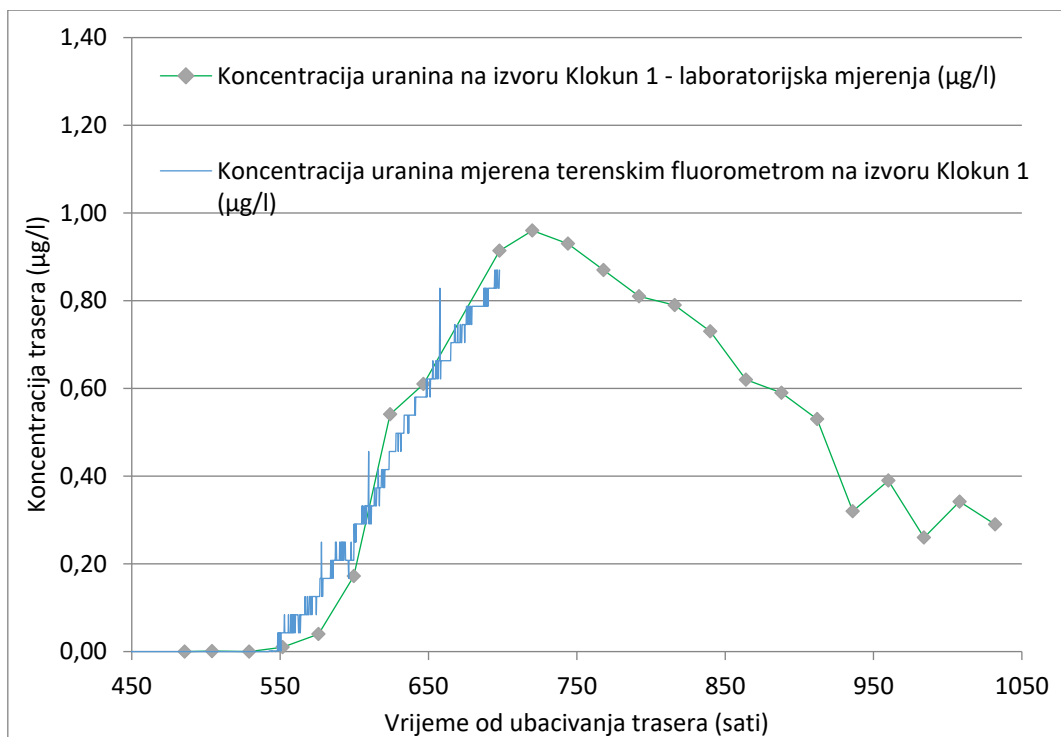
Izvor	Udaljenost (m)	Vrijeme 1. nailaska (sati)	Brzina 1. nailaska (cm/s)	Maksimalna koncentracija (µg/l)	Vrijeme max. koncentracije (sati)
Mandina mlinica izvor	9645	?	?	35,34	337,65
Mandina mlinica kaptaža	9645	344,15	0,78	24,92	400,02
Klokun 1	12670	599,65	0,59	0,96	720
Oćuša	10824	485,45	0,62	2,75	647,02
Izvor u Tunelu T2	11466	504,38	0,63	0,98	646,75

Poseban slučaj zabilježen je kod izvora Mandina mlinica (Slika 86), na kojem je u prvo vrijeme uzorkovanje obavljano samo na kaptaži u neposrednoj blizini izvora koji je najčešće pod značajnim utjecajem mora. Prilikom redovitog obilaska kaptaže uočena je vidljiva pojava uranina na izvoru 9 listopada 2014. godine, dok na kaptaži nije bilo vidljivih tragova, tako da točno vrijeme prvog nailaska traseru na izvoru Mandine mlinice nije poznato. Zbog svega navedenog i izvor je uključen u uzorkovanje, a naknadno je u njega postavljen i terenski fluorometar.

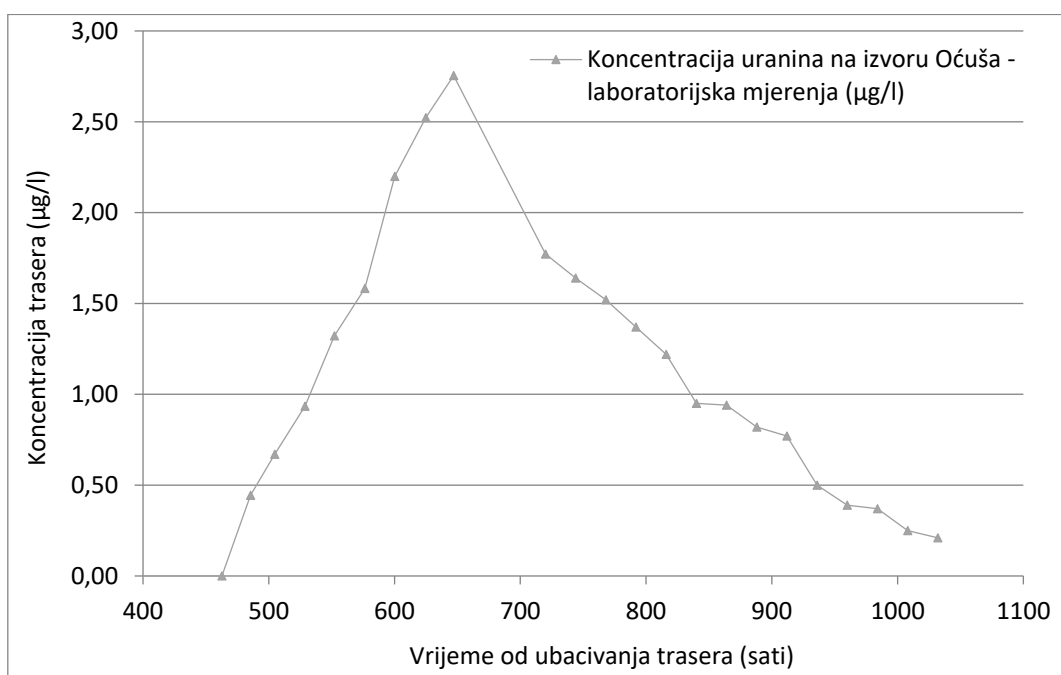


Slika 86. Krivulja koncentracije uranina dobivena laboratorijskim mjerenjem i terenskim fluorometrom na izvoru i kaptazi Mandina mlinica.

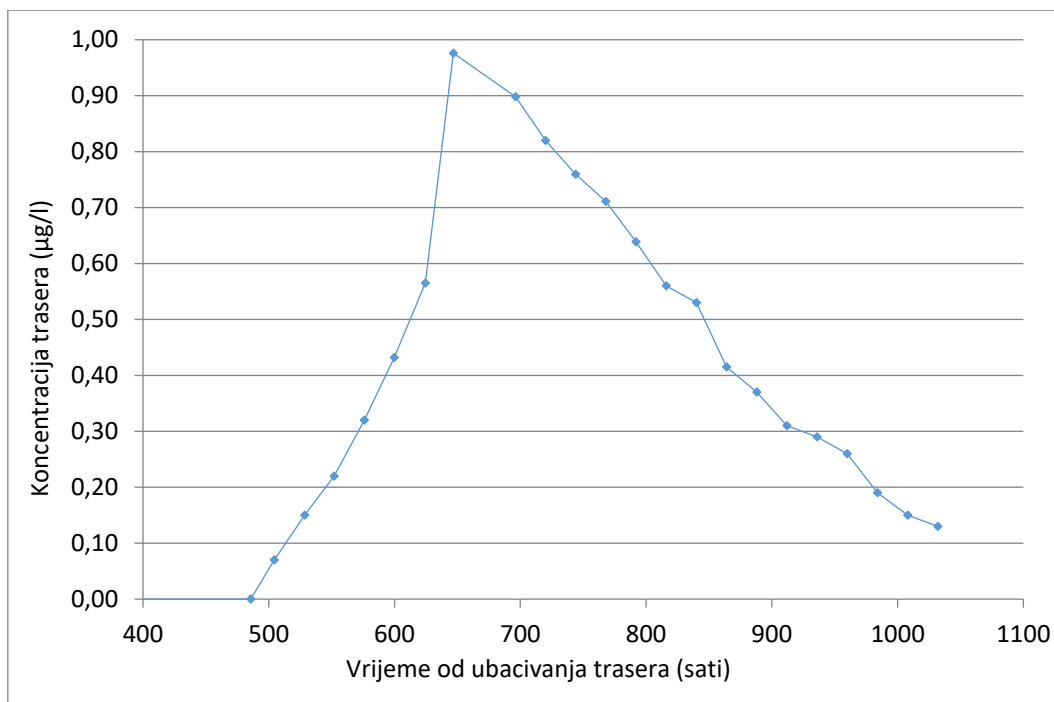
Na izvorima Klokun (Slika 87), Oćuša (Slika 88) i izvoru u Tunelu T2 (Slika 89), Na-fluorescein je opažen u vrlo malim koncentracijama uz male prividne brzine. Usprkos tome, trasiranjem je pouzdano utvrđena veza tih izvora s ponorom u sjeverozapadnom dijelu Vrgoračkog polja.



Slika 87. Krivulja koncentracije uranina dobivena laboratorijskim mjerenjem i terenskim fluorometrom na izvoru Klokun 1.



Slika 88. Krivulja koncentracije uranina na izvoru Oćuša (laboratorijska mjerenja).

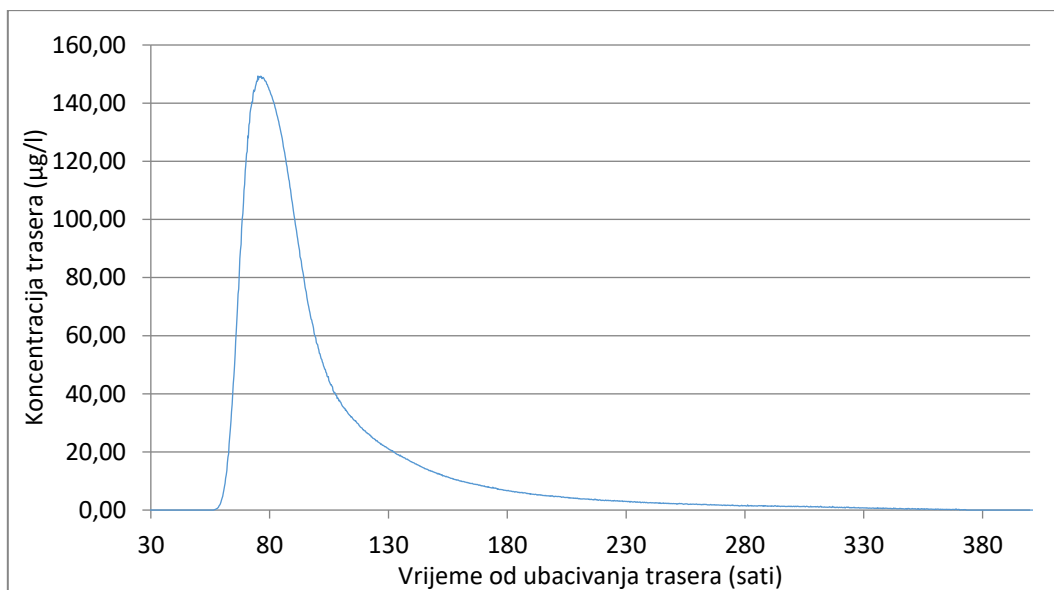


Slika 89. Krivulja koncentracije uranina na izvoru u Tunelu T2 (laboratorijska mjerenja).

Naftionat ubačen u ponor u neposrednoj blizini ponora Crpala zabilježen je samo na izvorima Klokun 1 i na izvoru u Tunelu T2. Iako je opažan i izvor Oćuša, za kojeg postoje podaci o prethodno utvrđenoj podzemnoj vodnoj vezi, prigodom ovog trasiranja takva veza nije potvrđena. Glavna veza dokazana je prema izvoru Klokun 1 na koji je traser stigao u velikoj koncentraciji (Slika 90) i s vrlo velikom prividnom brzinom prvog nailaska od 3,23 cm/s. Osim određivanja slijevnih granica, taj je podatak značajan i za određivanje zona sanitarne zaštite, budući da su na temelju prethodnih istraživanja pretpostavljene znatno manje brzine. Na temelju dobivenih rezultata trasirani ponor kao i čitav tok Matice jugoistočno od njega, zajedno sa svim pripadajućim ponorima, morao bi biti uvršten u vrlo strog režim zaštite – drugu zonu. Najvažniji podaci o svim podzemnim vezama ostvarenim trasiranjem naftionatom u blizini ponora Crpala u središnjem dijelu Vrgoračkog polja prikazani su u Tablici 14.

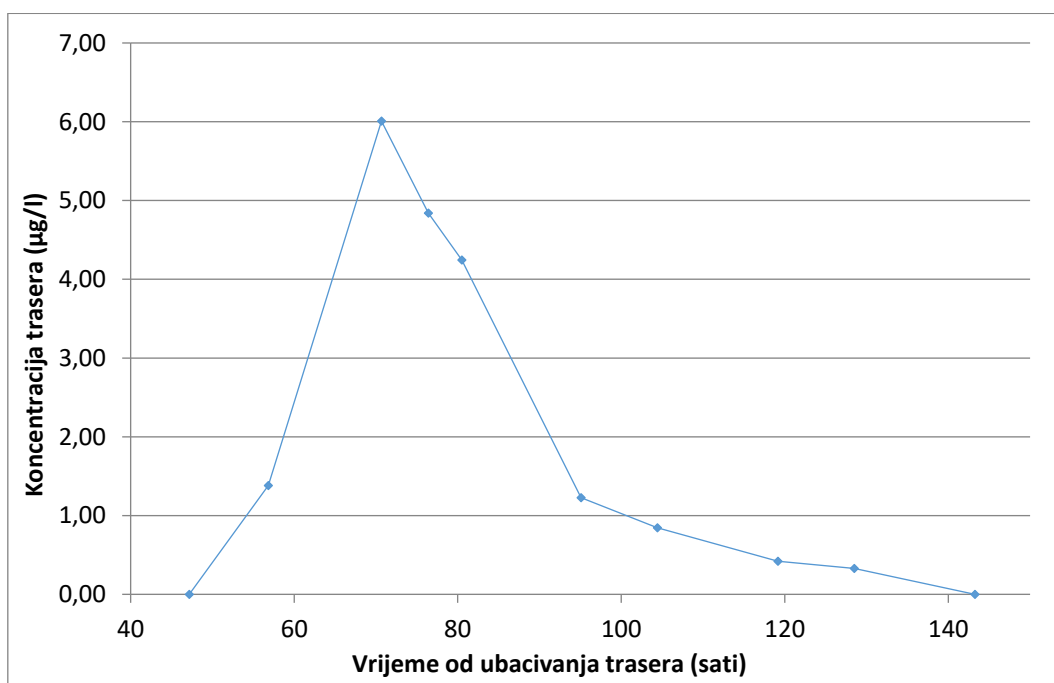
Tablica 14. Najvažniji podaci trasiranja naftionatom iz okolice izvora Crpala u središnjem dijelu Vrgoračkog polja.

Izvor	Udaljenost (m)	Vrijeme 1. nailaska (sati)	Brzina 1. nailaska (cm/s)	Maksimalna koncentracija (µg/l)	Vrijeme max. koncentracije (sati)
Klokun 1	6586	56,72	3,23	149,34	75,03
Izvor u Tunelu T2	5280	56,83	2,58	6,01	70,67



Slika 90. Krivulja koncentracije naftionata na izvoru Klokun 1 (terenski fluorometar).

Vrlo brza veza od 2,58 cm/s utvrđena je i prema izvoru u Tunelu T2, ali je maksimalna koncentracija na tom izvoru bila znatno manja – 6,01 µg/l (Slika 91). Uzrok za tako nisku koncentraciju vjerojatno je veliko razrjeđenje tokom rijeke Matice koja predstavlja veliku većinu protoka kroz tunel.



Slika 91. Krivulja koncentracije naftionata na izvoru u Tunelu T2 (laboratorijska mjerenja).

6. RASPRAVA

Najvažnija tema ovog doktorskog rada je razumijevanje podrijetla vode i dinamike krških izvorskih voda, što je nerijetko vrlo velik izazov (Bonacci et al., 2013). Istraživanje hidrogeoloških značajki, delineacija u šest podslijeva ili utjecajnih površina (Filipović et al., 2022) te unapređenje metodologije za istraživanje kompleksnih krških sustava južne Dalmacije i zapadne Hercegovine razmatranjem podrijetla sulfata u izvorima pomoću stabilnih izotopa sumpora 34 ($\delta^{34}\text{S}$) bili su glavni ciljevi istraživanja. Shodno tome, tri su hipoteze testirane interdisciplinarnim pristupom i primjenom više istraživačkih metoda (Palmer, 2010), uključujući hidrogeokemijske, mikrobiološke, statističke i matematičke, dinamičke i simultano trasiranje. Pritom su konzultirane i dosadašnje spoznaje o geološkim i strukturnim značajkama šireg područja istraživanja te o prethodnim hidrogeološkim istraživanjima (analize iona, trasiranja, izračun vodne bilance) koje predstavljaju vrlo važnu podlogu za interpretaciju tako velikog hidrogeološkog sustava (White, 2003; Terzić, 2012).

6.1. Značenje hidrogeoloških i matematičkih analiza za klasifikaciju vodonosnog sustava pomoću prirodnih trasera

Prirodni traseri najčešće se koriste kako bi se odredilo podrijetlo, dinamika i miješanje vode (White, 1988; Ryan & Meiman 1996; Clark & Fritz, 1997; Desmarais & Rojstaczer, 2002). U ovom su istraživanju po prvi put, sustavno, kroz višegodišnji monitoring obavljene analize izvorske vode na širem regionalnom području koje obuhvaća dijelove Hrvatske i susjedne Bosne i Hercegovine. Pri klasifikaciji i određivanju podrijetla krških izvorskih voda južne Dalmacije i zapadne Hercegovine korišteni su fizikalno-kemijski parametri, osnovni ioni uključujući i metale, matematička i statistička analiza osnovnih iona, stabilni izotopi kisika 18 ($\delta^{18}\text{O}$), deuterija (δD) i sumpora 34 ($\delta^{34}\text{S}$) te mikrobiološki parametri. Klasifikacija izvora i površinskih tokova prema vrijednostima prirodnih trasera osnova su i za delinaciju slijevnog sustava, jer razlike između pojedinih parametara predstavljaju temeljne podatke za razgraničenje utjecajnih površina. Ipak, i dalje postoje brojni nerazjašnjeni čimbenici koji mogu utjecati na dobivene različite vrijednosti, no one predstavljaju važan element budućih preporuka i novih istraživanja ovog i sličnih kompleksnih krških hidrogeoloških područja.

Fizikalno-kemijski parametri

Prema vrijednostima pH, izvorske vode istraživanog prostora su neutralne do slabo alkalne. Vrijednosti pH odraz su sezonskih, vegetacijskih i hidroloških uvjeta (Mihu-Pintilie et al., 2014). Aktivitet vodikovih iona izažen kao pH jako je važan parametar pri izračunu indeksa zasićenosti kalcitom ili nekim drugim mineralima, za geokemijsko modeliranje, izračunavanje parcijalnih tlakova CO₂ (White, 1988; Sasowsky & Dalton, 2005). Vodik je vrlo osjetljiv i na trošenja i otapanje minerala, no kako je njihova koncentracija posljedica utjecaja brojnih procesa, teško je njihovu vrijednost pripisati određenim okolišima. Dobivene niže vrijednosti pH u toplijem dijelu godine mogu se pripisati većoj produkciji CO₂, zbog intenzivne biološke aktivnosti (Stumm & Morgan, 1996).

Temperature vode omogućuju odgovore na brojna pitanja vezana uz kruženje vode, njezino podrijetlo ili vrijeme zadržavanja u podzemlju (Bonacci, 1987; Martin & Dean, 1999). Prema promjenama temperature vode na izvorima, može se zaključiti da je vrijeme zadržavanja vode u slijevu izvora Klokun 2 najduže, a u slijevu izvora Klokun 1 je znatno kraće. Manje temperature oscilacije kod velikih izvora, poput izvora Prud ili Klokun 2, mogle bi ukazivati na dublje poniranje u vadoznu zonu, pri čemu se voda temperaturno homogenizira te su promjene temperature zbog toga znatno manje. Općenito se može reći kako je temperatura vode na izvorima u skladu sa srednjom godišnjom temperaturom zraka područja pretežnog napajanja izvora. Tako će podzemna voda, koja se napaja s hipsometrijski viših područja koja imaju niže srednje godišnje temperature zraka, imati također prosječno nižu temperaturu. Takav je slučaj s izvorom Borak čija izvorska voda ima najnižu prosječnu temperaturu od svih mjerenih izvora. Analiza temperature vode na području južne Dalmacije i zapadne Hercegovine ukazuje na dominaciju: i) izvora koji se primarno prihranjuju oborinskom vodom koja se sporije procjeđuje kroz epikršku i/ili pukotinsku zonu, cirkulira u dubljem krškom vodonosniku te se nešto duže zadržava pa se voda temperaturno homogenizira (Klokun 2, Prud, Vrioštica), na što ukazuju manje oscilacije temperature, i ii) površinskih tokova i izvora uz krška polja (površinska voda Baćinskih jezera, Klokun 1, Modro oko) gdje su oscilacije temperature najizraženije, što je pokazatelj nešto kraćeg zadržavanja vode u vodonosniku i /ili dominacije velikih pukotinskih sustava i kanala (Kogovšek & Petrič, 2010).

Niže vrijednosti kisika u ljetnim mjesecima posljedica su utjecaja visokih temperatura zraka i procesa otplinjavanja kisika iz vode. U jesenskim mjesecima, zbog ispiranja viška organske tvari, dolazi do oksidacije organske tvari i trošenja kisika. Najniže vrijednosti kisika utvrđene su na izvorima Mindel i Strimen. Na izvoru Mindel u ljetnim mjesecima voda postaje

hipoksična, budući da razina kisika padne ispod 2 mg/l. Najniža zabilježena razina kisika na izvoru Mindel je 1,4 mg/l, a na izvoru Strimen 4,4 mg/l. Razine kisika na jezerima, pogotovo u dubljim dijelovima, imaju nulte vrijednosti. Najveće oscilacije kisika zabilježene su na izvoru Mindel i u jezerskoj vodi pri većim dubinama. Najmanje oscilacije zabilježene su na izvorskim vodama Pruda, Butine, Stinjevca, Lukavca i Opačca u Hrvatskoj te na izvorima Vrela Tihaljine, Klokuna 2, Vrioštice i Borka u zapadnoj Hercegovini.

Elektrolitična vodljivost ovisi o koncentraciji otopljenih tvari u vodi. U usporedbi s npr. EC izvora Gabrijeli i Bužini u Istri, koja je u rasponu od 501–668 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Biondić et al., 2009) te EC s izvora Klanac, Tonković i Majerovo vrelo u sljevnom područje rijeke Gacke, koja je između 450–500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Lukač Reberski, 2011), može se zaključiti kako su vrijednosti EC u vodama istraživanog područja nešto više. U vodama istraživanog područja povišene vrijednosti EC pojavljuju se zbog dva razloga: povišenog sadržaja sulfata i povišenog sadržaja klorida. Povišeni sadržaj sulfata prisutan je u vodama iz područja slijeva u kojima su u podzemlju ili na površini prisutne evaporitne naslage. U tim vodama vrijednosti EC su između 500 i 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Još veću vodljivost imaju vode koje su pod neposrednim utjecajem mora, kod kojih vrijednosti EC iznose od nekoliko i do nekoliko desetaka tisuća $\mu\text{S}/\text{cm}$. U vodama s vrlo visokim vrijednostima EC sadržaj kloridnih i natrijevih iona znatno je viši u odnosu na vode koje nisu pod utjecajem mora. Utjecaj mora je tim izraženiji i prodire dublje u unutrašnjost, što su niži vodostaji. Najviše izmjerene vrijednosti EC, koji je u direktnoj vezi s povišenim vrijednostima natrijevih i kloridnih iona, su na izvoru Mandina mlinica. Istoi tako, utvrđene su nešto više vrijednosti EC u dubljim dijelovima jezera Crniševo i Oćuša. Povišene vrijednosti EC izvora u direktnoj su vezi i s većim sadržajem sulfatnih iona u vodi.

Vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara su polazišna točka i pri tumačenju rezultata stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ iz sulfatnih iona, osobito kod izvora Klokun 2, čije su vrijednosti donekle drukčije. Naime, rezultati vrijednosti izotopa $\delta^{34}\text{S}$ ovoga izvora tijekom niskih voda iznose 18,0 ‰, a u visokim vodama iznose 15,5‰, što je i najviša vrijednost, u minimumu, od svih opažanih lokacija. Rezultat ovih vrijednosti je miješanje vode u vodonosniku s nekim izvorom sulfata. Prema rezultatima $\delta^{34}\text{S}$ na lokalitetu Doljanka 1, koji su u približnom rasponu od 13‰ u visokim vodama, do 14,8‰ u niskim vodama, a taj se lokalitet nalazi u neposrednoj blizini evaporitnih stijena, može se pretpostaviti da su sulfati na Klokunu 2 najvjerojatnije evaporitnog podrijetla. Objašnjenje za još više vrijednosti zabilježene na izvoru Klokun 2 bi prema izrazito malim temperaturnim oscilacijama tog izvora mogla biti dublja cirkulacija u vodonosniku, pri čemu bi u vrijeme visokih voda dolazilo do miješanja s oborinom, što bi pridonijelo smanjenju

udjela težeg izotopa $\delta^{34}\text{S}$. Isto tako, jedno od dodatnih objašnjenja bi moglo biti i redukcija sulfata evaporitnog podrijetla u sulfide posredovanjem bakterija koje reduciraju sulfate (SRB – Chambers & Trudinger, 1979; Gibson, 1990; Hao et al., 1996; Canfield, 2001b; Berner et al., 2002; Aravena & Mayer, 2009). Takve bakterije su anaerobi koji dobivaju energiju za rast oksidacijom organske tvari koristeći sulfat kao primatelj elektrona (Hao et al., 1996) i na taj način procesom biotransformacije obogaćuju matični sulfat težim izotopom (Miao et al., 2013). Ipak, treba istaknuti kako na navedene vrijednosti može utjecati i niz drugih faktora (poljoprivredne aktivnosti, kanalizacijski ispusti, blizina mora itd.), što je i detaljnije opisano u potpoglavljima o stabilnim izotopima $\delta^{34}\text{S}$ i mikrobiološkim parametrima. U južnodalmatinskom dijelu slijeva, slične temperaturne značajke s malim oscilacijama, utvrđene su na izvoru Prud, što je rezultat velikih protoka, budući da su Rubinić & Horvat (2015) utvrdili da srednji godišnji protok iznosi $6,2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, kao i većeg područja prihranjivanja, na što su ukazali i rezultati dinamičkih analiza. Značajke drugih izvora, većinom iz južnodalmatinskog dijela slijeva poput Klokuna 1 i Modrog oka, ukazuju na nešto veće oscilacije fizikalno-kemijskih parametara. Takve značajne promjene fizikalno-kemijskih parametara tijekom događaja obilježenih naglim promjenama tlaka vode u podzemlju, pokazatelji su izrazito provodnih krških vodonosnika (Hess & White; 1988), što upućuje na kraće zadržavanje vode u vodonosniku i brži protok kroz velike okršene kanale.

Zaključno, analiza fizikalno-kemijskih parametara ukazuje kako su oscilacije kod velikih izvora nešto manje (Klokun 2, Borak, Vrelo Tihaljine, Prud) dok su najveće oscilacije mjerenih fizikalno-kemijskih parametara prisutne na izvorima uz Baćinska jezera. U južnodalmatinskom i zapadnohercegovačkom dijelu slijeva, idući od priobalnih izvora prema unutrašnjosti slijeva, može se analizom dobivenih rezultata izdvojiti šest skupina izvora međusobno sličnih mjerenih parametara: 1) priobalni izvori (Mandina mlinica) s Baćinskim jezerima; 2) izvori Modro oko i Klokun 1; 3) izvori u središnjem dijelu slijeva (Butina, Stinjevac, Lukavac); 4) izvor Opačac i Grudsko vrelo; 5) Prud, Klokun 2, Vrioštica, Vrelo Tihaljine; 6) Borak i Donja voda. Klasifikacija izvora na temelju fizikalno-kemijskih parametara polazišna je točka pri delineaciji istraživanog velikog slijevnog područja, jer razlike između pojedinih parametara predstavljaju temelj pri razgraničenju utjecajnih površina. No klasifikacija izvora ovisi još i o blizini mora, oscilacijama sulfatnih iona na izvorima u različitim hidrološkim uvjetima, različitim vrijednostima parametara jezerske i izvorske vode, biološkoj raznolikosti, dinamičkim značajkama izvora itd., što isto treba uzeti u obzir prilikom razgraničenja slijevnih površina.

Hidrogeokemijski facijesi

Rezultati analize ionskog sastava vode prikazani pomoću Piperovog dijagrama (Slika 52) te analiza indeksa zasićenosti pojedinih minerala, u ovom slučaju kalcita, aragonita, dolomita (Slika 53) i gipsa (Slika 54) (Parkhurst & Apello, 1999; Ford & Williams, 2007) ukazuju na dominaciju tri facijesa u vodama južnodalmatinskog i zapadnohercegovačkog slijevnog područja. Otapanje dolomita prisutno je kod većine izvora u zapadnoj Hercegovini, a zasićenje najveće kod izvora Klokun 2 (koji se i po drugim karakteristikama razlikuje od ostatka analiziranih izvora) pa je vidljivo da se i prema ovim vrijednostima ipak mogu razlikovati izvori u zapadnohercegovačkom dijelu slijeva u odnosu na južnodalmatinske izvore. U južnodalmatinskom dijelu slijeva mineral dolomita prisutan je samo u visokim vodama kod izvora Butina te je u nešto manjoj mjeri prisutan i na Prudu, što bi se moglo objasniti većim područjem prihranjivanja koje se nalazi u zapadnoj Hercegovini. Na Slici 53 vidljivo je da se izvor Doljanka 1 po vrijednostima znatno razlikuje, pri čemu ta pritoka nije ni dio istog slijevnog područja.

Izdvojeni SI i hidrogeokemijski facijesi su još jedan parametar koji je korišten prilikom delineacije slijevnog područja. Facijesi ukazuju na tri najzastupljenija procesa u istraživanom slijevnom području:

- 1) Kalcijско-hidrogenkarbonatni facijes (Ca-HCO_3) je najzastupljeniji u cijelom području istraživanja, s obzirom na to da tamo prevladavaju karbonatne naslage. Isto tako, i analiza SI ukazala je na zasićenost kalcitom, aragonitom te u puno manjoj mjeri dolomitom.
- 2) Kalcijско-sulfatno/hidrogenkarbonatni ($\text{Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$) facijes prisutan je kod većine izvora u zapadnohercegovačkom dijelu slijeva te na izvorima Prud, Klokun 1, Modro oko, Butina, Stinjevac, Lukavac i Mandina mlinica. Većina uzorkovanih voda s područja istraživanja ima povišen sadržaj sulfata u odnosu na podzemne vode iz ostalog dijela hrvatskog krša. Pojave takvih tipova voda u krškim vodonosnicima obično ukazuju na pojavu gipsa i anhidrita (Plumer & Back, 1980). Naime, kako se područje prihranjivanja ovog slijevnog sustava nalazi u zapadnoj Hercegovini, značajan prirast količine sulfatnih iona upućuje na mogućnost da se krške podzemne vode zapadne Hercegovine kreću kroz podzemlje u kojem ima evaporitnih stijena – gipseva i anhidrita.
- 3) Natrijsko-kloridni (Na-Cl) facijes prisutan je na izvorima uz samu obalu mora, ali je utjecaj mora, prema vrijednostima kloridnih iona, vidljiv i na Baćinskim jezerima, posebice u dubljim dijelovima jezerske vode. Prodor morske vode u krški vodonosnik ponajviše se događa između priobalnog izvora Mandine mlinice i kod izvora Mindel te jezera Crniševo.

Isto tako, zapaža se utjecaj mora iz doline Neretve, čija je aluvijalna dolina pod značajnim utjecajem morske vode.

Izotopi kisika 18 ($\delta^{18}O$) i deuterija (δD).

Dosadašnja istraživanja hrvatskog krša uglavom su provedena u sjevernom dijelu (Mandić et al., 2008; Mance et al., 2014; Ozyurt et al., 2014; Brkić et al., 2020), a za južni su dio poznati samo podaci za područje slijeva Jadra i Žrnovnice (Kapelj et al., 2012) i za područje Dubrovnika (Vreča et al., 2006).

Osim za oborine s dubrovačkog područja, na području južne Dalmacije i zapadne Hercegovine nema podataka o $\delta^{18}O$ i δD krških podzemnih, površinskih i oborinskih voda. Zbog toga su vrijednosti stabilnih izotopa $\delta^{18}O$ i δD izvorske i površinske vode istraživanog područja uspoređeni s GMLW i LMWL za područje Dubrovnika (Vreča et al., 2006), jer je to najbliža lokacija istraživanom području za koje postoje dostupni podatci stabilnih izotopa $\delta^{18}O$ i δD oborine. Analizom dostupnih podataka za područje Hrvatske, konstruirana je regionalna meteorska vodna linija (RMWL) duž koje je distribuirana većina krških izvora u Hrvatskoj, što upućuje na meteorsko podrijetlo analiziranih izvorskih voda (Brkić et al., 2020). Kako veći dio oborine, koja prihranjuje većinu krških izvora, dolazi južnim vjetrovima iz smjera Jadranskog mora (Brkić et al., 2020), kod izvora južnodalmatinskog, priobalnog dijela slijeva očekivana distribucija vrijednosti izotopa bliska LMWL za područje Dubrovnika.

Stabilni izotopi $\delta^{18}O$ ukazuju da je voda ovog slijeva izrazito mlada, što znači da sustav vrlo brzo reagira na oborine koje se razmjerno kratko zadržavaju u podzemlju. S LMWL se najbolje podudaraju vode s izvora Modro oko, Prud, Mandina mlinica, Čeveljuša, koji su nešto bliže obali, ali i postaji u Dubrovniku. Izvori Butina, Banja, Klokun 2 i Vrioštica imaju jako maleni otklon od LMWL, jer su nešto udaljeniji od obale i na većoj udaljenosti od Dubrovnika. Osjetne su razlike po dubinama jezera, jer se tu voda miješa s morskom pa se mijenja i izotopni sastav. Zbog miješanja s morskom vodom i uzorci iz izvora Mindel i Mandina mlinica te iz Tunela T2 i T3 imaju mali otklon od LMWL prema GMWL. Kod izvora Nuga utvrđen je otklon od GMWL u ljetnim mjesecima koji ukazuje na evaporaciju površinske vode.

No, kako područje karakterizira velika visinska razlika između planinskih područja i krških polja na nižim nadmorskim visinama, uočena je i veća razlika između izotopa $\delta^{18}O$ i δD i LMWL u unutrašnjosti južnodalmatinskog slijeva te u zapadnoj Hercegovini. S obzirom na to da se neki izvori prihranjuju oborinama, na višim nadmorskim visinama uočavaju se i znatno

niže izotopne vrijednosti (Yeh & Lee, 2018). Primjer takvog izvora je Borak, što potvrđuje i niska temperaturna vrijednost izvorske vode. Veliki otklon od LMWL ima i Doljanka 1 što je i očekivano obzirom na geografsku udaljenost od drugih lokacija i područja Dubrovnika.

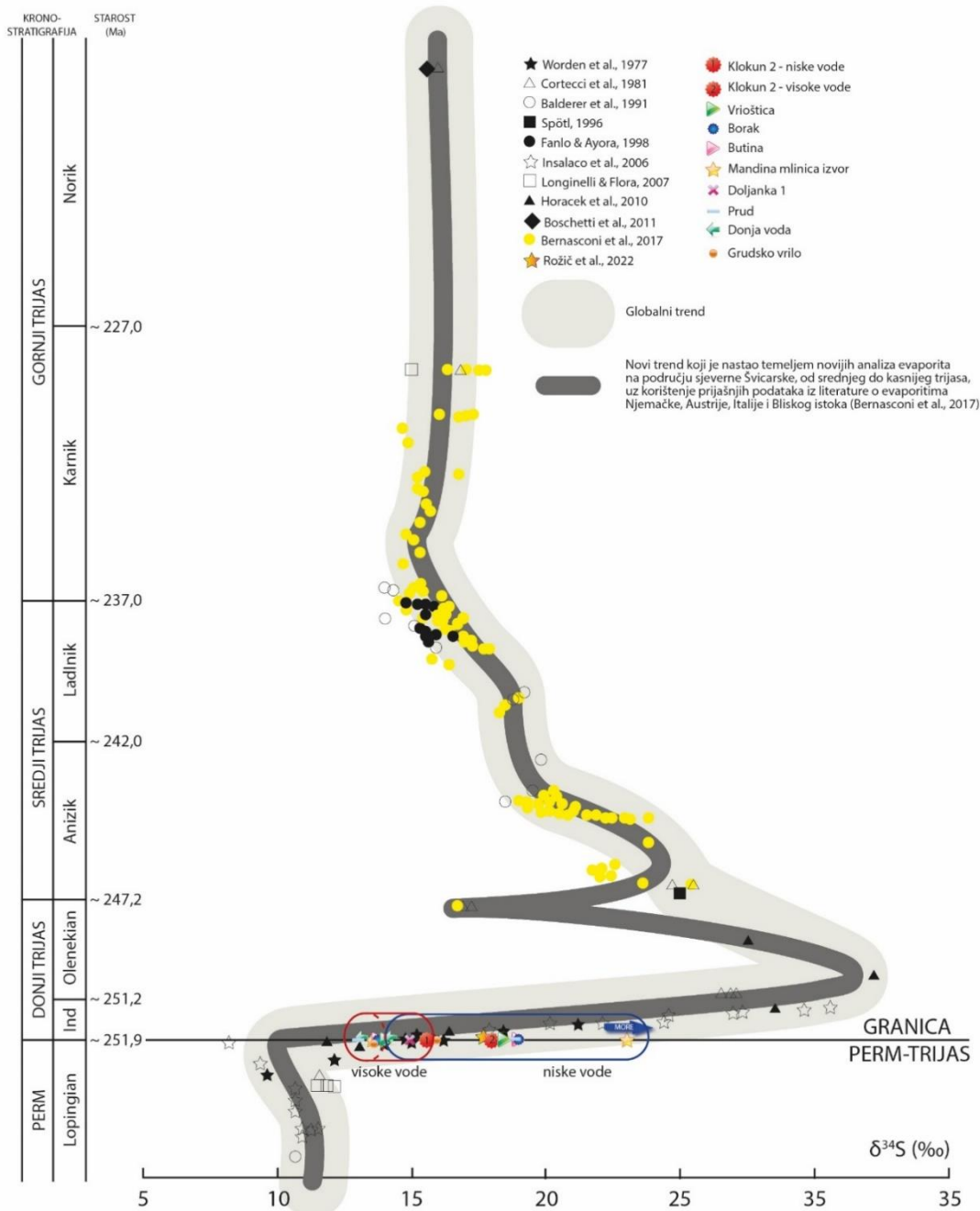
Izotopne razlike nastaju i zbog sezonskih varijacija, što uzrokuje povećanje evapotranspiracije za vrijeme visokih temperatura. Nagib LMWL u području Dubrovnika je 7, što je pokazatelj većeg gubitka vlage kroz evaporaciju (Vreča et al., 2006), što je rezultat manjih količina oborina na tom području i izrazito visokih ljetnih temperatura. Veliki izvori poput Pruda i Klokuna 2 pokazuju puno manje varijacije izotopnog sastava, budući da je područje prihranjivanja ovih izvora veliko i voda se dobrim dijelom homogenizira u vodonosniku. Usporedbom sezonskih varijacija $\delta^{18}\text{O}$ vidljivo je da su izrazito male razlike tijekom visokih i niskih voda, što je karakteristično za velike krške izvore. Jedan od razloga zašto nije bilo velikih oscilacija sadržaja $\delta^{18}\text{O}$ je i izostanak pravih ljetnih suša i vrućina tijekom kojih su vrijednosti izotopa pozitivnije.

Najveće sezonske razlike prisutne su kod priobalnih izvora, posebice Mandine mlinice, zbog miješanja oborinskih voda iz zaleđa s morskom vodom. Na temelju rezultata analiza stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i δD može se zaključiti:

- 1) vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ i δD na površinskom toku Doljanka 1 ukazuju kako ona ne pripada istraživanom slijevnom sustavu jer su rezultati bitno drukčiji od rezultata s drugih lokaliteta (Vreča et al., 2006);
- 2) prema razlikama $\delta^{18}\text{O}$ i δD mogu se izdvojiti izvori i površinske vode na koje izravan utjecaj ima prodor morske vode u zaseban sustav (Baćinska jezera i Mandina mlinica) (usporedi sa Schiavo et al., 2009);
- 3) izvori kod kojih vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ značajno osciliraju imaju izrazito brz odgovor na oborinu što je pokazatelj mlade vode (Klokun 1, Modro oko) (Brkić et al., 2020);
- 4) izvor Prud ima vrlo male oscilacije $\delta^{18}\text{O}$, što ukazuje na homogenizaciju podzemne vode u slabije okršenom vodonosniku, tečenjem kroz nešto manje pukotine i pore te sporije protjecanje, na temelju čega bi se moglo zaključiti da je dio zasebnog podslijeva (usporedi s Paar et al., 2019);
- 5) izdvajanje izvora koji imaju mali otklon od LMWL za područje Dubrovnika (Vreča et al., 2006): Banja i Butina koji pripadaju jednom podslijevu, Klokun 2 i Vrioštica koji su dio drugog podslijeva te Borak koji je dio slijevnog sustava na najvišoj nadmorskoj visini.

Stabilni izotopi $\delta^{34}\text{S}$

S razvojem analitičkih metoda $\delta^{34}\text{S}$ Bernasconi et al. (2017) su upotpunili globalnu sumpornu izotopnu krivulju za gornji perm i trijas na temelju novijih analiza evaporita na području sjeverne Švicarske uz korištenje dostupnih podataka iz Njemačke, Austrije, Italije i s Bliskog istoka (Slika 92) koja je korištena prilikom interpretacije rezultata u ovom doktorskom radu.



Slika 92. Vrijednosti stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ područja istraživanja nanešene na krivulju vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ gornjeg perma i trijasa koju su objavili Bernasconi et al. (2017). Crvenom elipsom naznačeni su uzorci vode u visokim vodama, a plavom su elipsom naznačeni uzorci u niskim vodama.

Slika 92 prikazuje vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ u vodama južne Dalmacije i zapadne Hercegovine u odnosu na vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ naslaga gornjeg perma i donjeg trijasa iz literature (Bernasconi et al., 2017), čije su vrijednosti između 10 i 18‰. U istraživanom području analize izotopa $\delta^{34}\text{S}$ u vodi obavljene su po prvi puta te se rezultati mogu usporediti i s podacima izvora Žvepovnik u Sloveniji, geografski najbliže lokacije za koju postoje podaci izotopnog sastava $\delta^{34}\text{S}$ izvorske vode (Rožič et al., 2022). Koncentracija sulfatnih iona na izvoru Žvepovnik je 109–116 mg/l, a vrijednost je $\delta^{34}\text{S}$ 17,7‰. Važno je napomenuti da je taj izvor uzorkovan samo jednom za analizu izotopa sumpora (Rožič et al., 2022), ali je usporedbom podataka izotopnog sastava voda slijevnog područja Velenja (Kanduč et al., 2019) potvrđeno da je izotopni sastav $\delta^{34}\text{S}$ izvora Žvepovnik unutar karakterističnog raspona vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ otopljenih gornjopermskih evaporitnih stijena (gipsevi/anhidriti) u vodi.

Dobivene vrijednosti stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ nisu jednoznačne i daju nove podatke važne za razumijevanje velikog istraživanog hidrogeološkog sustava. Vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ tijekom viših vodostaja su u rasponu od 13,11 do 15,5‰ dok su prigodom nižih vodostaja većeg raspona, od 14,18 do 23,12‰. Moguće objašnjenje sezonskih varijacija vrijednosti izotopa sumpora leži u miješanju voda podrijetlom iz izvora s različitim omjerima $\delta^{34}\text{S}$ u dubljim i plićim dijelovima vodonosnika. Na sezonske varijacije izotopnog sastava sumpora može utjecati više različitih procesa (Appelo & Postma, 1994; Strauss, 1997; Pu et al., 2012; Miao et al., 2013): 1) isparavanje, 2) kondenzacija i oborine koje utječu na smanjenje temperature, 3) ponovno isparavanje iz zemlje i podzemnih voda, 4) miješanje tijekom prihranjivanja i tijekom protoka vode u podzemlju, 5) bakterijska redukcija sulfatnih iona u sulfidne u anaerobnim uvjetima, 6) truljenje organske tvari što rezultira proizvodnjom sulfida. Na različite vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ u vodi utječu i lokalni klimatski uvjeti poput smjera vjetera, sastava oborina, blizine mora te topografija područja (Wakshal & Nielsen, 1983; Thode, 1991; Wadleigh et al., 1994; Bottrell et al., 2009). Sezonske varijacije su manje izražene kod površinskog toka rijeke Doljanke 1 te kod malog izvora Donja voda s vrijednostima oko 13‰ pri višem vodostaju i oko 14‰ pri nižem vodostaju, pri čemu su na obje lokacije na geološkim kartama naznačeni izdanci gornjopermskih evaporita na površini. Takve vrijednosti ukazuju na mogućnost da voda komunicira s naslagama gipsa nastalog hidratizacijom anhidrita, koje se nalaze blizu površine ili na samoj površini (Boschetti et al., 2011). Slijevno područje ta dva mjesta uzorkovanja vjerojatno je manjih dimenzija i lokalnog karaktera. Očito je da je vrijednost $\delta^{34}\text{S}$ izmjerena u vodi rijeke Doljanke 1 znatno veća u odnosu na srednju globalnu vrijednost nezagađenih rijeka

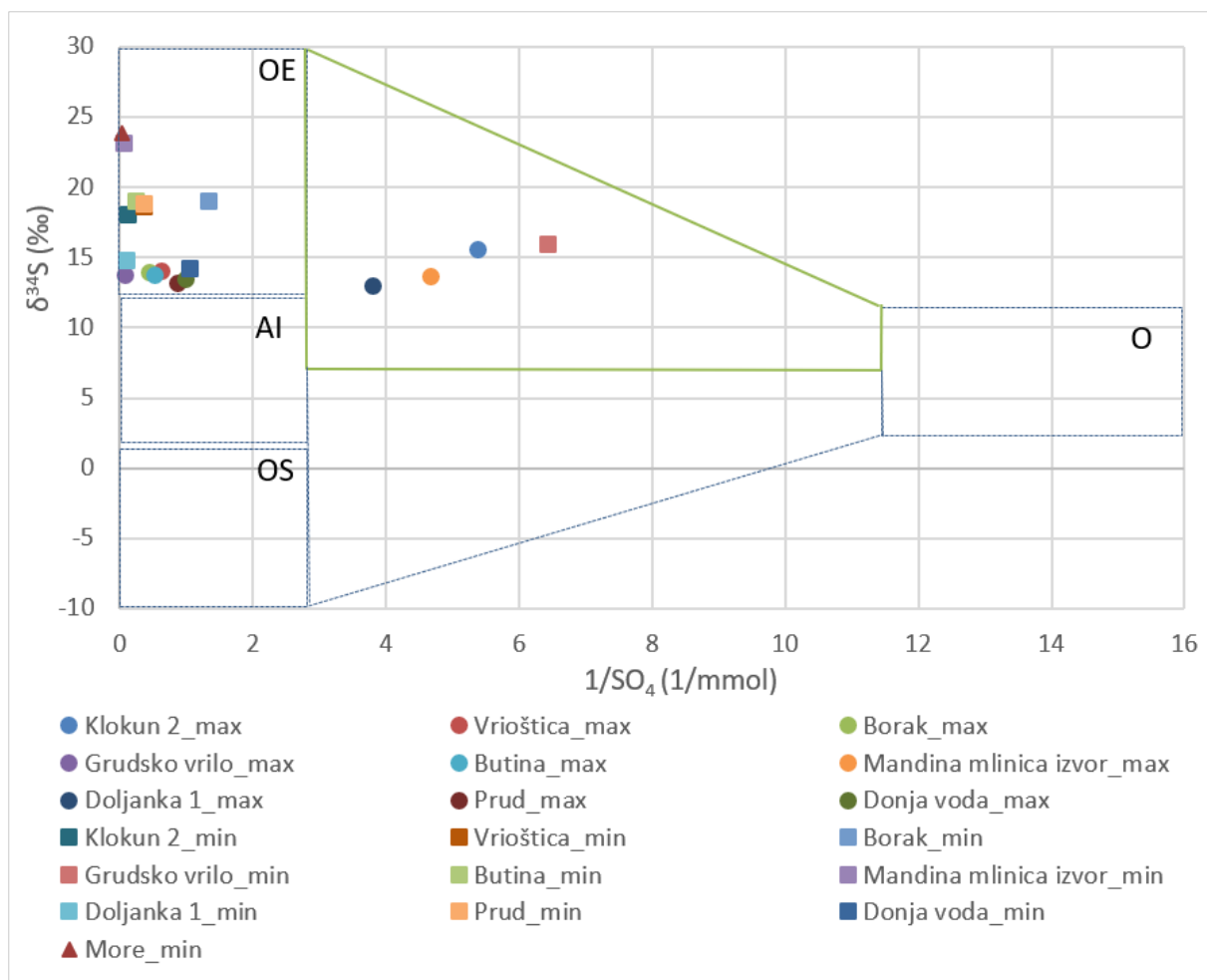
koja iznosi oko 4,9‰ (Burke et al., 2018), što je još jedan pokazatelj izravnog utjecaja otapanja evaporitnih stijena na tom lokalitetu.

Na većini ostalih većih izvora u području istraživanja rezultati $\delta^{34}\text{S}$ su vrlo slični. Na izvorima Vrioštica, Borak, Butina i Prud vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ su oko 13‰ u visokim vodama, dok su u niskim vodama vrijednosti oko 18‰. Manja odstupanja vrijednosti stabilnih izotopa sumpora zabilježena su kod izvora Klokun 2 (pri višem vodostaju 15,49‰, a tijekom niskih voda 18,0‰) i izvora Grudsko vrilo (od 13,68‰ do 15,9‰). Više vrijednosti, utvrđene kod izvora Klokun 2 u vrijeme višeg vodostaja u odnosu na druge izvore, mogle bi biti posljedica dužeg zadržavanja i cirkulacije vode u dubljim dijelovima podzemlja i/ili sulfatne redukcije u sulfide koja utječe i na sastav $\delta^{34}\text{S}$ (Chambers & Trudinger, 1979; Gibson, 1990; Hao et al., 1996; Canfield, 2001b; Berner et al., 2002; Aravena & Mayer, 2009; Miao et al., 2013). Iako vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ na izvoru Grudsko vrilo upućuju na evaporitno podrijetlo, neobična je nešto niža vrijednost $\delta^{34}\text{S}$ tijekom niskih vodostaja u odnosu na ostale lokacije. Mogući uzrok takvih vrijednosti je činjenica da u tom razdoblju izvor presušuje te je uzorkovana voda iz bušotine vodoopskrbnog sustava, dok je na ostalim lokacijama uzorkovana izvorska voda. S obzirom na to da na Grudskom vrilu i inače nema izrazito povišenih koncentracija sulfatnih iona može se pretpostaviti da su nešto niže vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ rezultat miješanja podzemne vode s drugim izvorima sumpora (moguće antropogeni utjecaj) (Whang & Zhang, 2019) i/ili sulfatne redukcije u sulfide koja utječe i na sastav $\delta^{34}\text{S}$ kao i kod izvora Klokun 2, a koja se može odvijati u dubljem dijelu vodonosnika u kojem su prisutni anaerobni uvjeti (Chambers & Trudinger, 1979; Gibson, 1990; Hao et al., 1996; Canfield, 2001b; Berner et al., 2002; Aravena & Mayer, 2009; Miao et al., 2013). Rezultati za ostale izvore u vrijeme višeg vodostaja ukazuju na jako brzu reakciju sustava na oborine i izrazito brzo otapanje pretpostavljenih evaporitnih stijena u epikrškoj zoni. Povišene vrijednosti pri niskim vodostajima ukazuju na duže zadržavanje vode u dubljim dijelovima vodonosnika te utjecaj sekundarnih procesa koji obogaćuju sulfatne težim izotopom sumpora.

Prilikom istraživanja prikupljen je i uzorak morske vode u plicaku na lokaciji Gradac. Dobivene vrijednosti stabilnih izotopa sumpora iz morske vode od 23,86 ‰ nešto su više u odnosu na svjetski prosjek – prosječna vrijednost $\delta^{34}\text{S}$ morske vode iznosi 21‰ (Rees et al., 1978; Böttcher et al., 2007). Poznato je kako je Jadransko more nešto višeg saliniteta od prosjeka svjetskog oceana (Mihanović et al., 2021; Terzić et al., 2022), ali bi uzrok povišenih vrijednosti mogao biti i miješanje morske vode sa zagađenom kanalizacijskom vodom koja se nalazi u neposrednoj blizini. Važno je naglasiti i da je lokacija tog uzorkovanja bila u plicaku,

a uzorkovanje je obavljeno u večernjim satima u toplijem dijelu godine, tako da je i evapotranspiracija mogla utjecati na povećan udio težih izotopa u uzorku. I kod izvora Mandina mlinica su pri nižem vodostaju vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ bile znatno povišene, blizu vrijednosti za morsku vodu (23,12‰). I ovdje je primijećen nešto viši izotopni sastav u odnosu na svjetski prosjek. Uzorkovanje je obavljeno krajem ljetnog perioda i u koritu izvora je bilo vrlo malo vode. Mogući uzrok nešto viših vrijednosti težih izotopa sumpora u odnosu na svjetski prosjek moglo bi biti i taloženje težih izotopa sumpora iz morske vode, antropogeni utjecaj i evapotranspiracija lakših izotopa zbog visokih temperatura. No, pri višem vodostaju vrijednosti izotopnog sastava $\delta^{34}\text{S}$ izvora Mandina mlinica znatno padaju (13,59‰), ukazujući na veliki priljev slatke vode iz zaleđa.

Iz prikaza odnosa $\delta^{34}\text{S}$ i sulfatnih iona prema dijagramu koji su objavili Pu et al. (2012), vidljivo je kako je većina uzoraka iz istraživanog područja pod utjecajem otapanja evaporitnih stijena (Slika 93). Prema radovima Holser & Kaplan (1966) i Pu et al. (2012) visoke vrijednosti (~13–23‰) u gornjem lijevom kutu grafa ukazuju na otapanje evaporitnih naslaga u podzemlju. Na grafu se vidi i učinak miješanja podzemnih voda s oborinama te antropogeni utjecaj. Većina tih uzoraka smještena je u zeleno naznačenom trokutu na Slici 108 koji obuhvaća proces otapanja evaporitnih stijena i nešto manji utjecaj sumpora iz oborinske vode koji je tijekom visokih voda najznačajniji kod izvora Mandina mlinica, Klokun 2, Doljanka 1, a kod niskih voda u Grudskom vrilu. Niže vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ na izvorima Grudsko vrilo, Borak, Butina, Vrioštica, Prud i Donja voda u maksimumu te na Donjoj vodi i Doljanki 1 u minimumu, koje se na grafu nalaze blizu polja AI, koje ukazuje na antropogeni utjecaj, mogle bi biti posljedica utjecaja kanalizacijskih ispusta ili prekomjerne uporabe umjetnih i prirodnih gnojiva na poljima u blizini izvora. U vodama Borka, Pruda, Butine, Klokuna 2 i Vrioštica u minimumu je najveći doprinos sulfata evaporitnog podrijetla.

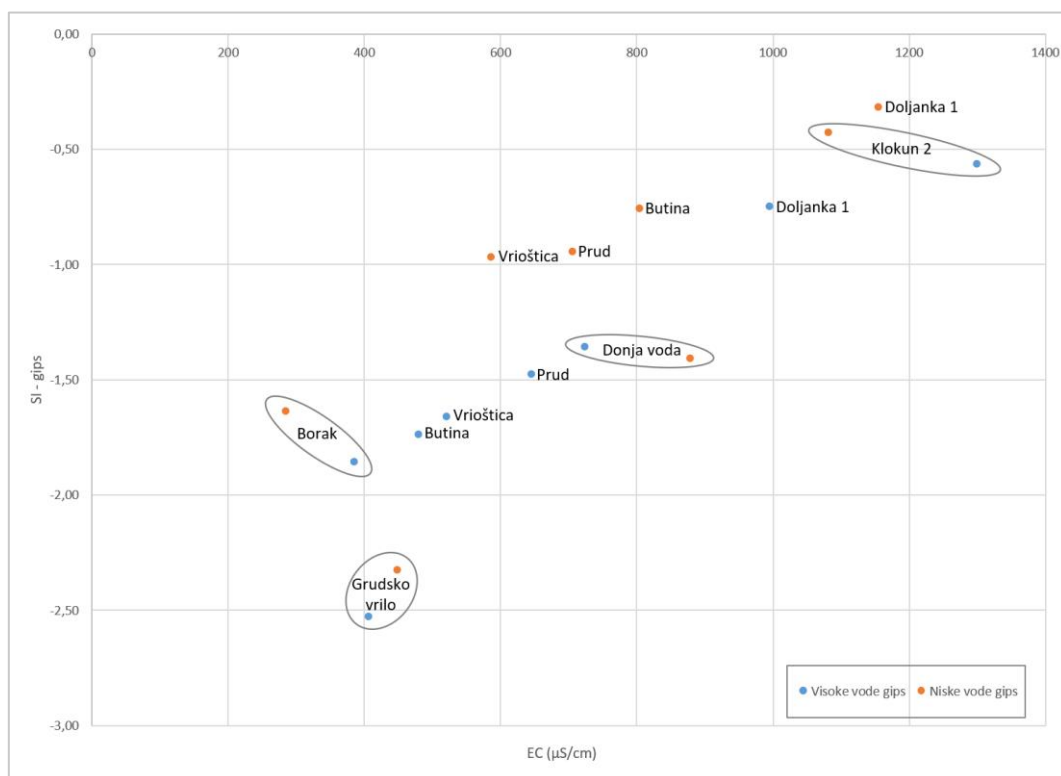


Slika 93. Varijacije $\delta^{34}\text{S}$ u odnosu na $1/\text{SO}_4$ (1/mmol) voda južne Dalmacije i zapadne Hercegovine na dijagramu prema Pu et al. (2012). OE – otapanje evaporita, AI – antropogeni utjecaj (kanalizacija, poljoprivredne aktivnosti), OS – oksidacija sulfida, O – oborine (atmosferski utjecaj). Uzorci koji su smješteni u zeleno naznačenom trokutu pokazatelj su miješanja podzemnih voda s oborinama te donekle i antropogenog utjecaja (poljoprivreda, kanalizacija i sl.).

Kako bi se rastumačila sezonalnost izotopnih vrijednosti, izračunat je saturacijski indeks (SI) u vodama istraživanog područja da se utvrdi koliko se minerala gipsa otapa u vodi. SI koji je izračunat na temelju vrijednosti aniona, kationa i fizikalno-kemijskih parametara (Slika 94) ukazuje na nedovoljnu zasićenost u odnosu na gips i potencijalno otapanje gipsa duž cijelog vertikalnog profila vodonosnika, bez obzira na hidrogeokemijske uvjete. Otapanje gipsa uzrokuje povećanje koncentracije sulfata u podzemnim vodama i događa se uz određenu frakcionaciju izotopa, tj. otopljeni sulfati zadržavaju izvorni izotopni sastav minerala gipsa, no vidljiv je i utjecaj miješanja voda i drugih izvora stabilnih izotopa sumpora (Ford & Williams, 2007).

Gips se troši lako i brzo te vode koje imaju povišene vrijednosti sulfatnih iona redovito imaju i povišene vrijednosti elektrolitičke vodljivosti (EC) (Ford & Williams, 2007; Pu et al.,

2012). Usporedba EC i SI pokazuje veće količine otopljenog minerala gipsa u visokim vodama unatoč povišenim vrijednostima sulfatnih iona u minimumu. Na izvorima Klokun 2, Doljanka 1, Butina, Prud, Vrioštica te Donja voda otopljeno je više minerala gipsa u odnosu na Grudsko vrilo i izvor Borak. SI minerala gipsa Doljanke 1 pokazuje najviše vrijednosti, što je i očekivano obzirom da se u blizini nalaze izdanci gipsa. Klokun 2 također pokazuje visoke vrijednosti SI, iako pojava evaporitnih stijena (gips i anhidrit) nema na površini ni u širem području. Može se pretpostaviti da prilikom visokih voda dolazi do brzog otapanja gipsa koji se nalazi u dijapirskom prodoru negdje blizu površine (u epikrškoj zoni), infiltrira se u podzemlje i tamo se jako kratko zadržava. SI vrijednost u niskim vodama bliže je nuli, što može ukazivati na slabije otapanje gipsa u dubljim dijelovima vodonosnika (bazni tok), i djelomice zato što je vodena otopina saturirana mineralom gipsa (SI vrijednost blizu 0).



Slika 94. Varijacija indeksa zasićenosti (SI) gipsa u odnosu na EC u području istraživanja u visokim i niskim vodama.

Zaključno, dobivene vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ područja južne Dalmacije i zapadne Hercegovine, prema relevantnoj literaturi (Cortecci et al., 1981; Balderer et al., 1991; Spötl, 1996; Worden et al., 1997; Fanlo & Ayora, 1998; Insalaco et al., 2006; Longinelli & Flora, 2007; Horacek et al., 2010; Boschetti et al., 2011; Bernasconi et al., 2017; Rožič et al., 2022), ukazuju da je podrijetlo sulfata u izvorskoj vodi moguće posljedica otapanja evaporitnih stijena

gornjopermske do donjotrijaske starosti u podzemlju. Razlike izotopnog sastava u razdobljima visokih i niskih voda, posljedica su miješanja vode i s drugim izvorima $\delta^{34}\text{S}$ i to najčešće oborina, a moguće i utjecaja $\delta^{34}\text{S}$ gnojiva, kanalizacijskih ispusta, redukcije sulfata i sl. (Appelo & Postma, 1994; Strauss, 1997; Pu et al., 2012; Miao et al., 2013).

Pomoću analize stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ dobivene su važne informacije o glavnim značajkama istraženih izvora i njihovih područja prihranjivanja. Prema rezultatima analiza hidrogeološki sustav se može podijeliti na:

- 1) Izvore u kojima voda dolazi iz većih udaljenosti, tj. izvore koji imaju nešto veće područje prihranjivanja u kojima voda duže putuje kroz pukotinske sustave i duže se zadržava u podzemlju. Takvim izvorima pripada izvor Klokun 2.
- 2) Izvore koji vrlo brzo reagiraju na oborine, kojim pripada većina opažanih izvora. Njih karakterizira vrlo brzo procjeđivanje kroz epikršku zonu ili privilegirane pukotinske i krške kanalske sustave, pri čemu se mjestimice otapaju gipsne naslage koje se nalaze blizu površine, u zoni nekih od glavnih krških tokova. Tijekom tog kompleksnog procesa dolazi i do miješanja podzemne s oborinskom vodom, što rezultira obogaćenjem lakšim izotopima u odnosu na teže. Brza komponenta hidrograma izražena i u vrijeme maksimalnih razina većinski pridonosi ukupnoj količini izvorske vode. Takav je slučaj utvrđen kod izvora Vrioština, Borak, Butina i Prud. Treba ipak uzeti u obzir i mogućnost da antropogeni utjecaji (kanalizacija, poljoprivreda) kod ovih izvora mogu značajno promijeniti vrijednosti izotopnog sastava (Slika 95).
- 3) Priobalni izvor Mandina mlinica čiji izotopni sastav dodatno komplicira blizina mora i utjecaja sulfata u moru, obogaćenih težim izotopom. Ipak, u razdobljima visokih voda je očigledno kako na izotopni sastav izvorske vode puno veći utjecaj ima dotok vode iz zaleđa, što je potvrđeno i simultanim trasiranjima obavljenim u sklopu doktorske disertacije.
- 4) Površinski tok Doljanka 1 i izvor Donja voda, koji imaju najmanje oscilacije izotopnog sastava sumpora. Može se pretpostaviti da se zbog pojave velikih izdanaka evaporitnih naslaga u neposrednoj blizini, one otapaju na površini (u slučaju rijeke Doljanke) ili jako blizu površine (u slučaju izvora Donja voda). Vjerojatno je područje prihranjivanja izvora Donja voda vrlo lokalnog karaktera i puno manjih dimenzija, budući da se tu radi o manjem dijapirskom prodoru.
- 5) Izvor Grudsko vrilo, koji sadrži razmjerno niske koncentracije sulfata, ali je na temelju izotopnih rezultata nedvojbeno utvrđeno njihovo podrijetlo iz permotrijaskih evaporita.

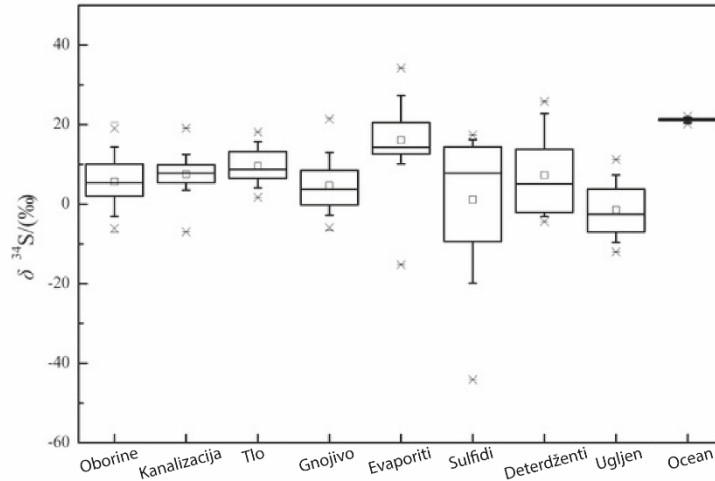
Metali

S obzirom da su sve opažane vode neutralne do lagano alkalne, a pokretljivost analiziranih elemenata je vrlo mala u alkalnim sredinama, većina rezultata vrijednosti koncentracije metala u vodi južne Dalmacije i zapadne Hercegovine prikazuje kako su u istraživanom području sve zabilježene vrijednosti unutar MDK (NN 125/2017). U mjerljivim, nešto višim koncentracijama zabilježeni su Fe, Mn i Cu. Otapanje Fe i Mn oksida obično se događa u dominantnim putovima toka u krškim pukotinskim zonama (npr. špilje i veliki kanali) pri čemu dolazi do turbulentnog miješanja površinske vode u podzemlju tijekom događaja obilježenih naglim porastima tlaka vode u podzemlju (Brown et al., 2018). Površinska voda obično ima visoke koncentracije otopljenog kisika i uglavnom je obogaćena organskim ugljikom, dok je podzemna voda obično osiromašena i kisikom i organskim ugljikom (Martin & Dean, 2001; Gulley et al., 2011; Brown et al., 2014). Miješanjem voda različitog sastava dolazi do niza redoks reakcija, što je potvrđeno i faktorskom analizom, a posljedično se mijenja i topljivost metalnih oksida (Brown et al., 2018), što je moguće objašnjenje povišenih vrijednosti ovih metala kod većine izvora u hidrološkom maksimumu. No, na izvoru Mindel i Baćinskim jezerima, povišene vrijednosti ovih metala, posebice bakra, mogle bi djelomično biti i antropogenog podrijetla. Mogući uzrok povišenih vrijednosti metala na Mindelu je odlagalište otpada koje se nalazi neposredno iznad izvora (Kosović, 2008; Munda et al., 2016), ali i nanošenje čestica mulja s povišenom koncentracijom metala (poljoprivredne aktivnosti u Vrgoračkom polju) izravno u Baćinska jezera kroz tunnel koji drenira višak vode iz Vrgoračkog polja (Miko et al., 2015; Terzić et al., 2015). Povišena koncentracija bakra može se povezati s prskanjem vinograda i voćnjaka, a poljodjelstvo je posebno intenzivno u Vrgoračkom polju. Često je prskanje prekomjerno, tako da su pored Mindela povišene koncentracije Cu utvrđene i u izvoru Staševica.

Mikrobiološki parametri

Rezultati mikrobioloških parametara u doktorskom radu korišteni su pri karakterizaciji vodonosnika i interpretaciji uzroka sezonalnosti izotopnih vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ na izvoru Mandina mlinica. Provedene analize dokazale su prisutnost ukupnih koliforma u svim uzorcima neobrađene vode, što potvrđuje da se radi o recentnim fekalnim zagađenjima, pošto bakterija *Escherichia coli* ne može dugo preživjeti izvan ljudskog organizma, a njezina prisutnost se smatra najtočnijim i najspecifičnijim mikrobiološkim indikatorom kakvoće pitke vode. Koliformne bakterije pouzdani su sanitarni indikatori fekalnih zagađenja te indikatori dotoka

hranjivih tvari koji potiče procese eutrofikacije (Hunter, 2003). Povišene vrijednosti tijekom visokih voda jasan su pokazatelj brzog odgovora sustava na oborine, a posljedično i na onečišćenje. Kontinuirani razvoj poljoprivrede s intenzivnijom uporabom mineralnih i prirodnih gnojiva te nedostatak kanalizacijskih sustava dovode do povećanja rizika od onečišćenja cijelog sustava. Rezultati analize upućuju i na to da ovaj hidrogeološki sustav obilježava izrazita okršenost vodonosnika kroz koji veliki dio vode relativno brzo struji privilegiranim tokovima kroz velike pukotine i kanale. Whang & Zhang (2019) su prikazali rezultate vrijednosti stabilnih izotopa sumpora 34 uzoraka različitih kanalizacijskih voda, pri čemu su dobivene vrijednosti između 5‰ i 10‰, vrijednosti gnojiva su između 0‰ i 9‰, a deterđženata između -2‰ i 12‰ (Slika 95). U slučaju da dođe do miješanja vode s djelomično onečišćenom vodom, na temelju ovih raspona bi se mogle objasniti nešto više vrijednosti stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ u vrijeme visokih voda na većini izvora na istraživanom terenu. Rezultati mikrobioloških parametara poslužili su i kao temelj pri tumačenju vrijednosti izotopa $\delta^{34}\text{S}$ izvora Mandina mlinica u hidrološkom minimumu. Kako ukupni koliformi razmjerno kratko preživljavaju u moru, njihova prisutnost ukazuje na svježije onečišćenje fekalnim materijalom ili zemljom, tako da se rezultati viših vrijednosti težeg izotopa sumpora kod izvora Mandina mlinica ne mogu pripisati onečišćenju već su vjerojatno posljedica miješanja s morem. Rezultati u hidrološkom maksimumu na istom izvoru odgovaraju rezultatima kod drugih analiziranih izvorskih voda, što upućuju na veći protok slatke vode iz zaleđa kako je dokazano i trasiranjem provedenim u sklopu izrade ovog doktorskog rada. Međutim, važno je istaknuti kako do sad istražene vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ oborine neposredno uz obalu Sredozemnog mora u Izraelu pokazuju nešto više $\delta^{34}\text{S}$ (10,6‰, 11,8‰, 13,8‰ i 15,3‰) vrijednosti od postaja koje se nalaze u unutrašnjosti te zemlje, koje imaju niže vrijednosti velikog raspona (od 1,6 do 9,8‰) (Herut et al., 1995). Zaključno, na izvor Mandina mlinica veliki utjecaj ima dotok vode iz zaleđa, ali i blizina mora, te je za točnije tumačenje rezultata $\delta^{34}\text{S}$ važno istodobno mjeriti i $\delta^{18}\text{O}$ iz sulfata te uključiti i mjerenja vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ iz oborine, kako u unutrašnjosti tako i uz obalu.



Slika 95. Usporedba vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ iz sulfata iz različitih izvora (Whang & Zhang, 2019). Broj uzoraka (n): oborine = 264, kanalizacija = 38, zemlja = 49, gnojivo = 115, evaporiti = 264, sulfidi = 118, deterdženti = 41, ugljen = 100 i ocean = 28.

Statističke analize

Pri analizama hidrogeokemijskih podataka, korištene su klaster i faktorska metoda, kako bi se pojednostavilo tumačenje fizikalno-kemijskih parametara i osnovnih iona u vodi hrvatskog krša (Peh, 1990a, 1990b, 1992; Terzić et al., 2006, 2010; Lukač Reberski, 2011; Borović et al., 2019). Dobiveni rezultati mogu se usporediti s rezultatima dobivenim u sklopu hidrogeoloških istraživanja krških otoka Jadranskog mora (Terzić, 2006; Terzić et al., 2010; Borović et al., 2019). U svim dosadašnjim istraživanjima, kao i na istraživanom području južne Dalmacije i zapadne Hercegovine, klusterska analiza ukazuje na postojanje dva glavna klastera, morskog i litogeokemijskog. Klasteri se u nekoj mjeri preklapaju s rezultatima faktorske analize kojom je sugerirana podjela sustava na tri glavna procesa (Tablica 11).

Morski klaster i **F1 – morsko-sulfatni faktor** rezultat su blizine mora i prodora morske vode u priobalne izvore, a u određenoj mjeri i u Baćinska jezera. Posebice se to odnosi na jezero Crniševo kod kojega je u dubljim dijelovima utvrđena veza s morem, pa su i sulfatni ioni podrijetlom iz morske vode. Litogeokemijski klaster zajedno s **F2 – otapanje karbonata** ukazuje na otapanje karbonata (vapnenaca i dolomita), a u nešto manjoj mjeri i evaporitnih stijena, ponajviše gipsa, što je i potvrđeno izračunom indeksa zasićenosti. Pritom je važno spomenuti i otapanje nitratnih iona izrazito niskih koncentracija, koji se otapaju u sušnijem dijelu godine, a u vodu dolazi ispiranjem tla i epikrške zone. Nitrate također treba zasebno analizirati, za svaku lokaciju opažanja, kako bi se rastumačilo njihovo podrijetlo i mogući antropogeni utjecaj (poljoprivredne aktivnosti) na pojedine izvore. Nadalje, važno je istaknuti kako je u području južne Dalmacije i zapadne Hercegovine utvrđeno i vjerojatno otapanje

evaporitnih stijena, za razliku od prethodnih istraživanja hrvatskog krša u kojima ovaj faktor nije istaknut (Terzić, 2006; Terzić et al., 2010; Borović et al., 2019). **F3 – faktor utjecaja temperature** zastupljen je u puno manjem opsegu od prva dva, a ukazuje na biološke procese koji se odvijaju u vodi, a važni su prilikom odvijanja svih kemijskih reakcija koje uzrokuju različito miješanje vode a time i različite vrijednosti izotopnog sastava i sastava osnovnih aniona i kationa kroz godinu. Zadnji faktor izrazito je važan prilikom tumačenja koncentracija elemenata u tragovima (metala) (Brown et al., 2018) i otapanja evaporita u različitim hidrološkim razdobljima.

Faktorska analiza pojedinačnih izvora (Prilog 4) upućuje na to, kako je kod većine izvora F2 dominantan, osim kod priobalnog izvora Mandina mlinica i izvora Mindel, gdje je dominantan F1. F3 je prisutan je kod svih izvora. Općenito se može zaključiti kako je utjecaj prodora slane vode pojačan u vrijeme niskih voda, dok je otapanje vapnenca i evaporita stalno prisutno, no pojačano u vrijeme visokih voda (Terzić, 2006).

6.2. Određivanje hidrogeoloških parametara vodonosnika za potrebe tumačenja stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ i delineacije slijevnog područja

Glavna značajka krških vodonosnika južne Dalmacije i zapadne Hercegovine je dominacija velikih kanala i pukotinskih sustava kroz koje teče voda. U tom području voda teče površinskim tokovima, ponire te se ponovo pojavljuje u obliku izvora, nerijetko velike izdašnosti (sa srednjim godišnjim protokama od 1,5 do maksimalnih 10 m³/s na većim izvorima – Klokunu 1, Butini, Modrom oku, Vrioštici, Vrelu Tihaljine, Prudu, Opačcu i Klokunu 2). S obzirom na izrazito tanki pokrov ili ogoljenost terena te tektonsku poremećenost i okršenost stijena, oborina se infiltrira u podzemlje izrazito brzo, što rezultira oštrim vrhovima hidrograma koji vrlo malo kasne za oborinom (Kogovšek, 1981; White 2002). Izvorska se voda vrlo kratko zadržava u vodonosniku (osobito brza komponenta hidrograma) i brzo struji kroz sustav, što rezultira naglim promjenama protoka u vremenu (Bonacci, 2013). Značajke izvorske vode rezultat su miješanja starije podzemne vode i mlađe vode s površine. Međudjelovanje podzemnih voda sa stijenama u kojima se nalaze, kao i značajke izvora, predstavljaju osnovu za razumijevanje njihova nastanka. No, uz dinamičke karakteristike vodonosnika važno je u isto vrijeme pratiti i hidrogeokemiju vode koja istječe iz krških izvora, jer ona prikazuje „otisak“ svega što se događa uzvodno u vodonosniku (White, 2002). U kompleksnim krškim sustavima, uključujući interakciju površinske vode sa sustavima podzemnih voda, kao i brojnim antropogenim utjecajima, što je karakteristika istraživanog područja, neophodno je uspostaviti praćenje što

većeg broja parametara (Li et al., 2016) kako bi došli do što točnijih zaključaka o funkcioniranju slijeva južne Dalmacije i zapadne Hercegovine. Međusobne razlike među izvorima, iako vrlo male, mogu poslužiti kao temelj za odjeljivanje sljevova. Prilikom analize dinamičkih svojstava šireg sustava korišteni su radovi u kojima su provedene dinamičke analize šireg područja zapadnohercegovačkih izvora (Antunović, 2007, 2011, 2012, 2018) te izvora Opačac koji se nalazi u sjeverozapadnom dijelu slijevnog sustava (Ivičić, 1995; Tomić, 2015).

Prilikom istraživanja izvora i površinskih voda južne Dalmacije i zapadne Hercegovine bilo je izrazito teško doći do podataka o protocima i količinama oborina iz susjedne Bosne i Hercegovine. Analiza u hrvatskom dijelu slijeva uključivala je terenska mjerenja razine, EC i temperature automatskim mjeračima te protoka (tijekom 2014.godine) i prikupljanje mjerenih parametara protoka i količine oborina od DHMZ-a. No kako bi se napravila usporedba s mjerenim parametrima u zapadnoj Hercegovini, prikupljenim od Agencije za vodno područje Jadranskog mora – Mostar, napravljena je analiza recesijskog dijela hidrograma i vremenskih serija dostupnog, nešto kraćeg trogodišnjeg razdoblja (1.1.2012.-31.12.2014.). Protočne krivulje su analizirane za nekoliko mjesta opažanja površinskih tokova i izvora za koje su podaci bili dostupni. U zapadnohercegovačkom dijelu istraživanog slijeva analizirani su površinski tokovi na lokalitetu Klobuk, neposredno ispod izvora Klokun 2 te Humac na rijeci Trebižat–Mlade–Tihaljina, dok su južnodalmatinskom dijelu slijeva analizirani izvori Klokun 1, Prud i Modro oko.

Usporedbom koeficijenata recesije prikazanih u Tablici 18, vidljivo je kako u sustavu dominiraju 2 procesa: brzo dreniranje kroz pukotine i kanale većih dimenzija te nešto sporije otjecanje kroz pukotinske sustave manjih dimenzija unutar stijenske mase (Giacopetti et al., 2016, 2017; Posavec et al., 2017). Koeficijent recesije izvora Modro oko sličan je koeficijentu recesije izvora Prud, što je s obzirom na veliko područje prihranjivanja i smještaj izvora očekivano. Ipak, ako se promatra samo jedan parametar, u ovom slučaju koeficijent recesije, može se donijeti pogrešan zaključak, jer svi ostali hidrogeokemijski parametri ukazuju na značajke vrlo slične izvoru Klokun 1. Zato je pri istraživanju krških slijevnih sustava neophodno primijeniti što više metoda kako bi se sustav što točnije rastumačio, odnosno kako bi se što više umanjio utjecaj mogućih interpretacijskih višeznačnosti koje postoje kod svake metode istraživanja prirodnih sustava.

U sklopu provedenog istraživanja pomoću krivulje recesije dobiven je volumen ukupne uskladištene količine vode (Tablica 15) koja se gravitacijski drenira iz vodonosnika. Iako dobiveni volumeni predstavljaju različite dijelove vodonosnika i prema tome nisu izravno

usporedivi njihovim se preklapanjem dobivaju bolje informacije o građi vodonosnika (Krešić, 1997). Procijenjeni volumeni, tj. ukupna količina vode koja je u sustavu, jasno koreliraju s hidrološkim uvjetima i ukazuju veličinu područja prihranjivanja (Krešić, 1997; Grasso & Jeannin, 2002; Birk et al., 2004; Einsiedl, 2005; Stroj, 2010; Paar et al., 2019). Vidljiva je razlika između volumena izvora Klokun i Modro oko i očekivano većih volumena sustava izvora Prud i izvora u zapadnoj Hercegovini koji se nalaze duž rijeke Trebižat–Mlade–Tihaljina. Najveći ukupni volumeni utvrđeni su kod izvora Prud te na mjernim postajama Klobuk i Humac na rijeci Trebižat–Mlade–Tihaljina, a najmanji je volumen izvora Klokun 1. Vrijednost volumena izvora Modro oko je između Klokuna 1 i Pruda. Kod izvora Prud je uskladištenje u manjim pukotinama za jedan ili dva reda veličine veće od uskladištenja u velikim pukotinama i kanalima kao što je slučaj kod izvora Klokun 1. Prud ima puno veće slijevno područje, koje seže u veliki dio zapadne Hercegovine, uz dominantno uskladištenje u epikrškoj zoni, u sitnijim porama i pukotinama, voda se duže procjeđuje do vodonosnika i izrazitije se homogenizira (što se može zaključiti prema fizikalno-kemijskim parametrima), a sustav je stalno saturiran vodom pa dolazi i do brze reakcije na oborine (što pokazuje kroskorelacijska analiza). S druge strane Klokun 1 ima puno manje područje prihranjivanja, s dominacijom velikih kanala i pukotinskih sustava te je potrebno puno oborine kako bi se sustav napunio i reagirao, a drugi fizikalno-kemijski parametri, poput temperature imaju velike oscilacije, jer se ne stignu homogenizirati zbog kratkog zadržavanja u podzemlju.

Tablica 15. Vrijednosti koeficijenata recesije i determinacije na promatranim izvorima.

Koeficijent	Klokun	Klobuk	Humac	Prud	Modro oko
α_r	0,078	0,085	0,078	0,02	0,03
R^2	0,97	0,95	0,97	0,91	0,94
V (km ³)	0,0013	0,014	0,023	0,014	0,006

Metodom kroskorelacije utvrđeno je vremensko zaostajanje protoka između analiziranih izvora u južnoj Dalmaciji. S obzirom na tako male razlike slijev se može podijeliti na utjecajne površine, no i dalje je jasno kako se radi o jednom slijevnom sustavu u kojem voda u različitim hidrološkim uvjetima često prelazi međusobne granice. Stoga se i korištenjem ove metode dolazi do potvrde hipoteze kako se granice utjecajnih površina ne bi trebale nazivati razvodnicama, ali njihovo približno utvrđivanje je ipak potrebno radi kvalitetnije konceptualizacije cjelokupne površine. Usporedbom mjerenih podataka na lokacijama Humac i Klobuk utvrđeno je da nema kašnjenja između ta dva izvora te su oni dio jednog zasebnog

podsljeva. Kroskorelacijskom analizom oborina i protoka potvrđena je brza reakcija sustava na oborine. Kod izvora Prud reakcija jedan dan, mjernih postaja Humac i Klobuk na rijeci Trebižat–Mlade–Tihaljina dva dana, dok kod izvora Klokun 1 iznosi pet dana. Na taj način ova analiza uz analizu kemograma i hidrograma za izvor Klokun 1 i Prud ukazuje kako kod izvora Klokun 1 dominira kanalni tok, dok kod izvora Prud sporije dreniranje ukazuje na dominaciju pukotinskih sustava nad kontinuiranim krškim kanalima. Treba naglasiti kako je slijev izvora Prud dosta veći od slijeva izvora Klokun 1 pa su takve razlike i očekivane. Nadalje, koeficijent recesije na postajama Klobuk i Humac ukazuje na dominaciju velikih kanala i veće područje prihranjivanja, što je i razlog kašnjenja oborine za protokom od dva dana.

Navedeni parametri ukazuju na postojanje tri osnovna tipa izvora u istraživanom hidrogeološkom sustavu:

- 1) Izvori na kojima je utvrđena dominacija velikih pukotina kroz koje voda izrazito brzo teče, tako da je potrebna veća količina oborina da bi se vodonosnik napunio i relativno brzo reagirao na oborine. U ovu skupinu ulaze izvori u priobalnom području, te izvori uz Baćinska jezera – Klokun 1 i Modro oko.
- 2) Izvori na kojima je podjednaka zastupljenost velikih pukotinskih sustava kroz koji voda brzo teče i strujanja kroz stijensku masu i dijelom vjerojatno plitku epikršku zonu. S obzirom na nešto veće područje prihranjivanja, ovisno o hidrološkim uvjetima, dio vode struji kroz gornji dio vodonosnika, posebno u vrijeme visokih voda. Ovoj skupini pripada većina izvora u zapadnohercegovačkom dijelu slijeva i izvori u unutrašnjosti južnodalmatinskog dijela slijeva.
- 3) Izvori na kojima je pretpostavljena dominacija toka kroz pukotinske sustave unutar stijenske mase i nešto sporije dreniranje vodonosnika kroz cijelu godinu. Reakcija takvih sustava na oborine je brza s obzirom na to da je sustav saturiran vodom kroz cijelu godinu, kao što je slučaj kod izvora Prud.

Predložena podjela objašnjava i povišene koncentracije sulfatnih iona u hidrološkom minimumu na većini izvora te mjerene rezultate koncentracija stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ kod kojih je u niskim vodama prisutna dominacija nešto težih izotopa. Miješanje vode u vodonosniku s oborinom, brzo otapanje gipsa i brza reakcija izvora na oborine razlog su ovakvih značajnih sezonskih varijacija.

Iako su Baćinska jezera slatkovodna, analiza automatskih mjerača postavljenih u Baćinskim jezerima potvrdila je kako prodor morske vode u jezeru Crniševo utječe na EC. Miješanje s morskom vodom zabilježeno je u dubljim horizontima koji su stalno zaslanjeni, a

bočata voda u jezero utječe i izvorom Mindel koji se nalazi uz samu obalu jezera Crniševo. Zaslanjenje je prisutno i kod priobalnog izvora Mandina mlinica, ponajviše u ljetnim mjesecima. Na to upućuju i kemijske analize kloridnih iona u vodi čije su vrijednosti na jezerima velikog raspona i sežu od 4 do 900 mg/L. Zbog velike dubine jezero Crniševo je u geološkoj prošlosti (Miko et al., 2015) u vrijeme nižih eustatskih razina tijekom posljednje oledbe, do prije desetak tisuća godina, vjerojatno predstavljalo glavnu ponornu zonu ove depresije, a kroz te ponore danas je vjerojatan dotok bočate vode u jezero. Na točkama opažanja Tunel T2 i T3 vidljiva je jako dobra korelacija razina jezera s plimom i osekom, što upućuje na utjecaj mora na režim Baćinskih jezera. Na Mandinoj mlinici prodor mora u vodonosnik je manje izražen tijekom hidroloških maksimuma, kada je i dotok vode iz zaleđa veći, što je dodatno potvrđeno analizom stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ i trasiranjem kojim je dokazana veza s ovim izvorom i izvorom u Tunelu T2 iz Vrgoračkog polja. Ova zona, na koju je jasno vidljiv utjecaj mora, izdvojena je kao zaseban podslijev, no treba istaknuti kako u određenim hidrološkim uvjetima dio podslijeva dobiva vodu iz zone iznad (podslijeva Klokun 1 i Modro oko).

6.3. Simultano trasiranje umjetnim traserima natrijevim fluoresceinom (uranin) i natrijevim naftionatom u području Vrgoračkog polja

Trasiranja ponora, velikih pukotinskih sustava ili špilja, uz razmatranje strukturnih i litoloških karakteristika terena, preduvjet su delineacije slijevničkih sustava pojedinog ili grupe izvora (White, 2002). Krivulja koncentracije trasera pokazatelj je vremena putovanja vode od mjesta ubrizgavanja boje do mjesta istjecanja, tj. izvora, pa se uz delineaciju trasiranje koristi i prigodom određivanja smjerova i brzine vode koja prolazi kroz vodonosnik (Palmer, 2010). Oblik krivulje koncentracije trasera daje uvid i u karakteristike vodonosnika (Benischke et al., 2007). Ako se radi o samo jednom vrhu krivulje, to sugerira na pronos boje kroz jedan veliki kanal, a ako se radi o nekoliko vrhova krivulje, pretpostavka je kako boja prolazi višestrukim kanalima. Nadalje, spontani nestanak i pojava trasera, zbog privremenog uskladištenja uz promjenjive protoke, vjerojatni je uzrok iznenađujućeg nestanka ili naizgled neobičnog izgleda krivulje (Benischke et al., 2007). Provedeno simultano trasiranje u Vrgoračkom polju, poput većine trasiranja u kršu, rezultiralo je krivuljama koncentracije trasera s više ili manje izraženim vrhovima i produljenim silaznim dijelom krivulja (Frangen, 2013), tako da se obzirom na velike brzine toka može zaključiti kako se u ovom slučaju radi o dobro razvijenim krškim vodonosnicima s prohodnim kanalima (Smart, 1988; Käss, 1998; Benischke et al., 2007). Rezultati provedenog simultanog trasiranja ukazali su na izrazito brze reakcije sustava na

oborine, osobito kod izvora Klokun 1 za koji su do sada bili raspoloživi podaci o znatno manjim brzinama (Ivičić & Pavičić, 1996 i 1997). Dobiveni rezultati su poslužili kao baza za odjeljivanje slijeva izvora Klokun 1 i neposredne okolice Baćinskih jezera te mogu poslužiti kao temelj za određivanje zona sanitarne zaštite tog područja. Nadalje, uz sve ostale rezultate provedenih istraživanja na izvoru Klokun 1 jasno je kako je dominacija velikih pukotinskih sustava glavna karakteristika ovog izvora. Vrlo brze veze ostvarene su i prema Baćinskim jezerima tj. lokacijama mjerenja na izvoru u Tunelu T2, izvoru Oćuša i izvoru Mandina mlinica. Ti su rezultati osobito važni pri tumačenju različitih vrijednosti izotopa $\delta^{34}\text{S}$ u izvoru Mandina mlinica, pri čemu je uočena dominacija težih izotopa u hidrološkom minimumu što ukazuje na veći doprinos težih izotopa iz morske vode, dok vrijednost lakših izotopa u hidrološkom maksimumu ukazuju na veliki doprinos slatke vode iz vodonosnika.

6.4. Delineacija slijevnog sustava južne Dalmacije i zapadne Hercegovine korištenjem prirodnih i umjetnih trasera

Kartiranje podzemnih i površinskih izvora te istraživanje njihovih hidrogeoloških značajki vrlo je važno za očuvanje krških vodnih resursa (Kačaroğlu, 1999; La Vigna et al., 2016). Na hidrogeološkim kartama grafički se prikazuju najvažniji podaci o podzemnim vodama nekoga područja te njihovoj interakciji s površinskim tokovima. Izrada hidrogeološke karte uključuje analizu postojećih prostornih podataka i to najčešće topografskih, hidrografskih, morfoloških, geoloških, podataka o izvorima, trasiranjima, prethodno određenim zonama sanitarne zaštite, itd. Na taj se način dobiva uvid u glavna svojstva vodonosnika istraživanog područja. Izrada konceptualnih modela hidrogeoloških sustava često je važan korak u izučavanju ovakvih prirodnih sustava, pogotovo onih čiji su vodonosnici izrazito anizotropni i heterogeni. Bonacci (1999) je predložio konceptualni model karakterizacije slijevnih granica i naznačio njihovu varijabilnost u ovisnosti o uvjetima tečenja, uzimajući u obzir strukturnu geologiju kao podlogu. Pri izradi modela znanstvenici interpretiraju dostupne informacije dobivene na temelju što više različitih metoda istraživanja uz korištenje optimalnog seta pretpostavki (Rushton, 2003; Brassington & Younger, 2010). Delineacija podsljevova ili utjecajnih površina te određivanje glavnih smjerova tečenja koji napajaju jedan ili više slijevnih sustava, neki su od ključnih uvjeta pri karakterizaciji svakog krškog slijevnog područja (Goldscheider & Drew, 2007; Brkić & Briški, 2018). Granice slijeva neophodne su za raznovrsne hidrogeološke analize poput određivanja zaliha podzemnih voda, izrade karata ranjivosti ili karata poplavnih hazarda, izračuna vodne bilance, itd. Delineacija krških sustava najčešće se temelji na interpretaciji

rezultata različitih istraživačkih metoda poput trasiranja, analiza hidrograma ili geofizičkih metoda (Malard et al., 2015). I danas su umjetna i prirodna trasiranja najučinkovitija metoda pri delineaciji regionalnih krških sljevova i podsljevova (Käss, 1998; Meiman et al., 2001). No, svakako je važno naglasiti kako interpretacija krških vodonosnika u najvećoj mjeri ovisi o geološkoj građi istraživanog područja.

Granice određene tijekom izrade raspoloživih elaborata zona sanitarne zaštite i provedenih trasiranja pomno su analizirane i prenesene na hidrogeološku kartu (Prilog 5). Budući da je tijekom suradnje hidrogeologa s hidrolozima dobro i kvantificirati iscrtane granice ovisno o hidrološkim uvjetima, u ovom su doktorskom radu korišteni i podaci procjene globalne vodne bilance u obliku prostorne raspodjele srednjih godišnjih vrijednosti za 30-godišnje vremensko razdoblje, referentni klimatološki niz za razdoblje 1961.–1990. godine (Zaninović et al., 2004, 2008) napravljene pri izradi elaborata „Hidrogeološka istraživanja Baćinskih jezera“ (Terzić et al., 2015). U preuzetoj vodnoj bilanci iz navedenog hidrogeološkog elaborata korišteni su modificirani empirijski modeli Turca (1954) i Langbeina (1962) razvijeni za primjenu u GIS okruženju (Horvat & Rubinić, 2006). Osnovni klimatološki elementi izdvojenih sljevova i srednje godišnje vrijednosti protoka slijevnih cjelina prema Terziću et al. (2015) prikazane su u Tablicama 16 i 17 i ti podaci su korišteni prilikom delineacije slijeva za potrebe dokorskog rada.

Tablica 16. Osnovni klimatološki elementi izdvojenih sljevova (1961.–1990.) prema Terzić et al. (2015).

PODSLJJEV		Površina	Sr. god. temperatura zraka	God. količine oborina (mm)
		(km ²)	(°C)	
Mostarsko blato	1a	249,6	14,6	1496,0
	1b	358,8	12,9	1396,1
Trebižat–Mlade–Tihaljina	2a	712,0	10,7	1665,9
	2b	179,1	12,7	1394,9
Opačac	3	176,2	10,5	1414,0
Prud – neposredni	4	93,6	11,8	1479,6
Klokun 1–Modro oko	5	451,4	12,6	1699,6
Baćinska jezera–Mandina mlinica	6	98,4	9,3	1507,7

Tablica 17. Srednje godišnje vrijednosti protoka razmatranih slijevnih cjelina na temelju bilančnih procjena (1961.–1990.) prema Terzić et al. (2015).

PODSLJIJEV		Specifični protoci (m ³ /s/km ²)		Ukupni protoci (m ³ /s)	
		Turc	Langbein	Turc	Langbein
Mostarsko blato	1a	0,02803	0,02312	7,00	5,77
	1b	0,03342	0,0277	11,99	9,94
Trebižat–Mlade–Tihaljina	2a	0,02708	0,02191	19,28	15,60
	2b	0,03071	0,02495	5,50	4,47
Opačac	3	0,02695	0,02193	4,75	3,86
Prud – neposredni	4	0,0242	0,01949	2,26	1,82
Klokun 1–Modro oko	5	0,02608	0,02109	11,77	9,52
Baćinska jezera–Mandina mlinica	6	0,02363	0,01892	2,33	1,86

U elaboratu koji su izradili Terzić et al. (2015) navedeno je kako je prema izračunu vodne bilance na području južne Dalmacije otjecanje najviše u sjeveroistočnim dijelovima terena gdje su i oborine najviše, tj. na višim nadmorskim visinama (mjestimice premašuje i 0,050 m³/s/km²). Prisutne su i razlike u rezultatima dobivenim dvjema primijenjenim metodama najmanje (uglavnom 10–20 %). U priobalnim dijelovima površinski otječe manje od 0,010 m³/s/km², a rezultati Turcove metode veći su od otjecanja dobivenog primjenom Langbeinove metode za 20–30 %. No, radi se o prostoru izvan granica analiziranih slijevnih područja, tako da se stvarne razlike rezultata procjena dobivenih na temelju spomenutih metoda bitno manje, uglavnom u rasponu 10–20 %.

Na temelju prethodno prikazanih podataka odijeljeno je šest podsljevova ili utjecajnih površina s kojih se vode površinski i/ili podzemno kreću u više smjerova, a dva podsljevova su dodatno podijeljena u još po dvije cjeline, budući da se u uvjetima hidrogeoloških maksimuma i minimuma može odijeliti otjecanje koje je većim dijelom lokalizirano unutar podsljevova (Tablica 18). Prikazane površine u tablici 18 dobivene su izračunom površine delineiranih slijevnih površina prikazanih na Prilogu 5 u ArcGIS okruženju. Pritom je uveden i termin *utjecajna površina* koji bi mogao biti prikladniji za opis velikih hidrogeoloških krških sustava. Naime izraz slijev ili podsljiev na određeni način zahtijeva razvodnicu kao svoju granicu. Budući da preko takvih granica mjestimice postoje dokazani podzemni i površinski tokovi, takav je naziv neprikladan, tako da je bolje govoriti o granici utjecajne površine koja može biti, ali i ne mora, razvodnica bilo koje vrste.

Tablica 18. Podsljevovi područja južne Dalmacije i zapadne Hercegovine.

Oznaka	Naziv	Površina (km ²)
1a	Slijev Mostarskog blata – zapad	249,65
1b	Slijev Mostarskog blata – istok	358,84
2a	Slijev Trebižat–Mlade–Tihaljina – zapad	688,47
2b	Slijev Trebižat–Mlade–Tihaljina – istok	179,13
3	Neposredni slijev izvora Prud	93,58
4	Slijev izvora Klokun 1 i Modro oko	449,21
5	Neposredni slijev Mandine mlinice i Baćinskih jezera	100,12
6	Slijev izvora Opačac	176,22

Na hidrogeološkoj karti područja (Prilog 5) dominiraju karbonatne stijene, većinom vapnenačke, srednje ili visoke propusnosti. To jasno ukazuje na činjenicu kako je riječ o poroznom, okršenom i generalno otvorenom području u koje se vode lako i brzo infiltriraju (u visokom postotku) te kroz koji relativno brzo teku (pogotovo po privilegiranim smjerovima, povezanim krškim kanalima, pukotinskim i rasjednim zonama). U dosadašnjim istraživanjima ovaj je veliki krški slijev prikazivan jedinstveno, a kada bi se radila istraživanja za pojedina izvorišta, sljevovi bi se u velikoj mjeri preklapali. Tome je pridonijela i činjenica kako se radi o sustavu koji se nalazi u dvije države, tako da su istraživanja često provedena bez uključivanja hidrogeologa i analiziranja hidrogeoloških istraživanja iz susjedne države.

Sljevne granice kompleksnog krškog sustava južne Dalmacije i zapadne Hercegovine

U ovom radu prikazane razvodnice, ali i granice utjecajnih površina, su najvećim dijelom zonalne. To znači da one mijenjaju svoj položaj u prostoru, ovisno o hidrološkim uvjetima. Vanjske konture regionalno razmatranog prostora kreću se otprilike od mjesta gdje podbiokovska flišna barijera dodiruje more, južno od Gradca i u blizini Mandine mlinice. Ta prva razvodnica, kontakt fliša i karbonata, zapravo je gotovo jedino mjesto gdje razvodnica nije zonalna nego prati geološki, reverzni rasjedni kontakt, sve do zaleđa Makarske, odakle skreće na sjever približno do Imotskog kao zonalna razvodnica, gdje zaokružuje neposredni slijev Opačca u kontinuitetu karbonatnih okršanih stijena (sa znatno manje flišnih naslaga). Nakon toga, prema istoku se zonalnom razvodnicom zaokružuje polje Rakitno, već vrlo duboko u Bosni i Hercegovini, kao najperiferniji dio slijeva izvora Prud, a moguće i južnije zone istjecanja. Iz Rakitnog je bojenjem dokazana veza s vrelom Lištice, ali i s južnijim izvorima u dolini Trebižat–Mlade–Tihaljina, odakle je opet trasiranjima jasno dokazana veza s dalmatinskim izvorima (Slišković, 2014). Istočno od Rakitnog razvodnica prati masiv planine

Čabulje (gdje je više morfološkog nego zonarnog karaktera, zbog slabije propusnosti većine stijena). Negdje u tom dijelu terena, novom „poprečnom“ zonarnom razvodnicom presječen je slijev Mostarskog blata pa dalje i Trebižata. Inače veliki dio voda površinski teče od Lištice preko Mostarskog blata i tzv. rijeke s osam imena (Ričina, Suvaja, Sija, Vrljika–Matica, Tihaljina, Sita, Mlade i Trebižat) koja opetovano izvire, ponire i ponovno se pojavljuje (Bonacci et al., 2013), u izrazito krškim uvjetima ispreplitanja površinskih i podzemnih tokova, prema samoj Neretvi.

Pojedine grupirane slijevne cjeline prikazane su na hidrogeološkoj karti (Prilog 5). Vidljivo je kako je za neke vodotoke (Trebižat–Mlade–Tihaljina) dana detaljnija raščlamba pojedinih slijevnih cjelina unutar slijeva tog vodnog tijela, a neki su slijevovi (Baćinska jezera s izvorom Mandina mlinica te Klokun 1 s izvorom Modro oko) označeni kao jedinstveni², jer se njihovi parcijalni slijevovi ne mogu hidrogeološki izdiferencirati. U tom hidrološkom sustavu djeluje niz krških polja, vodotoka pa i hidrotehničkih tunela koji međusobno povezuju pojedine slijevove i vodonosnike, komplicirajući tako dodatno prirodnu kršku hidrografiju.

Hidrogeološki opis osam utjecajnih površina, odnosno šest podslijevova i dvije dodatne zone podjele slijevova Mostarsko blato i Trebižat–Mlade–Tihaljina, je prikazan u nastavku.

Ia – Mostarsko blato – zapad

Utjecajna površina Mostarsko blato – zapad obuhvaća dio slijeva Mostarskog blata od polja Rakitno do planine Čabulje. Taj periferni dio sustava prema nekim starijim trasiranjima ima podzemno-vodnu vezu prema južnom nižem dijelu terena, odnosno sljedećoj nižoj morfološkoj stepenici, slijevu Trebižat–Mlade–Tihaljina. Veći dio voda s ovog područja ipak se drenira prema istoku – prvo izvoru Borak, pa dalje površinski, a dijelom i podzemno prema Neretvi. Koncept takvog podzemno-površinskog tečenja prikazan je profilom na Slici 111. Teren je pretežito izgrađen od karbonatnih stijena, a geološke strukture su SZ–JI pružanja. Strujanje podzemnih voda događa se paralelno strukturama, ali manjim dijelom i poprečno/dijagonalno. Ovdje je trasiranjima dokazana veza s izvorom Borak koji pripada utjecajnoj površini Mostarsko blato – istok (Slišković, 2014). Rezultati fizikalno-kemijskih parametara izvora Borak ukazuju kako se radi o hladnoj vodi dobro zasićenoj kisikom. To jasno ukazuje kako je područje prihranjivanja izvora Borak podslijev Mostarsko blato – zapad, koji se nalazi na najvećoj nadmorskoj visini. Veza s izvorima Vrioštica i Klokun 2 dokazana je trasiranjem (Antunović, 2018). Budući da su rezultati $\delta^{34}\text{S}$ iz sulfata sva tri izvora slični, a ova je utjecajna površina i najsjevernija i najbliža poznatim izdancima evaporita, moguće je kako se dio vode

koji dolazi do ovih izvora obogaćuje kontaktom s evaporitnim stijenama u neposrednoj blizini ili u samom slijevnom području.

1b – Mostarsko blato – istok

Utjecajna površina Mostarsko blato – istok izdvojena je, jer predstavlja područje s kojega se ni u kakvim hidrološkim uvjetima ne očekuje veza s razmatranom zonom istjecanja u južnodalmatinskom dijelu slijeva, budući da zahvaća polje Mostarsko blato i teren do rijeke Neretve prema kojoj gravitiraju sve vode ove utjecajne površine. Tom podslijevu pripada i izvor Borak čije je područje napajanja pretežito na velikim nadmorskim visinama utjecajne površine Mostarsko blato – zapad, što je potvrđeno rezultatima temperature voda izvora, te rezultatima stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ koji pokazuju najniže vrijednosti u usporedbi s drugim opažanim lokacijama. U različitim hidrološkim uvjetima povremeno se pojavljuju povećane vrijednosti EC na koju utječu koncentracije sulfata, što je vjerojatno posljedica otapanja evaporitnih stijena u podzemlju, što potvrđuju i rezultati analize stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ iz sulfata.

2a – Trebižat–Mlade–Tihaljina – zapad

Utjecajna površina Trebižat–Mlade–Tihaljina – zapad nazvana je po tri rijeke, jer zahvaća prostrano područje s više naziva iste rijeke, koje se mijenjaju ovisno o literaturi. Različita imena te rijeke su: Ričina, Suvaja, Sija, Vrljika–Matica, Tihaljina, Sita, Mlade i Trebižat (Bonacci et al., 2013). Vode koje se u krški teren infiltriraju u tom području, u velikoj se mjeri dreniraju prema južnim stepenicama i značajno utječu na podzemne vode kako područja Vrgorca, tako i najjužnije zone istjecanja uključujući Baćinska jezera. Površinske vode navedenim višeimenim rijekama struje prema Neretvi, a u području prije vodopada Kravice nalazi se čitav niz ponornih zona u samome koritu rijeke Trebižat (s pretežitim podzemnim tokom prema izvoru Prud).

Ovom podslijevu pripadaju izvori Klokun 2, Vrelo Tihaljine i Vrioštica čije hidrogeokemijske vrijednosti ukazuju kako se radi o hladnim izvorima, dobro zasićenim kisikom, u kojima svi mjereni parametri izrazito malo osciliraju. Na Vrelu Tihaljine nešto su veće oscilacije temperature, no to je očekivano obzirom da se u ljetnim mjesecima uzorkovanje obavlja u plićem dijelu izvora, jer je do špilje u kojoj izvire Tihaljina prilaz nepristupačan, pa se voda zagrijava pod utjecajem vanjske temperature. Dinamičke vrijednosti pak upućuju da se tu radi o izvorima koji imaju veliko područje prihranjivanja i koji brzo reagiraju na oborine (u roku od dva dana), što upućuje na brzu infiltraciju u epikršku zonu te iz nje u sustave većih provodnih kanala koji omogućavaju brzi transport vode. Visoke koncentracije sulfatnih iona te nešto više vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ iz sulfata na izvorima uz Trebižat–Mlade–Tihaljinu jasno ukazuju

na podzemno otapanje evaporitnih naslaga u Hercegovini, što dokazuju i analize izotopa $\delta^{34}\text{S}$ iz sulfata. Povišene koncentracije sulfatnih iona na Prudu, kao i nešto niže koncentracije na drugim točkama opažanja, upućuju na činjenicu kako se vode ovog dijela terena ipak najvećim dijelom podzemno kreću prema Prudu, što je potvrđeno i trasiranjem podzemnih tokova. Ovim istraživanjem, kao i ranijima (Štambuk-Giljanović, 1994) utvrđeno je kako su koncentracije sulfata na Klokunu 1, Modrom oku, pa i Baćinskim jezerima ponekad povišene, što zajedno s rezultatima stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ upućuje na doprinos zapadnohercegovačkih podzemnih voda ovom krajnje južnom dijelu razmatranog terena. No unatoč velikom doprinosu zapadnohercegovačkih voda, prema fizikalno-kemijskim i dinamičkim pokazateljima jasno je kako izvori južnodalmatinskog dijela slijeva pokazuju nešto veće oscilacije hidrogeokemijskih parametara, imaju manja područja prihranjivanja i brža reakciju sustava na oborine itd., što je opravdalo razdjeljivanje ove utjecajne površine od njihovih neposrednih sljevova.

2b – Trebižat–Mlade–Tihaljina – istok

Istočni dio podslijeva Trebižat–Mlade–Tihaljina značajno je manji te se izdvaja, jer vode iz tog dijela terena što površinski, što podzemno struje prema Neretvi i ne očekuje veza sa zonom istjecanja u Dalmaciji.

3 – Opačac

Opis slijevnog područja izvora Opačac preuzet je iz raspoložive literature budući da je to područje bilo predmet mnogobrojnih istraživanja za potrebe diplomskih radova (Tomić, 2015), elaborata (Ivičić, 1995; Terzić et al., 2015) i znanstvenih radova (Željковиć & Kadić, 2015). Imotsko-bekijsko polje u regionalnom pogledu hipsometrijski predstavlja horizont od niza polja koja se od Livanjskog i Duvanjskog polja kaskadno spuštaju prema jugoistoku u smjeru doline i ušća Neretve. Na zapadnom dijelu polja smješteno je nekoliko izvora, među kojima je najznačajniji Opačac, kojim se kao jedinim stalnim izvorom prihranjuje vodotok Vrljika. Prilikom razgraničenja ovog slijevnog sustava korišteni su rezultati analiza osnovnih iona i fizikalno-kemijskih parametara izvora Opačac koji su napravljeni u sklopu doktorskog rada te podaci o protocima i izračunu vodne bilance koji su preuzeti iz prijašnjih radova (Terzić et al., 2015; Tomić, 2015). Prema hidrogeokemijskim parametrima vidljivo je da se izvor Opačac razlikuje od ostalih istraživanih izvora. Fizikalno-kemijski parametri u njemu vrlo malo osciliraju, od čega najmanje EC koja ima gotovo konstantne vrijednosti. Uz izvore Oćuša i Borak to je treći izvor po zasićenosti kisikom. Izvor se izdvaja od drugih lokacija opažanja i po tome što na njemu nije zabilježen utjecaj povišenih koncentracija sulfatnih iona.

Na izvor Opačac utječe i niz građevinskih intervencija kojima se u jednoj mjeri narušio prirodni sustav prihranjivanja. Izvor uzvodnije dobiva i vode iz slijeva povremenog bujičnog vodotoka Ričine, na kojem je izgrađena akumulacija. Nizvodnije Ričina mijenja ime u Suvaja, a u tom je dijelu izgrađena retencija iz koje se samo povremeno ispušta voda za navodnjavanje, a zatim se kanalom Sija dužine 7,2 km ulijeva u Vrljiku. Dotoci Ričinom su smanjeni nakon izgradnje akumulacije Tribistovo u njezinom gornjem toku na teritoriju Bosne i Hercegovine. U prirodnom stanju voda se iz Imotsko-bekijskog polja drenirala na niže horizonte putem niza ponora smještenih u donjem dijelu toka Vrljike, koji se nalaze na prostoru zapadne Hercegovine na kotama od približno 250 m n. m. Nakon izgradnje tunela Pećnik (1951. godine) vode s Imotsko-bekijskog polja teku do blizine izvora rijeke Tihaljine, odnosno do HE Peć Mlini (Smoljan, 1970; Smirčić et al., 1995). U nizvodnijem dijelu toka, po prijvatu voda izvora Klokun 2 u Klobuku, Tihaljina mijenja ime u Mlade. Kompleksnost hidrotehničkih rješenja odvodnje i navodnjavanja tog područja vidi se po tome što se iz Mlade kanalima Parilo i Brza voda prihranjuje vodotok Matica koji protječe poljem Rastok, odakle se putem ponora i tunela voda s Rastok polja drenira u slijev Vrgoračkog polja, a zatim ulaze u prethodno opisanu utjecajnu površinu 2a Trebižat–Mlade–Tihaljina – zapad čije vode dijelom teku dalje prema podslijevu 2b Trebižat–Mlade–Tihaljina –istok i Neretvi, a velikim dijelom iz podsljeva 2a i podzemno prema južnijim utjecajnim površinama sve do zona izviranja, prije svega na izvoru Prud. Prema navedenim podacima jasno je kako se izučavanje značajki slijeva dodatno komplicira obzirom na znatnu povezanost i umreženost navedenog niza izvora, vodotoka i jezera. Prilikom analize ovog područja potrebno je razmotriti širi aspekt, budući da površina slijeva izvora Opačac vjerojatno zauzima i nešto veću površinu od prikazane prema podacima iz literature, tako da bi se mogla dodatno raščlaniti na posebne utjecajne površine što se vidi i prilikom izračuna vodne bilance (Terzić et al., 2015).

4 – Neposredni slijev izvora Prud

Prethodni rezultati analiza vodne bilance (Terzić et al., 2015.) ukazuju kako se jedan dio izvora Prud napaja iz vlastitog slijeva, prema Turcovoju formuli koja daje nešto veće bilančne doprinose i koja se češće koristi u Dinaridskom kršu, dok dio dotoka dolazi iz posrednog slijeva Trebižata–Mlade–Tihaljina. Tu se radi o relativno manjem dijelu krškog terena s kojega se vode podzemno kreću isključivo prema Prudu, što bi svakako budućim istraživanjima trebalo kvantificirati trasiranjem iz krškog polja na najzapadnijem dijelu utjecajne površine. Prema rezultatima svih obavljenih analiza fizikalno-kemijskih i hidroloških značajki te zbog dotoka dijela vode iz zapadne Hercegovine (prema rezultatima povišenih koncentracija sulfata tj. rezultata stabilnih

izotopa $\delta^{34}\text{S}$), izvor Prud se može izdvojiti kao zaseban podsljevni sustav, tj. zasebna utjecajna površina. Fizikalno-kemijske karakteristike jasno ukazuju na nešto manje oscilacije temperature no značajnije oscilacije EC koje u različitim hidrološkim uvjetima ukazuju na povećane koncentracije sulfata, što bi moglo biti posljedica otapanja evaporitnih stijena. To su potvrdili i rezultati analiza $\delta^{34}\text{S}$ čije su vrijednosti slične vrijednostima $\delta^{34}\text{S}$ zapadnohercegovačkih izvora. Ostale hidrogeokemijske analize (osnovni ioni, metali, izotopi $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$, mikrobiološki pokazatelji) ukazuju kako je otapanje vapnenca primarni proces u hidrogeološkom slijevnom sustavu izvora Prud te kako se tu radi o izrazito mladoj vodi. Mikrobiološki parametri uz dinamičke analize ukazuju na brzu reakciju sustava na oborine (jedan dan), pri čemu je utvrđena opća tendencija pogoršanja kakvoće vode i u mikrobiološkom i u kemijskom smislu. Ovi rezultati temelj su za tumačenje rezultata izotopa $\delta^{34}\text{S}$ čije različite vrijednosti ukazuju na miješanje izvorske vode s oborinom i/ili drugim izvorima sumpora (umjetno i prirodno gnojivo, stare i neodržavane septičke jame i kanalizacijski ispusti). Koeficijent recesije i volumen ukazuju kako je područje prihranjivanja izvora veliko te kako je uskladištenje u nešto manjim pukotinama i kanalima glavna karakteristika ovog vodonosnog sustava.

5 – Slijev Klokuna 1 i Modrog oka

Slijev Klokuna 1 i Modrog oka utjecajna je površina dosta jasno odijeljena od sjevernijih morfoloških stepenica iz kojih većina vode teče prema Prudu. Međutim, proučavajući prostorni položaj geoloških struktura, utvrđene hidrogeološke odnose te neka starija trasiranja koja svakako treba uzeti u razmatranje, moguće je ipak očekivati i podzemna dotjecanja iz utjecajne površine 2a – Trebižat–Mlade–Tihaljina – zapad, koja u određenim hidrološkim uvjetima (visoke vode) mogu biti i značajna. Lokalitet Modro oko i današnje jezero Desne bili su dio istog zamočvarenog područja prije provedbe opsežnih regulacija u dolini Neretve 1889. godine, pri čemu su izvedena tehnička rješenja koja su omogućila plovnost brodova do Metkovića (Smoljan, 1970). Hidromelioracijskim radovima u dolini Neretve smanjena je površina jezera hrvatskog dijela delte Neretve s nekadašnjih 1404 ha na 635 ha. Većina izvora koji su bili predmet opsežnih hidrogeoloških istraživanja nalazi se upravo u ovom podsljevu (Banja, Krenica, Stinjevac, Lukavac, Butina, Nuga, Staševica, Klokun i Modro oko). Provedene hidrogeokemijske analize svih izvora ukazuju na nešto veće oscilacije fizikalno-kemijskih parametara, posebice temperature i EC. Na izvorima je prisutna dominacija kalcijsko-hidrogenkarbonatnog i nešto manji utjecaj kalcijsko-sulfatno/hidrogenkarbonatnog facijesa tijekom hidrološkog minimuma. Litogeokemijski klaster, tj. otapanje vapnenca, primarni je

proces u ovom slijevnom području. Rezultati analize izvora Klokun 1 i Modrog oka ukazuju da ta dva izvora u velikoj mjeri dijele zajednički neposredni slijev, a kod izvora Modro oko koji se nalazi između izvora Klokun 1 i Prud dinamičke su značajke slične i jednom i drugom izvoru, što ukazuje na strujanje dijela vode prema podslijevu 4 – Prud. Recesijski koeficijent Klokuna 1 ukazuje na manje područje prihranjivanja, s dominacijom velikih kanala i pukotinskih sustava te je potrebno puno oborine kako bi se sustav napunio i reagirao, na što ukazuje analiza vremenskih serija (pet dana kašnjenja za oborinom). Drugi fizikalno-kemijski parametri, poput temperature, pokazuju velike oscilacije, jer se voda ne stigne homogenizirati zbog izrazito kratkog zadržavanja u podzemlju (Bonacci, 1987). I ovdje zbog reakcije sustava na oborinu dolazi do zamućenja i pogoršanja kakvoće vode i u mikrobiološkom pogledu. Koeficijent recesije izvora Modro oko sličan je koeficijentu recesije izvora Prud, što je obzirom na veliko područje prihranjivanja i smještaj izvora očekivano. Ipak, ako se promatra samo koeficijent recesije, može se donijeti pogrešan zaključak, jer svi ostali hidrogeokemijski parametri ukazuju na značajke vrlo slične izvoru Klokun 1. Nažalost, analiza dinamičkih karakteristika Butine, izvora koji se nalazi u središnjem dijelu slijeva, nije bila moguća zbog logera koji je nestao na lokaciji. No, prema hidrogeokemijskim karakteristikama jasno je kako se radi o izvoru sličnih karakteristika izvorima Lukavac i Stinjevac. Ako se usporede parametri temperature, pH i O₂ jasno je kako su oscilacije znatno manje izražene u odnosu na izvore Klokun 1 i Modro oko, a ipak puno veće u odnosu na zapadnohercegovačke izvore, dok je EC na Butini izrazito varijabilna. Ovdje je doprinos sulfatnih iona izražen, što je potvrđeno i rezultatima stabilnih izotopa δ³⁴S, što bi moglo upućivati na djelomičan doprinos vode iz zapadne Hercegovine.

6 – Izravni slijev Baćinskih jezera i Mandine mlinice

Slijev Baćinskih jezera i Mandine mlinice najjužnija je utjecajna površina istražena u ovom doktorskom radu. Granica je preuzeta iz starijih radova unatoč tome što se ponor ili estavela nalaze na samoj granici utjecajne površine, jer za sada nema pouzdanih podataka prema kojima bi se granica pomaknula, a bilančni izračuni dopuštaju navedeni pristup (Terzić et al., 2015). Rezultati svih provedenih analiza pokazali su značajan utjecaj prodora mora na ovaj podslijev, što pridonosi mišljenju da se sustav može izdvojiti kao jedna utjecajna površina. Riječ je o krajnje istočnim rubovima biokovskog masiva, krškom terenu izgrađenom od dolomita i vapnenaca iz kojeg se vode najvećim dijelom dreniraju prema Baćinskim jezerima (izvoru Oćuša i nizu manjih izvora) te prema zoni izvora oko Mandine mlinice. Zbog miješanja s morem u priobalnoj zoni dolazi do podzemnog prodora morske vode u vodonosnik i pojave zaslanjene vode u Mandinoj mlinici, ali i u Crniševu, najjužnijem od Baćinskih jezera.

Prekomjerno zaslanjenje Baćinskih jezera ograničeno je prevladavanjem dolomita i izmjene dolomita, vapnenaca i vapnenačkih do dolomitičnih breča u zoni između jezera i flišne barijere kod Gradca. Sâma se jezera nalaze pretežito na stijenskoj masi uglavnom donjokredne starosti u kojoj dominiraju vapnenci, no ima i breča, a samo je najsjeverniji dio jezera na gornjokrednim naslagama vrlo slične litološke građe.

I kod samih Baćinskih jezera hidrogeološki odnosi su dodatno zakomplicirani izgradnjim dvaju tunela (točke opažanja Tunel T2 i Tunel T3), kako bi se poboljšala odvodnja na okolnim područjima zbog poboljšanja poljoprivredne aktivnosti. Tunel T2 na lokalitetu Krotuša povezuje Vrgoračko polje, koje je u prirodnom režimu bilo zajezereno veći dio godine, s Baćinskim jezerima. Tunel T2 odvodi višak vode s Vrgoračkog polja kojim protječe vodotok Matica s nekoliko stalnih (Butina, Stinjevac, Lukavac) i povremenih izvora. Prije izgradnje odvodnog sustava Vrgoračko polje se odvodnjavalo isključivo putem ponora na jugoistočnom rubu polja od kojih neki djeluju kao estavele, te ponora i ponornih zona na krajnje istočnom rubu polja (iz kojih vode podzemno struje prema Desnama i Modrom oku). Velike količine izvorskih i oborinskih voda povremeno plave polje koje se podzemnim dotokom napaja i s viših horizonata, približno 230 m višeg Imotsko-bekijskog polja i 40-ak m višeg polja Rastok. Tunel T3 povezuje Baćinska jezera i lokalitet Bare na području Ploča, kako bi se smanjile visoke razine vode u Baćinskim jezerima. Hidrogeokemijski parametri mjerenih lokacija površinske vode na Baćinskim jezerima i izvoru Mandina mlinica ukazuju na najveće oscilacije fizikalno-kemijskih parametara u odnosu na druge opažane lokacije, dominaciju natrijsko-kloridnog facijesa, povećane vrijednosti metala te mikrobiološko onečišćenje. Vrijednosti stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ distribuirane su blizu pravca LMWL i to najčešće kod priobalnih izvora, što ukazuje na meteorsko podrijetlo vode, tj. brzu infiltraciju oborinskih voda u podzemlje. Zbog miješanja s morskom vodom uzorci iz izvora Mindel i Mandina mlinica, iz Tunela T2 i T3 te iz Baćinskih jezera (Oćuša, Crniševo) pokazuju mali otklon od LMWL prema GMWL. Vrijednosti stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ izvora Mandina mlinica ukazuju na nešto drukčije rezultate i utjecaj sulfata iz mora tijekom niskih voda. Trasiranjem je ipak dokazana veza s vodama iz zaleđa izvora, što bi moglo objasniti i vrijednosti izotopa $\delta^{34}\text{S}$ koje odgovaraju vrijednostima na ostatku opažanih izvora ($\sim 14,0\%$).

6.5. Preporuke za unaprjeđenje metodologije prilikom istraživanja ovog i drugih sličnih kompleksnih krških slijevova

Korištenjem svih dostupnih podataka i uspoređivanjem rezultata provedenih analiza mogu se donijeti neke preporuke koje bi mogle poboljšati nastavak istraživanja ovog i sličnih kompleksnih hidrogeoloških sustava.

Kako bi se regionalni hidrogeološki sustav u dinaridskom kršu što bolje razgraničio, potrebno je obaviti što veći broj trasiranja. Bilo bi dobro ponoviti brojna starija trasiranja u kojima su vjerojatno dobivene manje prividne brzine toka, moguće čak i pogrešne vodne veze, uglavnom zbog znatno lošije analitike koja je bila dostupna u to vrijeme. Nadalje, trebalo bi uspostaviti nove istraživačke prekogranične projekte zajedno s hidrogeolozima koji rade u području zapadne Hercegovine, kako bi se analizirali postojeći podaci o provedenim prirodnim i umjetnim trasiranjima na tom području, a koji nisu bili dostupni tijekom izrade ovog doktorskog rada.

U cijelom sustavu potrebno je uspostaviti redoviti monitoring kako bi se što bolje rastumačili hidrogeokemijski rezultati, posebice rezultati stabilnih izotopa. Svi bi važniji izvori u ovom hidrogeološkom sustavu morali biti opremljeni automatskim mjeracima, koji bi trebali mjeriti što veći broj parametara (razinu vode, temperaturu, elektrolitičku vodljivost, mutnoću itd.), sa satnim intervalom mjerenja, uz sustavno mjerenje protoka. Iako je postojeći monitoring značajno unaprijeđen u odnosu na prijašnje stanje (automatizirane postaje, moguće praćenje u realnom vremenu u web preglednicima), broj lokacija u krškom dijelu Hrvatske na kojima je uspostavljen redoviti monitoring razina (protoka) površinskih i podzemnih voda godinama se smanjuje te su mnoge lokacije napuštene. Pouzdane hidrološke i hidrogeološke analize nisu moguće bez dugih nizova podataka, što posljedično onemogućuje buduće prognoze obnovljivih zaliha vodonosnika.

U vrijeme visokih voda vidljiv je i utjecaj nitrata, iako izrazito niskih koncentracija, koji se talože u sušnijem dijelu godine, a u vodu dolaze ispiranjem tla i epikrške zone. Iz navedenih razloga bi nitrate trebalo zasebno analizirati matematičkim i statističkim metodama za svaku lokaciju opažanja i korištenjem stabilnih izotopa nitrata (NO_3^-), kako bi se rastumačilo njihovo podrijetlo i mogući antropogeni utjecaj (u prvom redu poljoprivredne aktivnosti) na pojedine izvore.

Vodni režim Baćinskih jezera i njihov ekosustav su pod značajnim antropogenim utjecajem, tako da je vrlo vjerojatno da je današnji ekosustav u velikoj mjeri ovisan o umjetnom dotoku voda tijekom visokih razina (Miko et al., 2015). Antropogeni utjecaj nije moguće potpuno ukloniti, ali bi ga trebalo u značajnoj mjeri umanjiti smanjenjem brzina i reguliranjem količina i razina, čime bi se značajno smanjila količina nanosa naplavljenog iz Vrgoračkog polja. Pored toga, onečišćenje bi dijelom moglo biti i posljedica neuređenog kanalizacijskog sustava u selima Baćina i Peračko blato, tako da bi rekonstrukcija i dogradnja tog sustava trebala biti jedan od prioriteta u zaštiti Baćinskih jezera. Budući da poljoprivredna proizvodnja u Vrgoračkom polju vrlo vjerojatno utječe na povišene koncentracije metala, može se preporučiti da se što prije uspostave održive zone sanitarne zaštite izvora Klokun 1. To bi u velikoj mjeri poboljšalo i zaštitu Baćinskih jezera, jer im se područja napajanja u velikoj mjeri preklapaju, a zone u koje u jezera dotječe voda su gotovo potpuno nenaseljene i bez onečišćivača. Prema dobivenim rezultatima trasirani ponor, kao i čitav tok Matice jugoistočno od njega, zajedno sa svim pripadajućim ponorima, morao bi biti uvršten u vrlo strog režim zaštite – drugu zonu. Takva bi odluka u konačnici rezultirala smanjenjem poljoprivrednih aktivnosti i/ili usmjeravanjem prema ekološkom načinu proizvodnje.

Nova istraživanja bi trebala uključivati i praćenje stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ u zapadnohercegovačkom dijelu slijeva, kao i analize tricija radi preciznije odredbe starosti vode (pogotovo u vrijeme dna recesijske krivulje svakog pojedinog izvora). Isto tako, buduća bi istraživanja trebala uključivati i praćenje $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ oborine na cijelom slijevnom području.

U sljevovima pojedinih izvora, npr. posebice na izvoru Klokun 2, trebalo bi geološki i strukturno-geološki iskartirati šire područje te na rasjednim kontaktima zona obaviti geofizička istraživanja (u područjima gdje je ciljane dubina manja od približno 200 m električnu tomografiju, a gdje je dublja magnetotelurska sondiranja), kako bi se utvrdile moguće zone evapornih dijapira, budući da su na toj lokaciji vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ najviše.

Istraživanja stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ u sulfatnim ionima izvorskih voda trebalo bi proširiti i obaviti uzorkovanje u različitim dijelovima hidrološkog ciklusa te analizirati i $\delta^{18}\text{O}$ iz sulfatnih iona te uključiti i mjerenja vrijednosti $\delta^{34}\text{S}$ iz oborine, u untrašnjosti i uz obalu. Navedeno je osobito važno pri tumačenju $\delta^{34}\text{S}$ kod priobalnog izvora Mandina mlinica.

Trebalo bi dodatno uzorkovati evapornitne stijene pronađene izvan granica istraživanog slijevnog područja kako bi se detaljnije odredile vrijednosti stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ i $\delta^{18}\text{O}$ u

evaporitnim stijinama, za koje se može utemeljeno pretpostaviti kako su slične naslagama pretpostavljenim u podzemlju istraživanog hidrogeološkog sustava.

Granice među navedenim utjecajnim površinama ne bi se trebale nazivati razvodnicama, jer one to značajnim dijelom godine nisu. Granice ponegdje približno odgovaraju razvodnicama za površinske vode, no podzemne se vode u nekim hidrološkim uvjetima dokazano kreću preko njih, pa tako ni ne mogu biti razvodnice za podzemnu vodu. Zato se izraz podsljevovi u ovome slučaju, kao i u većini naših krških terena može koristiti samo radi lakšeg razumijevanja tematike, dok je izraz „utjecajna površina“ znatno primjereniji. Ukupna površina terena obuhvaćenog prikazanom podjelom iznosi gotovo 2300 km², tako da se tu radi o velikoj površini. Ipak, treba uzeti u obzir činjenicu da dobar dio voda iz viših, sjevernijih odnosno uzvodnijih stepenica i utjecajnih površina jednim dijelom struji podzemno prema razmatranim izvorima, dok dio površinski i podzemno struji paralelno geološkim strukturama prema rijeci Neretvi.

7. ZAKLJUČAK

Konceptualni hidrogeološki model istraživanog područja (Prilog 5) izrađen je korištenjem svih dostupnih rezultata prethodnih istraživanja (osobito provedenih trasiranja), korištenjem izračuna vodne bilance, prethodno određenih granica zona sanitarne zaštite izvora u sklopu velikih istraživačkih projekata Hidrogeološka istraživanja Baćinskih jezera“ (naručitelj Hrvatske vode) te dva europska projekta: IPA Adriatic CBC „Drinkadria“ i Interreg Central Europe „Proline-CE“, kao i novih rezultata analiza provedenih prilikom izrade ovog doktorskog rada. Temeljem svega iznesenog može se zaključiti kako su potvrđene sve hipoteze iznesene u uvodnom dijelu doktorskog rada.

Na temelju uspostavljenog motrenja dinamike, fizikalno-kemijskih parametara, kemijskog i izotopnog sastava vode te provedenih trasiranja i analiza, proizlaze sljedeći glavni zaključci o krškom slijevnom području južne Dalmacije i zapadne Hercegovine:

- Glavno područje napajanja ovog velikog sustava nalazi se u zapadnoj Hercegovini i manje u neposrednom zaleđu, a konačna zona istjecanja se nalazi u južnoj Dalmaciji.
- Područje napajanja većinski prolazi kroz karbonatne naslage, a dijelom uz evaporitne naslage koje su na temelju rezultata istraživanja mjestimice pretpostavljene u podzemlju blizu vodonosnika, iako nema značajnijih izdanaka u istraživanom području.
- Fizikalno-kemijski parametri izvorskih voda ukazuju na veći volumen kanala i kraće zadržavanje vode kod izvora Klokun 1, Modro oko i Vrelo Tihaljine te duže zadržavanje vode i manje oscilacije mjerenih parametara kod izvora Klokun 2, Vrioštica, Borak i Prud. Najveće oscilacije zabilježene su kod uzoraka jezerske vode.
- Multivarijatom klusterskom analizom kemijskih parametara utvrđena su dva glavna klastera u sustavu: 1) litogeokemijski klaster i 2) marinski klaster.
- Faktorskom analizom kemijskih parametara na svim lokacijama utvrđena su tri faktora u sustavu: 1) F1 – marinsko-sulfatni faktor, 2) F2 – otapanje karbonata i evaporita i 3) F3 – faktor bioloških, a posljedično i kemijskih reakcija.
- Analiza stabilnih izotopa kisika 18 ($\delta^{18}\text{O}$) i deuterija ($\delta^2\text{H}$) ukazala je na dominaciju izvora koji se pretežito napajaju meteorskom vodom, što je pokazatelj da je izvorska voda ovog slijevnog područja izrazito mlada.

- Rezultati analiza stabilnih izotopa sumpora 34 ($\delta^{34}\text{S}$) iz sulfatnih iona u izvorskim vodama pokazatelj su interakcije vode s evaporitnim stijenama koje se nalaze dovoljno blizu površine da bi bile u interakciji s tokovima podzemne vode, a koje su na površini u većoj količini utvrđene samo sjeveroistočno od područja istraživanja, u okolici mjesta Sovići.
- Rezultati analize stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ ukazuju na vjerojatno podrijetlo iz permotrijaskih evaporita.
- Rezultati analize stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ u različitim hidrološkim uvjetima ukazuju na brzu reakciju sustava na oborine i miješanje sulfata otopljenog iz gipsa s kišnicom te moguću interakciju s antropogenim zagađenjima. U niskim vodama gips se i dalje otapa, no vrijednosti indeksa zasićenosti na pojedinim izvorima kreću se prema zasićenosti sustava, dok teži izotop sumpora 34 raste. Porast težih izotopa bi mogao ukazivati na dublju cirkulaciju vode kroz podzemlje pri čemu dolazi do prelaska sulfata u sulfide pod utjecajem bakterija i/ili otapanja anhidrita koji se nalazi dublje u podzemlju i/ili zbog nedostatka oborina u sušnijem dijelu godine ne dolazi do miješanja izvorske vode s oborinom, koja obično doprinosi smanjenju utjecaja težih izotopa;
- Analiza indeksa zasićenosti potvrdila je kako lokacija opažanja Doljanke 1, koja se nalazi u području gdje se evaporitne stijene nalaze na površini, ne pripada istraživanom hidrogeološkom sustavu. Najveća koncentracija evaporita u podzemlju istraživanog područja bi mogla biti uz rasjednu zonu kod izvora Klokun 2, jer se može pretpostaviti da je i najveći doprinos koncentracije sulfata u izvorima južnodalmatinskog dijela slijeva upravo iz neposrednog zaleđa tj. iz područja zapadne Hercegovine. To upućuje da bi i značajnije pojave evaporitnih stijena mogle biti upravo u plićim dijelovima podzemlja uz glavne pravce dotoka na izvor Klokun 2, što bi u budućnosti trebalo detaljnije istražiti.
- Koeficijenti recesije ukazuju na brzo dreniranje vodonosnika zbog izrazite okršenosti terena. Kod izvora u zapadnohercegovačkom dijelu slijeva te izvora Klokun 1 tečenje se primarno odvija kroz dobro provodne pukotine i kanale, dok se kod izvora Prud i djelomično Modrog oka tečenje odvija pretežito kroz pukotinske sustave u stijenskoj masi.
- Analize vremenskih serija ukazuju na brže reagiranje na oborine kod izvora Klokun 1 u odnosu na Prud i površinski tok rijeke Trebižat na mjernim postajama Klobuk i Humac. Prosječno kašnjenje za oborinama je jedan dan (Prud), dva dana (Humac i Klobuk) te pet dana (Klokun 1).

- Analiza automatskih mjerača na Baćinskim jezerima nedvojbeno je ukazala na prodor morske vode po dubini najdubljeg jezera Crniševo, a manjim dijelom i putem izvora Mindel uz rub tog jezera.
- Simultano trasiranje umjetnim traserima provedeno u sklopu istraživanja za potrebe ovog doktorskog rada je ukazalo na veću prividnu brzinu podzemnog toka u neposrednom zaleđu izvora od Klokuna 1 do Mandine mlinice nego što se do sada pretpostavljalo.
- Analizom svih dostupnih rezultata prethodnih istraživanja i rezultata dobivenih tijekom izrade ovog doktorskog rada istraživani veliki hidrogeološki sustav može se podijeliti u šest podsljevova ili utjecajnih površina.
- Termin utjecajna površina je u istraživanju ovako kompleksnog hidrogeološkog sustava primjereniji od izraza slijev, jer granice među istraživanim utjecajnim površinama najčešće nisu razvodnice. Te granice nerijetko približno odgovaraju površinskim razvodnicama, no podzemne se vode u nekim hidrološkim uvjetima dokazano kreću preko njih.

Korištenjem svih dostupnih podataka i uspoređivanjem rezultata provedenih analiza mogu se donijeti i sljedeće preporuke:

- Delineacija sljevova i podsljevova zahtijeva što veći broj trasiranja uz mogućnost ponavljanja prethodnih istraživanja zbog znatno lošije analitike u to vrijeme.
- Neophodan je sustavan monitoring protoka i različitih hidrogeokemijskih parametara uz praćenje važnijih izvora automatskim mjeračima.
- Trebalo bi provesti geološko i strukturno-geološko kartiranje šireg područja izvora Klokun 2 uz odgovarajuća geofizička istraživanja kako bi se istražile moguće podzemne pojave evapornih dijapira u blizini izvora.
- Bilo bi dobro obaviti praćenje stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ u zapadnohecegovačkom dijelu slijeva, praćenje $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ oborine u cijelom slijevu i analize tricija radi preciznije odredbe starosti vode.
- Trebalo bi pratiti vrijednost stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ i $\delta^{18}\text{O}$ u sulfatnim ionima izvorskih voda i oborinske vode u različitim dijelovima hidrološkog ciklusa.

- Trebalo bi uzorkovati evaporitne stijene izvan granica istraživnog slijevnog područja kako bi se detaljnije odredile vrijednosti stabilnih izotopa $\delta^{34}\text{S}$ i $\delta^{18}\text{O}$ koje su vjerojatno slične naslagama pretpostavljenim u podzemlju istraživnog hidrogeološkog sustava.
- Svakako je potrebno smanjiti antropogene utjecaje (u prvom redu otpadne kanalizacijske vode i uporabu mineralnih gnojiva) na podzemnu vodu te uspostaviti održive zone sanitarne zaštite izvora Klokun 1.

Navedeni zaključci potvrđuju da je pri hidrogeološkom istraživanju kompleksnih regionalnih krških sustava potrebno provesti veliki broj višemetodskih postupaka, kako bi se dobili što pouzdaniji rezultati. Sva navedena istraživanja bi u krškim područjima trebalo opetovano provoditi u različitim hidrološkim uvjetima, jer se značajke i uvjeti u sustavu stalno mijenjaju, a od najveće su važnosti za njihovo istraživanje što duži nizovi sustavno i precizno prikupljenih podataka, što je ujedno i glavni nedostatak na brojnim terenima diljem dinaridskog krša.

8. LITERATURA

Znanstvena literatura:

- Amend, J.P., Edwards, K.J. & Lyons, T.W. (2004): Sulfur Biogeochemistry: Past and Present (GSA Special Paper 379). Boulder, CO: Geological Society of America, 205 str., Boulder.
- Appelo, C.A.J. & Postma, D. (1994): Geochemistry, Groundwater and Pollution. Balkema, 536 str., Rotterdam.
- Aravena, R. & Mayer, B. (2009): Isotopes and processes in the nitrogen and sulfur cycles. U: Aelion, C.M., Höhener, P., Hunkeler, D. & Aravena, R. (Ur.): Environmental Isotopes in Biodegradation and Bioremediation. CRC Press; 203–246, Boca Raton.
- Auckenthaler, A., Raso, G. & Huguenberger, P. (2002): Particle transport in a karst aquifer: natural and artificial tracer experiments with bacteria, bacteriophages and microspheres. *Water Sci Technol*, 46, 131–138.
- Ault, W.U. & Jensen, M.L. (1962): Summary of sulfur isotope standards. U: Jensen, M.L. (ur.), Biogeochemistry of Sulfur Isotopes. Proceedings of the National Science Foundation Symposium at Yale University, 12–14.4.1962., Zbornik radova, 16–29, New Haven.
- Bahun, S. (1973): Odnos krškog procesa i fluvijalne erozije u području Like. *Krš Jugoslavije* 8/5, 91–100, Zagreb.
- Bakalowicz, M. (2005): Karst groundwater: a challenge for new resources. *Journal of Hydrology* 13, 148–160. doi: 10.1007/s10040-004-0402-9
- Bakalowicz, M. (2015): Karst and karst groundwater resources in the Mediterranean. *Environmental Earth Sciences*, 74, 5-14. doi: 10.1007/s12665-015-4239-4
- Balderer, W., Pearson, F.J. jr. & Soreau, S. (1991): Formation-specific characteristics of groundwaters: Sulphur and oxygen isotopes in sulfate and sulfide. U: Pearson, F.J.J., Balderer, W., Loosli, H.H., Lehmann, B.E., Matter, A., Peters, T., Schmassmann, H. & Gautschi, A. (ur.): Applied Isotope Hydrogeology – A Case Study in Northern Switzerland. Elsevier, 297–373, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo.
- Benischke, R., Goldschedier, N. & Smart, C. (2007): Tracer techniques. U: Goldschedier, N. & Smart, C. (ur.): Methods in Karst. Taylor & Francis, 147–171, London.
- Bense, V.F., Gleeson, T., Loveless, S.E., Bour, O. & Scibek, J. (2013): Fault zone hydrology. *Earth-Science Reviews*, 127, 171–192. doi: 10.1016/j.earscirev.2013.09.008
- Bernasconi, S., Meier, I., Wohlwend, S., Brack, P., Hochuli, P.A., Hansruedi, B., Wortmann, U.G. & Ramseyer, K. (2017): An evaporite-based high-resolution sulfur isotope record

- of Late Permian and Triassic seawater sulfate. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 204, 331–349. doi: 10.1016/j.gca.2017.01.047
- Berner, Z.A., Stuben, D., Leosson, M.A. & Kling, H. (2002): S- and O-isotopic character of dissolved sulphate in the cover rock aquifers of a Zechstein salt dome. *Applied Geochemistry*, 17/12, 1515–1528.
- Bertić, I., Lampek Pavčnik, I. & Radovinović, R. (2001): *Satelitski atlas Hrvatske*, 1:100.000. Naklada Ljevak i GISDATA, 360 str., Zagreb.
- Biondić, B., Pavičić, A. & Biondić, R. (1998): Vodni resursi krškog područja Dinarida i njihova zaštita. U: Dragičević, I. & Velić, I. (ur.): *Karbonatna platforma ili karbonatne platforme Dinarida*. 1. znanstveni skup, 1–2.10.2001., Zbornik radova, 94–98, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Birk, S., Liedl, R. & Sauter, M. (2004): Identification of localised recharge and conduit flow by combined analysis of hydraulic and physico-chemical spring responses (Urenbrunnen, SW-Germany). *Journal of Hydrology*, 286/1–4, 179–193. doi: 10.1016/j.jhydrol.2003.09.007
- Blašković, I. (1998): The two stages of structural formation of the coastal belt of the External Dinarides. *Geologia Croatica*, 51/1, 75–89.
- Bojanić, L., Ivičić, D. & Batić, V. (1981): Hidrogeologija Imotskog polja s osvrtom na značaj u regionalnom smislu. *Geološki vjesnik*, 34, 127–135, Zagreb.
- Bonacci, O. (1987): *Karst Hydrology with Special Reference to the Dinaric Karst*. Springer-Verlag, 184 str., Berlin Heidelberg.
- Bonacci, O. (1999): Water circulation in karst and determination of catchment areas: example of the River Zrmanja. *Hydrological Science*, 44/3, 373–386. doi: 10.1080/02626669909492233
- Bonacci, O. (2005): Odvodnja polja u kršu na primjeru Vrgorskog polja. U: Ožanić, N. (ur.): *Priručnik za hidrotehničke melioracije, III kolo, knjiga 2, Elementi planiranja sustava za navodnjavanje*. Građevinski fakultet Rijeka, 208–240, Rijeka.
- Bonnaci, O. & Roje-Bonacci, T. (2008): Water losses from the Ričice reservoir built in the Dinaric karst. *Engineering Geology*, 99, 121–127. doi: 10.1016/j.enggeo.2007.11.014
- Bonacci, O., Željković, I. & Galić, A. (2013): Karst rivers' particularity: An example from Dinaric karst (Croatia/Bosnia and Herzegovina). *Environmental Earth Sciences*, 70/2, 963–974. doi: 10.1007/s12665-012-2187-9
- Borović, S., Terzić, J. & Pola, M. (2019): Groundwater quality on the Adriatic karst island of Mljet (Croatia) and its implications on water supply. *Geofluids*, doi: 10.1155/2019/5142712

- Boschetti, T., Cortecchi, G., Toscani, L. & Iacumin, P. (2011): Sulfur and oxygen isotope compositions of Upper Triassic sulfates from northern Apennines (Italy): paleogeographic and hydrogeochemical implications. *Geologica Acta*, 9/2, 129–147. doi: 10.1344/105.000001690
- Bosnić, J. (2015): Hidrološka analiza protoka dvaju krških izvora (Jadro, Žrnovnica). Završni rad, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 53 str., Split. <https://repozitorij.gradst.unist.hr/islandora/object/gradst%3A131/datastream/PDF/view>
- Bottrell, S.H., Mortimer, R.J.G., Davies, I.M., Harvey, S.M. & Krom, M.D. (2009): Sulphur cycling in organic-rich marine sediments from a Scottish fjord. *Sedimentology*, 56/4, 1159–1173. doi: 10.1111/j.1365-3091.2008.01024.x
- Böttcher, M.E., Brumsack, H.-J. & Dürselen, C.-D. (2007): The isotopic composition of modern seawater sulfate: I. Coastal waters with special regard to the North Sea. *Journal of Marine Systems*, 67/1–2, 73–82. doi: 10.1016/j.jmarsys.2006.09.006
- Box, G.E.P. & Jenkins, G.M. (1974): *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Holden Day, 575 str., San Francisco.
- Brassington, F.C. & Younger, P.L. (2010): A proposed framework for hydrogeological conceptual modelling. *Water and Environment Journal*, 24/4, 261–273. doi: 10.1111/j.1747-6593.2009.00173.x
- Brkić, Ž. & Briški, M. (2018): Hydrogeology of the western part of the Drava Basin in Croatia. *Journal of Maps*, 14/2, 173–177. doi: 10.1080/17445647.2018.1445043
- Brkić, Ž., Kuhta, M., Hunjak, T. & Larva, O. (2020): Regional isotopic signatures of groundwater in Croatia. *Water*, 12, 1983. doi: 10.3390/w12071983
- Brown, A.L., Martin, J.B., Screamon, E., Ezell, J.E., Spellman, P. & Gulley, J.D. (2014): Bank storage in karst aquifers: the impact of temporary intrusion of river water on carbonate dissolution and trace metal mobility. *Chem. Geol.*, 385, 56–69.
- Brown, A.L., Martin, J.B., Kamenov, G.D., Ezell, J.E., Screamon, E., Gulley, J.D. & Spellman, P. (2018): Trace metal cycling in karst aquifers subject to periodic river water intrusion. *Chemical geology*, 527, 118773. doi: 10.1016/j.chemgeo.2018.05.020
- Bukovac J. & Jamičić, D. (2009): Evaporitne i klastične naslage (gornji perm – P₃). U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 26–27, Zagreb.
- Burke, A., Present, T.M., Paris, G., Rae, E.C.M., Sandilands, B.H., Gaillardet, J., Peucker-Ehrenbrink, B., Fischer, W.W., McClelland, J.W., Spencer, R.G.M., Voss, B.M. & Adkins, J.F. (2018): Sulfur isotopes in rivers: Insights into global weathering budgets,

- pyrite oxidation, and the modern sulfur cycle. *Earth and Planetary Science Letters*, 496, 168–177. doi: 10.1016/j.epsl.2018.05.022
- Canfield, D.E. (2001a): Biogeochemistry of sulfur isotopes. *Rev. Mineral. Geochem.*, 43, 607–636. doi: 10.2138/gsrmg.43.1.607
- Canfield, D.E. (2001b): Isotope fractionation by natural populations of sulfate-reducing bacteria. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 65/7, 1117–1124.
- Canfield, D.E. & Farquhar, J. (2012): The global sulfur cycle. U: Knoll, A.H., Canfield, D.E. & Konhauser, K.O. (ur.), *Fundamentals of Geobiology*. Blackwell Publishing Ltd, 49–64, New Jersey. doi: 10.1002/9781118280874.ch5
- Case, J.W. & Krouse, H.R. (1980): Variations in sulphur content and stable sulphur isotope composition of vegetation near a SO₂ source at Fox Creek, Alberta, Canada. *Oecologia*, 44, 248–257. doi: 10.1007/BF00572687
- Chambers, L.A. & Trudinger, P.A. (1979): Microbiological fractionation of stable sulfur isotopes – review and critique. *Geomicrobiology Journal*, 1/3, 249–293.
- Chen, Z., Aulier, S.A., Bakalowicz, M., Drew, D., Griger, F., Hartmann, J., Jiang, G., Moosdorf, N., Richts, A., Stevanovic, Z., Veni, G. & Goldscheider, N. (2017): The world karst aquifer mapping project: Concept, mapping procedure and map of Europe. *Hydrogeology Journal*, 25, 771–785. doi: 10.1007/s10040-016-1519-3
- Clark, I. & Fritz, P. (1997): *Environmental Isotopes in Hydrology*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 307 str., London, New York.
- Claypool, G.E., Holser, W.T., Kaplan, I.R., Sakai, H. & Zak, I. (1980): The age curves of sulfur and oxygen isotopes in marine sulfate and their mutual interpretation. *Chemical Geology*, 28, 199–260. doi: 10.1016/0009-2541(80)90047-9
- Cortecci, G., Reyes, E., Berti, G. & Casati, P. (1981): Sulfur and oxygen isotopes in Italian marine sulfates of Permian and Triassic ages. *Chemical Geology*, 34, 65–79. doi: 10.1016/0009-2541(81)90072-3
- Cozma, A I., Baciuc, C., Moldovan, M. & Pop, I.-C. (2016): Using natural tracers to track the groundwater flow in a mining area. *Procedia Environmental Sciences*, 32, 211–220. doi: 10.1016/j.proenv.2016.03.026
- Craig, H. (1961): Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133, 1702–1703. doi: 10.1126/science.133.3465.1702
- Cvetko Tešović, B., Martinuš, M., Golec, I. & Vlahović, I. (2020): Lithostratigraphy and biostratigraphy of the uppermost Cretaceous to lowermost Palaeogene shallow-marine succession: top of the Adriatic Carbonate Platform at the Likva Cove section (island of Brač, Croatia). *Cretaceous Research*, 114, 104507. doi: 10.1016/j.cretres.2020.104507

- Davis, J.C. (2002): *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Wiley & Sons, Inc., third edition, 638 str., New York.
- Dawson, E.J. & Macklin, M.G. (1998): Speciation of heavy metals in floodplain and flood sediments: a reconnaissance survey of the Aire Valley, West Yorkshire. Great Brit. Environ. Geochem. Health., 20, 67–76.
- Desmarais, K. & Rojstaczer, S. (2002): Inferring source waters from measurements of carbonate spring response to storms. *Journal of Hydrology*, 260/1–4, 118–134. doi: 10.1016/S0022-1694(01)00607-2
- Devčić, K., Tonković Pražić, I. & Župan, Ž. (2012): Klaster analiza: primjena u marketinškim istraživanjima. *Zbornik radova Međimurskog veleučilišta u Čakovcu*, 3/1, 15–22, Čakovec.
- Dewalle D.R., Edwards, P.J., Swistock, B.R., Aravena, R. & Drimmie, R.J. (1997): Seasonal isotope hydrology of three Appalachian forest catchments. *Hydrological Processes*, 15, 1895–1906. doi: 10.1002/(SICI)1099-1085(199712)11:15<1895::AID-HYP538>3.0.CO;2-%23
- Dewandel, B., Lachassagne, P., Bakalowicz, M., Weng, PH. & Al-Malki, A. (2003): Evaluation of aquifer thickness by analyzing recession hydrographs, application to the Oman ophiolite hard-rock aquifer, *Journal of Hydrology*, 274, 248–269. doi: 10.1016/S0022-1694(02)00418-3
- Doerfliger, N., Yeannin, P.-Y. & Zwahlen, F. (1999): Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). *Environmental Geology*, 39, 165–176. doi: 10.1007/s002540050446
- Domazetović, F., Lončar, N. & Šiljeg, A. (2016): Kvantitativna analiza utjecaja porasta razine Jadranskog mora na hrvatsku obalu: GIS pristup. *Naše more*, 64/2, 33–43. doi: 10.17818/NM/2017/2.7
- Dragičević, I. & Velić, I. (2002): The Northeastern Margin of the Adriatic Carbonate Platform. *Geologia Croatica*, 55 (2): 185-232.
- Dreiss, S.J. (1989): Regional scale transport in a karst aquifer: 1. Component separation of spring flow hydrographs. *Water Resources Research*, 25, 117–125. doi: 10.1029/WR025i001p00117
- Einsiedl, F. (2005): Flow system dynamics and water storage of a fissured-porous karst aquifer characterized by artificial and environmental tracers. *Journal of Hydrology*, 312, 312–321. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.03.031

- Evenset, A., Christensen, G.N., Carroll, J., Zaborska, A., Berger, U., Herzke, D. & Gregor, D. (2007): Historical trends in persistent organic pollutants and metals recorded in sediment from Lake Ellasjoen, Bjornoya, Norwegian Arctic. *Environ. Pollut.*, 146, 196–205.
- Fanlo, I. & Ayora, C. (1998): The evolution of the Lorraine evaporite basin: implications for the chemical and isotope composition of the Triassic ocean. *Chemical Geology*, 146, 135–154. doi: 10.1016/S0009-2541(98)00007-2
- Filipović, M., Frangen, T., Terzić, J. & Lukač Reberski, J. (2022): Hydrogeology of a complex karst catchment in southern Dalmatia (Croatia) and western Herzegovina (Bosnia and Herzegovina). *Journal of Maps*. doi: 10.1080/17445647.2022.2112775
- Fiorillo, F. & Doglioni, A. (2010): The relation between karst spring discharge and rainfall by cross-correlation analysis (Campania, southern Italy). *Hydrogeology Journal*, 18/8, 1881–1895. doi: 10.1007/s10040-010-0666-1
- Fiorillo, F., Revellino, P. & Ventafridda, G. (2012): Karst aquifer draining during dry periods. *Journal of cave and karst studies the National Speleological Society bulletin*, 74/2, 148–156. DOI: 10.4311/2011JCKS0207
- Ford, D. & Williams, P. (2007): *Karst Geomorphology and Hydrology*. John Wiley & Sons, 257 str., London.
- Frangen, T. (2013): *Određivanje značajki krškoga vodonosnika na području jugozapadnog Žumberka kvantitativnim trasiranjem u različitim hidrološkim uvjetima*. Neobjavljena doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 204 str., Zagreb.
- Fuček, L. (2009): Karbonatna platforma Krških Dinarida, Rudistni vapnenci (cenoman – mastriht K₂¹⁻⁶). U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), *Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000*. Hrvatski geološki institut, 66–69, Zagreb.
- Gabrić, A., Šinkovec, B., Salač, K. & Kuljak, G. (2002): *Ležišta gipsa u Republici Hrvatskoj*. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 14, 21–36.
- Gajić-Čapka, M., Perčec-Tadić, M. & Patarčić, M. (2003): *Digitalna godišnja oborinska karta Hrvatske*. Hrvatski meteorološki časopis, 38, 21–33.
- Giacopetti, M., Aringoli, D., Materazzi, M., Panbianchi, G. & Posavec, K. (2016): Groundwater recharge estimation using spring hydrographs: The case of the Tennacola carbonate aquifer (central Apennine, Italy). *Rendiconti Online Della Societa Geologica Italiana*, 41/1, 61–64. doi: 10.3301/ROL.2016.93

- Giacopetti, M., Materazzi, M., Panbianchi, G. & Posavec, K. (2017): Analysis of mountain springs discharge time series in the Tennacola stream catchment (central Apennine, Italy). *Environmental Earth Sciences*, 76/20, 1–11. doi: 10.1007/s12665-016-6339-1
- Gibson, G.R. (1990): Physiology and ecology of the sulphate-reducing bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, 69, 769–797.
- Goldscheider, N. (2005): Fold structure and underground drainage pattern in the alpine karst system Hochifien–Gottesacker. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 98, 1–17. doi: 10.1007/s00015-005-1143-z
- Goldscheider, N. & Drew, D.P. (2007): *Methods in Karst Hydrogeology*. Taylor & Francis Group, 264 str., London.
- Grasso, D.A. & Jeannin, P-Y. (2002): A Global Experimental System Approach of Karst Springs Hydrographs and Chemographs. *Ground Water* 40, 608-618. doi: 10.1111/j.1745-6584.2002.tb02547.x
- Gulley, J., Martin, J.B., Sreaton, E.J. & Moore, P.J. (2011): River reversals into karst springs: a model for cave enlargement in eogenetic karst aquifers. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 123/3–4, 457–467.
- Hager, B. & Foelsche, U. (2015): Stable isotope composition of precipitation in Austria. *Austrian Journal of Earth Sciences*, 108/2, 2–13. doi: 10.17738/ajes.2015.0012
- Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J & Anderson, R. (2010): *Multivariate Data Analysis – A Global Perspective*. Pearson Education, 800 str., New York.
- Hao, O.J., Chen, J.M., Huan. L. & Buglass, R.L. (1996): Sulfate-reducing bacteria. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 26/2, 155–187.
- Hartmann, A., Goldscheider, N., Wagener, T., Lange, J. & Weiler, M. (2014): Karst water resources in a changing world: Review of hydrological modeling approaches. *Rev. Geophys.*, 52, 218–242. doi: 10.1002/2013RG000443
- Hayashi, M. (2004): Temperature–electrical conductivity relation of water for environmental monitoring and geophysical data inversion. *Environmental Monitoring and Assessment*, 96, 119–128. doi: 10.1023/B:EMAS.0000031719.83065.68
- Heimovaara, T.J., Focke, A.G., Boute, W. & Verstraten, J.M. (1995): Assessing temporal variations in soil water composition with time domain reflectometry. *Soil Science Society of American Journal*, 59, 689–698.
- Hekman, F. (2006): *Vodno gospodarstvo Dalmacije*. Ex Libris, 182 str., Zagreb.
- Herak, M. (1973): Some tectonical problems of the evaporitic area in the Dinarides of Croatia. *Geol. vjesnik*, 26, 29–40, Zagreb.

- Herak, M. (1983): Some ideas and dilemmas concerning the genesis and tectonics of Adriatic and Periadriatic areas. U: Babić, Lj. & Jelaska, V. (ur.): Contributions to sedimentology of some Carbonate and Clastic units of the coastal Dinarides. 4th IAS Meeting of Sedimentology, 18.–20.4.1983., Exursion Guidebook, 7–11, Split.
- Herut, B., Spiro, B., Starinsky, A. & Katz, A. (1995): Sources of sulfur in rainwater as indicated by isotopic ³⁴S data and chemical composition, Israel. *Atmospheric Environment* 29/7, 851–857.
- Hess, J.W. & White, W.B. (1988): Storm response of the carstic carbonate aquifer of south–central Kentucky. *Journal of Hydrology*, 99, 235–252.
- Hilberg, S. (2016): Review: Natural tracers in fractured hard-rock aquifers in the Austrian part of the Eastern Alps – previous approaches and future perspectives for hydrogeology in mountain regions. *Hydrogeology Journal*, 24, 1091–1105. doi: 10.1007/s10040-016-1395-x
- Hoaghia, M.-A., Moldovan, A., Kovacs, E., Mirea, I.C., Kenecz, M., Brad, T., Cadar, O., Micle, V., Levei, E.A. & Moldovan, O.T. (2021): Water quality and hydrogeochemical characteristics of some karst water sources in Apuseni mountains, Romania. *Water*, 13, 857. doi: 0.3390/w13060857
- Holser, W.T. (1977): Catastrophic chemical events in history of ocean. *Nature*, 267, 403–408. doi: 10.1038/267403a0
- Holser, W.T. & Kaplan, I.R. (1966): Isotope geochemistry of sedimentary sulfates. *Chemical Geology*, 25/1–2, 1–17. doi: 10.1016/0009-2541(79)90079-2
- Horacek, M., Brandner, R., Richoz, S. & Povoden-Karadeniz, E. (2010): Lower Triassic sulphur isotope curve of marine sulphates from the Dolomites, N-Italy. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 290, 65–70. doi: 10.1016/j.palaeo.2010.02.016
- Horvat, B. & Rubinić, J. (2006): Annual runoff estimation – an example of karstic aquifers in the transboundary region of Croatia and Slovenia. *Hydrological Sciences Journal*, 51/2, 314–324. doi: 10.1623/hysj.51.2.314
- Hunter, P.R. (2003): Drinking water and diarrhoeal disease due to *Escherichia coli*. *Journal of Water and Health*, 1, 65–72. doi: 10.2166/wh.2003.0008
- Insalaco, E., Virgone, A., Courme, B., Gaillot, J., Kamali, M., Moallemi, A., Lotfpour, M. & Monibi, S. (2006): Upper Dalan member and Kangan formation between the Zagros Mountains and offshore fars, Iran: depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture. *Geoarabia*, 11, 75–176. doi: 10.2113/geoarabia110275

- Ivičić, D. (2000): Sliv izvora desne strane donjeg toka Neretve. U: Vlahović, I. & Biondić, R. (ur.): 2. hrvatski geološki kongres, 17.–20.5.2000., Vodič ekskurzija, 1, 58–61, Cavtat–Dubrovnik.
- Ivičić, D. & Pavičić, A. (1999): Hidrogeološka osnova zaštite vode u krškim poljima. U: Gereš, D. & Margeta, J. (ur.): Hrvatska konferencija o vodama – Hrvatske vode od Jadrana do Dunava, 19.–22.5.1999., Zbornik radova, 1, 537–544, Dubrovnik.
- Ivičić, D. & Pavičić, A. (2000): Baćinska jezera i izvor Klokun. U: Vlahović, I. & Biondić, R. (ur.): 2. hrvatski geološki kongres, 17.–20.5.2000., Vodič ekskurzija, 1, 61–64, Cavtat–Dubrovnik.
- Jamičić, D., Prelogović, E. & Tomljenović, B. (1995): Folding and deformational style in overthrust structures on Krk Island. U: Rossamanith, H.P. (ur.): Proceedings of the 2nd International Conference on The mechanics of Jointed and Faulted Rock – MJFR-2, 10.–14.4.1995., Zbornik radova, 359–362, Beč.
- Jenkins, G.M. & Watts, D.G. (1968): Spectral Analysis and its Applications. Holden Day, 525 str., San Francisco.
- Jørgensen, B.B. & Kasten, S. (2006): Sulfur cycling and methane oxidation. U: Schulz, H.D. & Zabel, M. (ur.), Marine Geochemistry. Springer, 271–309, Berlin. doi: 10.1007/3-540-32144-6_8
- Jørgensen B.B., Findlay, A.J. & Pellerin, A. (2019): The biogeochemical sulfur marine sediments. *Frontiers in Microbiology*. doi: 10.3389/fmicb.2019.00849
- Kačaroğlu, F. (1999): Review of groundwater pollution and protection in karst areas. *Water Air and Soil Pollution* 113/1, 337–356. doi: 10.1023/A:1005014532330
- Kanduč, T., Šlejkovec, Z., Vreča, P., Samardžija, Z., Verbovšek, T., Božič, D., Jamnikar, S., Solomon, K.D., Fernandez, D.P., Eastoe, C., McIntosh, J., Mori, N. & Grassa, F. (2019): The effect of geochemical processes on groundwater in the Velenje coal basin, Slovenia: insights from mineralogy, trace elements and isotopes signatures. *SN Applied Sciences*, 1, 1518. doi: 10.1007/s42452-019-1561-6
- Kapelj, J. (2002): Strukturni sklop šireg područja Promine u sjevernoj Dalmaciji i odraz na hidrogeološke odnose. Neobjavljena doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 108 str., Zagreb.
- Karlović, I., Pavlić, K., Posavec, K. & Marković, T. (2021): Analysis of the hydraulic connection of the Plitvica stream and the groundwater of the Varaždin alluvial aquifer. *Geofizika*, 38/1, 15–35. doi: 10.15233/gfz.2021.38.3
- Käss, W. (1998): Tracing technique in geohydrology. Balkema, 581 str., Rotterdam.

- Katzer, F. (1921): Pregledna geološka karta Bosne i Hercegovine, list Banja Luka. M 1:200.000, Sarajevo.
- Katzer, F. (1925): Geologie Bosnies und der Herzegovina. Geol. zavod Sarajevo, 1–480 (IH), 481–560 (liH), Sarajevo.
- Kogovšek, J. (1981): Vertical percolation in Planina Cave in the period 1980/81. *Acta Carsologica*, 10, 111–125.
- Kogovšek, J. & Petrič, M. (2010): Water temperature as a natural tracer – a case study of the Malenščica karst spring (SW Slovenia). *Geologia Croatica*, 63/2, 171–177. doi: 104154/gc.2010.14
- Kosović, I. (2008): Utjecaj odlagališta otpada „Lovornik“ na ekosustav Baćinskih jezera. Neobjavljeni diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno matematički fakultet, 30 str., Zagreb.
- Köppen, W. (1884): Die Wärmezonen der Erde, nach der Dauer der heissen, gemässigten und kalten Zeit und nach der Wirkung der Wärme auf die organische Welt betrachtet [The thermal zones of the earth according to the duration of hot, moderate and cold periods and to the impact of heat on the organic world) – Translated by Volken, E. & Brönnimann, S.]. *Meteorologische Zeitschrift* (published 2011), 20/3, 351–360. doi: 10.1127/0941-2948/2011/105
- Krešić, N. (1997): Quantitative solutions in hydrogeology and groundwater modeling. Lewis Publishers, 461 str., New York.
- Langbein, W.B. (1938): Some channel storage studies and their application to the determination of infiltration. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, 19, 435–447. doi: 10.1029/TR019i001p00435
- La Vigna, F., Mazza, R., Amanti, M., Di Salvo, C., Petitta, M., Pizzino, L., Pietrosante, A., Martarelli, L., Bonfà, I., Capelli, G., Cinti, D., Ciotoli, F., Ciotoli, G., Conte, G., Del Bon, A., Dimasi, M., Falcetti, S., Gafà, R. M., Lacchini, A. & Succhiarelli, C. (2016): Groundwater of Rome. *Journal of Maps*, 12, 88–93. doi: 10.1080/17445647.2016.1158669
- Lauber, U. & Goldscheider, N. (2014): Use of artificial tracers to assess groundwater transit-time distribution and flow systems in a high-alpine karst system (Wetterstein Mountains, Germany). *Hydrogeology Journal*, 22, 1807–1824. doi: 10.1007/s10040-014-1173-6
- Le Mesnil, M., Moussa, R., Charlier, J-B. & Caballero, Y. (2021): Impact of karst areas on runoff generation, lateral flow and interbasin groundwater flow at the storm-event

- timescale. *Hydrological Earth Systems*, 25, 1259–1282. doi: 10.5194/hess-25-1259-2021
- Li, G., Goldscheider, N. & Field, M.S. (2016): Modeling karst spring hydrograph recession based on head drop at sinkholes. *Journal of Hydrology*, 542/1, 820–827. doi: 10.1016/j.jhydrol.2016.09.052
- Linhares Gardini, G.M., Moreira, R.M., Pimenta, R.C., Scarpelli, R.P. & Augusta dos Santos, E. (2017): Stable isotopes oxygen 18 and deuterium analysis in surface and groundwater of the Jequitiba creek basin, Sete Lagoas, Mg. U: Texteira e Silva, A. & Rezende, H.C. (ur.): International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2017, 22.–27.10.2017. Belo Horizonte – MG, Brazil.
- Longinelli, A. & Flora, O. (2007): Isotopic composition of gypsum samples of Permian and Triassic age from the north-eastern Italian Alps: Palaeoenvironmental implications. *Chemical Geology*, 245, 275–284. doi: 10.1016/j.chemgeo.2007.08.009
- Lukač Reberski, J. (2011): Određivanje podsljevova izvorišta rijeke Gacke na osnovi hidrogeoloških pokazatelja. Neobjavljena doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 158 str., Zagreb.
- Lukač Reberski, J., Marković, T. & Terzić, J. (2009): An estimation of groundwater type and origin of the complex karst catchment using hydrological and hydrogeochemical parameters: A case study of the Gacka river springs. *Geologia Croatica*, 62/3, 157–177. doi: 0.4154/gc.2009.15
- Lucianetti, G., Mazza, R. & Mastroiello, L. (2019): Hydrogeology of a high Alpine carbonate aquifer (Pale di San Martino, Dolomites, Northern Italy). *Journal of Maps*, 15/2, 448–459. doi: 10.1080/17445647.2019.1611497
- Magaš, N., Marinčić, S. & Benček, S. (1972): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Ploče L33-35. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Maillet, E. (1905): *Essais d'hydraulique souterraine et fluviale*. Librairie Science, A. Herman, 218 str., Pariz.
- Malard, A., Jeannin, P.-Y., Vouillamoz, J. & Weber, E. (2015): An integrated approach for catchment delineation and conduit-network modeling in karst aquifers: application to a site in the Swiss tabular Jura. *Hydrogeology Journal*, 23, 1341–1357. doi: 10.1007/s10040-015-1287-5
- Maloszewski, P. & Zuber, A. (2002): Manual on lumped-parameter models used for the interpretation of environmental tracer data in groundwaters. U: Yurtsever, Y. (ur.): Use

- of Isotopes for Analyses of Flow and Transport Dynamics in Groundwater Systems. IAEA, 1–50, Beč.
- Mance, Di., Mance, Da. & Vukić Lušić, D. (2018): Environmental isotope ^{18}O in coastal karst spring waters as a possible predictor of marine microbial pollution. *Acta Adriatica*, 59/1, 3–16.
- Mandić, M., Bojić, D., Roller-Lutz, Z., Lutz, H.O. & Krajcar Bronić, I. (2008): Note on the spring region of Gacka River (Croatia). *Isot. Environ. Health S.*, 44, 201–208.
- Mangin, A. (1981): Utilisation des analyses corrélatrice et spectral dans l'approche des systems hydrologiques. *Comptes Rendues Acad. Sci. Paris*, 293, 401–404.
- Mangin, A. (1984): Pour une meilleure connaissance des systems hydrologiques a partir des analyses corrélatrice et spectral. *Journal of Hydrology*, 67, 25–43. doi: 10.1016/0022-1694(84)90230-0
- Marinčić, S., Magaš, N. & Benček, Đ. (1979): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Ploče K 33-35. Geološki zavod, Zagreb, Savezni geološki institut, Beograd.
- Marinčić, S. (2009a): Paleogen, pregled geoloških zbiljanja. U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 73–74, Zagreb.
- Marinčić, S. (2009b): Flišne naslage (srednji i gornji eocen – E_{2,3}). U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 77–79, Zagreb.
- Martin, J.B. & Dean, R.W. (1999): Temperature as a natural tracer of short residence times for groundwater in karst aquifers. U: Palmer, A.N., Palmer, M.V. & Sasowsk, I.D. (ur.): *Karst Modeling. Karst Waters Institute Special Edition 5*, 236–242, Florida.
- Martin, J.B. & Dean, R.W. (2001): Exchange of water between conduits and matrix in the Floridan aquifer. *Chem. Geol.*, 179, 145–165.
- Matić, N., Maldini, K., Cuculić, V. & Frančisković-Bilinski, S. (2012): Investigations of karstic springs of the Biokovo Mt from the Dinaric karst of Croatia. *Geochemistry*, 72(2), 179–190. doi: 10.1016/J.CHEMER.2011.08.001
- Meiman, J., Groves, C. & Herstein, S. (2001): In-cave dye tracing and drainage basin divides in the Mammoth Cave karst aquifer, Kentucky. U: Kuniandy, E. L. (ur.): *U.S. Geological Survey Karst Interest Group Proceedings*, 13.–16.2.2001., *Water-Resources Investigations Report 01-4011*, 179–185, St. Petersburg, Florida.
- Miao, Z., Brusseau, M.L., Carroll, K.C., Carreón-Diazconti, C. & Johnson (2013): Sulfate reduction in groundwater: Characterization and applications for remediation. *Environ Geochem Health*, 34/4, 539-550. doi: 10.1007/s10653-011-9423-1

- Mihanović, H., Vilibić, I., Šepić, J., Matic, F., Ljubešić, Z., Mauri, E., Gerin, R., Notarstefano, G., Poulain, P.-M. (2021): Observation, preconditioning and recurrence of exceptionally high salinities in the Adriatic Sea. *Frontiers in Marine Science*, 8, 2296-7745. doi: 10.3389/fmars.2021.672210
- Mihu-Pintile, A., Romanescu, G. & Stoleriu, C.C. (2014): The seasonal changes of the temperature, pH and dissolved oxygen in the Cuedel Lake, Romania. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 9/2, 113–123.
- Mojičević, M. & Laušević, M. (1966): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Mostar K 33-24. Geološki zavod, Sarajevo, Savezni geološki institut, Beograd.
- Mojičević, M. & Laušević, M. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Mostar L33-24. Institut za geološka istraživanja, Sarajevo, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Moore, D.S., Notz, W.I. & Flinger, M.A. (2017): *The Basic Practice of Statistics*. Freeman and Company, 654 str., New York.
- Newton, R.J., Pevitt, E.L., Wignall, P.B. & Bottrell, S.H. (2004): Large shifts in the isotopic composition of seawater sulphate across the Permo-Triassic boundary in northern Italy. *Earth and Planetary Science Letters*, 218, 331–345. doi: 10.1016/S0012-821X(03)00676-9
- Oprašić, S., Avdić, S., Selmanagić Bajrović, A., Muharemović, A., Prašović, S. & Trbić, G. (2016): Treći nacionalni izvještaj i drugi dvogodišnji izvještaj o emisiji stakleničkih plinova Bosne i Hercegovine. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv Okvirne konvencije Ujedinjenih nacija o klimatskim promjenama (UNFCCC), 260 str., Sarajevo.
- Ozyurt, N.N., Lutz, H.O, Hunjak, T., Mance, D. & Roller-Lutz, Z. (2014): Characterization of the Gacka River basin karst aquifer (Croatia): Hydrochemistry, stable isotopes and tritium-based mean residence times. *Sci. Total Environ.*, 487, 245–254.
- Paar, D., Mance, D., Stroj, A. & Pavić, M. (2019): Northern Velebit (Croatia) karst hydrological system: results of a preliminary ^2H and ^{18}O stable isotope study. *Geologia Croatica*, 72/3, 205–213. doi: 10.4154/gc.2019.15
- Padilla, A. & Pulido-Bosch, A. (1995): Study of hydrographs of karstic aquifers by means of correlation and cross-spectral analysis. *Journal of Hydrology*, 168, 73–89. doi: 10.1016/0022-1694(94)02648-U
- Padilla, A., Pulido-Bosch, A., Mangin, A. (1994): Relative importance of Baseflow and Quickflow from Hydrographs of Karst Spring. *Ground Water*, 32/2, 267–277. doi: 10.1111/j.1745-6584.1994.tb00641.x

- Palmer, N. (2010): Understanding the hydrogeology of karst. *Geologia Croatica*, 63/2, 143–148.
- Pariona, A. (2020): Which is the coldest river in the World? *Environment, World Atlas*. Dostupno na: <https://www.worldatlas.com/articles/which-is-the-coldest-river-in-the-world.html> [18.11.2020]
- Parise, M., Ravbar, N., Živanović, V., Mikszewski, A., Kresic, N., Mádl-Szőnyi, J. & Kukurić, N. (2015): Hazards in karst and managing water resources quality. U: Stevanović, Z. (ur.): *Karst Aquifers – Characterization and Engineering. Professional Practice in Earth Sciences*. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-12850-4_17
- Parkhurst, D.L. & Appelo, C.A.J. (1999): User's Guide to PHREEQC (Version 2) – A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. U.S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report, 99-4259, Washington DC.
- Parlov, J. (2010): Identifikacija parametara za modeliranje toka podzemne vode glavnih izvora Mirne. Neobjavljena doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 116 str., Zagreb.
- Patekar, M., Baniček, I., Rubinić, J., Lukač Reberski, J., Boljat, I., Selak, A., Filipović, M. & Terzić, J. (2021): Assessing climate change and land-use impacts on drinking water resources in karstic catchments (southern Croatia). *Sustainability*, 13, 5239. doi: 10.3390/su13095239
- Paytan, A., Kastner, M., Campbell, D. & Thiemens, M.H. (1998): Sulfur isotopic composition of Cenozoic seawater sulfate. *Science*, 282, 1459–1462. doi: 10.1126/science.282.5393.1459
- Paytan, A., Lyle, M., Mix, A. & Chase, Z. (2004): Climatically driven changes in oceanic processes throughout the equatorial Pacific. *Paleoceanography*, 19, PA4017. doi: 10.1029/2004PA001024
- Peh, Z. (1990a): Application of factor analysis in dynamic geomorphology. *Geološki vjesnik*, 43, 59–67.
- Peh, Z. (1990b): Način izrade i primjena faktorskih karata u analizi strukturnih odnosa. *Geološki vjesnik*, 43, 69–79.
- Peh, Z. (1992): Factor model of the geomorphological system of a part of Northwestern Croatia. *Geologia Croatica*, 45, 163–172.
- Piper, A.M. (1994): A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25, 914–928. doi: 10.1029/TR025i006p00914

- Plagnes, V. & Bakalowicz, M. (2002): The protection of a karst water resource from the example of the Larzac karst plateau (south of France): a matter of regulations or a matter of process knowledge? *Engineering Geology*, 65, 107–116. doi: 10.1016/S0013-7952(01)00117-X
- Plummer, L. N. & Back, W. (1980): The mass balance approach: application to interpreting the chemical evolution of hidrologic system. *American Journal of Science*, 280, 130–142. doi: 10.2475/ajs.280.2.130
- Podubsky, V. (1963): Regionalne karakteristike geneze i geotektonskog položaja gips-anhidritskih ležišta zapadne Bosne i Hercegovine i Hrvatske. *Geol. glasnik*, 7, 161–167, Sarajevo.
- Podubsky, V. (1976): Gips i anhidrit. U: Milojević, R. (ur.): *Mineralne sirovine Bosne i Hercegovine, Knjiga II, Ležišta nemetala*. Geoinženjering, 328–338, Sarajevo.
- Posavec, K., Bačani, A. & Nakić, Z. (2006): A Visual Basic macro for recession curve analysis. *Ground Water*, 44/5, 764–767. doi: 10.1111/j.1745-6584.2006.00226.x
- Posavec, K., Parlov, J. & Bačani, A. (2009): A Visual Basic spreadsheet macro for estimating groundwater recharge. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 21/1, 19–23.
- Posavec, K., Vukojević, P., Ratkaj, M. & Bedeniković, T. (2017): Cross-correlation modelling of surface water–groundwater interaction using the Excel spreadsheet application. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 32/1, 25–32. doi: 10.17794/rgn.2017.1.4
- Posilović, H., Galović, L., Stejić, P., Pandurov, M. & Gajić, R. (2018): Quaternary depositional environments in the Vrgoračko Polje/Lake (SE Croatia). *Geologia Croatica*, 71/3, 147–162. doi: 10.4154/gc.2018.16
- Prelogović, E., Blašković, I., Cvijanović, D., Skoko, D. & Aljinović, B. (1981): Seizmotektonske značajke vinodolskog područja. *Geološki vjesnik*, 33, 75–93.
- Pu, J., Yuan, D., Zhang, C. & Zhao, H. (2012): Hydrogeochemistry and possible sulfate sources in karst groundwater in Chongqing, China. *Environmental Earth Sciences*, 68, 159–168. doi: 10.1007/s12665-012-1726-8
- Puška, A. & Beganović, A.I. (2017): Primjena klaster analize u ekonomskim istraživanjima. *Oeconomica Jadertina*, 6/1, 3–19. doi: 10.15291/oec.317
- Raić, V. & Papeš, J. (1968): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Imotski L33-23. Institut za geološka istraživanja, Sarajevo, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Raić, V. & Papeš, J. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Metković L33-36. Institut za geološka istraživanja, Sarajevo, Savezni geološki zavod, Beograd.

- Raić, V., Papeš, J., Behlilović, S., Crnolatac, I., Mojičević, M., Ranković, M., Slišković, T., Dorđević, B., Golo, B., Ahac, A., Luburić, P. & Marić, Lj. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Metković K 33-36. Geološki zavod, Sarajevo, Savezni geološki institut, Beograd.
- Raić, V., Ahac, A. & Papeš, J. (1978): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Imotski K 33-23. Geološki zavod, Sarajevo, Savezni geološki institut, Beograd.
- Rees, C.E., Jenkins, W.J. & Monster, J. (1978): The sulphur isotopic composition of ocean water sulphate. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42/4, 377–381. doi: 10.1016/0016-7037(78)90268-5
- Rodgers, P., Soulsby, C. & Waldron, S. (2005): Stable isotope tracers as diagnostic tools in upscaling flow path understanding and residence time estimates in a mountainous mesoscale catchment. *Hydrological Processes*, 19/11, 2291–2307. doi:10.1002/hyp.5677
- Rožič, P.Ž., Polenšek, T., Verbovšek, T., Kanduč, T., Mulec, J., Vreča, P., Strahovnik, L. & Rožič, B. (2022): An integrated approach to characterising sulphur karst springs: a case study of the Žvepovnik spring in NE Slovenia. *Water*, 14, 1249. doi:10.3390/w14081249
- Rubinić, J. & Horvat, B. (2015): Pilot area Southern Dalmatia, Croatia. Drinkadria projekt, Izvještaj u sklopu radnog paketa 4.2. Građevinski fakultet u Rijeci, 25 str., Rijeka.
- Rushton, K. R. (2003): *Groundwater Hydrology*. John Wiley & Sons, University of Birmingham, 394 str., Birmingham, UK.
- Ryan, M. & Meiman, J. (1996): An examination of short-term variations in water quality at a karst spring in Kentucky. *Ground Water*, 34/1, 23–30.
- Sikošek, B. (1971): Tumač geološke karte SFR Jugoslavije 1:500.000. Institut za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, 62 str., Beograd.
- Samani, N. & Ebrahimi, B. (1996): Analysis of spring hydrographs for hydrogeological evaluation of a karst aquifer system. *Theor. Appl. Karstol.*, 9, 97–112.
- Sasowsky, I.D. & Dalton, C.T. (2005): Measurement of pH for field studies in karst areas. *Journal of Cave and Karst Studies*, 67/2, 127–132.
- Savezni geološki zavod Beograd (1970): Geološka karta SFR Jugoslavije 1:500.000. Institut za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd.

- Schiavo, M.A., Hauser, S. & Povinec, P.P (2009): Stable isotopes of water as a tool to study groundwater–seawater interactions in coastal south-eastern Sicily. *Journal of Hydrology*, 364/1–2, 40–49, doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.10.005
- Sinreich, M., Pronk, M. & Kozel, R. (2014): Microbiological monitoring and classification of karst springs. *Environmental Earth Sciences*, 71, 563–572. doi: 10.1007/s12665-013-2508-7
- Smart, C.C. (1988): Artificial tracer techniques for the determination of the structure of conduit aquifers. *Groundwater*, 26/4, 445–453. doi: 10.1111/j.1745-6584.1988.tb00411.x
- Sokač, B. (2009a): Trijas, pregled geoloških zbivanja. U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 27–28, Zagreb.
- Sokač, B. (2009b): Sajske i kampilske naslage (donji trijas – T₁). U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 29–32, Zagreb.
- Sokač, B. (2009c): Karbonatne naslage (srednji trijas – T₂). U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 32–34, Zagreb.
- Sokač, B. (2009d): Klastične naslage (?gornji ladinik–donji norik T₂²⁻³). U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 39–40, Zagreb.
- Sokač, B. (2009e): Dolomiti (?gornji norik, ret – T₂²⁻³). U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 41–42, Zagreb.
- Sorensen, J.A. & Glass, G.E. (1987): Ion and temperature dependence of electrical conductance for natural waters. *Analytical Chemistry*, 59, 1594–1597. doi: 10.1021/ac00140a003
- Steinhart, J.S. & Hart, S.R. (1968): Calibration curves for thermistors. *Deep-Sea Research*, 15, 497–503. doi: 10.1016/0011-7471(68)90057-0
- Stevanović, Z., Krešić, N. & Kukurić, N. (2020): *Karst Without Boundaries*. Taylor & Francis eBooks, 376 str.
- Slišković, I. (1994): On the hydrogeological conditions of the western Herzegovina (Bosnia and Herzegovina) and possibilities for new groundwater extractions. *Geologia Croatica*, 47/2, 221–231.
- Slišković, I. (2014): *Vode u kršu slivova Neretve i Cetine*. Hrvatski geološki institut, 171 str. Zagreb.

- Slišković, I. & Bilopavlović, V. (2003): Vodoopskrbni potencijali i korištenje voda sliva Mostarskog blata. U: Gereš, D. (ur.): 3. Hrvatska konferencija o vodama – Hrvatske vode u 21. stoljeću, 28.–31.5.2003., Zbornik radova, 1, 909–917, Osijek.
- Slišković, I., Kapelj, S. & Vidović, M. (1997): Zaštita izvora Norinske rijeke – Metković. Hrvatske vode, 19, 147–159.
- Slišković, I., Kapelj, J. & Kapelj, S. (1998): Hydrogeological conditions and the necessity for sanitary protection of the Norinska river–Prud spring, Metković, Croatia. *Geologia Croatica*, 51/1, 91–103.
- Smirčić, A., Glavaš, B. & Švonja, M. (1995): Neke hidrološke i batimetrijske značajke Baćinskih jezera. U: Gereš, D. & Margeta, J. (ur.): Hrvatska konferencija o vodama – Hrvatske vode od Jadrana do Dunava, 19.–22.5.1999, Zbornik radova, 1, 471–482, Dubrovnik.
- Smoljan, I. (1970): Neretva. Nezavisno autorsko izdanje, 382 str., Zagreb.
- Spötl, C. & Pak, E. (1996): A strontium and sulfur isotopic study of Permo-Triassic evaporites in the Northern Calcareous Alps, Austria. *Chemical Geology*, 131, 219–234. doi: 10.1016/0009-2541(96)00017-4
- Strauss, H. (1997): The isotopic composition of sedimentary sulfur through time. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 132/1–4, 97–118. doi: 10.1016/S0031-0182(97)00067-9
- Stroj, A. (2010): Podzemni tokovi u zaleđu krških priobalnih izvora na području Velebitskog kanala. Neobjavljena doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 259 str., Zagreb.
- Stumm, W. & Morgan, J.J. (1996): *Aquatic chemistry. Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. John Wiley & Sons Inc., 1040 str., New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.
- Surić, M. (2009): Reconstructing sea-level changes on the eastern Adriatic Sea (Croatia) – an overview. *Geoadria*, 14/2, 181–199.
- Šegota, T. & Filipčić, A. (1996) *Klimatologija za geografe*. Školska knjiga, 471 str., Zagreb.
- Šiftar, D. (1986): Starost evaporita u području Sinj–gornji tok Une. *Geološki vjesnik*, 39, 55–60.
- Šimunić, A. (2009): Karbonatni fliš i klastiti (paleocen, eocen – Pc, E). U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), *Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000*. Hrvatski geološki institut, 75–77, Zagreb.

- Srša, J. (2015): Faktorska analiza. Neobjavljeni diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, 45 str., Zagreb.
- Štambuk-Giljanović, N. (1994): Vode Dalmacije. Zavod za javno zdravstvo Splitsko-dalmatinske županije, 588 str., Split.
- Šušnjar, M. (1981): Genetski faktori i geološke okolnosti mobiliteta i dijapirizma s osvrtom na imobilna i mobilna stanja kalcijско-sulfatnih naslaga u prostoru Dinarida. *Nafta*, 221 str., Zagreb.
- Šušnjar, M., Bukovac, J., Marinčić, S. & Savić, D. (1965): Stratigrafija gipsnih naslaga Unske doline i korelacija s poznatim evaporitnim naslagama i popratnim facijesima u Primorju, Dalmaciji, Lici i zapadnoj Bosni. *Acta geol.*, 5, 407–422.
- Šušnjara, A., Sakač, K., Gabrić, A. & Jelen, M. (1992): Upper Permian evaporites and associated rocks of Dalmatia and borderline area of Lika and Bosna. *Geologia Croatica*, 45, 95–114.
- Thode, H.G. (1991): Sulphur isotopes in nature and the environment: an overview. U: Krouse, H.R. & Grinenko, V.A. (ur.): *Stable Isotopes in the Assessment of Natural and Anthropogenic Sulphur in the Environment*. John Wiley & Sons Ltd, 1–26, Pariz.
- Terzić, J. (2006): Hidrogeologija jadranskih krških otoka. Neobjavljena doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 220 str., Zagreb.
- Terzić, J., Peh, Z. & Marković, T. (2010): Hydrochemical properties of transition zone between fresh groundwater and seawater in karst environment of the Adriatic islands, Croatia. *Environmental Earth Sciences*, 59, 1629–1642. doi: 10.1007/s12665-009-0146-x
- Terzić, J., Stroj, A. & Frangen, F. (2012): Hydrogeological investigation of karst system properties by common use of diverse methods: a case study of Lička Jesenica springs in Dinaric karst of Croatia. *Hydrological Processes*, 26/21, 3302–3311. doi: 10.1002/hyp.9194
- Terzić, J., Grgec, D., Lukač Reberski, J., Selak, A., Boljat, I. & Filipović, M. (2021): Hydrogeological estimation of brackish groundwater lens on a small Dinaric karst island: Case study of Ilovik, Croatia. *Catena*, 204, 105379, doi: 10.1016/j.catena.2021.105379.
- Terzić, J., Frangen, T., Borović, S., Lukač Reberski, J. & Patekar, M. (2022): Hydrogeological assessment and modified conceptual model of a Dinaric karst island aquifer. *Water*, 14/3, 44. doi: 10.3390/w14030404
- Tišljar, J. (1992): Origin and depositional environments of the evaporite and carbonate complex (Upper Permian) from the central part of the Dinarides (Southern Croatia and Western Herzegovina). *Geologia Croatica*, 45, 115–126.

- Tomić, J. (2015): Analiza recesijskog dijela hidrograma otjecanja izvora Opačac (Visual Basic Spreadsheet Macro). Neobjavljeni diplomski rad, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 175 str., Split.
- Turc, L. (1954): Le bilan d'eau des sols: Relations entre les precipitations, l'évaporation et l'écoulement. *Annales Agronomiques*, 5, 491–595.
- Urumović K., Duić Ž. & Hlevnjak B. (2009): Hidrogeološko značenje koeficijenta recesije na primjeru istarskih izvora. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 21, 25–34, Zagreb.
- Velić, I., Vlahović, I. & Matičec, D. (2002): Depositional sequences and paleogeography of the Adriatic Carbonate Platform. *Mem. Soc. Geol. It.*, 57, 141–151.
- Velić, I. & Vlahović, I. (ur.) (2009a): Tumač geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 141 str., Zagreb.
- Velić, I. & Vlahović, I. (2009b): Jura, pregled geoloških zbivanja. U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 42–44, Zagreb.
- Velić, I. & Vlahović, I. (2009c): Karbonatna platforma, Vapnenci i dolomiti (donja jura – J₁). U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 44–45, Zagreb.
- Velić, I. & Vlahović, I. (2009d): Karbonatna platforma, Debeloslojeviti vapnenci i dolomiti (srednja jura – J₂). U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 45–47, Zagreb.
- Velić, I. & Vlahović, I. (2009e): Karbonatna platforma, Vapnenci i dolomiti (gornja jura – J₃). U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 47–49, Zagreb.
- Velić, I. & Vlahović, I. (2009f): Karbonatna platforma Krških Dinarida, Vapnenci i dolomiti (donja kreda – K₁). U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 63–65, Zagreb.
- Velić, I., Vlahović, I. & Fuček, L. (2009): Kreda Jadranske karbonatne platforme. U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 60–62, Zagreb.
- Vlahović, I. & Velić, I. (2009a): Liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci i prijelazne naslage (?gornji paleocen, donji i srednji eocen – ?Pc, E_{1,2}). U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 76–66, Zagreb.

- Vlahović, I. & Velić, I. (2009b): Prominske naslage (eocen, oligocen – E, Ol). U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 79–80, Zagreb.
- Vlahović, I., Tišljarić, J., Velić, I. & Matičec, D. (2002): The Karst Dinarides are composed of relics of a single Mesozoic platform: Facts and consequences. *Geologia Croatica*, 55/2, 171–183.
- Vlahović, I., Tišljarić, J., Velić, I. & Matičec, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220, 333–360.
- Vlahović, I., Tišljarić, J. & Velić, I. (2009): Karbonatna platforma Krških Dinarida, Dolomiti i postsedimentacijske dijagenetske breče (gornji alb, donji cenoman – K₁⁶, K₂¹). U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.), Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 66–66, Zagreb.
- 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. doi: 10.1016/j.jhydrol.2006.04.005
- Vukosav, P., Mlakar, M., Cukrov, N., Kwokal, Ž., Pižeta, I., Pavlus, N., Špoljarić, I., Vurnek, M., Brozinčević, A. & Omanović, D. (2014): Heavy metal contents in water, sediment and fish in a karst aquatic ecosystem of the Plitvice Lakes National Park (Croatia). *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 21, 3826–3839. doi: 10.1007/s11356-013-2377-3
- Wadleigh, M.A., Schwartz, H.P. & Kramer, J.R. (1994): Sulfur isotope tests of seasalt correction factors in precipitation, Nova Scotia, Canada. *Water Air and Soil Pollution*, 77, 1–16. doi: 10.1007/BF00483047
- Wakshal, E. & Nielsen, H. (1983): Isotopic composition of $\delta^{34}\text{S}(\text{SO}_4)$ in rain water over Israel. U: International Atomic Energy Agency: Symposium on Isotope Hydrology, 12.–16.9.1983., Zbornik radova, 828–829, Beč.
- Wang, Z., Torres, M., Paudel, P., Hu, L., Yang, G. & Chu, X. (2020): Assessing the karst groundwater quality and hydrogeochemical characteristics of a prominent dolomite aquifer in Guizhou, China. *Water*, 12, 2584. doi: 10.3390/w12092584
- Weiler, M. & Flühler, H. (2004): Inferring flow types from dye patterns in macroporous soils. *Geoderma*, 120, 137–153. doi: 10.1016/j.geoderma.2003.08.014
- Whang, H. & Zhang, Q. (2019): Research advances in identifying sulfate contamination sources of water environment by using stable isotopes. *Environmental Research and Public Health*, 16/11, 1914. doi: 10.3390/ijerph16111914

- White, W.B. (1988): *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. Oxford University Press, 464 str., Oxford.
- White, W.B. (1993): Analysis of karst aquifers. U: Alley, W.M. (Ur.): *Regional Ground –Water Quality*. Van Nostrand-Reinhold, 471–489, New York.
- White, W.B. (2002): Karst hydrology: recent developments and open questions. *Engineering Geology*, 65, 85–105.
- White, W.B. (2003): Conceptual models for karstic aquifers. U: Palmer, A.N., Palmer, M.V., & Sasowsky, I.D. (ur.): *Karst Modeling: Special Publication 5*. The Karst Waters Institute, 11–16, Charles Town, West Virginia.
- Winston, R.B. (2000): *Graphical User Interface for MODFLOW, Version 4*. U.S. Geological Survey Open-File Report 00-315, 27 str.
- Worden, R.H., Smalley, P.C. & Fallick, A.E. (1997): Sulfur cycle in buried evaporites. *Geology*, 25, 643–646. doi: 10.1130/0091-7613(1997)025<0643:SCIBE>2.3.CO;2
- Worthington, S. (2007): Groundwater residence times in unconfined carbonate aquifers. *Journal of Cave and Karst Studies*, 69/1, 94–102.
- Yeh, H.-F. & Lee, J.-W. (2018): Stable Hydrogen and oxygen isotopes for groundwater sources of Penghu islands, Taiwan. *Geosciences*, 8/3, 84. doi: 10.3390/geosciences8030084
- Zaninović, K., Srnc, L. & Perčec Tadić, M. (2004): Digitalna godišnja temperaturna karta Hrvatske. *Hrvatski meteorološki časopis*, 39, 51–58.
- Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M., Vučetić, M., Milković, J., Bajić, A., Cindrić, K., Cvitan, L., Katušin, Z., Kaučić, D., Likso, T., Lončar, E., Lončar, Ž., Mihajlović, D., Pandžić, K., Patarčić, M., Srnc, L. & Vučetić, V. (2008): *Klimatski atlas Hrvatske 1961.–1990., 1971.–2000*. Državni hidrometeorološki zavod, 172 str., Zagreb.
- Zerem, N. (2016): Trebižat river water balance impact of sinking water from Trebižat river bed on the yield of Prud spring. *Naš krš*, 49, 12–25.
- Željковиć, I. & Kadić, A. (2015): Groundwater balance estimation in karst by using simple conceptual rainfall–runoff model. *Environmental Earth Sciences*, 74, 6001–6015. doi: 0.1007/s12665-015-4624-z

Stručni radovi:

- Antunović, I. (2007): *Stručni elaborat – Zaštita izvorišta voda Radobolje i Studenca*. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv Grada Mostara – Službe za građenje infrastrukturnih objekata, 247 str., Mostar.

- Antunović, I. (2011): Izvorište vrela Studenci – Projekt istražnih radova za uspostavu zaštite podzemnih voda. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv općine Ljubuški, 114 str., Ljubuški.
- Antunović, I. (2012): Elaborat zaštite izvorišta Lištica. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv općine Široki Brijeg, 114 str., Široki Brijeg.
- Antunović, I. (2018): Elaborat zaštite izvorišta Vriostica. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv općine Ljubuški, 113 str., Ljubuški.
- Biondić, R., Biondić, B., Rubinić, J., Meaški, H., Kapelj, S. & Tepeš, P. (2008): Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda na krškom području u Republici Hrvatskoj. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv Hrvatskih voda, 385 str., Zagreb.
- Bojanić, L. (1980): Vrgoračko polje (Jezero) – Izvještaj o geološko-hidrogeološkom rekognosciranju polja od mosta otok (Šunjići) do ponora Crni Vir. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 115 str., Zagreb.
- Bojanić, L. & Ivičić D. (1980): Hidrogeološka studija područja Aržano–Brela–Metković. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 75 str., Zagreb.
- Ivičić, D. (1992a): Hidrogeološki istražni radovi za određivanje zona sanitarno-tehničke zaštite izvora Banja i Butina — Vrgorac. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 28 str., Zagreb.
- Ivičić, D. (1992b): Program hidrogeoloških istražnih radova potrebnih za prijedlog zona sanitarne zaštite izvora Modro oko. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv Hrvatskog geološkog instituta 14 str., Zagreb.
- Ivičić, D. (1995): Hidrogeološki istražni radovi za prijedlog zona sanitarne zaštite izvora Opačac. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 30 str., Zagreb.
- Ivičić, D. & Pavičić, A. (1996): Hidrogeološki istražni radovi za prijedlog zona sanitarne zaštite za izvore Klokun i Modro Oko. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 38 str., Zagreb.
- Ivičić, D. & Pavičić, A. (1997): Hidrogeološki istražni radovi za prijedlog zona sanitarne zaštite za izvore Klokun – Bojenje ponora kod Crpala (Spilice). Neobjavljeni izvještaj, Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, xx str., Zagreb.
- Ivičić, D., Pavičić, A., Dukarić, F. & Miklin, Ž. (2008): Studija utjecaja na okoliš. Jadranska autocesta – Sektor Ploče–Dubrovnik. Dionica Doli–Dubrovnik. Hidrogeološki i inženjerskogeološki radovi. Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 27 str., Zagreb.
- Kapelj, J. & Terzić, J. (2005): Lokacija kamenoloma tehničkog kamena Obličevac kod Ploča: Izvještaj o provedenom trasiranju toka podzemne vode. Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 11 str., Zagreb.

- Kapelj, S., Kapelj, J. & Singer, D. (2012): Hidrogeološka istraživanja sliva Jadra i Žrnovnice. Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 11 str., Zagreb.
- Miko, S., Ilijanić, N., Marković, T., Hasan, O., Bakrač, K., Galović, I., Mihalić, K. & Mesić, S. (2015): Paleolimnološka istraživanja Baćinskih jezera. Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 485 str., Zagreb.
- Munda, B., Ljubešić, J., Jelić, M. & Ivačić, V. (2016): Vodoistražni radovi mikrozoniranja na lokaciji odlagališta komunalnog otpada Lovornik. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv grada Ploče, 26 str., Ploče.
- Slišković, I. (1996): Elaborat – Hidrogeološka istraživanja za prijedlog zona sanitarne zaštite izvora Prud (Norinska rijeka). Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 29 str., Zagreb.
- Slišković, I. (2000): Hidrogeološki radovi za HE Peć Mlini; Akumulacija Nuga (Imotsko polje). Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 27 str., Zagreb.
- Slišković, I. (2001): Izvor Norinske rijeke – Hidrogeološki istražni radovi za sanitarnu zaštitu crpilišta Prud – Trasiranje podzemnih tokova preko ponora kod kružnog toka u Ljubuškom. Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 8 str., Zagreb.
- Slišković, I. (2009a): Osnovna hidrogeološka karta Republike Hrvatske – Tumač lista Ston. Hrvatski geološki institut, Zagreb. Radna, neregulirana verzija.
- Slišković, I. (2009b): Osnovna hidrogeološka karta Republike Hrvatske – Tumači listova Ploče i Metković. Hrvatski geološki institut, Zagreb. Radna, neregulirana verzija.
- Stroj, A. (2007): Metode analize i interpretacije krških izvora. Neobjavljeni seminarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 39 str., Zagreb.
- Terzić, J., Lukač Reberski, J., Frangen, T. & Rubinić, J. (2015): Hidrogeološka istraživanja Baćinskih jezera. Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 208 str., Zagreb.
- Turner, S. (1955): Tehnički izvještaj o bojenju ponornica na području Imotski–Neretva. Bojenje Vrgorsko jezero–more. Fond. dok. RHMZ, Zagreb.
- Turner, S. (1959): Bojenja Vrgorsko jezero–dolina Neretve. Tehnički izvještaj o bojenju potoka Matice Vrgorske na ponoru Staševica u Vrgorskom jezeru. Broj knjige bojenja 49. Tehnički izvještaj o bojenju Matice Vrgorske na ponoru Crni Vir u Vrgorskom Jezeru. Bojenje br. 48. Fond dok. RHMZ, Zagreb.

Pravilnici:

- Narodne novine 125/17 (2017): Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe.

ŽIVOTOPIS

Marina Filipović rođena je 30. travnja 1985. godine u Zenici (Bosna i Hercegovina). Osnovnu školu pohađala je u Žepču, a srednjoškolsko obrazovanje u općoj gimnaziji Katoličkog školskog centra „Don Bosco“, također u Žepču.

Studij geologije je upisala na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu 2004. godine. Pod mentorstvom prof. dr. sc. Ivana Dragičevića i prof. dr. sc. Boška Lugovića 2011. godine obranila je diplomski rad pod naslovom „Geološki položaj i petrografske osobitosti peridotita na lokalitetu Ograjina (Žepče, BiH)“.

Od završetka studija do 2012. godine bila je zaposlena u privatnoj tvrtki MPV d.o.o u Zagrebu, gdje je radila kao pomoćnica nadzornog inženjera na tunelu 1. Maj u Zenici (Bosna i Hercegovina). Od 2012. do 2014. radila je u privatnoj tvrtki Geodata d.o.o kao projektantica na terenima u Indiji, Italiji i Hrvatskoj. Od 2015. je zaposlena kao stručna suradnica na europskim projektima u Zavodu za hidrogeologiju i inženjersku geologiju Hrvatskog geološkog instituta u Zagrebu.

Poslijediplomski doktorski studij na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, smjer Geološko inženjerstvo, upisala je 2014. godine.

Znanstveni i stručni interesi Marine Filipović vezani su za hidrogeologiju krša, ponajviše hidrokemiju te izotopna istraživanja i inženjersku geologiju (egzogenetski procesi i geološki hazardi).

Članica je Hrvatskog geološkog društva i International Association of Hydrogeologists.

Popis objavljenih radova:

Filipović, M., Frangen, T., Terzić, J. & Lukač Reberski, J. (2022): Hydrogeology of a complex karst catchment in southern Dalmatia (Croatia) and western Herzegovina (Bosnia and Herzegovina). *Journal of Maps*. doi: 10.1080/17445647.2022.2112775

Gulam, V., Bostjančić, I., Hećej, N., Filipović, M. & Filjak, R. (2022): Preliminary analysis of LiDAR-based landslide inventory in the area of Samobor, Croatia. *Geologia Croatica*, 75/1, 51–66. doi:10.4154/gc.2022.12

Filipović, M., Mišur, I., Gulam, V. & Horvat, M. (2022): A case study in the research polygon in Glina and Dvor municipality, Croatia – landslide susceptibility assessment of geological units. *Geologia Croatica*, 75/1, 17–33. doi:10.4154/gc.2022.04

- Terzić, J., Filipović, M., Boljat, I., Selak, A. & Lukač Reberski, J. (2021): Groundwater level and electrical conductivity datasets acquired within pumping tests on Ilovik Island in Croatia. *Data in Brief*, 37, 107180, 5. doi:10.1016/j.dib.2021.107180
- Patekar, M., Baniček, I., Rubinić, J., Lukač Reberski, J., Boljat, I., Selak, A., Filipović, M. & Terzić, J. (2021): Assessing climate change and land-use impacts on drinking water resources in karstic catchments (southern Croatia). *Sustainability*, 13/9 5239. doi:10.3390/su13095239
- Terzić, J., Grgec, D., Lukač Reberski, J., Selak, A., Boljat, I. & Filipović, M. (2021): Hydrogeological estimation of brackish groundwater lens on a small Dinaric karst island: Case study of Ilovik, Croatia. *Catena*, 204. doi:10.1016/j.catena.2021.105379
- Bostjančić, I., Filipović, M., Gulam, V. & Pollak, D. (2021): Regional-scale landslide susceptibility mapping using limited LiDAR-based landslide inventories for Sisak-Moslavina County, Croatia. *Sustainability*, 13, 4543. doi:10.3390/su13084543

Znanstveni radovi u zbornicima znanstvenih skupova:

- Borović, S., Patekar, M., Terzić, J., Pola, M., Filipović, M., Briški, M., Kosović, I. & Novosel, T. (2021): Options for managed aquifer recharge of karst aquifer on Vis island (Croatia). *EGU General Assembly 2021: Sharing Geoscience Online*. EGU21-12195, 1. doi:10.5194/egusphere-egu21-12195
- Selak, A., Lukač Reberski, J., Terzić, J., Boljat, I., Čapalija, B., Leontić, M., Bulović, B., Patekar, M. & Filipović, M. (2020): Emerging contaminants in water resources of Croatian karst – boDEREC-CE project. *EGU General Assembly 2020: Sharing Geoscience Online*. EGU2020-575, 2. doi:10.5194/egusphere-egu2020-575
- Lukač Reberski, J., Terzić, J., Selak, A., Boljat, I., Patekar, M., Filipović, M. & Baniček, I. (2019): Emerging contaminants in groundwater environment – boDEREC-CE project. U: Horvat, M., Matoš, B. & Wacha, L. (ur.): 6. Hrvatski geološki kongres, 9.–12.10.2019., Knjiga sažetaka, 119, Zagreb.
- Filipović, M., Terzić, J., Lukač Reberski, J. & Frangen, T. (2019): Regional and hydrogeological relations in wider catchment area of South Dalmatia (Croatia) and West Herzegovina (Bosnia and Herzegovina). U: Blatnik, M., Gabrovšek, F., Kogovšek, B., Mayaud, C., Petrič, M. & Ravbar, N. (ur.): 27th International karstological school – Classical Karst, Karst hydrogeology - research trends and applications, 17. –22.6.2019., Knjiga sažetaka, 96, Postojna.

- Filipović, M., Terzić, J., Lukač Reberski, J. & Frangen, T. (2018): Regionalna hidrogeološka istraživanja šireg slijevnog područja Baćinskih jezera. U: Rubinić, J.; Ivanković, I. & Bušelić, G. (ur.): Znanstveno stručni skup s međunarodnim sudjelovanjem „Hidrologija u službi zaštite i korištenja voda te smanjenja poplavnih rizika – suvremeni trendovi i pristupi“, 18.–20.10.2018., Zbornik radova, 205, Brela.
- Podolszki, L., Pollak, D., Gulam, V., Bostjančić, I., Frangen, T., Filipović, M., Kurečić, T. & Avanić, R. (2018): Klizište Kubarnovo brdo – Stari put, Hrvatska Kostajnica. U: Holcinger, N. (ur.): VII. Konferencija Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa, 11.–12.10.2018., Zbornik radova, 208, Zagreb.
- Bostjančić, I., Filipović, M., Gulam, V., Pollak, D., Podolszki, L. & Frangen, T. (2018): Karte podložnosti na klizanje od državne do lokalne razine – okosnica safEarth projekta. U: Holcinger, N. (ur.): VII. Konferencija Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa, 11.–12.10.2018., Zbornik radova, 203–207, Zagreb.
- Urumović, K., Stroj, A., Borović, S., Buljan, R., Terzić, J. & Filipović, M. (2017): Hydrogeological research for water-source heat pump utilization in Babin kuk peninsula (Dubrovnik, Croatia). U: Posavec, K. & Marković, T. (ur.): 44th Annual Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH) Groundwater Heritage and Sustainability, 23.–30.9.2017., Knjiga sažetaka, 370, Dubrovnik.
- Lukač Reberski, J., Terzić, J., Frangen, T. & Filipović, M. (2016): Analiza stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i δD u podzemnim i površinskim vodama šireg slijeva izvora Prud. U: Milanolo, S. & Mulaomerović (ur.): Međunarodni znanstveno-stručni skup „Čovjek i krš“, 19.–22.5.2016., Knjiga sažetaka, 38–39, Blagaj.
- Lukač Reberski, J., Terzić, J., Filipović, M., Frangen, T. & Marković, T. (2016): Impact of land use on groundwater quality in south Dalmatia test area. U: Karleuša, B. & Sušan, I. (ur.): Međunarodni simpozij „Cross-border drinking water management“, 29.1.2016, Knjiga sažetaka, 153–167, Rijeka.
- Filipović, M., Lukač Reberski, J., Marković, T., Terzić, J., Frangen, T. & Boljat, I. (2015): Land use impact on groundwater quality in Prud catchment area within project DRINKADRIA. U: Iurkiewicz, A. & Popa, I. (ur.): International IAH Conference „Groundwater Risk Assessment in Urban Areas“, 14.–16.10.2015., Knjiga sažetaka, 15, Constanta.
- Filipović, M. & Filipović, A. (2015): Inženjersko-geološke karakteristike stijenske mase tunela Chenani-Nashri u Indiji. U: Horvat, M. & Wacha, L. (ur.): 5. Hrvatski geološki kongres, 23.–25.9.2015., Knjiga sažetaka, 74–75, Osijek.

Prilog 1. Rezultati kemijskih analiza.

Blidinje jezero												
Mj-god	T	pH	EC	O₂	HCO₃	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO₄	NO₃
	°C		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
stu-17	4,4	8,5	101	11,4	54,9							
pro-17	0,2	8,6	115	12,3	185	18,3	0,3	0,4	0,6	2,7		
sij-18	1,6	8,5	161	13,4		19,4	0,3	0,7	0,7	6,7		0,1
ožu-18	6,6		143	10,9						2,8		0,1
tra-18	20,5	8,4	151	8,0	95,2					1,2		
svi-18	18,6	8,5	152	8,1	112,2	30,3	1,8	1,0	1,5	1,7		
lip-18	16,4	8,5		9,5	112,2	28,3	1,5	0,9	0,6	1,1		
srp-18	22,6	8,6	167	8,3	97,6	31,1	1,8	2,0	2,4	3,2		0,1
kol-18	21,7	8,5	157	9,4	84,2	57,3	2,5	0,4	0,8	1,2	2,0	0,1
ruj-18	12,2	8,2	39	9,8	120,8	32,9	1,9	0,4		2,4	9,2	4,1
lis-18	11,7	8,5	110	9,5	76,9	18,0	1,2	0,7	0,6	2,7	7,3	4,4
stu-18	3,7	8,4	122	11,0	137,9	21,9	0,9	0,2	0,1	2,4	7,6	4,1
vlj-19						1,9	0,1	1,2	0,2	2,0	6,3	3,1
ožu-19	7,5	8,4	155	10,4	74,4	27,6	1,0		0,5	2,5	7,0	3,1
tra-19	12,3	8,4	154	9,4	78,1	26,0	1,1	1,2	1,3	3,6	7,2	3,0
svi-19	14,7	8,5	132	9,6	83,0	23,4	1,0			2,0	7,0	
lip-19	27,4	9,9	116	9,0	150,1	19,9	1,2			1,5	7,3	
srp-19	20,7	9,1	96	10,9	64,7					1,5	7,0	
kol-19	22,9	8,4	125	8,0	87,8	23,6	1,3			1,4	7,5	
ruj-19	14,5	8,4	124	10,2	102,5	30,1	1,8	0,2		1,8	8,5	
lis-19	16,8	8,9	155	14,2	103,7	27,4	1,7	0,1		2,2	9,1	
stu-19	3,0	8,1	42	12,0	90,3	26,1	1,1	0,9	0,4	1,5	4,2	1,0
pro-19					0,0	8,4	0,3	3,0	5,3	3,7	4,2	0,9
sij-20	1,5	8,2	153	12,2	89,1	28,9	1,2	0,7	0,2	1,3	4,2	1,0
vlj-20	5,1	8,2	145	11,8	91,5	27,0	1,0	0,6	0,2	1,3	4,1	1,0
kol-20	29,8	9,5	87	7,7	84,2	16,3	1,2	0,9	0,1	1,1	5,6	
ruj-20	13,9	8,6	131	9,7	54,9	21,5	1,2	1,2	0,8	2,4	4,5	

Borak												
Mj-god	T	pH	EC	O₂	HCO₃	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO₄	NO₃
	°C		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
stu-17	10,1	8,0	348	11,1	184,22							
pro-17	9,2	7,8	373	10,8	178	40,3	2,3	1,4	1,1	3,5	27	
sij-18	9,3	8,2	439	10,8		36,6	1,7	1,1	0,5	4,6	56	
vlj-18	9,5		370	10,8	252,54	33,8	1,8	0,8	0,3	3,7	24	0,2
ožu-18	9,9		311	10,6						2,1	17	0,1
tra-18	9,8	7,8	356	11,0	168,4					1,9	39,0	0,1
svi-18	9,3	7,9	449	10,8	198,9	65,8	4,4	2,0	0,9	2,5	68,0	
lip-18	9,3	7,7		10,6	198,9	64,2	5,0	2,4	0,9	3,3	110,0	0,5
srp-18	9,4	7,8	575	10,2	220,8	65,3	4,8	3,1	1,5	4,4	140,0	0,6

kol-18	8,5	7,8	536	12,6	168,4	95,0	8,4	1,5	1,4	3,2	140,0	0,1
ruj-18	8,5	7,5	92	11,2	158,6	67,5	6,4	0,9		2,7	71,2	5,1
lis-18	10,2	7,7	342	11,8	225,7	50,4	3,4	1,4	0,3	4,2	12,0	5,3
stu-18	10,1	7,5	343		228,1	63,9	2,7	0,8	0,6	3,8	10,3	4,6
pro-18	9,1	7,7	412		201,3	78,3	3,8	1,5	0,3	4,0	48,7	5,4
sij-19	12,4	7,3	481	9,9	246,4	61,6	3,0	1,2	0,6	3,4	18,9	3,6
vlj-19	9,3	7,9	444	10,8	222,0	82,4	4,6	1,9	0,3	3,3	59,6	3,6
ožu-19	9,4	7,8	436	10,8	174,5	79,4	4,6	1,7	0,2	3,4	64,0	3,7
tra-19	9,9	7,7	370	11,0	244,0	68,1	3,7	1,1	0,2	2,9	30,8	3,8
svi-19	10,3	7,8	377	10,8	252,5	70,8	3,3	1,3	0,8	3,2	29,1	3,7
lip-19	8,9	7,8	527	11,3	242,8	96,6	6,3	2,1		3,7	113,6	3,8
srp-19	8,8	7,6	352	11,4	186,7	53,7				3,4	105,8	3,6
kol-19	8,5	7,8	362	12,7	165,9	97,6	7,5	1,2		2,5	109,0	3,7
ruj-19	8,4	7,8	290	11,9	175,7	78,2	6,6	1,5	1,0	3,3	73,2	3,8
lis-19	9,1	7,9	397	12,4	173,2	69,8	6,0	0,6	0,2	3,0	57,1	3,9
stu-19	9,9	7,8	329	10,8	200,1	65,0	2,5	1,4	1,0	2,8	7,4	1,4
pro-19	9,1	7,8	405	11,2	189,1	78,0	3,9	2,2	0,8	2,7	46,6	1,4
sij-20	8,8	7,7	470	11,6	178,1	88,7	5,6	2,4	0,5	3,1	81,3	1,6
vlj-20	8,8	7,7	491	11,5	212,3	90,9	5,9	2,3	0,7	3,2	96,8	1,6
kol-20	8,3	7,9	397	13,6	218,4	73,4	6,0	1,2	0,5	1,9	56,9	1,7
ruj-20	8,4	7,8	399	14,0	176,9	64,0	6,1	1,1	0,3	1,7	31,0	1,9

Opačac

Mj-god	T °C	pH	EC µS/cm	O ₂ mg/l	HCO ₃ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l
stu-17	10,7	7,3	413	10,56	296,46	70,3	1,9	1,6	0,6	3,7	1	0,1
pro-17	10,0	7,4	395	10,5	296,46	70,3	1,9	1,6	0,6	3,7	1	0,1
sij-18	10,2	7,6	405	10,8		73,7	2,1	1,5	0,5	4,3	3	0,2
vlj-18	9,8		406	10,9	252,54	59,5	1,4	1,0	0,3	3,4		0,2
ožu-18	10,9		409	10,8						4	2	0,2
tra-18	11,1	7,6	395	11,0	235,46					3	5	0,2
svi-18	11,6	7,6	407	10,3	240,3	69,9	4,8	2,4	1,1	3,8	8,0	
lip-18	11,4	7,6		10,7	240,3	69,4	4,4	2,5	1,0	3,3	14,0	0,2
srp-18	11,7	7,6	410	9,0	251,3	89,4	5,4	3,5	2,3	5,0	13,0	0,4
kol-18	11,5	7,5	395	10,5	218,4	86,9	5,3	2,3	1,7	3,5	14,0	0,4
ruj-18	11,6	7,1	87	9,4	262,3	59,7	5,4	2,5	0,1	4,5	20,1	5,1
lis-18	12,4	7,5	426	9,8	245,2	58,5	7,6	19,0	0,8	35,4	19,9	5,5
stu-18	11,0	7,3	433		286,7	84,9	2,5	0,9	0,1	3,6	10,0	4,5
pro-18	10,6	7,4	404		308,7	80,1	3,0	1,2	0,3	3,8	10,8	5,5
sij-19	10,5	7,4	407	10,9	257,4	79,0	2,3	1,0	0,4	3,4	9,3	3,4
vlj-19	10,3	7,5	397	10,1	248,9	75,7	3,4	1,4	0,6	2,9	10,7	3,6
ožu-19	10,6	7,6	396	10,3	218,4					3,9	13,0	3,7
tra-19	10,9	7,5	402	10,8	223,3	76,8	3,4	1,4	0,7	4,0	11,5	3,7
svi-19	11,1	7,4	420	10,7	281,8	82,0	2,9	1,2	0,4	3,0	10,4	3,7
lip-19	11,5	8,1	398	6,7	262,3	77,1	4,0	1,5	0,0	3,1	13,8	3,8
srp-19	12,0	7,5	294	9,8	255,0	75,4	4,6	1,9	0,0	3,1	15,6	3,8

kol-19	11,7	7,5	298	10,8	224,5	74,2	4,9	1,9		2,9	15,7	3,8
ruj-19	11,6	7,4	288	8,2	229,4	74,4	5,2	2,2	0,1	3,7	18,6	4,0
lis-19	11,1	7,7	420	10,5	222,0	76,1	5,3	2,0	0,1	3,7	21,5	4,2
stu-19	10,7	7,3	407	11,3	233,0	83,3	2,3	2,1	1,0	3,3	6,0	1,4
pro-19	10,6	7,4	402	10,9	233,0	78,9	3,2	1,9	0,6	2,4	7,9	1,5
sij-20	10,5	7,5	407	11,2	248,9	78,9	4,2	2,3	0,6	3,3	11,1	1,8
vlj-20	10,5	7,6	407	10,8	247,7	77,0	4,3	2,8	1,6	4,4	12,9	1,9
tra-20	10,9	7,6	410	10,4	239,1	80,4	4,6	2,3	0,4	3,3	13,4	1,7
svi-20	11,2	7,6	406	11,4	234,2	79,5	4,8	2,4	0,4	3,1	14,5	1,8
lip-20	10,9	7,7	394	12,0	228,1	77,8	3,8	2,1	0,4	2,7	11,7	1,7
srp-20	11,3	7,4	400	10,9	233,0	76,9	4,7	2,4	0,7	3,2	14,9	2,0
kol-20	11,3	7,6	406	10,4	235,5	73,9	4,7	2,5	0,7	3,5	16,6	1,9
ruj-20	11,1	7,6	399	10,0	234,2	74,9	5,3	2,4	0,4	3,4	19,1	2,0

Vrelo Tihaljine

Mj-god	T °C	pH	EC µS/cm	O₂ mg/l	HCO₃ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO₄ mg/l	NO₃ mg/l
vlj-14	11,4	7,6	397	9,88	283,04	82,9	3,8	2,5	0,6	3,9	10,3	0,0
stu-17	12,3	7,7	364	10,3	195,2							
pro-17	11,5	7,9	406	10,4	235	79,2	2,8	2,6	1,1	4,1	4	0,2
sij-18	10,9	8,2	426	10,9		77,7	2,3	2,5	1	3,5	8	0,1
vlj-18	10,6		424	10,8	280,6	58,6	4,8	2,1	0,7	3,1	3	0,4
ožu-18	11,2		405	10,6						4	8	0,1
tra-18	13,4	7,9	428	10,2	244,0					3,7	8,0	0,2
svi-18	14,7	7,9	417	10,0	257,4	70,7	6,1	2,6	1,0	3,6	10,0	
lip-18	15,9	7,8		9,7	257,4	70,5	5,8	2,5	0,9	4,4	14,0	
srp-18	18,5	7,9	382	9,3	225,7	78,2	6,1	3,2	1,6	5,0	13,0	0,3
kol-18	19,2	7,9	355	9,1	189,1	82,5	5,2	2,4	0,9	4,7	12,0	0,4
ruj-18	18,7	7,6	71	9,2	208,6	45,8	5,0	2,4	0,2	4,7	17,1	4,3
lis-18	12,4	7,5	426	9,8	245,2	56,4	3,5	5,5	0,2	7,7	12,8	5,9
stu-18	12,6	7,7	382	10,4	240,3	71,8	3,4	1,2	0,3	3,9	8,9	5,2
pro-18	11,5	7,8	433		262,3	80,1	5,4	2,2	0,9	5,2	14,8	6,5
sij-19	11,1	7,7	408	10,5	242,8	73,8	5,0	1,9	1,7	5,0	11,9	4,3
vlj-19	11,5	7,4	1138	9,7	222,0	79,3	6,0	2,0	1,8	3,9	14,4	4,2
ožu-19	12,2	8,0	413	10,5	231,8	67,5	2,7			3,9	15,8	3,9
tra-19	12,8	7,8	415	10,2	261,1	76,0	5,5	1,9	1,0	3,7	15,1	4,1
svi-19	13,3	7,8	416	10,2	245,2	76,6	5,5	1,7	0,5	3,5	14,8	4,3
lip-19	15,2	8,2	425	9,8	280,6	78,8	5,9	1,9	0,1	3,4	16,6	4,0
srp-19	16,9	7,8	339	9,6	267,2	74,6	5,4	2,0	0,0	3,1	15,1	3,7
kol-19	17,9	7,8	336	9,4		71,8	5,1	1,9	0,2	3,1	15,4	3,4
ruj-19	16,9	7,8	312	9,5	217,2	68,1	5,1	2,0	0,2	3,5	17,1	3,4
lis-19	15,0	7,8	385	10,0	218,4	68,7	5,3	2,1	0,1	3,8	19,5	3,3
stu-19	12,6	7,5	483	10,2	246,4	79,2	5,2	2,3	0,8	3,5	9,5	2,1
pro-19	10,0	7,8	430	11,3	248,9	81,1	6,0	2,4	0,6	2,7	11,4	2,0
sij-20	9,6	7,5	968	8,9	234,2	82,3	7,0	2,8	0,7	3,9	15,8	2,5
vlj-20	10,5	7,9	429	10,9	241,6	78,8	5,9	2,5	0,6	3,6	15,5	2,1

kol-20	20,6	8,0	360	8,6	206,2	65,1	4,7	2,5	0,7	3,4	15,2	1,5
ruj-20	18,5	7,8	499	8,9	201,3	94,1	6,8	2,8	0,7	4,9	88,7	7,9

Klokun 2

Mj-god	T °C	pH	EC µS/cm	O ₂ mg/l	HCO ₃ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l
vlj-14	12,3	7,2	1066	10,1	228	185	4,9	2,7	0,7	4,4	297,2	3,6
stu-17	12,6	7,5	1194	8,4	241,56							
pro-17	12,0	7,3	1241	9,1	234	73,5	3,1	2,6	1,1	4,7	600	0,3
sij-18	12,3	7,3	1371	9,1		180,6	1,8	3,0	0,5	1,8	500	0,4
vlj-18	11,6		1118	9,1	236,68	159,8	12,2	2,5	0,7	2,1	450	1,9
ožu-18	12,2		1089	8,5						1,9	480	0,3
tra-18	14,0	7,4	1017	6,7	235,5					2,0	440,0	0,6
svi-18	12,7	7,4	1309	8,5	245,2	147,0	15,0	2,3	1,0	4,6	55,0	0,3
lip-18	12,7	7,3		7,8	245,2	152,1	16,8	2,3	1,0	1,7	640,0	0,5
srp-18	12,5	7,3	1398	8,6	233,0	168,2	18,3	2,1	0,9	1,7	400,0	0,5
kol-18	12,4	7,3	688	7,9	218,4	136,8	12,5	2,1	2,5	2,9	500,0	0,7
ruj-18	12,4	7,3		8,0	228,1	292,1	33,3	2,1	0,1	4,4	671,7	7,0
lis-18	12,6	7,3	1496	7,9	252,5	219,3	25,7	1,5	1,9	5,1	501,2	6,4
stu-18	12,3	7,4	952		245,2	175,9	17,8	1,7	1,1	5,2	309,7	5,9
pro-18	12,2	7,3	1223		239,1	241,3	25,5	1,9	0,1	4,4	510,3	7,2
sij-19	11,5	7,4	891	8,5	230,6	166,0	16,3	2,0	0,8	4,6	265,8	5,1
vlj-19	11,5	7,4	1138	9,7	222,0	220,8	22,2	2,2	1,0	4,7	371,5	5,0
ožu-19	12,4	7,3	1366	9,1	230,6	268,3	29,0	1,7		3,4	557,2	5,4
tra-19	12,5	7,3	1265	8,2	209,8	248,6	26,7	1,9	0,0	3,5	508,4	5,9
svi-19	12,6	7,6	1197	8,9	234,2	234,7	24,2	1,8	0,1	3,5	490,9	5,7
lip-19	12,8	7,5	1373	8,9	229,4	273,3	29,9	1,8	0,0	3,5	604,2	5,6
srp-19	12,7	7,3	1057	8,9	215,9	278,4	29,4	0,9		3,0	552,1	5,3
kol-19	12,5	7,3	1057	8,6		289,7	32,3	1,7		3,0	583,2	5,2
ruj-19	12,5	7,3	1092	8,1	223,3	295,2	33,2	1,8		3,4	662,0	5,6
lis-19	12,5	7,3	1476	7,6	225,7	297,7	33,6	1,8		3,6	698,2	7,3
stu-19	12,4	7,3	993	7,8	236,7	189,0	18,3	2,3	0,6	4,6	307,5	6,3
pro-19	11,1	7,6	1106	8,5	230,6	219,4	22,2	2,6	0,7	3,0	390,8	2,6
sij-20	9,6	7,5	968	8,9	234,2	189,0	18,5	2,5	0,6	3,5	307,7	2,5
vlj-20	12,2	7,4	1360	8,9	235,5	272,9	30,4	2,6	0,9	3,8	582,5	3,6
kol-20	12,4	7,3	1476	7,1	255,0	304,3	34,7	2,6	0,5	3,5	641,0	3,8
ruj-20	12,5	7,2	1453	7,1	229,4	309,4	36,0	2,6	0,6	3,7	675,1	4,2

Vrioštica

Mj-god	T °C	pH	EC µS/cm	O ₂ mg/l	HCO ₃ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l
stu-17	12,6	7,3	530	9,8	254,98	309,36	36,015	2,6	0,6073	3,70566	675,15	4,2
pro-17	12,6	7,6	521	9,8	253	83,3	1,9	2,6	1,1	10,1	47	0,2
sij-18	11,7	7,4	546	9,9		95,2	2,8	3,3	1	3,4	61	0,3
vlj-18	11,9		485	9,9	242,78	64,5	4,9	2,2	0,5	3,1	16	0,2

ožu-18	12,6		448	10,1						3,3	18	0,0
tra-18	13,2	7,5	569	9,2	246,4					2,0	440,0	0,6
svi-18	12,4	7,5	571	10,2	240,3	83,0	10,7	3,8	1,5	3,8	110,0	0,1
lip-18	11,8	7,5		10,7	240,3	86,1	12,3	3,3	1,0	2,5	160,0	0,2
srp-18	12,3	7,6	707	9,6	241,6	89,5	12,5	3,5	1,9	3,4	200,0	0,8
kol-18	11,9	7,4	1270	10,2	212,3	110,5	17,8	3,3	1,0	2,5	270,0	0,2
ruj-18	12,7	7,5	174	9,0	242,8	136,1	16,4	3,4	0,2	3,8	238,3	6,4
lis-18	11,9	7,5	873	9,0	251,3	132,1	15,9	3,4	0,6	3,9	254,1	6,2
stu-18	12,1	7,5	542		308,7	95,1	9,5	2,7	0,5	4,4	70,9	5,7
pro-18	12,1	7,4	543		279,4	100,9	7,7	2,3	0,7	4,6	70,5	6,7
sij-19	12,4	7,3	481	9,9	246,4	89,5	5,5	1,8	0,6	4,2	25,6	4,3
vlj-19	9,3	7,9	444	10,8	222,0	101,1	8,5	2,5	0,5	3,1	65,5	4,8
ožu-19	12,3	7,6	590	9,9	228,1	103,0	10,5	3,0	1,7	3,9	95,8	4,7
tra-19	12,6	7,5	560	10,1	259,9	101,2	9,1	2,2	0,2	3,1	80,3	4,9
svi-19	12,7	7,5	544	9,4	246,4	97,2	7,6	2,3	0,8	4,9	63,3	4,6
lip-19	12,6	7,6	583	10,4	269,6	104,2	10,8	2,3		3,0	100,4	5,1
srp-19	12,2	7,4	456	10,8	248,9	115,7	12,4	2,7	0,0	3,4	127,6	4,7
kol-19	11,9	7,5	547	10,1		134,6	14,5	2,8		2,6	176,9	4,8
ruj-19	11,9	7,5	593	10,1	234,2	147,5	15,9	3,2		2,9	228,7	5,0
lis-19	11,9	7,4	811	10,1	222,0	156,4	16,9	3,2	0,2	3,4	275,9	5,4
stu-19	12,7	7,5	483	10,2	278,2	92,7	4,9	2,1	0,8	3,6	17,5	2,1
pro-19	12,2	7,3	492	10,6	246,4	98,7	7,7	1,9	0,4	2,2	54,9	2,1
sij-20	12,0	7,4	577	10,7	235,5	110,6	11,3	2,9	0,5	2,8	109,8	2,9
vlj-20	11,9	7,5	607	10,7	242,8	115,5	11,9	2,8	0,6	3,0	138,0	2,9
kol-20	11,9	7,5	847	10,0	239,1	162,7	17,8	3,4	0,5	3,0	280,6	3,2
ruj-20	12,0	7,4	865	9,4	248,9	168,7	18,9	3,4	0,5	3,1	302,8	3,6

Krenica

Mj-god	T °C	pH	EC µS/cm	O ₂ mg/l	HCO ₃ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l
ruj-13												
pro-13	13,1	7,3	530	7,2	265	112,8	16,4	2,2	0,5	3,9	77,2	4,1
sij-14	13,0	7,9	349	10,3	193	72,9	2,5	2,0	0,4	3,3	20,7	5,2
vlj-14	13,0	7,3	395	8,5	192	70,3	3,7	2,2	0,4	4,1	25,6	6,2
ožu-14	9,8	7,4	516	7,3	242	90,2	6,6	2,3	0,5	6,3	59,7	4,6
tra-14	13,2	7,4	541	10,6	199	99,1	9,9	2,4	0,8	5,7	72,6	5,2
svi-14	13,3	7,3	555	8,2	206	104,2	7,5	2,2	1,2	3,9	74,5	12,4
lip-14	15,8	7,4	662	7,4	212	204,5	9,7	2,5	2,5	5,3	167,4	5,7
srp-14	13,7	7,4	600	8,1	226	126,2	8,9	2,4	0,8	5,2	107,5	14,7
ruj-14	13,4	7,2	504	8,3	242	102,4	6,2	2,0	0,8	2,1	24,7	4,2
stu-14	13,2	7,2	468	9,5	235	70,2	5,6	1,9	0,6	4,8	26,4	4,8
pro-14	13,2	7,2	400	9,7	161	75,5	2,2	1,9	0,4	3,5	11,0	2,9
ožu-15	12,8	7,3	427	8,1	176	72,3	5,1	1,9	0,5	4,2	28,8	4,9
stu-17	13,2	7,4	485	10,0	226,92							
pro-17	12,9	7,6	449	9,1	223,26	80,6	8,9	2,7	0,9	5,3	32,0	0,4
sij-18	12,8	7,6	484	9,3		78,7	9,8	2,4	0,9	4,2	38,0	0,6

vlj-18	11,9		425	9,2	206,18	65,7	4,4	2,0	0,5	3,7	19,0	0,9
ožu-18	13,2		387	9,3						4,0	21,0	0,3
tra-18	12,9	7,4	379	8,0	240,34					2,3	62,0	0,4
stu-18	13,0	7,5	388	10,3	228,14	74,5	2,3	1,3	0,4	4,6	15,4	4,7
pro-18	12,6	7,3	506		251,32	94,9	6,3	1,8	0,9	5,6	48,9	8,3
sij-19	12,8	7,4	419	9,8	213,5	78,5	4,4	1,5	0,3	4,1	26,5	5,5
vlj-19	13,2	7,3	513	8,4	275,72	95,7	7,2	1,8	0,1	3,4	49,0	5,5
ožu-19	13,9	7,5	593	8,8	279,38	105,5	9,9	2,6	1,6	4,8	99,5	5,1
tra-19	13,4	7,3	573	8,2	257,42	105,3	8,3	2,0	0,3	4,6	79,8	7,3
svi-19	13,2	7,4	484	8,1	241,56	89,9	5,9	1,9	0,7	3,9	42,5	5,8
stu-19	13,0	7,3	426	9,6	197,64	83,6	3,7	2,3	0,5	3,8	22,5	4,0
pro-19	12,7	7,3	483	7,7	204,96	92,9	6,2	2,2	0,5	3,0	33,8	3,5
sij-20	12,7	7,5	560	8,9	237,9	105,7	9,1	2,5	0,6	3,4	83,8	3,2

Mj-god	PO₄-P mg/l	NO₂ mg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Cu µg/l	F µg/l	Zn µg/l	Cr µg/l	Br µg/l	Co µg/l	Pb µg/l	Cd µg/l
pro-13	<0,01											
sij-14	<0,01	<0,001	3	<2	5	0,5	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
vlj-14	<0,01	0,0	<2	3	8	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-14	0,01	<0,001	16	35	8	<0,1	12	<5	<0,1	<2	<10	<5
tra-14	0,01	0,0	<2	5	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
svi-14	<0,01	<0,001	11	6	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-14	<0,01	0,0	5	<2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
srp-14	0,52	0,2	43	<2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ruj-14	0,08	<0,001	17	11	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
stu-14	0,09	0,0	<2	<2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
pro-14	<0,01	<0,001	40	20	12	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-15	<0,01	<0,001		38	8	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5

Banja

Mj-god	T °C	pH	EC µS/cm	O₂ mg/l	HCO₃ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO₄ mg/l	NO₃ mg/l
ruj-13												
pro-13						92,9	10,0	1,9	0,4	2,7	11,1	4,1
sij-14	12,8	8,1	286	13,4	178	55,9	1,9	1,7	0,2	40,0	3,7	2,5
vlj-14	12,7	7,8	301	9,9	161	56,1	1,9	1,7	0,3	3,9	4,1	3,1
ožu-14	13,5	8,1	294	8,3	166	56,1	1,9	1,5	0,4	4,1	5,2	1,9
tra-14	12,7	7,7	298	8,5	164	63,9	1,9	1,6	0,6	2,5	3,6	4,2
svi-14	12,9	7,8	307	7,0	178	62,8	1,9	1,6	0,4	3,9	4,2	3,2
lip-14	13,5	7,7	411	7,7	190	79,8	5,1	1,9	1,2	6,5	36,9	3,5
srp-14	13,1	7,7	423	8,1	205	76,7	5,8	2,5	1,0	4,0	25,9	3,1
kol-14												
ruj-14	14,4	7,7	400	8,3	211	42,8	1,1	0,4	0,1	1,6	4,7	1,1
lis-14	13,9	7,7	495	7,2	169,58	53,7	3,6	0,9	0,3	3,8	53,3	3,3
stu-14	14,2	7,5	461		237	44,2	5,6	2,1	0,4	3,0	28,2	1,0
pro-14	12,2	7,8	354	8,5	159	51,2	1,1	1,2	0,4	2,9	1,9	1,6

ožu-15	12,8	7,6	309	8,4	145	58,4	2,2	1,7	0,5	3,1	2,4	1,3
lip-15	13,6	8,1	290	8,7	179	65,9	3,2	2,2	0,9	5,5	68,8	2,6
stu-17	12,8	7,7	353	10,3	200							
pro-17	12,1	7,9	330	10,4		62,5	2,5	2,2	1,4	4,0		0,3
sij-18	10,7	8,0	352	10,6		58,8	2,3	2,2	1,4	4,0	4,0	0,4
vlj-18	11,8		307	10,6	170	49,2	1,9	1,8	0,3	2,8		0,3
ožu-18	13,2		296	10,3						3,2		0,3
tra-18	16,2	7,8	256	9,9	221					3,0	3,0	0,3
svi-18	22,7	7,8	473	8,5	254	70,9	7,7	3,1	2,6	4,1	54,0	0,0
lip-18	13,5	7,7	609	9,2	254	84,2	7,0	2,3	0,9	3,3	130,0	0,2
srp-18	16,7	7,6	711	8,6	278	85,6	7,7	3,5	2,3	3,7	170,0	0,7
kol-18	17,6	7,5	839	8,3	226	112,2	12,4	2,3	2,1	2,2	340,0	0,5
ruj-18	15,5	7,6	183	8,5	243	145,18	18,5	3,2	0,8	5,8	270,2	6,9
lis-18	16,3	7,6	608	8,2	239	81,995	13,7	2,2	0,7	4,9	125,0	5,9
stu-18	12,8	7,7	339	10,8	221	65,055	1,6	1,3	0,5	4,7	8,5	4,7
pro-18	11,4	7,7	371		206	71,078	3,4	1,3	0,6	4,3	12,9	5,8
sij-19	11,8	7,7	323	10,5	185	60,809	2,3	1,3	0,3	3,6	11,6	3,7
vlj-19	12,1	7,7	344	10,5	226	65,102	3,1	1,3	0,3	2,9	9,4	4,2
ožu-19	13,7	7,8	425	9,9	231	75,358	6,3	1,7	1,0	3,8	32,6	4,3
tra-19	13,5	7,7	367	10,2	201	65,285	3,2	1,4	0,9	3,7	11,3	4,1
svi-19	13,6	7,8	342	10,1	205	64,795	2,7	1,2	0,1	3,2	9,4	4,0
lip-19	15,7	7,4	440		226	80,479	6,3	1,5	0,3	3,4	36,0	4,4
srp-19	17,4	7,7	484	9,0	211	71,399	4,8	0,9		3,2	88,9	4,6
kol-19	14,3	7,6	563	9,1		125,7	13,4	1,5		3,2	166,9	5,0
ruj-19	14,2	7,6	610	9,1	229	142,03	16,9	1,9		3,5	216,5	5,5
lis-19	14,0	7,7	741	9,3	220	128,53	16,4	1,8	0,6	4,0	196,4	5,3
stu-19	12,5	7,7	342	10,7	157	67,571	2,1	2,0	0,9	3,8	6,3	1,7
pro-19	12,4	7,7	359	10,6	174	69,854	3,0	2,0	0,7	2,6	6,4	1,6
sij-20	12,2	7,9	421	10,8	228	78,904	6,2	2,4	0,7	3,2	23,2	2,1
vlj-20	13,1	7,8	476	10,0	226	84,877	8,0	2,2	0,7	3,1	51,4	2,4
tra-20	13,4	7,7	582	9,5	226	107,46	11,0	2,3	0,4	3,4	111,5	3,0
svi-20	15,1	7,7	647	9,1	222	120,2	13,7	2,5	0,4	3,3	153,3	3,5
lip-20	14,2	7,3	630	9,2	227	115,32	13,4	2,7	0,7	3,5	145,8	3,0
srp-20	14,5	7,7	757	9,3	229	142,21	16,4	2,6	0,5	3,5	214,6	3,9
kol-20	16,2	7,5	925	8,6	260	178,99	19,4	2,7	0,5	3,4	325,6	4,5
ruj-20	13,6	7,5	825	9,1	240	171,78	18,5	2,7	0,5	3,7	300,7	4,7
Mj-god	PO₄-P	NO₂	Fe	Mn	Cu	F	Zn	Cr	Br	Co	Pb	Cd
	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
pro-13	0,02											
sij-14	0,01	0,0	15	2	6	<0,1	2	5	<0,1	<2	<10	<5
vlj-14	0,01	0,0	10	2	3	<0,1	<2	2,5	0,1	<2	<10	<5
ožu-14	<0,01	0,0	23	12	3	<0,1	4	2,5	<0,1	<2	<10	<5
tra-14	0,01	0,0	42	8	3	<0,1	<2	2,5	<0,1	<2	<10	<5
svi-14	0,16	0,0	8	2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-14	0,28	0,0	<2	<2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5

srp-14	0,05	<0,001	44	<2	<2	<0,1	11	<5	<0,1	<2	<10	<5
kol-14												
ruj-14	0,11	0,0	12	9	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lis-14	0,14	0,0	2	12	2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
stu-14	0,08	0,0	<2	4	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
pro-14	<0,01	0,0	12	10	5	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-15	0,01	<0,001	30	8	<2	<0,1	<2	<5	0,1	<2	<10	<5
lip-15	0,01	<0,001	3	2	4	<0,1	5	<5	<0,1	<2	<10	<5

Nuga

Mj-god	T °C	pH	EC µS/cm	O ₂ mg/l	HCO ₃ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l
ruj-13	13,4	7,5	548		226	105,1	10,7	1,8	0,6	3,9	138,3	4,2
pro-13	12,3	7,6	339	10,2	177	92,9	2,2	2,1	0,5	3,9	15,9	4,3
sij-14	12,2	8,1	284	11,7	181	56,6	1,5	2,4	0,3	3,9	4,3	2,1
vlj-14	12,5	7,6	282	8,0	162	59,7	1,4	2,3	0,3	4,4	6,5	2,3
ožu-14	12,4	8,0	298	7,7	177	65,7	1,9	2,0	0,4	4,4	10,1	2,1
tra-14	15,0	8,4	199	10,2	102	43,5	2,5	2,1	0,6	4,9	18,7	0,9
svi-14	22,9	8,2	240	9,5	126	65,6	1,8	2,1	1,8	4,2	12,6	0,4
lip-14	16,5	7,9	349	8,0	168	75,0	4,7	2,1	1,6	3,7	22,9	2,4
srp-14	13,7	7,8	378	7,1	199	76,7	3,8	3,1	0,9	4,1	24,4	15,8
kol-14	12,1	7,8	413	7,0	206							
ruj-14	17,8	7,8	327	8,8	193	91,8	3,1	2,1	0,9	2,3	5,8	1,1
lis-14	12,8	7,5	413	7,8	142	75,5	3,0	2,1	0,6	2,8	12,7	2,4
stu-14	12,6	7,7	359	7,5	212	37,9	2,5	1,1	0,4	2,3	5,2	2,0
pro-14	12,3	7,4	360	10,7	162	72,8	1,7	2,2	0,6	3,8	2,0	1,2
ožu-15	13,3	8,0	286	10,8	162	53,9	2,0	2,7	0,9	4,8	3,2	1,2
lip-15	14,5	7,6	528	7,9	217	95,0	5,1	1,9	1,2	4,2	110,8	3,7

Mj-god	PO ₄ -P mg/l	NO ₂ mg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Cu µg/l	F µg/l	Zn µg/l	Cr µg/l	Br µg/l	Co µg/l	Pb µg/l	Cd µg/l
ruj-13	0,01											
pro-13	<0,01											
sij-14	<0,01	<0,001	<2	<2	6	0,5	10	<5	<0,1	<2	<10	<5
vlj-14	<0,01	0,0	<2	5	8	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-14	<0,01	<0,001	<2	45	8	<0,1	8	<5	<0,1	<2	<10	<5
tra-14	0,01	0,0	20	12	5	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
svi-14	<0,01	<0,001	12	10	3	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-14	<0,01	0,0	9	<2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
srp-14	0,07	<0,001	37	<2	<2	<0,1	6	<5	<0,1	<2	<10	<5
kol-14												
ruj-14	<0,01	0,0	17	11	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lis-14	<0,01	0,0	<2	18	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
stu-14	0,07	<0,001	<2	<2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
pro-14	<0,01	0,0	33	24	12	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-15	<0,01	<0,001	46	9	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5

lip-15	0,05	0,0	<2	<2	4	<0,1	<2	<2	<0,1	<2	<10	<5
--------	------	-----	----	----	---	------	----	----	------	----	-----	----

Butina

Mj-god	T °C	pH	EC μS/cm	O ₂ mg/l	HCO ₃ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l
ruj-13	14,8	7,3	948		229	167,5	18,8	2,4	0,9	6,1	337,3	5,9
pro-13	12,3	7,5	493	9,5	249	112,6	10,5	2,4	0,5	3,2	58,3	4,3
sij-14	11,9	7,9	398	10,2	216	73,2	2,8	2,6	0,5	4,1	14,9	3,0
vlj-14	12,5	7,8	342	8,4	179	73,6	2,3	2,1	0,4	4,8	17,4	2,6
ožu-14	12,4	7,9	493	8,2	248	89,8	4,8	2,7	0,6	5,8	64,1	4,3
tra-14	13,4	7,5	534	9,4	201	94,1	8,8	2,9	0,8	5,9	68,9	5,3
svi-14	14,4	7,5	573	7,0	232	114,2	8,5	2,3	0,7	4,6	82,6	5,5
lip-14	15,3	7,5	728	8,6	218	216,6	12	3,1	0,9	5,9	179,6	6,4
srp-14	14,7	7,5	610	7,7	212	149,5	10,1	3,6	1,3	5,5	101,9	6,3
kol-14	14,8	7,5	734	6,3	224	167,5	12,8	3,5	0,9	5,8	208	6,8
ruj-14	14,3	7,3	489	7,2	225	94,8	5,6	2,3	0,6	3,4	33,7	3,7
lis-14	13,8	7,4	480	7,3	183	92,4	8,7	2,5	0,6	4,9	172,8	4,2
stu-14	13,5	7,5	482	7,3	239	78,6	4,9	3,1	0,7	4,5	38,1	3,4
pro-14	13,0	7,4	413	7,1	174	73,6	2,4	2,6	0,8	4,7	10,8	3,9
ožu-15	12,6	7,5	406	8,3	165	70,3	4,5	2,3	0,5	3,7	25,9	5,6
lip-15	16,1	7,4	800	7,3	227	145,1	14,9	4,6	0,9	6,8	264,3	6,8
lis-15	13,5	7,6	474	6,1	234	101,5	5,1	2,7	0,6	5,6	70,2	6,2
ožu-16	12,6	7,6	381	9,8	193	62,4	2,9	2,5	0,7	6,3	18,7	3,7
stu-17	12,5	7,3	468	8,7	211							
pro-17	12,0	7,6	431	8,7	224	67,3	2,5	2,9	1	4,9	28	0,6
sij-18	12,2	8,0	490	9,8		70,4	4,5	2,9	1	4,2	54	1,3
vlj-18	9,7		390	10,4	204	60,3	3,6	2,4	0,5	3,8	10	0,4
ožu-18	12,9		345	9,9						4,3	16	0,2
tra-18	14,3	7,6	376	8,8	249					3,3	63	0,5
svi-18	15,9	7,5	680	8,2	240	90,8	11,8	3,5	1,8	3,2	200,0	0,3
lip-18	15,2	7,5	821	8,0	240	106,2	12,8	2,9	1,1	3,2	330,0	0,7
srp-18	16,1	7,4	918	8,1	232	116,5	14,3	3,2	2,8	4,2	380,0	0,4
kol-18	15,8	7,4	1022	7,9	246	121,0	12,5	2,7	0,9	2,0	490,0	0,6
ruj-18	16,3	7,5		8,2	238	185,5	21,7	3,4	0,6	5,6	389,5	6,7
lis-18	14,5	7,3	1070	8,3	227	181,1	21,8	3,1	0,5	5,6	385,7	7,0
stu-18	13,1	7,5	421	8,3	229	78,1	3,1	2,6	0,6	6,6	22,2	5,8
pro-18	11,9	7,6	504		232	93,0	6,1	1,9	0,8	5,5	56,2	7,7
sij-19	11,1	7,6	400	8,9	209	73,5	3,5	2,4	0,5	5,2	23,5	4,7
vlj-19	12,4	7,5	501	9,4	235	93,0	6,6	2,1	0,4	3,5	50,5	5,1
ožu-19	13,7	7,6	667	9,0	255	120,1	11,6	2,3	0,8	4,1	150,7	4,8
tra-19	14,0	7,5	532	8,8	229	97,6	7,4	2,1	0,1	3,8	75,3	5,6
svi-19	14,1	7,7	451	8,6	253	83,8	5,1	1,9	0,2	4,6	38,7	5,1
lip-19	15,6	7,5	619	8,3	257	113,2	10,0	2,1	0,1	3,9	125,2	5,6
srp-19	14,6	7,4	599	8,2	267	103,8	2,2			3,4	172,7	5,3
kol-19	14,8	7,3	718	8,0		170,8	16,9	2,2		3,5	260,7	5,6
ruj-19	14,6	7,3	785	7,9	223	190,3	19,6	2,6	0,1	4,0	354,9	5,7

lis-19	14,3	7,4	1063	8,3	222	199,7	20,9	2,6	1,2	4,7	411,0	6,1
stu-19	12,2	7,5	416	7,2	204	80,6	3,7	2,7	1,0	4,5	20,9	2,4
pro-19	11,6	7,6	456	9,0	205	87,6	5,3	2,6	0,6	3,2	29,6	2,8
sij-20	12,1	7,5	585	9,2	231	109,3	9,5	3,0	0,7	3,8	100,4	3,2
vlj-20	12,3	7,6	693	9,3	233	127,2	12,3	3,0	0,8	4,3	169,8	3,2
tra-20	13,5	7,5	786	8,4	221	150,3	15,2	3,1	1,3	4,8	237,1	3,8
svi-20	14,3	7,5	888	8,2	228	172,2	18,0	3,0	0,6	3,8	302,2	4,3
lip-20	14,4	7,1	892	8,0	228	173,0	18,4	3,1	1,0	3,7	300,9	3,9
srp-20	14,3	7,3	1003	7,7	248	199,5	20,7	3,7	1,1	4,5	375,8	4,6
kol-20	15,0	7,4	1065	7,8	243	211,0	22,4	3,6	0,9	4,1	424,2	3,9
ruj-20	14,2	7,3	935	7,0	233	199,3	21,3	5,7	1,2	7,7	392,9	6,4
Mj-god	PO₄-P	NO₂	Fe	Mn	Cu	F	Zn	Cr	Br	Co	Pb	Cd
	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
ruj-13	0,01											
pro-13	<0,01											
sij-14	0,01	0,0	12	<2	7	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
vlj-14	0,01	0,0	2	4	2	<0,1	<2	<5	0,2	<2	<10	<5
ožu-14	<0,01	0,0	23	24	3	<0,1	4	<5	<0,1	<2	<10	<5
tra-14	0,01	0,0	37	3	3	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
svi-14	0,16	0,1	8	5	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-14	0,04	0,0	7	4	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
srp-14	0,03	0,0	48	<2	<2	<0,1	46	<5	<0,1	<2	<10	<5
kol-14	0,06	0,0	<2	<2	<2	<0,1	9	<5	<0,1	<2	<10	<5
ruj-14	0,26	0,0	19	10	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lis-14	0,17	0,0	2	18	5	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
stu-14	0,14	<0,001	4	2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
pro-14	0,01	<0,001	22	20	9	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-15	<0,01	0,0	30	9	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-15	0,12	0,0	<2	4	2	<0,1	2	<2	<0,1	<2	<10	<5

Stinjevac

Mj-god	T	pH	EC	O₂	HCO₃	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO₄	NO₃
	°C		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
ruj-13	14,4	7,2	995		245	170,4	18,4	2,0	0,7	5,1	332,7	6,9
pro-13	12,3	7,4	600	8,5	262	128,4	8,7	2,3	0,6	3,4	92,9	0,7
sij-14	10,9	8,0	376	9,3	215	75,4	3,1	2,2	0,5	3,5		4,5
vlj-14	12,3	7,8	396	8,0	196	78,6	2,6	2,4	0,5	4,1	33,2	5,5
ožu-14	12,5	7,8	562	7,5	244	114,5	8,2	2,6	0,6	5,4	123,3	15,9
tra-14	13,3	7,3	605	8,1	202	116,3	9,4	2,5	0,7	12,3	122,5	4,4
svi-14	13,9	7,3	656	7,4	239	119,1	10,0	2,2	0,8	4,2	122,1	7,1
lip-14	14,2	7,4	778	6,3	207	265,4	12,9	2,6	0,8	3,7	215,8	6,6
srp-14	14,3	7,4	718	7,5	227	159,4	11,8	2,6	0,8			
kol-14	14,5	7,4	835		243	127,5	14,4	3,0	0,9	4,1	158,6	6,5
ruj-14	14,5	7,2	570	7,6	240	62,5	1,9	1,1	0,6	2,9	65,0	4,8
lis-14	13,9	7,2	749	7,3	164,7	102,9	9,2	2,3	0,8	4,4	169,1	4,3

ruj-13	<0,01											
pro-13	<0,01											
sij-14	0,02	<0,001	13	<2	3	0,5	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
vlj-14	0,01	0,0	<2	6	5	0,5	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-14	<0,01	<0,001	61	31	5	0,8	2	<5	0,5	<2	<10	<5
tra-14	0,01	<0,001	<2	5	8	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
svi-14	0,08	0,0	13	8	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-14	0,21	0,0	13	<2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
srp-14	0,05	<0,001	39	<2	<2	<0,1	22	<5	<0,1	<2	<10	<5
kol-14	<0,01	<0,001	9	<2	<2	<0,1	8	<5	<0,1	<2	<10	<5
ruj-14	0,19	0,0	25	8	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lis-14	0,13	0,0	<2	16	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
stu-14	0,05	<0,001	2	2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
pro-14	0,01	0,0	10	2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-15	0,04	0,0	40	8	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-15	0,12	0,0	<2	7	2	0,1	2	<2	<0,1	<2	<10	<5

Staševica

Mj-god	T °C	pH	EC µS/cm	O ₂ mg/l	HCO ₃ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l
ruj-13	15,7	7,7	962		240	171,6	18,5	2,8	0,9	5,9	327,5	5,8
pro-13	11,6	7,8	499	9,6	246	113,1	10,5	2,2	0,5	3,7	70,4	3,9
sij-14	11,4	8,2	326	12,6	196	61,1	2,0	2,4	0,4	3,9	12,3	2,0
vlj-14	12,6	7,7	362	7,4	183	67,2	3,5	2,5	0,5	12,8	15,0	2,6
ožu-14	12,8	8,1	493	8,8	237	89,2	6,2	2,6	0,6	5,4	71,5	4,1
tra-14	14,3	7,8	524	8,5	195	96,8	8,1	2,6	0,7	6,4	96,7	4,6
svi-14	14,9	7,6	568	7,9	222	94,4	11,3	2,2	0,7	4,3	87,8	4,5
lip-14	16,1	7,8	737	7,7	199	261,9	12,7	2,8	0,8	4,3	216,0	4,3
srp-14	16,9	7,9	506	9,1	217	142,4	7,3	2,9	0,9	4,3	78,4	3,3
kol-14	17,0	7,9	779	7,4	235	103,6	13,5	3,8	1,1	27,6	95,1	5,3
ruj-14	15,0	7,6	489	8,3	219	99,8	5,6	2,2	0,8	3,0	35,6	3,4
lis-14	13,5	7,7	712	8,7	151,28	106,5	9,5	2,9	0,8	4,8	177,1	4,3
stu-14	13,3	7,7	444	7,8	256	72,5	4,3	3,4	1,2	5,4	33,2	3,7
pro-14	11,6	7,7	391	9,4	170	64,1	1,9	1,9	0,5	4,3	7,2	1,8
ožu-15	12,6	7,6	402	9,3	171	70,9	4,3	2,1	0,5	4,3	28,1	3,1
lip-15	18,4	7,9	824	6,7	244	159,0	5,4	2,1	1,2	6,3	292,3	3,4
Mj-god	PO ₄ -P mg/l	NO ₂ mg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Cu µg/l	F µg/l	Zn µg/l	Cr µg/l	Br µg/l	Co µg/l	Pb µg/l	Cd µg/l
ruj-13	<0,01											
pro-13	<0,01											
sij-14	<0,01	<0,001	7	<2	5	0,5	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
vlj-14	<0,01	0,0	<2	8	8	0,5	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-14	0,03	<0,001	5	30	9	<0,1	2	<5	<0,1	<2	<10	<5
tra-14	0,01	0,0	2	13	10	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
svi-14	<0,01	0,0	31	9	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5

lip-14	0,01	0,0	5	2	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
srp-14	0,35	0,0	51	<2	<2	<0,1	9	<5	<0,1	<2	<10	<5
kol-14	0,22	0,0	9	<2	<2	0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ruj-14	0,12	0,0	53	8	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lis-14	0,1	0,0	<2	21	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
stu-14	0,05	0,0	4	2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
pro-14	0,01	<0,001	13	24	12	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-15	0,01	<0,001	51	10	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-15	0,11	0,0	<2	3	8	<0,1	2	<5	<0,1	<2	<10	<5

Klokun 1

Mj-god	T °C	pH	EC µS/cm	O ₂ mg/l	HCO ₃ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l
ruj-13	16,1	7,6	725		237	162,8	12,5	2,3	0,8	6,8	236,5	4,8
pro-13	11,4	7,6	480	11,5	249	107,1	12,2	2,6	0,6	9,6	50,0	3,0
sij-14	11,8	8,2	353	10,5	232	76,8	2,4	2,6	0,6	4,4	10,3	2,9
vlj-14	12,6	7,3	351	7,8	185	76,1	2,0	2,6	0,5	5,0	25,6	2,0
ožu-14	13,4	7,9	463	7,1	244	91,5	4,2	2,8	0,6	7,0	39,7	4,3
tra-14	14,0	7,5	480	6,6	186	104,6	5,4	2,8	0,8	11,4	64,4	4,5
svi-14	15,6	7,6	468	8,2	215	89,8	4,9	2,3	0,6	5,4	41,8	3,2
lip-14	16,8	7,6	506	7,8	228	145,6	5,7	2,8	0,6	5,8	68,6	5,1
srp-14	16,1	7,7	541	7,1	212	146,3	7,7	2,7	0,9	5,3	87,9	4,9
kol-14	17,8	7,7	555	5,8	232	151,7	7,4	3,3	0,9	4,7	92,3	3,9
ruj-14	15,9	7,5	473	7,0	209	97,7	5,0	2,4	0,7	3,4	29,1	3,2
lis-14	15,3	7,6	534	8,0	161,04	92,7	5,0	2,8	0,6	4,8	68,0	3,8
stu-14	14,0	7,5	491	7,2	267	78,3	6,4	2,7	1,1	5,6	57,9	3,4
pro-14	13,4	7,4	420	7,0	181	83,9	2,4	2,6	0,7	4,0	5,7	1,1
ožu-15	12,7	7,6	402	9,1	169	72,3	3,6	2,4	0,6	4,0	17,8	2,9
lip-15	14,5	7,5	543	7,5	229	103,8	6,9	1,6	6,7	3,4	133,1	3,1
stu-17	12,3	7,7	525	9,4	220							
pro-17	11,3	7,7	453	9,3	207	73,5	3,1	2,6	1,1	6,4	30,0	0,2
sij-18	11,8	8,0	459	10,6	0	75,4	3,6	3,1	0,9	4,9	33,0	0,5
vlj-18	11,4		411	10,2	201	65,6	3,2	3,1	0,6	4,3	10,0	0,2
ožu-18	12,4		387	10,0	0					6,2	15,0	0,1
tra-18	14,7	7,7	345	9,3	240					4,4	46,0	0,6
svi-18	15,6	7,5	507	8,7	238	80,4	5,8	3,4	1,5	1,7		0,9
lip-18	14,7	7,6	641	8,7	238	90,4	5,6	2,9	1,3	4,2	160,0	0,4
srp-18	15,4	7,6	685	8,3	233	102,5	6,6	3,0	1,3	3,9	200,0	0,8
kol-18	14,7	7,5	782	11,7	192	108,5	5,5	2,8	2,1	4,4	170,0	0,1
ruj-18	15,4	7,6		7,6	250	136,6	14,5	2,8	0,5	5,1	238,7	5,9
lis-18	15,6	7,5	762	6,7	192	117,4	13,6	2,8	0,7	5,7	197,6	6,1
stu-18	12,9	7,3	441		246	84,8	2,2	2,3	0,2	6,8	13,5	4,4
pro-18	11,6	7,6	471		244	90,0	4,6	2,2	0,6	5,7	40,3	6,9
sij-19	11,3	7,6	401	9,5	233	75,2	2,9	2,2	0,5	5,3	18,6	4,1
vlj-19	12,0	7,6	483	9,6	237	90,9	4,8	2,2	0,5	3,9	34,9	5,0
ožu-19	13,6	7,7	553	9,3	235	100,1	7,7	2,4	0,6	4,3	83,2	4,6

tra-19	15,4	7,5	542	9,7	253	89,4	5,4	2,1	0,0	5,0	51,0	4,7
svi-19	15,0	7,7	453	8,9	228	84,7	4,5	2,1	0,5	4,3	36,0	4,7
lip-19	16,4	7,9	511	7,6	264	95,6	6,0	2,2		4,0	61,2	4,8
srp-19	17,3	7,5	461	9,3	235	91,7	3,8	0,8		3,7	72,7	4,5
kol-19	17,6	7,6	533	10,3		114,7	9,6	2,1	0,1	3,5	127,2	4,3
ruj-19	15,5	7,5	588	7,5	233	136,2	12,0	2,4	0,3	4,1	181,8	5,1
lis-19	17,5	7,6	781	12,9	206	143,5	13,5	2,5	0,7	4,5	232,1	4,9
stu-19	12,8	7,5	431	8,5	270	83,8	3,3	2,8	1,3	5,2	19,1	2,1
pro-19	10,6	7,8	458	10,8	193	89,0	4,3	2,7	0,6	3,5	26,5	2,7
sij-20	12,3	7,6	504	9,0	250	98,2	4,9	3,3	0,7	5,2	38,7	3,0
vlj-20	13,2	7,6	512	8,7	240	96,7	5,3	2,9	0,6	4,9	48,6	2,9
tra-20	14,3	7,5	550	8,6	238	104,9	6,9	3,0	1,7	5,9	77,2	3,1
svi-20	14,1	7,6	614	9,1	233	116,4	8,9	3,2	0,7	4,5	126,0	3,1
lip-20	16,5	7,7	657	10,0	232	125,5	11,4	3,7	1,2	4,5	166,7	2,9
srp-20	18,5	7,7	710	11,1	229	136,7	12,9	3,8	1,4	5,1	193,5	2,6
kol-20	15,6	8,1	754	13,3	232	123,8	14,0	3,8	1,8	5,3	227,5	1,2
ruj-20	14,5	7,4	816	6,3	242	163,2	15,7	3,3	0,6	4,3	268,0	3,3
Mj-god	PO ₄ -P	NO ₂	Fe	Mn	Cu	F	Zn	Cr	Br	Co	Pb	Cd
	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
ruj-13	0,01											
pro-13	0,01											
sij-14	0,01	0,1	24	<2	3	0,4	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
vlj-14	0,02	<0,001	4	5	5	0,05	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-14	0,03	<0,001	39	29	5	0,05	2	<5	<0,1	<2	<10	<5
tra-14	0,01	<0,001	25	16	6	0,05	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
svi-14	0,01	0,0	21	8	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-14	0,13	0,0	23	<2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
srp-14	0,01	0,0	47	<2	<2	<0,1	13	<5	<0,1	<2	<10	<5
kol-14	<0,01	<0,001	10	<2	<2	<0,1	20	<5	<0,1	<2	<10	<5
ruj-14	<0,01	0,0	13	9	<2	0,1	<2	<5	0,1	<2	<10	<5
lis-14	0,34	0,0	4	16	2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
stu-14	0,11	<0,001	4	2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
pro-14	0,04	0,0	58	20	10	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-15	0,01	<0,001	54	9	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-15	0,22	<0,001	3	7	4	<0,1	3	<2	<0,1	<2	<10	<5

Mandina mlinica kaptaza

Mj-god	T	pH	EC	O ₂	HCO ₃	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	NO ₃
	°C		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
sij-14	13,6	8,0	393	10,0	227	66,7	4,8	8,3	0,5	15,3	10,1	1,7
vlj-14	13,6	7,5	385	9,3	190	68,6	3,8	7,8	0,5	22,4	11,5	1,3
ožu-14	13,4	7,5	424	7,2	189	80,6	4,4	25,7	0,9	48,3	17,3	2,8
tra-14	13,5	7,7	462		186	88,3	5,7	15,6	1,1	33,3	29,1	3,7
svi-14	13,6	7,6		8,8	211	84,2	4,7	13,6	1,0	34,8	15,4	2,0
lip-14	13,7	7,7	454	9,7	198	103,7	5,9	11,5	0,9	17,1	27,5	2,3

srp-14	14,1	7,7	478	8,3	218	92,6	7,7	5,5	0,7	17,1	47,5	3,0
kol-14	14,2	7,6	467	7,1	240	73,7	7,9	8,0	0,9	23,3	25,3	2,9
ruj-14	14,1	7,5	506	7,7	237	94,3	6,8	30,0	1,3	43,8	20,6	2,2
lis-14	13,8	7,4	546	8,1	146,4	49,9	4,1	19,5	0,6	26,6	26,8	0,1
stu-14	13,6	7,4			267	51,2	8,5	16,9	3,6	25,5	46,2	3,4
pro-14	13,8	7,3	444	8,3	179	79,9	5,9	15,5	0,5	26,4	10,2	1,7
ožu-15	13,4	7,5	517	9,5	155	64,6	6,2	32,0	1,2	70,1	11,3	0,6
lip-15	14,1	7,5	492	7,2	231	95,6	7,4	31,9	0,9	111,5	96,0	1,9
stu-17	13,8	7,4	653,0	9,0	198							
pro-17	13,1	7,7	478,0	9,3	217	62,8	6,1	17,7	0,5	31,0	12,0	0,1
sij-18	13,2	7,8	576,0	9,6		61,5	6,5	34,5	0,8	50,0	19,0	0,2
vlj-18	13,2		588,0	9,7	217	49,5	3,2	21,7	0,6	64,0	9,0	0,1
ožu-18	13,4		421,0	9,8						17,7	8,0	0,0
tra-18	13,3	7,7	376,0	9,9	212					53,0	11,0	0,3
svi-18	13,6	7,7	637,0	9,3	218	69,5	10,5	37,8	1,9	62,0	37,0	0,1
lip-18	13,9	7,6	523,0	8,6	218	73,4	7,8	32,7	1,0	4,3	66,0	0,4
srp-18	14,1	7,6	607,0	7,9	235	74,2	7,8	35,5	0,7	4,4	200,0	0,2
kol-18	14,2	7,5	693,0	7,2	232	104,8	11,5	3,1	2,9	5,8	190,0	0,4
ruj-18	14,2	7,6	159,0	8,4	243	119,4	15,7	13,7	0,7	13,2	193,8	5,6
lis-18												
stu-18	13,5	7,5	702,0	9,1	248	72,2	12,8	46,1	1,8	89,4	32,3	4,7
pro-18	13,4	7,5	579,0		217	146,9	283,9	2285	136	4165	614,2	4,6
sij-19	13,1	7,5	464,0	9,3	228	71,9	5,7	13,2	0,6	22,9	17,4	3,6
vlj-19	13,1	7,6	580,0	9,8	223	68,0	6,9	36,6	1,7	61,6	19,0	4,0
ožu-19	13,2	7,7	652,0	9,6	221	73,9	9,7	43,1	1,3	74,8	35,1	4,0
tra-19	13,4	7,7	528,0	10,1	166	68,0	6,5	31,4	0,9	56,5	19,7	3,9
svi-19	13,5	7,7	727,0	10,0	261	70,7	9,4	58,1	1,8	110,0	24,3	3,6
lip-19	13,7	8,0	625,0	9,7	244	73,3	8,3	40,2	1,3	76,0	25,3	3,9
srp-19	14,2	7,6	883,0	8,8	231	91,7	10,1	29,5	0,8	48,5	59,8	4,3
kol-19	14,2	7,4	469,0	7,7		108,4	10,4	4,4	0,0	5,0	103,4	4,5
ruj-19	14,2	7,5	518,0	7,2	235	120,5	12,2	4,1	0,1	5,4	151,9	4,8
lis-19	14,2	7,4	731,0	7,3	231	130,6	13,7	3,1	0,1	5,0	188,6	5,1
stu-19	13,8	7,4	643,0	9,3	196	78,1	9,3	43,5	1,8	81,8	24,0	1,4
pro-19	13,3	7,6	610,0	9,6	232	72,4	7,8	42,8	1,9	72,1	16,4	1,5
sij-20	13,1	7,5	695,0	9,4	231	77,0	9,1	45,7	2,0	84,1	24,4	2,0
vlj-20	13,2	7,6	668,0	9,3	229	81,5	10,1	41,5	2,0	78,7	39,0	2,2
tra-20	13,3	7,6	631,0	9,3	224	87,9	9,9	30,1	1,3	60,5	52,9	2,3
svi-20	13,5	7,6	556,0	8,6	237	103,4	9,8	3,4	0,4	4,5	92,8	2,5
lip-20	13,9	7,7	524,0	8,9	222	96,2	9,5	3,8	0,5	4,9	79,8	2,3
srp-20	14,1	7,6	608,0	8,3	228	112,7	11,7	3,7	0,6	5,0	131,2	2,6
kol-20	14,2	7,6	685,0	7,5	231	126,4	14,0	6,0	0,7	6,2	168,3	2,8
ruj-20	14,3	7,5	994,0	7,0		146,0	21,1	47,1	2,2	88,5	233,0	3,2
Mj-god	PO₄-P	NO₂	Fe	Mn	Cu	F	Zn	Cr	Br	Co	Pb	Cd
	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
sij-14	0,02	0,0	3	<2	4	0,5	<2	2,5	<0,1	<2	<10	<5

vlj-14	0,03	<0,001	<2	5	5	0,2	<2	2,5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-14	<0,01	0,0	39	15	4	<0,1	4	2,5	<0,1	<2	<10	<5
tra-14	0,12	<0,001	<2	11	4	<0,1	<2	2,5	<0,1	<2	<10	<5
svi-14	<0,01	0,0	15	10	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-14	0,29	0,0	8	<2	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
srp-14	0,08	<0,001	31	<2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
kol-14	<0,01	<0,001	9	<2	<2	<0,1	28	<5	<0,1	<2	<10	<5
ruj-14	<0,01	0,0	15	11	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lis-14	0,23	0,0	<2	25	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
stu-14	0,08	<0,001	<2	<2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
pro-14	0,03	<0,001	9	3	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-15	0,01	0,0	43	<2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-15	0,15	0,0	<2	3	2	<0,1	4	<5	<0,1	<2	<10	<5

Mandina mlinica izvor

Mj-god	T °C	pH	EC μS/cm	O ₂ mg/l	HCO ₃ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l
ruj-13	17,4	7,7	20000	7,9	210	178,7	76,0	6851	164	11940	140	0,5
pro-13	13,3	7,6	9740	9,7	227	111,7	38,1	1655	56	2760	93	<0,1
pro-14	13,6	7,3	2030	9,6	188	98,8	30,0	259	9	478	68	2,2
ožu-15	12,7	7,7	16300	10,1	140	123,5	350,0	2596	105	5650	504	<0,1
lip-15	14,6	7,8	27000	6,4	210	170,7	242,3	5292	300	8820		
stu-17	13,5	7,7	10610	9,3								
pro-17	12,3	7,7	10140	9,7	95	94,8	198,5	1830	42	2700	530	0,0
sij-18	12,8	7,7	11350	10,0	102	101,7	210,6	2200	45	2280	370	0,3
vlj-18	12,8		6100	9,9						1760	180	0,3
ožu-18	12,9		10940	10,3						3200	60	0,0
tra-18	13,0	7,7		9,8						4200	550	0,3
svi-18	14,1	7,8	12770	9,5	92	91,7	3,0	29	209	2600	570	
lip-18	14,1	7,7	4700	8,6	112	111,5	450,0	3550	421	4700	400	0,3
srp-18	15,4	7,8	28600	8,7	110	110,2	350,0	3650	320	8700	1200	0,3
kol-18	15,8	7,8	33700	8,4	139	138,7	373,0	6027	27	6900	1400	0,0
ruj-18	15,8	7,6		9,1	216	215,67	335,4	6881	231		1878	15,4
lis-18	15,9	7,6	17300	8,0	178	177,91	332,0	2856	107	4981	792	5,4
stu-18	12,9	7,5			73	73,157	3,1	4	1	9	18	4,5
pro-18	13,1	7,5	13760		72	72,024	6,8	34	1	69	20	5,5
sij-19	12,7	7,6	10630	9,8	123	123,33	202,6	1697	62	2851	419	3,3
vlj-19	12,7	7,6	11320	10,1	128	128,14	217,8	1824	67	2769	414	3,6
ožu-19	13,1	7,8	16720	9,9	164	163,69	324,7	2791	102	4760	725	5,4
tra-19	13,6	7,7	17560	10,1	165	165,02	336,6	2971	107	5209	781	4,1
svi-19	14,3	7,7	9970	10,3	122	121,77	189,3	1586	57	2950	419	3,5
lip-19	14,3	8,3	13080	9,5	142	142,42	252,3	2133	77	3906	574	3,5
srp-19	14,9	7,6	15610	9,0	198	197,73	380,0	3424	118	5564	867	3,5
kol-19	14,9	7,6	12810	7,7	188	188,36	316,9	2707	97	4435	709	3,8
ruj-19	15,5	7,5	12880	7,6	170	170	310,9	2664	95	4792	820	3,7
lis-19	15,7	7,5	15780	7,3	204	204,34	328,9	2664	88	4896	836	4,6

stu-19	13,5	7,5	6160	9,2	106	106,44	113,3	924	32	1673	243	
pro-19	12,9	7,7	9960	9,7	125	124,98	198,1	1625	61	2753	370	
sij-20	12,9	7,6	9700	9,3	124	124,46	184,7	1499	57	2791	377	
vlj-20	13,0	7,7	13010	9,4	150	149,9	265,7	2219	81	4045	544	0,9
tra-20	13,4	7,7	18600	9,2	28	28,094	54,0	433	15	898	144	
svi-20	14,0	7,7	14900	8,9	94	94	127,0	1014	39	1666	510	
lip-20	14,4	7,7	16230	8,9	181	180,51	321,3	2771	105	5416	797	
srp-20	14,4	7,5	13270	8,0	179	179,07	277,9	2266	85	4091	604	1,0
kol-20	14,7	7,6	17690	7,4	215	214,71	368,7	3057	114	5478	837	1,0
	15,3	7,5	8930	7,2	187	187,38	188,0	1440	55	2670	537	2,8

Mj-god	PO₄-P mg/l	NO₂ mg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Cu µg/l	F µg/l	Zn µg/l	Cr µg/l	Br µg/l	Co µg/l	Pb µg/l	Cd µg/l
ruj-13	<0,01											
pro-13	<0,01											
pro-14	<0,01	<0,001	9	2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-15	<0,01	0,0	<2	<2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-15	0,02	0,0	<2	<2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5

Čeveljuša

Mj-god	T °C	pH	EC µS/cm	O₂ mg/l	HCO₃ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO₄ mg/l	NO₃ mg/l
ruj-13	14,8	7,4	740	5,9	233	120,3	12,8	2,2	0,7	5,9	180,5	6,0
pro-13	12,0	7,7	453	10,1	232	109,1	8,4	2,4	0,6	3,6	62,6	1,8
sij-14	12,0	8,0	373	10,6	232	78,3	2,6	22,8	0,6	36,5	16,9	1,6
vlj-14	12,5	7,5	360	7,0	193	78,5	1,9	12,8	0,5	23,9	21,7	1,3
ožu-14	13,2	7,3	428	8,4	227	96,6	4,1	2,6	0,5	35,0	34,7	3,3
tra-14	13,7	7,6	496		205	96,1	5,8	3,0	0,6	6,9	34,6	4,3
svi-14	14,6	7,5	450	8,8	207	98,5	4,8	2,3	0,6	9,1	35,8	1,6
lip-14	14,4	7,5	533	7,2	221	146,8	6,5	3,0	0,6	12,3	79,3	5,6
srp-14	14,5	7,5	602	6,4	231	148,5	8,8	3,3	1,3	5,9	98,5	4,9
kol-14	15,5	7,5	575	5,1	229	157,3	8,8	3,2	0,7	9,1	108,6	3,4
ruj-14	15,5	7,4	449	7,0	211	96,2	5,0	24,0	0,9	6,1	24,6	1,2
lis-14	15,1	7,4	548	5,8	164,7	89,8	5,7	2,7	0,6	5,0	74,8	3,9
stu-14	14,4	7,4			239	83,7	7,2	23,5	0,8	30,1	57,9	3,6
pro-14	13,8	7,1	442	6,4	196	77,8	2,7	2,6	0,7	4,2	6,6	1,3
ožu-15	12,1	7,7	373	10,6	163	66,7	3,4	2,2	0,4	9,4	14,7	1,0
lip-15	14,0	7,5	553	6,5	216	111,6	7,8	2,7	0,9	14,4	141,0	6,1
pro-17	11,2	7,6	439	8,6	216	61,2	2,1	2,6	0,4	4,6	36,0	0,2
sij-18	11,6	8,0	441	10,7		60,5	2,3	1,6	0,3	4,7	35,0	0,6
vlj-18	11,6		394	9,6	223	35,8	1,5	1,5	0,2	5,6	7,0	0,1
ožu-18	12,4		376	10,0						3,8	10,0	0,0
tra-18	13,6	7,7	327	9,3	259					3,4	34,0	0,3
svi-18	14,2	7,6	539	8,4	239	82,0	6,5	3,2	0,9	3,4	61,0	0,1
lip-18	14,0	7,5	621	7,6	239							
srp-18	14,1	7,5	687	6,9	233	80,9	5,5	2,8	0,7	4,2	180,0	0,0

kol-18	14,4	7,5	789	6,5								
ruj-18	14,3	7,5		6,2	216	136,6	14,6	2,9	0,1	5,6	244,4	6,2
lis-18	14,3	7,5	761	6,0	221	112,4	10,3	2,1	0,1	4,3	186,3	5,6
stu-18	14,0	7,2	475		279	91,8	2,1	3,0	0,0	7,9	13,0	4,3
pro-18	11,9	7,6	451		238	85,7	4,7	2,0	0,7	5,3	35,9	6,2
sij-19	12,1	7,5	400	9,2		75,1	2,9	2,5		5,4	17,7	3,8
vlj-19	11,8	7,8	461	10,5	248	86,0	4,9	2,2		3,9	35,1	4,5
ožu-19	12,8	7,7	562	8,9	238	101,5	8,0	2,8	0,2	4,7	88,8	4,6
tra-19	13,8	7,7	459	10,3	218	84,9	5,2	2,3	1,0	4,9	46,4	4,1
svi-19	14,7	7,7	414	10,3	229	77,1	4,1	2,0		4,5	32,2	3,6
lip-19	15,1	8,1	503	7,0	272	93,9	6,1	2,6	0,0	4,5	57,8	4,5
srp-19	13,0	7,5	436	7,1	235	85,3	2,4			3,6	69,7	4,6
kol-19	14,7	7,5	511	7,3								
ruj-19	14,6	7,5	571	6,0	243	135,3	11,9	2,9	0,4	4,7	180,6	5,1
lis-19	14,5	7,4	797	6,3	218	147,2	13,4	3,0	0,2	5,0	229,7	5,5
stu-19	13,5	7,4	433	6,6	227	84,8	3,3	3,0	0,7	5,4	19,5	1,9
pro-19	11,4	7,7	419	9,4	195	82,0	3,8	2,8	0,5	3,5	22,6	2,0
sij-20	12,4	7,6	513	9,2	239	99,1	5,7	3,4	0,6	5,4	45,7	2,9
vlj-20	13,0	7,6	523	7,7	253	98,6	5,7	3,3	0,5	5,0	50,5	2,8
tra-20	13,4	7,5	561	8,5	243	108,4	7,5	3,2	0,7	5,3	87,8	2,9
svi-20	13,6	7,6	633	8,1	235	121,8	9,6	3,4	0,6	4,8	138,0	3,0
lip-20	13,9	7,1	685	7,2	232	130,9	11,8	3,9	0,6	5,0	164,7	3,2
srp-20	14,1	7,5	742	7,8	229	142,5	13,1	3,7	0,6	4,9	199,1	3,1
kol-20	14,5	7,5	782	6,7	222	149,9	14,1	4,0	0,6	4,9	228,3	3,1
Mj-god	PO₄-P	NO₂	Fe	Mn	Cu	F	Zn	Cr	Br	Co	Pb	Cd
	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
ruj-13	<0,01											
pro-13	<0,01											
sij-14	0,01	<0,001	8	<2	4	<0,1	<2	<5	0,1	1	<10	<5
vlj-14	0,08	0,0	<2	3	4	<0,1	<2	<5	0,1	1	<10	<5
ožu-14	<0,01	0,0	68	33	5	0,5	4	<5	0,3	1	<10	<5
tra-14	<0,01	0,0	5	10	5	<0,1	<2	<5	<0,1	1	<10	<5
svi-14	0,05	0,0	2	5	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-14	0,16	0,0	<2	<2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
srp-14	0,01	<0,001	44	<2	<2	<0,1	15	<5	<0,1	<2	<10	<5
kol-14	<0,01	<0,001	12	<2	<2	<0,1	4	<5	<0,1	<2	<10	<5
ruj-14	0,01	<0,001	15	9	<2	<0,1	<2	<5	0,1	<2	<10	<5
lis-14	0,35	0,0	<2	13	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
stu-14	0,01	<0,001	<2	2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
pro-14	0,1	0,0	30	15	8	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-15	0,01	0,0	54	5	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-15	0,32	<0,001	<2	5	2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5

Strimen

Mj-god	T	pH	EC	O₂	HCO₃	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO₄	NO₃
---------------	----------	-----------	-----------	----------------------	------------------------	-----------	-----------	-----------	----------	-----------	-----------------------	-----------------------

	°C		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
ruj-13	15,2	7,4	3380	5,3	251	157,1	24,5	499	16,8	892,0	258,0	4,4
pro-13	11,8	7,6	465	8,8	239	111,2	8,4	3,3	0,7	7,2	40,6	6,1
sij-14	11,3	8,0	391	9,1	242	77,9	3,1	7,1	0,9	14,1	14,6	2,2
vlj-14	12,2	7,7	507	9,98	196	80,8	3,8	27,3	1,4	55,2	15,3	2,1
ožu-14	13,2	7,5	458	7,8	222	87,5	4,7	4,2	0,6	7,8	44,3	3,8
tra-14	13,7	7,7	509	8,56	199	95,9	7,6	3,6	0,7	7,3	67,7	4,4
svi-14	14,0	7,6	464	7,7	229	88,2	4,5	3,1	0,9	6,9	33,5	2,6
lip-14	14,3	7,5	648	7,16	221	154,8	8,9	8,1	0,8	16,8	93,6	4,3
srp-14	14,5	7,4	1949	4,8	242	132,6	29,2	229	7,3	412,0	123,6	2,9
kol-14	14,9	7,4	999	4,4	253	132,8	13,9	70,9	2,9	117,0	129,6	4,0
ruj-14	15,0	7,5	465	6,8	220	99,3	5,4	2,2	0,8	4,7	21,6	2,8
lis-14	14,6	7,5	679	5,8	147,62	95,4	6,7	11,6	1,1	13,9	105,2	3,3
stu-14	14,4	7,6	616		265	111,1	8,9	3,4	1,0	5,0	123,0	4,6
pro-14	13,5	7,2	439	6,5	195	92,9	2,9	3,2	0,9	5,7	8,1	1,9
ožu-15	12,6	7,6	402	9,3	171	79,1	5,8	1,9	0,5	3,7	52,8	4,8
lip-15	14,2	7,5	831	6,4	243	130,6	5,3	19,2	2,2	51,3	135,8	5,7
Mj-god	PO ₄ -P	NO ₂	Fe	Mn	Cu	F	Zn	Cr	Br	Co	Pb	Cd
	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
ruj-13	<0,01											
pro-13	<0,01											
sij-14	0,01	<0,001	39	<2	6	0,5	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
vlj-14	<0,01	0,0	<2	6	8	0,5	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-14	0,03	<0,001	16	41	8	<0,1	2	<5	<0,1	<2	<10	<5
tra-14	0,02	0,0	<2	2	5	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
svi-14	0,06	<0,001	14	7	3	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-14	0,16	0,0	<2	<2	3	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
srp-14	0,54	0,0	38	<2	<2	<0,1	4	<5	<0,1	<2	<10	<5
kol-14	0,04	<0,001	9	<2	<2	<0,2	7	<5	<0,1	<2	<10	<5
ruj-14	0,11	0,0	37	12	<2	<0,3	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lis-14	<0,01	0,0	<2	20	2	<0,4	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
stu-14	0,09	<0,001	2	4	<2	<0,5	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
pro-14	0,08	<0,001	39	17	8	<0,6	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-15	<0,01	<0,001	59	10	<2	<0,7	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-15	0,02	0,0	<2	4	4	<0,8	2	<2	<0,1	<2	<10	<5

Modro oko

Mj-god	T	pH	EC	O ₂	HCO ₃	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	NO ₃ -
	°C		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
ruj-13	17,6	7,5	902	5,7	229	145,0	16,4	2,9	0,8	9,4	219,4	4,6
pro-13	11,8	7,6	471	9,07	229	110,2	4,8	3,4	0,8	6,3	47,4	5,2
sij-14	11,0	8,0	352	10,12	224	66,7	2,7	2,7	0,6	4,7	10,2	2,1
vlj-14	12,0	7,8	343	9,3	190	67,6	2,1	2,9	0,6	7,6	12,3	1,4
ožu-14	13,3	7,8	461	8,5	218	88,6	5,1	4,0	0,6	9,4	42,6	3,6
tra-14	13,8	7,8	524	9,59	190	106,4	8,3	2,9	0,7	6,2	78,5	4,3

svi-14	14,5	7,6	473	8,4	210	89,4	5,2	2,5	0,6	5,7	44,9	2,9
lip-14	13,4	7,7	643	8,82	209	196,3	10,3	3,4	0,8	8,1	145,4	5,6
srp-14	16,6	7,7	602	7,6	229	150,0	9,6	3,2	1,7	8,8	114,7	4,1
kol-14	16,9	7,7	653	6,3	234	92,8	10,9	4,6	0,8	8,0	105,3	4,0
ruj-14	15,4	7,5	467	7,1	209	60,1	1,9	1,1	0,5	4,3	26,5	2,5
lis-14	15,4	7,6	651	7,5	126,88	82,6	6,5	2,6	0,6	5,7	132,0	4,0
stu-14	14,4	7,5	568		242	89,0	7,3	2,8	0,8	5,1	103,0	3,7
pro-14	13,3	7,2	415	7	184	61,4	2,1	1,8	0,6	5,6	8,1	2,0
ožu-15	12,0	7,5	398	9,4	173	69,4	3,9	22,9	0,4	46,2	24,7	1,8
lip-15	16,1	7,6	722	7,7	254	122,2	14,2	3,4	1,1	14,0	226,3	3,3
stu-17	13,4	7,7	563	8,77	207							
pro-17		7,5	447	8,73	210	65,3	3,2	3,0	0,4	5,1	37,0	0,4
sjj-18	11,9	7,7	448	9,73	0	67,8	3,5	2,9	0,4	4,2	37,0	0,5
vlj-18	11,7		398	9,29	199	60,7	3,2	3,1	0,5	5,4	8,0	0,1
ožu-18	11,8		366	9,68	0					4,0	13,0	0,3
tra-18	13,8	7,8	351	9,07	272					5,0	46,0	0,4
svi-18	16,0	7,8	608	8,75	216	85,2	10,1	3,1	1,2	4,2	120,0	0,2
lip-18	16,9	7,7	680	7,72	216	101,7	10,5	3,3	1,0	4,1	260,0	0,2
srp-18	17,2	7,7	856	6,99	226	117,4	11,4	3,5	0,8	3,9	360,0	0,9
kol-18	17,7	7,6	953	6,1	204	116,2	12,4	3,8	1,7	4,4	350,0	0,1
ruj-18	17,5	7,6		6,25	229	172,0	19,7	3,7	0,3	6,4	358,0	5,9
lis-18	15,6	7,5	762	6,69	192	143,1	17,5	5,7	0,4	10,4	290,6	6,2
stu-18	13,9	7,3	464		270	88,9	2,9	2,4		6,4	18,5	4,6
pro-18	12,1	7,5	463		228	87,0	4,7	3,0	0,0	6,8	37,2	6,7
sjj-19	11,0	7,6	405	8,91	229	74,0	3,3	4,3	1,5	8,2	19,5	4,0
vlj-19	11,8	7,7	495	9,98	228	90,8	6,0	4,7		5,8	44,4	5,0
ožu-19	13,0	7,9	597	9,81	211	107,7	9,6	2,5	0,2	4,2	113,9	4,4
tra-19	13,9	7,7	481	9,68	217	88,9	5,8	2,3		4,4	52,1	4,7
svi-19	14,6	7,7	444	9,41	244	82,4	4,6	2,6		4,8	34,6	4,4
lip-19	16,4	8,4	565	7,83	259	104,5	8,3	2,6		4,5	95,7	4,8
srp-19	16,9	7,7	586	7,58	227	128,7	12,0	3,2	0,1	5,3	157,4	4,7
kol-19	17,0	7,6	718	5,92		148,3	15,0	11,4	0,3	18,6	204,9	4,7
ruj-19	17,0	7,5	871	5,78	220	169,7	19,0	26,4	0,8	49,9	290,8	5,0
lis-19	16,4	7,6	1033	6,56	227	186,3	19,5	10,2	0,3	13,3	367,1	5,3
stu-19	13,4	7,4	419	5,91	229	81,6	3,4	2,9	0,8	5,1	18,6	1,8
pro-19	11,0	7,7	455	9,2	207	85,8	4,6	4,8	0,6	6,9	26,5	2,3
sjj-20	11,4	7,7	583	9,99	250	110,3	8,5	3,5	0,6	5,4	87,5	3,3
vlj-20	12,1	7,8	644	9,59	245	118,1	10,3	3,3	0,6	5,2	135,4	3,1
tra-20	13,7	7,8	723	9,18	229	138,1	13,1	3,7	0,5	5,2	194,8	3,5
svi-20	14,8	7,8	847	7,92	217	162,7	16,5	3,9	0,5	5,1	276,6	3,3
lip-20	16,4	7,8	850	7,7	221	167,5	17,6	4,7	0,6	6,0	290,5	3,2
srp-20	16,5	7,6	903	6,06	233	173,8	18,3	5,8	0,9	7,9	312,7	3,0
kol-20	15,6	8,1	754	13,34	232	195,5	21,6	17,4	1,0	35,5	376,3	3,1
ruj-20	17,2	7,5	1076	5,93	217	207,9	23,1	14,3	1,1	29,1	423,9	2,8
Mj-god	PO4-P	NO2-	Fe	Mn	Cu	F	Zn	Cr	Br	Co	Pb	Cd

	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
ruj-13	<0,01											
pro-13	<0,01											
sij-14	0,01	0,0	68	2	4	0,5	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
vlj-14	0,05	0,0	<2	5	7	0,2	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-14	<0,01	0,0	44	37	5	0,6	4	<5	0,3	<2	<10	<5
tra-14	<0,01	<0,001	<2	3	8	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
svi-14	<0,01	0,0	13	5	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-14	<0,01	0,0	17	<2	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
srp-14	0,5	0,0	55	<2	<2	<0,1	13	<5	<0,1	<2	<10	<5
kol-14	0,23	0,0	9	<2	<2	0,1	15	<5	<0,1	<2	<10	<5
ruj-14	0,02	<0,001	22	12	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lis-14	0,18	0,0	2	22	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
stu-14	0,08	<0,001	<2	4	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
pro-14	0,06	<0,001	6	20	8	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-15	0,04	0,0	53	5	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-15	0,1	0,0	<2	6	4	<0,1	4	<2	<0,1	<2	<10	<5

Prud

Mj-god	T °C	pH	EC µS/cm	O ₂ mg/l	HCO ₃ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l
pro-13	12,7		638	9,2	276	119,4	11,8	9,1	1	16,4	104,8	4,4
sij-14	12,9	7,7	542	9,05	275	92,5	5,8	10,4	0,8	19,4	47,1	5,7
vlj-14	13,2	7,1	525	10,7	244	92,5	4,1	9,9	0,8	20,2	31,1	5,2
ožu-14	13,6	7,2	624	7,7	234	96,3	7,9	15,0	0,9	19,8	88,7	3,9
tra-14	13,6	7,3	668	7,36	213	113,9	10,3	11,5	1,1	25	107	4,8
svi-14	13,7	7,2	679	7,9	271	109,8	10	14,9	0,9	22	101,9	5,1
lip-14	13,7	7,3	744	8,23	267	201,8	12,4	8,7	0,9	17,6	166,8	5,6
srp-14	13,9	7,2	741	7,6	240	160,3	12,8	11,1	0,9	20,6	151,8	5,4
kol-14	14,1	7,2	781	7,7	242	163,7	13,8	10,3	1,7	6,3	160,2	6,3
ruj-14	14,0	7,1	671	6,9	270	74,5	4,1	9,9	0,6	12,2	84,9	3,2
lis-14	14,0	7,2	748	5,6	195,2	90,3	4,5	4,8	0,6	14,5	167,8	4,1
stu-14	13,8	7,3	726	6,1	254	99,6	11,4	8,1	1,2	12,4	170,2	4,4
pro-14	13,6	7,0	569	7,5	203	96,8	5,7	7,5	0,8	17,1	37,9	4,2
ožu-15	12,8	7,1	574	7,9	205	92,1	6,5	8,1	2,1	17,8	62,9	3,9
lip-15	13,9	7,1	772	8,4	245	130,4	5,4	5,2	1,6	31,4	215,6	4,4
stu-17	13,7	7,1	783	7,9	264							
pro-17	12,5	7,6	685	8,6	260	118,5	12,3	9,8	1,1	15,4	110	0,4
sij-18	13,2	7,6	704	8,7	0	105,8	10,4	10,1	1,0	16,2	70	0,7
vlj-18	11,9		609	9,4	254	87,3	12,3	12,9	0,8	11,3	50	0,5
ožu-18	13,2		563	9,0	0					18,7	49	0,2
tra-18	14,6	7,4	487	7,7	267					19,9	80	0,6
svi-18	14,5	7,4	746	7,9	262	98,9	12,8	11,8	1,8	19,3	150	0,3
lip-18	13,9	7,3	166	7,3	262	94,7	13,7	9,7	1,5	14,7	200	0,5
srp-18	14,4	7,4	843	7,6	259	118,6	13,9	12,5	1,8	14,4	270,0	0,6
kol-18	14,3	7,3	904	7,2	231	114,8	12,8	9,8	2,5	19,7	350,0	1,0

ruj-18	15,0	7,4		7,5	270	143,6	18,3	9,7	0,5	18,2	253,8	6,6
lis-18	14,7	7,4	951	7,6	223	152,0	19,3	9,8	1,4	19,0	269,1	6,7
stu-18	13,3	7,2	546		268	99,2	4,7	6,0	0,6	13,2	37,6	6,0
pro-18	13,2	7,3	659		271	117,6	8,9	9,1	0,9	19,1	93,1	8,5
sij-19	12,3	7,3	582	9,6	279	100,2	6,6	9,3	0,7	17,7	48,1	5,2
vlj-19	12,4	7,3	650	9,5	232	111,3	8,7	11,4	1,2	19,3	70,3	5,4
ožu-19	13,3	7,5	764	8,4	253	125,5	13,1	13,2	1,0	25,8	140,2	5,1
tra-19	13,6	7,3	687	8,4	259	117,6	10,1	9,8	1,2	20,5	102,8	5,4
svi-19	13,8	7,3	672	8,1	260	116,8	9,4	9,7	1,2	21,0	97,2	5,5
lip-19	13,8	7,7	742	7,8	323	127,3	12,8	10,2	0,2	20,1	147,7	5,7
srp-19	14,0	7,3	628	7,6	254	143,0	15,2	7,8	0,3	10,9	178,1	5,1
kol-19	14,1	7,3	678	7,6		152,5	16,7	9,6	0,2	16,6	207,5	5,1
ruj-19	14,1	7,5	697	7,3	244	158,1	17,7	10,2	0,4	18,4	246,5	5,5
lis-19	13,9	7,3	933	7,5	233	163,3	18,6	10,0	0,6	13,6	281,1	5,5
stu-19	12,6	7,3	600	8,5	277	109,0	7,5	8,6	1,3	14,2	59,5	3,1
pro-19	12,0	7,6	629	9,5	231	111,9	8,3	10,6	1,2	15,7	65,2	2,7
sij-20	12,6	7,6	730	9,4	262	123,8	11,4	16,4	0,9	35,5	111,1	3,3
vlj-20	13,0	7,5	802	8,1	257	131,5	13,8	17,7	0,9	38,1	159,9	3,3
tra-20	13,2	7,4	781	7,8	260	139,6	15,1	10,9	0,7	22,0	177,4	3,5
svi-20	13,5	7,5	862	8,0	248	156,6	17,3	10,5	0,7	14,7	232,4	3,7
lip-20	13,7	7,4	872	7,4	253	157,9	18,1	11,0	0,8	19,6	238,1	3,7
srp-20	14,0	7,3	924	7,3	248	170,5	19,4	11,2	0,8	16,2	279,0	4,0
kol-20	14,2	7,4	939	7,5	256	171,9	19,7	10,9	0,7	14,6	290,0	3,6
ruj-20	14,2	7,3	935	7,0	233	177,6	20,2	10,4	0,8	15,8	309,0	4,1

Mj-god	PO₄-P mg/l	NO₂ mg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Cu µg/l	F µg/l	Zn µg/l	Cr µg/l	Br µg/l	Co µg/l	Pb µg/l	Cd µg/l
pro-13	<0,01											
sij-14	0,03	0,0	10	<2	5	0,6	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
vlj-14	<0,01	0,0	<2	5	8	0,6	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-14	0,01	<0,001	18	38	5	<0,1	2	<5	<0,1	<2	<10	<5
tra-14	0,01	<0,001	20	14	5	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
svi-14	0,01	<0,001	8	3	3	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-14	0,07	0,0	<2	<2	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
srp-14	0,55	<0,001	34	<2	<2	<0,1	4	<5	<0,1	<2	<10	<5
kol-14	0,36	0,0	8	<2	<2	0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ruj-14	0,11	0,0	25	8	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lis-14	0,06	0,0	8	27	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
stu-14	0,2	0,0	4	2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
pro-14	0,1	<0,001	44	22	12	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-15	0,05	<0,001	53	9	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-15	0,07	0,0	<2	2	4	<0,1	4	<5	<0,1	<2	<10	<5

Tunel T2

Mj-god	T °C	pH	EC µS/cm	O₂ mg/l	HCO₃ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO₄ mg/l	NO₃ mg/l
---------------	----------------	-----------	--------------------	------------------------------	--------------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	------------------	-------------------	-------------------------------	-------------------------------

ruj-13	17,8	8,3	662	14,4	214	140,2	11,1	2,2	0,7	5,5	186,4	4,6
pro-13	10,2	8,2	500	9,5	245	108,3	15,6	2,3	0,6	3,2	64,6	3,5
sij-14	11,2	8,3	325	9,9	217	70,4	2,3	2,5	0,5	4,6	11,6	2,1
vlj-14	12,6	7,9	330	8,8	181	70,6	2,0	2,5	0,6	4,6	18,9	2,0
ožu-14	12,9	8,2	409	10,1		89,2	6,1	2,6	0,6	5,8	77,3	5,7
tra-14	14,8	8,3	516	8,6	181	94,8	8,2	2,7	0,7	8,9	98,9	4,1
svi-14	19,3	8,3	518	7,7	214	91,2	6,9	2,1	0,7	3,9	81,6	2,9
lip-14	18,3	8,3	619	13,2	212	161,4	9,8	2,7	0,8	4,4	135,7	3,9
srp-14	17,2	8,1	506	8,7	211	142,3	7,2	2,8	0,8	6,3	84,9	3,6
kol-14	20,5	8,3	521	14,3	210	98,2	7,6	3,5	0,9	5,4	88,1	2,7
ruj-14	15,3	7,9	480	8,5	216	99,3	5,4	2,2	0,8	2,7	28,0	2,5
lis-14	15,0	8,1	496	11,0	167,14	85,6	4,0	2,9	0,7	4,8	49,6	3,8
stu-14	13,5	7,8	431	7,6	231	70,4	4,4	2,5	1,4	4,7	35,6	3,1
pro-14	10,9	7,7	392	8,7	176	75,6	2,4	2,3	0,7	4,0	6,5	1,5
ožu-15	12,9	8,0	397	11,0	171	70,4	4,1	1,9	0,4	4,2	25,4	2,7
lip-15	23,8	8,1	423	8,9	184	84,9	4,6	1,4	1,7	6,7	106,8	1,2
Mj-god	PO₄-P	NO₂	Fe	Mn	Cu	F	Zn	Cr	Br	Co	Pb	Cd
	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
ruj-13	<0,01											
pro-13	<0,01											
sij-14	0,01	<0,001	3	<2	5	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
vlj-14	<0,01	0,0	<2	6	13	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-14	<0,01	<0,001	13	46	10	<0,1	12	<5	<0,1	<2	<10	<5
tra-14	<0,01	<0,001	29	16	8	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
svi-14	<0,01	0,0	19	17	3	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-14	0,01	0,0	7	2	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
srp-14	0,54	0,0	43	<2	<2	<0,1	4	<5	<0,1	<2	<10	<5
kol-14	0,01	0,0	8	<	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ruj-14	0,09	0,0	37	12	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lis-14	0,03	<0,001	<2	22	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
stu-14	0,05	<0,001	2	<2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
pro-14	0,01	0,0	45	22	10	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-15	<0,01	<0,001	56	9	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-15	0,15	0,0	<2	<2	4	<0,1	<2	<2	<0,1	<2	<10	<5

Crniševo jezero

Mj-god		T	pH	EC	O ₂	HCO ₃	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	NO ₃	
		°C		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
3 m	pro-13	10,8	8,22	2820			118,0	32,3	247	18,9	538	98,9	6,5	
		11												
		17	10,7	8,22	2820	189	113,1	34,1	258	19,9	541	110,7	0,2	
23 m		10,8	8,24	2840	189	114,6	31,2	242	18,8	525	97,7	0,4		
		11,5	8,32	3510	193	108,8	30,4	275	26,4	519	104,5	1,4		
3 m	sij-14	9,2	8,39	952	0,6	214	79,1	11,5	80	3,5	167	42,2	1,5	
		11	10,2	7,88	2566	0,6	212	79,0	20,7	212	8,2	374	76,6	1,2

17													
m		10,4	7,70	3150	0,3	215	81,6	22,1	247	9,3	467	95,5	1,1
23		10,1	7,75	3530	0,3	214	75,5	17,4	155	6,1	261	56,2	1,3
m													
3 m	vlj-14	13,4	8,34	644	10,1	184	76,0	6,4	50	2,3	128	24,4	1,1
11		11,1	8,35	1289	9,6	196	83,5	14,5	121	4,8	252	47,7	1,3
m		11,3	8,46	1135	9,6	204	90,4	28,7	102	9,4	209	65,2	1,3
17													
m													
23													
m													
3 m	ožu-14	11,3	8,02	2210	7,8	190	88,5	19,6	262	10,8	407	73,8	1,3
11		12,7	8,539	614		187	80,3	7,6	45	2,2	99	29,3	1,5
m		9,8	7,731	2086		192	84,5	15,8	113	5,1	192	45,4	1,4
17													
m													
23													
m													
3 m	tra-14	10,4	7,533	2903		200	87,3	26,5	216	8,9	408	77,4	1,5
11		10,4	7,531	3119		198	87,3	23,2	285	7,8	461	68,9	1,5
m		15,3	8,394	721	15,1	153	89,8	9,9	64	3,0	129	34,9	2,4
17													
m													
23													
m													
3 m	svi-14	10,1	7,704	2109	8,4	162	84,7	16,4	150	5,2	237	47,1	1,3
11		10,4	7,437	2845	2,8	165	86,1	28,9	252	9,3	425	63,2	2,2
m		10,4	7,354	3130	0,6	158	82,9	23,1	190	7,3	329	51,9	1,7
17													
m													
23													
m													
3 m	lip-14	21,8	8,256	971	6,8	184	82,4	13,9	93	9,1	191	33,4	1,0
11		11,9	7,689	2527	8,6	220	87,2	27,4	178	13,9	530	56,8	1,0
m		10,9	7,367	3033	8,1	217	90,7	37,7	244	16,5	649	79,0	1,0
17													
m													
23													
m													
3 m	srp-14	10,6	7,338	3322	6,2	220	91,8	44,5	308	21,4	656	95,9	1,0
11		22,8	8,247	1194	7,0	198	129,9	18,2	130	7,2	245	47,6	1,9
m		12,5	7,708	2584	7,8	212	143,4	33,9	309	12,7	430	80,3	1,7
17													
m													
23													
m													
3 m	kol-14	11,1	7,381	2944	7,7	239	151,4	35,7	335	13,7	582	92,4	1,9
11		10,4	7,352	3312	7,9	199	150,9	36,1	332	13,7	581	90,9	1,9
m		25,7	8,23	1395	8,5	193	74,5	25,5	181	7,3	296	60,9	0,6
17													
m													
23													
m													
3 m	ruj-14	20,5	8,12	2160	9,8	225	85,3	42,8	315	12,4	527	64,9	0,3
11		20,2	8,01	2220	9,1	244	91,2	54,9	394	15,3	685	84,9	<0,1
m		18,6	7,95	2460	9,0	222	87,4	46,5	344	13,6	583	82,6	1,5
17													
m													
23													
m													
3 m	lis-14	26,9	8,22	1799		171	73,1	29,1	227	9,9	449	83,3	1,9
11		14,2	7,59	3011		210	98,9	43,9	359	14,5	705	107,8	2,0
m		11,2	7,44	3008		193	98,5	43,5	345	14,5	658	1,6,4	1,4
17													
m													
23													
m													
3 m	stu-14	10,9	7,19	7183		190	109,6	45,6	356	15,4	712	124,9	1,4
11		20,8	8,291	2002		194	89,8	33,8	275	14,6	502	83,0	1,8
m		15,5	7,585	3134		176	91,4	35,1	287	15,1	507	93,2	1,9
17													
m													
23													
m													
3 m	stu-14	11,3	7,484	3021		182	97,7	49,6	500	19,9	741	116,7	2,1
11		10,9	7,314	4212		176	101,3	91,2	553	22,0	703	121,1	2,0
m		16,6	8,29	2600	8,1	140,3	76,8	44,5	507	15,9	722	122,6	0,1
17													
m													
23													
m													
3 m	stu-14	15,9	7,79	3200	5,1	136,64	67,1	42,5	612	14,1	1022	178,5	0,5
11		14,6	7,63	3300	3,7	202,52	84,3	60,5	399	21,6	853	164,5	0,1
m		14,5	7,28	5500	2,8	197,64	81,8	65,1	839	35,1	1500	292,5	0,1
17													
m													
23													
m													
3 m		15,8	8,39	2648	32,0	222	75,2	32,4	260	9,7	470	59,9	0,1

11 m 17 m 23 m		13,8	7,53	3497	3,1	209	77,5	54,4	430	15,7	884	152,6	0,1
3 m 11 m 17 m 23 m	pro-14	12,8	7,45	3779		194	79,4	63,4	460	18,2	778	100,6	0,1
3 m 11 m 17 m 23 m		11,7	7,38	4337		196	78,9	57,9	446	16,9	803	152,8	0,1
3 m 11 m 17 m 23 m	ožu-15	11,7	8,13	1719	23,9	240	90,9	31,2	223	9,1	363	78,1	0,4
3 m 11 m 17 m 23 m		13,8	7,49	3466	6,1	256	93,0	36,1	254	10,4	418	88,6	0,9
3 m 11 m 17 m 23 m		13,6	7,42	3800	0,1	261	91,7	34,4	242	9,8	387	83,1	1,5
3 m 11 m 17 m 23 m	lip-15	12,4	7,39	3903	0,1	262	89,4	31,5	223	9,1	362	77,4	0,9
3 m 11 m 17 m 23 m		9,9	8,24	1398	9,8	215	81,2	21,4	145	6,3	315	60,0	0,5
3 m 11 m 17 m 23 m		8,7	8,116	1492	9,5	213	82,3	22,5	151	6,3	330	64,6	0,6
3 m 11 m 17 m 23 m		9,7	7,459	2960	8,3	222	85,7	28,3	192	7,9	375	85,2	1,3
3 m 11 m 17 m 23 m		10,0	7,42	3320	8,3	212	87,2	27,8	189	7,6	405	69,8	9,1
3 m 11 m 17 m 23 m		26,2	8,211	1640	7,7	204	89,6	29,4	186	19,2	410	79,7	
3 m 11 m 17 m 23 m		18,1	8,058	2168	20,0								
3 m 11 m 17 m 23 m		14,9	7,48	2650	3,3								
3 m 11 m 17 m 23 m		14,4	7,348	3046									
	Mj-god	PO ₄ - P mg/l	NO ₂ mg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Cu µg/l	F µg/l	Zn µg/l	Cr µg/l	Br µg/l	Co µg/l	Pb µg/l	Cd µg/l
3 m 11 m 17 m 23 m	pro-13	<0,01											
3 m 11 m 17 m 23 m		0,0											
3 m 11 m 17 m 23 m		0,0											
3 m 11 m 17 m 23 m		0,0											
3 m 11 m 17 m 23 m	sij-14	<0,01	0,050	9	2,0	6	<0,1	2	6	1,3	<2	<10	<5
3 m 11 m 17 m 23 m		<0,01	0,011	7	2,0	5	0,6	2	5	1,6	<2	<10	<5
3 m 11 m 17 m 23 m		<0,01	0,023	3	2,0	6	0,9	2	6	2,0	<2	<10	<5
3 m 11 m 17 m 23 m		<0,01	0,002	9	<2	5	0,5	2	5	1,4	<2	<10	<5
3 m 11 m 17 m 23 m	vlj-14	<0,01	0,004	<2	3,0	2	<0,1	<2	<5	0,5	<2	<10	<5
3 m 11 m 17 m 23 m		<0,01	0,002	<2	3,0	6	<0,1	<2	<5	0,7	<2	<10	<5
3 m 11 m 17 m 23 m		<0,01	0,005	<2	2,0	5	<0,1	<2	<5	1,3	<2	<10	<5
3 m 11 m 17 m 23 m		<0,01	0,005	<2	2,0	6	<0,1	<2	<5	1,4	<2	<10	<5
3 m 11 m 17 m 23 m	ožu-14	<0,01	0,004	23	27,0	3	0,5	8	<5	0,3	<2	<10	<5
3 m 11 m 17 m 23 m		<0,01	<0,001	11	29,0	6	0,5	8	<5	0,3	<2	<10	<5
3 m 11 m 17 m 23 m		<0,01	<0,001	29	32,0	5	0,5	12	<5	0,4	<2	<10	<5
3 m 11 m 17 m 23 m		<0,01	0,004	46	31,0	6	0,6	14	<5	0,4	<2	<10	<5
3 m 11 m 17 m 23 m	tra-14	0,0	0,002	33	34,0	4	0,3	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
3 m 11 m 17 m 23 m		0,0	0,002	45	41,0	6	0,2	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
3 m 11 m 17 m 23 m		0,0	0,005	13	39,0	6	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
3 m 11 m 17 m 23 m		0,0	<0,001	12	41,0	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
3 m 11 m 17 m 23 m	svi-14	0,1	0,003	7	9,0	4	<0,1	<2	<5	0,1	<2	<10	<5
3 m 11 m 17 m 23 m		<0,01	0,008	10	11,0	6	<0,1	<2	<5	0,1	<2	<10	<5

17 m		0,1	0,009	14	14,0	6	<0,1	<2	<5	0,1	<2	<10	<5
23 m		0,1	0,008	19	18,0	8	<0,1	<2	<5	0,1	<2	<10	<5
3 m	lip-14	0,0	0,002	32	15,0	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
11 m		0,0	0,008	17	18,0	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
17 m		<0,01	0,013	19	20,0	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
23 m		<0,01	0,008	19	26,0	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
3 m	srp-14	<0,01	<0,001	17	0,4	1,9	<0,1	8,1	0,6	0,1	0,03	<0,1	<0,05
11 m		<0,01	<0,001	14	0,2	1,4	<0,1	3,9	0,6	0,1	<0,02	<0,1	<0,05
17 m		<0,01	0,001	<10	4,2	1,2	<0,1	5,9	0,6	0,1	<0,02	<0,1	<0,05
23 m		0,5	0,016	20	3,5	1,7	<0,1	2,3	0,7	0,1	0,03	<0,1	<0,05
3 m	kol-14	<0,01	<0,001	16	<	<2	0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
11 m		<0,01	<0,001	18	<	<2	0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
17 m		<0,01	<0,001	19	<	<2	0,1	6	<5	<0,1	<2	<10	<5
23 m		<0,01	<0,001	20	<	<2	0,1	2	<5	<0,1	<2	<10	<5
3 m	ruj-14	<0,01	0,005	32	15,0	<2	0,1	2	<5	<0,1	<2	<10	<5
11 m		0,1	0,001	30	15,0	<2	0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
17 m		0,0	0,003	36	20,0	<2	0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
23 m		0,1	0,002	39	20,0	<2	0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
3 m	lis-14	0,2	0,03	<2	20,0	5	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
11 m		0,1	0,011	<2	26,0	6	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
17 m		0,2	0,004	<2	35,0	8	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
23 m		0,4	0,003	14	65,0	2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
3 m	stu-14	0,1	0,005	<2	4,0	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
11 m		0,0	0,006	<2	4,0	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
17 m		0,1	<0,001	<2	6,0	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
23 m		0,0	<0,001	5	8,0	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
3 m	pro-14	0,0	0,001	<10	0,1	1,7	<0,1	3	<0,5	<0,1	<0,02	<0,1	<0,05
11 m		0,1	0,007	<10	0,3	1,9	<0,1	3	0,6	<0,1	0,03	<0,1	<0,05
17 m		0,1	0,009	<10	2,1	1,1	<0,1	4,9	0,6	<0,1	<0,02	<0,1	<0,05
23 m		0,1	0,018	<10	0,5	1,5	<0,1	6,7	0,6	<0,1	<0,02	<0,1	<0,05
3 m	ožu-15	<0,01	0,005	29	18,0	<2	0,6	<2	<5	0,2	<2	<10	<5
11 m		0,0	0,061	54	19,0	<2	0,6	<2	<5	0,2	<2	<10	<5
17 m		0,0	0,039	38	28,0	<2	0,6	<2	<5	0,2	<2	<10	<5
23 m		0,0	0,067	54	28,0	<2	0,6	<2	<5	0,1	<2	<10	<5
3 m	lip-15	0,1	0,006	<2		2	0,1	2	<2	0,1	<2	<10	<5

Oćuša jezero

Mj-god	T	pH	EC	O ₂	HCO ₃	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	NO ₃	
	°C		μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
8 m	ruj-13	22,8	8,2	372		161	65,8	5,9	5,5	0,7	16,7	57,6	1,7

17 m													
8 m 17 m	pro-13	9,6	8,1	574		238	98,1	5,1	22,6	1,1	87,8	35,1	1,2
		9,9	8,2	788		246	101,8	6,4	12,6	1,3	35,1	39,4	3,5
8 m 17 m	sij-14	10,9	7,9	336	0,5	201	60,8	2,3	2,6	0,5	5,8	10,1	2,1
		10,9	7,9	337	0,5	203	60,7	2,3	2,6	0,5	4,9	11,8	3,3
8 m 17 m	vlj-14	13,3	8,1	332	8,3	189	64,5	1,9	2,4	0,5	5,0	13,6	3,4
		14,2	8,0	398	8,6	178	64,8	1,9	2,6	0,6	16,2	12,7	2,1
8 m 17 m	ožu-14	13,0	8,2	389		210	82,2	3,2	3,9	0,6	8,9	23,2	3,0
		12,6	7,9	377		206	82,8	3,4	3,8	0,6	6,7	23,0	3,4
8 m 17 m	tra-14	14,8	8,0	425	13,1	175	100,9	4,9	4,1	0,7	8,3	44,5	3,9
		13,8	7,6	409	7,0	172	99,9	4,7	3,9	0,6	9,0	42,5	1,9
8 m 17 m	svi-14	16,6	7,9	434	8,1	211	87,1	4,5	3,1	0,7	9,4	34,5	2,5
		15,5	7,7	435	7,7	238	86,8	4,5	2,9	0,7	8,1	31,9	2,2
8 m 17 m	lip-14	21,7	8,0	436	8,8	194	134,0	5,5	6,5	0,7	14,3	43,1	2,0
		16,3	7,5	442	9,3	195	134,2	5,7	6,9	0,7	14,7	44,3	1,9
8 m 17 m	srp-14	25,6	8,0	454	9,6	225	80,7	7,7	12,0	0,8	4,7	59,2	2,3
		22,4	7,9	438	9,5	229	85,0	6,8	7,2	0,7	3,2	52,2	1,9
8 m 17 m	kol-14	22,9	7,9	504		183	75,3	8,3	13,6	1,1	19,7	57,6	1,1
		17,6	7,3	448		198	73,8	7,7	11,6	1,0	23,7	58,6	1,0
8 m 17 m	ruj-14	15,6	7,8	471		244	97,8	5,8	11,4	1,1	15,2	28,9	1,9
		15,4	7,8	464		217	97,2	5,1	6,6	1,2	9,1	25,9	2,2
8 m 17 m	lis-14	16,4	7,9	563	7,7	129	83,1	5,4	16,4	1,3	21,5	35,6	1,1
		15,7	7,9	581	7,3		81,6	5,3	14,3	1,3	25,8	36,3	1,0
8 m 17 m	stu-14	14,0	7,9	498	5,1	206	73,1	5,2	9,5	1,1	12,7	44,1	3,1
		13,9	7,8	482	6,3	207	73,5	5,3	9,6	1,1	12,7	45,2	1,0
8 m 17 m	pro-14	11,3	7,8	440	9,9	248	92,9	4,1	5,0	0,8	6,0	19,6	3,1
		11,0	7,8	654	9,5	251	92,1	4,2	6,7	0,8	8,0	22,4	1,5
8 m 17 m	ožu-15	11,6	8,1	367	9,7	195	66,1	3,5	12,7	0,4	15,1	45,8	1,8
		10,9	8,0	338	9,1	194	66,9	3,1	4,3	0,5	9,1	44,2	1,7
8 m 17 m	lip-15	26,1	8,1	404	6,3	137	73,8	5,2	19,3	1,2	42,2	66,3	0,2
		17,3	7,5	421	0,6								
	Mj-god	PO₄-P	NO₂	Fe	Mn	Cu	F	Zn	Cr	Br	Co	Pb	Cd
		mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
8 m 17 m	ruj-13	<0,01											
8 m 17 m	pro-13	<0,01											
		<0,01											
8 m 17 m	sij-14	<0,01	<0,001	26	1	5	<0,1	1	<5	<0,1	<2	<10	<5
		<0,01	<0,001	14	1	5	0,7	1	<5	0,9	<2	<10	<5
8 m 17 m	vlj-14	<0,01	0,001	<2	5	6	0,5	1	<5	<0,1	<2	<10	<5
		0,1	0,003	<2	5	9	0,6	1	<5	<0,1	<2	<10	<5

8 m 17 m	ožu-14	<0,01	0,005	35	41	6	0,6	4	<5	0,3	<2	<10	<5
8 m 17 m	tra-14	<0,01	<0,001	41	36	6	<0,1	2	<5	<0,1	<2	<10	<5
8 m 17 m	svi-14	<0,01	0,005	24	44	5	<0,1	1	<5	<0,1	<2	<10	<5
8 m 17 m	lip-14	<0,01	0,004	32	10	6	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
8 m 17 m	srp-14	<0,01	0,006	20	19	0,7	<0,1	4,2	0,7	<0,1	<0,02	<0,1	<0,05
8 m 17 m	kol-14	<0,01	0,007	<10	16	0,7	<0,1	2,6	<0,5	<0,1	<0,02	<0,1	<0,05
8 m 17 m	ruj-14	0,2	0,017	11	<	<2	<0,1	2	<5	<0,1	<2	<10	<5
8 m 17 m	lis-14	<0,01	0,012	8	<	<2	<0,1	2	<5	<0,1	<2	<10	<5
8 m 17 m	stu-14	0,1	0,005	24	10	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
8 m 17 m	pro-14	0,2	0,009	23	8	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
8 m 17 m	ožu-15	0,1	0,058	<2	20	6	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
8 m 17 m	lip-15	<0,01	0,046	<2	30	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
8 m 17 m	ruj-15	0,2	0,014	<2	3	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
8 m 17 m	lis-15	0,2	0,014	4	2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
8 m 17 m	stu-15	0,2	0,004	<10	2	1,1	<0,1	3,1	<0,5	<0,1	<0,02	<0,1	<0,05
8 m 17 m	pro-15	0,1	0,008	<10	2	0,9	<0,1	1,6	<0,5	<0,1	<0,02	<0,1	<0,05
8 m 17 m	ožu-16	0,0	0,001	53	8	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
8 m 17 m	lip-16	<0,01	<0,001	53	8	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
8 m 17 m	ruj-16	0,1	0,011	<2	<2	2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5

Očuša izvor

Mj-god	T °C	pH	EC µS/cm	O ₂ mg/l	HCO ₃ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l
ruj-14						98,6	2,3	3,0	0,5	3,7	4,7	0,9
lis-14	14,9	7,4	418	7,6	173	75,8	2,9	2,6	0,4	4,1	16,3	2,1
stu-14	14,3	7,7	433	7,4	249	73,4	3,1	2,7	0,5	5,1	50,6	3,7
pro-14												
ožu-15	14,2	7,4	393	16,2	184	76,2	2,1	2,6	0,4	4,5	2,9	0,5
lip-15	14,9	7,6	384	9,9	342	88,3	2,8	1,4	0,9	11,9	71,9	1,9
Mj-god	PO ₄ - P mg/l	NO ₂ mg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Cu µg/l	F µg/l	Zn µg/l	Cr µg/l	Br µg/l	Co µg/l	Pb µg/l	Cd µg/l
ruj-14	0,19	0,0	23	10								
lis-14	0,12	<0,001	<2	18	5	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
stu-14	0,22	0,0	<2	2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
pro-14						<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-15	<0,01	0,0	34	5	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-15	0,04	<0,001	<2	<2	2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5

Mindel

Mj-god	T °C	pH	EC µS/cm	O ₂ mg/l	HCO ₃ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l
ruj-13	14,9	7,4	17000	2,7	223	128,4	76,0	4571	112	7165	855,0	0,2
pro-13	13,8	7,3	2680	6,9	270	148,9	31,2	375	15,4	663	103,3	5,2
sij-14	10,1	8,7	614	11,8	215	67,0	8,5	60	2,5	111	24,3	2,3
vlj-14	12,0	7,7	566	7,3	189	67,4	5,5	45	1,9	61	21,5	1,2
ožu-14	13,9	7,4	2350	5,0	257	107,2	35,3	309	12,9	566	93,7	3,1
tra-14	14,2	7,0	5464	2,4	220	114,9	103,9	929	22,4	1532	199,9	5,8
svi-14	14,3	7,1	1930	3,7	377	102,6	28,2	192	20,2	420	50,3	4,6
lip-14	14,3	7,2	16330	2,8	250	189,2	82,2	3031	115	5280	440,0	2,7
srp-14	14,5	7,2	2150	1,4	255	151,5	34,1	285	19,4	502	61,9	10,4
kol-14	14,8	7,3	11800	3,5	276	102,1	123,0	1773	12,5	3670	330,0	0,3
ruj-14	14,7	7,1	1280	3,7	258	108,5	16,8	127	7,9	253	35,9	6,8
lis-14	15,7		29800	1,7	226,92	186,7		5080	206	9000	89,8	0,1
stu-14	14,8	8,1	1677	8,4	166	67,3	28,1	215	10,5	410	50,1	1,0
ožu-15	11,5	8,2	1200	10,7	177	78,1	18,8	124	6,3	246	52,4	0,8
lip-15	14,5	7,3	5860	5,3	242	104,6	163,8	274	1,4	790	297,5	9,8
Mj-god	PO ₄ -P mg/l	NO ₂ mg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Cu µg/l	F µg/l	Zn µg/l	Cr µg/l	Br µg/l	Co µg/l	Pb µg/l	Cd µg/l
ruj-13	0,01											
pro-13	<0,01											
sij-14	<0,01	0,0	6	<2	4	0,5	<2	6	<0,1	<2	<10	<5
vlj-14	0,01	0,0	<2	6	6	0,2	<2	<5	0,3	<2	<10	<5
ožu-14	0,01	0,0	48	38	5	<0,1	6	<5	<0,1	<2	<10	<5
tra-14	0,05	0,3	22	55	6	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
svi-14	0,03	0,0	32	44	24	0,2	<2	<5	0,1	<2	<10	<5
lip-14	0,19	0,0	66	18	38	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
srp-14	0,07	0,3	70	39	<2	<0,1	9	<5	<0,1	<2	<10	<5
kol-14	0,04	0,0	22	<2	<2	0,1	2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ruj-14	0,03	0,1	39	32	<2	<0,1	12	<5	<0,1	<2	<10	<5
lis-14	0,18	0,1	22	39	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
stu-14	0,03	0,0	16	4	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-15	0,06	0,0	70	32	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-15	0,1	0,0	10	27	10	0,1	16	<5	<0,1	<2	<10	<5

Tunel T3

Mj-god	T °C	pH	EC µS/cm	O ₂ mg/l	HCO ₃ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l
ruj-13	22,9	8,1	376		167	66,1	5,9	5,6	0,7	16,8	58,1	1,6
pro-13	9,2	8,1	465	10,8	231	100,1	10,8	9,1	0,8	15,1	37,6	2,7
sij-14	11,0	8,3	331	13,5	201	68,4	2,2	2,6	0,5	5,1	11,3	2,2
vlj-14	12,4	8,1	323	9,9	182	71,3	1,9	2,5	0,5	4,4	18,3	1,4
ožu-14	13,9	8,4	378	8,5	201	81,8	3,2	4,4	0,6	17,1	26,9	3,3

tra-14	15,9	8,2	403	11,7	163	88,7	4,5	4,4	0,7	7,9	44,3	2,7
svi-14	21,8	8,1	459	9,9	210	86,4	4,4	8,7	0,9	19,9	33,4	1,9
lip-14	23,0	8,1	438	10,7	174	102,3	6,1	7,5	0,8	12,6	48,3	1,3
srp-14	25,3	8,1	445	10,2	177	82,1	6,1	14,3	0,9	22,9	54,6	0,8
kol-14	25,6	8,2	517	10,2	170	89,2	7,9	15,8	1,3	28,1	58,1	0,5
ruj-14	15,9	7,7	495	9,9	236	97,6	5,5	10,9	1,3	17,4	27,3	1,5
lis-14	15,6	7,9	551	9,7	137	65,1	3,6	13,7	1,0	26,9	34,1	1,0
stu-14	14,8	8,1			218	74,6	5,6	16,6	1,2	23,5	38,6	3,2
pro-14	10,9	7,6	414	7,3	183	72,4	2,6	4,0	0,8	8,6	9,1	1,6
ožu-15	12,1	8,1	368	12,5	170	65,8	3,2	2,8	0,5	6,8	17,9	1,3
lip-15	24,4	8,0	414	6,8	166	73,2	4,2	17,8	4,2	41,6	54,6	0,5
Mj-god	PO₄-P	NO₂	Fe	Mn	Cu	F	Zn	Cr	Br	Co	Pb	Cd
	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
ruj-13	<0,01											
pro-13	<0,01											
sij-14	<0,01	<0,001	4	<2	6	0,5	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
vlj-14	<0,01	0,0	<2	4	10	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-14	<0,01	<0,001	11	44	10	<0,1	13	<5	<0,1	<2	<10	<5
tra-14	0,05	0,0	<2	12	8	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
svi-14	<0,01	0,0	17	20	5	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-14	<0,01	0,0	11	2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
srp-14	0,43	0,0	39	<2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
kol-14	0,01	<0,001	8	<2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ruj-14	0,01	0,0	15	14	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lis-14	<0,01	0,0	<2	18	4	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
stu-14	0,1	0,0	2	<2	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
pro-14	0,07	0,0	43	29	11	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
ožu-15	<0,01	0,0	52	8	<2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5
lip-15	0,01	<0,001	3	<2	2	<0,1	<2	<5	<0,1	<2	<10	<5

Neretva

Mj-god	T	pH	EC	O₂	HCO₃	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO₄	NO₃
	°C		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
ruj-18	14,7	8,0	154	10,1	209,8	46,8	14,8	56,3	1,8	102,9	38,3	5,1
lis-18	14,8	8,1	652	9,8	229,4	39,6	10,3	31,4	1,3	61,0	30,0	4,9
stu-18	9,9	8,0	357		206,2	63,7	4,7	2,3	0,5	5,5	14,8	6,1
pro-18	8,6	8,1	459		237,9	77,5	6,8	7,5	0,6	15,2	34,3	6,1
sij-19	8,7	8,1	394	11,9	211,1	69,0	5,9	2,8	0,3	5,6	21,2	4,0
vlj-19	8,8	8,2	436	11,9	235,5	71,8	7,7	6,8	0,7	11,2	28,6	4,3
ožu-19	14,4	8,2	420	11,5	186,7	66,2	7,9	7,1	0,6	11,5	35,3	3,8
tra-19	12,0	7,9	380	10,5	186,7	65,4	5,5	4,0	0,3	6,3	25,1	3,9
svi-19	13,6	8,1	349	11,1	183,0	60,9	5,9	1,9	0,6	4,7	23,1	3,8
lip-19	20,0	8,1	505	8,2	214,7	76,0	7,8	15,2	0,9	28,9	34,8	3,7
srp-19	19,2	7,8	446	8,4	268,4	70,6	8,8	18,1	0,5	28,9	36,9	3,8
kol-19	17,8	7,8	461	8,5		66,0	10,6	26,6	0,8	45,5	32,8	3,7

ruj-19	16,6	8,0	385	10,6	189,1	62,0	9,2	22,3	0,7	40,5	28,7	3,5
lis-19	13,2	7,9	506	5,9	200,1	65,0	10,0	22,5	1,2	42,9	30,1	3,9
stu-19	9,9	7,9	365	11,2	242,6	66,7	5,8	2,8	0,5	4,2	14,3	1,7
pro-19	7,7	8,2	406	12,0		72,8	6,8	4,4	0,5	5,9	22,7	1,9
sij-20	8,6	8,1	433	11,6	211,1	73,7	7,5	7,1	0,6	11,0	29,1	1,8
vlj-20	9,9	8,2	519	13,2	192,8	69,7	9,3	21,7	1,1	45,1	33,3	1,7
tra-20	14,0	8,1	622	10,9	240,3	74,4	12,3	37,4	1,8	83,4	48,3	1,9
svi-20	15,5	8,5	791	7,4	208,6	71,5	15,4	63,9	2,6	114,2	45,2	1,9
lip-20	18,1	8,1	824	10,1	185,4	70,0	17,1	74,2	3,0	131,5	48,9	1,6
srp-20	18,8	8,1	1057	9,9	185,4	70,4	21,8	108	4,2	192,5	62,3	1,7
kol-20	18,4	8,1	1136	9,4	195,2	70,3	21,2	107	4,7	186,8	55,0	1,9
ruj-20	13,1	8,0	358	9,6	168,4	57,1	7,9	8,6	0,6	12,9	23,0	1,9

Prilog 2. Mikrobiologija.

Izvor	Datum	Ukupni koliformi	Aerobne bakterije 37 °C	Aerobne bakterije 22 °C	Escherichia coli	Enterokoki
		n/100 ml	cfu/1 ml	cfu/1 ml	n/100 ml	cfu/100 ml
Butina	sij-13	> 201	63	180	5	6
	tra-14	0	12	17	0	0
	srp-14	8	5	7	3	0
	stu-14	41	11	38	4	0
Mandina milinica kaptaža	sij-13	83	16	67	6	0
	tra-14	0	0	0	0	0
	srp-14	13	4	5	3	0
	stu-14	12	3	5	0	0
Prud	sij-13	145	62	132	8	5
	tra-14	0	8	12	0	0
	srp-14	6	2	3	2	0
	stu-14	>200	63	98	15	14
Modro oko	sij-13	62	31	62	4	3
	tra-14	0	0	0	0	0
	srp-14	6	3	6	0	0
	stu-14	9	6	31	0	0
Tunel T3	sij-13	> 201	112	264	8	12
	tra-14	7	3	5	0	0
	srp-14	165	7	11	0	0
	stu-14	34	7	16	0	0
Klokun 1	sij-13	> 201	57	152	0	0
	tra-14	0	11	16	0	0
	srp-14	74	7	12	4	5
	stu-14	0	13	34	0	0
Mindel	sij-13	> 201	46	184	4	4

tra-14	11	8	14	0	0
srp-14	>201	2	7	27	11
stu-14	0	5	9	0	0

Prilog 3. Stabilni izotopi kisika 18 i deuterija.

	(o/oo)	vlj-14	ožu-14	tra-14	svi-14	lip-14	srp-14	kol-14	ruj-14	lis-14	stu-14	pro-14	ožu-15	lip-15	lis-15	lis-19
Krenica	d ¹⁸ O	-7,2	-6,7	-7,1	-6,8	-6,9	-6,8		-5,9		-6,0	-5,5	-7,3		-6,8	
	dD	-42,8	-40,5	-41,8	-41,0	-41,3	-40,3		-35,8		-33,6	-29,3	-44,4		-40,2	
Banja	d ¹⁸ O		-7,5	-7,5	-7,5	-7,4	-6,7		-6,7	-7,0	-6,8	-6,0	-7,9	-7,6	-7,0	
	dD		-43,1	-43,2	-43,2	-42,9	-40,2		-38,4	-40,4	-38,7	-31,7	-46,7	-44,5	-41,0	
Nuga	d ¹⁸ O	-7,7	-7,0	-6,3	-6,4	-6,6	-6,0		-4,8	-6,4	-4,1		-8,0	-7,4	-6,8	
	dD	-46,9	-42,0	-37,9	-39,0	-39,1	-38,2		-33,2	-38,0	-29,3		-48,6	-43,1	-40,4	
Butina	d ¹⁸ O	-7,9	-7,3	-7,2	-7,2	-7,0	-7,2	-6,9	-6,7	-7,1	-6,6	-6,1	-7,4	-7,1	-6,8	-7,1
	dD	-45,9	-42,4	-41,7	-42,1	-41,5	-41,4	-40,5	-38,3	-40,6	-36,9	-32,2	-44,2	-41,6	-40,4	-41,0
Stinjevac	d ¹⁸ O	-7,2	-6,9	-6,7	-7,0	-7,1	-6,7	-6,8	-6,3	-6,8	-5,8	-5,8	-7,5	-7,2	-6,6	
	dD	-43,2	-40,9	-40,4	-41,4	-41,6	-40,1	-40,4	-37,3	-40,0	-33,5	-32,3	-45,8	-41,6	-39,2	
Lukavac	d ¹⁸ O	-6,3	-6,5	-6,8	-7,1	-7,0	-7,0	-6,1	-6,4	-6,4	-6,2	-6,2	-7,0	-7,2	-6,8	
	dD	-39,5	-39,8	-40,7	-42,1	-41,6	-41,1	-39,0	-38,2	-39,3	-35,7	-35,0	-42,3	-41,7	-39,9	
Staševica	d ¹⁸ O	-7,6	-7,1	-6,9	-7,1	-6,9	-6,9	-6,9	-6,3	-6,9	-6,4	-5,6	-7,5	-7,2	-6,9	
	dD	-45,0	-42,1	-40,9	-41,6	-41,1	-40,8	-40,2	-37,2	-40,1	-35,4	-30,5	-45,6	-41,6	-40,4	
Klokun 1	d ¹⁸ O	-7,6	-7,1	-7,1	-7,1	-6,8	-7,0	-6,5	-6,6	-6,8	-6,6	-6,2	-7,4	-7,3	-6,8	
	dD	-44,8	-40,8	-41,0	-40,9	-40,2	-40,6	-38,5	-37,3	-38,6	-37,8	-33,2	-44,4	-42,3	-39,8	
Mandina mlinica kaptaža	d ¹⁸ O	-7,2	-7,0	-7,0	-6,8	-7,1	-6,8	-6,7	-6,2	-6,0	-6,4	-5,4	-7,8	-7,4	-6,9	
	dD	-42,7	-41,3	-41,2	-40,1	-41,2	-40,7	-40,0	-36,5	-36,3	-36,6	-30,5	-46,8	-43,3	-40,7	
Mandina mlinica izvor	d ¹⁸ O								-4,4		-6,5	-5,9	-5,5	-3,7	-4,9	-41,0
	dD								-24,6		-38,0	-32,2	-35,8	-20,6	-28,0	-4,1
Čeveljuša	d ¹⁸ O	-7,3	-6,8	-6,9	-6,7	-6,8	-6,7	-6,5	-6,1	-6,5	-6,5	-5,8	-7,4	-7,3	-6,7	
	dD	-44,5	-40,6	-40,6	-40,2	-39,9	-39,9	-38,6	-36,3	-37,9	-37,6	-32,9	-46,8	-42,3	-39,7	
Strimen	d ¹⁸ O	-7,3	-7,0	-7,1	-6,8	-6,8	-6,7	-6,6	-6,4	-6,4	-6,6	-5,9	-7,2	-7,2	-6,8	
	dD	-44,7	-41,5	-41,9	-41,0	-40,9	-39,9	-39,2	-36,9	-38,2	-39,0	-33,2	-44,0	-41,7	-40,2	
Modro oko	d ¹⁸ O	-7,9	-7,2	-7,2	-7,2	-7,1	-6,9	-7,1	-6,4	-6,8	-6,6	-5,9	-7,5	-7,2	-6,9	
	dD	-46,5	-41,9	-41,9	-42,0	-41,5	-40,6	-41,1	-37,2	-39,5	-38,7	-33,0	-45,0	-41,6	-40,3	
Prud	d ¹⁸ O		-7,0	-7,1	-7,0	-7,1	-6,9	-6,8	-6,3	-6,8	-6,7	-6,0	-6,9	-7,0	-6,7	-7,0
	dD		-41,8	-41,9	-41,7	-41,7	-41,0	-40,2	-37,7	-40,0	-39,3	-34,9	-41,7	-41,1	-39,4	-40,6
Tunel T2	d ¹⁸ O	-7,7	-6,0	-6,8	-7,0	-6,9	-6,9	-6,5	-6,4	-6,5	-6,0	-5,7	-7,5	-7,1	-6,8	
	dD	-45,7	-38,9	-40,5	-41,3	-40,3	-40,4	-38,2	-37,1	-37,5	-34,3	-31,0	-45,2	-41,5	-41,1	
Crniševo 3m	d ¹⁸ O	-7,2		-6,8	-6,3	-6,1		-4,8	-5,5	-5,5						
	dD	-45,1		-43,4	-40,8	-39,4		-34,1	-35,4	-35,5						
Crniševo 11m	d ¹⁸ O	-7,0	-6,9	-6,7	-6,7	-6,4		-5,5	-5,3	-5,4	-5,3					
	dD	-45,6	-45,3	-45,0	-45,0	-43,2		-34,2	-32,8	-33,5	-32,8					
Crniševo 17m	d ¹⁸ O	-5,9	-6,5	-6,3	-6,0	-5,9		-5,2	-5,7	-5,6	-5,4					
	dD	-35,9	-39,2	-37,7	-36,3	-36,0		-33,2	-34,7	-34,1	-33,1					
Crniševo 23m	d ¹⁸ O	-6,3	-6,4	-6,4	-6,1	-5,9		-5,5	-5,5	-5,5	-5,4					
	dD	-38,4	-38,9	-38,8	-36,5	-36,1		-33,8	-33,8	-32,5	-32,9					
Očuša 8m	d ¹⁸ O	-7,1	-6,8	-6,2	-6,6	-6,3		-6,2	-6,3	-6,2	-6,2					
	dD	-44,5	-40,8	-38,9	-40,1	-38,8		-37,6	-36,6	-36,2	-36,2					
Očuša 17m	d ¹⁸ O	-7,5	-6,7	-6,6	-6,5	-6,7		-5,7	-6,3	-6,0	-5,9					
	dD	-45,1	-40,4	-39,8	-39,7	-39,5		-36,4	-36,5	-35,7	-35,3					
Očuša izvor	d ¹⁸ O								-5,7	-6,5	-6,5	-7,3		-7,6	-6,5	
	dD								-33,0	-37,1	-37,2	-42,6		-44,3	-37,4	
Mindel	d ¹⁸ O	-7,2	-6,5	-5,4	-6,2	-4,5	-6,5	-4,8	-5,7	-2,5	-6,1		-6,1	-6,7	-5,7	
	dD	-43,3	-37,7	-33,6	-36,2	-26,2	-37,4	-27,2	-32,3	-13,8	-37,0		-41,2	-38,0	-34,7	
Tunel T3	d ¹⁸ O	-7,7	-6,8	-6,7	-6,7	-6,6	-6,2	-6,0	-6,3	-6,0	-6,3	-5,7	-7,4	-6,8	-6,9	

dD	-45,8	-40,7	-40,0	-39,7	-38,9	-37,7	-36,6	-36,5	-35,7	-36,6	-32,0	-45,8	-40,7	-40,5	
Klokun 2															-7,3
															-42,6
Vrioštica															-7,1
															-41,1
Borak															-8,2
															-47,7
Doljanka 1															-9,4
															-60,7
Donja voda															-6,3
															-36,0
More (Gradac)															-0,1
															1,1

Prilog 4. ¹Faktorski bodovi.

Izvor	Datum	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
Borak	srp-18	0,01	-0,90	-1,55
Borak	kol-18	0,14	-1,51	-1,75
Borak	lis-18	-0,23	-0,57	-1,83
Borak	sij-19	-0,29	0,22	-1,22
Borak	vlj-19	-0,11	-0,67	-1,62
Borak	ožu-19	-0,10	-0,98	-1,26
Borak	tra-19	-0,18	-0,38	-1,83
Borak	svi-19	-0,20	-0,31	-1,71
Borak	ruj-19	-0,05	-1,05	-1,80
Borak	lis-19	-0,07	-1,40	-1,58
Borak	stu-19	-0,13	-1,20	-1,40
Borak	pro-19	-0,06	-1,15	-1,60
Borak	sij-20	-0,01	-1,06	-1,68
Borak	vlj-20	0,00	-0,76	-1,92
Borak	kol-20	0,02	-1,35	-2,45
Borak	ruj-20	0,00	-1,65	-2,29
Opačac	stu-17	-0,19	0,22	-2,28
Opačac	pro-17	-0,18	0,19	-2,45
Opačac	srp-18	-0,18	-0,25	-0,99
Opačac	kol-18	-0,14	-0,64	-1,11
Opačac	lis-18	-0,30	0,15	-1,03
Opačac	sij-19	-0,23	0,22	-1,98
Opačac	vlj-19	-0,24	0,12	-1,77

¹ Pojedini objekti opisani su trima faktorima koji se mogu interpretirati kao prirodni (ili drugi) procesi, a ne s 12 varijabla. Faktori 1, 2 i 3 opisani su u poglavlju 4.2.2 Vrijednosti iznad 0,5 su naznačeni crvenom bojom, dok su vrijednosti od -0,5 naznačeni narančastom bojom radi lakše vizualizacije prilikom tumačenja rezultata.

Opačac	tra-19	-0,22	-0,21	-1,47
Opačac	svi-19	-0,26	0,41	-1,89
Opačac	lip-19	-0,31	-0,05	-0,46
Opačac	srp-19	-0,29	0,11	-1,17
Opačac	ruj-19	-0,31	0,23	-0,86
Opačac	lis-19	-0,22	-0,45	-1,16
Opačac	stu-19	-0,17	-0,22	-1,81
Opačac	pro-19	-0,18	-0,28	-1,72
Opačac	sij-20	-0,16	-0,28	-1,88
Opačac	vlj-20	-0,16	-0,38	-1,71
Opačac	tra-20	-0,18	-0,38	-1,44
Opačac	svi-20	-0,16	-0,55	-1,49
Opačac	lip-20	-0,14	-0,80	-1,59
Opačac	srp-20	-0,19	-0,33	-1,46
Opačac	kol-20	-0,19	-0,48	-1,29
Opačac	ruj-20	-0,19	-0,34	-1,31
Vrelo Tihaljine	pro-17	-0,14	-1,00	-1,03
Vrelo Tihaljine	srp-18	-0,30	-1,18	1,57
Vrelo Tihaljine	kol-18	-0,32	-1,48	2,16
Vrelo Tihaljine	ruj-18	-0,35	0,19	-1,04
Vrelo Tihaljine	lis-18	-0,31	-0,20	-0,85
Vrelo Tihaljine	stu-18	-0,23	-0,20	-1,38
Vrelo Tihaljine	sij-19	-0,21	0,11	-1,15
Vrelo Tihaljine	vlj-19	-0,27	-0,15	-0,87
Vrelo Tihaljine	tra-19	-0,28	-0,35	-0,52
Vrelo Tihaljine	svi-19	-0,31	-0,53	0,14
Vrelo Tihaljine	lip-19	-0,38	-0,22	0,53
Vrelo Tihaljine	ruj-19	-0,36	-0,75	0,96
Vrelo Tihaljine	lis-19	-0,30	-0,76	0,24
Vrelo Tihaljine	stu-19	-0,23	-0,21	-0,99
Vrelo Tihaljine	pro-19	-0,13	-0,61	-1,83
Vrelo Tihaljine	sij-20	-0,15	0,01	-1,61
Vrelo Tihaljine	vlj-20	-0,14	-0,82	-1,44
Vrelo Tihaljine	kol-20	-0,40	-1,39	2,56
Vrelo Tihaljine	ruj-20	-0,42	-0,11	1,88
Klokun 2	vlj-14	0,03	1,15	-0,58
Klokun 2	pro-17	0,29	0,46	-0,73
Klokun 2	svi-18	-0,07	0,42	-0,49
Klokun 2	srp-18	0,22	0,86	-0,23
Klokun 2	kol-18	0,20	0,80	-0,08
Klokun 2	lis-18	0,19	2,32	-0,02
Klokun 2	sij-19	-0,01	1,20	-0,54
Klokun 2	vlj-19	0,16	1,44	-0,45
Klokun 2	tra-19	0,22	2,04	0,35
Klokun 2	svi-19	0,22	1,61	0,24
Klokun 2	lip-19	0,35	2,05	0,46

Klokun 2	stu-19	-0,03	1,77	-0,13
Klokun 2	pro-19	0,23	1,12	-0,28
Klokun 2	sij-20	0,16	0,97	-1,08
Klokun 2	vlj-20	0,39	1,97	0,12
Klokun 2	kol-20	0,41	2,72	0,45
Klokun 2	ruj-20	0,43	2,74	0,66
Vrioštica	stu-17	0,41	2,60	0,02
Vrioštica	pro-17	-0,17	-0,35	-0,87
Vrioštica	svi-18	-0,06	-0,43	-0,89
Vrioštica	srp-18	0,00	-0,14	-0,75
Vrioštica	kol-18	0,16	-0,22	-0,72
Vrioštica	lis-18	-0,07	1,07	-0,69
Vrioštica	sij-19	-0,29	0,50	-1,12
Vrioštica	vlj-19	-0,11	-0,41	-1,55
Vrioštica	ožu-19	-0,17	0,16	-0,71
Vrioštica	tra-19	-0,23	0,52	-0,98
Vrioštica	svi-19	-0,25	0,38	-0,72
Vrioštica	srp-19	-0,15	0,54	-1,11
Vrioštica	lis-19	0,01	0,84	-0,61
Vrioštica	stu-19	-0,23	0,18	-1,18
Vrioštica	pro-19	-0,18	0,19	-1,25
Vrioštica	sij-20	-0,11	0,20	-1,10
Vrioštica	vlj-20	-0,08	0,19	-1,09
Vrioštica	kol-20	0,08	0,66	-0,66
Vrioštica	ruj-20	0,06	1,05	-0,62
Krenica	sij-14	-0,27	1,12	-0,43
Krenica	vlj-14	-0,28	-0,88	-0,12
Krenica	ožu-14	-0,38	0,24	-0,24
Krenica	tra-14	-0,25	0,79	-1,34
Krenica	svi-14	-0,22	0,04	-0,45
Krenica	lip-14	-0,46	1,35	-0,03
Krenica	srp-14	-0,23	1,32	1,29
Krenica	ruj-14	-0,48	1,92	0,08
Krenica	lis-14	-0,33	0,81	-0,48
Krenica	stu-14	-0,33	0,41	-0,78
Krenica	pro-14	-0,28	-0,43	-0,22
Krenica	ožu-15	-0,33	-0,01	-0,09
Krenica	lis-15	-0,42	0,84	0,31
Krenica	ožu-16	-0,27	-0,97	-0,17
Krenica	pro-17	-0,18	-0,52	-0,43
Krenica	stu-18	-0,31	-0,09	-0,72
Krenica	sij-19	-0,32	0,13	-0,63
Krenica	vlj-19	-0,35	1,13	-0,80
Krenica	ožu-19	-0,26	0,86	-0,46
Krenica	tra-19	-0,36	1,33	-0,51
Krenica	svi-19	-0,35	0,65	-0,36

Krenica	stu-19	-0,30	-0,04	-0,44
Krenica	pro-19	-0,30	0,31	-0,25
Krenica	sij-20	-0,20	0,26	-0,51
Banja	sij-14	-0,15	-2,14	-0,54
Banja	vlj-14	-0,25	-1,37	-0,02
Banja	ožu-14	-0,26	-1,66	0,70
Banja	tra-14	-0,31	-0,87	0,17
Banja	svi-14	-0,33	-0,71	0,40
Banja	lip-14	-0,29	-0,50	0,42
Banja	srp-14	-0,27	-0,43	0,04
Banja	svi-18	-0,11	-0,37	-0,35
Banja	lip-18	-0,17	0,01	0,57
Banja	srp-18	-0,01	-0,03	1,48
Banja	kol-18	-0,18	1,02	0,75
Banja	lis-18	-0,31	0,31	0,82
Banja	stu-18	-0,30	-0,53	-0,70
Banja	sij-19	-0,24	-1,01	-0,65
Banja	vlj-19	-0,27	-0,48	-0,93
Banja	ožu-19	-0,27	-0,46	-0,23
Banja	tra-19	-0,29	-0,79	-0,18
Banja	svi-19	-0,29	-0,87	-0,11
Banja	lis-19	-0,11	0,28	0,28
Banja	stu-19	-0,19	-1,48	-0,22
Banja	pro-19	-0,19	-1,33	-0,36
Banja	sij-20	-0,17	-0,88	-0,81
Banja	vlj-20	-0,18	-0,63	-0,36
Banja	tra-20	-0,15	-0,22	-0,10
Banja	svi-20	-0,15	-0,05	0,60
Banja	lip-20	-0,16	0,48	-0,09
Banja	srp-20	-0,07	0,30	0,39
Banja	kol-20	-0,04	1,21	0,91
Banja	ruj-20	0,00	1,01	0,09
Nuga	pro-13	-0,26	-0,61	-0,35
Nuga	vlj-14	-0,17	-1,91	-0,46
Nuga	vlj-14	-0,29	-0,95	0,13
Nuga	ožu-14	-0,26	-1,23	0,32
Nuga	tra-14	-0,18	-3,19	1,61
Nuga	svi-14	-0,37	-2,80	4,03
Nuga	lip-14	-0,32	-1,25	1,65
Nuga	srp-14	-0,62	1,10	0,53
Nuga	lis-14	-0,33	-1,04	1,65
Nuga	lis-14	-0,27	-0,80	0,38
Nuga	stu-14	-0,31	-0,69	-0,20
Nuga	pro-14	-0,19	-1,12	-0,51
Nuga	ožu-15	-0,19	-1,94	0,10
Nuga	lip-15	-0,25	0,01	0,51

Nuga	lis-15	-0,29	-0,81	0,33
Nuga	ožu-16	-0,22	-1,09	-0,60
Butina	pro-13	-0,22	0,44	-0,83
Butina	sij-14	-0,22	-0,89	-0,66
Butina	vlj-14	-0,26	-0,90	0,08
Butina	ožu-14	-0,25	-0,03	-0,34
Butina	tra-14	-0,26	0,00	-0,09
Butina	svi-14	-0,33	0,81	0,43
Butina	lip-14	-0,19	1,28	0,97
Butina	srp-14	-0,29	0,79	0,74
Butina	kol-14	-0,23	1,40	1,03
Butina	ruj-14	-0,36	0,56	0,20
Butina	lis-14	-0,22	0,22	0,52
Butina	stu-14	-0,32	0,27	-0,09
Butina	pro-14	-0,35	-0,17	0,25
Butina	ožu-15	-0,32	-0,37	0,07
Butina	lip-15	-0,20	1,23	1,16
Butina	lis-15	-0,37	0,76	0,35
Butina	ožu-16	-0,27	-0,70	-0,40
Butina	pro-17	-0,20	-0,58	-0,66
Butina	svi-18	-0,11	-0,09	0,67
Butina	lip-18	0,01	0,30	0,57
Butina	srp-18	0,06	0,28	0,96
Butina	kol-18	0,13	0,69	0,81
Butina	lis-18	0,00	1,65	0,59
Butina	stu-18	-0,37	0,39	-0,36
Butina	sij-19	-0,28	-0,13	-0,86
Butina	vlj-19	-0,27	0,26	-0,72
Butina	ožu-19	-0,18	0,55	-0,16
Butina	tra-19	-0,30	0,37	-0,02
Butina	svi-19	-0,34	0,17	-0,06
Butina	ruj-19	-0,03	1,58	0,70
Butina	lis-19	0,06	1,54	0,69
Butina	stu-19	-0,28	-0,06	-0,24
Butina	pro-19	-0,21	-0,39	-0,61
Butina	sij-20	-0,15	0,17	-0,65
Butina	vlj-20	-0,07	0,28	-0,48
Butina	tra-20	-0,05	0,62	0,23
Butina	svi-20	-0,02	0,91	0,61
Butina	lip-20	-0,04	1,50	0,32
Butina	srp-20	0,03	1,73	0,49
Butina	kol-20	0,09	1,63	0,87
Butina	ruj-20	-0,01	1,98	0,70
Stinjevac	pro-13	-0,14	0,52	-0,76
Stinjevac	vlj-14	-0,32	-0,32	-0,02
Stinjevac	ožu-14	-0,48	1,78	-0,10

Stinjevac	tra-14	-0,22	0,51	0,06
Stinjevac	svi-14	-0,32	1,34	0,04
Stinjevac	lip-14	-0,17	2,02	1,24
Stinjevac	ruj-14	-0,39	0,66	-0,06
Stinjevac	lis-14	-0,20	0,29	0,64
Stinjevac	stu-14	-0,27	0,39	-0,23
Stinjevac	pro-14	-0,30	-0,25	0,20
Stinjevac	ožu-15	-0,25	-0,61	-0,15
Stinjevac	lip-15	-0,15	1,66	0,70
Stinjevac	lis-15	-0,36	1,36	0,16
Stinjevac	ožu-16	-0,26	-0,33	-0,67
Lukavac	pro-13	-0,22	1,81	-1,16
Lukavac	sij-14	-0,28	0,78	-1,67
Lukavac	vlj-14	-0,33	0,99	-0,88
Lukavac	ožu-14	-0,27	1,02	-0,48
Lukavac	tra-14	-0,26	0,98	-0,23
Lukavac	svi-14	-0,20	1,92	-0,31
Lukavac	lip-14	-0,16	2,15	-0,08
Lukavac	srp-14	-0,29	1,98	0,04
Lukavac	kol-14	-0,24	1,66	0,80
Lukavac	ruj-14	-0,40	1,84	-0,26
Lukavac	lis-14	-0,23	1,04	0,18
Lukavac	stu-14	-0,33	1,24	-0,73
Lukavac	pro-14	-0,40	0,58	-0,51
Lukavac	ožu-15	-0,29	0,82	-0,63
Lukavac	lip-15	-0,02	1,56	-0,11
Lukavac	lis-15	-0,44	2,13	0,10
Lukavac	ožu-16	-0,44	1,63	-0,99
Stiševica	pro-13	-0,16	0,02	-0,83
Stiševica	vlj-14	-0,11	-1,97	-0,92
Stiševica	vlj-14	-0,29	-0,62	0,14
Stiševica	ožu-14	-0,22	-0,50	-0,08
Stiševica	tra-14	-0,24	-0,40	0,64
Stiševica	svi-14	-0,28	0,09	0,59
Stiševica	lip-14	-0,10	0,89	1,95
Stiševica	srp-14	-0,25	-0,31	1,39
Stiševica	kol-14	-0,30	0,09	1,44
Stiševica	lis-14	-0,31	-0,10	0,54
Stiševica	lis-14	-0,11	-0,61	0,76
Stiševica	stu-14	-0,32	0,16	-0,30
Stiševica	pro-14	-0,21	-1,10	-0,45
Stiševica	ožu-15	-0,24	-0,81	-0,12
Stiševica	lip-15	-0,16	0,48	2,29
Stiševica	lis-15	-0,30	0,27	0,24
Stiševica	ožu-16	-0,20	-1,20	-0,46
Klokun 1	pro-13	-0,12	-0,12	-1,44

Klokun 1	sij-14	-0,19	-1,15	-0,69
Klokun 1	vlj-14	-0,28	-0,21	-0,16
Klokun 1	ožu-14	-0,32	0,04	0,21
Klokun 1	tra-14	-0,32	0,14	0,78
Klokun 1	svi-14	-0,33	-0,19	0,74
Klokun 1	lip-14	-0,36	0,56	1,31
Klokun 1	srp-14	-0,32	0,41	1,41
Klokun 1	kol-14	-0,36	0,62	2,06
Klokun 1	ruj-14	-0,37	0,03	1,07
Klokun 1	lis-14	-0,29	-0,59	1,20
Klokun 1	stu-14	-0,32	0,50	-0,11
Klokun 1	pro-14	-0,30	-0,34	0,34
Klokun 1	ožu-15	-0,25	-0,88	-0,01
Klokun 1	lip-15	-0,20	0,31	0,42
Klokun 1	lis-15	-0,34	0,33	0,47
Klokun 1	ožu-16	-0,27	-0,29	-0,67
Klokun 1	pro-17	-0,14	-0,94	-0,76
Klokun 1	lip-18	-0,13	-0,28	0,26
Klokun 1	srp-18	-0,12	-0,08	0,61
Klokun 1	lis-18	-0,01	-0,91	0,11
Klokun 1	sij-19	-0,24	0,53	1,36
Klokun 1	vlj-19	-0,27	-0,06	-1,10
Klokun 1	ožu-19	-0,27	0,17	-0,88
Klokun 1	tra-19	-0,24	0,02	-0,13
Klokun 1	svi-19	-0,34	-0,16	0,37
Klokun 1	ruj-19	-0,24	0,88	0,85
Klokun 1	lis-19	-0,07	-0,32	0,92
Klokun 1	stu-19	-0,29	0,34	-0,81
Klokun 1	pro-19	-0,14	-0,89	-1,05
Klokun 1	sij-20	-0,24	0,13	-0,73
Klokun 1	vlj-20	-0,25	0,09	-0,32
Klokun 1	tra-20	-0,25	0,23	0,07
Klokun 1	svi-20	-0,17	0,13	0,07
Klokun 1	lip-20	-0,14	-0,14	0,84
Klokun 1	srp-20	-0,12	-0,30	1,37
Klokun 1	kol-20	0,09	-1,30	0,30
Klokun 1	ruj-20	-0,10	1,24	0,75
Mandina mlinica kaptaža	sij-14	-0,22	-1,13	-0,15
Mandina mlinica kaptaža	vlj-14	-0,24	-0,80	-0,04
Mandina mlinica kaptaža	ožu-14	-0,30	-0,21	0,29
Mandina mlinica kaptaža	lip-14	-0,21	-0,67	0,13
Mandina mlinica kaptaža	srp-14	-0,23	-0,24	0,27
Mandina mlinica kaptaža	kol-14	-0,32	0,00	0,24
Mandina mlinica kaptaža	ruj-14	-0,28	0,18	0,05
Mandina mlinica kaptaža	lis-14	-0,21	-1,22	0,50
Mandina mlinica kaptaža	pro-14	-0,27	-0,42	0,20

Mandina mlinica kaptaža	ožu-15	-0,16	-1,31	0,16
Mandina mlinica kaptaža	lip-15	-0,21	0,17	0,28
Mandina mlinica kaptaža	lis-15	-0,22	-0,60	0,37
Mandina mlinica kaptaža	ožu-16	-0,25	-0,74	-0,36
Mandina mlinica kaptaža	pro-17	-0,19	-0,92	-0,35
Mandina mlinica kaptaža	svi-18	-0,12	-0,95	-0,11
Mandina mlinica kaptaža	lip-18	-0,17	-0,66	0,09
Mandina mlinica kaptaža	srp-18	-0,09	-0,28	0,18
Mandina mlinica kaptaža	kol-18	-0,08	0,12	0,39
Mandina mlinica kaptaža	stu-18	-0,20	0,68	0,21
Mandina mlinica kaptaža	sij-19	-0,24	0,25	-0,55
Mandina mlinica kaptaža	vlj-19	-0,28	-0,09	-0,54
Mandina mlinica kaptaža	ožu-19	-0,24	-0,32	-0,54
Mandina mlinica kaptaža	tra-19	-0,20	-0,46	-0,30
Mandina mlinica kaptaža	svi-19	-0,22	-1,02	0,06
Mandina mlinica kaptaža	lip-19	-0,20	-0,14	-0,69
Mandina mlinica kaptaža	srp-19	-0,21	-0,69	-0,15
Mandina mlinica kaptaža	ruj-19	-0,23	0,10	0,04
Mandina mlinica kaptaža	lis-19	-0,20	0,93	0,44
Mandina mlinica kaptaža	stu-19	-0,18	-0,49	-0,12
Mandina mlinica kaptaža	pro-19	-0,18	-0,47	-0,52
Mandina mlinica kaptaža	sij-20	-0,17	-0,29	-0,54
Mandina mlinica kaptaža	vlj-20	-0,17	-0,30	-0,41
Mandina mlinica kaptaža	tra-20	-0,16	-0,38	-0,25
Mandina mlinica kaptaža	svi-20	-0,19	0,00	-0,09
Mandina mlinica kaptaža	lip-20	-0,19	-0,38	0,15
Mandina mlinica kaptaža	srp-20	-0,17	0,12	0,25
Mandina mlinica kaptaža	kol-20	-0,14	0,38	0,47
Mandina mlinica izvor	ruj-13	6,82	-1,34	0,47
Mandina mlinica izvor	pro-14	0,23	-0,35	-0,15
Mandina mlinica izvor	ožu-16	0,58	-1,07	-0,35
Mandina mlinica izvor	svi-18	2,97	-1,02	-0,15
Mandina mlinica izvor	lip-18	6,84	-1,42	-1,08
Mandina mlinica izvor	srp-18	8,98	-1,11	-0,19
Mandina mlinica izvor	lis-18	5,29	0,35	0,87
Mandina mlinica izvor	sij-19	3,07	-0,09	-0,77
Mandina mlinica izvor	vlj-19	3,24	-0,31	-0,65
Mandina mlinica izvor	ožu-19	5,18	0,04	-0,47
Mandina mlinica izvor	tra-19	5,52	0,01	-0,47
Mandina mlinica izvor	svi-19	2,91	-0,48	-0,10
Mandina mlinica izvor	lip-19	4,01	-0,98	0,42
Mandina mlinica izvor	srp-19	5,87	0,31	0,24
Mandina mlinica izvor	ruj-19	4,75	0,61	0,65
Mandina mlinica izvor	lis-19	5,00	0,97	0,86
Mandina mlinica izvor	vlj-20	4,17	-0,50	-0,45
Mandina mlinica izvor	srp-20	4,26	0,27	0,11

Mandina mlinica izvor	kol-20	5,82	0,54	0,32
Čeveljuša	ruj-13	-0,28	1,21	0,79
Čeveljuša	pro-13	-0,13	-0,36	-0,76
Čeveljuša	sij-14	-0,09	-1,08	-0,77
Čeveljuša	vlj-14	-0,27	-0,38	0,04
Čeveljuša	ožu-14	-0,30	0,41	-0,38
Čeveljuša	svi-14	-0,26	-0,36	0,34
Čeveljuša	lip-14	-0,32	0,89	0,60
Čeveljuša	srp-14	-0,30	0,97	0,74
Čeveljuša	kol-14	-0,30	0,96	1,38
Čeveljuša	ruj-14	-0,32	-0,04	0,83
Čeveljuša	lis-14	-0,34	-0,03	1,36
Čeveljuša	pro-14	-0,34	0,16	0,25
Čeveljuša	ožu-15	-0,16	-1,42	-0,43
Čeveljuša	lip-15	-0,30	0,82	0,57
Čeveljuša	lis-15	-0,33	0,09	0,30
Čeveljuša	ožu-16	-0,26	-0,22	-0,60
Čeveljuša	pro-17	-0,18	-0,62	-0,88
Čeveljuša	svi-18	-0,20	-0,35	0,01
Čeveljuša	ožu-19	-0,22	0,12	-0,32
Čeveljuša	tra-19	-0,25	-0,44	-0,19
Čeveljuša	ruj-19	-0,26	1,21	0,71
Čeveljuša	lis-19	-0,19	1,17	0,86
Čeveljuša	stu-19	-0,33	0,20	0,10
Čeveljuša	pro-19	-0,19	-0,72	-0,65
Čeveljuša	sij-20	-0,22	0,05	-0,68
Čeveljuša	vlj-20	-0,26	0,27	-0,28
Čeveljuša	tra-20	-0,22	0,28	-0,22
Čeveljuša	svi-20	-0,17	0,32	0,12
Čeveljuša	lip-20	-0,19	1,12	0,09
Čeveljuša	srp-20	-0,12	0,62	0,42
Čeveljuša	kol-20	-0,11	0,74	0,86
Strimen	ruj-13	0,49	1,44	0,91
Strimen	pro-13	-0,28	0,49	-0,70
Strimen	sij-14	-0,20	-0,68	-0,81
Strimen	vlj-14	-0,17	-0,89	-0,48
Strimen	ožu-14	-0,30	0,19	-0,11
Strimen	tra-14	-0,25	-0,27	0,32
Strimen	svi-14	-0,30	-0,08	0,21
Strimen	lip-14	-0,25	0,77	0,63
Strimen	srp-14	0,09	1,05	0,75
Strimen	ruj-14	-0,35	0,21	0,69
Strimen	lis-14	-0,26	-0,22	1,40
Strimen	pro-14	-0,34	0,29	0,21
Strimen	ožu-15	-0,25	-0,53	-0,08
Strimen	lip-15	-0,27	1,08	0,51

Strimen	lis-15	-0,35	0,23	0,89
Strimen	ožu-16	-0,22	-0,47	-0,56
Modro oko	ruj-13	-0,23	1,00	1,95
Modro oko	pro-13	-0,26	0,30	-0,69
Modro oko	sij-14	-0,18	-1,04	-0,99
Modro oko	vlj-14	-0,20	-1,13	-0,35
Modro oko	ožu-14	-0,26	-0,37	0,07
Modro oko	tra-14	-0,20	-0,52	0,33
Modro oko	svi-14	-0,28	-0,33	0,43
Modro oko	lip-14	-0,15	0,70	0,45
Modro oko	srp-14	-0,26	0,39	1,39
Modro oko	kol-14	-0,33	0,27	1,44
Modro oko	ruj-14	-0,37	-0,22	0,72
Modro oko	lis-14	-0,23	-0,82	1,61
Modro oko	pro-14	-0,34	-0,09	0,07
Modro oko	ožu-15	-0,19	-0,89	-0,41
Modro oko	lip-15	-0,15	0,55	0,91
Modro oko	lis-15	-0,34	0,17	0,64
Modro oko	ožu-16	-0,27	-0,16	-0,75
Modro oko	svi-18	-0,15	-0,88	0,95
Modro oko	lip-18	-0,08	-0,39	1,49
Modro oko	srp-18	-0,02	0,08	1,73
Modro oko	kol-18	-0,02	-0,03	2,17
Modro oko	lis-18	-0,14	0,80	1,50
Modro oko	sij-19	-0,26	-0,01	-1,09
Modro oko	ožu-19	-0,15	-0,49	0,00
Modro oko	srp-19	-0,27	0,41	1,42
Modro oko	ruj-19	-0,13	1,16	1,96
Modro oko	lis-19	-0,05	1,32	1,69
Modro oko	stu-19	-0,34	0,35	0,11
Modro oko	pro-19	-0,18	-0,55	-0,81
Modro oko	sij-20	-0,13	0,04	-1,06
Modro oko	vlj-20	-0,09	-0,05	-0,58
Modro oko	tra-20	-0,07	0,08	0,23
Modro oko	svi-20	-0,02	0,31	1,05
Modro oko	lip-20	-0,04	0,35	1,61
Modro oko	srp-20	-0,07	0,97	1,72
Modro oko	kol-20	0,22	-0,48	0,63
Modro oko	ruj-20	0,06	1,22	2,22
Prud	sij-14	-0,30	0,48	-0,69
Prud	vlj-14	-0,31	0,68	-1,08
Prud	ožu-14	-0,27	0,82	-0,24
Prud	tra-14	-0,25	0,76	0,15
Prud	svi-14	-0,28	1,34	-0,49
Prud	lip-14	-0,18	1,83	-0,08
Prud	srp-14	-0,21	1,44	0,13

Prud	kol-14	-0,23	1,67	0,12
Prud	ruj-14	-0,33	1,09	-0,39
Prud	lis-14	-0,27	0,71	0,67
Prud	stu-14	-0,25	1,25	0,07
Prud	pro-14	-0,34	0,74	-0,07
Prud	ožu-15	-0,27	0,60	-0,38
Prud	lip-15	-0,17	1,27	-0,20
Prud	lis-15	-0,33	1,46	-0,21
Prud	ožu-16	-0,29	0,39	-0,60
Prud	pro-17	-0,08	0,17	-0,60
Prud	svi-18	-0,12	0,30	0,00
Prud	lip-18	-0,14	0,58	-0,13
Prud	srp-18	-0,02	0,66	0,16
Prud	kol-18	0,03	0,66	0,40
Prud	lis-18	-0,12	1,31	0,65
Prud	sij-19	-0,28	0,97	-1,29
Prud	vlj-19	-0,23	0,65	-0,78
Prud	ožu-19	-0,18	0,88	-0,26
Prud	tra-19	-0,27	1,18	-0,43
Prud	svi-19	-0,28	1,13	-0,29
Prud	lip-19	-0,24	1,48	-0,46
Prud	srp-19	-0,20	1,33	0,06
Prud	ruj-19	-0,13	1,32	0,42
Prud	lis-19	-0,08	1,47	0,32
Prud	stu-19	-0,24	0,95	-0,97
Prud	pro-19	-0,15	-0,01	-0,71
Prud	sij-20	-0,13	0,47	-0,70
Prud	vlj-20	-0,11	0,75	-0,28
Prud	tra-20	-0,12	1,06	-0,25
Prud	svi-20	-0,06	0,99	0,06
Prud	lip-20	-0,07	1,21	0,16
Prud	srp-20	-0,05	1,41	0,32
Prud	kol-20	-0,03	1,37	0,33
T2	ruj-13	-0,05	-1,40	1,14
T2	pro-13	-0,09	-0,53	-1,00
T2	sij-14	-0,17	-1,41	-0,61
T2	vlj-14	-0,23	-1,18	0,11
T2	tra-14	-0,20	-1,24	1,25
T2	svi-14	-0,32	-1,13	2,58
T2	lip-14	-0,11	-1,26	1,57
T2	srp-14	-0,25	-0,57	1,78
T2	kol-14	-0,18	-2,11	1,86
T2	ruj-14	-0,28	-0,59	0,80
T2	lis-14	-0,21	-1,59	0,82
T2	stu-14	-0,30	-0,29	0,10
T2	pro-14	-0,19	-0,94	-0,54

T2	ožu-15	-0,18	-1,63	-0,03
T2	lip-15	-0,35	-1,72	3,95
T2	lis-15	-0,27	-0,23	0,22
T2	ožu-16	-0,15	-1,62	-0,73
Mindel	ruj-13	5,38	0,66	0,90
Mindel	pro-13	0,28	1,50	-0,17
Mindel	sij-14	0,02	-2,17	-1,02
Mindel	vlj-14	-0,18	-0,76	-0,05
Mindel	ožu-14	0,20	1,03	0,23
Mindel	tra-14	1,09	1,75	0,79
Mindel	svi-14	-0,11	2,78	-0,66
Mindel	lip-14	3,05	1,73	0,62
Mindel	srp-14	-0,08	2,80	1,12
Mindel	kol-14	1,76	1,09	0,44
Mindel	ruj-14	-0,30	1,94	0,57
Mindel	stu-14	0,19	-1,73	1,06
Mindel	ožu-15	0,17	-1,96	-0,34
Mindel	lip-15	0,88	1,89	0,44
Mindel	ožu-16	0,01	-1,63	-0,05
T3	pro-13	-0,06	-0,80	-1,58
T3	sij-14	-0,08	-2,05	-1,19
T3	vlj-14	-0,18	-1,61	-0,03
T3	ožu-14	-0,25	-1,44	0,83
T3	tra-14	-0,18	-2,01	1,11
T3	svi-14	-0,36	-1,53	2,87
T3	lip-14	-0,32	-1,95	3,48
T3	srp-14	-0,37	-2,15	4,24
T3	kol-14	-0,34	-2,31	4,48
T3	ruj-14	-0,25	-0,59	0,47
T3	lis-14	-0,19	-2,01	1,30
T3	pro-14	-0,24	-0,52	-0,46
T3	ožu-15	-0,10	-2,16	-0,50
T3	lip-15	-0,41	-1,72	4,54
T3	lis-15	-0,26	-0,54	0,50
T3	ožu-16	-0,17	-1,37	-0,80
Neretva	ruj-18	-0,24	-1,03	0,27
Neretva	lis-18	-0,26	-1,04	0,26
Neretva	sij-19	-0,10	-1,21	-1,85
Neretva	vlj-19	-0,09	-1,03	-1,97
Neretva	ožu-19	-0,19	-1,77	0,37
Neretva	tra-19	-0,21	-1,11	-0,49
Neretva	svi-19	-0,21	-1,63	0,11
Neretva	lip-19	-0,39	-1,03	2,49
Neretva	srp-19	-0,41	-0,17	1,51
Neretva	ruj-19	-0,26	-1,50	1,06
Neretva	lis-19	-0,29	-0,44	0,63

Neretva	stu-19	-0,12	-0,94	-1,76
Neretva	sij-20	-0,03	-1,39	-1,83
Neretva	vlj-20	0,02	-1,99	-1,46
Neretva	tra-20	-0,10	-1,22	-0,16
Neretva	svi-20	-0,14	-1,59	1,48
Neretva	lip-20	-0,12	-1,79	1,76
Neretva	srp-20	-0,07	-1,81	2,04
Neretva	kol-20	-0,08	-1,63	1,91
Neretva	ruj-20	-0,18	-1,64	0,24

Prilog 5. Hidrogeološka karta.
