

# Monitoring okolišnih parametara u turistički uređenoj špilji - primjer Baračevih špilja kod Rakovice

---

Selak, Lorena

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:366088>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-22**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



**Lorena Selak**

**Monitoring okolišnih parametara u turistički uređenoj  
špilji – primjer Baračevih špilja kod Rakovice**

**Diplomski rad**

**Zagreb  
2019.**





**Lorena Selak**

**Monitoring okolišnih parametara u turistički uređenoj  
špilji – primjer Baračevih špilja kod Rakovice**

**Diplomski rad**

predan na ocjenu Geografskom odsjeku  
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu  
radi stjecanja akademskog zvanja  
magistra struke znanosti o okolišu

**Zagreb  
2019.**

Ovaj je diplomski rad izrađen u sklopu diplomskog sveučilišnog studija *Znanosti o okolišu* na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Nevena Bočića

Sveučilište u Zagrebu  
Diplomski rad  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geografski odsjek

**Monitoring okolišnih parametara u turistički uređenoj špilji – primjer Baračevih  
špilja kod Rakovice**

Lorena Selak

**Izvadak:** Špilje su krški reljefni oblici koji mogu na nesvakidašnji način pružiti edukaciju o prirodnim procesima. Špiljski turizam svojom jedinstvenošću privlači sve širu publiku. Kako bi se moglo održivo upravljati takvim sustavom potrebno je poznavati njegove karakteristike te vršiti monitoring nad osnovnim mikroklimatskim parametrima. Gornja Baračeva špilja je turistička špilja u Rakovici. Dio je kompleksa od četiri špilje od kojih je jedna aktivni provodnik te završava kao izvor Baračevac. U Gornjoj Baračevoj špilji praćeni mikroklimatski parametri bili su temperatura zraka, relativna vlaga i koncentracija ugljikova dioksida. Rezultati temperature zraka i relativne vlažnosti pokazuju da se radi o špilji s vrlo stabilnim vrijednostima koja ne osciliraju. Koncentracija ugljikova dioksida ima zabilježene promjene povezane s vegetacijskom sezonom. Uz mikroklimatske uvjete praćeni su sljedeći fizikalno-kemijski parametri vode prokavnice i izvorišne vode: temperatura, pH, alkalinitet, koncentracija otopljenog kisika, nitrata i ortofosfata. Dobivene vrijednosti pokazuju utjecaj vapnenačke podloge i odgovaraju stabilnim mikroklimatskim okolišnim uvjetima. Pod svjetlosnim snopom rasvjetnih tijela razvija se lampenflora. Kako bi se o njoj prikupile dodatne informacije iz uzoraka lampenfore determinirano je 24 vrste dijatomeja (*Bacillariophyceae*). Dominantne vrste su aerofilne i kozmopolitski rasprostranjene, a najbrojnija je *Diadsmis contenta*. U svrhu procjene ekološkog stanja izvora Baračevac determinirano je 29 vrsta dijatomeja od kojih su dominantne *Achnanthidium minutissimum* i *Cocconeis placentula*. Ekološko stanje izvora Baračevac procijenjeno je na temelju saprobnog ( $SI_{HRIS}$ ) i trofičkog indeksa dijatomeja ( $TID_{RH}$ ) te je procijenjeno kao vrlo dobro u travnju i dobro u srpnju.

Ključne riječi: monitoring špiljskih parametara, dijatomeje lampenflore, krški izvor, ekološko stanje

Voditelj: izv. prof. dr. sc. Neven Bočić

Povjerenstvo: izv. prof. dr. sc. Nenad Buzjak  
izv. prof. dr. sc. Marija Gligora Udovič  
izv. prof. dr. sc. Blanka Cvetko Tešović

Tema prihvaćena: 8. 2. 2018.

Rad prihvaćen: 7. 2. 2019.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.



BASIC DOCUMENTATION CARD
--------------------------

University of Zagreb  
Master Thesis  
Faculty of Science  
Department of Geography

**Monitoring of environmental parameters in a tourist cave – case study of Barac's caves near Rakovica**

Lorena Selak

**Abstract:** The caves are karst relief forms that can in an unequal way provide education on natural processes. With its uniqueness caving tourism attracts wide audience. In order to be able to manage such a system, it is necessary to know its characteristics and to monitor the basic microclimate parameters. Upper Barac's cave is a tourist cave in Rakovica. It is part of a complex of four caves, one of which ends with a spring called Baracevac. The microclimatic parameters observed in Upper Barac's cave were air temperature, relative humidity and carbon dioxide concentrations. The results of air temperature and relative humidity show very stable values with no oscillation. Carbon dioxide concentrations have recorded changes associated with the vegetation season. In addition to microclimatic conditions, the following physico-chemical parameters of drip water and spring water are monitored: temperature, pH, alkalinity, dissolved oxygen concentration, nitrate and orthophosphate concentration. The results show the impact of the limestone substrate and correspond to stable microclimatic conditions. Lamp flora is developed due to lighting fixtures. In order to collect additional information from lamp flora samples, 24 diatom species (*Bacillariophyceae*) were determined. Dominant species are aerophilic and cosmopolites. The most frequent is *Diadesmis contenta*. In order to estimate the ecological status of the Baracevac spring, 29 diatom species were determined. The dominant species were *Achnantheidium minutissimum* and *Cocconeis placentula*. The ecological status was estimated by using Saprobic Index ( $SI_{HRIS}$ ) and Trophic Diatom Index ( $TID_{RH}$ ). Ecological status was estimated as high (oligotrophic to oligo-mesotrophic) in April and as moderate (mesotrophic to meso-eutrophic) in July.

68 pages, 32 figures, 15 tables, 59 references; original in Croatian

Keywords: cave monitoring, lamp flora diatoms, karstic spring, ecological assessment

Supervisor: Neven Bočić, PhD, Associate Professor

Reviewers: Nenad Buzjak, PhD, Associate Professor  
Marija Gligora Udovič, PhD, Associate Professor  
Blanka Cvetko Tešović, PhD, Associate Professor

Thesis title accepted: 08/02/2018

Thesis accepted: 07/02/2019

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia.

## SADRŽAJ

<b>1. Uvod .....</b>	<b>1</b>
1.1. Gornja Baračeva špilja .....	1
1.2. Špiljska mikroklima .....	2
1.3. Parametri korišteni za određivanje svojstva vode.....	3
1.4. Alge kremenjašice.....	4
1.4.1. Klasifikacija ekoloških stanja vodnih tijela .....	5
1.4.2. Alge kremenjašice kao dio podzemlja.....	6
1.5. Ciljevi istraživanja .....	6
<b>2. Područje istraživanja.....</b>	<b>8</b>
2.1. Geografski položaj, geološka podloga i hidrografija područja.....	8
<b>3. Dosadašnja istraživanja.....</b>	<b>11</b>
3.1. Speleološka i mikroklimatska istraživanja .....	11
3.2. Paleontološka i arheološka istraživanja.....	11
3.3. Geološka i geomorfološka istraživanja .....	11
3.4. Biološka istraživanja .....	12
<b>4. Materijali i metode .....</b>	<b>13</b>
4.1. Mikroklimatski monitoring.....	13
4.1.1. <i>In-situ</i> mjerenje mikroklimatskih parametara.....	13
4.1.2. Postavljanje memorijskih termohigrografa .....	14
4.1.3. Prikupljanje podataka i daljnja analiza.....	16
4.2. Prikupljanje i analiza uzoraka vode prokapnice i izvorske vode.....	16
4.3. Dijatomeje .....	17
4.3.1. Prikupljanje uzoraka fitobentosa i lampenflore .....	17
4.3.2. Priprema i čišćenje uzorka.....	19
4.3.3. Fiksiranje uzorka.....	20
4.3.4. Mikroskopske analize i određivanje vrsta algi kremenjašica .....	20

4.3.5. Analiza podataka.....	21
<b>5. Rezultati .....</b>	<b>23</b>
5.1. Klimatološki parametri.....	23
5.2. Koncentracija ugljikova dioksida (ppm), temperatura zraka (°C) i relativna vlažnost (%) .....	24
5.2.1. Rezultati mjerenja koncentracije ugljikova dioksida (CO <sub>2</sub> ) u zraku.....	24
5.2.2. Rezultati mjerenja temperature zraka (°C) i relativne vlažnosti zraka (%)	26
5.3. Mikroklima špilja mjerena pomoću memorijskih termohigrografa .....	30
5.4. Koncentracije nitrata i o-fosfata izmjerene u vodi prokapnici i izvorišnoj vodi ..	34
5.5. <i>In-situ</i> mjerenje temperature i pH vrijednosti te laboratorijsko mjerenje pH vode .....	40
5.6. Alkalinitet .....	42
5.7. Otopljeni kisik.....	43
5.8. Struktura zajednice bentičkih dijatomeja izvora Baraćevac.....	44
5.9. Saprobni indeks (SI <sub>HRIS</sub> ) i trofički indeks dijatomeja (TID <sub>HR</sub> ).....	46
5.10. Struktura zajednice dijatomeja lampenflore .....	49
<b>6. Rasprava .....</b>	<b>52</b>
6.1. CO <sub>2</sub> (ppm), temperatura (°C) i RH (%).....	52
6.2. Temperatura zraka i relativna vlažnost mjerena memorijskim termohigrografima .....	53
6.3. Nitrati i fosfati u vodi .....	53
6.4. pH i temperatura vode .....	54
6.5. Alkalinitet .....	55
6.6. Koncentracija otopljenog kisika .....	55
6.7. Dijatomeje i ekološko stanje vode .....	55
<b>7. Zaključak .....</b>	<b>57</b>
<b>8. Literatura.....</b>	<b>59</b>

## 1. Uvod

Krški speleološki objekti svojom jedinstvenom geomorfologijom i mikroklimom omogućuju stvaranje specifičnog podzemnog ekosustava, nerijetko bogatog endemskim vrstama flore i faune. Prisustvom ljudi u ovakvim gotovo izoliranim i stabilnim sustavima mogu se očekivati promjene mikroklimatskih uvjeta, stoga je izrazito važno odrediti obujam i vrstu tih promjena. U tu svrhu potrebno je vršiti monitoring mikroklimatskih parametara poput temperature (T) i relativne vlažnosti zraka (RH). Kako bi se ustanovilo uzrokuje li turizam negativan utjecaj na špiljsku atmosferu, potrebno je mjeriti i koncentraciju CO<sub>2</sub>. Mjerenjem određenih fizikalno-kemijskih svojstava vode prokapsnice, moguće je doznati svojstva vode koja cirkulira kroz sustav. Uređivanjem špilja u turističke svrhe postavljaju se rasvjetna tijela koja uslijed osvjetljavanja prostora uzrokuju nakupljanje biofilma na špiljskim zidovima. Takav zeleno smeđi sloj sastavljen od mahovine, lišajeva, cijanobakterija i algi (npr. algi kremenjašica) naziva se lampenflora (Jones, 1964). Brojna istraživanja posvećena su upravo pronalaženju načina sprječavanja širenja lampenflore.

Baraćeve špilje, koje su predmet istraživanja ovog rada, spadaju u destruktivne endokrške reljefne oblike nastale korozivnim i mehaničkim djelovanjem vode koja ponire i cirkulira u kršu kroz duže vremensko razdoblje. Ovaj špiljski kompleks čine četiri špilje: Gornja Baraćeva špilja, Donja Baraćeva špilja, Nova Baraćeva špilja i Izvor špilja Baraćevec. Sami speleološki objekti sadrže sige, fosilne i arheološke ostatke, a pružaju i stanište ugroženim vrstama. Zbog takvih karakteristika idealno su mjesto za špiljski turizam. Donja i Gornja Baraćeva špilja uređene su i otvorene za javnost u svrhu turizma još 1892. godine (Božičević, 1956). Danas je za turističke posjete otvorena jedino Gornja Baraćeva špilja. Županijska skupština Karlovačke županije 2016. godine donijela je Odluku o proglašenju Baraćevih špilja zaštićenim u kategoriji značajni krajobraz (NN 36/16), koji obuhvaća područje od 518,66 ha istočno od mjesta Rakovica i zapadno od sela Nova Kršlja.

### 1.1. Gornja Baraćeva špilja

Gornja Baraćeva špilja otvorena je za turističke posjete u razdoblju od travnja do listopada svake godine. Ostalih mjeseci je zatvorena zbog hibernacije dviju vrsta šišmiša: *Myotis*

*myotis* (Borkhausen, 1797) i *Rhinolophus hyposideros* (Bechstein, 1800), koji su strogo zaštićeni prema Pravilniku o strogo zaštićenim vrstama (N.N. 144/2013).

Gornja Baraćeva špilja opremljena je stazama, mostom i zaštitnim ogradama, dok su rasvjetna tijela postavljena duž čitave staze kroz turistički dio špilje. Na području svjetlosnog snopa svih rasvjetnih tijela pojavljuje se lampenflora različitih razmjera.

## 1.2. Špiljska mikroklima

Špiljska meteorologija sastoji se od špiljske mikroklime i karakteristika zraka u špilji. Ona sadrži nekoliko parametara kao što su temperatura zraka, vlaga zraka (apsolutna i relativna), koncentracija ugljikova dioksida u zraku, tlak zraka, protok zraka i koncentracija opasnih plinova. Jedan od razloga čestog vršenja monitoringa navedenih parametara je taj što su speleogenetski procesi veoma osjetljivi na njihove promjene, tj. mogu utjecati na procese stvaranja speleothema (Hill i Forti, 1997).

Špilje kao gotovo zatvoreni sustavi ovisni su o nekoliko načina unosa energije izvana što uvjetuje u svakoj špilji drugačiju mikroklimu. Jedan od načina izmjene energije je prijenos topline sa zemljine površine preko stijena u podzemlje. Takav način unosa energije je najizraženiji u špiljama koje se nalaze blizu zemljine površine. Vanjska temperatura se u obliku vala širi tlo i stijenama s atenuacijom i velikim kašnjenjem, stoga je u špiljama redovito zabilježen umanjen i zakašnjen tok temperature obzirom na površinski. Što je špilja udaljenija od površine to je razlika u istima izraženija (Cigna, 1978).

Prema Heatonu (1986) postoje tri grupe špilja podijeljene obzirom na razine protoka energije. Špilje s visokom razinom protoka energije su one koje bilježe snažnije promjene kao npr. veliki periodični priljev vode. Takve špilje ne bi trebale bilježiti trajne posljedice turističkog utjecaja. Špilje srednjeg protoka energije su one čiji značajni procesi uključuju protok vode, vjetra ili životinjsku aktivnost te kao takve mogu imati duže posljedične promjene obzirom na posjete. Špilje s niskom izmjenom energije su one za koje se smatra kako nisu uopće podobne za turističke posjete jer bi znatno i trajno narušile špiljsku mikroklimu. Obzirom na ovu kategorizaciju Gornja Baraćeva špilja pripada u špilje srednjeg protoka energije.

U špiljama otvorenima za turiste posebnu pažnju treba posvetiti praćenju mikroklimatskih uvjeta koji su podložni promjenama u slučaju ljudske prisutnosti. Prisutnost turista može uzrokovati termalne, kemijske i biološke posljedice na špiljski

sustav. Toplina koju osoba tijekom posjeta otpusti ovisi o brzini kretanja, veličini osobe i odjeći. Osim što proizvode umjetnu svjetlost, rasvjetna tijela u slučaju neadekvatne žarulje, mogu negativno utjecati tako što otpuštaju toplinu te povećavaju temperaturu zraka i okolne stijene. Na taj način se snižava RH i uspostavlja strujanje zraka (Forti, 1980). Promjena temperature zraka ili vlažnosti može, ne samo naštetiti špiljskoj fauni te tako dovesti do gubitka staništa, već i negativno utjecati na proces stvaranja speleothema. Pod biološkim onečišćenjem smatra se unos spora, bakterija i ostalih mikroorganizama, a pod kemijskim onečišćenjem unos  $\text{CO}_2$  (Cigna i Forti, 1988). Povećanje koncentracije ugljikovog dioksida može dovesti do otapanja speleothema, a također može uništiti arheološke i paleontološke nalaze.

### 1.3. Parametri korišteni za određivanje svojstva vode

Nitrati ( $\text{NO}_3^-$ ) su osnovni izvor dušika potrebnog biljkama. Upotrebom gnojiva u poljoprivredi nitrati se unose u tlo te se vodom prenose dalje od mjesta upotrebe. Osim umjetnih gnojiva nitrati se unose u okoliš ljudskim i životinjskim otpadom te tako dospijevaju do podzemne vode. Povišene koncentracije nitrata u vodi mogu biti i zbog onečišćivala poput pesticida i drugih anorganskih i organskih spojeva koji mogu utjecati na zdravlje. Prema Uredbi o izmjenama i dopunama Uredbe o standardu kakvoće voda (NN 80/2018) granična vrijednost nitrata u podzemnoj vodi iznosi 50 mg  $\text{NO}_3/\text{L}$ .

Fosfati ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) su zastupljeni kao ortofosfati (o-fosfati), polifosfati i organski vezani fosfati. Polifosfati se u vodi razlažu na o-fosfate. Oni mogu biti prirodnog porijekla kao nusprodukt biljaka ili životinjskih ostataka, ali i kao dio kanalizacije i umjetnih gnojiva. Koriste se u bojlerima vode i detergentima. Prema Uredbi o izmjenama i dopunama Uredbe o standardu kakvoće voda (NN 80/2018) propisana granična vrijednost fosfata je 0,2 mg  $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$ . Ako u vodnom tijelu ima previše nitrata i fosfata može doći do eutrofikacije istog.

Alkalinitet je puferska sposobnost vode da se odupre promjenama pH vrijednosti. Alkalinitet vode ovisi o pedološkoj podlozi i vrsti stijene kroz koju voda protječe. Stijene čije su komponente karbonati, bikarbonati i hidroksidi povećavaju alkalinitet vode. Alkalinitet vode može se izraziti kao koncentracija otopljenog  $\text{CaCO}_3$  (mg/L). Održavanje alkaliniteta vode je bitno za sav živi svijet u vodi i njenoj neposrednoj okolini, a promijeniti ga mogu kisele kiše, taninske vode te umjetno zakiseljavanje vode. Također,

koncentracija karbonata u vodi uvjetuje stvaranje speleothema ili razaranje vapnenca u špiljama s vodom.

Tvrdoća vode uvjetovana je otopljenim solima kalcija i magnezija. Zbroj karbonatne (karbonata i hidrogenkarbonata) i nekarbonatne tvrdoće vode daje ukupnu tvrdoću vode i sastoji se od svih soli kalcija i magnezija. Ako je ukupna tvrdoća vode jednaka alkalinitetu, tada nisu prisutne nekarbonatne soli kalcija i magnezija.

pH je mjera kiselosti vode, koja u prirodnim uvjetima ovisi o odnosu slobodnog CO<sub>2</sub>, karbonata, hidrogenkarbonata i alkaliniteta.

Koncentracija otopljenog kisika u podzemnoj vodi iskazuje se u mg/L ili kao postotak zasićenosti vode kisikom (funkcija koja povezuje temperaturu vode i koncentraciju kisika). Izuzetno je bitna za životinje poput troglofila i troglobionata koji podnose niske koncentracije kisika u vodi.

Prema Okvirnoj direktivi o vodama (2000/60/EZ) nestabilni parametri poput pH, temperature i otopljenog kisika moraju se mjeriti na terenu što je moguće prije.

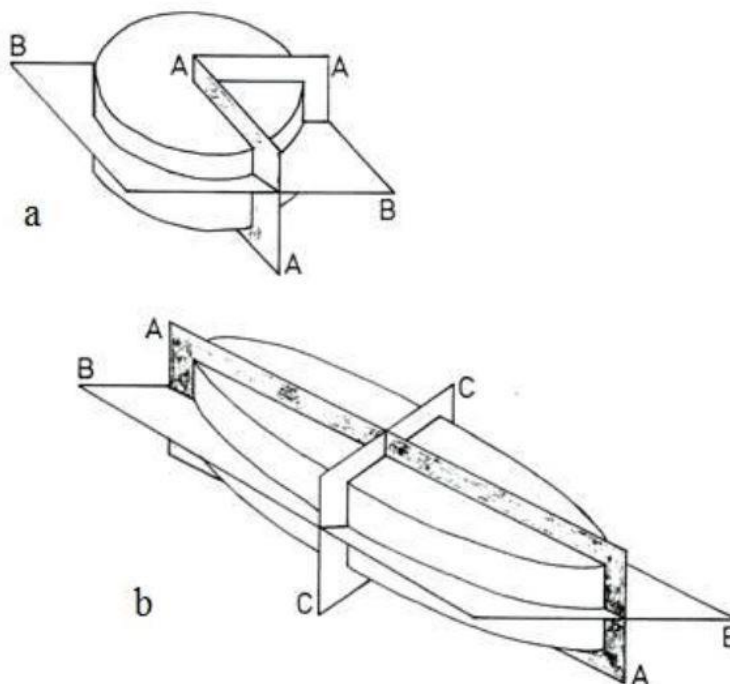
#### 1.4. Alge kremenjašice

Alge kremenjašice pripadaju obraštajnoj zajednici fitobentosa ili perifitona (Plenković-Moraj i dr., 2009). Važnost perifitonske zajednice u vodenim ekosustavima očituje se u: dominantnoj ulozi u kruženju nutrijenata i fiksaciji ugljika; u indikatorskoj vrijednosti koju pružaju za praćenje promjena i stanja u vodenim ekosustavima; u izgradnji pogodnih staništa i kao izvor hrane za druge organizme (Azim i dr., 2005). Fitobentos se često koristi kao pokazatelj kakvoće u procjeni ekološkog stanja vodnih tijela jer ga je lako uzorkovati, ima kratko generacijsko vrijeme, veliku taksonomsku raznolikost i brzo odgovara na promjene okolišnih uvjeta (Plenković-Moraj i dr., 2009). Ključne mjerljive sastavnice fitobentosa su taksonomski sastav i (relativna) brojnost vrsta (Kelly i dr., 2008).

Alge kremenjašice (dijatomeje) su jednostanični, primarno autotrofni protisti. Odlikuje ih čvrsta zaštitna stjenka (frustula (lat. *frustulum*-mali dio)) čije se morfološke karakteristike koriste kao glavno determinacijsko svojstvo. Veličine frustule su najčešće od 5 do 200 μm, a njen sastav čini kremen (SiO<sub>2</sub> x nH<sub>2</sub>O). Građena je od dvije preklapljene teke (*thecae*); gornje (*epitheca*) i donje (*hypotheca*), a svaka teka sačinjena je od dvije valve. Epivalva i hipovalva povezane su pojasom (*cingulum*) koji valve drži zajedno. S obzirom na izgled frustule razlikuju se dijatomeje koje imaju radijalnu simetriju i nazivaju se centrice te one s bilateralnom simetrijom (penatne dijatomeje). Centrice imaju bezbroj



ravnina simetrije koje prolaze kroz pervalvalnu os i dijele stanicu na dvije jednake polovice. Kroz penatne dijatomeje mogu se provući tri ravnine koje, obzirom na jednu ili dvije, čine stanicu simetričnom (Slika 1) (John, 2012). Diijatomeje imaju definirane granice tolerancije na okolišne promjene koje uključuju koncentraciju hranjivih soli, vodni režim i suspendirani materijal (Kelly i dr., 2008).



**Slika 1.** Simetrija algi kremenjašica a) Centrice: AA = radijalna ravnina; BB = valvalna ravnina. b) Penatne diijatomeje: AA = apikalna ravnina; BB = valvalna ravnina; CC = transapikalna ravnina.

#### 1.4.1. Klasifikacija ekoloških stanja vodnih tijela

Države članice EU dužne su napraviti procjenu ekološkog stanja svih vodnih tijela prema odredbama Okvirne Direktive o vodama (2000/60/EZ). Klasifikacija ekoloških stanja vodnih tijela mjeri kvalitetu strukture i funkcija ekosustava te se izrađuje na temelju bioloških, hidromorfoloških i fizikalno-kemijskih elemenata. Biološkim elementima pripada gustoća i raznolikost vodenih organizama, a s obzirom na njih klasifikacija ekoloških stanja vodnih tijela dijeli se u pet klasifikacijskih kategorija (visok, dobar, srednji, nizak i loš status) (Priručnik o načinu određivanja statusa voda i provedbi monitoringa). Klasifikacija ekološkog stanja tekućica prema Okvirnoj Direktivi o vodama (2000/60/EZ) prikazana je u Tablici 1. Obzirom na kemijske čimbenike i diijatomejski

sastav fitobentosa u Hrvatskoj koriste se tri nezavisna multimetrička dijatomejska indeksa: trofički indeks – TID<sub>HR</sub>, IPS indeks, SI<sub>HR</sub>- indeks organskog opterećenja te nedijatomejski indeks – NeD (Plenković-Moraj i dr., 2009).

*Tablica 1. Klasifikacija ekološkog stanja prema Okvirnoj Direktivi o vodama (ODV)*

Kategorije ekološkog stanja	Boja
Vrlo dobro	Plava
Dobro	Zelena
Umjereno	Žuta
Loše	Narančasta
Vrlo loše	Crvena

#### 1.4.2. Alge kremenjašice kao dio podzemlja

Špiljski ekosustav je prirodno siromašan organskim tvarima i svjetlošću koja je neophodna za razvoj bogatih staništa kakve poznajemo na površini. Uređenjem špilja i otvaranjem istih za turiste uvode se promjene u podzemni okoliš. Uvođenjem rasvjetnih tijela razvija se lampenflora koja producira izvanstanične polimerske supstance sačinjene od polisaharida, proteina, lipida i nukleinskih kiselina. Pomoću tih supstanci mikroorganizmi apsorbiraju iz supstrata katione i razložene organske molekule iz speleothema. Kada heterotrofni organizmi nasele takav biofilm otpuštaju nusprodukte metabolizma te uzrokuju koroziju mineralne površine. Dijatomeje koje nastanjuju ova područja su generalno aerofili i kozmopoliti (Falasco i dr., 2014). Također okarakterizirane su kao male, otporne na isušivanje, tolerantne na nisku razinu nutrijenata i visoki konduktivitet te sa specifičnim preferencama za pH (Johansen, 1999). Iako su u špiljama diljem svijeta pronađene troglobilne vrste nije pronađen niti jedan troglobiont (Hoffmann, 2002).

#### 1.5. Ciljevi istraživanja

Cilj istraživanja ovog rada je ustanoviti ima li turizam potencijalno značajan utjecaj na špiljsku mikroklimu Gornje Baraćeve špilje.

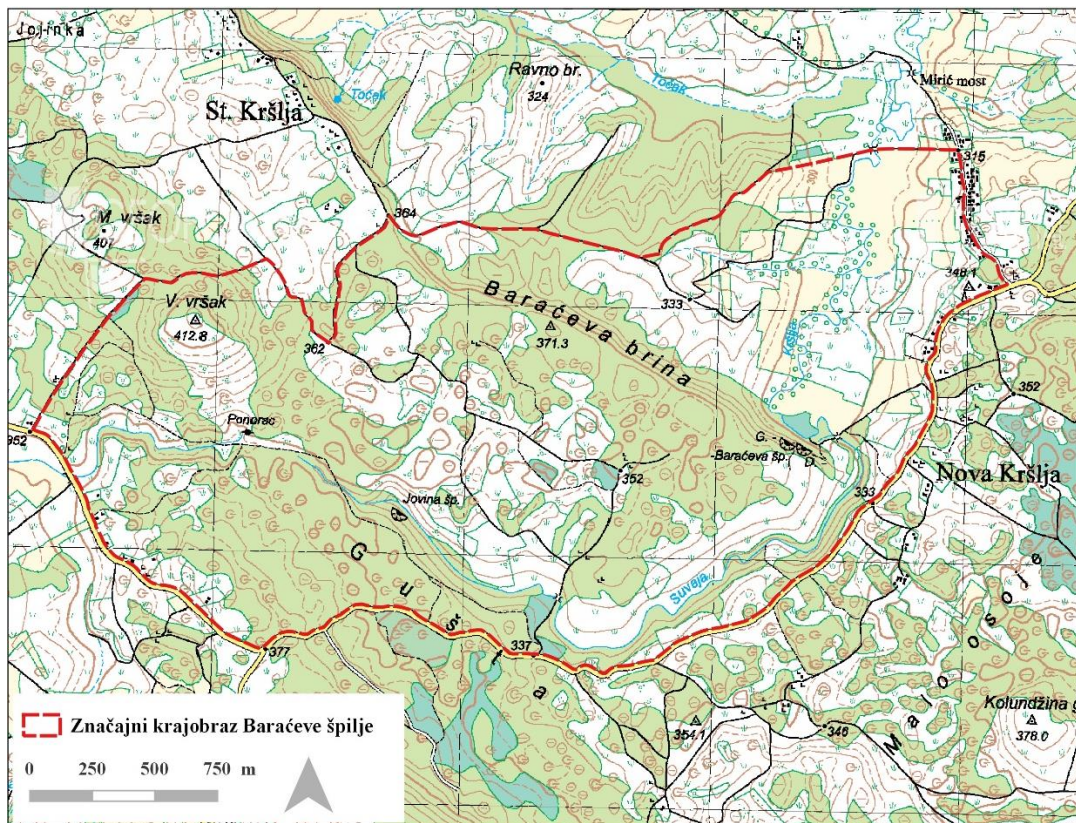
Specifični ciljevi istraživanja su:

- praćenje mikroklimatskih parametara temperature i relativne vlažnosti zraka u špilji;
- procenjivanje kategorije ekološkog stanja vode izvora Baraćevac;
- utvrđivanje polazišne točke za fizikalno-kemijske parametre vode prokapnice i izvorišne vode za daljnja istraživanja;
- praćenje koncentracije ugljikova dioksida u špiljskom zraku kroz sezone i jednu turističku sezonu i
- determinacija dijetomejske zajednice invazivne lampenflore.

## 2. Područje istraživanja

### 2.1. Geografski položaj, geološka podloga i hidrografija područja

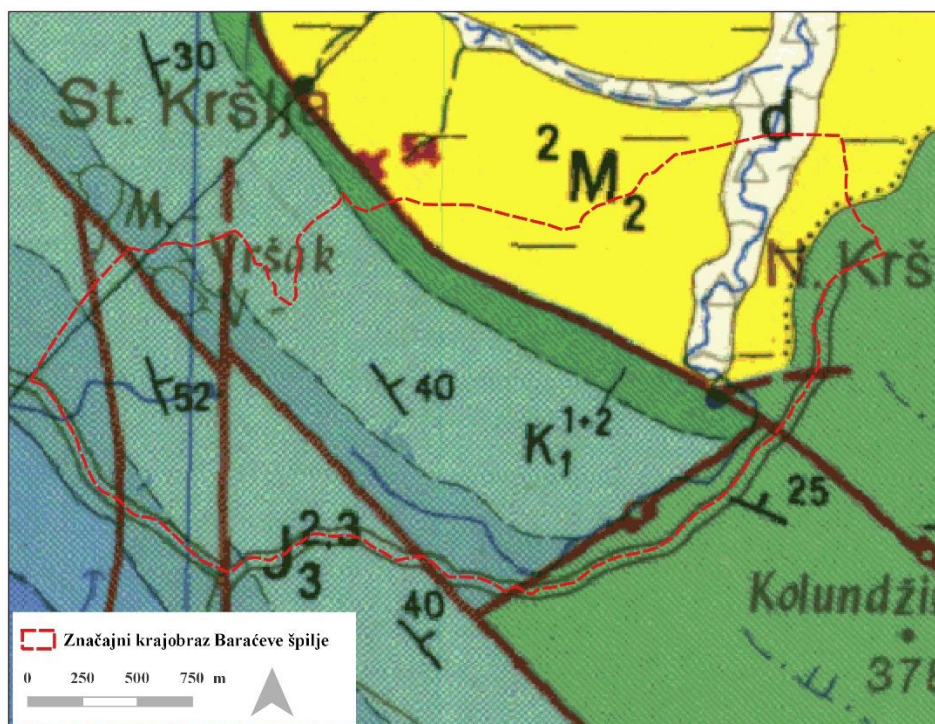
Baraćeve špilje pripadaju teritoriju Karlovačke županije, točnije općini Rakovica. Smještene su na istoku u blizini granice s Bosnom i Hercegovinom (Slika 2). Špilje se nalaze na visini od 295,5 do 331,5 m nad morem. Geomorfološki područje pripada Slunjskoj zaravni koja čini jugoistočni dio velike Unsko-koranske zaravni, koja pripada Dinarskom kršu.



*Slika 2. Topografska karta Baračevih špilja. Izdanje DGU, izvorno mjerilo 1:25000 HTRS96/TM. (Izvor: [www.geoportal.hr](http://www.geoportal.hr))*

Ovaj prostor odlikuje se isprekidanim tokovima, ponorima i izvorima od kojih je jedan i izvor Baračevac u podnožju Baračeve brine. Smatra se kako voda koja izvire na Baračevcu potječe od vode koja čini potok Suvaju, vode iz špilje Ponorac, vode koja dopijeva iz kratkih ponornica sjeverozapadno od izvora te vode koja se slobodno procjeđuje. Također, tu postoje i brojne suhe doline koje ukazuju na nekadašnje površinske tokove (Bočić, 2015).

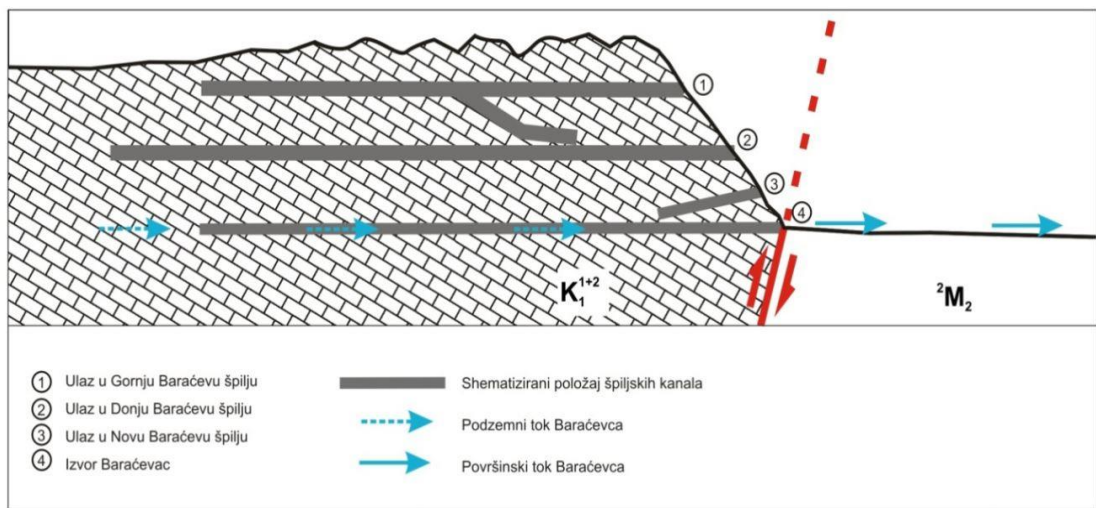
Sve četiri špilje nastale su u donjokrednim karbonatnim naslagama (Slika 3). Dominantne stijene koje ih čine su vapnenci i vapnenačke breče (Velić i Vlahović, 2009).



- Značajni krajobraz Baračeve špilje
- d-Deluvijum (holocen)
- M2/0/2-Vapnenci i vapnoviti lapori s interkalacijama tufova i ugljena
- K1/3-5-Vapnenci, laporoviti vapnenci, dolomiti i breče (barem)
- K1/1+2-Dolomiti, vapnenci i breče (valendis-otriv)
- J3/2,3-Dolomiti i pločasti vapnenci s rošnjacima (kimeridž-portland)
- J3/1,2-Dolomiti i vapnenci (oksford-kimeridž)
- J2-Vapnenci s ulošcima dolomita (doger)
- J1-Dolomiti i vapnenci (lijas)

*Slika 3. Geološka karta istraživanog područja Baračevih špilja (napravljena prema Polšak i dr., 1976, OGK; List Bihać, izvorno mjerilo 1:100 000)*

Izvor Baračevac nastao je na rasjedu na kontaktu donjokrednih vapnenaca i miocenskih nepropusnih naslaga sastavljenih od glinenih lapora, gline, pijeska i šljunka (Slika 4). Pretpostavlja se kako su provodnici, tektonskim izdizanjem južnog krila, bivali podizani na veće visine stoga je djelovanje vode stvorilo nove provodnike na nižim etažama. Tektonika i djelovanje vode zaslužni su za kronološko nastajanje špiljskih objekata počevši od najstarije Gornje Baračeve špilje pa do najmlađe Izvor špilje Baračevac.



*Slika 4. Shematski prikaz speleogeneze Baračevih špilja (Bočić, 2015)*

### 3. Dosadašnja istraživanja

#### 3.1. Speleološka i mikroklimatska istraživanja

Speleološka istraživanja Baračevih špilja najranije datiraju iz 19. stoljeća kad je obavljeno prvo znanstveno istraživanje pod vodstvom dr. Mije Kišpatića (1884). 1892. godine uređene su Gornja i Donja Baračeva špilja i otvorene za javnost u svrhu turizma. Uslijedila su brojna istraživanja koja su rezultirala speleološkim nacrtima špilja te je u konačnici izmjerena duljina Gornje Baračeve špilje u iznosu od 520 m, Donje Baračeve 565 m, Nove Baračeve 94,5 m te Izvor špilje Baračevac 450 m (Kovačević, 2004). 2014. godine započet je mikroklimatski monitoring temperature i relativne vlažnosti zraka (Bočić i Buzjak, 2017) i monitoring plina radona u Gornjoj Baračevoj špilji. Proveden je i monitoring procjedne vode, koji je korišten za izotopska istraživanja u Donjoj i Gornjoj Baračevoj špilji (Czuppon i dr., 2018).

#### 3.2. Paleontološka i arheološka istraživanja

Krajem 19. stoljeća nađeni su ostaci špiljskog medvjeda u Gornjoj Baračevoj špilji (Kišpatić, 1884) te su započeta paleontološka i arheološka iskapanja (Malez, 1978; Balen i Mihalić, 2005). Tijekom iskapanja u 2013. i 2015. godini pronađeni su pleistocenski ostaci špiljskih lavova (*Panthera spelaea* (Goldfuss, 1810)), medvjeda (*Ursus spelaeus* (Rosenmüller, 1794)) i drugih vrsta (Miculinić i Cvitanović, 2016). Takvi paleontološki nalazi čine špiljski objekt interesantnim s aspekta turističkog posjećivanja.

#### 3.3. Geološka i geomorfološka istraživanja

Za uže područje Baračevih špilja objavljeno je malo geoznanstvenih istraživanja. Geološki temelj i najdetaljniji prikaz geološke građe terena je list Bihać koji pripada Osnovnoj geološkoj karti (1:100000). Uz list, pobliže objašnjena geološka građa nalazi se u istoimenom tumaču (Polšak i dr., 1976). Novija geomorfološka istraživanja na širem području Slunjske zaravni provodi Bočić (2009) kao i geomorfološko i geospeleološko vrednovanje samih špilja te okolnog područja (Bočić, 2015).

### 3.4. Biološka istraživanja

Najstarije poznato biospeleološko istraživanje provedeno je 1907. godine kada je pronađena vrsta špiljskog podzemljara *Parapropus sericeus* (Schmidt, 1852) (Kovačević, 2003). Kasnije je utvrđeno da je riječ o novoj podvrsti *Parapropus sericeus* ssp. *sinuaticollis* (Absolon i Maran, 1943), čijim su otkrićem Baraćeve špilje postale tipski lokalitet. U prednjem dijelu Gornje Baraćeve špilje pronađene vrste su troglofilni i sezonski troglokseni. Oni su nađeni u najvećem broju na guanu i humusu nastalom od unesenog lišća. Troglobionti nastanjuju područja dalje od ulaza gdje vladaju stabilniji uvjeti. Tijekom istraživanja pronađeni su predstavnici lažištupavaca (Pseudoscorpiones), grinja (Acari), pauka (Aranae), jednakonožnih kopnenih rakušaca (Isopoda), skokuna (Collembola), dvorepaca (Diplura), kornjaša (Coleoptera), ravnokrilaca (Orthoptera), tulara (Trichoptera), leptira (Lepidoptera), puževa (Gastropoda) i šišmiša (Chiroptera) (Kovačević, 2003).

U Gornjoj Baraćevoj špilji nisu provedena biološka istraživanja lampenflore. Albertano i dr. (2003) ukazali su na to da u osvijetljenim podzemnim staništima cijanobakterije, dijatomeje i zelene alge koloniziraju osvijetljene zidove posljedično stvarajući estetsku, fizičku i kemijsku štetu. Također, dokazano je kako su karakteristike biofilma ovisne o količini svjetlosti. Blizu špiljskog ulaza debljina biofilma je najveća te zauzima jedinstven volumen s dijatomejama na vrhu, dok se udaljavanjem od ulaza debljina smanjuje, a struktura zauzima male grupacije. Otkriveno je da i na raznolikost dijatomejske zajednice lampenflore osim svjetlosti, temperature i vlage, utječe i kemijski sastav stijena. (Hernández-Mariné i dr., 2003; Roldán i Hernández-Mariné, 2009; Zammit i dr., 2011).

Falasco i dr. (2014) su prikupljanjem dotadašnjih istraživanja, donijeli zaključak kako su najčešće vrste koje nastanjuju podzemne ekosustave (poredane po učestalosti pojavljivanja): *Hantzschia amphioxys*, *Diademsis contenta*, *Orthoseira roeseana*, *Luticola nivalis*, *Pinnularia borealis*, *Diademsis biceps* i *Luticola mutica*. Slovensko istraživanje algalnog pokrova u špilji Račiške ponikve daje rezultate o nekoliko pronađenih dijatomejskih vrsta (Mulec i Kosi, 2008). Praćenje lampenflore u Hrvatskoj zastupljeno je u špilji Veternici (Baković, 2016).

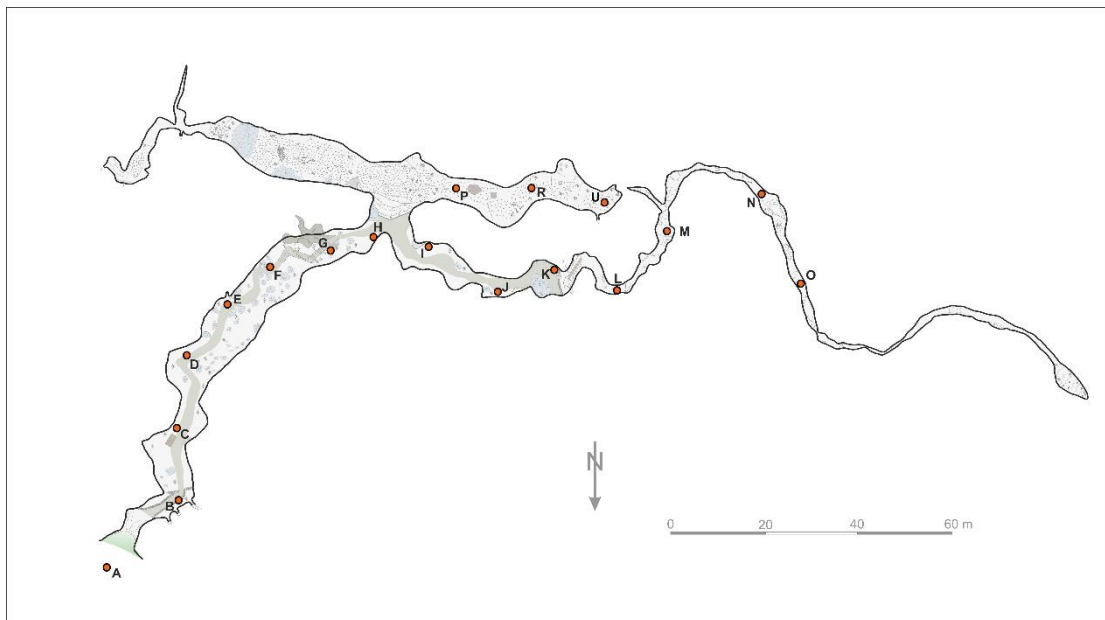


## 4. Materijali i metode

### 4.1. Mikroklimatski monitoring

#### 4.1.1. *In-situ* mjerenje mikroklimatskih parametara

Unutar speleološkog objekta Gornja Baračeva špilja provedena su četiri terenska istraživanja kroz razdoblje od deset mjeseci. Prilikom svakog terenskog rada pomoću terenskog instrumenta Psense CO<sub>2</sub> meter AZ-0018 mjereni su sljedeći parametri: temperatura zraka (T), relativna vlažnost (RH) i koncentracija ugljikovog dioksida u zraku (CO<sub>2</sub>). Spomenuta mjerenja provedena su na osamnaest točaka jednoliko raspoređenih unutar objekta s početnom točkom ispred ulaza (točka A) i završnim na kraju glavnog kanala (točka O) te na kraju drugog kanala-Baračeve avenije (točka U) (Slika 5).



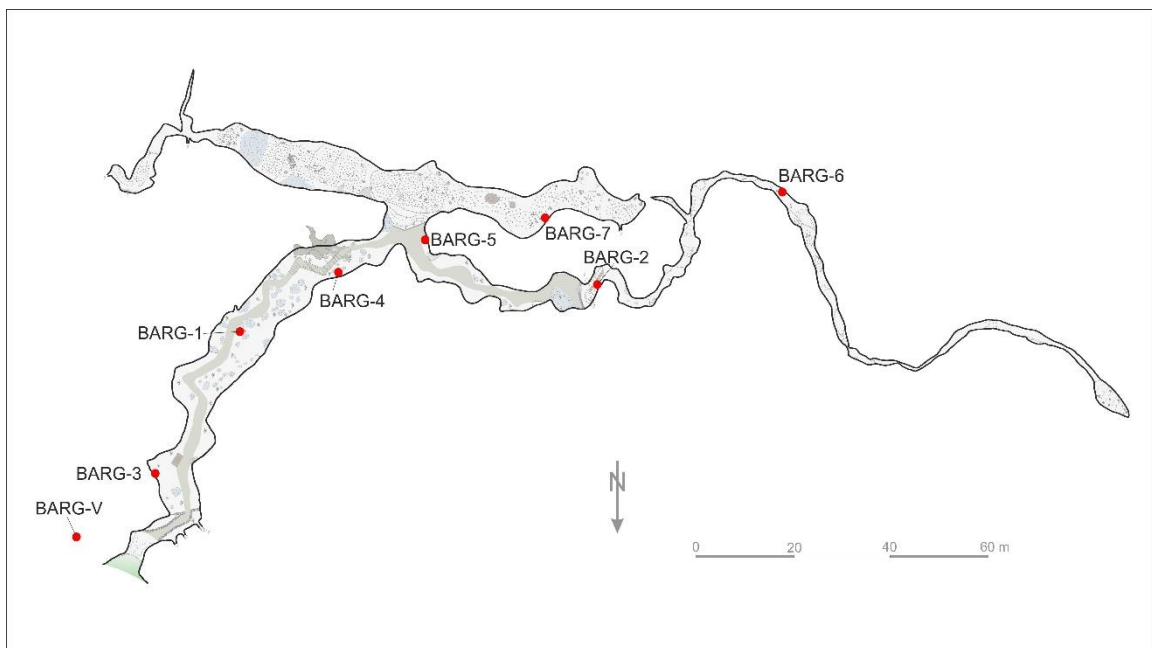
**Slika 5.** Lokacije mjerenja temperature (°C) i RH (%) zraka te koncentracije CO<sub>2</sub> (ppm) u Gornjoj Baračevoj špilji

Mjerenje je provedeno tako što bi se prethodno kalibrirani uređaj uspravno postavio na špiljski pod. Kroz nekoliko minuta, nakon što bi vrijednosti parametara na uređaju postale stabilne, bilježile su se u terenski dnevnik. Obično se mjerenje provodilo od ulaza u špilju do krajnjih točaka. Izuzetak je dvostruko mjerenje u srpnju kad je objekt bio otvoren za turističke posjete. Prvo mjerenje provedeno je od smjera ulaza prema krajnjim točkama, a drugo obrnuto. Drugo mjerenje se provodilo samo u dijelu špilje kojim prolazi turistička staza (A-K). Treba napomenuti kako je pri početku prvog mjerenja (od točke A) grupa

turista izašla iz objekta. Pri početku drugog mjerenja (od točke K) druga grupa turista nalazila se na točki K, gdje se zadržala nekoliko minuta. Prilikom drugog mjerenja podataka na točkama J, G, F i D zabilježen je prolazak turističke grupe. Za analizu podataka i crtanje grafičkih prikaza korišten je alat MS Excel.

#### 4.1.2. Postavljanje memorijskih termohigrografa

Mjesečni meteorološki podatci uzeti su za meteorološku postaju Slunj (2008-2018), koja je udaljena oko 17,5 km od špilja. Kako bi se zabilježili temeljni mikroklimatski uvjeti prilikom prvog terenskog rada postavljena su tri memorijska termohigrografa Data loggeri modela PRO-V2 U23-001. Ranije su postavljena četiri takva uređaja te jedan vanjski blizu ulaza u samu špilju (Slika 6). Kako bi se ustanovilo uzrokuju li turistički posjeti promjene mikroklimatskih parametara za usporedbu su korišteni podatci s dvije postaje BARD-1 i BARD-2 smještene u Donjoj Baraćevoj špilji.



*Slika 6. Lokacije mjernih instrumenata data loggera u Gornjoj Baraćevoj špilji*

Uređaji sadrže ugrađene senzore za mjerenje relativne vlažnosti i temperature zraka. Loggeri BAR-V, BARG-1,2 i BARD-1,2 programirani su tako da zabilježe vrijednosti oba parametra svakih sat vremena i potom ih pohrane u memoriju. Ostali uređaji su mjerili parametre svakih 15 min. Podatci za relativnu vlažnost zraka izraženi su u % čija točnost iznosi  $RH(\pm 2,5\%)$ , a za temperaturu zraka u  $^{\circ}C$   $T(\pm 0,21^{\circ}C)$ . Memorijski termohigrografi

postavljeni su na visinu od približno jednog do dva metra. Između zida i loggера postavljen je limeni poklopac kako bi se spriječio direktan kontakt podloge i uređaja (Slika 7).



*Slika 7. Memorijski termohigrograf postavljen na zid špilje*

*(autor: Lorena Selak)*

Zbog ograničenog kapaciteta baterije određenih loggера dobivene vrijednosti T i RH mjerene su u različitim periodima (Tablica 2). Loggeri BARG-3-7 bilježili su temperaturu i RH svakih 15 min i zbog tog su ograničeni kapacitetom memorije.

**Tablica 2.** Lokacije s pripadajućim periodom u kojem su mjereni parametri te broj mjerenja (N)

Lokacija	Vrijeme mjerenja	N
BAR-V	15.7.17.-23.7.18.	8970
BARG-1	15.7.17.-13.6.18.	8002
BARG-2	15.7.17.-17.1.18.	4483
BARG-3	8.4.18.-16.11.18.	21308
BARG-4	8.4.18.-16.11.18.	21308
BARG-5	8.4.18.-16.11.18.	21308
BARG-6	8.4.18.-16.11.18.	21308
BARG-7	8.4.18.-16.11.18.	21308
BARD-1	15.7.17.-28.10.17.	2539
BARD-2	15.7.17.-28.10.17.	2529

#### 4.1.3. Prikupljanje podataka i daljnja analiza

Programiranje i kalibriranje instrumenata te preuzimanje podataka obavljeno je pomoću programa HOBOWare tvrtke Onset. Za analizu i prikaz podataka korišten je alat MS Excel. Izmjereni podatci korišteni su za izračun osnovnih statističkih veličina (Tablica 3). Tumačenje vrijednosti koeficijenta varijacija ( $V$ ) i koeficijenta kvartilne devijacije ( $V_Q$ ) prikazano je u Tablici 4.

*Tablica 3. Korišteni statistički pokazatelji*

<b>Pokazatelj</b>	<b>Opis</b>
min	najniža očitana vrijednost
max	najviša očitana vrijednost
median	vrijednost koja se nalazi točno na polovici niza podataka
raspon	razlika vrijednosti max i min
prosjek	izračunava se kao aritmetička sredina svih očitanih vrijednosti
st dev	standardna devijacija - prosječno odstupanje od prosjeka
$V$	koeficijent varijacije - omjer standardne devijacije i prosjeka (%)
Q1	prvi kvartil - vrijednost od kojega je 25% podataka manje ili je njemu jednako
Q3	treći kvartil - vrijednost od kojega je 75% podataka manje ili je njemu jednako
$I_Q$	interkvartil - razlika između vrijednosti Q1 i Q3
$V_Q$	koeficijent kvartilne devijacije

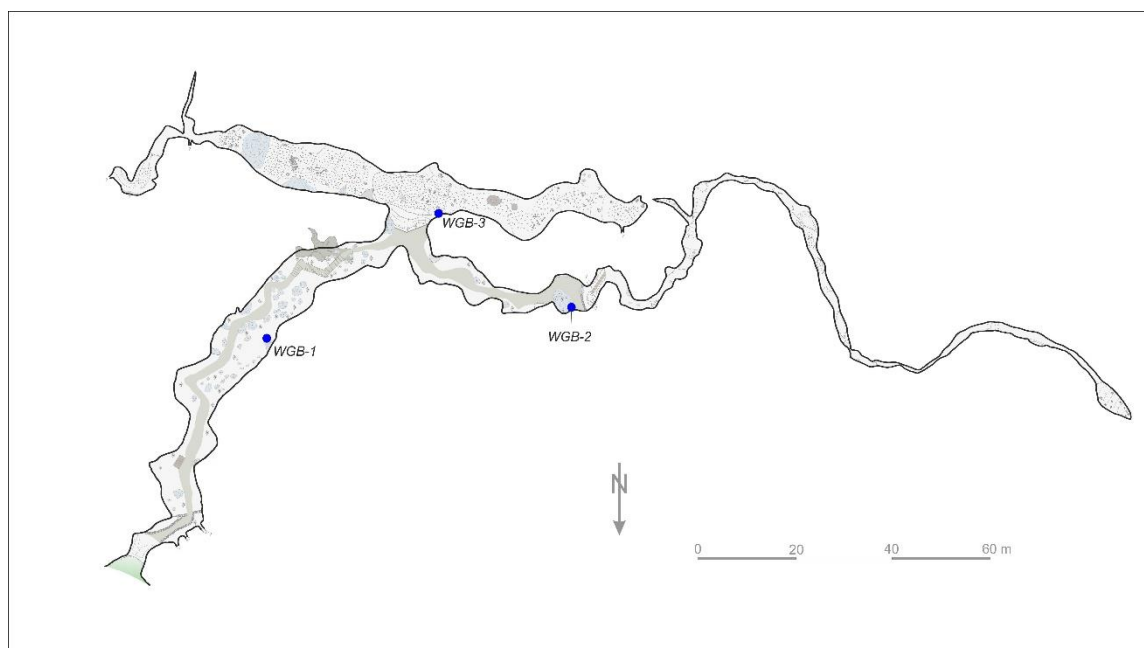
*Tablica 4. Tumač intenziteta varijabilnosti  $V$  i  $V_Q$  (Izvor: Bočić i Buzjak, 2017)*

<b><math>V</math> (%)</b>	<b>Varijabilnost</b>	<b><math>V_Q</math></b>	<b>Varijabilnost</b>
0-10	vrlo slaba	0-0,1	vrlo slaba
10-30	relativno slaba	0,1-0,2	relativno slaba
30-50	umjerena	0,2-0,3	umjerena
50-70	relativno jaka	0,3-0,5	relativno jaka
>70	vrlo jaka	0,5-1	vrlo jaka

#### 4.2. Prikupljanje i analiza uzoraka vode prokapske i izvorske vode

Prije uzorkovanja vode prokapske i izvorske vode mjerena je temperatura vode i pH vrijednost pomoću instrumenta HI98129 Combo. Točke uzorkovanja vode prokapske označene su kraticom WGB (Slika 8). Voda prokapska prikupljala se prilikom terenskog rada na dva mjesta unutar špilje gdje su formirane male lokve. Voda na postaji WGB-1 korištena je samo pri terenskom mjerenju T i pH te ta voda nije korištena u fizikalno-kemijskim analizama. Razina vode u lokvama se mijenjala kroz mjesec. Zbog presušivanja lokve terenska mjerenja za uzorak WGB-1 obavljena su samo u travnju. Razina vode u srpnju u lokvama WGB-2 i 3 bila je znatno niža od one travnju. U studenom

nije prikupljen ni jedan od uzoraka jer su sve lokvice bile presušene. Uz vodu prokapnicu na isti način je uzorkovana i voda na izvoru Baračevac. Uzorci vode prikupljeni su u prethodno označene čiste polietilenske bočice i držani na niskoj temperaturi. Ubrzo nakon toga analizirani su multiparametarskim mjeracem (fotometrom za industriju: HI83200-02) tvrtke HANNA instruments. Provedene su analize koncentracije nitrata, fosfata i otopljenog kisika, alkaliniteta i pH vrijednosti. Kemijska analiza vode provođena je prema uputama dobivenim uz fotometar odnosno prilagođenim standardnim metodama određivanja navedenih parametara.

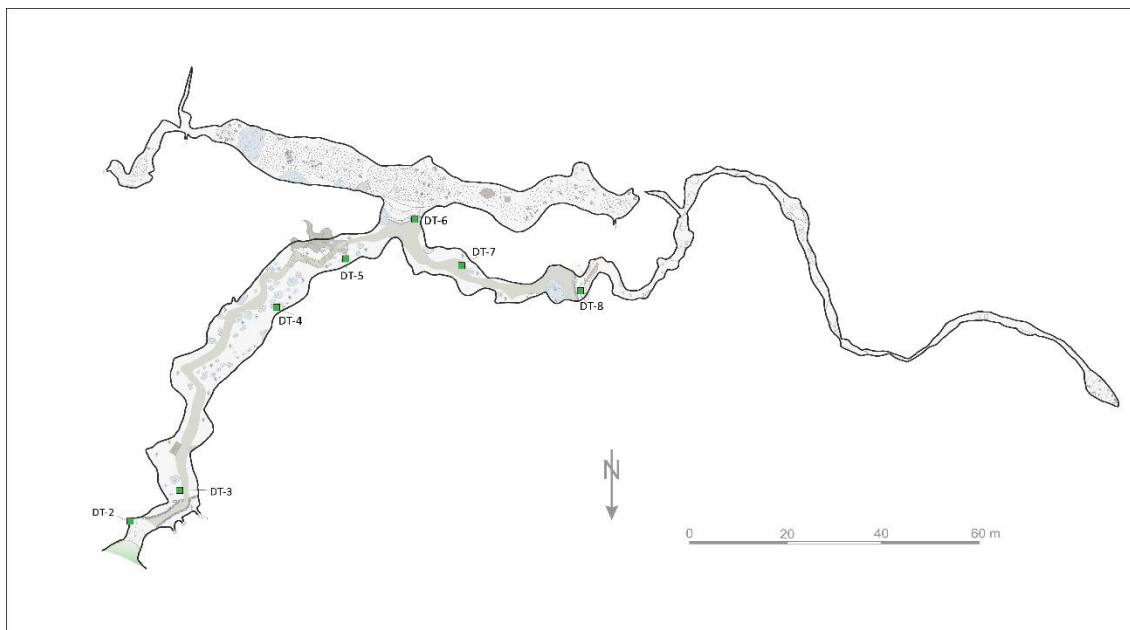


*Slika 8. Lokacije uzorkovane vode u Gornjoj Baračevoj špilji*

### 4.3. Dijatomeje

#### 4.3.1. Prikupljanje uzoraka fitobentosa i lampenflore

Uzorci fitobentosa na izvoru Baračevac i lampenflore u Gornjoj Baračevoj špilji prikupljeni su u travnju i srpnju. Načelo "uzorkovanja jednog mikrostaništa" provodilo se pri uzorkovanju fitobentosa. Prikupljena su tri potopljena kamena koja su izgledom odgovarala kao reprezentativno mikrostanište izvorskog dna te je sa svakog ostrugana površina veličine dva kvadratna centimetra. Taj uzorak obilježen je kraticom DT-1. Za struganje se koristio skalpel, a uzorci su spremni u označene bočice s 94% etanolom. Točke na kojima je uzorkovana lampenflora jednoliko su raspoređene duž špilje (Slika 9).



*Slika 9. Prikaz lokacija na kojima su prikupljeni uzorci lampenflore*

Prilikom uzorkovanja lampenflore birana su vlažna mjesta, obasjana rasvjetom, a struganje i konzerviranje uzoraka vršilo se na isti način kao na izvoru. Postaja DT-2 razlikuje se od ostalih špiljskih postaja po tome što do nje još uvijek dopire određena količina dnevnog svjetla. Najveća količina lampenflore zabilježena je na točki DT3 nedaleko od špiljskog ulaza dok na ostalim lokacijama zauzima znatno manju površinu (Slika 10). Detaljan opis postaja prikazan je u Tablici 5.



*Slika 10. Prikupljanje uzoraka lampenflore na točki DT-3 u Gornjoj Baraćevoj špilji.*

*(autor: Hrvoje Cvitanović)*

*Tablica 5. Detaljan opis lokacija gdje su uzimani uzorci obraštaja*

Mjesto uzorkovanja	Lokacija	Opis
DT-1	Izvor Baraćevac	zeleni obraštaj, uzet uzorak sa tri reprezentativna kamena
DT-2	Gornja Baraćeva špilja	zeleni obraštaj uzet na ulazu u špilju, izložen danjom svjetlosti, dio gdje voda klizi niz bočnu stjenku špilje
DT-3	Gornja Baraćeva špilja	zeleni obraštaj, nastao oko lampe/lampenflora
DT-4	Gornja Baraćeva špilja	zeleni oskudniji obraštaj, nastao oko lampe/lampenflora
DT-5	Gornja Baraćeva špilja	crni oskudniji obraštaj, nastao dalje od direktnog svjetla lampe, na djelu gdje teče prokapnica
DT-6	Gornja Baraćeva špilja	zeleni oskudniji obraštaj, nastao kod lampe/lampenflora, u lokvici vode prokapnice
DT-7	Gornja Baraćeva špilja	zeleni obraštaj, nastao oko lampe/lampenflora
DT-8	Gornja Baraćeva špilja	zeleni obraštaj, nastao oko lampe/lampenflora

#### 4.3.2. Priprema i čišćenje uzorka

U laboratoriju prikupljeni uzorci su prebačeni u plastične epruvete i nadolijevani destiliranom vodom. Metodom kalijevog permanganata uklonjena je organska tvar iz

uzoraka. U svaku epruvetu dodan je 1mL  $KMNO_4$  i ostavljen 24 h. Kako bi se iz uzorka mogla ukloniti anorganska tvar korištena je 37% klorovodična kiselina koja je u digestoru dodavana uzorcima u volumenu od 2 mL. Potom su epruvete kuhane 45 min u vodenoj kupelji dok uzorak nije dobio žućkastu boju. Nakon hlađenja se na dnu mogao primijetiti sloj očišćenih dijatomeja. Zatim se vršilo ispiranje destiliranom vodom tako što je u uzorak nadolijevan onaj volumen vode koji je bio potreban kako bi se epruveta napunila do vrha. Uzorak je centrifugiran 2 min na 2000 okretaja, a potom je supernatant usisavan vakuum sisaljkom priključenom na vodu. Postupak je ponavljan, pri čemu je lakmus papirom provjeravana pH vrijednost. Kada je izmjerena pH vrijednost bila otprilike neutralna, uzorak se mogao koristiti za fiksaciju.

#### 4.3.3. Fiksiranje uzorka

Nekoliko kapljica prethodno očišćenog uzorka stavljeno je u čašu i u svaku je potom nadodano malo destilirane vode. Tako razrijeđeni uzorak stavljan je na pokrovnice i ostavljan 24 h kako bi se osušio. Nakon toga je na predmetnice stavljana po kap Nafraxa na koju je prilonjena pokrovnica s osušenim uzorkom. Tako pripremljena predmetnica zagrijavala se na grijaćoj ploči u digestoru. Kada se Nafrax jednoliko rasporedio bez mjehurića, uzorak je uklonjen s ploče i fiksiran.

#### 4.3.4. Mikroskopske analize i određivanje vrsta algi kremenjašica

Determinacija vrsta algi kremenjašica odrađena je na svjetlosnom mikroskopu (Olympus BX51, Olympus Corporation, Japan) uz povećanje od 1000x i upotrebu faznog kontrasta. Pri određivanju vrsta korištene su tri morfometrijske varijable: dužina i širina valvi te gustoća strija koja se definira kao broj strija unutar 10  $\mu\text{m}$ . Također, zapažane su razlike u morfologiji samih frustula. Za determinaciju rodova i vrsta korištena je relevantna taksonomska literatura: Lange-Bertalot (2013). Za morfometrijska mjerenja i fotografije korišten je program AxioVision LE 4.8.2. U uzorku izvorske vode iz srpnja prebrojano je 400 stanica u 6 transekata. Uzorak iz travnja sadržavao je mali broj jedinki stoga je u čitavom uzorku prebrojano 295 stanica.



#### 4.3.5. Analiza podataka

Za procjenu ekološkog stanja izvorske vode korišteni su saprobni i trofički indeksi dobiveni za determinirane vrste. Saprobnost je vrijednost koja ukazuje na količinu hranjivih tvari u vodenom tijelu. Definira se pomoću indikatorske težine i indikatorske vrijednosti dobivene za svaku dijatomejsku vrstu prema Hrvatskom indikatorskom sustavu (HRIS) (Princ Habdija i Kerovec, 2005). Indikatorska vrijednost odnosi se na osjetljivost, a indikatorska težina na tolerantnost vrste. Indikatorska vrijednost definira se u rasponu između 1 i 4 tako što je povećanje broja proporcionalno povišenju osjetljivosti vrste. Indikatorska težina nalazi se u rasponu vrijednosti od 1 do 3 gdje nižim vrijednostima pripadaju vrste sa širokim rasponom tolerancije, a višim one s uskim. Prema HRIS-u vrijednosti saprobnog indeksa podijeljene su u osam klasa kojima su pridružene klase ekološkog stanja (Tablica 6).

**Tablica 6.** Klasifikacija ekološkog stanja (ES) tekućica u RH temeljena na preporučenim graničnim vrijednostima  $SI_{HRIS}$  indeksa (Plenković-Moraj i dr., 2009).

Saprobnost	$SI_{HRIS}$
Katarobno	$\leq 1,70$
Oligosaprobnost	
$\alpha$ -mezosaprobnost	$\leq 2,20$
$\beta$ -mezosaprobnost	
$\beta$ - $\alpha$ mezosaprobnost	$\leq 2,70$
$\alpha$ -mezosaprobnost	
$\alpha$ -mezo-polisaprobnost	$\leq 3,20$
Polisaprobnost	$\leq 3,70$

Trofički indeks prikazuje opterećenje vodnog tijela hranjivim tvarima. Vrijednost ovog indeksa je također definirana pomoću indikatorske vrijednosti i indikatorske težine, a podijeljena je u osam klasa s obzirom na ekološko stanje (Tablica 7).

**Tablica 7.** Klasifikacija ekološkog stanja (ES) tekućica u RH temeljena na preporučenim graničnim vrijednostima trofičkog indeksa dijatomeja ( $TID_{RH}$ ) (Plenković-Moraj i dr., 2009).

Trofičko stanje	$TID_{RH}$
Oligotrofno	$\leq 2,400$
Umjereno mezotrofno	
Mezotrofno	$\leq 2,700$
Umjereno eutrofno	

Trofičko stanje	TID <sub>RH</sub>
Eutrofno	≤ 3,200
Umjereno politrofno	
Politrofno	≤ 3,400
Hipertrofno	≤ 3,401

Kako bi se oba indeksa mogla izračunati korištena je modificirana jednadžba Zelinka-Marwan (1961):

$$INDEX = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times IV_i \times IT_i}{\sum_{i=1}^n A_i \times IT_i}$$

$A_i$  = ukupan broj stanica/valvi neke vrste u uzorku

$IV_i$  = indikatorska vrijednost (osjetljivost) pojedine vrste

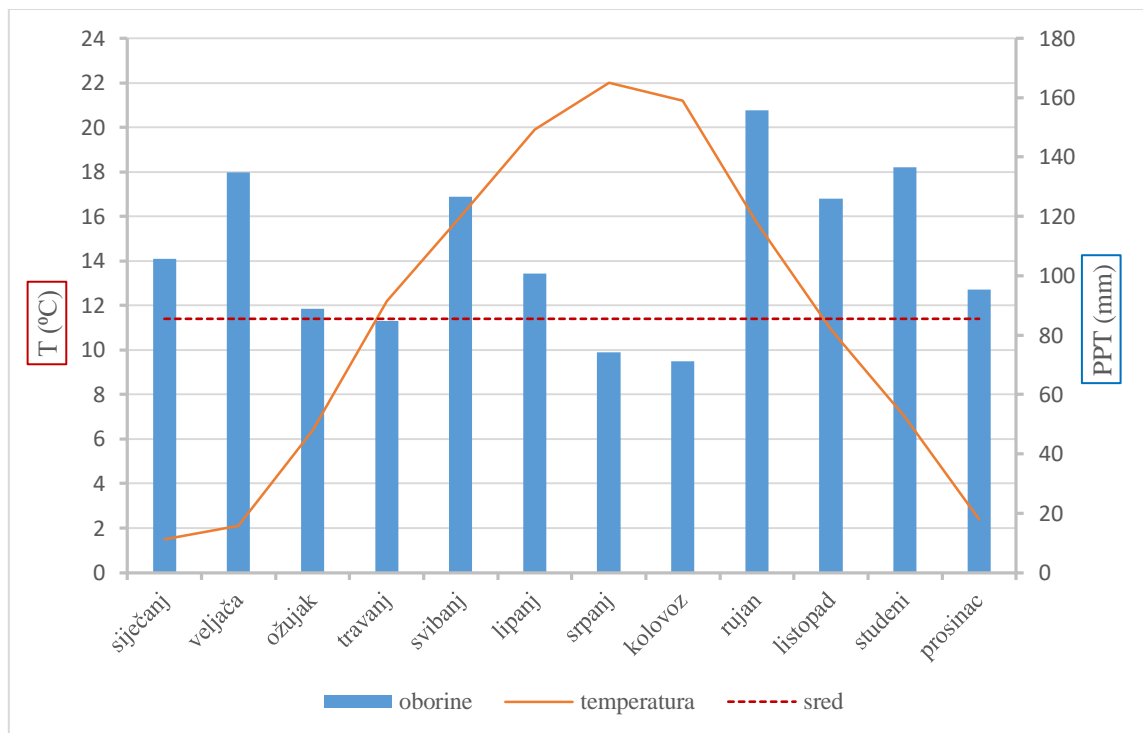
$IT_i$  = indikatorska težina (tolerantnost) pojedine vrste

Analiza podataka i izrada tablica vršena je pomoću alata MC Excel.

## 5. Rezultati

### 5.1. Klimatološki parametri

Područje u kojem se nalaze Baraćeve špilje obuhvaćeno je Cfb klimatološkim tipom kojeg karakterizira umjereno topla vlažna klima s toplim ljetom (Filipčić, 1998). Srednja godišnja količina padalina je 1309 mm (prema podacima 2008-2018). Mjesec s najviše padalina je rujan (155,7 mm), a s najmanje je kolovoz (71,2 mm). Količina padalina kroz godinu je otprilike jednolika zbog geografske pozicije postaje Slunj koja se nalazi između maritimnog i kontinentalnog pluviometričkog režima (Slika 11). Maksimumi padalina su u veljači, rujnu i studenom, a minimumi u srpnju i kolovozu. Srednja godišnja temperatura zraka je 11,4 °C (prema podacima 2008-2018). Mjesec s najnižom temperaturom zraka je siječanj (1,5 °C), a s najvišom temperaturom je srpanj (22 °C).



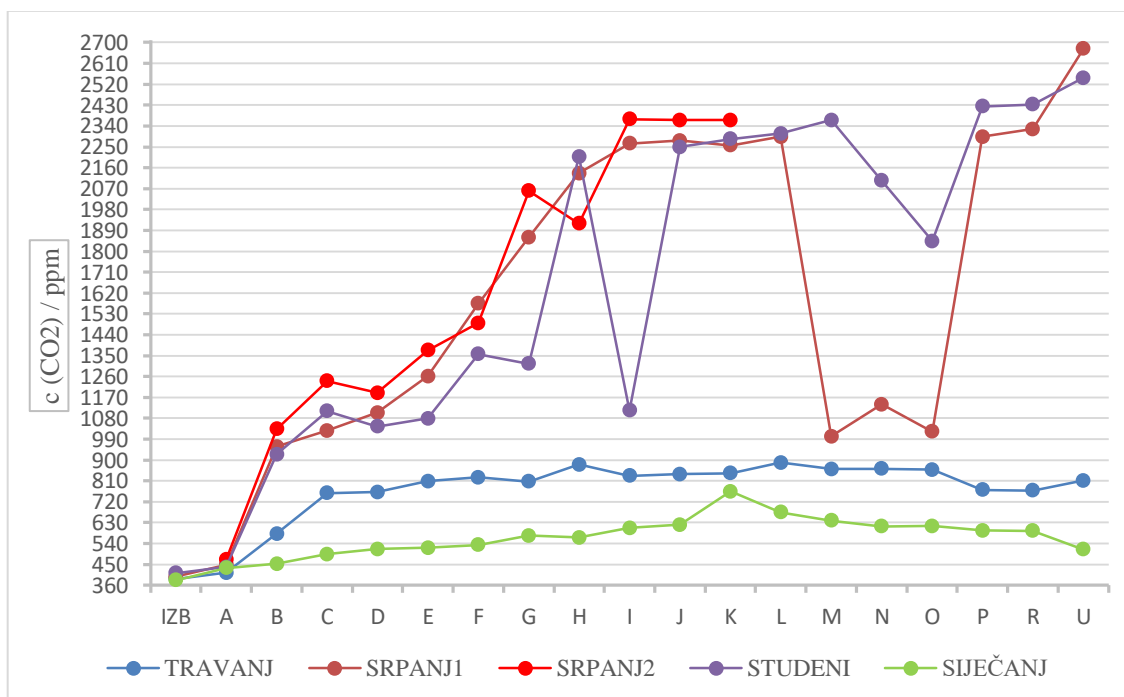
**Slika 11.** Promjena srednje mjesečne temperature zraka (°C) i padalina (mm) mjerena na postaji Slunj, u razdoblju 2008-2018. Srednja godišnja temperatura zraka (sred) prikazana je isprekidanom crtom.

(Izvor: Državni hidrometeorološki zavod)

## 5.2. Koncentracija ugljikova dioksida (ppm), temperatura zraka (°C) i relativna vlažnost (%)

### 5.2.1. Rezultati mjerenja koncentracije ugljikova dioksida (CO<sub>2</sub>) u zraku

Mjerenje sva tri parametra provodilo se istovremeno na svim lokacijama u špilji i na dvije lokacije izvan špilje. Najviše koncentracije CO<sub>2</sub> izmjerene su u srpnju i studenom. Najveća izmjerena koncentracija je u srpnju i iznosila je 2673 ppm (postaja U) (Slika 12). Usporedivši tu vrijednost i koncentraciju CO<sub>2</sub> u vanjskom zraku (postaja A) dobiva se najveća izmjerena razlika koja iznosi 2225 ppm. U travnju i siječnju zabilježene koncentracije su drastično smanjene. Kako bi se bolje razumjele izmjerene raspodjele koncentracije CO<sub>2</sub> u zraku, mjerene postaje su podijeljene u grupe. Točka IZB (izvor Baračevac) i točka A (ispred špiljskog ulaza) su referentna grupa na kojoj je mjerena vanjska koncentracija ugljikova dioksida. Točka A se razlikuje od točke IZB jer je dijelom pod utjecajem špiljskog zraka. Od točke B do točke K prolazi špiljska turistička staza. Treću skupinu formiraju točke od L do O koje nastavljaju glavnim kanalom, ali dijelom koji nije otvoren za turiste. Naposljetku četvrtoj grupi pripadaju točke od P do U koje se nalaze odvojeno od glavnog kanala, tj. dalje od turističke staze, ali bliže samoj površini.



**Slika 12.** Raspodjela koncentracije CO<sub>2</sub> u zraku od točke ulaska (A) do kraja špilje (O i U), provedena u četiri mjeseca i izražena u ppm

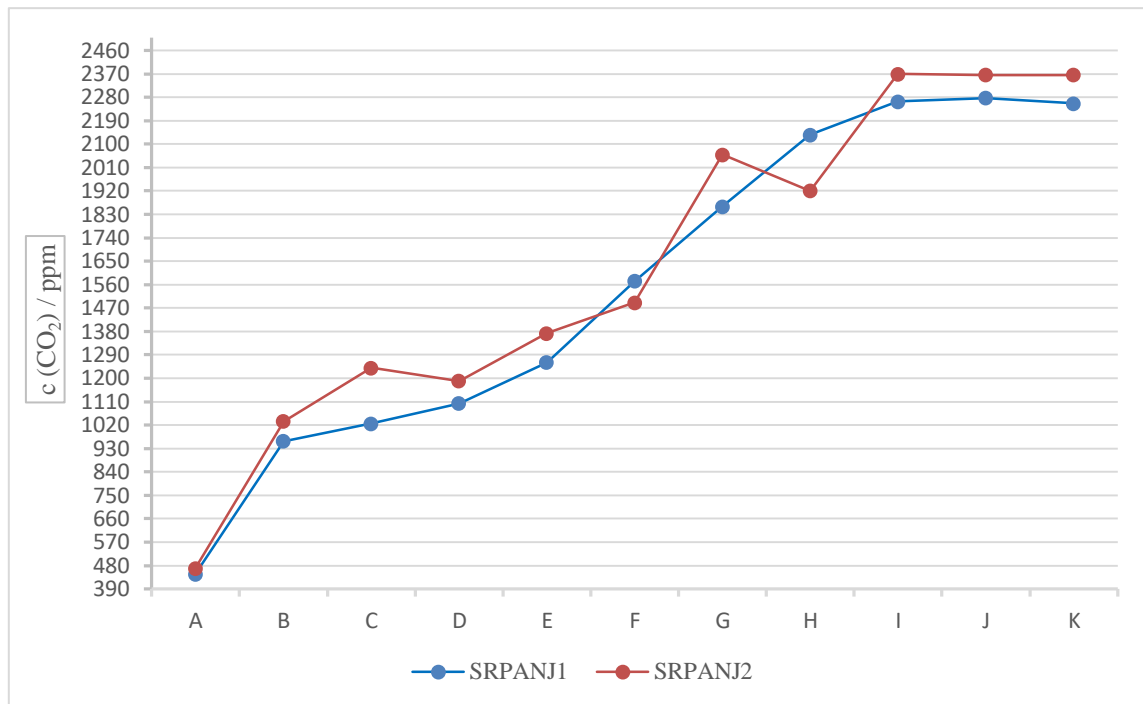
Obavljena mjerenja u prvoj skupini nisu pokazala velike oscilacije tijekom mjerenih mjeseci. Koncentracija CO<sub>2</sub> na točki IZB kretala se od 387 do 412 ppm kroz mjesece, dok se koncentracija na točki A kretala od 414 do 470 ppm.

Ulaskom u špilju raste trend koncentracije CO<sub>2</sub> unutar čitave druge grupe podataka. Taj trend zabilježen je u svim mjesecima. Najniža koncentracija CO<sub>2</sub> u svim mjesecima u špilji izmjerena je na točki B, zatim u točki C, D te tako redom do točke K.

Od točke L do točke O u travnju i siječnju progresivno se smanjivala koncentracija CO<sub>2</sub> idući od 888 ppm (L) do 858 ppm (O) u travnju, odnosno od 675 ppm (L) do 615 ppm (O) u siječnju. U srpnju koncentracija naglo pada s 2293 ppm (L) na 1002 ppm (M) te se održava otprilike na istoj razini do točke O. U studenom koncentracija CO<sub>2</sub> raste na točki L (2308 ppm), a znatnije pada tek u samoj točki O gdje iznosi 1844 ppm.

U trećoj skupini točaka (P-U) zabilježen je slijed porasta koncentracije CO<sub>2</sub> kroz točke u travnju, srpnju i studenom. U travnju razlika koncentracije CO<sub>2</sub> između točaka U i P iznosi 40 ppm (P – 771 ppm, U – 811 ppm), u srpnju 380 ppm (P – 2293 ppm, U – 2673 ppm) te u studenom 124 ppm (P – 2424 ppm, U – 2548 ppm). Zabilježene siječanjske vrijednosti pokazuju pad koncentracije s razlikom od 82 ppm (P – 596 ppm, U – 514 ppm).

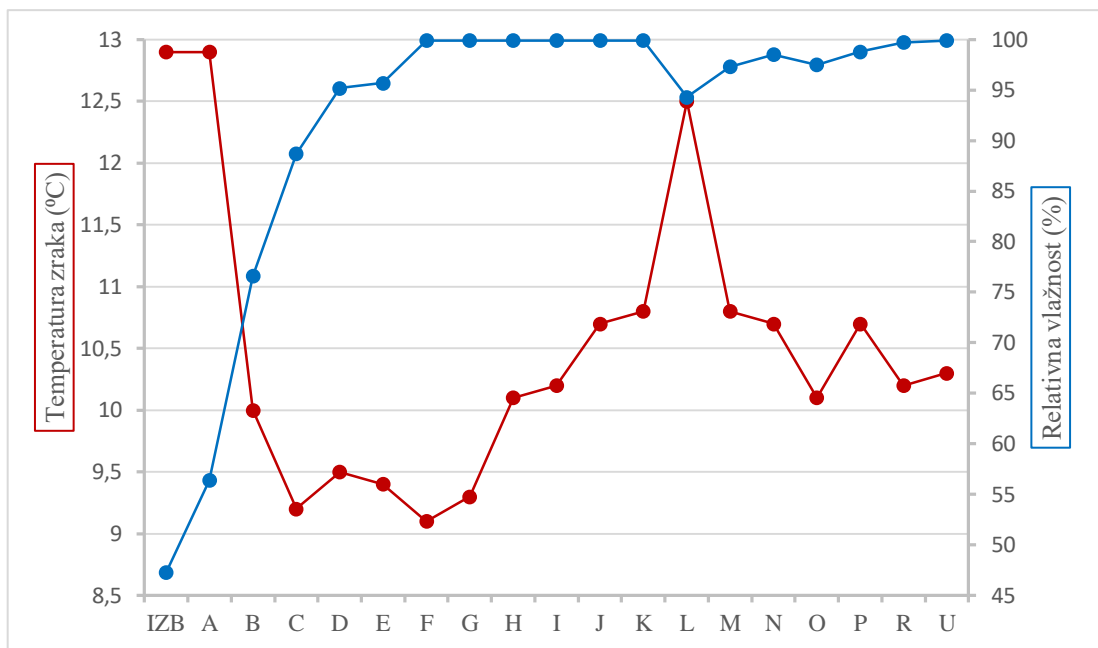
U srpnju je provedeno dvostruko mjerenje (A-K) kako bi se bolje proučio potencijalni utjecaj turista (Slika 13). Većina mjerenja pokazala je kako su veće koncentracije zabilježene u drugom mjerenju. Izuzetak čine mjerenja na točkama F i H. Valja napomenuti kako je prilikom mjerenja točke F prošla grupa turista. Oba mjerenja pokazuju trend rasta od početka prema kraju turističke staze. Najveća razlika u koncentraciji CO<sub>2</sub> između ta dva mjerenja je u točkama C, G, H i iznosi oko 200 ppm. Najveća razlika u koncentraciji CO<sub>2</sub> u odnosu na onu na ulazu (A) u prvom mjerenju iznosi 1829 ppm (J), a u drugom mjerenju 1900 ppm (I).



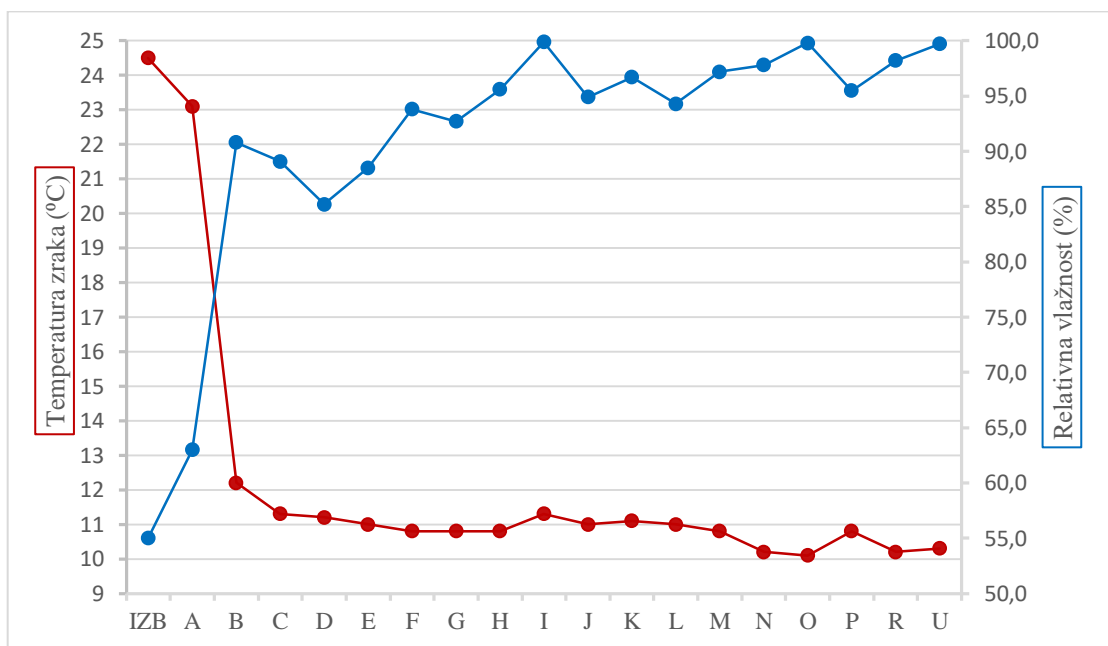
**Slika 13.** Raspodjela koncentracije  $CO_2$  u zraku od točke ulaska (A) do kraja turističkog dijela špilje (K). Mjerenje je obavljeno u srpnju i izraženo u ppm.

### 5.2.2. Rezultati mjerenja temperature zraka ( $^{\circ}C$ ) i relativne vlažnosti zraka (%)

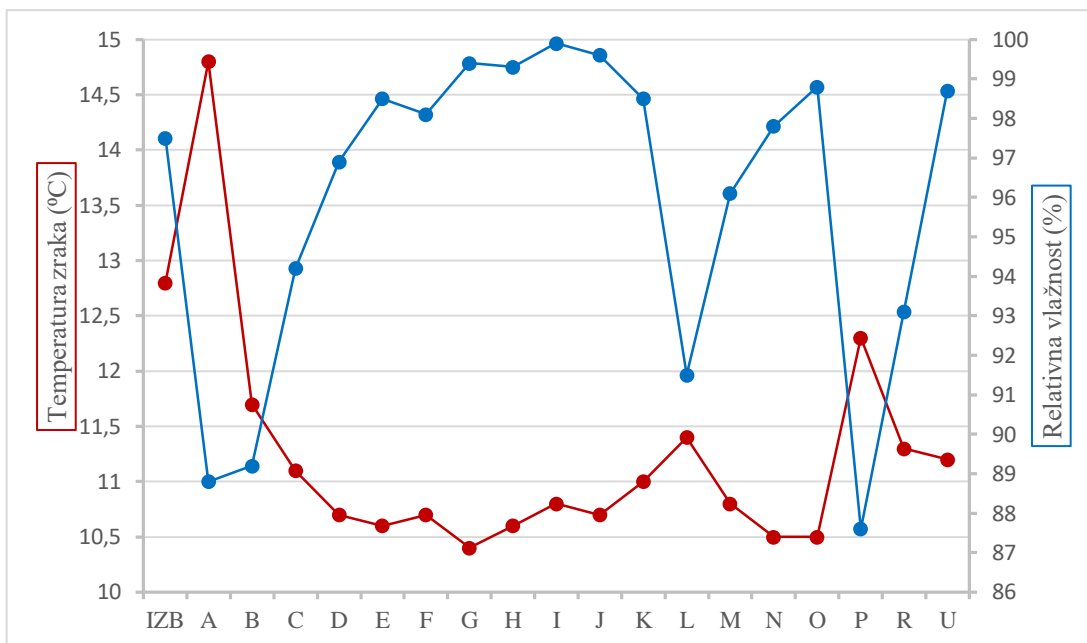
Rezultati mjerenja temperature i relativne vlažnosti zraka zbog svoje su povezanosti za svaki mjesec prikazane zajedno (Slike 14-17). Mjerenja su provedena na dva mjesta izvan špilje (IZB i A) gdje su zabilježene vanjske vrijednosti te na 17 točaka unutar špilje. Kao što je mjerenje koncentracije  $CO_2$  podijeljeno u skupine, isto je primijenjeno i za T zraka i RH. Najveće mjesečne promjene zabilježene su na vanjskim točkama gdje je najviša temperatura u srpnju (IZB) i iznosi  $24,5^{\circ}C$ , s RH  $55,0\%$ . U istom mjerenju na točki A zabilježena T zraka iznosi  $24,0^{\circ}C$ , a RH  $59,5\%$ . Najniža vanjska temperatura zraka je u siječnju i iznosi  $-0,3^{\circ}C$  (A) sa zabilježenom RH od  $95,6\%$ . Najniža RH zabilježena je u travnju na izvoru i iznosi  $47,3\%$ . Pritom je temperatura zraka na obje točke iznosila  $12,9^{\circ}C$ , a RH je na točki A iznosila  $56,4\%$ . Najviša vanjska RH ( $97,5\%$ ) izmjerena je kod izvora kada je T zraka iznosila  $12,8^{\circ}C$ . Najveća temperaturna razlika između ove dvije točke izmjerena je u studenom kada je T zraka na točki A bila viša za  $2^{\circ}C$  od one na točki IZB.



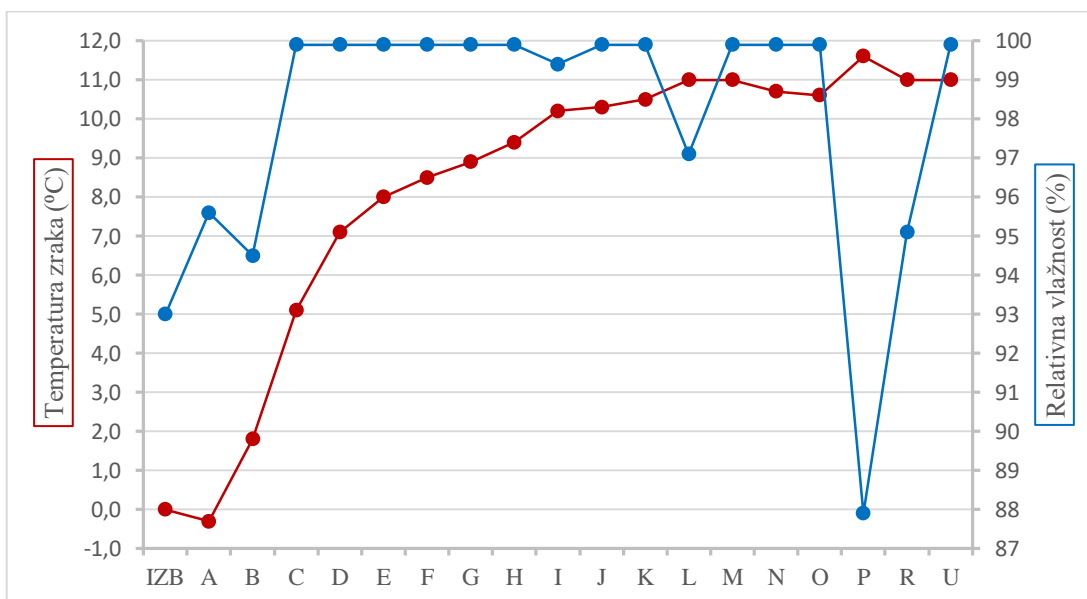
**Slika 14.** Odnos temperature (°C) i relativne vlažnosti zraka (%) mjerena u travnju na 19 točaka od kojih su 2 izvan (IZB, A), a ostale unutar špilje (B-U)



**Slika 15.** Odnos temperature (°C) i relativne vlažnosti zraka (%) mjerena u srpnju na 19 točaka od kojih su 2 izvan (IZB, A), a ostale unutar špilje (B-U)



**Slika 16.** Odnos temperature (°C) i relativne vlažnosti zraka (%) mjerena u studenom na 19 točaka od kojih su 2 izvan (IZB, A), a ostale unutar špilje (B-U)



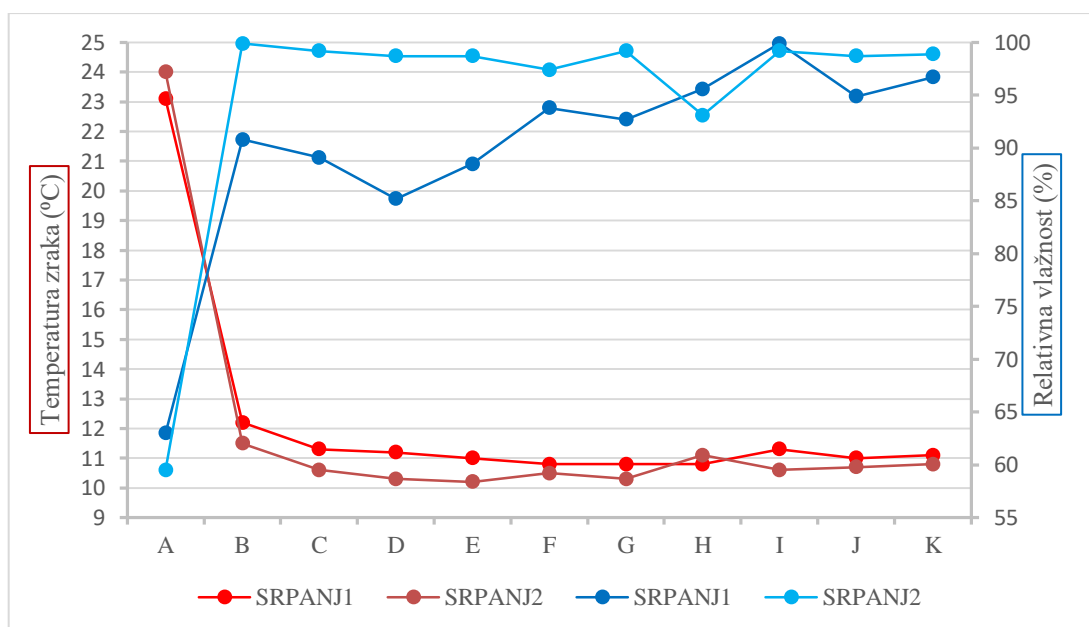
**Slika 17.** Odnos temperature (°C) i relativne vlažnosti zraka (%) mjerena u siječnju na 19 točaka od kojih su 2 izvan (IZB, A), a ostale unutar špilje (B-U)

U svim špiljskim mjerenjima zabilježena je promjena u oba parametra u odnosu na vanjske vrijednosti. U travnju, srpnju i studenom kroz špilju je zabilježeno postepeno snižavanje T i povišenje RH, a u siječnju povišenje T i povišenje RH. Maksimalna RH doseže 99,9% na više mjesta u špilji u svim mjesecima. Najmanje odstupanje u temperaturi



zraka zabilježeno je na točkama K, M i J, a najveće na točki B. Najniža RH u špilji zabilježena je u točki B (76,6%) u travnju. Najstabilnije vrijednosti RH kroz mjerene mjesece redom su očitane na točkama I, U i N. Najveća odstupanja u špilji su u točki B te se smanjuju prema unutrašnjosti. Odstupanje vrijednosti RH na točki P veliko je kao ono na točkama C i D.

Bitno je usporediti i dva mjerenja iz srpnja koja su zabilježena kada su turisti bili u špilji (Slika 18). Prilikom prolaska turista temperatura zraka se povisila, a nedugo nakon njihovog prolaska temperatura zraka se snizila u skoro svim točkama.

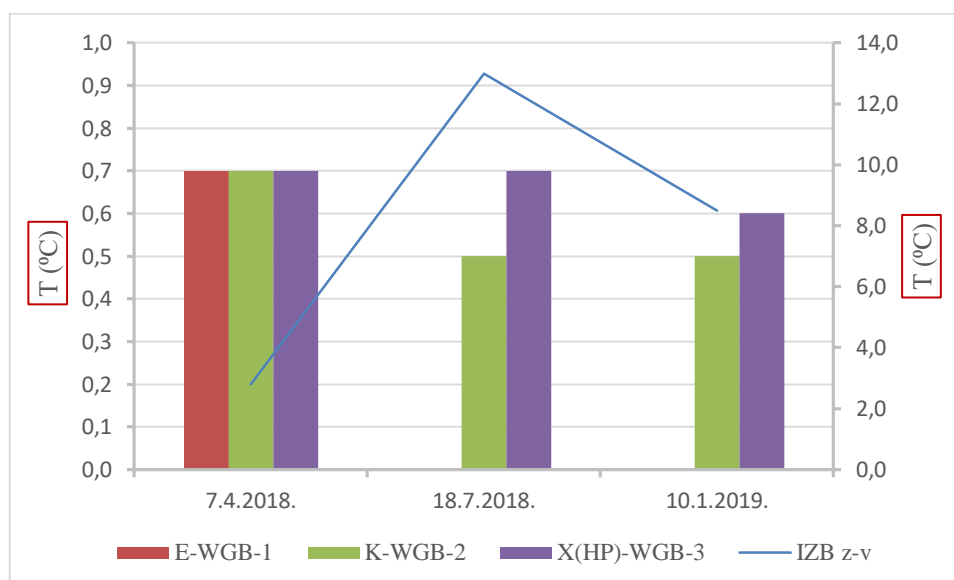


**Slika 18.** Odnos temperature (°C) i relativne vlažnosti zraka (%) mjerena dva uzastopna puta u srpnju na 11 točaka postavljenih redosljedom duž turističke staze od ulaza (A) do kraja turističke staze (K)

Imajući terenske podatke za špiljsku temperaturu zraka i temperaturu vode prokapsnice, mjerene gotovo u isto vrijeme, određene su razlike u njihovoj temperaturi (Slika 19). Za usporedbu vrijednosti korištene su najbliže točke, a točka X predstavlja prosječnu vrijednost temperature zraka izmjerene između točaka H i P kako bi se dobila približna vrijednost temperature zraka kod lokve WGB-3. Temperature vode prokapsnice su u svim mjerenjima niže od temperatura zraka, stoga se može reći kako je prikazana razlika u temperaturama iznos koji govori koliko je temperatura vode prokapsnice niža od temperature zraka.

Najviša temperaturna razlika izmjerena je u travnju te je ista na svim lokacijama (0,7 °C). U srpnju i siječnju temperaturna razlika na mjestu K odnosno WGB-2 iznosi 0,5 °C. Razlika temperatura u točki WGB-3 je poprilično konstantna kroz mjerene mjesece.

Kako bi se mogle usporediti temperaturne razlike dobivene u špilji s onima u vanjskom okolišu linijski je prikazana razlika između temperature zraka i temperature vode na izvoru Baračevac. Korištene su dvije temperaturne skale kako bi temperaturne razlike u špiljskim uvjetima bile uočljivije. Vidljivo je da su T razlike kroz mjesece puno izraženije na izvoru (vani) nego u špilji. Najmanja razlika je u travnju, a najveća u srpnju. Siječanjska temperaturna razlika izvorske vode dobivena je kao razlika T vode od T zraka odnosno T vode je viša od T zraka.

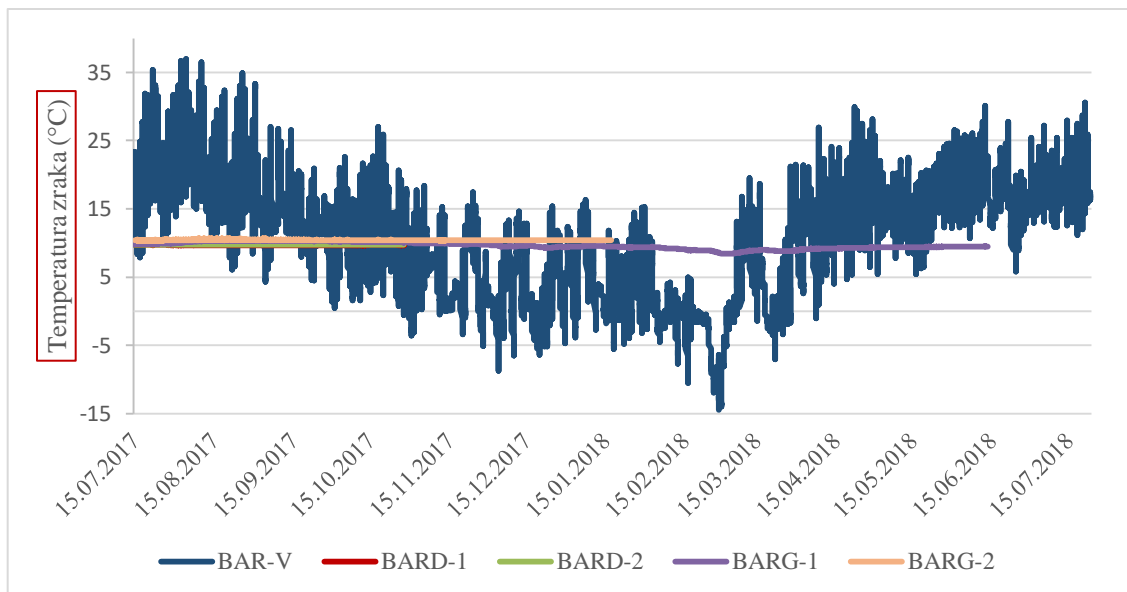


**Slika 19.** Temperaturna razlika između temperature zraka (E,K,X) i temperature vode prokapsnice (WGB-1;2;3) te temperaturna razlika između temperature zraka i vode na izvoru Baračevac (IZB z-v), izražena u °C

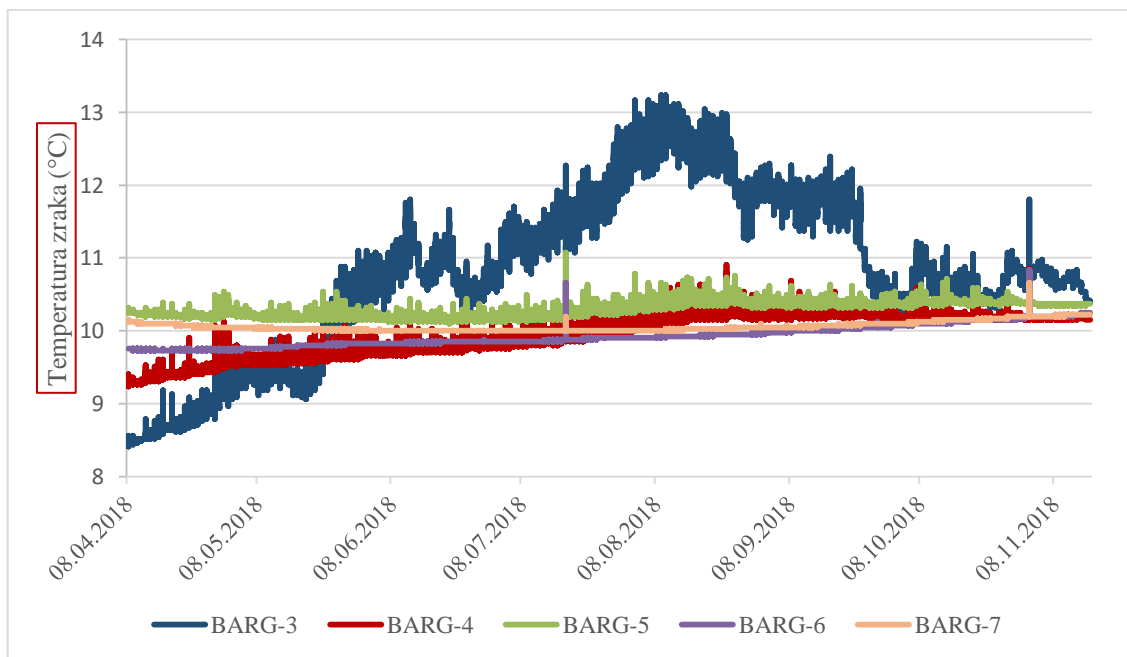
### 5.3. Mikroklima špilja mjerena pomoću memorijskih termohigrografa

Najveće promjene u temperaturi zraka bilježene termohigrografima s periodom mjerenja od 60 min ima vanjski termohigrograf na postaji BAR-V (Slika 20A). Kroz mjereno razdoblje, na sve 4 postaje unutar Gornje i Donje Baračeve špilje očitane su slične stabilne vrijednosti temperature. Uz BAR-V najduže mjereno razdoblje temperature zraka zabilježeno je na postaji BARG-1. Njihovom usporedbom vidi se da se utjecaj sezonske promjene vanjske temperature zraka blago odražava na promjene špiljske temperature. Najveće promjene u temperaturi bilježene termohigrografima s periodom mjerenja od 15

min zabilježene su na postaji BARG-3 (Slika 20B). Izražene najniže travanjske temperature vrijednosti su na postajama BARG-3 i 4. Mjerena temperatura zraka je najstabilnija na postajama BARG-5, 6 i 7.



A



B

**Slika 20.** Usporedba temperatura zraka (°C) mjernih postaja s mjerenjima svakih 60 min za razdoblje 15.7.2017.- 23.7.2018. (A) i mjernih postaja s mjerenjima svakih 15 min za razdoblje 8.4.2018.-16.11.2018. (B).

Statistički podatci mikroklimatskih parametara RH (%) i T (°C) u Gornjoj Baraćevoj špilji prikazani su u Tablici 8. Vanjski logger BAR-V ima raspon vrijednosti T zraka od 51,47 °C. Izmjerena prosječna vrijednost je 11,16 °C, a mjere rasipanja ukazuju na vrlo jaku varijabilnost podataka. Prosječna RH iznosi 82,26%, a njene mjere rasipanja ukazuju na relativno slabu varijabilnost.

Postaja BARG-3 ima raspon vrijednosti temperature od 4,81 °C. Prosječna temperatura zraka iznosi 10,78 °C. Iako su na ovoj postaji izmjerene najveće špiljske temperaturne razlike mjere rasipanja pokazuju relativno slabo do vrlo slabo odstupanje od prosjeka. Maksimalna izmjerena temperaturna vrijednost zabilježena je na ovoj postaji i iznosi 13,23 °C. Izmjerene vrijednosti RH pokazuju vrlo visoku vlažnost koja doseže 100% i ne varira.

Na postaji BARG-1 raspon vrijednosti T zraka iznosi 2,05 °C s prosječnom vrijednosti od 9,61 °C. Mjere rasipanja pokazuju da se radi od setu podatka s manjim odstupanjem od prosjeka nego one na BARG-3, ali većim od ostalih točaka. Ova postaja nalazi se druga po redu od ulaza u špilju i dobiveni rezultati podudaraju se s njenim položajem. Najniže vrijednosti RH u Gornjoj Baraćevoj špilji zabilježene su na ovoj postaji iako njihov raspon iznosi svega 2,39%.

Temperaturna mjerenja na postaji BARG-4 imaju raspon vrijednosti od 1,67 °C. Prosječna vrijednost T zraka je 9,93 °C, a mjere rasipanja pokazuju nešto niže vrijednosti od prethodne postaje. Vrijednosti RH su stabilne i prikazuju visoku vlažnost od 100%.

Raspon vrijednosti temperature na postaji BARG-5 iznosi 0,98 °C, a zabilježena prosječna temperatura je 10,28 °C. U odnosu na prethodnu postaju prosječna temperatura je viša, a oscilacije su manje. Ovdje je, u odnosu na druge postaje u špilji zabilježen drugi maksimum T zraka u iznosu od 11,08 °C. Izmjerene vrijednosti RH pokazuju vrlo visoku vlažnost gdje prevladava vrijednost od 100%, a najniža izmjerena vrijednost iznosi 99,76%.

Postaja BARG-2 nalazi se na kraju turističke staze i ima raspon vrijednosti temperature u iznosu od 0,34 °C. Prosječni iznos T zraka je 10,41 °C, a RH je stabilna i iznosi 100% te nikada nije niža od 99,30%.

Zadnja postaja u glavnom kanalu je BARG-6 s rasponom vrijednosti T zraka u iznosu od 1,10 °C. Prosječna T zraka iznosi 9,93 °C, a mjere rasipanja ukazuju na to da se radi o nizu podataka s neznatnim odstupanjima od prosječne vrijednosti. RH je ovdje također vrlo visoka i prevladava vrijednost od 100%, a u mjerenom razdoblju nikada nije bila niža od 98,73%.

Postaja BARG-7 nalazi se u sporednom kanalu odvojena od turističke staze. Izmjeren raspon vrijednosti T zraka iznosi 0,66 °C, a prosječna T je 10,06 °C. Mjere rasipanja pokazuju da se radi o setu podataka s vrlo malim odstupanjem od prosjeka. Izmjerene vrijednosti RH pokazuju vrlo visoku vlažnost od 100% bez ikakvih oscilacija.

*Tablica 8. Podatci temperature zraka i relativne vlage u Gornjoj Baraćevoj špilji te ispred nje (BAR-V)*

	BAR-V		BARG-3		BARG-1		BARG-4	
	T (°)	RH	T (°)	RH	T (°)	RH	T (°)	RH
<b>N</b>	8970	8970	21308	21308	8002	8002	21308	21308
<b>MIN</b>	-14,51	14,96	8,42	100,00	8,39	97,61	9,24	100,00
<b>MAX</b>	36,96	100,00	13,23	100,00	10,44	100,00	10,91	100,00
<b>Median</b>	11,90	89,08	11,00	100,00	9,49	100,00	10,00	100,00
<b>Raspon</b>	51,47	85,04	4,81	0,00	2,05	2,39	1,67	0,00
<b>Prosjek</b>	11,16	82,26	10,78	100,00	9,61	100,00	9,93	100,00
<b>st dev</b>	8,92	18,29	1,12	0,00	0,51	0,07	0,30	0,00
<b>V</b>	79,94	22,23	10,36	0,00	5,27	0,07	2,99	0,00
<b>Q1</b>	3,88	70,36	10,35	100,00	9,31	100,00	9,68	100,00
<b>Q3</b>	17,32	98,10	10,35	100,00	10,10	100,00	10,17	100,00
<b>I<sub>Q</sub></b>	13,44	27,74	11,66	0,00	0,79	0,00	0,49	0,00
<b>V<sub>Q</sub></b>	0,63	0,16	0,06	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00
	BARG-5		BARG-2		BARG-6		BARG-7	
	T (°)	RH	T (°)	RH	T (°)	RH	T (°)	RH
<b>N</b>	21308	21308	4483	4483	21308	21308	21308	21308
<b>MIN</b>	10,10	99,76	10,35	99,30	9,73	98,73	10,00	100,00
<b>MAX</b>	11,08	100,00	10,69	100,00	10,83	100,00	10,66	100,00
<b>Median</b>	10,30	100,00	10,39	100,00	9,90	100,00	10,05	100,00
<b>Raspon</b>	0,98	0,24	0,34	0,70	1,10	1,27	0,66	0,00
<b>Prosjek</b>	10,28	100,00	10,41	100,00	9,93	100,00	10,06	100,00
<b>st dev</b>	0,10	0,00	0,05	0,02	0,14	0,04	0,07	0,00
<b>V</b>	1,01	0,00	0,44	0,02	1,43	0,04	0,65	0,00
<b>Q1</b>	10,20	100,00	10,37	100,00	9,83	100,00	10,00	100,00
<b>Q3</b>	10,37	100,00	10,44	100,00	10,03	100,00	10,10	100,00
<b>I<sub>Q</sub></b>	0,17	0,00	0,07	0,00	0,20	0,00	0,10	0,00
<b>V<sub>Q</sub></b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00

Postaje BARD-1 i 2 nalaze se u Donjoj Baraćevoj špilji na otprilike sličnoj udaljenosti kao postaje BARG-1 i 2 u Gornjoj Baraćevoj špilji (Tablica 9). Raspon vrijednosti T zraka na postaji BARD-1 iznosi 0,12 °C, a prosječna T zraka je 9,69 °C. Mjere rasipanja ukazuju na to da se radi o setu podataka s vrlo malim odstupanjem od prosjeka. RH iznosi 100% i konstantna je.

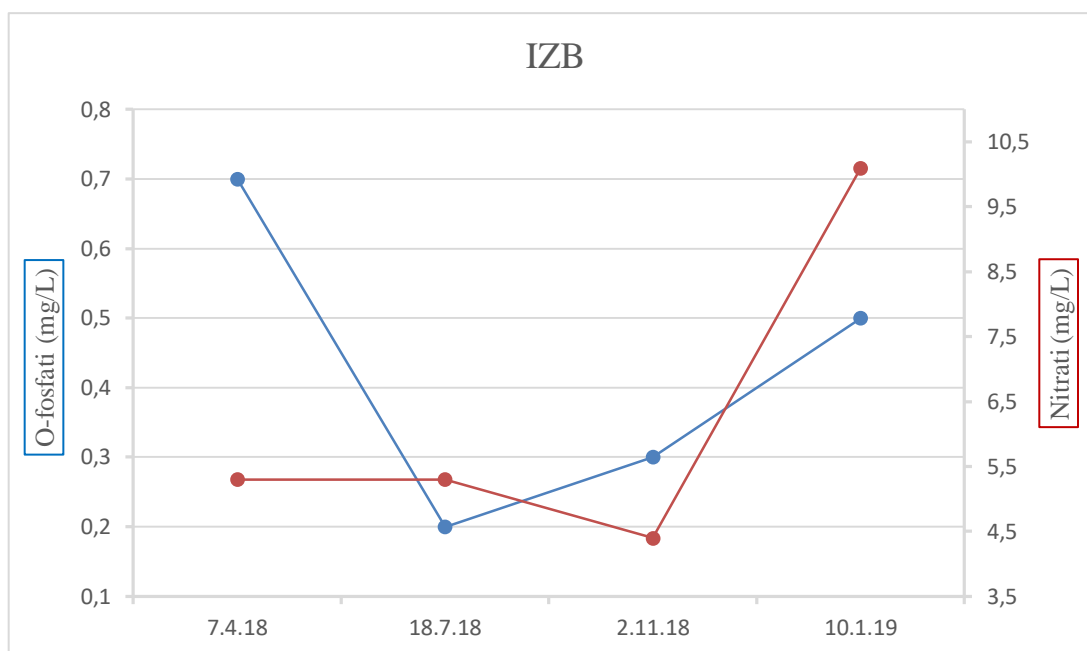
Na postaji BARD-2 raspon T zraka je 0,05 °C, a prosjek T zraka iznosi 9,76 °C. Zabilježena RH se također ne mijenja i iznosi visokih 100%. Mjere rasipanja također ukazuju da se radi o setu podataka koji ima vrlo malo odstupanje od prosjeka. Usporedivši vrijednosti ovih dviju postaja s BARG-1 i 2 može se reći da, iako su mjere rasipanja kod svih setova podataka male, postoje veća odstupanja podataka od prosjeka na točkama u Gornjoj Baraćevoj špilji.

**Tablica 9.** Podatci temperature zraka i relativne vlage u Gornjoj Baraćevoj (BARG-1;2) i u Donjoj Baraćevoj špilji (BARD-1;2)

	BARG-1		BARG-2		BARD-1		BARD-2	
	T (°)	RH	T (°)	RH	T (°)	RH	T (°)	RH
<b>N</b>	8002	8002	4483	4483	2539	2539	2529	2529
<b>MIN</b>	8,39	97,61	10,35	99,30	9,63	100,00	9,73	100,00
<b>MAX</b>	10,44	100,00	10,69	100,00	9,76	100,00	9,78	100,00
<b>Median</b>	9,49	100,00	10,39	100,00	9,68	100,00	9,76	100,00
<b>Raspon</b>	2,05	2,39	0,34	0,70	0,12	0,00	0,05	0,00
<b>Prosjek</b>	9,61	100,00	10,41	100,00	9,69	100,00	9,76	100,00
<b>st dev</b>	0,51	0,07	0,05	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
<b>V</b>	5,27	0,07	0,44	0,02	0,20	0,00	0,04	0,00
<b>Q1</b>	9,31	100,00	10,37	100,00	9,68	100,00	9,76	100,00
<b>Q3</b>	10,10	100,00	10,44	100,00	9,71	100,00	9,76	100,00
<b>I<sub>Q</sub></b>	0,79	0,00	0,07	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
<b>V<sub>Q</sub></b>	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

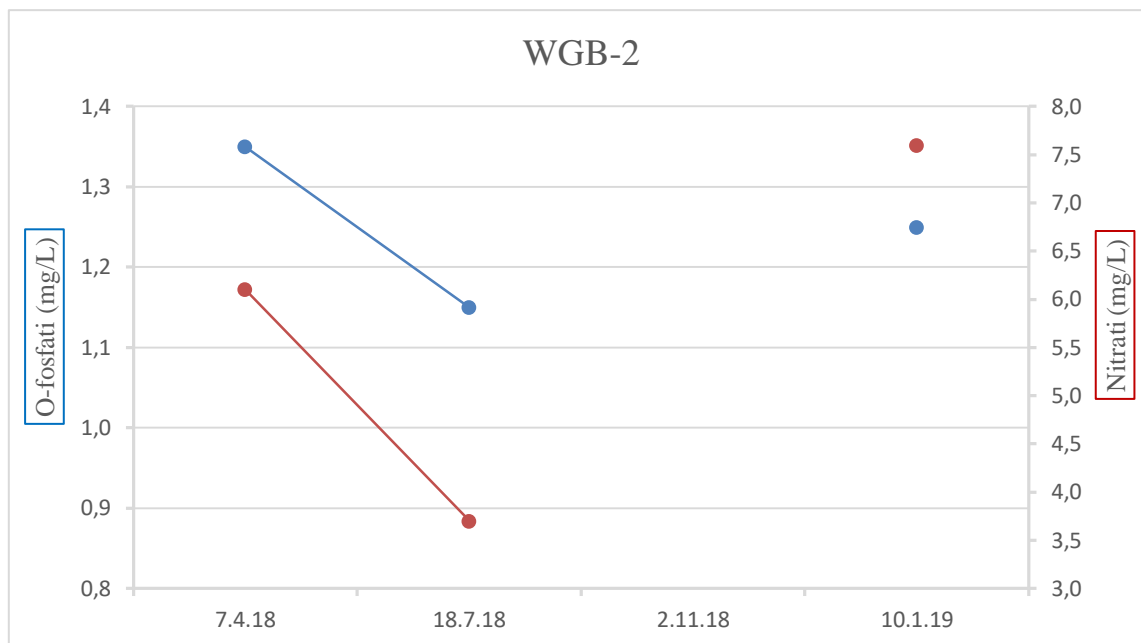
#### 5.4. Koncentracije nitrata i o-fosfata izmjerene u vodi prokapnici i izvorišnoj vodi

Koncentracije nitrata i o-fosfata izmjerene u vodi izražene su u miligramima po litri. Na izvoru Baraćevac (IZB) dobiveni rezultati prikazani su na Slici 21 i upućuju na to da se izmjerene koncentracije mijenjaju kroz mjerene mjesece. Najmanja izmjerena koncentracija nitrata je u studenom, kada je iznosila 4,4 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, dok je najviša u siječnju (10,1 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L). Mjerenja u travnju i srpnju pokazuju minimalne promjene u koncentraciji. Mjerenjem koncentracije fosfata je također, zabilježena promjena. Maksimalna koncentracija je zapažena u travnju i iznosi 0,7 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L. Minimalna vrijednost dobivena je u srpnju u iznosu od 0,2 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L što je ujedno i propisana granična vrijednost.



**Slika 21.** Koncentracija ortofosfata ( $PO_4^{3-}$ ) i nitrata ( $NO_3^-$ ) izražena u miligramima po litri, mjerena u izvorskoj vodi Baraćevac (IZB), u razdoblju od travnja do siječnja.

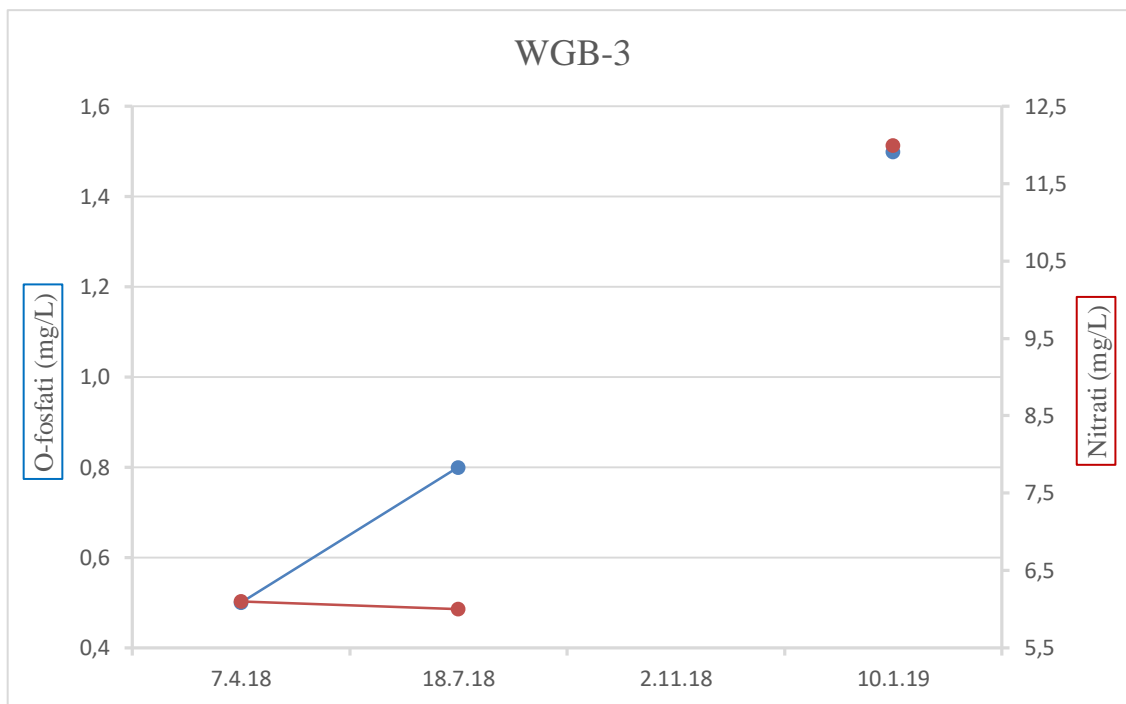
Na točki WGB-2 maksimalna vrijednost nitrata zabilježena je u siječnju u iznosu od 7,6 mg  $NO_3^-$ /L, a najmanja u srpnju kada je iznosila 3,7 mg  $NO_3^-$ /L. Rezultati koncentracije fosfata prikazuju maksimum u travnju (1,3 mg  $PO_4^{3-}$ /L), a minimum u srpnju (1,1 mg  $PO_4^{3-}$ /L). Iako sve vrijednosti premašuju graničnu vrijednost, nije zabilježen drastični skok. Zbog presušivanja lokve u studenom nisu vršena mjerenja (Slika 22).



**Slika 22.** Koncentracija ortofosfata ( $PO_4^{3-}$ ) i nitrata ( $NO_3^-$ ), izražena u miligramima po litri, mjerena u vodi prokapsnici (WGB-2), u razdoblju od travnja do siječnja.

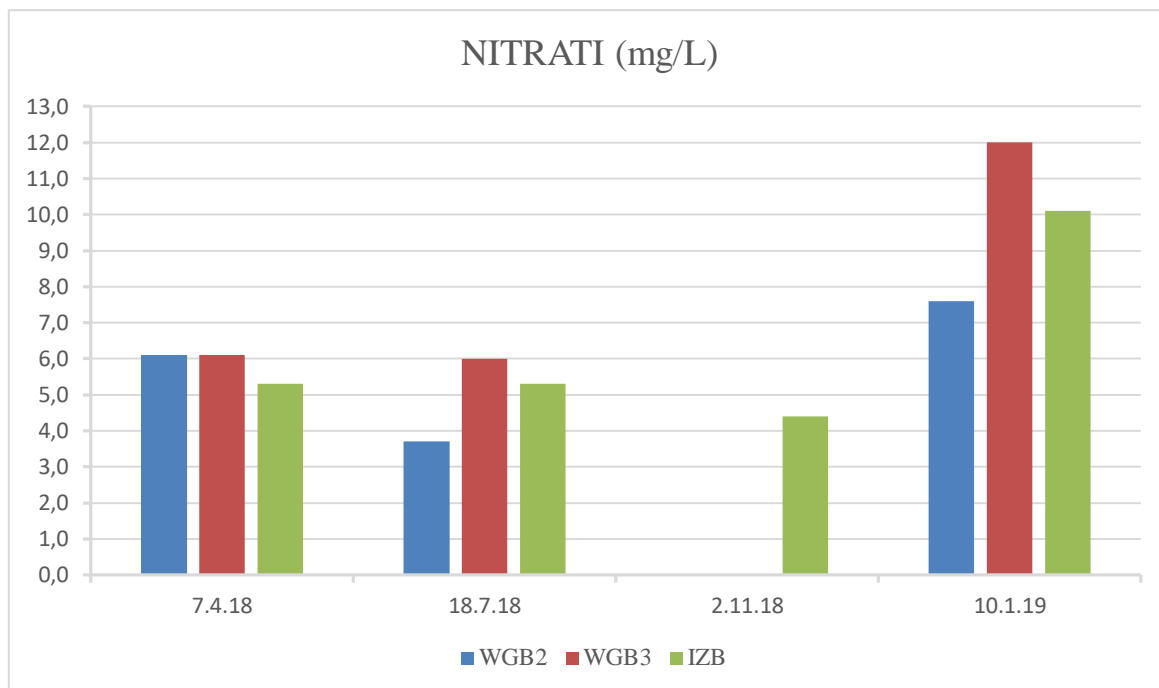
Dobiveni maksimum koncentracije nitrata u točki WGB-3 zabilježen je u siječnju u iznosu od 12,0 mg  $NO_3^-$ /L, a minimum u srpnju od 6,0 mg  $NO_3^-$ /L (Slika 23). Rezultati iz travnja i srpnja ne pokazuju oscilacije u koncentraciji. Koncentracija o-fosfata bilježi maksimum u siječnju s 1,5 mg  $PO_4^{3-}$ /L. Minimum je u travnju u iznosu od 0,5 mg  $PO_4^{3-}$ /L. Podatci za studeni nedostaju jer je lokvica presušila.





**Slika 23.** Koncentracija ortofosfata ( $PO_4^{3-}$ ) i nitrata ( $NO_3^-$ ), izražena u miligramima po litri, mjerena u vodi prokapsnici (WGB-3), u razdoblju od travnja do siječnja

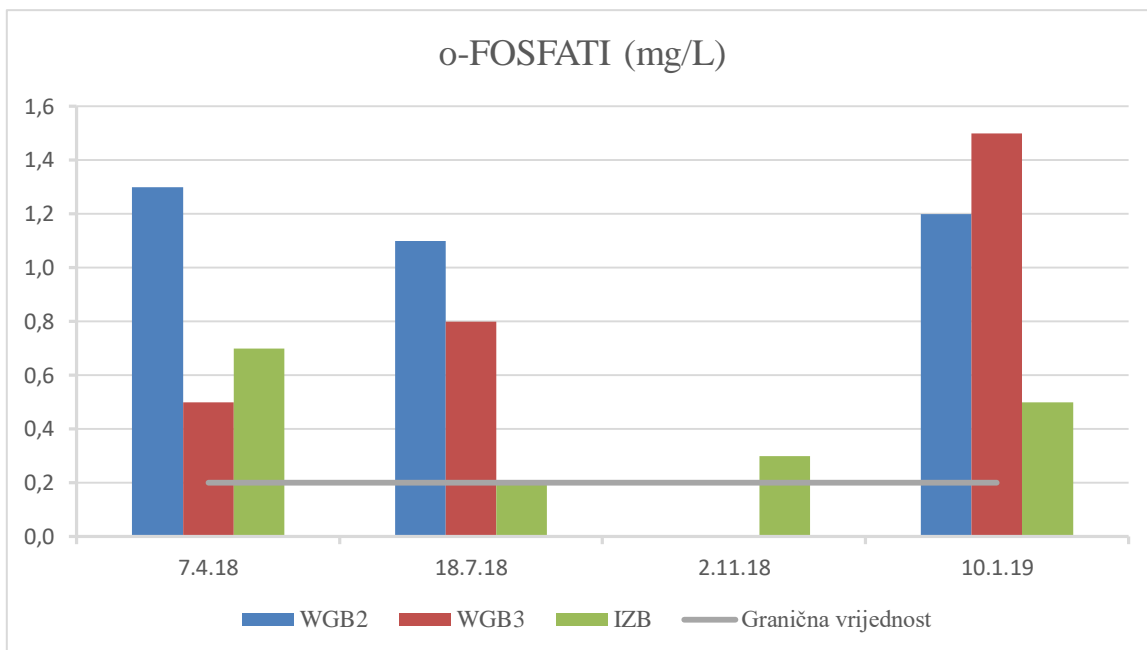
Svi podatci su prikazani usporedno kako bi se postiglo bolje razumijevanje (Slika 24). Najviša izmjerena koncentracija nitrata u svim uzorcima je ona u siječnju (7,6-12,0 mg  $NO_3^-$ /L) gdje je maksimalna vrijednost zabilježena na točki WGB-3. Minimalne zabilježene vrijednosti uzoraka WGB-2 i WGB-3 su u srpnju, dok je od izvorske vode minimalna vrijednost zabilježena u studenom. Niti jedan rezultat ne prelazi graničnu vrijednost koja iznosi 50 mg  $NO_3^-$ /L. Međusobno najbližije vrijednosti na sve tri postaje zabilježene su u travnju.



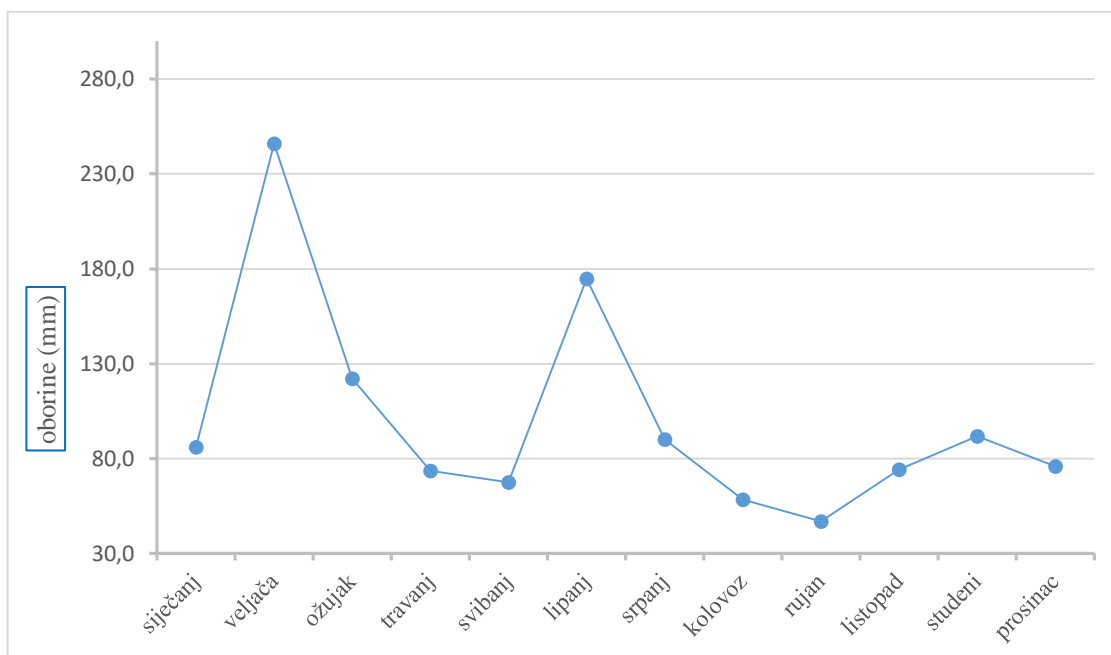
**Slika 24.** Koncentracija nitrata ( $\text{NO}_3^-$  (mg/L)) kroz vremensko razdoblje (travanj-siječanj) na svim mjerenim postajama (WGB-2, WGB-3, IZB)

Maksimalna koncentracija ortofosfata nije u istim mjesecima zabilježena na svim postajama (Slika 25). Maksimum na postaji WGB-3 je u siječnju, a na WGB-2 i IZB je u travnju. Najniže vrijednosti za WGB-3 zabilježene su u travnju, a za WGB-2 i IZB u srpnju. Postaja IZB ima najniže zabilježene vrijednosti tijekom svih mjerenja u odnosu na ostale postaje. Najveću oscilaciju koncentracije o-fosfata kroz mjerene mjesece bilježi WGB-3 kao razliku od čak  $1,0 \text{ mg PO}_4^{3-}/\text{L}$  (travanj-siječanj). Granična vrijednost prikazana je crtom te se vidi da je premašena na svim mjerenjima izuzev srpanjsko mjerenje na izvoru. Gledajući vrijednosti svih mjeseci u kojima se provodilo mjerenje, konstantno visoke vrijednosti očitane su na točki WGB-2.

Uz ove vrijednosti pridodan je i grafikon koji prikazuje ukupne mjesečne količine oborina tijekom 2018. godine (Slika 26) kako bi se postavila korelacija s koncentracijom nitrata i fosfata u vodi. Što je veći volumen vode, zastupljenost ovih dviju vrijednosti je manja s obzirom na razrjeđenje otopine.



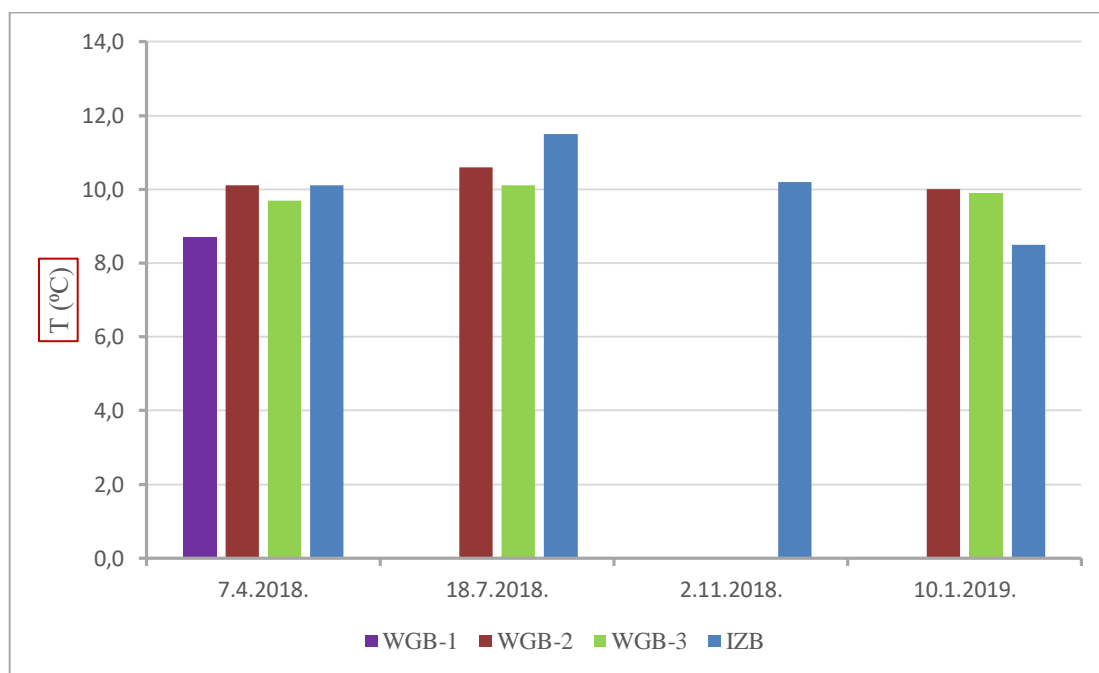
**Slika 25.** Koncentracija ortofosfata ( $PO_4^{3-}$  (mg/L)) bilježena kroz vremensko razdoblje (travanj-siječanj) na svim mjerenim postajama (WGB-2, WGB-3, IZB). Linijski je pridodana granična vrijednost (prema Uredbi o izmjenama i dopunama Uredbe o standardu kakvoće voda (NN 80/2018))



**Slika 26.** Varijacije u ukupnoj mjesečnoj količini oborina na postaji Slunj u godini 2018. (mm) (Izvor: Državni hidrometeorološki zavod)

### 5.5. *In-situ* mjerenje temperature i pH vrijednosti te laboratorijsko mjerenje pH vode

Prethodno navedenim instrumentom za terensko mjerenje pH vrijednosti i temperature vode dobivene su vrijednosti za sve tri lokve u špilji i za izvor Baraćevac. Naknadnom analizom pH pomoću fotometra dobiveni su drugačiji rezultati. Točka WGB-1 bila je ispunjena vodom samo u prvom mjerenju. Točke WGB-2 i WGB-3 su presušile u studenom. Usporedno gledajući, maksimum temperature očitao je na svim točkama u srpnju, a najviša izmjerena temperatura je ona na izvoru Baraćevac u iznosu od 11,5 °C (Slika 27). Najniža temperatura očitana je na izvoru Baraćevac u siječnju i iznosila je 8,5 °C. Iako je na točki WGB-1 obavljeno samo jedno mjerenje zanimljivo je što je u travnju očitana T vode čak za cijeli stupanj niža od temperature očitane na isti datum na točki WGB-3, odnosno za 1,4 °C niža od druge dvije postaje.



*Slika 27. Odnos temperatura vode prokavnice (WGB-1;2;3) i izvorišne vode (IZB), u mjerenim mjesecima, prikazan u °C*

U Tablici 10. prikazane su osnovne statističke vrijednosti temperature vode. Izmjereni temperaturni minimum na izvorskoj vodi je za 1,2 °C manji od onog na točki WGB-3 i za 1,5 °C manji od točke WGB-2. Temperaturni maksimum zabilježen na točki IZB od 11,5 °C veći je za 0,9 °C od onog u točki WGB-2 odnosno za 1,4 °C od onog u točki WGB-3. Iz toga proizlazi da je najveća temperaturna razlika u mjerenim mjesecima zapažena na točki

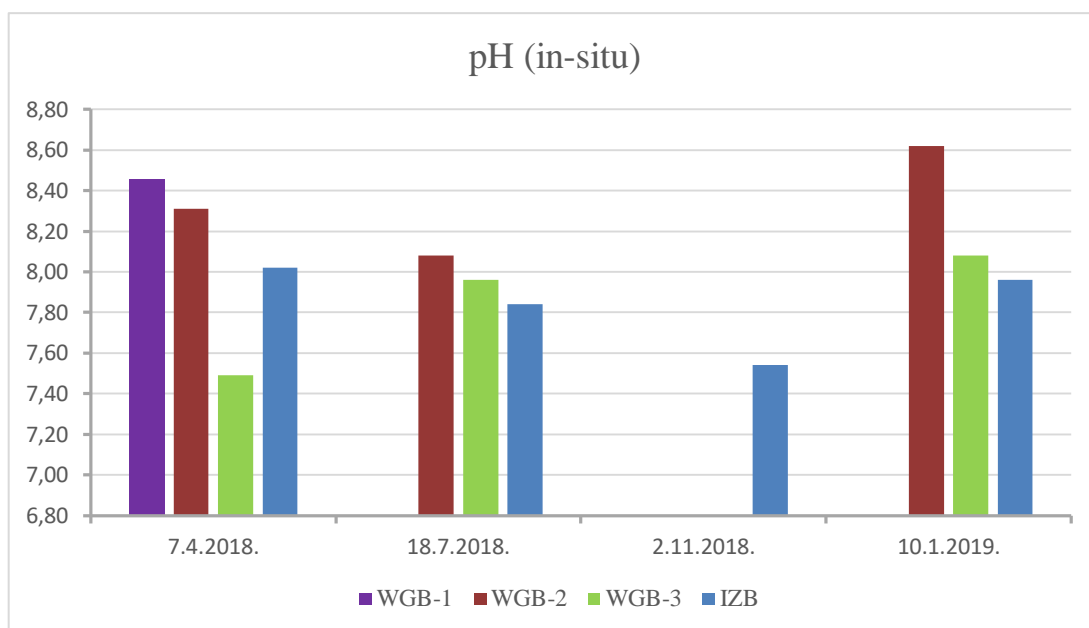
IZB i iznosi 3,0°C dok su na točkama WGB-2 i WGB-3 temperaturne razlike manje od stupnja.

**Tablica 10.** Osnovni statistički podatci temperature vode (temperaturni minimum, maksimum, srednja vrijednost, i razlika maksimuma i minimuma), dobiveni za vodu cjednicu (WGB-2;3) i izvorišnu vodu (IZB) u razdoblju od mjerenom razdoblju, izraženi u °C

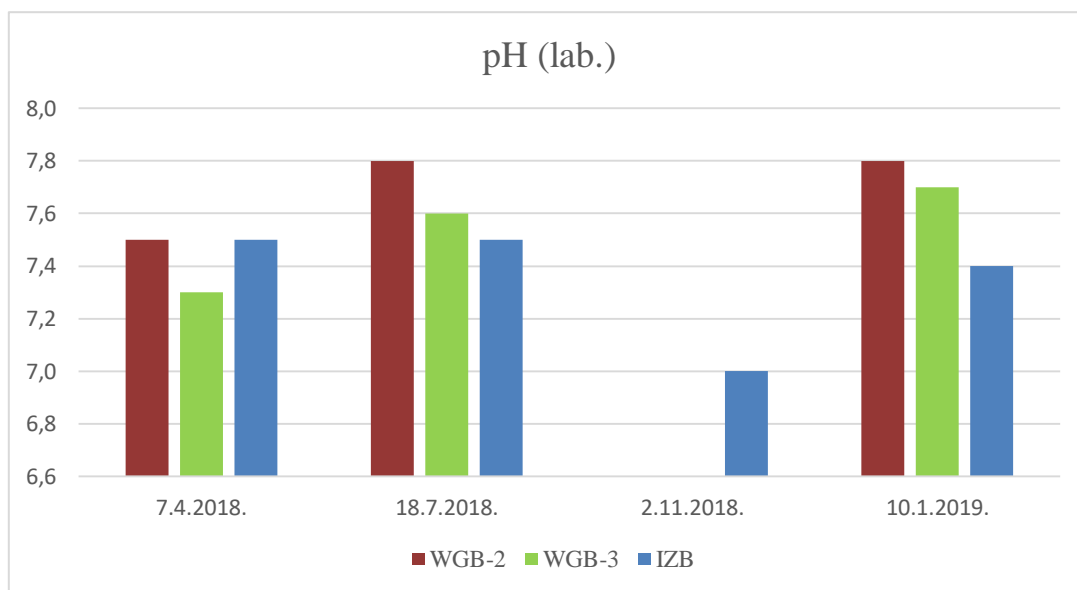
T (°C)	IZB	WGB-2	WGB-3
min	8,5	10,0	9,7
max	11,5	10,6	10,1
sr.v.	10,1	10,2	9,9
max-min	3,0	0,6	0,4

*In-situ* mjerenja pH vrijednosti, na svim točkama i u svim mjesecima kada su provedena terenska istraživanja, prikazana su na Slici 28. U mjesecima u kojima nije bilo vode u lokvama nedostaju podatci. Na izvoru Baraćevac maksimalni pH izmjeren je u travnju kada iznosi 8,02, a najniži pH bio je u studenom u iznosu od 7,54. Na točki WGB-2 najviši pH bio je u siječnju i iznosi 8,62, a najniži je zabilježen u srpnju (8,08). Na točki WGB-3 najviša vrijednost pH zabilježena je u siječnju, a najniža u travnju (pH 7,49). Usporedno gledajući najviše izmjerene vrijednosti su na točki WGB-2 u svim mjesecima izuzev travnja kada je mjerena točka WGB-1, a njezin pH iznosi 8,46. Najviša očitana pH je u siječnju (WGB-2) i iznosi 8,62, a najniža je u travnju na točki WGB-3 (pH 7,49). Usporede li se samo travanjske špiljske pH vrijednosti, točka WGB-1 ima najveći očitani pH, zatim točka WGB-2 pa WGB-3. Voda na izvoru Baraćevac u srpnju i siječnju ima najniži pH u odnosu na druge.

Kasnijim mjerenjem pomoću fotometra dobiveni su drugačiji rezultati pH vrijednosti (Slika 29). Odnosi između pH vrijednosti mjerenih postaja su relativno sačuvani međutim dobivene su niže vrijednosti za sva provedena mjerenja. Najniža pH izmjerena je u studenom u izvorskoj vodi a iznosi 7,0. Najviša pH zabilježena je na točki WGB-2 u srpnju i siječnju kada iznosi 7,8. To ukazuje da su razlike u *in-situ* mjerenju i kasnijem, fotometrijskom mjerenju pozamašne, štoviše najveća zabilježena razlika je ona na točki WGB-2 u siječnju, a iznosi 0,82 ( $pH_{insitu}=8,62$ ,  $pH_{fotometar}=7,8$ ). Prema Sasowsky i Dalton (2005) točnije je terensko mjerenje te je ono uzeto kao reprezentativni rezultat.



**Slika 28.** Usporedan prikaz mjerenja pH vrijednosti na terenu u mjerenim mjesecima, na tri postaje u špilji (WGB-1;2;3) i na izvoru Baračevac (IZB)



**Slika 29.** Usporedan prikaz mjerenja pH vrijednosti u laboratoriju u mjerenim mjesecima, na dvije postaje u špilji (WGB-2;3) i na izvoru Baračevac (IZB)

## 5.6. Alkalinitet

Vrijednosti alkaliniteta mjerene su u laboratoriju i izražene kao koncentracija kalcijeva karbonata (mg) po litri vode (Slika 30). Najviša vrijednost izmjerena je u travnju za točku WGB-3 i iznosi 285 mg CaCO<sub>3</sub>/L, a najniža je izmjerena u istom mjesecu za točku WGB-2

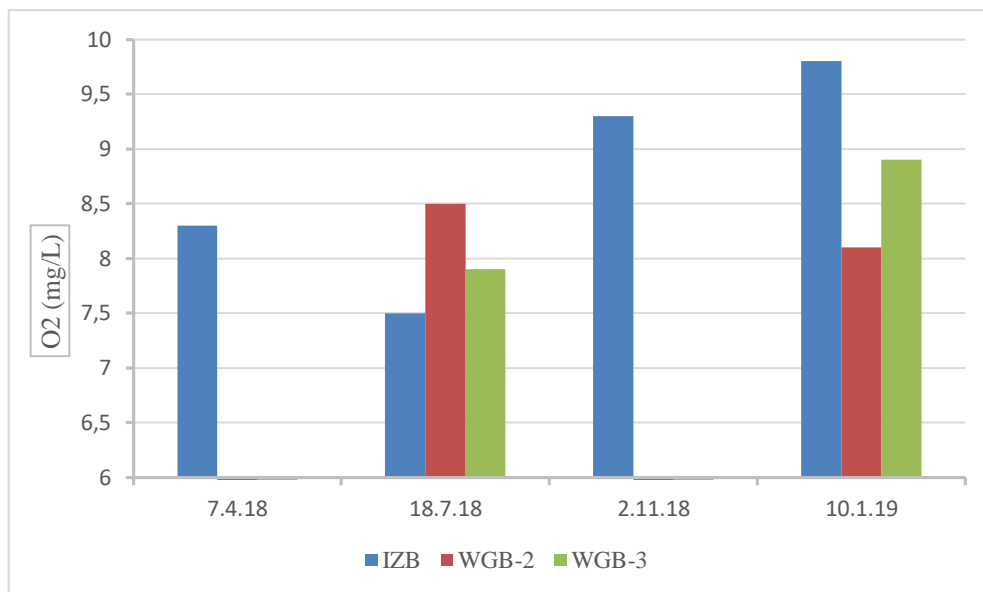
(185 mg CaCO<sub>3</sub>/L). Izmjerene vrijednosti ne prikazuju trend povišenja ili snižavanja kroz mjesec.



*Slika 30. Vrijednosti alkaliniteta vode prokavnice (WGB-2 i WGB-3) i izvora Baračevac (IZB), iskazana u miligramima po litri*

### 5.7. Otopljeni kisik

Koncentracija otopljenog kisika u vodi prokavnici i izvorskoj vodi mjerena je u laboratoriju i izražena u mg/L. Najviše i najniže izmjerene koncentracije kisika su na izvorskoj vodi, a zbog male količine špiljskih uzoraka nisu bile mjerene u travnju (Slika 31). U studenom su lokve presušene. Na svim postajama zabilježena je visoka koncentracija otopljenog kisika.



**Slika 31.** Koncentracija otopljenog kisika u vodi prokavnici (WGB-2 i WGB-3) i na izvoru Baračevac (IZB) iskazana u miligramima po litri

#### 5.8. Struktura zajednice bentičkih dijatomeja izvora Baračevac

U izvoru Baračevac određeno je ukupno 29 vrsta dijatomeja (Slika 32). Popis vrsta prikazan je u Tablici 11. Najzastupljeniji rodovi su *Navicula*, *Gomphonema* i *Amphora*. Postoje razlike u brojnosti vrsta u travnju i srpnju. U travnju rodovi s najvišim brojem vrsta su *Achnantheidium* i *Gomphonema* sa dominantnim vrstama *Achnantheidium affine* ((Grunow) Czarnecki, 1994), *A. minutissimum* ((Kützing) Czarnecki, 1994), *Gomphonema elegantissimum* (Reichardt i Lange-Bertalot, 2011) i *G. pumilum* ((Grunow) Reichardt i Lange-Bertalot, 1991). U srpnju gotovo polovinu relativne učestalosti čini *Cocconeis placentula* (Ehrenberg, 1838) (49%). Veliko povećanje brojnosti vrste bilježe dvije vrste *Planothidium hauckianum* ((Grunow) Bukhtiyarova, 1999) i *Navicula tripunctata* ((Müller) Bory, 1822) (Tablica 12). Obje vrste roda *Achnantheidium* koje su bile dominantne u travnju pokazuju manju zastupljenost, a vrste roda *Gomphonema* znatno su manje prisutne. Vrsta *Meridion circulare* ((Greville) Agardh, 1831) je u srpnju bila zastupljena sa 4% za razliku od travnja gdje nije bila detektirana.



**Tablica 11.** Popis vrsta bentičkih dijatomeja (*Bacillariophyceae*) određenih u fitobentosu izvora Baračevac

Taksoni	Uzorak	
	DT1 travanj	DT1 srpanj
<i>Achnanthes petersenii</i> Hustedt	x	
<i>Achnantheidium affine</i> (Grunow) Czarnecki	x	x
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	x	x
<i>Amphora minutissima</i> Smith	x	
<i>Amphora lange-bertalotii</i> Levkov i Metzeltin	x	
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow	x	
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	x	x
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	x	
<i>Gomphonema angustum</i> Agardh	x	x
<i>Gomphonema elegantissimum</i> Reichardt i Lange-Bertalot	x	x
<i>Gomphonema exilissimum</i> (Grunow) Reichardt i Lange-Bertalot		x
<i>Gomphonema pumilum</i> (Grunow) Reichardt i Lange-Bertalot	x	x
<i>Gomphonema subclavatum</i> (Grunow) Grunow		x
<i>Mastogloia lacustris</i> (Grunow) Grunow	x	
<i>Meridion circulare</i> (Greville) Agardh		x
<i>Navicula cincta</i> (Ehrenberg) Ralfs		x
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing		x
<i>Navicula erifuga</i> Lange-Bertalot	x	
<i>Navicula libonensis</i> Schoeman		x
<i>Navicula moenofranconica</i> Lange-Bertalot		x
<i>Navicula perminuta</i> Grunow	x	x
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F.Müller) Bory	x	x
<i>Nitzschia sp.</i> Hassall	x	x

Taksoni	Uzorak	
	DT1 travanj	DT1 srpanj
<i>Planothidium dubium</i> (Grunow) Round i Bukhtiyarova	x	x
<i>Planothidium hauckianum</i> (Grunow) Bukhtiyarova	x	x
<i>Psammothidium punctulatum</i> (Simonsen) Bukhtiyarova	x	
<i>Stauronella indubitabilis</i> Lange-Bertalot i Genkal	x	
<i>Stauroneis parathermicola</i> Lange-Bertalot	x	
<i>Staurosira mutabilis</i> (Smith) Pfitzer		x

**Tablica 12.** Relativna učestalost (%) dominantnih vrsta u izvoru Baračevac tijekom istraživanog razdoblja

Taksoni	Travanj	Srpanj
<i>Achnanthydium affine</i> (Grunow) Czarnecki	29,74	7,00
<i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	14,70	7,50
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	6,81	49,00
<i>Gomphonema elegantissimum</i> Reichardt i Lange-Bertalot	16,13	0,50
<i>Gomphonema pumilum</i> Reichardt i Lange-Bertalot	11,83	5,00
<i>Meridion circulare</i> (Greville) Agardh	0,00	4,00
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F.Müller) Bory	0,36	6,00
<i>Planothidium hauckianum</i> (Grunow) Bukhtiyarova	3,58	8,75

### 5.9. Saprobni indeks ( $SI_{HRIS}$ ) i trofički indeks dijatomeja ( $TID_{HR}$ )

Saprobni indeks ( $SI_{HRIS}$ ) izračunat je za izvor Baračevac. Travanjska vrijednost iznosi 2,13 i viša je od srpanjske kada iznosi 1,93 (Tablica 13). Dobiveni indeks ukazuje na o- $\beta$ -mezosaprobno do  $\beta$ -mezosaprobno stanje u oba istraživana mjeseca.

Trofički indeks dijatomeja ukazuje na različito ekološko stanje. Rezultat iz travnja ukazuje na vrlo dobar ekološki status odnosno na oligotrofno do umjereno mezotrofno trofičko stanje s indeksom od 1,98. Srpanjski indeks iznosi 2,42 i ukazuje na mezotrofno do umjereno eutrofno trofičko stanje tj. pripada dobrom ekološkom statusu (Tablica 14).

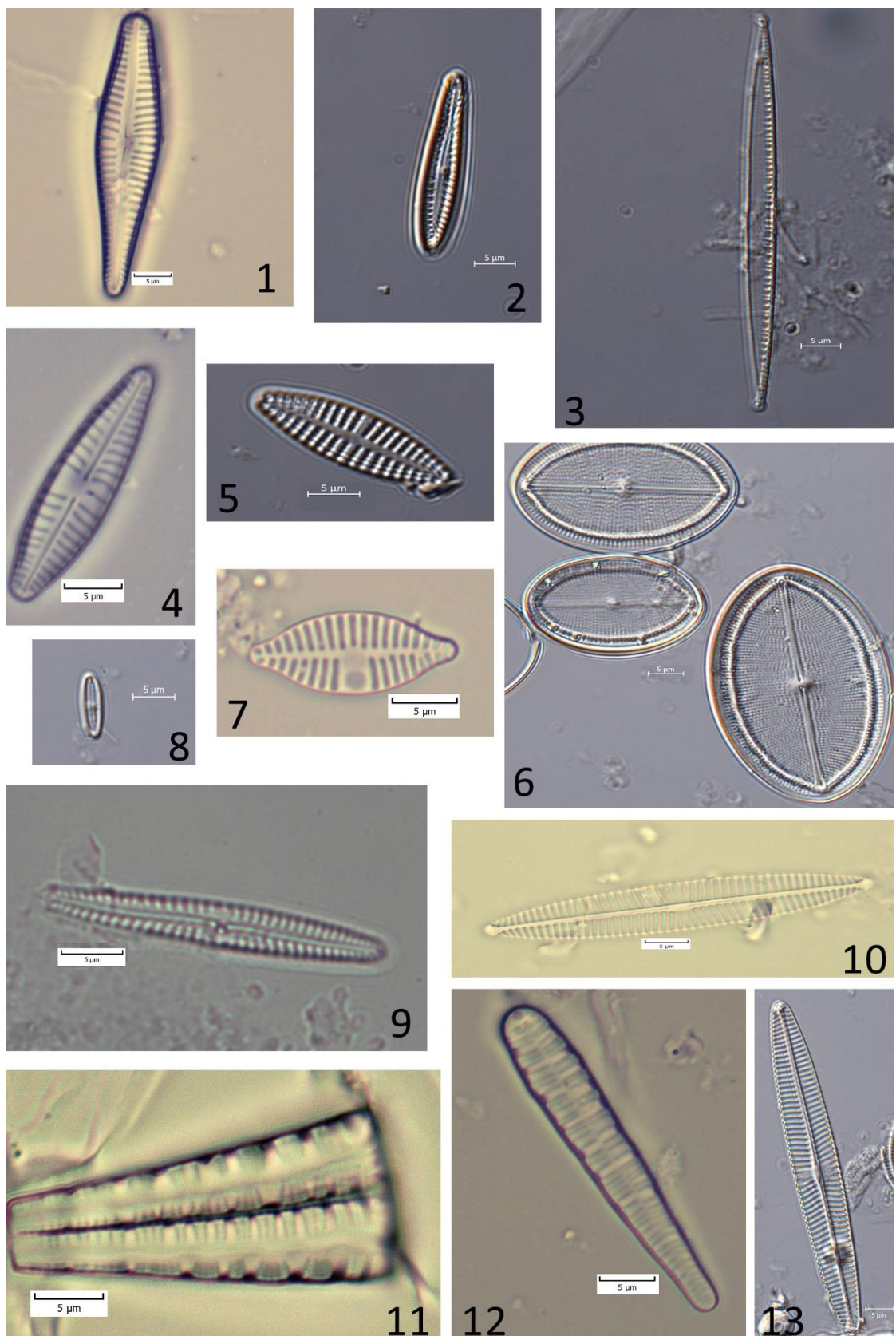
Procjena ekološkog stanja je, zbog specifičnosti hrvatskih vodotoka, u ovom istraživanju temeljena na prilagođenim graničnim vrijednostima  $TID_{HR}$  za hrvatske vodotoke.

**Tablica 13.** Vrijednosti saprobnog indeksa dijatomeja ( $SI_{HRIS}$ ) u istraživanom razdoblju

	Travanj	Srpanj
<b><math>SI_{HRIS}</math></b>	2,13	1,93
<b>klase ES</b>	dobro	dobro

**Tablica 14.** Vrijednosti trofičkog indeksa dijatomeja ( $TID_{HR}$ ) u istraživanom razdoblju

	Travanj	Srpanj
<b><math>TID_{HR}</math></b>	1,977	2,422
<b>klase ES</b>	vrlo dobro	dobro



**Slika 32.** Mikrofotografije (LM, povećanje 1000X) vrsta dijatomeja u izvoru Baračevac. 1 *Gomphonema subclavatum*, 2 *Gomphonema pumilum*, 3 *Nitzschia* sp., 4 *Gomphonema angustum*, 5 *Planothidium hauckianum*, 6 *Cocconeis placentula*, 7 *Planothidium dubium*, 8 *Achnanthidium minutissimum*, 9 *Gomphonema elegantissimum*, 10, 13 *Navicula tripunctata*, 11-12 *Meridion circulare*. Mjerilo: 5 µm.

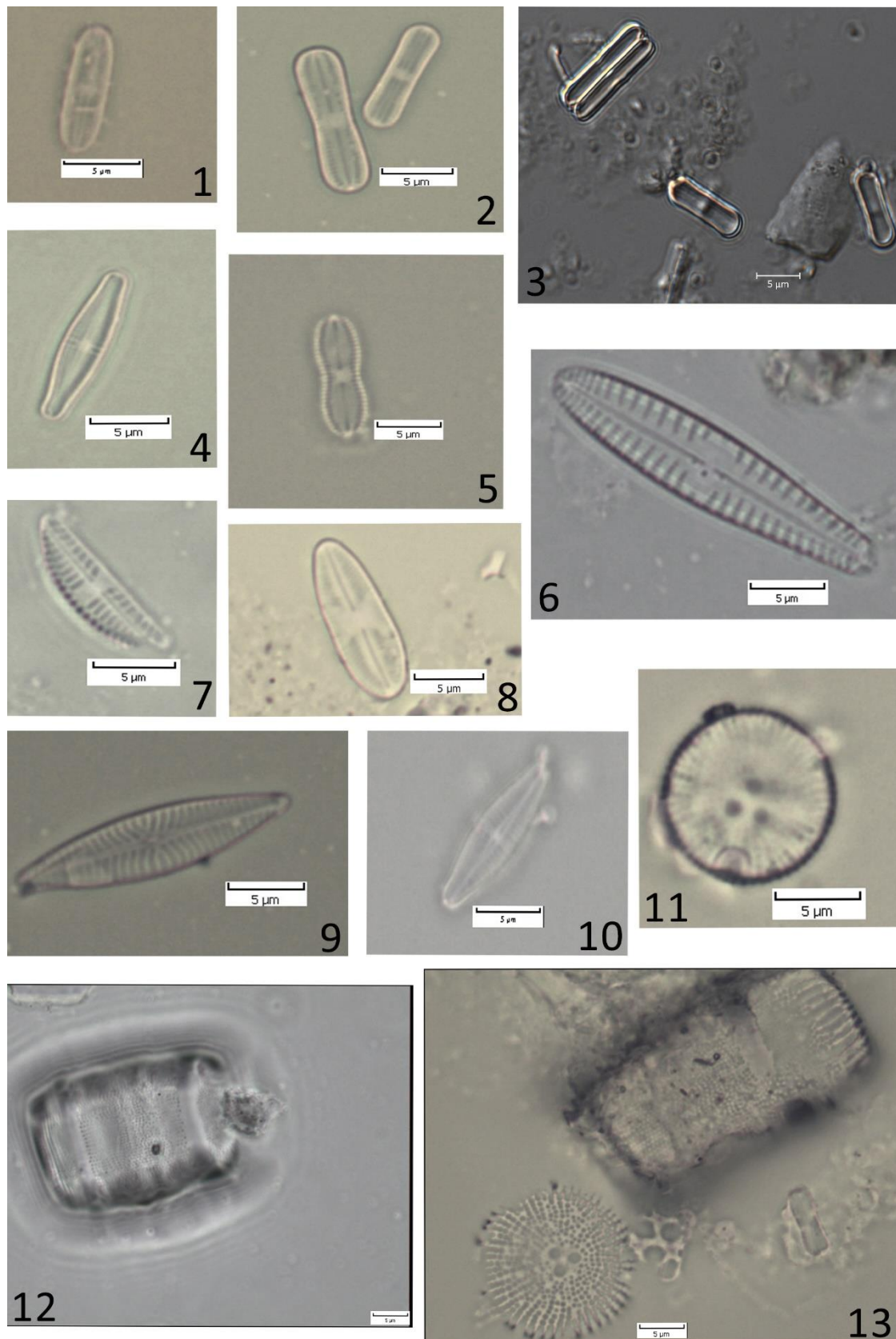
## 5.10. Struktura zajednice dijatomeja lampenflore

U Gornjoj Baraćevoj špilji zajednica dijatomeja bila je oskudno zastupljena. Određene su ukupno 24 vrste dijatomeja (Slika 33). Na postajama DT-4 i DT-7 zabilježena je najveća raznolikost vrsta s 10 vrsta na postaji DT-4 i 11 na DT-7. Na ostalim postajama zabilježene su oko 4 različite vrste (Tablica 15). Vrsta *Diadismus contenta* ((Grunow) Mann, 1990) dominantna je i zabilježena je u svakom špiljskom uzorku, a *Navicula tenelloides* (Hustedt, 1937) je zabilježena u 3 od 7 uzoraka.

**Tablica 15.** Popis vrsta dijatomeja (*Bacillariophyceae*) određenih u uzorcima lampenflore u Gornjoj Baraćevoj špilji

Taksoni	Uzorak						
	DT 2	DT 3	DT 4	DT 5	DT 6	DT 7	DT 8
<i>Achnantheidium affine</i> (Grunow) Czarnecki						x	
<i>Achnantheidium caledonicum</i> Lange-Bertalot			x				
<i>Achnantheidium eutrophilum</i> Lange-Bertalot						x	
<i>Achnantheidium gracilimum</i> (Meister) Lange-Bertalot			x				
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki						x	
<i>Achnantheidium straubianum</i> Lange-Bertalot		x					
<i>Adlafia bryophila</i> (Petersen) Lange-Bertalot						x	
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow						x	
<i>Cavinula sp.</i> (Greville) Gregory			x				
<i>Cymbella excisa</i> Kützing			x				
<i>Diadismus aerophila</i> (Krasske) Mann		x					
<i>Diadismus contenta</i> (Grunow) Mann	x	x	x	x	x	x	x
<i>Diploneis separanda</i> Lange-Bertalot			x	x			
<i>Encyonema lange-bertalotii</i> Krammer		x	x				
<i>Encyonema reichardtii</i> (Krammer) Mann						x	
<i>Gomphonema pumilum</i> Reichardt i Lange-Bertalot						x	
<i>Navicula germainii</i> Wallace						x	

Taksoni	Uzorak						
	DT 2	DT 3	DT 4	DT 5	DT 6	DT 7	DT 8
<i>Navicula perminuta</i> Grunow				x			x
<i>Navicula phylleptosoma</i> Lange-Bertalot			x				
<i>Navicula tenelloides</i> Hustedt			x			x	x
<i>Orthoseira roeseana</i> (Rabenhorst) Pfitzer	x	x				x	
<i>Planothidium dubium</i> (Grunow) Round i Bukhtiyarova		x					
<i>Sellaphora harderi</i> (Hustedt) Foets i Wetzel			x	x			
<i>Stauroneis parathermicola</i> Lange-Bertalot							x



**Slika 33.** Mikrofotografije (LM, povećanje 1000X) vrsta dijatomeja zajednice lampenflora. 1 *Achnantheidium minutissimum*, 2-3 *Diadেসmis contenta*, 4 *Achnantheidium gracillimum*, 5 *Diadেসmis aerophila*, 6 *Gomphonema pumilum*, 7 *Amphora pediculus*, 8 *Sellaphora harderi*, 9 *Navicula tenelloides*, 10 *Achnantheidium affine*, 11-13 *Orthoseira roeseana*. Mjerilo: 5 µm.

## 6. Rasprava

### 6.1. CO<sub>2</sub> (ppm), temperatura (°C) i RH (%)

Dobivene terenske vrijednosti koncentracije ugljikova dioksida upućuju kako se tijekom sezona koncentracija CO<sub>2</sub> mijenja. U travnju kada se vegetacija tek počinje razvijati i u siječnju kada je nema, koncentracije CO<sub>2</sub> su najniže. Najviše koncentracije su u srpnju i studenom i to u točki U. Ta točka nalazi se najbliže samoj površini te je moguće čak vidjeti i nešto korijenja. Uz navedeno, ta točka se nalazi u kanalu koji nije dostupan turistima. CO<sub>2</sub> je plin teži od zraka koji prirodno nastaje oksidacijom organske tvari te se osim, otopljen u vodi može prenijeti u špilju i pukotinskim putem. Zbog toga je najveća koncentracija CO<sub>2</sub> upravo na zadnjim točkama sporednog kanala. Pravilno povećanje koncentracije CO<sub>2</sub> je zabilježeno od ulaza pa do kraja špiljskog kanala kako je inače u špiljama s jednim ulazom koji omogućuje djelomično ventiliranje špiljskog zraka. Ulaskom turista neposredno je zabilježeno malo povišenje koncentracije CO<sub>2</sub> (srpanj 1 i 2). Zanimljivo je kako je ono znatnije na lokacijama koje su turistički atraktivne i gdje se grupe turista zaustavljaju tijekom ture (točke C, G i K). Povišenje koncentracije CO<sub>2</sub> u točki C u odnosu na D može biti uvjetovano i time što je tamo velika količina guana čijim se raspadom oslobađa CO<sub>2</sub> (Craven, 1994). Točke M, N, i O pokazuju znatno nižu koncentraciju u odnosu na druge u srpnju. To može biti iz više razloga: zato što se nalaze u kanalu koji je uzak, vijugav i tako odvojen od sveopće mikroklimе glavnog kanala, zato što taj dio kanala nije otvoren za turiste ili zato što ima potencijalno jaču cirkulaciju zraka koji se s površine kreće kroz taj dio kanala. Glavni uzročnik promjene koncentracije CO<sub>2</sub> je sezonsko bujanje vegetacije iznad špilje.

Kao posljedica promjene godišnjeg doba postoji temperaturna razlika i razlika u RH između špiljskog zraka i onog vani. Temperatura i RH u špilji su, zbog gotovo zatvorenog prostora, stabilnije tijekom godine i stoga postoje male sezonske razlike. One se najviše očituju na prvih nekoliko točaka na početku špilje gdje je najjači utjecaj vanjskih uvjeta (točka B). RH je vrlo visoka tijekom svih sezona u cijeloj špilji. Najmanja promjena temperature je na točkama koje su skoro najudaljenije od špiljskog ulaza. Zanimljivo je kako se na točki P temperatura zraka povisuje u odnosu na susjedne točke, a pritom i RH smanjuje.

Prilikom mjerenja u srpnju, za vrijeme turističke ture, zabilježena je trenutna promjena temperature zraka na svim točkama na turističkoj stazi s razlikom od otprilike 0,5 °C. Za špiljski okoliš ta promjena može biti značajna ukoliko je trajna.



Temperaturne razlike između zraka i vode mogu pokazati put prijenosa topline u špilju. Temperatura vode prokapsnice u špilji ovisi o temperaturi zraka, stijene i količini vode koja dospijeva u špilju. U periodima kad je manji volumen vode, temperatura zraka (siječanj i srpanj) više utječe na temperaturu vode te se smanjuje temperaturna razlika (Kogovšek, 2010). U proljeće kada je temperaturna razlika između zraka i izvora najmanja, ona je u špilji konstantna na svim lokacijama. To je još jedan od dokaza koliko je špiljska mikroklima stabilnija i manje sklona promjenama od vanjske.

## 6.2. Temperatura zraka i relativna vlažnost mjerena memorijskim termohigrografima

Prema dobivenim rezultatima može se reći kako sve setove podataka odlikuje stabilnost godišnjeg hoda temperature i RH zraka. Vanjska postaja BAR-V ukazuje da u vanjskom okolišu postoje znatne varijacije u T zraka. U Gornjoj Baraćevoj špilji oscilacije u vrijednosti T zraka smanjuju se od špiljskog ulaza prema unutrašnjosti. Takav slijed promjene vrijednosti T ukazuje kako špilja ima stabilne uvjete izolirane od vanjskih promjena te jedan veliki ulaz kroz koji izmjenjuje energiju s vanjskim okolišem. Na svim mjerenim postajama RH je izrazito visoka i stabilna. BARG-6 i 7 nalaze se u dijelu špilje kojim ne prolazi turistička staza. Razlike u vrijednostima parametara na tim postajama u odnosu na ostale nisu primijećene. Razlike u vrijednostima minimuma i maksimuma T zraka u špiljama očituju se kao odgovor na promjenu godišnjeg doba odnosno velike promjene vanjske T zraka. Temperaturne razlike između postaja u Gornjoj i Donjoj Baraćevoj špilji su male, ali postoje. Prosječna vrijednost T zraka na postaji BARG-2 je za 0,65°C veća od vrijednosti mjerene na BARD-2. Postaje BARG-1 i BARD-1 i 2 imaju veoma slične vrijednosti T zraka.

## 6.3. Nitrati i fosfati u vodi

Proces i potencijal denitrifikacije i njegove mobilizacije kroz krš je mali i spor (Jahangir i dr., 2012). Jedini način mobilizacije i razrjeđenja nitrata i fosfata kroz takav sustav je oborinskim priljevom vode. Postoje dva različita koncepta poroziteta koji predstavljaju način protoka vode kroz krško podzemlje. Prvi je dualni pristup u kojemu voda protječe na dva načina: kroz velike provodnike i špiljske kanale protječe koncentrirano i brzo te kroz pukotine i pore difuzno i polako (Ford i Williams, 2007). Drugi pristup je triplet kojeg čini protok vode kroz kanale, pukotine i kroz matriks stijene (Baedke i Krothe, 2001).

Na svim mjerenim lokacijama koncentracija nitrata bila je znatno ispod propisane granične vrijednosti, ali koncentracija fosfata nije. Također postoje razlike u mjesečnim maksimumima i minimumima. Na izvoru Baraćevac najviša koncentracija fosfata je u travnju, a najniža u srpnju. Prema Kogovšek (2010), periodi sa zabilježenim oborinama, naročito pljuskovima, znatno snižavaju koncentraciju otopljenih nitrata i fosfata. Zbog naglog povećanja oborina u lipnju za očekivati je da su najniže koncentracije zabilježene u tom periodu. Mjerenje koncentracije fosfata provedeno je četiri puta te se njegove oscilacije podudaraju s periodima s više, odnosno manje oborina. Koncentracije nitrata ne pokazuju takav tok (maksimum-siječanj, minimum-studeni), a razlog tome može biti dotok vode s retencijom iz vadozne zone iznad i to što je voda s izvora Baraćevac poligenetskog porijekla.

Maksimum koncentracije fosfata u špilji na točki WGB-2 je u travnju, a minimum u srpnju s naznakom da razlike s obzirom na mjerene mjesece nisu velike. Suprotno tome na točki WGB-3 izmjereni maksimum je u siječnju, a minimum u travnju i pokazuje najveće mjerene razlike u koncentraciji. S obzirom na volumen vode, WGB-3 je veća lokva i sadržava više vode od WGB-2. Također kanal u kojem se nalazi lokva WGB-3 je nagnut i bliže samoj zemljinoj površini. Vrijednosti na postaji WGB-3 mogu se obrazložiti postepenim procjeđivanjem oborina kroz tlo i stijenu s vremenskim zakašnjenjem. Oborine koje su obilježile maksimum u veljači i ožujku razrijedile su otopinu i snizile koncentraciju fosfata mjerenu u travnju, a period od kolovoza do prosinca gdje je malo padalina rezultira povišenjem koncentracije fosfata u lokvama. Može se pretpostaviti da se na točki WGB-2 procjeđuje manja količina vode te je to posljedica visoke koncentracije. Treba uzeti u obzir da se transport nitrata i fosfata s površine može dogoditi brzo ukoliko su pukotine u stijeni veće ili sporo ukoliko se procjeđivanje odvija kroz međuzrnske pore (Baran i dr., 2008).

#### 6.4. pH i temperatura vode

Nakon *in-situ* mjerenja i laboratorijskog mjerenja očigledno je da su *in-situ* mjerenja preciznija i realnija stoga su ona gledana kao relevantna. Prema Baedecker i Cozzarelli (1992), pH vrijednost vode se prilikom transporta u bočicama može promijeniti stoga se mora mjeriti *in-situ*. Mjerena pH vrijednost vode prokapnice i izvorske vode pokazuje stabilnu vrijednost tijekom godine (7,49-8,62) što ukazuje na visok puferski kapacitet. Dobivene pH vrijednosti u potpunosti odgovaraju alkalifilnoj dijatomejskoj zajednici koja naseljava izvor (*A. minutissimum*, *M. circulare*, prema Mogna i dr. (2015)).

Temperatura izvorišne vode ima dobro vidljive sezonske oscilacije. Prema Kogovšek (2010), može se reći da iste oscilacije prati i temperatura vode prokapnice, ali s vrlo malim razlikama.

#### 6.5. Alkalinitet

Dobivene visoke vrijednosti alkaliniteta rezultat su dobre topljivosti stijena (Cantonati, 1998). Sve izmjerene vrijednosti alkaliniteta premašuju prosječnu vrijednost karakterističnu za krške sustave (~ 180 mg/L, prema Gligora (2007)).

#### 6.6. Koncentracija otopljenog kisika

Izvorska voda u krškim sustavima je vrlo često dobro oksidirana zahvaljujući poroznosti stijena i kontakta podzemne vode s atmosferom (Cantonati, 1998). Izmjerene koncentracije kisika u izvorskoj vodi kreću se od 7,5 do 9,8 mg O<sub>2</sub>/L. Ovisno o mjesecu uzorkovanja, ustanovljena je korelacija temperature zraka i koncentracije kisika. U mjesecima kada je hladnije koncentracija otopljenog kisika u vodi je veća. Zbog zatvorenosti špiljskog sustava i uspostavljanja stabilne mikroklimе koncentracija otopljenog kisika u vodi prokapnici ne korelira s promjenom vanjske temperature zraka.

#### 6.7. Dijatomeje i ekološko stanje vode

U uzorku iz travnja zabilježeno je 20 različitih vrsta dok je u onom iz srpnja zabilježeno njih 19. Prema Cantonati (1998), proljeće je sezona s najvećom raznolikošću dijatomeja, ali u ovom slučaju raznolikost je jednaka u proljeće i ljeto. S obzirom na mjesec uzorkovanja vidljive su sezonske promjene u sastavu vrsta zajednice dijatomeja. Svi pronađeni rodovi pripadaju vodenim vrstama (Van Dam i dr., 1994). Osim sezone, na sastav dijatomejske zajednice utječu pH, konduktivitet, anorganski dušik, vrsta supstrata i količina svjetlosti (Cantonati 1998). pH vrijednost izvora je u travnju 8,02, a u srpnju 7,84 te pronađene vrste, prema listi indikatorskih vrijednosti, pripadaju alkalifilnim i odgovaraju izmjerenom pH (Van Dam i dr., 1994). Vrste roda *Achnantheidium* (*Achnantheidium affine* i *A. minutissimum*) jedine su koje su u većem broju bile zastupljene u oba uzorka. Obje vrste široko su rasprostranjene vrste bentosa i imaju veću toleranciju na okolišne uvjete. One čine dominantnu skupinu dijatomejske zajednice u travnju. Takve karakteristike ima i *Meridion circulare*, vrsta koja se pojavljuje u većem broju u uzorku iz srpnja, a opisana je

kao česta vrsta alpskih krških izvora (Cantonati, 1998, Falasco i Bona, 2011). U travnju je pronađen i velik broj *G. elegantissimum* što odgovara karakteristikama staništa koje vrsta preferira kao što su rekreni izvor s karbonatnom podlogom te blago alkalni pH (Cantonati i dr., 2012). U srpnju je u većem broju zabilježena vrsta *Navicula tripunctata* koja je tipična vrsta za oligosaprobne i oligotrofne vode (Van Dam i dr., 1994). Bilježi se i velika promjena u brojnosti vrste *Cocconeis placentula*. Ona je zabilježena kao česta vrsta na zasjenjenim rekrenim izvorima s karbonatnom podlogom (Cantonati i dr., 2012) te je njena najveća brojnost na podlozi s mahovnjačkim pokrovom tj. nalazimo ju kao epifit (Soininen i Pertti, 2004). To može biti razlog razlike u njenoj brojnosti između travnja i srpnja, odnosno sezonskog razvoja makrofita. Sve pronađene vrste odgovaraju prijašnjim istraživanjima istih na području Dinarskog krša (Hafner i Jasprica, 2013).

Dobiveni saprobni indeks pokazuje o- $\beta$ -mezosaprobno do  $\beta$ -mezosaprobno stanje dok trofički indeks ukazuje na promjenjivo stanje (oligotrofno do umjereno mezotrofno u travnju, mezotrofno do umjereno eutrofno u srpnju). Povišenje stupnja trofije je posljedica povišenja produktivnosti vodenog ekosustava. Porastom koncentracije hranjivih tvari u vodenim ekosustavima povisuje se i primarna, a time i sekundarna produkcija (Gazonato Neto i dr., 2014). Ona je uzrokovana povišenjem temperature odnosno promjenom godišnjeg doba. Zbog premalo izvršenih istraživanja, a zbog zabilježene promjene stupnja trofije trebalo bi provesti dodatna istraživanja.

U odsutnosti svjetla u špiljama, lampenflora se pojavljuje samo na mjestima obasjanima snopom reflektora. Zbog oskudnog špiljskog okoliša teško je točno utvrditi koji je okolišni faktor značajan za rasprostranjenost vrsta. Zabilježeno je da najveće razlike u flori su one uzrokovane različitom pH vrijednosti. Najzastupljenija dijatomejska vrsta u špilji je aerofilna *Diademsis contenta*. Prema istraživanju Falasca i dr. (2014) ona pripada među najčešće vrste koje nastanjuju podzemne ekosustave. Prema Johansenu (1999), *D. contenta* bi trebala biti najzastupljenija u špiljama s pH 3,7-6,0. U Gornjoj Baraćevoj špilji mjerena pH vrijednost na tri lokacije je između 7,49-8,42 te ti rezultati nisu u skladu s prijašnjim istraživanjem. Ostale pronađene vrste odgovaraju špiljskom staništu te je većina njih kozmopolitski rasprostranjena (Pouličkova i Hašler, 2007).

## 7. Zaključak

- Koncentracija ugljikova dioksida u Gornjoj Baraćevoj špilji mijenja se prostorno, a naročito vremenski. Iako nije zabilježeno trajno povišenje CO<sub>2</sub> ulaskom turističkih grupa, bilježi se trenutno povišenje koncentracije CO<sub>2</sub> u iznosu od 200 ppm. Potencijalni primarni uzrok promjene koncentracije ugljikova dioksida unutar špilje može biti sezonska promjena u vegetaciji.
- Detaljna mjerenja memorijskim termohigrografima pokazala su da u špilji vladaju temperature zraka s minimalnim promjenama i konstantne visoke vrijednosti RH. Prosječna temperatura špiljskog zraka prostorno varira od 9,61 do 10,78 °C, a prosječna RH na svim postajama iznosi 100%. Najizraženije promjene oba parametra su i očekivano na lokacijama bliže ulazu u špilju zbog izmjene zraka s vanjskim okolišem. Takvi rezultati tipični su za špiljsku mikroklimu. Iako, prilikom prolaska turista nije zabilježeno trajno povišenje temperature zraka, terenskim mjerenjima zabilježena je trenutna promjena u razlici od 0,5 °C.
- Promjene koncentracije nitrata i ortofosfata u vodi pokazuju povezanost s količinom padalina. Što je više padalina to je koncentracija otopljenih tvari manja. Smanjenje koncentracija nitrata i fosfata na izvoru su vidljive odmah nakon razdoblja s više oborina, a u vodi prokapnici su vidljive s zakašnjenjem. Bliske vrijednosti između koncentracija nitrata i fosfata u špiljskoj vodi i na izvoru ukazuju na povezanost vode prokapanice u vadoznoj zoni s freatskom zonom na izvoru Baračevca. Koncentracija nitrata u vodi prokapanici i izvorskoj vodi ukazuje na vodni okoliš nezagađen nitratima. Koncentracija fosfata je visoka i prelazi graničnu vrijednost na svim postajama te bi se njezino porijeklo trebalo dalje istražiti.
- Temperatura izvorišne vode prati sezonsku promjenu temperature zraka. Temperatura vode prokapanice u Gornjoj Baraćevoj špilji ovisi prvenstveno o temperaturi zraka, temperaturi stijene, volumenu vode i blizini površine. pH vrijednost vode se mora mjeriti na terenu i bilježi male varijacije od 7,49 do 8,62.
- Relativno stabilne pH vrijednosti ukazuju na visok puferski kapacitet vode. Dobivene visoke vrijednosti alkaliniteta su posljedica dobre topivosti stijena.
- Koncentracija otopljenog kisika u izvorišnoj vodi u skladu je sa sezonskim promjenama temperature zraka. Stabilne vrijednosti temperature špiljskog zraka odražavaju se u maloj promjeni koncentracije otopljenog kisika u vodi prokapanici.

Visoke vrijednosti koncentracije otopljenog kisika rezultat su dobre poroznosti stijene i kontakta podzemne vode s atmosferom.

- U uzorcima fitobentosa iz travnja i srpnja determinirano je ukupno 29 vrsta dijatomeja (*Bacillariophyceae*). Prema različitoj relativnoj učestalosti dominantnih vrsta uočene su sezonske promjene u sastavu zajednice dijatomeja.
- Dominantne travanjske vrste izvora Baračevac su *Achnantheidium affine*, *A. minutissimum*, *Gomphonema pumilum* i *G. elegantissimum*. Dominantne srpanjske vrste su *Coconeis placentula*, *Navicula tripunctata*, *Meridion circulare* i *Planothidium hauckianum*. Ovakva zajednica karakteristična je za karbonatne izvore.
- Saprobni indeks ( $SI_{HRIS}$ ), izračunat po saprobnim vrijednostima prema Hrvatskom indikatorskom sustavu, ocjenjuje ekološko stanje izvora Baračevac kao dobro (o- $\beta$ -mezosaprobno do  $\beta$ -mezosaprobno).
- Na temelju preporučenih graničnih vrijednosti trofičkog indeksa dijatomeja ( $TID_{RH}$ ), ekološko stanje izvora Baračevac ocjenjeno je kao vrlo dobro u travnju i dobro u srpnju.
- U uzorcima lampenflore u Gornjoj Baračevoj špilji ukupno je determinirano 24 vrste dijatomeja (*Bacillariophyceae*). Dominantne vrste su aerofilne s visokom tolerancijom i česte su u podzemnim staništa.

## 8. Literatura

Albertano, P., Moscone, D., Palleschi, G., Hermosin, B., Saiz – Jimenez, C., Sanchez – Moral, S., Hernandez – Marine, M., Urzi, C., Groth, I., Schroeckh, V., Saarela, M., Mattila – Sandholm, T., Gallon, J. R., Graziottin, F., Bisconti, F., Giuliani, R., 2003: Cyanobacteria attack rocks (CATS): Control and preventive strategies to avoid damage caused by cyanobacteria and associated microorganisms in Roman Hypogean Monuments., (in Saiz – Jimenez, C), *Molecular Biology and Cultural Heritage*, Lisse, Swets & Zeitlinger, 151–162.

Azim, M.E., Beveridge, M.C.M., van Dam, A.A., Verdegem, M.C.J., 2005: *Periphyton: Ecology, Exploitation and Management*. CABI Publishing.

Baedcker, M. J., Cozzarelli, I. M., 1992: The determination and fate of unstable constituents in contaminated groundwater, in Lesage, S., Jackson, R., eds., *Groundwater quality and analysis at hazardous waste sites*, Marcel Dekker, Inc., New York, 425-461.

Baedke, S. J., Krothe, N. C., 2001: Derivation of effective hydraulic parameters of a karst aquifer from discharge hydrograph analysis. *Water Resources Research*, 37 (1), 13–19.

Baković, N., 2016: The appearance of lampenflora in Veternica cave (Medvednica Nature park) through a period from 2012 to 2014. *Subterranea Croatica*, 14 (1), 26-30.

Balen, J., Mihalić S., 2005: Arheološka iskapanja u gornjoj Baraćevoj špilji, *Subterranea Croatica*, 4, 30–33.

Baran, N., Lepiller, M., Mouvet, C, 2008: Agricultural diffuse pollution in a chalk aquifer (Trois Fontaines, France): influence of pesticide properties and hydrodynamic constraints, *Journal of Hydrology*, 358 (1), 56–69.

Bočić, N., 2009: Geomorfološke značajke prostora Slunjske zaravni. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, PMF, Zagreb.

Bočić, N., 2015: Geomorfološko i Geospeleološko vrednovanje područja Baraćevih špilja. Izvještaj. Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, Hrvatska.

Bočić, N., Buzjak, N., 2017: Mikroklimatska obilježja Baraćevih špilja u razdoblju 2014.-2016. Izvještaj. Zagreb.

Božičević, S., 1956: *Planinari u Hrvatskoj i speleologija. Naše planine*, 7 (4), 300–314.

- Cantonati, M., 1998: Diatom communities of springs in the Southern Alps. *Diatom Research*, 13 (2), 201–220.
- Cantonati, M., Angeli, N., Bertuzzi, E., Spitale, D., Lange-Bertalot, H., 2012: Diatoms in springs of the Alps: spring types, environmental determinants, and substratum. *Freshwater Science*, 31, 499–524.
- Cigna, A. A., 1978: A classification of karstic phenomena, *International Journal of Speleology*, Milano, 10 (1), 3–9.
- Cigna, A. A., Forti, P., 1988: The environmental impact assessment of a tourist cave. In: UIS (ed.) Cave Tourism, *Proceedings of International Symposium at 170-Anniversary of Postojnska Jama*, Postojna (Yugoslavia), 29–38.
- Craven, S. A., 1994: Cango Cave, Oudtshoorn District of the Cape Province, South Africa: An assessment of its development and management 1780-1992. (Thesis) *The Bulletin South African Speleological Association*, 34, (1-11); 1-135.
- Czuppon, G., Bočić, N., Buzjak, N., Óvári M., Molnár, M., 2018: Monitoring in the Barač and Lower Cerovačka caves (Croatia) as a basis for the characterization of the climatological and hydrological processes that control spelethem formation, *Elsevier*, 1-14.
- Falasco, E., Bona F., 2011: Diatom community biodiversity in an Alpine protected area: a study in the Maritime Alps Natural Park, *Journal of Limnology*, 70, 157–167.
- Falasco E., Ector L., Isaia M., Wetzel C. E., Hoffmann L., Bona F., 2014: Diatom flora in subterranean ecosystems: a review. *International Journal of Speleology*, 43 (3), 231-251.
- Filipčić, A., 1998: Klimatska regionalizacija Hrvatske po Köppenu za standardno razdoblje 1961.-1990. u odnosu na razdoblje 1931.-1960., *Acta Geographica Croatica*, 34, 1-15.
- Ford, D. C., Williams, P. W., 2007: *Karst hydrogeology and geomorphology*, John Wiley & Sons, Chichester.
- Forti, P., 1980: Formazione di aragonite nella Grotta di Castellana: un esempio della modificazione indotta dalla turisticizzazione. *Grotte d Italia*, 4 (8), 1-10.
- Gazonato Neto A. J., Silva L. C., Saggio A.A., Rocha O., 2014: Zooplankton communities as eutrophication bioindicators in tropical reservoirs. *Biota Neotropica*, São Carlos, 14 (4).



Gligora, M., 2007: Sukcesije funkcionalnih grupa fitoplanktona u polimiktičnim krškim jezerima. Doktorska disertacija. Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Hafner, D., Jasprica, N., 2013: The composition of epiphytic diatoms (Bacillariophyta) on charophyceae in the dinaric karstic ecosystems, *Natura Croatica*, 22, 199-204.

Heaton, T., 1986: Caves; A tremendous range of energy environments on Earth. *National Speleological Society News*, 8, 301-304.

Hernández-Mariné, M., Clavero, E., Roldán, M., 2003: Why there is such luxurious growth in the hypogean environments, *Algological Studies*, 109, 229-239.

Hill, C. A., Forti, P., 1997: *Cave Minerals of the World*, 2nd Edition, National Speleological Society, Huntsville.

Hoffmann, L., 2002: Caves and other low-light environments: aerophitic photoautotrophic microorganisms. In Bitton G. (Ed.), *Encyclopedia of Environmental Microbiology*, John Wiley & Sons, New York, 835-843.

Jahangir, M. M. R., Johnston, P., Khalil, M. I., Hennessy, D., Humphreys, J., Fenton, O., Richards, K. G., 2012: Groundwater: A pathway for terrestrial C and N losses and indirect greenhouse gas emissions, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 159, 40–48.

Johansen, J. R., 1999: Diatoms of aerial habitats. In: Smol J.P. & Stoermer E.F. (Ed), *The Diatoms. Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge, Cambridge University Press: 264-273.

John, J., 2012: *A beginner's guide for diatoms*. A.R.G. Gantner Verlag, Ruggel, Liechtenstein.

Jones, H. J., 1964: Algological investigations in Mammoth Cave, Kentucky, *International Journal of Speleology*, 1 (4), 491-517.

Kelly, M. G., Juggins, S., Bennion, H., Burgess, A., Yallop, M., Hirst, H., King, L., Jamieson, B. J., Guthrie, R., Rippey, B., 2008: *Use of diatoms for evaluating ecological status in UK freshwaters*, Science report, Environment Agency, United Kingdom.

Kišpatić, M., 1884: Kostii iz Baračeve špilje kod Kršlja. *Viestnik Hrvatskog arheološkog društva*, Zagreb, 7 (2), 33-37.

Kogovšek, J., 2010: *Characteristics of percolation through the karst vadose zone*, Carsologica 10, ZRC Publishing, Postojna, Ljubljana.

Kovačević, T., 2003: *Baračeve špilje*, Turistička zajednica općine Rakovica, Rakovica.

Kovačević, T., 2004: Značajniji rezultati «Međunarodne speleo-ronilačke ekspedicije Rakovica 2003» te predekspedicijskih i postekspedicijskih akcija, *Subterranea Croatica*, Karlovac, 2, 17.

Lange-Bertalot, H., 2013: *Diatomeen im Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa*, Koeltz Scientific Books, Germany.

Malez, M., 1978: *Kvartarogeološka, paleontološka i speleološka istraživanja u 1974. godini*, Ljetopis JAZU, 78, 625–642.

Miculinić, K., Cvitanović, H., 2016: Pregled nalaza pleistocenskih životinja u speleološkim objektima Karlovačke županije, *Subterranea Croatica*, 21, 62-69.

Mogna, M., Cantonati, M., Andreucci, F., Angeli, N., Berta, G., Miserere, L., 2015: Diatom communities and vegetation of springs in the south-western Alps, *Acta Botanica Croatica*, 74 (2), 265-285.

Mulec, J., Kosi, G., 2008: Algae in the aerophytic habitat of Račiške ponikve cave (Slovenia). *Natura Sloveniae*, 10, 39-49.

Plenković-Moraj, A., Gligora Udovič, M., Kralj Borojević, K., Ťutinić, P., 2009: Fitobentos u: EK-KO projekt Habdija, I., Kerovec, M., Mrakovčić, M., Plenković-Moraj, A., Primc Habdija, B. (2009 a, b i c): Ekološko istraživanje površinskih voda u Hrvatskoj prema kriterijima Okvirne direktive o vodama. PMF, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Polšak, A., Juriša, M., Šparica, M., Šimunić, A., 1976: Osnovna geološka karta 1 : 100 000 list Bihać, SGZ, Beograd - IGI, Zagreb.

Pouličková, A., Hašler, P., 2007: Aerophytic diatoms from caves in central Moravia (Czech Republic), *Preslia* 79: 185–204.

Primc Habdija, B., Kerovec, M., 2005: Biološka valorizacija voda - Studija II: Primjena hrvatskog indikatorskog sustava. Biološki odsjek PMF-a, Zagreb.

Roldán M. & Hernández-Mariné M., 2009: Exploring the secrets of the three-dimensional architecture of phototrophic biofilms in caves, *International Journal of Speleology*, 38, 41-53.

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.

Soininen, J., Pertti, E., 2004: Seasonal persistence and stability of diatom communities in rivers: are there habitat specific differences?, *European Journal of Phycology*, 39, 153-160.

Van Dam, H., Mertens, A., Sinkeldam, J., 1994: A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands, *Netherland Journal of Aquatic Ecology*, 28, 117–133.

Velić, I., Vlahović, I., 2009: *Tumač geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000*, Hrvatski Geološki Institut, Zagreb.

Zammit G., Billi D., Shubert E., Kaštovský J., Albertano P., 2011: The biodiversity of subaerophytic phototrophic biofilms from Maltese hypogea, *Fottea*, 11 (1), 187-201.

Zelinka, M., Marvan, P., 1961: Zur Präzisierung der biologischen klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Archiv für Hydrobiologie* 57, 389-40.

Uredbe, zakoni i internetski izvori

<https://geoportal.dgu.hr/>, 12.10.2018.

<http://www.algaebase.org/>, 5.5.2018.

Uredba o izmjenama i dopunama Uredbe o standardu kakvoće voda, Narodne novine 80/18, 1610, 16, Vlada Republike Hrvatske (7.9.2018.).

[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013\\_06\\_73\\_1463.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_06_73_1463.html), 5.12.2018.

Odluka o donošenju metodologije uzorkovanja, laboratorijskih analiza i određivanja omjera ekološke kakvoće bioloških elemenata kakvoće, prema Uredbi o standardu kakvoće voda Narodne novine 73/13, 151/14 i 78/15, Hrvatske vode (12.4.2016.).

<https://www.voda.hr/hr/metodologije>, 6.10.2018.

Pravilnik o strogo zaštićenim vrstama, Narodne novine 144/2013, 3086, Ministarstvo zaštite okoliša i prirode (4.12.2013.).

[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013\\_12\\_144\\_3086.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_12_144_3086.html), 5.1.2019.

## Popis slika i tablica

### Slike

Slika 1: Simetrija algi kremenjašica a) Centrice: AA = radijalna ravnina; BB = valvalna ravnina. b) Penatne dijatomeje: AA = apikalna ravnina; BB = valvalna ravnina; CC = transapikalna ravnina.

Slika 2: Topografska karta Baračevih špilja. Izdanje DGU, izvorno mjerilo 1:25000 HTRS96/TM. (Izvor: [www.geoportal.hr](http://www.geoportal.hr))

Slika 34: Geološka karta istraživanih područja Baračevih špilja (napravljena prema OGK; List Bihać, izvorno mjerilo 1:100 000)

Slika 4: Shematski prikaz speleogeneze Baračevih špilja (Bočić, 2015)

Slika 5: Lokacije mjerenja temperature (°C) i RH (%) zraka te koncentracije CO<sub>2</sub> (ppm) u Gornjoj Baračevoj špilji

Slika 6: Lokacije mjernih instrumenata data loggera u Gornjoj Baračevoj špilji

Slika 7: Memorijski termohigrograf postavljen na zid špilje (autor: Lorena Selak)

Slika 8: Lokacije uzorkovane vode u Gornjoj Baračevoj špilji

Slika 9: Prikaz lokacija na kojima su prikupljeni uzorci lampenflore

Slika 10: Prikupljanje uzoraka lampenflore na točki DT-3 u Gornjoj Baračevoj špilji. (autor: Hrvoje Cvitanović)

Slika 11: Promjena srednje mjesečne temperature zraka (°C) i padalina (mm) mjerena na postaji Slunj, u razdoblju 2008-2018. Srednja godišnja temperatura zraka (sred) prikazana je isprekidanom crtom. (Izvor: Državni hidrometeorološki zavod)

Slika 35: Raspodjela koncentracije CO<sub>2</sub> u zraku od točke ulaska (A) do kraja špilje (O i U), provedena u četiri mjeseca i izražena u ppm

Slika 13: Raspodjela koncentracije CO<sub>2</sub> u zraku od točke ulaska (A) do kraja turističkog dijela špilje (K). Mjerenje je obavljeno u srpnju i izraženo u ppm.

Slika 14: Odnos temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) i relativne vlažnosti zraka (%) mjerena u travnju na 19 točaka od kojih su 2 izvan (IZB, A), a ostale unutar špilje (B-U)

Slika 15: Odnos temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) i relativne vlažnosti zraka (%) mjerena u srpnju na 19 točaka od kojih su 2 izvan (IZB, A), a ostale unutar špilje (B-U)

Slika 16: Odnos temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) i relativne vlažnosti zraka (%) mjerena u studenom na 19 točaka od kojih su 2 izvan (IZB, A), a ostale unutar špilje (B-U)

Slika 17: Odnos temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) i relativne vlažnosti zraka (%) mjerena u siječnju na 19 točaka od kojih su 2 izvan (IZB, A), a ostale unutar špilje (B-U)

Slika 1836: Odnos temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) i relativne vlažnosti zraka (%) mjerena dva uzastopna puta u srpnju na 11 točaka postavljenih redosljedom duž turističke staze od ulaza (A) do kraja turističke staze (K)

Slika 19: Temperaturna razlika između temperature zraka (E,K,X) i temperature vode prokavnice (WGB-1;2;3) te temperaturna razlika između temperature zraka i vode na izvoru Baraćevac (IZB z-v), izražena u  $^{\circ}\text{C}$ ,

Slika 37: Usporedba temperatura zraka ( $^{\circ}\text{C}$ ) mjernih postaja s mjerenjima svakih 60 min za razdoblje 15.7.2017.- 23.7.2018. (A) i mjernih postaja s mjerenjima svakih 15 min za razdoblje 8.4.2018.-16.11.2018. (B).

Slika 21: Koncentracija ortofosfata ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) i nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ) izražena u miligramima po litri, mjerena u izvorskoj vodi Baraćevac (IZB), u razdoblju od travnja do siječnja.

Slika 22: Koncentracija ortofosfata ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) i nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ), izražena u miligramima po litri, mjerena u vodi prokavnici (WGB-2), u razdoblju od travnja do siječnja.

Slika 23: Koncentracija ortofosfata ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) i nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ), izražena u miligramima po litri, mjerena u vodi prokavnici (WGB-3), u razdoblju od travnja do siječnja

Slika 24: Koncentracija nitrata ( $\text{NO}_3^-$  (mg/L)) kroz vremensko razdoblje (travanj-siječanj) na svim mjerenim postajama (WGB-2, WGB-3, IZB)

Slika 25: Koncentracija ortofosfata ( $\text{PO}_4^{3-}$  (mg/L)) bilježena kroz vremensko razdoblje (travanj-siječanj) na svim mjerenim postajama (WGB-2, WGB-3, IZB). Linijski je

pridodana granična vijednost (prema Uredbi o izmjenama i dopunama Uredbe o standardu kakvoće voda (NN 80/2018))

Slika 38: Varijacije u ukupnoj mjesečnoj količini oborina na postaji Slunj u godini 2018. (mm). (Izvor: Državni hidrometeorološki zavod).

Slika 27: Odnos temperatura vode prokapanice (WGB-1;2;3) i izvorišne vode (IZB), u mjerenim mjesecima, prikazan u °C

Slika 28: Usporedan prikaz mjerenja pH vrijednosti na terenu u mjerenim mjesecima, na tri postaje u špilji (WGB-1;2;3) i na izvoru Baračevac (IZB)

Slika 29: Usporedan prikaz mjerenja pH vrijednosti u laboratoriju u mjerenim mjesecima, na dvije postaje u špilji (WGB-2;3) i na izvoru Baračevac (IZB)

Slika 30: Vrijednosti alkaliniteta vode prokapanice (WGB-2 i WGB-3) i izvora Baračevac (IZB), iskazana u miligramima po litri

Slika 31: Koncentracija otopljenog kisika u vodi prokapanici (WGB-2 i WGB-3) i na izvoru Baračevac (IZB) iskazana u miligramima po litri

Slika 39: Mikrofotografije (LM, povećanje 1000X) vrsta dijatomeja u izvoru Baračevac. 1 *Gomphonema subclavatum*, 2 *Gomphonema pumilum*, 3 *Nitzschia sp.*, 4 *Gomphonema angustum*, 5 *Planothidium hauckianum*, 6 *Cocconeis placentula*, 7 *Planothidium dubium*, 8 *Achnantheidium minutissimum*, 9 *Gomphonema elegantissimum*, 10, 13 *Navicula tripunctata*, 11-12 *Meridion circulare*. Mjerilo: 5 µm.

Slika 33: Mikrofotografije (LM, povećanje 1000X) vrsta dijatomeja zajednice lampenflore. 1 *Achnantheidium minutissimum*, 2-3 *Diadlesmis contenta*, 4 *Achnantheidium gracillimum*, 5 *Diadlesmis aerophila*, 6 *Gomphonema pumilum*, 7 *Amphora pediculus*, 8 *Sellaphora harderi*, 9 *Navicula tenelloides*, 10 *Achnantheidium affine*, 11-13 *Orthoseira roeseana*. Mjerilo: 5 µm.

Tablice

Tablica 16: Klasifikacija ekološkog stanja prema Okvirnoj Direktivi o vodama (ODV)

Tablica 17: Lokacije s pripadajućim periodom u kojem su mjereni parametri te broj mjerenja (N)

Tablica 18: Korišteni statistički pokazatelji

Tablica 19: Tumač intenziteta varijabilnosti V i  $V_Q$

Tablica 20: Detaljan opis lokacija gdje su uzimani uzorci obraštaja

Tablica 21: Klasifikacija ekološkog stanja (ES) tekućica u RH temeljena na preporučenim граниčnim vrijednostima  $SI_{HRIS}$  indeksa (Plenković-Moraj i dr., 2009).

Tablica 22: Klasifikacija ekološkog stanja (ES) tekućica u RH temeljena na preporučenim граниčnim vrijednostima trofičkog indeksa dijatomeja ( $TID_{RH}$ ) (Plenković-Moraj i dr., 2009).

Tablica 23: Podatci temperature zraka i relativne vlage u Gornjoj Baraćevoj špilji te ispred nje (BAR-V)

Tablica 24: Podatci temperature zraka i relativne vlage u Gornjoj Baraćevoj (BARG-1;2) i u Donjoj Baraćevoj špilji (BARD-1;2)

Tablica 25: Osnovni statistički podatci temperature vode (temperaturni minimum, maksimum, srednja vrijednost, i razlika maksimuma i minimuma), dobiveni za vodu cjednicu (WGB-2;3) i izvorišnu vodu (IZB) u razdoblju od mjerenom razdoblju, izraženi u °C

Tablica 25: Popis vrsta bentičkih dijatomeja (*Bacillariophyceae*) određenih u fitobentosu izvora Baraćevac

Tablica 26: Relativna učestalost (%) dominantnih vrsta u izvoru Baraćevac tijekom istraživanog razdoblja

Tablica 27: Vrijednosti saprobnog indeksa dijatomeja ( $SI_{HRIS}$ ) u istraživanom razdoblju

Tablica 28: Vrijednosti trofičkog indeksa dijatomeja ( $TID_{HR}$ ) u istraživanom razdoblju

Tablica 29: Popis vrsta dijatomeja (*Bacillariophyceae*) određenih u uzorcima lampenflore u Gornjoj Baraćevoj špilji